

한국 SCM 학회지

*Journal of the Korean Society of
Supply Chain Management*

Volume 11 Number 2
2011



사단
법인 한국SCM학회

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

1 수거 차량의 실시간 리스케줄링을 위한 전략 및 평가

김동식 · 이영해

Although typical vehicle routing problem with pickups operates at the initially planned route in static environment to pick the freight up, this study deals with new customer orders of pickups during vehicle routing so as to reschedule the routing plan. The strategies for real-time rescheduling are proposed, which are event-driven algorithm, periodic algorithm and hybrid algorithm to supplement the shortcomings of these two algorithms. The object function applied to this vehicle routing problem is the vehicle movement cost determined by the distance of vehicle movement to minimize the sum of fixed cost regardless of the vehicle movement distance. And in order to evaluate the performance of a newly planned vehicle route based on real-time rescheduling, performance measures are developed.

13 복도형 오더피킹시스템의 개미집단 최적화 휴리스틱과 그래프 최적화 알고리즘

조승용 · 장호영 · 최경일

For aisle-based order picking systems the travelling times of pickers are crucial to the productivity of the whole system. We consider two aisle routing policies: the graph optimization algorithm (GOA) and the ant colony optimization (ACO) heuristic. The GOA gives an optimal tour but needs to be changed depending on the layout of aisles. On the other hand, the ACO heuristic may not yield optimal tours but turns out to be effective and flexible. Comparing two methods by real data, our ACO heuristic can generate fairly good solutions within a few seconds.

21 혼적을 고려한 수입 컨테이너창치장 공간할당

장동원 · 김세원 · 김갑환

This study addresses the storage space allocation problem for inbound containers with different arrival and retrieval characteristics in container terminals. It is assumed that multiple groups of containers, with different retrieval rates and duration of stays from each other, are stored in the same storage system. Statistical expressions are developed for estimating the expected number of relocations for retrieving an inbound container. It is attempted to find the optimal number of stacks to be allocated to the multiple groups by using an analytic model with the handling and space costs. It is also addressed how to select the multiple

groups of containers which will be mixed in the same area. A numerical experiment is done to illustrate the procedures in this study.

31 공급사슬 모델과 알려진 함수를 이용한 MOPSO의 거리 정보 및 파레토 지배 개념 분석

박경중 · 이충수

This paper evaluates Multi-Objective Particle Swarm Optimization(MOPSO) techniques. MOPSO methods mainly use concepts based on the metric information or the pareto dominance concept to optimize multi-objective functions. One of the most typical methods which use the metric information is Sigma method. One of the most typical methods which use the pareto dominance concept is PROB. This paper tests the two methods using a known function and a supply chain model. Also ANOVA tests using a 5% significance level are performed in SPSS to examine significant performance changes between two methods.

41 가전제품 배송과 설치 서비스의 이원화를 위한 배송 스케줄링 설계 및 분석

심인수 · 김태호 · 차주일 · 이홍철

In this paper, we proposed delivery model for the dual of appliances delivery and installation services. In order to carry out the proposed delivery model, delivery vehicles and installation services are required the concurrent scheduling. We propose a meta-heuristic algorithm for solving the concurrent scheduling, based on the ant colony system. Scheduling algorithms were developed and existing models and proposed models were compared by executing experiments with scheduling algorithms. Through experiments, the results showed that the proposed delivery model minimizes the number of delivery vehicles and cost more efficiently than existing delivery model.

55 다중회귀분석을 활용한 국내 산업 및 기업 규모 별 현금화주기와 재무성과와의 상관관계 분석

장금주 · 양재환

This paper studies the relationship between C2C(Cash-To-Cash) cycle time and financial performance of Korean companies. Especially, we focus on the effect of the industry type and the size of companies on this relationship by considering 10 different industries and two different sizes. More specifically, the multiple

regression analysis is used to investigate the relationship between the C2C cycle time including its components such as days of inventory, days sales outstanding, and days payable outstanding and financial performance metrics such as ROA(Return On Asset), operating profit rate, and net profit rate.

The results indicate that the relationship between the C2C cycle time and financial performance is sensitive to the industry type, and 17 out of 30 cases(combinations of the three financial metrics and 10 industries) result in statistically significant negative relationship. Similarly, on 33 out of 90 cases, the three components of the C2C cycle time have statistically significant relationship with the financial performance of companies. Regarding the size of companies, we find statistically significant relationship between the C2C cycle time and the financial performances regardless of the size of companies. However, the significance is higher with the SME(Small and Medium size Enterprises). Further, ROA and operating profit rate of big companies do not show statistically significant relationship with days of inventory and days sales outstanding.

75 DEA를 이용한 자동차 부품업체의 공급사슬 성과측정

서욱환 · 임성목

We present a model for measuring the supply chain performance of parts manufacturers in the automotive industry. The performance measurement model is based on data envelopment analysis (DEA) with input and output factors selected considering the SCOR model and the automotive industry's characteristics; the proposed model can be differentiated from previous similar approaches in the literature by the fact that the main concept of the SCOR model is incorporated into the DEA model specification. The input factors selected include cost of goods sold, transportation cost, cash-to-cash cycle time, and inventory turnover. The output factors selected include sales and customer evaluation score. The proposed model is applied to the performance evaluation of 224 tier-1 domestic automotive parts firms. As a result of the evaluation, efficient and inefficient firms are distinguished, and the required improvements in terms of input and output factors for inefficient firms to attain efficiency are determined.

87 협력적 공진화 알고리즘에 기반한 다단계 공급사슬 네트워크의 설계

한용호

We consider a network design problem in a four

tier supply chain consisting of suppliers, plants, distribution centers and customers. We suggest a cooperative coevolutionary algorithm(CCEA) to solve the problem. First, the problem is decomposed into three subproblems for each of which the chromosome population is created correspondingly. Each chromosome in a population is represented as an integer denoting a supply node. Then an algorithm generating a solution from a chromosome representation is suggested. Also an algorithm evaluating the performance of a solution is suggested. Finally we set the operator of selection, crossover, and mutation. An experimental study is carried out to compare the performance of the CCEA with that of a genetic algorithm. The results show that the CCEA tends to generate better solutions than genetic algorithms.

97 Pick-and-Pass 오더픽킹에서 픽커 피로감축을 위한 주문처리 순서 결정문제

최원석 · 임석철

Pick-and-pass order picking is used widely for small but expensive products such as cosmetics, medicines, and healthcare products. In such picking, each picker picks items that are located in their own zone and passes the bin to the succeeding picker until all the orders are picked in sequence. In addition to the traditional objective of minimizing the makespan, in this study we consider the fatigue of the pickers, which we define to cumulatively increase as the picker has to work on the waiting bins without a break. Given a set of orders to pick, the fatigue of the pickers will depend on the sequence of the orders. We propose various heuristic rules for order sequencing to identify - using simulation - the rules that yield an order sequence which will reduce the total fatigue and deviation of fatigue among the pickers by evenly distributing the picking load for each picker over time.

111 보육시설의 식자재 구매 계약 과정에서 품질관리를 위한 경제 학적 분석

송승민 · 김태호 · 이유헌

This paper models and solves the principal-agent models for the procurement of food materials in child care centers when quality is perfectly observable and when quality is not perfectly observable in supply chain concentrating. When quality is perfectly observable by child care center as principal, the optimal solution is the first-best solution where the marginal utility of parents/children obtained from the quantity and quality supplied by supplier is equal to the

marginal cost to supply them. However, when quality is not perfectly observable to child care centers the optimal solution cannot be the first-best but the second-best where the sum of unit price and quality incentive is greater than the marginal cost to supply the quantity and quality and social welfare is reduced by the multiplication of the marginal cost of quality and the inverse of success rate function of cumulative distribution function of quality from that in the first-best optimal solution.

121 의약품 유통체계에 대한 국가간 비교 고찰

김수옥

This study will provide a design direction of the new system apposite to the current status of Korean Medical Supplies industry by identifying the strengths and weaknesses of the present distribution system for strengthen Korea medical supplies channel.

To achieve this, we have done a comparative analysis with developed countries. As a result, implications like, introducing medical supplies channel information systems of developed countries, price control, government participation in medical supplies market through transparent channel policies, constant work-out for medical supplies companies, regulation reinforcement by KGSP, building infrastructures and channel system improvement of medical supplies, distribution channel informatization, inspiring channel? transparency through changing industry structure of medical supplies, were drawn out.

137 공급사슬 파트너십이 기업성과 에 미치는 영향

김승철 · 홍진범 · 황수영

Electronics industry is known to have a complex network of suppliers, manufacturers and distributors. In order to be competitive, a firm must have a cooperative and efficient relationships with other firms in the upstream and downstream of its supply chain. It is important to build a supply chain partnership for a successful implementation of supply chain management. It is not, however, easy to have a good partnership with other firms because the firms often have different perspectives about the partnership.

This study attempts to find out the critical factors of partnership that have significant impacts on the supply chain performance, and whether there are any differences in perspectives between buyer company and supplier company in recognizing the critical factors of partnership. We collected data from two groups of firms in electronics industry: the buyer company group is a large finished products manufacturer and the supplier company

group comprised of a group of small-to-medium-sized parts manufacturers. Seven factors of partnership are tested in the investigation.

The results show that leadership, trust, and communication are important factors positively affecting the supply chain performance. It was also found that there was a clear difference in perspectives between buyer company and supplier company in recognizing the important factors affecting the supply chain performance. The buyer company considered leadership the most important factor for a successful SCM implementation and good performance while the supplier companies considered communication, trust, and coordination more important than leadership. These results may provide useful and important information for understanding the different perspectives of buyer and suppliers, and for developing proper supply chain policies.

151 핵심역량을 고려한 투자협상모 형의 개발

박창순 · 안선웅

In the process of investment negotiation, the investor and the enterprise have different opinions causing conflicts. Therefore, we need an objective standard to mitigate the conflicts between the investor and the enterprise, and need to make constant improvement to achieve a rational investment. Therefore, this paper presents an investment negotiation model which enables investment allocation regarding the core competences among companies. The presented model can mitigate the structure of conflicts between the investor and the enterprise considering idiosyncratic investment that is caused when the core competences is converted into power, and could be used in forming sustainable optimal alternatives in the process of dynamically changing negotiation.

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

투고논문 작성요령

1. 제출방법

투고자는 논문을 한글 또는 MS워드 작성하며, 글씨크기 11포인트, 2단 편집으로 작성하여 제출한다. 논문심사 후 게재가 확정되면 저자약력 및 사진이 포함된 최종본을 e-mail로 제출하여야 하며, 특수한 그림의 경우 전사가 가능한 상태의 그림을 별도로 1부 제출하여야 한다. (논문저자 중 한 명 이상은 한국SCM학회의 연회비 납부회원이어야 투고할 수 있다.)

• 제출처 : 한국SCM학회 사무국

(우)426-791 경기도 안산시 상록구 사3동 1271

한양대학교 산업경영공학과 내(5공학관 532호)

E-mail : kscm@kscm.org T. 031-438-5269, 400-4506

2. 제출절차

접수된 후 심사과정에 있는 논문의 철회를 저자가 원하는 경우 저자는 서면으로 편집위원장에게 철회요청서를 제출하여야 한다.

3. 표지 및 내용

논문 표지에는 논문제목, 저자명 및 직책, 소속기관, 대표저자의 우편번호, 주소, 전화 및 FAX번호, E-mail 주소만을 기입한다. (각 사항에 대한 영문을 병기하고 영문 성명은 이름 먼저 쓰고 성은 뒤에 쓴다.) 연구비의 지원을 받아 연구가 이루어진 논문의 경우 표지에서 밝힐 수 있다. 표지의 다음 쪽에는 저자명 및 소속기관을 기입하지 않고 제목부터 시작하여 영문요약(150단어 이내), 키워드(영문포함), 본문, 참고문헌, 부록 순으로 작성한다.

원고 작성시 본문과 그래프 등의 모든 것은 흑백으로 작성한다(컬러 그래프 사용 자제).

4. 영문작성

영문의 대문자는 고유명사나 문장의 첫 자 또는 고유명사의 약자 등에만 사용한다.

5. Abstract 및 키워드

영문으로 기입된 저자 소속 아래 150단어 이내의 영문요약(abstract)을 기입하고, 그 아래 Keywords를 기입한다.

6. 각주(footnote)

— 연구비의 지원을 받아 연구가 이루어진 논문을 알릴 경우
— 교신저자의 연락처를 기재하는 경우
상기 사항을 제외한 각주(footnote)는 사용하지 않는 것을

원칙으로 한다.

7. 저자구분

논문의 저자 기재 시 제1저자, 제2저자 순으로 기재하며, 교신저자의 경우 “†”로 이름 옆에 표기하도록 한다.

8. 번호매김

장이나 절은 아라비아 숫자로 1., 1.1, (1) 등으로 표기하며, 수식은 필요한 경우(1)등으로 매김을 한다.

9. 그림과 표

그림은 그림 1(Fig.1)등으로 표시하며 그림의 제목은 그림의 밑 중앙에 표기하고, 표는 표1(Table 1)등으로 표시하며 표의 제목은 표의 위 중앙에 표기한다. 모든 그림과 표는 본문의 적당한 위치에 삽입하고, 삽입이 어려운 경우는 논문의 맨 뒤에 첨부한다.

10. 수식표시

수식(formula)은 필요한 경우 번호를 부여한다.

(예) $y = a_1 x^2 + a_2 x + a_3$ (1)

11. 참고문헌

인용된 문헌은 () 안에 저자명과 연도를 본문 중에 명시하고 인용된 문헌의 전부를 본문 끝에 저자명의 순(국문, 영문 순)으로 일괄 기입한다. 학술지의 경우는 저자명(발행연도), 논문제목, 학술지명(이탈릭체), 권(호), 쪽수의 순으로 기입하고, 정기간행물이 아닌 문헌의 경우는 저자명(출판연도), 서명(이탈릭체), 출판수(2판 이상), 쪽번호 또는 장, 출판사명, 출판지역의 순으로 기입하되, 다음의 예를 따른다.

(예)

홍길동(1990), 한국의 SCM전략, 한국SCM학회지, 제1권, 제1호, pp. 12~22.

Hayes, R. and Pisano, G. P.(2000), SCM Strategy in Korea, *SCM Journals*, Vol. 11(4), pp. 25~41.

홍길동(1990), 한국의 SCM전략, 박영사.

이몽룡(역)(2000), *e-비즈니스 전략*, 헤이즈(원저), 법문사.

Hayes, R.(2000), *SCM Strategy in Korea*, 2nd ed., pp. 123 ~ 145, Prentice-Hall.

12. 논문 심사료 및 게재료

심사료는 5만원, 게재료는 10페이지(2단으로 편집된 최종 게재본 기준)를 기본으로 20만원이며, 10페이지 초과시 페이지 당 2만원.

<송금처>

신한 : 100-014-515276 (예금주 : (사)한국SCM학회)

영수증 발급

수거 차량의 실시간 리스케줄링을 위한 전략 및 평가

김동식 · 이영해[†]

한양대학교 산업경영공학과

Strategies and evaluation for real-time rescheduling of vehicle routing problem with pickups

Kim Dong Sik · Young Hae Lee[†]

Dept. of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Although typical vehicle routing problem with pickups operates at the initially planned route in static environment to pick the freight up, this study deals with new customer orders of pickups during vehicle routing so as to reschedule the routing plan. The strategies for real-time rescheduling are proposed, which are event-driven algorithm, periodic algorithm and hybrid algorithm to supplement the shortcomings of these two algorithms. The object function applied to this vehicle routing problem is the vehicle movement cost determined by the distance of vehicle movement to minimize the sum of fixed cost regardless of the vehicle movement distance. And in order to evaluate the performance of a newly planned vehicle route based on real-time rescheduling, performance measures are developed.

Keywords: Vehicle Routing, Rescheduling, Performance Measures

1. 서론

최근 차량의 운영과 관련된 물류환경은 혁신적인 정보기술의 발달로 인해서 시간과 장소에 제약을 받지 않고 언제 어디서나 정보를 획득할 수 있다. 따라서 실제 상황을 적극적으로 반영한 동적인 차량의 운영이 가능해졌다. 그러나 동적인 상황의 차량경로문제와 관련해서 하드웨어 측면이 가능해졌음에도 불구하고 아직까지 소프트웨어적인 측면에서 적합한 차량운영의 방법과 절차의 개발은 미흡한 실정이다. 차량경로문제(vehicle routing problem: VRP)는 외판원문제(traveling salesman problem)의

확장으로서 배송 또는 수거 서비스를 요구하는 모든 고객들을 목적에 따라 가장 효과적으로 방문하는데 필요한 최적경로를 결정하는 것이다(Ahuja et al., 1993).

차량경로문제의 목적함수와 제약조건은 달성하고자 하는 목표에 따라 다양하게 수립될 수 있으나 일반적으로 다음과 같이 나누어 질 수 있다. 목적 함수는 전체 운행 시간의 최소화, 투입 차량에 관련된 고정비용과 운영에 필요한 비용을 합한 총비용의 최소화, 또는 고객 서비스를 극대화하여 얻을 수 있는 수익의 최대화 등으로 나누어 질 수 있다. 이때, 제약조건으로는 차량 용량, 가용 대수, 차량 운행 시간에 대한 제한, 수요 지점의 수요량 등이 있다(Toth와 Vigo, 2002).

[†] Corresponding author: 426-791, 경기도 안산시 상록구 사3동 1271 한양대학교 산업경영공학과

TEL : 82-31-400-5262 FAX : 82-31-406-1089 E-mail : yhlee@hanyang.ac.kr

* 2011년 3월 22일 투고, 10월 11일 게재 확정.

차량경로문제에 대한 다양한 연구가 있으나, 가장 기본적인 모델은 어떤 차량이 어떤 순서로 고객을 방문해야 할 것인가를 결정하는 것이다. 이것은 방문해야 할 고객이 증가하면 각 차량의 최적경로 탐색은 지수적으로 증가하고 이는 NP-hard 문제에 속한다(Danzig와 Ramser, 1959).

일반적인 차량 경로 모델은 정적인(static) 상황에서 경로 구성으로 운영되기 때문에 급박하고 다양한 변화에 신속히 대응하지 못하는 단점이 있다. 시간과 장소를 제약하지 않는 유비쿼터스 환경에는 신속하고 효율적이며 실시간에 정보를 반영하는 경로 모델이 요구된다. 따라서 실시간 상황을 반영할 수 있는 경로 모델이 필요하며 실제의 상황을 반영할 수 있는 동적인(dynamic)경로 운영이 필수적이다.

차량이 지체되는 동적인 상황은 다양하다. 신호 대기와 특정지점의 병목 등 일정하게 발생하는 지체 요인과 날씨, 돌발사고 등 급작스런 지체 상황은 예측이 불가능 할 뿐 아니라 차량 소통도 쉽지 않을 것이다. 일반적인 차량 경로문제의 스케줄링은 특정 시간대별로 확보된 고객수요를 지역별로 경로를 구성해서 거리, 시간, 비용, 고객의 대기시간을 최소화하는 문제가 상당부분을 차지하고 있다.

동적 상황에서 depot에 접수된 배달 서비스를 실시간 경로에 반영하며 작업을 수행하는 차량경로문제에서, 여러 요인들로 인하여 스케줄링을 변경해야 하는 상황이 있을 수 있다. 특히 긴급한 상황이 발생해도 계획된 차량 경로를 변경 없이 운행하는 일은 차량경로운영에 큰 영향을 미칠 수 있으며 비효율적이다. 경제적으로도 많은 손실을 초래할 뿐 아니라 다양한 도로 및 현실 상황을 반영하지 못하는 문제를 안고 있다. 이러한 문제를 해결하는 대안으로 본 연구에서는 실시간에 작업이 이루어지는 수거차량 조건에 리스케줄링 방법을 적용해 문제에 접근한다. 특히 리스케줄 과정에서 특정 시간이나 특정 경로에 고객의 서비스가 집중되는 문제를 해결하기 위해 성과지표를 활용한다.

본 논문은 2장에서 기존연구와 문제점을 정의하고, 3장에서는 문제해결을 위한 수리모델과 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 본 논문에서 제시한 모델과 알고리즘의 적합도를 평가하며, 5장에서는 이해를 돕기 위한 예제 문제와 리스케줄링을 실시하는 과정에서 차량운행의 효율성과 보다 원활한 경로운행을 위해 차량 및 경로의 성과 측정과 평가를 하게되며 그 결과에 대해 논의한다. 마지막으로 6장에서는 논의된 내용을 기반으로 결론과 향후 과제를 제시한다.

2. 기존 연구

차량경로문제는 주어진 차량에 대한 제약조건이 없이 고객을

어떤 순서로 방문할 것인가를 결정하는 기본적인 모델을 확장하여 차량용량, 차량운행시간과 고객 방문 시간 등의 제약을 추가하여 발전되었다. 예를 들면, 고객의 방문하는 시간을 제약으로 하는 VRPTW(vehicle routing problem with time windows)는 차량이 고객의 서비스 요구의 하한 시간과 상한시간을 만족시키면서 경로를 결정하는 것이다(Solomon과 Baker, 1988). Cordeau et al.(2002)은 차량의 운행시간 제약의 범위 내에서 차고지에 대한 중복 방문이 허용되는 문제로서 MTVRP(multi-trip vehicle routing problem)를 제안하였다. Fagorhult(1999)는 단계별 실행 가능해를 찾고 마지막으로 partitioning problem을 해결하는 최적화 알고리즘을 제안하였다. Mosheiov(1998)는 수거와 배달이 동시에 이루어지는 경로문제에 있어 tour partitioning heuristics 알고리즘을 제안하였다.

수거와 배달이 요구되는 VRP 문제(pickup and delivery VRP, PDVRP)는 수거와 배달이 동시에 이루어지는 경우와 배달이 선행된 후 수거가 이루어지는 것으로 구분할 수 있다. Halskau와 Kim(2002)은 수거 화물에 관련된 해를 동일 차량이 같은 지점을 여러 번 방문하는 것을 허용하는 완화된 문제를 제시하였다. Gillett와 Miller(1974)는 sweep 알고리즘을 VRPB(vehicle routing problem with backhauls)에 적용하여 적재용량을 넘지 않을 때까지 지점들을 하나씩 삽입 후 차량의 적재용량이 넘게 되면 새로운 차량 경로를 나눈 다음 같은 작업을 반복하는 경로를 완성하였다. 이러한 VRPB 문제는 Malandraki와 Daskin(1992)이 시간흐름에 따라서 차량의 통행 변수가 변화하는 문제를 Nearest-Neighbor Search를 이용한 Heuristic 기법을 개발하였고, Yona, et al.(1987)은 Cutting Planes를 이용하여 VSP(vehicle scheduling problem) 문제로 접근하였다.

Toth와 Vigo(1997)가 분지한계법인 set covering exact algorithm 등을 이용해 귀로 화물(backhauls) 문제에 접근하였다. 일반적으로 귀로 화물문제나 배달과 수거가 혼재되는 경로 문제들의 경우 운행 상황이 정적이며 한번 계획된 경로를 변경하지 않고 작업이 이루어진다. 따라서 신속하고 빠른 서비스를 원하는 고객의 요구는 갈수록 커져가지만 기존의 정적인 모델은 이러한 요구를 반영하기에는 한계가 있다.

동적 상황을 위한 연구로는 Giaglis et al.(2004)는 실시간 휴대전화 기술을 결합하여 긴급 물류문제에 대해 미래의 추세를 제시하고 동시에 불규칙한 물류문제의 리스크를 리스케줄링을 통해 최소화 하는 문제를 다루었다. Li et al.(2009)은 Lagrangian heuristic을 이용해 차량 운행중 고장뿐만 아니라 차량경로 VRSP(vehicle rescheduling problem) 관련 운영비용, 기존 스케줄 취소 비용, 운행 취소비용 등의 문제를 다루었다. Li, et al.(2007)은 단일 Depot 상황에서 VRSP를 적용 차량의 고장, 교

통사고 등의 긴급 상황에서 처음 작성한 스케줄을 유지하는 의사 결정 지원 시스템(Decision support system)을 연구하였다.

그 밖에도 차량고장 관련, Wang et al.(2009)는 물류 배송과 관련 차량의 고장이나 교통사고 등의 상황에서 차량수리 완료후의 전략을 유전자 알고리즘을 이용해 다루었고, Abdennour와 Gerry(2003)은 시간제약 차량 경로문제(VRPTW)를 운반 적재도 함께 포함하는 삼각형화 해법을 이용해 다목적 최적해를 연구하고 리스케줄링을 파레토를 이용해 표현하였다. Zhao와 Liqin(2009)은 다수의 대리점을 포함하는 시스템하에서 운행 중 추가로 고객의 서비스가 발생하는 상황의 동적인 차량경로문제를 Multiple agent system 알고리즘을 이용하는 문제를 제안하였다.

갈수록 차량이 증가하고 운행 변수가 복잡해지는 현실에서, 차량 스케줄을 리스케줄링하는 요인은 다양하다. 차량고장, 긴급서비스, 도로통제, 차량사고, 근무시간 연장, 고객의 서비스 취소에 의한 방문 경로 변경등 다양한 원인을 들 수 있다. 따라서 신속한 고객 서비스와 경제적 손실을 줄이고 효율적인 경로 운영을 위해서 ‘real-time rescheduling vehicle routing problem (RRSVRP)’에 대한 연구는 매우 중요하다.

그림 1에서와 같이 VRP 리스케줄링 문제는 크게 정적 상황(static VRP)과 동적 상황(dynamic VRP)로 나누어진다. 실시간 리스케줄링 문제는 연속적(continous)으로 데이터를 갱신하는 방법, 일정한 시간 마다 갱신하는 주기적(periodic) 방법, 고객의 일정량 주문 발생 상황에 따른 event driven 방법, Hybrid 등으로 구분할 수 있으며, 특히 차량의 긴급 상황은 지체 시간에 관련된 다양한 경우를 가정 할 수 있을 것이다.

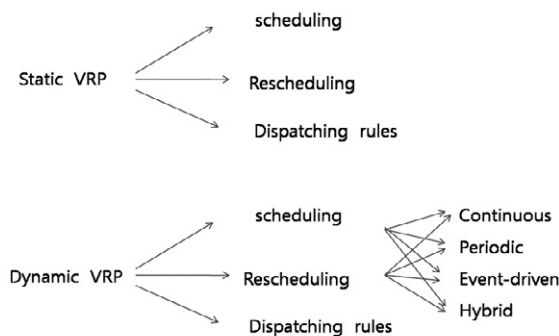


그림 1. VRP 문제와 리스케줄링 방법

본 연구에서는 고객 요청으로 발생하는 제품 수거 문제를 실시간으로 스케줄링을 갱신하는 RRSVRP 문제를 다룬다. 또한 갱신된 스케줄을 전체 경로에 반영하며 변동비와 고정비를 감소시켜 운행 효율을 높이하고자 한다. 처음 출발지에서 구성된 경로의 지점 i 에서 j 로 운행중에 신규로 발생하는 고객의 제품 수거 요구를 받

영하는 리스케줄링 방법을 사용한다. 전략은 세가지로 구분할 수 있으며, 첫 번째는 서비스 요구 수량이 일정 수량 발생될 때 마다 수행하는 사건발생(event-driven) 전략이 있다. 두 번째는 시간 h 마다 스케줄을 재 실시하는 주기적(periodic) 전략이 있으며, 세 번째로 두 가지 전략을 상호 보완하는 혼합(hybrid) 전략이 있다.

3. 수리 모델

본 논문에서 다루는 차량 경로 모델은 한 개의 거점과 n 개의 고객 노드 집합, K 대의 동일한 적재 용량의 차량으로 구성된다. 서비스의 유형은 각 구간마다 운행중인 차량에 발생하는 고객 서비스를 할당하며 차량은 고객 물품을 수거 Depot로 귀환한다. 각 노드에서 요구되는 수거량은 상이하며 총 운행 비용은 차량의 고정비와 운행 거리에 따른 변동비의 합이 최소가 되도록 한다. 여기서 고정비는 차량이 운행됨에 따라 이동거리에 관계 없이 추가되는 비용으로 운전자 임금, 차량 노후에 따른 감가상각비 등이 포함되고 변동비는 운행 차량에 대하여 이동 거리에 따라 비용이 증가하는 것으로 연료비, 고속도로 사용료 등이 포함된다.

차량 경로 문제에서 얻고자 하는 정보는 차량 경로 결정 및 차량할당, 각 차량 경로의 스케줄로서 각 차량이 어떤 경로를 통해 얼마만큼의 물량을 수거하고 Depot로 귀환하며, 그에 따른 경로 별 비용 및 총 운송비용이 얼마인지 파악한다. 또한 신규로 발생하는 고객서비스를 실시간으로 리스케줄링하여 해당 경로에 즉시 반영 운행할 수 있도록 하며 특정 시간 및 경로에 고객 서비스 집중을 완화 시키기 위해 운행 성과 지표를 활용한다.

3.1 모델

본 연구에서 다루는 모델은 하나의 depot와 수거서비스를 요청하는 다수의 고객 거점(Node)으로 구성되어 있는 RRSVRP 문제로 다음과 같은 가정을 하고 있다.

- 1) 초기 경로 구성은 주어진 데이터 좌표값을 기준으로 Seed Node를 분포시킨다.
- 2) Seed Node의 수는 차량의 수로 결정된다.
- 3) 각 차량은 수거만을 담당한다.
- 4) 모든 차량은 Depot를 출발하여 거점을 순회 후 다시 출발지 원점으로 돌아온다.
- 5) 출발 초기의 방문지점 수요는 사전에 알려져 있다.
- 6) 차량의 용량은 모든 차량이 동일하다.
- 7) 차량의 고정비와 변동비는 동일하다.

모델에서 사용하는 기호와 변수에 대한 정의는 다음과 같다.

고객 $i, j = 1, \dots, N$ (차고지: $i = 0$)

차량 $k = 1, \dots, K$ (K 는 차량의 총 대수)

V : 차량의 적재 용량

l_i^k : 차량 k 의 노드 i 도착시 적재 가능 용량

c_i : 고객 i 의 수요

d_{ij} : 고객 i 에서 j 까지의 거리

d_{kij} : 차량 k 가 고객 i 에서 j 로 방문을 표시하는 변수 (1 또는 0)

a_{ij} : 고객 i 에서 j 로의 운송량

g_k : 차량 k 의 시간당 변동비용

f_k : 차량 k 의 고정비

〈최적화 수리모델〉

본 연구에서 다루는 수리모델은 다목적 최적화 모델로 고정비용과 변동비 및 운행거리를 최소화하면서 총 적재량을 최대화하는 목적함수를 가진다. 가정에 의해 고객과 차량간의 관계와 차량 이동 및 적재용량에 대한 제약 조건을 만족하는 수리모델은 다음과 같다.

$$\text{Min} \{ (g_k \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \sum_{k=1}^K x_{kij} + f_k \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N x_{kij}) + (\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} x_{kij}) \}. \quad (1)$$

$$\text{Max} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K x_{kij} a_{ij} \quad (2)$$

Subject to

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N x_{kij} = 1 \quad \forall j (\text{단}, j \neq 0) \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^N x_{kij} = 1 \quad \forall i (\text{단}, i \neq 0) \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{kij} - \sum_{i=0}^N x_{kji} = 0 \quad \forall k, j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_i x_{kij} \leq V \quad \forall k \quad (6)$$

$$x_{kij} (l_i^k - c_i - l_j^k) = 0 \quad \forall k, i, j \quad (7)$$

$$c_i \leq l_i^k \leq V \quad \forall k, i \quad (8)$$

$$x_{kij} = 0 \quad \forall k, i \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N a_{i0} > 0 \quad (10)$$

$$a_{i0} = 0, \quad \forall i \quad (11)$$

$$x_{ijk} = \text{binary}, \quad \forall k, i, j \quad (12)$$

식 (1), (2)는 고정비용과 변동비용, 운행거리를 최소화하고, 적

재량을 최대화하는 목적함수이다. 식 (3)과 식 (4)는 한 대의 차량에 의해 각 고객은 서비스를 받아야 한다는 식이며, 식 (5)는 차량이 고객 i 를 서비스하였으면 그 차량은 다른 고객 j 를 서비스하기 위해 이동해야 한다는 것이다. 식 (6)은 차량의 적재용량을 초과하여 고객들의 물품을 적재할 수 없으며, 식 (7)은 운행경로상의 출발지와 도착지에서 가능한 차량의 용량은 같아야 함을 나타낸다. 식 (8)은 고객의 요구량 처리에 대한 제약식이다. 식 (9)는 차량이 한 지점에서 다시 돌아오는 순환 상황을 제약하는 식이며, 식 (10)은 차량이 depot에 귀환할 때 반드시 적재를 해야 하는 상황을 나타내며, 식 (11)은 차량이 Depot에서 출발시 공차 상태를, 식 (12)는 이진변수를 나타낸다.

4. 리스케줄링 전략

초기에 고객 서비스 요청에 의한 차량 운영경로를 적합도에 의해 할당 운행하며 실시간으로 접수된 고객의 수거 서비스를 비용 및 최단거리 원칙을 준수하며 리스케줄링 한다. 본 연구의 리스케줄링 문제를 해결하기 위해서 고객의 서비스 주문이 도착할 때마다 주기적으로 리스케줄링하는 periodic 알고리즘, 일정한 주문 수량이 도착할 때마다 새로운 리스케줄링을 실시하는 event-driven 알고리즘, periodic 과 event-driven을 동시에 고려하는 hybrid 알고리즘을 제시한다. 이와 비슷한 유형의 전략은 Vieira, Herrmann와 Lin(2000)이 빈번한 리스케줄링 상황에서 동적 제조시스템의 성과추진을 위해 사용하였다.

4.1 적합도

경로를 변경하는 것은 리스케줄이 이루어지는 과정으로 차량이 대기 행렬에 있는 고객을 할당 받아 노드 중 하나를 적합도를 적용하여 기존 경로를 운행중인 차량에 편입시킨다. 본 연구에서는 리스케줄링을 실시하는 과정에서 ‘적합도(fitness)’란 개념을 도입하여 할당된 고객의 위치를 평가한다. 적합도는 좌표 값에 의해 현재 할당된 고객이 운행중인 차량 중 어떤 경로에 할당되는 것이 유리한지를 판단하는 ‘좌표적합도’와 좌표적합도를 만족한 후 고객의 화물 적재량이 어떤 차량에 적합한가를 확인하는 ‘적재적합도’로 구성된다.

총 적합도(F_{kij}) 계산은 식 (13)에 의해 구한다. 이때 총 적합도는 현재 차량 위치 i 와 신규고객 j 간의 거리가 인접할 수록 더 적합한 좌표적합도와 차량의 적재량에 따른 적재적합도의 합으로 구성되며 값이 작을 수록 더 적합하다. 식 (14)는 신규 고객의 입장에서 각 차량의 해당 경로에 편입 될 때 지역적으로 인접한 좌

표적합도를 계산하기 위한 것이다. 식 (15)는 각 차량의 적재적합도를 계산하기 위한 것으로 FC_{ik} 가 크면 적재 여유가 크다는 의미이며 식 (16)은 binary를 나타낸다.

〈용어 정의〉

rd_{kij} : 노드 i 를 출발하여 노드 j 로 향하고 있는 차량 k 에서 현재 노드 j 까지 남은 거리

F_{ki} : t 시점에 i 노드의 k 차량에 대한 총 적합도

FG_{jk} : t 시점에 j 노드의 k 차량에 대한 좌표적합도

FC_{jk} : t 시점에 j 노드의 k 차량에 대한 적재적합도

(R_{xj}, R_{yj}) : 고객 j 의 x 좌표, y 좌표

(NR_{xj}, NR_{yj}) : 신규 발생한 리스케줄 대상 고객 j 의 x 좌표, y 좌표

R_{ks} : 차량 k 에 리스케줄링 되는 신규 고객들 집합

R_{in} : R_{ks} 에 신규 발생한 리스케줄 대상 고객 수

RC_{kij} : k 차량에 신규 발생한 고객 i, j 의 리스케줄 대상 고객의 적재량

c_{ij} : k 차량의 j 노드에서 실어야 할 적재량

V : 차량의 최대 적재량

D : 차량의 최대 운행거리

x_{kij} : 차량 k 가 i 에서 j 로의 방문을 나타내는 변수(1 또는 0)

$$F_{ki} = \frac{FG_{jk}}{D} + (1 - \frac{FC_{ik}}{V}) \quad \forall i, k \quad (13)$$

$$FG_{jk} = \left| \sqrt{(NR_{xi} - R_{xj})^2 + (NR_{yi} - R_{yj})^2} \right| \quad \forall i, j, k \quad (\text{단}, i \neq 0) \quad (14)$$

$$V - c_{kij} \quad \forall i, j, k (\text{단}, i \neq 0) \quad (15)$$

$$x_{ijk} = \text{binary}, \quad \forall k, i, j \quad (16)$$

4.2 Event-driven 전략

Event-driven 전략은 고객 주문수가 일정한 수에 도달할 때만 스케줄링을 갱신하는 전략으로 그림2에서 3개의 서비스 주문이 도착할 때마다 이루어진다. 즉 고객의 주문이 사전에 설정한 수 N 에 도달하면 시간 간격과 관계 없이 스케줄링을 갱신한다. 초기 경로 구성은 적합도에 의해 차량 수대로 Seed node를 발생시키며 Event-driven 전략에 의한 알고리즘은 다음과 같다.

Step1: 주문은 FIFO로 대기 행렬에 진입 후 수량 N 이면 단계 2로 아니면 계속 대기한다.

Step2: 각 좌표를 기준 차량 수대로 Node를 선정한다.

Step3: N 에 다시 도달하면 현재 운행중인 모든 차량의 현재

위치와 적재율을 파악한다.

Step4: 각 서비스의 좌표 적합도(작은값)을 계산한다.

Step5: 같은 서비스에 대해서 적재 적합도(큰값)을 계산한다.

Step6: 좌표 적합도와 적재 적합도를 적용 총 적합도(작은값)을 계산한다

Step7: 각 차량에 구해진 해를 할당한다.

Step8: 모든 차량의 할당이 끝나면 종료 아니면 Step3에서 Step7을 반복한다.

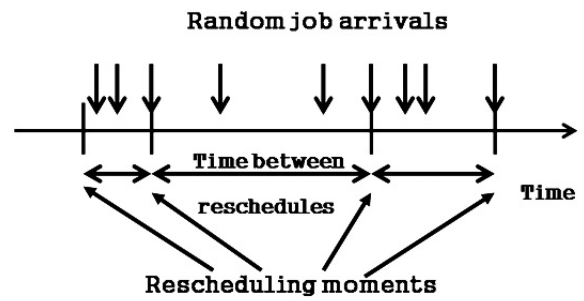


그림 2. Event-driven 전략

4.3 Periodic 전략

주기적 전략은 초기에 구성된 경로를 운행하는 과정에서 사전 계획된 일정 시간 h 에 도달하고 고객의 수요가 하나 이상 발생할 경우 경로 스케줄을 갱신한다. 그림 3은 시간 h 마다 적합도에 의해 리스케줄링이 이루어지며 초기 경로 구성은 Event-Driven 방법과 같으며, 알고리즘은 대기 수량 N 대신 시간 h 만 달라진다.

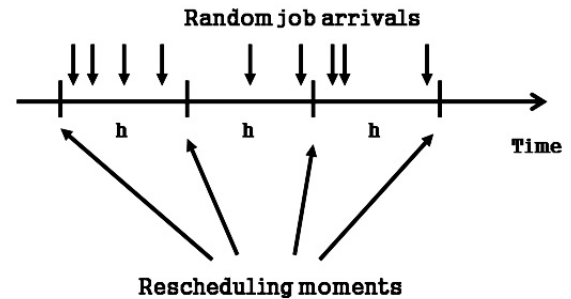


그림 3. 주기 전략

4.4 Hybrid 전략

그림 4와 같이 Event-driven 알고리즘은 사전에 약속한 수량

에 절대 의존하여 과도하게 시간이 소요되며 갱신이 지체되는 단점이 있다. 그리고 Periodic 알고리즘은 사전 예정된 시간에 묶여 대기 행렬이 길어지는 상황에서 갱신이 이루어지지 않는 단점을 가지고 있다. 이런 단점들을 완화시키기 위해 두 개의 전략을 순차적으로 적용하는 Hybrid 전략을 적용하고 알고리즘은 다음과 같다(그림 4 참조).

- Step1: 접수된 주문은 FIFO로 대기 행렬 진입 후 수량 N이면 단계2에 아니면 계속 대기한다.
- Step2: 각 좌표를 기준으로 차량 수대로 Node를 선정한다.
- Step3: N에 다시 도달하면 현재 운행중인 모든 차량의 현재 위치와 적재율을 파악한다.
- Step4: 각 서비스의 좌표 적합도(작은값)를 계산한다.
- Step5: 같은 서비스에 대해서 적재 적합도(큰값)를 계산한다.
- Step6: 좌표 적합도와 적재 적합도를 적용 총 적합도(작은값)를 계산 후 Step7이나 8로 간다.
- Step7: 각 차량에 구해진 해를 적용 후 할당이 끝나면 종료하고 아니면 Step8로 간다
- Step8: Step3 에서(N대신 시간h)를 Step6까지 반복 후 할당이 끝나면 종료 아니면 반복한다.

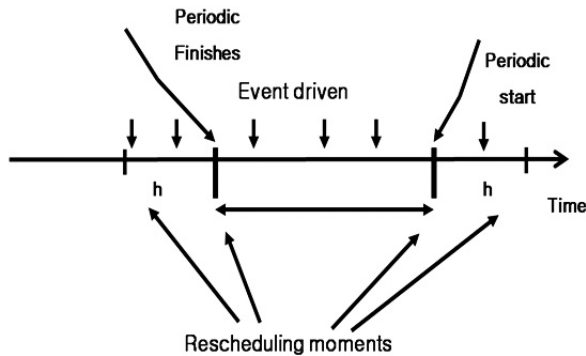


그림 4. hybrid 전략

5. 수치예제 및 결과

5.1 수치 예제

실험에 사용된 예제는 기존 논문 Wang et al.(2009)의 데이터를 변형하여 적용하였다. 한 개의 Depot에 20개의 서비스 요청 고객 노드, 차량은 4대로 구성되어 있으며 차량의 적재 용량은 160으로 동일하다. 각 차량이 운행할 수 있는 가용 거리는 200이며 한 대의 고정비는 \$1.5이며 1단위 거리를 운행하는데 드는 변

동비는 \$2이다.

처음 할당된 경로는 표 1 과 그림 5에 나타나 있으며 초기 리스케줄을 보여 주고있다. 두 번째 실행 시점의 총 좌표 값은 15개로 리스케줄 첫회에 대한 표 2, 그림 6에 의해 차량 별 경로를 보여 준다. 표 3, 그림 7은 데이터 5개를 추가하여 리스케줄 2회를 수행 후 종료한다.

표 4는 서비스 지점 20개에 대한 좌표 값과 함께 초기 경로부터 리스케줄 2까지의 노드 구성을 보여준다. 그림 6은 초기 경로를 4대의 차량에 할당해 결과를 그래프로 나타낸 것으로 전체 차량이 비슷한 상태로 운행한다. 각 차량의 출발 조건은 고객의 서

표 1. 초기 경로

Vehicle	Routes
1	0-1-9-10-0
2	0-2-7-8-0
3	0-3-6-0
4	0-4-5-0

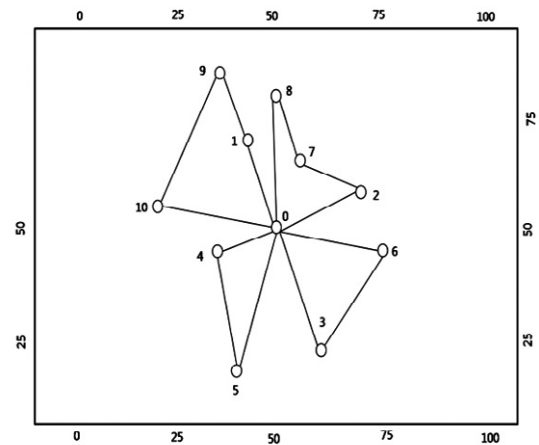


그림 5. 초기 운행경로

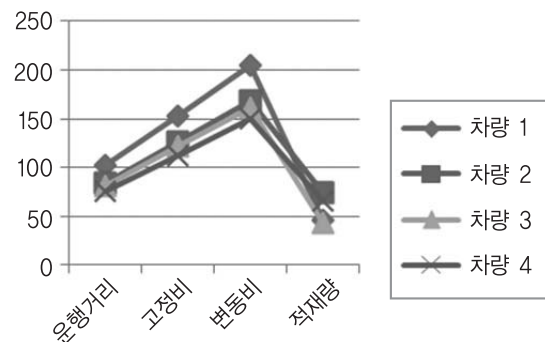


그림 6. 차량별 초기 경로에 대한 결과

비스 요청에 따라 실제 상황과조건에 의해 결정될 것이며 손익 분기점이나 운영자의 방침에 따라 결정될 수도 있을 것이다.

리스케줄의 횟수를 더해가며 차량 별로 다소의 차이는 보이지만 운행거리와 차량별 할당량은 수치가 비슷하게 변화됨을 확인할 수 있다. 운행거리와 적재량은 지역적 적합도와 적재 적합도의 적용 과정에서 각각의 경로에 고르게 분포할 수 없기 때문에 때로

표 4. 경로별 좌표값

Customer	xi	yi	수거량
0	50	50	0
1	1	43	70
2	2	70	58
3	3	60	23
4	4	40	19
5	5	70	94
6	6	35	45
7	7	16	81
8	8	75	45
9	9	10	69
10	10	55	65
11	11	25	30
12	12	50	80
13	13	35	85
14	14	80	29
15	15	20	55
16	16	12	47
17	17	52	90
18	18	57	85
19	19	57	10
20	20	15	28

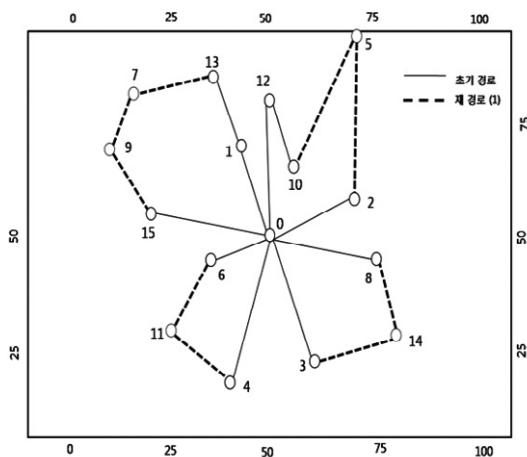


그림 7. Rescheduling 경로1

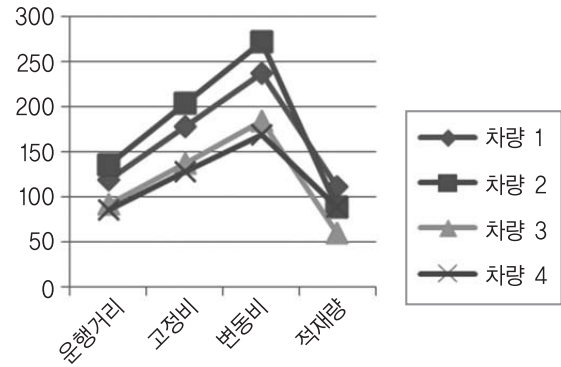


그림 8. 차량 별 Rescheduling 1

표 2. Rescheduling 경로 1

Vehicle i	Routes
1	0-1-13-7-9-15-0
2	0-2-5-10-12-0
3	0-8-14-3-0
4	0-6-11-4-0

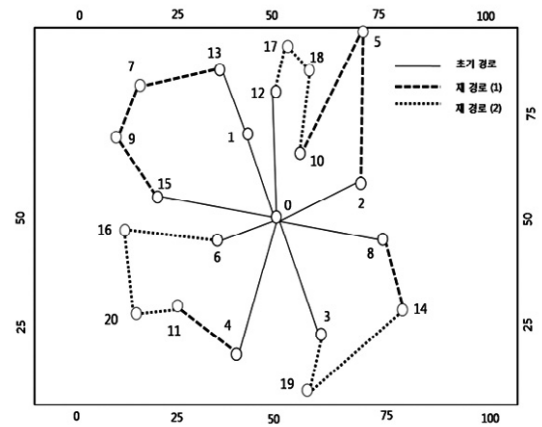


그림 9. Rescheduling 경로 2

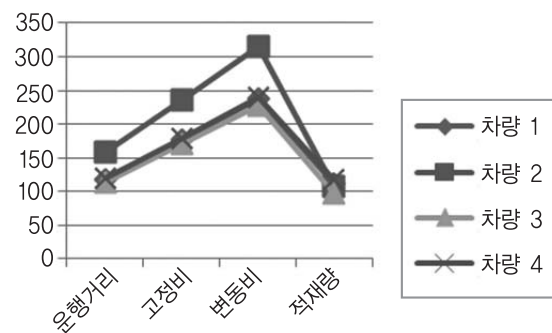


그림 10. 차량 별 Rescheduling 2

표 3. 재경로 2

Vehicle i	Routes
1	0-1-13-7-9-15-0
2	0-2-5-10-18-17-12-0
3	0-8-14-19-3-0
4	0-6-16-20-11-4-0

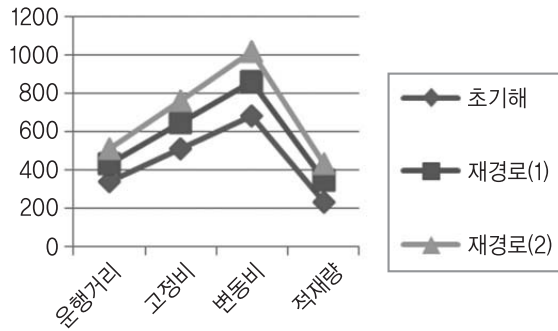


그림 11. 리스케줄 최종 결과

표 5. 운행 최종 결과

분류	초기 해	리스케줄(1)	리스케줄(2)
총운행거리	341.83	431.59	509.93
고정비	512.74	647.38	764.9
변동비	683.65	863.17	1019.86
적재량	228	349	433

는 특정 경로에 집중 될 수 있는 문제점이 발생 할 수 있다. 그러므로 일정 수량이나 시간의 변화에 제한을 두고 인접 경로에 임의 할당하는 방법이 필요하며 본 연구에서는 성과 지표를 이용하는 방법을 제시한다.

표 1과 표 2의 할당된 노드 수에 따라서 그림 5, 그림 7과 같이 변화된 경로를 보이며 결과에 따라 구하고자 하는 목적 함수 값도 함께 변화해 간다. 초기 최적화된 경로에서 리스케줄링이 1회, 2회 증가 할수록 지역적 조건이나, 시간 등 다양한 변수에 의해 변화된 과정을 볼 수 있다. 그림 10은 리스케줄을 2회 실행 후 차량 별 운행거리, 고정비, 변동비, 적재량을 보이고 있다. 그림 11은 스케줄 순서에 따라 목적 함수의 변화 값을 표 5는 초기 경로에서 리스케줄 경로 1, 2까지를 실행 후 결과를 표로 보여주며 총운행거리, 변동비, 고정비, 적재량을 순서대로 나타내고 있다.

5.2 결과 분석을 위한 평가 지표

동적 상황에서의 차량 경로문제는 고객 정보를 일시에 미리 제

공 받지 못하고 운행 작업 수 시간 전 이나 할당 직전에 확인된다. 따라서 경로 계획을 사전에 수립할 수 없기 때문에 일정 시간이나 몇 개의 주문이 충족 될 때마다 운행 경로를 결정하게 되며, 운행 경로를 일시에 계획할 수 있는 상황에 비해 최적 경로를 구하거나 운행 시간을 최소화 하는 문제에 있어 불가피한 제약조건이 따른다. 특히 일정 시간 특정 지역에 고객의 서비스 요구가 집중되거나 적재량이 편중되게 된다면 경로를 계획하거나 운영하는 과정에서 의사 결정은 어려움이 가중될 것이다.

이러한 치명적 문제들을 해결하기 위한 첫 번째 방법으로 특정 차량 특정 경로에 고객 서비스가 집중되는 상황을 해결하기 위한 방법으로 운행 중 특정 시점에 최대 운행 가능 거리에서 차량의 현재까지의 운행한 거리를 근거로 남은 운행 거리를 비교 할 수 있다. 이런 결과를 바탕으로 각 차량 별 부하의 정도를 판단 상대적으로 여유 차량에 서비스를 분산 시키는 전략을 제시 할 수 있다. 이를 위한 식 (20)의 경로 n 의 '거리 할당율'과 '경로 거리 총 할당율'을 활용 할 수 있으며, 할당 후 효과 측정을 통해서 할당 전 후의 정도를 비교 판단 할 수 있다.

두 번째는 특정 차량에 적재량이 집중된 정도를 판단하는 식 (21)의 경로 n 의 '적재 할당율'과 식 (23) '적재 할당 후 효과'를 이용 할 수 있다. 같은 방법으로 경로 총 적재를 식 (17)과 경로 적재 할당 후 효과 식 (19)을 통해서 경로 전체의 적재의 분산이나 집중에 대한 정보를 얻을 수 있을 것이다. 따라서 성과 지표를 활용해 리스케줄 매 순간마다 각 경로 n 과 전체 경로의 서비스 집중, 분산, 처리 등의 정보를 제공 할 수 있다.

또한 향후 운행의 문제점을 해결하기 위해서는 운행 중에 얻어진 데이터를 분석해 앞으로 운행될 경로에 정보를 제공할 수 있으며 최종적으로 경로 운행이 종료된 후에도 향후 경로 작업이나 연구에 있어서 중요한 자료로 활용 될 수 있을 것이다. 본 평가 지표는 전체 경로의 거리 및 적재량의 할당률과 표 7의 해당 경로에 리스케줄이 실행 된 후 확인할 수 있는 경로 할당 후 효과, 각 경로 n 의 할당률과 할당 후 효과(표 7)을 판단하는 지표를 다음과 같은 기호로 정의한다.

T : 경로를 운행하는 모든 차량의 전체 가능 거리

T_{sd} : 경로 전체 차량의 시간 t 까지 총 서비스 거리

T_i : 경로를 운행하는 모든 차량의 가용 총 적재량

T_{sd} : 경로 전체 차량의 시간 t 까지 총 서비스 적재량

S_{ij} : 경로 i 에서 j 까지 서비스 거리

S_j : 서비스 거리 j

S_{ij} : 경로 i 에서 j 까지 서비스 적재량

S_{ji} : 노드 j 의 서비스 적재량

RT_{sd} : 경로 n 의 t 시점까지 서비스 거리

RT : 경로 n 의 총 운행 가능 거리

RT_{sl} : 경로 n 의 t 시점까지 총 서비스 적재량

RT_l : 경로 n 의 최대 가용 적재량

의사 결정을 위한 리스케줄링 지표는 거리 및 적재 할당과 할당 후 효과로 전체 경로를 나타내는 경로 총 거리 할당률 (RD_{ar}) 식 (18), 경로 총 적재 할당률 (RL_{ar}) 식 (19), 경로 거리 할당 후 효과 (RD_{ae}) 식 (20), 경로 적재 할당 후 효과 (RL_{ae}) 식 (21), 경로 n 의 거리 할당률 (RD_{nar}) 식 (22), 경로 n 의 적재 할당률 (RL_{nar}) 식 (23), 경로 n 의 거리 할당 후 효과 (RD_{nae}) 식 (24), 경로 n 의 적재 할당 후 효과 (RL_{nae}) 식 (25)로 정의 하며 각 지표의 할당 후 효과 값이 작을 수록 해당 노드의 거리 값이나 적재량이 크기 때문에 서비스 집중을 의미한다. 지표 값이 1일 경우 해당 노드는 서비스 할당이 없음을 의미 한다.

$$RD_{ar} = \frac{T_{sd}}{T} \quad (18)$$

$$RL_{ar} = \frac{T_{sl}}{T_l} \quad (19)$$

$$RD_{ae} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n 1 - \frac{S_{ij} - S_i}{T} \quad (20)$$

$$RL_{ae} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n 1 - \frac{S_{ijt} - S_{it}}{T_l} \quad (21)$$

$$RD_{nar} = \frac{RT_{sd}}{RT} \quad (22)$$

$$RL_{nar} = \frac{RT_{sl}}{RT_l} \quad (23)$$

표 6. 경로 n 의 성과 지표

	경로	1	2	3	4
경로 n 의 거리 할당률	초기할당	0.511	0.42	0.405	0.375
	리스케줄 1	0.593	0.68	0.46	0.425
	리스케줄 2	0.593	0.788	0.571	0.598
경로 n 의 적재 할당률	초기할당	0.353	0.493	0.287	0.467
	리스케줄 1	0.74	0.593	0.4	0.593
	리스케줄 2	0.74	0.72	0.647	0.78
경로 n 의 거리할당 후 효과	초기할당	-	-	-	-
	리스케줄 1	0.918	0.74	0.95	0.95
	리스케줄 2	1	0.89	0.889	0.83
경로 n 의 적재할당 후 효과	초기할당	-	-	-	-
	리스케줄 1	0.613	0.9	0.887	0.873
	리스케줄 2	1	0.873	0.753	0.813

$$RD_{nae} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n 1 - \frac{S_{ij} - S_i}{RT} \quad (24)$$

$$RL_{nae} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n 1 - \frac{S_{ijt} - S_{it}}{RT_l} \quad (25)$$

표 7. 총 경로 할당 지표

	거리 할당률	거리 할당 후 효과
초기 할당	0.426	-
리스케줄 1	0.539	0.888
리스케줄 2	0.638	0.901
	적재 할당률	적재 할당 후 효과
초기 할당	0.4	-
리스케줄 1	0.582	0.802
리스케줄 2	0.722	0.86

6. 결론 및 향후 연구

본 연구를 통해서 차량 경로의 리스케줄링 문제는 기존의 다른 스케줄링 문제와 비교해 고려할 수 있는 대안이 제한적이지만 신속하게 효율성을 요구하는 DVRP 환경에서 리스케줄링의 필요성은 중요한 이슈가 되고 있다. 특히 긴급 상황에서의 Pick-up이나 공공 기관에서의 해당 지역 민원인에 대한 각종 수거물을 비롯해 기업 활동에서 지역적으로 분포되어 있는 외주 업체로부터 납품 물량을 일정 기간이나 시간마다 수거하는 차량 역시 리스케줄링의 대상이 된다. 리스케줄링은 신속성과 대응성 등 수시로 변화하는 고도의 서비스 사회에서 불가피한 선택일 수 밖에 없다.

하지만 리스케줄링의 경우 노드의 수가 많아질 수록 초기에 지나는 경로를 중복해서 운행해야 하는 상황이 빈번 할 수 있으며 본 연구의 전략이 비용이나 운행거리가 증가하는 원인은 서비스 비용을 증가시켜 고객의 입장에서 지출을 늘리는 결과를 초래할 것이다. 특히 빈번한 리스케줄링으로 인한 해당 업무자의 시간 비용이 증가한다는 점도 간과할 수 없을 것이다. 그러므로 리스케줄링 횟수가 증가하면 할수록 비용이 증가하는 문제를 피하기 어렵다. 이는 정적인 상황에서 일회성 경로 스케줄을 완성 운행하는 방법에 비해 운행 거리나 비용이 커지는 단점도 있다.

periodic 알고리즘은 시간 속성에 의존하므로 고객의 수요가 과도하여 대기 행렬이 길어지는 상황에서도 고객의 서비스 수요를 신속히 반영하지 못하거나 반대로 고객의 서비스 수요가 작은 상황에서도 빈번하게 리스케줄을 수행하여 운영 비용 증가와 불합리를 초래할 수 있다. Event-driven 알고리즘은 시간이 지체되는 상황에서도 고객 서비스 수량만을 의존하므로 시간이 과도

하게 경과되어도 먼저 도착한 고객 서비스를 반영하지 못하는 문제점도 있다. 예제에 적용한 Hybrid 알고리즘은 두 가지 알고리즘의 단점을 보완하여 보다 효율적이며 합리적인 고객 수요를 반영할 수 있지만 특정 시간 특정 경로에 서비스가 집중되는 경우에는 적용한 알고리즘으로는 한계가 있다. 표 6과 표 7은 그와 같은 단점을 보완하기 위해 서비스를 할당하는 과정에서 리스케줄링 전과 후의 변화를 평가 지표를 통해 얻은 값으로 적용 알고리즘의 보완적인 판단에 도움을 준다. DVRP는 고객에게 보다 신속한 서비스를 제공할 수 있으며 운행 중 고객의 서비스 취소 및 고장 상황 등 다양한 변화를 유연하게 처리할 뿐 아니라 대응성을 향상시킨다는 점은 의미가 크다고 할 수 있겠다. 향후 연구로는 적용한 차량 경로 문제를 응용해 다양한 유형의 경로 문제의 실시간 리스케줄 문제로 확대 적용해 동일 기종의 차량뿐만 아니라 이기종 차량, 다회방문, 시간 제약의 상황등에도 폭 넓게 적용을 고려할 수 있을 것이다. 그 밖에도 생산 및 물류 현장에서 무게도 운반용 로봇 시스템의 실시간 리스케줄 문제에 적용해 다양한 접근을 시도할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Abdenmour E., Rhalibi and Gerry K. (2003), "An Approach to Dynamic Vehicle Routing Rescheduling and Disruption Metrics," *IEEE*, Part C., pp. 3613-3618.
- [2] Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., and Orlin J. B. (1993), *Network Flows*, Prentice Hall, New Jersey.
- [3] Cordeau, J. F., Desaulniers, G., Desrosiers, J., Solomon, M. M., and Soumis, F. (2002), "VRP with Time Window," In: Toth, P., Vigo, D.(Eds.). *The Vehicle Routing Problem*, SIAM Philadelphia, pp. 157-193.
- [4] Danzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959), "The Truck Dispatching Problem," *Management Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 80-91.
- [5] Fagerhult, K. (1999) "Optimal Fleet Design in a Ship Routing Problem," *International Transaction in Operational Research*, Vol. 6, pp. 453-464.
- [6] Gillett, B. and Miller L., (1974), "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem," *Operational Research*, Vol. 22, pp. 340-349.
- [7] Gribkovskaia, I., Halskau, O., and Myklebost, K. (2002), "Models for Pick-up and Deliveries from Depots with Lasso Solutions," Working Paper, Molde University College, Norway.
- [8] Giaglis, G. M., Minis, I., Tatarakis, A. and Zeimpekis, V. (2004), "Minimizing Logistics Risk Through Real-Time Vehicle Routing and Mobile Technologies: Research to Date and Future Trends," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 34, No. 9, pp. 749-764.
- [9] Hill, A. V. and Benton, W. C. (1992), "Modeling Intra-City Time-Dependent Travel Speeds for Vehicle Scheduling Problems," *Journal Research Society*, Vol. 43, No. 4, pp. 343-351.
- [10] Zhao H. and Liqin C. (2009), "Dynamic Vehicle Routing Based on MAS," *IEEE/ DOI International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops Third*.
- [11] Li J. Q., Mirchandani, P. B. and Denis B. (2009), "A Lagrangian Heuristic for the Real-time Vehicle Rescheduling Problem," *Transportation Research*, part E 45, pp. 419-433.
- [12] Li J. Q., Denis B., and Mirchandani, P. B. (2007), "A Decision Support System for the Single-depot Vehicle Rescheduling Problem," *Computer & operation research*, Vol. 34, pp. 1008-1032.
- [13] Mosheiov, G. (1998), "Vehicle Routing with Pick-up and Delivery: Tour-Partitioning Heuristics," *Computer and Industrial Engineering*, Vol. 34, No. 3, pp. 669-684.
- [14] Malandraki, C. and Daskin M. S. (1992), "Time Dependent Vehicle Routing Problem: Formulation, Properties and Heuristic Algorithms," *Transportation Science*, Vol. 26, No. 3, pp. 185-200.
- [15] Solomon, M. and Baker, E. K. (1988), "Scheduling Problems with Time Window Constraints: Efficient Implementations of Solution Improvement Procedures," In *Vehicle Routing: Methods and Studies*, B. L. Golden and A. A. Assad (eds.), pp. 85-105.
- [16] Toth, P. and Vigo, D. (1997), "An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls," *Transportation Science*, Vol. 31, No. 4, pp. 372-385.

- [17] Toth, P. and Vigo, D. eds. (2002), The Vehicle Routing Problem, *SIAM*, Philadelphia.
- [18] Vieira, G. E., Herrmann, J.W. and Lin, E. (2000), Predicting the Performance of Rescheduling Strategies for Parallel Machine Systems, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 19, No. 4, pp. 256-266.
- [19] Wang X., Wu X., Wang Z., and Hu X. (2009), "A Model and an Improved Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Break-down Vehicle," *IEEE, C*, pp. 696-699.
- [20] Yona, C. A. et al. (1987), "Vehicle Routing at Quality Stores," *Interface*, Vol. 17, No. 2, pp. 52-63.



김 동 식

서경대학교 산업공학 학사
 한양대학교 산업대학원 석사
 현재 : 한양대학교 대학원 박사과정
 관심분야 : SCM, VRP, Scheduling,
 Simulation



이 영 해

고려대학교 산업공학과 학사
 일리노이대학교 산업공학과 석사
 일리노이대학교 산업공학과 박사
 현재 : 한양대학교 산업경영공학과 교수
 관심분야 : SCM, 물류관리, 시뮬레이션

복도형 오더피킹시스템의 개미집단 최적화 휴리스틱과 그래프 최적화 알고리즘

조승용 · 장호영 · 최경일[†]
한국외국어대학교 산업경영공학과

Ant Colony Optimization Heuristic and Graph Optimization Algorithm of an Aisle-Based Order Picking System

Seungyong Cho · Hoyoung Chang · Kyungil Choe[†]

Department of Industrial and Management Engineering, Hankuk University of Foreign Studies

For aisle-based order picking systems the travelling times of pickers are crucial to the productivity of the whole system. We consider two aisle routing policies: the graph optimization algorithm (GOA) and the ant colony optimization (ACO) heuristic. The GOA gives an optimal tour but needs to be changed depending on the layout of aisles. On the other hand, the ACO heuristic may not yield optimal tours but turns out to be effective and flexible. Comparing two methods by real data, our ACO heuristic can generate fairly good solutions within a few seconds.

Keywords: aisle routing; order picking; graph optimization algorithm; ant colony optimization

1. Introduction

The efficiency of order picking is critical to the productivity of distribution centers or warehouses (Tompkins et al., 2003). Depending on the equipment and order profiles of the distribution center, there are a number of alternatives to improve order picking processes - see Sharp et al. (1991), De Koster et al. (2007), and Gu et al. (2010) for various issues and comprehensive literature reviews. For aisle-based order

picking systems (ABOPS), the travelling times of pickers are estimated as much as 50% of total order picking times (Tompkins et al., 2003). Therefore, the major issues in the operation of ABOPSs with in-the-aisle picking include how to minimize travelling times.

One of the major food and beverage companies in Korea has several regional distribution centers (RDC) to supply a number of retailers. The RDC located in a southern province operates an ABOPS, where a picker with a forklift drives along the aisles of the rectangular layout as shown in Figure

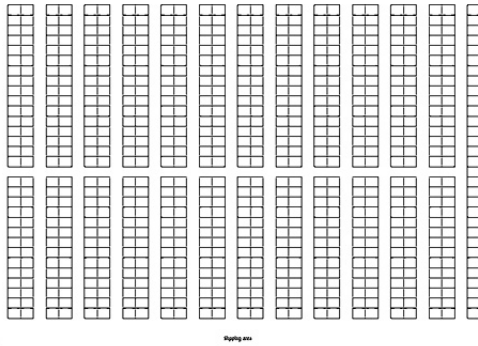
This research was supported by the Hankuk University of Foreign Studies Research Fund of 2011.

[†] Corresponding Author : Department of Industrial and Management Engineering, HUFS, Gyunggi-Do Yongin-Si Korea.

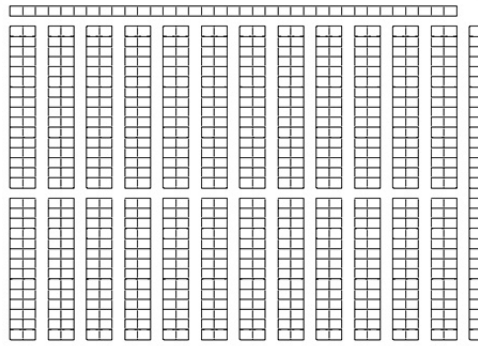
Tel : 82-31-330-4093 Fax : 82-31-334-2522 E-mail: kichoe@hufs.ac.kr

* 2011년 4월 16일 투고, 5월 9일 게재 확정.

1(a). It is different from the most common layout as shown in Figure 1(b), because of rear (or upper) cross aisles with stock locations. The warehouse management system (WMS) of the RDC provides pickers with picking lists or picking sequences which are supposed to reduce travelling times. The pickers of the RDC, however, are not satisfied with the quality of picking tours in use. The WMS, a part of an off-the-shelf package, seems to use a kind of greedy heuristics which are simple but inefficient in general.



(a) The typical layout of an ABOPS with middle cross aisles



(b) The layout of the RDC

Figure 1. Layouts of ABOPSs

The aisle routing problem is a special case of the travelling salesman problem (TSP), one of the famous NP-hard problems. The unique nature of aisle routing, however, makes it solvable in polynomial times. Ratliff and Rosenthal (1983) develop the graph optimization algorithm (GOA) which can find an optimal picking tour in the most basic layout: a rectangular picking area contains cross aisles only at the both ends of vertical aisles. Roodbergen and De Koster (2001) extend the GOA to a layout with middle cross aisles as shown in Figure 1(b). For a typical real-sized problem, the GOA

usually finds an optimal tour within a second.

Although the GOA is very effective and quick, it has several drawbacks. First, its optimality depends on the layout. For our problem, we have to modify the GOA, because our picking area has cross aisles with storage locations. However, it could be too tedious to find all modifications required whenever the layout is changed. Second, picking sequences can be subject to some constraints which are very difficult to be imbedded in the GOA. Therefore, heuristics are more widely used in practice than the GOA.

There is a wide spectrum of aisle routing heuristics - see De Koster et al. (2007) for a complete review on the design and operation of ABOPSs. At one end of the spectrum, there are simple routing rules such as the S-shape heuristic, the mid-point heuristic, and the largest-gap heuristic. At the other end, there are more sophisticated heuristics such as simulation annealing (Ho and Tseng, 2006) and TSP heuristics (Theys et al., 2010).

The ant colony optimization (ACO) heuristic is one of the meta-heuristics effective to routing problems: see Dorigo and Blum (2005) and Dorigo and Stutzle (2010) for its comprehensive review. It is inspired by the foraging and indirect communication behaviour among ants by a chemical called as pheromone. Ants are known to choose a path at a junction by comparing the levels of pheromone accumulated. A shorter path has usually higher pheromone trails, because it is more likely that, in a given time interval, they move more frequently along a shorter path than longer one. The ACO heuristic is applied first to the travelling salesman problem, and then to various problems including vehicle routing problems, scheduling problems, and so on. Our experiences on ACO heuristics imply that they are very flexible for representing additional constraints, and quick to find 'fairly' good solutions for routing-type problems (Cho and Choe, 2010). Hence it seems to be a logical alternative for aisle routing in real ABOPSs.

This study focuses on the application of ACO to the aisle routing problem by using the real data. In the next section, we explain the details of our ACO heuristic. Section 3 summarizes the GOA modified for our layout to find optimal tours. Section 4 compares the ACO heuristic with the GOA. Conclusions and remarks are given in the last section.

2. ACO for Aisle Routing

In the ACO heuristic, an ant is supposed to find a picking tour for a given set of picking locations. We use ants as many as the number of picking locations so that the starting point of an ant is pre-assigned to each picking location. The notation is as follows:

τ_0 = the basic amount of pheromone

τ_{ij} = the pheromone trail of path (i, j)

η_{ij} = the distance of path (i, j)

N_i^k = the set of picking locations not visited yet by ant k at location i

P_{ij}^k = Prob{an ant k at location i selects location j}

T^k = the picking tour generated by ant k.

Starting from its pre-assigned starting location, the next location is selected by the state transition rule (STR). It is a pseudorandom proportional rule (Dorigo et al., 1999) which either deterministically selects the next picking location with probability q_0 (a parameter usually determined by pre-experiments), or randomly selects one with probability $1 - q_0$. Note that q_0 represents the relative importance of extending the search space: the smaller q_0 , the higher the probability that we can find a radically different tour from previous ones. Suppose that ant k is now at picking location i , and that q is a uniform random number in $[0, 1]$. If $q \leq q_0$, the next location j is determined by (1):

$$j = \arg \max_{i \in N_i^k} \tau_{ij} \eta_{ij}^\beta \quad (1)$$

where β , is the distance-influence parameter. If $q > q_0$, then the next node is randomly selected by the probability distribution defined as follows:

$$P_{ij}^k = \frac{\tau_{ij} \eta_{ij}^\beta}{\sum_{i \in N_i^k} \tau_{il} \eta_{il}^\beta} \quad \text{for } j \in N_i^k \quad (2)$$

An ant completes a picking tour as it returns to its starting location. Now the next ant searches from its pre-assigned location, and so on. The new best tour is compared with the current best one, after every ants of the colony find tours. The algorithm stops either if the improvement is insignificant or if the pre-set number of iterations is reached.

We need to describe two key rules in the ACO heuristic; the Local Update Rule (LUR) and the Global Update Rule (GUR). The LUR is performed immediately after an ant selects the next picking location. It intends to reduce the pheromone trail of the newly selected path so that the path becomes less desirable for following searches. Representing the pheromone evaporation, the pheromone trail can be updated as follows:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \xi) \tau_{ij} + \xi \tau_0 \quad (3)$$

where ξ is the evaporation rate, and τ_0 is usually set to the reciprocal of the total length of a feasible tour (in our experiment, a feasible tour is generated by the nearest neighborhood heuristic). In this way, the LUR can expand the search space.

The GUR is applied when a new best tour is found. It increases the pheromone trails of every paths belonging to the new best tour, T^* , as follows:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{ij} + \rho/D^* \quad (4)$$

where ρ is the global update parameter, and D^* is the total distance of the tour. The GUR encourages ants to find better paths around the new best tours rather than totally different ones. Finally, our heuristic can be summarized as Figure 2.

```

Initialization
  Initialize all parameters and ants
Main loop
  For e = 1 to n {n: the number of epochs}
    For k = 1 to m {m: the number of ants}
      Repeat
        Select the next location by the STR
        Update pheromone trails by the LUR
      Until all locations are visited by ant k
    End for each
    Find S' {S': the best tour of this iteration}
    If D' < D*, S* ← S' and update by the GUR
  End for each

```

Figure 2. The ACO heuristic

3. Optimal Tours by the GOA

The GOA generates an optimal tour. It enumerates all picking tours by the principle of dynamic programming by representing the picking locations and rectangular layout as a graph of edges and vertices. Constructing a picking tour takes gradual steps from lower left to upper right adding aisles and picking locations to the current partial tour or the partial tour subgraph (PTS). The algorithm is complete if all picking locations and the I/O point are included in the picking tour graph.

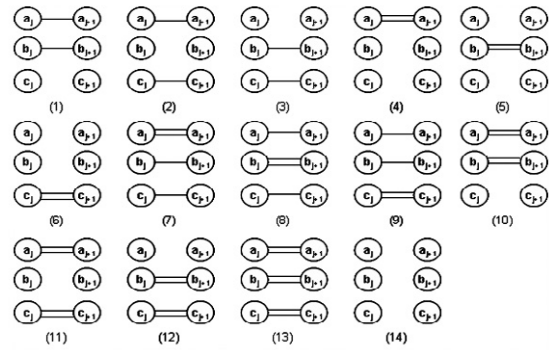
Using the terminology of dynamic programming, the states of our problem are defined as the equivalent classes of PTSs. Suppose that we finish the construction of PTSs with picking locations in aisles up to $j-1$, and now trying to adding subaisles and picking locations in aisle j . The equivalent classes can be defined as a quintuplet, say $(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon)$: α = the degree parity of the upper aisle junction (a_j), β = the degree parity of the middle aisle junction (b_j), γ = the degree parity of the lower aisle junction (c_j), δ = the connectivity, and ε = the distribution of a_j , b_j , and c_j over the components. The degree parity of a vertex indicates whether the number of edges associated with the vertex is odd, even or zero: ‘ u (uneven)’ if it is odd, ‘ e ’ if even, and ‘0’ if zero. The connectivity of a PTS indicates the number of its connected components: it must be from 1 to 3. The distribution of a_j , b_j , and c_j over the components indicates which of a_j , b_j , and c_j are contained in the same component. We will explicitly notify only the three cases of distributions as follows: $a-bc$, $b-ac$, and $c-ab$ (e.g., $a-bc$ means that a_j is in one component, and b_j and c_j are in the other). Other cases are not shown in the quintuplet, because there is only one component or there is only one possibility of the distribution under the combination of the other four factors.

Roodbergen and De Koster (2001) show that there are only 25 feasible equivalence classes of PTSs, and that, when all PTSs are complete, the minimum length tour is the shortest one among the eight classes of PTSs as follows: $(0, 0, 0, 1)$, $(e, 0, 0, 1)$, $(0, e, 0, 1)$, $(0, 0, e, 1)$, $(e, e, 0, 1)$, $(e, 0, e, 1)$, $(0, e, e, 1)$, $(e, e, e, 1)$. Note that any final tour subgraphs of more than one component cannot be feasible, and that any subgraphs with vertices of odd parity cannot be a feasible

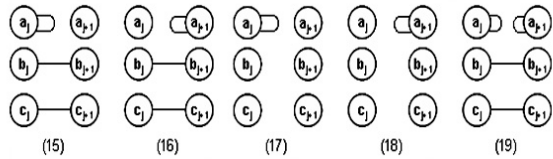
picking tour (Ratliff and Rosenthal, 1983).

The transition between classes is to add a subgraph to each PTS of the current equivalent class. If there are no openings in cross aisles, there are 14 feasible ways for the transition as shown in Figure 3(a). In our problem, however, there will be 5 more transition cases as shown in Figure 3(b): see Jang and Choe (2009) for its details. The resulting distance of a PTS is defined as the cost.

Our GOA is a bit more complicated than previous ones. For the most basic layout, the GOA of Ratliff and Rosenthal (1983) has 7 equivalence classes and 5 transition cases for adding cross aisle. For the layout with middle cross aisles, that of Roodbergen and De Koster (2001) has 25 classes and 14 cases. Ours for the ABOPS having cross aisles with openings has 25 classes and 19 cases. This apparent complexity of the GOA, however, does not imply lengthy computing times. The GOA including ours is linear in the number of aisles and the number of picking locations. In fact, our experiences show that any real-sized problems could be solved within a second.



(a) Adding cross aisles



(b) Transition cases for cross aisles with storage locations

Figure 3. Transition cases for adding cross aisles
(Jang and Choe, 2009)

4. Case Study

Evaluating the efficiency of the ACO, we select 23 orders

of the RDC. The number of line items per order ranges from 8 to 124, and the average is 25.3. Our algorithm is coded in C on a core 2 duo 2.33GHz-CPU with 1GB RAM. The average of computing times is 6.02 seconds per order. After setting the values of parameters by pre-experiments, we run the ACO heuristic 10 times per order. Similarly, optimal tours are generated by the GOA on the same PC. In average, it takes 0.73 second per order to find an optimal tour.

The computational results are summarized in Table 1. It implies that the algorithm of the WMS seems not to be efficient, because it generates picking tours longer than optimal ones by 26.2%. In general, most users are not very interested in evaluating algorithms embedded in commercial packages. Those algorithms, however, might be too simple or general to give good solutions. For example, Figure 4 compares the tour of order no. 14 by the WMS with ones by

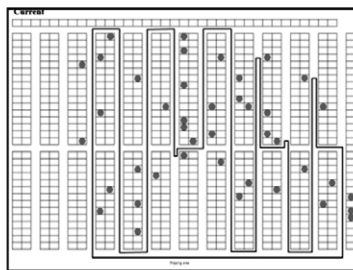
the ACO heuristic and the GOA. It shows that tours by the WMS are following the simple pattern far from optimality. The ACO heuristic works almost as well as the GOA. It can find the optimal tours of 20 orders (87% of tested orders), and gives tours 0.6% longer in average than optimal ones.

The flexibility of the ACO heuristic can be more useful for real problems, although it requires longer (but not much) computing times than the GOA.

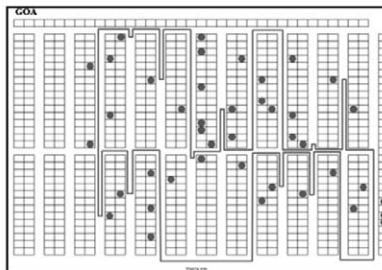
The GOA requires new optimal transition combinations whenever the aisle layout is changed, and it could be very tedious depending on the layout. In fact, the RDC is considering an extension of the picking area which will result in an irregular or non-rectangular shape. For the extension, the ACO heuristic will work well without significant changes, while it is too tedious to find all the equivalent classes and transition matrix required for the GOA.

Table 1. The summary of experiments by the ACO and the GOA

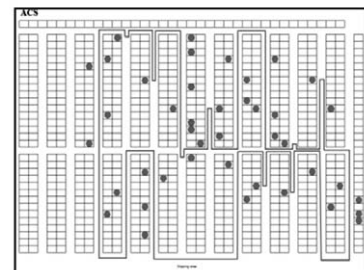
No.	No. of line items	Length by WMS	Length by GOA	ACO		No.	No. of line items	Length by WMS	Length by GOA	ACO	
				Avg.	Min.					Avg.	Min.
1	18	80	80	80	80	13	21	356	228	229.2	228
2	11	146	128	128	128	14	42	432	286	288	288
3	40	308	242	242	242	15	16	296	184	184	184
4	10	216	146	146	146	16	36	308	262	266.6	262
5	10	204	140	140	140	17	28	284	214	214	214
6	23	254	198	198	198	18	9	158	132	132	132
7	42	380	284	287.4	284	19	10	138	122	122	122
8	31	286	220	222.6	220	20	43	310	266	269.8	268
9	9	128	100	100	100	21	21	270	192	195.4	194
10	8	172	116	116	116	22	124	512	356	362.4	356
11	23	332	208	209.6	208	23	26	268	202	202	202
12	39	376	280	280.2	280	Avg.	27.8	270.2	199.4	200.7	199.7



(a) A tour by the WMS



(b) An optimal tour by the GOA



(c) A tour by the ACO

Figure 4. Picking tours of order no. 14

5. Conclusions and Remarks

In an aisle-based order picking systems (ABOPS), the efficiency of aisle routing is critical to the productivity of the system. The regional distribution center (RDC) of a Korean food and beverage company operates an ABOPS, where pickers travel through aisles to pick line items. The warehouse management system (WMS) of the RDC provides pickers with picking lists, which is supposed to reduce travelling times. The pickers, however, are not satisfied with the quality of picking lists or sequences.

For a picking area of the basic rectangular layout, optimal picking tours can be found by the graph optimization algorithm (GOA). It yields optimal tours within a second, but heavily depends on the layout. It may be too tedious or lengthy to find all modifications required for some complicated or irregular layouts. For example, our picking area has some cross aisles with picking locations, and so the GOA should be modified accordingly. Moreover, the RDC considers an extension of the picking area which will result in a non-rectangular layout. In this case, the modification of the GOA may be too complicated. Hence we try an application of ant colony optimization (ACO) to our problem.

Following the framework of ACO, our heuristic involves three major rules: the state transition rule, the local update rule, and the global update rule. The state transition rule is a pseudorandom proportional rule which determines the next picking location of a tour. After the next location is selected, then the pheromone trail of the path is reduced by the local update rule so that next ants can expand the search space. On the other hand, the global update rule prevents the search space from being extended randomly. If a better picking tour is found at the end of iteration, the global update rule increases pheromone trails of paths belonging to the new tour.

Using the real data of the RDC, we compare the ACO heuristic with the WMS and the GOA. Both the ACO heuristic and the GOA reduce the length of picking tours than the WMS by about 26%. The ACO heuristic is a bit slower than the GOA, but can be more effective under the real situation, because it is more flexible for additional constraints and

changes in layout.

In general, many users of off-the-shelf WMSs do not seriously verify the algorithms embedded in the system. Our case, however, shows that warehouse operation can be improved by changing algorithms. There are a number of other issues in improving the productivity of ABOPSs, although our study is restricted to aisle routing. Based on our routing algorithms, one may try other methods such as batching, zoning, storage-assignment, and so on.

Acknowledgement

The authors thank the management of the RDC for allowing the use of their data.

REFERENCES

- [1] Cho, S.Y. and Choe, K.I. (2010), "Ant colony optimization for a postal collection problem", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 10 No. 1, pp. 121-128.
- [2] De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J. (2007), "Design and control of warehouse order picking: a literature review", *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, pp. 481-501.
- [3] Dorigo, M., Di Caro, G., and Gambardella, L.M. (1999), "Ant algorithms for discrete optimization", *Artificial Life*, Vol. 5 No. 2, pp. 137-172.
- [4] Dorigo, M. and Blum, C. (2005), "Ant colony optimization theory: a survey", *Theoretical Computer Science*, Vol. 344 No. 2-3, pp. 243-278.
- [5] Dorigo, M. and Stutzle, T. (2010), "Ant colony optimization: overview and recent advances", *Handbook of Metaheuristics* (eds. Glover, F. and Kochenberger, G.A.), Kluwer Academic Publishers, pp. 227-263.
- [6] Gu, J., Goetschalcks, M., and McGinnis, L. F. (2010), "Research on warehouse design and performance evaluation: a comprehensive review", *European Journal of Operational Research*, Vol. 203, pp. 539-549.
- [7] Ho, Y.-C and Tseng, Y.-Y. (2006), "A study on order-batching methods of order-picking in a distribution centre

- with two cross-aisles”, *International Journal of Production Research*, Vol. 44 No. 17, pp. 3391-3417.
- [8] Jang, H. and Choe, K.I. (2009), “A graph optimization algorithm for optimal routing in an aisle-based order picking systems”, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 9 No. 2, pp. 155-163.
- [9] Ratliff, H.D. and Rosenthal, A.S. (1983), “Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem”, *Operations Research*, Vol. 31 No. 3, pp. 507-521.
- [10] Roodbergen, K.J. and De Koster, R. (2001), “Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, pp. 32-43.
- [11] Sharp, G.P., Choe, K.I., and Yoon, C.S. (1991), “Small parts order picking: analysis framework and selected results”, *Progress in Material Handling and Logistics 2* (eds. White, J.A. and Pence, Jr., I.W.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 317-341.
- [12] Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., and Trevino, J. (2003), *Facilities Planning*, 2nd ed., Wiley, New York.
- [13] Theys, C., Braysy, O., Dullaert W., and Raa, B. (2010), “Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 200, pp. 755-763.

장 호 영

한국외국어대학교 산업경영공학과 학사
현재 : 한국외국대학교 대학원
산업경영공학
관심분야 : Logistics, Optimization

조 승 용

한국외국어대학교 산업경영공학과 학사
현재 : 한국외국대학교 대학원
산업경영공학
관심분야 : Logistics,
Information systems



최 경 일

서울대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
Georgia Tech 산업공학 박사
현재 : 한국외국대학교 산업경영공학과
교수
관심분야 : Logistics,
Applied optimization

혼적을 고려한 수입 컨테이너 장치장 공간할당

장동원^{*†} · 김세원^{**} · 김갑환^{*}

^{*}부산대학교 공과대학 산업공학과 · ^{**}한국해양수산개발원

Storage Space Allocation Considering Mixed Groups of Inbound Containers in Terminals

Dong-Won Jang^{*†} · Se Won Kim^{**} · Kap Hwan Kim^{*}

^{*}Department of Industrial Engineering, Pusan National University

^{**}Port & Logistics Research Division Logistics Technology Research Department, KOREA MARITIME INSTITUTE

This study addresses the storage space allocation problem for inbound containers with different arrival and retrieval characteristics in container terminals. It is assumed that multiple groups of containers, with different retrieval rates and duration of stays from each other, are stored in the same storage system. Statistical expressions are developed for estimating the expected number of relocations for retrieving an inbound container. It is attempted to find the optimal number of stacks to be allocated to the multiple groups by using an analytic model with the handling and space costs. It is also addressed how to select the multiple groups of containers which will be mixed in the same area. A numerical experiment is done to illustrate the procedures in this study.

Keywords: inbound containers, optimal space allocation, relocations, statistical analysis

1. 서론

1.1 수입 컨테이너 장치장 반출작업

컨테이너 터미널을 통해서 수출 컨테이너는 해외로 유출되며 수입 컨테이너는 국내로 유입된다. 그림 1과 같이 수입 컨테이너는 양하작업과 반출작업에 의하여 터미널 바깥으로 나가고 수출 컨테이너는 반입작업과 적하작업에 의해서 선박에 실린다. 안벽

크레인에 의해 선박으로부터 양하된 수입 컨테이너는 터미널 내의 내부트럭을 통해서 야드 장치장으로 이송되고 야드 크레인을 이용하여 장치장내에 저장된다. 그리고 저장된 컨테이너는 화주의 요청에 의해 인출되어 외부트럭에 의해 터미널 밖으로 반출된다. 본 연구는 양하된 수입 컨테이너가 장치장에 일시 저장되는 경우, 수입 컨테이너를 적재하기 위한 가장 효율적인 장치공간 할당방법을 다룬다.

반면, 게이트를 통해 반입된 수출 컨테이너는 적하 작업시에 최고의 속도로 작업이 이루어질 수 있도록 사전에 치밀하게 계획

^{*} 이 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업 / 차세대물류IT기술연구사업단)

[†] Corresponding author: San 30, Jangjeon-dong, Gumjeong-gu, Busan, 609-735, Korea

Tel: 82-51-510-1483 Fax: 82-51-512-7603 Email: dwjang@pusan.ac.kr

^{*} 2011년 5월 2일 투고, 6월 29일 수정본 접수, 7월 4일 게재 확정.



그림 1. 컨테이너 터미널 수출입 작업

된 공간에 속성별로 구분하여 장치하게 된다. 따라서 수입 컨테이너의 경우와는 차이가 있다.

양하된 수입 컨테이너의 경우, 개별 화주의 요청에 의해서 인출이 이루어지는 경우가 있다. 이러한 경우는 반드시 지정된 특정 컨테이너를 인출하여야 한다. 또한, 장치장에 장치된 컨테이너의 인출을 요구하는 화주가 운송사가 될 수도 있다. 운송사의 경우는 컨테이너 터미널에 장치된 컨테이너들 중에서 해당 운송사의 수입 컨테이너들을 일단 항만 밖의 컨테이너 장치장 (Off-dock container yard: ODCY)에 옮겨 놓은 후, 나중에 고객의 요구에 의해서 개별 컨테이너를 개별 화주에게 운반을 해 주는 경우가 대부분이다. 따라서 동일한 ODCY로 반출될 컨테이너들은 어느 컨테이너가 먼저 반출되어도 상관이 없으므로 이런 컨테이너들을 동일 그룹에 속한 컨테이너라고 정의할 수 있다. 여러 개의 인출 대상 컨테이너들이 동시에 야드에 장치되는 경우가 많기 때문에 컨테이너를 반출하려고 터미널에 도착한 외부차량은 그들 여러 개의 인출대상 컨테이너들을 임의의 순서로 받아서 외부로 반출 하여도 상관이 없다. 이 경우는 통상 재취급이 가장 적은 최상층의 컨테이너를 인출하게 된다. 공간이 협소한 관계로 서로 다른 화주나 운송사의 컨테이너들이 동일한 공간에 섞여서(혼적) 장치 되는 것이 보통이다. 물론 컨테이너 개수가 많은 경우에는 화주나 운송사별로 독립된 공간을 제공해 주기도 한다.

이러한 수입 컨테이너 장치장의 상황을 고려하면, 어떤 화주들의 컨테이너들을 혼적 할 것인가 하는 의사결정 문제가 있으며 혼적을 하기로 결정된 화주들의 컨테이너들을 위해 몇 개의 스택(stack)을 제공할 것인가 하는 문제도 해결되어야 한다. 물론 많은 개수의 스택이 제공되면 단적이 낮아져 재취급으로 인한 취급 비용은 감소한다. 그러나 공간 제공에 따른 공간 비용이 증가하여 상충효과가 발생한다.

본 연구는 양하된 수입 컨테이너를 대상으로 화주의 반출요청의 특성을 고려하여 화주들의 컨테이너들을 어떻게 혼적을 할 것이며 혼적이 결정된 동일 그룹의 화주들에게 공간을 얼마나 할당

해 줄 것인지를 결정하는 문제를 다루고자 한다.

1.2 기존 연구현황

컨테이너 터미널의 효율적인 운영 및 계획, 또는 터미널 내 자원운용에 대한 연구는 많다. 그러나 재취급을 고려한 장치장의 공간할당 문제를 다룬 논문은 많지 않다. Kim(1997)은 야드 장치장 내에서 하나의 컨테이너를 잡는데 예상되는 재취급 횟수와 초기에 장치장 베이의 장치현황이 주어진 경우의 총 재취급 횟수를 예측하는 연구를 하였다. Castilho와 Daganzo(1993)는 수입 컨테이너의 장치장 운영문제를 다루었으며 컨테이너가 무작위로 쌓여 있는 베이에서 인출되는 경우, 기대되는 취급횟수를 추정하는 방법을 연구하였다. Watanabe(1991)는 “Accessibility Index”라는 개념을 이용하여 재취급 기대횟수를 간단히 추정하는 방법을 제안하였다. Kim et al.(2000)은 수출 컨테이너를 대상으로 컨테이너 화물의 무게를 고려하여 재취급이 최소화되는 장치위치 결정법에 대해서 연구하였다. Kim 과 Bae(1998)은 수출 컨테이너의 마샬링 문제를 다루었다. 마샬링 작업은 선박에 적하하기 용이하도록 장치장 내의 컨테이너를 재 정리하는 작업을 말한다. Kim(1999)은 수입 장치장의 공간소요 및 공급능력을 변화시키는 방법과 개별 컨테이너의 장치위치결정에 대한 문제를 다루었다. Imai et al.(2006)는 선박의 안정성을 고려하여 수출 장치장에 장치된 수출 컨테이너의 재취급을 최소화하기 위하여 수출 컨테이너의 저장위치 결정에 관한 연구를 하였다. Ambrosino et al.(2004)는 컨테이너의 무게를 고려하여 선박 내 컨테이너의 저장위치결정에 관한 연구를 하였다. Park과 Kim(2010)은 야드 장치장과 같은 상방인출식의 적재형태에서 개별 화물의 기대취급횟수를 추정하여 재취급을 최소화하는 문제를 다루었다.

수입 컨테이너 장치장과 관련된 이전 연구에서는 개별 컨테이너의 반출시점이 전혀 알려져 있지 않으며, 완전 무작위 순서로 반출이 이루어진다고 가정하였다. 그러나 일반적으로 동일한 화

주에게 전달될 컨테이너들은 복수 개인 경우가 많고 이들 컨테이너들은 어떤 순서로 인출을 하여도 상관이 없다. 본 연구에서는 이와 같은 상황을 대상으로 연구를 수행하였다. 그리고 다양한 상황에서 인출시 발생하는 재취급을 고려하여 공간할당 방법을 제시한다.

수출 컨테이너에 관한 기존 연구도 대부분이 컨테이너의 무게라는 특성을 고려한 저장위치결정 문제를 많이 다루었다. 본 연구에서는 한 개 이상의 컨테이너를 인출하여야 하는 화주를 기준으로, 컨테이너 그룹을 구분하고 이를 인출하는 경우를 대상으로 재취급을 고려한다는 점에서 기존의 연구와 차이가 있다.

다음 장에서는 반출요청 확률이 동일한 복수의 화주에게 보내질 컨테이너를 동시에 양하하는 경우, 어떻게 공간을 할당할 것인지를 분석하고, 3장에서는 화주간의 반출확률이 서로 다른 경우를 다루게 된다. 4장에서는 수치실험을 통해서 제시된 모형의 효율성을 검증한다. 5장에서는 본 연구의 결론을 제시한다.

2. 화주간 반출요청 확률이 동일한 경우의 모형

컨테이너는 일반 소화물에 비해서 크기가 크고 무거운 규격화된 중량화물이다. 이러한 컨테이너를 적재할 때는 별도의 보관설비 없이 지면에 다단으로 적재한다. 이를 일반적으로 블록장치 형태라고 하며, 컨테이너 위에 또 다른 컨테이너를 쌓음으로써 공간 활용도는 높은 편이나 이러한 다단 적재는 필요한 컨테이너를 인출할 때 불필요한 다른 컨테이너까지 함께 취급해야 하는 재취급 문제가 발생한다. 그림 2는 컨테이너 야드 장치장을 나타낸 것으로 장치장은 다수의 stack, tier, bay로 구성된다.

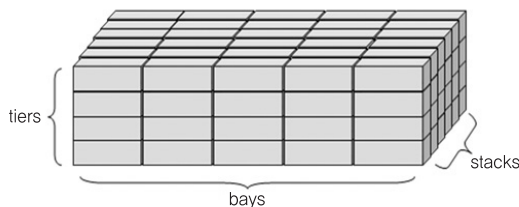


그림 2. 컨테이너 야드 장치장 형태

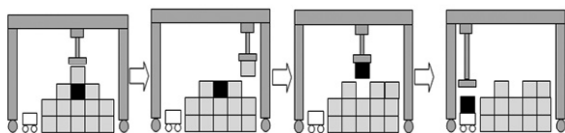


그림 3. 컨테이너 재취급 작업

그림 3은 재취급 작업을 설명하고 있다. 검은색으로 표시된 필요한 컨테이너 1개를 인출하기 위해서는 목적 컨테이너 바로 상단에 쌓여진 다른 컨테이너 1개를 먼저 제거해야 한다. 따라서 검은색의 컨테이너를 인출하기 위해서는 1회의 재취급 작업을 포함하여 총 2회의 취급이 요구된다.

이때, 재취급된 컨테이너를 어디에 위치 시킬 것 인가하는 문제는 또 다른 연구 주제이므로 본 연구에서는 다루지 않는다. 단, 재취급된 컨테이너는 야드 장치장의 동일한 베이내에 임의의 다른 스택으로 옮겨진다고 가정한다.

본 연구를 위하여 다음과 같은 가정을 도입한다:

- 1) 동일한 그룹의 컨테이너들은 어떤 순서로 인출하여도 상관 없다.
- 2) 화주들에게 공간을 스택단위로 할당하며, 재취급의 용이성을 위하여 인접한 스택을 할당하고 인접한 스택들의 집합을 할당공간이라 정의한다.
- 3) 할당공간 내에서는 계속적인 양하와 인출작업으로 일정한 양의 컨테이너들이 유지된다.

한 화주에 소속된 컨테이너들을 컨테이너 그룹이라 하고, 서로 다른 컨테이너 그룹을 혼적한다고 할 때, 주어진 할당공간에 적재되어 있는 임의의 컨테이너를 한 개 인출하는데 기대되는 총 취급횟수를 추정한다. 그리고 이를 이용하여 특정 공간할당 계획에 대한 취급비용을 추정하도록 한다. 아래는 추정식에 사용된 기호이다.

R = 대상 컨테이너 그룹에 할당된 공간내의 스택의 수 (의사결정변수).

n = 할당된 공간에 장치될 총 컨테이너의 개수

m = 컨테이너 그룹의 수

t = 야드 장치장의 단(층), $1 \leq t \leq T$, T : 최상층

c_h = 컨테이너 개당 취급비용

r = 단위시간당 반출요청의 도착률

c_s = 컨테이너 한 개의 밑면에 해당되는 바닥 소요공간비용

p = 특정 컨테이너 그룹의 반출요청 확률, 이것은 $p=1/m$ 과 동일

$P(t)$ = t 단에서 임의의 컨테이너 화물 한 개를 인출할 확률

$h(t)$ = t 단에서 컨테이너 화물 한 개를 인출하는 경우의 취급횟수

$E(t)$ = t 단에서 임의의 컨테이너 화물 한 개를 인출하기 위한 총 기대취급횟수

E = 임의의 컨테이너 화물 한 개를 인출하는 경우의 총 기대취급횟수

TC = 단위시간당 총비용

그림 4는 화주간 반출요청 확률이 동일한 경우를 나타낸다. 총 9개의 컨테이너 화물이 3개의 스택으로 이루어진 할당공간내에 적재되어 있고 이를 화주별로 구분하면 그룹 A, B, C는 각각 3개씩의 컨테이너 화물을 보유하게 된다. 따라서 그룹 A, B, C의 반출요청 확률은 $1/3$ 로 화주간 반출요청 확률이 동일한 경우에 해당된다.

C	A	C	화주 A=3/9=1/3
B	C	A	화주 B=3/9=1/3
A	B	B	화주 C=3/9=1/3

그림 4. 화주간 반출요청 확률이 동일한 경우

특정 그룹에 속한 컨테이너 한 개를 인출해 달라는 반출요청이 왔다는 것은 그 그룹의 컨테이너를 요청하는 트럭이 해당 지역으로 보내졌다는 것을 의미한다. 이는 반출요청 그룹에 속한 컨테이너가 해당 지역의 장치장에 저장되어 있다는 것을 의미한다. 즉, 수입 장치장의 해당 지역에 반출 요청된 그룹의 컨테이너가 적어도 1개는 존재한다는 것을 의미한다. 그리고, 만약에 반출요청에 해당되는 컨테이너가 복수개가 저장되어 있는 경우라면, 재취급 횟수가 가장 적은 것이 인출될 것이다. 따라서, 할당된 공간내에 반출요청에 속한 컨테이너가 적어도 1개 이상 존재하는 확률은 $1-(1-p)^{T \cdot R}$ 이다. 이를 이용하면, 반출요청 그룹에 속한 임의의 컨테이너가 t 단에 존재할 확률은 아래와 같다.

$$P(t) = \frac{(1-p)^{(T-t)R} \{1-(1-p)^R\}}{1-(1-p)^{T \cdot R}} \quad (1)$$

t 단에 인출대상 컨테이너가 존재하는 경우의 총 취급횟수는 $h(t) = T-t+1$ 로 표현되며 $P(t)$ 와 $h(t)$ 를 이용하여 할당된 공간으로부터 t 단에서 임의의 컨테이너 한 개를 인출하는 경우의 총 기대 취급횟수를 추정할 수 있다. 이를 $E(t)$ 라 하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} E(t) &= h(t) \cdot P(t) \\ &= h(t) \cdot \frac{(1-p)^{(T-t)R} \{1-(1-p)^R\}}{1-(1-p)^{T \cdot R}} \end{aligned} \quad (2)$$

$E(t)$ 를 이용하여 할당된 공간으로부터 임의의 컨테이너 한 개를 인출하는 경우의 총 기대취급횟수는 다음과 같은 식으로 표현

된다.

$$\begin{aligned} E &= \sum_{t=1}^T E(t) = \sum_{t=1}^T (h(t) \cdot P(t)) \\ &= \sum_{t=1}^T h(t) \cdot \frac{(1-p)^{(T-t)R} \{1-(1-p)^R\}}{1-(1-p)^{T \cdot R}} \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서 구한 E 에서 1을 차감한 수, $(E-1)$ 은 할당된 공간으로부터 임의의 컨테이너 한 개를 인출하는 경우 발생하는 기대 재취급 횟수를 나타낸다. 식(4)는 대상 컨테이너 그룹을 인출하기 위한 단위시간당 총비용(TC)을 나타낸다. 이것은 총 취급비용 $rc_h E$ 와 총 공간비용 $c_s R$ 의 합으로 표현된다.

$$TC = rc_h E + c_s R. \quad (4)$$

식(4)의 공간비용 c_s 를 양변에 나누어 단위시간당 총비용을 다시 $(rc_h/c_s)E+R$ 로 나타내고 이를 TC' 으로 나타내었다.

3. 화주간 반출요청 확률이 서로 다른 경우의 모형

아래의 그림 5는 화주간 반출요청 확률이 서로 다른 경우를 나타낸다. 총 9개의 컨테이너들이 하나의 할당공간내에 적재되어 있고 이를 화주별로 구분하면 그룹 A는 3개, 그룹 B는 2개, 그룹 C는 4개씩의 컨테이너를 보유하게 된다. 따라서 그룹 A, B, C의 반출요청 확률은 $1/3$, $2/9$, $4/9$ 로 화주간 반출요청 확률이 서로 다른 경우에 해당된다.

C	A	C	화주 A=3/9=1/3
B	C	A	화주 B=2/9
A	B	C	화주 C=4/9

그림 5. 화주간 반출요청 확률이 다른 경우

반출요청 확률 p 가 서로 다른 값을 가지게 됨으로 반출요청 확률 p 는 다음과 같이 수정된다.

p_g = 컨테이너 그룹 g 의 반출요청 확률

따라서 반출요청 그룹에 속한 임의의 컨테이너가 t 단으로부터 인출될 확률은 아래와 같다.

$$P(t) = \sum_{g=1}^m \left(p_g \frac{(1-p_g)^{(T-t)R} \{1-(1-p_g)^R\}}{1-(1-p_g)^{T \cdot R}} \right) \quad (5)$$

재정의된 $P(t)$ 를 이용하여, 할당된 공간으로부터 t 단에서 임의의 컨테이너 한 개를 인출하는 경우의 총 기대취급횟수 $E(t)$ 는 아래와 같다.

$$E(t) = h(t) \cdot P(t) = h(t) \cdot \sum_{g=1}^m \left(p_g \frac{(1-p_g)^{(T-t)R} \{1-(1-p_g)^R\}}{1-(1-p_g)^{T \cdot R}} \right) \quad (6)$$

$E(t)$ 를 이용하여 하나의 할당공간으로부터 임의의 컨테이너 한 개를 인출하는 경우의 총 기대취급횟수를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$E = \sum_{t=1}^T E(t) = \sum_{t=1}^T (h(t) \cdot P(t)) = \sum_{t=1}^T \left(h(t) \cdot \sum_{g=1}^m \left(p_g \frac{(1-p_g)^{(T-t)R} \{1-(1-p_g)^R\}}{1-(1-p_g)^{T \cdot R}} \right) \right) \quad (7)$$

4. 수치실험

4.1 화주간 반출요청 확률이 동일한 경우

화주간 반출요청 확률이 동일한 경우, 수치예제를 통해서 결과를 분석해 본다. 30개의 컨테이너가 할당공간내에 적재될 예정이며 5개의 화주(컨테이너 그룹)로 구성되어 있다($m=5$). 따라서 본 예제의 반출요청 확률 $p=0.2$ 이다. 취급비용과 공간비용에 사용될 비용 파라메타는 $r=15.02$, $c_h=1742.93$, $c_s=310.95$ 를 이용하였다. 이는 장치장 건설비용, 운영비용, 장비운영비용 등의 자료를 이용하여 현실과 가깝도록 추정된 값이다.

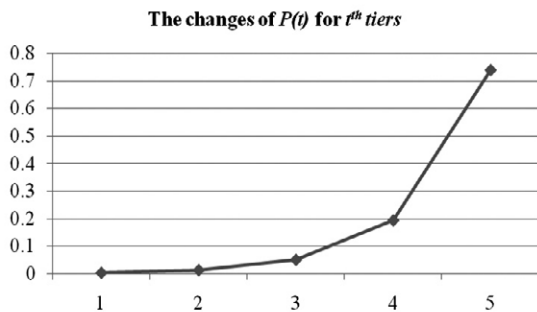


그림 6. 임의의 컨테이너 한 개가 t 단에서 인출될 확률 ($R=6$, $T=5$)

그림 6은 30개의 컨테이너가 6개씩 5단으로 적재되어 있는 장치장에서 임의의 컨테이너 한 개가 인출될 때, 각 t 단에서 인출될 확률을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프는 할당공간으로부터 임의의 컨테이너 한 개를 인출하고자 할 때 해당 그룹에 속하는 컨테이너가 적어도 1개 이상 존재하고 있으며 이때 재취급 횟수가 가장 적은 컨테이너 화물이 인출된다는 가정에 기초하고 있다.

표 1은 주어진 컨테이너 화물 30개가 적재될 수 있는 다양한 적재형태별로 총비용을 비교한 것이다. 컨테이너를 6개씩 5단으로 적재하면 각 층은 모두 컨테이너로 빈 곳 없이 채워지며 유도된 식에 의해 쉽게 E 를 구할 수 있다. 그러나 7개씩 5단으로 적재하면 최상층인 5층은 컨테이너로 채워지지 못하고 빈 공간이 남게 된다. 이러한 경우는 35개의 컨테이너가 층당 7개씩 5단으로 장치된 경우와 28개의 컨테이너가 7개씩 4단으로 적재하는 경우의 비용값을 이용하여 보간법을 통해서 30개의 컨테이너로 7개씩 4.29단으로 적재된 경우의 E 값을 구할 수 있다. 표 1의 실험결과를 살펴보면, 5개의 그룹으로 이루어진 30개의 컨테이너는 한 층에 13개씩 2.31단으로 적재되는 경우가 가장 비용이 적게 든다.

표 1. 할당공간내의 스택수에 따른 총비용의 변화 ($p=0.2$, $n=30$)

R	T	E	$(rc_r/c_s)E$	TC'
1	30.00	4.96	417.82	418.82
2	15.00	2.76	232.30	234.30
3	10.00	2.04	171.48	174.48
4	7.50	1.68	141.76	145.76
5	6.00	1.48	124.60	129.60
6	5.00	1.35	113.58	119.58
7	4.29	1.26	106.02	113.02
8	3.75	1.20	100.66	108.66
9	3.33	1.15	96.80	105.80
10	3.00	1.12	94.00	104.00
11	2.73	1.09	91.64	102.64
12	2.50	1.07	89.96	101.96
*13	2.31	1.05	88.72	101.72
14	2.14	1.04	87.78	101.78
15	2.00	1.03	87.05	102.05
16	1.88	1.02	86.21	102.21
17	1.76	1.02	85.61	102.61
18	1.67	1.01	85.18	103.18
19	1.58	1.01	84.88	103.88
20	1.50	1.01	84.67	104.67

그림 7은 주어진 예제에서 반출요청 확률 p 의 변화에 따른 할당공간내의 최적 스택의 수를 나타낸다. 반출요청 확률 p 가 작아질수록 최적 스택의 수가 증가되는 것을 확인할 수 있다. 반출요

청 확률이 작아진다는 것은 할당공간내에 서로 다른 많은 화주의 컨테이너 그룹들이 존재한다는 것이고 따라서 재취급의 기대치가 증가하게 되어 공간비용보다 취급비용의 비중이 크게 된다. 따라서 컨테이너를 높게 쌓는 것보다 컨테이너들을 넓게 펼쳐서 적재하는 것이 최적이 된다.

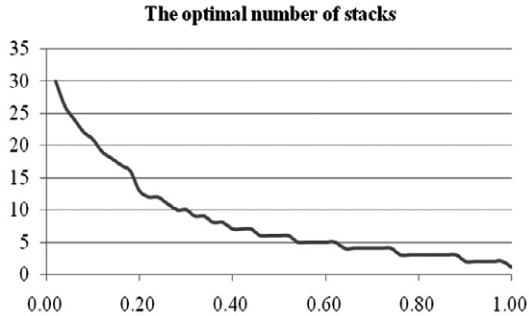


그림 7. 반출요청확률 p 의 변화에 따른 최적의 스택 수

주어진 비용 파라메타가 달라지면 최적 할당공간의 크기가 달라질 수 있다. 취급비용이 공간비용보다 훨씬 크다면 R 의 값은 커지며, 공간비용이 취급비용보다 훨씬 크다면 R 값이 작아지는 대신 단 수가 높아질 것이다. 그림 8은 취급비용과 공간비용의 다양한 비율에 따른 최적 스택의 수를 나타낸다. 그림 9는 주어진 컨

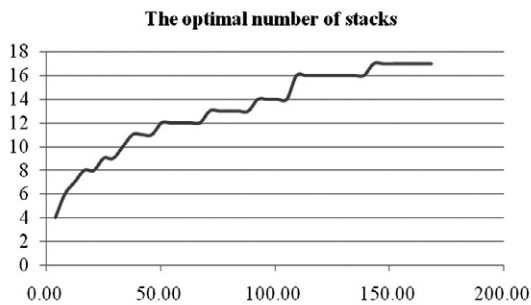


그림 8. rc_H/c_S 의 변화에 따른 최적의 스택 수

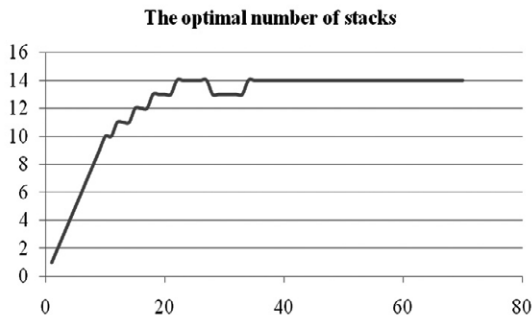


그림 9. n 의 변화에 따른 최적의 스택 수

테이너 수의 변화에 따른 최적 스택의 수를 나타낸다.

n 의 수가 증가함에 따라 최적 스택의 수도 증가하지만 n 이 일정수준을 넘어서면 최적 스택의 수는 더 이상 증가하지 않음을 알 수 있다. 이때 더 이상 증가하지 않는 스택 수의 한계치를 스택의 최대치라고 하여 환경의 변화에 따른 스택 최대치의 변화는 그림 10과 11과 같다. 그림 10은 취급비용과 공간비용의 다양한 비율에 따른 최적 스택의 최대치를 나타낸다. 그림 10에 따르면, 취급비용 파라메타가 증가할수록 최적 스택수의 최대값이 증가함을 알 수 있다. 그림 11은 반출요청확률의 변화에 따른 최적 스택의 최대치를 나타낸다. 반출요청확률이 증가할수록 즉, 혼적되는 컨테이너 그룹수가 작을수록 최적 스택수의 최대값이 감소함을 보여주고 있다.

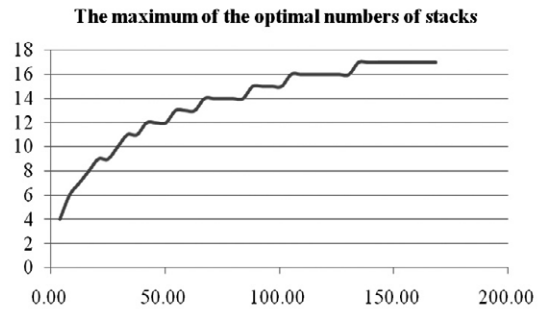


그림 10. rc_H/c_S 의 변화에 따른 최적 스택수의 최대치

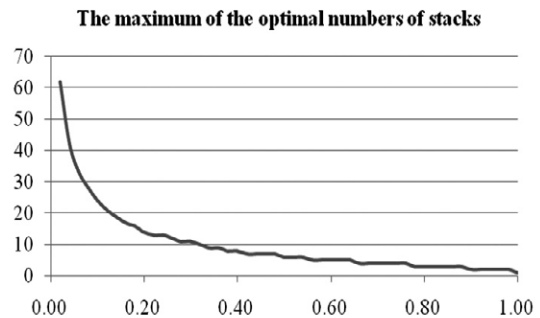


그림 11. 반출요청 확률 p 의 변화에 따른 최적 스택수의 최대치

지금까지는 화주별로 그룹 지어진 컨테이너들이 하나의 할당 공간에 혼적되는 경우에 대한 할당공간 크기를 구하는 문제를 다루었다. 다음은 컨테이너 그룹들을 하나 이상의 서로 다른 할당공간에 분리시켜서 적재할 수 있는 경우에 대해서 다룬다. 이때 동일한 그룹의 컨테이너들은 같은 할당공간내에 적재된다고 가정한다.

표 2는 $p=0.2$, $n=30$ 즉, 5개의 화주로 구분된 30개의 컨테이너 화물을 적재하는 경우에 대한 할당공간의 다양한 조합을 나타낸다. 표 2의 결과에 의하면 이 예제에서는 화주별로 컨테이너들

표 2. 화주별로 구분된 할당공간의 조합 ($p=0.2$, $n=30$)

No.	별도공간	1	2	3	4	5	TC'
1	n'	30	-	-	-	-	101.71
	m'	5	-	-	-	-	
	p'	0.2	-	-	-	-	
	$(R, t)'$	(13, 2)	-	-	-	-	
	E'	1.05	-	-	-	-	
	TC'	101.71	-	-	-	-	
2	n'	12	18	-	-	-	100.16
	m'	2	3	-	-	-	
	p'	0.5	0.33	-	-	-	
	$(R, t)'$	(5, 2)	(8, 2)	-	-	-	
	E'	1.03	1.04	-	-	-	
	TC'	39.72	60.44	-	-	-	
3	n'	6	24	-	-	-	98.93
	m'	1	4	-	-	-	
	p'	1	0.25	-	-	-	
	$(R, t)'$	(1, 6)	(10, 2)	-	-	-	
	E'	1.00	1.06	-	-	-	
	TC'	17.84	81.09	-	-	-	
4	n'	6	6	18	-	-	96.12
	m'	1	1	3	-	-	
	p'	1	1	0.33	-	-	
	$(R, t)'$	(1, 6)	(1, 6)	(8, 2)	-	-	
	E'	1.00	1.00	1.04	-	-	
	TC'	17.84	17.84	60.44	-	-	
5	n'	12	6	12	-	-	97.28
	m'	2	1	2	-	-	
	p'	0.5	1	0.5	-	-	
	$(R, t)'$	(5, 2)	(1, 6)	(5, 2)	-	-	
	E'	1.03	1.00	1.03	-	-	
	TC'	39.72	17.84	39.72	-	-	
6	n'	6	6	6	12	-	93.24
	m'	1	1	1	2	-	
	p'	1	1	1	0.5	-	
	$(R, t)'$	(1, 6)	(1, 6)	(1, 6)	(5, 2)	-	
	E'	1.00	1.00	1.00	1.03	-	
	TC'	17.84	17.84	17.84	39.72	-	
7	n'	6	6	6	6	6	89.20
	m'	1	1	1	1	1	
	p'	1	1	1	1	1	
	$(R, t)'$	(1, 6)	(1, 6)	(1, 6)	(1, 6)	(1, 6)	
	E'	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	TC'	17.84	17.84	17.84	17.84	17.84	

을 분리해서 별도의 할당공간에 적재할 때 최소의 비용이 소요됨을 알 수 있다.

표 3은 rc_h/c_s 의 변화에 따른 최적 공간할당을 나타낸다. Y^* 는 컨테이너 그룹들을 어떻게 분리하여 공간을 할당하여야 최소비용을 달성할 수 있는지를 나타낸다. 예를 들어 rc_h/c_s 의 값이 0.64인 경우에는 두 컨테이너 그룹을 하나의 할당공간에 혼적을 하고 나머지 세 그룹을 다른 할당공간에 혼적을 하는 것이 가장 경제적인다는 것을 말해 주고 있다. 5개 컨테이너 그룹들은 동일한 반출 확률에 의해 컨테이너 개수가 같기 때문에 표 3에서 그룹의 Y^* 에 표현된 컨테이너 그룹 번호는 서로 교환 가능한 숫자이다.

표 3. rc_h/c_s 의 변화에 따른 공간할당 형태 ($p=0.2$, $n=30$)

rc_h/c_s	n'	Y^*	TC'
0.01	{30}	{(1, 2, 3, 4, 5)}	1.05
0.04	{30}	{(1, 2, 3, 4, 5)}	1.20
0.16	{30}	{(1, 2, 3, 4, 5)}	1.79
0.32	{30}	{(1, 2, 3, 4, 5)}	2.59
0.64	{12, 18}	{(1, 2), (3, 4, 5)}	3.66
1.28	{6, 12, 12}	{(1), (2, 3), (4, 5)}	5.30
2.56	{6, 6, 6, 6, 6}	{(1), (2), (3), (4), (5)}	7.56
10.24	{6, 6, 6, 6, 6}	{(1), (2), (3), (4), (5)}	15.24
20.48	{6, 6, 6, 6, 6}	{(1), (2), (3), (4), (5)}	25.48
84.18	{6, 6, 6, 6, 6}	{(1), (2), (3), (4), (5)}	89.18
1310.72	{6, 6, 6, 6, 6}	{(1), (2), (3), (4), (5)}	1315.72
5242.88	{6, 6, 6, 6, 6}	{(1), (2), (3), (4), (5)}	5247.88

4.2 화주간 반출요청 확률이 서로 다른 경우

다음은 화주간 반출요청 확률이 서로 다른 경우에 대해서 최적해를 분석한다. 30개의 컨테이너가 존재하며 한 할당공간내에 2개의 그룹이 있다($m=2$). 두 그룹의 반출요청 확률은 각각 $p_1=0.7$, $p_2=0.3$ 이다. 취급비용과 공간비용에 사용될 비용 파라메타는 $r=15.02$, $c_h=1742.93$, $c_s=310.95$ 로 이전 예제와 동일하다.

표 4는 30개의 컨테이너가 화주별로 2개의 그룹으로 구분되어 있고 각 화주별 반출요청 확률이 서로 다른 경우에 있어서의 최적 공간할당을 보여준다. 컨테이너를 7개씩 4.29단으로 적재하는 경우에 최소의 비용이 소요된다.

그림 12는 반출요청 확률 중 p_1 의 변화에 따른 할당공간내의 최적 스택의 수를 나타낸다. 본 예제에서는 두 화주의 반출요청 확률이 서로 비슷한 경우에 최적 할당스택의 수가 작아짐을 확인할 수 있다.

그림 13은 취급비용과 공간비용의 다양한 비율에 따른 할당공

표 4. 할당공간의 다양한 사양에 따른 총비용의 변화
($p_1=0.7, p_2=0.3, n=30$)

R	$\bar{T}$	E	$(rc_H/c_S)E$	TC'
1	30.00	2.00	168.36	169.36
2	15.00	1.36	114.28	116.28
3	10.00	1.18	99.01	102.01
4	7.50	1.10	92.65	96.65
5	6.00	1.06	89.43	94.43
6	5.00	1.04	87.60	93.60
*7	4.29	1.03	86.47	93.47
8	3.75	1.02	85.73	93.73
9	3.33	1.01	85.25	94.25
10	3.00	1.01	84.92	94.92
11	2.73	1.01	84.69	95.69
12	2.50	1.00	84.54	96.54
13	2.31	1.00	84.43	97.43
14	2.14	1.00	84.36	98.36
15	2.00	1.00	84.31	99.31

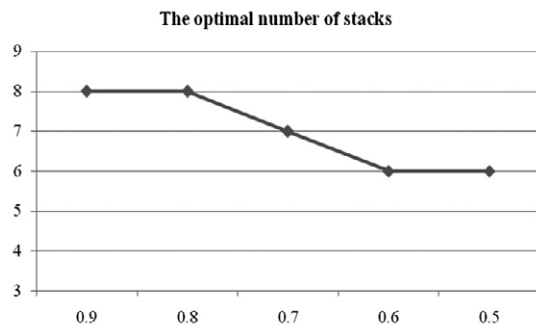


그림 12. 반출요청 확률의 변화에 따른 최적의 스택 수 ($p_1+p_2=1$)

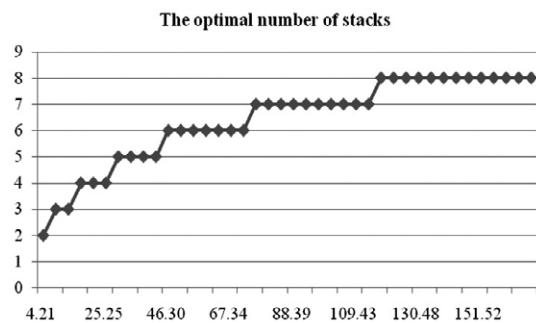


그림 13. rc_H/c_S 의 변화에 따른 최적 스택수

간내의 최적 스택수를 나타낸다. 취급비용이 공간비용보다 상대적으로 크게 변화하는 경우에는 최적 스택수가 증가함을 확인 할 수 있다. 그림 14는 주어진 컨테이너 수의 변화에 따른 최적 스택

수를 나타낸다. n 의 수가 증가함에 따라 최적 스택수도 증가하지만 n 이 일정수준을 넘어서면 최적 스택수는 더 이상 증가하지 않는다.

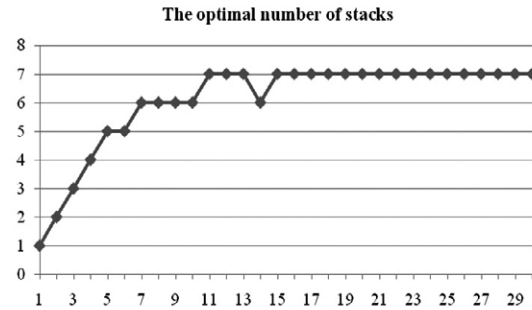


그림 14. n 의 변화에 따른 최적 스택수

그림 15는 취급비용과 공간비용의 다양한 비율에 따른 최적 스택수의 최대치 변화를 나타낸다. 취급비용의 비중이 증가함에 따라 최적 스택수의 최대치가 같이 증가함을 알 수 있다. 그림 16은 반출요청 확률의 변화에 따른 최적 스택수의 최대치 변화를 나타낸다. 두 화주의 반출요청 확률이 차이가 클수록 최적 스택수의 최대치가 커짐을 알 수 있다.

표 5는 반출요청 확률이 서로 다른 3개의 화주로 이루어진 30

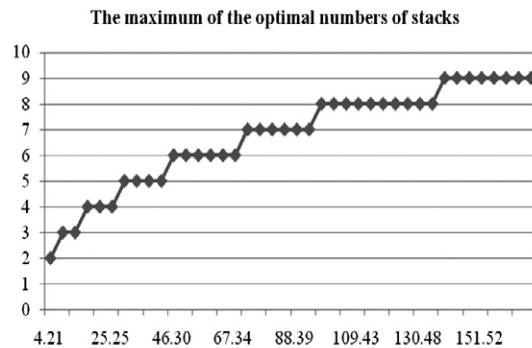


그림 15. rc_H/c_S 의 변화에 따른 최적 스택수의 최대치 변화

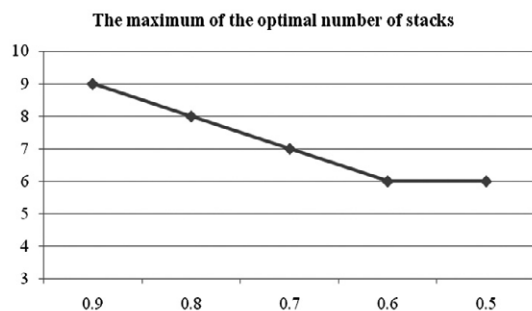


그림 16. 반출요청 확률의 변화에 따른 최적 스택수의 최대치 변화

개의 컨테이너를 위하여 가능한 모든 공간할당 계획을 보여주고 있다. 각 컨테이너 그룹의 반출요청 확률은 $p_1=0.5$, $p_2=0.3$, $p_3=0.2$ 이다.

현재의 비용 파라미터를 이용하는 경우는 화주별로 별도의 할당 공간에 컨테이너를 적재하는 것이 비용 최소가 된다. 표 6은 rc_h/c_s 의 변화에 따른 최적 공간할당 계획의 변화를 보여주고 있다.

표 5. 화주별로 구분된 공간할당의 조합
($p_1=0.5$, $p_2=0.3$, $p_3=0.2$, $n=30$)

No.	공간할당	1	2	3	TC'
1	n'	30	-	-	96.84
	m'	3	-	-	
	p'_g	$p_1=0.5$ $p_2=0.3$ $p_3=0.2$	-	-	
	$(R, t)'$	(9,3)	-	-	
	E'	1.04	-	-	
	TC'	96.84	-	-	
2	n'	24	6	-	92.90
	m'	2	1	-	
	p'_g	$p_1=0.625$ $p_2=0.375$	$p_3=1$	-	
	$(R, t)'$	(6,4)	(1,6)	-	
	E'	1.03	1.00	-	
	TC'	75.06	17.84	-	
3	n'	21	9	-	93.71
	m'	2	1	-	
	p'_g	$p_1=0.714$ $p_3=0.285$	$p_2=1$	-	
	$(R, t)'$	(6,4)	(1,9)	-	
	E'	1.04	1.00	-	
	TC'	67.46	26.25	-	
4	n'	15	15	-	91.84
	m'	1	2	-	
	p'_g	$p_1=1$	$p_2=0.6$ $p_3=0.4$	-	
	$(R, t)'$	(1,15)	(5,3)	-	
	E'	1.00	1.04	-	
	TC'	43.09	48.75	-	
5	n'	15	9	6	87.18
	m'	1	1	1	
	p'_g	$p_1=1$	$p_2=1$	$p_3=1$	
	$(R, t)'$	(1,15)	(1,9)	(1,6)	
	E'	1.00	1.00	1.00	
	TC'	43.09	26.25	17.84	

표 6. rc_h/c_s 의 변화에 따른 최적 공간할당 계획의 변화
($p_1=0.5$, $p_2=0.3$, $p_3=0.2$, $n=30$)

rc_h/c_s	n'	γ^*	TC'
0.01	{30}	{(1,2,3)}	1.03
0.04	{30}	{(1,2,3)}	1.12
0.16	{30}	{(1,2,3)}	1.48
0.32	{30}	{(1,2,3)}	1.96
0.64	{30}	{(1,2,3)}	2.92
1.28	{15, 15}	{(1), (2,3)}	3.92
2.56	{15, 9, 6}	{(1), (2), (3)}	5.56
10.24	{15, 9, 6}	{(1), (2), (3)}	13.24
20.48	{15, 9, 6}	{(1), (2), (3)}	23.48
84.18	{15, 9, 6}	{(1), (2), (3)}	87.18
1310.72	{15, 9, 6}	{(1), (2), (3)}	1313.72
5242.88	{15, 9, 6}	{(1), (2), (3)}	5245.88

5. 결론

대부분의 컨테이너 터미널은 화물을 적재하기 위한 적재공간 자체가 협소하다. 실제로 주어진 공간보다 훨씬 많은 양의 컨테이너를 적재보관 하고 있으며 이들 컨테이너들의 화주 또한 다수이다. 따라서 특정 화주만을 위한 적재공간을 확보하기는 현실적으로 어렵기 때문에 대부분 컨테이너들은 혼적되어 보관된다.

본 연구에서는 수입 컨테이너를 일시 보관하는 야드 장치장을 연구 대상으로 하여 혼적을 고려한 장치공간 할당량을 결정하는 문제를 다루었다. 화물의 혼적시 발생하는 재취급 문제는 장치장의 효율성 및 생산성에 직결되는 문제로 재취급의 수를 줄이는 것이 시간 및 비용측면에서 유리한 결과를 도출하게 된다.

장치장 내에 적재될 컨테이너의 정보를 이용하여 할당공간은 컨테이너로 모두 다 채워져 있고 저장위치를 모르는 상황에서 화주의 요청에 의해 임의의 컨테이너 한 개를 인출하는 경우의 총 기대취급횟수를 추정하는 모델을 제시하였다. 이를 이용하여 가장 최소의 비용을 가지는 공간할당 계획을 찾아낼 수 있었다.

화주별로 구분된 컨테이너 그룹에 대해서 반출요청 확률이 동일한 경우와 서로 다른 경우에 대해서 수치예제를 통해서 공간할당 방법을 예시하였으며 화주별로 반출요청 확률이 서로 다른 경우가 보다 현실적인 상황에 가깝다.

본 연구에서 제시한 방법은 터미널내의 야드 장치장뿐만 아니라, 블록의 형태처럼 다단으로 적재된 상방인출식의 어떠한 적재 형태라도 적용이 가능하다. 향후 연구로는 상방인출식이 아닌 다양한 형태의 적재모형에 대해서 재취급을 고려한 적재사양을 결

정하는 문제가 있으며, 모형을 확장하여 장치장 블록의 사양을 결정할 수도 있다. 또한, 장치장 베이의 사양결정과 더불어 개별 컨테이너를 위한 최적 저장위치 결정방법의 연구도 필요하다.

참고 문헌

- [1] Ambrosino, D., Sciomachen, A., and Tanfani, E., (2004) "Stowing a containership: The Master Bay Plan problem", *Transportation Research Part A*, Vol. 38, pp. 81-99.
- [2] Castilho, B., and Daganzo, C.F., (1993). "Handling strategies for import containers at maritime terminals", *Transportation Research Part B*, Vol. 27, No. 2, pp.151-166.
- [3] Imai, A., Sasaki, K., Nishmura, E., and Papadimitriou, S., (2006) "Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandles in yard stacks", *European journal of operational Research*, Vol. 171, pp. 373-389.
- [4] Kim, H.B, (1999). "Operational policies for import container yard in the port container terminal" *Ph.D. diss.*, Dept. of Industrial Engineering, Pusan Univ.
- [5] Kim, K.H., (1997). "Evaluation of the number of rehandles in container yards" *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 32, No. 4, pp. 701-711.
- [6] Kim, K.H., and Bae, J.W., (1998). "Re-marshaling Export Containers in Port Container Terminals", *Computers and Industrial Engineering*, Vol.35, pp.655-658.
- [7] Kim, K.H., Park, Y.M., and Ryu, K.R., (2000). "Deriving decision rules to locate export containers in container yards", *European Journal of Operation Research*, Vol.124, No.1, pp. 89-101.
- [8] Park, T.-K., Kim, K. H., (2010) "Comparing handling and space costs for various types of stacking methods", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, pp. 501-508.
- [9] Watanabe, I.R., (1991) "Characteristics and analysis method of efficiencies of container terminal an approach to the optimal loading/unloading method", *Container Age*, March, pp. 36-47.



장 동 원

부경대학교 산업공학과 학/석사
현재 : 부산대학교 산업공학과 박사과정
관심분야 : 항만 물류시스템



김 세 원

한국해양대학교 응용과학부(수리정보) 학사
부산대학교 산업공학과 석사
현재 : 한국해양수산개발원, 항만물류
연구본부 물류기술연구실 연구원
관심분야 : 물류시스템



김 갑 환

서울대학교 산업공학과 학사
KAIST 산업공학과 석/박사
현재 : 부산대학교 산업공학과 교수
관심분야 : 물류시스템, 생산관리

공급사슬 모델과 알려진 함수를 이용한 MOPSO의 거리 정보 및 파레토 지배 개념 분석[†]

박경중^{*†} · 이충수^{**}

^{*}광주대학교 경영학과 · ^{**}광주대학교 물류유통경영학과

Metric Information and Pareto Dominance Concept in Multi-Objective Particle Swarm Optimization Using a Supply Chain Model and a Known Function

KyoungJong Park^{*†} · ChoongSoo Lee^{**}

^{*}Department of Business Administration, Gwangju University

^{**}Logistics & Distribution Management, Gwangju University

This paper evaluates Multi-Objective Particle Swarm Optimization(MOPSO) techniques. MOPSO methods mainly use concepts based on the metric information or the pareto dominance concept to optimize multi-objective functions. One of the most typical methods which use the metric information is Sigma method. One of the most typical methods which use the pareto dominance concept is PROB. This paper tests the two methods using a known function and a supply chain model. Also ANOVA tests using a 5% significance level are performed in SPSS to examine significant performance changes between two methods.

Keywords: MOPSO, Metric Information, Pareto Dominance, PROB, Sigma, Supply Chain

1. 서론

진화 알고리즘(Evolutionary Algorithms: EA)은 단일 목적 및 다목적 최적화 문제를 해결하기 위한 대안으로 18세기부터 사용되어 왔다(Alvarez-Benitez et al., 2005). 최근에는 새, 곤충, 물고기 떼의 집단 행태에 영감을 받아 개발된 PSO(Particle

Swarm Optimization) 기법이 단일 목적 최적화 문제에서 다목적 최적화(Multi-Objective Particle Swarm Optimization: MOPSO) 문제로 확장되어 사용되고 있다.

PSO 기법은 Eberhart & Kennedy(1995)에 의해 처음으로 소개되었고, 자연선택의 진화 과정을 모방하는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)과는 다르게 새와 물고기들이 행하는 생체군집의 사회적 행동 양식을 바탕으로 하고 있다(강석호 & 김

[†] 이 연구는 2011년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

[‡] **Corresponding author:** Gwangju University, 592-1 Jinwol-Dong, Nam-Gu, Gwangju, 503-703, S. Korea
TEL : 82-62-670-2246 FAX : 82-62-670-2631 E-mail : kjpark@gwangju.ac.kr

^{*} 2011년 5월 18일 투고, 6월 21일 게재 확정.

승, 2008). PSO 기법은 목적식 값을 얻어내는 결정변수를 입자(particle)로 표현하고, 결정변수의 전체 집단을 모 집단(swarm)으로 표현한다.

유전자 알고리즘, 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing: SA), 타부 서치(Tabu Search: TS)와 같은 메타 휴리스틱(Meta Heuristic: MH) 기법은 다양한 형태의 문제에 적용이 가능하며, 사용하는 연산자나 파라미터의 값을 조정하여 지역 최적해에 빠지지 않도록 한다. 그러나 PSO 기법은 가능해의 공간상에 위치(location)하는 입자들의 배치, 속도(velocity), 관성중(inertia weight: w), 가속상수(c_1 , c_2), 모 집단 정보 등을 사용하여 지역 최적해에 빠지지 않도록 한다.

PSO 기법은 유전자 알고리즘과 비슷한 개념의 최적해 탐색 기법이지만 선택, 교배, 돌연변이의 과정을 거치지 않는다. 그 대신에 이 기법은 목적식에 대한 적합도가 가장 큰 최적의 위치를 찾도록 입자들의 움직임에 방향성을 부여한다. PSO 기법은 개별 입자의 반복을 통해 발견한 개인 최적해(personal best)와 전체 입자의 반복을 통해 발견한 전체 최적해(global best)가 지시하는 방향으로 해들을 개선시키고, 그 과정에서 난수를 발생시켜 임의성을 포함시킨다.

PSO 기법은 해의 방향성이 정해지면 세대가 진행될수록 해 집단의 다양성은 떨어지고 지역 최적해에 빠질 수 있는 약점이 알고리즘에 내재되어 있다(강석호 & 김승, 2008). 반면에 PSO 기법은 매우 간단한 개념으로 구성되었고, 알고리즘은 몇 줄의 컴퓨터 코드로 표현된다(Eberhart & Kennedy, 1995). 또한 PSO 기법은 아주 원시적(primitive)이고 단순한 수학적 연산자들만을 필요로 하기 때문에 메모리 요구량이나 실행 속도 측면에서 매우 효과적이다(Mahnam et al., 2009). PSO 기법은 유전자 알고리즘과의 비교 평가에서도 좋은 결과를 보여주었고, 특정 분야에서는 적용성이 훨씬 좋다고 알려졌다(Mostaghim & Teich, 2003; Amraee et al., 2006).

PSO 기법의 최적화에 사용되는 대표적인 개념은 거리 정보(metric information)를 이용하는 기법(Mostaghim & Tech, 2003)과 파레토 지배 개념(pareto dominance concept)을 이용하는 기법(Alvarez-Benitez et al., 2005)이다. 거리 정보를 이용하는 대표적인 방법은 Sigma이고, 파레토 지배 개념을 이용하는 대표적인 방법은 PROB이다. 그러므로 본 연구에서는 PSO의 거리 정보 개념과 파레토 지배 개념을 알려진 함수(known function)와 공급 사슬 모델에 적용하여 그 효과를 평가하고자 한다.

본 연구의 제 1장에서는 PSO 기법의 특징과 연구 목적을 설명하였다. 제 2장에서는 MOPSO의 개념, PROB와 Sigma 기법의 개념 및 알고리즘에 대해서 설명한다. 제 3장에서는 본 실험에서

사용하는 2가지 방법인 거리 정보를 이용하는 Sigma 기법과 파레토 지배 개념을 이용하는 PROB 기법을 알려진 함수와 공급 사슬 모델에 적용하여 그 결과를 분석한다. 마지막으로 제 4장에서는 결론을 내리고 추후 연구과제를 제시한다.

2. MOPSO 기법

N 개의 입자를 가진 모집단의 n 번째 결정변수의 k 번째 요소인 $x_{nk}^{(t+1)}$ 이 다음 세대($t+1$)의 위치를 결정하는 속도를 가지면, PSO 기법은 결정변수 값을 의미하는 입자를 다음의 식 (1) 또는 식 (2)로 표현한다(Julio et al., 2005).

$$x_{nk}^{(t+1)} = x_{nk}^{(t)} + v_{nk}^{(t)} \quad (1)$$

$$x_{nk}^{(t+1)} = x_{nk}^{(t)} + \chi v_{nk}^{(t)} + \epsilon^{(t)} \quad (2)$$

식 (1)은 t 세대에서 위치와 속도를 이용하여 다음 세대($t+1$)의 입자의 위치를 구하는 가장 일반적인 식이다. $v_{nk}^{(t)}$ 는 t 세대에서의 n 번째 입자의 k 번째 요소에 대한 이동 속도를 의미한다. 식 (1)은 다음 세대의 개체로 이동할 때 입자의 위치와 속도를 미세하게 조절하도록 식 (2)와 같이 변경하여 사용되기도 한다. 식 (2)의 $\chi \in [0, 1]$ 은 속도의 크기를 제어하는 제약 인자(constriction factor)이다. χ 가 0에 가까워지면 다음 세대로 이동하는 입자의 속도가 느려짐을 의미한다. 식 (2)의 $\epsilon^{(t)}$ 는 작은 확률적인 동요(stochastic perturbation)를 의미하는 격동 인자(turbulence factor)로 입자가 지역 최적해에 빠지지 않도록 현재의 위치에서 결정 공간을 더 넓게 탐색하도록 하는 역할을 수행한다.

식 (2)와 같은 효과를 내기 위해 식 (3)과 같이 격동 인자(Fieldsend & Singh, 2002) $R^{(t)}$ 를 포함하여 각 입자의 새로운 위치 식을 사용하기도 한다(Mostaghim & Teich, 2003).

$$x_{nk}^{(t+1)} = R^{(t)} x_{nk}^{(t)} \quad (3)$$

식 (3)에서 격동 인자 $R^{(t)}$ 는 모집단에서 각 입자의 위치를 갱신하고, 진화 알고리즘의 교배 연산자(mutuation operator)와 비슷한 역할을 수행하며 입자의 현재 위치에 랜덤 값을 더하여 계산된다(Mostaghim & Teich, 2003). 각 입자의 다음 세대($t+1$)의 속도는 다음의 식 (4)를 이용하여 계산한다.

$$v_{nk}^{(t+1)} = w v_{nk}^{(t)} + c_1 r_1 (P_{nk} - x_{nk}^{(t)}) + c_2 r_2 (G_{nk} - x_{nk}^{(t)}) \quad (4)$$

n 번째 입자의 k 번째 요소에 대한 $t+1$ 세대의 위치와 속도는 n

번째 입자의 k번째 요소에 대한 개인 최적값 P_{nk} 와 전체 최적값 G_{nk} 를 찾기 위해 갱신된다. P_{nk} 는 각 입자에 의해 발견된 현재까지의 개인 최적값이고, G_{nk} 는 전체 모집단에서 발견한 전체 최적값이다. 식 (4)의 r_1 과 r_2 는 일양분포 $[0, 1]$ 사이의 랜덤 변수이고, 상수 c_1 과 c_2 는 개인 최적값과 전체 최적값의 효과를 조절한다.

식 (4)에서 속도의 값이 너무 크면 입자가 최적해의 위치를 벗어날 수 있고, 반대로 속도가 너무 작을 때는 가능해 영역을 충분히 탐색하지 못하는 경우가 발생할 수 있기 때문에 속도의 크기를 적절하게 조절하는 것이 필요하다. 관성하중을 나타내는 파라미터 w 가 그 역할을 하며 속도의 크기를 제한한다. 큰 w 는 전역 탐색 능력을 강화시켜 주고 작은 w 는 지역 탐색 능력을 강화시켜 주기 때문에 시점 t 에서의 관성하중 $w(t)$ 는 지수적 감소 함수 또는 선형 감소 함수를 사용하기도 한다(Mahnam et al., 2009).

단일 목적 PSO 기법을 다목적 PSO 로 확장할 때 가장 어려운 점은 각 입자에 대한 전체 최적값 G_{nk} 을 찾는 것이다(Alvarez-Benitez et al., 2005). 즉 하나의 목적식이 아닌 여러 개의 목적식을 고려할 때 개인 최적값 P_{nk} 는 각 입자의 요소가 현재까지 가질 수 있는 값 중에서 제일 좋은 값을 선택하면 되지만, 전체 최적값 G_{nk} 을 선택하는 명확한 개념이 존재하지 않는 문제점이 있다. 단일 목적의 PSO에서 전체 최적값 G_{nk} 는 각 입자가 가질 수 있는 가장 좋은 위치 값을 선택하여 쉽게 결정될 수 있지만, MOPSO에서는 파레토 최적해의 집합이 존재하기 때문에 각 입자의 전체 최적값 G_{nk} 는 파레토 최적해의 집합에서 하나를 선택

해야 되는 어려움이 있다(Mostaghim & Teich, 2003).

MOPSO 알고리즘의 기본 절차는 다음의 <그림 1>로 설명될 수 있다.

<그림 1>의 MOPSO 알고리즘은 실행 초기에 최적 파레토 후보 집합을 저장하는 아카이브(archive) A는 비우고, N개의 입자들의 위치와 속도는 랜덤으로 초기화 한다. 각 입자에 대한 개인 최적값 P_{nk} 와 전체 최적값 G_{nk} 는 $x_{nk}^{(t)}$ 으로 초기화된다(Alvarez-Benitez et al., 2005).

세대 t 에서 n 번째 입자의 k 번째 요소의 속도 $v_{nk}^{(t)}$ 과 위치 $x_{nk}^{(t)}$ 은 식 (2)와 식 (4)를 이용하여 계산된다(라인 5-8). 목적함수는 가능해 영역에 있는 입자 $x_{nk}^{(t)}$ 을 이용하여 평가된다(라인 10). 아카이브 A의 멤버들에 의해 약하게 지배되지 않은 해들은 아카이브 A에 추가되고(라인 11-13), $x_{nk}^{(t)}$ 에 의해 지배되는 아카이브 A의 요소들은 아카이브 A에서 제거시켜 아카이브 A가 비지배 집합으로 유지되도록 한다.

MOPSO 기법에서 가장 중요한 부분은 개인 최적값과 전체 최적값을 선택하는 것이다. 개인 최적값 P_{nk} 의 선택은 명백하다. 만약 n 번째 입자 $x_{nk}^{(t)}$ 의 현재 위치가 P_{nk} 을 약하게 지배하거나, P_{nk} 와 $x_{nk}^{(t)}$ 이 서로 비지배(non-dominating)하면, $P_{nk} = x_{nk}^{(t)}$ 으로 설정된다(라인 16-18). A의 멤버들이 서로 비지배하고 $x_{nk}^{(t)}$ 에 의해 지배당하지 않으면 아카이브 A의 모든 멤버들은 전체 최적값 G_{nk} 를 위한 후보가 되고 이 중에서 G_{nk} 을 선택한다. MOPSO 알고리즘에서 얻어지는 파레토 최적해의 품질은 다양한 G_{nk} 을 얼마나 많이 선택하느냐에 따라 결정된다.

Coello et al.(2004)과 Ho et al.(2005)는 해의 다양성(diversity)을 유지하기 위해서 유전자 알고리즘의 돌연변이 연산자(mutation operator)를 이용하였다. PSO 방법에서 돌연변이 연산자를 사용하는 이유는 입자들이 거의 이동하지 않으면 지역 해에 빠질 위험성이 있기 때문이다. 문제에 맞는 돌연변이 연산자의 선택과 돌연변이 확률의 선택은 해의 다양성을 향상시키고 지역해에 수렴하는 현상을 줄여줄 수 있다. 그러나 적절한 돌연변이 연산자의 선택과 돌연변이 확률을 선택하는 것은 매우 어렵다.

Mostaghim & Tech(2003)과 Coello et al.(2004)은 해의 다양성을 유지하기 위해 거리 정보와 아카이브(또는 레퍼지토리(repository)) 개념을 이용하였다. 이 연구들은 발견된 비지배해를 아카이브에 저장하여 다음 세대에서 이 값들을 이용하여 최적해를 찾는 일종의 엘리티즘(elitism) 전략이다. Alvarez-Benitez et al.(2005)은 파레토 지배 개념을 이용하여 해의 다양성을 확보하였다.

MOPSO 기법의 가장 중요한 점은 앞에서도 언급했지만 각 입자의 전체 최적값 G_{nk} 을 찾는 것이다. G_{nk} 을 선택하는 일반적인 방법은 거리 정보를 이용하는 기법과 파레토 지배 개념을 이용

```

1: A:=0
2:  $\{x_{nk}^{(t)}, v_{nk}^{(t)}, G_{nk}, P_{nk}\}_{n=1}^N := \text{initialize}()$ 
3: for  $t := 1$  to  $G$ 
4: for  $n := 1$  to  $N$ 
5: for  $k := 1$  to  $K$ 
6:  $v_{nk}^{(t+1)} := wv_{nk}^{(t)} + c_1r_1(P_{nk} - x_{nk}^{(t)}) + c_2r_2(G_{nk} - x_{nk}^{(t)})$ 
7:  $x_{nk}^{(t+1)} := x_{nk}^{(t)} + v_{nk}^{(t+1)} + \epsilon^{(t)}$ 
8: end
9:  $x_{nk}^{(t)} := \text{enforceConstraints}(x_{nk}^{(t)})$ 
10:  $y_{nk}^{(t)} := f(x_{nk}^{(t)})$ 
11: if  $x_{nk}^{(t)} \not\prec u \forall u \in A$ 
12: A :=  $\{u \in A \mid u \prec x_{nk}^{(t)}\}$ 
13: A :=  $A \cup x_{nk}^{(t)}$ 
14: end
15: end
16: if  $x_{nk}^{(t)} \leq P_{nk} \vee (x_{nk}^{(t)} \prec P_{nk} \wedge P_{nk} \prec x_{nk}^{(t)})$ 
17:  $P_{nk} := x_{nk}^{(t)}$ 
18: end
19:  $G_{nk} := \text{selectGuide}(x_{nk}^{(t)}, A)$ 
20: end
    
```

그림 1. MOPSO 알고리즘의 절차

하는 기법이다.

Sigma 방법은 결정변수 i 에 대한 목적식 $f_1(i)$ 와 $f_2(i)$ 의 좌표 상에 있는 값을 σ_i 로 설정한다. 직선 $f_2 = af_1$ 상에 있는 모든 값들은 동일한 σ 값을 가지며, $\sigma = (f_1^2 - f_2^2)/(f_1^2 + f_2^2)$ 로 정의된다. 그러므로 $f_2 = af_1$ 상에 있는 모든 값들은 $\sigma_i = (1-a^2)/(1+a^2)$ 가 된다. <그림 2>는 각각의 직선에 대한 σ 값을 보여준다. $f_1(i) = f_2(i)$ 이면 $\sigma=0$, $f_2(i)=0$ 이면 $\sigma=1$, $f_1(i)=0$ 이면 $\sigma=-1$ 이 된다. 그러므로 Sigma 방법은 σ_i 와 $\sigma_n, \forall n=1, \dots, |A|$ 사이의 거리 정보를 이용하여 차이가 가장 작은 σ_n 을 전체 최적값 G_n 으로 선정하는 기법이다.

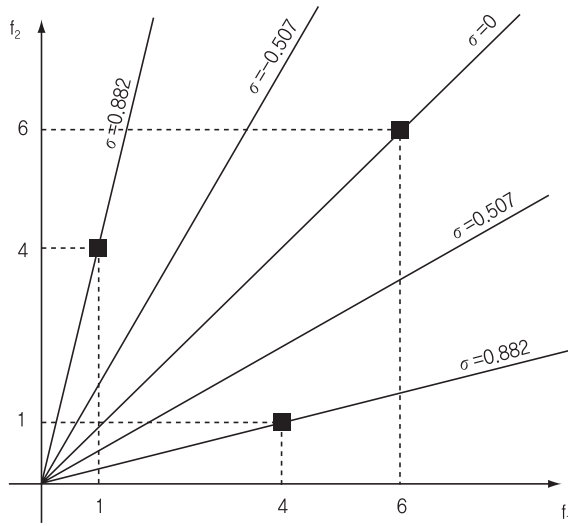


그림 2. 2개의 목적식 공간에 대한 Sigma 값(Mostaghimi & Teich, 2003; Mahnam et al., 2009)

PROB 기법(Julio et al., 2005)은 입자들의 파레토 지배 우선 순위를 고려하여 밀집된 지역에 있지 않은 입자들(다른 입자들을 적게 지배하는)은 선택될 확률을 높여주고, 밀집된 지역에 있는 입자들(다른 입자들을 지배하는 수가 많은)은 선택될 확률을 줄여 준다. 이렇게 하면 밀집된 지역에 있는 입자들은 선택될 확률이 낮아지기 때문에 전 지역에 걸쳐서 다양한 입자들이 선택되어 파레토 경계선을 길게 만들어 줄 수 있다. $X_n = \{x \in X | a < x\}$ 를 아카이브 입자 a 에 의해 지배되는 입자들의 집합이라고 하면 n 번째 입자의 전체 최적값 G_n 은 다음 식 (5)로 설명된다. X 는 모집단이고 x 은 모집단의 입자이고 a 는 아카이브 A 의 멤버 a 를 의미한다.

$$G_n = \begin{cases} a \in A \text{ with probability } \propto |X_n|^{-1} & \text{if } x_n \in A \\ a \in A_n \text{ with probability } \propto |X_n|^{-1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서 n 번째 입자 x_n 이 아카이브 A 의 멤버이면 a 가 선택될 확률은 $|X_n|^{-1}$ 이 되고, 이 값이 n 번째 입자의 전체 최적값

G_n 이 된다. 즉 다른 입자들을 지배하는 수인 a 가 클수록 $|X_n|^{-1}$ 은 작아지기 때문에 a 가 선택되는 확률은 줄어들게 된다. 만약 x_n 이 아카이브 A 의 멤버가 아니면 n 번째 입자 x_n 을 지배하는 아카이브의 멤버 A_n 에서 a 가 확률 $|X_n|^{-1}$ 을 가지고 선택되고 이 값이 전체 최적값 G_n 이 된다.

결론적으로 Sigma 기법은 목적식을 만족하는 σ_i 와 $\sigma_{i \neq n}$ 모든 사이의 거리를 계산하여 차이가 가장 작은 σ_n 을 n 번째 입자의 G_n 으로 설정하는 방법이고, PROB는 목적식을 만족하는 결정변수 사이의 지배 유무와 밀집도를 고려하여 n 번째 입자의 G_n 을 선택하는 방법이다.

3. 실험 및 결과 분석

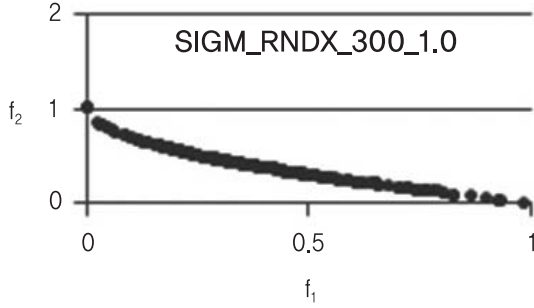
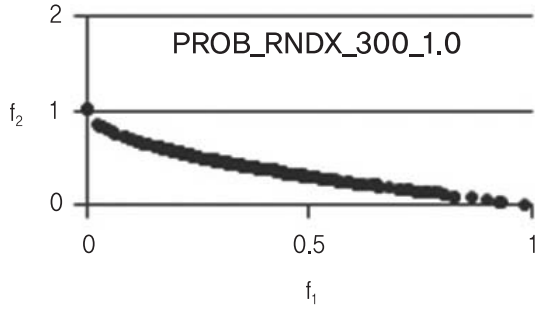
Sigma 기법과 PROB 기법을 평가하기 위한 실험은 2가지 모델을 비교한다. 첫 번째 모델은 식 (6)으로 표현되는 다목적 함수식이고, 두 번째 모델은 나중에 설명되는 공급사슬 모델이다. 식 (6)은 기존의 논문에서 사용된 알려진 함수이다(Zitzler, 1999; Mostaghimi & Teich, 2003).

$$\begin{aligned} g(x_2, \dots, x_k) &= 1 + \frac{9(\sum_{i=2}^k x_i)}{k+1} \\ h(f_1, g) &= 1 - \sqrt{f_1/g} \\ f_1(x_1) &= x_1 \\ f_2(x) &= g(x_2, \dots, x_k)h(f_1, g) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 결정변수의 수 k 는 30이고, 모든 결정변수의 가능해 영역이 $x_i \in [0, 1]$ 이면 $g(x) = 1$ 일 때 볼록형(convex) 파레토 최적 프런트를 생성한다.

객관적인 비교를 위해 2가지 방법은 동일한 조건에서 실험한다. 전체 모집단의 크기 n 은 300이고, t 시점에서 모집단의 n 번째 입자의 k 번째 요소에 대한 $x_{nk}^{(t)}$ 과 속도 $v_{nk}^{(t)}$ 은 식 (2)와 식 (4)를 이용하여 계산한다. PSO 기법의 파라미터 값은 일반적으로 사용되는 기준을 이용한다(Mostaghimi & Teich, 2003; Julio et al, 2005). 관성하중을 나타내는 w 의 값은 0.4로 고정한다. r_1 과 r_2 값은 범위 $[0, 1]$ 에서 랜덤으로 선택하고 전체 세대수는 300으로 설정한다. 시뮬레이션을 위한 초기 모집단과 속도 값은 결정변수의 구간이 $x_i \in [0, 1]$ 이므로 동일한 구간에서 랜덤으로 선택하고, c_1 과 c_2 값은 1로 설정한다(Mostaghimi & Teich, 2003).

<그림 3>과 <그림 4>는 알려진 함수인 식 (6)에 대한 Sigma 기법과 PROB 기법의 실험결과이다.

그림 3. Sigma 기법을 이용할 때 목적식 $f_1(i)$ 와 $f_2(i)$ 에 대한 파레토 프런트그림 4. PROB 기법을 이용할 때 목적식 $f_1(i)$ 와 $f_2(i)$ 에 대한 파레토 프런트

〈그림 3〉과 〈그림 4〉에서 보여주는 결과를 분석하기 위한 비교 실험은 동일한 랜덤 번호를 부여하여 각각 10번의 시뮬레이션을 수행한 후에 통계적 분석을 수행한다.

다목적 최적화 알고리즘은 정성적인(qualitative) 방법이 아닌 정량적인(quantitative) 방법으로 평가해야 객관적인 비교가 가능하다. 다목적 최적화 알고리즘은 정량적으로 평가시에 다음과 같은 항목들을 일반적으로 고려할 수 있다(Coello et al., 2004). 첫째, 최적 기법은 전역 파레토 프런트와 제한된 알고리즘의 파레토 프런트의 거리를 최소화한다. 둘째, 최적 기법은 발견된 해들의 흠어짐을 최소화하여 부드럽고 균일한 벡터 분포를 얻도록 한다. 셋째, 최적 기법은 파레토 최적해의 집합에 포함되는 요소 수를 최대화 한다.

본 논문의 식 (6)은 이론적인 최적값을 알 수 있기 때문에 정량적인 평가 항목 중에서 Generational Distance(GD) 수행척도를 이용한다. GD의 개념은 Van Veldhuizen & Lamont(1998)에서 소개되었고, Coello et al.(2004)이 사용하였다. 이 방법은 얻어진 비지배 벡터 집합의 개별해가 파레토 최적해와 떨어진 거리를 평가하며 다음의 식 (7)과 같이 정의된다.

$$GD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad (7)$$

식 (7)에서 n 은 발견된 비지배해 집합의 벡터들의 개수이고, 는 각각의 해와 파레토 최적 집합에 있는 멤버들 중에서 가장 거리가 가까운 멤버와의 유클리디안 거리(euclidean distance)이다. 발견된 모든 요소들이 파레토 최적 집합 안에 존재하면 $GD=0$ 이 된다.

PROB 기법과 Sigma 기법의 GD 값은 다음의 〈표 1〉과 같이 정리된다.

표 1. PROB 기법과 Sigma 기법의 GD

실험 횟수	기법	
	PROB	Sigma
1	0.004699402	0.005341171
2	0.005774311	0.008256151
3	0.003223033	0.009934298
4	0.007551314	0.006453400
5	0.005923547	0.016290575
6	0.006617842	0.007754506
7	0.006045126	0.007037262
8	0.006536561	0.010386686
9	0.005029728	0.008398889
10	0.004663000	0.011415379

2가지 기법의 실험 결과인 〈표 1〉은 통계 분석을 통해 〈표 2〉의 요약표와 〈표 3〉의 분산분석표로 정리된다. 〈표 2〉에서 PROB 기법의 평균은 0.005605이고 분산은 $1.52E-06$ 이다. Sigma 기법의 평균은 0.0091268이고 분산은 $9.76E-06$ 이다. 좋은 기법은 GD 값이 0에 가까운 값을 가져야 되기 때문에 PROB 기법의 평균이 Sigma 기법보다 작고, 분산도 더 작아서 더 우월한 기법으로 판단된다.

〈표 3〉의 분산분석표에서 p값이 0.004로 유의수준 $\alpha=0.05$ 보다 작기 때문에 PROB 기법과 Sigma 기법에는 유의한 차이가 있

표 2. 알려진 함수의 요약표

인자의 수준	관측수	합	평균	분산
PROB	10	0.056064	0.005606	$1.52E-06$
Sigma	10	0.091268	0.009127	$9.76E-06$

표 3. 알려진 함수의 분산분석표

변동 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처리	$6.20E-05$	1	$6.20E-05$	10.986	0.004	4.4139
잔차	0.0001	18	$5.64E-06$			
계	0.00016	19				

음을 알 수 있다.

결론적으로 식 (6)을 평가한 2가지 기법은 유의수준 $\alpha=0.05$ 일 때 유의한 차이가 존재하며, PROB 기법의 GD가 Sigma 기법의 GD보다 평균과 분산이 모두 작았다. 그러므로 PROB 기법이 최적 파레토 프런트와의 거리도 더 가깝고 파레토 해들의 변동도 훨씬 작아서 Sigma 기법보다 더 효율적인 기법이라고 판단할 수 있다.

두 번째 실험은 4 티어(Factory - Distributor - Wholesaler - Retailer)로 구성되는 <그림 5>와 같은 공급 사슬 모델을 가정한다(Strozzi et al., 2007; Thomson et al., 1991).

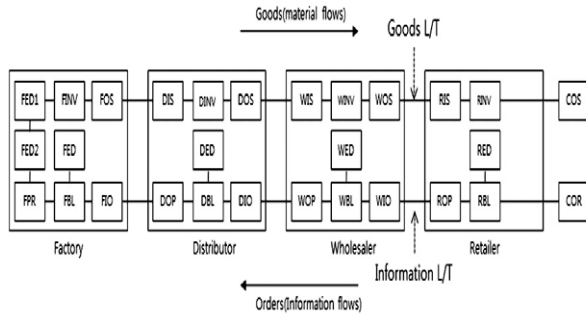


그림 5. 4티어 공급 사슬 모델

<그림 5>에서 설명되는 공급 사슬 모델의 목적식은 총재고비용의 최소화과 주문만족율의 최대화이며 다음의 식 (8)과 (9)로 설명된다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n (BLC \cdot (\sum_{i=1}^m BL_{t,i}) + HIC \cdot (\sum_{i=1}^m INV_{t,i})) \quad (8)$$

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^m OFR_i / m \quad (9)$$

식 (8)과 (9)에서 m 은 티어의 수이고, t 는 시점을 의미한다. BLC는 고객이 요청한 제품이 없을 때의 손실인 단위제품당 결품 비용이고, HIC는 재고관리를 위한 단위제품당 재고유지비용이다. $BL_{t,i}$ 는 t 시점에서 i 번째 티어의 결품량이고, $INV_{t,i}$ 는 t 시점에서 i 번째 티어의 재고량이다. OFR_i 는 i 번째 티어의 주문만족율을 의미한다. <그림 5>의 모델에서 사용되는 용어는 시점 t 를 기준으로 설명하면 다음과 같다.

FED_t : Factory 기대수요량

DED_t : Distributor 기대수요량

WED_t : Wholesaler 기대수요량

RED_t : Retailer 기대 수요량

FIO_t : Factory 수주량

DIO_t : Distributor 수주량

WIO_t : Wholesaler 수주량

COR_t : 고객 주문량

FPR_t : Factory 생산량

DOP_t : Distributor 주문량

WOP_t : Wholesaler 주문량

ROP_t : Retailer 주문량

FBL_t : Factory 결품량

DBL_t : Distributor 결품량

WBL_t : Wholesaler 결품량

RBL_t : Retailer 결품량

$FINV_t$: Factory 재고량

$DINV_t$: Distributor 재고량

$WINV_t$: Wholesaler 재고량

$RINV_t$: Retailer 재고량

최종 고객(end customer)의 수요는 공급 사슬의 현실성을 고려하여 확정적(deterministic) 수요 대신에 확률적(stochastic) 수요를 가정하며 $D_t = \mu + \rho D_{t-1} + \epsilon_t$, $|\rho| < 1$ 인 AR(1) 모델을 사용한다. D_t 는 시점 t 에서의 수요, μ 는 음수가 아닌 상수, ϵ_t 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 독립적이고 동일한 정규분포를 따르는 오차항을 의미하고, ρ 는 1차 자기상관계수(autocorrelation coefficient)이다.

각 티어의 기대 수요는 $ED_t = \theta \cdot IO_{t-1} + (1-\theta) \cdot ED_{t-1}$ 로 가정하며, ED_t 와 ED_{t-1} 는 시점 t 와 $t-1$ 의 기대 수요이고, IO_{t-1} 는 시점 $t-1$ 에서의 주문인 수주량을 의미한다. 각 티어의 기대 수요는 다운스트림 티어의 주문량과 현재 티어의 예측 수요량을 합하여 계산하며 값이 클수록 다운스트림 티어에서 요청한 수주량의 중요도가 커지고 불확실성을 포함하고 있는 예측 수요의 비중이 작아진다.

공급 사슬의 각 단계에서 다음 단계로 주문(정보)과 발주(수량)가 이동하는 시간은 1 단위 기간(period, week)이며, Factory 티어에서의 제품 생산 시간은 원자재의 납품을 고려하여 3주로 가정한다. 생산 용량(capacity)은 무한대이고, 각 단계는 하나의 재고 지점을 가진다고 가정한다. 요청된 주문량은 취소되지 않으며 남은 재고도 반품되지 않는 것으로 가정한다.

공급 사슬의 각 티어에서 재고를 보충하기 위한 일반적인 전략은 order-up-to-level 재고 정책이며, order-point order-quantity (s, Q) 시스템, order-point order-up-to-level (s, S) 시스템, periodic-review order-up-to-level (R, S) 시스템 및 (R, s, S) 시스템이 여기에 속한다(Silver et al., 1998). 본 논문은 각 티어의 재고 보충 전략으로 periodic-review order-

up-to-level (R, S) 정책을 사용하며, 이 정책은 주기(R)마다 각 티어의 재고를 조사하여 $\max(0, S - INV_{t,i})$ 만큼 주문한다.

최종 고객의 수요를 나타내는 AR(1) 모델은, $\rho = -0.6$, $\mu = 100$, ϵ_t 는 $\sigma = 10$ 인 정규분포 $N(0, \sigma^2)$ 로 가정한다 (Zhang & Zhang, 2007). 각 티어의 재고 변동 범위는 [0, 20], 수요 예측을 위한 θ 값의 변동 범위는 [0, 1], 모집단의 크기는 200, 세대 수는 100으로 설정한다. 정보 리드 타임은 없고 제품 리드 타임은 각 티어별로 평균이 3이고 분산이 1인 정규분포를 가정한다. 전체 시뮬레이션 기간은 600단위 기간이며, 200 단위 기간은 warm-up 기간으로 간주하여 제거한다.

(R, S) 재고 정책에서 각 티어의 재고를 관찰하는 주기 R은 1이며 order-up-to-level S의 서비스 수준(service level)을 95%로 하여 안전 계수(safety factor) z 값 1.65를 사용한다. PSO 기법의 파라미터 값은 식 (6)에서 사용된 조건과 같은 조건을 사용한다.

〈표 4〉는 공급 사슬 모델을 사용하여 2가지 기법에 대해 10회의 시뮬레이션을 수행할 때 총재고비용과 주문만족율의 평균을 보여준다.

표 4. PROB 기법과 Sigma 기법을 사용할 때의 총재고비용과 주문만족율의 평균

PROB		Sigma	
총재고비용	주문만족율	총재고비용	주문만족율
4267272	0.6601375	12297209	0.7325875
2411205.4	0.6317	13186258	0.7549625
4994082.9	0.68055	16984625	0.7732
1878625.5	0.659925	14104684	0.784725
4987734.3	0.6637125	6754120.2	0.7458375
5228330.4	0.63835	4848103.5	0.6789447
4842524.4	0.5775125	22769514	0.755925
5730392.7	0.653825	7231945.5	0.7206125
5107358.3	0.648775	9497043.8	0.7316
4177133.6	0.651425	12770917	0.753975

통계분석은 〈표 4〉의 값을 이용하여 총재고비용과 주문만족율로 나누어 비교한다. 〈표 5〉와 〈표 6〉은 PROB 기법과 Sigma 기법을 총재고비용 측면에서 평가한 요약표와 분산분석표이다. PROB 기법을 이용한 총재고비용의 평균은 4362465.951이고 분산은 1.57961E+12이다. Sigma 기법을 이용한 총재고비용의 평균은 12044442.12이고 분산은 2.8333E+13이다. 〈표 6〉에서 p 값이 유의수준 $\alpha=0.05$ 보다 작기 때문에 총재고비용 측면에서 비교한 2가지 기법은 유의한 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 평균과 분산이 모두 작은 PROB 기법이 Sigma 보다 더 우월함을 알 수 있다.

표 5. 공급 사슬 모델의 총재고비용 요약표

인자의 수준	관측수	합	평균	분산
PROB_TIC	10	43624659.51	4362465.951	1.57961E+12
Sigma_TIC	10	120444421.2	12044442.12	2.8333E+13

표 6. 공급 사슬 모델의 총재고비용 분산분석표

변동 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처리	2.95064E+14	1	2.95064E+14	19.73	0.000315066	4.41
잔차	2.69213E+14	18	1.49563E+13			
계	5.64277E+14	19				

〈표 7〉과 〈표 8〉은 PROB 기법과 Sigma 기법을 주문만족율 측면에서 평가한 요약표와 분산분석표이다. PROB 기법을 이용한 주문만족율의 평균은 0.647이고 분산은 0.00077이다. Sigma 기법을 이용한 주문만족율의 평균은 0.743이고 분산은 0.00088이다. 〈표 8〉에서 p 값이 유의수준 $\alpha=0.05$ 보다 작기 때문에 주문만족율 측면에서 비교한 2가지 기법은 유의한 차이가 있음을 알 수 있다. Sigma 기법의 평균 0.743이 PROB 기법의 평균 0.647보다 크기 때문에 주문만족율은 Sigma 기법이 좋지만 분산은 좋지 못하다. Sigma 기법이 PROB 기법보다 주문만족율이 더 좋지만, 공급 사슬의 총재고비용은 Sigma 기법이 PROB 기법보다 176 % $\%=(12044442.12 - 4362465.95)/4362465.95 \times 100$ 더 많이 소모된다. 주문만족율의 향상은 높은 재고 수준으로 쉽게 해결되지만 회사 측면에서 과도한 재고비용이 요구된다.

표 7. 공급 사슬 모델의 주문만족율 요약표

인자의 수준	관측수	합	평균	분산
PROB_OFPR	10	6.466	0.647	0.00077
Sigma_OFPR	10	7.432	0.743	0.00088

표 8. 공급 사슬 모델의 주문만족율 분산분석표

변동 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처리	0.047	1	0.047	56.48	5.898E-07	4.414
잔차	0.015	18	0.001			
계	0.062	19				

4. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 MOPSO 기법의 개념을 설명하였고, MOPSO 기법의 가장 대표적인 방법인 거리 정보를 이용하는 방법과 파레토 지배 개념을 알려진 함수와 공급 사슬 모델을 이용하여 평가하였다. 2가지 기법을 평가하기 위한 실험은 동일한 조건과 파라미터 값을 이용하여 수행하였다.

알려진 함수인 식 (6)을 평가한 2가지 기법은 유의수준 $\alpha=0.05$ 일 때 유의한 차이가 존재하며, PROB 기법의 GD가 Sigma 기법의 GD보다 평균과 분산이 모두 작았다. 그러므로 PROB 기법이 최적 파레토 프런트와의 거리도 더 가깝고 파레토 해들의 변동도 훨씬 작아서 Sigma 기법보다 더 효율적인 알고리즘이라고 판단할 수 있었다.

공급 사슬 모델에서 총재고비용의 최소화와 주문만족율의 최대화 관점에서 2가지 기법을 평가하였다. PROB 기법과 Sigma 기법을 총재고비용 측면에서 평가하면, p값이 유의수준 $\alpha=0.05$ 보다 작기 때문에 2가지 기법은 유의한 차이가 있음을 알 수 있었다. 즉, 평균과 분산이 모두 작은 PROB 기법이 Sigma 보다 더 우월하였다. 2가지 기법을 주문만족율 측면에서 비교하면 p값이 유의수준 $\alpha=0.05$ 보다 작기 때문에 2가지 기법은 유의한 차이가 있음을 알 수 있었다. Sigma 기법이 PROB 기법보다 주문만족율이 더 좋지만, 공급 사슬의 총재고비용은 Sigma 기법이 PROB 기법보다 176% $(=(12044442.12-4362465.95)/4362465.95*100)$ 더 많이 소모되었다. 주문만족율의 향상은 높은 재고 수준으로 쉽게 해결되지만 회사 측면에서 과도한 재고비용이 요구된다.

본 연구에서는 MOPSO 기법을 알려진 함수와 공급 사슬 모델에 적용하였다. 추후 연구과제에서는 공급 사슬 모델의 주문만족율의 향상이 적용 기법에 의한 효율인지 아니면 높은 재고 수준으로 인한 것인지 정확한 평가를 하고자 한다.

참고 문헌

[1] 강석호, 김승(2008), Particle 2-Swarm Optimization for Robust Search, *경영정보논총*, 제18권, 제1호, pp. 1-10.
 [2] 박경종(2010), PSO 알고리즘의 탐색 가능 영역 조정을 위한 새로운 기법, *한국SCM학회지*, 제10권, 제2호, pp. 101-108.
 [3] Alvarez-Benitez, J. E., Everson, R. M., and Fieldsend, J. E.(2005), A MOPSO Algorithm Based Exclusively on Pareto Dominance Concepts, *In Third International Conference on Evolutionary Multi-Criterion*

Optimization, pp. 459-473.
 [4] Amraee, T., Ranjbar, A. M., Mozafari, B., and Sadati, N.(2006), An Enhanced Under-Voltage Load-Shedding Scheme to Provide Voltage Stability, *Electric Power Systems Research*, Vol. 77, pp. 1038-1046.
 [5] Clerc, M.(1999), The Swarm and the Queen: Towards a Deterministic and Adaptative Particle Swarm Optimization, *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation*, pp. 1951-1957.
 [6] Coello, C., Pulido, G., and Lechunga, M.(2004), Handling Multiple Objectives with Particle Swarm Optimization, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 8(3), pp. 256-279.
 [7] Eberhart, R. and Kennedy, J.(1995), A New Optimizer Using Particles Swarm Theory, *Proceedings of Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, pp. 39-43.
 [8] Fieldsend, J.(2004), Multi-Objective Particle Swarm Optimization Methods, *Technical Report No. 419*, University of Exeter.
 [9] Fieldsend, J. E. and Singh, S.(2002), A Multi-Objective Algorithm based upon Particle Swarm Optimisation, and Efficient Data Structure and Turbulence, *In The 2002 U.K. Workshop on Computational Intelligence*, pp. 34-44.
 [10] Ho, S. L., Shiyong, Y., Guangzheng, N., Lo, E. W. C., and Wong, H. C.(2005), A Particle Swarm Optimization based Method for Multiobjective Design Optimizations, *IEEE Transactions On Magnetics*, Vol. 41(5), pp. 1756-1759.
 [11] Julio, E. A., Everson, R. M., and Fieldsend, J. E.(2005), A MOPSO Algorithm Based Exclusively on Pareto Dominance Concepts, *Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, pp. 1-15.
 [12] Mostaghim, S. and Teich, J.(2003), Strategies of Finding Good Local Guides in Multi-Objective Particle Swarm Optimization(MOPSO), *IEEE 2003 Swarm Intelligence Symposium*, pp. 26-33.
 [13] Mahnam, M., Yadollahpour, M. R., Famil-Dardashti, V., and Hejazi, S. R.(2009), Supply Chain Modeling in Uncertain Environment with Bi-objective Approach,

- Computers and Industrial Engineering*, Vol. 56, pp. 1535-1544.
- [14] Van Den Bergh, F.(2001), An Analysis of Particle Swarm Optimization, Ph.D. thesis, University of Pretoria.
- [15] Van Veldhuizen, D. A. and Lamont, G. B.(1998), Multiobjective Evolutionary Algorithm Research: A History and Analysis, *Technical Report TR-98-03*, Air Force Inst. Technology.
- [16] Zhang, C. and Zhang, C.(2007), Design and Simulation of Demand Information Sharing in a Supply Chain, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 15, pp. 32-46.
- [17] Zitzler, E.(1999), Evolutionary Algorithms for Multiobjective Optimization: Methods and Applications, *TIK-SCHRIFTENREIHE NR. 30, Diss ETH No. 13398*, Swiss Federal Institute of Technology(ETH) Zurich.



박경중

한양대학교 산업공학과 학사
 한양대학교 산업공학과 석사
 한양대학교 산업공학과 박사
 현재: 광주대학교 경영학과 부교수
 관심분야 : 시뮬레이션 최적화, sSCM,
 PSO, Smart Grid



이충수

한양대학교 산업공학과 학사
 한양대학교 산업공학과 석사
 고려대학교 산업공학과 박사
 현재: 광주대학교 물류유통경영학과
 부교수
 관심분야: SCM, 서비스 품질

가전제품 배송과 설치 서비스의 이원화를 위한 배송 스케줄링 설계 및 분석*

심인수* · 김태호** · 차주일*** · 이홍철†

*고려대학교 산업경영공학과 · **고려대학교 정보경영공학과 · ***삼성 SDS

A design and analysis of scheduling for the dual of appliances delivery and installation services

InSoo Sim* · TaeHo Kim** · JuIl Cha*** · HongChul Lee†

*Department of Industrial Management Engineering, Korea University

**Department of Information Management Engineering, Korea University

***Samsung SDS

In this paper, we proposed delivery model for the dual of appliances delivery and installation services. In order to carry out the proposed delivery model, delivery vehicles and installation services are required the concurrent scheduling. We propose a meta-heuristic algorithm for solving the concurrent scheduling, based on the ant colony system. Scheduling algorithms were developed and existing models and proposed models were compared by executing experiments with scheduling algorithms. Through experiments, the results showed that the proposed delivery model minimizes the number of delivery vehicles and cost more efficiently than existing delivery model.

Keywords: Vehicle Routing, Ant Colony System, Delivery Model

1. 서론

오늘날 정보통신 분야의 기술혁신으로 물류 정보가 통합화되었고, 이로 인해 물류산업 환경이 급변했다. 세계적으로 확산된 인터넷 망과 물류망은 시간과 거리의 제약을 완화시켰으며, 고객들이 정보와 상품에 대한 접근이 쉬워짐에 따라 기업에 대한 고객요구가 다양해지고 있다. 특히, 가전제품 배송분야에서 고객은 정품·

정량·정시 배송서비스에 대한 요구는 기본이고, 제품 설치 및 제품 기능에 대한 설명 등 다양한 서비스의 요구가 더욱더 커지고 있다. 이에 물류업체는 다양한 고객의 요구를 만족시키면서 차량 수 및 운행거리 최소화, 차량 적재율 극대화 등 물류비용 절감에 대한 필요성이 커지고 있다.

현재까지 대부분의 설치가 요구되는 가전제품의 배송 프로세스는 배달 차량에 배달기사와 설치기사가 2인 1조로 가전제품을 배송하고 설치 및 설명을 실시하였다. 이 경우에 기사가 가전제품을

* 본 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 '2단계BK21사업'의 지원비를 받았다.

† **Corresponding author:** Department of Industrial Management Engineering, Korea University, Anam-Dong, Seongbuk-Gu, Seoul, 136-701, Korea
TEL : 82-2-3290-3389 FAX : 82-2-3290-3767 E-mail : hclee@korea.ac.kr

* 2011년 6월 22일 투고, 9월 5일 게재 확정.

배송한 후, 제품을 설치하고 설명하는 시간이 고객마다 일정하지 않아서 다음 고객의 배송지연이 발생할 수 있다. 예를 들어 가전제품을 설치 시, 제품을 설치해야할 공간이 좁아서 설치 지연이 발생할 수 있고, 고객의 요구로 제품 설명시간이 길어질 수 있다. 이런 불확실한 요인으로 인해서 배송계획의 변경과 지연이 많이 발생한다. 또, 배달차량은 제품 설치 및 설명시간으로 인해서 불필요한 대기시간이 발생한다.

그래서 배달차량과 설치 서비스기사를 따로 구성하는 배송 모델을 제안하고자 한다. 배달차량은 가전제품의 배송을 담당하고, 설치 서비스기사는 제품 설치 및 설명의 서비스를 담당하는 것이다. 배송과 설치 서비스를 이원화함으로써, 물류 서비스 시 발생할 수 있는 불확실성에 유연하게 대처할 수 있다. 제안한 배송 모델을 구현하기 위해서는 고객마다 배달차량과 설치 서비스기사 간의 동시 스케줄링이 필요하다. 배달차량과 설치 서비스기사간의 동시 스케줄링 문제는 기본적으로 각 고객의 시간 제약과 요구량을 만족시키면서 최소 이동 비용을 구하는 차량경로 스케줄링 문제(VRSPTW, Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window)이다(Bodin L., et al., 1983). VRSPTW는 NP-Hard문제이며, 메타휴리스틱 방법(meta-heuristic algorithm)으로 해결한 연구가 많이 진행 되었다. 본 연구에서는 개미군집시스템(ACS, Ant Colony System)을 응용해서 제안한 배송모델의 스케줄링 알고리즘을 설계하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장에서는 차량 경로 문제에 대한 선행 연구에 대해서 기술하였고, 제 3장에서는 개미군집시스템을 응용해서 제안한 배송모델의 스케줄링 알고리즘을 설계하였다. 제 4장에서는 설계한 배송 스케줄링 알고리즘을 구현해서 기존 배송모델과 제안한 배송모델을 비교 실험 하고 결과를 분석하였다. 제 5장에서 결론과 향후 연구 방향을 제시하였다.

2. 관련 연구

차량 경로문제(VRP, Vehicle Routing Problem) 유형 중에 VRPTW(VRP with Time Window)는 고객 요구 시간의 제약이 있는 차량경로 문제이다.

VRPTW는 NP-Hard 문제이므로(Lenstra and Rinnooykan, 1981) 제한된 시간 내에 최적 해를 찾을 수 없다. 그래서 이 문제를 해결하기 위해서는 지역 탐색을 통해서 여러 해를 생성하고 그 안에서 최적해에 가까운 해를 찾는 휴리스틱 방법을 사용한다. 지금까지 연구된 휴리스틱 방법에는 일반적으로 휴리스틱 알고리즘(heuristic algorithm)과 메타휴리스틱 알고리즘(meta-heuristic algorithm)을 포함한다. 차량경로 문제에서 휴리스틱

알고리즘은 일반적으로 차량 경로 구성과 개선인 두 측면으로 나눌 수 있다.

Clarke and Wright(1964)는 경로구성을 절약 알고리즘(saving method)으로 해결하였다. 절약 알고리즘은 먼저 고객 수만큼의 경로를 생성한 후에 임의의 두 경로 중에서 목적함수의 감소치(절약값)가 가장 큰 것을 합쳐 나간다. 이 작업을 모든 경로가 완성 될 때까지 수행해 나간다. 그리고 Solomon(1987)은 구성된 경로에 포함되지 않은 고객 중에서 제약 조건의 기준 값이 큰 것을 추가하면서 경로를 구성하는 삽입 휴리스틱(insertion heuristic)을 제안하였다. 경로 개선을 하는 휴리스틱 알고리즘으로는 연속된 두 노드를 삽입하는 Or-exchange, 두 경로에 각각 포함된 하나의 노드를 교환하는 Swap방법 등이 있다.

VRPTW는 휴리스틱 알고리즘만 쓸 경우에는 국부 최적해(local optimum)에 빠질 수 있기 때문에 지역탐색을 통해 해를 개선하는 메타휴리스틱 알고리즘이 많이 연구 되었다. Semet Semet and Taillard(1993)는 반복 탐색을 할 때마다 개선된 해를 타부 목록에 기록해서 개선되지 않은 해가 선택되지 않도록 하는 타부 탐색방법(tabu search method)으로 VRPTW를 해결하였다. Thangiah, Nygard, and Juell(1991)는 VRPTW를 염색체 형태로 표현해서 선별 · 교차 · 돌연변이를 반복해서 발생 시켜서 문제를 해결하는 유전자 알고리즘(genetic algorithm) 해법을 찾았다.

Gamhardella, Taillard and Agguzzi(1999)는 VRPTW를 개미군집시스템을 응용해서 해결한 MACS-VRPTW(Multiple Ant Colony System for VRPTW)를 정의하였다.

ACS알고리즘은 실제 개미들이 페로몬(pheromone) 교신을 통해 최적의 경로로 먹이를 찾는 행동을 모방한 메타휴리스틱 방법으로 Derio(1996)에 의해 소개되었다. ACS알고리즘은 까다로운 제약조건을 반영하기 쉽고 NP-Hard문제에서 인공 개미들이 동시에 움직이면서 해 탐색이 이루어지므로 우수한 해들의 특성이 종합적으로 반영한 해를 찾을 수 있다. 그러나 ACS알고리즘은 해 탐색과정에서 국부 최적해에 빠질 수 있다는 단점이 있다. MACS-VRPTW는 목적이 다른 두 개의 개미군집을 독립적으로 움직이면서 VRPTW를 해결하는 알고리즘이다. ACS-VEI라 불리는 개미 군집은 차량의 수를 최소화시키는 목적을 갖고, ACS-TIME 개미군집은 차량의 이동 거리나 시간을 최소화 시키는 목적을 갖는다. 본 연구에서는 차량과 같이 설치 서비스기사의 경로 문제도 해결해야 하므로 기존의 MACS-VRPTW에 설치 서비스기사의 수와 이동경로를 최소화시키는 두 개의 개미 군집을 추가한 MACS-DSVRPTW(Multiple Ant Colony System for Delivery/Service Vehicle Routing Problem with Time Window)를 제시하였다.

설치성 가전제품 배송에서 배달과 설치를 이원화한 스케줄 문제에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 선지웅(2007)은 배달과 설치차량의 일정계획의 동기화를 내공생 진화알고리즘을 통해 해결하였다. 본 논문에서는 더 나아가 실제 현장에서 운영하는 데이터를 가지고 배송과 서비스를 일원화한 기존 모델과 제안하는 이원화 모델을 비교 실험하여 경제성 분석을 하였다.

3. 제안한 배송모델의 스케줄링 알고리즘 설계

제안한 배송모델의 스케줄링 설계를 위해서 먼저 국내 S전자 물류회사의 현황분석과 제안한 배송모델을 설명하였다. 그리고 제안한 배송모델의 문제정의와 수리모형을 가지고 개미군집시스템을 응용해서 스케줄링 알고리즘을 설계하였다.

3.1 현황 분석 및 제안한 배송 모델

국내 S전자 물류회사는 전국 판매점 및 고객들에게 전자 제품의 물류서비스를 제공하고 있다. S전자 물류 회사는 국내 배송을 위해서 수원, 광주, 구미 등의 생산거점 및 전국 주요지역에 물류 네트워크를 가지고 있다.

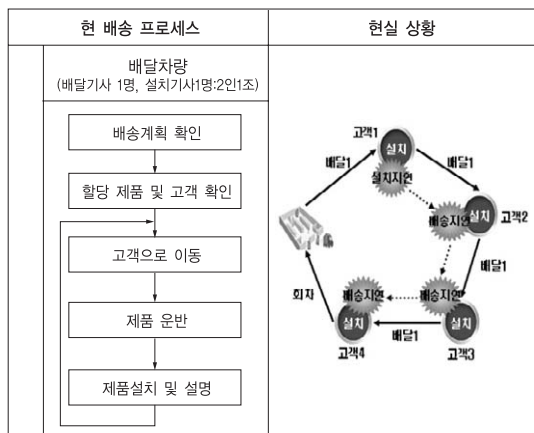


그림 1. 배송과 서비스가 일원화된 현 배송 프로세스

S전자 물류회사의 현 배송 프로세스와 이에 따라 발생하는 현 상황은 <그림 1>과 같다. 배달기사와 설치 기사가 2인 1조인 배달차량은 창고에서 할당된 제품을 상차하고, 배송계획서를 확인한 후에 배송을 시작한다. 배달차량이 고객에게 도착하면 기사들은 가전제품을 운반하고 설치 및 제품 설명을 실시한다. 배송과 서비스가 일원화된 배송 프로세스는 현실 상황에서 물류의 불확

실한 변동성에 대처하기가 어렵다. 가전제품을 설치하고 사용자에게 제품을 설명하는 시간이 고객마다 일정하지 않아 예상시간보다 길어질 경우에는 다음 배송 스케줄에 큰 영향을 준다. 예를 들면 가전제품을 설치 시, 설치 공간이 좁아 설치 지연이 생길 수 있고 고객의 요구로 제품 설명시간이 길어 질 수가 있다. 이처럼 가전제품의 설치 및 설명시간이 길어지면 다음 배송자의 지연이 발생하고 전체적인 계획에 차질이 생긴다. 그리고 지연된 다음 배송지로 빨리 이동하기 위해서 가전제품 설치 및 설명을 서두르게 되고, 이로 인해 물류 서비스 품질을 저하시킨다. 현 배송 프로세스는 가전제품 설치 및 설명시간 동안에 배달차량의 불필요한 대기시간이 발생한다. 이러한 대기시간으로 인해 배달차량 한대의 가전제품 배송 물량은 감소된다. 그리고 2인 1조로 구성된 배달차량의 기사들은 배송과 서비스에 대한 책임을 맡고 있지만, 성과지표는 배송 건수인 배송만을 중요시 보기 때문에 서비스를 중요하게 생각하지 않게 된다. 그래서 이런 문제점들을 해결하기 위해서 배송과 설치 서비스를 이원화한 배송 프로세스를 <그림 2>와 같이 제안하였다.

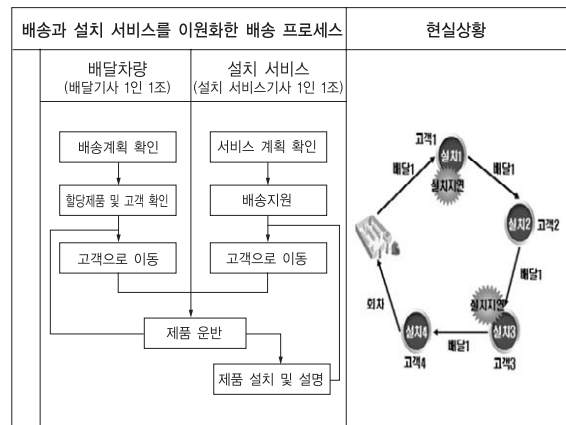


그림 2. 배송과 서비스가 이원화된 배송 프로세스

제안한 배송 프로세스를 실행하기 위해서는 수도권 권역별로 서비스센터를 두고 설치 서비스기사를 배치해야 한다. 그리고 배달기사는 1인 1조로 가전제품의 배송을 담당하고, 설치 서비스기사는 1인 1조로 원동기나 소형차로 이동하면서 가전제품의 설치 및 설명에 해당하는 서비스를 담당한다. 제안한 배송 프로세스는 S전자 전체 물류량의 70%이상을 차지하는 수도권에서만 효과가 있다. 고객의 수가 작은 도시일 경우에는 고객 간의 시간간격이 넓기 때문에 서비스시간의 불확실성이 있어도 대처가 가능하다.

이 프로세스를 현실 상황으로 보면, <그림 2>와 같이 배달차량과 설치 서비스 기사는 각각 할당된 고객이 다르다. 배달기사가 배달차량을 타고 배송지에 도착하면 미리 도착한 설치 서비스기사와 같이 가전제품을 고객에게 운반한다. 그런 후에 배달기사는

다음 배송지로 이동하고, 설치 서비스기사는 가전제품을 설치하고 고객에게 제품에 대한 설명을 한다. 배달기사는 가전제품 설치 및 교육시간에 관계없이 고객이 원하는 시간에 제품을 배송하기만 하면 된다. 가전제품 설치 및 설명으로 인한 배달차량의 불필요한 대기 시간이 감소되므로 한 배달차량이 많은 양의 물량을 처리할 수 있다. 그리고 설치 서비스기사는 다음 배송지에 대한 시간을 생각하지 않아도 되기 때문에 시간에 쫓기지 않고 고객에게 충분한 서비스를 제공할 수 있다. 그리고 설치 서비스기사의 가전제품 설치 및 설명시간이 지연되더라도 배송계획에는 영향을 미치지 않는다. 이와 같이 배송과 설치 서비스를 이원화함으로써 물류의 불확실성에 유연하게 대처할 수 있다. 그리고 배달기사의 성과지표는 배송 건수이고, 설치 서비스기사의 성과지표는 서비스로 분리할 수 있기 때문에 각자 맡은 책임을 하게 된다. 제안한 프로세스를 하기 위해서는 각 고객마다 배달차량과 설치 서비스기사의 동시 배송 스케줄링이 요구된다.

3.2 문제 정의 및 수리모형

제안한 배송 프로세스의 스케줄링을 위한 문제 정의는 배달차량과 설치 서비스기사의 수리모형으로 이루어져 있다. 배달차량의 모형은 배송센터(창고)를 포함한 ND 개 수요지점이 있고 이 수요지점을 공급할 단일 창고(single depot)로 구성 되어 있다. 그리고 모든 배달차량은 적재 용량(Q)이 동일하고, 운행 시작(b_{Fd})와 종료(b_{Ed})시간도 정해져 있다. 배달차량은 운행 시간 안에 창고로 돌아와야 한다. 창고에는 가용할 수 있는 차량이 무한하다. 설치 서비스기사의 모형은 서비스 센터를 포함한 NS 개 수요지점이 있고 가용할 수 있는 설치 서비스 인원이 무한하며, 업무 시작(i_{Fs})와 종료(i_{Es})시간도 정해져 있다. 설치 서비스 기사는 업무 시간 안에 서비스센터로 돌아야 한다. 수요지점에 대한 위치와 배송할 가전제품은 미리 정해져 있고, 배달차량과 설치서비스기사가 동시에 작업을 할 수 있어야 한다. 배달차량과 서비스기사의 이동에 따른 물류비용은 운행거리에 비례한다고 가정하였다. 이에 따른 기호와 변수를 정의하였다.

ND : 창고를 포함한 배달차량의 고객 집합 (0:창고)

NS : 서비스센터 포함한 설치 서비스기사의 고객 집합 (0:서비스센터)

CD : 배달차량의 고객 집합(i, j)

CS : 설치 서비스기사의 고객 집합(l, m)

D : 배달차량 집합

S : 설치 서비스기사 집합

Q_d : 최대 차량 적재 용적

d_i : 고객 i 의 배달 제품의 용적

w_{Lid} : 고객 i 가 원하는 배달차량의 하한 요구시간

w_{Hid} : 고객 i 가 원하는 배달차량의 상한 요구시간

w_{Lls} : 고객 l 이 원하는 설치 서비스기사의 하한 요구시간

w_{Hls} : 고객 l 이 원하는 설치 서비스기사의 상한 요구시간

a_{id} : 배달차량 d 가 고객 i 에 도착한 시간

a_{ls} : 설치 서비스기사 s 가 고객 l 에 도착한 시간

r_{ls} : 설치 서비스기사 s 가 고객 l 에 대기하는 시간

t_{ij} : 배달차량 d 가 고객 i 에서 고객 j 로 이동하는데 걸리는 시간

t_{lm} : 설치 서비스기사 s 가 고객 l 에서 고객 m 으로 이동하는데 걸리는 시간

m_{id} : 배달차량(기사) d 가 고객 i 에게 가전제품을 운반하는데 걸리는 시간

m_{ls} : 설치 서비스기사 s 가 고객 l 에게 가전제품을 운반하는데 걸리는 시간

e_{ls} : 설치 서비스기사 s 가 고객 l 에게 제품 설치 및 설명하는데 걸리는 시간

b_{Fd} : 배달차량 d 의 운행 시작시간

b_{Ed} : 배달차량 d 의 운행 종료시간

i_{Fs} : 설치 서비스기사 s 의 업무 시작시간

i_{Es} : 설치 서비스기사 s 의 업무 종료시간

c_{ij} : 고객 i 에서 j 로 배달차량이 제품을 운송하는 비용

c_{lm} : 고객 l 에서 m 으로 설치 서비스기사가 이동하는 비용

c_d : 배달 차량 d 의 고정비용

c_s : 설치 서비스기사 s 의 고정비용

u_i, u_j : 배달차량의 배송순서, 부분경로(sub-tour)방지를 위한 변수

u_l, u_m : 설치 서비스기사의 배송순서, 부분경로(sub-tour)방지를 위한 변수

[결정변수]

$$x_{ijd} = \begin{cases} 1, & \text{배달차량 } d \text{가 고객 } i \text{에서 } j \text{로 이동} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x_{lms} = \begin{cases} 1, & \text{설치 서비스기사 } s \text{가 고객 } l \text{에서 } m \text{으로 이동} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

정의한 기호를 사용해서 고객 요구시간 만족하에 배달차량과 설치 서비스기사의 수와 이동경로 최소화하는 수리모형은 다음과 같다.

$$\min \sum_{d \in D} \sum_{i \in ND} \sum_{j \in ND} c_{ij} x_{ijd} + \sum_{d \in D} c_d + \sum_{s \in S} \sum_{l \in NS} \sum_{m \in NS} c_{lm} x_{lms} + \sum_{s \in S} c_s \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{d \in D} \sum_{j \in ND} x_{ijd} \leq D \quad \text{for } i = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{m \in ND} x_{lms} \leq S \quad \text{for } l = 0$$

$$\sum_{i \in ND} \sum_{j \in ND} x_{ijd} d_i \leq Q_d \quad \text{for } \forall d \in D \quad (3)$$

$$\sum_{i \in ND} \sum_{j \in ND} x_{ijd} = 1 \quad \text{for } \forall d \in D \quad (4)$$

$$\sum_{l \in NS} \sum_{m \in NS} x_{lms} = 1 \quad \text{for } \forall s \in S$$

$$\sum_{j \in ND} x_{ijd} = \sum_{j \in ND} x_{jid} \leq 1 \quad \text{for } i = 0, \forall d \in D \quad (5)$$

$$\sum_{m \in NS} x_{lms} = \sum_{m \in NS} x_{mls} \leq 1 \quad \text{for } m = 0, \forall s \in S$$

$$\sum_{d \in D} x_{iid} = 0 \quad \text{for } \forall i \in CD \quad (6)$$

$$\sum_{s \in S} x_{lls} = 0 \quad \text{for } \forall l \in CS$$

$$w_{Ljd} \leq a_{id} + m_{id} + t_{ij} + m_{jd} \leq w_{Hjd} \quad \text{for } \forall i \in CD, \forall j \in CD, \forall d \in D \quad (7)$$

$$w_{Lms} \leq a_{ls} + r_{ls} + m_{lm} + e_{ls} + t_{lm} + m_{ms} \leq w_{Hms} \quad \text{for } \forall l \in CS, \forall m \in CS, \forall s \in S$$

$$w_{Ljd} \leq b_{Fd} + t_{ij} + m_{jd} \leq w_{Hjd} \quad \text{for } i = 0, \forall j \in CD, \forall d \in D \quad (8)$$

$$a_{id} + m_{id} + t_{ij} + m_{jd} \leq b_{Ed} \quad \text{for } j = 0, \forall i \in CD, \forall d \in D$$

$$w_{Lms} \leq i_{Fs} + e_{ls} + t_{lm} + m_{ms} \leq w_{Hms} \quad \text{for } l = 0, \forall m \in CS, \forall s \in S \quad (9)$$

$$a_{ls} + r_{ls} + m_{ls} + e_{ls} + t_{lm} + m_{ms} \leq i_{Es} \quad \text{for } m = 0, \forall l \in CS, \forall s \in S$$

$$a_{ls} \leq a_{id} \quad \text{for } \forall i \in CD, \forall l \in CS, l = i, \forall d \in D, \forall s \in S \quad (10)$$

$$u_i - u_j + ND x_{ijd} \leq ND - 1 \quad \text{for } \forall i \in ND, \forall j \in ND, \forall d \in D, i, j \neq 0 \quad (11)$$

$$u_l - u_m + NS x_{lms} \leq NS - 1 \quad \text{for } \forall l \in NS, \forall m \in NS, \forall s \in S, l, m \neq 0 \quad (12)$$

$$x_{ijd}, c_{ij}, c_d, d_i, Q_d, b_{Fd}, b_{Ed} \geq 0 \quad \text{for } \forall i \in CD, \forall j \in CD, \forall d \in D \quad (13)$$

$$w_{Lid}, w_{Hid}, a_{id}, t_{ij}, m_{jd} \geq 0 \quad \text{for } \forall i \in CD, \forall j \in CD, \forall d \in D \quad (14)$$

$$x_{lms}, c_{lm}, c_s, i_{Fs}, i_{Es} \geq 0 \quad \text{for } \forall l \in CS, \forall m \in CS, \forall s \in S \quad (15)$$

$$w_{Ls}, w_{Hs}, a_{ls}, r_{ls}, t_{lm}, m_{ms}, e_{ls} \geq 0 \quad \text{for } \forall l \in CS, \forall m \in CS, \forall s \in S \quad (16)$$

목적함수식(1)은 배달차량과 설치 서비스기사의 비용(이동비, 고정비)을 최소화하기 위한 식이다. 제약식(2)는 배달차량과 설치 서비스기사 수가 각각의 총 가용가능한 수 보다 크지 않다는 것을 의미한다. 제약식(3)은 배달차량의 적재용적 총합이 최대적재용적을 넘으면 안 된다는 것을 의미한다. 제약식(4)는 하나의 고객에 배달차량과 설치 서비스기사가 하나씩만 가야하는 것을 나타내고, (5)는 배달차량과 설치 서비스기사가 각각 창고와 서비스센터로 돌아와야 하는 가정을 나타낸다. 제약식(6)은 방문했던 고객에게는 또 갈 수 없다는 것을 나타내고, (7)은 고객이 원하는 시간에 배송을 받기 위한 제약식이다. 배달차량은 전 배송지에서 출발한 시간에 다음 배송지까지의 이동시간과 제품 운반시간을 더한 시간이 고객이 원하는 시간 범위에 있어야 한다. 그리고 설치 서비스기사는 가전제품의 설치 및 설명시간까지 끝나고 나서 출발한 시간에서 다음 배송지까지의 이동시간과 제품 운반시간을 더한 시간이 고객이 원하는 시간 범위에 있어야 한다.

제약식(8)과 (9)는 배달차량과 설치서비스 기사가 각각 업무시간 안에 창고로 돌아와야 하는 제약이다. 제약식(10)은 배달차량과 설치 서비스기사의 고객이 같을 경우에 설치 서비스기사가 배달차량 보다는 먼저 도착하거나 같이 도착해야 하는 제약이다. 설치 서비스기사가 먼저 도착하면 배송지에 가전제품을 운반 및 설치하는데 어려움이 있으면 미리 대처할 수 있다. 제약식(11)과 (12)는 부분경로(sub-tour) 방지를 위한 식이다.

3.3 배송 스케줄링을 위한 MACS-DSVRPTW

개미군집시스템은 실제 개미들의 행동을 모방한 메타휴리스틱 방법이다. 실제 개미들은 먹이를 찾아다니면서 경로위에 페로몬이라는 화학물질을 분비하는데, 개미들은 이 분비된 페로몬 흔적(trail)을 보고 다음 경로를 결정한다. ACS알고리즘의 진행과정은 다음과 같다. 설정한 개미 수만큼의 에이전트들이 처음 갈 노드를 선택한 후에 상태전이 규칙(state transition rule)에 따라 다음 방문할 노드를 선택한다. 개미 에이전트들은 각 노드를 선택하는 과정에서 지역 갱신 규칙(local updating rule)에 따라 방문한 노드 사이인 링크에 페로몬 양이 변경된다. 그리고 개미 에이전트의 탐색과정이 끝난 후에 가장 좋은 해는 전역 갱신 규칙(global updating rule)에 따라 페로몬양을 변경한다.

제안한 MACS-DSVRPTW는 기본적인 ACS알고리즘에서 각각의 목적이 다른 4개의 개미 군집이 독립적으로 움직이면서 종합적으로는 전체 목적을 이루는 알고리즘이다.

배달 차량의 경로문제를 해결하는 주목적(MACS-DVRPTW, multiple ant colony system for delivery vehicle routing problem with time window)을 갖는 두 개의 개미 군집 중에

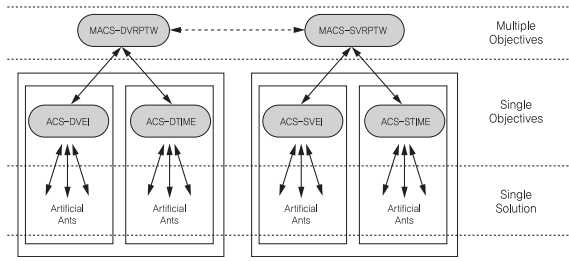


그림 3. Architecture of MACS-DSVRPTW

ACS-DVEI는 배달차량의 수를 최소화하는 목적을 가지고, ACS-DTIME은 배달차량의 경로 시간을 최소화하는 목적을 갖는다. 그리고 설치 서비스기사의 경로문제를 해결하는 주목적(MACS-SVRPTW, multiple ant colony system for service vehicle routing problem with time window)을 갖는 두 개의 개미 군집 중에 ACS-SVEI는 설치 서비스기사의 수를 최소화하는 목적을 가지고, ACS-STIME은 설치 서비스기사의 경로 시간을 최소화하는 목적을 갖는다.

3.3.1 초기화 및 상태전이규칙(State Transition Rule)

먼저 ACS알고리즘의 초기화 과정에서 페로몬정보를 초기화 하고, 각각의 개미에이전트에게 초기화 규칙에 맞게 처음 노드를 선택한다. MACS-DVRPTW의 개미 군집들에 속한 개미 에이전트 수는 차량 대수와 동일하고 처음 갈 노드는 배달 맡고자 하는 시간이 빠른 고객 순으로 각각 배치한다.

MACS-SVRPTW의 개미 군집들에 속한 개미 에이전트 수는 설치 서비스기사 인원의 수와 동일하고 처음 갈 노드는 설치를 맡고자 하는 시간이 빠른 고객 순으로 각각 배치한다. 초기는 각각의 개미 에이전트들은 창고(서비스센터)-첫 고객노드-창고(서비스센터) 경로가 된다. 고객노드와 창고(서비스센터)의 사이에 들어갈 노드를 상태전이규칙에 따라 선택한다. 먼저 각각의 개미 에이전트는 방문하지 않은 고객 노드 중에서 i노드와 j노드 사이에 들어갈 수 있는 노드(k노드)인지를 검사한다. 배달차량의 개미 군집들은 적재용량(제약식 3), 고객 요구 시간(제약식 7), 운행시간(제약식 8)의 제약에 맞는 k노드를 찾는다.

설치 서비스기사의 개미 군집들은 고객 요구 시간(제약식 7), 업무시간(제약식 9)의 제약에 가능한 k노드를 찾는다. 그리고 배달차량 보다는 먼저 도착하거나 동시에 올 수 있는지 여부를 제약식(10)과 같이 확인한다.

일반적으로 휴리스틱 정보는 최단경로를 구할 때는 거리간의 역수로 표현하는데 본 연구에서는 고객 요구 시간 안에 배송 계획을 고르게 분포시키는 것이 중요하기 때문에 앞의 고객과 다음 고객 요구 시간 간격(여유시간)의 역수로 표현하였다. 그래서 k고객

상한 요구 시간과 앞 고객의 서비스가 끝난 후 k고객에게 서비스를 시작하는 시간의 차가 가장 짧은 개미에이전트의 휴리스틱 정보가 크다.

$$h_k = \frac{1}{(w_{Hkd} - (f_{id} + t_{ik} + m_{kd})) - IN_k} \quad (17)$$

$$h_k = \frac{1}{(w_{Hks} - (f_{ls} + e_{lk} + t_{lk} + m_{ks})) - IN_k} \quad (18)$$

식(17)는 배달차량에 관한 휴리스틱 정보(h_k) 계산식이고, (18)은 가전제품 설치 및 설명시간이 포함된 설치 서비스기사의 휴리스틱 정보(h_k) 계산식이다.

f_{id}, f_{ls} 는 배달기사와 설치 서비스기사가 공동으로 작업을 끝나는 시간이다. 설치 서비스기사는 배달기사보다 먼저 도착할 경우에 고객과 연락을 통해 가전제품 운반 위치를 확인한다. 배달기사가 도착하면 같이 가전제품을 고객에게 운반한다. 이 공동으로 작업이 끝나는 시간은 같은 고객일 경우 동일하다. 공동 작업이 끝나는 시간은 배달기사는 ($f_{id}=a_{id}+m_{id}$)로 나타내지고, 설치 서비스기사는 ($f_{ls}=a_{ls}+r_{ls}+m_{id}$)이다. 식(17), (18)의 IN_k 는 ACS-DTIME과 ACS-STIME은 포함되지 않고 ACS-DVEI와 ACS-SVEI에 포함된다. ACS-DVEI와 ACS-SVEI에서 해도출 후에 선택되지 않은 고객에게 IN_k 를 증가시켜 다음 번 해에는 포함되도록 한다. k노드 선택 값은 페로몬 정보(τ_k)와 휴리스틱 정보(h_k)로 결정된다.

$$\alpha[\tau_k] \cdot \beta[h_k], \quad k \in N \quad (19)$$

식(19)는 k노드 선택값을 결정하는 식이고, α, β 는 페로몬 정보와 휴리스틱 정보의 상대적 중요도이다. 최대값 선택 확률 값 $q_{\max}$ 이 0과 1사이의 난수 q 보다 크면 선택값이 큰 k노드를 선택한다. 그러나 $q_{\max} \leq q$ 이면 식(20)과 같이 확률 값을 계산해서 룰렛휠(roulette wheel) 방식으로 선택한다.

$$p_k = \frac{\alpha[\tau_k] \cdot \beta[h_k]}{\sum_{k \in N} \alpha[\tau_k] \cdot \beta[h_k]} \quad (20)$$

선택가능한 모든 k노드의 선택 값에 대한 확률값(p_k) 계산을 통해서 k노드를 결정한다. 모든 고객 노드가 다 선택될 때까지 위의 과정을 반복해서 실행한다.

3.3.2 페르몬 업데이트(Pheromones update)

개미에이전트는 경로를 구성하면서 페로몬을 뿌리게 되고, 시간이 지남에 따라 페로몬이 증발하게 된다. 각각의 개미에이전트

가 실행 가능한 경로가 정해지면 페로몬 업데이트가 식(21)과 같이 이루어진다. ρ 는 페로몬 유지율로 0과 1사이의 값이다.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \tau_0 \quad (21)$$

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho / \psi^{gl}, \quad (i, j) \in \psi^{gl} \quad (22)$$

$\tau_0 = 1 / (N \cdot \psi^{NN})$ 는 초기 페로몬 값으로 N 은 고객 노드의 수이고, ψ^{NN} 는 초기에 구성된 경로길이(초기해)이다. 그리고 경로구성 중에서 가장 짧은 경로가 완성이 되면 전역 페로몬 업데이트가 식(22)와 같이 이루어진다. 여기서 ψ^{gl} 은 가장 짧은 경로로 구성된 해이다. 짧은 경로길이를 구성한 노드에 전역 페로몬 업데이트로 페로몬이 더 축적되어서 반복 시 이 노드의 선택확률을 높인다.

3.3.3 지역 탐색(Local Search)

ACS알고리즘은 해 탐색과정에서 국부 최적해에 빠질 수 있다는 단점이 있기 때문에 해 개선을 위해 swap 알고리즘을 이용하였다. swap 알고리즘은 임의의 두 경로에서 각각의 한 노드씩 선택 후, 교환하면서 여러 해를 만든다. 그러나 swap 알고리즘은 모든 노드의 교환가능 여부를 확인해야하므로 불필요한 탐색과정이 발생한다. 초기 해는 요구시간 간격에 맞게 각 경로가 구성되어 있으므로 노드 간 시간 간격의 평균을 비교해서(식23) 탐색범위를 좁혔다.

$$|a_{AB}| \leq \psi^{gl} / Ant_k, \quad (A, B) \in \psi^{gl} \quad (23)$$

여기서, a_{AB} 는 임의의 두 경로(A, B)에서 각각 선택한 노드간의 서비스 시간 차이이고 Ant_k 는 각각 배달차량과 설치서비스 기사의 수이다. 이 조건이 맞으면 기존 제약조건에도 위배되지 않음을 검사 후 교환이 이루어진다. 지역탐색 결과, 다양한 해 중에서 가장 최적에 가까운 해를 선택하게 된다.

3.3.4 MACS-DSVRPTW의 절차

MACS-DSVRPTW 알고리즘은 ACS-DVEI(배달차량 대수의 최소화), ACS-DTIME(배달차량 경로시간의 최소화), ACS-SVEI(설치 서비스기사 수의 최소화), ACS-STIME(설치 서비스기사 경로시간의 최소화)개미 군집이 독립적으로 움직이면서 최종적인 목적에 수렴해 간다.

MACS-DSVRPTW 알고리즘의 절차는 <그림 4>와 같으며, ψ^{gl} 이 전역해이다. MACS-DSVRPTW 알고리즘은 처음에 페로몬 정보와 배달차량과 설치 서비스기사의 수($N_Ant T_{best} - 1, N_Ant S_i$)를 초기화한다. 각각의 독립적인 목적을 가진 개미

군집이 실행되면서 ψ^{gl} 을 찾고 배달차량과 설치 서비스기사의 수도 결정된다. 경로 시간을 줄이는 개미군집에 각각 $N_Ant T_{best} - 1, N_Ant S_{best} - 1$ 로 표현한 것은 적은 수의 차량과 서비스기사를 갖는 해를 찾기 위해서이다.

Procedure MACS-DSVRPTW

Initialize

$\psi^{gl} \leftarrow$ the best feasible solution

$\tau_{ij} \leftarrow$ initialize pheromones

$N_Ant T_{best} \leftarrow$ the smallest number of vehicles

$N_Ant S_{best} \leftarrow$ the smallest number of service engineers

Iterate

While (find best feasible solution)

 Activate ACS-DVEI($N_Ant T_{best} - 1$)

 Activate ACS-DTIME($N_Ant T_{best}$)

 Activate ACS-SVEI($N_Ant S_{best} - 1$)

 Activate ACS-STIME($N_Ant S_{best}$)

 While (ACS-DVEI, ACS-DTIME, ACS-SVEI, ACS-STIME are active)

 wait an improved solution ψ

$\psi^{gl} = \psi$

 if ($N_Ant T_{best}(\psi) < N_Ant T_{best}(\psi^{gl})$)

$N_Ant T_{best} = N_Ant T_{best}(\psi)$

 stop ACS-DVEI, ACS-DTIME

 if ($N_Ant S_{best}(\psi) < N_Ant S_{best}(\psi^{gl})$)

$N_Ant S_{best} = N_Ant S_{best}(\psi)$

 stop ACS-SVEI, ACS-STIME

 End While

End While

return ψ^{gl}

그림 4. MACS-DSVRPTW Procedure

ACS-DVEI 알고리즘의 절차는 <그림 5>와 같으며, 차량의 대수를 구하는 것이기 때문에 경로개선을 위한 지역탐색은 하지 않는다. 그리고 해 구성 시에 선택되지 않은 고객에게는 IN값을 증가시켜서 다음번 해에는 선택되도록 한다.

ACS-DTIME 알고리즘의 절차는 <그림 6>과 같으며, 차량 경로개선을 위해 지역탐색을 하게 된다.

ACS-SVEI 알고리즘의 절차는 <그림 7>과 같으며, 해 구성 시에 선택되지 않은 고객에게는 IN값을 증가시켜서 다음번 해에는 선택되도록 하고, 지역탐색은 이루어지지 않는다.

ACS-STIME 알고리즘의 절차는 <그림 8>과 같으며, 설치 서비스기사의 경로 개선을 위해 지역탐색이 이루어지고 배달차량의

고객별 도착시간에 영향을 받는다.

```

Procedure ACS-DVEI( $N\_Ant T_{best}-1$ )
Initialize
 $\tau_{ij} \leftarrow$  initialize pheromones
 $N\_Ant T_{best} \leftarrow$  the smallest number of vehicles
Iterate
While (keepLooping)
  for each ant k
    ant(k, false, true) // find a solution  $\psi^k$ 
    //ant(Int k, Boolean local_search, Boolean IN)
  end for each
  if(visitedCustomers( $\psi^k$ ) > visitedCustomers( $\psi^{gl}$ ))
     $\psi^{ACS-DVEI} = \psi^k$ 
    reset IN
    reset  $\tau_{ij}$ 
    if( $\psi^{ACS-DVEI}$  is feasible)
      send  $\psi^{ACS-DVEI}$  to MACS-DSVRPTW
      keepLooping = false
    End While
  global pheromone update with  $\psi^{gl}$ 

```

그림 5. ACS-DVEI Procedure

```

Procedure ACS-DTIME( $N\_Ant T_{best}$ )
Initialize
 $\tau_{ij} \leftarrow$  initialize pheromones
 $N\_Ant T_{best} \leftarrow$  the smallest number of vehicles
Iterate
While (keepLooping)
  for each ant k
    ant(k, true, false) // find a solution  $\psi^k$ 
    //ant(Int k, Boolean local_search, Boolean IN)
  end for each
  if( $\psi^{ACS-DTIME}$  is feasible)
    run local search on  $\psi^{ACS-DTIME}$ 
    if( $\psi^{ACS-DTIME} < \psi^{gl}$ )
      send  $\psi^{ACS-DTIME}$  to MACS-DSVRPTW
      keepLooping = false
    End While
  global pheromone update with  $\psi^{gl}$ 

```

그림6. ACS-DTIME Procedure

```

Procedure ACS-SVEI( $N\_Ant S_{best}-1$ )
Initialize
 $\tau_{ij} \leftarrow$  initialize pheromones
 $N\_Ant S_{best} \leftarrow$  the smallest number of vehicles
Iterate
While (keepLooping)
  for each ant s
    ant(s, false, true) // find a solution  $\psi^s$ 
    //ant(Int s, Boolean local_search, Boolean IN)
  end for each
  if(visitedCustomers( $\psi^s$ ) > visitedCustomers( $\psi^{gl}$ ))
     $\psi^{ACS-SVEI} = \psi^s$ 
    reset IN
    reset  $\tau_{ij}$ 
    if( $\psi^{ACS-SVEI}$  is feasible)
      send  $\psi^{ACS-SVEI}$  to MACS-DSVRPTW
      keepLooping = false
    End While
  global pheromone update with  $\psi^{gl}$ 

```

그림 7. ACS-SVEI Procedure

```

Procedure ACS-STIME( $N\_Ant S_{best}$ )
Initialize
 $\tau_{ij} \leftarrow$  initialize pheromones
 $N\_Ant S_{best} \leftarrow$  the smallest number of vehicles
Iterate
While (keepLooping)
  for each ant s
    ant(s, true, false) // find a solution  $\psi^s$ 
    //ant(Int s, Boolean local_search, Boolean IN)
  end for each
  if( $\psi^{ACS-STIME}$  is feasible)
    run local search on  $\psi^{ACS-STIME}$ 
    if( $\psi^{ACS-STIME} < \psi^{gl}$ )
      send  $\psi^{ACS-STIME}$  to MACS-DSVRPTW
      keepLooping = false
    End While
  global pheromone update with  $\psi^{gl}$ 

```

그림 8. ACS-STIME Procedure

4. 제안한 배송모델 실험 및 분석

본 연구에서 제안한 배송과 설치서비스의 이원화를 위한 배송 스케줄링 알고리즘은 JAVA로 구현 하였으며, Intel Core 2.2GHz, 2G Ram을 가진 PC에서 실험하였다. 실험은 배송과 설치 서비스의 이원화하지 않았을 때와 배송과 설치 서비스를 이원화했을 때의 배송 계획 결과를 비교하였다.

실험 데이터(Input Data)는 고객정보, 제품용적, 제품군 설치 시간, 배달차량, 설치 서비스기사, 배송센터 정보, 서비스센터 정보, 고객 노드간 거리 정보이다. 전체 배송 모델의 데이터 구조는 <그림 10>과 같다.

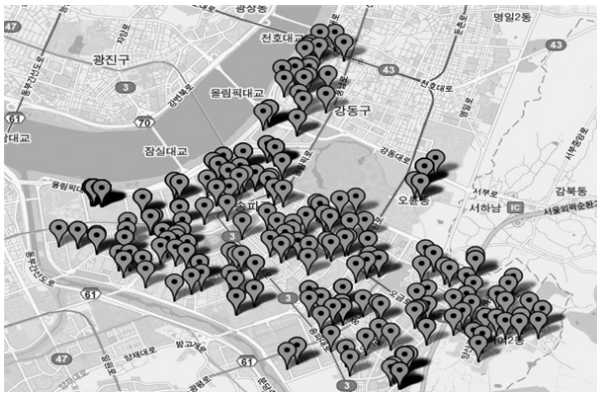


그림 9. 서울시 송파구 고객주문 데이터

고객정보 데이터에는 고객의 위치, 요구 시간, 주문한 제품에 대한 정보가 포함되어 있다. 주문한 정보데이터를 가지고 제품용적과 제품군 설치데이터를 통해 주문한 제품의 용적과 운반 및 설치시간을 산출하였다. 각 배송센터 데이터는 배송센터의 위치와 소속한 차량의 정보를 포함한다. 각 서비스센터 데이터는 서비스센터의 위치와 소속한 설치 서비스기사의 정보를 포함한다. 배달 차량과 설치 서비스기사의 각 고객 간 거리데이터는 고객위치 정보를 가지고 GIS(geographic information system)정보를 활용해서 산출하였다.

배송 모델의 비교를 위한 Input 데이터는 서울특별시 송파구 지역의 고객주문 데이터를 사용하였다. Google Maps API를 이용해서 송파구 지역의 고객 주문 데이터 일부를 <그림 9> 표현하였다.

비교 실험프로세스는 <그림 11>과 같이 동일한 Input데이터를 가지고 1) 배송과 서비스를 이원화한 배송 모델 : 배달차량이 배송과 물류 서비스(제품 설치 및 설명)를 동시 수행하는 제약조건, 2) 배송과 서비스를 이원화한 배송 모델은 본 논문에서 제시한 제약조건을 적용하였다. 두 배송모델은 본 논문에서 제시한 MACS 알고리즘을 이용해 배송계획을 도출하였다.

배송모델을 비교 실험을 위해서 파라미터는 동일하게 설정하였다. 페로몬과 휴리스틱 정보의 상대적 중요도 α , β 는 1로 같게 하였고, 페로몬 유지율(ρ)은 0.9로 하였다. 최대값 선택 확률 값 (q_m)은 예비 실험결과, 작은 값이 목적함수 값을 작게 하므로 0.2

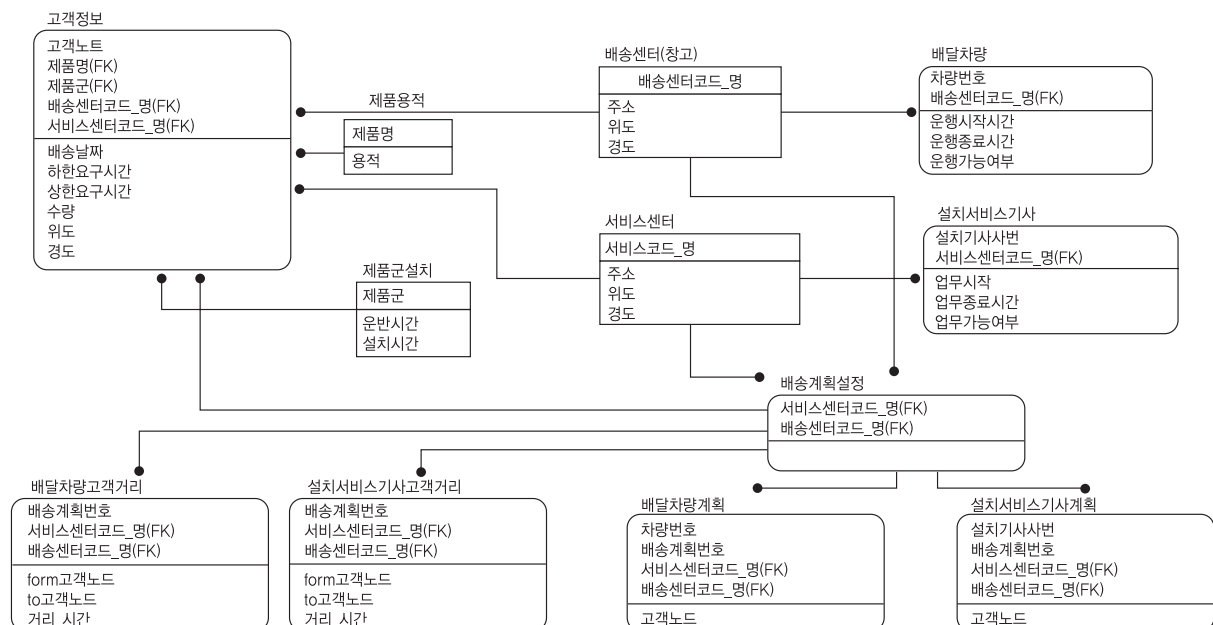


그림 10. 배송모델 데이터 구조

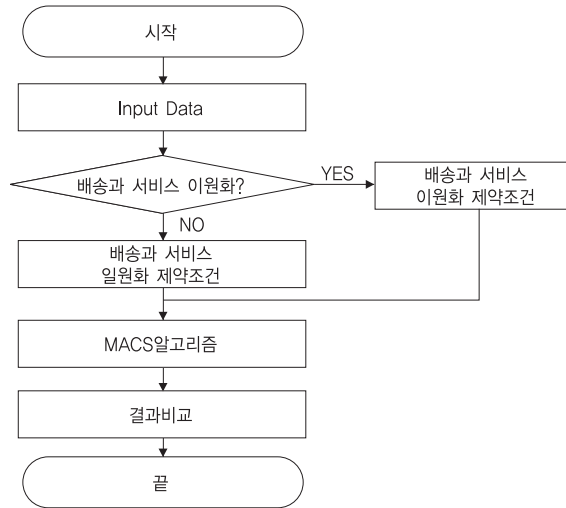


그림 11. 비교 실험 프로세스

로 결정하였다. 194개의 고객노드를 가지고 실험한 결과, 배송과 서비스가 일원화되어 있는 기존 배송모델의 스케줄 결과는 <표 1>과 같다.

배송과 서비스 일원화한 배송모델의 스케줄은 22대의 배달차량이 필요하였고, 총 차량이 움직인 시간은 4,781분이었다. 각각의 배송라우터를 보면 특정 라우터(10, 20번)는 다른 라우터에 비해 적은 고객을 돌게 되었다. 그 이유는 이 라우터에 구성 되어 있는 고객의 가전제품은 서비스시간(설치 및 설명시간)이 다른 고객의 제품에 비해 길기 때문이다.

배송과 서비스 이원화 배송모델의 배달차량 스케줄 결과는 <표 2>와 같이 나왔다. 총 배달차량은 10대로 감소하였고 가전제품을 고객들에게 놓고 바로 다음 배송지로 이동하기 때문에 차량마다 고르게 고객이 할당되었다. 차량 대수 감소로 인해서 총 차

표 1. 배송과 서비스 일원화 배송모델의 배달차량 스케줄

Vehicle number	Travel route
1	0-54-9-147-165-12-27-39-185-93-0
2	0-60-37-112-29-88-75-123-167-96-163-0
3	0-62-153-42-155-122-19-107-105-121-11-0
4	0-55-72-117-17-103-141-152-132-192-59-99-0
5	0-41-35-182-130-176-124-188-30-168-94-0
6	0-95-83-5-137-102-186-180-119-100-158-0
7	0-187-125-89-67-115-143-32-111-142-0
8	0-73-145-3-24-70-109-84-140-78-0
9	0-15-31-169-77-193-162-45-139-49-127-0
10	0-74-150-181-33-0
11	0-34-171-149-174-79-92-76-38-53-0
12	0-10-154-179-166-48-14-128-164-56-0
13	0-106-151-85-80-133-68-104-46-69-87-0
14	0-90-25-21-189-113-63-177-190-159-16-0
15	0-86-26-52-173-65-22-120-82-194-184-0
16	0-178-13-135-20-28-138-144-118-8-44-0
17	0-183-6-126-175-43-97-58-23-156-114-0
18	0-148-61-170-134-91-50-51-66-64-191-0
19	0-146-4-161-110-129-136-0
20	0-131-57-0
21	0-116-98-1-40-108-160-101-157-47-172-0
22	0-36-7-81-18-2-71-0
Total travel time(min)	4,781

표 2. 배송과 서비스 이원화 배송모델의 배달차량 스케줄

Delivery vehicle number	Travel route
1	0-54-161-26-179-85-149-166-48-100-173-65-109-84-106-45-107-132-157-116-191-0
2	0-60-154-131-20-42-135-24-70-77-97-92-39-177-152-140-78-156-96-0
3	0-62-150-171-6-9-112-174-10-113-79-27-22-180-160-101-119-142-158-163-0
4	0-55-125-145-98-1-67-129-192-155-40-108-122-148-162-33-111-190-56-11-99-0
5	0-41-35-3-110-147-165-2-17-28-143-32-136-128-183-105-139-194-16-0
6	0-95-25-72-52-21-178-90-103-146-91-124-68-58-23-38-93-121-94-114-172-0
7	0-187-7-83-37-81-181-175-43-193-14-63-75-123-71-86-30-168-47-82-49-0
8	0-73-57-36-61-169-5-137-134-184-176-182-19-141-188-104-164-46-159-69-44-0
9	0-15-89-151-31-170-18-80-130-115-102-186-138-76-185-144-167-64-87-127-0
10	0-74-4-66-153-13-117-126-189-29-12-133-88-50-34-120-51-118-53-8-59-0
Total travel time(min)	3,220

량이 움직인 시간도 3,320분으로 감소하였다.

표 3. 배송과 서비스 이원화 배송모델의 설치 서비스기사 스케줄

Service vehicle number	Travel route
1	0-41-110-9-136-58-160-94-0
2	0-95-153-81-100-84-188-132-0
3	0-62-83-85-102-32-120-16-0
4	0-74-173-122-75-105-78-96-8-0
5	0-60-36-80-10-148-144-164-0
6	0-187-31-117-77-186-45-119-0
7	0-54-42-2-29-133-180-168-0
8	0-55-13-149-155-109-23-11-0
9	0-73-171-112-70-184-139-118-0
10	0-15-21-129-103-177-101-156-127-0
11	0-89-52-67-193-138-162-142-0
12	0-35-98-178-17-143-93-30-0
13	0-25-170-181-48-39-185-116-69-0
14	0-154-147-166-113-63-71-121-0
15	0-4-37-175-12-27-106-114-159-0
16	0-125-18-90-146-92-19-157-49-0
17	0-161-14-22-33-167-64-87-0
18	0-7-176-128-34-51-56-47-0
19	0-151-179-130-28-79-38-194-0
20	0-150-137-108-76-141-86-46-163-0
21	0-66-20-135-189-97-111-190-0
22	0-72-1-126-43-124-50-158-191-0
23	0-3-6-174-40-65-140-104-0
24	0-131-169-192-134-88-183-53-82-0
25	0-57-99-59-44-0
26	0-145-165-5-91-68-123-172-0
27	0-26-61-24-115-182-152-107-0
Total travel time(min)	1,673

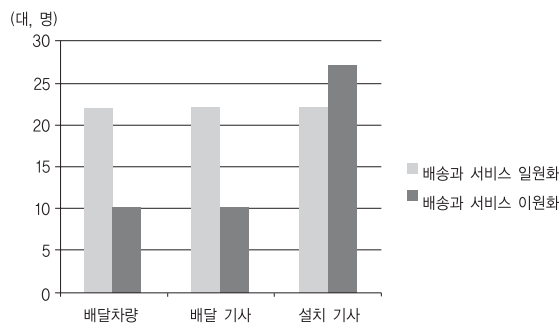


그림 12. 실험 결과비교 - 배달차량 대수와 인원 수

배송과 서비스 이원화 배송모델의 설치 서비스기사 스케줄 결과는 <표 3>과 같이 설치 서비스기사 총 27명이 필요하였고 총 이동한 시간은 1,673분이었다. 설치 서비스기사의 각 라우터를 보면, 25번 라우터는 다른 라우터에 비해 설치 및 설명 시간이 긴 제품을 서비스하기 때문에 구성된 고객의 수가 적다.

배송과 서비스 일원화한 배송 프로세스의 배송계획 결과, 22대의 배달차량이 필요했고, 배달기사와 설치기사가 2인 1조이므로 각각 22명씩 계획되었다. 배송과 서비스를 이원화할 경우에는 배달차량 10대, 배달기사 10명, 설치 서비스기사 27명이 계획되었다. 배송과 서비스를 이원화할 경우, 차량의 대기시간이 감소하였으므로 많은 고객에게 배송을 할 수 있어서 차량의 대수가 감소하였다. 배달차량이 고객 간에 배송만 하고 빠르게 이동하므로 그 속도에 맞추기 위해서 설치 기사의 수는 증가하였다.

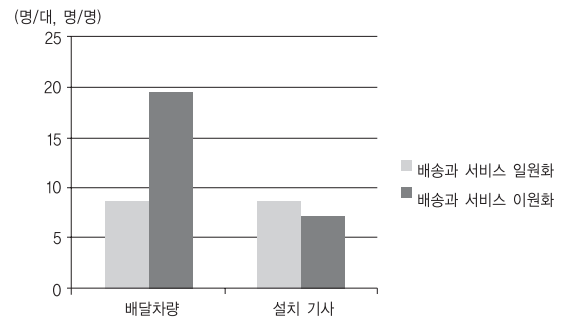


그림 13. 실험 결과비교 - 배달차량과 인원 따른 고객 수

배달 차량 한 대당 하루에 처리할 수 있는 고객의 수는 배송과 서비스를 일원화 할 경우 9명이고, 이원화할 경우에는 19명으로 약 2배가 증가하였다. <그림 13>과 같이 설치 서비스 기사가 하루에 처리할 수 있는 고객의 수는 일원화할 경우 9명이고, 이원화할 경우 7명으로 감소하였다. 배송과 서비스의 이원화를 통해서 배달차량은 대기시간이 감소하였고 이에 따른 총 배달차량의 수가 줄었다. 이로 인해 한 대 당 처리할 수 있는 고객의 수가 증가해서 효율적인 배송을 할 수 있었다.

두 배송 프로세스에 대한 물류비용을 산출하여 비교하였다. 물류비용은 S전자 물류회사의 실제 비용을 이용하여 계산하였다. 두 배송모델의 배달차량과 배달 설치기사의 비용 구성은 <표 4>와 같고 제안한 배송과 서비스의 이원화 모델은 설치 서비스기사가 오토바이로 이동하기 때문에 비용이 추가로 더 발생한다.

물류비용을 계산한 결과, 배송과 서비스를 일원화하는 기존 배송모델은 월 16,500만원의 물류비용이 들고 이원화한 제안 배송모델은 월 13,600만원의 물류비용이 산출되었다. 즉, 배송과 서비스를 이원화할 경우에 배송과 서비스를 일원화하는 기존 배송모델에 비해서 물류비용의 17.6%가 절감이 되었다. 본 연구에서

표 4. 물류비용 항목

항목	비용구성
배달차량	차량감가상각비, 유류대, 차량보험료, 수리비 등
배달기사	인건비, 보험료
설치기사 (이원화모델)	인건비, 보험료
설치서비스기사 (이원화모델)	인건비, 보험료, 오토바이운영비

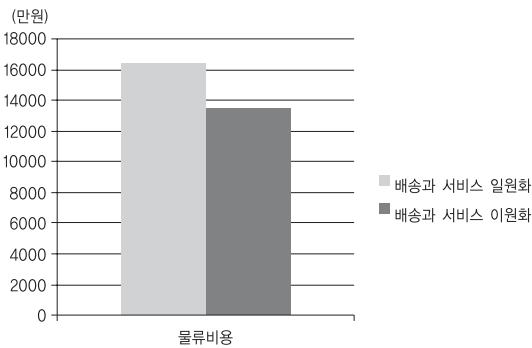


그림 14. 실험 결과비교 - 물류비용

배송과 서비스를 이원화한 배송모델의 설계를 구현하였고, 기존 배송모델과 비교를 하였다. 그 결과, 서비스 시간의 불확실성에 따른 문제를 보다 유연하게 대처할 수 있고, 물류비용측면에서도 낭비를 없애서 비용이 절감되었다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 가전제품 배송과 설치 서비스의 이원화한 배송 모델을 제안하였다. 그리고 제안한 배송 모델을 위해서는 배달차량과 설치 서비스기사의 동시 스케줄링을 해야 하므로 개미군집 시스템을 응용하여 스케줄링을 설계하였다. 본 연구에서 제시한 MACS-DSVRPTW알고리즘은 배달차량의 대수, 배달차량의 경로 시간, 설치 서비스 기사의 수, 설치 서비스기사의 경로 시간 최소화 목적을 갖는 4개의 개미 군집들이 독립적으로 움직이면서 물류비용을 최소화하는 배송계획을 수립한다. 제시한 알고리즘 구현을 통해서 기존 배송 모델과 비교 실험을 하였다. 특정 지역의 고객데이터를 가지고 배송계획을 수립한 결과, 차량 대수는 차량의 대기시간 감소로 절반이상으로 줄어들었고 설치 서비스기사의 수는 배달 차량과 동시에 도착해야 하므로 증가하였다. 실험결과를 가지고 실제 물류비용을 산출하였다. 배송과 서비스를 이원화할 경우에 기존 배송모델에 비해서 물류비용의 17.6%가 절감되었다. 제안한 배송 모델은 설치 서비스기사가 제품의 설치 및

설명시간이 길어지면 다른 설치 서비스기사가 다음 고객에게 가도록 유연하게 대처할 수 있다. 그래서 정성적인 효과로는 설치 서비스기사가 제품 설치 및 설명시간을 충분히 활용할 수 있어서 고객만족도를 높일 수 있다.

본 연구에서 설계한 배송 스케줄링 알고리즘을 실제 기업에서 활용할 수 있도록 보완 연구할 것이다. 현실 상황에서는 물류의 변동성으로 인해 배송과 서비스의 이원화한 배송 계획이 변경되면 동시 스케줄을 조정해야 한다. 그래서 배송 차량을 실시간으로 관제할 수 있는 모니터링 시스템을 구현해서 보완하는 방안에 대해 연구하고 있다.

그리고 본 연구에서는 한 지역에 한 서비스센터와 하나의 물류창고를 기준으로 제약사항을 다루었는데, 향후에는 다중 서비스센터와 다중 물류창고일 경우에 대해서 연구를 진행할 것이다.

참고 문헌

- [1] 선지웅(2007), 내공생 진화알고리즘을 이용한 배달차량 및 설치차량 일정계획의 동기화, 한국SCM 학회지, 제7권, 제1호, pp.79-89
- [2] Bodin, L., Golden, B., Assad, A., Ball, M. (1983), Routing and Scheduling of Vehicles and Crews : The State of the Art, COMP. & OPER. RES., Vol.10, no.2, pp.63-211.
- [3] Clarke, G., Wright, J.W. (1964), Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, Operations Research, vol.12, no.4, pp.568-581.
- [4] Lenstra, KJ., Rinnooy Kan, AHG. (1981), Complexity of vehicle routing and scheduling problems, Networks, vol.11, no.2, pp.221-227.
- [5] Gambardella, L.M., Taillard, E., Agazzi, G. (1999), MACS-VRPTW: a multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows, New ideas in optimization, McGraw-Hill, pp.63-76.
- [6] Dorigo, M., Maniezzo, V., Colnori, A. (1996), Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE Transactions on Systems, man, and Cybernetics-Part B, vol.26, no.1, pp.29-41.
- [7] Solomon, M. M. (1987), Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, Operation Research, vol.35, no.2, pp.254-265.

- [8] Semet, F., Taillard, E. (1993), Solving real-life vehicle routing problems efficiently using tabu search, Annals of Operations Research, vol.41, pp.469-488.
 [9] Thangiah, S. R., Nygard, K. E., Juell, P. L. (1991),

GIDEON: A genetic algorithm system for vehicle routing with time windows, Proceedings of 7th IEEE conference on artificial intelligence applications, pp.322-328



심 인 수

아주대학교 산업공학과 학사
 현재 : 고려대학교 산업경영공학부
 석사과정
 관심분야 : SCM, SI



김 태 호

고려대학교 산업시스템정보공학과 학사
 고려대학교 산업시스템정보공학과 석사
 현재 : 고려대학교 정보경영공학과
 박사과정
 관심분야 : SCM, SI



차 주 일

현재 : 삼성SDS 수석 전자물류운영그룹장
 관심분야 : SCM, SI



이 홍 철

고려대학교 산업공학과 학사
 Univ. of Texas 산업공학 석사
 Texas A&M Univ 산업공학 박사
 현재 : 고려대학교 산업경영공학부 교수
 관심분야 : SCM,
 생산 및 물류정보시스템

다중회귀분석을 활용한 국내 산업 및 기업 규모 별 현금화주기와 재무성과와의 상관관계 분석

장금주 · 양재환[†]

서울시립대학교 경영학부

The Study of the Relationship between Cash-To-Cash Cycle Time and Financial Performance of Korean Companies in Various Industries and with Different Sizes by Using Multiple Linear Regression Analysis

Geum-Joo Jahng · Jaehwan Yang[†]

Department of Business Administration, University of Seoul

This paper studies the relationship between C2C(Cash-To-Cash) cycle time and financial performance of Korean companies. Especially, we focus on the effect of the industry type and the size of companies on this relationship by considering 10 different industries and two different sizes. More specifically, the multiple regression analysis is used to investigate the relationship between the C2C cycle time including its components such as days of inventory, days sales outstanding, and days payable outstanding and financial performance metrics such as ROA(Return On Asset), operating profit rate, and net profit rate.

The results indicate that the relationship between the C2C cycle time and financial performance is sensitive to the industry type, and 17 out of 30 cases(combinations of the three financial metrics and 10 industries) result in statistically significant negative relationship. Similarly, on 33 out of 90 cases, the three components of the C2C cycle time have statistically significant relationship with the financial performance of companies. Regarding the size of companies, we find statistically significant relationship between the C2C cycle time and the financial performances regardless of the size of companies. However, the significance is higher with the SME(Small and Medium size Enterprises). Further, ROA and operating profit rate of big companies do not show statistically significant relationship with days of inventory and days sales outstanding.

Keywords: cash-to-cash cycle time, days of inventory, days sales outstanding, days payable outstanding

[†] **Corresponding author:** Department of Business Administration, 13 Siripdae-gil, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-743
Tel:82-2-2210-5700 Fax: 82-2-2210-0570 Email: jyang@uos.ac.kr

* 2011년 7월 20일 투고, 9월 5일 게재 확정.

1. 서론

1990년대 중반에 들어 공급체인관리(Supply Chain Management, SCM)가 국내기업에 본격적으로 도입되면서 SCM성과에 대한 논의의 중요성도 크게 부각되었다. 이에 많은 기업들이 OTD(On Time Delivery), 재고일수 또는 재고회전율 등의 재고수준, 납기준수율, 조달기간(lead time), 현금화주기 등의 다양한 정량적 성과를 측정하고 있다. 하지만, 이러한 SCM 상의 성과가 과연 기업의 실질적인 재무성과와 얼마나 관련이 있는가에 대한 실증적인 연구는 미흡한 상황이다(김진백, 2011). 더욱이 SCM 성과지표들의 대부분은 기준이 다소 모호하거나 기업마다 측정하는 방법이 상이하여 기업 간 또는 산업 간 비교 평가가 상당히 어려운 것이 사실이다. 또한 무엇보다도 성과지표 정보의 기초가 되는 데이터들이 존재하지 않거나 정확도가 높지 않아 성과지표의 측정 자체가 불가능하거나 성과지표 정보의 신뢰성이 매우 떨어지는 경우도 발생하고 있다.

이에 본 연구는 SCM성과 지표 중에서도 감사를 받은 재무제표를 이용하여 산출된 현금화주기(cash-to-cash cycle time)와 기업의 재무성과와의 연관성을 살펴보고자 한다. 구체적으로 본 연구는 장금주와 양재환(2011)의 후속 작업으로서 다중회귀분석을 활용하여 산업별 및 기업규모별로 기업의 현금화주기 및 이를 구성하는 요소들인 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간과 재무성과를 나타내는 지표들인 총자산수익률(Return On Asset, ROA), 매출액순이익률, 영업이익률과의 관계를 분석하고자 한다. 본 연구는 장금주와 양재환(2011)과 대체적으로 유사한 회귀분석모형을 사용하였으나 기존 저자들이 사용한 통합회귀모형(pooled ordinary least squares model)이 아닌 기업 간 효과를 제거하고 산업간 효과에 초점을 맞춘 고정효과모형(fixed-effects model)을 사용하여 모형의 강건성을 강화하였다. 이를 통해 일부 분석에서는 장금주와 양재환(2011)과 다른 결과를 얻기도 하였다. 본 연구를 위해 데이터는 국내거래소 상장기업 중 제조업과 도소매업에 속한 기업들의 2000년~2008년 회계정보를 활용하되 추가적인 기준을 두어 데이터의 신뢰성을 강화하였다.

Supply-Chain Council(SCC)(2008)은 현금화주기를 “원자재를 사용한 후 투자되었던 자금이 다시 기업으로 돌아오는데 걸리는 시간”라고 정의하였다. 현금화주기의 다른 명칭으로는 cash conversion cycle time, cash cycle time, cash cycle, cash gap 등이 있다(Uyar, 2009). 이를 번역하면 현금변환주기(김진백, 2011), 현금화 사이클타임(2003, 김대기 등) 등이라고 표현할 수 있는데 본 연구에서는 이효정(2009) 및 장금주와 양재환(2011)을 따라 “현금화주기”라는 표현을 사용하기로 한다. 기술적

으로는 재고일수와 매출채권 회수기간의 합에서 매입채무 변제기간을 차감해서 구할 수 있다. 현금화주기가 길다는 것은 재고와 매출채권이 현금화 되는데 걸리는 시간이 길다는 것으로 기업 입장에서 추가적인 현금 투입, 이자비용 등의 증가를 의미하고 결국 비용 악화 및 경쟁력 저하를 초래할 수 있다. 따라서 기업들은 고객에 대한 신속한 제품인도와 대금회수, 효율적 재고관리, 신속한 원재료의 획득을 통해 이 지표를 개선할 필요가 있다(김대기 등, 2003).

장금주와 양재환(2011)은 현금화주기의 중요성이 SCM 분야에서 대표적인 선진사례로 제시되는 Dell사를 통해서 잘 나타나고 있다고 주장하였다. Dell사가 홈페이지에 제시한 자료에 의하면 이 회사의 현금화주기는 -36일(2008년 2월), -25일(2008년 10월), -25일(2009년 1월)이다(www.dell.com). 조립주문생산 방식을 취하는 Dell사는 현금화주기가 음수인데, 이는 대부분의 기업들이 양수의 현금화주기를 갖는 것과 차별화된다. 이는 Dell사가 운전자금을 금융비용을 들여 차입할 필요 없이 운영이 가능하다는 것이며, 이론적으로는 원자재에 대한 채무지급 이전에 매출로 확보한 현금에 대한 단기간의 이자 수입도 얻을 수 있음을 의미한다. 이러한 운전자금 면에서의 비용적 우월성이 시장에서의 경쟁력을 높이고, 그간 Dell사가 비약적인 성장을 거둘 수 있었던 동력 중에 하나였을 것이다(장금주와 양재환, 2011).

현금화주기가 SCM 성과지표로서 중요하다는 것은 SCC(2008)가 제시한 SCOR(Supply Chain Operations Reference) 모형에도 잘 나타나있다. 현금화주기는 SCOR 모형의 제 1 레벨 평가지표로서 5대 수행 특성(attribute)인 신뢰성(reliability), 대응성(responsiveness), 유연성(flexibility), 원가(costs), 자산/assets) 중 자산 특성에 속하며, 원가 특성과 함께 기업 외부라기보다는 기업 내부의 수행 능력에 초점을 맞추고 있다(SCC, 2008). 여기서 자산 특성이란 고객의 수요를 만족시키기 위해 기업이 자산을 관리함에 있어서 얼마나 효과적인가에 관한 내용이다. 즉, 고정자산이든 운전자본이든 고객의 수요를 만족시키는데 이를 얼마나 효과적으로 사용하느냐와 관련된 것이다.

현금화주기와 기업의 재무성과와의 관계를 연구한 실증연구는 해외 문헌에서 다수 발견된다(Shin and Soenen, 1998; Wang, 2002; Deloof, 2003; Lazaridis and Tryfonidis, 2006; Uyar, 2009; Nobanee and AlHajjar, 2009; Gill et al., 2010 등). 특히 Shin and Soenen(1998)과 Wang(2002)은 산업 전반에 대한 분석 외에도 산업별 분석을 시도하였으며, 산업별로 다른 결과를 얻어 현금화주기가 기업의 재무성과에 미치는 영향이 산업 특성에 상당히 민감함을 제시하였다.

국내의 경우 설문에 의한 연구가 아닌 기업의 회계정보 등을 활용한 실증 연구는 김대기 등(2003)을 제외하고는 최근까지 거

의 전무한 상태였으나, 근래에 들어 이효정(2009), 김진백(2011), 장금주와 양재환(2011)에 의해 현금화주기와 관련된 실증연구가 수행되었다. 김대기 등(2003)은 1997년부터 2001년까지 5년간 621개 상장기업의 현금화주기를 기술적 통계량으로 제시하였다. 이효정(2009)은 자동차제조, 의류제조, 도소매업에 속한 총 104 기업의 2004년부터 2008년까지의 회계정보를 활용하여 현금화주기와 기업의 재무성과 간의 관계를 연구하였는데, 재무성과와 관련된 지표로는 ROA, 매출액순이익률, 영업이익률을 사용하였다. 이효정(2009)은 현금화주기와 재무지표들 간의 피어슨(Pearson) 상관계수를 활용한 상관관계 분석을 수행하였고, 현금화주기의 구성요소들인 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간과 재무지표들 간의 관련성을 다중회귀분석을 통해 분석하였다. 하지만 이 회귀분석은 종속변수인 재무지표들과 밀접한 관련이 있는 통제변수들을 사용하지 않고 현금화주기의 구성요소들만으로 독립변수를 구성하였기에 강건성이 확인되지 않아 통계적인 신뢰성이 그리 높지 않다고 할 수 있다(장금주와 양재환, 2011). 김진백(2011)의 경우 한국은행의 기업회계 데이터를 활용하여 2000년부터 2007년까지 현금화주기의 연도별 추세분석, 대기업과 중소기업의 비교 분석, 산업별 분석을 수행하였다. 현금화주기와 매출이익률 간의 상관관계를 피어슨 상관계수를 활용하여 분석하였다.

산업별 분석을 살펴보면, 이효정(2009)은 3개 산업에 대해 독립적으로 분석을 시도하였고, 김진백(2011)은 20개 업종으로 나누어 분석을 시도하였다. 기업 규모별 분석에 대해서는 이효정(2009)은 기업을 대기업과 중소기업으로 나누어 기술통계량을 제시하였고, 김진백(2011)도 대기업과 중소기업의 차이를 기술통계량을 사용해 분석하였다.

본 연구는 산업별로 구분된 제조업 및 도소매업에 속한 기업들의 회계정보를 활용했다는 점에서 김대기 등(2003), 김진백(2011)과 유사하다. 하지만 단순한 기술통계량 제시, 추세분석, 단순 상관관계 분석 대신 현금화주기와 재무지표와의 관계를 다중회귀분석기법을 활용하여 심도 있게 분석하였다는 점에서 차별성이 있다. 또한, 본 연구는 이효정(2009)과 동일한 재무지표들을 활용하였고, 현금화주기 및 그 구성요소들과 재무지표들 간의 상관관계를 연구했다는 점에서 유사하다고 할 수 있다. 하지만 분석 모형에서는 크게 차이가 나는데, 본 연구는 강건성이 강화된 다중회귀분석 모형을 활용하여 결과의 신뢰도를 크게 향상시켰다. 또한, 활용한 기업의 수나 포함한 산업의 다양성 측면에서도 이효정(2009)과는 차별화가 된다고 할 수 있다. 본 연구의 다중회귀분석 모형은 재고자산과 재무성과의 관계를 분석한 장금주와 우용상(2011)의 분석들과 유사하다. 하지만, 분석의 대상이라 할 수 있는 주요 독립변수들이 상이하므로 차별적이라 할 수 있다. 마지막

으로 본 연구는 장금주와 양재환(2011)의 확장 연구로서 동일한 데이터를 활용하고 유사한 분석 모형을 사용하고 있다. 하지만 본 연구는 연구 대상 측면에서 전체 기업군이 아닌 산업별 및 기업 규모별 분석을 시도하였다는 점에서 크게 차별화된다. 또한, 기존의 연구는 통합회귀분석모형을 활용하였지만 본 연구는 통계적 안정성이 더 높다고 할 수 있는 고정효과모형을 사용했다는 점에서 연구의 강건성을 제고하였다고 할 수 있다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장 선행연구에서는 본 연구와 직접적으로 관련된 기존 문헌들을 살펴본다. 본 연구의 초점이 현금화주기이기 때문에 이와 관련된 논문들을 중심으로 기존 연구들을 검토하고자 한다. 3장에서는 본 연구에서 검정할 가설들을 설정한다. 4장에서는 본 연구에서 활용할 다중회귀분석 모형을 제시하는데, 모형에 사용된 설명변수들과 고정효과모형 등이 소개될 것이다. 5장에서는 본 연구에서 사용할 데이터를 설명하고, 그 회귀분석 결과는 6장에서 제시한다. 마지막으로 7장에서는 결론과 토의를 제시하며 본 논문을 마무리할 것이다.

2. 선행연구

재고와 기업의 재무적 성과에 대한 논의는 본 연구와 관련성이 있으나 직접적인 연관성이 다소 떨어지므로 본 연구에서는 제외하도록 한다. 이에 대한 선행연구 논의는 장금주와 양재환(2011)을 참고하면 된다.

이제 본 연구와 보다 직접적인 연관성을 가진 현금화주기를 연구한 문헌들을 살펴보도록 한다. 먼저 해외의 연구를 살펴보면, Gentry et al.(1990)은 현금화주기가 간접적으로 기업의 가치와 연결되어 있다고 주장했다. 짧은 현금화주기를 갖는다는 것은 기업이 매출채권은 가능한 빨리 회수하고 매입채무는 가능한 늦게 지급함을 의미하며 이를 통해 결국 기업의 가치를 높인다는 것이다. Christopher and Gattorna(2005)는 현금화주기의 측정 및 관리가 중요함을 지적하면서 현금화주기를 줄임으로써 기업이 운전자금을 늘리고 원가를 줄이는 효과를 가져 올 것이라고 하였다. Fawcett et al.(2007)도 현금화주기가 SCM을 통한 가장 직접적인 재무적 성과를 보여줄 수 있는 지표라고 하였다. 현금화주기를 줄일 수 있다면 운전자본에 필요한 비용을 줄일 수 있고 이를 통해 재무적인 이득과 추가적인 투자자원 확보 등의 성과를 거둘 수 있다고 주장하였다. Farris et al.(2005)은 현금화주기가 기업의 관리자와 공급체인 기능을 연결해줄 수 있는 가교 역할을 할 것이라고 하면서 기업은 현금화주기를 관리하여 기업의 유동성과 가치를 높일 수 있을 것이라 했다. 또한 궁극적으로 전체 공급체인을 최적화할 수 있는 성과지표라고 주장하였다.

실증연구들을 해외 문헌부터 살펴보면 다음과 같다. Shin and Soenen(1998)은 1975부터 1994년까지 미국 기업에 대한 총 58,985개의 관측치를 사용하여 현금화주기와 매우 유사한 기업의 순거래주기(Net Trade Cycle, NTC)와 기업의 수익성 간에 존재하는 강한 음(-)의 상관관계를 찾아냈다. 여기서 NTC는 현금화주기와 유사하나 모든 구성요소를 매출로 나누어 일관성을 유지한 값이다. 저자들은 전통적인 관점에서 긴 현금화주기가 기업의 수익성을 악화시킨다는 것을 지적하였다. 하지만 반대로 기업들이 고객들에게 관대한 신용정책, 즉 매출채권 회수기간을 늘려서 높은 매출을 올릴 수 있을 것이라고 예상하면서, 이 경우 긴 현금화주기가 높은 수익성을 낳을 수 있을 것이라 주장하기도 했다. 종속변수로는 (영업이익 + 감가상각)을 총자산으로 나누거나 순매출액으로 나눈 값을 사용하였으며, 추가로 소위 위험조정이익(risk-adjusted profit)이라고 알려진 켄슨의 알파(Jenson's alpha)값을 사용하기도 했다(Jenson, 1986). 산업별 분석에서는 농업, 원유와 가스 채굴, 통신 분야에서 통계적으로 유의하지 못한 음(-)의 상관관계가 나타났으나, 다른 5개 산업군에서는 앞서 전체 데이터의 분석처럼 유의한 음(-)의 상관관계가 나타났다.

Wang(2002)은 일본과 대만에 있는 기업들을 대상으로 유동성관리와 재무성과 간의 관련성을 연구하였는데, 일본기업 1,555개, 대만기업 379개의 1985년부터 1996년까지의 관측치를 사용하였다. 전체 기업들에 대한 분석에서 ROA와 주주자본수익률(Return On Equity, ROE)은 현금화주기와 유의적인 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 산업별 분석에서는 식품, 섬유, 건설, 석유화학, 제조, 전자, 운송, 서비스, 기타로 8개 산업을 살펴보았는데, 일본의 경우 섬유, 석유화학, 전자, 운송 분야에서 현금화주기와 ROA 간에 특별한 관계가 나타나지 않았다. 하지만, 대만의 경우 운송, 서비스, 기타에서만 유의한 결과가 나타나지 않았다.

Deloof(2003)은 매출채권 회수기간을 줄이고 재고를 줄임으로써 기업의 수익성이 높아진다고 주장하였다. 하지만 저자들의 결과를 인용하여 매입채무 변제기간을 줄이는 것도 기업의 수익성에 도움을 준다고 주장하였는데 이는 수익성이 높은 기업들은 일찍 채무를 변제한다고 추론했기 때문이다. 또한, 재고가 많거나 매출채권 회수기간이 길 경우 높은 매출을 거둘 수 있을 것이고, 재고가 많다는 것은 품질 가능성이 줄어든다는 긍정적인 면이 있음을 지적하였다. 이 연구는 벨기에국책은행(National Bank of Belgium)에 있는 정보를 활용하였는데, 1% 극단값들을 제외하고 1,009개 기업에 대한 1991년부터 1996년 사이의 총 5045개의 관측치를 활용하였다. 수익성을 측정하기 위한 종속변수로는 총영업이익(gross operating profit)을 활용하였는데, 여기서 총영업이익이란 매출총이익(매출-매출원가)을 비재무자산(전체자산-재

무자산)으로 나눈 값이다. 고정효과모형을 활용하여 분석한 경우 현금화주기에 대해 계수는 음수이나 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 하지만, 구성요소에 대해서는 모두 유의적인 음(-)의 관계가 나왔는데, 이때 통상적인 기대와 배치되는 것은 매입채무 변제기간과의 음(-)의 관계이다. 저자들은 OLS(Ordinary Least Squares) 분석도 수행하였는데 이 경우 현금화주기와 총영업이익과는 매우 유의한 음(-)의 상관관계를 나타냈다.

Lazaridis and Tryfonidis(2006)는 그리스 증권거래소(Athen Stock Exchange)에 상장된 131개 기업들의 2001년부터 2004년까지의 데이터를 분석하였다. 종속변수로 Deloof(2003)의 총영업이익과 독립변수인 현금화주기를 다중회귀분석을 활용하여 분석하였다. 저자들은 이 종속변수가 재무적 효과를 제외하면서 운영 성과와 운영 지표와의 관계를 보여준다고 판단하였다. 분석 결과로 저자들은 현금화주기와 재무적 성과 사이에 강한 음(-)의 관계를 발견하였다. 또한 현금화주기의 구성요소들에 대해서도 회귀분석을 실시하였는데 매출채권 회수기간은 유의한 음(-)의 관계, 매입채무 변제기간은 유의한 양(+)의 관계로 통상적으로 예상되는 결과를 얻었다. 하지만 재고일수에 대해서는 계수 값이 음(-)의 값을 가지나 통계적으로 유의하지는 않았다.

Uyar(2009)은 이스탄불 주식거래소(Istanbul Stock Exchange)에 속한 166개의 도소매 및 제조 기업을 분석하였다. 수익성을 대표하는 종속변수로 ROA와 ROE를 사용하였으며, 단순 상관관계만 살펴보았다. 현금화주기와 ROA 간에는 유의한 음(-)의 상관관계가 나왔으나, ROE의 경우 상관관계의 부호도 다르고 유의하지도 않았다.

Nobanee and Al Hajjar(2009)는 월드스코프(Worldscope) 데이터베이스를 활용하여 1990년부터 2004년까지의 2,123개 일본 기업 데이터를 분석하였다. 종속변수로는 ROI(Return On Investment)를 사용하였고, 연도별 분석을 시도하였다. 현금화주기는 모든 연도에 대해 유의한 음(-)의 상관관계가 나왔으며, 재고일수도 1999년만 제외하고 유의한 음(-)의 상관관계가 나타났다. 매출채권 회수기간은 1990년부터 1992년까지 3년만 유의한 음(-)의 상관관계가 나타나지 않았으며, 매입채무 변제기간은 1998년부터 2002년까지 5년 동안 유의한 양(+)의 상관관계가 나타나지 않았다.

Gill et al.(2010)은 Lazaridis and Tryfonidis(2006)의 연구를 확장하였는데, 미국 뉴욕주식거래소(New York Stock Exchange)에 상장된 88개 미국 기업의 2005년부터 2007년까지 3년 동안의 데이터인 총 264개의 관측치를 분석하였다. 종속변수는 Deloof(2003)의 총영업이익이다. 매출채권 회수기간은 유의한 음(-)의 관계를 나타내었으나, 매입채무 변제기간은 유의하지도 않고 방향도 통상적으로 기대하는 방향이 아닌 음(-)의 관

계였다. 재고일수는 p -value 10%에서 유의하나 방향이 양(+)의 관계였고, 현금화주기도 p -value가 0.024로 유의하나 방향이 통상적인 경우와 반대인 양(+)의 관계였다.

기업의 실제 회계정보를 활용한 현금화주기에 관한 국내 연구는 앞서 언급한 김대기 등(2003)이 최초로 판단된다. 저자들은 1997년에서 2001년까지 5년 동안 621개 상장기업을 대상으로 현금화주기를 계산하여 제시하였다. 하지만 현금화주기를 기술통계량으로 단순히 제시한 것에 불과해 결론에 대한 통계적인 의미를 부여하기는 어렵다고 할 수 있다. 저자들은 제조업, 유통업, 기타 등의 3개 산업군에 대해 산업별 추세분석도 시도하였는데, 유통업의 현금화주기가 제조업에 비해 현저히 낮다는 것을 주요 특징으로 지적하였다. 또한 기업 규모별 분석에서는 1997년을 제외하고는 대기업이 중소기업보다 현금화주기가 짧게 나타났으며 격차도 커지는 것으로 분석되었다.

김진백(2011)의 경우 한국은행의 기업회계 데이터를 활용해 2000년부터 2007년까지 현금화주기의 산업별 분석, 대기업과 중소기업의 비교 분석을 수행하였다. 또한, 현금화주기와 매출이익률 간의 상관관계를 살펴보고 있는데, 이때 분석은 피어슨 상관계수를 활용한 상관관계 분석이었다. 현금화주기와 매출이익률 간의 관계분석에서는 피어슨 상관계수가 0.119로 양(+)의 값을 보이고 있고 이에 대한 p -value는 0.135로 나타났다. 즉, 방향은 양(+)의 상관관계이지만 통계적으로 유의하지 않다는 것이다. 하지만 방향만 보면 현금화주기가 작아지면 재무성과가 나아진다는 통상적인 기대와는 반대의 결과가 나타났다. 현금화주기에 대한 산업별 분석은 분석이라기보다는 기술통계량에 대한 설명이다. 매출이익률이 높고, 현금화주기가 낮게 나타나는 기업들을 그래프를 통해 제시하였는데, 이는 봉제외복 및 모피 제품 산업, 음식료품 산업, 전자부품, 영상, 음향 및 통신장비 산업, 자동차 및 트레일러 산업의 4개 산업이다. 또한 현금화주기 관점에서 효율성이 떨어지는 산업군은 석유 정제품 및 핵연료 가공업 산업과 기타 운송 장비 산업을 지적했는데 주로 현금화주기와는 상관없이 매출이익률이 낮은 기업들이라 할 수 있다. 현금화주기는 대기업이 42.75일인 반면 중소기업은 60.92일로 대기업이 중소기업보다 현저한 우위를 보였다.

이효정(2009)의 경우는 자동차, 의류제조, 도소매업에 속한 104개 기업의 2004년부터 2008년까지의 회계정보를 활용하여 현금화주기와 기업의 재무성과의 관계를 연구하였는데, 재무성과와 관련된 지표로는 ROA, 매출액순이익률, 영업이익률을 활용하였다. 현금화주기와 재무지표들 간의 상관계수 값을 보면 ROA의 경우 자동차제조업이 0.213을 보이고 있고, p -value도 0.01보다 작아 통계적으로 유의하다. 의류제조업의 경우는 0.134로 양(+)의 관계를 보여 통상적인 기대와는 반대이며, 통계적으로 유의하

지 않다. 도소매업의 경우만 통상적으로 기대되는 음(-)의 상관관계로 유의적인 값을 갖는다. 매출액순이익률과 영업이익률에 대해서도 유사한 결과를 보이고 있으며 특히 의류제조업의 경우 상관계수 값에 대한 p -value가 0.05보다 작아 통계적으로 유의하다. 이효정(2009)은 추가적으로 현금화주기의 구성요소들인 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간과 앞선 세 개의 재무지표들 간의 관련성을 다중회귀분석을 통해 분석하였다. 하지만 앞서 지적한 바와 같이 종속변수인 재무지표들과 밀접한 관련이 있는 통제변수들을 전혀 사용하지 않고 현금화주기의 구성요소들만으로 독립변수를 구성하였다. 현금화주기 구성요소들과 재무적 성과에 대해 통상적으로 기대하는 상관관계는 재고일수와 매출채권 회수기간의 경우 음(-)의 관계, 매입채무 변제기간의 경우 양(+)의 관계이다. 하지만 자동차제조업의 경우 이러한 통상적인 상관관계와는 대체적으로 반대의 결과를 보였다. 이러한 반대 결과는 재고일수와 ROA, 재고일수와 매출액순이익률 간의 관계를 제외하고는 모두 통계적으로도 유의하게 나왔다. 도소매업의 경우는 대체적으로 방향은 통상적인 기대와 일치하는 결과를 보였으나 통계적으로 유의하지 않은 결과도 다소 나타났다. 의류제조의 경우 특별한 일관성이 나타나지 않았으며 통계적인 유의성도 없는 편이었다. 참고로 본 연구의 결과의 일부는 이효정(2009)이 제시한 결과들과 비교될 수 있을 것으로 판단된다. Hong et al.(2010)은 이효정(2009)과 동일한 논문이라 판단되므로 본 연구에서는 따로 언급하지 않는다.

장금주와 양재환(2011)은 본 연구와 거의 동일한 데이터를 활용하였으나 분석모형은 보다 단순한 통합회귀분석모형을 사용하였다. 주요 분석 대상은 제조업 및 도소매업 전체 기업들이며, 세 가지 재무지표와 현금화주기 사이에 통계적으로 유의한 음(-)의 상관관계를 확인하였다. 또한 현금화주기의 구성요소들과 재무지표와의 관계는 ROA의 경우 통상적으로 기대하는 상관관계인 재고일수와 매출채권 회수기간의 경우 음(-)의 관계, 매입채무 변제기간의 경우 양(+)의 관계를 나타내었으며 이들은 모두 통계적으로 유의하게 나타났다. 또한, 매출액순이익률, 영업이익률의 경우 재고일수와의 관계를 제외하고는 통상적으로 기대되는 결과를 얻었다. 마지막으로 추가 분석으로 실시한 간략한 분석에서는 ROA와 5개 산업, 즉 식음료, 화학, 전기전자, 자동차, 도소매에 대한 분석을 하였는데 자동차 산업을 제외하고는 대체로 전체 산업군 결과와 동일한 통상적으로 기대되는 결과를 얻어냈다.

본 연구는 연구대상 측면에서 10개 산업군을 설정하여 보다 상세하게 산업별 분석을 수행하였다는 점, 또 대기업, 중소기업 등 규모별 분석을 실시하였다는 점에서 장금주와 양재환(2011)과 차별화된다. 산업별 분석만 보면 장금주와 양재환(2011)이 5개 산업에 대해 현금화주기와 ROA와의 관계만 분석하였다면, 본 연구는

10개 산업에 대해 총 세 개의 종속변수를 사용하여 분석을 실시하였으며, 현금화주기의 3대 구성요소들에 대한 분석도 실시하였다. 기업 규모 분석도 기존의 김진백(2011)과는 달리 중소기업시행령에 의한 구분에 추가하여 종업원 수의 중위수를 활용한 구분에 대한 분석도 시도하였다. 분석모형 측면에서도 장금주와 양재환(2011)이 통합회귀분석에 그쳤다면 본 연구는 1개 기업 당 9년간의 패널 데이터가 포함되었다는 점을 감안하고 산업 간 분석에 초점을 맞추기 위해 기업 간 효과가 제거된 고정효과모형을 적용하여 모형의 강건성을 향상시켰으며, 이를 통해 기존 연구와는 일부 다른 결과를 도출하기도 했다.

3. 가설설정

국내 선행 연구인 김진백(2011)의 상관관계 분석 결과에 의하면 현금화주기와 재무성과 간의 관계는 통계적으로 유의하지 않고, 상관계수 값도 양(+)의 값을 보이고 있다. 또한 이효정(2009)의 경우 자동차제조업에서 통계적으로 유의한 양(+)의 상관관계를 제시하였다. 하지만 현금화주기와 기업의 재무성과는 통상적으로 음(-)의 상관관계를 갖는 것으로 판단된다(Shin and Soenen, 1998; Christopher and Gattorna, 2005; Fawcett et al., 2007; Farris et al., 2005; 장금주와 양재환, 2011 등). 산업별 분석에 있어서도 Shin and Soenen(1998)과 Wang(2002)의 연구 결과를 종합해볼 때 산업에 따라 매우 민감하나 통상적으로 기대되는 결과를 보이는 산업들이 다수였다. 이에 저자들은 선행 연구에서 다소 상충되는 주장을 제기하고 있기는 하나 기업 전체에서 나타나는 통상적인 기대를 고려하여, 산업별로 현금화주기와 재무성과의 상관관계에 대해 다음과 같은 가설을 수립한다.

가설 1-1: 현금화주기와 기업의 재무성과 사이에는 음(-)의 상관관계가 존재한다.

현금화주기 구성요소들인 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간과 재무적 성과에 대해서 국내 선행연구인 이효정(2009)의 경우는 산업별로 각각 다른 결과를 보이고 있다. 장금주와 양재환(2011)의 경우 현금화주기의 구성요소들과 재무지표와의 관계는 ROA의 경우 통상적으로 기대하는 상관관계인 재고일수와 매출채권 회수기간의 경우 음(-)의 관계, 매입채무 변제기간의 경우 양(+)의 관계를 나타내었으며 이들은 모두 통계적으로 유의하게 나타났다. 또한, 영업이익률, 매출액순이익률의 경우도 재고일수와와의 관계를 제외하고는 통상적으로 기대되는 결과를 얻어내었다. 재고일수가 의미하는 바는 재고에 대한 투자가 판매로 이

루어지기까지 소요되는 기간으로 기업의 재고수준을 의미한다. 매출채권 회수기간은 판매대금이 최종적으로 회수되기 까지 소요되는 기간을 의미한다. 결국 재고일수와 매출채권 회수기간이 길면 기업 내의 유동성이 저하되고 이자비용이 증가하여 수익성 악화 등 기업의 재무성과에는 부정적 영향이 있는 것으로 알려져 있다. 매입채무 변제기간은 원재료를 매입하여 이에 대한 대금을 지불하기까지 소요되는 기간을 의미하며 현금의 유출이라는 측면에서 매출채권 회수기간과 반대의 방향성을 지니고 있다. 따라서 본 연구는 전체 기업에 대한 결과를 확장하여, 산업별로 현금화주기 구성요소들(재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간)과 재무성과의 상관관계에 대해 다음과 같은 가설을 수립한다.

가설 2-1: 현금화주기 구성요소 중 재고일수와 매출채권 회수기간과 재무성과 사이에는 음(-)의 상관관계가 존재한다.

가설 2-2: 현금화주기 구성요소 중 매입채무 변제기간과 재무성과 사이에는 양(+)의 상관관계가 존재한다.

기업 규모에 따른 분석은 주로 국내연구에서만 나타나는데 주로 현금화주기 및 구성요소들에 대한 차이만을 보고할 뿐 가설검정 등은 이루어지지 않았다. 일반적인 결과는 대기업이 현금화주기 등의 측면에서 중소기업보다 다소 우수하다. 즉 현금화주기가 짧다는 것이다(김대기 등, 2003; 김진백, 2011). 이효정(2009)의 경우도 3가지 산업별로 다르게 나타나는 현금화주기 및 구성요소들의 값을 제시하고만 있다. 본 연구에서는 기업의 규모에 따라 현금화주기 및 구성요소들이 기업의 재무성과와 어떤 상관관계가 있는지를 다중회귀분석을 통해 심도 있게 분석한다. 선행연구로부터 특별한 결론을 얻을 수 없었으므로 다음과 같은 가설들을 설정한다.

가설 3-1: 현금화주기와 기업의 재무성과 간 상관관계는 기업 규모에 따른 차이가 존재하지 않는다.

가설 3-2: 현금화주기 구성요소들과 기업의 재무성과 간 상관관계는 기업 규모에 따른 차이가 존재하지 않는다.

4. 연구방법론

4.1. 연구모형

현금화주기와 재무성과간의 관계를 분석하기 위한 모형은 식(1)에 제시되어 있다. 일반적으로 통합회귀모형에서는 관찰 불가능한 이질적 요인(unobserved heterogeneity)들을 통제하지 못

하므로 이로 인해 편이가 있는 추정량이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 관찰되지 않은 이질적 요소 즉, 기업별 시간고정 변수의 이질적 요인으로 인해 발생하는 잠재적 편의를 제거하고자 고정효과모형을 이용하였다. 고정효과모형을 사용할 경우 개별 기업특성으로 인해 발생될 수 있는 편이가 억제되어 산업간 효과를 분석하는데 있어 통계적으로 보다 안정적일 수 있다. 아래 식 (1)에서의 오차항은 확률적 오차인 ε 와 기업별 절편인 ν 로 구성된다. 또한 모형에서 양의 자기상관이 존재하는 것으로 나타나 추정모형에 대하여 자기회귀모형(autoregressive model, AR)을 적용하여 자기상관을 제거하였다. 식 (1)과 (2)에서 사용한 변수에 대한 설명은 식(3) 이후에 일괄적으로 제시한다.

$$\begin{aligned} ROSOI(ROA, ROA1) = & \beta_0 + \beta_1 C2C + \\ & \beta_2 SGROW + \beta_3 RND + \beta_4 ADVER + \\ & \beta_5 SIZE + \beta_6 LEV + \beta_7 OWN + \beta_8 FOR \\ & + \varepsilon + \nu. \end{aligned} \quad (식1)$$

한편 현금화주기의 구성요소인 재고일수, 매출채권 회수기간과 매입채무 변제기간이 재무성과에 미치는 영향을 분석하기 위해서 식 (2)에서는 현금화주기를 구성요소별로 구분하여 설명변수로 설정하였다. 일반적으로 구성요소 중 하나인 재고일수가 길다는 것은 재고자산 보유수준이 높아 유동성이 좋지 않은 것을 의미하므로 재무성과에는 부정적인 영향을 미칠 것이다(장금주와 양재환, 2011). 따라서 β_1 은 음(-)의 계수 값을 나타낼 것이다. 매출채권 회수기간이 길다는 것은 판매대금 회수가 늦다는 것으로 이 또한 재무성과에는 부정적인 영향을 미칠 것이므로 β_2 는 음(-)의 계수 값을 나타낼 것으로 기대할 수 있다. 마지막으로 매입채무 변제기간은 자재 구입 후 대금지급까지의 기간을 의미하므로 β_3 는 양(+)의 계수 값을 나타낼 것으로 기대할 수 있다.

$$\begin{aligned} ROSOI(ROA, ROA1) = & \beta_0 + \beta_1 DOI + \beta_2 DSO + \\ & \beta_3 DPO + \beta_4 SGROW + \beta_5 RND + \\ & \beta_6 ADVER + \beta_7 SIZE + \beta_8 LEV + \beta_9 OWN + \\ & \beta_{10} FOR + \varepsilon + \nu. \end{aligned} \quad (식2)$$

또한 본 연구에서는 현금화주기 및 이의 구성요소와 재무지표 간의 관계가 기업 규모에 따라 달라지는가를 분석하였다. 이를 위해 다음과 같이 더미변수를 포함한 회귀분석을 실시하였다. 아래 식(3)에서 현금화주기와 재무지표에 대한 관계는 대기업의 경우는 $\beta_1 + \beta_9$ 이며 중소기업인 경우는 β_1 의 값을 갖게 된다. 만일 β_9 의 값이 양(+)의 값을 갖는다면 중소기업의 경우 현금화주기가 재무지표에 미치는 음(-)의 관계가 대기업보다 더 큼을 의미한다 하겠다.

$$\begin{aligned} ROSOI(ROA, ROA1) = & \beta_0 + \beta_1 C2C + \\ & \beta_2 SGROW + \beta_3 RND + \beta_4 ADVER \\ & + \beta_5 SIZE + \beta_6 LEV + \beta_7 OWN + \beta_8 FOR \\ & + \beta_9 DC2C + \beta_{10} DSIZE + \varepsilon + \nu. \end{aligned} \quad (식3)$$

한편, 위의 식(3)에서 규모를 나타내는 변수(SIZE)와 대기업 여부를 나타내는 더미변수(DSIZE)간의 상관관계로 인하여 다중공선성이 존재할 수 있어 식(1)과 식(2)를 대기업과 중소기업에 대하여 각각 별도의 회귀분석을 수행하여 결과의 강건성을 제고하였다.

변수 설명:

ROSOI : 영업이익률=영업이익/총매출액

ROA : 총자산수익률=당기순이익/기초총자산

ROA1 : 매출액순이익률=당기순이익/총매출액

C2C : 현금화주기

DOI : 재고일수=평균재고자산/(매출원가/365)

DSO : 매출채권 회수기간=평균매출채권/(총매출액/365)

DPO : 매입채무 변제기간=평균매입채무/(매출원가/365)

SGROW : 매출액증가율((당기매출-전기매출)/전기매출)

RND : 연구개발비지출액/기초총자산

ADVER : 광고비지출액/기초총자산

SIZE : ln(총자산)

LEV : 부채비율(총부채/총자산)

OWN : 대주주지분율

FOR : 외국인지분율

DSIZE: 대기업일 경우 1, 중소기업일 경우 0의 값을 갖는 이진 변수

DC2C: DSIZE*C2C

4.2 변수설정 및 대기업/중소기업 분류

4.2.1 독립변수

현금화주기는 원자재 구매에서 판매대금을 회수하는데 소요되는 시간으로 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간으로 구성된다. 현금화주기는 다음과 같이 구성된다.

현금화주기=재고일수+매출채권 회수기간-매입채무 변제기간

또한 재고일수, 매출채권 회수기간 그리고 매입채무 변제기간은 다음과 같이 산출된다.

- 재고일수(DOI, Days Of Inventory)=평균재고자산/(매출원가/365)
- 매출채권 회수기간(DSO, Days Sales Outstanding)=평균매출채권/(총매출액/365)
- 매입채무 변제기간(DPO, Days Payable Outstanding)=평

균매입채무/(매출원가/365)

재고일수는 재고에 대한 투자가 판매로 이루어지기까지 소요되는 시간으로 기업의 공급사슬내의 재고수준을 가늠할 수 있다. 매출채권 회수기간은 판매된 대금이 최종적으로 회수되기 까지 소요되는 기간을 의미하며, 매입채무 변제기간은 원재료를 매입하여 이에 대한 대금을 지불하기까지 소요되는 기간을 의미한다. 한편, 매출채권, 매입채무 그리고 재고자산의 평균은 기초 재무상태표 잔액과 기말 재무상태표 잔액을 기초로 산술평균하였다.

4.2.2 종속변수

본 연구에서는 재무성과 지표로 ROSOI(영업이익률), ROA(총자산이익률), ROAI(매출액순이익률)를 사용하였다. 현금화 주기의 각 구성요소는 기업의 자산을 고객의 수요를 충족시키는데 얼마나 효율적으로 사용하는 지를 나타내는 지표라 할 수 있다. 따라서 영업이익률이 현금화주기와 직접적인 관련성이 높다고 볼 수 있다.

한편 매출이익률(ROA)과 매출액순이익률(ROAI)은 재무성과에 관한 연구에서 가장 일반적으로 이용되는 재무지표이며 현금화주기와 재무성과간의 관계를 분석한 선행연구에서도 이용된 바 있다(이효정, 2009; 장금주와 양재환, 2011; Wang, 2002; Uyar, 2009). 현금화 주기가 증가되었다는 것은 재고와 매출채권이 현금화 되는데 걸리는 시간이 길어지고 매입채무 변제를 조속한 시일 내에 해야 한다는 것으로 기업 입장에서는 추가적인 현금 투입, 이자비용 등의 증가를 의미하여 당기순이익에도 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 ROSOI(영업이익률)은 물론 ROA(총자산이익률), ROAI(매출액순이익률)를 모두 종속변수로 설정하였다. 한편, 국내 기업을 대상으로 현금화주기와 재무성과와의 관계를 실증적으로 분석한 김진백(2011)과 이효정(2009)의 연구에서는 현금화주기와 재무성과와의 관계가 통계적으로 유의하지 않거나 통계적으로 유의한 양(+)의 값을 나타내기도 했다. 그러나 통상적으로 현금화주기가 길어진다면 재고일수와 매출채권 회수기간이 길어지며 매입채무 변제기간은 짧아진다. 이는 결국 유동성 저하 및 이자비용 등의 증가를 초래하여 수익성이 악화되므로 종속변수에 대한 계수 값인 β_1 은 음(-)의 값을 나타낼 것이다.

4.2.3 통제변수

종속변수와 독립변수간의 논리적인 인과관계를 분석하고자 하는 회귀분석을 수행하는 경우 종속변수에 영향을 미치는 다른 설명 변수들을 통제변수로 모형에 포함하는 것이 통상적이다. 이처럼 분석하고자 하는 설명 변수이외의 통제변수들을 회귀분석 모형에 포함하는 경우 종속변수의 변화에 대한 통제변수의 영향력

을 제외한 후 분석하고자 하는 독립변수의 영향으로 인해 변화된 종속변수의 예측치를 별도로 구분해 낼 수 있다. 결국 독립변수와 종속변수간의 논리적 인과관계 혹은 독립변수가 종속변수에 영향을 미치는 예측 정확성이 더욱 높아질 수 있는 것이다. 통제변수 선정은 장금주와 양재환(2011)의 모형을 따라 선행연구에서 재무지표에 영향을 미치는 변수들로 선정하였다.

종속변수인 재무성과에 영향을 미치는 통제변수 중 하나인 SGROW는 매출액증가율로서, 정용기와 김선화(2009)의 실증분석 결과를 근거로 모형에 포함하였다. RND는 연구개발비지출이며 ADV는 광고비지출이다. 두 변수는 Lev and Sougiannis(1996)와 조성표와 정재용(2001) 등 다수의 국내의 연구를 통해서 기업의 수익성에 영향을 미친다고 널리 알려져 있다. 통제변수 SIZE는 규모효과를 통제하기 위해 포함된 변수로서, 정용기와 김선화(2009) 등의 연구 결과를 통해 모형에 포함하였다. LEV는 부채보유수준이 재무성과에 미치는 영향을 통제하기 위해 포함된 변수이다. 문상혁(2006), 정용기와 김선화(2009)는 LEV와 ROA 간에 유의적인 음(-)의 상관관계가 존재하는 것을 발견했다. OWN과 FOR는 기업지배구조가 재무성과에 미치는 영향을 통제하기 위해 포함된 변수이다(문상혁, 2006).

4.2.4 대기업과 중소기업 분류

중소기업기본법 시행령에서는 기업의 자본금, 매출액 그리고 종업원 수를 기초로 그 기업이 속한 업종별로 기준을 달리 정하여 중소기업과 대기를 구분하도록 규정하고 있다. 한편 이를 기초로 한국신용평가사의 KIS-VALUE에서는 코드 0A1070에서 대상 기업을 대기업과 중소기업으로 구분하여 자료를 제공하고 있으며 본 연구에서는 이를 이용하였다. 한편, 특정 산업에 따라 대기업과 중소기업이 편중되어 속할 수 있다. 이 같은 경우 분석 결과가 기업 규모가 아닌 산업효과로 인해 왜곡될 수 있다고 판단되어 산업별로 종업원 수의 중위수를 기준으로 대기업과 중소기업으로 분류하여 분석의 강건성을 제고하였다.

5. 표본선정 및 자료수집

본 연구는 분석기간 현재 한국거래소에 주권 상장되어 있는 12월말 결산법인 중 다음의 조건을 만족하는 기업을 표본으로 선정하였으며, 분석대상기간은 2000년부터 2008년까지이다.

- (1) 주요 제조업과 도소매업
- (2) 한국상장회사협의회 TS-2000, 한국신용평가사의 KIS-VALUE에서 분석에 필요한 재무자료 및 지분율 자료

등을 입수할 수 있는 기업
(3) 감사의견이 적정의견인 기업

본 연구에서 사용된 총 유효 표본 수는 2,980개이었으며 실증 분석을 수행하는 경우 각 변수 분포의 양쪽 끝 1%이내에서 그 값을 초과하는 경우 그에 해당하는 값을 부여하는 Winsorization 기법을 사용하여 이상값의 영향을 제거하였다. 한편, 감사의견이 적정의견인 기업으로 제한한 것은 적정의견 이외의 기업은 재무제표의 신뢰성이 결여되어 있기 때문이다. 이와 같은 과정을 통해 최종 2,980의 표본이 선정되었다.

〈표1〉에는 본 연구의 분석에서 사용된 표본의 산업별 분포 및 해당 산업코드가 제시되어 있다. 표본에서 가장 높은 비중을 차지하는 산업은 화학 산업으로 전체 표본의 15.94%를 차지하고 있다. 다음으로 전자/정밀, 금속 산업으로 각각 14.50%와 11.58%를 구성하고 있다. 한편, 도소매업의 경우는 전체 표본의 10.17%를 구성하고 있다. 아래 〈표 1〉에는 본 연구의 분석에 사용된 표본의 연도별-산업별 분포 및 산업기술에 대한 내용이 제시되어 있다.

6. 실증분석 결과

6.1 기술적 통계량

〈표 2〉의 〈패널A〉에는 전체 표본의 주요변수에 대한 기술통계량이 제시되어 있다. 먼저 현금회주기의 평균과 중위수는 각각 88일과 77일이며 재고일수에 대한 평균과 중위수는 각각 63일과 50일로 나타났다. 또한 매출채권 회수기간에 대한 평균과 중위수는 68일과 58일이며 매입채무 변제기간에 대한 평균과 중위수는 44일과 37일로 나타났다. ROSOI의 표본기간 동안의 평균과 중위수는 각각 4.8%와 4.9%로 나타났다. 전체 표본에 대한 종업원수에 대한 평균과 중위수는 1,646명과 372명으로 나타나 좌측편향 분포임을 알 수 있다. 한편 〈표 2〉의 〈패널 B〉에는 본 연구의 분석 대상인 산업별 주요변수에 대한 기술통계량이 제시되어 있다. 표본 산업에서 자동차 제조업과 도소매업의 현금회주기에 대한 평균은 각각 34일과 51일을 나타내 비교적 짧은 현금회주기를 나타내고 있음을 알 수 있다. 반면, 섬유/의복/가방/가죽제조업의 경우 현금회주기의 평균과 중위수는 각각 119일과 115일을 나타내고 있으며 의료/의약품 제조업의 경우 평균과 중위수는 213일과 206일을 나타내 다른 산업에 비하여 큰 현금회주기를 나타내

표 1. 표본의 구성

산업명	표본수(연도-기업)	산업코드 ^(*)	비율	산업기술
식음료	263	0310 0311	8.82	식품제조업 음료 제조업
섬유/의복/가방/신발	226	0313 0314 0315	7.58	섬유제품제조업 의복 · 의복 액세서리 · 모피제품 제조업 가죽 · 가방 · 신발제조업
종이	148	0317	4.97	펄프 · 종이 · 종이제품 제조업
화학	475	0320	15.94	화학물질 · 화학제품제조업:의약품 제외
의료/의약	228	0321	7.65	의료용물질 · 의약품 제조업
고무/플라스틱/비금속	313	0322 0323	10.50	고무 · 플라스틱제품 제조업 비금속 광물제품 제조업
금속	345	0324 0325	11.58	1차 금속 제조업 금속가공제품제조업:기계 · 가구제외
전자/정밀	432	0326 0327 0328	14.50	전자 · 컴퓨터 · 영상 · 통신장비 제조 의료 · 정밀 · 광학기기 · 시계제조업 전기장비 제조업
자동차	247	0330	8.29	자동차 및 트레일러 제조업
도소매	303	0746 0747	10.17	도매 및 상품중개업 소매업:자동차 제외
합계	2,980		100%	

〈주1〉 본 연구에서는 한국상장회사협의회 TS-2000의 산업코드 중 앞 네 자리수를 기초로 산업을 분류하였다. 한편, TS-2000에서는 통계청의 표준산업분류에 준거하여 자체적인 산업분류코드를 제공하고 있다.

표 2. 주요변수의 기술적 통계량

〈패널A〉 전체 표본의 주요변수 기술통계량 (표본수=2,980)

변수명	평균	중위수	제1사분위수	제3사분위수	표준편차
C2C	88	77	42	118	75
DOI	63	50	31	79	49
DSO	68	58	41	84	43
DPO	44	37	23	56	31
ROSOI	0.048	0.049	0.019	0.087	0.084
ROA	0.031	0.035	0.007	0.071	0.079
ROA1	0.022	0.035	0.007	0.070	0.113
NOE	1,646	372	180	838	7,092

〈패널B〉 산업별 분석

산업구분	구분	C2C	DOI	DSO	DPO	ROSOI	NOE
식음료 제조업 N=263	평균	65	54	51	40	0.050	1,265
	중위수	58	39	46	38	0.055	595
	표준편차	62	50	24	24	0.055	1,298
섬유 · 의복 · 가방 · 가죽제조업 N=226	평균	119	105	53	42	0.026	403
	중위수	115	86	50	30	0.038	351
	표준편차	74	66	25	38	0.097	296
종이 제조업 N=148	평균	78	47	58	27	0.046	360
	중위수	78	43	54	22	0.052	277
	표준편차	35	24	17	20	0.071	223
화학 제조업 N=475	평균	85	67	58	40	0.050	1,070
	중위수	73	51	53	36	0.057	339
	표준편차	59	55	25	21	0.070	1,746
의료 · 의약품 제조업 N=228	평균	213	108	152	48	0.107	708
	중위수	206	105	141	44	0.120	546
	표준편차	75	32	58	29	0.103	513
고무 · 플라스틱 · 비금속 제조업 N=313	평균	87	47	81	42	0.058	709
	중위수	84	39	80	38	0.057	450
	표준편차	52	33	34	20	0.081	1,142
금속제조업 N=345	평균	90	66	59	35	0.062	1,092
	중위수	90	60	51	31	0.055	337
	표준편차	50	31	29	23	0.054	2,838
전자 · 정밀제조업 N=432	평균	80	55	67	42	0.023	4,165
	중위수	70	47	62	38	0.034	419
	표준편차	56	39	34	23	0.101	15,285
자동차 제조업 N=247	평균	34	37	63	66	0.033	3,922
	중위수	26	25	63	63	0.036	527
	표준편차	47	32	24	26	0.053	11,856
도소매업 N=303	평균	51	50	56	56	0.035	1,269
	중위수	28	27	35	33	0.033	229
	표준편차	92	57	54	54	0.101	3,366

〈패널C〉 규모별 분석

산업구분		C2C	DOI	DSO	DPO	ROSOI	ROA	ROA1
대기업	평균	80	59	64	44	0.063	0.042	0.039
	중위수	70	48	55	38	0.056	0.041	0.039
중소기업	평균	106	72	77	43	0.014	0.006	-0.016
	중위수	92	54	68	35	0.032	0.023	0.022
T-test의 T값		***-8.89	***-5.84	***-7.26	1.18	***12.91	***10.04	***10.00
윌콕슨 순위부호 검정의 Z값		***-9.71	-3.40	***-8.19	**2.18	***9.76	***8.40	***6.89

, * 는 각각 유의수준 5%, 1%에서 유의함

〈변수설명〉

NOE: 종업원수

〈주2〉 그 밖의 변수정의는 식(3) 참고.

는 것을 알 수 있다. 재고일수의 경우 자동차 제조업의 평균과 중위수는 각각 37일과 25일로 비교적 낮은 것으로 나타났으며 의료/의약품 제조업에 대한 평균과 중위수는 각각 108일과 105일을 나타내 비교적 높은 재고일수를 기록하고 있는 것으로 나타났다.

매출채권 회수기간의 경우 식음료 제조업과 도소매업의 평균은 각각 51일과 56일로 나타난 반면 의료/의약품 제조업에 대한 평균은 각각 152일을 나타내어 비교적 높은 회수기간을 기록하는 것으로 나타났다. 매입채무 변제기간의 경우 종이 제조업의 경우 평균과 중위수는 각각 27일과 22일을 나타내 비교적 짧은 변제기간을 나타내고 있는 반면 자동차 제조업의 경우 평균과 중위수는 각각 66일과 63일을 나타내고 있다.

〈표 2〉의 〈패널 C〉에는 표본기업들을 중소기업시행령에 따라 대기업과 중소기업으로 구분한 후 기업 규모에 따른 주요변수들의 평균과 중위수를 확인하였다. 대기업의 경우 현금화주기, 재고일수, 매출채권회수기간의 평균이 중소기업에 비하여 통계적으로 유의하게 작은 것으로 나타난 반면 수익성을 나타내는 재무지표가 통계적으로 모두 유의하게 높게 나타나 대기업은 수익성이 중소기업보다 좋은 것으로 나타났다. T-test를 통한 매입채무 변제기간은 대기업과 중소기업 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나 윌콕슨(Wilcoxon) 순위부호 검정 결과 대기업이 통계적으로 유의하게 큰 것으로 나타났다. 한편 표로는 나타내지 않았으나 본 연구의 세 가지 재무지표 변수와 현금화주기, 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간에 대한 피어슨 상관관계 분석을 수행한 결과 세 가지 재무지표는 모두 현금화 주기, 재고일수, 매출채권 회수기간과 1%의 신뢰수준에서 유의한 음(-)의 상관관계를 나타내고 있었다. 다만, 매입채무 변제기간의 경우는 매출액 대비 순이익의 경우에서만 통계적으로 유의한 양(+)의 상관관계를 나타내는 것으로 나타났다. 역시 표로는 제시하지 않았으나 대기업과 중소기업을 별도로 구분한 후 주요변수에 대한 상관관계를 분석하였다. 분석결과 ROSOI와 현금화주기에 대한 상

관계수 값은 대기업의 경우는 -0.00121로 유의적이지 않은 반면 중소기업의 경우는 -0.2296로 1%수준에서 유의적으로 나타나 중소기업의 경우 현금화주기와 재무지표와의 관계가 대기업보다 훨씬 높음을 알 수 있다. 한편 재고일수, 매출채권 회수기간에 있어서도 유사한 결과를 보였다. 다만, 매입채무 변제기간의 경우는 두 집단 모두 통계적으로 유의하지 않았다.

6.2 회귀분석 결과

〈표 3〉에는 현금화주기와 재무성과 관련 지표간의 관계를 파악하기 위한 고정효과모형을 이용한 분석결과 중 현금화 주기에 대한 계수 값 및 이에 대한 T값 그리고 모형의 설명력이 산업별로 제시되어 있다. 현금화주기와 재무성과간의 산업간 차이를 명확하게 파악하기 위해 표에서는 현금화주기의 계수 값인 β_1 의 값 및 이에 대한 T값 그리고 모형에 대한 설명력만을 제시하고 있으며 다른 통제변수에 대한 계수 값은 제시하지 않았다.

현금화 주기와 영업이익률(ROSOI)간에 유의한 음(-)의 상관관계를 보이는 산업으로 식음료제조업, 전자/정밀제조업, 자동차제조업, 도소매업으로 나타났으며 이들 산업에 대한 계수값은 각각 -0.00066, -0.00076, -0.00083, -0.00069로 모두 1%의 유의수준에서 유의적으로 나타났으며 이 중 자동차 산업의 경우 현금화 주기가 영업이익률에 미치는 영향이 다른 산업에 비해서도 높은 것을 알 수 있다.

한편 현금화 주기와 순이익률지표(ROA와 매출액순이익률)간에 유의한 음(-)의 상관관계를 나타내는 산업으로 식음료제조업, 섬유/의복/가방/신발 제조업, 의료/의약품 제조업, 고무/플라스틱/비금속 제조업, 자동차 제조업, 도소매업으로 나타났다. 이 중 자동차 산업의 현금화 주기의 계수 값은 세 가지 재무 지표에 대하여 각각 -0.00077, -0.00112, -0.00083의 계수 값을 나타내 다른 산업에 비하여 재무성과에 미치는 영향이 가장 높은 산업인

것으로 나타났다. 다만, 섬유/의복/가방/신발산업, 의료/의약산업, 고무/플라스틱/비금속 산업의 경우는 영업이익률과는 유의적인 관계를 확인하지 않았으나 당기순이익률(ROA, ROA1)과는 유의적인 관계를 확인하였다. 통상 현금화 주기가 적다는 것은 현금화 주기의 각 구성요소는 기업의 자산을 고객의 수요를 충족시키는데 얼마나 효율적으로 사용하는 지를 나타내는 지표로 재고와 매출채권이 현금화 되는데 걸리는 시간은 적고 매입채무가 변제되는 기간은 길어 기업 입장에서 추가적인 현금 투입, 이자 비용 등의 감소를 의미한다 할 수 있다. 한편, 영업이익은 당기순이익에서 투자 및 재무에 따른 손익 등이 반영되지 않은 재무성과이다. 이와 같은 결과를 통해 섬유/의복/가방/신발산업, 의료/의약산업, 고무/플라스틱/비금속 산업의 경우, 현금화 주기의 감소가 의미하는 바는 운영상의 효율성 제고로 인한 원가절감 효과보다는 해당 자산에 투자될 투자자본의 감소가 이자 비용 등의 감소로 연결되어 당기순이익으로 측정된 재무성과를 증가시켰다는 것을 의미할 수도 있다.

한편, 통계적으로 유의하지는 않은 산업이더라도 대체적으로 음(-)의 계수 값을 나타냄을 통해 현금화주기와 재무지표와는 일반적인 음(-)의 관계가 존재한다 할 수 있다. 한편, 표 하단의 <패널 B>에는 전체 표본에 대한 분석 결과가 제시되어 있는데 현금화주기와 세 가지 모든 재무성과에서 예측한 바대로 유의적인 음(-)의 계수 값을 나타내었다.

표의 결과를 요약할 때 본 연구의 전체 표본에 대한 재무지표와 현금화주기간에는 유의적인 음(-)의 관계가 나타나고 있어 현금화주기의 감소가 영업이익은 물론 당기순이익 지표에도 긍정적 효과를 미치고 있음을 알 수 있다. 산업별 분석 결과 식음료산업, 전자/정밀산업, 자동차산업, 도소매산업의 경우는 운영의 효율성 향상을 통해 원가절감 등의 영업이익이 증가되는 긍정적 효과가 존재함을 확인하였다. 반면, 섬유/의복/가방/신발산업, 의료/의약산업, 고무/플라스틱/비금속 산업의 경우는 운영상의 효율성 제고로 인한 원가절감 효과보다는 해당 자산에 투자될 투자자본의 감소로 이자비용이 감소되어 당기순이익의 증가로 나타나고 있음

표 3. 현금화주기가 재무성과에 미치는 영향에 대한 분석 결과

C2C의 계수 값	$ROA(ROA1, ROSOI) = \beta_0 + \beta_1 C2C + \beta_2 SGROW + \beta_3 RND + \beta_4 ADVER + \beta_5 SIZE + \beta_6 LEV + \beta_7 OWN + \beta_8 FOR + \epsilon + v$									
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

<패널 A>: 산업별 현금화 주기에 대한 재무지표에 대한 통계량

종속 변수별 모형	모형1 종속변수 : ROSOI			모형2 종속변수 : ROA			모형3 종속변수 : ROA1		
	β 계수	T값	R ² (overall)	β 계수	T값	R ² (overall)	β 계수	T값	R ² (overall)
식음료	-0.00066	***-3.20	12.59	-0.00100	***-3.45	27.38	-0.00103	***-3.26	22.02
섬유/의복/가방/신발	-0.00022	-1.61	10.5	-0.00024	*-1.64	16.65	-0.00037	** -1.75	10.06
종이	-0.00033	-1.14	3.55	-0.00037	-1.44	24.62	-0.00031	-0.86	12.69
화학	-0.00020	-1.43	2.92	-0.00017	-1.06	18.37	-0.00028	-1.35	17.89
의료/의약	-0.00026	-1.61	0.49	-0.00031	** -2.41	7.52	-0.00036	** -1.82	3.33
고무/플라스틱/비금속	-0.00021	-1.59	2.18	-0.00025	*-1.71	3.09	-0.00039	*-1.69	0.64
금속	-0.00009	-0.71	23.8	-0.00006	-0.33	23.16	-0.00011	-0.74	31.12
전자/정밀	-0.00076	***-5.20	27.74	0.00007	0.45	26.12	0.00010	0.43	12.58
자동차	-0.00083	***-4.98	0.55	-0.00077	***-4.12	9.15	-0.00112	***-4.68	15.31
도소매	-0.00069	***-5.74	30.54	-0.00061	***-4.02	28.73	-0.00069	***-3.38	27.86

<패널 B>: 전체 산업에 대한 현금화 주기에 대한 재무지표에 대한 통계량

종속 변수별 모형	모형1 종속변수 : ROSOI			모형2 종속변수 : ROA			모형3 종속변수 : ROA1		
	β 계수	T값	R ² (overall)	β 계수	T값	R ² (overall)	β 계수	T값	R ² (overall)
전체표본	-0.00050	***-10.17	2.73	-0.00031	***-5.92	19.03	-0.00046	***-6.44	13.60

*, **, ***는 각각 유의수준 10%, 5%, 1%에서 유의함

<주3> 변수 정의는 식(3) 참고.

을 알 수 있다.

한편, 현금화주기는 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간으로 구성되며 이 같은 구성요소의 분해하여 분석을 수행해본다면 현금화주기를 구성하는 요소 중 어떤 요소가 재무성과에 더 큰 영향을 미치는가를 파악할 수 있을 것이다. 또한 이 같은 효과는 산업별로 다르게 나타날 것으로 기대할 수 있을 것이다. 이에 대한 분석 결과는 <표 4>에 제시되어 있다. 산업별로 현금화주기의 구성요소 즉, 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간이 재무성과에 미치는 영향을 비교적 명확히 파악할 수 있도록 하기 위해서 표에는 이들 주요 독립변수에 대한 계수 값만을 제시하고 있으며 통제변수에 대한 계수 값은 제시하지 않았다.

재고일수가 재무성과에 미치는 영향에 대한 결과는 <패널 A>에 제시되어 있다. 재고일수가 영업이익률 간에 유의적인 음(-)의 계수 값을 나타내는 산업으로는 식음료, 섬유/의복/가방/신발, 전자/정밀, 자동차산업으로 나타났다. 다만, 의료/의약품 제조업의 경우는 재고일수와 영업이익률 간에 예상 부호와 다른 유의적인 양(+)의 계수 값을 나타내고 있다. 그러나 의료/의약품 제조업에 대한 재고일수와 영업이익률간의 모형에 대한 설명력이 0.1%로 매우 낮아 그 중요성은 크지 않다고 할 수 있다. 한편 재고일수가 매출액순이익률 재무지표에 예측한 대로 유의적인 음(-)의 계수 값을 나타내는 산업으로는 식음료, 섬유/의복/가방/신발, 종이, 고무/플라스틱/비금속, 자동차로 나타났다. 자동차산업의 경우는 재무지표에 미치는 영향이 다른 산업보다 더 큰 것으로 나타나 자동차 산업의 경우 재무성과 측면에서 재고관리의 효율성이 중요함을 알 수 있다.

매출채권 회수기간의 경우 식음료와 도소매업의 경우 세 가지 모두의 재무지표 간에 유의적인 음(-)의 관계를 나타내고 있다. 화학의 경우는 영업이익률에서, 의료/의약품의 경우는 ROA와 영업이익률에서 유의적인 음(-)의 관계가 나타났다. 고무/플라스틱/비금속산업은 매출액순이익률과 영업이익률에서 유의적인 음(-)이 관계를 나타내었으며 금속과 전자/정밀 산업은 영업이익률에서만 유의적인 음(-)의 관계를 나타내고 있다. 한편 도소매업의 경우는 계수 값의 크기는 물론 유의도에 있어서도 다른 산업보다 크게 재무성과에 영향을 미치는 것으로 나타나 도소매업의 경우 매출채권 회수기간에 대한 효과적인 관리는 경영성과에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 통해 효과적인 매출채권 관리는 일반적으로 운영상의 효율성에 긍정적 영향을 미쳐 원가절감을 통한 영업이익률의 증가로 이어지고 있다고 추론할 수 있다. 또한, 효과적인 재고자산 관리는 재고자산에 투하될 자금에 대한 이자비용 등의 감소로 이어져 당기순이익의 지표에 긍정적 영향을 미치고 있음을 의미할 수 있다.

마지막으로 매입채무 변제기간과 재무성과와의 관계의 경우는 고무/플라스틱/비금속의 경우는 영업이익률과, 전자/정밀, 자동차 그리고 도소매업의 경우는 전체 재무제표에서 통상적으로 기대할 수 있는 유의적인 양의 관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히, 자동차산업과 도소매업의 경우는 계수 값의 크기는 물론 유의도에 있어서도 다른 산업보다 높게 재무지표와 관계를 갖는 것으로 나타나 효과적인 매입채무 변제기간 관리가 재무성과 측면에서 중요함을 알 수 있다.

한편, 각각의 패널 하단에는 전체 표본에 대한 세 가지 구성요소에 대한 재무성과의 관계를 제시하고 있는데 이들 결과는 기대와 같이 재고일수와 매출채권 회수기간 간에는 유의적인 음(-)의 관계를 나타내며 매입채무 변제기간과는 유의적인 양(+)의 값을 나타내는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 대기업과 중소기업 구분에 따른 현금화주기, 현금화주기의 각각의 구성요소가 재무성과에 미치는 영향을 경험적으로 확인해보기 위해 실증분석을 수행하였다. 한편, 대기업과 중소기업을 구분하는 더미변수를 포함한 회귀식의 경우 통제변수로 설정된 규모변수(SIZE)변수와 상관관계가 높아 다중공선성이 커질 수 있어 대기업과 중소기업을 각각 별도로 구분하여 회귀분석을 수행하였으며 이에 대한 결과는 <표 5>와 <표 6>에 제시되어 있다. 먼저 중소기업 시행령에 따라서 대기업과 중소기업을 구분하여 이에 따라 현금화주기가 재무성과에 미치는 영향이 달라지는 것을 분석하였다. 이에 대한 결과는 <표 5>의 <패널 A>에 제시되어 있다. 한편, 특정 산업에 따라 대기업과 중소기업이 편중되어 있을 수 있어 분석결과가 기업 규모가 아닌 산업효과에 의해 영향받을 수 있다. 따라서 산업별로 종업원 수의 중위수를 기준으로 대기업과 중소기업을 구분하여 추가 분석을 수행하였다. 이에 대한 결과는 <표 5>의 <패널 B>에 제시되어 있다. 중소기업법 시행령을 따를 때는 표본에서의 중소기업의 표본 수는 792개이나 산업별로 종업원 수의 중위수를 기준으로 구분하는 경우는 중소기업의 표본 수는 1,490개에 해당한다. 위의 두 가지 모두의 경우에서 현금화주기와 재무성과 간에는 유의적인 음(-)의 관계를 나타내었다.

표본 계수 값의 크기와 유의도 측면에서는 중소기업의 현금화주기가 재무성과에 미치는 영향이 대기업의 경우보다 더 높은 것으로 나타났다. 이는 중소기업의 경우 현금화주기를 최적화하려는 노력이 당기순이익 기반의 재무지표와 영업이익률 기반의 재무지표에 영향을 미치는 효과가 대기업보다 더 큼을 의미한다. 한편 표본은 나타나지 않았지만 이 같은 대기업과 중소기업에 대한 계수 값의 비교를 더미변수를 이용하여 통계적으로 확인한 결과 동일한 결과를 얻었다.

한편 <표 6>에는 현금화주기의 구성요소가 재무성과에 미치는

표 4. 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간이 재무성과에 미치는 영향

$$ROA(ROA1, ROSOI) = \beta_0 + \beta_1 DOI + \beta_2 DSO + \beta_3 DPO + \beta_4 SGROW + \beta_5 RND + \beta_6 ADVER + \beta_7 SIZE + \beta_8 LEV + \beta_9 OWN + \beta_{10} FOR + \epsilon + v$$

〈패널 A〉 재고일수에 대한 계수 값

DOI의 계수 값	모형1 종속변수 : ROSOI			모형2 종속변수 : ROA			모형3 종속변수 : ROA1		
산업구분	β_1 계수	T값	R ² (overall)	β_1 계수	T값	R ² (overall)	β_1 계수	T값	R ² (overall)
식음료	-0.00044	*-1.86	21.68	-0.00087	** -2.52	31.91	-0.00085	** -2.43	26.67
섬유/의복/가방/신발	-0.00031	** -2.02	10.88	-0.00030	* -1.66	17.23	-0.00046	* -1.77	10.76
종이	-0.00029	-0.69	1.59	-0.00070	* -1.88	19.62	-0.00111	** -2.17	18.41
화학	0.00031	1.53	1.59	-0.00006	-0.24	19.12	-0.00011	-0.33	19.63
의료/의약	0.00073	***2.67	0.10	0.00009	0.39	8.37	0.00029	0.82	4.45
고무/플라스틱/비금속	0.00006	0.30	1.62	-0.00035	* -1.79	3.26	-0.00026	-0.88	0.92
금속	0.00021	1.23	22.54	0.00003	0.12	22.53	-0.00007	-0.31	30.99
전자/정밀	-0.00068	***-3.42	28.43	-0.00005	-0.25	28.25	-0.00030	-1.00	15.34
자동차	-0.00119	***-4.35	0.23	-0.00103	***-3.08	8.78	-0.00126	***-3.25	15.97
도소매	0.00012	1.48	48.25	0.00004	0.31	32.38	0.00016	0.79	36.94
DOI의 계수 값	모형1 종속변수 : ROSOI			모형2 종속변수 : ROA			모형3 종속변수 : ROA1		
산업구분	β_1 계수	T값	R ² (overall)	β_1 계수	T값	R ² (overall)	β_1 계수	T값	R ² (overall)
전체표본	-0.00016	***-2.72	2.74	-0.00021	***-3.24	18.77	-0.00029	***-3.23	13.34

〈패널 B〉 매출채권 회수기간에 대한 계수값

DSO의 계수 값	모형1 종속변수 : ROSOI			모형2 종속변수 : ROA			모형3 종속변수 : ROA1		
산업구분	β_1 계수	T값	R ² (overall)	β_1 계수	T값	R ² (overall)	β_1 계수	T값	R ² (overall)
식음료	-0.00122	*-1.86	21.68	-0.00146	***-2.84	31.91	-0.00186	** -2.43	26.67
섬유/의복/가방/신발	-0.00014	-0.34	10.88	-0.00051	-1.17	17.23	-0.00073	-1.19	10.76
종이	-0.00023	-0.34	1.59	0.00049	0.85	19.62	0.00072	0.97	18.41
화학	-0.00104	***-3.49	1.59	-0.00005	-0.14	19.12	-0.00025	-0.57	19.63
의료/의약	-0.00041	*-1.74	0.10	-0.00036	*-1.9	8.37	-0.00043	-1.47	4.45
고무/플라스틱/비금속	-0.00074	***-2.87	1.62	-0.00025	-0.91	3.26	-0.00095	** -2.22	0.92
금속	-0.00071	***-3.37	22.54	-0.00003	-0.09	22.53	-0.00016	-0.58	30.99
전자/정밀	-0.00088	***-3.36	28.43	-0.00012	-0.45	28.25	-0.00014	-0.35	15.34
자동차	0.00016	0.57	0.23	-0.00010	-0.27	8.78	0.00009	0.22	15.97
도소매	-0.00208	***-13.17	48.25	-0.00156	***-6.19	32.38	-0.00261	***-7.25	36.94
DOI의 계수 값	모형1 종속변수 : ROSOI			모형2 종속변수 : ROA			모형3 종속변수 : ROA1		
산업구분	β_1 계수	T값	R ² (overall)	β_1 계수	T값	R ² (overall)	β_1 계수	T값	R ² (overall)
전체표본	-0.00104	***-12.01	2.74	-0.00039	***-4.13	18.77	-0.00074	***-5.78	13.34

〈패널 C〉 매입채무 변제기간에 대한 계수값

DPO의 계수 값	모형1 종속변수 : ROSOI			모형2 종속변수 : ROA			모형3 종속변수 : ROA1		
	β_1 계수	T값	$R^2(\text{overall})$	β_1 계수	T값	$R^2(\text{overall})$	β_1 계수	T값	$R^2(\text{overall})$
산업구분									
식음료	0.00040	0.94	21.68	0.00036	0.58	31.91	-0.00022	-0.34	26.67
섬유/의복/가방/신발	0.00023	0.50	10.88	0.00039	0.72	17.23	0.00064	0.83	10.76
종이	0.00061	0.89	1.59	0.00076	1.27	19.62	-0.00037	-0.46	18.41
화학	0.00037	1.25	1.59	0.00051	1.43	19.12	0.00064	1.32	19.63
의료/의약	0.00052	1.34	0.10	0.00034	1.08	8.37	0.00028	0.58	4.45
고무/플라스틱/비금속	0.00062	**1.98	1.62	0.00043	1.11	3.26	0.00030	0.50	0.92
금속	-0.00031	-1.11	22.54	0.00034	0.83	22.53	0.00011	0.30	30.99
전자/정밀	0.00075	**2.34	28.43	0.00077	**2.36	28.25	0.00148	***3.07	15.34
자동차	0.00113	***4.88	0.23	0.00100	***3.48	8.78	0.00191	***5.73	15.97
도소매	0.00101	***5.86	48.25	0.00110	***4.20	32.38	0.00180	***4.87	36.94
DPO의 계수 값	모형1 종속변수 : ROSOI			모형2 종속변수 : ROA			모형3 종속변수 : ROA1		
산업구분	β_1 계수	T값	$R^2(\text{overall})$	β_1 계수	T값	$R^2(\text{overall})$	β_1 계수	T값	$R^2(\text{overall})$
전체표본	0.00061	***5.91	2.74	0.00062	***5.41	18.77	0.00097	***6.21	13.34

*, **, *** 는 각각 유의수준 10%, 5%, 1%에서 유의함

〈주4〉 변수 정의는 식(3) 참고.

표 5. 기업 규모에 따른 현금화주기와 재무성과간의 관계

$$ROA(ROA1, ROSOI) = \beta_0 + \beta_1 C2C + \beta_2 SGROW + \beta_3 RND + \beta_4 ADVER + \beta_5 SIZE + \beta_6 LEV + \beta_7 OWN + \beta_8 FOR + \epsilon + v$$

〈패널 A〉 대기업과 중소기업 구분방법: 중소기업법시행령

DOI의 계수 값	모형1 종속변수 : ROSOI		모형2 종속변수 : ROA		모형3 종속변수 : ROA1	
	대기업	중소기업	대기업	중소기업	대기업	중소기업
구분						
C2C 계수 값	-0.00031	-0.00055	-0.00015	-0.00038	-0.00012	-0.00068
T값	***-5.34	***-6.33	** -2.32	***-4.21	-1.52	***-4.92
$R^2(\text{overall})$	1.86	7.65	22.37	10.76	20.55	10.08

〈패널 B〉 대기업과 중소기업 구분방법: 산업별로 종업원수에 따른 중위수기준

DOI의 계수 값	모형1 종속변수 : ROSOI		모형2 종속변수 : ROA		모형3 종속변수 : ROA1	
	대기업	중소기업	대기업	중소기업	대기업	중소기업
구분						
C2C 계수 값	-0.00013	-0.00064	-0.00013	-0.00032	-0.00021	-0.00055
T값	** -1.77	***-9.60	* -1.70	***-4.50	** -2.06	***-5.45
$R^2(\text{overall})$	6.54	2.96	19.14	14.63	15.52	11.37

*, **, *** 는 각각 유의수준 10%, 5%, 1%에서 유의함

〈주5〉 변수 정의는 식(3) 참고.

표 6. 기업 규모에 따른 현금화주기 구성요소와 재무성과간의 관계

$ROA(ROA1, ROSOI) = \beta_0 + \beta_1 DOI + \beta_2 DSO + \beta_3 DPO + \beta_4 SGROW + \beta_5 RND + \beta_6 ADVER + \beta_7 SIZE + \beta_8 LEV + \beta_9 OWN + \beta_{10} FOR + \epsilon + v$							
		모형1 종속변수 : ROSOI		모형2 종속변수 : ROA		모형3 종속변수 : ROA1	
구분		대기업	중소기업	대기업	중소기업	대기업	중소기업
DOI	계수값	-0.00021	-0.00003	-0.00012	-0.00023	-0.00008	-0.00035
	T값	***-3.02	-0.28	-1.49	** -1.98	-0.80	** -2.03
DSO	계수값	-0.00047	-0.00152	-0.00015	-0.00062	-0.00002	-0.00138
	T값	***-4.41	***-9.86	-1.26	***-3.56	-0.13	***-5.27
DPO	계수값	0.00028	0.00085	0.00057	0.00063	0.00075	0.0010
	T값	**2.18	***4.81	***3.93	***3.20	***4.24	***3.44
R-sq(overall)		1.14	8.72	22.82	11.87	23.44	11.68

* , ** , *** 는 각각 유의수준 10%, 5%, 1%에서 유의함
 <주6> 변수 정의는 식(3) 참고.

영향에 대한 대기업과 중소기업의 분석 결과가 제시되어 있다. 현금화주기의 구성 요소에 대한 경우 중소기업은 재고일수와 영업 이익률간의 관계를 제외하고는 모두 예상한 바대로의 유의적인 결과를 얻었다. 대기업의 경우는 재고일수 및 매출채권 회수기간에 대해 ROA와 매출액순이익률과의 관계에서 통상적으로 기대되는 유의한 결과를 얻지 못하였다. 하지만 대기업의 경우라도 영업 이익률에 대해서는 대체적으로 유의한 통상적인 상관관계를 나타내었다. 이 같은 결과는 중소기업의 경우 현금화주기가 재무성과에 미치는 영향이 대기업보다 더 크게 나타남을 의미한다. 한편 표로는 나타내지 않았지만 이 같은 대기업과 중소기업에 대한 계수값의 비교를 더미변수를 이용하여 통계적으로 확인한 결과 위의 해석에서와 같은 결과를 나타내었다.

한편, <표 2>의 <패널 C>에서는 대기업이 중소기업에 비하여 현금화주기, 재고일수, 매출채권 회수기간이 적은 것으로 나타났으며 매입채무 변제기간의 경우는 대기업이 중소기업에 비하여 큰 것으로 나타났다. 그러나 비록 대기업이 현금화주기, 재고일수, 매출채권 회수기간이 중소기업보다 적게 나타났더라도 재무성과에 미치는 영향은 중소기업이 대기업보다 더 큰 것으로 나타났다.

즉, 중소기업의 경우 현금화주기 및 관련 구성요소들을 최적화하려는 노력이 당기순이익 기반의 재무지표와 영업이익률 기반의 재무지표에 모두 유의적인 결과는 주는 것을 의미하며 아울러 강도 측면에서 중소기업이 더 강하게 나타났다. 하지만 대기업의 경우 현금화주기 전체의 최적화는 모든 재무지표에 대해 중요하지

만 재고일수, 매출채권 회수기간은 당기순이익 기반의 재무지표에 대해서는 통계적으로 유의한 결과가 나타나지 않았고 대신 영업 이익 기반의 재무지표인 영업 이익률에 대해서만 통계적으로 유의한 결과가 나타났다. 이는 대기업의 당기순이익이 주요 영업활동 외에 금융, 부동산 관련 활동 등에 영향을 받을 수 있다는 것을 보여준다고 할 수 있다.

7. 결론 및 토의

본 연구는 2000년부터 2008년까지 국내 상장기업 중 제조업과 도소매업에 속한 기업들을 대상으로 산업별 및 규모별로 현금화주기와 재무성과와의 상관관계를 연구하였다. 구체적으로는 전체 대상 기업들을 10개 산업으로 구분한 후 다중회귀분석을 활용하여 현금화주기 및 이의 구성요소들인 재고일수, 매출채권 회수기간, 매입채무 변제기간과 재무성과를 나타내는 전통적인 지표들인 ROA, 매출액순이익률, 영업 이익률과의 관계를 분석하였다. 또한 동일한 분석을 기업의 규모별로도 수행하였다. 분석모형은 1개 기업 당 9년간의 패널 데이터가 포함되었다는 점을 감안하여 장금주와 양재환(2011)이 활용한 모형을 개선시켜 개별 기업 특성에 의한 편이가 제거된 고정효과모형을 적용하여 모형의 강건성을 향상시켰다.

먼저 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 고정효과모형을 활용하여 전체 표본 산업에 적용한 분석에서는 세 가지 재무지표와

현금화주기 및 구성요소들 사이에 통계적으로 유의한 통상적으로 기대되는 결과를 확인하였다. 둘째, 세 개의 모든 재무지표에 대해 식음료, 섬유/의복/가방/신발, 자동차, 도소매 업종의 경우 현금화주기와 유의한 음(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 의약과 고무/플라스틱/비금속의 경우 ROA와 총매출이익률에 대해 유의적인 음(-)의 상관관계가 나타났으며, 전자/정밀의 경우 영업이익률에 대해서만 유의적인 음(-)의 상관관계가 나타났다. 살펴본 총 30가지의 관계(즉 재무지표 3가지 X 산업 10가지) 중 총 17 경우에 대해 통계적으로 유의한 음(-)의 관계가 나타났다. 나머지 경우들은 통계적으로 유의하지는 않지만 계수 값은 모두 음수였는데 예외는 전자/정밀과 ROA의 경우에서만 나타났다.

셋째, 구성요소 중 매출채권 회수기간의 경우 식음료(전체 재무지표), 화학(영업이익률), 의료/의약(ROA, 영업이익률), 고무/플라스틱/비금속(영업이익률), 금속(영업이익률), 전자/정밀(영업이익률), 도소매(전체 재무지표)에서 유의적인 음(-)의 상관관계가 나타났다. 재고일수의 경우는 식음료(전체 재무지표), 섬유/의복/가방/신발(전체 재무지표), 종이(ROA, 매출액순이익률), 고무/플라스틱/비금속(ROA), 전자/정밀(영업이익률), 자동차(전체 재무지표)에서 유의적인 음(-)의 상관관계가 나타났다. 마지막으로 매입채무 변제기간의 경우 고무/플라스틱/비금속(영업이익률), 전자/정밀(전체 재무지표), 자동차(전체 재무지표), 도소매(전체 재무지표)에서 유의적인 양(+)의 상관관계를 얻었다. 살펴본 총 90가지의 관계(재무지표 3가지 X 산업 10가지 X 현금화주기 구성요소 3가지) 중 총 33 경우에 대해 통계적으로 유의한 관계를 얻어냈다.

넷째, 규모별 분석에 대해서는 두 가지 구분법을 사용했는데, 하나는 중소기업기본법 시행령에 따른 구분이고 다른 하나는 산업별로 종업원수의 중위수를 기준으로 대기업과 중소기업으로 구분하는 방법이다. 어떤 방법을 사용하더라도 대기업, 중소기업 모두 현금화주기와 재무지표 사이에서 통상적으로 기대되는 통계적으로 유의한 음(-)의 상관관계가 나타났다. 구성요소의 경우 중소기업은 단 한 경우를 제외하고 모두 통계적으로 유의한 통상적인 상관관계가 나타났으나, 대기업의 경우는 재고일수 및 매출채권 회수기간에 대해 ROA와 총매출이익률과의 관계에서 통계적으로 유의한 결과가 나오지 않았다. 하지만 대기업의 경우라도 영업이익률에 대해서는 한 경우만 제외하고 모두 통계적으로 유의한 통상적인 상관관계가 나타났다.

본 연구의 가장 큰 의의는 산업별, 기업 규모별로 현금화주기 및 구성요소들과 재무지표들 간에 상관관계를 심도 있게 실증적으로 연구했다는 것이다. 또한 결과 측면에서도 산업별로 매우 민감한 차이가 있음이 나타났다. 먼저 현금화주기를 살펴보면 10개 주요 산업군 중 당기순이익 기반 재무지표인 ROA와 총매출이익

률에 대해서는 6개 산업군에서 통상적으로 예상되는 결과를 얻어냈다. 또한 영업이익을 기반으로 하는 재무지표인 영업이익률에 대해서는 5개 산업군에서 통상적으로 예상되는 결과를 얻었다. 이중 모든 재무지표에 대해 통계적으로 유의한 결과를 보인 산업군도 4개나 되었다. 고정효과모형을 사용함으로써 장금주와 양재환(2011)과는 다른 결과를 얻은 산업군도 있다. 자동차 산업의 경우 장금주와 양재환(2011)에서는 ROA와 현금화주기 사이에 통계적으로는 유의하지 않지만 양수의 계수 값이 나타났다. 더욱이 이 효정(2009)도 자동차 산업에서는 모든 재무지표에 대해 유의한 양(+)의 상관계수를 제시하여 통상적인 기대와는 반대의 결과를 나타내기도 했다. 하지만 본 연구에서는 모든 재무지표에 대해서 유의한 음(-)의 상관관계가 나타나, 통상적으로 기대되는 관계가 자동차 산업에 존재함을 반증하였다.

구성요소들에 대한 결과에서 재고일수는 식음료, 섬유/의복/가방/신발, 종이, 자동차 산업에서 재무지표들과 유의한 음(-)의 상관관계를 드러냈다. 결국 해당 산업에 대해서는 재고 수준을 낮추는 것이 재무적 성과에 상당히 중요한 영향을 미친다 할 수 있다. 매출채권 회수기간은 식음료, 의료/의약, 도소매 산업에서 재무지표들과 유의한 음(-)의 상관관계를 나타냈는데, 이 또한 매출채권 회수기간을 줄이는 것이 해당 산업에서 매우 중요한 활동임을 나타낸다고 할 수 있겠다. 특히, 매출채권 회수기간은 영업이익률과의 관계에 있어 10개 산업군 중 7개 산업군에서 유의한 양(+)의 상관관계를 나타냈다. 결국 당기순이익을 분자로 하는 다른 두 개의 재무지표와 달리 영업이익을 분자로 하는 영업이익률은 매출채권 회수기간이 유의한 상관관계가 있음을 보여준다고 할 수 있다. 마지막으로 전자/정밀, 자동차, 도소매의 경우 매입채무 변제기간과 유의한 양(+)의 상관관계를 드러냈다. 전자/정밀, 자동차의 경우는 매출채권 회수기간보다는 매입채무 변제기간이 재무지표 향상에 더 중요한 것으로 나타났고, 도소매의 경우 상대적으로 재고관리보다는 매출채권 회수와 매입채무 변제에 대한 관리가 중요한 것으로 나타났다.

이러한 결과를 산업별로 좀 더 논의해보면 다음과 같다. 먼저 자동차와 식음료 산업의 경우 재고일수와 매입채무 변제기간이 전체 재무지표를 대상으로 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 자동차 산업과 식음료 산업에 속한 기업들이 철저한 재고관리와 공급업체 관리를 통해 보다 나은 재무적 성과를 올릴 수 있음을 의미한다. 전자/정밀 산업의 경우 현금화 주기 3대 구성요소 모두가 기업의 재무적 성과와 관련이 높은 것으로 나타났다. 특히 영업이익률은 모든 구성요소와 유의한 상관관계를 보였는데, 영업이익률이 기업의 주요 영업 활동의 재무성과를 잘 나타내는 지표임을 감안하면 본 결과는 기업이 추구해야 할 방향을 제시하는 의미 있는 결과라 할 수 있다. 고무/플라스틱/비금속 산업

도 각 구성요소들에 대해 고른 상관관계를 보였으나 그 강도는 전자/정밀보다는 다소 낮았다. 도소매 산업의 경우 재고일수에서만 유의적인 관계가 나타나지 않았고, 다른 두 구성요소에 대해서는 전체 재무지표와 유의적인 상관관계를 보였다. 이는 본 산업의 재무적 성과가 보유한 재고의 수준보다는 구매 대금의 지불 및 매출 채권의 회수와 관련된 기업의 역량과 상당한 관련이 있음을 보여 준다.

규모별 분석도 매우 의미 있는 결과라 판단되는데 중소기업의 경우 현금화주기 및 관련 구성요소들을 최적화하려는 노력이 당기순이익 기반의 재무지표와 영업이익률 기반의 재무지표에 모두 유의적인 결과를 주는 것으로 나타났고 유의성의 강도 측면에서는 중소기업이 더 강하게 나타났다. 하지만 대기업의 경우 현금화주기 전체의 최적화는 모든 재무지표에 대해 중요하지만 재고일수, 매출채권 회수기간은 당기순이익 기반의 재무지표에 대해서는 통계적으로 유의한 결과가 나타나지 않았고 대신 영업이익 기반의 재무지표인 영업이익률에 대해서만 통계적으로 유의한 결과가 나타났다. 이는 대기업의 당기순이익이 주요 영업활동 외에 금융, 부동산 관련 활동 등에 영향을 받을 수 있다는 것을 보여준다고 할 수 있겠다. 이러한 추론의 근거로는 영업이익률을 포함한 재무지표인 ROSOI의 경우 대기업과 중소기업 간의 상관관계의 차이가 작으나, 당기순이익 기반의 나머지 두 재무지표들의 경우 기업규모별 상관관계의 차이가 상대적으로 크게 나타난다는 사실이다. 즉, ROSOI의 경우 대기업과 중소기업의 유의도 차이가 유사하거나 약간의 차이가 있는 반면, ROA와 ROA1의 경우 그 차이가 다소 크게 나타난다. 하지만 정확한 이유에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 한계점으로는 해외 연구문헌들이 사용한 다양한 재무지표들에 대한 분석을 실시하지 못했다는 것을 들 수 있다. 예를 들어 Deloof(2003)가 사용한 총영업이익(비재무자산 대비 매출총이익), Jensen's Alpha 등 추가적인 재무지표를 적용해 볼 수 있을 것이다. 이를 통해 운영상의 효율성 향상이 재무지표 중에서도 기업의 금융활동을 제외한 운영적 효과에 어떠한 효과를 미치는지를 파악할 수 있을 것이다. 또한, 궁극적으로는 현금화주기와 관련 구성요소들이 기업의 시장 가치와 어떤 관계를 갖는지를 분석할 필요가 있을 것이다. 이를 위해서 Tobin's q 등을 활용한 분석들이 향후에 추가될 수 있을 것으로 보인다. 저자들은 이와 같은 한계점들이 본 논문의 연구 범위가 아니고 후속 연구를 통해 이루어져야 한다고 판단하였다.

참고 문헌

- [1] 김대기, 권오경, 백인수 (2003), 우리나라 기업의 SCM 성과에 관한 실증적 연구-자산성과 분석을 중심으로-, *IE Interface*, 제16권, 제2호, pp.167-173.
- [2] 김진백 (2011), 2000-2007년 국내 제조업의 재고회전율, 현금변환주기 및 매출이익률 실증 분석: 업종별 및 대기업과 중소기업 간의 차이를 중심으로, *한국SCM학회지*, 제11권, 제1호, pp.75-94.
- [3] 문상혁 (2006), 기업지배구조가 보고이익의 질, 경영성과 및 기업가치에 미치는 영향, 추계 한국국제회계학회학술대회 발표논문집, pp.411-440.
- [4] 이효정 (2009), 한국 상장기업을 중심으로 한 산업별 현금화주기와 SCM 성과의 상관관계에 관한 연구, 인천대학교 동북아물류대학원 석사학위논문.
- [5] 장금주, 양재환 (2011), 다중회귀분석을 활용한 국내 제조 및 도소매 기업의 공급체인관리 현금화주기와 재무성과와의 상관관계, *로지스틱스 연구*, 제19권, 제2호, pp.87~110.
- [6] 장금주, 우용상 (2011), 재고자산과 재무성과와의 상관관계에 대한 연구, Working Paper, 서울시립대학교.
- [7] 정용기, 김선화 (2009), 기업의 환경규제위반이 경영성과에 미치는 영향, *통합경영학회 발표논문집*, pp.1-22.
- [8] 조성표, 정재용 (2001), 연구개발지출의 다기간 이익효과 분석, *경영학연구*, 제30권, 제1호, pp.289-315.
- [9] Christopher, M. and Gattorna, J. (2005), Supply Chain Cost Management and Value Based Pricing, *Industrial Marketing Management*, Vol.34, pp.115-121.
- [10] Deloof M. (2003), Does Working Capital Management Affect Profitability of Belgian Firms?, *Journal of Business Finance & Accounting*, Vol.30, No.3 & 4, April/May, pp.573-587.
- [11] Farris II, M. T., Hutchison, P. D., and Hasty, R. W. (2005), Using Cash-to-cash to Benchmark: Service Industry Performance. *The Journal of Applied Business Research*, Vol.21, No.2, pp.113-124.
- [12] Fawcett, S. E., Ellram, L. M., and Ogden, J. A. (2007), Supply Chain Management: From Vision to Implementation. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc.
- [13] Gentry, J. A., Vaidyanathan, R., and Lee, W. H. (1990), A Weighted Cash Conversion Cycle, *Financial Management*, Vol. 19, No.1, pp.90-99.
- [14] Gill, A., Biger, N, and Mathur, N. (2010) The Relationship Between Working Capital Management

- And Profitability: Evidence From The United States. *Business and Economics Journal* (in press).
- [15] Hong, S.-J., Lee, H. J., and Song, S. H. (2010) Correlation between SCM and Finance Performances: Evidence from Korean Companies, 26th IMP-conference in Budapest, Hungary in 2010.
- [16] Jensen, M. (1986), Agency Costs of Free Cash Flow, Corporate Finance and Takeovers, *American Economic Review*, Vol.76 (No. 2, May), pp.323-339.
- [17] Lazaridis, L. and Tryfonidis, D. (2006), The relationship between working capital management and profitability of listed companies in the Athen stock exchange, *Journal of Financial Management and Analysis*, Vol.19, No.1, pp.1-12.
- [18] Lev, B. and Sougiannis, T. (1996), The Capitalization, Amortization, and Value-Relevance of R&D. *Journal of Accounting and Economics*, Vol.21, pp.107-138.
- [19] Nobanee, H and Al Hajjar, M. (2009), A Note on Working Capital Management and Corporate Profitability of Japanese Firms (July 13, 2009). Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1433243>.
- [20] Shin, H. H. and Soenen, L. (1998), Efficiency of Working Capital and Corporate Profitability, *Financial Practice and Education*, Vol.8, No.2, pp.37-45.
- [21] Supply-Chain Council (2008), Supply Chain Operations Reference Model 9.0. The Supply Chain Council, Inc.
- [22] Uyar, A. (2009), The Relationship of Cash Conversion Cycle with Firm Size and Profitability: An Empirical Investigation in Turkey, *International Research Journal of Finance and Economics*, Vol.24, pp.186-193.
- [23] Wang, Y. J. (2002), Liquidity Management, Operating Performance, and Corporate Value: Evidence from Japan and Taiwan, *Journal of Multinational Financial Management*, Vol.12, pp.159-169.
- [24] www.dell.com



양재환

KAIST 경영과학과 학사

The Ohio State University 산업공학과 석사, 박사

현재 : 서울시립대학교 경영학부 부교수
관심분야 : SCM, 최적화 기법의 응용, 일정계획 등



장금주

연세대학교 이학학사

연세대학교 경영학 석사, 박사

현재 : 서울시립대학교 경영학부 조교수
관심분야 : SCM, 세금의 고객효과, 이익 조정, 연구개발비지출 효과, 공시효과

DEA를 이용한 자동차 부품업체의 공급사슬 성과측정[†]

서육환* · 임성묵**[‡]

*SMR Korea · **고려대학교 경상대학 경영학부

Supply Chain Performance Measurement of Automotive Parts Manufacturers using DEA

Uk-Hwan Seo* · Sungmook Lim**[‡]

*SMR Korea

**Division of Business Administration, Korea University

We present a model for measuring the supply chain performance of parts manufacturers in the automotive industry. The performance measurement model is based on data envelopment analysis (DEA) with input and output factors selected considering the SCOR model and the automotive industry's characteristics; the proposed model can be differentiated from previous similar approaches in the literature by the fact that the main concept of the SCOR model is incorporated into the DEA model specification. The input factors selected include cost of goods sold, transportation cost, cash-to-cash cycle time, and inventory turnover. The output factors selected include sales and customer evaluation score. The proposed model is applied to the performance evaluation of 224 tier-1 domestic automotive parts firms. As a result of the evaluation, efficient and inefficient firms are distinguished, and the required improvements in terms of input and output factors for inefficient firms to attain efficiency are determined.

Keywords: Supply chain management, Performance measurement, SCOR, DEA, Benchmarking, Automotive industry

I. 서론

오늘날 많은 기업들이 경쟁력 강화를 위한 전략으로 공급사슬 관리시스템을 도입하고 있으며, 이를 통해 내부 프로세스 혁신과

원가 절감을 위한 다양한 노력을 취하고 있다. 공급사슬관리란 경쟁우위, 고객만족, 수익률 향상 같은 조직의 목표 달성과 조직의 효과성을 향상시키기 위한 사항이 주된 전략적 요소 중 하나이다. 공급사슬은 기업의 경쟁우위를 결정하는 중요한 요소이며, 공급사슬관리의 효율성은 기업 성과에 직접적인 영향을 미친다. 공급사

[†] 이 논문은 2009년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2009-327-B00224).

[‡] Corresponding author: Division of Business Administration, Korea University, 208 Seochang-dong, Jochiwon, Yeongi, Chungam, 339-700,

S. Korea, Tel: +82-41-860-1528, Fax: +82-41-860-1507, E-mail: sungmook@korea.ac.kr

* 2011년 7월 26일 투고, 8월 23일 1차 수정본 접수, 9월 23일 게재 확정.

을 성과달성을 위한 목표를 설정하고 공급사슬의 효율성을 개선할 수 있기 위해서는 공급사슬의 성과측정이 선행되어야 한다.

최근 국내의 많은 기업들도 공급사슬관리를 통한 경쟁력 향상을 위해 공급사슬관리 시스템을 도입하고 있다. 그러나 아직 공급사슬관리 도입 초기단계인 우리나라에서는 공급사슬 성과측정을 위한 표준화된 평가모델, 지표 및 방법 등의 구축이 미비한 실정이며, 성과측정의 어려움뿐만 아니라 개선 목표 수립에도 어려움을 갖고 있다. 또한, 공급사슬의 성과요인은 전략적 파트너십(partnership), 프로세스 통합, 정보공유, 협업 등 여러 가지로 다양하게 제시되고 있으나, 공급사슬을 개선하고자 하는 기업이 모든 분야의 요인들에 대해 개선 목표를 설정하여 추진하기에는 현실적으로 어려움이 많다.

공급사슬 성과측정에 관련한 기존의 국내외 연구를 살펴보면 성과측정지표의 개발 및 성과측정시스템의 구축에 관한 것이 대부분이었으며, 공급사슬의 합리적인 개선목표 수립에 유용하게 사용될 수 있는 방법론에 관한 연구는 미진한 편이었다. 또한, 국내의 공급사슬 성과 측정에 관한 기존 연구에서는 단일 투입 또는 단일 산출요인에 대한 성과와 경영성과 위주로 공급사슬 성과를 평가하였다. 그 결과 공급사슬의 성과에 영향을 미치는 다양한 투입 요인 및 산출요인을 포괄적으로 고려할 수 있는 성과평가 모형에 관한 연구는 활발하지 않았다. 공급사슬의 진정한 성과를 포괄적으로 평가하기 위해서는 다양한 성과지표를 다차원적으로 분석하여 합리적이고 효과적으로 측정할 필요가 있다.

기업의 성과관리에 있어 벤치마킹 기법은 조직의 경쟁력 및 성과를 향상시키기 위해 많이 사용하는 도구 중의 하나이며, 전 세계적으로 70% 이상의 기업 관리자들이 자기 기업에서 이 방법을 사용하고 있다(Rigby, 2001). Beamon(1999)은 벤치마킹이 개선 기회를 규명하는 수단으로서 유용하게 사용될 수 있다고 했으며, Stewart(1995)는 공급사슬 성과 벤치마킹에서 정량적인 성과측정뿐만 아니라 정성적인 성과측정도 중요함을 강조하였다. Wong and Wong(2008)은 기존의 공급사슬 성과 벤치마킹 도구들이 가진 한계를 보완하기 위한 대안으로 DEA(Data Envelopment Analysis) 모형의 사용을 제안하였다. DEA 모형은 의사결정단위(DMU; decision making unit)들 간의 상대적 효율성을 평가하기 위해 개발된 선형계획법 기반의 분석기법으로, Narasimhan et al.(2001)를 비롯한 다수의 연구(Chen and Zhu, 2004; Liang et al., 2006; Saranga and Moser, 2010)에서 공급사슬 성과측정 및 벤치마킹 도구로 사용되었다.

한편, 2008년 기준으로 국내 자동차 산업은 우리나라 제조업 총 고용인원의 7.1%, 전체 생산액의 10.53%를 차지하고 있고(한국자동차공업협회, 2011), 철강, 금속, 전기, 전자, 고무, 화학제품, 기계, 유리 등의 산업과 연관되어 제조업의 근간을 이루는 종합산

업임과 동시에 국내 경제에 중요한 영향력을 미치는 산업분야에 해당한다. 그럼에도 불구하고, 지금까지 자동차 산업을 대상으로 한 공급사슬 성과측정에 관한 연구는 비교적 드물었다. 따라서 자동차 산업의 공급사슬 특성을 고려한 효과적인 공급사슬 성과측정 지표 및 평가 모형의 개발은 그 필요성이 높다고 할 수 있다.

이에, 본 연구에서는 DEA 모형을 활용하여 공급사슬 성과측정 모형을 수립하고, 자동차 부품업체의 공급사슬을 대상으로 효율성을 평가하고 분석하고자 한다. 특히, 공급사슬 성과측정을 위한 가장 포괄적인 모형이라고 할 수 있는 SCOR 모형(Supply Chain Operations Reference Model)에 기초하여 DEA 모형의 투입변수 및 산출변수를 선정하고, 완성차 업체를 중심으로 한 전체 공급사슬의 한 축을 형성하고 있는 국내 자동차부품 1차 협력업체를 대상으로 공급사슬 효율성을 측정하고 분석한다. 또한, 공급사슬단계와 업종특성에 따라 업체를 5개 그룹으로 구분하여 공급사슬 성과를 비교 분석한다. 기존 연구 대비 본 연구가 가지는 차별점으로는 공급사슬 성과측정을 위한 DEA 모형을 SCOR 모형에 기초하여 개발한다는 점, 또한 자동차 부품업체에 특화된 모형을 개발한다는 점을 들 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 첫째, 관련 선행연구를 토대로 기존의 공급사슬 성과측정 방법론을 분석하고, DEA 모형을 기반으로 하는 공급사슬 효율성 평가 모형을 검토한다. 둘째, 국내 자동차 부품업체의 공급사슬 현황을 파악하고, 자동차 부품업체의 특성을 고려한 공급사슬 성과측정 지표를 제시한다. 셋째, 도출한 공급사슬 성과측정 지표와 기준을 바탕으로 자동차 부품업체의 공급사슬 성과측정을 위한 DEA 기반 효율성 분석 모형을 수립한다. 넷째, 수립된 성과 측정 모형을 이용하여 국내 자동차 부품업체의 공급사슬 성과를 측정하고 그 결과를 분석한다. 마지막으로 연구의 결론과 시사점, 향후 연구방향 등을 제시한다.

II. 선행연구 검토

2.1 공급사슬 성과측정

공급사슬은 원자재 공급업체, 생산설비, 유통 서비스와 고객 등의 구성요소가 제품 및 정보의 피드백 흐름의 공급원으로 연결되어 있는 시스템이다. 또한, 공급사슬은 원자재가 최종 제품으로 만들어져 유통과 소매를 거쳐 고객으로 전달되는 통합된 과정으로 볼 수 있다(Beamon, 1998).

기존의 공급사슬 성과측정에 관한 연구를 살펴보면 그 접근방법을 다음과 같이 구분해 볼 수 있다. 첫째, 공급사슬을 구성하고 있는 멤버들 간의 상호 파트너십과 커뮤니케이션 등이 공급사슬

성과에 미치는 영향이 크다는 점을 인식하고, 이러한 중요 요소들의 구현 수준을 측정함으로써 공급사슬의 성과를 측정하는 방법이다. Mentzer et al(2001), 고석용과 고완석(2007)은 공급사슬 내 기업 간의 전략적 파트너십이 가지는 영향력을 강조하였고, 홍관수와 정기웅(2003), 박광오(2010)는 정보공유와 협업을 공급사슬의 성과에 영향을 미치는 핵심적인 요인으로 보고 공급사슬의 성과를 분석하는데 활용하였다.

둘째, 공급사슬의 성과가 시스템 전반의 성과라는 관점에서 측정지표를 선정하고 성과를 파악하는 방법이다. Holmberg(2000)는 부분의 성과가 아닌 시스템 전반의 성과를 고려하도록 공급사슬 성과모형을 구축하고, 성과 측정지표와 측정방법을 통합적으

로 접근하였다. Otto and Kotzab(2003)는 시스템 다이내믹스, 운영연구, 물류, 마케팅, 조직, 전략 등 6개 관점으로 구분하여 공급사슬 성과측정 프레임워크를 개발하였고, 이들 6가지 관점에서 공급사슬의 목적에 따라 공급사슬의 문제점과 해결방안이 무엇인지 분석하였다.

셋째, 공급사슬을 지원하는 프로세스가 얼마나 효과적이고 효율적으로 운용되고 있는가를 측정함으로써 공급사슬의 성과를 측정하는 방법이다. Beamon(1999)은 높은 수준의 효율성, 높은 수준의 고객서비스, 변화하는 환경에 효과적으로 대응하는 능력의 중요성을 설명하고, 공급사슬 성과측정 영역을 자원, 산출물, 유연성의 3가지 카테고리로 구분한 후 세부 측정지표를 제안하였

표 1. SCOR 모형의 핵심 프로세스

	정의	활동
Plan(계획)	설정된 비즈니스 목표를 가장 잘 달성하기 위한 실행과정의 개발을 위해 총괄적인 수요와 공급의 균형을 맞추는 프로세스	- 수요/공급 계획 - 계획 인프라 관리
Source(공급)	계획 또는 실질 수요를 충족시키기 위해 상품과 서비스를 구매하는 프로세스	- 공급/자재구매 - 공급 인프라 관리
Make(생산)	계획 또는 실질 수요를 충족시키기 위해 공급된 상품을 완제품으로 변환하는 프로세스	- 생산 실행 - 생산 인프라 관리
Deliver(인도)	계획 또는 실질 수요를 충족시키기 위해 완제품을 제공하는 프로세스	- 주문관리 - 창고관리 - 운송관리 - 출하 인프라 관리
Return(회수)	완제품을 제공한 후의 반품 프로세스	- 반품 관리 - 불량품 관리

※ 자료: 박경종과 오형술(2008)

표 2. SCOR 모형의 공급사슬 성과지표

분야	분야별 성과지표	내 용
신뢰성	약속기일 인도율	고객이 요구한 또는 약속한 일자까지 인도된 주문의 비율
	충족률	주문접수 후 24시간 이내 출하된 주문의 비율
	주문충족 리드타임	고객의 주문으로부터 납품까지의 평균 리드타임
	완전 주문충족률	완전한 수량으로, 정시에, 관련 서류의 오류 없이, 완전한 품질로 배달된 주문의 비율
유연성과 대응성	총 공급사슬 대응시간	시장수요의 변화에 대해 전체 공급사슬이 대응하는데 소요되는 시간
	생산 유연성	계획되지 않은 생산량 증가 또는 감소를 소화하는데 소요되는 시간
비용	총 공급사슬관리 비용	공급사슬관리와 관련된 주문처리, 자재구매, 재고관리, 재무관리, 계획, MIS 등에 소요되는 총 비용
	부가가치 생산성	종업원 1인당 연간 부가가치 기여도
	보상 및 반품처리 비용	반품처리, 제품교환 등에 소요되는 비용
자산	순 현금화 사이클타임	원자재 구매에서 판매대금 회수까지 소요되는 시간
	공급 재고일수	재고가 판매로 이루어지기까지 소요되는 시간
	자산 회전율	연간 총 매출액 ÷ 순자산

※자료: 김대기 등(2003)에서 재인용

고, Gunasekaran et al(2001)는 공급사슬 성과측정을 계획, 자원, 생산/조립, 납품/고객으로 구분하여 성과측정 지표를 개발하였다.

넷째, SCOR 모형을 활용하여 공급사슬성과를 측정하고 평가하는 방법이다. 글로벌 공급망 협회인 Supply Chain Council이 개발한 SCOR 모형은 기업 전반의 공급사슬 성과를 평가하고 개선하기 위한 최초의 교차 산업 프레임워크로서, 통합된 공급사슬 관리를 목적으로 개발된 일종의 프로세스 참조모델(process reference model)이다(Stewart, 1995). SCOR 모형은 공급사슬의 전 단계를 대상으로 하고, 공급사슬을 계획(plan), 공급(source), 생산(make), 인도(deliver), 회수(return)의 5가지 실행 프로세스로 구성한다. SCOR 모형의 5가지 프로세스에 대한 정의 및 관련 활동을 정리하면 <표 1>과 같다. 한편, SCOR 모형에서는 신뢰성, 유연성과 대응성, 비용, 자산 등 4분야의 총 12개 세부 성과지표를 제시하고 있는데, 이 중 신뢰성, 유연성과 대응성 분야의 6개 지표는 고객만족 성과를 측정하는 고객 지향적 지표이며, 나머지 비용, 자산 분야의 6개 지표는 비용 및 자산 분야의 성과를 측정하는 내부 지향적 지표라고 할 수 있다. 이들 지표를 정리하면 <표 2>와 같다.

SCOR 모형을 사용한 기존 연구들을 살펴보면 Jeffrey et al(2003)은 SCOR 모형을 사용한 공급사슬 시뮬레이션 모형을 제안하였고, Persson and Araldi(2009)는 SCOR 모형과 이산형 시뮬레이션 기법을 통합한 동적 공급사슬 분석 툴을 개발하였다. Barnett and Miller(2000)는 SCOR 모형을 바탕으로 한 e-SCOR 툴을 개발하고 이를 통해 가상 기업을 공급사슬로 모형화하고 시뮬레이션 한 바 있다. 한편, 김대기 등(2003)은 SCOR 모형을 활용하여 자동차 부품을 제조하는 국내 중소기업을 대상으로 자료수집이 용이한 회계자료를 활용하여 자산성과를 중심으로 공급사슬 성과를 분석하였고, 신혜경과 홍유신(2007)은 SCOR 모형을 기반으로 제조기업의 협업적 성과지표를 개발하였다.

다섯째, Kaplan and Norton(1992)에 의해 개발된 Balanced Scorecard(BSC)를 이용하여 공급사슬의 성과를 측정 분석하는 방법이다. Brewer and Speh(2000)는 BSC의 4가지 균형성과지표에 대응하는 공급사슬관리의 성과지표를 최종고객에 대한 효익, SCM 목표, 재무효익, SCM 개선 등 4가지로 구분하여 세부 성과측정 지표를 개발하였다. 윤재홍과 이정념(2005)은 Beamon(1998)이 제시한 6가지 차원 중 공통성, 포괄성, 측정 가능성, 일치성을 고려하여 공급사슬 성과측정 지표를 선정한 후 BSC 관점을 적용한 새로운 공급사슬 성과지표를 도출하였다.

여섯째, 다수의 투입 및 산출요소를 가지는 조직들 간의 상대적 효율성을 측정하는 방법론인 DEA 모형을 이용하여 공급사슬의 성과를 측정하는 방법이다.

본 연구는 상기 여섯 가지 방법론 중 DEA 모형에 기반하고 있으므로, 이에 대한 선행연구를 좀 더 자세히 살펴본다.

2.2 DEA 기반 공급사슬 성과측정 모형

Wong and Wong(2007)은 공급사슬의 성과를 측정하는 전통적 방법들이 다차원적인 구조를 가지는 공급사슬 효율성에 대해 적합한 측정지표를 제공할 수 없을 것이며, 특히 다수의 투입과 산출요소가 존재할 때 이러한 도구들을 사용하여 효율성을 측정하는 것은 현실적으로 어렵다고 보았다. 공급사슬 효율성 평가를 위해 기술적 효율성 모형과 비용 효율성 모형의 2가지 효율성 측정 모형을 제시하였고, 공급사슬 효율성 측정 모형과 도구로 DEA 모형을 사용하는 것은 경영 의사결정 측면에서 도움을 제공할 수 있을 것이라고 주장하였다. Saranga and Moser(2010)는 보편적으로 알려져 있는 PSM(Purchasing & Supply Management) 평가 방법론이 단일 투입과 단일 산출 간의 비율만을 사용함으로써 부분적인 성과만을 측정하고 있음을 지적하면서, Chen and Zhu(2004)가 개발한 2단계 가치사슬 DEA 모형을 사용하여 다계층 구조에서 다수의 투입과 산출요소를 평가할 수 있는 성과측정 방법론을 제안하였다. Liang et al(2006)은 DEA 모형을 활용하여 “구매자-공급자 공급사슬”에서의 공급사슬 성과측정 모형을 개발하였다. 그들은 공급사슬 효율성 평가에 DEA 모형을 사용할 때의 이점으로서 전형적인 공급사슬 최적화 모형 및 확률론적 모형이 가지는 비현실적 가정을 제거할 수 있다는 점을 제시하였다.

상기의 기존 연구들에서 살펴본 바와 같이 공급사슬 성과측정을 위해 DEA 모형을 이용하는 것은 공급사슬이 가지는 다차원적인 투입/산출 구조의 성과지표를 객관적이고 체계적으로 고려할 수 있다는 장점과 함께, 성과향상을 위한 벤치마킹에 관한 정보를 제공할 수 있다는 이점을 가지고 있다. 하지만 국내 산업의 공급사슬을 대상으로 DEA 모형을 적용한 연구사례는 많지 않다.

2.3 자동차산업에서의 공급사슬 성과측정

한국자동차공업협회(2011)에서 제공하고 있는 조사통계자료에 의하면, 2010년 현재 한국의 자동차 회사는 현대, 기아, GM대우, 쌍용, 르노삼성, 대우버스, 타타대우 등의 7개 완성차 업체가 있으며, 이들 업체에 부품을 납품하고 있는 자동차 부품업체의 수는 1,835개이나 중복된 업체를 제외하면 899개가 된다. 국내 자동차 부품업체의 규모에 따른 현황을 보면 대기업이 13%, 중소기업이 87%를 차지하고 있다. 자동차 부품 산업의 공급사슬은 완성차를 중심으로 한 계층구조로 구성되어 있으며, 복잡한 네트워크 관계

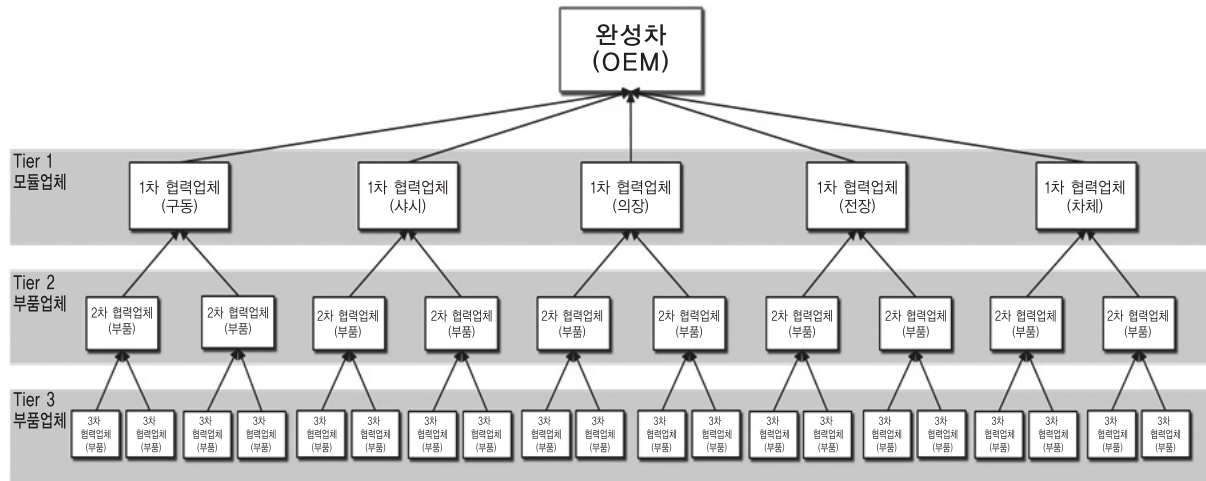


그림 1. 자동차 산업의 공급사슬 단계

를 이루고 있다. 완성차 업체는 300여개의 1차 협력업체로부터 모듈 자체를 공급받고 있으며, 1차 협력업체는 하위 2차 협력업체로부터 부품을 공급받고 있다. 자동차산업은 대표적인 조립 산업이며 완성차 업체에서는 조립생산공정에 따른 모듈 부품을 5개의 그룹으로 구분하여 사용하고 있다. <그림 1>은 전형적인 자동차 산업의 공급사슬 구조를 나타내고 있으며, 본 연구에서는 자동차 공급사슬의 1단계에 위치한 1차 협력업체를 성과측정의 대상으로 한다.

본 연구의 주제인 자동차 부품산업 공급사슬의 성과측정에 관한 실증적 연구는 그간 아주 활발하지는 않았는데, 그 중 일부를 검토하면 다음과 같다. 조성원과 구종순(2006)은 자동차 부품산업 공급사슬의 결정요인을 파트너십 요인, 정보 요인, 관리 요인 및 시스템 요인 네 가지로, 성과 요인으로서는 효과성 및 효율성 두 가지로 구분하였으며, 네 가지 공급사슬 결정요인 중에서 파트너십 요인, 관리 요인 및 시스템 요인이 성과 요인인 효과성과 효율성에 각각 영향을 미치는 것으로 분석하였다. 장형욱과 이상식(2006)은 공급사슬관리의 핵심성공요인이 기업의 경영성과에 어떠한 영향을 미치는지 연구하였는데, 공급사슬관리의 핵심성공요인으로 IT활성화, 통합 및 협업, 변화관리, 공동성과측정을 선정하였고 경영성과의 경우는 균형성과표(BSC)를 이용하여 학습 및 성장성과, 고객성과, 재무성과, 내부 프로세스성과로 분류하였다. 핵심성공요인과 경영성과간의 다중회귀분석을 적용하여 대부분의 핵심성공요인이 경영성과에 유의한 영향을 미친다는 결과를 도출하였다. 분석 대상 기업으로는 제조업뿐만 아니라 유통, 서비스가 포함되었고, 자동차 부품산업이 40.8%로 가장 많이 차지하고 있다. 이재식(2009)은 공급사슬의 성과측정에 있어서 기존에는 비용, 자산회전율 등 재무중심의 기준을 사용함으로써 균형 잡

힌 성과분석이 되지 못했음을 지적하고, 그 대안으로 균형성과표의 개념을 사용할 수 있음을 제시하였다. 전자, 기계, 자동차 부품 등 다양한 산업을 대상으로 실증연구를 하였으며, 자동차 부품산업의 비율이 39.9%로 제일 많이 차지하고 있다.

III. 공급사슬 성과측정 모형

3.1 내부 공급사슬 효율성 측정을 위한 개념적 모형

본 연구에서는 완성차 제조업체를 중심으로 한 계층적 공급사슬(<그림 1> 참조)에서 1차 협력업체를 성과측정의 대상으로 하고 있으며, 공급사슬 성과측정을 위한 DEA 모형의 투입변수와 산출변수를 선정한 후 국내 자동차 부품업체의 실제 데이터를 이용하여 공급사슬 효율성을 측정하고자 한다.

자동차 부품산업은 다단계로 구성된 복잡한 구조의 공급사슬 형태를 보여주고 있으나, 본 논문에서는 자동차 1차 협력업체의 내부 공급사슬 효율성을 측정하는 모형으로 범위를 한정하였다. 자동차 1차 협력업체는 2차 협력업체에 대해서는 구매자(buyer)이며 동시에 고객인 완성차 업체에 대해서는 공급자(supplier)의 공급사슬 관계를 형성한다.

공급사슬에서의 투입요소는 2차 협력업체로부터 제공되는 외부요소와 1차 협력업체의 내부요소로 구분할 수 있으며, 산출변수는 공급사슬 성과의 결과로 평가되어야 할 항목이다. 본 연구에서는 공급사슬 성과측정을 위한 DEA 모형의 투입변수 및 산출변수를 SCOR 모형을 기초로 선정하고, 수립된 DEA 모형을 이용하여 국내 자동차 1차 협력업체의 공급사슬 내부 효율성을 평가

한다.

3.2 DEA 모형을 위한 투입 및 산출변수

DEA 모형을 사용하여 자동차 부품업체의 공급사슬 성과를 측정하기 위한 중요한 과정 중 하나는 투입변수 및 산출변수를 선정하는 것이다. 본 연구에서는 SCOR 모형에 기반을 두어 투입변수 및 산출변수를 선정하는데, 앞서 살펴보았듯이 SCOR 모형에서는 신뢰성, 유연성과 대응성, 비용, 자산 등 4개 분야의 공급사슬 성과지표를 제시하고 있다는 점을 활용한다. <표 2>에 제시되어 있는 분야별 세부 성과지표들을 모두 투입변수 또는 산출변수로 선정할 수도 있겠으나, DEA 모형의 특성상 너무 많은 투입변수 및 산출변수가 포함될 시 DEA 모형의 판별력이 저하된다는 점(Banker et al., 1984; Boussofiane et al., 1991)을 감안하여 4개 분야별로 1개 또는 2개의 대표성이 있는 변수를 선정하도록 한다. 단, 변수 선정과정에서는 자동차 부품업체의 현실적 산업 특성을 반영하고, 개발되는 성과평가 모형이 실용적으로 활용될 수 있도록 하기 위해 변수 측정의 용이성도 함께 감안한다. 각 분야별 검토 내용 및 변수 선정 결과는 다음과 같다.

첫째, SCOR 모형의 신뢰성 분야 성과지표로는 약속기일 인도율, 충족률, 주문충족 리드타임, 완전 주문충족률 등이 포함되는데, 이 중 대표성을 가지며 나머지 지표들의 의미까지 포괄적으로 나타낼 수 있는 지표로는 주문충족 리드타임과 완전 주문충족률을 우선 선정할 수 있다. 본 연구의 분석 대상인 자동차 1차 협력업체는 동일한 완성차 제조업체를 주 고객으로 하고 있는데, 자동차 산업의 특성상 확정주문 시스템이 아니고 고객인 완성차 업체의 생산일정계획을 부품 공급자에게 배포하고 부품 공급업체는 이 정보를 참조하여 부품을 공급하는 방식으로 운영되고 있다. 이러한 운영환경에서 완전 주문충족률은 자동차 부품업체의 고객인 완성차 제조업체가 자체의 기준에 따라 판단하고 평가하는 특징을 가진다. 따라서 완전 주문충족률에 대한 수준은 고객평가, 즉

완성차 업체의 1차 협력업체에 대한 평가점수(고객납입 평가점수)로 대체하여 측정하는 것이 용이하면서 타당한 방법이라고 판단된다.

한편, 자동차 부품산업의 특성상 대부분의 제품이 반복 생산방식을 통하여 제조, 조립되어 고객에게 공급되고 있다. 자동차 1차 협력업체의 대부분은 고객이 요구하는 납품방식인 서열납품과 JIT(Just In Time) 방식으로 매일 혹은 일일 수차례 제품을 동일하게 공급하고 있다. 따라서 SCOR 모형의 신뢰성 분야 성과지표 중 하나인 주문충족 리드타임은 자동차 부품산업의 공급사슬 성과에 큰 의미로 작용하지 않을 것으로 판단된다. 이에 주문충족 리드타임은 성과 지표로 고려하지 않기로 한다.

둘째, SCOR 모형의 유연성과 대응성 분야 성과지표로는 총 공급사슬 대응시간과 생산 유연성 등이 포함된다. 그러나 자동차 산업의 특성상 부품업체는 단일 고객인 완성차 제조업체의 소요량에 전적으로 의존할 수밖에 없고, 자동차 제품의 특성상 제품수명주기가 최소 2~3년이 유지되기 때문에 부품업체의 입장에서는 시장변화에 따른 유연성과 대응성이 크게 요구되지는 않는다. 또한, 선도적인 기술 추세를 제품에 적용하였다고 해서 곧바로 적용될 수는 없고 오랜 기간 자체 테스트와 검증을 마친 후 고객의 최종 승인을 거쳐야 비로소 적용될 수 있다. 따라서 자동차 부품업체 공급사슬의 경우에는 유연성과 대응성에 대한 성과측정 필요성이 낮다고 판단되며, 이에 성과지표로 고려하지 않기로 한다.

셋째, SCOR 모형의 비용 분야 성과지표로는 총 공급사슬관리 비용, 부가가치 생산성, 보상 및 반품처리 비용 등이 포함된다. 이 중 총 공급사슬관리 비용을 가장 대표적이고 포괄적인 지표로 고려한다. SCOR 모형에서는 총 공급사슬관리 비용을 ERP에서의 관련 정보를 통해 구하도록 하고 있으나, 기업별로 산정방식이나 관리하는 기준이 상이하여 동일한 기준으로 비교가 가능한 측정 지표로 활용되기는 현실적으로 어렵다. 따라서 본 연구에서는 실무적으로 측정이 용이하면서 총 공급사슬관리 비용을 적절히 대체할 수 있는 지표를 사용하기로 한다. 공급사슬관리에 소요되는

표 3. DEA 모형의 투입 및 산출요소

구분	분야	산출 방법	SCOR 모형의 공급사슬 성과분야
투입변수	매출원가	직접재료비, 직접인건비, 생산에 관련된 간접비의 합	비용
	운반비	상품매출 시 발생하는 운반 관련 비용으로, 재무제표에 표시된 운반비 항목	
	순현금화 사이클 타임	공급 재고일수 + 매출채권 회수기간 - 매입채무 변제기간	자산
	재고 회전율	매출원가 ÷ 평균재고금액	
산출변수	고객납입 평가점수	‘납입5스타’ 점수	신뢰성
	매출액	공시된 재무제표에 표시된 매출액 항목	비용

총 비용은 많은 부분 매출원가에 반영되고 물류 관련 비용 중 운반비의 비중이 상대적 높으므로, 매출원가 및 운반비를 통해 총 공급사슬관리 비용을 대체 측정하고자 한다. 이들 지표들은 기업에서 공시하는 재무제표의 손익계산서에서 동일한 회계 기준으로 작성하므로 객관적 자료로서 이용이 가능하다. 한편, 본 연구에서는 비용에 대응하는 수익 관련 성과지표를 추가적으로 고려하기로 하며, 이를 위해 매출액을 또 하나의 성과지표로 포함시키기로 한다.

넷째, SCOR 모형의 자산 분야 성과지표로는 순 현금화 사이클타임, 공급 재고일수, 자산 회전율 등이 포함된다. 본 연구에서는 순 현금화 사이클타임은 그대로 성과지표로 반영하는 반면, 공급 재고일수 및 자산 회전율은 좀 더 보편적인 재고자산관리 성과 지표 중 하나인 재고 회전율로 대체하여 측정하기로 한다.

상기와 같은 논리적 분석을 통해 선정한 공급사슬 성과지표를 바탕으로 본 연구에서는 제안하는 DEA 모형의 투입변수 및 산출변수를 선정할 수 있으며, 그 결과를 정리하면 <표 3>과 같다. 각각의 투입변수 및 산출변수의 산출방식은 다음과 같다.

매출원가는 원자재 구매와 완제품 생산에 관련된 비용으로, 직접재료비, 직접인건비, 생산에 관련된 간접비의 합으로 산출된다. 순 현금화 사이클 타임은 공급재고일수 + 매출채권회수기간 - 매입채무변제기간으로 계산되는데, 매출채권회수기간은 매출채권 ÷ (연간 매출액 ÷ 365)으로, 매입채무변제기간은 매입채무 ÷ (연간 총 자재구입비 ÷ 365)으로 계산된다. 재고 회전율은 매출원가를 평균재고금액으로 나눈 값으로 산출된다. 매출액 및 운반비는 업체들이 공시하는 재무제표 자료인 손익계산서, 대차대조표 및 부속서 등의 자료를 이용하여 추정하였다. 고객납입 평가점수는 고객인 완성차 업체가 1차 협력업체에 대해 라인정지 건수, 라인정지시간, 변제금액, 변제율 등을 감안하여 부여하는 고객 평가점수로서, 본 연구에서는 완성차 업체인 'H사'가 협력업체를 동일한 기준에서 평가한 '납입5스타' 점수를 사용한다.

IV. 공급사슬 성과측정 결과

4.1 공급사슬 성과측정 평가대상 선정

본 연구에서는 앞서 기술한 공급사슬 성과측정 DEA 모형을 국내 완성차 업체인 'H사'를 고객으로 하는 1차 자동차 부품업체를 대상으로 적용하고 그 결과를 분석한다. 'H사'의 1차 협력업체는 300여개로 구성되어 있으나, 주요 사업이 자동차 부품제도가 아닌 업체와 다양한 제품군의 사업부를 가지고 있어 자동차 1차 협력업체를 5가지로 구분한 범주에 중복으로 포함되는 대기업은 제외하였다.

또한, 본 연구에서는 자료조사와 분석을 거친 후 유의한 자료로 선정된 224개 업체를 평가대상으로 결정하였으며, 평가대상 업체들은 5개 그룹으로 분류하였다. 즉, 자동차 1차 협력업체는 자동차 공급사슬의 특성상 모듈 제조생산을 하고 있다는 점을 고려하여, 업체들을 구동, 의장, 샤시, 전장, 바디 부분으로 구분하고 각 그룹별로 공급사슬 성과를 분석하였다.

4.2 데이터 수집 및 통계적 특성

우리나라의 공급사슬관리 시스템 도입 및 적용 수준은 초보단계이며, 기업내부에 공급사슬 평가를 위한 표준 성과지표가 마련되어 있지 않는 경우가 많다. 또한, 공급사슬의 성과 및 지표는 기업이 대외적으로 공개하기를 꺼려하는 내부 관리 자료로서 객관화된 자료를 구하는 것은 힘든 실정이다.

실증연구 대상인 'H사'의 1차 협력업체 224개 업체에 대한 자료 수집은 기업에서 공시하는 재무제표 자료와 한국자동차공업협회 홈페이지 자료를 이용하였으며, 'H사'에서 1차 협력업체를 대상으로 납기준수율, 납입성적, 클레임 등 납품과 관련하여 협력업체를 평가하는 자료를 사용하였다. 단 자료조사 대상기간은 2010년, 1년간으로 설정하였다.

전체 224개 업체를 대상으로 수집된 데이터의 통계적 특성치들은 <표 4>와 같다. 조사대상인 1차 협력업체의 평균 매출액은

표 4. 투입요소 및 산출요소에 대한 기술통계량

	최소값	최대값	평균	표준편차
매출원가(천원)	11,087,507	848,643,479	138,191,613	142,744,808
운반비(천원)	30,082	18,921,109	2,309,831	2,504,009
순현금화 C/T	5.9961	278.5680	90.1840	41.2165
재고회전율	0.0060	0.3504	0.0747	0.0552
매출액(천원)	12,975,061	940,246,605	156,773,314	161,917,727
고객납입 평가점수	1.00	5.00	4.22	0.69

표 5. 효율성 점수 분포

효율성 점수	70~74.9%	75~79.9%	80~84.9%	85~89.9%	90~94.9%	95~99.9%	100%	합계
개수	1	3	38	60	60	22	40	224
비율	0.4%	1.3%	17%	26.8%	26.8%	9.8%	17.9%	100%

1,568억이며, 연 매출액이 120억인 중소기업에서 연 매출액이 9,402억인 대기업도 포함되어 있다.

매출원가는 매출액 대비 평균 90%로 제조원가 비중이 상당히 높은 것으로 나타났다. 또한, 매출액 대비 운반비 비율은 평균 2.01%인 것으로 집계되었다. 운반비는 판매를 목적으로 한 제품 매출 시 지출되는 수송관련 비용으로만 산정되었다. 'H사'에서 1차 협력업체의 납입물 실적에 대해 평가한 '납입5스타' 점수는 최저 1스타(30점 미만)에서 최대 5스타(100점)의 범위를 가진다. 고객납입 평가점수의 전체 평균은 4.22스타로서 80점 이상 90점 미만에 속한다.

한편, 본 연구에서는 평가업체들을 모듈업체 구분방식을 적용하여 5개의 그룹인 의장(20%), 바디(18%), 샤시(22%), 구동(29%), 전장(11%)으로 구분한다.

4.3 공급사슬 효율성 점수 산출 결과

평가대상 업체들의 공급사슬 효율성을 측정하기 위한 DEA 모형은 투입지향 CCR 모형(Charnes et al., 1978)을 적용하였고, 사용한 DEA 소프트웨어는 Frontier Analyst ver 4.0이다.

효율성 분석결과 평가업체의 효율성 점수 분포는 <표 5>와 같다. 효율성 점수가 100%인 기업이 40개(17.9%)로 나타났고, 100%이하의 비효율적 기업은 184개(84.8%)이다. 효율성 점수가

85~94.9% 사이에 전체 업체의 절반 이상을 차지하는 120개의 기업이 위치하고 있음을 알 수 있다.

업체 그룹별로 효율성 점수를 구분하여 살펴보면 <표 6>과 같으며, 그룹간의 평균 효율성 순위는 바디, 전장, 샤시, 의장 그리고 구동 순으로 나타났다.

비효율적이라고 평가되는 업체들에 대해서는 효율성(효율성 점수 100%)을 획득하기 위해 요구되는 투입변수 및 산출변수의 개선량을 산출하였다. 일반적으로, DEA에서 비효율적인 DMU가 효율성을 획득하기 위해 필요한 투입변수 및 산출변수의 개선폭은 비교 대상이 되는 효율적 경계선 상의 효율적 DMU와의 비교를 통해 구해진다. 전체 업체를 대상으로 효율성을 획득하기 위해 필요한 투입변수 및 산출변수별 개선폭을 평균 낸 결과는 <표 7>과 같다. 전체적으로 투입변수 중 운반비와 재고 회전율, 순 현금화 사이클 타임, 매출원가 순으로 개선 요구 폭이 큰 것으로 나타났으며, 산출변수에 대해서는 매출액 보다는 고객납입 평가점수의 개선이 필요한 것으로 도출되었다.

한편, 5개 업체 그룹별로 투입, 산출요소별 개선 요구 사항을 구분하면 <표 8>과 같이 나타났다. 구동그룹은 투입변수인 재고 회전율, 순 현금화 사이클 타임, 운반비 순으로 개선 요구 폭이 큰 것으로 나타났고, 의장부분은 운반비, 순 현금화 사이클 타임, 재고회전율 순으로 개선목표 수준이 제시되었다. 바디부분은 운반비의 개선 요구 폭이 타 그룹보다 높게 나타난 반면 다른 부분은

표 6. 업체 그룹별 효율성 점수

그룹	DMU개수	평균	표준편차	표준오차	최소값	중간값	최대값
구동	65	89.40	6.53	0.81	76.88	88.38	100.00
샤시	45	91.33	6.22	0.93	74.13	90.81	100.00
의장	49	90.89	5.76	0.82	78.92	89.84	100.00
전장	24	91.39	6.57	1.34	80.48	92.62	100.00
바디	41	92.44	5.91	0.92	81.54	91.65	100.00
합계	224	91.09	6.20	0.96	78.39	90.66	100.00

표 7. 투입요소 및 산출요소별 평균 개선 요구 폭

투입변수				산출변수	
매출원가	운반비	순현금화C/T	재고회전율	매출액	고객점수
-16.65%	-32.95%	-23.09%	-24.25%	0.05%	3.02%

표 8. 5개 업체 그룹별 투입요소 및 산출요소 평균 개선 요구 폭

구분	투입변수				산출변수	
	매출원가	운반비	순현금화C/T	재고회전율	매출액	고객점수
구동	-10.6%	-14.1%	-15.37%	-18.51%	0%	4.68%
의장	-8.67%	-20.29%	-13.36%	-11.6%	0.12%	0.8%
샤시	-9.12%	-17.15%	-11.27%	-12.11%	0%	0%
전장	-8.62%	-14.98%	-10.9%	-10.89%	0%	0.88%
바디	-7.57%	-24.69%	-10.23%	-9.65%	0%	0.24%

타 그룹보다 비교적 효율적인 것으로 나타났다. 한편, 구동그룹은 고객납입 평가점수의 개선 요구 폭이 타 그룹보다 상대적으로 높게 나타났다. 다만, DEA 모형이 기본적으로 통계적 방법론이 아니므로 상기에서 기술한 효율성 점수 또는 개선폭 순위에 대한 통계적 유의성은 고려하지 않았다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 자동차 부품업체의 공급사슬 성과측정을 위해 DEA 모형에 기반한 모형을 수립하고, 자동차 부품업체 중 완성차 업체의 1차 협력업체 224개 기업을 대상으로 효율성을 분석하였다. 공급사슬 성과평가를 위한 DEA 모형의 투입변수 및 산출변수의 선정은 SCOR 모형에서 제시하는 공급사슬 성과분야 및 성과지표를 참조하였으며, DEA 모형의 특성 및 해당 업계의 현실적 고려 사항을 감안한 논리적 선택과정을 적용한 결과 투입변수로는 매출원가, 운반비, 순 현금화 사이클타임, 재고 회전율을, 산출변수로는 매출액, 고객납입 평가점수를 선정하였다.

또한, 자동차 1차 협력업체 전체를 대상으로 한 상대적 효율성 평가와 더불어, 자동차 공급사슬 환경을 고려하여 업체들을 5개의 그룹으로 구분한 후 그룹간의 상대 효율성 비교도 함께 실시하였다.

기존의 공급사슬 성과측정과 관련된 연구는 대부분 공급사슬 성과측정시스템 및 성과지표의 단편적인 개발에 대한 사항이거나, 공급사슬의 성과가 경영성과에 미치는 영향을 알아보는 것이었고, 국내 제조업의 근간이 되는 자동차산업의 공급사슬 성과측정에 대한 연구는 거의 없었다. 또한, 공급사슬의 개선과 혁신을 통해 경쟁우위를 갖고자 하는 것이 최근 기업의 중요한 핵심전략 중 하나임에도 불구하고, 효과적인 개선목표 설정을 위한 벤치마킹 관련 연구나 공급사슬 효율성을 측정하고 분석하는 실증연구는 많이 이루어지지 않았다. 더불어, DEA 모형을 바탕으로 한 공급사슬 성과측정 모형에 대한 기존 연구는 존재하지만, SCOR 모형에 기초하여 DEA 모형의 투입변수 및 산출변수를 선정하는 방

식의 연구는 없었다. 이러한 점들을 고려할 때, 본 연구의 학문적, 실용적 기여도를 찾을 수 있다.

본 연구는 자동차산업의 공급사슬 성과측정을 위해 DEA 기반의 공급사슬 효율성 평가모형을 수립하고, 실증연구를 통해 모형의 타당성 및 적용 가능성을 타진하였다. 우리나라 자동차 부품제조 1차 협력업체를 대상으로 자료를 수집하고, 본 연구에서 개발한 DEA 효율성 평가모형을 적용하여 공급사슬 효율성 순위를 상대비교 하였고, 평가대상 업체의 공급사슬이 효율성을 획득하기 위해 요구되는 투입, 산출요소별 개선 목표수준을 도출하였다. 더 나아가, 본 연구의 방법론을 통해 비효율적인 업체들은 합리적인 벤치마킹 대상을 선정하여 효과적인 성과개선 프로그램을 수행할 수도 있다.

다만, 본 연구에서는 공급사슬 성과측정의 대상이 공급사슬 한 계층에만 집중되어 있고 전체 공급사슬의 성과를 측정하지는 못하였다는 한계점이 있다. 공급사슬의 경쟁우위는 한 기업의 효율성으로만 결정될 수는 없고 전체 공급사슬로서의 경쟁우위가 중요하므로, 전체 공급사슬의 성과측정에 관한 추가적인 연구가 필요하다. 이와 더불어, 본 연구의 공급사슬 성과측정 모형은 어느 한 시점을 기준으로 평가하는 것으로, 시간적 변화에 따른 공급사슬 성과의 변화를 관찰할 수 없었다. 기업의 내/외부 환경이 급변하고 있고 다양한 개선활동들이 공급사슬의 추진성과에 즉각 반영되지 않을 수 있으므로 장기적인 성과 변화를 분석하는 연구가 필요하다. 마지막으로, IV절에서는 본 연구에서 개발한 모형을 적용하여 국내 자동차 부품업체를 대상으로 한 공급사슬 성과측정 결과를 제시하였는데, 대상 업체들의 효율성 점수 및 업체 간 차이만을 보여줄 뿐 비효율성이 발생한 원인에 대해서는 분석하지 않았다. 비효율성이 발생한 원인, 업체간 또는 그룹간 효율성 차이가 발생한 원인 등에 관한 분석이 이루어지기 위해서는 또 다른 측면의 연구방법론과 심층적인 자료조사가 요구되므로 본 연구의 범위에는 포함시키지 않았고, 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 고석용, 고완석(2007), 제품특성과 공급사슬 형태의 일치도 및 파트너십 관계가 공급사슬성가에 미치는 영향에 관한 연구, *한국경영정보학회 2007년도 추계학술대회 논문집*, pp. 29-34.
- [2] 김대기, 권오경, 백인수(2003), 우리나라 기업의 SCM성가에 관한 실증적 연구-자산성과 분석을 중심으로, *IE Interface*, 제16권, 제2호, pp. 167-173.
- [3] 박경중, 오형술(2008), 병원의 진료 서비스 공급 사슬 모델링을 위한 SCOR 모델의 적용, *한국산업경영시스템학회지*, 제31권, 제4호, pp. 10-20.
- [4] 박광오(2010), 혁신성과 기업간 의존도가 정보품질 및 파트너십품질을 통해 SCM 성과에 미치는 영향, 부산대학교 박사학위논문.
- [5] 신혜경, 홍유신(2007), SCOR 모델과 만족도 함수를 이용한 공급 사슬의 성과 측정 프레임워크 개발에 관한 연구, *Entrue Journal of Information Technology*, 제6권, 제1호, pp. 155-170.
- [6] 윤재홍, 이정념(2005), BSC를 적용한 SCM 성과측정지표의 개발 및 그의 효과, *한국생산관리학회지*, 제16권, 제3호, pp. 81-108.
- [7] 이재식(2009), 공급사슬관리(SCM)의 핵심성공요인과 추진 유형이 기업의 경영성과에 미치는 영향, *경영정보연구*, 제28권, 제1호, pp. 45-69.
- [8] 조성원, 구종순(2006), 자동차 부품산업의 공급체인관리 결정요인과 성과에 관한 연구, *해운물류연구*, 제50호, pp. 181-200.
- [9] 장형욱, 이상식(2006), SCM의 핵심성공요인(CSF)이 경영성과에 미치는 영향에 관한 연구, *대한경영학회지*, 제19권, 제6호, pp. 2561-2584.
- [10] 한국자동차공업협회, 한국의 자동차산업 (<http://www.kama.or.kr>), 2011.
- [11] 홍관수, 정기웅(2004), 환경변화속도, 정보공유, 그리고 협력이 공급사슬에 미치는 영향, *중소기업연구*, 제26권, 제2호, pp. 77-100.
- [12] Banker, R., Charnes, A., Cooper, W. W.(1984), Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.
- [13] Barnett, M. W., Miller, C. J.(2000), Analysis of the virtual enterprise using distributed supply chain modeling and simulation: an application of e-SCOR, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, pp. 352-355.
- [14] Beamon, B. M.(1998), Supply chain design and analysis: models and methods, *International Journal of Production Economics*, Vol. 55, No. 3, pp. 281-294.
- [15] Beamon, B. M.(1999), Measuring supply chain performance, *International Journal of Operation & Production Management*, Vol. 19, No. 3, pp. 275-292.
- [16] Boussofiane, A., Dyson, R. G., Thanassoulis, E.(1991), Applied data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 52, No. 1, pp. 1-15.
- [17] Brewer, P. C., Speh, T. W.(2000), Using the balanced scored card to measure supply chain performance, *Journal of Business Logistics*, Vol. 21, No. 1, pp. 75-93.
- [18] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E.(1978), Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.
- [19] Chen, Y., Zhu, J.(2004), Measuring information technology's indirect impact on firm performance, *Information Technology & Management Journal*, Vol. 5, No. 1-2, pp. 9-22.
- [20] Gunasekaran, A., Patel, C., Tirtiroglu, E.(2001), Performance measures and metrics in a supply chain environment, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21, No. 1/2, pp. 71-87.
- [21] Holmberg, S.(2000), Supply chain integration through performance measurement, *Doctoral Thesis*, Lund University.
- [22] Jeffrey, W. H., Lin, E., Pundoor, G.(2003), Supply Chain Simulation Modeling Using the Supply Chain Operations Reference Model, *Proceedings of DETC 2003 ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, pp. 1-9.
- [23] Kaplan, R. S., Norton, P. D.(1992), The balanced score card; measures that drives performance, *Harvard Business Review*, January-February, pp. 71-79.
- [24] Liang, L., Yang, F., Cook, W. D., Zhu, J.(2006), DEA models for supply chain efficiency evaluation, *Annals*

- of *Operations Research*, Vol. 145, No. 1, pp. 35-49.
- [25] Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G.(2001), Defining Supply Chain Management, *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, No. 2, pp. 1-25.
- [26] Narasimhan, R., Talluri, S., Mendez, D.(2001), Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: an empirical examination, *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 37, No. 3, pp.28-37.
- [27] Otto, A., Kotzab, H.(2003), Does supply chain management really pay? Six perspectives to measure the performance of managing a supply chain, *European Journal of Operational Research*, Vol. 144, No. 2, pp. 306-320.
- [28] Persson, F., Araldi, M.(2009), The development of a dynamic supply chain analysis tool—Integration of SCOR and discrete event simulation, *International Journal of Production Economics*, Vol. 121, No. 2, pp. 574-583.
- [29] Rigby, D.(2001), Management tools and techniques: a survey, *California Management Review*, Vol. 43, No. 2, pp. 139-160.
- [30] Saranga, H., Moser, R.(2010), Performance evaluation of purchasing and supply management using value chain DEA approach, *European Journal of Operational Research*, Vol. 207, No. 1, pp. 197-205.
- [31] Stewart, G.(1995), Supply chain performance benchmarking study reveals keys to supply chain excellence, *Logistics Information Management*, Vol. 8, No. 2, pp. 38-44.
- [32] Wong, W. P., Wong, K. Y.(2007), Supply chain performance measurement system using DEA modeling, *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 107, No. 3, pp. 361-381.
- [33] Wong, W. P., Wong, K. Y.(2008), A review on benchmarking of supply chain performance measures, *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 15, No. 1, pp. 25-51.



서 욱 환

금오공과대학교 산업공학과 학사
고려대학교 경영정보대학원 경영학 석사
현재 : SMR Korea 물류팀장
관심분야 : ERP, SCM, PI,
경영정보시스템의 활용 등



임 성 목

서울대학교 산업공학과 학사
서울대학교 산업공학과 석사
서울대학교 산업공학과 박사
현재 : 고려대학교 경상대학 경영학부
부교수
관심분야 : 수리최적화 이론 및 응용,
효율성 분석 모형,
정보시스템 응용 등

협력적 공진화 알고리즘에 기반한 다단계 공급사슬 네트워크의 설계

한용호*

*부산외국어대학교 e-비즈니스학과 교수

Multi-Stage Supply Chain Network Design Based on a Cooperative Coevolutionary Algorithm

Yongho Han*

*Department of e-Business, Pusan University of Foreign Studies

We consider a network design problem in a four tier supply chain consisting of suppliers, plants, distribution centers and customers. We suggest a cooperative coevolutionary algorithm(CCEA) to solve the problem. First, the problem is decomposed into three subproblems for each of which the chromosome population is created correspondingly. Each chromosome in a population is represented as an integer denoting a supply node. Then an algorithm generating a solution from a chromosome representation is suggested. Also an algorithm evaluating the performance of a solution is suggested. Finally we set the operator of selection, crossover, and mutation. An experimental study is carried out to compare the performance of the CCEA with that of a genetic algorithm. The results show that the CCEA tends to generate better solutions than genetic algorithms.

Keywords: cooperative coevolutionary algorithm, genetic algorithm, supply chain management, network design, nonlinear multi-objective optimization

1. 서론

공급사슬관리(supply chain management)는 공급업체들로부터 시작하여 마지막 소비자들에 이르기까지 일련의 물류활동을 계획하고 통제하는 통합활동으로 정의된다.(Jones와 Riley, 1985) 공급사슬관리의 실행으로부터 기대할 수 있는 이점으로 고객에 대

한 반응성 향상, 일관된 적시 납품, 주문충족 소요시간의 단축, 재고비용의 감소, 자산이용율의 향상, 구매물품의 가격인하, 제품 품질의 향상, 예기치 않은 사건의 처리능력, 신속한 제품 혁신, 및 관계 개선 등을 들 수 있다. 오늘날 세계적인 무한 경쟁 환경 하에서 기업들은 최고의 품질을 지닌 제품 및 서비스를 적시에 적절한 장소에 최소의 비용으로 제공해야 한다. 이를 위해 기업들은 공급업체 또는 고객들과의 전략적 및 협력적 관계의 중요성을 실감하게

† Corresponding author: 부산광역시 남구 석포로 15

TEL : 82-51-640-3149 E-mail : yghan@pufs.ac.kr

* 2011년 8월 8일 투고, 9월 14일 수정본 접수, 9월 19일 게재 확정.

되었다.(Tan et al., 1999) 공급사슬 네트워크 설계(supply chain network design) 문제는 효과적인 파트너 선정 및 생산-분배 계획을 가능케 하여 공급 사슬의 효율적 관리 및 조직의 효과적 성과를 가능케 한다.(Wang, 2009) 공급사슬 네트워크 설계문제란 주어진 목적을 최적화하기 위하여 제약조건들을 만족하면서 운영할 공장이나 유통센터들을 결정하고, 또한 공급사슬의 각 계층별 공급지와 수요지 사이의 제품 수송량을 할당하는 것을 가리킨다.

Melo et al.(2009)은 공급사슬 네트워크 설계 문제에 대하여 이제까지 발표된 많은 모델들을 시설군(공급업체, 공장, 유통센터, 고객 등)의 계층수, 입지 결정이 이루어지는 계층수, 제품 종류(단종, 다종), 모델유형(확정적, 확률적), 계획대상기간(단기간, 단일기간) 등의 특성에 따라 <표 1>과 같이 분류하였다. 각 간의 수는 선행연구의 수를 나타낸다. <표 1>의 좌측 상단에 있는 모형에 대해서는 연구가 많이 이루어진 반면, 하단의 다계층 모델에 대해서는 연구가 상대적으로 적게 이루어졌다.

표 1. 공급사슬 네트워크 구조에 관한 선행연구의 분류

계층 수	입지 결정 계층수	제품	단일기간		다기간	
			확정적	확률적	확정적	확률적
1	1	단종	11	7	5	
		다종	5		3	
2	1	단종	13	7		1
		다종	5		1	
	2	단종	7			
		다종	7	1	4	
≥3	1	단종	1			
		다종	1			
	2	단종	4			
		다종	2	2	1	
	≥3	단종			2	
		다종	5	2	1	

공급사슬 네트워크 설계 문제에 대한 해법은 크게 범용 소프트웨어와 특별히 고안된 알고리즘의 두 유형으로 나눌 수 있다. 그리고 해법의 적용을 통해 얻어지는 해는 최적해와 근사해의 두 유형으로 나눌 수 있다. 따라서 이 문제에 대한 기존의 접근방법들을 <표 2>와 같이 요약할 수 있다. 각 간의 %값은 선행연구에서 해당 기법을 사용한 상대적 비율을 나타낸다.

표 2. 접근방법의 분류(Melo et al.(2009) 수정)

	최적해	근사해
범용 소프트웨어	유형 1(23%)	유형 2(2%)
특정 알고리즘	유형 3(30%)	유형 4(45%)

유형 1은 수리계획 소프트웨어의 사용을 통해 최적해를 얻거나 사전에 설정한 갭 이내의 해가 얻어질 때까지 문제를 푸는 방식으로, Melo et al.(2006)의 연구를 예로 들 수 있다. 유형 2는 범용 소프트웨어를 사용해서 주어진 시간 한계에 도달할 때까지 실행시키는 방식으로, Melke와 Daskin(2001)의 연구가 여기에 속한다. 유형 3에서는 분지한계(branch & bound)법이 가장 많이 사용되었으며 한계를 얻기 위하여 라그랑지 완화법 및 휴리스틱 절차와의 결합도 시도되었다. Amiri(2006)와 Dogan & Goetschalckx(1999)의 연구가 이 유형에 속한다. 유형 4에서는 라그랑지 완화법(Martin & Pelegrin, 1999), (Pirkul & Jayaraman, 1998)과 메타휴리스틱 기법이 많이 사용되었다. 메타휴리스틱으로는 유전 알고리즘(genetic algorithm)이 많이 사용되었다.

Vignaux and Michalewicz(1991)와 Michalewicz et al.(1991)은 각각 선형 수송 문제(수송비가 수송량에 비례하는 경우)와 비선형 수송 문제(수송비가 수송량에 비례하지 않는 경우)의 해결에 유전 알고리즘을 처음으로 적용하였다. 그 후 유전 알고리즘은 Syarif et al.(2002), Altiparmak et al.(2006), Gen et al.(2006), Lin et al.(2009) 등에 의해 공급사슬 상의 수송문제에 성공적으로 적용되었다.

수리모형에서 단일 목적함수를 사용한 연구는 전체 연구의 90% 이상에 해당하였다. 목적함수의 내용면에서 볼 때, 비용 최소화 문제는 전체 연구의 75%에 해당하며, 이익 최대화 문제는 16%에 해당하며, 다목적 문제는 전체 연구의 9%에 불과하였다.

본 연구에서는 이상 살펴본 선행연구에서 많이 다루어지지 않았던 모형을 연구 대상으로 설정한다. 공급사슬이 공급업체, 공장, 유통센터, 고객의 4 계층으로 이루어져 있으며 그 중에서 공급업체 및 공장의 두 계층에서만 입지결정이 이루어져야 하는 환경 속에서 단종제품, 단일기간, 확정적 모델을 전제로 하여 비선형 다목적 함수를 가진 최적화 문제의 근사해를 구하고자 한다.

본 연구에서는 이 모형에 대하여 근사해를 생성할 수 있는 협력적 공진화 알고리즘(cooperative coevolutionary algorithm; 이하 CCEA로 칭함)을 제시하고자 한다. 이 알고리즘은 <표 2>의 유형 4에 속한다. CCEA는 상호의존적인 여러 부분문제들로 구성된, 복잡도가 높은 최적화 문제를 해결하는 데 효율적인 것으로 알려져 있다.(Potter, 1997) 최근들어 2단계 수송문제(한용호, 2009) 및 역물류 문제(한용호, 2010)에 CCEA가 사용된 바 있다.

2장에서는 본 문제의 수리 모형을 제시한다. 3장에서는 본 문제에 대한 CCEA의 세부 내용을 설계한다. 4장에서는 일련의 테스트 문제들에 대하여 본 연구에서 제시하는 CCEA와 비교 대상이 되는 유전 알고리즘을 각각 실행시켜 그 결과를 비교한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 수리 모형

본 연구에서는 공급업체, 공장, 유통센터 및 고객의 4 계층으로 구성된 공급사슬 네트워크 설계 문제를 다룬다. 구체적으로, 각 공급업체의 공급능력, 공장에서의 생산능력, 유통센터에서의 저장능력, 그리고 수요지에서의 수요량이 주어졌을 때, 실제 운영될 공장 및 유통센터의 수가 사전에 주어진 값을 초과하지 말아야 한다는 제약조건을 만족하면서 실제 운영될 공장들 및 유통센터들을 결정해야 한다.(즉, 2개의 입지결정 계층을 가진다.) 또한 고객의 수요를 충족시킬 수 있도록 각 계층별 각 공급지-수요지 간(공급업체-공장 간, 공장-유통업체 간, 유통업체-고객 간) 제품 수송량도 결정해야 된다.

이 문제는 두 개의 목적을 가지고 있다. 첫 번째 목적은 각 계층별(공급업체-공장 간, 공장-유통업체 간, 유통업체-고객 간) 수송비용 및 공장 및 유통센터들의 운영비용의 합을 최소화하는 것이다. 두 번째 목적은 운영되는 각 공장 간 이용율의 편차와, 운영되는 각 유통센터 간 이용율의 편차의 가중합을 최소화하는 것이다. 이 목적함수는 비선형 식으로 표현된다. 따라서 두 목적함수의 가중합을 이용하면 최종적으로 하나의 비선형 목적함수를 얻게 된다. 본 문제는 기존에 잘 다루어지지 않은 유형의 공급사슬 네트워크 설계 문제로, 목적함수의 비선형성으로 인해 적절한 해법도 찾기 어려운 유형의 문제에 해당한다.

가정:

- 1) 각 고객의 수요량은 사전에 알려져 있다.
- 2) 이용가능한 유통센터들의 수와 제품의 저장능력은 사전에 알려져 있다.
- 3) 두 목적함수에 각각 상대적 가중치를 적용한 가중합을 구하여 이 값을 단일 목적함수의 값으로 사용한다. (Pareto 최적해를 구하지 않는다.)

인덱스:

i : 공급업체 ($i=1,2,\dots,I$)

j : 공장 ($j=1,2,\dots,J$)

k : 유통센터 ($k=1,2,\dots,K$)

l : 고객 ($l=1,2,\dots,L$)

파라미터:

a_i : 공급업체 i 의 공급능력

b_j : 공장 j 의 생산능력

c_k : 유통센터 k 의 저장능력

d_l : 고객 l 의 수요량

s_{ij} : 공급업체 i 로부터 공장 j 로의 제품단위당 수송비용

t_{jk} : 공장 j 로부터 유통센터 k 로의 제품단위당 수송비용

u_{kl} : 유통센터 k 로부터 고객 l 로의 제품단위당 수송비용

f_j : 공장 j 의 운영을 위한 고정비

g_k : 유통센터 k 의 운영을 위한 고정비

P : 운영할 수 있는 공장 수의 상한

W : 운영할 수 있는 유통센터 수의 상한

q_1 : 첫 번째 목적함수의 가중치

q_2 : 두 번째 목적함수의 가중치

r_1 : 공장 간 이용율 편차 제곱합의 가중치

r_2 : 유통센터 간 이용율 편차 제곱합의 가중치

결정변수:

v_j : 0-1 변수(공장 j 의 운영시 1의 값을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 취함)

w_k : 0-1 변수(유통센터 k 의 운영시 1의 값을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 취함)

x_{ij} : 공급업체 i 로부터 공장 j 로의 제품수송량

y_{jk} : 공장 j 로부터 유통센터 k 로의 제품수송량

z_{kl} : 유통센터 k 로부터 고객 l 로의 제품수송량

이 문제의 수리모형을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z_1 = & \sum_i \sum_j s_{ij} x_{ij} + \sum_j \sum_k t_{jk} y_{jk} \\ & + \sum_k \sum_l u_{kl} z_{kl} + \sum_j f_j v_j + \sum_k g_k w_k \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z_2 = & r_1 \left[\sum_j \left(\sum_k y_{jk} / b_j - \sum_j \sum_k y_{jk} / \sum_j b_j \right)^2 / J \right]^{1/2} \\ & + r_2 \left[\sum_k \left(\sum_l z_{kl} / c_k - \sum_k \sum_l z_{kl} / \sum_k c_k \right)^2 / K \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (2)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij} \leq a_i, \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_k y_{jk} \leq b_j v_j, \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_j v_j \leq P \quad (5)$$

$$\sum_l z_{kl} \leq c_k w_k, \quad \forall k \quad (6)$$

$$\sum_k w_k \leq W, \quad (7)$$

$$\sum_k z_{kl} \geq d_l, \quad \forall l \quad (8)$$

$$v_j, w_k = \{0, 1\} \quad \forall j, k \quad (9)$$

$$x_{ij}, y_{jk}, z_{kl} \geq 0, \quad \forall i, j, k, l \quad (10)$$

식 (1)은 첫 번째 목적함수로서, 단계별(공급업체와 공장 간, 공

장과 유통센터 간, 유통센터와 수요지 간) 수송비용, 공장 운영비용 및 유통센터 운영비용의 합을 나타낸다. 식 (2)는 두 번째 목적함수로서, 운영되는 각 공장간 이용율의 편차 및 각 유통센터간의 이용율의 편차의 가중합을 나타낸다. 식 (3)은 각 공급업체의 공급능력에 대한 제약을 나타낸다. 식 (4)는 각 공장의 생산능력에 대한 제약을 나타낸다. 식 (5)는 운영될 공장의 수는 사전에 주어진 상한을 초과할 수 없음을 나타낸다. 식 (6)은 각 유통센터의 저장능력에 대한 제약을 나타낸다. 식 (7)은 운영될 유통센터의 수는 사전에 주어진 상한을 초과할 수 없음을 나타낸다. 식 (8)은 각 고객의 수요량은 운영될 유통센터들에 의해 공급되어야 함을 나타낸다. 식 (9)와 (10)은 해당 결정변수의 이진 조건 및 비음 조건을 나타낸다.

두 목적함수에 대한 가중치 q_1, q_2 를 사용하여 식 (1)과 식 (2)의 두 목적함수를 식 (11)과 같이 하나의 비선형 목적함수로 변환시킬 수 있다.

$$\text{Minimize } Z = q_1 Z_1 + q_2 Z_2 \quad (11)$$

3. CCEA의 설계

여기서는 앞 절의 수리 모형에 대하여 근사해를 구해주는 CCEA의 세부 내용을 설계한다.

3.1 CCEA의 일반적 수행절차

공급사슬 네트워크 설계 문제에 대한 CCEA의 일반적 수행 절차를 <그림 1>과 같이 요약할 수 있다. 본 연구에서는 이 절차에 따라 대상문제의 부분문제로의 분할 및 부분문제별 염색체 모집단의 생성, 염색체로부터 해의 생성 알고리즘, 염색체의 적합도 평가방법, 그리고 모집단의 세대교체를 위한 유전 연산자 등을 소개한다.

3.2 부분문제별 염색체 모집단의 생성

3.2.1 대상문제의 분할

먼저 공급사슬 네트워크 설계 문제를 3개의 부분문제로 분할한다. <그림 2> (a)는 3개의 공급업체, 4개의 공장, 4개의 유통센터 및 5명의 고객으로 구성된 하나의 대상문제를 나타낸다. 공장 및 유통센터는 각각 최대 3개까지 운영할 수 있도록 제한되어 있다고 가정한다. 이 문제를 <그림 2> (b)와 같이 3개의 부분문제로

단계 1. 대상 문제를 3개의 부분문제로 분할하고, 각 부분문제에 대응하는 모집단 P_1 , P_2 , 및 P_3 를 생성한다.

단계 2. 각 모집단 P_1 , P_2 , 및 P_3 의 평가에 사용되는 협력자 c_1 , c_2 및 c_3 의 초기값을 지정한다.

단계 3. 종료 조건을 만족할 때까지 다음 단계 3.1-3.4를 반복한다.

3.1 모집단 P_3 의 각 염색체 i 에 대하여 {

1) 염색체 i 와 협력자 c_1 , c_2 를 결합하여 하나의 해 S_3 를 생성한다.

2) S_3 를 평가하여 염색체 i 의 적합도를 계산한다.

3) P_3 내 염색체 i 중에서 가장 높은 적합도를 생성한 염색체를 협력자 c_3 로 둔다. }

3.2 모집단 P_2 의 각 염색체 i 에 대하여 {

1) 염색체 i 와 협력자 c_1 , c_3 를 결합하여 하나의 해 S_2 를 생성한다.

2) S_2 를 평가하여 염색체 i 의 적합도를 계산한다.

3) P_2 내 염색체 중에서 가장 높은 적합도를 생성한 염색체를 협력자 c_2 로 둔다. }

3.3 모집단 P_1 의 각 염색체 i 에 대하여 {

1) 염색체 i 와 협력자 c_2 , c_3 를 결합하여 하나의 해 S_1 를 생성한다.

2) S_1 를 평가하여 염색체 i 의 적합도를 계산한다.

3) P_1 내 염색체 중에서 가장 높은 적합도를 생성한 염색체를 협력자 c_1 로 둔다. }

3.4 각 모집단 P_1 , P_2 및 P_3 에 대하여 유전 연산을 적용하여 새로운 세대의 염색체들을 생성한다.

단계 4. 생성된 해 중에서 가장 좋은 해를 대상 문제의 근사해로 얻는다.

그림 1. CCEA의 일반적 수행절차

분할한다. 여기서 부분문제 1은 공급업체와 공장 사이의 수송문제를, 부분문제 2는 공장과 유통센터 사이의 수송문제를, 그리고 부분문제 3은 유통센터와 고객 사이의 수송문제를 나타낸다. 인접한 두 부분문제 사이에는 상호의존성이 존재하기 때문에 각 부분문제를 독립적으로 해결할 수 없다. 이러한 부분문제 간 상호의존성은 3.3절의 '염색체로부터 해의 생성알고리즘' 안에서 구체

적으로 명시된다.

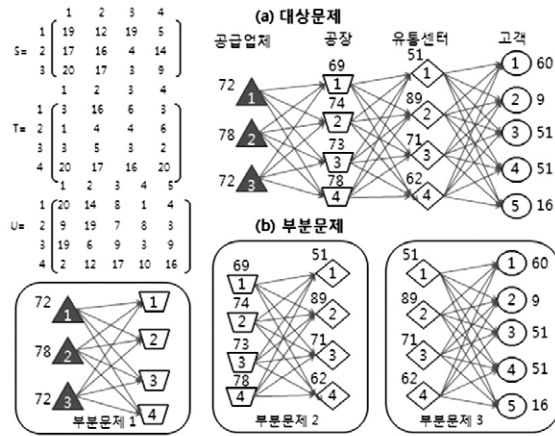


그림 2. 대상문제의 부분문제로의 분할

3.2.2 모집단의 생성 및 염색체의 표현

이제 각 부분문제별로 이에 대응하는 염색체의 모집단을 생성한다. 각 염색체에 표현된 값을 기반으로 적절한 인코딩 절차를 거쳐 이에 대응하는 해를 구하기 때문에 염색체의 표현방법의 선택은 CCEA의 최적화 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

하나의 염색체는 여러 개의 유전인자(gene)로 구성된다. 각 유전인자는 염색체 구조 내에서의 상대적 위치와 그 유전인자가 취하는 값이라는 두 가지 요소를 지닌다. 특정한 고객 수요는 공급업체, 공장 및 유통센터로 구성되는 하나의 사슬을 경유해서 공급된다는 사실에 근거하여, 부분문제 1, 2, 3의 각 염색체는 고객 수(L)에 해당하는 수의 유전인자로 구성되도록 설계하여, 하나의 염색체의 i 번째 유전인자의 값은 i 번째 고객 수요를 담당할 공급노드를 가리키도록 설계한다.

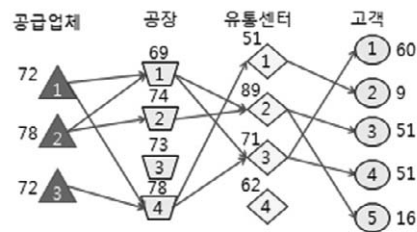
예를 들어, <그림 3> (a)염색체의 표현에서 부분문제 1에 대응하는 염색체의 5개의 유전인자들은 특정한 고객 수요를 담당할 공급업체의 노드번호를 나타낸다. 각각의 수요 1, 2, 3, 4, 5에 대하여 공급노드(공급업체) 2, 1, 2, 3, 1이 공급을 담당한다. 마찬가지로 부분문제 2에 대응하는 염색체는 공급노드(공장) 1, 4, 2, 4, 1이 수요 1, 2, 3, 4, 5를 담당하며, 부분문제 3에 대응하는 염색체는 공급노드(유통센터) 3, 1, 2, 3, 2는 수요 1, 2, 3, 4, 5를 담당함을 의미한다.

부분문제 1, 2, 3에 대응하는 하나씩의 유전인자를 조합하면 특정 고객의 수요를 충족시킬 하나의 공급선(공급업체, 공장 및 유통센터)을 얻을 수 있다. 예를 들어, <그림 3> (a)에서 점선으로 된 사각형 내 유전인자 값의 집합 (2, 1, 3)은 공급업체 2, 공장 1, 및 유통센터 3을 단계별로 거쳐 첫 번째 고객의 수요량(D1)이 공급됨을 의미한다. 다른 고객의 수요량(D2, D3, D4, D5)도 같은

방법으로 해석된다. 결과적으로 <그림 3> (a)의 세 염색체의 조합으로부터 <그림 3> (b)와 같은 해를 얻을 수 있다. 각 사슬별 할당량은 주어진 사슬상의 노드들 용량 중 최소 용량에 의해 결정된다. 구체적인 할당방법은 3.3절의 염색체로부터 해의 생성알고리즘 안에 명시되어 있다.

부분문제 1	2	1	2	3	1	공급업체 노드 번호
부분문제 2	1	4	2	4	1	공장 노드 번호
부분문제 3	3	1	2	3	2	유통센터 노드 번호
	D1	D2	D3	D4	D5	고객 수요

(a) 염색체의 표현



(b) 염색체에 대응하는 해

그림 3. 부분문제별 염색체 표현 예

3.2.3 제약 조건의 처리

2절의 수리 모형에서 제약조건 (5)와 (7)을 충족시키기 위하여 세 모집단의 각 염색체를 생성할 시 하나의 염색체가 취하는 유전인자 값의 종류가 사전에 지정된 수를 초과하지 않도록 보장하는 메커니즘이 필요하다. 이러한 메커니즘을 모집단 P_1 , P_2 및 P_3 에 대한 염색체의 초기값 생성 루틴에 포함시킨다. 따라서 제약조건들을 만족시키지 못하는 염색체를 강제로 도태시키기 위한 페널티 방법의 사용을 피할 수 있다.

3.3 염색체로부터 해의 생성

일단의 공급노드들과 수요노드들로 구성된 단일 계층의 수송 문제에 대하여 해를 구하는 절차를 <그림 4>의 알고리즘과 같이 설계하였다. 여기서 수송량 할당은 크게 두 단계로 나누어져 이루어진다. 먼저, 공급업체부터 고객까지의 특정 사슬에 가능한 한 최대량을 배정한다(단계 2). 그 다음, 제약조건들을 충족시키기 위해 나머지 배정이 이루어진다(단계 4). 이 단계는 필요시에만 수행된다.

세 모집단(P_1 , P_2 및 P_3)으로부터 각각 하나씩의 염색체가 주어지면, 계층 3, 2, 1 순으로 순차적으로 <그림 4>의 알고리즘을 적용함으로써, 본래 문제에 대하여 하나의 완전한 해를 구할 수 있다.

입력 n : 계층 번호 S : 공급 노드들의 집합 D : 수요 노드들의 집합 L : 고객 노드들의 집합 a_i : 공급 노드 i 에서의 공급능력 $\forall i \in S$ b_j : 수요 노드 j 에서의 수요량 $\forall j \in D$ c_{ij} : 공급 노드 i 로부터 수요 노드 j 로의제품 단위당 운송비용 $\forall i \in S, \forall j \in D$ $q_{ij}(n+1)$: $(n+1)$ 계층에서의 공급지 i 로부터 수요지 j 로의 제품 수송량 $\nu(n, l)$: n 번째 계층 탐색체의 l 번째 유전 인자의 값 $\forall l \in L$ **출력** $q_{ij}(n)$: 공급지 i 로부터 수요지 j 로의 제품 수송량**절차**

단계 1. (초기화)

 $q_{ij} \leftarrow 0, Avail_i \leftarrow false, Avail_j \leftarrow false$ $\forall i \in S, j \in D$ $I_S \leftarrow |T_S|, \text{ where } T_S =$ $\{i | Qualified_i = true \wedge Avail_i = true\}$ $I_D \leftarrow |T_D|, \text{ where } T_D =$ $\{j | Qualified_j = true \wedge Avail_j = true\}$ $SQty_i \leftarrow a_i \forall i \in S$ $SQty_i > 0$ 이면, $Avail_i \leftarrow true \forall i \in S$

//공급가능량 지정

 $DQty_j = \begin{cases} b_j \forall j \in D \text{ } n=3 \text{인 경우} \\ \sum_i q_{ij}(n+1) \forall j \in D, \text{ 그 외} \end{cases}$

//수요량 지정

 $n=1$ 또는 2 이면, $Qualified_i = false$ $\forall i \in S$ //할당자격 여부 $Qualified_{\nu(n, l)} \leftarrow true \forall l = 1, 2, \dots, L$

단계 2. (수송량의 주할당)

 $I_S \leftarrow |T_S|, I_D \leftarrow |T_D|$ $l = 1, 2, \dots, L$ 에 대하여 { $i^*(l) \leftarrow \nu(l) \forall l = 1, 2, \dots, L$

//공급노드 지정

 $j^*(n, l) \leftarrow \begin{cases} d_i & \text{when } n=3 \\ i^*(n+1, l), & \text{otherwise} \end{cases}$

//수요노드 지정

 $q_{i^*j^*} \leftarrow \min\{a_{i^*}, b_{j^*}\};$ //할당량 지정 $a_{i^*} = a_{i^*} - q_{i^*j^*}, b_{j^*} = b_{j^*} - q_{i^*j^*}$

//공급량, 수요량 수정

 $a_{i^*} = 0$ 이면, $Avail_{i^*} = false$ $b_{j^*} = 0$ 이면, $Avail_{j^*} = false$ }

단계 3. (평가)

 $I_S \leftarrow |T_S|, I_D \leftarrow |T_D|$ $(I_S = 0) \wedge (I_D > 0)$ 이면 중단(공급량부족) $I_D = 0$ 이면, 총수송비를 계산하고 종료한다.

그 외의 경우, 단계 4로 간다.

단계 4. (수송량의 나머지할당)

 $I_S \leftarrow |T_S|$ $I_S = 0$ 이면, 중단한다.(적격한 공급노드가 존재하지 않음) $I_S = 1$ 이면, 그 노드를 공급노드 i^* 로 선택. $I_S \geq 2$ 이면, 그 중 하나를 무작위로 선택하여 공급노드 i^* 로 선택. $I_D \leftarrow |T_D|$ $I_D = 0$ 이면, 중단한다.(적격한 수요노드가 존재하지 않음) $I_D = 1$ 이면, 그 노드를 수요노드 j^* 로 선택. $I_D \geq 2$ 이면, 그 중 하나를 무작위로 선택하여 수요노드 j^* 로 선택. $q_{i^*j^*} \leftarrow \min\{a_{i^*}, b_{j^*}\};$ $a_{i^*} = a_{i^*} - q_{i^*j^*}, b_{j^*} = b_{j^*} - q_{i^*j^*}$

//공급량 및 수요량 수정

 $a_{i^*} = 0$ 이면, $Avail_{i^*} = false, I_S \leftarrow I_S - 1$ $b_{j^*} = 0$ 이면, $Avail_{j^*} = false, I_D \leftarrow I_D - 1$

단계 5. (평가)

 $(I_S > 0) \wedge (I_D > 0)$ 이면 단계로 간다. $(I_S = 0) \wedge (I_D > 0)$ 이면 중단(공급량부족) $I_D = 0$ 이면, 총수송비를 계산하고 종료한다.

그림 4. 탐색체로부터 해의 생성 알고리즘

3.4 적합도 평가

세 모집단(P_1, P_2 및 P_3)의 각 탐색체를 결합시켜 특정 탐색체에 대한 적합도를 평가하는 원리를 소개하고, 그 구현에 필요한 적합도 함수 및 적합도 평가 알고리즘을 제시한다.

3.4.1 탐색체의 적합도 평가 원리

세 모집단(P_1 , P_2 및 P_3)으로 구성된 CCEA에서 특정한 모집단 내 각 염색체는 나머지 두 모집단으로부터의 각각의 염색체와 결합될 때 비로소 그 염색체의 적합도가 구해진다. 이 때 나머지 두 모집단으로부터의 두 염색체는 특정한 하나의 염색체 평가 시에 각각 하나의 협력자(collaborator)로서의 역할을 수행한다. 세대변천에 따라 세 모집단내 각 염색체를 평가하는 원리를 <그림 5>와 같이 나타낼 수 있다.

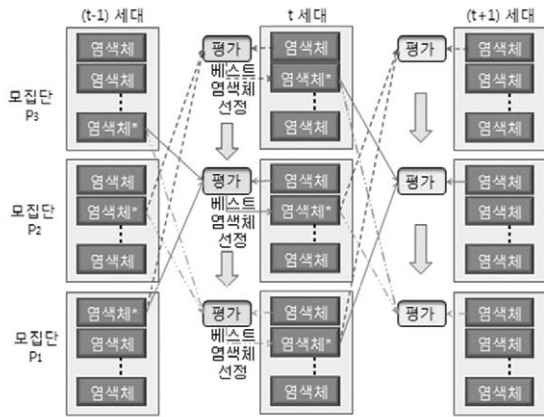


그림 5. 3개 모집단내 염색체에 대한 적합도 평가 원리

<그림 5>에서 각 모집단의 세대변천이 일어남에 따라, 특정 세대에서의 모집단 평가는 P_3 , P_2 , P_1 의 순으로 순차적으로 이루어진다. 먼저 $(t-1)$ 세대에서 모집단 P_2 및 P_1 의 염색체 평가 시에 각각 가장 좋은 적합도를 보였던 베스트 염색체들을 협력자로서 모집단 P_3 의 각 염색체와 결합시킴으로써, t 세대에서 모집단 P_3 의 각 염색체의 적합도를 평가한다. 그 결과 모집단 P_3 에서 가장 좋은 적합도를 지닌 베스트 염색체를 찾아내고, 이 염색체를 $(t+1)$ 세대에서 모집단 P_2 및 P_1 의 평가 시에 협력자로 사용하기 위하여 보관한다. P_1 및 P_2 의 각 염색체도 이와 동일한 원리로 평가할 수 있다.

3.4.2 적합도 함수의 설계

적합도 함수는 염색체의 바람직한 정도를 정확히 측정할 수 있어야 하며, 동시에 각 염색체를 평가하기 위하여 반복적으로 사용되기 때문에 계산 면에서 효율적이어야 한다. 본 연구에서 다루는 문제는 최적화 문제이기 때문에 기본적으로 수리모형의 목적함수식 (11)을 다음과 같이 적합도 함수로 이용할 수 있다.

$$Fitness = q_1 Z_1 + q_2 Z_2$$

3.4.3 염색체에 대한 적합도 평가 알고리즘

이상의 설계과정을 거쳐 세 모집단(P_1 , P_2 및 P_3)으로부터 하나

씩의 염색체가 주어졌을 때 이에 대응하는 적합도 평가 알고리즘을 <그림 6>과 같이 나타낼 수 있다.

단계 1: P_3 의 특정한 염색체, P_2 의 협력자 및 P_1 의 협력자의 값을 얻는다.

단계 2: $n=3$ 에 대하여 <그림 4>의 알고리즘을 호출하여 계층 3의 수송량 z_{kl} 를 구한다.

단계 3: $n=2$ 에 대하여 <그림 4>의 알고리즘을 호출하여 계층 2의 수송량 y_{jk} 를 구한다.

단계 4: $n=1$ 에 대하여 <그림 4>의 알고리즘을 호출하여 계층 1의 수송량 x_{ij} 를 구한다.

단계 5. 아래의 적합도 함수를 통하여 P_3 의 특정한 염색체에 대한 적합도를 구한다.

$$Fitness = q_1 Z_1 + q_2 Z_2$$

그림 6. 적합도 평가 알고리즘

3.5 모집단의 세대교체를 위한 연산

CCEA에서 세 모집단(P_1 , P_2 및 P_3)의 세대교체는 각기 독립적인 유전 연산에 의하여 수행된다. 유전 연산은 선택(selection), 교배(crossover) 및 돌연변이(mutation) 연산으로 구성된다. 모집단의 세대교체가 이루어질 때 각 모집단은 선택 연산에 의하여 탐색에서 축적된 정보를 이용하고, 교배 및 돌연변이 연산에 의하여 새로운 해의 영역을 탐색한다.

3.5.1 선택 연산

선택 연산으로는 랜덤, 비례, 토너먼트 및 랭크 기반 선택 등을 들 수 있다.(Engelbrecht 2007) 본 연구에서는 선택 연산으로 세 모집단(P_1 , P_2 및 P_3) 각각에 De Jong(2006)에 의해 제시된 엘리트스트(elitist) 전략을 수반한 이진 토너먼트 선택 연산을 사용키로 한다. 이진 토너먼트 선택이란 균등 분포를 사용하여 선택 풀에서 두 개의 염색체를 선택하여, 그 중에서 적합도가 더 높은 염색체를 토너먼트의 승자로 지정하여 다음 세대의 염색체로 선택하는 방식이다. 엘리트스트 전략이란 선택 과정을 통하여 가장 우수한 염색체가 선택되지 않더라도 새로운 세대에서 그 염색체를 보존하는 하는 방식으로, 일반적으로 선택 연산에 대한 보조 수단으로 사용된다.

3.5.2 교배 연산

교배 연산은 선택된 부모들 사이에 문자열의 일부를 상호 교환하는 것으로, 새로운 해 공간을 탐색하기 위하여 수행된다. 본 연구에서는 세 모집단에서 염색체의 각 유전인자를 일정한 범위 내의 정수 형태로 표현하였다. 정수 형태의 염색체에 적용할 수 있는 교배 연산으로는 n-point 교배를 들 수 있다. 그러나 이 연산을 본 연구의 염색체 표현에 적용할 경우 다음 세대에서 새로이 생성되는 염색체의 유전인자 값이 사전에 허용된 값의 범위를 넘어서서 결과적으로 수리모형의 제약식 (5)과 (7)을 위배하게 된다. 따라서 본 연구에서는 2-point 교배 연산 결과 생성된 염색체의 유전인자가 허용된 범위 밖의 값을 얻게 되면 그 값을 허용된 범위내의 하나의 값으로 수정시키는 절차를 2-point 교배 연산 속에 추가시킴으로써 일종의 수정된 2-point 교배 연산을 사용한다.

3.5.3 돌연변이 연산

돌연변이 연산은 초기 수렴을 방지하고 새로운 해 공간을 탐색하기 위해 이루어진다. 돌연변이 연산은 일반적으로 염색체 내 유전인자의 값을 수정함으로써 이루어진다. 돌연변이 연산으로는 insert 연산 및 swap 연산이 주로 사용되어 왔다. insert 연산에서는 하나의 디지털(digit)을 무작위로 선택한 후, 그것을 무작위로 선택된 새로운 위치에 삽입한다. swap 연산에서는 두 디지털을 무작위로 선택한 후, 그들의 위치를 상호 교환한다. 이 연산자를 본 연구에 적용해 본 결과 문제의 크기가 커짐에 따라 염색체 내 유전인자들의 값이 특정한 몇몇 값들로 수렴하는 현상을 보였다. 이러한 현상을 줄이기 위하여 돌연변이가 좀 더 자주 발생하도록 유도할 필요가 있다. 따라서 세 모집단 각각에 대하여 모두 돌연변이가 일정한 수 이내에서 무작위의 횟수만치 발생하도록 수정시킨 swap 연산을 사용한다.

4. 실험

4.1 실험 설정

본 연구에서 설계한 CCEA의 성능을 파악하기 위하여 이 알고리즘에 의한 해와 기존의 유전알고리즘(GA)에 의한 해를 비교하기로 한다. 비교의 공평을 기하기 위해 두 알고리즘에 모두 같은 선택, 교배 및 돌연변이 연산자를 적용기로 한다. 두 알고리즘 모두 마이크로소프트사의 비주얼 스튜디오 2008 환경에서 비주얼 C++ 언어를 사용하여 객체지향 방식으로 코딩하였다.

테스트를 위해 <표 3>과 같이 모두 7개의 문제를 만들었다. 공

표 3. 테스트 문제

문제	공급업체 수	공장 수	유통센터 수	고객 수	공장 상한	유통센터 상한
1	3	4	4	5	3	3
2	4	5	5	10	4	4
3	4	5	5	15	4	4
4	8	10	10	20	7	7
5	10	20	20	40	14	14
6	15	25	25	50	20	20
7	40	70	70	100	40	40

급업체의 수는 각각 3에서부터 40까지, 공장 및 유통센터의 수는 모두 4에서 70까지, 그리고 고객의 수는 5에서 100까지 변경시킨다. 모든 데이터는 엑셀을 이용하여 무작위로 생성되었다. 각 계층별 공급자와 수요지 사이의 수송비용은 모두 1과 20 사이의 균등 분포(uniform distribution)로부터, 그리고 각 수요지의 수요량은 5와 60 사이의 균등 분포로부터 생성하였다. 각 계층별 공급능력 및 저장 능력은 모델의 제약조건을 감안하여 적절한 평균값을 지니는 균등 분포로부터 생성하였다. 그 외 다음과 같은 파라미터 값들을 설정하였다. $r_1=0.6$, $r_2=0.4$, $q_1=1$, $q_2=5000$ (문제 1,2,3에 대하여), 10000(문제 4,5,6,7에 대하여).

7개의 테스트 문제 각각에 대하여 모집단의 크기와 생성 세대수를 변화시켜 2 개씩의 시나리오를 설정한다. 그리고 각 시나리오별로 난수 생성에 사용되는 시드(seed) 값을 변경시켜 가면서 CCEA와 GA를 각각 7회씩 반복 실행한다. 결과적으로 두 알고리즘을 각각 총 98회씩 실행시킨다. CCEA에서는 한 세대에서 세 모집단 내 각 염색체를 평가하는 반면 GA에서는 단 하나의 모집단 내 염색체를 평가하기 때문에, CCEA는 GA에 비해 3배의 염색체 평가 횟수를 가진다. 따라서 비교의 공평을 위해 GA에서는 CCEA의 3배에 해당하는 세대까지 생성시키도록 한다.

4.2 실험 결과

CCEA와 GA 두 알고리즘의 실험 결과를 <표 4>와 같이 요약하였다. 이 표에 나타난 값들은 각 알고리즘의 실행에 의해 생성된 해의 목적함수 값의 최저치, 평균치 및 최대치를 나타낸다. 문제 3, 4, 5, 6의 경우 최저치, 평균치 및 최대치의 모든 면에서 CCEA가 GA보다 더 좋은 결과를 얻었다. 반면 GA는 문제 1의 시나리오 1에서 평균치 및 최대치, 문제 2의 시나리오 1에서 최대치, 그리고 문제 7의 시나리오 1에서 평균치 및 최대치 면에서 CCEA보다 더 좋은 결과를 얻었다. 하지만 이 세 가지 시나리오는 생성세대 수가 충분치 못한 결과로 추정된다. 이 세 시나리오

표 4. CCEA 및 GA에 의해 생성된 해의 비교

문제	모집단 크기	생성 세대수		최소치		평균치		최대치	
		CCEA	GA	CCEA	GA	CCEA	GA	CCEA	GA
1	20	200	600	7,449	7,423	7,457	7,548	7,503	7,641
	30	300	900	7,364	7,454	7,400	7,490	7,449	7,569
2	30	300	900	8,504	8,546	8,948	9,008	9,319	9,318
	40	400	1200	8,504	8,784	8,779	9,131	9,119	9,510
3	50	300	900	14,566	14,677	14,665	14,831	14,744	15,265
	70	500	1,500	14,566	14,675	14,648	14,780	14,687	14,944
4	60	500	1,500	12,422	12,717	12,818	13,176	13,270	13,548
	100	700	2,100	12,143	12,603	12,599	13,191	13,030	13,695
5	100	700	2,100	16,584	17,091	17,658	17,717	18,319	18,733
	150	800	2,400	16,509	16,634	17,177	17,643	17,604	18,577
6	100	800	2,400	26,355	27,854	27,539	31,198	28,964	44,768
	200	1,000	3,000	23,062	25,757	24,667	26,962	25,618	28,392
7	300	1,500	4,500	31,481	30,022	33,645	33,103	37,492	34,848
	400	2,000	6,000	29,100	29,730	30,702	31,280	31,996	33,337

에서 모집단의 크기와 생성세대 수를 더욱 증가시킨 시나리오에서는 모두 CCEA가 GA보다 더 좋은 결과를 보였다. 평균치 면에서 CCEA는 14개의 시나리오 가운데 13개의 시나리오에서 GA보다 더 좋은 결과를 보였다. 시나리오별로 GA는 CCEA에 비해 0.7%(문제 2의 시나리오 1)로부터 13.3%(문제 6의 시나리오 1)만큼 더 높은 목적함수 값을 보였다. 따라서 본 연구대상 문제에 대하여 CCEA는 해의 평균적인 품질이나 변동성 면에서 GA에 비해 더 좋은 해법으로 볼 수 있을 것이다.

본 연구에서는 CCEA의 성능을 GA와 비교하는 데 초점을 맞추기 위하여 CCEA의 성능을 개선시키기 위한 별도의 방안을 모색하지 않았다. 부분문제에 대한 염색체의 표현방법, 염색체로부터 해의 생성 알고리즘 및 유전 연산자의 선정 등 CCEA의 세부적인 설계 면에서 CCEA의 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 방안을 연구해 볼 수 있을 것이다.

5. 결론

공급사슬 네트워크 설계 문제를 해결하기 위하여 다양한 모델과 다양한 해법들이 제시되어 왔다. 본 연구에서는 공급업체, 공장, 유통센터 및 고객으로 구성되는 4 계층의 공급사슬 네트워크에 대하여 근사해를 생성할 수 있는 CCEA를 제시하였다. 먼저 대상문제를 부분문제들로 분할하고, 각 부분문제별로 염색체의 유전인자를 특정한 고객 수요에 대한 공급노드를 의미하는 정수

형태로 표현하였다. 그리고 각 모집단의 염색체로부터 해의 생성 알고리즘을 설계하였다. 염색체에 대한 적합도 평가 원리를 소개하고 이의 구현에 필요한 적합도 함수 및 적합도 평가 알고리즘을 설계하였다. 각 모집단의 세대교체에 사용될 선택, 교배 및 돌연변이 연산자를 정하였다. 이와 같이 설계된 CCEA의 성능을 파악하기 위하여 GA와 함께 여러 개의 테스트 문제에 대하여 반복 실행시켰다. 실험 결과, CCEA는 해의 평균값, 최소값, 최대값 면에서 GA에 비해 상대적으로 더 우수한 해법이 됨을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 제시한 CCEA는 그 특성상 공급사슬 네트워크 설계 문제의 하나의 특정한 모델에만 한정되지 않고, 본 연구에서 다루지 않은 다양한 형태의 모델에도 손쉽게 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구의 목적상 CCEA 성능을 GA의 성능과 비교하는 데 초점을 맞추기 위하여 CCEA의 성능을 더욱 개선시키기 위한 여러 가지 방안에 대해서는 충분히 연구하지 못하였다. 향후 각 부분문제에 대한 염색체의 표현방법 및 유전 연산자의 선정 등 세부적인 설계 면에서의 CCEA 해법의 성능을 더욱 더 향상시킬 수 있는 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1] 한용호(2009), 2단계 수송문제에 대한 협력적 공진화 알고리즘 기반의 혁신적 해법, 산업혁신연구, 제25권 4호, pp.227-

- 251, 경성대학교 산업개발연구소.
- [2] 한용호(2010), 역물류 네트워크 모델의 최적화를 위한 협력적 공진화 알고리즘, *경영과학*, 27(3), pp.15-31.
- [3] Altiparmak F., M. Gen, L. Lin and T. Paksoy(2006), "A Genetic Algorithm Approach for Multi-objective Optimization of Supply Chain Networks", *Computers & Industrial Engineering*, Vol 51, pp.196-215.
- [4] Amiri A.(2006), "Designing a Distribution Network in a Supply Chain System: Formulation and Efficient Solution Procedure", *European Journal of Operational Research*, Vol. 17, pp.567-576.
- [5] De Jong, K. A.(2006), *Evolutionary Computation: A Unified Approach*, MIT Press.
- [6] Dogan, K. and Goetschalckx, M.(1999), 'A Primal Decomposition Method for the Integrated Design of Multi-Period Production-Distribution Systems', *IIE Transactions*, 31, pp.1027-1036.
- [7] Engelbrecht, A. P.(2007), *Computational Intelligence*, Second Edition, Wiley.
- [8] Gen, M., Altiparmak, F., and Lin, L.(2006), 'A Genetic Algorithm for Two-Stage Transportation Problem Using Priority-Based Encoding', *OR Spectrum*, Vol. 28, pp.337-354.
- [9] Jones, T.C. and Riley, D.W.(1985), "Using Inventory for Competitive Advantage Through Supply Chain Management", *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 15(5), pp.16-26.
- [10] Lin, L., Gen, M., Wang, X.(2009), "Integrated Multistage Logistics Network Design by Using Hybrid Evolutionary Algorithm", *Computers & Industrial Engineering*, 56, pp.854-873.
- [11] Martin, A. and Pelegrin, B.(1999)., "Applying Lagrangian Relaxation to The Resolution of Two-Stage Location Problems", *Annals of Operations Research*, 86, pp.179-198.
- [12] Melke, S. and Daskin, M. S.(2001), "Capacitated Facility Location/Network Problems", *European Journal of Operational Research*, 129, pp.481-495.
- [13] Melo, M. T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F.(2009), "Facility Location and Supply Chain Management - A Review", *European Journal of Operational Research*, Vol 196, pp.401-412.
- [14] Melo, M. T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F.(2006), "Dynamic Multi-Commodity Capacitated Facility Location: A Mathematical Modeling Framework for Strategic Supply Chain Planning", *Computers & Operations Research*, 33, pp.181-208.
- [15] Michalewicz, Z., Vignaux, G. A., and Hobbs, M.(1991) "A Nonstandard Genetic Algorithm for the Nonlinear Transportation Problem", Vol .3, No. 4, *ORSA Journal on Computing*, pp.307-316.
- [16] Pirkul H. and Jayaraman V.(1998), "A Multi-commodity Multi-plant Capacitated Facility Location Problem: Formulation and Efficient Heuristic Solution", *Computers & Operations Research*, Vol. 25, pp.869-878.
- [17] Potter, M. A.(1997), *The Design and Analysis of a Computational Model of Cooperative Coevolution*, Ph. D. Dissertation, George Mason University.
- [18] Syarif, A., Yun, Y. S. and Gen, M.(2002), "Study on Multi-Stage Logistic Chain Network: A Spanning Tree Based Genetic Algorithm Approach", *Computers and Industrial Engineering*, 43(1-2): pp.299-314.
- [19] Tan, K. C., Kannan, V. R., Handfield, R. B., and Ghosh, S.(1999), "Supply Chain Management: An Empirical Study of Its Impact on Performance", *International Journal of Operations and Production Management*, 19(10), pp.1034-1052.
- [20] Vignaux, G. A. and Michalewicz, Z.(1991), "A Genetic Algorithm for The Liner Transportation Problem", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 21, No. 2, pp.445-452.
- [21] Wang, H. S.(2009), "A Two-Phase Ant Colony Algorithm for Multi-Echelon Defective Supply Chain Network Design", *European Journal of Operational Research*, 192, pp.243-252.



한용호

서울대학교 산업공학과 학사

KAIST 산업공학과 석사

KAIST 산업공학과 박사

현재 : 부산외국어대학교 e-비즈니스학과 교수

관심분야 : 협력적 공진화 알고리즘, 비즈니스 프로세스 관리

Pick-and-Pass 오더픽킹에서 픽커 피로감축을 위한 주문처리순서 결정문제

최원석 · 임석철[†]

아주대학교 대학원 산업공학과

Order sequencing for picker's fatigue reduction in the pick-and-pass order picking system

Won-Suk Choi · Suk-Chul Rim[†]

Department of Industrial Engineering, Ajou University

Pick-and-pass order picking is used widely for small but expensive products such as cosmetics, medicines, and healthcare products. In such picking, each picker picks items that are located in their own zone and passes the bin to the succeeding picker until all the orders are picked in sequence. In addition to the traditional objective of minimizing the makespan, in this study we consider the fatigue of the pickers, which we define to cumulatively increase as the picker has to work on the waiting bins without a break. Given a set of orders to pick, the fatigue of the pickers will depend on the sequence of the orders. We propose various heuristic rules for order sequencing to identify - using simulation - the rules that yield an order sequence which will reduce the total fatigue and deviation of fatigue among the pickers by evenly distributing the picking load for each picker over time.

Keywords: order picking; pick-and-pass; pickers' fatigue, fatigue balancing.

1. Introduction

1.1 Pick-and-pass picking systems

Distribution centers have been playing a key role in today's agile supply chains as customers require on-time delivery with shorter lead times. Various material handling activities such as

receiving, put-away, storage and retrieval, inventory replenishment, order picking, value-added processing, and shipping take place in distribution centers (Tompkins *et al.*, 2003). Among these, order picking is known to account for the largest portion of the cost and time, viz., as much as 65% of the operating cost in most distribution centers (Coyle *et al.*, 1996). Order picking is defined as the process of retrieving specified quantities of items from their respective locations to

[†] Corresponding Author : Dept. of Industrial Engineering, Ajou Univ., Suwon 443-749, South Korea

Tel : 82-31-219-2424 Fax : 82-31-219-1610 E-mail: scrim@ajou.ac.kr

* 2011년 8월 20일 투고, 10월 3일 수정본 접수, 10월 5일 게재 확정.

satisfy customer orders (De Koster *et al.*, 2007). Some distribution centers have automated order picking systems but still most order-picking is performed manually. Manual order-picking is costly and prone to human errors.

Order-picking systems can be classified according to various viewpoints such as picker-to-part or part-to-picker, pick-by-order or batch picking, zoned picking or total zone picking, sort-while-pick or pick-and-sort, and sequential or simultaneous picking. A comprehensive review of order picking systems can be found in Dallari *et al.* (2009) and De Koster *et al.* (2007).

Zone picking can be either sequential (also called ‘pick-and-pass’) or simultaneous (also called ‘synchronized’). Pick-and-pass picking involves moving a bin for each order through a sequence of zones, where the designated picker for each zone picks those items that are located in that zone and passes the bin to the succeeding zone. No sorting is necessary at the end of each picking zone. On the other hand, simultaneous zone picking involves picking the subsets of an order in the respective zones simultaneously and combining these at the output station to complete the order before commencing work on the next order.

In this paper, we address the pick-and-pass picking system, which often uses a U-shaped conveyor, as shown in Figure 1. A U-shaped conveyor is beneficial as the input and output points are located at the same side so that workers can execute both input and output processes and save on space. Storage racks are located around the U-shaped conveyor; further, pickers are assigned to each zone. Such a system is widely used for the order picking of small and expensive items such as cosmetics and healthcare products. The reason why we

study pick-and-pass picking system is that picker’s fatigue is most correlated with the sequence of orders in this configuration because the pickers are *sequentially* located.

As a bin with its picking list arrives, the picker completes picking the items located in his/her own zone and immediately pushes the bin on the powerless roller conveyor to the output buffer, which is the input buffer of the succeeding zone. If the input buffer of the succeeding zone is full, the picker has to wait (this is called ‘blocking’) until the succeeding picker finishes picking the current order and takes the first waiting bin in his/her input buffer. After picking at the last station is complete, the bin is pushed to the packaging station where it is taped and labeled for shipping. Each item has its own location in the storage rack, and items in the rack are replenished from the warehouse by other workers.

Customer orders that have arrived during a certain period of time are processed as a batch. The picking list in the bin displays the number of items to be picked at each zone. The problem is to determine the sequence of orders to input to the first zone such that pickers’ fatigue will be reduced.

1.2 Pickers’ fatigue

Another issue in manual order picking is pickers’ fatigue. In most manual picker-to-part systems, pickers have to walk to the locations of the items to be picked. Many studies have addressed the problem of minimizing the travel distance of the pickers (see Section 2 for a literature review). However, in most pick-and-pass zone picking systems, pickers’ fatigue does not depend mainly on travel because of the limited length of each zone. A rather significant factor that impacts upon pickers’ fatigue in pick-and-pass picking is how evenly the picking load for each picker is distributed over time so that the picker has breaks between pickings.

According to Beurskens *et al.* (2000), it seems that there is no universally accepted framework for the quantitative modeling of workers’ fatigue. Hence, we try to best represent the fatigue of order pickers in a pick-and-pass system as follows. Consider a set of orders to pick. Since the locations of the items are predetermined, each picker will find some bins with nonzero items to pick but other bins with no items to pick, in which case the picker has a break if there are no

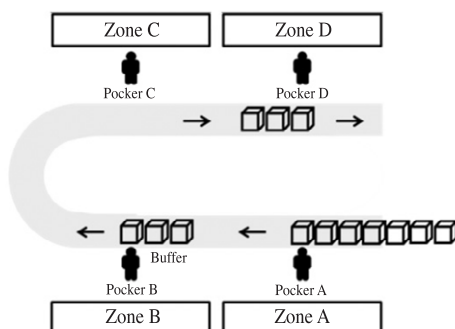


Figure 1. A U-shaped pick-and-pass picking system

waiting bins from the preceding zone (this absence of waiting bins is called ‘starving’). Another type of forced break is through ‘blocking,’ when a picker finishes picking a bin and finds no space to put the bin in his/her output buffer. Forced breaks by starving or blocking will alleviate fatigue.

Although the total amount of items to pick for each picker is determined for a given set of orders, the pickers’ fatigue may vary depending on the order sequence. That is, we assume that a picker will suffer greater fatigue if s/he has to pick items consecutively without breaks. On the other hand, the picker will suffer less fatigue if s/he has more frequent breaks through starving or blocking.

It is desirable to reduce not only the total amount of pickers’ fatigue but also the deviation of the fatigue over all pickers because different level of fatigue among the pickers may cause complaints. Therefore, the problem we deal with in this study is to identify the rules to determine the sequence of orders such that the total fatigue and the deviation of pickers’ fatigue will be minimized, while keeping the makespan from growing excessively.

Despite vast research in order picking, very few have addressed pickers’ fatigue. However, this issue is becoming more important because it will result in more picking errors. Since picking accuracy is one of the most critical performance measures in warehouse management, reducing pickers’ fatigue by simply providing better sequences of orders will be of great benefit. Greater fatigue will jeopardize the job satisfaction of pickers, which will make it difficult to employ the right people for order picking at the right cost. Even temporarily high fatigue may cause complaints among pickers, especially when they can see each other in a U-shaped configuration.

1.3 Makespan

The term, makespan, is defined in this study as the time starting from when the first order enters the first zone to the time when the last order is completed at the last zone. The makespan is determined by the order sequence, which may cause starving and/or blocking of the pickers. If an order sequencing rule reduces starving and/or blocking, the makespan also will be reduced.

Since the makespan is an important performance measure

of the order picking, most of the existing studies in order picking attempt to minimize the makespan. However, the picked items are usually shipped to the customers by the third party logistics provider on the next day, minimizing the makespan is not such an important issue in this case, as long as the increased makespan does not result in the overtime. Therefore, in this study, we will attempt to find out a good heuristic algorithm that will minimize the sum and deviation of the pickers’ fatigue, as long as the additional length of makespan due to this algorithm does not exceed a reasonably small range.

In this paper, we will present a quantitative fatigue model for the pickers in a pick-and-pass system. Given a set of orders, we will explore heuristic rules to determine the order sequence. Further, we will compare the rules in terms of performance measures that include the makespan, the total fatigue, and the deviation of the fatigue.

The rest of the paper is composed as follows. We will survey the related research in Section 2; present a quantitative fatigue model in Section 3; propose a few heuristic sequencing rules in Section 4; evaluate the average performance of the proposed heuristics using simulation in Section 5; and conclude with a few research issues for further study in Section 6.

2. Related research

Although there have been numerous studies on order picking, to the best of our knowledge, no research has been reported that considers pickers’ fatigue in order picking. However, in this section, we will review the related research results in two categories: order picking in general and the fatigue issue in particular.

2.1 Order picking

The literature in order picking can be categorized in four main areas including the layout design of storage facilities, the product storage policy, the pickers’ routing policy, and the picking policy. For the layout design problem, two main issues have received the most attention. One is the facility layout

problem that deals with where to locate the various departments such as receiving, storage, picking, and shipping. The other is internal layout design that determines the number of blocks, the number of aisles between blocks in the picking area, the length and the width of the aisles, etc. (Meller and Gau, 1996). Product storage policies are usually classified into the following five: random storage, closest open location storage, dedicated storage, full turnover storage, and class-based storage (De Koster *et al.*, 2007). The pickers' routing policy is to determine the shortest routes of the pickers. Roodbergen and De Koster (2001) explored the performance of five heuristic route policies for a single block warehouse, including S-shaped, Return, Mid-point, and Largest gap, besides a combined heuristic that combines the Largest-gap and S-shaped heuristics.

Various picking policies such as discrete, batch, zone, bucket brigade, and wave picking have been studied. Single-order picking (discrete picking) involves picking all the items in an order by one picker in a tour so that sorting is not needed after picking. Batch picking entails picking a group of orders simultaneously so that the pickers' travel time can be reduced substantially at the cost of sorting items by order after picking. In zone picking, each picker is dedicated to a certain zone. The advantages of zone picking include a shorter picker travel distance and greater picking efficiency due to each picker's familiarity with their respective zone. Note that batch or zone picking is referred to as wave picking if orders need to be picked in a predefined time-window (Parikh and Meller, 2008).

A relatively new approach, namely, bucket-brigade picking, is a form of zone picking where pickers' boundaries between zones change dynamically. That is, each picker continues picking as s/he moves in one direction along the rack until s/he encounters the succeeding picker; when the picker returns and moves in the opposite direction until encountered by the preceding picker, where s/he receives the bin and continues picking (Koo, 2009). Other research areas related with order picking include the order fill rate (Rim and Park, 2008), cost and throughput modeling (Russel and Meller, 2003), and picking and deliveries (Shiau and Lee, 2010).

For pick-and-pass order picking system, Yu and De Koster (2008) present an approximation method to estimate the mean

order throughput time in the pick-and-pass order picking system, where orders are processed as they arrive in the system. However, in our problem, orders are received until the closing time; and all the orders are sequenced in order to minimize the fatigue deviation of the pickers before the orders are fed to the pick-and-pass system. Such a batch processing of orders is suitable as it eliminates the idle time of the pickers between the sporadic arrival of orders if the arrival rate of orders is low. Obviously, however, for the order picking systems with high rate of order arrival, orders will have to be picked as soon as they arrive in the system. Schultz *et al.* (2010) study the workers' work speed and reaction in parallel workstations; and present a modified heuristic that performs well for increasing throughput using empirical approaches, analytical modeling, and Monte Carlo simulation. Our study, however, is on the sequential workstation where the speed and reaction of one worker will not be affected by the coworkers as much as in the parallel setting.

Pan and Wu (2009) develop an analytical model for the pick-and-pass system by describing the operation of a picker as a Markov Chain for the estimation of the expected distance traveled of the picker in a picking line. Based on the proposed analytical model, they derive properties of storage assignment and propose three algorithms that optimally allocate items to storages for the cases of a single picking zone, a picking line with unequal-sized zones, and a picking line with equal-sized zones in a pick-and-pass system. Melacini *et al.* (2011) present a framework for designing pick-and-pass order picking systems, where total picking cost is minimized while respecting the required service level in terms of average order throughput time. Main decision variables include the number of zones and the number of pickers per zone.

2.2 Fatigue

Fatigue lowers productivity in the workplace and increases the error rate and likelihood of industrial accidents. Fatigue can also be described in terms of a loss of efficiency and a general disinclination to work (Weijman *et al.*, 2003). Employees may suffer mental fatigue in addition to physical fatigue. However, there was no one measure capable of assessing the total body fatigue until Babski *et al.* (2000)

investigated the relationship between operator fatigue and time stress. A battery of fatigue assessment techniques was used to estimate the total body fatigue while subjects performed a data entry task under various levels of time-induced stress. The results indicated that the total body fatigue and the number of errors committed increase as the time-induced stress increases. Physical fatigue was objectively measured by evaluating the change in the heart rate. The authors presented the total body fatigue as a weighted average of five variables, including the change in the heart rate, tone task reaction time, level of tiredness, and number of mental and physical fatigue symptoms reported; they concluded that as the task duration increases, the total body fatigue also increases.

McLaughlin (2007) presented a model that will help to predict, prevent, control, and mitigate the prevalence of task-related factors that negatively influence stress, fatigue, and workload, thus enhancing human performance. A quantitative model representing the state of stress, fatigue, and workload experienced under task conditions was developed using fuzzy set theory with data inputs from both objective and subjective measures such as the heart rate, NASA TLX, blood pressure, and a variety of additional factors.

Saito (1999) developed a visual reaction test and a portable fatigue meter as an apparatus for the fatigue measurement of VDT (video display terminal) work. The author stated that although a large number of fatigue tests have already been adopted, it is still hard to draw a generalized conclusion as to methods for selecting the most appropriate test battery for a given work load; hence, the measurement of the degree of fatigue may be virtually impossible. Beurskens *et al.* (2000) evaluated the validity of the checklist individual strength (CIS) questionnaire and concluded that CIS seems to be an appropriate instrument for measuring fatigue in the working population. The authors stated that no gold standard exists for fatigue; therefore, we will never be able to prove the validity of instruments that measure fatigue.

Yano and Rachamadugu (1991) studied the job sequencing problem to minimize the work-overload in paced assembly lines, as in automobile assembly. If the bins are moved by a paced conveyor in our problem, our problem will be an extension of the work by Yano and Rachamadugu (1991) in which only two states at each station are considered, whereas

our problem deals with multiple states that are determined by the amount of picks at each station.

Despite many research results that are reported in the literature, to the best of our knowledge, there has been no study on pickers' fatigue in order picking as a function of the order sequence. Shiau and Lee (2010) addressed the problem of determining the sequence of orders to pick so that the orders packed for each customer can be directly loaded in the delivery vehicle without any buffer storage space at the shipping area. Their proposed algorithm consists of heuristic container selection, an optimized loading configuration that is obtained through linear programming, and a heuristic loading sequence to generate the picking sequence of the orders. Our problem does not consider the packing orders and the loading sequence of the boxes in the truck because these boxes are transported by the truck in a batch to the sorter at the distribution center of door-to-door delivery service providers.

3. A fatigue model for order pickers

The unique value of this paper is that this is the first attempt to consider the fatigue of the pickers in the pick-and-pass system. For a given set of orders, the total picking load for each picker is determined regardless of the order sequence. However, we assume that if the order sequence is such that a certain picker will encounter a series of heavy loads to pick without a break, the fatigue of the picker will rapidly increase. On the other hand, if the picking loads are evenly spread over time for each picker, then the picker's fatigue will be alleviated. We believe that this assumption is reasonable; and picker's fatigue is a new important issue in operating order picking system because it will affect the picking accuracy as well as the job satisfaction of the pickers. In this section, we will propose a quantitative fatigue model for the pickers in a pick-and-pass order picking system.

3.1 The fatigue level

Since there has been no research result on the modeling of pickers' fatigue in the pick-and-pass order picking system, we will propose one based on the following rationality: Recall

that doing the same amount of work can result in different amount of fatigue; that is, we suffer more fatigue when we are 'tired' than when we are 'refreshed' after a break. It indicates that the magnitude of fatigue at time t can be expressed as the fatigue level at time t multiplied by the work load at time t . We assume that the fatigue level of a picker will increase as s/he encounters a series of orders that have nonzero pick load at his/her zone without a break. On the other hand, if the picker encounters a break between the two consecutive orders, then we assume that the fatigue level will be lowered proportionally to the length of the break. The break can be either by encountering the next order which has no pick load; or starving due to the delay of picking at the preceding station. Note that the only decision variable of this problem is the sequence of the orders to be fed to the pick-and-pass order picking system. Let us define the parameters and internal variables as follows:

Parameters

r_{ij} : the fatigue level of picker j as s/he starts picking the i^{th} order

b_{ij} : the length of break that picker j has before starting the i^{th} order.

α : fatigue-growing factor. ($0 < \alpha < 1$)

P_{ij} : number of items for picker j to pick in the i^{th} order.
(=time for picker j to complete order i)

m : buffer size between the two consecutive pickers

Internal variables

f_{ij} : amount of fatigue added to picker j for picking the i^{th} order.

S_{ij} and f_{ij} : starting and finishing times of the i^{th} order for picker j , where $F_{ij} = S_{ij} + P_{ij}$.

Let the fatigue level of a picker to be 1 when there is no accumulated fatigue. We assume that every consecutive order without a break will increase the fatigue level of the picker to $(1+\alpha)$ times of the previous fatigue level. Then we define the pickers' fatigue level (r_{ij}) as Eq. (1).

$$r_{ij} = \begin{cases} r_{i-1,j}(1+\alpha) & \text{if } b_{ij} = 0 \\ \min \left[1, \frac{r_{i-1,j}}{(1+\alpha \times b_{ij})} \right] & \text{if } b_{ij} > 0 \end{cases} \quad \text{for all } i \text{ and } j \quad (1)$$

That is, we define that the pickers' fatigue level (r_{ij}) increases by $(1+\alpha)$, where $\alpha > 0$, for picking the i^{th} order if the picker has no break; however, if the picker j has a break of length b_{ij} due to starving or blocking, the fatigue coefficient decreases by $(1+\alpha b_{ij})$ for picking the i^{th} order.

3.2 The picker's fatigue model

The problem that we address in this paper can be formulated as follows:

$$\text{Minimize } \sum \sum f_{ij} \quad (2)$$

Subject to

$$F_{ij} = S_{ij} + P_{ij} \quad \text{for all } i \text{ and } j \quad (3)$$

$$b_{ij} = S_{ij} - F_{i-1,j} \quad \text{for all } i \text{ and } j \quad (4)$$

$$r_{1j} = 1 \quad \text{for all } j \quad (5)$$

$$f_{ij} = r_{ij} \cdot P_{ij} \quad \text{for all } i \text{ and } j \quad (6)$$

$$f_j = \sum f_{ij} \quad \text{for all } j \quad (7)$$

$$S_{ij} = \begin{cases} \max[F_{i-1,j}, F_{i,j-1}] & \text{if } M_j < m \\ \max[F_{i-1,j}, F_{i,j-1}, S_{i-1-m,j+1}] & \text{if } M_j = m \end{cases} \quad \text{for all } i \text{ and } j \quad (8)$$

where the state variable M_j denotes the current number of orders (or bins) waiting in the output buffer of the picker j .

The objective function of the pickers' fatigue model is to minimize the total fatigue of the pickers, as in Eq. (2). Note that minimizing the total fatigue will also reduce the deviation of fatigue. The length of the break for picker j after s/he completes the $(i-1)^{\text{th}}$ order and before s/he starts picking the i^{th} order is defined as in Eq. (4). The initial fatigue coefficient of the picker is set to unity for all pickers, as in Eq. (5). We define the amount of fatigue of picker j in picking i^{th} order to be the fatigue level multiplied by the number of items to pick, as in Eq. (6). Eq. (7) defines the total fatigue of picker j .

At the boundary of two consecutive zones, there is a buffer space that can accommodate m bins. The starting time for picker j to pick the i^{th} order is formulated as Eq. (8). That is, when there is at least one empty output buffer space for picker j , s/he can start picking the i^{th} order only when s/he has completed the $(i-1)^{\text{th}}$ order ($S_{ij} \geq F_{i-1,j}$) and the preceding picker $(j-1)$ has completed picking the i^{th} order ($S_{ij} \geq F_{i-1,j}$). On the

other hand, when there is no empty output buffer space for picker j , s/he can start picking the i^{th} order only when the above two conditions are met and the succeeding picker ($j+1$) picks the first waiting job out of his input buffer so that one empty space becomes available for picker j in his/her output buffer ($S_{ij} \geq S_{i-1-m,j+1}$). We also assume the following.

- The first picker will never starve for work since all orders are ready.
- Picking any unit item yields the same amount of fatigue for every picker.
- Each picker's travel time for picking within his/her own zone is negligible.
- Each picker immediately starts picking if s/he finds a bin waiting in the input buffer.
- The time for a completed bin to be moved to the output buffer is negligible.
- No item shortage occurs in the rack.

3.3 A numerical example

Consider a pick-and-pass picking system having four zones, each of which is picked by pickers A, B, C, and D, respectively, as shown in Figure 1. Suppose there are six orders whose respective numbers of items to pick at each zone are given in Table 1.

Table 1. An example of (P_{ij}) for four pickers and six orders

Order \ Picker	A	B	C	D
1	2	2	7	3
2	3	1	1	6
3	10	1	6	5
4	7	8	6	10
5	7	9	7	9
6	5	5	6	4

Let $\alpha = 0.1$; $m = 1$; and $S_{IA} = 0$. For a particular order sequence of 1-2-3-4-5-6, the length of break (b_{ij}) and fatigue level (r_{ij}) for picker j to pick i^{th} order can be determined using Eq.(1) through (8); as shown in Table 2. The resulting pickers' fatigue (f_j) and makespan for three arbitrary order sequences are compared in Table 3.

In this example, the order sequence 6-4-2-1-3-5 yields the minimum total fatigue and minimum fatigue deviation, while the sequence 1-2-3-4-5-6 minimizes the makespan. For n orders, the number of possible sequences is $n!$. For a practical problem size of, say, 100 orders, enumeration is prohibitive in terms of the computing time. Hence, we need to identify an algorithm that will result in better average performance in terms of the makespan and/or fatigue deviation.

Table 2. The values of sequence <1-2-3-4-5-6> of six orders for four pickers

order	Picker A				Picker B				Picker C				Picker D			
	S_{IA}	F_{IA}	b_{IA}	r_{IA}	S_{IB}	F_{IB}	b_{IB}	r_{IB}	S_{IC}	F_{IC}	b_{IC}	r_{IC}	S_{ID}	F_{ID}	b_{ID}	r_{ID}
1	0	2	X	1.00	2	4	X	1.00	4	11	X	1.00	11	14	X	1.00
2	2	5	0	1.10	5	6	1	1.00	11	12	0	1.10	14	20	0	1.10
3	5	15	0	1.21	15	16	9	1.00	16	22	4	1.00	22	27	2	1.00
4	15	22	0	1.33	22	30	6	1.00	30	36	8	1.00	36	46	9	1.00
5	22	29	0	1.46	30	39	0	1.10	39	46	3	1.00	46	55	0	1.10
6	29	34	0	1.61	39	44	0	1.21	46	52	0	1.10	55	59	0	1.21

Table 3. The resulting pickers' fatigue and makespan for the three order sequences

Order sequence	Pickers' fatigue				Total fatigue	Fatigue deviation	Makespan
	A	B	C	D			
1-2-3-4-5-6	45.02	27.95	33.70	39.34	146.01	7.34	59
6-4-2-1-3-5	37.11	26.52	34.62	40.10	138.35	5.83	62
3-6-5-1-2-4	38.34	26.41	34.51	41.87	141.13	6.64	66

4. Heuristic algorithms

The problem that we address in this paper is a combinatorial optimization problem in which we find the best order sequence out of $n!$ possible sequences. For this type of problem, no efficient optimal solution procedure will be available. Instead, we can define a few rules for order sequencing, and compare them in terms of the average performance by using computer simulation so that we can hopefully identify a rule that outperforms all others.

In developing heuristic algorithms for this problem, as we consider changing the sequence of orders, the only data we have is P_{ij} , the number of items for picker j to pick in the order i (= time for picker j to complete order i). Therefore, in searching for good heuristic algorithm, we can only consider the heuristics that determines the order sequence by using the values obtained from P_{ij} 's, such as sequencing the orders in ascending order of the total number of items to pick for order i , or the total picking load for picker j . In this section, we will propose eight heuristic algorithms to determine the order sequence.

4.1 Quantity-based heuristics

We consider the heuristic algorithms that are based on the number of picks in each order. Let $Q_i = \sum_j P_{ij}$ and $R_j = \sum_i P_{ij}$ denote the total number of items to pick for order i and the total picking load for picker j , respectively. Based on Q_i , we propose the following four heuristics (Break ties randomly).

- QA: Sequence the orders in ascending order of Q_i .
- QD: Sequence the orders in descending order of Q_i .
- QL: Sequence the orders in alternating order of Q_i (with the order having the largest Q_i as the first).
- RL: Sequence the orders in alternating order of the picking quantity of picker j whose total picking quantity $R_j = \sum_i P_{ij}$ is the largest among all the pickers for the given set of orders.

4.2 Fluctuation-based heuristics

We define the fluctuation of order i (F_i) as the sum of the squares of the differences in the picking load between

consecutive zones, as described in Eq. (9).

$$F_i = \sum_{j=1}^{J-1} (P_{ij} - P_{i,j+1})^2 \quad (9)$$

Using this term, we define the following two heuristics.

- FA: Sequence the orders in ascending order of F_i .
- FD: Sequence the orders in descending order of F_i .

4.3 Difference-based stepwise heuristics

Another pair of heuristics considers the difference between pairs of orders. Let $V(i,k)$ denote the sum of the squares of the respective differences in the picking load for all the pickers between orders i and k , as described in Eq. (10).

$$V(i,k) = \sum_{j=1}^J (P_{ij} - P_{kj})^2 \quad (10)$$

Using this term, we define the two heuristics DS (resp., DL) as follows. First, select as the next order k the one that attains the smallest (resp., largest) difference from the current order i . These two algorithms need to be described in more detail as follows.

<Algorithm DS>

Let $\phi(k)$ denote the k^{th} order in the input sequence.

$n:=1$

Let $\mathcal{Q}$ denote the set of orders, that is, $\mathcal{Q} = \{1, 2, \dots, I\}$.

Step 1: Find j^* such that $R_{j^*} \leq R_j$ for all j (break ties randomly).

Find y such that $P_{yj^*} \leq P_{yj^*}$ for all i . $\phi(1)=y$.

Step 2: $w:=y$.

$\mathcal{Q} := \mathcal{Q} - \{y\}$.

If $\mathcal{Q} = \emptyset$, stop.

Find y such that $V(w,y) \leq V(w,i)$ for all $i \in \mathcal{Q}$.

$n := n + 1$.

$\phi(n) := y$. Go to Step 2.

Algorithm DL is the same as DS except that the inequality in Step 2 is in the opposite direction. The reason why the proposed heuristics are only related to P_{ij} is that P_{ij} 's are the only information that we have in determining the sequence of the orders. For the reason why they will help in minimizing

the deviation of total fatigues among pickers, the first four heuristics in 4.1 have weak ground, as they are based on the total number of items to pick for each order. However, the two heuristics in 4.2 consider F_i , the fluctuation of order i , which is the square sum of the difference between the number of items to pick at adjacent pickers for order i . Since this quantity will reflect the changes of the work load at the adjacent pickers for each order to some extent, the total fatigue and fatigue deviation obtained from these two heuristics are better than those from the first four heuristics, as will be shown in Figure 4 and 5.

The last two heuristics in section 4.3 have quite a strong ground because the heuristics DS chooses as the next order the one whose sum of square of the difference of the number of items to pick between the order and its predecessor for all pickers, as defined in Eq. (10), is the smallest. By doing so, each picker is most likely to receive the sequence of orders in which the picking loads are evenly distributed, which will minimize the deviation of fatigue. DL, on the other hand, is the opposite of DS, thereby resulting in the largest total fatigue and fatigue deviation, as will be shown in Figure 4 and 5.

Regarding the usability of the proposed algorithms, especially the best one, DS, it is expected from the experimental results that the total fatigue and fatigue deviation of the pickers will be minimized simply by determining the processing sequence of the collected orders. This algorithm can be easily implemented in a personal computer at the order picking area of distribution centers. Hence we believe that the proposed DS heuristic has a good practical usability.

5. Performance evaluation

We evaluate the average performance of the eight heuristic algorithms that we presented in the previous section using simulation. Since all the parameters are deterministic, we use Microsoft Excel 2007 as the simulation tool. We assume six zones and six pickers; further, 100 orders are received every day. For each order, we set the number of picks in each zone to be uniformly distributed between 0 and 10. We let the size of the buffer storage space (m) between consecutive zones to be $m = 0, 1, 2, \dots, 5$. The simulation runs for 100 days to

estimate the average total makespan, total fatigue of pickers as defined in Eq. (2), and fatigue deviation.

5.1 Average makespan

Figure 2 shows that the average makespan decreases as the buffer size increases up to a certain size, say, three, for all algorithms. Note that the decrease in the makespan is alleviated as the buffer size exceeds two. When $m = 0$, algorithm QD performs best. However, when $m \geq 1$, DL significantly outperforms the other heuristics. Note that DS yields the longest makespan.

Recall that we model pickers' fatigue in section 3.1 such that when a picker receives a bin with no item to pick, the bin neither increases nor decreases the fatigue of the picker. Suppose, however, that bins with no items to pick let the picker have a break of one unit of time (which is equal to the time to pick one item from the rack). The simulation results show that such a change does not create any significant

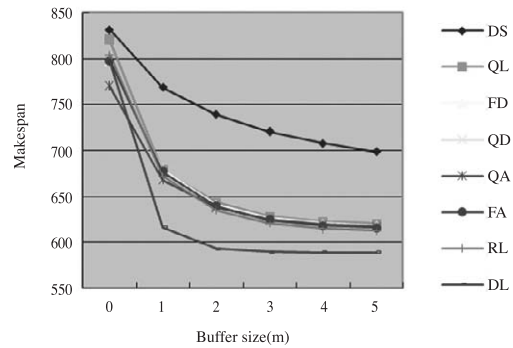


Figure 2. The average makespan as the buffer size increases

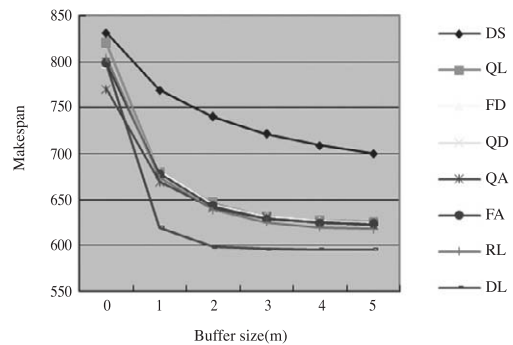


Figure 3. The average makespan when bins with no items to pick let the picker have a break of two units of time.

Table 4. Average (and standard deviation in the parenthesis) of makespan from the heuristics as the buffer size increases

Buffer		0	1	2	3	4	5
Heuristic							
DS		831.49	768.55	739.15	720.29	707.65	698.58
		(17.48)	(19.34)	(20.55)	(22.92)	(24.51)	(25.82)
QL		819.70	677.29	643.04	627.49	622.40	620.14
		(15.96)	(17.92)	(18.59)	(19.14)	(19.73)	(19.95)
FD		796.91	678.70	641.57	626.77	621.03	618.56
		(18.23)	(16.26)	(18.04)	(19.73)	(20.66)	(20.76)
QD		768.92	669.19	636.80	624.78	620.28	617.96
		(16.71)	(16.89)	(17.77)	(17.83)	(18.17)	(18.71)
QA		769.59	667.74	637.46	624.66	619.03	616.89
		(16.99)	(19.29)	(20.63)	(20.84)	(20.68)	(20.40)
FA		797.58	676.47	639.47	623.76	618.07	615.84
		(17.43)	(14.92)	(15.85)	(15.98)	(16.96)	(17.41)
RL		804.14	671.71	634.84	620.71	614.81	612.58
		(17.14)	(14.22)	(16.35)	(17.85)	(18.46)	(19.02)
DL		797.10	616.44	592.44	589.10	588.76	588.65
		(18.49)	(16.17)	(16.55)	(17.02)	(17.11)	(17.16)

Table 5. Average (and standard deviation in the parenthesis) of makespan when bins with no items to pick let the picker have a break of two units of time

Buffer		0	1	2	3	4	5
Heuristic							
DS		831.69	769.03	739.94	721.33	708.86	700.12
		(17.27)	(19.15)	(20.39)	(22.68)	(24.24)	(25.70)
QL		819.72	678.57	645.81	631.76	627.33	625.68
		(15.98)	(17.99)	(18.39)	(18.77)	(19.20)	(19.44)
FD		797.23	680.27	644.86	631.43	626.54	624.52
		(18.18)	(16.13)	(17.89)	(19.42)	(20.18)	(20.40)
QD		769.54	670.97	639.82	629.26	625.48	623.92
		(16.65)	(16.60)	(17.29)	(17.27)	(17.61)	(18.00)
QA		770.05	669.46	640.54	629.14	624.23	622.35
		(16.81)	(18.92)	(20.02)	(20.01)	(19.69)	(19.46)
FA		797.88	677.98	642.44	628.90	624.32	622.59
		(17.34)	(15.00)	(15.71)	(15.53)	(16.52)	(17.05)
RL		804.29	673.50	638.43	624.99	619.74	617.91
		(17.16)	(13.97)	(16.34)	(17.33)	(17.62)	(18.12)
DL		797.20	619.41	598.23	595.86	595.59	595.48
		(18.41)	(16.00)	(16.70)	(17.14)	(17.19)	(17.23)

change in pickers' fatigue, even when the break is two units of time long, as shown in Figure 3 and Table 5. Therefore, we will examine only the cases when a picker receives a bin with

no item to pick; then, the bin neither increases nor decreases the fatigue of the picker in the following study.

5.2 Total fatigue

Figure 4 shows the average total fatigue for each heuristic. It is observed that as the buffer size increases, the total fatigue increases, especially when $m \geq 2$. This is because more than one buffer space will absorb the fluctuation so that pickers will be more likely to continue working without breaks between orders. It is worth noting that DL and DS yield the largest and smallest total fatigue for all $m \geq 2$, respectively.

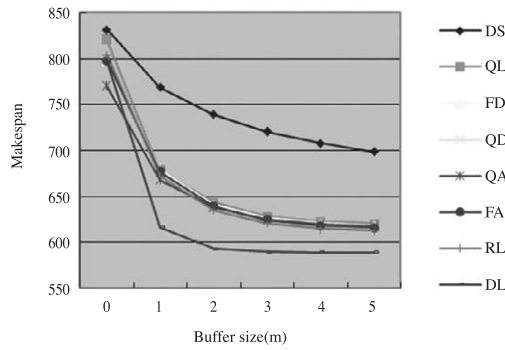


Figure 4. The average total fatigue as the buffer size increases

5.3 Fatigue deviation

Figure 5 shows the average fatigue deviation for each heuristic. It is observed that as the buffer size increases, the fatigue deviation increases, especially when $m \geq 2$. It is worth noting that DL and DS again yield the largest and smallest fatigue deviation for all $m \geq 2$, respectively. This is because DL and DS select the next order based on the relationship to the current order. That is, using DS, pickers will receive the orders in such a sequence that the pick loads of consecutive orders have the smallest difference.

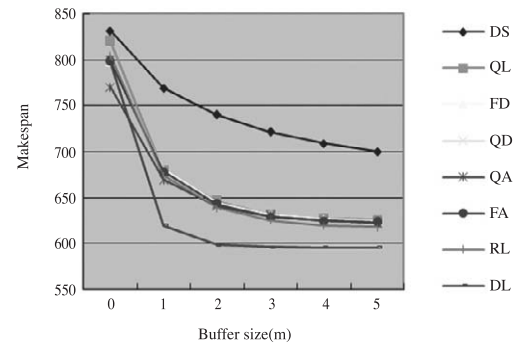


Figure 5. The average fatigue deviation as the buffer size increases

Table 6. Average (and standard deviation in the parenthesis) of total fatigue as the buffer size increases

Heuristic \ Buffer	0	1	2	3	4	5
DL	3,126 (76)	23,085 (20,115)	347,826 (200,438)	708,814 (300,486)	913,189 (316,568)	1,034,420 (330,024)
QA	3,283 (88)	6,259 (1,696)	32,759 (33,190)	152,972 (179,175)	331,166 (290,371)	548,069 (340,092)
RL	3,204 (82)	5,486 (1,332)	32,391 (26,069)	136,739 (114,219)	321,249 (226,247)	520,477 (287,076)
FA	3,225 (81)	5,648 (3,724)	29,090 (28,310)	128,348 (140,696)	275,638 (220,879)	426,013 (261,443)
QL	3,207 (84)	5,341 (930)	25,734 (32,987)	108,354 (125,402)	245,364 (210,115)	410,684 (273,078)
FD	3,225 (85)	5,272 (1,474)	20,916 (15,658)	91,289 (104,189)	215,042 (169,499)	370,401 (242,802)
QD	3,284 (92)	5,942 (1,531)	21,635 (17,907)	62,139 (56,761)	132,844 (108,294)	221,712 (149,271)
DS	3,865 (214)	5,527 (1,052)	7,386 (2,199)	10,309 (4,744)	15,660 (9,740)	27,287 (26,346)

Table 7. Average (and standard deviation in the parenthesis) of fatigue deviation for different buffer sizes

Buffer		0	1	2	3	4	5
Heuristic							
DL	36	5,601	94,675	183,164	226,308	245,656	
	(11)	(7,883)	(68,867)	(89,121)	(80,603)	(71,657)	
QA	46	632	8,554	46,961	103,528	170,980	
	(16)	(547)	(12,767)	(66,454)	(110,560)	(126,809)	
RL	36	443	7,770	37,455	88,943	143,469	
	(13)	(470)	(9,404)	(41,541)	(80,228)	(94,131)	
FA	40	529	7,132	38,001	80,780	123,548	
	(13)	(1,279)	(10,465)	(55,596)	(81,634)	(90,347)	
QL	40	395	5,672	30,400	72,622	121,856	
	(12)	(289)	(9,968)	(44,431)	(75,869)	(97,564)	
FD	41	404	4,208	24,525	58,627	102,590	
	(13)	(529)	(5,027)	(38,238)	(60,956)	(85,695)	
QD	46	545	4,563	15,489	35,789	61,139	
	(18)	(513)	(6,506)	(21,120)	(40,175)	(53,838)	
DS	107	333	671	1,290	2,559	5,985	
	(50)	(311)	(683)	(1,552)	(3,530)	(10,337)	

5.4 Analysis

Experimental results indicate that the heuristic DS significantly outperforms the other heuristic algorithms in terms of total fatigue and fatigue deviation, as shown in Figure 4 and 5, respectively. Table 6 and 7 show that DS performs approximately ten times better than the next best heuristic (QD). Figure 3 shows that algorithm DS increases the average makespan by 12.5% over the other algorithms, which can be regarded as acceptable for the profit of dramatic reduction of total fatigue and fatigue deviation by algorithm DS. This increase of makespan can be absorbed by wave picking, in which a set of orders that arrive in a certain time window are picked together.

Note that the deviation increases as the average increases. This explains why figure 4 and 5 look alike. That is, the algorithm DS results in the least amount of fatigue, as shown in Figure 4, thereby minimizing the deviation of fatigue also, as shown in Figure 5. Minimizing both the total fatigue and fatigue deviation is desirable for the pickers.

6. Conclusion

In this paper, we study the pick-and-pass order picking system where bins representing customer orders are moved via a conveyor along which picking zones are located. The designated picker for each zone picks items that are located in that zone and passes the bin to the succeeding zone. Such a system is widely used for the order picking of small and expensive items such as cosmetics and healthcare products.

Unlike most research in the order picking, we study the issue of pickers' fatigue, which is becoming more important for the human resource management and employee satisfaction. We present a quantitative fatigue model for pickers in the pick-and-pass order picking system. For a given set of customer orders and item locations in the zones, the problem is to determine the sequence of the orders to be input to the first zone.

We present eight heuristic algorithms for this problem. Simulation results indicate that the heuristic algorithm DS significantly outperforms the other heuristics that we propose in relation to the total fatigue and the fatigue deviation. For practical cases with a buffer size of two (resp., three) between adjacent zones, DS yields a total fatigue of only 34% (resp.,

17%) of that of the next-best algorithm (QD). Furthermore, DS yields a fatigue deviation of only 15% (resp., 8%) of the next-best algorithm (QD) for a buffer size of two (resp., three). The improvement is even greater if we compare the performance of DS with that of other heuristics.

It is significant that we can reduce the total fatigue of the pickers by 66~83% simply by determining the order sequence. Note that the makespan is increased by about 12.5% from the above comparison, which can be absorbed by discrete operations in the delivery process. It is also observed that if the pickers have more frequent breaks between consecutive picks, the makespan will increase and the pickers' fatigue will decrease. That is, there is a trade-off between the pickers' fatigue and the makespan. Our problem has only one objective function, which is to minimize the total fatigue, as in Eq.(2). Another measure, makespan, is examined to see if or not the makespan increases too much for the best performing algorithm.

The contribution of this study is to provide a simple algorithm to determine the sequence of orders to the pick-and-pass order picking system such that the total fatigue (and also fatigue deviation) of the pickers is minimized. Given a set of orders, total amount of work for each picker is fixed. However, since the total fatigue of a picker is assumed to depend on the order sequence, the algorithm (DS) we propose as the best heuristic can contribute to minimizing the pickers' complaints about seemingly unfair work load.

A possible extension of this study will include order picking using a paced conveyor along the zones, which boils down to the problem of Yano and Rachamadugu (1991) but with multiple states determined by the amount of picks at each station. Another possible extension of this paper is to study how to determine the boundaries between adjacent zones along the conveyor for a given set of orders such that the total fatigue and/or the fatigue deviation is minimized. We have selected the configuration of six picking zones because we thought it will represent a typical pick-and-pass order picking system. The average performance of the proposed heuristics will not change much as the number of zones changes. Analysis on the impact of the number of zones on the performance of the heuristics may be an interesting subject for further study.

REFERENCES

- [1] Babski, K., Crumpton-Young, L., Riley, J., Nitcavic, L., and Gentry, H. (2000), 'An Investigation of the Relationship between time stress and fatigue', *The Proceedings of the Ninth Annual Institute of Industrial Engineering Research Conference*, USA, May.
- [2] Beurskens, AJHM, Bultmann, U., Kant, I., Vercoulen, JHMM., Bleijenberg, G., and Swaen, GMH. (2000), 'Fatigue among working people: validity of a questionnaire measure', *Occupational Environmental Medicine*, Vol. 57, pp.353-357.
- [3] Coyle, J. J, Bardi, E. J., and Langley, C. J. (1996), *The management of business logistics*, St. Paul, MN: West Publishing Co.
- [4] Dallari, F., Marchet, G., and Melacini, M. (2009), 'Design of order picking system', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 42, pp.1-12.
- [5] De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J. (2007), 'Design and control of warehouse order picking: a literature review', *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, pp.481-501.
- [6] Koo, P.H. (2009), 'The use of bucket brigades in zone order picking systems', *OR Spectrum*, Vol.31, pp.759-774.
- [7] McLaughlin, J. L. (2007), *Stress, Fatigue and Workload: Determining the Combined Affect on Human Performance*. Ph.D. Thesis. University of Central Florida, Florida, USA.
- [8] Meller, R.D. and Gau, K.Y. (1996), 'The facility layout problem: Recent and emerging trends and perspectives', *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.15, pp.351-366.
- [9] Melacini, M., Perotti, S., and Tumino, A., (2011), 'Development of a framework for pick-and-pass order picking system design', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(9-12), 841-854.
- [10] Pan, J. C. H. and Wu, M. H., (2009), 'A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system', *Computers and Industrial Engineering*, 57(1), 261-268.
- [11] Parikh, P.J. and Meller, R.D. (2008), 'Selecting between

- batch and zone order picking strategies in a distribution center', *Transportation Research Part E*, Vol.44, pp.696-719.
- [12] Rim, S. C. and Park, I. S. (2008), 'Order picking plan to maximize the order fill rate', *Computers and Industrial Engineering*, Vol.55, pp.557-566.
- [13] Roodbergen, K. J. and De Koster, R. (2001), 'Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle', *European Journal of Operations Research*, Vol.133, pp.32-43.
- [14] Russel, M. L. and Meller, R. D. (2003), 'Cost and throughput modeling of manual and automated order fulfillment systems', *IIE Transactions*, Vol.35, pp.589-603.
- [15] Saito K. (1999), 'Measurement of Fatigue in Industries', *Industrial Health*, Vol.37, 134-142.
- [16] Schultz, K. L., Schoenherr, T., and Nembhard, D. (2010), 'An example and a proposal concerning the correlation of worker processing times in parallel tasks', *Management science*, 56(1), 176-191.
- [17] Shiau, J.Y. and Lee M.C. (2010), 'A warehouse management system with sequential picking for multi-container deliveries', *Computers and Industrial Engineering*, Vol.58, 382-392.
- [18] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., and Tanchoco, J. M. A. (2003), *Facilities Planning*, New York: John Wiley & Sons.
- [19] Weijman, I., Ros, W. J. G., Rutten, G. E. H. M., Schaufeli, W. B., Schabracq, M. J., and Winnubst, J. A. M. (2003), 'Fatigue in employees with diabetes: its relation with work characteristics and diabetes related burden', *Occupational Environmental Medicine*, Vol.60, 93-98.
- [20] Yano, C. A. and Rachamadugu, R. (1991), 'Sequencing to minimize work overload in assembly lines with product options', *Management Science*, Vol.37(5), pp.572-586.
- [21] Yu, M. and De Koster, R. (2008), 'Performance approximation and design of pick-and-pass order picking systems', *IIE transactions*, 40(11), pp.1054-1069.



최 원 석

서울과학기술대학교 산업정보시스템
공학과 학사

아주대학교 산업공학과 석사

현재: 한국철도기술연구원
녹색교통물류연구본부 연구원

관심분야: SCM, 물류, 시뮬레이션



임 석 철

서울대학교 산업공학과 학사

KAIST 산업공학과 석사

U. of Michigan 산업공학과 박사

현재: 아주대학교 산업정보시스템공학부
교수

관심분야: SCM, 물류, 시뮬레이션

보육시설의 식자재 구매 계약 과정에서 품질관리를 위한 경제학적 분석

송승민^{*†} · 김태호^{**} · 이유현^{***}

^{*}수원대학교 아동가족복지학과 · ^{**}인천대학교 경영학과 · ^{***}수원대학교 식품영양학과

Economics of Quality in Food Procurement Contracting of Child Care Centers

Seung-Min Song^{*†} · Taeho Kim^{**} · Yoo-Hyun Lee^{***}

^{*}Department of Child & Family Welfare, University of Suwon

^{**}Department of Business Administration, University of Incheon

^{***}Department of Food Science & Nutrition, University of Suwon

This paper models and solves the principal-agent models for the procurement of food materials in child care centers when quality is perfectly observable and when quality is not perfectly observable in supply chain concentrating. When quality is perfectly observable by child care center as principal, the optimal solution is the first-best solution where the marginal utility of parents/children obtained from the quantity and quality supplied by supplier is equal to the marginal cost to supply them. However, when quality is not perfectly observable to child care centers the optimal solution cannot be the first-best but the second-best where the sum of unit price and quality incentive is greater than the marginal cost to supply the quantity and quality and social welfare is reduced by the multiplication of the marginal cost of quality and the inverse of success rate function of cumulative distribution function of quality from that in the first-best optimal solution.

Keywords: Quality observability, Principal-agent model, Incentive compatibility, First-best social welfare, Second-best social welfare, Child care centers

1. Introduction

A key challenge facing today's procurement activity is the management of quality (Kim and Weaver, 1995; Weaver,

1993). Because quality of products/services supplied from suppliers in supply chain is one of the most important determinants of quality of products/services produced /provided by procurers, procurers should get an appropriate quantity of products/services with appropriate quality from

† Corresponding Author : Assistant Professor, Department of Child & Family Welfare, University of Suwon, San 2-2 Wau-ri, Bongdam-eup, Hwasung, Kyunggi-do 445-743 Tel : 82-31-220-2597 E-mail: smsong@suwon.ac.kr

* 2011년 9월 4일 투고, 9월 23일 게재 확정.

suppliers in order to guarantee the appropriate quality to final products/services. Recent experience in supply chain research provides an important case for analysis of opportunity for supply chain contracting to manage the quality in supply chain. Weaver and Kim (1999) and Kim (2006) demonstrated that grades and standards leave in place substantial incentives for supply chain management of quality. These incentives pose an important turning point for the industry since they may motivate either substantial vertical integration or achieve supply chain management through the structurally neutral approach of contracting. In fact, regulative alternatives such as grades and standard to manage quality are dominated by contracting alternatives (Kim, 2006).

From the property of quality, quality can be classified into two cases: quality is perfectly observable to all players within supply chain and quality is not perfectly observable to at least some players within supply chain. For example, both procurer and supplier of used cars cannot observe the quality of used cars perfectly even though supplier can have more information on the cars than procurer (Akerlof, 1970). Dairy food manufacturer (procurer of raw milk) observes the quality of raw milk imperfectly. This observability of quality can make some considerable difference in the procurement decision by procurers and as a result, in welfare of procurers and suppliers. This paper deals with the microeconomic analysis of this kind of quality-based supply chain contracting problem through a principal-agent model and examines the impacts of the observability of quality in supply chain on utility of procurers and suppliers, and social welfare concentrating on the case of food procurement by child care centers.

Child care centers can provide a good example for quality-based supply chain contract in that they must manage the quality of foods provided to children every day which is totally dependent on the quality of food materials such as meats, fish, vegetables, and dairies etc. supplied by suppliers. The importance of providing quality food to children cannot be overemphasized because foods provided to children in children center will affect the future health status of children and bad quality foods can expose many children to the danger of serious infections. In Korea, approximately 1,175,000 children are attending child care centers and are fed at least once a day by child care centers. Since the standard feeding

cost for a child per day is about 2,100 KRW, total annual cost is approximated to 641,550 million KRW in 2009 (from the homepage of Korea Ministry of Health and Welfare: http://english.mw.go.kr/front_eng/index.jsp). Because this large amount of money is used for contracting for the food procurement by child care centers, the impact on social welfare will be predicted to be huge.

Though the notion that quality can be explicitly managed through supply chain is the focus of extensive literature in management science under the banner of Total Quality Management (TQM) it has received little attention within the context of neoclassical microeconomics. Chong (1996), De Vany and Saving (1983), Dotchin and Oakland (1992), and Lederer and Rhee (1995) implemented some pioneering work on how to define and bring quality to profit function and utility function. Baron (1981) studied the price regulation under information asymmetry on quality between government and firms. Deaton (1988) and Wenmoth (1992) contributed to pricing quality based on the market value of it. Recently, Bogetoft and Olesen (2004), Valeeva et al. (2004), and Bahlmann and Spiller (2008) researched the quality management problem in supply chain for food safety. As noted, this paper is differentiated from past researches in that it models quality-based principal-agent model, solves it under contracting environment, and find some good insights into welfare.

This paper is made up as follows. Next section provides an overview of food procurement contracting process by child care centers with food material suppliers in supply chain. The third section discusses the basic notations for modeling and sets the principal-agent models, and the fourth section solves the models. Finally, section 5 writes up conclusion.

2. Overview of the food material procurement process of child care centers

Generally, child care centers procure all food materials which are required to cook foods for children from a large wholesalers or retailers such as CJ Food, Homeplus, and E-Mart through a blanket contract because it will cause a lot of

administrative cost and searching cost to procure food materials from a variety of suppliers. The contract can be renewed monthly following the menu decided also monthly by child care center. The quantity, quality, and price per unit of food materials should be determined through contract. Quality of food materials is defined based on multiple factors such as nutrients and pollutants. For example, the beef of 100 gram supplied by different suppliers includes different amount of protein, carbohydrate, antibiotic residues, and heavy metals though it supplied to child care center already passed the government standard for nutrients and pollutants. Thus, a food material including more nutrients and less pollutants in unit amount can be regarded as higher quality. A unit of food material with higher quality will be compensated by quality incentives in addition to unit price. Quantity of food materials will be ordered sufficiently enable to make children feel full and moreover, offer them at least the minimum requirement of nutrients, which is how to related quantity to quality.

In order to procure food materials, child care centers have a predetermined budget which is somewhat flexible because they can get extra budget from government or founders if current budget is not enough. Thus they will try to minimize procurement cost rather than to keep current budget. Moreover, while they will not pursue profit by processing food materials procured they should try to give maximum satisfaction to children and their parents as customers. Therefore, they will try to maximize the utility of customers and to minimize the procurement cost simultaneously also guaranteeing profit or utility to suppliers large enough to encourage them to participate in contract.

If suppliers reveal the quality of food materials which they want to supply truly the procurement process described above will not be problematic. As noted, child care centers may have only to procure appropriate quantity of food materials with appropriate quality at appropriate price from appropriate supplier observing the exact quality of food materials. However, if suppliers do not reveal the quality truly and child care centers cannot observe the exact quality before procurement child care centers should endure loss from this kind of information asymmetry and as a result, social welfare can be affected.

3. Principal-agent model for contracting

Following and extending the models of Lederer and Rhee (1995) and Salanie (1998), this paper starts from the following notations. Suppose a supplier (e.g. large-size retailer) prepares a vector of quantity $y(=(y_1, \dots, y_n))$ that has continuously variable quality $q(=(q_1, \dots, q_n))$ to supply it for n food material items to child care center. Each element of q , q_i indicates the composite quality level of food material item i integrating the level of multiple factors regarding quality. The neoclassical cost function of the supplier's preparation becomes $C(y, q)$. The properties of cost function are assumed to be $\frac{\partial C}{\partial y} > 0$, $\frac{\partial C}{\partial q} > 0$, $\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \leq 0$, $\frac{\partial^2 C}{\partial q^2} \leq 0$, and $\frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q} > 0$. As noted, this quality may be perfectly observable and imperfectly observable to child care center while quantity is always perfectly observable. Before closing the layout of notation, it is possible to generalize the objective of quality management to allow for incentives (λ) for quality attainment q (Lederer and Rhee, 1995).

Based on the above notations, the utility function of supplier as the agent is defined as $U^s(\pi^s) = U^s(py + \lambda yq - C(y, q))$ where $U^s()$ is a utility function for suppliers, π^s is the profit of suppliers, p is the vector of market unit prices of food materials supplied by suppliers, λ and is the vector of quality incentives for a unit of food materials (Lederer and Rhee, 1995). The objective function of child care center as the principal, U^p is defined as $B(y, q) - py - \lambda yq$ where $B()$ is the benefits of child care center from quantity y and quality q supplied by supplier which as noted, is the utility or satisfaction of customers.

Based on the utility functions defined above, the principal-agent models are developed to decide the contracting parameters, y , q and λ . As noted, child care center becomes principal who decides the contracting parameters and cannot observe the quality of food materials supplied by supplier in the case of information asymmetry where quality is not observable to child care center while it is perfectly observable to supplier and supplier becomes agent who takes principal's decision on contracting parameters and can conceal the true quality of her/his food materials. There are two models available: model for information symmetry case where quality is perfectly observable and model for information asymmetry case.

3.1. Model for information symmetry case

Model for information symmetry case where both child care center and supplier can observe the quality of products supplied by suppliers perfectly is as follows:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{y,q,\lambda} U^p &= B(y,q) - py - \lambda yq \\ \text{subject to,} \\ U^s(py + \lambda yq - C(y,q)) &\geq \underline{U}^s \quad (IR) \end{aligned} \quad (1)$$

where $\underline{U}^s$ is the reservation utility for supplier which is the minimum utility level which child care center must guarantee to encourage supplier to participate in contract. As noted above, the utility function of child care center, U^p consists of the benefits obtained from the consumption of y and q by parents and children and procurement cost of y and q and the utility function of supplier, U^s takes the revenue factor obtained from supplying y and q to child care center and cost factor caused by supplying y and q to child care center. Child care center decides the quantity (y), quality (q), and quality incentive (λ) to procure from supplier in order to maximize the utility of customers and to minimize the procurement cost simultaneously. Constraint (*IR: Individual rationality*) means that child care center should guarantee the reservation utility to supplier in order to encourage supplier to participate in contract. Reservation utility is, generally, the utility level which supplier can obtain when she/he operates independently rather than participating in contract.

3.2. Model for information asymmetry case

In information asymmetry case, supplier can get more utility by lying on his/her quality than by revealing his/her quality truly. Thus, quality of a supplier can be regarded as a type variable of the supplier instead of the decision variable. This lying can affect the utility of child care center and moreover, social welfare seriously. Therefore, the most important point in contract is how child care center leads supplier to reveal her/his quality truly. In information asymmetry case, though child care center cannot observe the quality of products supplied by supplier perfectly it is assumed to know the distribution of quality in market.

The model is as follows.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{y,\lambda} U^p &= \int_{\underline{q}}^{\bar{q}} (B(y,q) - py - \lambda yq) f(q) dq \\ \text{subject to,} \\ U^s(py + \lambda yq - C(y,q)) &\geq \underline{U}^s \quad (IR) \\ U^s(py + \lambda yq - C(y,q)) &\geq U^s(py + \lambda yq' - C(y,q)) \quad (IC) \end{aligned} \quad (2)$$

where q' is the quality level which supplier pretend to supply though she/he supplies q and $f(q)$ is the probability density function of quality in market in the range of $[\underline{q}, \bar{q}]$. q' is assumed to be greater than q without any loss of generality. Two things are different from information symmetry case. One is that q is not a decision variable any more and as the result, the expected utility of child care center with respect to quality distribution is maximized by deciding quantity and quality incentive. Two is that incentive compatibility (*IC*) constraints are added to constraints.

Child care center decides the quantity (y) and quality incentive (λ) to procure from supplier in order to maximize the utility of customers and to minimize its utility based on the quality revelation by supplier. Constraint (*IC: Incentive compatibility*) means that procurer should decide contracting parameters (y, λ) with which supplier can obtain more utility by revealing her/his true quality than by lying on it.

4. Economic solution of Principal-agent model

In order to examine how imperfect quality observability affects the utility of child care center, supplier, and social welfare, the principal-agent models in equation (1) and (2) are solved theoretically here. For simplification of analysis, suppose that supplier is risk neutral, that is, $U^s(\pi^s) = U^s(py + \lambda yq - C(y,q)) = py + \lambda yq - C(y,q)$ and the utility function of customers $B(y,q)$ is replaced by $u^p(y,q)$. Here, the form of $C(y,q)$ and $u^p(y,q)$ can be assumed to be a generally used functional form such as Cobb-Douglas type. These assumptions simplify some technical points and mainly enable us to use surplus analysis. Moreover, supplier is assumed to operate in perfectly competitive market, which implies that the reservation utility should be zero since she/he will obtain zero profit from the independent operation in perfectly competitive market.

4.1. Information symmetry case

Equation (1) is modified into equation (3) by the above assumptions.

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{y,q,\lambda} u^p(y,q) - py - \lambda yq \\ & \text{subject to,} \\ & py + \lambda yq - C(y,q) \geq 0 \quad (IR) \end{aligned} \quad (3)$$

Equation (3) can be easily solved by using Lagrangean multiplier method. The detail solution process is illustrated in Appendix 1. The results show that procurer decides y^* , q^* , and λ^* which satisfy $\frac{\partial u^p}{\partial y}(y^*, q^*) = \frac{\partial C}{\partial y}(y^*, q^*)$ and $\frac{\partial u^p}{\partial q}(y^*, q^*) = \frac{\partial C}{\partial q}(y^*, q^*)$. These results imply that the optimal solution for information symmetry case is the point where the marginal utility from quantity for child care center is equal to the marginal cost to supply quantity for supplier which is equal to the marginal utility from quantity for supplier in perfectly competitive market and the marginal utility from quality for child care center is equal to the marginal cost to produce quality for supplier which is equal to the marginal utility of quality for supplier in perfectly competitive market. This is consistent with the results of neoclassical economic theory and can be called the first-best optimal result. The first-best social surplus becomes $u^p(y,q) - C(y,q)$, which implies that there is no additional loss in social welfare and the optimal quantity, quality, and quality incentive for both supplier and child care center are determined. Moreover, the price for food materials supplied by supplier including market price (p) and quality incentive (λ) is equal to the marginal cost of supplier.

4.2. Information asymmetry case

Also, equation (2) is modified into equation (4).

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{y,\lambda} U^p = \int_{\underline{q}}^{\bar{q}} (u^p(y,q) - py - \lambda yq) f(q) dq \\ & \text{subject to,} \\ & py + \lambda yq - C(y,q) \geq 0 \quad (IR) \\ & py + \lambda yq - C(y,q) \geq py + \lambda yq^1 - C(y,q) \quad (IC) \end{aligned} \quad (4)$$

Equation (4) should be solved differently from information symmetry, that is, it may not be solved directly by using

Lagrangian multiplier method because $py + \lambda yq - C(y,q)$ is optimized at q in order for constraint (IC) to be included in the optimization process of equation (4).

The below solution process follows and extends that of Salanie (1998). At first, incentive compatibility constraints should be solved in order for them to be plugged into objective function and the solution process is illustrated in appendix II.

From appendix II, it is possible to know the fact that

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial q}(q, q')|_{q'=q} &= p \frac{\partial y}{\partial q}(q) + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q) y(q) q + \lambda(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) q + \lambda(q) y(q) \\ &- \frac{\partial C}{\partial y}(y(q), q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

and

$$\frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q}(y(q), q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) \leq 0 \quad (6)$$

should be satisfied by (y, λ) . Equation (6) includes a very meaningful intuition. Because the second part of equation (6) can be assumed to be non-positive ($\frac{\partial y}{\partial q}(q) \leq 0$: Quantity purchased by child care center is decreased in quality), the first of it becomes $\frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q}(y, q)$ for all y and q which is called the Spence-Mirrlees condition or the single crossing condition. The Spence-Mirrlees condition means that higher quality will require more from child care center for a given increase in quantity than lower quality and thus it is possible for child care center to separate the different types (quality) of supplier by paying more for higher quality, which allows us to call the Spence-Mirrlees condition as the sorting condition. If the Spence-Mirrlees condition is not satisfied by supplier's utility function, incentive compatibility constraints do not hold because suppliers may not be sorted.

Mathematically, $\frac{\partial^2 u^s}{\partial y \partial q} = \lambda - \frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q} > 0$ because as noted, $\lambda > 0$ and $\frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q} \leq 0$. This implies that the slope of supplier's utility function with respect to y is increasing in quality q (type). Figure 1 illustrates this point. The utility function of supplier with higher quality (q_i) has a steeper slope against y than that with lower quality (q_j).

To plug incentive compatibility constraints into objective function, let's estimate the information rent for supplier which child care center should pay to supplier in order to make supplier reveal her/his quality (type) truly. $v(q)$ becomes the information rent of supplier if it is the utility which the

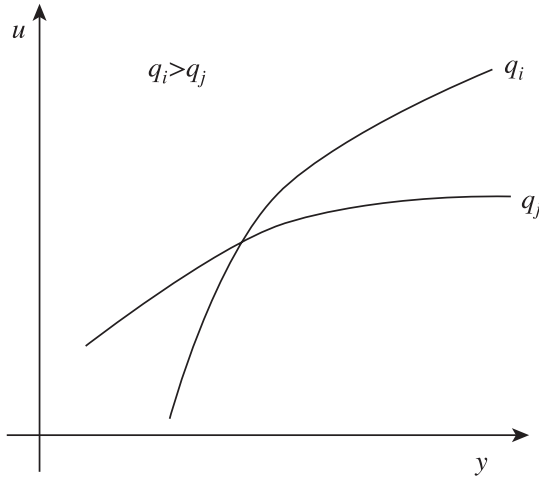


Fig. 1. The Spence-Mirrlees condition for quality contract

supplier with quality q obtains at the optimum of her/his program. In order to make supplier reveal her/his quality truly, child care center should give at least $v(q)$ to supplier with quality q . Mathematically,

$$v(q) = V(q, q) = py(q) + \lambda(q)y(q)q - C(y(q), q) \quad (7)$$

In equation (7), since all q 's except the last q are determined by the last q , equation (7) can be differentiated with respect to the last q and the result is

$$\frac{\partial v}{\partial q}(q) = -\frac{\partial C}{\partial q}(y(q), q) < 0 \quad (8)$$

which implies that information rent decreases in quality. This result means that supplier with lower quality thus benefits more from her/his private information and she/he may pretend her/his quality is $q' > q$, see Appendix III. Moreover, equation (8) enables us to get rid of $py + \lambda yq$ from $v(q)$. That is,

$$v(q) = \int_q^{\bar{q}} -\frac{\partial C}{\partial q}(y(q), q) dq \quad (9)$$

which can be plugged into objective function representing constraints (IC).

In addition to incentive compatibility solution, it is necessary to specify individual rationality constraints. Individual rationality can be expressed by $v(q) \geq 0$ for all q . As noted, because $\frac{\partial v}{\partial q}(q) < 0$ it can come down to $v(\bar{q}) \geq 0$

and it is independent of supplier's type.

With the above notations, it is possible to set up procurer's utility function as follows. From equation (9), we have $py(q) + \lambda(q)y(q)q = C(y(q), q) - v(q) = C(y(q), q) + \int_q^{\bar{q}} \frac{\partial C}{\partial q}(y(t), t) dt$ and procurer's utility function becomes

$$\int_q^{\bar{q}} [u^p(y(q), q) - C(y(q), q) - \int_q^{\bar{q}} \frac{\partial C}{\partial q}(y(t), t) dt] f(q) dq \quad (10)$$

The third integrand in equation (10) can be changed to $\int_q^{\bar{q}} \frac{\partial C}{\partial q}(y(t), t) f(q) dq = \frac{\partial C}{\partial q}(y, q) \left[\frac{1}{1-h(q)} \right]$ where $h(q)$ is the failure rate function of $F(q) = \frac{f(q)}{1-F(q)}$ (Kamien and Schwartz, 1981;

Ross, 1993). The integrand $u^p(y, q) - C(y, q) - \frac{\partial C}{\partial q}(y, q) \left[\frac{1}{1-h(q)} \right]$ of equation (10) represents the social surplus under information asymmetry (Salanie, 1998). While in information symmetry case, the first-best social surplus was $u^p(y, q) - C(y, q)$, more loss in social welfare happens under information asymmetry by $\frac{\partial C}{\partial q}(y, q) \left[\frac{1}{1-h(q)} \right] \geq 0$ which is the impact of imperfect observability of quality on the social welfare and will go to supplier as the compensation to her/his lying. Finally, the optimal solution is obtained by optimizing the integrand of equation (10) in every type of q and therefore, the optimal solution should satisfy $\frac{\partial u^p}{\partial y}(y^*(q), q) = \frac{\partial C}{\partial y}(y^*(q), q) + \frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q}(y^*(q), q) \left[\frac{1}{1-h(q)} \right]$, which implies that marginal cost for a unit is greater than the price for a unit including both market price (p) and quality incentive (λ).

The results of this paper show that supplier can get more profit and utility from lying the quality of her/his food materials, child care center will lose the utility of customers and cost more to procure food materials, and the decrease in the utility of customers and more cost looks greater than the increase in the utility of supplier because social welfare is also reduced. This implies that child care centers cannot get the quality which they want spending much money. Therefore, child care centers have to search for suppliers which are hard to lie on the quality of their food material as well as good at quality management and try to encourage them to participate in procurement contract. Also, it will be very interesting to estimate the size of the loss in social welfare from imperfect quality observability $\frac{\partial C}{\partial q}(y, q) \left[\frac{1}{1-h(q)} \right]$ for future research.

5. Conclusion

The quality of foods provided to children in child care center is essentially important because it will affect the future health and nutritional status of children and bad quality food can expose many children to the danger of serious infections. This quality of food provided to children by child care centers is considerably dependent on the quality of food materials supplied by suppliers to child care centers. Therefore, the quality management of food materials is the important starting point for the provision of safe foods to children and in order to do it, child care centers need to screen and manage the quality of food materials supplied. Though alternative approaches are available: standard and grade system, contracting, it is illustrated that contracting is far better option than standard and grade system by Kim (2006).¹⁶ Thus, this paper focuses on the contracting system and develops a principal-agent model for the management of quality of food materials.

If the quality of food materials is perfectly observable by both child care center and supplier, the principal-agent model can be simple which will require only individual rationality constraints and is also solved easily. However, if it is impossible or very difficult for child care center to observe the quality of food materials supplied by suppliers perfectly and accurately,¹⁶ this imperfect observability of quality requires the inclusion of incentive compatibility constraints in addition to individual rationality constraints in the principal-agent model which make the model harder to be solved than the principal-agent model for perfect observability of quality.

This paper solves both principal-agent models for both when quality is perfectly observable and when quality is not perfectly observable theoretically.¹⁶ When quality is perfectly observable, the first-best optimal solution which is that the marginal utility of child care center obtained from the quantity and quality supplied by supplier is equal to the marginal cost to supply the quantity and quality is obtained. That is, Child care center has only to decide appropriate quality with appropriate quality at appropriate price looking at quality of food materials optimizing the utility of customers and the procurement cost and guaranteeing the reservation profit to supplier simultaneously. However, when quality is not perfectly observable to child care center the optimal

solution cannot be the first-best but the second-best where supplier can get more profit and utility from lying the quality of her/his food materials, child care center will lose the utility of customers and cost more to procure food materials, and the decrease in the utility of customers and more cost looks greater than the increase in the utility of supplier because social welfare is also reduced. This implies that child care centers cannot get the quality which they want spending much money. Therefore, child care centers have to search for suppliers which are hard to lie on the quality of their food material as well as good at quality management and try to encourage them to participate in procurement contract.

REFERENCES

- [1] Akerlof, G.(1970), "The market for 'Lemons': quality uncertainty and the market mechanism", *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 84(3), pp. 488~500.
- [2] Bahlmann, J. and Spiller, A.(2008), "The relationship between supply chain coordination and quality assurance systems: a case study approach on the German meat sector", *presented in 110th EAAE Seminar*.
- [3] Baron, D. P.(1981), "Price regulation, product quality, and asymmetric information", *The American Economic Review*. Vol. 71(1), pp. 212~220.
- [4] Bogetoft, P. and Olesen, H. B.(2004), "Quality incentives and supply chains: Managing salmonella in pork production", *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 86(3), pp. 825~830.
- [5] Chong, P. S.(1996), "Modeling total quality management economics", *Total Quality Management*. Vol. 7(4), pp. 433~440.
- [6] Deaton, A.(1988), "Quality, quantity, and spatial variation of price", *The American Economic Review*. Vol. 78(3), pp. 418~430.
- [7] De Vany, A. S. and Saving, T. R.(1983), "The economics of quality", *Journal of Political Economics*. Vol. 91(6), pp. 979~1000.
- [8] Dotchin J. A. and Oakland, J.S.(1992), "Theories and concepts in total quality management", *Total Quality Management*. Vol. 3(2), pp. 133~145.

- [9] Kamien, M. and Schewartz, N.(1981), *Dynamic optimization: The calculus of variations and optimal control in Economics and Management*. North-Holland.
- [10] Kim, K. C. and Weaver, R. D.(1995), *Biodiversity and Landscapes*. Cambridge Press.
- [11] Kim, T.(2006), “The effect of standard, grades, and continuous quality regulation on welfare through supply chain”, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*. Vol. 6(2), pp. 27~37.
- [12] Lederer, P. J. and Rhee, S.(1995), “Economics of total quality management”, *Journal of Operations Management*. Vol. 12, pp.353~367.
- [13] Ross, S. M.(1993), *Introduction to probability models*. 5th ed., Academic Press.
- [14] Salanie, B.(1998), *The Economics of contracts*, 1st ed., The MIT Press.
- [15] Valeeva, N. I., Meuwissen, M. P. M., and Huirne, R. B. M.(2004), “Economics of food safety in chains: a review of general principles”, *NJAS*. Vol. 51(4), pp. 369~387.
- [16] Weaver, R. D. and Kim, T.(1999), “Supply Chain Contracting for Quality: TQM Based Mechanisms” presented at *The Economics of Quality Control in Agriculture*, The University of Saskatchewan in Saskatoon, Saskatchewan.
- [17] Weaver, R. D.(1993), *U.S. Agricultural Research: Strategic Challenges and Options*, Agricultural Research Institute, Bethesda, MD.
- [18] Wenmoth, B. A.(1992), “Quality, profits and market value: a dynamic model”, *Total Quality Management*. Vol. 3(2), pp. 165~175.

Appendix I

From , $L = u^p(y, q) - py - \lambda yq + \mu(py + \lambda yq - C(y, q))$ the first order conditions are

$$\frac{\partial L}{\partial y} = \frac{\partial u^p}{\partial y} - p - \lambda q + \mu p + \mu \lambda q - \mu \frac{\partial C}{\partial y} = 0 \quad (A1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q} = \frac{\partial u^p}{\partial q} - \lambda y + \mu \lambda y - \mu \frac{\partial C}{\partial q} = 0 \quad (A2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = -yq + \mu yq = 0 \quad (A3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = py + \lambda yq - C(y, q) = 0 \quad (A4)$$

From (A3), if y and q are not zero, $\mu=1$. (A1) and (A2) become $\frac{\partial u^p}{\partial y} = \frac{\partial C}{\partial y}$ and $\frac{\partial u^p}{\partial q} = \frac{\partial C}{\partial q}$, respectively and $MU_y^p = MC_y$ and $MU_q^p = MC_q$. $MU_y^p = MC_y$ means that principal's marginal utility obtained from quantity should be equal to supplier's marginal cost caused by supplying quantity and $MU_q^p = MC_q$ means that principal's marginal utility obtained from quality should be equal to supplier's marginal cost caused by supplying quality.

Appendix II

Let $V(q, q')$ be the utility achieved by a supplier of type q who announces her/his type (quality) as q' , then the utility can be expressed by $V(q, q') = py(q') + \lambda(q')y(q)q' - C(y(q), q)$ where y and λ can be expressed as a function of q because y and λ are decided for each level of q . That is, though the cost function of the supplier is based on true type q , its revenue is based on the pretending q' instead of q . For (y, λ) to be incentive compatible, it has to be that the following first and second order conditions hold: $\frac{\partial V}{\partial q'}(q, q')|_{q'=q} = 0, \frac{\partial^2 V}{\partial q'^2}(q, q')|_{q'=q} \leq 0$ for all q . The first order condition and the second order condition comes down to

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial q'}(q, q')|_{q'=q} &= p \frac{\partial y}{\partial q}(q) + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q)y(q)q + \lambda(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q)q + \lambda(q)y(q) \\ - \frac{\partial C}{\partial y}(y(q), q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) &= 0 \end{aligned} \quad (A5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V}{\partial q'^2}(q, q')|_{q'=q} &= p \frac{\partial^2 y}{\partial q^2}(q) + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial q^2}(q)y(q)q + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q)q + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q)y(q) \\ + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q)q + \lambda(q) \frac{\partial^2 y}{\partial q^2}(q)q + \lambda(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q)y(q) + \lambda(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) &= 0 \end{aligned} \quad (A6)$$

Moreover, differentiating equation (A5) with respect to q again gives us

$$\begin{aligned} p \frac{\partial^2 y}{\partial q^2}(q) + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial q^2}(q)y(q)q + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q)q + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q)y(q) \\ + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q)q + \lambda(q) \frac{\partial^2 y}{\partial q^2}(q)q + \lambda(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q)y(q) + \lambda(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) \\ - \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}(y(q), q) \left[\frac{\partial y}{\partial q}(q) \right]^2 - \frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q}(y(q), q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) - \frac{\partial C}{\partial y}(y(q), q) \frac{\partial^2 y}{\partial q^2}(q) &= 0 \end{aligned} \quad (A7)$$

and subtracting equation (A6) from equation (A7) gives us equation (A8).

$$\frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q}(y(q), q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) \leq 0 \quad (A8)$$

Equation (A5) : $\frac{\partial V}{\partial q'}(q, q')|_{q=q'} = p \frac{\partial y}{\partial q}(q) + \frac{\partial \lambda}{\partial q}(q)y(q)q + \lambda(q) \frac{\partial y}{\partial q}(q)q + \lambda(q)y(q)$ and $-\frac{\partial C}{\partial y}(y(q), q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) = 0$

(A8) : $\frac{\partial^2 C}{\partial y \partial q}(y(q), q) \frac{\partial y}{\partial q}(q) \leq 0$ consist of sufficient and necessary incentive conditions.

Appendix III

Utility of supplier with type q pretending her/his type is q' ($> q$) is

$$\begin{aligned} V(q, q') &= py(q') + \lambda(q')y(q')q' - C(y(q'), q) \\ &= py(q') + \lambda(q')y(q')q' - C(y(q'), q') - C(y(q'), q) + C(y(q'), q') \quad \text{because} \\ &> v(q') = V(q', q') \end{aligned}$$

$$C(y(q'), q) \leq C(y(q'), q') \text{ by } \frac{\partial C}{\partial q} \geq 0$$



송 승 민

Pennsylvania State University
철학박사

현재 : 수원대학교 아동가족복지학과
조교수

관심분야 : 보육시설 운영, 수리방법론



김 태 호

Pennsylvania State University
경영학박사

현재 : 인천대학교 경영학과 부교수

관심분야 : SCM, 생산운영관리,
계량경영학



이 유 현

고려대학교 이학박사

현재 : 수원대학교 식품영양학과 조교수

관심분야 : 식품공학, 아동급식

의약품 유통체계에 대한 국가간 비교 고찰

김수욱[†]

서울대학교 경영대학

International Investigation on the Distribution System of Medical Supplies

Soo Wook Kim

College of Business Administration Seoul National University

This study will provide a design direction of the new system apposite to the current status of Korean Medical Supplies industry by identifying the strengths and weaknesses of the present distribution system for strengthen Korea medical supplies channel.

To achieve this, we have done a comparative analysis with developed countries. As a result, implications like, introducing medical supplies channel information systems of developed countries, price control, government participation in medical supplies market through transparent channel policies, constant work-out for medical supplies companies, regulation reinforcement by KGSP, building infrastructures and channel system improvement of medical supplies, distribution channel informatization, inspiring channel? transparency through changing industry structure of medical supplies, were drawn out.

Keywords: medical supplies channel systems, comparative analysis with developed countries, distribution channel informatization

1. 연구 목적 및 필요성

국내 의약품 유통산업은 현재 다양한 문제에 노출되어 있으나, 사적 재화와 공적 재화의 특성을 모두 보유하고 있는 의약품 산업의 특성 상 해결 방안을 모색하는 것이 쉽지 않다. 먼저 공공재로서의 의약품은 약품 제조의 안정성과 유효성이 확보되어야 하며 조제 및 투약의 정확성 역시 요구된다. 또한 보관, 취급 및 유통의

투명성과 국민건강보험에의 부담 정도도 고려되어야 한다. 이러한 공적 재화로써의 성격뿐만 아니라 사적 재화로써의 의약품은 가치사슬 상 사업 주체들의 이윤 추구 활동이며 각 주체들은 적정 가격에 우수 의약품 공급을 위한 원가절감을 추구한다. 또한 제조 및 유통에 있어서의 차별화를 통하여 경쟁역량을 확보하려는 특성을 가진다. 이렇게 공공 재화 및 사적 재화의 특성을 모두 가지고 있는 의약품은 개발, 제조, 유통, 판매, 투약에 이르기까지 정부의 제도적인 규제를 통한 철저한 관리 수행이 필요하다. 이러한

[†] Corresponding author: 151-742 서울시 관악구 관악로 599 서울대학교 경영대학

Tel: 82-2-880-9081 Email: kimsuo2@snu.ac.kr

* 2011년 9월 20일 투고, 10월 6일 게재 확정.

의약품 유통 체계는 의약품의 공공재적 성격과 더불어 의약품 제조 및 유통, 판매업체들의 현실적인 이윤추구 문제가 모두 고려되어야 한다는 점에서 이에 대한 효과적인 조율이 필요하다.

의약품 시장의 글로벌 경쟁 심화와 국내 시장 개방 확대, 지적재산권 강화 움직임 등으로 국내 의약품 제조 및 유통업체들의 경쟁력 강화는 생존을 위한 필수 조건이 되었다. 현재 세계 의약품 제조 시장은 Pfizer, Merck, GSK 등의 글로벌 제약사, McKesson AmerisourceBergen 등의 글로벌 유통사 등 전문 업체 위주로 변화하고 있으며 글로벌 R&D 능력과 막강한 자금력을 바탕으로 로컬 업체에 비해 강력한 경쟁력을 확보하고 있다. 또한 인수, 합병을 통한 업계 재편 움직임도 지속되고 있다. 이러한 상황에서 FTA 등으로 의약품 시장 개방이 확대되면서 국내 제약 및 유통 업체들도 글로벌 경쟁의 영향 범위에 편입되고 있다. 최근 타결된 한, 미간 자유무역협정에 따라 지적재산권의 기한이 연장됨으로써 제네릭 위주의 국내 의약품 제조업체에 장기적으로 부정적인 영향을 미칠 것으로 보이며 해외 의약품 업체들과 해외 유통업체의 동맹으로 이들의 국내시장 잠식도 증가될 것으로 판단된다. 따라서 다음과 같은 대안적 연구, 제조 및 유통 방식이 등장하고 있다. 우편 및 인터넷을 이용한 의약품 유통 확대, RFID 등의 첨단 IT 기술을 이용한 의약품 유통의 효율성 제고, 국가 기반 R&D에서 글로벌 R&D로의 전환을 통한 연구 비용의 획기적 절감, 아웃소싱 전문 대형 의약품 제조업체 등장 등이 그것이다.

이러한 상황에서 현재 우리나라의 의약품 유통 체계는 많은 문제점을 안고 있다. 먼저 제약회사가 도매상을 거치지 않고 병·의원에 의약품을 직접 공급하는 ‘직거래’ 경로 중심의 체계와 제약회사가 계약한 특정 도매상을 통해 독점공급(품목도매)하는 경로 중심의 체계가 공존하고 있다. 제약회사 중심의 유통 체계에서는 제약회사가 약사법 시행규칙, 정부의 유통일원화 정책에 따라 중·대형 병원에는 직접 납품하지 못하게 되면서 병·의원에 현금, 상품권, 카드대여 등을 주거나 의료행위자의 해외 관광/학회 참석을 지원하는 스폰서 행위를 통하여 리베이트를 제공하고 있다. 반면에, 병·의원은 처방 건 당 약국으로부터 리베이트를 수수하고 있다. 유통마진은 실제 공급자(제약회사, 도매상)가 도매상에만 6~7% 허용 (실거래가 상환제)하고 있으며, 약국에 5~10%의 마진을 할증, 할인 등을 통하여 부여하고 있다. 이러한 체계는 유통 경로 참가자 수가 증가함에 따라 추가되는 물류 비용과 상승한 리베이트 비용이 의료비용에 반영되어 궁극적으로, 소비자에게 상승된 의료비용을 고스란히 부담시키고 의료보험 재정 부담을 증가키는 등 불필요한 사회비용의 상승을 가져온다. 반면에, 도매상 중심의 유통 체계(품목도매)에서는 제약기업이 병·의원에 직접 리베이트를 제공하지 않고 특정 의약품 독점공급 도매상이 병·의원에 리베이트를 제공하고 있다. 이러한 체계는 도매

상·병원·약국간 협력이 되지 않는 기타 약국에는 특정 의약품이 비치되지 않아, 거래도매업소에 구매를 요구할 경우 유통단계가 늘어나고 (도도매) 추가적인 처방이 없는 경우 이를 그대로 재고로서 부담을 지어야 하는 단점을 가지고 있다.

이를 종합해보면, 현재 우리나라의 의약품 유통 체계는 과다한 제약업체 수, 영세한 도매업체 난립, 직거래로 인한 제약업체와 유통업체의 기능 분업 미흡, 보험약가제도에 대한 부작용 등 다양한 문제에 노출되어 있으며, 이로 인해 물류비 급증, 과당경쟁, 변칙적인 의약품 거래 성행 등의 문제점이 발생하고 있다. 또한 유통정보화의 미비로 인해 투명성 달성에도 많은 문제가 있다. 이는 결과적으로 약물사용의 질 저하로 인한 의료비용 상승과 국가 보험재정의 불필요한 부담 증가 등의 부정적인 결과와 함께 의약품의 적절한 공급과 정보를 제공 받을 권리를 가지고 있는 소비자들에게 이를 제공하는데 있어 여러 문제를 낳고 있다. 특히 매칭비, 랜딩비 등 각종 음성적 리베이트를 비롯한 전근대적인 유통 관행은 도매 중심의 유통체계를 활성화를 가로막는 가장 큰 장애물의 역할을 하고 있으며, 시장 실패로 인한 막대한 사회적 비용을 야기하고 있는 것이 사실이다.

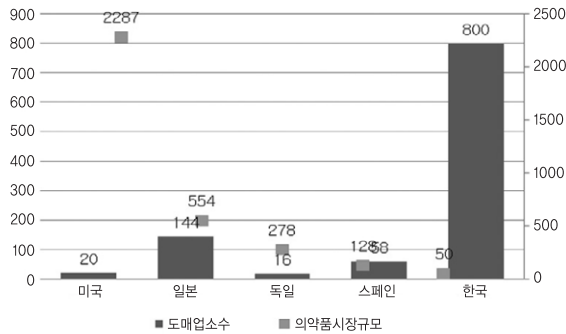
이러한 문제점을 해결하고 경쟁력을 강화하기 위해서는 현존하는 의약품 유통 체계의 장·단점을 면밀히 분석하여 우리나라 의약품 산업의 실정에 맞는 새로운 시스템을 설계하는 작업이 우선적으로 이루어져야 할 것이며, 선진국형 의약품 유통 정보 시스템 도입, 가격통제, 유통의 투명화 정책 등을 통한 국가 주도의 의약품 시장참여·개입·정책 제안이 다양한 측면에서 이루어져야 할 것이다.

2. 국가별 의약품 유통 현황 비교

2.1 의약품 물류 및 유통 현황

우리나라 의약품 시장은 꾸준히 증가하고 있는 추세이나 다른 선진국에 비해 그리 높은 편은 아니다. 그러나 이에 비해 의약품 도매업체의 경우 그 수가 다른 선진국들과 비교해서 상대적으로 매우 많다. 2004년 IMS health에서 실시한 세계 의약품 시장 규모에 대한 조사를 보면 미국 2287억 원, 일본 554억 원, 독일 278억 원인데 비해 국내 의약품 시장 규모는 50억 원에 불과한 것으로 조사되었다. 그러나 IFPW에 의해 실시된 도매업체수에 대한 조사를 살펴보면 다른 국가에 비해 우리나라의 도매업체수가 800개로 월등히 많다는 것을 알 수 있다.

2.1.1 유통업체 수의 변화

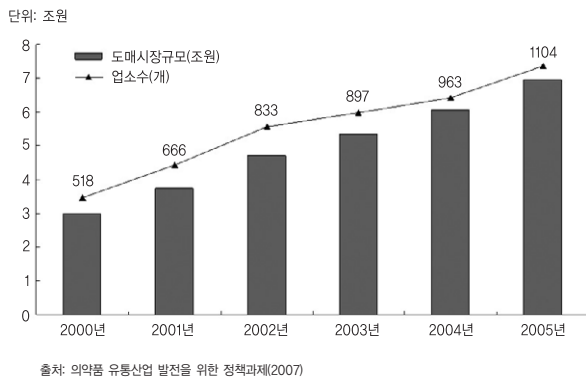


자료: 의약품 시장 규모 - IMS health/MIDAS MAT, June, 2004
도매업체수 - 세계의약품도매연맹(IFPW), 도협신문 2006년 10월 30일자 내용

그림 1. 국가별 의약품 시장 규모 및 유통업체 수 비교(단위: 1천억원, 개)

현재 우리나라에 있는 의약품 도매업체 수는 05년 기준으로 총 1,104개(일반 종합, 의약품도매협회 집계 기준)로서 국가별 의약품 시장 규모에 비교했을 때 상대적으로 많은 편이다

이는 의약품 도매상 시설면적에 대하여 창고 80평, 영업소 10평 등을 포함하여 90평 이상을 보유하도록 규제되어 있던 기준이 규제개혁위원회의 지적으로 2001년 1월에 철폐되면서 신규 도매업체 설립 및 의약품 유통 시장 진출이 용이해진 점이 작용한 것으로 보인다. 실제로 우리나라의 의약품 도매업체 수 추이를 살펴보면, 의약품 도매상 시설면적기준 철폐가 일어난 2001년을 전후로 2000년 518개에서 2001년 866개로 전년도 대비 67% 증가하였으며 2005년에는 1,104개로 2배 이상 증가하였다.



출처: 의약품 유통산업 발전을 위한 정책과제(2007)

그림 2. 도매시장규모 추이 대비 도매업체 수 추이

도매업체 수가 폭발적으로 증가함에 따라 도매업체 간의 양극화 및 영세화되는 현상이 심화되고 있다. 05년 도매협회가 집계한 자료에 따르면 년 매출액 500억원 이상 대형도매업체의 시장점유율은 2000년 45%에서 2005년 68%로 확대된 반면, 년 매출 100억원 미만의 소형도매업체의 시장점유율은 같은 기간 동안 13.7%에서 8.7%로 축소되었다.

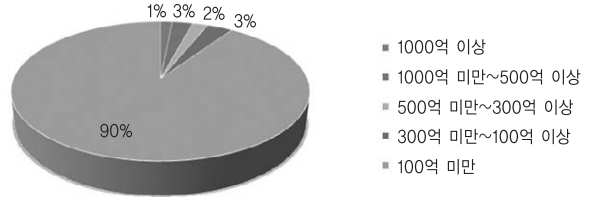
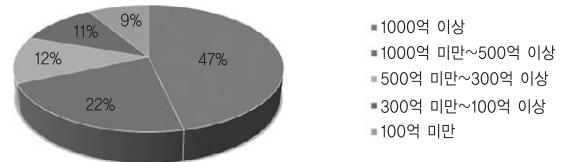


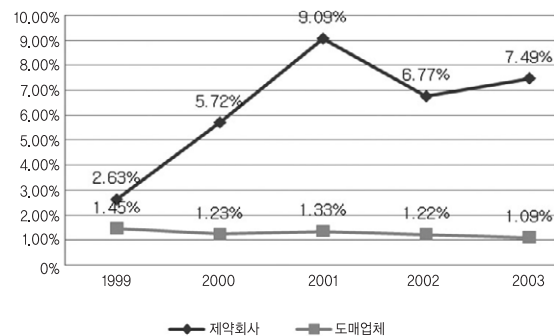
그림 3. 연 매출액 별 도매업체 수 비율



자료: 의약품 유통산업 발전을 위한 정책과제(2007)

그림 4. 연 매출액 별 도매업체 시장 점유율

시장 흐름을 주도하는 대형도매업체群과 이들과 경쟁할 수 있는 영업망과 인력을 갖추지 못한 기존 영세 도매업체群, 새롭게 시장에 진출하는 신규 도매업체群으로 구성되어 있는 우리나라의 의약품 유통 시장은 의약품 도매상 시설면적규제 철폐에 따른 물류시설투자에 대한 부담감 감소와 과다한 제네릭 의약품 출시로 보다 강화된 프로모션을 직거래를 통한 마진을 보다 더 확보하려는 제약회사의 행위와 맞물려 도매업체들간의 경쟁이 보다 격화되고 있다고 볼 수 있다. 도매업체가 물류시설에 대한 투자를 줄이면 물류에 대한 전문성 저하에 따라 의약품 시장에서 유통 기능을 발휘할 수 없게 되어 이에 따른, 의약품 취급/보관/운반에 대한 도덕적 해이는 물론 제약회사와 병/의원/약국으로부터 안심하고 유통을 맡길 수 있는 신뢰를 주기가 어렵게 된다. 도매업체는 제약회사가 예전보다 적은 유통 마진을 제공함에도 어쩔 수 없이 계약을 할 수 밖에 없게 되며, 보다 낮은 가격으로 구입하려는 기존 병/의원/약국과 거래를 유지하기 위하여 유통업체의 자체 마



출처: 도협신문(2005)

그림 5. 제약회사, 도매업체 순이익률 연도별 추이

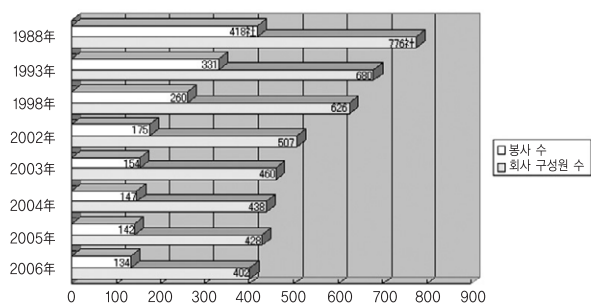
진을 예전보다 더 포기하는 양상을 띠게 된다. 이러한 과정에 도매업체의 금융부담 심화, 선진물류시스템을 갖춘 외국계 유통업체의 한국 진출등이 맞물리면서 이러한 악순환은 계속 반복될 수밖에 없으며 의약품 도매업체의 영업 이익율은 자연히 낮아질 수밖에 없게 된다. 실제로 1999년부터 2003년까지 제약회사와 도매업체 간의 순이익율(%)을 비교해보면 제약사들의 순이익율은 크게 증가한 반면, 도매업체는 평균 1%내외로 감소 추세를 보여주고 있다.

해외 선진국들의 의약품 산업 시장 크기는 지속적으로 증가하는데 반하여, 의약품 유통업체의 수는 점점 감소하는 추세에 있다.

(1) 해외사례 - 일본

일본의 경우, 일본 의약품 도매업 연합회(JWPA)에 등록되어 있는 의약품 도매업체 수는 1988년 418개에서 2006년 134개로 약 68% 감소하였다.

일본의 의약품 도매업체수 감소는 1989년 일본의 대미무역의 흑자시정을 위해 '미국-일본구조협약(構造協議)'이 시행된 시점부터 시작된 것으로 보인다. 이 때 일본 정부가 독점금지법 운용을 강화하고, 기업에 의한 공정판매활동지침을 정하고 도매업자와 거래계약서를 재검토를 실시하도록 하면서, 이른바 '유통개혁'이 일어나게 되었다.



출처: 日本医薬品卸業連合会会員構成員数・本社数推移(JPWA, 2006)

그림 6. 일본 의약품 도매업 연합회 소속 본사/구성원수 연도별 추이

유통개혁을 통해 1991년 가격인하보상제도가 폐지되고 제조업자에게 의료기관 등과의 직접거래나 가격교섭에의 개입을 금지하는 '신구입가제도'가 도입되면서, 가격에 대한 교섭권이 도매상에게 자연스럽게 넘어가게 되었다. 의료용 의약품의 판매가를 도매상이 자율적으로 결정할 수 있게 되면서, 제약회사는 이에 대해 더 이상 간섭할 수 없게 되었다.

1992년에서 1993년에 걸쳐 진행된 유통개혁 제1라운드 속에서 일본 전역에 인플루엔자와 화분증의 유행 등으로 대형 도매업체의 매출은 순조롭게 성장되었으며, 의료기관으로의 납품가격도

비교적 안정적인 추이를 보여주었다. 그러나, 1994년부터 시작된 유통개혁 제2라운드 이후에는 정부의 계속된 약가개정에 따라 약가가 축소되고, 수익이 감소한 의료기관의 가격인하요구가 많아지면서, 지역도매상과 이들이 지배하는 시장에 새롭게 진출한 광역도매업체간의 시장점유율 확보경쟁이 시작되었다. 도매업체간에 시장점유율 쟁탈전이 극에 달하고 이익은 저하되었으며 여기에 비용 절감 및 구매력 향상 등의 경영 요인의 압박과 함께 생존을 위해서 대형화가 필수불가결하다는 분위기까지 작용하였다. 이러한 과정에서 당연히 규모가 작은 영세 지방 도매업체는 불이익을 받게 되었으며, 결국 규모가 큰 광역도매업체에 의하여 지방도매상의 합병 흡수가 진전되면서 대형도매업체 중심으로 도매업체의 재편성이 이루어지게 되었다.

실례로, 2002년도에 대형도매였던 오오모리 약품이 5개의 지방도매로 분할된 후 스즈켄(愛知지역), 바이탈네트(宮城지역), 오무엘(廣島지역), 讃岐약품(香川지역), 梅花堂약품(高知지역), 쇼약구(翔薬, 福岡지역) 등으로 합병되면서 사라졌고, 곧이어 讃岐약품(香川지역)과 梅花堂약품(高知지역)도 합병하여「幸耀」라는 새로운 도매회사를 만들었다.

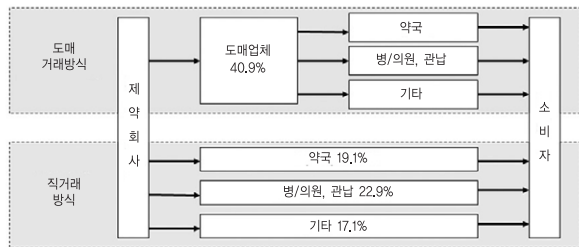
요약하면, 일본 의약품 도매업체는 정부의 제도 및 규제에 인하여 새롭게 구성된 의약품 시장 환경 속에서 살아남기 위하여 업체 규모나 지역 등을 가리지 않고 M&A, 업무 제휴, 영업양도·취득, 자본제휴 및 자회사화(子會社化) 등과 같은 방법을 동원하여 의약품 도매업의 유지·발전을 위해 노력해왔다. 이러한 인수/합병을 통한 도매업체의 대형화 노력들은 일본에 외국계 도매업체의 진입을 불가능하게 만들었고 도매시장의 집중도를 가속화시킨 것으로 나타났다.

일본 의약품 도매업체들의 생존 과정이 주는 시사점은 정부의 의약품 유통 개선 제도 시행으로 의약품 유통 시장 환경이 급격하게 변화했고 도매업체들은 이런 변화에 적응하여 살아남기 위하여 자발적인 노력을 기울였다는 것이다. 일본의 의약품 산업 변천사가 우리나라의 그것과 상당히 유사하다는 것을 감안한다면, 향후 의약품 유통 개선을 위하여 정부가 심사숙고하여 최적의 정책을 도입하거나 기존의 제도를 개선하는 작업이 중요한 변수로 작용할 것으로 예상되며, 이에 따른 유통업체의 자발적인 적응/변화가 성공요인으로 작용할 수 있을 것이다. 실례로, 2007년 4월 13일 정부가 제약업체와 종합병원간 의약품 직거래를 금지하고, 도매업자를 통해서만 유통되도록 한 '의약품 유통일원화' 제도를 오는 2010년 하반기부터 폐지하는 내용을 골자로 하는 '약사법 시행규칙' 개정안을 보건복지부를 통하여 입법예고하면서 의약품 도매업체가 입을 충격을 완화하기 위해 3년간 유예기간을 두었다. 이러한 정부의 제도 도입이 향후 도매업체에 어떠한 결과를 가져올 지 정확하게 예측할 수 없는 상황에서 도매업체는 예전보

다 이에 대한 발빠른 대응이 요구될 것이다.

2.1.2 의약품 유통 구조의 변화

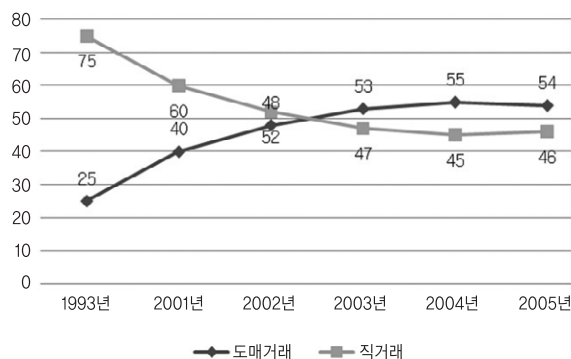
현재 우리나라 의약품 유통 구조는 제약회사가 도매업체를 경유하여 병/의원/약국 등에 납품하는 도매거래 방식과 도매업체를 거치지 않고 바로 납품하는 직거래 두 가지 구조가 공존하고 있다.



자료 : 한국제약협회, 제약산업통계집, 2004. 12

그림 7. 거래 방식별 의약품 유통 경로

이러한 도매거래/직거래 유통 구조에 대하여 도매거래비중이 1993년 25%에서 2005년 54%로 증가하였다. 그러나, 선진국의 경우와 비교해보면 도매거래방식이 의약품 유통에서 차지하는 비율은 미국, 일본 등에 비하여 작다.



자료 : 도매협회 (의약품 성실신고조항 자료 참조)
출처 : 의약품 유통산업 발전을 위한 정책과제(2007)

그림 8. 년도별 도매거래/직거래 방식별 의약품 유통 비중 추이

이렇게 구조별 거래비중의 변화에 대하여, 1994년 정부의 100명상 이상 종합병원의 직거래를 금지하는 규제와 2000년 의약분업 시행에 의한 약국의 의약품 판매 집중이 기인했다. 1994년 정부의 직거래 금지로 100명상 이상의 종합병원은 공개입찰 등의 거래방식에 관계없이 도매업체를 통해 의약품을 납품받을 수 밖에 없는 상황이 되었으며 이는 자연스럽게 도매거래를 유도하는데 기여했다. 또한, 의약분업 이후 처방 권한이 약사에서 의사로 이동하고 이에 따라 전문의약품 출시가 증가하면서, 약국이 처방보다 의약품 구입처로서의 기능이 보다 강화되었다. 이에 따라 제

약회사의 약국에 대한 촉진활동의 필요성이 감소된 반면, 유통 기능 차원에서 약국과의 거래선 관리의 여전히 필요했기 때문에 관리 차원으로 도매업체를 통한 의약품 거래를 예전보다 선호하게 된 것으로 보인다.

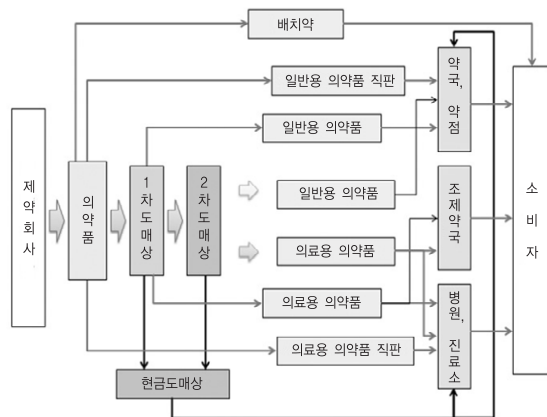
즉, 국내 의약품 물류체계에 있어서 도매거래를 포함한 유통채널이 가지는 장점이 두 제도를 거치면서 작용했다고 볼 수 있다. 먼저 제약회사의 경우에서 장점을 살펴보면, 직거래 시 많은 수의 병/의원 및 약국과의 거래로 발생하는 인건비와 판매촉진비의 과다지출 문제, 자금회전기간 증가문제, 유통비용 및 재고부담 문제, 다품종 소량 판매에 따른 생산의 비효율화, 물류 비용 등의 비용증가에 따른 약품가격 상승문제와 같은 문제점들이 발생한다. 그러나 도매상을 통한 간접거래를 하게 되면 도매상이 다수의 제약회사의 다양한 의약품을 대량구매 하여 병/의원 및 약국에 거래하므로 직거래에서 발생하는 여러 가지 제반 불편사항 등이 제거되어 물류 비용을 절감 시키며 재고부담도 줄어든다. 또한 자금회전기간이 단축되고 신제품 개발 및 시장 상황에 대한 정보를 제공하여 제조업체의 전략 수립에도 도움이 된다. 병/의원 및 약국의 경우 직거래 시 많은 수의 의약품에 대해서 각각의 제약회사에 구매요청을 하는 데서 오는 비효율성과 적정 재고 수준을 유지하기 위한 신속한 배송 문제, 약품가격 및 품질 등에 대한 다양한 비교 정보 확보에 관한 문제가 있다. 그러나 도매상을 통한 간접거래를 하게 되면 구매요청 시 발생하는 불편함을 줄일 수 있고 재고의 적정선의 유지가 가능하며 재고회전을 빨리 하여 품질의 안정성을 유지할 수 있다. 소비자의 경우 직거래 시 발생하는 여러 가지 문제들에 따라 증가되는 각종 비효율적인 물류 비용이 약품가격에 포함되어 가격에 대한 부담이 발생하게 된다. 또한 재고의 부족에 따라 적절하고 정확한 약품 치료가 지연될 수 있으며 재고관리 문제로 인해 약품의 안정성과 관련한 위험에 노출될 소지가 있다. 그러나 도매상을 통한 거래 시 의약품의 물류비용 절감을 통한 약품 가격의 인하가 소비자의 부담을 경감시켜주며 수요와 공급의 적절한 조정으로 인해 소비자에게 의약품을 안정적으로 공급할 수 있다는 장점이 있다.

그러나, 도매거래가 직거래에 비하여 반드시 장점만을 가지고 있는 것은 아니다. 물류 기능이 저하된 영세 도매업체 간의 치열한 경쟁으로 도산하는 업체가 속출하면서 해당업체와 거래하던 병/의원/약국들은 반품이나 납품된 의약품에 대한 사후 처리를 받기 어렵게 되는 경우가 많아지면서, 도매업체에 대한 병/의원/약국의 파트너십이 저하되는 현상이 발생되고 있다. 또한 대형도매업체(1차 도매업체)에서 납품받아 약국에 의약품을 공급하는 '도도매업체' (2차 도매업체)의 난립으로 유통 마진 상승에 따른 의약품 구매비용 증가도 단점으로 들 수 있다. 이러한 문제는 앞으로 도매업체가 유통경로에 참여하는 구성원으로서 생존하기 위

하여 반드시 해결해야하는 과제이다.

(1) 해외사례 - 일본

해외의 의약품 유통 구조를 살펴보면, 일본의 의약품 유통구조는 제약회사, 의약품 도매업체, 병/의원/약국, 소비자 등의 경로 참가자로 구성되어 있으며, 대체로 제약회사→1차 도매업체→병/의원/약국→환자(소비자)로 이어지는 비교적 단순한 형태의 선진국형 의약품 유통구조를 형성하고 있다.



자료: よくわかる医薬品業界(野口実, 日本実業出版社(2006.4.1))
출처: 일본 의약품 유통현황 조사결과 보고서(채규환, 국무조정실, 2006)

그림 9. 일본의 의약품 유통흐름도

의료용 의약품은 제약회사로부터 의료용의약품을 주로 판매하는 도매상(‘의전’이라고 함)을 거쳐 병원, 진료소, 약국 등으로 판매된다. 이외에 제약회사에서 직접 병원, 진료소에 판매하는 직판 경로가 있으나, 수량이나 금액이나 상당히 비중이 낮다. 여기에는 의약품업 이후 공공립(官公立)병원 뿐만 아니라 민간 의료법인도 원외처방전을 발행할 수 있게 된 것이 도매상으로부터 조제약국으로의 경로가 매출에 접하는 비율이 높아지는데 기여한 것으로 볼 수 있다.

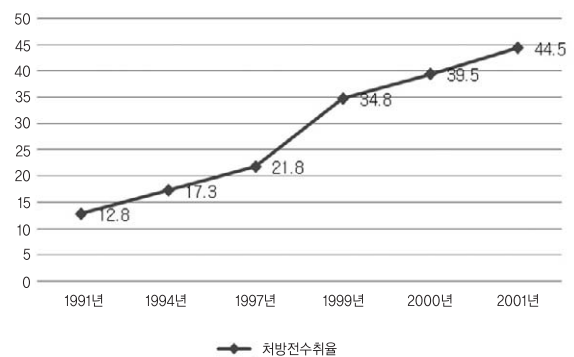
이에 비해, 일반용의약품에는 제약회사로부터 직접 일반용의약품도 취급하는 약국, 조제를 하지 않는 일반판매업소, 약중상으

로 유통하는 직판 경로가 큰 비중을 차지하고 있다.

이러한 일반적인 유통 경로 이외에도 소위 현금도매상이 있는데 주로 동경 神田(칸다), 오사카 平野町(히라노마치)에 집중되어 있고, 다이렉트 메일을 사용하여 거래하고 있다. 현금도매상은 제약회사와의 거래가 아니고, 현금거래, 투매 등으로 의료용, 일반용의약품을 구입하게 되므로 저렴한 구매가격과 유통경비가 들지 않아 값싸게 판매하는 것이 가능하다. 그러나, 유통개혁이 진행되고 약가와 실제의 구매가격간 격차가 축소되고 있어, 이러한 환경이 향후 현금도매상의 변화를 예측하기 쉽지 않다.

의약품 유통 구조에 있는 경로참가자 간의 의약품 유통 흐름을 살펴보면, 2004년 기준으로 의약품 유통 전체에서 도매거래가 차지하는 비율은 제약회사가 병/의원/약국에 직접 납품하는 직거래에 비하여 95%정도로서 비중이 매우 높다.

년도별 추이를 살펴보면, 1992년에서 2001년까지 10년 간 90%에서 98%까지 연도별로 약간씩 차이가 난다. 또한 도매업체에서 의료기관/약국 등 소매업소로 유통되는 비율도 매년 다른 모습을 보여주고 있다. 반면에, 의료기관의 유통비중은 해마다 급속히 감소하고 있다. 1997년도 의료기관의 의약품 유통비중은 78%나 2001년도에는 63%로 매년 약 4%정도로 감소하였다. 대병원(200병상이상), 중소병원(20~199병상) 및 진료소(20병상미만)



출처: 일본 의약품 유통시장 현황(한국의약품도매협회, 류충렬, 2004)

그림 10. 약국(외래)의 처방전 수취율 동태

표 1. 일본 의약품 도매업계의 의약품 유통경로별 비중변동 추인 사인 순위

연도별	의료기관(%)				약국(%)	기타(%)	합계
	대형병원	중소병원	진료소	계			
1997년	34.4	14.4	29.2	78	19.3	2.7	100
1998년	34.1	13.6	27.4	75.1	22.4	2.5	100
1999년	32.7	12.7	25.9	71.3	26.4	2.3	100
2000년	30.9	11.7	24.2	66.8	29.6	3.6	100
2001년	29	11.1	23	63.1	32.4	4.5	100

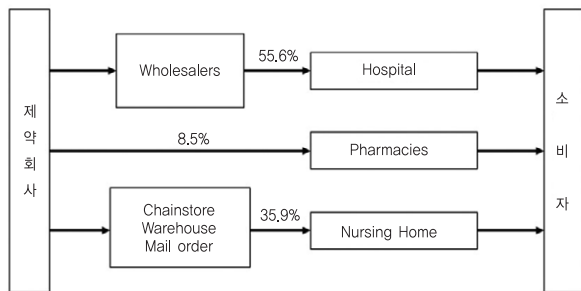
출처: 일본 의약품 유통시장 현황(한국의약품도매협회, 류충렬, 2004)

공히 비슷하게 감소되고 있다. 이에 반하여, 약국으로의 유통비중은 거의 의료기관의 비중이 감소한 만큼 증가하고 있다. 약국의 경우 1997년부터 2001년까지 4년간 약 13%의 유통비중이 증가하였다. 그 결과 2001년 의약품 약국 유통비중은 32.4%로 대폭 증가되었다. 일본은 의약품 소비의 중심 축이 의료기관에서 약국으로 급속히 변화하는 모습을 보이고 있다.

이와 같은 경로별 의약품 유통 비중에 대하여 일본의 의약분업율이 기여했다고 판단할 수 있다. 의약분업율의 성과 기준으로 사용할 수 있는 약국의 외래처방전 수취율은 1991년 12.8%에서 2001년도에는 44.5%로 증가하였다.

(2) 해외사례 - 미국

미국의 의약품 유통 구조를 살펴보면, 근본적인 구조는 우리나라와 일본과 유사하나 Chainstore, warehouse, mail order를 통한 유통도 일정 비율을 차지한다는 점에서 차이가 있다. 의약품 유통업체 수의 변화는 1970년 144개사에서 1999년 55개사로 감소하는 반면, 그 과정에서 상위 4개 대형 유통업체의 매출은 전체 유통 매출의 약 90%에 달하고 있다.



자료: NWDA, 1999
출처: 의약품 유통산업 발전을 위한 정책과제(2007)

그림 11. 미국의 의약품 유통 구조

위와 같이, 미국 의약품 유통 구조는 종합 도매업자와 지역도매업자 및 소규모의 수많은 소지역/전문 도매업체들이 활동하고 있다. 이 외에도 제조업체의 할인의약품을 구매하고 이를 의약품 유통망을 통하여 재판매하는 2차 도매업자들이 존재한다. 미 중 소기업업체에 따르면 미국 도매업체의 수는 2001년 현재 6,500개 정도로 추정되고 있으나, 의약품 유통에 종사는 하더라도 실제 수입은 식료품 유통, 소매약국의 운영 등으로 이익을 창출하는 기업과 처방의약품을 유통시킬 수 없는 기업은 포함하고 있지 않으므로, 실제 업체 수는 더 많을 수 있다.

의약품 유통 관련 업체는 크게 3개 형태로 구분 가능하다. 첫번째는 대형 도매업자로서 미국 대형 도매업자는 McKesson, Bergen Brunswick, Cardinal Health, Amerisource, Bindlay Western 등으로, 이들은 1998년 기준으로 미국 전체 도매업

출의 90%를 차지하고 있다. 이들은 의약품 제조업자에서 조제자로 이르는 의약품 유통의 주요 파이프라인을 형성하고 있으며, 지역 유통업자에 대한 의약품 판매를 통해 의약품을 유통시키고 있으나, 일부 의료기관과 독립형 약국에 대한 직접 판매도 병행하고 있다. 5대 도매업체들의 1998년 기준 매출과 시장 점유율은 McKesson 214.8억 달러(28%), Bergen Brunswick 166.9억 달러(22%), Cardinal Health 149.3억 달러(19%), Amerisource 86.7억 달러(11%), Bindlay Western 76.2억 달러(10%) 등이었다. 종합 도매업자들은 대부분의 의약품을 의약품 제조업자로부터 구매하고 있으나 가끔 저가의 의약품을 공급하는 2차 유통업자들로부터 의약품을 구입하기도 한다. 도매업자들은 도매거래의 구매와 판매 부문 모두로부터 수입을 창출하고 있다. 제조업자들로부터는 구매 측면(buy-side) 이윤을 취득하며, 이는 현금 리베이트와 즉시 및 조기 지급에 따른 할인료로 구성된다. 또한 조제자로부터는 유통비용으로서 지불한 비율에 의한 수수료인 '업차지(upcharge)'와 기타 중개수수료를 수령한다. 가격 및 경쟁적 조건으로 인해 종합 도매업자들은 극히 협소한 마진 하에서 영업을 하고 있다. 미국 법원의 소송사건 자료에 따르면, 1997년 기준 처방의약품 1달러에 대한 제조업자의 몫은 76센트, 조제자의 몫은 20센트인 반면 도매유통업자의 몫은 4센트에 불과하였다. NDWA에 따르면, 5대 도매업자들의 세후 순이익 비율은 1998년 기준 0.62%에 불과하였다.

두번째는 지역도매업자 및 소규모 소지역/전문 도매업자로서 지역유통업자는 상대적으로 적은 규모의 의약품 처리량으로 인해서 종합 유통업자와는 구분되나, 취급 의약품의 범위에 있어서는 종합 도매업자와 유사한 범위를 보인다. 지역유통업자는 해당 지역의 일부 장소에서는 종합유통업자 대비 양질의 서비스를 제공할 수 있고, 이들이 제조업자로부터 구입하는 의약품의 거래조건 대부분이 종합 도매업자와 동일하거나 유사한 조건이기 때문에 종합 도매업자와의 경쟁이 가능하다. 1998년 기준 약 70여 개의 지역 의약품 도매업자가 존재하며, 이 중 상위업자의 매출과 시장 점유율은 노이만 디스트리뷰터즈 16.7억 달러(2%), 킨레이 9.1억

표 2. 미국 상위 의약품 도매업자(1998년 기준)

회사명	매출(백만달러)	시장점유율
McKesson	21,484	28%
Bergen Brunswick	16,698	22%
Cardinal Health	14,928	19%
Amerisource Corp.	8,669	11%
Bindlay Western	7,623	10%
Neuman	1,668	2%
Kinley	905	1%

달러(1%), C.D 스미스 헬스케어 8.0억 달러(1%) 등이다.

종합 도매업자와 지역 도매업자는 기본적으로 동일 산업 부문을 대상으로 판매 활동을 한다. 두 그룹을 종합해 볼 때, 주 고객 매출 비율은 의료보건의료기관(health care institutions, 36.6%), 독립형 약국(drug stores, 31.6%), 소매 체인(retail chains, 25.7%), 기타 기관(6%) 등으로 구성되어 있다.

종합 도매업자와 지역 도매업자는 1998년 기준 미국 전역에서 235개의 유통영업점을 운영하고 있으며, 도매업자 당 평균 공급자 수는 913개이다.

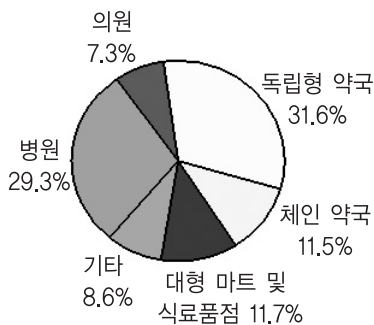


그림 12. 미국의 종합도매업자 및 지역도매업자의 고객형태별 비중

세번째는, 2차 도매업자로서 일반적으로 한정된 종류의 선택적 할인의약품의 구매 및 판매에 특화하고 있다. 의약품 제조업자는 종종 분기별 판매목표량 달성, 가격 인상 전 재고 처분 등을 목적으로 제한된 기간에 걸쳐 할인 가격에 의약품을 제공하는데, 2차 도매업자들은 이러한 할인 의약품 유통에 특화되어 있다. 2차 도매업자들은 종합 도매업자, 지역 도매업자등을 포함한 다른 도매업자들에게 저가로 할인의약품을 공급한다. 2차 도매업자에 대한 공식적 통계가 집계된 바가 없으나 일반적으로 10명 미만의 직원들이 의약품 주문을 처리하고 있다. 3대 2차 도매업자는 슈프림 디스트리뷰터스 컴퍼니, 빅토리 홀세일 그로서스 컴퍼니, 웰리티 킹 디스트리뷰터즈 등이며, 이들은 의약품 뿐 아니라 식품을 포함한 다른 상품들의 유통업도 병행하고 있다.

미국 의약품 유통 체계는 이러한 유통업체들간의 조합을 바탕으로 이루어져 있으며, 다음과 같이 크게 4가지 형태로 구분할 수 있다. 첫번째, 제조업자로부터 조제 기관으로의 직접 유통을 들 수 있다. PhRMA의 보고에 따르면 제조업체의 판매량 중 약 20%는 조제 기관으로의 직거래를 통해 발생한다. 제조업자 매출의 12.4%는 소매업자, 2.1%는 개인 병원, 그리고 1.4%는 개원의가 차지한다. 우편주문 약국은 의약품 제조업자로부터 의약품을 직접 구매하는 비율을 높이고 있으며, 우편주문을 통한 조제는 빠른 성장률을 보이고 있어 이 부문에 대한 제조업체의 직거래 매출은 지속적으로 증가할 것으로 전망된다.

표 3. 제조업자의 고객계층별 처방의약품 매출현황

고객계층별	매출액(백만달러)	시장점유율
도매업자	64,015	80.0%
소매업자	9,922	12.4%
개인병원	1,680	2.1%
개원의	1,120	1.4%
제조업자, 재포장업자	1,200	1.5%
연방병원	640	0.8%
기타 연방정부	880	1.1%
주 및 지방정부병원	560	0.7%

두번째, 대형 도매업체를 경유한 유통으로서 가장 일반적인 형태의 의약품 유통 방식으로 제조업자로부터 대형 도매업체를 거쳐 조제업체로 유통되는 방식을 지칭한다. 대형 업체를 경유한 유통 방식은 대형 업체와 소형 도매업체를 경유하는 유통 방식과 함께 처방의약품 제조업체의 전체 유통 비율 중 80%를 차지한다. 세번째, 대형 도매업체와 소형 도매업체를 경유한 유통은 일반적으로 소규모의 조제 업체에서 최종 판매가 이루어지는 의약품의 경우 소량의 물량에 대한 유통의 방식으로 사용되고 있다. 소규모 클리닉이나 의료보건의료기관의 경우 의약품 수요가 제한적이며 전문화되어 있어 의약품을 종합 취급하는 유통업자의 서비스에 대한 니즈가 상대적으로 적다. 이 경우 의약품 유통은 종합 도매업자에게서 지역 도매업자로, 그리고 소지역 도매업자 및 소규모 도매업자로 이루어지게 된다. 마지막으로 2차 도매업체를 경유한 유통을 들 수 있다. 할인의약품의 경우 간헐적으로 대량 판매되는 특성으로 인해 공급물량 흡수를 위해 다양한 유통망에 걸쳐 넓은 지역에 배포된다. 따라서 의약품이 조제자에게 도달하기 전 거래되는 횟수는 다른 유통 경로에 비해 상당히 많다. 대형 도매업체 및 지역 도매업체도 구매에 참여하기는 하나, 주로 할인의약품 취급을 전문으로 하는 2차 도매업체들이 주 구매자이다. 제조업체들의 할인의약품 판매 목적은 분기별 판매목표량 달성, 제품 가격 인상 전 원재고 처분, 유통기간이 많이 남지 않은 의약품 재고의 처분 등인데, 일반적으로 2차 도매업체들은 대형 및 지역 도매업자들에 비해 전문성이 떨어지고, 유통 경로도 복잡하며, 제품의 유통 경로에 대한 파악이 불가능하기 때문에 당국에서는 의약품 품질 관리와 관련하여 많은 안전 위험이 있는 유통 경로로 간주하고 있다.

이러한 미국 의약품 유통 구조를 이루는 제약회사, 병/의원/약국, 도매업체 등의 유통 경로 참가자들은 시간이 지남에 따라 다양한 활동과 함께 적지 않은 변화를 겪었는데 가장 먼저 들 수 있는 것은 대형 도매업체들의 부가 서비스 제공을 통한 차별화이다. 소매약국체인, 독립형 소매약국 등 제도 기관들이 제조업자로부터

터 의약품을 직구매하는 비중은 감소하고 있는 추세이다. 그 이유는 유통업자가 제공하는 각종 부가 서비스가 의약품 제조업자와의 직거래를 통한 가격 할인보다 더 많은 혜택을 제공하기 때문이다. 대형 도매업자들은 고객들로 하여금 주문을 전자적으로 내고 확인하도록 하며, 도매업자의 이용 가능 재고와 가격을 확인할 수 있도록 도와주는 정교한 주문시스템을 보유하고 있다. 이를 통해서 고객들에게 의약품 수요량에 맞는 적정 공급을 유지시켜주고, 보유 비용을 최소화하는 혜택을 제공하고 있는 것이다. 이러한 시스템으로 인하여 도매업자는 대부분의 경우 주문 제품을 24시간 내에 구매자에게 인도할 수 있다. 이러한 부가 서비스를 바탕으로 대형 도매업체들은 도매 시장에서의 점유율을 지속적으로 향상시킬 수 있었다. 의약품 유통 시장의 마진이 제조업체, 조제업체 대비 제한적이므로 도매 업체는 대형화를 통해 고정비 감소를 통한 이익 유지를 추구하고 있다.

두번째는 의약품 구매자들의 조직화이다. 미국에는 1999년 4월 기준으로 604개의 통합전달네트워크(IDNs: Integrated Delivery Networks)가 존재하고 있다. 의료 보건 기관들로 구성된 이 네트워크는 지역사회에 효율적이면서도 비용을 절감할 수 있는 서비스를 제공하기 위해 조직되었으며, 공동구매회사(GPOs: group purchasing organizations)를 구성, 회원들의 구매력을 조직화하여 의약품 제조업자 및 도매업자와의 거래에서 유리한 조건을 이끌어 낼 수 있도록 협상력을 확보하고 있다.

마지막으로 약국혜택 서비스 대행 업체의 등장이다. 미국의 약국 혜택 서비스 대행 업체(BPM: Pharmacy Benefit Management)는 자가보험 고용주, 사보험 및 건강관리조직 등을 대리하여 건강보험플랜의 처방의약품 부문을 관리하고 있으며, 고품질 의약품 서비스를 가능한 한 낮은 비용으로 제공하는 것을 주 목적으로 하고 있다. BPMs의 주요 혜택은 약국 클레임 처리와 우편주문약국서비스이나, 추가적인 서비스로 영역을 확대해 나가고 있다. 추가 서비스는 의약품 제조업자와 리베이트 협상, 약국네트워크 개발, 처방전 관리, 전향적 및 후향적 의약품 사용 평가, 제네릭 의약품 대체, 질병관리프로그램 등이 있다.

(3) 해외사례 - 독일

한편, 전 세계 제네릭 의약품 시장 2위를 차지하고 있는 독일의 의약품 구조도 다른 나라의 그것에서 크게 벗어나지 않는다. 다만, 2004년 정부가 비처방의약품에 대하여 의약품 통신판매 허가함에 따라 이를 이용한 유통체널이 허가 이전보다 높은 비중을 차지하기 시작했다는 점에 주목할 필요가 있으며, 이는 유통 경로 참가자들의 새로운 경쟁구도 변화를 가져옴과 동시에 의약품 가격 조절의 새로운 변수로 작용하였다. 이에 대하여 2004년 의약품 통신판매 허가 전/후로 독일의 의약품 시장 변화를 먼저 살펴

볼 필요가 있다.

독일은 2002년 당시 약국의 분포는 인구 10만 명 당 26개로 지난 10년간 다소 증가했으며 국제기준에 비해 상대적으로 높은 편이었다. 대중약국은 사실상 모두 개인이 소유하고 약사들에 의해서 직영되고 있었으며 약사들은 약사단체에 당연히 가입되어 있는 상태였다. 2003년 전자상거래의 도입, 그리고 공공의료보험과 병원합의하에 피보험자에게도 약을 줄 수 있는 병원약국 허용이 이루어지기 전에 약사들은 외래환자 조제 독점권을 가지고 있었다. 2002년 8월부터 병원약국은 특정의약품, 특히 화학요법제와 같은 의약품은 의원급 의사에게 전달할 수 있는 허가를 얻었다. 의원급 의사들은 몇몇 예외를 제외하고는 직접 의약품을 조제할 수 없다.

2004년 SHI 현대화 법령이 시행된 이후 의약품 시장구조는 크게 변화하였다. 의약품거래의 시장자유화가 도입되었는데 예를 들면 제약회사와의 전자상거래가 엄격한 통제하에 허용되었고 약사들은 1개 이상의 약국을 운영할 수 있게 되었으며 비처방약의 가격자유화가 도입되었다.

최초 몇 개월 동안에는 비처방약의 전자상거래가 상당히 증가하였다. 2004년 1월부터 7월까지 약 600개의 약국이 인터넷으로 약을 거래하는 허가권을 취득했으며, 약 5,000개의 약국은 연방약사협회에 의해서 설립된 인터넷 기반 약국인 Aponet에 참여했다. 2004년 7월까지 하루 동안 350만에서 500만 고객의 5%가 인터넷을 통해 약국과 접촉하게 되었다. 다른 네트워크의 주문 건수를 모두 합해도 1일 5,000건 주문에 불과한 반면 Aponet으로 형성된 네트워크는 하루에 17만 5,000에서 20만 건의 주문으로 독보적인 공급자가 되었다. OTC 전자상거래 실적은 2002년에 매출된 의약품의 4%에 해당한다.

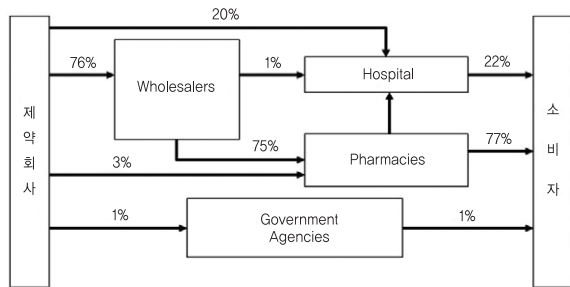
2004년 1월 1일 의약품 통신판매가 독일에서 공식허용된 이후 통신판매가 활발하게 이뤄지고 있는데, 네덜란드 국적의 인터넷 의약품 통신유통업체인 Doc Morris가 독일 의약품 전자상거래 시장을 지배하는 구조에 제9위의 유통업체인 Karstadt Quelle가 참여하면서 의약품 전자상거래는 보다 활성화 되었다. Karstadt Quelle는 월평균 2,200만명이 방문하고 20만 종류의 비처방 및 처방 의약품을 공급할 수 있는 자사의 인터넷 포털에서 기존에 있는 Wittenberger Robert-Koch-Apotheke의 인터넷 포털 Mycare로 바로 갈 수 있도록 연결해 판매하도록 했다. 또한, 처방약은 오리지널 의사 처방전을 우편으로 보내야 하는데, Mycare는 주문된 처방약을 3일내에 무료로 배달할 수 있으며, 비처방 약은 즉석에서 온라인 주문이 가능하도록 했다. 이러한 도매업체의 의약품 전자상거래는 많은 기존 약국의 시장 경쟁력을 위협하기 충분한 존재였다. Karstadt Quelle의 의약품 전자상거래 시장 내 활동은 많은 기존 약국에게 보다 더 강화된 경쟁력을 보유하도록

요구하였으며, 약국 수의 감소를 가져왔다. 2003년 말에만 해도 21,500개로 집계됐던 약국이 약 2만개로 줄어들었다.

(4) 해외사례 - 스페인

한편, 유럽 의약품 시장에 독일과 같은 영향권에 있는 스페인의 의약품 도매유통구조는 2004년 기준으로 의약품 유통의 77%가 약국, 22%가 병원을 통해 최종 소비자에게 공급되고 있다. 통상 약국은 유통업체(Wholesalers)를 거쳐 제조업체 의약품을 공급받으며, 병원은 제조업체(Manufacturer)에게 직납받고 있다는 점에서 유통 비중면에서 우리나라와 비슷하지만 미국, 일본과는 차이가 있다.

스페인 의약품 매출은 2004년 7.9% 성장, 106억 8,954만 유로를 기록했으며 이 중 77.3%인 82억 6,746만 유로는 약국을 통해 판매되었고 나머지 22.6%인 24억 2,200만 유로는 병원을 통해 판매되었다. 약국체인망을 통한 매출액은 전년대비 6.8%, 병원 매출액은 12% 증가했다. 유통되는 전체 의약품 중 구입시 의사의 처방전이 필요한 전문의약품이 95%를 차지하고 있으며 이에 대한 신약 개발 및 투자가 증가하고 있다.



출처: 스페인 의약품 시장 동향(한국보건산업진흥원, 2007)

그림 13. 스페인의 의약품 유통 경로

2002년 기준으로 스페인 내 주요 유통업체수는 총 99개사로, 주요업체로는 Cofare, Heame, Cecofar, Cofran가 있다. 또한 주요 유통업체 이외에도 연구 및 실험실의 형태로 스페인 시장에 진입한 다국적 기업들의 현지 배급을 통해서도 유통되고 있으며, 주요 업체들은 아래와 같다.

표 4. 스페인의 주요 의약품 유통업체

업체명	홈페이지
COFARE	www.cofares.es
HEFAME	www.hefame.es
CECOFAR	www.cecofar.es
COFRAN	www.cofran.es

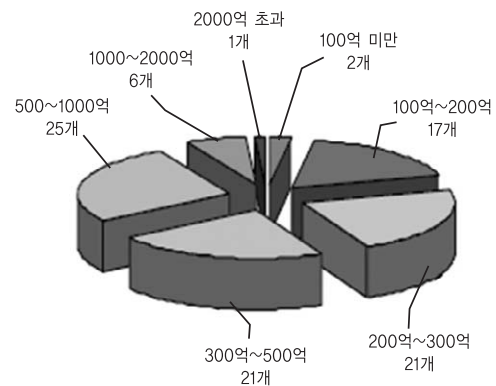
출처: 스페인 의약품 시장 동향(한국보건산업진흥원, 2007)

스페인의 의약품 유통 구조에 대하여 전반적으로 살펴보면, 2001년의 경우 의약품 도매업자 98, 웨어하우스 191, 약국 19,766개가 있는 것으로 파악되고 있다. 약국 당 종사자 수는 유럽 내에서 상위권에 속하며, 사설약국의 경우 공공 보건 시스템 하에서 존재한다. 약사들은 보건의료시스템하의 의사들이 처방한 약을 조제, 판매하는 역할을 담당하고 있으며, 약국의 수는 중앙 계획에 따라 결정되며, 약국은 반드시 전문적인 약사에 의해 운영되어야 한다.

신약 유통은 2004년 현재 255개의 신제품이 출시되었으며, 그 중 152개가 일반의약품이다. 신약의 판매액은 1.3억 유로 정도로, 일반의약품의 20% 정도이다. 보건부가 처방의약품에 대한 판매 관련 업무를 관리 감독하고 있다. 스페인의 일반 의약품의 경우, EU내 의약품 법규 및 운송 등의 문제로 의약품 수입은 주로 인근 유럽국가로부터 이루어진다.

2.1.3 도매업체의 이익과 비용

앞에서도 잠깐 언급했지만, 우리나라 의약품 도매업체의 순이익율은 평균1%를 웃돌고 있다. 시장 진입이 자유화 됨에 따라 의약품 도매시장은 완전 시장 경쟁 체제로 전환되어 일정수준의 유통 마진 확보가 어렵게 되었다. 2003년도 도매업체 매출 현황을 살펴보면 현 전체 1600여개 도매업체에서 100억원 이상의 매출 실적을 기록하는 도매업체 수는 90여개이며 이 중에서 당기순이익율이 3%를 초과하는 업체수는 7개사에, 1% 미만의 당기순이익율을 기록한 업체 수 40개, 당기순손실을 기록한 업체 수는 6개였다. 특히, 매출액이 300억원 미만인 업체들이 주로 1% 미만의 영업이익이익률을 보이고 있는데 주목할 필요가 있다.



주: 2003년 매출액 상위 93개사 기준
출처: 의약품 도매업(하나경제연구소, 2004)

그림 14. 도매업체 매출액 분포

(1) 해외사례 - 일본

일본의 의약품 도매업체가 이익을 얻는 과정은 우리나라의 그

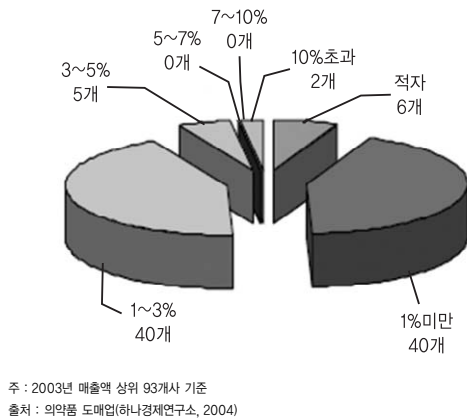


그림 15. 도매업체 당기순이익을 분포

것과 크게 다르지 않으며, 이를 살펴보면 먼저 제조회사-도매업체-의료기관 사이에서 가격형성이 어떻게 이루어지는지 알아 봐야 할 것이다. 도매업체 관점에서 의약품의 실질적인 구입원가는 제조회사로부터 구입(사절) 가격에서 해당 의약품을 판매하여 얻을 수 있는 리베이트와 allowance를 공제한 가격이다. 리베이트는 기본 Fee에 물류, 보관, 프로모션, 금융 등 제조회사(메이커)에 대한 판매경비, allowance는 보상의 의미로 쓰이며, 주로 제조회사-도매업체 간에 사용하는 용어로서 우리나라의 상황과는 차이가 있다.

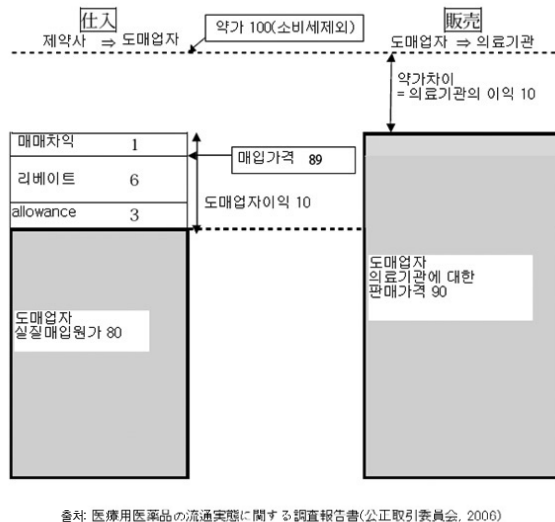


그림 16. 도매업자에서 본 가격 형성의 구조(예)

일본 공정거래위원회가 제조회사를 상대로 실시한 앙케이트 조사에 따르면, 약가를 100으로 놓고 가격이 형성되는 구조(구입(사절)가격, 구입(사절)가격 수정, 리베이트, allowance 수준)에 대해서, 전체 유효 회답수 82개 중 35개가 91~95, 31개가

86~90라고 의견을 내었으며, 도매업체의 실질 구입 원가(구입(사절)가격에서 리베이트와 allowance를 제외한 금액)에 대하여 전체 유효 회답 수 82개 중 40개가 81~85, 20개가 76~80라고 응답했다.

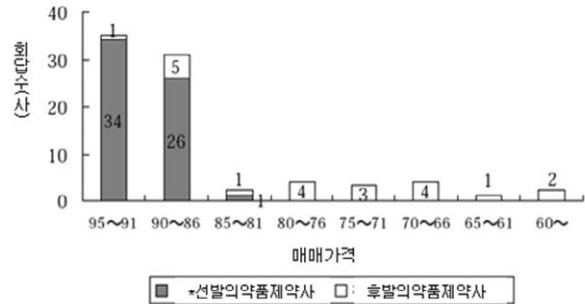


그림 17. 도매업자의 구입원가(제조업체 유효 응답수 총 82개)

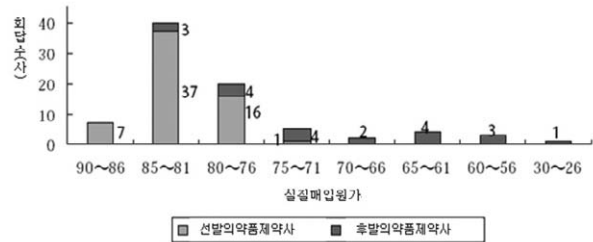


그림 18. 도매업체의 실질 구입 원가(제조업체 유효 응답 수 총 82개)

도매업체의 이익은 의료기관에 의약품이 최종 공급되는 가격의 10% 수준으로 볼 수 있다. 그러나, 도매업자의 판매관리비는 2004년도 기준으로 평균 7.5% 전후로 이를 실질구입원가의 상위 1위의 다수 가격대(85~91)에 더한 총 판매원가와 판매가격을 비교해보면 도매업자에게 실질적으로 돌아오는 예상 이익은 지극히 낮다는 것을 알 수 있다.

표 5. 도매업체의 총 판매원가와 판매 가격의 비교(예)

실질 구입 원가의 최다 가격대	A	85~91
도매업자의 일반적인 판매 관리비	B	7.5
총 판매원가	C=A+B	88.5~92.5
판매가격	D	87~94
도매업자의 이익	D-C	-1.5~1.5

출처 : 医療用医薬品の流通実態に関する調査報告書(公正取引委員会, 2006)

실제로 1991년부터 2001년까지 의약품 도매업체의 경영효율 추이를 살펴보면, 마진율(조이익율)은 1994년도에 12.3%이었던 것이 2001년에는 9.6%로 2.7포인트나 낮아졌다. 이에 대해 인건

비 등 영업비 지출은 상대적으로 별로 개선되지 않아 실질적인 경상이익(91년 1.7%→01년 1.0%)과 당기순이익율(91년 0.8%→01년 0.3%)이 크게 악화되었다.

표 6. 연도별 도매업체 영업 이익률

연도	'99	'00	'01	'02	'03.3
업소수	232	217	180	173	154
영업이익율	1.16%	0.69%	0.42%	0.49%	0.89%

출처: 医療用医薬品の流通実態に関する調査報告書(公正取引委員会, 2006)

이처럼 일본의 의약품 도매업체들이 우리나라 의약품 도매업체보다 변화하는 의약품 시장에 발빠르게 대응하면서 대형화, 전문화를 통해 마진 확보에 기울었음에도 불구하고 영업이익율은 점점 감소하고 있다. 그 원인은 일본의 의약품분업율이 50% 이상되는 상황에서 체인약국들의 요구하는 높은 영업마진과 동시에 과거에 비해 여전히 높은 판매관리비로 생긴 현상이라 볼 수 있다. 이는 도매업체 자체인 노력을 통하여 기업의 경쟁력 확보도 중요하지만, 그들과 거래하는 유통 경로 참가자들과의 이해관계의 조율과 갈등해소도 도매업체의 마진확보에 중요한 요소로 작용할 수 있다는 점을 보여준다.

(2) 해외사례 - 독일

독일의 경우, 우리나라 의약품 유통업체가 얻는 이익의 성격과 차이가 있다. 기본적으로 정부가 직접 가격 및 이익 책정에 개입하지 않지만 공공의료보험시장 등의 분야에서 간접적으로 가격 책정에 개입하고 있다. 또한, 취급하는 의약품의 종류에 따라서 가격에 대한 개입 정도가 차이가 있다.

독일의 의약품 가격규제에 대한 변천사를 살펴보면, 병원은 도매상이나 제약사와 가격을 협상할 수 있지만, 유통망과 가격은 훨씬 더 강력히 규제되고 있다. 입원?외래 두 분야 모두 출고가는 기본적으로 제조사에 의해 결정되며 정부가 직접 가격을 통제하거나 이윤을 통제하지 않는다. 가격이 제조사에 의해 결정되더라도 공공의료보험시장의 다른 분야에서 가격규제가 이루어진다. 예를 들면, 참조가격제나 병행수입에 의한 합법적인 최소판매 등 간접적 가격규제가 이루어진다. 제약사는 공공의료보험에 일정금액을 일괄지급하거나 할인(리베이트)을 주도록 법제화되어 있다.

가격규제의 기본 구조는 1980년과 2003년 사이에 커다란 변동이 없었다가 2004년에 들어 상당히 많이 변화하였다. 1980년에서 2003년까지 약사와 도매상들은 약제비 관련 법령이 정하는 바에 따라 체감하는 마진을 받았다. 제품의 가격과 함께 마진의 절대적인 크기가 계속 증가했기에 값싼 약을 조제하는 데 따른 인센티브가 적었다. 약사에 지불하는 비용은 SHI(법정건강보험조직)현대화법에 의해 2004년도에 크게 개정됐다. 즉, 비처방약 가

격이 자유화되고 처방약의 가격규제가 개정되었다. 새로운 “처방약 약가규제 법령”은 보험의 종류에 구분 없이 전체 처방약 시장에 적용됐다. 하지만 정부기관약국이나 백신, 혈액대체제, 투석관련약에는 영향을 미치지 않았다. 이런 부분에 대해서는 공공의료보험이 제약사와 가격을 협상했다(약국이나 도매상을 거치지 않고 제약사와 직접 어떤 약들의 양이나 가격을 협상하기 위한 질병기금의 권한은 2004년 이후 늘어났다).

처방약에 있어서 약사들은 균일가 8.1유로 플러스 고정마진 3%를 지급받는다. 소비자 가격은 16% 부가가치세를 포함하고 있다. 3% 마진은 제조사의 가격에 도매상의 적정 마진을 더한 것에서 추가된다(부가가치세 제외). 균일가는 약사의 수입을 보장하기 위해서 산출된 금액이다. 약사들은 이것에 만족해했다. 고정마진제가 아니었다면 제약사와 도매상 단계에서 가격을 낮추었던 2004년의 규제 때문에 약사들의 수입이 감소되었을 것이다.

약국에서는 연방합동위원회 관리목록에 등재되고 질병기금(sickness funds)에서 계속 급여하고 있는 품목을 제외한 OTC 의약품에 대한 가격을 이제는 자유롭게 책정할 수 있다. SHI급여 비처방약에 대해서는 체감마진을 둔 그전의 가격규정(2002~2003.12월까지 유효한)이 아직도 적용된다.

표 7. 상환 비처방약의 가격구조
(1) 최대 추가 요금, 2) 고정 추가 요금)

저가제품	%	%
제조자 판매 또는 공장도 가격(MSP)	100	42.4
도매업자 가격(마진=17.4%)	121	51.3
약국 가격(부가가치세 제외, 마진=40.5%)	203.5	86.2
약국 가격(부가가치세 포함, 16%)=소비자가격	236	100
고가제품	%	%
제조자 판매 또는 공장도 가격(MSP)	100	59.1
도매업자 가격(마진=10.8% 1))	112	66.2
약국 가격(부가가치세 제외, 마진=23.2% 2))	146	86.2
약국 가격(부가가치세 포함, 16%)=소비자가격	169.3	100

출처: 독일의 의약품 수입관리제도(한국보건산업진흥원, 2006)

3. 결론 및 시사점

3.1 정부의 의약품 유통 관련 정책 수립에 대한 신중한 접근 필요

의약품은 일반적 재화의 성격과 공공재의 성격을 동시에 보유하고 있기 때문에 판매업체들의 현실적인 이윤추구와 더불어 국민들의 의약품 사용에 대한 안정성, 유효성, 조제 및 투약의 정확

성 등의 공적 문제도 동시에 고려해야 할 필요가 있다. 이러한 관점에서 보면, 과도한 제약업체 수, 영세한 도매업체 난립, 직거래로 인한 제약업체와 유통업체의 기능 분업 미흡, 보험약가제도의 부작용으로 발생하는 의약품 유통 시장의 문제점들을 해결하고 나아가, 국민의 건강과 안전을 지키기 위하여 정책 도입을 통한 정부의 의약품 유통 시장의 개입은 당위성을 지닌다.

이러한 근거를 바탕으로 시장의 순기능 회복을 위해 도입되었던 정부의 의약품 유통 관련 정책들은 시장 성공/실패의 여부와 관계없이 의약품 유통 구조 변화를 가져왔다. 예를 들면, 우리나라의 의약분업이나 도매상 시설 허가요건 철폐 등의 시행 이후 영세한 도도매급 업체 수의 급격한 증가로 유통 경로 길이와 구조에 변화가 생겼으며, 일본은 신규입가제도 도입과 가격인하보상제도의 폐지로 도매업체간의 인수/합병에 따른 대형화와 수직 감소를 가져왔다. 독일은 2004년 의약품 통신판매 허용에 따른 의약품 전자상거래가 새로운 유통 경로로서 자리잡아가고 있다.

따라서, 정부는 새로운 정책을 도입하는 과정에서 정책 실행에 따른 의약품 유통 시장 내부의 변화를 인식하고 이를 보다 정확하게 예측하여 정책 수립 과정에 반영해야 할 것이다. 이에 따라 마련된 장기적인 차원의 정책은 국민의 안전과 건강을 지키기 위한 '비전'으로서 의약품 유통 시장의 전체적인 기틀을 마련하는 차원에서 수립되어야 할 것이며, 단기적인 차원의 정책은 이러한 장기적인 차원의 정책 달성을 위하여 유통 경로 참가자들이 나아가는 방향을 알려주는 '가이드라인'이 되어야 할 것이다.

3.2 의약품 유통업체의 끊임없는 기업개선노력 절실

현재, 우리나라의 의약품 대형도매업체는 소형도매업체보다 시설, 관리체계 등의 측면에서 고도의 전문성을 갖추었음에도 불구하고 해외 선진국과 비교하여 유통 시장 점유율이 상대적으로 낮고 유통망 장악 범위가 좁다. 제약회사가 이를 도매업체의 유통 기능 미흡으로 인식하면서 도매업체에 대한 신뢰감을 잃기 시작하며, 여기에 직거래를 통한 보다 많은 마진 확보의 유혹에 벗어나지 못하게 되면서 자사의 의약품 유통을 도매업체에 더 이상 일임하지 않게 된다. 결국, 대형제약회사들이 신약 개발에 투자해야 할 역량을 자체적인 물류 유통 기능을 확보하는데 낭비함으로써 제약회사만이 할 수 있는 '혁신 의약품 개발' 능력을 키울 수 없게 된다.

반면에 신규/소형도매업체는 의약품 시설 허가 요건 철폐와 KGSP의 법적 구속력의 한계로 유통 관련 시설에 대한 시설투자가 예전보다 미흡하다 하더라도 의약품 유통 시장에서 활동하는데 커다란 지장을 받지 않았다. 그러나, 소형도매업체들이 제약회사와 병/의원/약국 등이 요구하는 반품, 운송, 보관 등의 물류 기

능을 제대로 수행하지 않거나 도매업체 도산에 따른 장기적인 의약품 공급처로서의 의미 퇴색과 그로 인한 부도 어음 처리 등의 금융 거래 문제 등 유통 기능 담당자로서 신뢰를 잃기 시작하고, 이러한 문제점들을 사업자간의 친분이나 불법 리베이트, 프로모션 등의 방법으로 대처하려고 하였다. 이러한 방법이 소형 유통업체들과 유통 경로 구성원 사이에 장기적인 신뢰를 구축하는데 기여하지 못했는데도 불구하고, 소형도매업체들은 이에 대한 오류를 인식하지 못한 채 관계 유지를 위하여 불법적인 촉진 활동에 보다 더 역량을 기울이게 된다. 소형도매업체는 자연히 유통 기능 확보를 위한 관련 인프라 구축에 투자를 예전보다 적게 할 수 밖에 없으며, 결국 '유통업체의 영세화'란 악순환에 빠지게 된다.

이러한 의약품 유통 경로 참가자들이 유통업체의 기능에 대하여 불신임하는 분위기를 극복하고 서로 '윈-윈' 할 수 있는 의약품 유통 시장 환경을 조성하기 위하여 신중한 판단에 근거한 정부의 의약품 유통 관련 정책 도입과 함께, 경로 구성원들이 유통 구조에서 담당하는 본연의 기능을 갖추는데 주력해야 할 것이다. 특히, 의약품의 유통 및 물류기능을 담당하는 의약품 유통업체 스스로가 끊임없는 기업개선노력을 기울여 유통 기능 담당에 대한 전문성을 확보하고 이를 기반으로 다른 구성원에게 '유통 기능 담당 주체'로서의 역량을 확보해야 할 것이다. 일본의 의약품 3PL(Third Party Logistics, 전문물류업체) 도입에 따른 물류 기능의 전문성 확보 노력은 우리나라 의약품 도매업체가 '유통 전문 기능'을 구축하는데 참고가 될 수 있을 것이다.

3.3 KGSP의 법적 강제력 강화

KGSP는 의약품 유통 관리에 있어서 갖추어야 될 필수 관리기준이 한국 제약도매협회 주도로 제정되었다는 측면에서 의미가 있으나, 관련 업체의 자율적인 준수에 기반하여 운영되고, 위반했을 때도 시정조치를 취할 수 있는 법적 구속력이 벌금형과 단기간 영업정지 정도로 그 수위가 낮은 수준에 그치면서, 도매업체의 자발적인 참여를 통한 실질적인 관리 개선이 어려운 상황이다. KGSP가 세부기준까지 포함하여 약사법 내규에 규정되어 사법기관이 처벌할 수 있는 법적근거가 될 수 있다면, 도매업체가 이를 준수하는 과정을 거치면서 전문화된 유통 기능을 갖추고 동시에, 이를 갖추지 못한 영세한 도매업체의 자연스러운 시장 퇴출을 유도함으로써 유통업체 전반적으로 전문성을 높이는 데 기여할 것이다.

3.4 의약품 유통 정보화 관련 제도의 개선 및 인프라 구축

국내 의약품 시장의 정보화와 관련한 몇 가지 문제는 다음과 같다. 먼저 국가 단위 의약품 유통정보 생성에 대한 방법론의 부재이다. 현재 국내 의약품 유통정보와 관련하여 국가 단위의 정보 수집과 관리는 사실상 이루어지지 않고 있으며 국내 의약품유통정보 수집과 분석에 대한 기술이 부족한 실정이다. 또한 현재 이용되고 있는 국내 의약품 유통정보 역시 전체 자료가 아닌 일정부 분 추출된 자료이기 때문에 신뢰도 면에서도 그 수준이 많이 떨어지는 것이 사실이다. 이러한 문제점의 이면에는 앞서 언급한 정부의 의약품유통정보시스템 구축사업의 중단으로 인한 문제뿐 만 아니라 의약품 공급자와 구매자간의 전산화의 낙후 문제도 큰 역할을 하고 있다. 2004년 한국보건산업진흥원의 보건산업실태조사 및 산업연관분석 자료에 의하면 요양기관의 의약품 주문방식이 전화(61.5%), FAX(20.0%), 방문(14.0%)의 순이고 디지털 데이터가 아닌 아날로그 데이터로 약품을 주문하고 있는 것으로 나타났다. 이는 의약품 유통정보의 생성에 상당한 저해요인이 되고 있다. 또한 의약품 표준화의 미비도 문제이다. 의약품 유통정보를 생성하고 공유하기 위해서는 의약품과 관련된 각종 분류체계와 코드의 표준화가 선행되어야 하는데 현재 의약품과 관련된 표준화 연구가 진행 중에 있다. 따라서 다음과 같은 노력이 요구된다.

3.4.1 의약품 유통 정보화 관련 제도의 개선

의약품 유통 정보화를 위해서는 무엇보다 의약품의 공급자와 요양기관들의 참여도가 매우 중요하다. 따라서 참여를 독려하기 위해 인센티브를 제공하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다. 의약품 정보화를 위한 인프라를 구축하는데 비용이 들어가는데 따른 비용 측면에서 손실이 발생 할 수 있으며 이로 인해 공급자들의 참여도가 떨어질 수 있다. 이에 대하여 소득세 또는 법인세 감면, 공급내역 보고 면제 등의 인센티브를 통한 참여 유도를 하여야 한다. 요양기관의 경우 의약품 거래가 어느 정도 왜곡되고 잘못되었는지를 파악하는 것과 이를 통해 국민이 지불한 건강보험 재정을 건전하게 하는 것은 당연히 행해져야 하는 것으로 요양기관은 이에 협조할 의무가 있다. 그러므로 정책적으로 이를 장려함과 동시에 의약품 공급업자에게 주는 혜택과 마찬가지로 법인세 감면 등과 같은 인센티브를 고려할 수 있을 것이다.

또한 일본의 사례에서 보는 것처럼 현재 영세한 도매업체가 난립하고 있는 국내 의약품 유통 상황에서 국가 주도의 정보화 정책에는 한계가 있다. 따라서 미국과 같이 도매업체의 대형화와 현대화가 선행되어야 할 것이다.

3.4.2 의약품 유통 정보화 인프라 구축

의약품 유통정보시스템을 구축하는 것과 더불어 의약품 정보의 표준화가 필요하다. 또한 기존의 바코드 표시에 대한 관리를

강화하고 미국과 같이 RFID를 도입하는 것 역시 추진되어야 할 필요가 있다. 또한 유통 전문인력을 양성하고 관리하는 것 역시 필요할 것이다.

3.5 유통 정보화 실현과 의약품 산업구조 변화를 통한 유통 투명화 시도

국내 의약품 유통산업의 투명화를 위한 노력은 정부와 민간단체에서 다각적인 방법으로 실현되고 있다. 그러나 아직까지 국내 의약품 유통체계는 그 구조상 각종 리베이트를 포함한 음성적인 거래가 성행하고 있는 것이 현실이다. 국가청렴위원회의 의약품 리베이트에 대한 2004년, 2005년 조사에 의하면 의약품 공급업자는 약 10~15%, 일부 제네릭 의약품은 20~25%의 리베이트, 랜딩비, 매칭비, 후원금 등을 관행적으로 병/의원에 지급하고 있는 것으로 추정되었다. 국가적인 차원에서 의약품 유통비리와 관련된 유통개혁기획단이 구성되고 약제비 직불제 의무화가 이루어지면서 의약품 유통비리를 근절할 수 있는 기초가 마련되는 듯 했으나 관련업계의 반발에 의해 약제비 직불제가 폐지되면서 의약품 종합정보시스템이 무산되었다. 따라서 실질적으로 투명화에 기여할 것으로 예상된 개혁조치들이 중단된 상태이다. 따라서 외국의 사례와 비추어 현재 국내 의약품 유통체계의 투명화를 달성하기 위해서는 다음과 같은 노력이 요구된다.

3.5.1 의약품 유통 정보화의 실현

국내 의약품 유통산업에서 투명성이 강화되려면 무엇보다 의약품 유통정보화가 실현되어야 한다. 현재 국내 의약품의 투명화 정책은 구조적인 사전 예방 차원의 투명화 보다 사후 단속적인 형태를 취하고 있다. 일본의 사례에서 보는 것처럼 사후 단속적인 방법도 반드시 수행되어야 한다. 그러나 그와 더불어 의약품 유통 정보화가 이루어져 의약품 유통관련 정보 수집과 분석에 기초한 의약품의 흐름 및 가격 파악이 전자적으로 가능해져 구조적인 투명성 확보가 실현되어야 할 것이다.

3.5.2 국내 의약품 산업의 장기적인 구조적 변화

또한 독자적인 신약 개발과 연구보다 제네릭 의약품에 의존하여 제품의 특성이나 효능보다 리베이트 등과 같은 불법적인 방식에 의존할 수 밖에 없는 국내 의약품 산업의 장기적인 구조적 변화가 필요하다. 이를 위해서 도매업체의 영세성 탈피와 대형화를 통해 물류의 선진화가 이루어져야 할 것이다. 마지막으로 의약품 유통채널에 종사하고 있는 모든 주체들의 윤리 강령을 보다 내실화 하고 그 실효성을 높이기 위한 교육을 강화 하는 것 역시 중요하게 다루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 국가청렴위원회 (2005), “계약납품 관련 부패행위 처벌 실효성 확보를 위한 제도개선”
- [2] 국가청렴위원회 (2005), “의약품 리베이트 수수 근절을 위한 제도개선 권고”
- [3] 김동기, 유병우 (1997), “의약품 유통 및 물류합리화 방안에 대한 연구”, 로지스틱스연구, 제5권, 제2호, pp55-80
- [4] 김상일 (2006), “계약, 이제는 수출 경쟁력이다<申>...유럽지역”, 의학신문사
- [5] 대한상공회의소 (2004), “기업물류비 실태조사”, 물류매거진, 통권 149호, pp.106-113
- [6] 대한의사협회 (2005), “보도자료”
- [7] 류충열 (2004), “일본 의약품 유통시장 현황”, 한국의약품도매협회
- [8] 문경태 (2006), “독일의 의약정책에 대한 고찰과 시사점”, 제약산업연보, 61호, pp3-27
- [9] 박귀찬 (2002), “일본의 제약업 공정경쟁규약 운용현황”, 공정경쟁, 81호, pp2-5
- [10] 보건복지부 (2003), “일본 의약품 도매업소 운영 현황 조사 보고서”
- [11] 보건복지부 (2003), “일본의 의료보험재료 관리제도에 관한 출장보고서”
- [12] 보건복지부 (2005), “의약품유통종합시스템 관련 SDS와의 소송 종결 보도자료”
- [13] 보건복지부 (2005), “보건의료분야 투명사회협약 전문”
- [14] 식품의약품안전청, www.kfda.go.kr
- [15] 심상만 (1997), “의약품 유통 선진화 시급하다”, LG경제연구원
- [16] 양준호 (2005), “공무국외여행 결과보고서(미국의 약사제도 등)”, 보건복지부
- [17] 유병태 (2001), “의약품산업의 경쟁력향상 방안에 관한 연구”, 로지스틱스연구, 제9권, 제2호, pp121-140
- [18] 이관익 (2005), “의약품 유통정보 확보 및 활용방안 연구”, 보건복지부
- [19] 정귀수 (2004), “의약품도매업”, 하나금융경제연구소
- [20] 정명섭 (2005), “의약품산업 수입관리제도 및 해외시장 동향”, 한국보건산업진흥원
- [21] 정영철, 정영호 (2005), “의약품 유통정보 현황 및 정책과제”, 한국보건사회연구원
- [22] 조영아 (2004), “獨, 의약품 온라인판매 활발”, KOTRA,
- [23] 채규한 (2006), “일본 의약품 유통현황 조사결과 보고” 국무

조정실

- [24] 한국보건산업진흥원 (2006), “국내 제약산업 현황”
- [25] 한국보건산업진흥원 (2006), “독일 의약품 시장 동향”
- [26] 한국보건산업진흥원 (2006), “독일의 의약품 수입관리제도”
- [27] 한국보건산업진흥원 (2006), “계약산업통계집”
- [28] 한국보건산업진흥원 (2007), “스페인 의약품 시장 동향”
- [29] 한국은행 (2005), “기업경영분석”
- [30] 한국의약품도매협회, www.kapw.or.kr
- [31] 한국제약협회 (2000), “일본 공정경쟁규약”
- [32] 한국제약협회 (2001), “공정경쟁규약 전문”
- [33] 한국제약협회 (2004), “공정경쟁규약 설명회자료”
- [34] 한국제약협회, www.kpma.or.kr
- [35] 医療用医薬品の流通実態に関する調査報告書, 公正取引委員会, 2006년
- [36] 日本医薬品卸業連合会会員構成員数・本社数推移, JPWA, 2006년
- [37] FDA (2001), “The Prescription Drug Marketing Act”, Report to Congress
- [38] Eastern Research Group (2001), “The Profile of the Prescription Drug Wholesaling Industry”, Department of Health and Human Services U.S. Food and Drug Administration
- [39] IMS (2004), “세계 의약품 시장과 도매유통업 현황”
- [40] IMS (2006), “Pharmaceutical Industry Review & Trends”
- [41] Sterman, J.D. (2004), *Business Dynamics*, McGraw-Hill.
- [42] VFA (2006), “The pharmaceutical industry in Germany”



김수욱

서울대학교 경영대학 학사
 서울대학교 경영대학 석사
 미국 미시간 주립대 경영학 박사
 현재 : 서울대학교 경영대학 교수
 관심분야 : 물류/SCM, 서비스사이언스, 생산전략

공급사슬 파트너십이 기업성과에 미치는 영향

김승철*† · 홍진범** · 황수영**

*한양대학교 경영대학 · **한양대학교 대학원 경영학과

Analyzing the Impacts of Supply Chain Partnership on the Firm Performance

Seung-Chul Kim*† · Jin-Bum Hong** · Su-Young Hwang**

*Hanyang University, School of Business

**Graduate School of Hanyang University, Department of Business Administration

Electronics industry is known to have a complex network of suppliers, manufacturers and distributors. In order to be competitive, a firm must have a cooperative and efficient relationships with other firms in the upstream and downstream of its supply chain. It is important to build a supply chain partnership for a successful implementation of supply chain management. It is not, however, easy to have a good partnership with other firms because the firms often have different perspectives about the partnership.

This study attempts to find out the critical factors of partnership that have significant impacts on the supply chain performance, and whether there are any differences in perspectives between buyer company and supplier company in recognizing the critical factors of partnership. We collected data from two groups of firms in electronics industry: the buyer company group is a large finished products manufacturer and the supplier company group comprised of a group of small-to-medium-sized parts manufacturers. Seven factors of partnership are tested in the investigation.

The results show that leadership, trust, and communication are important factors positively affecting the supply chain performance. It was also found that there was a clear difference in perspectives between buyer company and supplier company in recognizing the important factors affecting the supply chain performance. The buyer company considered leadership the most important factor for a successful SCM implementation and good performance while the supplier companies considered communication, trust, and coordination more important than leadership. These results may provide useful and important information for understanding the different perspectives of buyer and suppliers, and for developing proper supply chain policies.

Keywords: supply chain management, electronics industry, partnership, SCM performance, buyer-supplier relationship

† Corresponding author: 133-791 서울특별시 성동구 행당동 17번지 한양대학교 경영대학

Tel: 82-2-2220-1069 Fax: 82-2-2220-1169 Email: sckim888@hanyang.ac.kr

* 2011년 10월 3일 투고, 10월 20일 게재 확정.

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

최근 들어 세계 경제성장의 둔화에도 불구하고 전자산업은 지속적인 성장세를 유지하고 있다. 2010년 세계 전자산업 시장은 약 1조 7,946억 달러, 2011년 세계 전자산업 시장은 약 1조 8,729억 달러로 예상되며, 2006년부터 2011년까지의 연평균 성장률은 약 4.6%에 이를 것으로 보여 세계 전자산업 시장은 앞으로도 지속적인 성장이 예상되고 있다 (KETI, 2011). 또한 이 예측 보고서에 따르면 우리나라 전자산업은 세계적으로 경쟁력이 높고 전 세계의 전자산업에서 차지하는 비중이 매우 높으며, 앞으로도 지속적인 성장이 있을 것으로 전망되고 있다.

전자산업과 같은 고부가가치 산업은 기술이 급속히 발전함에 따라 제품의 수명주기가 급속히 단축되고 있고 글로벌 기업의 등장으로 국경을 넘는 경쟁이 가속화되어 기업 환경의 불확실성은 더욱 급증하게 되었다. 이러한 기업 환경의 변화로 인해 과거처럼 단일 기업의 혁신만으로는 경쟁우위를 유지하기 어렵게 되었다. 고객을 중심으로 공급사슬 상의 다수기업들이 사실상 하나의 기업처럼 관리될 필요가 절실하게 됨에 따라 공급사슬관리의 중요성이 부각되기 시작하였다.

구매자와 공급자 사이의 장기적인 파트너십은 SCM 성과와 기업의 경쟁력에 영향을 주며, 기업은 SCM의 실천을 통해 효과적으로 환경변화에 대처하고 또한 경쟁우위를 창출하고 유지하기 위해서는 공급사슬 상의 기업 간 파트너십을 구축하는 것이 점점 더 중요해진다. 기업들이 상호이익의 창출을 위해 서로 협력하게 되고, 이러한 협력이 전략적 제휴를 기반으로 한 공급사슬 파트너십으로 발전하게 되는 것이다.

최근 공급사슬관리가 주목을 받으면서 전자산업의 총체적 경쟁력 확보를 위해서는 완성품업체와 협력업체간의 관계가 단순한 하청 관계에서 벗어나 협업의 관계로 격상되어야 한다는 주장이 제기되고 있다(Helper and Sako, 1995; Dyer, 1996). 업종 전문화에 따라 협력업체가 없으면 완성품업체의 존속이 어려운 운명 공동체 관계에 있으므로 완성품업체는 부품조달의 안정성 확보를 위해 체계적인 활동이 필요하다. 또한 SCM 파트너간의 원활한 파트너십이 맺어질수록 비용 상 효율성이 달성될 뿐만 아니라 서비스 성과도 높아지게 된다(Andraski, 1998).

우리나라 전자산업은 전통적으로 대기업인 완성품업체와 중소기업의 협력업체가 갑을관계, 즉 수직적인 하청관계를 가지고 있다. 최근 대기업과 협력업체간의 상생을 목표로 하는 동반성장

있다. 이에 따라 삼성, LG 등과 많은 대기업들이 협력업체들과 동반성장 협약을 체결하면서 파트너십을 통한 경쟁력 강화가 선택이 아닌 필수조건으로 여겨지고 있다.

전자산업은 완성품업체인 모기업과 완성품업체에 부품을 납품하는 부품협력업체가 서로 협력하여 전자제품을 생산한다. 이것은 완성품업체 뿐만 아니라 완성품업체에 공급을 하는 협력업체의 존재 역시 매우 중요하다는 것을 의미한다. 그러므로 복잡한 기업환경 속에서 국내 전자산업에서의 완성품업체와 협력업체의 생산성을 높이고 경쟁력을 확보하기 위해서는 완성품업체와 협력업체의 파트너십에 관한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 전자산업의 대표적인 대기업 완성품업체와 이에 부품을 공급하는 1차 협력업체 사이의 관계를 분석하여 공급사슬 파트너십이 기업의 SCM 성과에 미치는 영향을 파악하고 이를 바탕으로 시사점을 도출하고자 한다.

1.2 본 연구의 기여점

공급사슬 파트너십에 관한 많은 실증연구들이 존재하지만 대부분이 자동차산업, 제조업 등과 관련하여 이루어지고 있으며, 우리나라의 선도 산업이며 가장 대표적인 산업인 전자산업에 관한 연구들은 미흡한 실정이다.

기존 연구들은 SCM 구축이 대기업 중심으로 이루어짐에 따라 파트너십에 대한 연구들도 대기업 중심의 구매자 관점에서 이루어졌다. 또한 많은 연구들이 공급사슬파트너십(SCP: Supply Chain Partnership) 성과를 측정하기 위한 체계를 개발하는데 많은 노력을 기울였지만, SCP의 포괄적인 성과를 측정하기 위한 체계가 부족하였다. Beach et al.(2005)는 많은 연구들이 SCP의 결과물을 측정할 수 있는 중요한 요인들을 개발하기 위한 노력이 없었다고 지적하고 있으며, Brinkerhoff(2002)도 SCP를 평가하기 위한 사람들의 결론에 영향을 줄 수 있는 평가영역들을 연구하기 위한 시도가 부족하다고 말하고 있다. 심지어 요인들을 연구한 몇몇 연구들은 조직의 노력과 성과 간의 관계에 대한 균형 잡힌 관점을 유지하는 데 실패하였고, 그 이유는 이러한 연구들은 결과 중심의 평가에 집중하였기 때문이라고 Beach et al.(2005)과 Lambert et al.(1998)은 지적하고 있다.

본 연구에서는 한국의 전자산업에서 구매자와 공급자 차원의 양방향적인 관점에서 파트너십 관계를 파악하고자 하며, 또한 좀 더 포괄적으로 SCP를 평가할 수 있도록 리더십, 갈등해결기법과 같은 조직적 요인들을 포함하여 분석해보고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 공급사슬 파트너십

파트너십이란 서로 다른 둘 이상의 기업들이 이익과 위험을 공유하며 공동의 목적을 달성하기 위하여 서로가 필요로 하는 자원을 상호보완적으로 결합함으로써 시너지 효과를 창출할 수 있도록 장기적인 동맹관계를 맺는 것을 의미한다 (김승철 외, 2008). 이러한 파트너십은 효과적인 기업성과 즉, 제한된 경영자원과 시장접근, 기술과 지식의 교환, 핵심역량 확보, 불확실한 위험에 대한 인식의 문제를 해결하여 시너지 효과를 창출하는 매우 중요한 요소로 여러 학자들에 의해 연구되고 있다.

문희철(1999)은 파트너십을 독립적인 거래관계와 합작투자나 수직적 통합과 구별되는 것으로 장·단기적으로 상호신뢰를 바탕으로 제한된 사업기반이나 상당한 수준의 사업활동을 배경으로 위험이나 보상을 공유하는 것이라고 정의하고 있다. 권순재 외(2006)는 파트너십에 관한 연구에서 경영학 분야에서 흔히 발생하는 전략적인 제휴분야와 정보시스템에서 발생하는 전략적인 제휴를 통해 파트너십 선택에 관해 연구하였는데, 여기서 전략적 제휴를 “조직의 경쟁력을 향상시킬 수 있는 다른 조직들과 기술 및 제품 등을 교환하는 파트너십의 관계”로 정의하였다. 임세현(2006)은 파트너십을 기업제휴, 동맹관계, 파트너링 등으로 정의하고 파트너십의 관점에 따라 달라질 수 있는 공급사슬관리의 성공요인과 기업성과와의 관계에 대해 연구하였다.

파트너십 관계가 많이 연구되어온 관계마케팅에서는 파트너십이란 파트너 기업이 각각 최종 목적으로 고객시장의 욕구를 충족시키는 데 초점을 두고, 조정된 노력을 제공하기 위해 활동을 수행하면서, 각 기업의 성공이 부분적으로 다른 기업에 의존한다는 상호인식과 이해가 존재하는 범위라고 정의하였다(Anderson and Narus, 1990).

Cooper and Gardner(1993)는 상호 의존관계를 구축하고 협력관계를 향상시키며 시장에서의 위치를 개선시키거나 또는 기타 공유된 목표를 성취하기 위한 관계이자 일정한 합의된 기간 동안 이익과 부담을 공유하는 관계로 정의하고 있다. Bucklin and Sengupta(1993)는 구매자-판매자간에 공급자 제품의 주문과 물류유통을 위해 목적, 정책, 그리고 절차에 동의한 유통업자와 독립된 공급자간의 지속적인 관계를 의미한다고 하였다.

Akin(1993)은 기업들이 파트너에 대한 의존이 높아지고 있고 그들과 긴밀한 관계를 가지기 위해서 많은 노력을 하고 있으며, Ellram과 Hendrick(1995) 역시 항상 호의적으로 지속적인 관계를 유지하며 정보의 공유 및 수익과 위험을 공유하는 것이라고 하였고, Corbett et al.(1999)은 서로 정보를 공유하고, 이를 통해서

위험과 이익을 공유하고 한정적인 관계가 아닌 필요하면 언제든지 도울 수 있는 관계라고 정의하였다.

Lambert et al.(1998)은 파트너십을 상호 신뢰성, 개방성, 위험 및 보상의 공유에 근거한 원만한 사업관계라고 정의하고, 파트너십을 통해 기업은 경쟁우위를 성취할 수 있으며 동시에 파트너십을 통해 개별기업들이 얻을 수 있는 것보다 더 큰 사업성과를 가져올 수 있다고 주장하였다.

Stuart and Martinez(2002)는 조직들이 파트너십 관계를 가지는 목적은 비용절감, 부가가치 창출, 기술의 향상이라고 주장하였고, 목적 달성을 위한 기업들은 경쟁력 강화를 이루고, 파트너십 관계 또는 전략적 제휴관계를 취한다고 하였다. 이러한 파트너십은 공급사슬파트너의 상호 간 성과를 개선시켜주고 친밀한 관계를 유지하도록 도와주며, 기업들은 공동문제를 해결하기 위한 노력을 통해 성과를 실현시킨다고 하였다.

Lambert et al.(2000)은 공급사슬파트너십(SCP: Supply Chain Partnership)을 상호 신뢰, 진실됨, 위험요소, 성과창출에 대한 보상을 기반으로 잘 조화된 사업관계로 정의하고 있으며, Maheshwari et al.(2006)은 SCP를 공급사슬 내 참여자들의 전략적인 제휴로 정의하고 있다.

이러한 문헌에서의 정의를 볼 때 공급사슬파트너십은 기업들 사이에서 지속적인 거래를 하는 하나의 거래 유형에 해당되며, 지속적이라는 의미는 단속적이고 단기적인 거래관계가 아니고 당사자의 협상이나 의사교환에 의하여 당사자 간에 상호이익을 바탕으로 장기적이고 반복적으로 거래가 이루어지는 것을 의미하고 있다.

〈표 1〉은 파트너십에 대한 선행연구들의 정의를 표로 정리한 것이다.

2.2 공급사슬 파트너십 측정 요인

공급사슬 파트너십(SCP: Supply Chain Partnership)의 구성요인은 효과적인 SCM의 추진에 있어서 매우 중요한 요소로 많은 연구자들에 의해 연구되어 왔다. 연구자들에 따라 다양한 구성요인들이 제시되었지만 여기서는 한 최근의 연구에서 통합적으로 제시된 파트너십 요인들을 중심으로 파악해 보고자 한다. Kim et al.(2010)은 SCP의 성과를 종합적으로 평가할 수 있는 평가체계를 개발하였는데, 전통적인 SCP 성과 개념을 유형 및 무형의 성과를 모두 평가할 수 있도록 확장시켰다. 평가요소들을 실행 요인들과 결과 요인으로 구분하였으며 실행요인은 리더십, 상호결속, 조정, 신뢰, 의사소통, 갈등해결기법, 파트너사의 자원과 역량의 7가지로 분류하였고, 결과요인은 비용효율성, 산출물, 유연성의 3가지로 나누어 측정하였다. 이들 중에서 파트너십의 실행요인 7

가지에 대해 관련연구들의 정의와 연구결과를 파악해 보았다.

리더십이란 파트너십의 성과와 품질을 향상시키기 위한 경영진의 능력과 의지로 정의할 수 있다. Brinkerhoff(2002)는 SCP의 성과를 향상시키는 데 리더십이 매우 중요한 역할을 하며, 이는 파트너십을 발전시키기 위한 경영진의 노력을 상징적으로 보여준다고 하였다. Wong(2001)은 파트너사간의 파트너십을 강화하기 위하여 경영진에서 조직의 목표, 전략, 문화를 바꾸기 위한 리더십의 발휘가 필요하다고 하였다. Maheshwari et al.(2006)은 리더십이 부족하게 되면, 좋은 파트너십 관계를 가지고 있더라도 계약관리와 일정관리와 같은 중요한 이슈들에서 실패를 할 수 있다고 경고하였다.

상호결속이란 파트너를 이해하는 정도 또는 장기적인 목표에 대한 몰입 정도라고 할 수 있다. Mohr and Spekman(2006)과 Cullen et al.(2000)은 파트너십을 지속하기 위한 파트너의 의지로서 상호결속을 설명하고 있다. Fuller and Vassie(2002)는 효과적인 파트너십은 강력한 상호결속에 달려 있다고 하였으며, Corbett et al.(1999)은 장기적인 상호결속이 파트너들 간 신뢰를 향상시키고, SCP의 상호 이익을 확대시킨다고 하였다. 또한 Perry and Sohal(2001)과 Maheshwari et al.(2006)은 그들의 연구에서 상호결속과 SCP의 성과 사이에 강력한 정(正)의 관계가

존재한다는 것을 밝혔다.

조정은 파트너와 협업하기 위한 시스템, 문화, 프로세스의 수정 및 목표에 대한 명확한 인지정도라고 정의할 수 있다. 다시 말해, 조정은 파트너십을 강화하기 위해 시스템, 프로세스, 문화를 변화시키기 위한 조직의 노력을 말한다. Brinkerhoff(2002)와 Fiala(2005)는 시스템, 문화, 프로세스가 조화되지 못하면 파트너십의 성공에 장애가 되기 때문에 성공적인 파트너십을 위해서는 양립할 수 있는 가치의 공유가 반드시 필요하다고 하였다.

신뢰는 파트너를 서로 믿고 신뢰할 수 있는 정도라고 정의할 수 있다. Kumar(1996)는 신뢰가 파트너 관계에서 불확실성을 감소시켜주기 때문에 공급사슬관리에 있어서 핵심적인 요인이라고 말하고 있다. Wong et al.(2005)은 파트너십을 실현가능하게 해주며, 파트너십을 성공으로 이끄는 핵심적인 요인이라고 말하고 있다. 또한 Suh and Kwon(2006)은 파트너 사이의 신뢰가 특별한 자산의 투자와 매우 관련이 있기 때문에 위험을 감수하는 활동이라고 말하고 있으며, Liu et al.(2006)은 상호 신뢰의 부족이 파트너십 관계를 파괴할 수도 있는 치명적인 요인이라고 강조하였다.

의사소통은 파트너들간 성공적인 파트너십의 유지를 위해 원활한 의사소통이 이루어지고 있는지의 정도를 말한다. Tuten

표 1. 파트너십에 대한 정의

연구자	파트너십에 대한 정의
문희철 (1999)	장·단기적으로 상호신뢰를 바탕으로 제한된 사업기반이나 상당한 수준의 사업활동을 배경으로 위험이나 보상을 공유하는 것
권순재 외 (2006)	조직의 경쟁력을 향상시킬 수 있는 다른 조직들과 기술 및 제품 등을 교환하는 관계
Anderson & Narus (1990)	각 기업의 성공이 부분적으로 다른 기업에 의존한다는 상호인식과 이해가 존재하는 범위
Cooper & Gardner (1993)	상호 의존관계를 구축하고 협력관계를 향상시키며 공유된 목표를 성취하기 위한 관계이자 이익과 부담을 공유하는 관계
Bucklin & Sengupta (1993)	물류유통을 위해 목적, 정책, 그리고 절차에 동의한 유통업자와 독립된 공급자간의 지속적인 관계
Ellram & Hendrick (1995)	항상 호의적으로 지속적인 관계를 유지하며 정보의 공유 및 수익과 위험을 공유하는 것
Corbett et al. (1999)	서로 정보를 공유하고, 이를 통해서 위험과 이익을 공유하고 한정적인 관계가 아닌 필요하면 언제나 도울 수 있는 관계
Lambert et al. (1998)	공유에 근거한 사업관계를 통해 개별기업들에 의해 얻을 수 있다는 것보다 더 큰 사업성과를 가져올 수 있는 것
Lambert et al. (2000)	상호 신뢰, 진실, 위험요소, 성과창출에 대한 보상을 기반으로 잘 조화된 사업관계
Maheshwari et al. (2006)	공급사슬 내 참여자들의 전략적인 제휴

and Urban(2001)은 의사소통이 성과의 요건을 정립하고, 파트너의 변화에 적응하고, 잠재적인 갈등을 해결하고, 불확실성을 감소시키는데 도움이 되기 때문에 성공적인 파트너십의 구축을 위해 필수적인 요소라고 강조하였다. 효과적인 의사소통을 위해 Lau et al.(2002)은 정보시스템의 구축을 강조하고, Maheshwari et al.(2006)은 문화적 차이를 조정을 강조하고 있으며, Motwani et al.(1998)은 피드백 프로세스를 강조하고 있다.

갈등해결기법은 갈등해결을 위한 기법을 효과적으로 관리하고 이용하고 있는지의 정도를 말한다. Maheshwari et al(2006)은 공급사슬 내 파트너십에서 기업들은 자신의 특성을 유지하게 되고, 이에 따라 갈등이 발생할 수 있기 때문에 성공적인 파트너십을 위해 매우 중요한 요인이라고 말하면서, 이러한 갈등은 파트너

십에 악영향을 미치기 때문에 개방적인 토론과 효과적으로 관리할 수 있는 시스템이 필요하다고 강조하고 있다. 또한 Maheshwari et al(2006)은 몇몇 연구들에서 강압, 지배, 계급 등에 의한 전통적인 방식의 갈등해결기법에 대해 연구하였음을 소개하였고, Mohr and Speckman(1994)은 공동문제해결과 상호조정프로그램과 같은 대안적인 갈등해결기법을 제시하였다. 많은 연구들에서 부정적인 영향을 초래하게 되는 외부해결방법보다는 파트너 사이의 내부해결방법이 장기적인 파트너십을 위해 더욱 지속가능하고 효과적인 방법이라는데 동의하고 있다.

파트너사의 자원과 역량은 효율적으로 파트너십을 유지하기 위해 파트너사가 그들의 자원과 능력에 효과적으로 투자하고 이를 관리하는지의 정도이다. 파트너사의 자원과 역량은 파트너십

표 2. 공급사슬 파트너십 측정 요인에 관한 연구

측정변수	개념적 정의	관련연구
리더십	파트너십의 성과와 품질을 향상시키기 위한 경영진의 능력과 의지	Maloni and Benton (1997) Wong (2001) Brinkerhoff (2002) Beach et al. (2005) Maheshwari(2006)
상호결속	파트너를 이해하는 정도 또는 장기적인 목표에 대한 몰입 정도	Mohr & spekman(2006) Corbett et al.(1999) Cullen et al. (2000) Lambert et al. (2004) Parung and Bititci (2006)
조정	파트너와 협업하기 위한 시스템, 문화, 프로세스의 수정 및 목표에 대한 명확한 인지	Mohr & Spekman (2006) Brinkerhoff (2002) Fiala (2004) Maheshwari et al. (2006)
신뢰	파트너를 믿고 신뢰할 수 있는 정도	Kumar (1996) Maloni and Benton (1997) Brinkerhoff (2002) Suh & Kwon (2006) Liu et al. (2006)
의사소통	파트너간 효율적인 업무처리를 위한 의사소통 정도	Mohr & Spekman (2006) Perry & Sohal (2001) Tuten & Urban (2001) Lau et al. (2002) Maheshwart et al. (2006)
갈등해결기법	갈등해결을 위한 기법을 효과적으로 관리하고 이용하고 있는지의 정도	Mohr & Spekman (2006) Beach et al. (2005) Maheshwari et al. (2006)
파트너사의 자원과 역량	파트너사가 그들의 자원과 능력에 효과적으로 투자하고 이를 관리하는지의 정도	Maloni & Benton (1997) Brinkerhoff (2002) Lemke et al. (2003) Liu et al. (2006)

을 유지하기 위한 기본적인 요소로 고려되고 있다. Lemke et al.(2003)은 파트너십을 유지하기 위해서 파트너사들은 그들이 전문화된 역할, 뛰어난 혁신 능력, 사회성 등과 같은 중요한 기능이 중요하다고 강조하였다. Liu et al.(2006)은 파트너사의 자원과 역량은 파트너십을 강화하기 위한 선정기준에 반드시 포함되어야 한다고 주장하였다.

이러한 선행연구들을 바탕으로 종합적으로 공급사슬파트너십(SCP)요인들을 측정하기 위한 요인들을 정리해 보면 다음의 <표 2-5>와 같다.

2.3 공급사슬관리(SCM) 성과지표

SCM성과 측정은 정량적인 효과와 정성적인 효과로 나눌 수 있다. 정량적인 효과는 계량화할 수 있는 재무상의 수익률, 배송 리드타임, 품질, 납품성과, 유연성, 고객서비스, 기업경쟁력 등을 말하고, 정성적인 효과는 계량화하기 어려운 질적인 효과로 사용자의 만족도 증가, 업무처리 효율성 증대, 파트너와 관계개선 등을 말한다.

성과측정은 여러 가지 방법을 이용하여 다원적으로 측정하고 있는데 대표적인 방법으로는 재무지표, 생산운영지표, 프로세스 중심지표, 균형성과표(BSC), SCORM형성과표지표, 경제적 부가치(EVA) 등이 있다 (정용균 외, 2007).

국내에서도 SCM 성과측정에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있는데 윤현덕, 한호영(2001)은 BSC모델을 일부 수정 적용하여 고객서비스 증진 수준, 비용절감 수준, 운영 프로세스 개선 수준, 매출증진 수준 등으로 성과지표를 구분하였다.

정태원, 박영태(2007)는 물류 공동화 사업 운영성과 지표 개발에서 SCM 성과를 원가절감, 수·배송, 전사적 관리, 정보시스템, 창고관리로 구분하고 이를 BSC의 4가지 관점으로 재분류하여 세부 성과지표를 우선적 순위 결정을 위한 계층구조분석을 수행하였다. 김형기, 문종범, 최창열(2008)은 공급사슬 통합 요인이 기업성과에 미치는 영향에 대한 연구에서 성과지표를 공급자통합, 내부통합, 고객통합, 정보통합으로 나누어 제시하였다. 또한 원동환(2008)은 SCM의 4가지 구조인 모듈화, 유연화, 경직화, 지연화에 따른 SCM성과의 차이를 비교하기 위하여 SCM을 SCM성공요인으로 설정하고, SCM의 고객 서비스 증진과 비용절감이라는 두 가지 요인으로 구분하여 분석을 수행하였다.

3. 연구 모형 및 가설 설정

3.1 연구모형과 가설

본 연구에서는 Kim et al.(2010)의 연구에서 도출된 공급사슬 파트너십 요인들과 기업 SCM 성과와의 관계를 기본으로 설정하고 이에 구매자와 공급자의 관점을 조절변수로 더하여 연구모형을 만들었다. 파악하고자 하는 것은 두 가지로 첫째는 파트너십이 SCM 성과에 영향을 미치는가, 또한 어떤 파트너십 요인이 중요한가를 파악하는 것이다. 둘째는 구매자와 공급자 간에 SCM 성과를 향상시키는 데 중요하다고 여기는 파트너십의 요인에 관한 인식 차이가 있는지를 파악하는 것이다. 이를 위해 선행연구들을 바탕으로 파트너십 구성요인과 SCM 성과요인들을 정하였다. 공급사슬 파트너십 구성요인으로 리더십, 상호결속, 조정, 신뢰, 의사소통, 갈등해결기법, 파트너사의 자원과 역량의 7가지 요인으로 정하였고, SCM 성과요인으로 물류비용, 생산성, 수익성, 경쟁력을 선정하였다.

본 연구의 연구모형 및 가설을 도식화하면 <그림 1>과 같다.

가설 I : 전자산업의 파트너십 요인은 SCM 성과에 정의 영향을 미칠 것이다.

- (1) 리더십 (2) 상호결속 (3) 조정 (4) 신뢰 (5) 의사소통
(6) 갈등해결기법 (7) 파트너 역량

가설 II : 전자산업에서 협력관계의 관점(구매자 관점과 공급자 관점)에 따라 SCM 성과에 미치는 파트너십 요인의 중요성은 다를 것이다.

- (1) 구매자 관점 (2) 공급자 관점

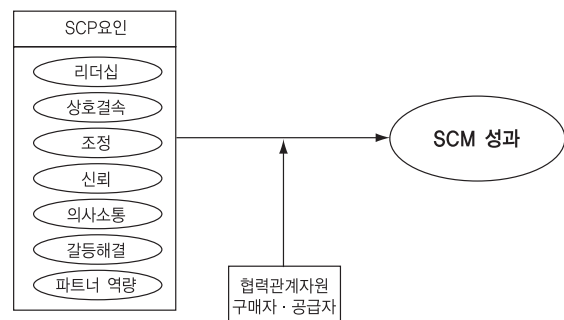


그림 1. 연구모형

3.2 연구변수의 정의

본 연구에서 사용하는 변수는 독립변수, 종속변수 및 통제변수로 구분하여 총 9개 변수이다. 모든 변수는 7점 리커트 척도를 사용하여 모수통계분석이 가능하도록 하였다. 독립변수는 7개의 공급사슬 파트너십 구성요인이며, 종속변수는 SCM 성과측정 요인 4개, 통제변수는 완성품업체와 협력업체의 2원적 관점을 나타내

표 3. 변수들의 개념 및 조작적 정의

구분	연구변수		개념적 정의	조작적 정의	관련연구
독립 변수	공 급 사 슬 파 트 너 십 요 인	리더십 (4 항목)	파트너십의 성과와 품질을 향상 시키기 위한 경영진의 능력과 의 지	파트너십 발전을 위한 경영진의 의지 및 지원 수준	Wong(2001) Brinkerhoff(2002) Maheshwari(2006)
		상호결속 (4 항목)	파트너를 이해하는 정도 또는 장 기적인 목표에 대한 몰입 정도	파트너십 지속을 위한 파트너들의 이해와 결속수준	Mohr & Spekman(2006) Corbett et al.(1999) Cullen et al.(2000)
		조정 (4 항목)	파트너와 협업하기 위한 시스템, 문화, 프로세스의 수정 및 목표에 대한 명확한 인지 정도	파트너십 유지를 위한 파트너 간 경영활동 조정 정도	Mohr & Spekman(2006) Fiala(2004) Brinkerhoff(2002)
		신뢰 (4 항목)	파트너를 믿고 신뢰할 수 있는 정 도	상호 신뢰 수준	Kumar(1996) Suh & Kwon(2006) Liu et al.(2006)
		의사소통 (4 항목)	파트너간 효율적인 업무처리를 위한 의사소통 정도	파트너간 원활한 의사소통 수준	Lau et al.(2002) Maheshwari et al.(2006) Tuten & Urban(2001)
		갈등해결 기법 (4 항목)	갈등해결을 위한 기법을 효과적 으로 관리하고 이용하고 있는지의 정도	갈등해결을 위한 노력의 수준	Mohr & Spekman(2006) Maheshwari et al.(2006) Beach et al.(2005)
		파트너사 자원과 역량 (4 항목)	파트너사가 그들의 자원과 능력 에 효과적으로 투자하고 이를 관 리하는지의 정도	파트너사의 능력 수준	Lemke et al.(2003) Liu et al.(2006) Maloni & Benton(1997)
조절 변수	협력관계 (1 항목)	완성품 제조업체와 1차 협력업체	구매자와 공급자 차원	오세조 외 (1994) Handfield & Nichols(1999)	
종속 변수	SCM 성과 (4 항목)	경쟁기업이나 산업 평균에 비교 하여 SCM의 활용에 따라 얻어지 는 효과	물류비용 생산성 수익성 경쟁력	Stewart (1995) 김유정 외 (2001) 장형욱 (2006) 정용균 외 (2007)	

는 1개 변수를 포함하고 있다.

선행연구를 바탕으로 도출된 연구변수들의 개념 및 조작적 정의 그리고 각 변수들에 관한 이론적 근거를 제시해 준 관련연구들이 <표 3>에 제시되어 있다.

4. 실증분석

4.1 자료의 수집

구매자와 공급자의 관점을 고려한 가설을 검증하기 위해서 표 준화된 설문지를 사용하였다. 구매자인 완성품업체에 배포한 설문지에서는 공급자인 부품협력업체에 관하여 완성품업체의 직원이

느끼는 관계와 성과를 조사하였으며, 공급자인 부품협력업체로부터는 구매자인 완성품업체에 관하여 부품협력업체가 느끼는 관계와 성과를 조사하였다. 설문에 대한 응답은 구매자-공급자 관계에 직접적으로 관계가 있는 완성품업체의 생산 및 구매부와 협력업체의 생산 및 영업부서의 실무담당자가 작성하도록 하였다.

자료수집은 2011년 5월부터 한 달간 방문을 통해 직접 설문지를 전달하여 응답을 받는 설문조사와 전자메일 발송을 통한 인터넷 조사를 이용하여 이루어졌다. 본 연구는 다수의 완성품업체와 많은 협력업체를 조사할 때 구매자와 공급자를 정확히 짝지어서 조사할 수 없다는 단점을 피하기 위해 1개의 완성품업체와 그 협력업체들을 대상으로 한정지어서 정확성을 높이고자 하였다. 설문지는 총 166부가 회수되었고 완성품업체에서 외부 협력업체에 대한 관리와 구매를 담당하는 직원들로부터 93부, 부품협력업체

의 담당자들로부터 73부가 회수되어서 분석에 사용되었다. <표 4>는 분석에 사용된 표본의 통계적 특성을 보여주고 있다.

표 4. 표본의 통계적 특성

내용		빈도	비율(%)
협력 관계	구매자	93	56
	공급자 (1차 협력업체)	73	44
매출규모	100억 미만	49	29.5
	100~500억 미만	20	12
	1000~5000억 미만	2	1.2
	5000억 이상	95	57.2
종업원수	50명 미만	49	29.5
	50~100명 미만	18	10.8
	100~300명 미만	4	2.4
	300~1000명 미만	4	2.4
	1000명 이상	91	54.8
거래기간	5년 미만	3	1.8
	5~10년 미만	11	6.6
	10~15년 미만	22	13.3
	15~20년 미만	59	35.5
	20년 이상	71	42.8
근무부서	생산	42	25.3
	영업	37	22.3
	인사	6	3.6
	재무	5	3
	전산	6	3.6
	구매	35	21.1
	관리	35	21.1

4.2 측정도구의 검증

본 연구에서 이용된 각 변수들의 구성개념 타당성을 검증하기 위해 요인분석을 실시하였다. 분석방법은 주성분분석을 통해 요인을 추출하고 회전방법으로는 Kaiser 정규화가 있는 베리맥스 방식을 통해 수행되었다. 고유값(eigen-value)이 1 이상이고 요인적재량이 0.5 이상인 요인을 추출하였으며, 모두 7개의 독립변수에 해당하는 요인이 추출되었다. 또한 이 요인들에 대한 크론바하 알파(Cronbach's α) 값은 모두 0.7 이상으로 나타나 연구에 사용된 측정도구를 신뢰할 수 있는 것으로 분석되었다 (Nunnally, 1978).

4.3 연구가설의 검증

4.3.1 가설 I: 파트너십 요인과 SCM 성과

다중회귀분석을 이용하여 종속변수인 SCM 성과에 미치는 독립변수인 파트너십 요인들의 영향력과 상대적인 중요성을 파악하였다. 이를 위한 사전작업으로 독립변수들 간의 다중공선성을 검사하였다. <표 6>의 검사결과를 보면 공차한계(tolerance)가 대부분 0.1 보다 큰 0.5 이상이고 분산팽창계수(VIF: variation inflation factor)도 대부분 2 이하로 다중공선성 존재의 기준으로 보는 10 보다 (이학식 외, 2005) 훨씬 작은 값을 보여 독립변수들 간의 다중공선성은 문제가 되지 않는 것으로 판단하였다.

첫 번째 연구가설 검증을 위하여 다중회귀분석(Regression)을 이용하였다. <표 7>은 모든 독립변수를 포함하는 다중회귀분석을 통해 독립변수의 중요성을 살펴본 결과이다. 다중회귀분석 모형의 설명력(R^2)은 0.406이고, F 값은 15.440을 나타냈으며 이에 대한 유의확률은 0.000으로써 독립변수인 파트너십 요인들이 집단으로 종속변수인 SCM 성과를 설명하는데 유용한 것으로 파악되었다. 독립변수의 통계적 유의성을 판단하기 위하여 t-검정을 실행한 결과 SCM 성과에 영향을 미치는 변수는 1% 유의수준에서 리더십, 의사소통, 파트너사 역량, 5% 유의수준에서 신뢰, 10% 유의수준에서 상호결속이 유의성이 있는 것으로 나타났고, 조정과 갈등해결기법은 유의성이 없음이 판명되었다.

종속변수인 SCM 성과에 영향을 미치는 요인들의 순서를 살펴보면 표준화계수의 값을 근거로 하여 리더십>의사소통>신뢰의 순서로 SCM 성과에 정의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한 가지 특이한 것은 파트너사 역량이 SCM 성과에 유의한 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타난 것이다. 이에 대한 설명을 찾아보면 구체적인 증거는 없으나 아마도 구매자-공급자 간의 수직적 관계가 일반적인 한국의 전자산업 환경에서 갑(甲)의 위치에 있는 대기업 구매자가 역량이 뛰어날수록 즉 경쟁력이 높을수록 을(乙)의 위치에 있는 공급업체의 입장에서는 납품단가나 기타 공급사를 협력에서 얻어지는 성과분배에서 형평성이 있는 대우를 받기 어렵기 때문에 성과에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타나는 것이 아닌가 하는 추측을 해볼 수 있을 뿐이다.

4.3.2 가설 II: 구매자-공급자 간의 파트너십 요인 중요도에 대한 시각차이

다음에는 연구가설 II를 검증하였는데 이는 협력관계 관점에 따라 SCM 성과에 영향을 미치는 파트너십 요인의 중요도에 차이가 있음을 검증하는 것이다. 전체 표본을 완성품업체와 부품협력업체로 나누고 이를 각각 구매자(완성품업체)와 공급자(부품협력업체)라는 두 가지의 협력관계 관점을 대표하는 것으로 구분하여 다중회귀분석을 실시하였다.

표 5. 독립변수에 대한 요인분석

요인별 설문문항	성 분						
	1	2	3	4	5	6	7
B1-1 리더십	0.31	-0.034	0.078	-0.058	0.719	0.213	0.053
B1-2 리더십	0.157	0.081	0.17	-0.019	0.786	0.101	0.016
B1-3 리더십	0.106	0.091	-0.079	0.397	0.653	0.093	0.223
B1-4 리더십	0.021	0.064	0.104	0.246	0.621	0.135	0.186
B2-1 상호결속	0.567	0.095	0.197	-0.188	0.046	0.078	0.606
B2-2 상호결속	0.228	0.13	0.182	0.085	0.292	0.113	0.625
B2-3 상호결속	0.002	0.207	0.094	0.275	0.3	0.137	0.682
B2-4 상호결속	0.263	0.12	0.099	-0.029	-0.033	0.093	0.801
B3-1 조정	0.029	0.184	0.813	0.24	0.075	0.121	0.154
B3-2 조정	-0.027	0.145	0.811	0.139	0.087	0.112	0.171
B3-3 조정	0.007	0.191	0.794	0.177	0.183	0.137	0.102
B3-4 조정	0.258	0.296	0.707	0.158	0.013	0.265	0.014
B4-1 신뢰	0.349	0.773	0.199	0.128	-0.073	0.167	0.043
B4-2 신뢰	0.189	0.731	0.256	0.065	0.09	0.009	0.193
B4-3 신뢰	0.058	0.816	0.178	0.1	0.225	0.161	0.138
B4-4 신뢰	0.222	0.817	0.171	0.162	-0.009	0.142	0.13
B5-1 의사소통	0.079	0.211	0.35	0.649	-0.037	0.185	-0.057
B5-2 의사소통	0.083	0.042	0.057	0.698	0.346	0.187	0.01
B5-3 의사소통	0.094	0.06	0.244	0.822	0.044	0.123	0.143
B5-4 의사소통	0.134	0.246	0.255	0.574	0.094	0.251	0.016
B6-1 갈등해결	0.329	0.133	0.178	0.099	0.228	0.735	0.137
B6-2 갈등해결	0.181	0.126	0.152	0.232	0.216	0.760	0.119
B6-3 갈등해결	-0.018	0.055	0.156	0.344	0.284	0.707	0.164
B6-4 갈등해결	0.187	0.395	0.309	0.192	-0.019	0.631	0.031
B7-1 파트너역량	0.834	0.191	0.02	-0.01	0.08	0.132	0.177
B7-2 파트너역량	0.728	0.225	-0.04	0.244	0.2	0.17	0.07
B7-3 파트너역량	0.799	0.124	0.134	0.084	0.145	0.074	0.232
B7-4 파트너역량	0.620	0.284	-0.004	0.231	0.256	0.166	0.09

4.3.2.1 구매자 관점의 파트너십 영향과 SCM 성과

연구가설 II를 조사하기 위해 먼저 구매자 관점에서 SCM 성과에 유의한 영향을 미치는 파트너십 요인을 조사하였다. <표 9>는 모든 독립변수를 포함하는 다중회귀분석을 통해 각 독립변수의 영향력 정도를 살펴본 것이다. 다중회귀분석 모형에 대한 설명력(R^2) 값은 0.382이고, F 값은 7.509로 나타났으며 이에 대한 유의확률은 0.000으로써 독립변수인 파트너십 요인이 집단으로 종속변수인 SCM 성과를 설명하는데 유용한 것으로 파악되었다.

특이한 점은 t값에 대한 유의확률을 확인한 결과 7개의 파트너십 요인 중에 리더십만이 1% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났으며 그 외의 파트너십 요인들은 모두 10% 유의수준을 벗어나 SCM 성과에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타난 것이다. 여기에

표 6. 독립변수들 간의 다중공선성

변 수 명	공선성통계량	
	공차한계	VIF
리더십	.656	1.525
상호결속	.601	1.663
조정	.548	1.826
신뢰	.557	1.794
의사소통	.572	1.749
갈등해결기법	.479	2.088
파트너사 역량	.540	1.852

대한 설명을 찾아보면 완성품업체 입장에서는 협상력이 높은 구매자 입장이기 때문에 여타의 협력관계를 구체적으로 실행하는데

표 7. SCM 성과에 대한 파트너십 요인들의 영향(다중회귀분석)

요 인	분 석				
	비표준화계수		표준화계수	T	Sig T
	B	표준오차	Beta		
리더십	.497	.098	.384	5.068	.000
상호결속	-.213	.117	-.144	-1.824	.070
조정	.063	.099	.053	.642	.522
신뢰	.270	.108	.206	2.512	.013
의사소통	.515	.116	.360	4.437	.000
갈등해결기법	.047	.112	.037	.419	.676
파트너사 역량	-.454	.099	-.384	-4.603	.000
Constant	1.852	.718		2.579	.011
R square= .406 DF= 7, 158 F= 15.440 Sig F= 0.000					

표 8. 가설 I의 검증결과

파트너십 요인	검 증 결 과
리더십	1% 유의수준에서 유의성 있음
상호결속	연구가설 기각
조정	연구가설 기각
신뢰	5% 유의수준에서 유의성 있음
의사소통	1% 유의수준에서 유의성 있음
갈등해결기법	연구가설 기각
파트너사 역량	1% 유의수준에서 부(-)의 영향

필요한 요인들보다 기업경영진의 의지만 있으면 파트너십을 유지하고 협력관계를 증진해 나가는데 충분하기 때문에 이러한 결과가 나왔을 수도 있다. 이는 또한 상대적으로 리더십을 구성하는 경영진의 의지가 파트너십을 높이고 SCM성과를 향상 시키는 데 매우 중요한 영향을 미친다는 것을 나타내는 것이기도 하다.

4.3.2.2 공급자 관점의 파트너십 영향과 SCM 성과

연구가설 II의 두 번째 부분인 공급자 관점의 조사를 위해서 다중회귀분석을 통해 독립변수의 영향력과 유의성을 살펴보았다. 그 결과 다중회귀분석 모형에 대한 설명력(R^2) 값은 0.655이었고, F 값은 17.654로 나타났으며 이에 대한 유의확률은 0.000으로써 독립변수인 파트너십 요인이 집단으로 종속변수인 SCM성과를 설명하는데 유용한 것으로 파악되었다.

종속변수인 SCM성과에 유의한 영향을 미치는 파트너십 요인으로는 의사소통>신뢰>조정>리더십 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 의사소통은 표준화계수가 0.417로 가장 크게 나타났다. 이것은 협력업체의 관점에서 SCM성과에 가장 크고 중요한 영향을 미치는 파트너십 요인이 의사소통임을 나타내는 것이다.

특이한 점은 연구가설 I의 검증에서 나타났던 파트너사의 역량이 SCM성과에 부(-)의 영향을 미치는 것이 공급자 관점의 분석

표 9. 구매자 관점에서 본 SCM 성과에 대한 파트너십 영향 (다중회귀분석)

요 인	분 석				
	비표준화계수		표준화계수	T	Sig T
	B	표준오차	Beta		
리더십	.334	.115	.340	2.895	.005
상호결속	.142	.107	.141	1.329	.187
조정	-.063	.122	-.072	-.513	.609
신뢰	.077	.119	.068	.648	.518
의사소통	.141	.116	.139	1.210	.230
갈등해결기법	.046	.111	.051	.413	.681
파트너사 역량	.159	.126	.142	1.260	.211
Constant	1.532	.762		2.010	.011
R square= .382 DF= 7, 85 F= 7.509 Sig F= 0.000					

표 10. 공급자 관점에서 본 SCM 성과에 대한 파트너십 영향 (다중회귀분석)

요 인	분 석				
	비표준화계수		표준화계수	T	Sig T
	B	표준오차	Beta		
리더십	.262	.136	.203	1.934	.057
상호결속	.193	.236	.073	.818	.416
조정	.333	.119	.257	2.800	.007
신뢰	.522	.142	.384	3.674	.000
의사소통	.645	.157	.417	4.108	.000
갈등해결기법	-.314	.157	-.224	-1.992	.051
파트너사 역량	-.070	.143	-.049	-.491	.625
Constant	-3.871	1.457		-2.656	.010
R square= .655 DF= 7, 65 F= 17.654 Sig F= 0.000					

에서 다시 나타난 것으로 앞에서의 추측과 같이 구매자의 경쟁력이 너무 높은 것이 공급자의 성과에는 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여주고 있다. 또 다른 특이점은 갈등해결기법이 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타난 것인데, 이것은 구매자와 공급자 간에 이해관계의 충돌이 생겼을 때 조정이나 의사소통과 같은 비공식적인 해결방법이 갈등해결기법과 같은 공식적인 해결방법을 사용하는 것보다 더 효과적이라는 것을 암시하고 있다고 볼 수 있다. 이것은 앞에서 파트너사의 역량이 SCM 성과에 부의 영향을 미치는 경우와 마찬가지로 수직적관계가 일반적인 한국의 구매자-공급자 관계에서는 소송이나 중재재판과 같은 공식적 갈등해결기법을 사용하는 것이 오히려 협력관계에 부정적 영향을 미친다는 인식이 공급자들에게 있다는 것을 나타낸다고 볼 수 있다.

분석결과를 정리해 보면 SCM 성과에 영향을 미치는 파트너십 요인에 대해 공급자인 부품협력업체는 구매자인 완성품업체와 매우 다른 관점을 갖고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 전자산업에서 공급사슬 파트너십 요인이 구매자-공급자간 협력관계에 바탕을 둔 공급사슬관리(SCM) 성과에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다. 선행연구를 통해 일반적으로 파트너십을 구성하고 유지하는데 필요한 것으로 인식되는 7개 요인들에 대한 실증조사를 통해 전자산업에서 SCM 성과에 중요한 영향을 미치는 파트너십 요인이 무엇인지를 알아보았다.

분석결과 구매자와 공급자의 관점을 구분하지 않고 파트너십 요인과 SCM 성과의 관계를 조사했을 때는 리더십, 신뢰, 의사소

통이 SCM 성과에 유의하면서 긍정적인 영향을 미치는 요인으로 밝혀졌다. 그러나 구매자-공급자의 관점을 통제변수로 도입해서 분석했을 때는 매우 다른 결과를 보여주었다. SCM 성과에 중요한 영향을 미치는 파트너십 요인에 대한 구매자와 공급자 간의 인식 차이에 대한 조사에서는 양쪽이 중요한 파트너십 요인을 다르게 인식하고 있다는 것이 나타났다. 구매자인 완성품업체의 관점에서는 가장 중요한 파트너십 요인으로 리더십 하나 만을 꼽았으나 공급자인 협력업체의 관점에서는 파트너십의 구체적인 실행에 필요한 의사소통, 신뢰, 조정 등의 요인을 리더십보다 더 중요한 것으로 여기는 것으로 나타났다.

특이하고도 흥미로운 것은 한국의 전자산업에서 구매자-공급자 간에 일반적으로 존재한다고 여겨지는 수직적 관계 때문에 나타날 수 있는 인식의 차이가 설문결과에 반영되어 나타난 것이라고 볼 수 있다. 이처럼 한 산업의 공급사슬 전후방을 구성하는 구매자와 공급자의 인식과 입장이 상이하다는 것을 실증적으로 파악한 것은 일반적으로 추측하고 있던 수직적 관계에 대한 상황을 구체적으로 보여주는 것으로서 SCM의 성공적인 실행을 위해 필요한 기업 간 협력에 관해 매우 흥미롭고 중요한 의미를 가진다. 전략적인 목표를 공유하는 파트너십의 구축을 위해서 성공적인 기업협력이 필수적이며, 이를 위해서 파트너십을 구성하는 양측의 인식차이를 정확하게 파악하고 이해하는 것이 효과적이고 실질적이고 효과적인 기업정책을 세우는데 필요할 것이다.

본 연구에서 나타나는 구매자-공급자의 인식차이는 상당부분이 대기업인 구매자와 중소기업인 공급자의 입장에서 나타나는 것으로 추측해 볼 수 있으며, 이런 점에서 본 연구의 결과가 갖는 시사점은 중소기업에 대한 정책을 입안할 때도 고려할 필요가 있을 것으로 본다. 예를 들어 대기업과 중소기업 간 상생과 협력을 위한 SCM 전략을 수립하기 위해서는 양쪽의 관점을 먼저 일치시

키고 성과에 실질적인 영향을 미칠 수 있는 파트너십 요인을 선정하여 투자와 노력을 강화해야만 실질적인 성과를 거둘 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점은 동일한 협력관계에 대한 구매자와 공급자의 판단을 보다 정확히 비교 측정하기 위해 한 개의 구매자와 그 협력업체들을 대상으로 표본을 한정지어 수집한 것을 들 수 있으며, 연구결과를 일반화하기 위해서 다른 구매자-공급자 그룹을 더 조사해 볼 필요가 있다. 또한 응답자의 근무부서가 다양하여 부서마다 존재하는 관점의 차이가 반영되어 있을 가능성도 결과를 해석할 때 고려해야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 권순재, 정남호, 최봉(2006), “e-SCM의 성공적인 파트너십 인과모형에 관한 실증분석”, 대한경영학회, *대한경영학회지*, 제19권, 제5호, pp.1993-2018.
- [2] 김승철, 김현용(2008), “전자산업 구매업체와 협력업체간 파트너십 특성이 공급사슬관리(SCM) 성과에 미치는 영향”, *한국SCM학회지*, 제8권, 제1호, pp.1-14.
- [3] 김유정, 이정석, 윤종수, 한재민(2001), “SCOR 방법론을 이용한 SCM 프로세스 평가에 관한 연구: H 기업을 중심으로”, *Information Systems Review*, Vol. 3, No. 1, pp.205-219.
- [4] 김형기, 문종범, 최창열(2008), “e-비즈니스 일반: 공급사슬 통합요인이 기업성과에 미치는 영향에 대한 실증분석”, *국제e비즈니스학회지*, 제9권, 제1호, pp. 3-25.
- [5] 문희철(1999), “공급사슬관리를 활용한 한국기업의 물류혁신 방안”, *통상정보연구*, 제1권, 제1호, pp.11-32.
- [6] 오세조, 박진용, 강호석(1994), “산업재 구매자 - 판매자 관계에 있어서 규범, 관료화, 그리고 힘의 배분구조”, *경영학연구*, 제23권, 제4호, pp.1-16.
- [7] 원동환(2008), “공급사슬구조에 따른 SCM 성과 비교 연구”, *무역학회지*, 제33권, 제2호, pp.291-310.
- [8] 윤현덕, 한호영(2001), “우리나라 PC 부품공급업체의 공급체인관리 성과에 관한 실증적 연구”, *한국물류학회지*, 제11권, 제1호, pp.117-141.
- [9] 이학식, 임지훈(2005), *SPSS 12.0 매뉴얼: 통계분석 방법 및 해설*, 법문사.
- [10] 임세현(2006), “파트너십 관점에서 SCM 성공요인과 성과와의 관계”, *유통경영학회지*, 제9권, 제1호, pp.67-88.
- [11] 장형욱(2006), “공급사슬구조에 따른 SCM 활동과 경영성과에 관한 연구”, *정보시스템연구*, 제15권, 제2호, pp.173-193.
- [12] 정용균, 조세형, 김승철(2007), “기업간 협력관계가 공급사슬관리(SCM)성과에 미치는 영향: 국내 자동차산업의 구매자-공급자 관계를 중심으로”, *한국SCM학회지*, 제7권, 제1호, pp.139-151.
- [13] 정태원, 박영태(2007), “물류공동화사업 운영성과 지표개발에 관한 실증적 연구”, *물류학회지*, 제17권, 제3호, pp.97-118.
- [14] KETI, 2011, 세계 전자산업 현황 및 전망, 전자부품연구원.
- [15] Akinc, U.(1993), “Selecting a Set of Vendors in a Manufacturing Environment”, *Journal of Operations Management*, Vol. 11, No. 2, pp.107-122.
- [16] Anderson, D. L., and Narus, J. A.(1990), “A Model of Distribution Firm and Manufacturing Firm Working Partnership”, *Journal of Marketing*, Vol. 54, No. 1, pp.42-48.
- [17] Andraski, J. C.(1998), “Leadership and the Realization of Supply Chain Collaboration”, *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, No. 2, pp.9-11.
- [18] Beach, R., Webster, M. and Campbell, K. M.(2005), “An evaluation of partnership development in the construction industry”, *International Journal of Project Management*, Vol. 23, No. 8, pp.611-621.
- [19] Brinkerhoff, J. M.(2002), “Government nonprofit partnership: a defining framework”, *Public Administration and Development*, Vol. 22, No. 1, pp.19-30.
- [20] Bucklin, L. P. and Sengupta, S.(1993), “Organizing Successful Co-Marketing Alliances”, *Journal of Marketing*, Vol. 57, No. 2, pp.32-46.
- [21] Cooper, M. C. and Gardner, J. T.(1993), “Building Good Business Relationships: More than Just Partnering or Strategic Alliances?”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 23, No. 6, pp.14-26.
- [22] Corbett, J. C., Blackburn, J. D. and Wassenhove L. V.(1999), “Case Study Partnership to Improve Supply Chain”, *Sloan Management Review*, Summer, pp.81-99.
- [23] Cullen, J. B., Johnson, J. L. and Sakanoc, T.(2000), “Success through commitment and trust: the soft side

- of strategic alliance management”, *Journal of World Business*, Vol. 35, No. 3, pp.223–240.
- [23] Dyer, J. H.(1996) “Specialized Supplier Networks As a Source of Competitive Advantage: Evidence From the Auto Industry,” *Strategic Management Journal*, Vol. 17, pp.271–291.
- [25] Ellram, L. M. and Hendrick, T. E.(1995), “Partnering Characteristics: a dyadic perspective”, *Journal of Business Logistics*, Vol.16, pp.41–64.
- [26] Fiala, P.(2004), “Information sharing in supply chains”, *Omega*, Vol. 33, No. 5, pp.419–423.
- [27] Fuller, C. W. and Vassie, L. H.(2002), “Assessing the maturity and alignment of organisational cultures in partnership arrangements”, *Employee Relations*, Vol. 24, No. 5, pp.540–555.
- [28] Handfield, R. B., Nichols, E. L.(1999), *Introduction to Supply Chain Management*, Prentice Hall.
- [29] Helper, S. R. and Sako, M.(1995), “Supplier Relations in Japan and the United States: Are They Converging?”, *Sloan management review*, Vol. 36, No. 3, pp.77–84.
- [30] Kim, K. K., Park, S. H., Ryoo, S. Y., and Park, S. K.(2010), “Inter-organizational cooperation in buyer–supplier relationships: Both perspectives”, *Journal of Business Research*, Vol. 63, No. 8, pp.863–869.
- [31] Kumar, N.(1996), “The power of trust in manufacturer–retailer relationship”, *Havard Business Review*, Vol. 74, No. 4, pp.92–106.
- [32] Lambert, D. M., Cooper, M. C. and Pagh, J. D. (1998), “Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities”, *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 9, No. 2, pp.1–9.
- [33] Lambert, D. M., Cooper, M. C. (2000), “Issues in Supply Chain Management”, *Industrial Marketing Management*, pp.65–85.
- [34] Lau, H. C. W., Pang, W. K., Wong, C. W. Y.(2002), “Methodology for monitoring supply chain performance: a fuzzy logic approach”, *Logistics Information Management*, Vol. 15, No. 4, pp.271–280.
- [35] Lemke, F., Goffin, K. and Szejcowski, M.(2003), “Investigating the meaning of supplier–manufacturer partnerships: An exploratory study”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 33, No.1, pp.12–35.
- [36] Liu, D., Bohr, C. R., Sacco, M., and Fornasiero, R.(2006), “A networked engineering portal to support distributed supply chain partnership”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 19, No. 2, pp.91–103.
- [37] Maheshwari, B., Kumar, V., and Kumar, U.(2006). “Optimizing success in supply chain partnerships”, *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 19, No. 3, pp.277–291.
- [38] Maloni M. J. and Benton, W. C.(1997), “Supply chain partnerships: Opportunities for operations research”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 101, No. 3, pp. 419–429.
- [39] Mohr, J. and Spekman, R.(2006), “Characteristics of partnership success: Partnership attributes, communication behavior, and conflict resolution techniques”, *Strategic Management Journal*, Vol. 15, No. 2, pp. 135–152.
- [40] Motwani, J., Larson, L. and Ahuja, S.(1998), “Managing a global supply chain partnership”, *Logistics Information Management*, Vol. 11, No. 6, pp.349–54
- [41] Nunnally, J. C.(1978), *Psychological Theory*, 2nd ed., McGraw Hill.
- [42] Parung, J. and Bititci, U. S.(2006), “A conceptual metric for managing collaborative networks”, *Journal of Modelling in Management*, Vol. 1, No. 2, pp.116–136.
- [43] Perry, M. and Sohal, A. S.(2001), “Effective quick response practices in a supply chain partnership – An Australian case study”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21, No. 5/6, pp.840–854.
- [44] Suh, T. and Kwon, I. W. G.(2006), “Matter over mind: when specific asset investments affects calculative trust in supply chain partnerships”, *Industrial Marketing Management*, Vol. 35, No. 2, pp.191–201.
- [45] Tuten, T. L. and Urban, D. J.(2001), “An Expanded Model of Business–to–Business Partnership

- Formation and Success”, *Industrial Marketing Management*, Vol. 30, No. 2, pp.149-164.
- [46] Stewart, G.(1995), “Supply Chain Performance Benchmarking Study Reveals Keys to Supply Chain Excellence,” *Logistics Information Management*, Vol. 8, No. 2, pp.38-44.
- [47] Stuart, M., Martinez, L. M.(2002), “Social partnership and the mutual gains organisation: remaking involvement and trust at the British workplace”, *Economic and Industrial Democracy*, Vol. 23 No. 2, pp.177-200.
- [48] Wong, A.(2001), “Leadership for effective supply chain partnership”, *Total Quality Management & Business Excellence*, Vol. 12, No. 7/8, pp.913-919.
- [49] Wong, A., Tjosvold, D. and Zhang, P.(2005), “Supply chain relationships for customer satisfaction in China: interdependence and cooperative goals”, *Asia Pacific Journal of Management*, Vol. 22, No. 2, pp.179-99.



김 승 철

서울대학교 외교학과 학사
미국 University of Hawaii MBA
미국 University of Oregon 경영학박사
현재 : 한양대학교 경영대학 교수
관심분야 : 물류/SCM, 서비스경영,
프로젝트경영



홍 진 범

한양대학교 대학원 경영학과
현재 : 반도체 산업분야 근무
관심분야 : 물류/SCM, 서비스경영,
프로젝트경영



황 수 영

한양대학교 대학원 경영학과
현재 : 백석예술대학교 관광학부
외래교수
관심분야 : 서비스경영, 물류/SCM,
프로젝트경영

핵심역량을 고려한 투자협상모형의 개발

박창순* · 안선웅**†

*동양미래대학 경영학부 · **한양대학교 산업경영공학과

Developing an Investment Negotiation Model Considering Core Competences

Chang-Soon Park* · Sun-Eung Ahn**†

*Dept. of Business Management, Dongyang Mirae Univerisity

**Dept. of Industrial & Management Engineering, Hanyang University

In the process of investment negotiation, the investor and the enterprise have different opinions causing conflicts. Therefore, we need an objective standard to mitigate the conflicts between the investor and the enterprise, and need to make constant improvement to achieve a rational investment. Therefore, this paper presents an investment negotiation model which enables investment allocation regarding the core competences among companies. The presented model can mitigate the structure of conflicts between the investor and the enterprise considering idiosyncratic investment that is caused when the core competences is converted into power, and could be used in forming sustainable optimal alternatives in the process of dynamically changing negotiation.

Keywords: Investment Negotiation, Core Competence, Idiosyncratic Investments

1. 서론

투자협상의 과정에서 투자자와 기업은 상반된 견해를 가지는 경우가 많아서 갈등의 구조가 생성될 수 있으며, 협상의 논리는 힘의 논리로 전환되는 현상으로 볼 수 있다. 이것은 투자에 대한 구조적 분석과 협상에 대한 객관적인 논리체계가 확립되지 못한 것에서 기인하며 결국에는 설명하기 어렵고 강압적인 힘이 작용하는

것으로 판단한다. 따라서 투자의 구조적 조율을 합리적으로 유도할 수 있는 객관적 기준이 필요하며, 명확한 논리의 개발과 지속적인 개선을 통해 투자 효율성을 극대화하고 갈등의 구조를 완화해야 한다.

투자란 직접투자와 회사채의 매입을 통한 간접투자로 나눌 수 있고, 프로젝트 투자와 같이 자금을 지원하고 실행의 결과로 발생하는 매출액에 비례하여 사용료(royalty)를 징수하는 형태의 조건부투자도 있다. 투자는 평가를 바탕으로 이루어지며 높은 수익률

† Corresponding author: Dept. of Industrial & Management Engineering, Hanyang University, 1271 Sa3-dong, Ansan, 426-791, S. Korea
Tel:82-31-400-5260 Email: dosme@hanyang.ac.kr

* 2011년 10월 4일 투고, 10월 7일 게재 확정.

과 안전한 회수라는 상충적 현상을 내포한다. 이러한 현상의 해결을 위해 투자자는 담보를 설정하기도 하고 자원 배분의 방법을 사용한다. 자원의 배분방법에 대한 연구는 오래전부터 진행되었다. 자원배분 방법으로는 서술적 평가방법, 점수법, 전문가 집단의 합의에 의한 델파이법(Khorramshahgol & Moustakis, 1988), 대안 간의 비교를 통한 쌍대비교법(Saaty, 1977), 투자자의 선호도를 측정을 통한 효용이론(Epstein & Zin, 1989; Rubinstein, 1976), 퍼지 집합이론, 위험 분석(Emmer et al, 2001), 회귀 및 상관도 분석법, 다기준 분석법 등이 있다.

기존의 자원배분 모형은 평가자의 자의성 개입 문제, 대안들 간의 연관관계 파악의 어려움, 대안들 간의 우선순위 변동 등과 같은 다양한 문제들을 가지고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process)와 정수계획법의 활용(Liveratore, 1987), AHP와 선형계획법의 활용(Ramanathan & Ganesh, 1995), AHP와 퍼지 접근방법의 활용(Mario & Tommaso, 2004), ANP(Analytic Network Process)와 퍼지 접근방법의 활용(Mohanty et al, 2005), 수익을 고려한 다속성 접근방법(Belmiro & Reis, 2006) 등의 복합적 모형 연구들이 진행되고 있다. 그러나 최근의 자원배분 모형들도 자원의 배분비율을 확정하지 못하고 선택기준(우선순위)을 제시하거나 단일 기업에 대하여 투자량을 산정할 수 있는 방식이 주류를 이루고 있어, 투자대상 전체를 고려한 종합적인 자원배분을 하기에는 어려움이 있다.

투자는 평가와 그 결과를 바탕으로하여 협상을 통해 이루어진다. 투자자와 기업은 각자의 목적을 위해 상호 의존적인 관계를 형성하나 그 목적들이 상충하여 갈등의 요소가 존재한다. 또한 갈등의 관리와 목적을 위해 권력(power)의 사용이 요구되기도 한다. 권력은 협력자에게 영향을 발휘하여 특정임무를 수행하게 하는 능력으로 정의하며(Dahl, 1957), 상대에 대한 의존도로도 정의한다(Emerson, 1962). 동태적 환경변화에서 상대의 전략이 변화하면 그에 대한 대응이 필요하며, 권력의 논리에 따라서 협력자간에 특이적 투자(idiosyncratic investments)를 요구하기도 한다(Hall & Hofer, 1993).

투자는 투자량과 회수조건을 결정해야 하므로 협상을 동반하며 효과적인 협상을 위해서는 협상력이 필요하다. 협상력은 상대방으로 하여금 자신이 바라는 대안으로 다가오도록 만드는 힘으로 정의하며, 협상에서는 이 힘을 어떠한 자질이나 관계로만 보지 않고 인과관계에 영향을 미치는 능력으로 파악하여 협상력을 규정한다(Zartman, 1983). 협상력은 협상자가 동원하는 이슈와 관련된 구조적 권력(issue-specific structural power)과 행태적인 권력(behavioral power)으로 구분한다(Habbeeb, 1988). 이때 구조적인 권력은 협상자들의 물적 요소(예: 자금, 정보, 기술, 전략, 품질 등)에 해당하는 상대적 위치와 이슈에 대한 능력(역량)을 의미한다.

다. 행태적인 권력은 협상행태와 관련된 능력을 말하며, 협상자가 구조적 권력을 동원하여 구체적인 행위자의 협상전술로 나타난다. 이때 구조적 권력은 협상 상대방과의 경쟁우위에서 발생하며 핵심역량과 관련되어 있다. 핵심역량(core competence)이란 단순히 그 기업이 잘하는 활동을 의미하는 것이 아니라, 경쟁기업에 비하여 경쟁우위를 가져다 줄 수 있는 기업의 역량(힘)을 의미한다(Prahalad & Hamel, 1990).

핵심역량은 특정 기업간 비교를 통해 파악된다. 핵심역량이 큰 기업은 자신에게 유리하도록 무리한 요구를 하거나 갈등을 발생시킬 수 있다. 핵심역량을 고려한 자원배분 모형의 연구는 미비하며, 투자자는 기업마다의 핵심역량을 고려한 투자 의사결정을 하기가 용이하지 않다. 결국 투자협상의 과정에서 갈등의 구조가 생성될 수 있으며, 협상의 논리는 힘의 논리로 전환되는 현상을 볼 수 있다. 이것은 투자에 대한 구조적 분석과 협상에 대한 객관적인 논리 체계가 확립되지 못한 것에서 기인하며 결국에는 설명하기 어렵고 강압적인 힘이 작용하는 것이다. 따라서 핵심역량을 고려한 투자 배분 방법이 요구되며 이를 통해 갈등의 구조를 완화해야 할 것이다(박창순 외, 2006).

효과적인 협상을 위해서는 여러 대안들을 검토하기 위한 기준이 필요하다. 그 기준으로는 협상의 타결과 결렬에 차이가 없는 유보점(reservation value)을 들 수 있다(Claude & Jain, 2004). 이러한 유보점을 파악하기 위한 방법으로는 대안들 중에서 최적대안을 선택하는 BATNA(Best Alternative To a Negotiated Agreement)의 방법이 있다(Roger & William, 1991). BATNA는 현 상황에서 최적대안으로 시시각각 변화하는 협상과정에서 지속적으로 BATNA를 형성하여 협상하는 방식이다.

협상력은 상대방으로 하여금 자신이 바라는 대안으로 다가오도록 만드는 힘으로 정의한다. 협상에서는 이 힘을 어떠한 자질이나 관계로만 보지 않고 인과관계에 영향을 미치는 능력으로 파악하여 협상력을 규정한다(Zartman, 1983). 협상력은 협상과정에서 협상자가 동원하는 이슈와 관련된 구조적인 권력(issue-specific structural power)과 행태적인 권력(behavioral power)으로 구분한다(Habbeeb, 1988). 구조적인 권력은 물적 요소(예: 자금, 정보, 기술, 전략, 품질 등)의 상대적 위치에 관한 능력이고, 행태적인 권력은 협상 행태에 대한 능력으로 구체적인 협상전술로 나타난다. 핵심역량은 타기업에 비하여 경쟁우위를 가져다 줄 수 있는 기업의 역량(힘)을 의미한다(Prahalad & Hamel, 1990). 이때 구조적인 권력은 핵심역량에서 비롯된다고 볼 수 있다.

투자협상은 투자량과 회수조건을 설정하는 것이다. 그러나 투자자는 기업마다의 특정 역량에 대한 경쟁우위가 달라서 의사결정을 하기가 용이하지 않다. 또한 협상과정에서 경쟁우위가 큰 기업은 상대로 하여금 자신에게 유리하도록 무리한 요구를 하는 특이

적 투자(idiosyncratic investments)를 유도하거나 갈등의 구조를 형성한다. 기존의 투자모형은 경쟁우위로 발생하는 특이적 투자를 감안하지 못하고 있다(박창순 외, 2006). 또한 투자의 우선순위를 밝히거나 단일 기업에 대하여 투자량을 산정할 수 있는 방식이 주류를 이루고 있어, 투자대상 기업 전체를 고려한 종합적인 투자배분의 실현에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 공급사슬내에서 협력의 역량을 고려한 투자배분 모형의 연구(박창순 외, 2006)를 바탕으로하여, 기업들 간의 경쟁우위를 고려한 투자협상모형을 제시한다. 특히 특이적 투자에 대한 설명이 가능한 방법을 제시하여 기업들이 공감대를 형성하고 투자협상의 갈등을 줄일 수 있도록 하며 투자자는 시시각각 변화하는 협상의 과정에서 최적대안을 형성할 수 있도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성한다. 2장은 본 연구의 가정을 설명하고 기호를 정의하여 투자협상모형을 설명한다. 3장에서는 투자협상의 최적대안 형성방법을 제시한다. 4장은 수치예제를 보이고 5장에서 연구결과를 정리한다.

2. 투자협상모형

2.1 가정과 기호정의

본 장에서 사용된 가정은 다음과 같다.

- (1) 정부, 금융기관, 투자조합 등 기업에 직접적으로 투자하는 기관 및 법인을 투자자로 정의하며, 단일 투자자가 여러 기업에 투자한다.
- (2) 투자자는 기준 투자량(총 투자규모)을 가지고 있다.
- (3) 투자자는 기준 회수율(기준 수익률)을 가지고 있다.
- (4) 투자자는 위험중립형이다.
- (5) 평가항목의 평가점수는 동일한 단위 혹은 척도로 표현이 가능하다.
- (6) 평가항목간의 연계효과는 없다.
- (7) 평가점수는 기업의 역량을 의미한다.
- (8) 기업 간 경쟁우위는 평가항목별로 다루어지며 핵심역량으로 표현된다.
- (9) 기존의 투자자는 평가점수에 근거하여 평가항목별로 투자량을 산정한다.
- (10) 기업의 투자확보 가능량은 핵심역량이 커짐에 따라 S형 곡선을 따르고, 투자자의 기준 투자량에 접근한다.
- (11) 투자자의 회수율은 기준 투자량과 기준 회수율에 비례한다. 기업별 핵심역량에 따른 회수율은 핵심역량이 커짐에 따라 S형 곡선을 따르고, 투자자의 회수율 최대치에 접근

한다.

본 연구에서는 단일 투자자가 기업들에게 투자하는 상황을 고려한다. 투자자는 위험중립형이며 기준 회수율(기준 수익률)과 기준 투자량(총 투자규모)를 결정하고 투자계획을 수립한다. 투자는 기업의 평가를 근거로하여 이루어지며, 평가된 점수는 기업의 활동뿐만 아니라 투자회수에 대한 역량을 의미한다. 투자량의 배분이나 회수율을 설정하기 위해서는 투자대상 기업들 간에 경쟁우위를 판단해야 한다. 경쟁우위는 기술성, 사업성과 같은 특정 평가항목내에서 평가점수를 비교하여 핵심역량으로 표현할 수 있다. 핵심역량이란 단순히 그 기업이 잘하는 활동을 의미하는 것이 아니라, 경쟁기업에 비하여 경쟁우위를 가져다 줄 수 있는 기업의 역량(힘)을 의미한다(Prahalad & Hamel, 1990). 평가에 사용되는 척도는 통일하여 상호비교 가능하고, 평가항목간의 상관관계는 없는 것으로 가정한다.

아홉 번째 가정은 평가항목별 기존의 투자구조를 파악하기 위한 것이다. 투자자는 평가점수에 근거하여 투자량이나 회수율을 결정한다. 이때 투자자의 입장에서 평가항목의 배점이나 가중치는 전체 평가항목 중에서 그 항목의 중요한 정도를 의미한다. 평가항목간의 상관관계가 없고 척도가 동일하다면, 투자량은 평가 점수에 따라 분할 가능하다. 기술성과 사업성을 경영평가의 지표로하여 그림1과 같은 평가결과를 예로 든다. 평가결과로 투자대상의 기업A와 기업B는 동일한 점수 1을 평가 받았고, 투자자의 기준 투자량은 1인 상황을 가정한다. 이때 기업A의 기술성 점수가 0.5이면 투자자는 기업A의 기술성에 0.25를 투자한다는 의미이다. 이때 평가항목별 투자의 구조를 보면, 투자자는 기술성에 0.55를 사업성에 0.45를 투자한 결과이다.

투자량 가정: 1				실제 투자량		
경영평가	기업A	기업B	합	기업A	기업B	합
기술성	0.5	0.6	1.1	0.5/2	0.3	0.55
사업성	0.5	0.4	0.9	0.25	0.2	0.45
합	1	1	2	0.5	0.5	1

그림 1. 평가항목별 투자의 예

열 번째 가정은 기업의 핵심역량과 투자량의 관계를 위한 것이다. 기업의 역량은 평가점수로 파악되고, 이러한 역량들 간의 경쟁우위는 핵심역량을 의미하며 핵심역량은 기업의 권력(힘)을 생성시킨다. 따라서 기업은 경쟁우위(핵심역량)을 내세워 희망하는 투자량과 적은 투자 보상을 제시하고, 투자자는 자금의 역량을 활용하여 큰 투자 회수와 작은 위험을 요구한다. 협상력은 이슈와 관련된 구조적인 권력과 행태적인 권력으로 구분할 수 있으며 핵심역량(권력)이 강한 당사자는 상대자에게 특이적 투자를 유도한

다(Habbe, 1988). 즉 투자협상에서의 특이적 투자란 핵심역량이 강한 기업이 평가점수(역량)보다 더 많은 투자량을 유도 할 수 있음을 의미한다. 또한 투자자의 입장에서 보면, 핵심역량이 강한 기업에 많은 투자를 하는 것은 투자회수의 가능성을 높여 회수위험을 낮출 수 있음을 의미한다. 따라서 핵심역량과 투자량의 관계는 선형적으로 비례하지 않으며, 만약 기존의 평가점수를 근거로 선형비례의 투자량 배분이 타당하다면 특이적 투자의 현상은 발생하지 않아야 한다.

투자자의 기준 투자량은 한계가 있고 투자자의 배분방식이 있다. 따라서 기업의 핵심역량이 매우 크다고 할지라도 투자량을 확보할 수 있는 것은 한계가 있다(그림2 참조). 즉 기업 투자량 확보 가능 정도는 핵심역량이 커짐에 따라 S형 곡선을 따르고 투자자의 기준 투자량에 접근한다.

열한 번째 가정은 기업의 핵심역량과 투자자 회수량의 관계를 설정하기 위한 것이다. 회수량은 기준 투자량과 기준 회수율에 비례하므로 회수의 한계량은 투자량의 한계량에 비례한다. 또한 핵심역량에 따른 회수량은 열 번째 가정의 투자확보 가능량에 비례한다. 따라서 회수 가능량은 핵심역량이 커짐에 따라 S형 곡선을 따르고 회수의 한계량에 접근한다(그림3 참조).

가정의 내용을 토대로 본 장에서는 핵심역량을 고려하여 투자의 위험을 낮추고 특이적 투자를 설명할 수 있는 투자량 배분의

기준을 제시한다. 투자량 배분의 기준은 동태적으로 변화하는 투자협상에서 최적 대안을 형성하는데 활용한다.

사용되는 기호들의 정의는 다음과 같다.

i : 기업

j : 평가항목

P_{ij} : 기업 i , 평가항목 j 의 평가점수(역량)

λ_{ij} : 기업 i , 평가항목 j 의 구조적 권력지수

I_{ij} : 기업 i , 평가항목 j 에 대한 실제 투자량

RV_{ij} : i , j 의 핵심역량을 고려한 상대적 투자량

α_{ij} : I_{ij} 에 대한 실제 회수율

U_{ij} : I_{ij} 에 대한 실제 회수가치

$R\alpha_{ij}$: I_{ij} 에 대하여 핵심역량을 고려한 상대적 회수율

$\overline{R\alpha}$: 상대적 회수율의 평균

RU_{ij} : I_{ij} 에 대하여 핵심역량을 고려한 상대적 회수가치

$\bar{\alpha}$: 투자자의 기준 회수율(기준수익률, 회수율 평균)

$\bar{I}$: 투자자의 기준 투자량 평균(총 투자량/기업수)

I_i^* : 기업 i 의 최적 투자량

α_i^* : 기업 i 의 최적 회수율

2.2 투자협상모형의 개발

2.2.1 모형개발의 논리

투자자는 경영평가를 통해 기업의 역량을 평가점수로 파악한다. 동일 평가항목내에서 역량들 간의 경쟁우위는 핵심역량을 의미하며 핵심역량은 투자협상에서 기업의 권력(힘)을 생성시킨다. 실제로 예상되는 투자상황과 핵심역량(평가항목내 경쟁우위)을 고려한 상대적 투자상황을 비교하고, 투자량 배분과 회수조건을 파악하여 투자협상 BATNA로 사용한다(그림4 참조).

2.2.2 투자협상모형

기업이 특정 평가항목에서 높은 점수를 받는다는 것은 평가항목의 해당분야에서 역량이 높음을 의미한다. 이때 평가의 척도는 다양하므로 총 배점이나 총 가중치 등을 기준으로 평가점수(역량)을 정규화한다.

기업의 평가점수는 그 기업을 판단할 수 있는 근거이며 능력을 대변하는 구조적 권력에 해당한다. 이때 구조적 권력은 투자대상의 기업들 간에 경쟁우위를 상대적으로 비교해야 하므로 동일 평가항목에서 평가점수(P_{ij})와 평가점수 합($\sum P_i$)의 비례로 표현할 수 있다. 따라서 평가항목별 상대적 위치를 파악할 수 있는 구조적 권력지수(λ_{ij})는 식(1)과 같이 구성할 수 있다.

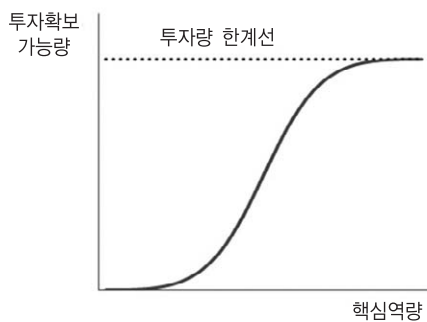


그림 2. 핵심역량과 투자확보 가능량

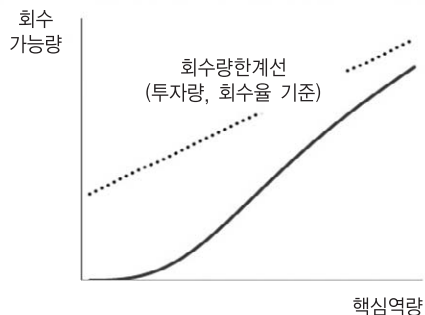


그림 3. 핵심역량과 투자회수 가능량

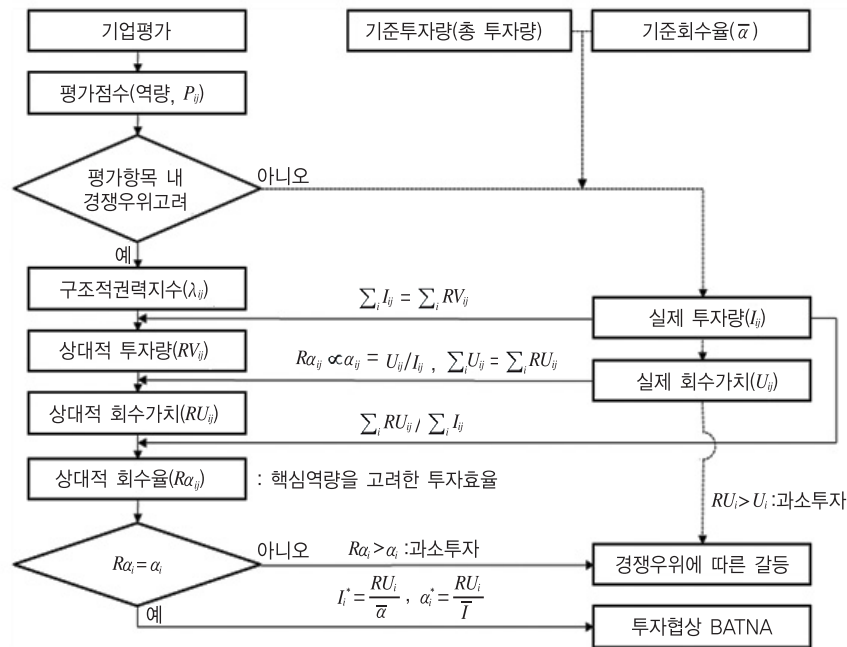


그림 4. 투자협상 BATNA 추정 흐름도

$$\lambda_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_i P_{ij}}.$$

(1)

$$I_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_j P_{ij}} I_i.$$

(3)

$$\sum_i RV_{ij} = \sum_i I_{ij}.$$

(4)

기업 i , 평가항목 j 의 구조적 권력지수(λ_{ij})가 상대적으로 크다면, 기업 i 는 평가항목 j 의 분야에서 대하여 상대적으로 큰 핵심역량이 있고 투자자로부터 상대적으로 많은 투자를 유도할 수 있다. 이것은 해당 평가항목에 대해서는 적용 가능하지만 비례모형이므로 평가항목간의 비교 및 합의 형태를 취하는 것은 타당하지 않다. 따라서 평가항목들 간의 비교를 위해서는 해당 평가항목의 가중치 혹은 평가점수의 합을 비교 기준으로 활용할 수 있다.

기준 투자량(총 투자량)을 적용할 때, 핵심역량을 고려한 상대적 투자량(RV_{ij})은 평가점수만을 고려한 실제 투자량(I_{ij})과 동일 평가항목내에서 경쟁우위를 고려한 구조적 권력지수(λ_{ij})의 곱에 비례하며 식(2)과 같다. 이때 기업 i 의 평가항목 j 별 실제 투자량(I_{ij})은 기업 i 의 투자량(I_i)을 평가점수에 비례하여 분할하는 것으로 식(3)과 같이 표현할 수 있다. 핵심역량을 고려한 상대적 투자량(RV_{ij})을 도출하기 위해서 구조적 권력지수라는 비례모형을 사용하므로 비교의 기준이 필요하다. 따라서 평가항목에 대한 실제 투자량(I_{ij})과 상대적 투자량(RV_{ij})의 합이 일치하도록 식(4)를 설정할 수 있다.

$$RV_{ij} \propto \lambda_{ij} \times I_{ij}.$$

(2)

식(1)과 식(4)를 활용하여 평가항목별 상대적 투자량(RV_{ij})을 식(5)와 같이 얻을 수 있다. 또한 기업 i 의 상대적 투자량(RV_{ij})은 기업 i 의 평가항목별 상대적 투자량의 합으로 식(6)과 같다. 이때 기업 i 의 상대적 투자량이 실제 투자량 보다 크다는 것은 기업들 간의 경쟁우위를 인정받지 못했음을 의미하며 갈등의 구조를 형성하거나 특이적 투자를 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} RV_{ij} &= \lambda_{ij} \times I_{ij} \times \frac{\sum_i I_{ij}}{\sum_i \lambda_{ij} I_{ij}} \\ &= P_{ij} \times I_{ij} \times \frac{\sum_i I_{ij}}{\sum_i P_{ij} I_{ij}}. \end{aligned}$$

(5)

$$RV_i = \sum_j RV_{ij}.$$

(6)

투자에 따른 회수를 고려해 볼 때, 평가항목별 실제 회수가치(U_{ij})는 실제 투자량(I_{ij})에 실제 회수율(α_{ij})을 곱하여 산출한다. 상대적 회수가치(RU_{ij})는 상대적 투자량(RV_{ij})과 상대적 회수율($R\alpha_{ij}$)을 곱하여 산출하는데 상대적 회수율을 직접적으로 도출하기는 어렵다. 이때 상대적 회수율($R\alpha_{ij}$)은 실제 회수율(U_{ij}/I_{ij})에 핵심역량을 반영한 것이므로, 상대적 회수가치는 상대적 투자량(RV_{ij})과

실제 회수가치(U_{ij}) 곱에 비례하며 식(7)과 같다.

$$RU_{ij} \propto RV_{ij} \times U_{ij}. \quad (7)$$

핵심역량을 고려한 상대적 회수가치는 비례모형을 사용하므로 비교의 기준이 필요하다. 따라서 상대적 회수가치의 합이 실제 회수가치의 합과 일치하도록 식(8)을 설정하고 식(7)을 대입하여 상대적 회수가치를 식(9)와 같이 도출한다. 이때 기업 i 의 상대적 회수가치는 평가항목별 상대적 회수가치의 합으로 식(10)과 같다.

$$\sum_i RU_{ij} = \sum_i U_{ij} \quad (8)$$

$$RU_{ij} = RV_{ij} \times U_{ij} \times \frac{\sum_i U_{ij}}{\sum_i RV_{ij} U_{ij}}. \quad (9)$$

$$RU_i = \sum_j RU_{ij}. \quad (10)$$

핵심역량을 고려한 상대적 회수가치가 실제 회수가치보다 크다는 것은 기업의 역량이 상대적으로 강하여 투자가치가 높음과 투자의 위험이 낮음을 의미한다. 기업별 실제 회수가치(U)는 실제 투자량(I)과 실제 회수율(α)의 곱으로 표현되며 식(11)과 같다. 기업별 상대적 회수가치(RU)의 상대적 투자량과 상대적 회수율의 곱으로 표현하는 것이 타당하지만, 상대적 회수율과 실제 회수율의 비교 편의를 위해 식(10)에서 도출된 상대적 회수가치(RU)는 상대적 회수율($R\alpha$)과 실제 투자량(I)의 곱으로 표현하여 식(12)와 같이 설정할 수 있다. 또한 평가항목별 실제 투자량의 합과 상대적 투자량의 합은 동일하고 실제 회수가치의 합과 상대적 회수가치의 합이 동일하므로, 기업들의 실제 회수율 평균과 상대적 회수율 평균은 동일하며 식(13)이 성립한다.

$$U_i = \alpha_i \times I_i. \quad (11)$$

$$RU_i = R\alpha_i \times I_i. \quad (12)$$

$$\sum_i \alpha_i = \sum_i R\alpha_i. \quad (13)$$

실제 회수율은 실제 투자량 대비 실제 회수가치를 의미하며 투자에 따른 효율을 의미한다. 상대적 회수율은 실제 투자량 대비 상대적 회수가치를 의미하며 핵심역량을 고려한 투자의 효율을 의미한다. 즉 기업 i 에 대한 $\alpha_i - R\alpha_i$ 의 값이 0보다 크면 핵심역량을 고려해 볼 때 평가점수에 따른 실제 투자량이 과잉투자 되었음을 의미한다. 따라서 실제 투자량(I)에서 과잉 투자된 부분을 과소 투자된 기업($\alpha_i - R\alpha_i < 0$ 인 경우의 기업)에 증액하여 투자량 배분이 이루

어지도록 조정하는 것이 필요하다. 또한 기업별 동일 규모의 투자량을 고려한다면 계획상의 실제 회수율(α)을 조정하여 과소 혹은 과잉 투자를 방지한다. 그러나 식(12)에서 기업별 실제 투자량 혹은 회수율을 조정하는 것은 타 기업과의 복합적 투자량 배분에 오류를 발생시킨다. 따라서 각 기업 간의 상대적 회수율을 모두 비교하여 실제 투자량을 조정하거나 실제 회수율을 조정하는 것이 필요하다.

3. 투자협상

3.1 투자협상 과정

투자자는 높은 회수율과 안정적 회수의 입장에서 협상에 임하고, 기업은 희망 투자금액과 동시에 낮은 보상액을 기대하며 협상에 임한다. 따라서 성공적인 협상을 위해서는 여러 대안들을 검토하기 위한 기준이 필요한데, 그 기준은 협상을 타결하든지 결렬하든지 차이가 없는 유보점(reservation value)을 들 수 있다(Claude & Jain, 2004). 유보점을 파악하기 위한 방법으로 여러 대안 중에서 최적대안을 선택하는 BATNA를 사용한다(Roger & William, 1991). BATNA는 현 상황에서 최적대안이며, 협상과정에서 BATNA를 지속적으로 형성하여 협상을 체결한다.

투자협상은 기업의 경영평가에 대한 결과를 활용하여 협상의 BATNA를 형성하고 투자량과 회수조건을 조정하는 과정을 따른다(그림5 참조).

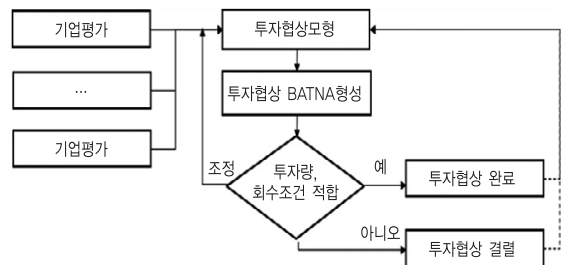


그림 5. 투자협상 과정

3.2 투자협상 BATNA 형성

일반적으로 투자자는 평가점수에 근거하여 기업에 투자하고 회수하는 것을 균형적인 투자로 판단한다. 본 연구의 투자협상모형에서 제시한 상대적 회수가치는 균형적인 투자 상황에서 평가항목별 경쟁우위를 고려한 것이다. 기업 i 의 상대적 회수가치(RU_i)가 실제 회수가치(U_i)보다 크다는 것은 핵심역량을 고려해 볼 때

상대적 회수율(효율)이 크다는 것이고 구조적 권력이 강하지만 실제 투자량은 상대적으로 과소 투자 될 수 있음을 의미한다. 또한 그 반대의 경우는 상대적으로 약한 구조적 권력을 가지고 상대적으로 많은 투자량의 확보를 의미한다. 이때 효율이 높은 곳에 투자량을 크게 하는 것은 회수의 위험을 낮출 수 있음을 의미한다.

상대적 회수율(RU_i)은 기업에게 1단위 투자 시 회수되는 상대적 회수가치의 비율로 정의할 수 있다. 기업들의 상대적 회수율과 실제 회수율의 편차($\sum_i (RU_i - \bar{RU})^2 = \sum_i (RU_i - \bar{\alpha})^2$)가 크다는 것은 실제 투자량이 상대적으로 과소 혹은 과대 투자된 부분이 많음을 의미하며, 갈등구조가 크게 형성 될 수 있음을 나타낸다. 즉 상대적 회수율과 기준 회수율의 편차를 줄이는 것은 갈등을 완화하고 투자의 효율을 고려하여 위험을 낮추는 의미를 갖는다.

상대적 회수가치는 실제 투자량에 상대적 회수율을 곱한 형태이며 실제 투자량에 따른 핵심역량의 효과(회수의 가능성)를 의미한다. 따라서 핵심역량의 효과를 유지하면서 기업별 상대적 회수율이 동일하도록 투자량을 배분하는 것이 BATNA가 된다. 투자량 배분은 식(14)와 같고, 조정된 상대적 회수율은 '가비의 리(componendo)'에 의해 기준 투자량(총 투자량)과 상대적 회수가치의 총합($\sum_i RU_i$)의 비율로 나타나며 식(8)과 식(13)에 의해 투자자의 기준 회수율($\bar{\alpha}$)과 같다.

$$\frac{RU_1}{I_1} = \frac{RU_2}{I_2} = \dots = \frac{RU_i}{I_i} = \dots = \frac{\sum_i RU_i}{\sum_i I_i} = \frac{\sum_i U_i}{\sum_i I_i} = \bar{\alpha}. \quad (14)$$

식(14)는 식(15)으로 정리되는데, 투자량 배분의 BATNA는 투자자의 정책인 기준 회수율과 상대적 회수가치의 비율로 표현된다. 이때 기준 투자량($\sum_i I_i$)을 고려하면 식(15)에 의해 기업*i*의 최적 투자량은 상대적 회수가치의 비율($RU_i / \sum_i RU_i$)로 투자량을 결정하는 것과 동일하다.

$$I_i^* = \frac{RU_i}{\sum_i RU_i} \times \sum_i I_i = \frac{RU_i}{\bar{\alpha}}. \quad (15)$$

또한 공공목적의 지원사업과 같이 기업에 동일 금액을 투자하는 경우에는 상대적 회수가치(핵심역량을 고려한 투자효과)를 유지하고 회수율 BATNA를 형성할 수 있다(식(16) 참조).

$$\alpha_i^* = \frac{RU_i}{I}. \quad (16)$$

제시된 투자배분 방식은 투자협상의 BATNA로 사용할 수 있으며 특이적 투자를 설명할 수 있는 객관적 근거를 제시할 수 있다. 또한 투자협상에서 기업 간의 권력으로 인한 갈등요소를 줄이고, 투자자의 회수위험을 축소하는 효과를 가진다.

4. 수치예제

투자협상모형을 사용하여 BATNA 형성을 제시한다. 단순한 수치예제로 BATNA 형성의 전체흐름을 파악해 보고, 평가항목 점수의 합이 동일한 수치예제를 통해 핵심역량에 따른 민감도를 검토한다.

기업A와 기업B가 투자를 위한 평가를 받았고, 평가결과는 그림6의 경영평가와 같다. 이때 투자자의 기준 투자량과 기준 회수율은 각 1인 상황을 가정한다.

투자자의 입장에서 평가항목별 점수를 비교해 보면, 기술성 점수는 1.1이고 사업성의 점수는 0.9이다. 이것은 기술성이 사업성보다 경쟁우위에 있음을 의미한다. 따라서 기업A의 기술성 평가점수 0.5와 사업성 평가점수 0.5는 다른 의미를 갖는다. 기업A의 기술성(0.5)은 기업B의 기술성(0.6)을 포함한 전체 기술성(1.1)에서 권력의 위치(구조적 권력지수)가 $0.5/1.1 (=0.4545 < 0.5)$ 이 된다. 그리고 기업A 사업성의 구조적 권력지수는 $0.5/0.9 (=0.5556 > 0.5)$ 이 된다. 이때 기업A의 기술성과 사업성에 대한 구조적 권력지수는 각 평가항목에서 서로 다른 기준을 사용하므로 그 합을 구하는 것은 타당하지 않다.

기준 투자량과 기준 회수율을 각 1로 하였으므로 경영평가의 평가점수 총합을 1로 정규화한 형태가 실제 투자량과 실제 회수값이 된다.

기술성 투자량의 합이 0.55라는 기준을 두고, 기업 A의 기술성에 대한 실제 투자량은 $0.25(0.5/2)$ 이지만 핵심역량을 고려한 기업A의 기술성에 대한 상대적 투자량은 $0.2254(< 0.25)$ 가 된다. 또한 기술성 회수가치의 합이 0.55라는 기준을 두고, 기업 A의 기술성에 대한 실제 회수가치는 투자량은 0.25 이지만 핵심역량을 고려한 기업A의 기술성 상대적 회수가치는 $0.2016(< 0.25)$ 이 된다.

기업A는 사업성 분야에서 경쟁우위(상대적 회수가치 0.3484)가 있고, 기업B는 기술성 분야(상대적 회수가치 0.2976)에서 경쟁우위에 있다. 그러나 실제 투자가 평가점수에 의해 이루어진다면, 핵심역량이 더 강한 기업B는 갈등을 발생시킬 수 있다. 투자자는 핵심역량을 고려해 볼 때 기업B에 실제의 투자량보다 많은 투자를 하거나(기업A의 투자량 축소) 회수율을 감소(기업A의 회수율 증가)하여 갈등의 소지를 제거하고 위험을 낮추는 것이 필요하다. 따라서 투자량의 적정 배분량은 기업A에 기준 투자량의 49.92%를 투자하고 기업B에 50.08%를 투자하는 BATNA를 형성한다. 이때 평가항목별 실제 투자량과 상대적 투자량 그리고 평가항목별 실제 회수가치와 상대적 회수가치에 대하여 동일한 기준을 적용하였다. 따라서 기준 투자량(총 투자량)과 기준 회수율을 변화 시켜도 기업 A와 기업B의 상대적 회수가치의 크기는 변

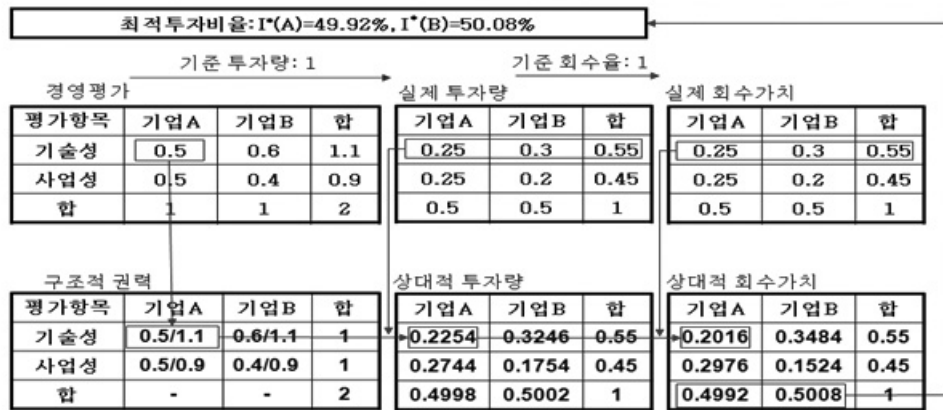


그림 6. BATNA 형성 흐름도

표 1. 평가항목별 점수 합계가 동일한 경우

평가항목 (j)	평가점수			회수가치				
				실제회수		제안모형		회수 합계
	기업A	기업B	합계	기업A	기업B	기업A	기업B	
1	0.0025	0.0975	0.1	0.0013	0.04875	8.4E-07	0.05	0.05
2	0.0075	0.0925	0.1	0.0038	0.04625	2.7E-05	0.05	0.05
3	0.0125	0.0875	0.1	0.0063	0.04375	0.00015	0.0499	0.05
4	0.0175	0.0825	0.1	0.0088	0.04125	0.00047	0.0495	0.05
5	0.0225	0.0775	0.1	0.0113	0.03875	0.00119	0.0488	0.05
6	0.0275	0.0725	0.1	0.0138	0.03625	0.00259	0.0474	0.05
7	0.0325	0.0675	0.1	0.0163	0.03375	0.00502	0.045	0.05
8	0.0375	0.0625	0.1	0.0188	0.03125	0.00888	0.0411	0.05
9	0.0425	0.0575	0.1	0.0213	0.02875	0.01438	0.0356	0.05
10	0.0475	0.0525	0.1	0.0238	0.02625	0.02127	0.0287	0.05
11	0.0525	0.0475	0.1	0.0263	0.02375	0.02873	0.0213	0.05
12	0.0575	0.0425	0.1	0.0288	0.02125	0.03562	0.0144	0.05
13	0.0625	0.0375	0.1	0.0313	0.01875	0.04111	0.0089	0.05
14	0.0675	0.0325	0.1	0.0338	0.01625	0.04498	0.005	0.05
15	0.0725	0.0275	0.1	0.0363	0.01375	0.04741	0.0026	0.05
16	0.0775	0.0225	0.1	0.0388	0.01125	0.04881	0.0012	0.05
17	0.0825	0.0175	0.1	0.0413	0.00875	0.04953	0.0005	0.05
18	0.0875	0.0125	0.1	0.0438	0.00625	0.04985	0.0001	0.05
19	0.0925	0.0075	0.1	0.0463	0.00375	0.04997	3E-05	0.05
20	0.0975	0.0025	0.1	0.0488	0.00125	0.05000	8E-07	0.05
합계	1	1	2	0.5	0.5	0.5	0.5	1

하더라도 그 비율은 변하지 않는다.

4.1절과 4.2절에서는 기업별 평가점수의 합이 동일한 수치에 제를 들어 핵심역량에 따른 투자배분의 민감도를 확인하고, 제안 모형이 가정에 부합하는 것을 검토한다. 평가항목은 20개로 설정하고, 계산의 편의성을 위해 기준 투자량과 기준 회수율을 각 1인

상황을 설정한다.

4.1절에서는 기업A와 기업B의 평가점수의 총합은 동일하지만 평가항목별 점수가 서로 엇갈려 변하는 상황을 비교하여 검토한다. 4.2절에서는 평가점수의 총합이 동일하지만 평가항목별 점수가 순차적으로 증가하는 기업A와 경쟁기업의 평균을 비교하여 검

토한다.

4.1 평가항목별 점수의 합계가 동일한 경우

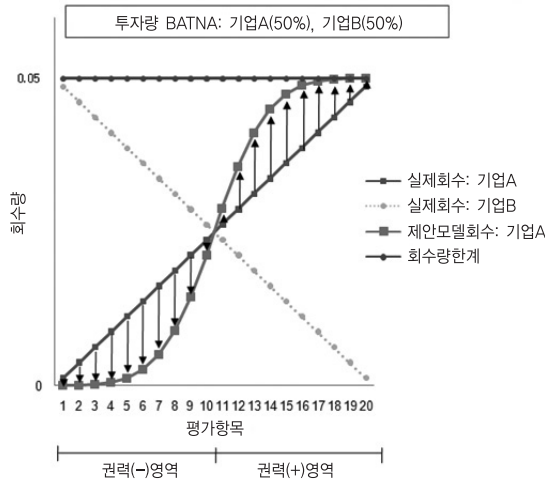


그림 7. 평가항목별 점수 합계가 동일한 경우

평가항목별 평가점수는 해당분야의 역량을 의미하는데, 기업A와 기업B의 평가항목별 점수의 합이 0.1로 동일하고 기업 간 점수 차이가 엇갈려 변하는 상황에서 회수가치의 경향을 검토한다(표1 참조).

기준 투자량과 기준 회수율이 각 1이고, 평가점수의 합이 1이므로 기업들의 실제 회수가치는 동일하다. 또한 평가항목별로 회수가치의 합은 두 가지 모형 모두 0.05로 동일하다. 기업A와 기업B의 평가항목별 실제 회수가치는 평가점수와 선형적으로 비례한다. 이것은 핵심역량에 의한 특이적 투자의 현상을 설명할 수 없는 구조이다. 그러나 평가항목별로 경쟁우위를 고려한 상대적 회수가치는 S형 곡선을 따르며 핵심역량이 커짐에 따라 회수량 한계선에 근사함을 볼 수 있다(그림7 참조).

4.2 평가항목별 합이 순차적으로 증가하는 경우

기업A의 평가점수가 순차적으로 증가하는 상황에서 경쟁기업들의 평균과 비교하여 회수가치의 경향을 검토한다(표2 참조). 기준 투자량과 기준 회수율이 각 1이고, 경쟁기업들의 평가항목별

표 2. 평가항목별 점수의 합계가 증가하는 경우

평가항목 (j)	평가점수			회수가치				
				실제회수		제안모형		회수 합계
	기업A	기업평균	합계	기업A	기업평균	기업A	기업평균	
1	0.0025	0.05	0.0525	0.0013	0.025	3.3E-06	0.026	0.02625
2	0.0075	0.05	0.0575	0.0038	0.025	9.7E-05	0.029	0.02875
3	0.0125	0.05	0.0625	0.0063	0.025	0.00048	0.031	0.03125
4	0.0175	0.05	0.0675	0.0088	0.025	0.00139	0.032	0.03375
5	0.0225	0.05	0.0725	0.0113	0.025	0.00302	0.033	0.03625
6	0.0275	0.05	0.0775	0.0138	0.025	0.00552	0.033	0.03875
7	0.0325	0.05	0.0825	0.0163	0.025	0.00889	0.032	0.04125
8	0.0375	0.05	0.0875	0.0188	0.025	0.01298	0.031	0.04375
9	0.0425	0.05	0.0925	0.0213	0.025	0.01760	0.029	0.04625
10	0.0475	0.05	0.0975	0.0238	0.025	0.02250	0.026	0.04875
11	0.0525	0.05	0.1025	0.0263	0.025	0.02750	0.024	0.05125
12	0.0575	0.05	0.1075	0.0288	0.025	0.03243	0.021	0.05375
13	0.0625	0.05	0.1125	0.0313	0.025	0.03720	0.019	0.05625
14	0.0675	0.05	0.1175	0.0338	0.025	0.04177	0.017	0.05875
15	0.0725	0.05	0.1225	0.0363	0.025	0.04612	0.015	0.06125
16	0.0775	0.05	0.1275	0.0388	0.025	0.05025	0.014	0.06375
17	0.0825	0.05	0.1325	0.0413	0.025	0.05419	0.012	0.06625
18	0.0875	0.05	0.1375	0.0438	0.025	0.05794	0.011	0.06875
19	0.0925	0.05	0.1425	0.0463	0.025	0.06153	0.010	0.07125
20	0.0975	0.05	0.1475	0.0488	0.025	0.06499	0.009	0.07375
합계	1	1	2	0.5	0.5	0.54641	0.454	1

점수평균이 0.05인 상황에서 실제 회수가치는 선형적 형태를 갖는다. 그러나 핵심역량을 고려한 상대적 회수가치는 S형 곡선을 따르며 핵심역량의 차이가 커짐에 따라 회수량 한계에 근사함을 볼 수 있다(그림8 참조).

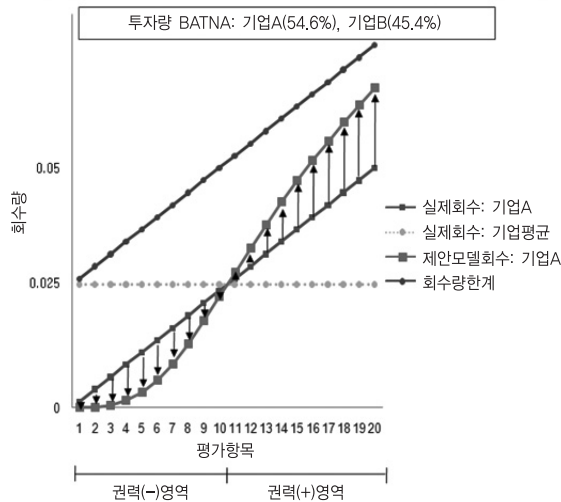


그림 8. 평가항목별 점수 합계가 증가하는 경우

핵심역량을 고려한 투자량의 BATNA는 기업A에 54.6%, 기업 평균에 45.4% 투자하는 것으로 나타났다. 본 항의 수치예제 결과를 보면, 평가항목의 비중이 작은 곳에서는 경쟁우위가 작더라도 그 영향력이 작음을 알 수 있고, 평가항목의 비중이 큰 항목에서는 경쟁우위를 가지는 것이 크게 영향을 미치는 것으로 나타난다. 이것은 타 기업과의 경쟁우위에 의해 핵심역량이 판단되며, 핵심역량과 권력의 관계(특이적 투자)를 정량적으로 설명할 수 있음을 의미한다.

기업별 평가점수의 총합이 다른 경우 본 절의 경향과 동일한 결과를 보이므로 관련 수치예제는 생략한다.

5. 결론

본 연구에서는 기업의 경쟁우위에 따른 구조적 권력지수와 이를 활용한 평가항목별 상대적 투자량 및 상대적 회수가치를 추정하였다. 상대적 회수가치는 투자량 대비 각 기업의 핵심역량을 의미하며 이것을 투자회수의 규모와 비교하여 기업 핵심역량에 따른 투자가 수행될 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 투자량 배분을 위한 추정의 용이성을 위해 상대적 회수가치를 이용한 투자량 배분 기준을 제시하였다.

제안된 투자협상모형은 투자자가 투자량을 배분하는 과정에서

핵심역량이 큰 기업에 더 많은 투자를 유도하고 회수위험의 부담을 작게 할 수 있는 방법론이다. 또한 특이적 투자를 설명할 수 있는 모형으로 투자자와 기업들 간의 객관적 공감을 얻을 수 있는 근거가 된다. 투자자는 협상과정에서 투자배분의 BATNA를 추정하는 방법으로 활용할 수 있다. 또한 본 연구에서 제시한 모형의 기본구조는 평가항목내에서 경쟁우위를 파악하는 것으로 다양한 방법론들과 연계가 가능하다. 기존의 측정방법인 평점법, AHP, ANP 등의 모형을 통해 도출된 측정값들에 본 연구의 방법을 통해 핵심역량을 적용할 수 있다.

본 연구의 모형은 실제 사례에 적용하여 그 결과로부터 모형의 타당성을 검증하는 것이 필요하다. 그러나 현실세계에서 모형의 실제 적용과 투자 후에 고려해야 하는 다양한 변수들이 존재하므로 투자량 배분방법의 타당성을 검증하는 것은 매우 난해하다. 이런 이유로 자원의 배분과 협상에서 다양한 연구들이 진행되어 왔으나 일반화 혹은 정형화된 모형에 대한 연구는 미비한 상황이다. 본 연구에서 제안한 투자협상모형의 경우도 비교 가능한 모형을 찾기 어렵고 비교의 객관적 기준을 설정하기 어려운 문제를 가지고 있다. 따라서 본 연구의 모형은 투자자와 기업의 실제 투자협상에 적용하기 어려운 현실적인 문제점과 더불어 다양한 변수들을 고려한 모형의 검증이 이루어지지 않은 한계를 가지고 있으며 검증에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

참고 문헌

- [1] 박창순, 윤성호, 안선웅(2006), 공급사슬내 협력요소를 고려한 투자배분 모형의 개발, *한국SCM학회지*, 제6권, 2호, pp.49-56.
- [2] Belmiro, P. M. D. and Reis, A.(2006), "Developing a Projects Evaluation System Based on Multiple Attribute Value Theory," *Computers & Operations Research*, Vol. 33, No. 5, pp. 1488-1504.
- [3] Claude, C. and Jain, S. C.(2004), *Global Business Negotiations: a Pratical Guide*, Thomson Learning, South Western.
- [4] Dahl, R. A.(1957), "The Concept of Power," *Behaviorial Science*, Vol. 2, No. 3, pp. 201-218.
- [5] Emerson, R. M.(1962), "Power-Dependence Relations," *American Sociological Review*, Vol. 27, No. 1, pp. 31-41.
- [6] Emmer, S., Kluppelberg, C. and Korn, R.(2001), "Optimal Portfolios with Bounded Capital-at-Risk,"

- Mathematical Finance*, Vol. 11, No. 4, pp. 365-384.
- [7] Epstein, L. G. and Zin, S. E.(1989), "Substitution, Risk Aversion and the Temporal Behavior of Consumption and Asset Returns, a Theoretical Framework," *Econometrica*, Vol. 57, No. 4, pp. 937-969.
- [8] Habbeeb, W. M.(1988), *Power and Tactics in International Negotiation*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- [9] Hall, J. C. and Hofer, W.(1993), "Venture Capitalists' Decision Criteria in New Venture Evaluation," *Journal of Business Venturing*, Vol. 8, No. 1, pp. 25-42.
- [10] Khorramshahgol, R. and Moustakis, V. S.(1988), "Delphic Hierarchy Process (DHP): A Methodology for Priority Setting Derived from the Delphi Method and Analytical Hierarchy Process," *European journal of operational research*, Vol. 37, No. 3, pp. 347-354.
- [11] Liveratore, M. j.(1987), "An Extention of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. EM-34, No. 1, pp. 12-18.
- [12] Mario, E. and Tommaso, P.(2004), "Project Selection by Constrained Fuzzy AHP," *Fuzzy Optimization and Decision Making*, Vol. 3, No. 1, pp. 39-62.
- [13] Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K. and Tiwari, M. K.(2005), "A Fuzzy ANP-based Approach to R&D Project Selection: a Case Study," *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 24, pp. 5199-5216.
- [14] Prahalad, C. K. and Hamel, G.(1990), "The Core Competence of the Corporation," *Harvard Business Review*, Vol. May-June, pp. 79-91.
- [15] Ramanathan, R. and Ganesh, L. S.(1995), "Using AHP for Resource Allocation Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, No 2, pp. 410-417.
- [16] Roger, F. and William U.(1991), *Getting to Yes*, Penguin Books, New York.
- [17] Rubinstein, M.(1976), "The Strong Case for the Generalized Logarithmic Utility Model as the Premier Model of Financial Markets," *Journal of Finance*, Vol. 31, No. 2, pp. 551-571.
- [18] Saaty, T. L.(1977), "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures," *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, pp. 234-281.
- [19] Zartman, I. W.(1983), *The 50% Solution*, Yale University Press, New Haven.



박 창 순

한양대학교 산업공학과 학사
한양대학교 산업공학과 석사
한양대학교 산업공학과 박사
현재 : 동양미래대학 경영학부 전임강사
관심분야 : 의사결정, 확률모델링, 물류



안 선 응

한양대학교 산업공학과 학사
한양대학교 산업공학과 석사
Univ. of California at Berkeley,
산업공학 박사
현재 : 한양대학교 산업경영공학과 교수
관심분야 : 확률모델링, 신뢰성공학

2011년 한국SCM학회지 11권 2호 심사자 명단(가나다 순)

강준규 교수(성결대 산업경영공학부), 고창성 교수(경성대 산업경영공학과), 구평희 교수(부경대 시스템경영공학과), 권순동 교수(충북대 경영정보학과), 김대철 교수(한양대 경영학부), 김수욱 교수(서울대 경영대학), 김연성 교수(인하대 경영학과), 김재곤 교수(인천대 산업경영공학과), 김정 교수(신안산대 산업경영과), 김정섭 교수(대구대 경영학과), 김채복 교수(경북대 경영학부), 김현수 교수(경기대 산업경영공학과), 노상규 교수(서울대 경영대학), 문종범 교수(건국대 벤처전문기술학과), 박경종 교수(광주대 경영학과), 박찬규 교수(동국대 경영학부), 박창순 교수(동양미래대학 경영학부), 선지웅 교수(한국외대 산업정보시스템공학부), 손병규 교수(숙명여대 경영학과), 신호정 교수(고려대 경영대학), 오중산 교수(숙명여대 경영학과), 오형술 교수(강원대 산업경영공학과), 유한주 교수(숭실대 경영학과), 이문수 교수(한국기술교육대 산업경영학부), 이민호 교수(남서울대 유통학과), 이상현 교수(국방대 운영분석학과), 이철웅 교수(고려대 정보경영공학전문대학원), 임승길 교수(성결대 산업경영공학과), 임준묵 교수(한밭대 산업경영공학과), 장우진 교수(서울대 산업공학과), 정기호 교수(경성대 경영정보학과), 조동원 박사(한양대 산업경영공학과), 조정은 교수(경성대 경영학부), 최강화 교수(한성대 경영학부), 최경일 교수(한국외대 산업경영공학과), 최선미 교수(연세대 경영대학), 하병천 교수(서강대 경영학부), 한현수 교수(한양대 경영학과)

학회지 심사를 위해 노고를 아껴주시지 않은 심사자 여러분들께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

※ 이 학술지는 정부자원(과학기술진흥기금)으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 출판되었음.

한국 SCM 학회지 제11권, 제2호

인 쇄 / 2011년 10월 31일

발 행 / 2011년 10월 31일

발행인 / 이영해

편집인 / 고창성 · 김수옥

발행처 / 사단
법인 한국SCM 학회

경기도 안산시 상록구 사3동 1271 한양대학교 산업경영공학과 내
5공학관 532호

전화 031-438-5269, 400-4506 전송 031-406-1089

http: //www.kscm.org