

한국 SCM 학회지

*Journal of the Korean Society of
Supply Chain Management*

Volume 10 Number 2
2010



사단
법인 한국SCM학회

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

1 Fuzzy-AHP를 이용한 서비스 SCM의 성과측정 프레임워크 개발

안성화 · 이영혜 · 황민규

In this paper a new service SCM model based on service science is proposed. For taking into account realistic situation Fuzzy-AHP(Analytic Hierarchy Process) method is applied to developing performance measurements of service SCM. Also, the proposed framework is applied to hotel industry.

11 S&OP 도입을 통한 수요와 공급의 동기화 : 식품산업 사례를 중심으로

김종배 · 박민영 · 장광선

In the recent years, many Korean companies have implemented ERP system to improve their operation efficiency. However, most companies have failed to produce tangible results even though they spent a huge amount of money. It is assumed that because they didn't focus on the process innovation but only focused on the system implementation. Companies need to design process and tools to make all detailed plans work. S&OP is the key to integrate business process and IT system in more efficient way. S&OP has been described as "a set of decision-making process to balance demand and supply, to integrate financial and operational plan, and to link high level strategic plan with detailed operations". The purpose of this study is to verify the effectiveness of S&OP process in especially food and beverage industry through the case study of "H" confectionary company. The result shows that S&OP is the core process for company to gain the competitive advantage.

23 조달물류 최적화를 위한 순회 구매자 문제의 문헌조사 연구

최명진 · 이상현

The traveling purchaser problem(TPP) is a

generalized type of the well-known traveling salesman problem(TSP), which has many real-world applications such as purchasing the required raw materials for the manufacturing factories, and the scheduling of a set of jobs over some machines etc. in supply chain management area. Especially, it could be used in inbound logistics optimization. In the last decade, TPP has received some attention of the researchers of the operational research area. However, it has not received the same amount of attention like TSP and VRP(Vehicle Routing Problem). Therefore, there does not exist a review of the TPP. The purpose of this survey is to review the TPP with some formulations and to describe solution procedures proposed for this problem. We also suggest the future works in TPP.

33 환경규제가 친환경공급사슬관리 및 공급사슬관리 성과에 미치는 영향

박찬권 · 김채복

Recently, the companies should satisfy their customers and the stakeholder's environmental desires and are required to employ eco-friendly economic activities. Therefore, they have to observe environmental regulations, basic factors of eco-friendly economic activities. This study navigates how environmental regulations affect supply chain environmental management and supply chain management performance. Environmental regulations were selected as the independent variables. As the detailed variables of supply chain environmental management, design for environment and reverse logistics were chosen. As the detailed variables of supply chain management performance, eco-efficiency, financial performance, corporate image improvement, productivity improvement and advantageous negotiating position were selected. After selecting those variables, environmental regulations were assumed to affect supply chain environmental management and supply chain management performance, and then hypothesis concerning the variables were established to conduct regression analysis.

According to the study result, environmental regulations positively affect supply chain environmental management, and supply chain environmental management positively affect supply chain management performance. In addition, it is verified that supply chain environmental management plays a mediating role between environmental regulations and supply chain management performance, and the analysis result shows that design for environment and cleaner production don't play a mediating role of corporate image improvement.

51 컨테이너터미널에서 선석계획과 안벽크레인할당의 동시 결정

이원봉 · 구평희

This paper addresses berth scheduling and quay crane (QC) allocation problems in seaport container terminals. Identifying the berth and QCs as bottleneck resources, we present an optimization model to simultaneously determine the berth schedule and QC allocation, with the objective of minimizing ship turnaround time. Since the optimization model is a NP-hard, a GA(genetic algorithm)-based berth scheduling procedure is proposed to solve real problems. Numerical experiments are performed to verify the performance of the proposed models. Experimental results show that our study can drive a berth schedule and QC allocation decision of satisfactory quality.

63 두 단계 푸쉬-풀 공급망에서 공급자 주도 재고 관리의 구현 -가변 생산량이 갖는 영향을 중심으로

김은갑

We consider a supply chain with a component manufacturer and a customized end item manufacturer in stage under a vendor-managed inventory (VMI) agreement. The component manufacturer continuously reviews both component inventory and backorder status at the end item manufacturer. Based on this information, the component manufacturer dynamically

determines production scheduling and lot size which is the multiple of the basic lot size. The goal of this paper is to find the component manufacturer's production policy which minimizes the total supply chain cost. From numerical experiment, we investigate the impact of the variable production lot size on the supply chain cost.

73 중장기 우편물류를 위한 수요예측 시스템 개발

김태영 · 황승준

Today, environmental changes and technical advances are changing the way of postal logistics services, and are changing the awareness and usage of Postal logistics of consumers. This paper is a case study that shows the development of demand forecast information system for local postal logistics is used in simulation and it helps decision for logistics facilities install or logistics. The system is used in simulating and making decisions on postal logistics network design problems such as facilities location and construction. Specifically, postal demand forecasting system in this paper has been developed to analyze the impact of descriptive statistics showing the social change and business cycle of South Korea to local postal logistics, and to analyze changes in patterns of South Korea local postal logistics user with the passage of time, and accordingly time series forecasting and casual forecasting for decision-making.

81 불안정한 수요분포를 갖는 공급망의 목표 서비스 수준 만족을 위한 분배계획

권익현

This paper addresses a distribution planning scheme for satisfying fill-rate type target service level under non-stationary demand environment. The model considered in this paper is a serial inventory system where N nodes are arranged in series. For this problem we first propose a new

adaptive forecasting scheme which is aimed to make up for the drawback of the existing adaptive forecasting approach. And then we propose a heuristic distribution planning procedure which determines base-stock levels dynamically at each time period by decomposing the considered model into a number of independent single node models. In order to solve these subproblems efficiently, we utilize a result derived by Sobel(2004) that can calculate an exact base-stock level for a single node model under fill-rate constraint. A simulation based experiment was performed to evaluate the performance of the proposed distribution planning scheme.

91 변동이웃검색 알고리즘 기반의 주기적 차량경로 문제해법

정태수

In the paper, we present a variable neighborhood search (VNS)-based heuristic for the Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP). The PVRP generalizes the classical Vehicle Routing Problem (VRP) by extending the planning horizon from a single day to multiple days. The proposed algorithm in this paper is based on concepts of VNS and local improvement heuristics. Computational results are presented for the 32 benchmark instances from literature, and the solutions generated by the proposed method are compared with best-known solutions so far. The results indicate that the proposed approach has produced competitive quality of solutions with benchmark results, and for 12 out of the 32 instances, the proposed approach produced equal or improved solutions.

101 PSO 알고리즘의 탐색 가능 영역 조절을 위한 새로운 기법

박경종

This paper proposes a new method to control a search space varied during the optimization process of PSO(Particle Swam Optimization) algorithm. It is necessary to move a component beyond the search space into a feasible search

space because the obtained component using the equations of particle and velocity of PSO method may be out of the search space. Finally, this paper makes a comparison between a new method and TRC method which is popular and simple. The results show that the new method outperforms TRC method though the population size is varied.

109 2단계 배치 픽킹 알고리즘과 성과분석

백련희 · 임석철

Order picking is one of the most crucial activities in the warehouse management. In practice, batch picking rather than pick-by-order is widely used for picking efficiency. In this study, we consider the finite volume capacity of the picking cart in batching the orders. We propose a two-stage order batching algorithm for this practical problem. In the first stage, we apply a heuristic algorithm for the bin packing problem to minimize the number of picking tours; and in the second stage, pairwise exchange is applied for the two orders assigned to two different tours, while satisfying the cart capacity so as to minimize the total travel distances of the picker. Simulation is used to compare the average performance of the proposed method for various routing methods of the picker.

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

투고논문 작성요령

1. 제출방법

투고자는 논문을 한글(3.0 이상) 또는 MS워드(2003 이상)로 작성하며, 글씨크기 11, 2단(double space)으로 작성하여 e-mail로 제출한다. 논문 심사 후 게재가 확정되면 논문 작성요령을 완벽하게 준수하는 최종본이 수록된 e-mail 또는 디스켓 1매를 저자 약력 사진과 함께 우편으로 제출하여야 하며, 특수한 그림의 경우 전사가 가능한 상태의 그림을 별도로 1부 제출하여야 한다.(논문저자 중 한 명 이상은 한국SCM학회 회비 납부회원(정회원)으로 자격이 있어야 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 삽입 표시를 하고, 일괄하여 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

Fuzzy-AHP를 이용한 서비스 SCM의 성과측정 프레임워크 개발

안성화 · 이영해[†] · 황민규

한양대학교 산업경영공학과

Development of Framework for Measuring Performance of Service SCM Using Fuzzy-AHP

Sung Hwa Ahn · Young Hae Lee[†] · Min Kyu Hwang

^{*}Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

In this paper a new service SCM model based on service science is proposed. For taking into account realistic situation Fuzzy-AHP(Analytic Hierarchy Process) method is applied to developing performance measurements of service SCM. Also, the proposed framework is applied to hotel industry.

Keywords: Environmental Regulation, SCM, SCEM, SCM Performance

1. 서론

지식기반 경제로의 전환이 가속화되면서 서비스 산업의 중요성이 점점 증가하고 있다. 과거에는 제조 산업의 보조로 인식되던 서비스 산업이 이제는 그것을 대신하여 경제를 견인하는 새로운 산업분야로 각광받고 있다(김용진, 2007). 세계 주요국가의 특징을 살펴보면 선진국일수록 국민경제에서 제조 산업의 비중은 낮은 반면 서비스 산업의 비중은 높다. 통계상으로도 거의 모든 국가에서 경제가 발전함에 따라 제조 산업의 비중이 낮아지는 반면 서비스 산업의 비중은 높아지는 것으로 나타났다(통계청, 2008). 이러한 변화는 더욱 가속화될 전망이다. 인터넷을 기반으로 한 정

보통신 기술의 발달로 고객들의 요구가 다양해졌으며 필요한 것을 얻는 것뿐만 아니라 서비스 과정과 상호관계도 중요하기 때문이다.

서비스 산업이 발전하면서 서비스 기업의 경쟁도 치열해졌다. 이러한 경쟁은 단일 기업 간의 경쟁이 아닌 공급사슬 간의 경쟁으로 나타난다. 따라서 서비스 기업들의 공급사슬을 대상으로 한 SCM(Supply Chain Management) 연구가 필요하다. 지금까지 SCM은 기업의 경쟁우위 달성을 위한 필수 요소로 인식되어 많이 연구되었다. 그러나 제조 산업을 대상으로 하여 유형의 제품을 관리하는 데 초점을 두었기 때문에 서비스 산업에 적용하는데 한계가 있다. 이는 무형성(intangibility), 소멸성(perishability), 동시성(simultaneity), 이질성(heterogeneity)과 같은 서비스의 독

^{*} 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2009-0076847).

[†] **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

^{*} 2010년 1월 25일 투고, 2월 16일 게재 확정.

특한 특성을 제대로 반영하지 못하기 때문이다.

본 연구의 목적은 이러한 서비스의 독특한 특성을 반영하기 위하여 Fuzzy-AHP (Analytic Hierarchy Process) 방법을 이용한 서비스 공급사슬의 성과측정 프레임워크를 제시하는 것이다. 서비스의 측정이 가능해지면 보다 많은 연구가 가능해질 것이다. 이를 위해 서비스 사이언스에 기초한 새로운 서비스 SCM 모델을 수립하고 서비스 공급사슬의 성과측정에 Fuzzy-AHP 방법 사용을 제시한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 기존연구의 고찰로 서비스 SCM에 관련된 내용과 서비스의 성과측정에 관한 내용을 살펴본다. 3장에서는 서비스 SCM의 모델을 제시하고 4장에서는 성과측정에 사용하려는 Fuzzy-AHP의 이론을 설명한다. 5장에서는 호텔산업에 이를 적용하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. 기존연구

2.1 서비스 SCM에 관한 연구

서비스 SCM에 관한 기존연구는 서비스 산업에 공급사슬 개념을 적용, 서비스 SCM의 개념정립, 제조 SCM과의 차이점 분석 등의 내용으로 요약된다. 서비스 산업에 공급사슬의 개념을 적용한 연구는 1990년대부터 시작되었다. Armistead와 Clark(1993)은 서비스 산업에 가치사슬 개념을 적용하여 최초로 공급사슬 내에 서비스를 통합하는 연구를 하였다.

제조 SCM과 서비스 SCM을 비교한 연구로 Sengupta et al.(2006)은 서비스 공급사슬과 제조 공급사슬에서 기업의 공급사슬 전략이 운영적 성과와 재무적 성과에 미치는 효과를 비교하여 서비스 기업의 전략 선택에 대한 정보를 제공하였다.

서비스 SCM의 프레임워크를 제시한 연구에는 Ellram et al.(2004)의 연구가 있다. 그는 이미 잘 알려져 있는 기존 SCM모델인 HP(Hewlett-Packard) 모델, SCOR(Supply Chain Operations Reference) 모델, GSCF(Global Supply Chain Forum) 모델을 비교하였다. 그 중 서비스 산업을 적용하는 데 GSCF 모델이 가장 적합하다고 판단하였고 이를 수정하여 서비스 SCM 모델을 제시하였다. 또한 Baltacioglu et al.(2007)은 SCOR 모델을 기초로 서비스의 특징적인 특성들을 강조하며 서비스 SCM의 포괄적인 프레임워크를 발전시켰다.

그러나 이러한 연구들은 아직까지 개념적인 단계이며 실용적인 연구는 진행되지 않았다.

2.2 성과측정에 관한 연구

서비스 SCM의 성과측정에 대한 연구는 일반적인 분야를 대상으로 한 연구는 없고 세부 분야별로 진행된 연구가 있다. Yilmaz와 Bititci(2005)가 관광업의 성과측정과 관리에 대해 연구하였다. 그들은 관광업에서 사용하고 있는 성과측정 지표와 SCOR 모델의 유사한 성과측정 지표를 대체하여 SCOR 모델 기반의 프레임워크를 수립하였다. Zigan et al.(2007)은 유럽 다섯 개 병원을 대상으로 인터뷰를 실시하여 병원의 성과요소로서 무형자산의 중요성을 강조하고 통찰 결과를 제시하였다. 박경종과 오형술(2008)은 병원의 진료서비스 공급사슬에 SCOR 모델을 적용하여 병원의 공급 사슬을 모델링하였다. 이를 통해 SCOR 모델이 서비스 분야에도 적용될 수 있음을 언급하였다.

또한 기존 SCM의 성과항목의 가중치를 산출한 연구로 Sharma와 Bhagwat(2007)은 SCM에 AHP를 사용하여 전략, 전술, 운영적 관점에서 BSC의 네 가지 성과항목인 재무, 고객, 내부 업무프로세스, 배움과 성장의 가중치를 산출하였다. 또한 Xia et al.(2007)는 공급사슬에서 나타나는 다섯 가지 특성인 신뢰성, 대응성, 유연성, 재구성, 비용 각각에 대한 가중치를 산출하기 위해 AHP를 사용하였으며 그 결과를 바탕으로 성과항목의 우선순위를 결정하였다. 그러나 단순한 AHP는 인간 판단의 애매성을 반영하지 못하여 현실성이 떨어진다는 단점이 있다.

3. 서비스 SCM의 모델

앞서 설명한 바와 같이 Ellram et al.(2004)과 Baltacioglu et al.(2007)은 서비스 SCM의 모델에 관해 연구하였으나 기존 서비스 SCM의 모델은 서비스를 일반적인 특성에 국한하여 제한된 개념으로 인식하며 공급사슬에서 주로 서비스 전달에 초점을 두고 구성원간의 상호작용을 중요하게 고려하지 않았다. 또한 가치 창출에 영향을 미치는 상황요소를 고려하지 않았다. 이는 최근 서비스에 대한 새로운 인식을 잘 나타내는 서비스 사이언스 개념에 기초하여 해결할 수 있다.

서비스 사이언스에 기초한 새로운 서비스 SCM 모델은 그림 1과 같으며 그 내용은 다음과 같다. 첫째, 서비스를 포괄적으로 인식하여 공급자로부터 최종 고객까지의 모든 활동과 제품까지 포함한다. 둘째, 구성원 간의 상호작용을 강조하며 그들 사이에서 가치가 공동 생산됨을 강조한다. 또한 이러한 내용은 성과측정 지표에 반영된다. 셋째, 서비스 자원 공급자, 서비스 제공자, 고객과 전략 그리고 환경요소와 관리되어야 하는 프로세스까지 시스템으로 표현한다.

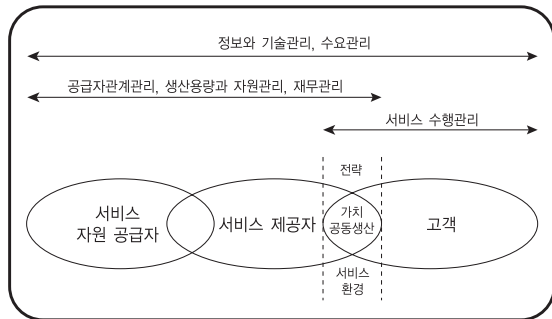


그림 1. 서비스 SCM 모델

공급사슬의 구성원인 서비스 제공자는 기존 공급사슬에서 제조 기업과 같이 공급사슬의 중심 기업이다. 서비스 자원 공급자는 서비스 제공자에게 가치 창출에 필요한 자원을 공급해 준다. 이때 자원은 유형·무형의 자원을 모두 포함한다. 공급사슬에서 관리되어야 하는 핵심 프로세스는 여섯 가지로 요약되며 세부 내용은 다음과 같다.

(1) 정보와 기술 관리

서비스 SCM에서 정보와 그것을 보조하는 기술은 중요하다. 성공적인 정보와 기술의 관리는 공급사슬 파트너 간의 의사소통을 향상시키고 불확실성을 제거한다. 이는 전체 공급사슬의 효율성을 향상시킬 뿐만 아니라 공급사슬에서 수요 관리, 생산용량 관리 등 다른 프로세스의 성공에 기초가 된다. 또한 서비스 공급사슬에서 매우 중요하게 생각하는 고객 만족에도 큰 영향을 준다. Korhonen et al.(1998)은 제품 가용성, 배송 정확성, 대응성과 유연성, 피드백을 통한 개선, 그리고 판매 소득 향상과 운영의 효율성 향상 등을 통한 고객 만족 향상을 위한 노력의 핵심 동인이 정보와 기술 관리라고 하였다.

(2) 수요관리

수요관리는 고객의 수요를 예측하고 수요 변화를 관리한다. 이는 다른 프로세스를 계획에 중요한 자료를 제공하므로 중요하다. 그러나 서비스 산업은 수요 패턴에 큰 불확실성이 존재하며 재고가 불가능하여 그 대응에 어려움이 크다. Crandall과 Markland(1996)는 서비스의 수요관리 전략으로 수요가 일정한 수준을 넘지 않게 하거나 고점과 저점의 차이를 줄이는 방법을 제안하였다. 그 예로 예약시스템을 활용하거나 차별화한 가격정책을 사용하여 수요를 적절히 통제할 수 있다.

(3) 생산용량과 자원 관리

생산용량 관리는 고객의 수요에 맞추어 생산용량을 조절한다. 서비스 산업은 서비스의 동시성과 소멸하는 특성 때문에 생산용

량과 자원 관리에 어려움이 있다. 이는 생산과 소비가 동시에 발생하여 지속적인 생산용량 관리가 힘들고 수요를 초과하는 생산용량은 소멸하여 큰 손실을 발생시키기 때문이다. 서비스 공급사슬에서 생산용량과 자원 관리의 예로 노동자들의 일정계획을 세우거나 파트타임 노동자를 고용하는 것을 생각할 수 있다. 기업의 생산용량은 노동력뿐만 아니라 유형의 자원, 시설, 자금, 서비스, 아웃소싱 등 가용 자원에도 의존한다(Baltacioglu et al., 2007). 서비스 제공에 필요한 물품 관리, 서비스 재고관리, 참여자 관리가 생산용량과 자원관리에 포함된다.

(4) 공급자관계 관리

공급자관계 관리는 중심 기업과 공급자들 사이의 상호작용을 다룬다. 이는 가치사슬에서 제품 개발, 외주, 공급계획과 조달을 연결하는 통합된 해법으로 정의된다. 서비스 공급사슬에서 공급자는 고객과 직접 접촉하여 서비스 배송에 큰 영향을 준다. 공급의 실패는 동시에 성과의 실패가 될 수 있어서 공급자와의 관계는 매우 중요하다. 따라서 공급자와 조정, 협력, 대응성 그리고 믿음에 기초한 지속적인 관계가 필요하다. 서비스 공급관계 관리, 아웃소싱이 이에 해당한다.

(5) 서비스 수행관리

고객 중심의 서비스 공급사슬에서 서비스 수행관리는 핵심적인 프로세스이다. Baltacioglu et al.(2007)은 서비스 수행을 제조 공급사슬의 생산과 유사하게 보았다. 서비스 제공자와 고객이 함께 존재할 때 서비스 수행은 곧 생산과 소비로 이어지기 때문이다. 서비스 생산성관리, 서비스 전달관리, 대기행렬 관리, 서비스 품질관리, 서비스 경험관리가 이에 해당한다.

(6) 재무관리

SCM에서 재무관리는 빠질 수 없는 프로세스 중 하나이다. 기업이 운영되기 위해서는 재무적 안정이 보장되어야 한다. 또한 다른 프로세스를 계획할 때 재무적 요소를 필히 고려하여 결정해야 한다. 높은 서비스 수준과 고객만족을 제공하는 기업도 재무적 뒷받침 없이는 생존할 수 없다. 재무관리는 비용의 감소나 소득의 증가 등의 형태로 나타나며 현금흐름관리, 소득관리를 포함한다.

4. Fuzzy-AHP

Fuzzy-AHP를 서비스 SCM의 성과측정에 사용하려는 이유는 각기 다른 서비스 산업에 적용되는 성과항목의 중요도가 각각 다르기 때문이다. 따라서 해당 서비스 분야별 성과항목의 가중치

를 산출하여 적용함으로써 각 분야별 특성을 반영할 수 있으며 효과적인 성과측정을 할 수 있다.

Fuzzy-AHP는 퍼지이론과 AHP를 혼합한 기법이다. Fuzzy-AHP는 AHP의 연산과정에 퍼지수를 사용하여 인간의 판단에 대한 애매성을 보완하고 보다 현실적이고 합리적인 평가가 가능하다. 이때 일반적으로 삼각퍼지수(triangular fuzzy number)가 사용되며 그 척도는 표 1과 같다. 삼각퍼지수는 요소 평가 시 명확한 숫자가 아닌 하한, 중앙값, 상한의 범위값으로 나타낸다. 예를 들어, 삼각퍼지수 A를 $A=(l, m, u)$ 라고 정의하면 각 원소들의 소속함수는 $\mu_A(x)$ 식 (1)로 나타내어진다.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{1}{m-l}x - \frac{1}{m-l}, & x \in [l, m] \\ \frac{1}{m-u}x - \frac{u}{m-u}, & x \in [m, u] \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

또한 본 연구에서는 Fuzzy-AHP의 여러 기법 가운데 많이 사용되는 Chang(1996)의 Extent Analysis Method를 사용한다.

표 1. 삼각퍼지 변환척도

언어적 표현	삼각퍼지척도	대칭척도
동등	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
비슷	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
약간 더 중요	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
중요	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
매우 중요	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
극히 중요	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

(1) 퍼지 결합치의 계산

객체 집합(object set)이 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 이고, 목표 집합(goal set)은 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 이라 하자. Chang(1996)의 Extent Analysis Method에 의해 m 개의 목표에서 i 번째 객체 g_i 의 범위 분석 값은 식 (2)로 나타낸다.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

여기서, $M_{g_i}^j$ ($j=1, 2, \dots, m$)는 삼각퍼지수이다.

이때, i 번째 객체에 대한 퍼지 결합치(value of fuzzy synthetic extent)는 식(3)로 정의된다. 이 식은 두 삼각퍼지수의 곱으로 나타내어진다.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (3)$$

(2) 상대적 중요도 산출

다음은 식 (3)에서 정의된 퍼지 결합치를 적용하여 각 계층의 모든 요소에 대한 상대적 중요도를 산출한다.

두 삼각퍼지수 $M_1=\{l_1, m_1, u_1\}$, $M_2=\{l_2, m_2, u_2\}$ 가 $M_1 \geq M_2$ 인 가능성(degree of possibility)은 식 (3)으로 정의된다. V 는 $M_1 \geq M_2$ 인 가능성을 나타내는 함수이고, 식(4)의 우변은 $\mu_{M_1}(x)$ 와 $\mu_{M_2}(y)$ 중에 작은 값에서 가장 큰 값을 의미한다.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (4)$$

식 (4)을 등식으로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1, \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 d 는 μ_{M_1} 과 μ_{M_2} 사이의 가장 높은 교차점 D의 횡좌표 값이다. 이는 그림 2에서 확인 할 수 있다. 그리고 hgt는 M_1 과 M_2 의 교점의 μ_M 크기를 나타낸다.

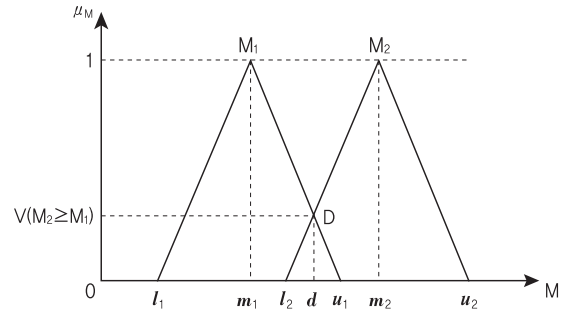


그림 2. M_1 과 M_2 의 교집합

(3) 중요도 벡터 산출과 정규화

k 개의 퍼지수 M_i ($i=1, 2, \dots, k$)보다 더 큰 퍼지수의 가능성은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) \\ = V[(M \geq M_1) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), \quad i=1, 2, \dots, k. \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ 이고 $i=1, 2, \dots, k$ ($k \neq i$)라고 할 때 중요도 벡터 W' 은 식 (7)과 같다.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T, \quad (7)$$

여기서, A_i ($i=1, 2, \dots, n$)는 n 개의 요소이다.

식 (7)을 정규화하면 식 (8)와 같이 퍼지수가 아닌 W 를 구할 수 있다.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (8)$$

5. 호텔 산업에 적용

5.1 모델의 적용

호텔 산업에 3장에서 제시한 서비스 SCM 모델을 적용한다. 이때 공급사슬은 서비스 제공자인 호텔과 호텔에 유형·무형의 서비스를 제공하는 다수의 서비스 자원 공급자 그리고 호텔 서비스를 구입하는 고객으로 구성된다. 서비스 자원 공급자는 호텔에 사용되는 식음자재와 일반 판매상품, 화훼류, 소모품 그리고 시설 유지보수 등의 지원서비스를 제공하여 서비스의 가치와 고객의 서비스 경험을 향상시킨다. 서비스 제공자인 호텔은 기업 내부관리로 효율적이고 질 높은 서비스를 제공하며 다양한 마케팅 전략으로 고객을 끌어들이는다. 호텔 서비스 상품을 구매하는 고객은 호텔이 제공하는 서비스 환경 속에서 호텔과 상호작용한다. 이때 서비스는 생산과 동시에 소비되며 가치가 창출된다. 이는 그림 3과 같이 표현된다.

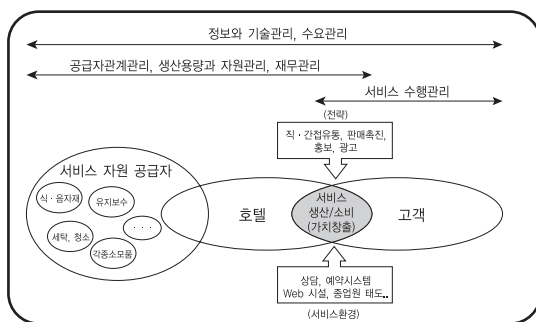


그림 3. 호텔 SCM 모델의 적용

호텔 SCM의 핵심 프로세스는 다음과 같이 설명될 수 있다.

(1) 정보와 기술 관리

정보와 기술의 관리를 바탕으로 인적 자원의 의존도를 낮추고 고객 서비스를 향상시킬 수 있다. 정보시스템을 이용하면 예약, 객실배정, 객실영업, 계산, 퇴실 등의 업무를 빠르게 처리하여 고객에게 더욱 신속한 서비스를 제공할 수 있다. 또한 종업원관리, 시설관리, 구매와 원가관리를 효율적으로 하면서도 인건비를 줄이고 각종 정보를 수집하여 경영전략을 수립하는 데 사용할 수 있

다(박대환 외, 2007). 이렇게 정보와 기술 관리는 인적 자원에 의존도가 큰 호텔 산업에서도 점점 더 활용도가 높아지고 있다.

(2) 수요관리

수요를 예측하고 통제하여 생산용량에 맞게 관리한다. 호텔 서비스는 성수기와 비수기에 따라 요구되는 수요의 변동 폭이 크다. 반면 고정된 자산을 가지고 서비스를 제공하므로 변동이 큰 수요에 대응한 생산용량의 변화가 어렵다. 따라서 가격정책이나 판촉 활동으로 수요를 고르게 만들어야 한다. 수요관리의 실패로 인해 초과되는 수요가 많거나 생산용량에 비해 수요가 부족하면 큰 손실이 발생한다.

(3) 생산용량과 자원 관리

호텔의 생산용량은 유연성이 작으며 예측한 수요에 맞추어 쉽게 변화시킬 수 없다. 생산용량을 결정하는 주요 자원은 객실, 식당, 연회장 등 고정자산이다. 이는 단기간에 변화시킬 수 없고 많은 비용을 초래한다. 따라서 생산용량과 자원의 관리는 예측한 수요에 맞춘 인력계획 수립과 식음자재, 소모품, 각종 물자보충 등의 제한된 형태로 나타난다. 전체적인 생산용량의 결정은 장기 관점을 가지고 전략적으로 결정되어야 한다.

(4) 공급자 관계관리

공급자는 호텔에서 사용되는 식음자재와 물자를 제공하거나 청소, 세탁, 시설보수 등 지원 서비스를 제공한다. 호텔은 지원 서비스를 제공하는 공급자를 외주로 확보할 수 있으며 이러한 외주도 공급자 관계관리에 포함된다. 공급자들은 서비스 품질과 서비스 환경에 큰 영향을 미치기 때문에 고객의 서비스 경험에 많은 영향을 준다. 따라서 공급자의 선택부터 협력적인 서비스의 설계, 계약 이행, 효율적인 조달전략 수립 등이 중요하다.

(5) 서비스 수행관리

서비스의 수행은 상담, 예약, 안내, 배달 등의 형태로 나타난다. 서비스가 수행될 때 고객과 접촉하는 종업원의 역할은 매우 크다. 고객의 대기시간, 서비스의 품질, 고객의 경험 등이 이 과정에서 결정되기 때문이다. 따라서 서비스가 효율적이고 높은 품질을 유지하며 신속하게 수행되도록 종업원의 선발, 교육, 동기부여 등이 중요하다.

(6) 재무관리

호텔의 궁극적인 목표는 이익을 창출하는 데 있으며 그 목표 달성을 위한 재무관리가 중요하다. 또한 호텔의 자산을 효율적으로 이용하여 이익을 최대화하는 것이 중요하다. 재무관리는 몇 가

지 분야로 세분화된다. 첫째, 자금조달영역은 필요한 자금을 확보하고 조달한다. 둘째, 자금의 활용영역은 확보된 자금을 호텔에서 필요한 물자, 장비, 시설보수 등의 형태로의 전환을 포함한다. 셋째, 이익창출 영역은 자산을 소모하여 더 많은 수익을 얻고자 한다. 넷째, 자산관리영역은 모든 현황을 종합한다(Voudouris et al., 2008). 재무관리는 이러한 활동을 효율적으로 관리하여 호텔에 최대의 이익을 창출하며 그 현황을 효율적으로 파악할 수 있게 한다.

5.2 Fuzzy-AHP의 적용

Fuzzy-AHP 적용의 첫 단계는 성과측정 요소의 계층화로 이는 그림 4와 같다. 일반적인 서비스 분야를 대상으로 한 서비스 SCM의 성과측정 지표에 대한 연구는 아직 없다. 따라서 본 연구에서는 제조 SCM의 성과측정에 사용되는 SCOR의 성과측정 지표와 서비스 분야의 성과측정에 사용되는 Parasuraman et al.(1988)이 제시한 SERVQUAL 성과측정 지표 그리고 Fitzgerald et al.(1994)이 제시한 여섯 가지 차원의 성과측정 지표에 기초하였다. 그리고 앞서 언급한 6가지 핵심 프로세스를 바탕으로 성과항목을 구성하였다.

다음은 각 계층별 요소 간 쌍대 비교를 바탕으로 쌍대 행렬을 작성한다. 다수의 호텔 경영자를 대상으로 설문하여 계층별 성과

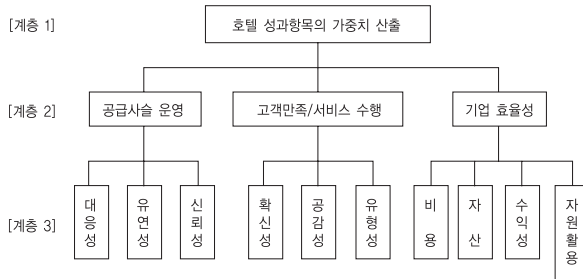


그림 4. 성과항목의 계층화

표 2. 계층 2의 쌍대 비교표

	공급사슬 운영	고객만족/서비스 수행	기업 효율성
공급사슬 운영	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)
고객만족/서비스수행	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)
기업 효율성	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)

표 3. 계층 3의 쌍대 비교표

공급사슬 운영	대응성		유연성	신뢰성
대응성	(1, 1, 1)		(3/2, 2, 5/2)	(1/2, 1, 3/2)
유연성	(2/5, 1/2, 2/3)		(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)
신뢰성	(2/3, 1, 2)		(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)
고객만족/ 서비스수행	확신성		공감성	유형성
확신성	(1, 1, 1)		(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 1, 3/2)
공감성	(3/2, 2, 5/2)		(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)
유형성	(2/3, 1, 2)		(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)
기업 효율성	비용	자산	수익성	자원활용
비용	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 3/2, 2)
자산	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 2/3, 1)
수익성	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(1/2, 2/3, 1)
자원활용	(1/2, 2/3, 1)	(1, 3/2, 2)	(1, 3/2, 2)	(1, 1, 1)

항목을 쌍대 비교하고 그 결과를 바탕으로 쌍대 비교행렬을 작성한다. 이때 표 1의 삼각퍼지 변화척도를 사용한다. 본 연구에서 사용되는 데이터는 호텔의 특성을 고려한 가상의 데이터이며 계층 2와 3의 쌍대 행렬은 표 2, 3과 같다.

다음은 계층별 쌍대 비교표로 각 항목의 가중치를 산출한다. 가중치를 산출하는 방법은 4장에서 설명한 Chang(1996)의 Extent analysis Method의 절차를 따른다.

계층 2의 가중치 산출 절차를 예를 들면 다음과 같다.

(1) 퍼지 결합치의 계산

$$M_1 = \left(1 + \frac{2}{5} + \frac{1}{2}, 1 + \frac{1}{2} + \frac{2}{3}, 1 + \frac{2}{3} + 1\right) = (1.90, 2.17, 2.67)$$

$$M_2 = \left(\frac{3}{2} + 1 + 1, 2 + 1 + \frac{3}{2}, \frac{5}{2} + 1 + 2\right) = (3.50, 4.50, 5.50)$$

$$M_3 = \left(1 + \frac{1}{2} + 1, \frac{3}{2} + \frac{2}{3} + 1, 2 + 1 + 1\right) = (2.50, 3.17, 4.00)$$

$$S_1 = (1.90, 2.17, 2.67) \otimes \left(\frac{1}{12.17}, \frac{1}{9.83}, \frac{1}{7.90}\right) = (0.16, 0.22, 0.34)$$

$$S_2 = (3.50, 4.50, 5.50) \otimes \left(\frac{1}{12.17}, \frac{1}{9.83}, \frac{1}{7.90}\right) = (0.29, 0.46, 0.70)$$

$$S_3 = (2.50, 3.17, 4.00) \otimes \left(\frac{1}{12.17}, \frac{1}{9.83}, \frac{1}{7.90}\right) = (0.21, 0.32, 0.51)$$

(2) 상대적 중요도 산출

$$V(S_1 \geq S_2) = \frac{0.29 - 0.34}{(0.22 - 0.34) - (0.46 - 0.29)} = 0.17$$

$$V(S_1 \geq S_3) = \frac{0.21 - 0.34}{(0.22 - 0.34) - (0.32 - 0.21)} = 0.56$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_2) = \frac{0.29 - 0.51}{(0.32 - 0.51) - (0.46 - 0.29)} = 0.62$$

(3) 중요도 벡터 산출과 정규화

중요도 벡터 $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad i=1, 2, \dots, k(k \neq i)$
이므로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$W' = (0.17, 1.00, 0.62)$$

또한 정규화한 계층 2의 각 항목별 가중치는 다음과 같다.

$$W = (0.10, 0.56, 0.34)$$

이와 같은 방법으로 표 3을 이용하여 대응성, 유연성, 신뢰성, 확산성, 공감성, 유형성, 비용, 자산, 수익성, 자원활용의 퍼지 결합치를 각각 계산한다. 그리고 상대적인 중요도를 계산하고 정규화를 시키면 계층별 성과항목의 가중치는 그림 5와 같다.

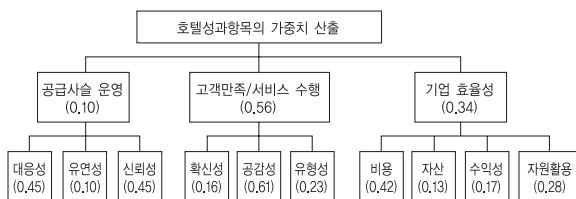


그림 5. 가중치 산출결과

6. 결론 및 향후연구

서비스 산업의 중요성이 크게 증가하며 세계 경제의 중심은 제조 산업 중심에서 서비스 산업 중심으로 변화하였다. 이에 따라 학계에서는 서비스를 과학적으로 연구하려는 서비스 사이언스라는 학문분야가 출현하여 활발하게 연구되고 있다. 그러나 SCM은 여전히 제조 산업 중심이며 서비스 산업에 적용하는 데 한계가 있다. 일부 서비스 산업을 대상으로 SCM이 연구되지만 아직 개념

적이며 최근의 서비스에 대한 새로운 개념과 환경을 잘 반영하지 못하고 있다.

본 연구에서는 서비스 SCM의 성과측정을 위한 프레임워크를 제시하고자 하였다. 서비스 SCM에 대한 기존 연구의 문제점을 발견하고 그 해결 방향을 서비스 사이언스에서 찾고자 하였다. 또한 기존 SCM의 성과측정과 서비스의 성과측정 내용을 바탕으로 서비스 SCM에 적합한 성과측정 지표를 도출하고 효과적인 측정 방안을 적용하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 서비스에 대한 최근 개념을 반영하기 위해 서비스 사이언스에 기초한 새로운 서비스 SCM 모델을 제시하였다. 둘째, 일반적인 서비스 분야를 대상으로 서비스 SCM의 성과측정 지표를 제안하였다. 셋째, 성과항목의 가중치를 산출하는데 적용하는 AHP의 비현실성을 보완하여 Fuzzy-AHP를 적용하였다. 넷째, 제시된 서비스 SCM의 모델과 Fuzzy-AHP를 적용한 측정방안을 서비스 산업의 대표적인 분야인 호텔 산업에 적용하여 설명하였다.

본 연구는 일반적인 서비스 분야의 공급사슬을 대상으로 하는 성과측정에 관한 최초의 연구로서 다음과 같은 의미를 가진다. 첫째, 제시된 서비스 SCM 모델과 성과측정 지표는 서비스 사이언스를 바탕으로 하여 최근 서비스에 대한 인식과 환경을 반영하였다. 둘째, Fuzzy-AHP 방법의 적용은 현실적이며 성과를 더욱 효과적으로 측정할 수 있다. 셋째, 서비스 SCM의 중요성을 부각시키고 성과측정의 프레임워크를 제시하여 향후 연구의 기초를 제공하였다.

향후 연구로는 본 연구에서 제시된 서비스 SCM 모델의 핵심 프로세스나 성과항목에 대한 세부 측정방법이 연구될 수 있다. 또한 수학적 모델링이나 시뮬레이션을 통해 서비스 SCM의 최적화에 대해 연구할 수 있으며 실제 사례 연구를 통해 연구 내용을 검증해 볼 수 있다.

참고 문헌

- [1] 김용진, 남기찬 (2007), 서비스 사이언스 이해를 위한 이론적 틀과 서비스 혁신, *과학기술정책*, 제11-12호, pp. 69~83.
- [2] 박경중, 오형술 (2008), 병원의 진료 서비스 공급 사슬 모델링을 위한 SCOR 모델의 적용, *산업경영시스템 학회지*, 제31권, 제4호, pp. 10~20.
- [3] 박대환 외, (2007), *호텔경영관리론*, 대명.
- [4] 통계청 통계개발원 (2008), *한국의 서비스 산업*, 강문인쇄사.

- [5] Armistead, C. and Clark, G. (1993), Resource Activity Mapping: the Value Chain in Service Operations Strategy, *The Service Industries Journal*, Vol. 13, No. 4, pp. 221~239.
- [6] Baltacioglu, T., et al.. (2007), A New Framework for Service Supply Chains, *The Service Industries Journal*, Vol. 27, No. 2, pp. 105~124.
- [7] Chang, D. Y. (1996), Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, Vol. 95, pp. 649~655.
- [8] Crandall, R. E. and Markland, R. E. (1996), Demand Management – Today's Challenge for Service Industries, *Production and Operations Management*, Vol. 5, No. 2, pp. 106~120.
- [9] Ellram, L. M., et al. (2004), Understanding and Managing the Services Supply Chain, *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 40, No. 4, pp. 17~32.
- [10] Fitzgerald, L., et al. (1994), *Performance Measurement in Service Businesses*, Chartered Institute of Management Accountants.
- [11] Korhonen, P., Huttunen, K., and Eloranta, E. (1998), Demand Chain Management in a Global Enterprise-Information Management View, *Production Planning and Control*, Vol. 9, No. 6, pp. 526~531.
- [12] Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., and Berry, L. L. (1988), SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality, *Journal of Retailing*, Vol. 64, No. 1, pp. 12~40.
- [13] Sengupta, K., Heiser, D. R., and Cook, L. S. (2006), Manufacturing and Service Supply Chain Performance: A Comparative Analysis, *The Journal of Supply Chain Management*, Vol. 42, No. 4, pp. 4~15.
- [14] Sharma, M. K. and Bhagwat, R. (2007), An Integrated BSC-AHP Approach for Supply Chain Management Evaluation, *Measuring Business Excellence*, Vol. 11, No. 3, pp. 57~68.
- [15] Voudouris, C., et al. (2008), *Service Chain Management*, Springer.
- [16] Xia, L. X. X., Bin M., and Lim, R. (2007), AHP Based Supply Chain Performance Measurement System, *Emerging Technologies and Factory Automation*, Vol. 25, pp. 1308~1315.
- [17] Yilmaz, Y. and Bititci, U. (2006) Performance Measurement in the Value Chain: Manufacturing vs. Tourism, *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 55, No. 5, pp. 371~389.
- [18] Zigan, K., Macfarlane, F., and Desombre, T. (2007), Intangible Resources as Performance Drivers in European Hospitals, *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 57, No. 1, pp. 57~71.



안 성 화

육군사관학교 졸업

한양대학교 산업공학과 석사

현재 : 육군 대위

관심분야 : 서비스SCM, 서비스사이언스



이 영 해

고려대학교 산업공학과 학사

일리노이대학교 산업공학과 석사

일리노이대학교 산업공학과 박사

현재 : 한양대학교 산업경영공학과 교수

관심분야 : SCM, 물류관리, 시뮬레이션



황 민 규

한양대학교 정보경영공학 학사

현재 : 한양대학교 산업경영공학과

석사과정

관심분야 : 서비스 SCM, 최적화

S&OP 도입을 통한 수요와 공급의 동기화 : 식품산업 사례를 중심으로

김종배^{*†} · 박민영^{*} · 장팔선^{**}

인하대학교 물류전문대학원^{*} · (주)플로우비즈^{**}

Synchronizing Demand and Supply with Sales and Operations Planning : A Case of Food Industry

Jongbae Kim^{*†} · Minyoung Park^{*} · Palseon Jang^{**}

^{*}Graduate School of Logistics, Inha University

^{**}FLOWBIZ

In the recent years, many Korean companies have implemented ERP system to improve their operation efficiency. However, most companies have failed to produce tangible results even though they spent a huge amount of money. It is assumed that because they didn't focus on the process innovation but only focused on the system implementation. Companies need to design process and tools to make all detailed plans work. S&OP is the key to integrate business process and IT system in more efficient way. S&OP has been described as "a set of decision-making process to balance demand and supply, to integrate financial and operational plan, and to link high level strategic plan with detailed operations".

The purpose of this study is to verify the effectiveness of S&OP process in especially food and beverage industry through the case study of "H" confectionary company. The result shows that S&OP is the core process for company to gain the competitive advantage.

Keywords: S&OP(Sales and Operations Planning), SCP(Supply Chain Planning), DP(Demand Planning), DRP(Distribution Resource Planning)

^{*} 본 연구는 한국학술진흥재단 지정 인하대학교 정석물류통상연구원(KRF-2008-005-J01601)의 지원에 연구되었음.

[†] **Corresponding author:** 131, Namyong-dong, Yongsan-gu, Seoul, 140-708, Korea,

TEL : 82-709-7614 E-mail : jbkim@ht.co.kr

^{*} 2010년 3월 2일 투고, 4월 7일 1차 수정본 접수, 5월 3일 2차 수정본 접수, 5월 10일 게재 확정.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 기업들은 정보화, 다양화, 글로벌화 등의 변화의 환경 속에서 자원들의 효율적 관리와 업무 스피드의 향상, 신속한 의사결정 등을 통해 경쟁력의 향상을 꾀하고 있다. 이러한 경쟁력은 원부자재의 조달부터 최종 고객에 이르기까지 공급망 전체의 관리(Supply Chain Management, SCM)로 확장되고 있다. 공급망 관리의 핵심은 고객의 수요에 대해 공급을 동기화 시키는데 있다. 이를 위해 기업은 사업계획을 실행계획으로 효율적으로 연계시켜야 하며 또한 판매계획, 생산계획, 공급계획 등을 통해 고객의 수요에 대응할 수 있는 시스템을 갖춰야 한다. 이러한 배경을 바탕으로 등장한 개념이 바로 S&OP(Sales & Operations Planning, 판매 및 운영계획)이다. S&OP는 조직의 구성원들에게 달성 가능한 목표를 설정하게 해 주고 결과를 확인해 주며 여러 방안에 대한 비교 평가와 더불어 승인된 계획을 공유하고 성과를 측정하는 등 보다 효율적인 운영이 가능하도록 한다. S&OP를 통해 기업은 시장 상황에 보다 빠르고 유연하게 대처할 수 있으며 궁극적으로 미래의 불확실성에 대비할 수 있게 된다.

급변하는 경영환경의 변화에 대응하기 위해 S&OP에 대한 국내 기업들의 관심이 증가하고 있으나 성공적인 운영이나 개선 사례에 대한 선행연구를 찾기 힘들며 최근 S&OP를 도입한 일부 기업들도 그 사례를 외부와 공유하기를 주저하고 있다. 이는 S&OP가 결코 단 기간에 성과를 달성하기가 쉽지 않기 때문에 선불리 그 성공을 외부에 공언할 수 없기 때문이기도 하다. “H”사는 2002년 국내 식품업계 최초로 S&OP를 도입하여 지속적인 개선 및 시행착오를 통해 S&OP를 고도화시키고 있으며 여러 기회를 통해 이러한 경험들을 공유하고 있다. 이러한 배경 하에 본 연구는 S&OP의 도입을 검토하거나 운영함에 어려움을 겪는 기업들에게 효율적인 전략과 실행 방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구의 목적을 달성하기 위해 S&OP에 대한 이론적 고찰 및 국내외 기업들의 도입현황을 통해 S&OP에 대한 최신 동향 및 발전 전망을 살펴본다. 그리고 식품회사인 “H”사의 S&OP 구축 사례를 통해 보다 효율적이고 개선적인 S&OP 전략과 실행방안을 도출하고자 한다.

2. S&OP에 대한 이론적 고찰

2.1 S&OP의 개요

미국의 APICS(American Production and Inventory Control Society)에 의하면 “S&OP란 경쟁우위를 목적으로, 경영진이 지속적으로 역량을 집중하고 관리할 수 있도록 지원하는 프로세스다. 신제품 및 기존제품에 대한 고객 중심의 마케팅 계획과 공급망 관리의 통합을 지원한다. 즉, 영업, 마케팅, 개발, 생산, 구매 및 재무 등의 계획을 총괄하여 ‘하나의 통합된 계획’을 수립하도록 지원해 준다. S&OP는 적어도 월 1회 실시되며, 통합계획은 경영진에 의해 총괄적인 수준(제품군 수준)에서 검토되고, 수요, 공급 및 신제품 계획은 상세 수준(Stock Keeping Unit, SKU)까지 조정, 일치되며 사업계획과도 연계된다. S&OP는 자원 계획 및 연간 사업계획 수립을 지원할 수 있을 만큼의 기간을 대상으로 한다. 올바른 S&OP는 전략계획과 실행을 연결시켜 주는 역할을 하며 지속적 개선을 위한 성과지표의 점검도 이루어진다.” 라고 정의할 수 있다(APICS Dictionary, 9th Edition). 또한 S&OP는 수요와 공급의 균형을 이루도록 도와주는 업무 프로세스로서 총체적인 볼륨 레벨에 초점을 두며 기업 내부의 모든 기능 간 통합을 지원하는 프로세스이다(Thomas F. Wallace, 2003). <그림 1>과 같이 S&OP는 결국 기업의 전략계획과 사업계획을 세부 실행계획으로 연계시키고 수요와 공급의 균형을 이루게 하는 기업의 핵심 프로세스로서 경영층이 사업을 전체적으로 조망하고 미래를 예측할 수 있는 창을 제공한다.

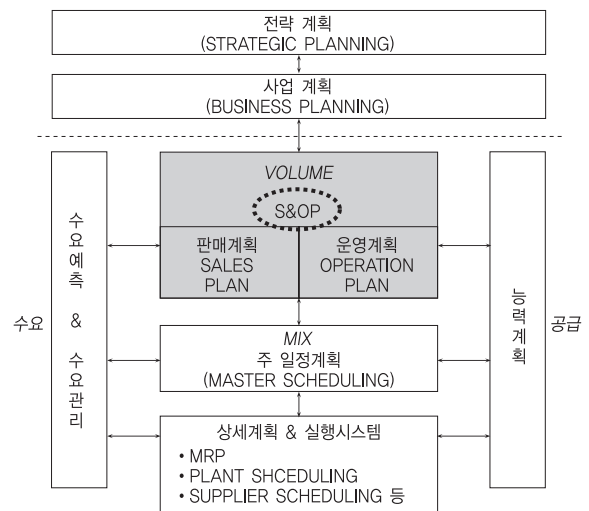


그림 1. S&OP의 위치

Source : Thomas F. Wallace(2003), “SCM의 중심 S&OP”, 엠플레닝

S&OP 프로세스가 정립되지 않는 기업에서는 사업계획과 주 일정계획(Master Scheduling)이 연계되지 않고 수요부서와 공급부서가 서로 다른 계획을 수립하여 궁극적으로 기업의 목표 달성 및 전체 최적화를 구현하는데 어려움을 겪게 된다. 반대로 S&OP 프로세스가 잘 정립된 기업은 전 부서가 계획을 공유하여 고객의 요구에 신속하게 대응하며 이는 고객 서비스 수준 향상과 기업의 경쟁력 향상으로 연결된다.

이에 따라 기업들은 다음과 같은 목적으로 S&OP를 도입하고 있다.

첫째, 사업계획을 지원하고 평가한다. S&OP는 매월 시장의 상황에 따라 기업의 운영계획을 갱신하여 초기의 사업계획을 달성할 수 있도록 지원한다.

둘째, 현실적이고 달성 가능한 계획을 수립한다. S&OP는 기업의 전 부서가 참여하므로 기업의 자원능력을 고려한 계획을 수립할 수 있도록 한다.

셋째, 보다 적절한 재고나 주문 잔량을 가지고 고객 서비스에 대응할 수 있다. S&OP는 실수요에 근간한 판매계획 프로세스를 통해 보다 낮은 재고 수준 및 주문 잔량을 가지고 보다 효율적으로 고객의 요구에 대응할 수 있다.

넷째, 성과를 측정한다. S&OP는 계획 대비 실적을 통제하고 관리하여 향후 보다 유효한 계획을 수립할 수 있도록 지속적인 성과측정 체계를 지원한다.

다섯째, 변화를 효과적으로 관리한다. S&OP를 도입한 기업들은 시장의 변화에 보다 적극적으로 대처하며 이 과정에서 전 부서가 참여하여 계획을 공유함으로써 팀워크 형성 및 새로운 계획에

대한 의지 및 자신감을 고취시킨다.

2.2 S&OP 운영 프로세스

S&OP 프로세스의 본질은 의사결정이다. S&OP를 통해 기업의 경영진 및 구성원들은 사업계획, 판매계획, 생산 및 운영계획, 재고 및 주문 잔량 계획 등의 주요 이슈에 대해 합의하고 실행계획을 도출한다. <그림 2>와 같이 S&OP는 기본적으로 월 주기의 5단계 프로세스로 구성된다.

2.2.1. 1 단계 : 수요예측 보고서 작성

이 활동은 매월 초에 수행되면 다음과 같은 요소로 구성된다.

- 월 마감 직후 해당 월의 데이터로 파일 갱신(매출 실적, 생산 실적, 재고 등)
- 영업/마케팅 부서에서 수요예측을 수립하는데 필요한 정보 생성(판매 분석 데이터, 통계적 예측 보고서 등)
- 해당 부서에 관련 자료 배포

2.2.2. 2단계 : 판매계획 수립

1단계에서 수집된 정보를 바탕으로 판매계획을 수립하는 단계이다. 판매계획은 통계적 수요예측에 기업 내부의 변화된 상황을 반영하여 조정된 계획을 수립하는 것이 중요하며 기존 제품과 신제품 등 모든 제품을 포함하여야 한다.

- 1단계의 수요예측 보고서 및 실적 자료의 검토 및 분석
- 신제품 출시, 재고 및 생산현황, 판촉계획 등의 내부환경

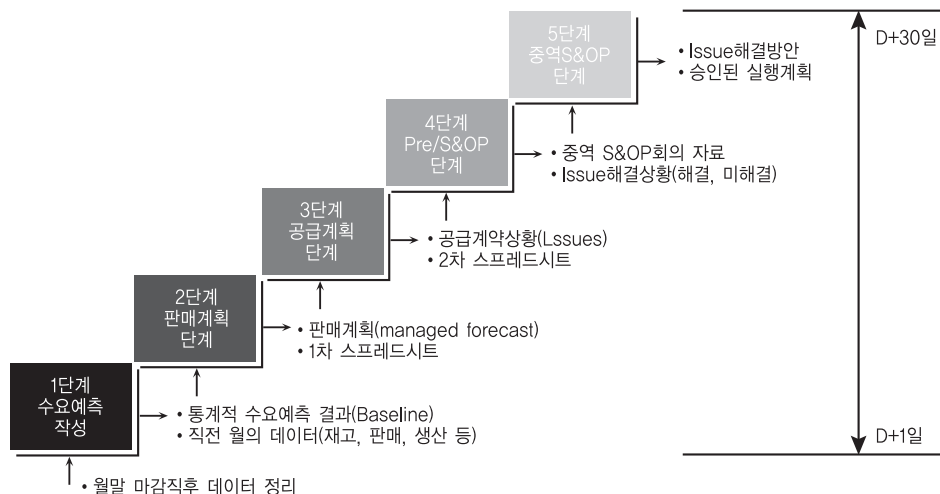


그림 2. 월간 S&OP 프로세스

분석

- 고객, 경쟁사 동향, 경제 상황 등 외부환경 분석
- 수요예측 정보와 내외부의 환경 분석의 결과를 바탕으로 판매계획 수립

2.2.3. 3단계 : 공급계획 수립

공급계획은 판매계획을 충족시키기 위해 생산 및 운영부서에서 수립하며 다음과 같은 업무를 수행한다.

- 판매계획과 전월에 수립된 판매계획과의 차이 분석
- 운영계획 작성(생산, 구매, 외주, 물류 등) : 생산능력보고서 작성, 판매계획의 충족에 차질이 발생할 경우 공급 상의 이슈 목록 작성
- Pre-S&OP 회의를 위한 자료 준비

2.2.4. 4단계 : Pre-S&OP 회의

Pre-S&OP 회의에서는 판매계획과 공급계획을 제품군 수준에서 검토하며 계획을 실행하기 위한 자원능력 확보 방안, 제약에 대한 판매 우선순위 결정, 주요 이슈의 해결을 위한 의사결정을 수행한다.

- 수요와 공급의 균형에 대한 의사결정
- 신제품 출시 계획에 대한 정보 공유
- 자원 변경에 필요한 기록(인력 증원, 교대근무, 장비, 외주 등)
- 이슈 해결 및 미해결 이슈에 대한 대안 제시
- 중역 S&OP를 위한 회의자료 준비

2.2.5. 5단계 : 중역 S&OP 회의

중역 S&OP 회의에서는 월간 프로세스를 종합하여 전사 차원

의 하나의 실행계획을 수립한다.

- 제품군별 운영계획의 승인 및 대안 제시
- Pre-S&OP 회의에서 합의하지 못한 이슈 해결
- 금액과 수량관점에서 사업계획과 S&OP 계획의 비교(과거 실적, 미래계획)
- 제약의 해결(상당한 투자 또는 비용 발생이 요구되는 사항)

S&OP는 우리나라의 많은 기업들이 실제로 운영하고 있는 ‘월간 생판회의’와는 차이가 있다. ‘월간 생판회의’에는 최고 경영진이 참석하지 않으며 실무자를 중심으로 비교적 단기간(1~3개월)의 기간을 대상으로 세부적인 품목 수준에서 판매계획과 생산계획을 비교하는 작업을 수행한다. 또한 확정된 계획에 대해 월간 실행 프로세스에서 잦은 변경이 일어나며 궁극적으로 각 부서에서는 별도의 실행계획을 가져가며 이는 전체 최적화를 구현하는데 어려움을 초래한다.

반면 S&OP는 최소한 12~18개월을 계획기간으로 갖는 월 주기의 장기 계획이다. 또한 시장의 실수요를 반영하며 프로모션, 공급계약, 수익성을 고려한 전사 최적화된 하나의 단일 계획을 수립한다. 그리고 프로세스 과정에서 재무적, 비재무적 지표를 포함하며 확정된 계획에 대해서는 반드시 지키도록 한다.

3. 국내외 기업들의 S&OP 도입 사례

3.1 글로벌 기업의 도입 사례

S&OP는 모든 업종의 기업에서 적용될 수 있으며 <표 1>과 같

표 1. 글로벌 기업들의 S&OP 추진 성과

국가명	회사명	산업(업종)	S&OP 추진성과
미국	De Royal	의료기기/계약	재고 \$2 Million 감축, 수요예측 정확도 5~10% 향상
미국	Boeing Defense & Space	방위산업/항공	납기준수율 28% → 98%, 리드타임 40% 단축
미국	Unisys	컴퓨터	납기준수율 89% → 95%, 리드타임 30% 단축
미국	Honeywell	키보드	납기준수율 30% → 97%, 리드타임 25~50% 단축
미국	Sara Lee	식음료/의류/ 생활용품	납기준수율 85% → 99%, 재고 46% 감축
미국	Lockheed Martin	항공	납기준수율 63% → 95%
미국	Krafts Foods	식품	재고 18% 감축
캐나다	Heinz	식품	재고 \$ 4.6 Million 감축
미국	Allergan	생활용품/화장품	납기준수율 40% → 99%, 재고 40% 감축
미국	Pioneer Flour Mills	식품	매출 28% 증가, 납기준수율 97%, 리드타임 30% 단축
미국	ICI Pharmaceuticals	계약	매출 \$60M → 70M, 재고 \$2 Million 감축, 리드타임 18 → 9일

Source : Pat Bettini and Colleen Crum(2003), "Best Practices Demand Management, S&OP", Chana R. Schoenberger, "The Weakest Link", Forbes Magazine, Oct, 2001

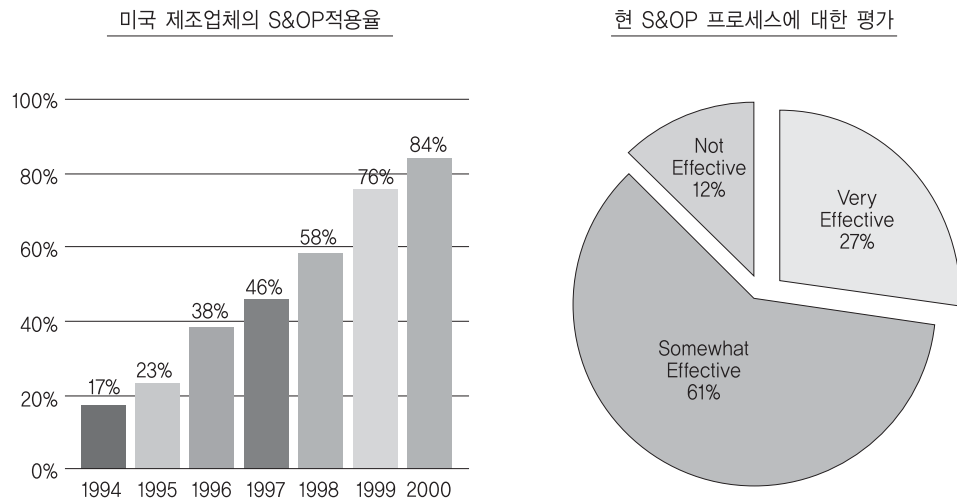


그림 3. 미국 제조 기업의 S&OP 적용률 및 평가

Source : Oliver Wight(Fall, 1999), "Sales & Operation Planning"

이 이미 많은 글로벌 기업들이 S&OP를 도입하여 성과를 도출하고 있다.

제조 기업만을 대상으로 한 경우, S&OP는 보다 보편화되어 있으며, 도입성과에 대해서도 대다수의 기업들이 긍정적으로 평가하고 있다. <그림 3>과 같이 북미지역의 246개 기업을 대상으로 조사한 결과, 76%가 S&OP를 운영하고 있으며, 88%의 기업들이 S&OP가 효과적인 운영을 가능하게 한다고 답하였다 (Oliver Wight, 1999).

3.2 국내 식품업계의 도입 사례

최근 국내의 식품업계는 고령화, 저 출산에 따른 고객수요 감소, 원부자재의 상승 및 고객의 요구수준 향상에 따른 품질비용 증가, 동종업체간의 경쟁 심화로 인한 수익성 문제 등으로 어려움을 겪고 있다. 또한 제품의 신선도 유지에 따른 '재고' 및 '결품' 문제가 주요 이슈로 대두되고 있다. 이에 따라 주요 식품업계를 중심으로 S&OP에 대한 관심이 높아지고 있으며 실제로 몇몇 선도 기업들은 S&OP를 도입하여 운영하고 있다.(유효정, 2009) 하지만 S&OP가 단 기간의 정량적 효과를 넘어 장기적 관점에서 전사적인 프로세스를 지원하는 기법으로 자리를 잡기 위해서는 보다 많은 시간이 필요할 것으로 보인다.

3.2.1 "C"사 사례

"C"사는 2008년 ERP(Enterprise Resource Planning), APS(Advanced Planning & Scheduling), MES(Manufacturing

Execution System), SRM(Supplier Relationship Management) 등의 SCM 관련 IT 시스템을 구축하였으나 프로세스와 제대로 연계되지 못하면서 기대만큼 성과를 거두지 못했다. 이에 따라 2009년부터 SCM 전략팀을 신설하고 S&OP를 전사적으로 도입하였다. "C"사는 또한 빠른 시장 대응체제를 갖추기 위해 2009년 말에 매출의 주요부분을 차지하고 있는 Fast Moving Consumer Goods(FMCG) 제품을 대상으로 우선적으로 주 단위 S&OP로 전환하였다. 그리고 주 단위 S&OP 프로세스의 효율성을 높이기 위해 '수요공감프로세스' (Demand Consensus Process)를 도입하여 매주 금요일 하나의 '단일계획' (Single Plan)을 도출하도록 하였다. "C"사는 향후 S&OP 프로세스를 더욱 고도화시키고 유통업체와 CPFR(Collaborate Planning, Forecasting & Replenishment)을 도입하여 공급망 전체의 대응력을 높일 예정이다.

3.2.2 "D"사 사례

"D"사는 2006년부터 PI(Process Innovation)의 일환으로 S&OP를 도입하였으며, 2007년 ERP와 APS를 도입하여 S&OP 프로세스를 지원하도록 하였다. 또한 2009년부터 모든 제품에 대해 주 단위 S&OP 체제로 전환하였으며 과거 전자업체에서 도입했던 '3일 확정체제'를 도입하여 차주 3일간 확정된 계획에 대해서는 절대 변경할 수 없도록 하였다. "D"사는 S&OP 도입을 통해 50% 이상의 재고를 절감하였으며 2009년 하반기부터 주 2회의 계획체제로 전환하여 향후 3일 단위의 생산계획 체제를 확립할 계획이다.

4. “H”사의 S&OP 구축 사례

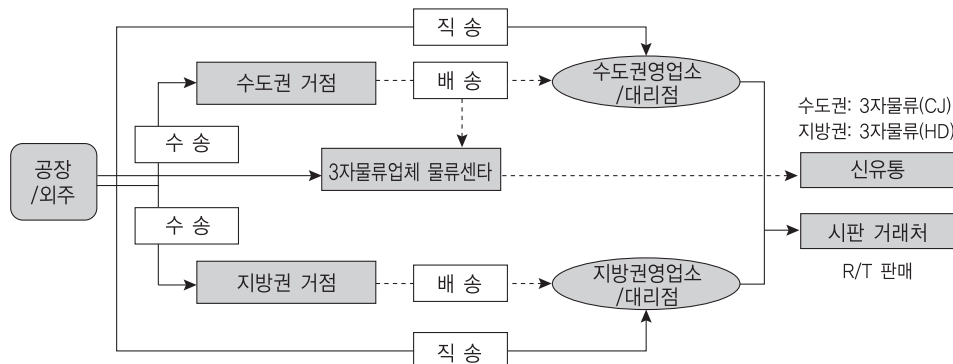
4.1 회사개요 및 물류 프로세스

“H”사는 제과업을 주업종으로 하는 식품회사로 1945년 설립되었으며 과자, 아이스크림, 냉동식품 등의 3가지 사업영역에 총 매출액은 8,500억 원이다(2009년 말 기준). “H”사는 상온 제품과 냉동 제품을 동시에 취급하는 관계로 다른 회사들에 비해 복잡한 물류 프로세스를 가지고 있다. <표 2>와 <그림 4>에서는 “H”사의 물류 프로세스 현황을 설명하고 있다. 과자 부문은 전국적으로 6개의 공장과 3개의 물류센터가 있는데 생산하는 품목들은 공

장별로 상이하다. 아이스크림 부문은 2개의 공장과 6개의 물류센터가 있는데 이외에 여러 개의 외주업체들이 전국적으로 산재해 있다. 아이스크림은 특성상 계절성이 높고 납기와 리드타임이 상대적으로 중요하기 때문에 대부분의 물류센터는 영업소로부터 근 거리에 위치해 있다. 이처럼 여러 개의 공장과 외주 업체로부터 생산된 제품은 다양한 경로를 통해 공장으로부터 물류거점을 거쳐 영업소나 대리점으로 배송되고 있으며 대형 유통업체들의 경우는 3자 물류업체가 배송을 담당하고 있다.

표 2. “H”사의 공장 및 물류센터 현황

구 분	물류센터	창고평수	용 량	공 장	창고평수	용 량
과 자	용인물류	1,260 평	150천Box	천안공장	420 평	70천Box
				대전공장	300 평	36천Box
	영남물류	825 평	70천Box	청주공장	500 평	56천Box
				하양공장	300 평	55천Box
	전남물류	353 평	59천Box	광주공장	300 평	41천Box
				문막공장	250 평	28천Box
아이스크림	안녕물류	1,030 평	282천Box	하양공장	555 평	175천Box
	희창물류	578 평	173천Box			
	강원물류	150 평	40천Box			
	영남물류	590 평	200천Box	광주공장	390 평	109천Box
	서남물류	800 평	224천Box			
	전남물류	300 평	76천Box			



※주문 flow

본부할당 → 영업주문 → 주문확정 → 배차의뢰 → 거점제품상차 → 제품배송 → 영업장 하차

※3자물류 flow

공장/외주 → 3자물류업체 창고 → 거래처배송(센터/점)

그림 4. “H”사의 물류 프로세스

4.2 도입 배경 및 진행 경과

“H”사는 판매예측 정확도 저하로 생산계획이 수시로 변동되고 판촉전략, 신제품 출시, 단산 등에 있어서 의사소통 프로세스가 미흡하여 과다 및 부족재고, 부동재고 등 재고관리에 많은 문제가 발생하였다. 또한 생산, 판매, 물류의 프로세스를 통합하여 관리할 수 있는 주관부서가 부재하여 부서간의 갈등이 증폭되었으며 이는 곧 판매기회 손실과 운영 효율성의 저하를 초래하였다. 프로세스를 지원할 수 있는 시스템도 부재하여 동일한 사안에 대해서도 각 부문별로 서로 상이하게 받아들이는 결과가 발생하였다.

이러한 배경 속에서 2002년 최고 경영진의 의지에 의해 “H”사는 S&OP 프로세스를 도입하였다. 2002년 7월 S&OP 프로세스 추진을 위한 조직을 구성하고 6개월간의 프로젝트를 통해 신규 S&OP 프로세스를 설계하고 현업에 적용하였으며 이후에도 프로세스를 지속적으로 개선하였다. 또한 프로세스를 지원하기 위해 2002년 11월부터 7개월간 S&OP 시스템을 구축하였으며 2009년 1월 예측 정확도를 높이기 위해 추가로 수요예측 솔루션을 도입하여 운영하고 있다.

4.3 S&OP 구축 사례

4.3.1. 프로세스

국내의 많은 기업들이 S&OP등의 혁신 프로세스를 도입함에 있어 프로세스가 아닌 IT 시스템 위주의 도입으로 실제 S&OP를 운영함에 있어 어려움을 겪고 있다. 따라서 “H”사는 프로젝트를

통해 <그림 5>와 같이 S&OP 프로세스를 먼저 설계하였으며 이를 단계별로 설명하면 다음과 같다.

• 1단계 : 수요 사전 준비작업과 판매 MIX 확정회의

이 단계에서는 1~3개월(단기)은 SKU 레벨과 영업라인별로 영업 MIX 계획, 4~12개월(장기)은 SKU 레벨별로 마케팅 MIX 계획을 도출한다. 수요관리자는 단기, 장기 수요예측을 수립하는데 필요한 통계적인 수요 정보와 영업실적 데이터를 결합하여 정보를 생성한 후 영업과 마케팅에 제공한다. 영업과 마케팅에서는 시장 동향과 신제품 수요예측 등의 정보를 포함한 수요예측 자료를 작성한다. 그 자료를 기반으로 수요관리자는 영업 및 마케팅과 판매 MIX 확정회의를 통해 신규 판촉 계획을 반영한 판매계획을 수립한다.

• 2단계 : 생산 사전 준비작업

2단계에서는 생산 현황과 생산 능력에 관한 정보를 제공하고 보다 상세한 생산 가능량을 확인하며 제품 및 원재료의 재고 파악을 한다. 생산 부문의 생산능력, 라인증설 및 보수계획, 생산조의 변화, 인력운영계획 등의 자료를 수집하고 검증하는 단계로 공장별, 라인별 생산능력에 대한 정보를 제공한다.

• 3단계 : 생산계획 및 생산 MIX 확정회의

사전 준비작업을 통해 확인된 생산 정보와 재고현황, 확정된 판매 MIX를 감안하여 익월 생산계획을 수립하고 이슈 해결을 통해 생산능력을 업데이트하고 외주 생산물량을 확정한다.

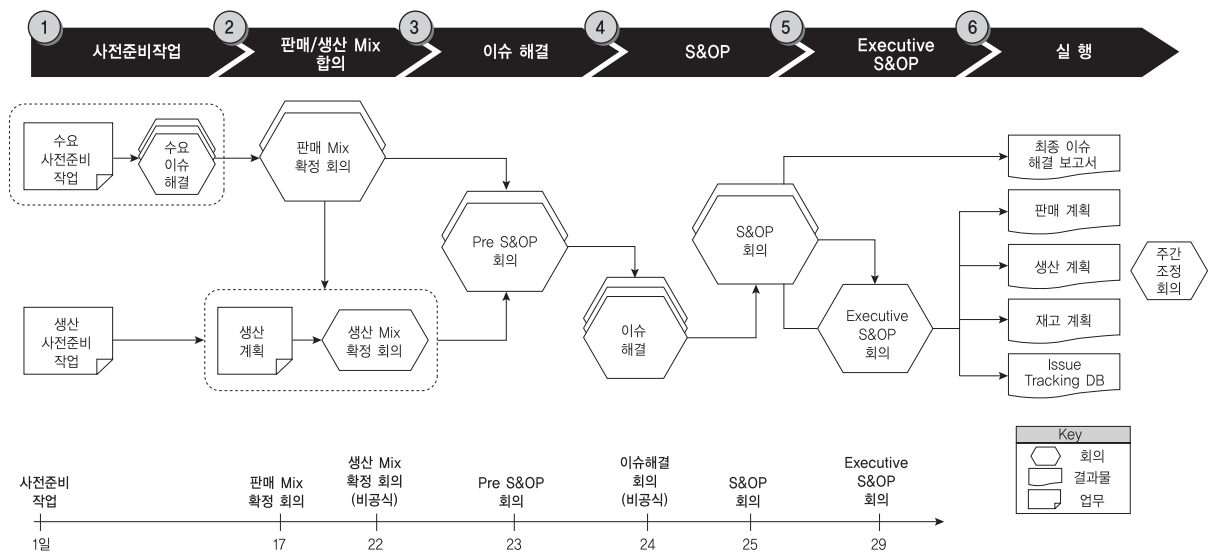


그림 5. “H”사의 S&OP 프로세스

• 4단계 : Pre-S&OP 회의

이전 단계에서 확정된 판매계획과 생산계획을 가지고 S&OP 회의에서 검토될 상세 S&OP Plan(판매/생산/재고)을 도출하고 이전 단계에서 미해결된 이슈를 검토하고 해결한다.

• 5단계 : S&OP 회의 및 Executive S&OP 회의

S&OP Plan 관련 부서장 및 최고 경영진의 합의와 승인을 획득하는 단계이다. S&OP 부서장은 회의 진행을 위한 이슈 목록 및 데이터를 제공하고 참석자들은 S&OP Plan을 확정하고 미해결된 이슈를 해결하기 위해 적극적으로 의견을 개진한다. 단 S&OP 회의에서 이슈가 해결된 경우 다음 단계인 Executive S&OP 회의는 서면으로 대체할 수 있다.

S&OP를 도입한 많은 기업들은 여전히 고객의 실수요 반영, S&OP 전담 조직 및 명확한 역할 규명, 재고의 책임 문제 등으로 고민하고 있다. 이에 따라 “H”사는 다음과 같이 몇 가지 신규 S&OP 프로세스를 확정하여 이에 대비하였다.

첫째, Bottom-up 계획 기능을 확보하였다. 기존의 일방적인 목표 하달(Top-down) 방식이 아닌 지역별, 조직별 수요의 특성을 반영한 Bottom-up 판매계획을 수립하였으며 이를 통해 판매 계획에 대한 책임성을 더욱 강화하였다.

둘째, Rolling Based Planning 체제를 확립하였다. 기존에는 연간 사업계획 수립 시에만 12개월의 판매 및 생산계획을 수립하였으나 매월 12개월의 계획을 수립하여 기업 내외부의 변화에 신속하게 대응하고 장기간의 능력계획이나 원재료 수급을 위한 리드타임 등에 탄력적으로 대응할 수 있도록 하였다.

셋째, S&OP 전담조직을 구성하였다. 프로세스를 효과적으로 관리하기 위해 영업, 마케팅, 생산 부문의 계획 기능을 통합하여 S&OP 전담조직을 구성하였다.

넷째, 적정재고 개념을 도입하였다. 각 거점별로 표준화된 적정재고의 개념을 도입하여 전사적인 재고 감축효과를 가져왔으며 이에 따른 운전자본의 감소와 제품의 신선도 향상 등의 효과를 창출하였다.

다섯째, 재고의 소유 및 책임을 명확히 하였다. 신제품을 제외한 모든 재고의 책임을 영업에서 관리하게 하였으며 이에 따라 영업은 판매계획 수립 시 보다 신중하고 정확한 목표수립을 통해 수요예측 정확도 향상의 효과를 가져왔다.

여섯째, 계획에 의한 물량 배분 시스템을 구축하였다. DRP(Distribution Resource Planning) 시스템과 적정 재고량의 도입으로 판매 및 생산계획의 이행과 계획적인 물량 배분이 가능해졌으며 최적화된 물류이동이 가능해졌다.

4.3.2. 조직 및 역할

기존의 사례들과 내부의 의견들을 종합하여 S&OP 조직을 구성하였다. S&OP Manager 1인, 수요관리자(Demand Manager) 3인, 공급관리자(Supplier Manager) 1인, 재고관리자(Inventory Manager) 1인 등 총 6명으로 구성하였으며 각 구성원의 역할은 다음과 같다.

• S&OP Manager

S&OP Manager는 프로세스를 전반적으로 관리하고 S&OP 회의를 주재하는 역할을 한다. 또한 각 S&OP 회의에서 발생하는 이슈들을 관련 부문과 협의를 통해 해결하며 S&OP와 관련된 KPI를 설정하고 측정, 관리하며 진행상황을 피드백하는 역할을 수행한다. 이런 역할에 맞도록 회사의 다양한 근무 경험과 커뮤니케이션 능력, 성격 등을 고려하여 부서장 이상 직급에서 선정하였다.

• 수요관리자(Demand Manager)

수요관리자는 영업과 마케팅에 대한 지식과 경험을 보유해야 하며 수요예측을 위한 분석력과 기획력, 커뮤니케이션 능력 등 다양한 능력을 보유하여야 한다. 수요관리자는 판매계획 수립 및 합의, 시장수요의 분석, 공급 부문과의 조정, S&OP 프로세스 진행을 위한 세부계획 수립 및 관리 등의 역할을 담당한다.

• 공급관리자(Supplier Manager)

공급관리자는 생산에 대한 지식과 경험을 가지고 있으며 판매 계획을 바탕으로 공급부문의 제약요건을 반영하여 생산계획을 수립하며 이를 수요관리자와 조정하는 역할을 담당한다.

• 재고관리자(Inventory Manager)

재고관리자는 회사의 전반적인 재고정책을 수립하고 관리하는 역할을 한다. 따라서 재고관리자는 회사의 물류 프로세스를 잘 알고 있으며 재고에 대한 이해도가 높은 인력을 선발하였다.

S&OP는 기업의 영업, 마케팅, 생산, 물류, 구매, 재무 등의 전사적인 조직들이 참여하여 부분최적화가 아닌 전체최적화의 해답을 추구하므로 추진하는 과정에서 저항 및 많은 시행착오를 겪게 된다. 이에 따라 “H”사는 2009년부터 S&OP 조직을 대표이사 직속으로 변경하여 실행력을 강화시켰으며 최고경영층의 지속적인 관심과 지원 하에 S&OP 고도화 작업을 진행하고 있다.

4.3.3. IT 시스템

“H”사는 S&OP 프로세스를 효율적으로 지원하기 위해 SCM

전문 패키지를 도입하였다. 수요계획(Demand Planning, DP), 재고보충계획(Distribution Resource Planning, DRP), 생산계획(Manufacturing Planning), 주문관리시스템(Order Management System, OMS) 등을 구축하였으며 S&OP 전체 프로세스를 관리하고 분석할 수 있도록 <그림 6>과 같이 S&OP Dash Board를 구축하였다. Dash Board를 통해 각 제품의 세부 SKU 단위까지 생산, 판매, 재고의 계획대비 실적 현황을 한 번에 파악하고 결품이 예상되는 SKU에 대해 알람 기능을 통해 사전적

대처가 가능해졌다. 또한 관련 부문 간의 일원화된 지표관리로 실시간 자료를 공유하고 신속한 의사결정을 지원할 수 있는 체계를 구축하였다. 또한 수요예측 정확도를 향상시키기 위해 2009년 1월에 추가로 수요예측 솔루션을 도입하여 활용하고 있다.

4.3.4. 성과지표

“H”사는 S&OP의 성과를 측정하기 위해 Supply Chain Council(SCC)에서 개발한 SCOR(Supply Chain Operations

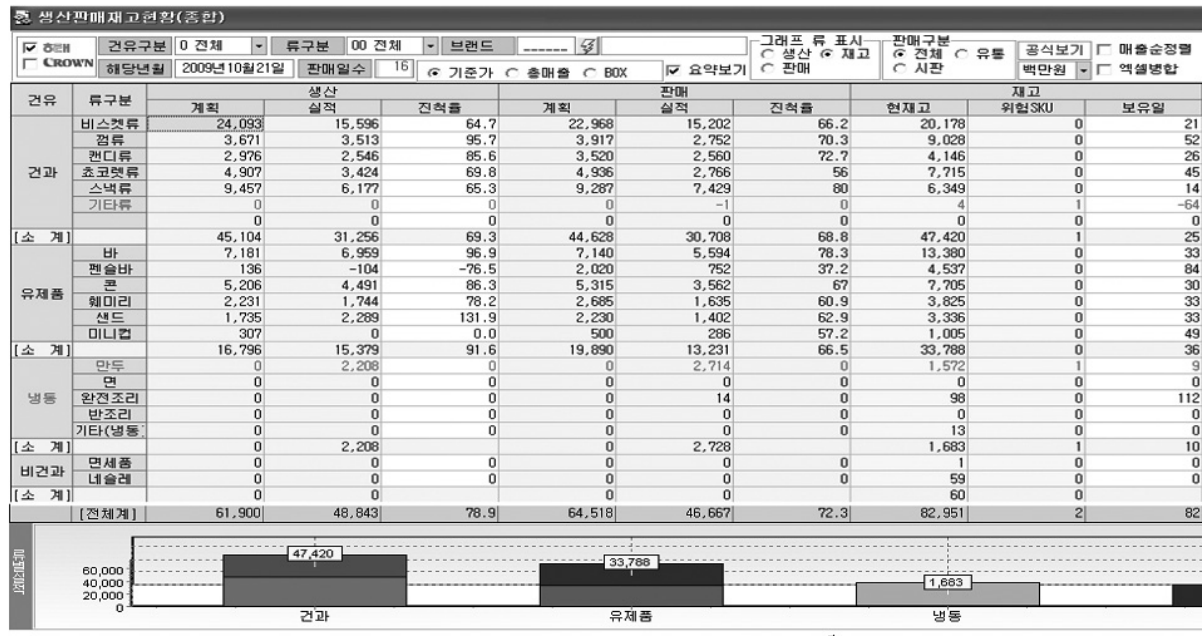


그림 6. S&OP Dash Board

Source : “H”사 내부자료(2009.12)

표 3. SCOR 모델

구분	성과 지표
공급망	신뢰성인도 성과(Delivery Performance)
	주문충족 리드타임(Fill Rates)
	충족율(Fill Rates)
	완전주문 충족(Perfect Order Fulfillment)
유연성	대응성공급망 대응시간(Supply Chain Lead Time)
	생산 유연성(Production Flexibility)
비용	총 공급망 관리비용(Total Supply Chain Management Costs)
	보상 및 반품 처리비용(Warranty / Return Processing Costs)
	부가가치 생산성(Value-Added Productivity)
자산	총 공급 재고일수(Inventory Days of Supply)
	현금화 사이클 타임(Cash-to-Cash Cycle Time)
	순자산 회전율(Asset Turns)

Source : 대한상공회의소(2005), “SCM 구축을 위한 도입가이드”, pp. 93

Reference) 모델에 근간한 성과지표를 개발하였다. 그리고 유통기한이 짧은 제과업체의 특성상 재고관리가 중요하기 때문에 재고를 집중적으로 관리하기 위해 재고금액, 재고보유일수, 재고회전을 등의 재고관련 지표들을 선정하였다. 이밖에 계획과 관련된 지표를 보완하여 판매예측 정확도(Sales Forecast Accuracy), 판매역량지수(Sales Capabilities Index), Demand 변경율, 생산계획 변경율 등을 선정하였다.(2009.12)

- 판매예측정확도 = Demand 확정수량/Demand 입력수량
- 판매역량지수 = 실제 판매수량/Demand 확정수량
- Demand 변경율 = Demand 변경요청수량/Demand 입력수량
- 생산계획변경율 = 변경 확정수량/생산계획수량

4.4 도입 효과

“H”사는 S&OP 프로세스 도입을 통해 수요계획부터 재고계획, 공급계획에 이르기까지 전체 프로세스의 표준화를 통해 여러 측면의 향상을 가져왔다. 영업부문에서는 전사 차원의 하나의 계획수립이 가능하게 되었으며 판매계획 프로세스 재정립을 통해 시간 단축 및 판매 정확도를 향상시킬 수 있었다. 생산부문에서는 안정된 생산계획 수립이 가능해졌으며 제품 교체시간의 감소, 조업률 향상, 초과근무 감소, 자산 활용도 증가 등의 생산성을 증대할 수 있었다. 물류부문에서는 적정 재고정책에 의한 전체 재고를 감소시켰으며 재고보충계획 시스템의 운영과 재고 감소에 따라 창고임차료, 상하역료 등 물류관련 비용이 감소하는 효과를 가져왔다. 전사적 차원에서는 각 부문 간 커뮤니케이션 활성화로 합의에 의한 의사결정이 가능해졌으며 투명성 있고 일원화된 지표관리를 통한 이슈 확인의 용이성을 확보할 수 있었으며 이슈 해결을 위한 프로세스의 공식화 및 명확화로 업무효율이 전체적으로 향상되는 효과를 가져왔다.

또한 “H”사는 S&OP 프로세스 도입을 통해 정량적인 성과도 창출하였다. 첫째, 재고관리를 통한 현금 부담의 증가요인이 개선

되었다. 매출액 대비 재고금액이 57%에서 도입 이후 47.8%, 도입 1년 후 46%로 점진적으로 개선되었으며 약 39억의 현금흐름이 개선되는 효과를 달성하였다. 둘째, 재고보유일수 축소를 통한 재고부담이 개선되었다. 재고보유일수는 22.4일에서 도입 이후 20.7일, 도입 1년 후 19.6일로 지속적으로 개선되었다. 셋째, 매출원가대비 재고금액 축소를 통한 재고회전율이 향상되었다. OMS에 의한 적정재고관리를 통해 효과적으로 재고를 축소하였으며 그 결과 재고회전율이 증대하였다. 재고회전율은 9.4회에서 도입 이후 10.9회, 도입 1년 후 11.4회로 개선되었다.

4.5 향후 개선과제

“H”사는 S&OP 도입을 통해 정성적, 정량적 효과를 거두었지만 향후 지속적인 개선이 필요하다.

첫째, 비정상적인 상황에 대한 대응책 마련을 통해 예측 정확도 향상이 필요하다. 현재 “H”사의 예측 정확도는 60% 수준으로 지속적인 개선이 필요하다.

둘째, 급변하는 시장의 상황 및 고객의 수요에 보다 빠르게 대응하기 위해 S&OP 프로세스를 고도화 할 필요가 있다. 따라서 현재 운영되고 있는 월 단위 S&OP를 주 단위 S&OP 체제로 전환할 필요가 있다. 실제로 “H”사는 2010년 4월부터 주 단위 S&OP 도입하여 시범적으로 운영하고 있다.

셋째, 최고경영층의 지속적인 관심과 지원이 필요하다. “H”사는 S&OP를 도입하면서 여러 부문의 갈등과 저항을 경험하였다. 따라서 S&OP 프로세스의 성공적으로 정착하기 위해서는 최고경영층의 지속적 관심과 지원이 필수적이라 하겠다.

“H”사는 S&OP를 기업의 의사결정을 위한 핵심 경영 프로세스로 인식하여 2009년에 S&OP 조직을 대표이사의 직속으로 변경하였으며 2010년 1월부터 비정상적인 상황에 대처하기 위한 Event Planning 체제를 구축하고 S&OP 고도화를 위한 추가적인 컨설팅을 실시하고 있다.

표 4. S&OP 도입의 정량적 효과

구 분	도입이전	도입이후	도입이후+1년
매출액	676 억	724 억	770 억
재고액	385 억	346 억	354 억
매출액 대비 재고비율(%)	57.0%	47.8%	46.0%
재고보유일수	21.3	20.7	19.6
재고회전율	9.4	10.9	11.4

Source : “H”사 내부자료(2004.12)

5. 결론

본 연구를 통해 S&OP를 도입한 기업들이 차별화된 경쟁우위를 확보하고 있으며 시장의 상황에 보다 신속하고 유연하게 대처할 수 있는 구조를 갖추고 있음을 알 수 있었다. “H”사의 경우도 S&OP를 통해 정성적, 정량적 효과를 창출하고 있으며 특히 매출액 대비 재고금액의 감소, 재고보유일수의 감소, 재고회전율의 증가 등 재고와 관련된 구체적인 개선효과를 가져왔다. 하지만 “H”사를 비롯한 S&OP를 도입한 많은 기업들이 여전히 S&OP 프로세스의 고도화를 위한 많은 과제들을 안고 있다. 따라서 향후 S&OP의 도입을 고려하거나 프로세스 수준의 향상을 고민하고 있는 기업들은 다음과 같은 부분에서 더 노력이 필요할 것이다.

첫째, 전사적으로 합의된 단일 계획을 수립하고, 모든 프로세스가 이 단일 계획대로 실행되도록 하여야 한다.

둘째, 단일 계획대로 실행이 가능하기 위해서는 우선 좋은 계획을 세워야 한다. 좋은 계획이란 시장의 실수요에 대해 주어진 자원을 활용하여 최적으로 대응할 수 있는 계획으로 이를 통해 경영목표를 달성할 수 있다.

셋째, 관련 부문 간의 원활한 커뮤니케이션이 중요하다. S&OP의 성공여부는 영업, 생산, 마케팅, 재무, 개발 등 관련 부문 모두가 다함께 정보를 공유하고 합의하는데 있다.

그동안 국내에서 S&OP와 관련된 개선사례에 대한 공유 및 실증적 검증이 부족했다. 따라서 본 연구는 S&OP가 기업의 프로세스 수준 및 경쟁력 향상에 직접적인 영향을 미치고 있음을 사례를 통해 증명함으로써 큰 의미가 있다고 하겠다. 하지만 이를 기반으로 “H”사 뿐만 아니라 향후 여러 기업들의 S&OP 도입사례에 대한 추가적인 연구를 통해 S&OP 도입효과에 대한 보다 심도 있고 객관적인 검증이 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1] 대한상공회의소(2005), “SCM 구축을 위한 도입가이드”
- [2] 유효정(2009), “식음료업계 스피드 경영 열풍”, 전자신문사
- [3] 이지향(2007), “사업의 미래를 예측할 수 있는 가시성 제공”, 물류매거진 통권 177호, pp.104~109.
- [4] 장팔선(2003), “S&OP 프로세스를 통해 협업체제 SCP 구현 가능”, 물류매거진 통권 137호, pp.108~111.
- [5] 한창섭, 이영해(2003), “수익 최적화를 통한 판매, 생산계획의 수립”, 한국SCM학회지, Vol.3, NO.2, pp.93~100.

- [6] APICS(American Production and Inventory Control Society) Dictionary 9th Edition, www.apics.org
- [7] Chana R. Schoenberger(2001), “The Weakest Link”, Forbes Magazine, Oct.
- [8] John E. Boyer(2008), “Sales and Operation Planning Blueprint- Constructing and Effective S&OP Process”, APICS Magazine, March/April, pp.26~30.
- [9] Oliver Wight(1999), “Sales & Operations Planning”, Fall
- [10] Richard C. Ling(2000), “Turn First to S&OP - For True Enterprise Integration”, APICS Magazine, March, pp.40~45.
- [11] Thomas F. Wallace(2003), “SCM의 중심 S&OP”, LG CNS 역, 애플래닝
- [12] Thomas F. Wallace(2006), “ERP 구축 전략과 실천”, LG CNS 역, 애플래닝

**김종배**

인하대학교 물류전문대학원 박사과정

현재 : 해태제과식품(주) S&OP팀장

관심분야 : S&OP, SCM/물류전략

**박민영**

Univ. of California at Irvine (박사) /
Civil Engineering

현재 : 인하대학교 물류전문대학원 교수

관심분야 : 물류, SCM전략, 수배송

**장팔선**

인하대학교 물류전문대학원 박사

현재 : (주)플로우비즈 대표이사

관심분야 : SCM/물류전략, S&OP,
물류서비스품질

조달물류 최적화를 위한 순회 구매자 문제의 문헌조사 연구

최명진 · 이상현[†]

국방대학교 운영분석학과

A Literature Review of the Traveling Purchaser Problem for Inbound Logistics Optimization

Myung-Jin Choi · Sang-Heon Lee[†]

[†]Department of Operations Research, Korea National Defense University

The traveling purchaser problem(TPP) is a generalized type of the well-known traveling salesman problem(TSP), which has many real-world applications such as purchasing the required raw materials for the manufacturing factories, and the scheduling of a set of jobs over some machines etc. in supply chain management area. Especially, it could be used in inbound logistics optimization. In the last decade, TPP has received some attention of the researchers of the operational research area. However, it has not received the same amount of attention like TSP and VRP(Vehicle Routing Problem). Therefore, there does not exist a review of the TPP. The purpose of this survey is to review the TPP with some formulations and to describe solution procedures proposed for this problem. We also suggest the future works in TPP.

Keywords: Traveling Purchaser Problem, Inbound Logistics Optimization, Supply Chain Management

1. 서론

공급사슬(supply chain) 프로세스는 일반적으로 조달물류(inbound logistics)와 유통물류(outbound logistics)의 2가지 프로세스로 구성된다(Min and Zhou, 2002). 조달물류는 원자재와 부품의 구매에 관련되는 프로세스이며(Johnson and Malucci, 1999) 유통물류는 공급사슬 구성원에게 완제품과 서비

스를 제공하는 프로세스이다(Bowersox and Closs, 1996).

공급사슬관리(SCM, Supply Chain Management)의 다양한 최적화 대상중 유통물류에 대해서는 Danzig and Ramser(1959)가 VRP(Vehicle Routing Problem)의 표준형태를 제안한 이래 여러 가지 현실적 고려요소를 반영한 수많은 파생문제들이 연구되어 왔다.

SCM의 또다른 주요 이슈(issue)인 조달물류 최적화분야에서는 Ramesh(1981)가 순회 구매자 문제(TPP, Traveling

[†] Corresponding author: Korea National Defense University, Susaek-dong, Eunpyeong-gu, Seoul, 122-875, S. Korea,

TEL : 82-2-300-2374 FAX : 82-2-309-6233 E-mail : leesangh@kndu.ac.kr

* 2010년 3월 19일 투고, 4월 16일 게재 확정.

Purchaser Problem)를 제안한 이래 수십 년간 OR(Operations Research) 분야 연구자들의 꾸준한 관심의 대상이 되어 다양한 유형, 해법, 그리고 변형이 제시되었다. 그러나 TPP에 대한 체계적 분석을 다룬 연구는 지금까지 수행된 바 없으므로 본 연구에서는 기존의 TPP 관련 연구를 분석하고 고찰하여 향후 TPP의 발전 방향 제시를 목표로 한다.

TPP는 순회 판매자 문제(TSP, Traveling Salesman Problem)의 일반화된 형태로 다음과 같이 정의된다. 구매가 요구되는 m 개의 제품(product)집합이 존재하고 각 제품들은 구매요구량이 있으며 구매자는 최초로 차고지(depot)에 위치한다. 또한 몇 가지 제품을 특정 수량 만큼 판매하는 n 개의 매장(market)집합이 존재하고 동일 제품이라 하더라도 해당 제품을 판매하는 매장에 따라 가격이 상이하며 차고지와 각 매장간의 이동비용(travel cost)은 사전에 알려져 있다. TPP는 각 제품의 구매요구량을 충족하면서 제품 구매비용과 이동비용의 합을 최소화하는 선택된 매장의 경로를 결정하는 문제로 정의된다. 가정 사항으로 각 제품은 최소한 하나 이상의 매장에서 구매 가능하여야 하고 차고지에서는 어떠한 제품도 구매할 수 없으며 모든 제품의 구매요구량은 반드시 충족되어야 한다. 이때 특정 제품 k 를 판매하는 매장 i 에서 해당 제품의 구매요구량 d_k 를 충족할 수 있는 경우($d_k=1$ for all k and $q_{ki} \in \{0, 1\}$ for all k and i , q_{ki} : 매장 i 에서 구매 가능한 제품 k 의 수량)의 문제를 UTPP(uncapacitated TPP, unlimited TPP, 혹은 unrestricted TPP)라 하고 한 매장에서 구매요구량을 충족할 수 없어 부족량을 다른 매장에서 충족시켜야 하는 경우, 즉 분할 구매의 개념이 적용되는 문제를 CTPP(capacitated TPP, limited TPP, 혹은 restricted TPP)라 한다. 또한 매장간 이동비용이 대칭인 경우의 문제를 STPP(symmetric TPP 혹은 undirected TPP)라 하고 비대칭인 문제를 ATPP(asymmetric TPP 혹은 directed TPP)라 한다.

UTPP의 형태는 Ramesh(1981)가 현재에 알려진 TPP를 소개하기 이전에 Burstall(1966), Buzacott and Dutta(1971)의 작업 스케줄링(job scheduling) 연구에서 최초로 나타났고 Singh and Oudheusden(1997)은 스케줄링, 웨어하우징(warehousing), 경로문제(routing problem), 그리고 Current *et al.*(1984)의 최단경로커버문제(SCPP, Shortest Covering Path Problem) 등에 UTPP가 활용 가능함을 보인 바 있으며 통신 네트워크 설계(telecommunication network design) 분야에서도 적용된 바 있다(Ravi and Salman, 1999).

CTPP는 Laporte *et al.*(2003)이 최초로 제안한 이래 Boctor *et al.*(2003), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a), Goldbarg *et al.*(2008), Mansini and Tocchella(2009) 등에 의해 연구된 바 있다. UTPP가 다품종 소량구매 문제에 적합한 모

형이라면 CTPP는 다품종 대량구매에 적합한 모형이라 할 수 있다.

TSP는 각 제품이 오직 하나의 매장에서만 구매가능하고 각 매장이 오직 하나의 제품만을 판매하는 경우를 가정한 TPP의 특별한 형태이고, 용량제약이 없는 설비입지문제(UFLP, Uncapacitated Facility Location Problem) 또한 지점(location) $i, j(i \neq j)$ 간 이동비용이 지점 i 와 j 의 평균 개설비용(opening cost), 매장 i 에서 판매하는 제품 k 의 가격 b_{ki} 가 설비 i 로부터 고객 k 를 서비스하는 비용(serving cost)일 경우를 가정한 TPP의 특수한 형태이다. 따라서 대표적 NP-hard 문제인 TSP와 UFLP의 일반화된 형태인 TPP 또한 NP-hard임은 자명하다.

2. TPP 개요 및 유형

2.1 TPP 개요

TPP는 매장간 이동비용의 대칭성(symmetry)에 따라 STPP와 ATPP로 구분되며 STPP와 ATPP는 각각 매장의 구매 용량(capacity) 제약 유무에 따라 CTPP와 UTPP로 더욱 세분화된다. 본 절에서는 이동비용의 대칭성에 따라 구분되는 TPP 관련 연구를 <표 1>과 같이 제시하고 2.2절, 2.3절의 STPP 및 ATPP의 수리모형 소개 부분에서 용량제약 문제와 관련하여 보다 세부적으로 유형을 분류한다.

표 1. 기존 TPP 관련연구

구분	관련연구
STPP	Ramesh(1981), Golden <i>et al.</i> (1981), Ong(1982), Voß(1996), Pearn and Chien(1998), Laporte <i>et al.</i> (2003), Boctor <i>et al.</i> (2003), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b), Bontoux and Feillet(2008), Goldbarg <i>et al.</i> (2008), Angelelli <i>et al.</i> (2008), Mansini and Tocchella(2009)
ATPP	Riera-Ledesma and Salazar-González(2006)
Both	Singh and Oudheusden(1997), Teeninga and Volgenant(2004)

Laporte *et al.*(2003)이 제시한 STPP 및 Riera-Ledesma and Salazar-González(2006)가 제시한 ATPP에 적용되는 표기(notation)는 다음과 같다.

v_0 : 차고지

$M = \{v_0, \dots, v_n\}$: 매장 집합

$K = \{p_1, \dots, p_m\}$: 제품 집합

$V = \{v_0\} \cup M$: 교점(vertex) 집합

$E = \{[v_i, v_j] : v_i, v_j \in V, i < j\}$: 호(edge) 집합

$G = (V, E)$: 무방향(undirected) 네트워크

p_k : 매장 부분집합 M_k 에서 구매 가능한 제품

d_k : 제품 p_k 의 구매 요구량

q_{ki} : 매장 v_i 에서 구매 가능한 제품 p_k 의 수량

b_{ki} : 매장 v_i 에서 판매하는 제품 p_k 의 가격

c_e : 매장 v_i, v_j 간의 이동비용

위에서 q_{ki}, d_k 는 모든 $d_k \in K$ 와 $v_i \in M_k$ 에 대해 $0 < q_{ki} \leq d_k$ 및 $\sum_{v_i \in M_k} q_{ki} \geq d_k$ 를 만족해야 한다.

2.2 TPP 유형

2.2.1 STPP

2.1절의 표기를 바탕으로한 Laporte *et al.*(2003)의 STPP 정수선형계획법(ILP : integer linear-programming) 수리모형은 다음과 같다. 단, $S(S \subset V)$ 를 교점집합의 V 부분집합으로 정의하고 이러한 S 에 대해 $E(S) = \{[v_i, v_j] \in E : v_i, v_j \in S, i < j\}$ 를 양 끝단의 교점이 S 내에 속하는 호의 집합, $\delta(S) = \{[v_i, v_j] \in E : v_i \in S, v_j \in V \setminus S\}$ 를 S 에 의한 절단(cut)으로 정의한다. 또한 $M^* = \{v_0\} \cup \{v_i \in M : \text{there exists } p_k \in K \text{ such that } \sum_{v_j \in M_k \setminus \{v_i\}} q_{kj} < d_k\}$ 를 특정 실행가능 해의 부분으로 반드시 포함되어야 하는 교점의 집합, $K^* = \{p_k \in K : \sum_{v_i \in M_k} q_{ki} = d_k\}$ 를 매장 선택의 여지가 없는 제품의 집합으로 각각 정의한다. 이 때, STPP에서의 호 E 는 방향성을 가지지 않는 무방향 호이다.

〈결정변수〉

$$x_e = \begin{cases} 1 & \text{만약 호 } e \text{가 해에 포함되면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases} \quad \text{for all } e \in E$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{만약 } v_i \text{가 해에 포함되면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases} \quad \text{for all } v_i \in V$$

$$z_{ki} : \text{매장 } v_i \text{에서 구매한 } p_k \text{의 수량} \quad \text{for all } p_k \in K \text{ and all } v_i \in M_k$$

〈수리모형〉

$$\min \sum_{e \in E} c_e x_e + \sum_{p_k \in K} \sum_{v_i \in M_k} b_{ki} z_{ki} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{e \in \delta(\{v_i\})} x_e = 2y_i \quad \text{for all } v_i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{e \in \delta(S)} x_e \geq 2y_i \quad \text{for all } S \subseteq M \text{ and all } v_i \in S \quad (3)$$

$$\sum_{v_i \in M_k} z_{ki} = d_k \quad \text{for all } p_k \in K \quad (4)$$

$$z_{ki} \leq q_{ki} y_i \quad \text{for all } p_k \in K \text{ and all } v_i \in M_k \quad (5)$$

$$x_e \in \{0, 1\} \quad \text{for all } e \in E \quad (6)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \text{for all } v_i \in M \setminus M^* \quad (7)$$

$$y_i = 1 \quad \text{for all } v_i \in M^* \quad (8)$$

$$z_{ki} \geq 0 \quad \text{for all } p_k \in K \text{ and all } v_i \in M_k \quad (9)$$

위 수리모형의 목적식 (1)은 해에 포함된 경로에 대한 이동비용과 구매비용의 합을 최소화한다는 의미이다. 식 (2)는 매장 v_i 가 방문되면 그 매장의 차수(degree)가 2가 되도록 보장한다는 것으로 각 선택된 매장은 오직 한번만 방문된다는 의미이다. 식 (3)은 연결되지 않은 부분경로(sub cycle) 방지를 위한 제약식으로 방문된 매장의 부분집합은 남은 교점들(vertices)과 적어도 두 개의 호(edge)로 연결되어야 함을 나타낸다. 식 (4)는 제품은 정확히 구매요구량만큼 구매되어야 함을 나타낸다. 이 때, $p_k \in K^*$ 이면 식 (4)는 $z_{ki} = q_{ki}$ 로 대체 가능하다. 식 (5)는 매장 v_i 를 방문해야 제품 p_k 를 구매가능하고 구매한 제품의 수량 z_{ki} 는 그 매장의 공급가능 수량 q_{ki} 를 초과할 수 없음을 의미한다. 식 (6)부터 식 (9)까지는 변수들의 한계(bounds) 및 정수조건을 나타낸다.

위 수리모형은 STPP의 일반적 모형으로 더 구체적으로 표현하면 용량제약이 있는 대칭 TPP(CSTPP, capacitated symmetric TPP)의 수리모형이라 할 수 있다. 이러한 CSTPP에 용량 제한을 제거하는 $d_k = 1$ for all k 및 $q_{ki} \in \{0, 1\}$ for all k and i 의 조건을 추가하면 용량제약이 없는 대칭 TPP(USTPP, uncapacitated symmetric TPP)가 된다. 용량제약 유무에 따른 STPP의 기존 연구결과를 요약하면 <표 2>와 같다.

표 2. STPP 관련연구

구 분	관련연구
Uncapacitated	Ramesh(1981), Golden <i>et al.</i> (1981), Ong(1982), Voß(1996), Singh and Oudheusden(1997), Pearn and Chien(1998), Teeninga and Volgenant(2004), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b), Bontoux and Feillet(2008)
Both	Laporte <i>et al.</i> (2003), Boctor <i>et al.</i> (2003), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a), Goldberg <i>et al.</i> (2008), Mansini and Tocchella(2009)
Capacitated	Angelelli <i>et al.</i> (2008)

2.2.2 ATPP

ATPP 수리모형 구축을 위해 $S \subset V$ 인 S 에 대해 $A(S)$, $\delta^+(S)$, 그리고 $\delta^-(S)$ 를 아래와 같이 각각 정의한다(Riera-Ledesma and Salazar-González, 2006). 또한 M^* , K^* 는 STPP 모형에서와 동일한 의미이다. 이 때, ATPP에서의 호 A 는 방향성을 가지는 방향성 호이다.

$$A(S) = \{[v_i, v_j] \in A : v_i, v_j \in S\}$$

$$\delta^+(S) = \{[v_i, v_j] \in A : v_i \in S, v_j \in V \setminus S\}$$

$$\delta^-(S) = \{[v_i, v_j] \in A : v_i \in V \setminus S, v_j \in S\}$$

〈결정변수〉

$$x_a = \begin{cases} 1 & \text{만약 호 } a \text{가 해에 포함되면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases} \quad \text{for all } a \in A$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{만약 } v_i \text{가 해에 포함되면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases} \quad \text{for all } v_i \in V$$

$$z_{ki} : \text{매장 } v_i \text{에서 구매한 } p_k \text{의 수량} \quad \text{for all } p_k \in K \text{ and all } v_i \in M_k$$

〈수리모형〉

$$\min \sum_{a \in A} c_a x_a + \sum_{P_k \in K} \sum_{v_i \in M_k} b_{ki} z_{ki} \quad (10)$$

subject to

$$\sum_{a \in \delta^+(\{v_i\})} x_a = y_i \quad \text{for all } v_i \in V \quad (11)$$

$$\sum_{a \in \delta^-(\{v_i\})} x_a = y_i \quad \text{for all } v_i \in V \quad (12)$$

$$\sum_{a \in \delta^+(S)} x_a \geq y_i \quad \text{for all } S \subseteq M \text{ and all } v_i \in S \quad (13)$$

$$\sum_{v_i \in M_k} z_{ki} = d_k \quad \text{for all } p_k \in K \quad (14)$$

$$z_{ki} \leq q_{ki} y_i \quad \text{for all } p_k \in K \text{ and all } v_i \in M_k \quad (15)$$

$$x_a \in \{0, 1\} \quad \text{for all } a \in A \quad (16)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \text{for all } v_i \in M \setminus M^* \quad (17)$$

$$y_i = 1 \quad \text{for all } v_i \in M^* \quad (18)$$

$$z_{ki} \geq 0 \quad \text{for all } p_k \in K \text{ and all } v_i \in M_k \quad (19)$$

ATPP의 목적식 (10)은 STPP의 경우와 동일한 의미이다. 식 (11), (12)는 각 방문된 매장의 유입차수(in-degree) 및 유출차수

(out-degree)가 각각 1이어야 함을 의미한다. 식 (13)은 경로의 연결성(connectivity)을 나타내는 것으로 $S(\subseteq M)$ 내의 방문된 매장은 경로상에서 반드시 v_0 와 연결됨을 보장해 준다. 식(14)는 제품이 정확히 구매 요구량만큼 구매되어야 함을 나타낸다. 이 때, $p_k \in K^*$ 이면 식 (14)는 $z_{ki} = q_{ki}$ 로 대체 가능하다. 식 (15)는 매장 v_i 를 방문해야 제품 p_k 를 구매가능하고 구매된 제품의 수량 z_{ki} 는 그 매장의 공급가능 수량 q_{ki} 를 초과할 수 없음을 나타낸다. 식 (16)부터 식 (19)까지는 변수들의 한계 및 정수조건을 나타낸다.

상기 ATPP 수리모형을 더 구체적으로 표현하면 용량제약이 있는 비대칭 TPP(CATPP, capacitated asymmetric TPP)의 수리모형이라 할 수 있으며 이러한 CATPP에 용량 제한을 제거하는 $d_k=1$ for all k 및 $q_{ki} \in \{0, 1\}$ for all k and i 의 조건을 추가하면 용량제약이 없는 비대칭 TPP(UATPP, uncapacitated asymmetric TPP)가 된다. 용량제약 유무에 따른 ATPP의 기존 연구결과를 요약하면 <표 3>과 같다.

표 3. ATPP 관련연구

구 분	관련연구
Uncapacitated	Singh and Oudheusden(1997), Teeninga and Volgenant(2004)
Uncapacitated and capacitated	Riera-Ledesma and Salazar-González(2006)

3. TPP 해법

TPP 해결을 위한 방법론은 최적해 알고리즘(exact algorithm), 근사 알고리즘(approximation algorithm), 휴리스틱, 그리고 메타휴리스틱으로 구분 가능하다.

3.1 최적해 알고리즘(exact algorithm)

Ramesh(1981)의 lexicographic search는 사전(dictionary)에서 특정 단어의 위치를 탐색하는 것을 모방하여 최적해에 대한 탐색을 수행하는 알고리즘이다. 사전이 부분 단어(partial word)에 의해 계층화(hierarchy)되는 것과 유사하게 전체 매장을 부분 집합으로 나눈 블록(block)들의 하한 값(lower bound)을 계산하여 그 값에 따라 사전식 순서화(lexicographic order) 과정을 거쳐 계층화한다. 특정 블록을 포함시킨 해의 하한값이 알려진 해(trial solution)의 값을 초과하거나 실행불가능해(infeasible solution)가 되면 블록의 진입은 거부되고 다음 블록을 탐색한다.

최종 블록까지 탐색했을 때 산출된 매장의 블록이 최적해가 된다. 이와 같은 lexicographic search 알고리즘은 하한 값이 여러 다른 매장에서부터 차고지까지의 이동비용에만 종속되고 구매비용과는 독립적으로 계산됨으로써 최적해를 보장하기는 하나 알고리즘의 비효율성으로 인해 매우 작은 크기의 문제에 대해서만 제한적으로 적용 가능하다.

Singh and Oudheusden(1997)은 모든 가능한 경로 집합을 더 작은 부분집합으로 분할하여 각 부분집합에 대해 경로비용과 구매비용의 합에 대한 하한을 계산하는 분지한계법(branch-and-bound)을 제안하였다. 이 때 하한은 UFLP에서와 유사하게 문제의 relaxation을 통해 계산되고 한계(bounds)는 부분집합의 분할을 유도하며 부분집합이 하나의 경로를 포함할 경우에 최적해가 식별된다. 이후 Laporte *et al.*(2003), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b, 2006)가 분지절단법(branch and cut) 알고리즘을 제안한 바 있다.

일부 최적해 알고리즘은 휴리스틱과 복합되어 적용된다. Ramesh(1981)의 경우 최적해 알고리즘을 휴리스틱인 near neighbour 알고리즘(경로에 하나의 교점을 삽입하는 것으로 시작하여 탐욕적 방식(greedy way)으로 다른 모든 교점을 반복적으로 삽입하여 경로를 확장하는 방법으로 lexicographic search로 획득된 첫 번째 해를 근사해로 간주하는 알고리즘)에 적용하기 위해 활용하였다. Laporte *et al.*(2003)은 최적해 알고리즘에 휴리스틱인 MAH(Market Adding Heuristic : 수요량을 만족하지 못하는 제품을 판매하는 매장을 반복적으로 경로에 추가하여 경로를 점진적으로 확장하는 개념으로 최저가격에 제품을 판매하는 매장의 리스트를 형성하여 리스트 상에서 최고가에 제품을 판매하는 매장을 선택하여 현재 경로에 추가하고 그 매장을 가장 작은 경로비용의 증가를 가져오는 위치에 포함시키는 방법)를 활용하였다. 또한 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b)는 최적해 알고리즘의 계산시간 단축을 위해 절약(saving) 기반의 휴리스틱 기법인 common cut-pool 기법을 활용한 바 있다.

3.2 근사 알고리즘(approximation algorithm)

Ong(1982)는 Golden *et al.*(1981)의 GSH를 개선한 TRH(Tour Reduction Heuristic)를 개발하였다. TRH는 m 개의 제품을 판매하는 매장의 부분집합(subset)을 포함하는 초기 경로에서 시작하여 더 이상의 개선이 발생하지 않을 때까지 반복적으로 가장 큰 비용절감을 가져오는 매장을 제거하는 알고리즘이다.

Ravi and Salman(1999)은 LP(linear programming) relaxation에 기반한 근사 알고리즘을 제안하였다. 이는 이동 비용(travel cost)에 대해 대수적(logarithmic) worst-case 비

율을 고려하는 것이다.

3.3 휴리스틱(heuristic)

휴리스틱 기법 개발의 선구자적 공헌자로는 GSH(Generalized Savings Heuristic)를 개발한 Golden *et al.*(1981)을 들 수 있다. GSH는 차고지와 가장 낮은 가용가격에 가장 많은 수의 제품을 판매하는 매장을 포함하는 초기 경로(tour)를 구성하고 각 반복(iteration)에서 미 방문 매장 중 가장 큰 비용절감을 가져오는 매장을 현재의 경로에 삽입하여 더 이상의 비용절감이 발생하지 않을 때까지 반복을 시행하는 알고리즘이다.

Pearn and Chien(1998)은 Golden *et al.*(1981)과 Ong(1982)의 기법을 개선한 PS-GSH(Parameter Selection GSH), TS-GSH(Tie Selection GSH), 그리고 CAH(Commodity Adding Heuristic)를 제안하였다. PS-GSH는 하나의 주어진 매장에서의 구매비용 절감액에 가중치를 곱하여 이동비용 절감액에 더하는 가중화된 절감함수(weighted saving function)를 사용하는 휴리스틱이고 TS-GSH는 PS-GSH의 수행절차에서 최저가격에 더 많은 종류의 제품을 판매하는 매장이 다수개가 발생했을 경우 차고지와 가장 가까운 매장을 선택하는 알고리즘이다. CAH는 모든 제품을 모든 매장에서 구매가능하다는 가정 하에 구매 리스트에 있는 첫 번째 제품에 대한 최소비용 해를 구성하고 리스트의 다음 제품을 구매하면서 최소비용을 만족하는 매장을 경로에 포함하거나 매장 교환을 통해 최소비용 경로를 구성하는 알고리즘이다.

Teeninga and Volgenant(2004)는 Golden *et al.*(1981)의 GSH, Ong(1982)의 TRH, 그리고 Pearn and Chien(1998)의 CAH에 활용되는 사전처리(pre-processing)와 강화 절차(intensification procedures)를 개발하였다. 매장의 수(n 개)와 제품의 수(m 개)가 동일하고 각각 25, 50, 100, 200개인 경우에 대해 GSH, CAH, 그리고 TRH 세 기법의 단순, 전처리, dropt, 그리고 전처리-dropt 적용에 대한 성능을 비교하여 GSH 기법이 계산시간(computing time)은 오래 걸리지만 근사 최적해 산출 빈도가 가장 높은 우수함 기법임을 보였다.

Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)는 두 개의 이웃을 활용 가능한 경우의 반복적 지역 탐색(LS, Local Search) 알고리즘을 제안하였다. 첫 번째 이웃에 대한 절차는 주어진 실행 가능 경로 내의 l 개 연속하는 교점들을 그 경로에 속하지 않는 노드들로 반복적으로 변경시키는 것으로 l 값은 지역 최적해가 구해지면 감소된다. 두 번째 절차는 가능한 많은 교점들을 주어진 실행 가능 경로 내에 삽입하는 것으로 그러한 삽입은 목표함수값

(objective function value)의 감소를 의미한다.

근래에 들어 Goldbarg *et al.*(2008)이 TA(Transgenetic Algorithm)를 제안하였다. 이는 Jain *et al.*(2003)의 수평 유전자 이동(horizontal gene transfer)과 Margulis(1992)의 내공생(endosymbiosis) 개념을 적용한 휴리스틱으로 CTPP에 대한 실험에서 TA의 성능을 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)의 LS 알고리즘 및 Laporte *et al.*(2003)의 분지절단 알고리즘과 비교하였다. 또한 UTPP에 대한 실험에서는 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)의 LS 알고리즘 및 Bontoux and Feillet(2008)의 DMD-ATA(Dynamic Multi-Dimensional Anamorphic Traveling Ants)와 성능을 비교한 바 있다.

Angelelli *et al.*(2008)은 동적 TPP(D-TPP, Dynamic TPP)의 해결을 위한 탐욕적(greedy) 휴리스틱인 Product-driven, Market-driven, Consumption-driven, 그리고 Tradeoff-driven criteria를 제안하였다.

Mansini and Tocchella(2009)는 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)의 LS 알고리즘을 개선한 향상된 지역 탐색(enhanced LS) 알고리즘 및 다양한 이웃탐색(VNS, Variable Neighborhood Search) 기법을 제안하였다. Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)가 효율적인 지역탐색 알고리즘을 제안한 바 있으나 Mansini and Tocchella(2009)는 다양한 길이의 타부 목록을 형성하여 탐색이 지역 최적해로부터 벗어나는 것을 유도하고 실행가능성(feasibility)을 잃지 않으며 목적함수 값을 향상시키는 절차를 생성하여 지역탐색 알고리즘을 개선하였다. 또한 제거 가능한 연속된 매장 수의 최대값이 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)의 경우처럼 사전에 정의되지 않고 탐색 과정 중에 변한다는 사실로 더욱 차별화된다. VNS는 이웃들의 순서(a sequence of neighborhoods) $N_q(\cdot)$, $q=1, \dots, q_{\max}$ 를 생성하고 주어진 q 와 해 s 에 대해 $N_q(s)$ 에 속하는 해 s' 를 q 개의 무작위 매장 삽입을 통해 s 로부터 생성하여 s' 에 대해 지역탐색 절차를 적용하는 것이다. 이러한 휴리스틱 기법을 적용하여 UTPP에서 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b), CTPP에서 Laporte *et al.*(2003)의 실험결과와 비교하였다.

3.4 메타 휴리스틱(meta-heuristic)

메타 휴리스틱 기법을 적용한 대다수의 TPP 연구는 해의 질을 높이고 수렴속도를 향상시키기 위해 타 휴리스틱과 결합된 하이브리드(hybrid) 메타휴리스틱 기법을 제안하였다.

Voß(1996)는 메타휴리스틱 기법을 최초로 TPP에 적용하여

동적 타부서치(dynamic TS, dynamic Tabu Search)와 시뮬레이티드 어닐링(SA, Simulated Annealing)에 기반한 사후 최적화(post-optimization) 절차를 제시하였다. 그는 타부 리스트의 운영을 위해 두 가지 동적 전략인 reverse elimination method와 cancellation sequence method를 제안하였다. 또한 초기 경로 구성을 위해 두 가지 휴리스틱 절차인 ADD-procedure와 DROP-procedure를 제안하였다. 전자는 새로운 매장을 경로에 포함하여 실행가능한 경로를 생성하는 반복적인 절차이며 후자는 모든 매장을 포함하는 경로에서 시작하여 매 스텝마다 가장 큰 비용의 절감을 가져오는 매장을 제거하는 방법이다. 그는 실험을 통해 CTPP에 대해서는 SA가, UTPP에 대해서는 TS가 우수한 성능을 나타냄을 보였다.

Boctor *et al.*(2003)은 Pearn and Chien(1998)의 휴리스틱 기법을 보완하여 TS에 기반한 PH(Perturbation Heuristics) 기법을 제안하였다. UTPP에만 한정적으로 적용될 수 있는 Pearn and Chien(1998)의 CAH 기법을 보완한 PH는 세 가지로 UTPP의 해결을 위해 UPH1과 UPH2, CTPP의 해결을 위한 CPH가 그것이다. 이 세 가지 기법은 매장제거(market drop), 매장삽입(market add), 매장교환(market exchange), TSP 휴리스틱, 최저비용삽입(cheapest insertion), 두 매장제거(double market drop), 두 매장교환(double market exchange)의 7가지 기본적 절차를 서로 다른 방법으로 혼합하여 사용하는 것이다.

Bontoux and Feillet(2008)은 ACO(Ant Colony Optimization) 알고리즘을 기반으로 탐색의 강화를 위해 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)의 LS 알고리즘을 결합한 DMD-ATA 알고리즘을 개발하였다. UTPP에 대해 최적해가 알려진 예제(instance)에 대해서는 Laporte *et al.*(2003)의 분지절단 알고리즘의 실험결과와 비교하고 최적해가

표 4. TPP 해법 분류

구 분	관련연구
최적해 알고리즘	Ramesh(1981), Singh and Oudheusden(1997), Laporte <i>et al.</i> (2003), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b), Riera-Ledesma and Salazar-González(2006)
근사 알고리즘	Ong(1982), Ravi and Salman(1999)
휴리스틱	Golden <i>et al.</i> (1981), Pearn and Chien(1998), Teeninga and Volgenant(2004), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a), Goldbarg <i>et al.</i> (2008), Angelelli <i>et al.</i> (2008), Mansini and Tocchella(2009)
메타 휴리스틱	Voß(1996), Boctor <i>et al.</i> (2003), Bontoux and Feillet(2008)

알려지지 않은 예제에 대해서는 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)의 LS 알고리즘과 비교하여 그 성능을 검증하였다. 이상의 논의된 바를 정리하면 <표 4>와 같다.

4. TPP 변형

4.1 이중목적 TPP(Biobjective TPP)

TPP의 명백한 결점은 목적함수에서 결합된 두 비용요소의 상이한 속성이다(Mansini and Tocchella, 2009). 즉 구매비용의 감소는 이동비용의 증가를 초래할 수 있다는 것이다. 이러한 약점을 보완하기 위하여 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b)는 이중목적 TPP(2TPP, biobjective TPP)를 제안하였다. 이는 TPP의 2 기준(bi-criteria) 버전으로 구매비용과 이동비용의 최소화를 두 개의 분리된 목적으로 간주한다. 2TPP의 해법은 하나의 비용함수에 한계(bound)를 설정하면서 다른 비용함수에 대한 해를 구하여 의사결정 공간(decision space)에서의 파레토 최적해(pareto optimal solution)를 계산함으로써 두 비용요소간의 균형(trade-off)에 대한 통찰을 제공한다.

4.2 동적 TPP(D-TPP, Dynamic TPP)

Angelesli *et al.*(2008)은 단일 기간만을 고려하는 기존 연구와 달리 시간의 흐름에 따라 매장에서 판매하는 제품의 수량(quantity)이 감소함을 가정하는 D-TPP를 제안하였다. 기존의 연구들이 확정적(deterministic)이고 정적(static)인 상황을 가정한 문제인 반면 D-TPP는 시간의 흐름에 따라 시스템의 환경이 변화하는 확률적(stochastic) 상황에서의 TPP라 할 수 있다.

D-TPP에서 경로 구성과 제품 구매를 위한 모든 관련 정보는 사전에 알려져 있지 않고 시간의 흐름에 따라 제공된다. 즉 동적인 사건(event)이 발생하면 시스템의 새로운 정보가 의사결정자에게 제공된다는 것으로 특정 제품의 수량이 감소하면 의사결정자는 즉시 감소된 수량과 감소가 발생한 매장의 정보를 획득하게 된다. D-TPP에서 q_{ki} 는 시간에 대한 비증가 함수(non-increasing function)로 시간의 흐름에 따라 동일한 값이 유지되거나 혹은 감소할 뿐 증가할 수는 없다는 현실성을 반영하며 차고지를 출발하는 시간 t 는 0으로 간주된다. q_{ki}^0, q_{ki}' 는 매장 i 에서 판매하는 제품 k 의 시간 0과 t 에서의 수량을 각각 의미한다. 또한 시간의 흐름에 따라 제품의 수량이 감소함을 고려하여 $M'(\subseteq M)$, $M_k'(\subseteq M_k)$ 는 시간 t 에서 여전히 제품을 판매하는 매장 집합, 여전히 제품 k 를 판매하는 매장의 집합을 각각 의미한다. 이러한 상황

하에서 D-TPP는 이동비용과 구매비용을 최소화하면서 모든 제품의 구매요구량을 충족하는 것을 목표로 하는 문제이다.

4.3 예산제약하 TPP(TPP-B, TPP with budget constraint)

Mansini and Tocchella(2009)가 제안한 예산제약하 TPP(TPP-B, TPP with budget constraint)는 목적함수 내에 이동비용과 구매비용이 고려되었던 기존의 대부분 TPP 관련 연구와 차별화하여 이동비용이 목적함수에서 최소화되고 구매비용은 제약식 내에서 한계가 설정된다는 개념이다.

TPP-B의 수리모형에 적용되는 (결정)변수 및 제약식은 기존 TPP와 동일하고 단지 구매비용의 한계치 B 가 특별히 설정된다. 식 (20)이 목적함수이고 식 (21)이 기존 TPP 수리모형에 추가되는 제약식이다.

$$\min \sum_{e \in E} c_e x_e \quad (20)$$

$$\sum_{p_k \in K} \sum_{v_i \in M_k} b_{ki} z_{ki} \leq B \quad (21)$$

지금까지 논의된 TPP 관련 기존 연구내용을 요약하면 <표 5>와 같다.

5. 결론 및 향후 연구과제

TPP는 TSP나 VRP와 같이 최적 경로 구성을 통해 목적식(비용함수)을 최소화하는 문제로 TSP 및 VRP에 적용된 기존의 수리모형과 해법이 TPP에도 유용하며 적용가능하다. 하지만 TPP는 TSP와 VRP에 비해 상대적으로 연구결과가 미미한 실정임으로 VRP의 완화(relaxation)된 형태로 TSP를 일반화시킨 mTSP(multiple TSP)의 변형(variations)을 고찰함으로써 향후 TPP의 확장된 연구분야를 전망 가능하다.

Bektas(2006)가 분류한 mTSP의 유형을 바탕으로 TPP의 향후 연구분야를 다음과 같이 판단한다. 먼저, TPP에 대한 현실문제 적용을 고려 시 하나 이상의 차고지에 복수의 구매자(차량)가 존재하고 모든 차량은 차고지에서 출발하여 복귀하며 하나의 매장은 두 번 이상 방문될 수 없을 때 각 제품의 구매요구량을 충족하면서 전체 구매비용과 이동비용을 최소화하는 각 차량의 경로를 결정하는 mTPP를 고려하는 것이 보다 현실성이 높다. 이는 조달물류를 수행하는 업체가 다수의 차량을 보유하며 전체 구매요구량을 각 차량이 분담하여 원자재나 부품의 구매계획을 수립한다고 가정하는 것이 보다 일반적이기 때문이다. 이러한 mTPP

표 5. 기존연구 요약

관련연구	대칭성		용량제약		해법			변형
	대칭	비대칭	uncap.	cap.	최적해	휴리스틱		
						ad hoc	meta	
Ramesh(1981)	○		○		lexico-graphic search	near neighbour		
Golden <i>et al.</i> (1981)	○		○			GSH		
Ong(1982)	○		○			TRH		
Voß(1996)	○		○			ADD, DROP	TS, SA	
Singh and Oudheusden(1997)	○		○		분지한계			
		○	○					
Pearn and Chien(1998)	○		○			PS-GSH, TS-GSH, CAH		
Laporte <i>et al.</i> (2003)	○		○		분지절단	MAH		
	○			○				
Boctor <i>et al.</i> (2003)	○		○			PH	TS	
	○			○				
Teeninga and Volgenant(2004)	○		○			pre-process and intensification for GSH, TRH, CAH		
		○	○					
Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)	○		○			LS		
	○			○				
Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b)	○		○		분지절단	common cut-pool		2TPP
Riera-Ledesma and Salazar-González(2006)		○	○		분지절단			
		○		○				
Bontoux and Feillet(2008)	○		○			DMD-ATA	ACO	
Goldbarg <i>et al.</i> (2008)	○		○			TA		
	○			○				
Angelelli <i>et al.</i> (2008)	○			○		Product-driven, Market-driven, Consumption-driven, Tradeoff-driven		D - TPP
Mansini and Tocchella(2009)	○		○			enhanced LS, VNS		TPP-B
	○			○				

에 대해 향후 다음과 같은 변형을 고려 가능하다.

- Single vs. multiple depot : 단일 차고지를 고려하는 TPP에서 모든 차량은 하나의 차고지에서 순회를 시작하고 끝낸

다. 반면 다수의 차고지가 존재하고 각 차고지마다 일정 수의 차량이 존재한다면, 차량은 순회후 각자 자신의 출발 차고지로 복귀하거나 혹은 순회후 각 차고지로의 복귀 인원이 출발전 해당 차고지의 대수와 같기만 하다면 어느 차고지로

라도 복귀 가능하다. 전자는 고정 차고지 TPP(fixed depot TPP)이고 후자는 비고정 차고지 TPP(nonfixed depot TPP)이다.

- Number of purchaser : 구매자(차량) 수는 고정되거나 혹은 일정 한계(bound) 내에서 변동가능하다.
- Fixed charges : 구매자(차량) 수가 정해지지 않은 경우, 해당 구매자가 해에 포함될 때마다 고정비가 발생한다. 이러한 경우, TPP는 해 내에 포함되는 구매자 수의 최소화 또한 고려대상으로 하여 이동비용 및 제품 구매비용과 구매자 고용에 따른 고정비의 합을 최소화하는 목적식을 가지게 된다.
- Time window : 시간제약 환경 하에서 임의의 매장은 특정 시간 기간(time period) 동안 방문되어야 한다.
- 기타 : 구매자가 방문 가능한 매장 수에 대한 한계, 구매자가 순회 가능한 최대 혹은 최소 거리(혹은 시간)에 대한 한계를 고려 가능하다. 또한 구매자가 구매 가능한 제품의 수량(혹은 무게, 부피)에 대한 용량 제약도 고려 가능하다.

TPP는 이론적으로나 실용적으로 지난 수십 년간 OR 분야 연구자들의 꾸준한 관심을 받아왔다. 이는 무엇보다 TPP가 TSP의 일반화된 형태로 TPP 연구를 통해 TSP에 대한 보다 나은 이해(insight)를 가능케 하며 구매자 수, 구매자의 구매 용량, 시간 제약 등의 제약이 추가된다면 VRP로의 확장도 가능하여 TSP, VRP와 함께 관련분야의 이론적 측면에서 상승작용(synergy)을 기대할 수 있기 때문이다. 실용적 측면에서도 작업 스케줄링, 웨어하우스, 통신 네트워크 설계 등의 분야에 응용되고 있으며 TPP 자체로도 SCM이 주목받는 오늘날의 경영환경을 고려했을 때 연구 가치가 크다고 할 수 있다. 특히, 유통물류의 최적화에 초점을 맞춘 TSP 및 VRP에 대한 연구가 활발히 수행된 반면 조달물류 최적화를 목적으로 하는 TPP에 대해서는 상대적으로 연구 성과가 미미하므로 생산관리 차원에서 원가절감을 위해 TPP에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구는 지금까지 수행된 TPP 관련 연구의 유형을 이동비용의 대칭성과 매장에서의 구매용량 제약, 해법, 그리고 변형으로 구분하여 고찰하였고 mTSP의 변형을 토대로 향후 TPP 관련 연구 필요분야를 제시하여 해당 연구의 활성화 도모를 목적으로 한다. 4장에 제시된 바와 같이 현실적 고려요소의 적용을 통한 기존 TPP의 변형에 대한 연구 이외에도 해법적 측면에서 성능이 우수하다고 알려진 TSP나 VRP 해결을 위해 개발된 기존의 휴리스틱

기법들을 TPP에 적용하여 기존의 연구 결과와 성능을 비교해 보는 것도 가치 있는 연구라 판단된다. 특히 메타 휴리스틱 기법중 지금까지 TPP에 적용된 바 없는 GA(Genetic Algorithm), PSO(Particle Swarm Optimization) 및 NN(Neural Networks) 등의 기법을 적용하여 기존 알고리즘과 성능을 비교하는 연구도 필요하다고 판단된다.

참고 문헌

- [1] Angelelli, E., Mansini, R., Vindigni, M.(2008), Exploring greedy criteria for the dynamic traveling purchaser problem, *Central European Journal of Operations Research*(online published).
- [2] Bektas, T.(2006), The multiple traveling salesman problem : an overview of formulations and solution procedures, *Omega* 34, 209-219.
- [3] Boctor, F.F., Laporte, G., Renaud, J.(2003), Heuristics for the traveling purchaser problem, *Computers and Operations Research* 30, 491-504.
- [4] Bontoux, B., Feillet, D.(2008), Ant colony optimization for the traveling purchaser problem, *Computers and Operations Research* 35, 628-637.
- [5] Bowersox, D.J., Closs, D.J.(1996), Logistical management : *The integrated supply chain process*, New York, NY, McGraw-Hill.
- [6] Burstall, R.M.(1966), A heuristic method for a job sequencing problem, *Operational Research Quarterly* 17, 291-304.
- [7] Buzacott, J.A., Dutta, S.K.(1971), Sequencing many jobs on a multipurpose facility, *Naval Research Logistics Quarterly* 18, 75-82.
- [8] Current, J., Revelle, C., Cohon, J.(1984), The shortest covering path problem : an application of locational constraints to network design, *Journal of Regional Science* 24, 161-183.
- [9] Danzig, G.B. and Ramser, J.H.(1959), The truck dispatching problem, *Management Science* 6(1), 80-90.
- [10] Goldbarg, M.C., Bagi, L.B., Goldbarg, E.F.G.(2008), Transgenetic algorithm for the

- traveling purchaser problem, *EJOR* 199, 36-45.
- [11] Golden, B.L., Levy, L., Dahl, R.(1981), Two generations of the traveling salesman problem, *Omega* 9, 439-445.
- [12] Jain, R., Rivera, M.C., Moore, J.E., Lake, J.A.(2003), Horizontal gene transfer accelerates genome innovation and evolution, *Molecular Bio:ogy and Evolution* 20, 1598-1602.
- [13] Johnson, G.A., Malucci, L.(1999), Shift to supply chain reflects more strategic approach, *APICS-The Performance Advantage*, October, 28-31.
- [14] Laporte, G., Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J.J.(2003), A branch and cut algorithm for the undirected traveling purchaser problem, *Operations Research* 51(6), 142-152.
- [15] Mansini, R., Tocchella, B.(2009), The traveling purchaser problem with budget constraint, *Computers and Operations Research* 36, 2263-2274.
- [16] Margulis, L.(1992), Symbiosis in cell evolution, Microbial communities in the archean and proterozoic eon., W.H. Freeman.
- [17] Min, H., Zhou, G.(2002), Supply chain modeling : past, present and future, *Computers & Industrial Engineering* 43, 231-249.
- [18] Ong, H.L.(1982), Approximate algorithm for the traveling purchaser problem, *Operations reserch Letters* 1, 201-205.
- [19] Pearn, W.L., Chien, R.C.(1998), Improved solutions for the traveling purchaser problem, *Computers and Operations Research* 25, 879-885.
- [20] Ramesh, T.(1981), traveling purchaser problem, *OPSEARCH* 18, 78-91.
- [21] Ravi, R., Salman, S.(1999), Approximation algorithms for the traveling purchaser problem and its variants in network design, *Lecture notes in computer science* 1643, 29-40.
- [22] Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J.J.(2005)^a, A heuristic approach for the traveling purchaser problem, *EJOR* 162, 142-152.
- [23] Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J.J.(2005)^b, The biobjective traveling purchaser problem, *EJOR* 160, 599-613.
- [24] Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J.J.(2006), Solving the asymmetric traveling purchaser problem, *Ann Oper Res* 144, 83-97.
- [25] Singh, K.N., van Oudheusden, D.L.(1997), A branch and bound algorithm for the traveling purchaser problem, *EJOR* 97, 571-579.
- [26] Teeninga, A., Volgenant, A.(2004), Improved heuristics for the traveling purchaser problem, *Computers and Operations Research* 31, 139-150.
- [27] Voß, S.(1996), Dynamic tabu search strategies for the traveling purchaser problem, *Annals of Operations research* 63, 253-275.



최명진

공군사관학교 무기기초과학과 학사
국방대학교 운영분석학과 석사
현재 : 국방대학교 운영분석학과
박사과정
관심분야 : SCM, 물류관리



이상현

육군사관학교 전기공학과 학사
US Naval Postgraduate School OR 석사
Georgia Institute of Technology
산업공학 박사
현재 : 국방대학교 운영분석학과 교수
관심분야 : 네트워크, 로지스틱스, SCM

환경규제가 친환경공급사슬관리 및 공급사슬관리 성과에 미치는 영향*

박찬권 · 김채복[†]

경북대학교 대학원 경영학부

Effect of Environmental Regulations on Supply Chain Environmental Management and Supply Chain Management Performance

Chan Kwon Park · Chae-Bogk Kim[†]

^{*}School of Business Administration, Kyungpook National University

Recently, the companies should satisfy their customers and the stakeholder's environmental desires and are required to employ eco-friendly economic activities. Therefore, they have to observe environmental regulations, basic factors of eco-friendly economic activities. This study navigates how environmental regulations affect supply chain environmental management and supply chain management performance.

Environmental regulations were selected as the independent variables. As the detailed variables of supply chain environmental management, design for environment and reverse logistics were chosen. As the detailed variables of supply chain management performance, eco-efficiency, financial performance, corporate image improvement, productivity improvement and advantageous negotiating position were selected.

After selecting those variables, environmental regulations were assumed to affect supply chain environmental management and supply chain environmental management was assumed to influence supply chain management performance, and then hypothesis concerning the variables were established to conduct regression analysis.

According to the study result, environmental regulations positively affect supply chain environmental management, and supply chain environmental management positively affect supply chain management performance. In addition, it is verified that supply chain environmental management plays a mediating role between environmental regulations and supply chain management performance, and the analysis result shows that design for environment and cleaner production don't play a mediating role of corporate image improvement.

Keywords: Environmental Regulation, SCM, SCEM, SCM Performance

* This research was supported by Kyungpook National University Research Fund, 2009

[†] **Corresponding author:** 702-701, School of Business Administration, Kyungpook National University, Buk-Ku, Daegu S. Korea.

TEL : 82-53-950-5444 E-mail : kimcb@kun.ac.kr

* 2010년 7월 1일 투고, 8월 27일 수정본 접수, 9월 3일 게재 확정.

1. 서론

Achrol 외(1983)는 유통경로 환경을 설명하면서 1차적인 업무 환경에 투입환경에 속하는 공급자, 산출환경에 속하는 경쟁자 외에 경쟁자(Competitor)와 규제기관(Regulatory Agent)을 포함 시킴으로서 경쟁력과 규제는 기업 경영활동에 중요한 영향을 미치는 요소임을 언급하였다.

환경규제(Environmental Regulation)와 기업의 경쟁력 간의 관계에 대한 논의는 상반된 두 가지 관점 있다(조주현 : 2006). 먼저, 전통적인 이론으로 환경규제는 기업에게 많은 비용을 부과하여 이로 인해 기업의 생산성 감소를 초래해 기업의 경쟁력을 약화시킨다는 관점과 미국의 경영학자인 Michael Porter를 중심으로 하여 환경규제와 경쟁력에 대해서 전통적인 관점과는 반대로 환경규제의 강화가 경쟁력에 긍정적인 영향을 준다고 보는 관점이다. 즉, 환경규제의 강화는 오염방지를 위한 기술혁신을 촉진시켜 생산비용을 감소시키고 그 결과 경쟁력이 향상되며, 장기적으로 환경을 개선시켜 자원의 생산성과 고용 및 경쟁력을 향상시킬 수 있다는 윈-윈(Win-Win) 가설을 주장한다.

이러한 환경규제와 기업 경쟁력 간의 관계에 대한 시각 차이는 환경규제와 기업 경쟁력 간에 갈등이 있을 수 있으며, 이들 관계에 대한 정확한 규명이 필요하기도 하지만 우리가 선택할 수 있는 가장 합리적인 방안은 이들 관계를 보완적으로 만들 수 있는 여건을 조성하는 것이 최선의 방안이라고 할 수 있다. 즉, 환경규제는 어쩔 수 없는 시대적인 요청이며, 세계적인 현상이기 때문에 이러한 환경규제로 인해 야기될 수 있는 경쟁력의 저하를 최소화하고 나아가서는 오히려 경쟁력 강화의 기회로 활용할 수 있도록 하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

환경규제의 궁극적인 목표는 환경의 개선에 있으며, 기업의 목표는 에너지와 자연자원의 사용을 통한 경제활동으로 부가가치를 창출하는데 있으므로 이 두 가지 목표는 서로 상충될 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 서로 다른 목표를 추구하는 두 가지 활동의 조화를 도모하기 위한 방안을 도출하는 것이 목적이라고 할 수 있다.

환경규제는 기본적으로 인간의 기본적인 권리인 환경권(깨끗한 물, 신선한 공기, 청정한 자연 환경 등)을 유지하기 위하여 나타난 가장 기본적인 법이나 규제에 해당하므로 현대사회의 구성원은 누구라도 준수하여야 하며, 어느 누구라도 자연을 함부로 훼손할 권리는 없다고 할 것이다. 따라서 현대사회의 구성원인 기업은 당연히 환경규제를 준수하여야 하는데 많은 연구자들이 환경을 보호하기 위한 환경규제가 기업에게 어떠한 영향을 미치고 있는가에 대하여 연구해 왔다.

선행되어진 국내의 환경규제와 관련한 연구로는 유상희(1997), 강만옥·임현정(1999), 박대중·한기주·임동순(2002), 이기환(2004), 강만옥·이상용(2006), 조주현(2006), 중소기업중앙회(2007) 등의 연구가 있어 왔으나 이들 연구는 환경규제와 환경정책 수단이 기업이나 산업부문에 직접적으로 미치는 영향에 대하여 주로 연구하였다. 그리고 김상오(2009)의 환경경영과 공급사슬성장에 대한 연구가 있으나 이 연구는 환경경영이 환경성과와 공급사슬에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 연구하였지만, 환경규제가 기업이 구성하고 있는 공급사슬과 공급사슬관리 성과에 어떤 영향을 미치고 있는가에 대한 연구는 많이 미흡하였다.

현대의 환경문제는 더 이상 환경문제만으로 끝나는 것이 아니라 경제활동과 직접적인 연결이 되고 있으며, 경제활동이라는 것은 에너지와 자원을 투입요소로 하여 목표로 하는 제품과 서비스를 산출하는 활동이고, 이러한 경제활동의 부수적인 물질로서 폐기물질 및 환경오염물질이 생성된다. 따라서 경제활동을 하는 주요한 주체로서 기업은 환경오염의 원인 제공자이며 동시에 환경규제의 준수와 함께 환경문제를 해결하여야 하는 중요한 위치에 있다고 할 수 있다.

그러므로 기업은 경제활동을 친환경적으로 수행할 것을 요구 받으며, 친환경적인 경제활동을 통하여 기업의 기본적인 존재 목적인 부가가치의 창출과 함께 기업을 둘러싸고 있는 많은 이해관계자들(주주, 금융기관, 거래처 및 공급업자, 고객, 경쟁기업, 노조 및 종업원, 정부 및 지역사회 등)의 환경적인 요구를 충족시킬 수 있어야 한다. 그러나 기업 개별적으로는 모든 이해관계자의 요구사항을 충족시킬 수는 없으며, 이는 기업이 구성하고 있는 전체 공급사슬 상의 구성원과 협력을 통해 동시에 해결할 수밖에 없는 상황이다. 이는 또한 전체 공급사슬 구성원이 경제활동의 수행을 친환경적으로 할 것을 요구 받는 동시에 고객 및 이해관계자 집단의 친환경적 욕구를 충족시킬 수 있어야 한다는 것을 의미한다.

따라서 공급사슬 자체가 환경규제를 준수하고 오염물질의 발생을 억제하거나 저감할 수 있는 친환경적이어야 하며, 이러한 친환경적인 공급사슬을 유지하면서도 기업 및 공급사슬 상의 성과를 극대화하고, 아울러 여러 이해관계자가 요구하는 친환경적 책임도 달성함으로써 환경규제 준수와 함께 경제성 충족으로 기업 경쟁력을 제고시킬 수 있어야만 한다.

그러므로 본 연구에서는 기업들이 공급사슬관리의 장점에 친환경 경영을 더한다면 당면한 환경규제 준수 문제와 더불어 경제성에 관한 문제도 해결할 수 있을 것이라고 보았다. 그리고 기업이 제공하는 제품 및 서비스에 적용되는 환경규제는 공급사슬 전체에 대한 환경규제로 연결될 수 있기 때문에 기업들이 정부 당국이나 환경관련 단체 등에서 요구하는 환경규제를 준수할 수 있는

친환경공급사슬관리를 실행하면 기업의 공급사슬관리 성과를 높일 수 있을 것이라고 생각하였다.

이에 본 연구에서는 기존의 문헌연구를 통하여 환경규제와 친환경공급사슬관리, 공급사슬관리 성과에 대하여 설명할 수 있는 여러 가지 변수를 찾아내고 변수들 간의 가설을 수립하고 검증하는 것은 매우 큰 의미가 있을 것이라고 판단하였다.

그리고 위와 같은 연구는 환경규제의 준수와 함께 공급사슬관리와 친환경공급사슬관리를 실행 혹은 적용 중인 기업 관계자에게는 기업의 어떤 부분에 중점적으로 투자하고, 프로세스 개선에 관심을 집중하여야 하는지에 대한 도움을 제공할 수 있고, 기업의 친환경 공급사슬관련 전략 수립에 좋은 참조가 될 수 있을 것이며, 정부의 환경관련 업무 담당자, 기타 환경관련 연구자들에게는 환경 정책과 규제가 기업에 어떠한 영향을 미치는가 또한 어떠한 방향으로 기업들을 이끌고 유인해야 하는지, 마지막으로 환경규제와 기업의 경쟁력을 조화시키기 위한 방안을 제시할 수 있을 것으로 판단하였다.

본 논문의 구성은 총 5개의 장으로 구성되어 있으며, 세부적인 내용은 아래와 같다. 제2장은 문헌연구 및 이론적 배경으로서 주요 연구단위의 개념 및 선행연구에 대하여 기술하며, 제3장은 연구모형 및 가설설정을 제시한다. 제4장은 가설검정 결과를 제시하고 제5장은 결과 및 토의로서 연구의 한계 및 향후 연구의 방향을 제시하였다.

2. 문헌연구 및 이론적 배경

2.1. 환경규제(Environmental Regulation : ER)

2.1.1. 환경규제 수단 및 종류

조주현(2006)에 의하면 환경오염방지를 위한 환경규제는 환경

오염으로 인한 외부불경제 문제를 정부당국의 개입으로 내부화(Internalization)하여 자원을 효율적으로 배분하는데 그 목적이 있으며, 환경규제 수단으로는 크게 기업이나 개인이 지켜야 하는 규칙을 법으로 제정해 놓고 이를 위반하는 경우 행정상의 강제조치나 형법상의 제재를 가하는 직접규제와 시장 기구를 통하여 적정오염물질의 배출을 유인하는 것으로 오염저감에 대한 경제적 유인을 제공하여 환경목표를 달성하고자 하는 정책수단인 간접규제가 있다고 하였다.

또한 환경규제의 수단은 각기 다른 목적과 이유에서 선택되며, 환경규제 수단들이 독립적으로 시행되기도는 상호 수정·보완되는 것이 일반적이라고 하였다. 그리고 직접적인 규제보다 경제적 유인에 의한 규제가 산업경쟁력에 부정적인 영향이 적은 것으로 나타나고 있는데 이는 경제적 유인에 의한 규제수단이 시장기능에 기초한 것이기 때문에 직접규제보다 환경규제를 준수하는 기업에게 선택의 폭이 커져 그에 따른 경제적 부담을 절감할 수 있기 때문이며, 또한 기업으로 하여금 오염을 줄일 수 있는 기술을 개발하는 유인도 직접규제 방식보다 시장유인에 기초한 규제수단이 더 효율적인 것으로 나타나고 있다고 하였다.

하지만 환경규제 정책을 시행하는데 가장 큰 장애요인이 되는 것은 이러한 환경오염방지지출 뿐만 아니라 직간접적으로 기업 및 산업이 지불해야 하는 조정비용이라고 할 수 있는데 실제로는 이들 비용이 크지 않은 경우에도 불구하고 이들 비용수준 자체와 이들이 경제에 미치는 영향에 대한 불확실성 때문에 산업계의 우려와 반발이 커질 수 있다고 하였다. 환경규제 수단의 종류를 세부적으로 나타내면 표 1.과 같다.

그러나 개별기업의 입장에서 보면 산업별로 준수해야 하는 환경규제의 종류가 다양할 수 있다. 즉, 전기 및 전자장비에 대한 지침(Wastes of Electric and Electronic Equipment : WEEE), 폐자동차 처리지침(End of Life Vehicles : ELV), 그리고 제품에 포함된 유해물질에 대한 규제(Restriction of Hazardous

표 1. 환경규제 수단의 종류

지시 및 통제	경제적 수단	의무, 손해배상	교육 및 정보제공	자발적 접근	계획
면허, 허가 환경기준 배출기준 공정기준 제품기준	부과금 조세 배출권거래제 보조금 예치금 및 상환제도	엄격한 의무규칙 보상기금 강제오염보험	정보캠페인 기술정보확산 환경교육 제품 라벨링 환경회계 및 보고 환경지표 환경감사 우수환경 경영사례에 대한 보고	환경목표에 의한 자발적 접근 환경정책수단에 의한 자발적 접근	지역화(Zoning) 토지이용 (Land use)

Substances : RoHS), 온실가스 배출에 대한 규제, 생산자 책임 재활용(Extended Producer Responsibility : EPR) 같은 제품 회수와 관련한 규제를 준수해야할 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 각 개별기업에 적용되는 환경관련 규제를 세세하게 구분하여 공급사슬관리 성과에 미치는 영향을 연구하기 보다는 기업의 소극적인 환경규제 준수로서 정부의 환경 정책 및 법규준수, 내용 숙지, 법규 변경시 변경 내용의 추적여부와 자발적인 환경규제 준수로 환경친화기업지정의 획득 및 획득 노력, 제도의 내용숙지와 지정획득에 따른 도움과 편리성을 종합하여 이를 환경규제 변수로 하여 이러한 기업의 환경규제 준수를 위한 노력이 친환경공급사슬관리의 구성 및 유지에 영향을 미치는가와 친환경공급사슬관리 활동이 공급사슬관리 성과에 영향을 미치는가에 대하여 연구한다.

2.1.2. 환경규제에 대한 선행연구

Griffin and Mahon(1997), Waddock and Graves(1997)의 연구에 의하면 환경규제 준수를 위한 기업의 환경활동 수행은 직접적이고 명시적인 형태의 지출규모에 비하여 기업의 사회·환경적 책임이행에 따른 기업 이미지 개선 등과 같은 형태로 나타나는 기업의 효익이 훨씬 더 클 것이라는 결과를 제시하였다

Walton 외(1998)는 공급자의 생산 공정이 환경규제를 위반한 것일 경우 공급사슬 구성원 모두에게 영향을 미칠 수 있으므로 구매 담당자는 공급업체의 프로세스에 적극적으로 참여하여 프로세스가 개선될 수 있도록 지원하여야 하며, 프로세스와 생산 재료에 적용되는 환경규제에 대한 이해가 반드시 필요하고 공급자 평가에는 우선적으로 환경규제에 따른 오염 배출기준 등을 적용하여 프로세스 개선이 가능하도록 엄격한 기준을 적용 하여야 한다고 하였다.

조주현 외(2004)는 국내의 환경규제 강화와 한국표준산업분류(Korean Standard Industry Classification : KSIC) 기준 13개 산업의 생산성 분석에서 환경규제의 강화와 기술변화는 생산성의 향상을 가져왔으며, 기업의 경쟁력을 강화한 결과를 가져왔다고 하였다.

노상환(2004)은 환경경영을 수행하는 환경친화기업은 다른 일반기업에 비해 높은 수익성을 보이며, 환경친화기업의 지정을 받은 중소기업의 경우 생산효율성과 관리효율성 모두 일반 중소기업보다 높은 수준에 있고, 환경비용 부담률이 큰 산업의 기업과 작은 산업에서의 기업 간의 환경친화기업 경영성과를 t-검정한 결과 환경비용 부담률이 큰 환경친화기업의 경영성과가 부담률이 작은 기업의 경영성과보다 더 높다고 하였다. 이는 국내의 친환경기업 지정제도 혹은 환경관련 규제, 환경관련 유인제도가 기업의 비용부담으로 이어져 기업의 경쟁력을 약화시키는 것이 아니라

기업의 경쟁력을 제고시킨다는 의미로 받아들일 수 있으며, 정부의 환경관련 규제가 기업들에게 정(+)의 영향을 미칠 수 있음을 의미하는 것이라고 볼 수 있다.

Dasgupta 외(2006)의 연구에 의하면 환경규제와 관련된 이론에서 규제위반으로 인한 과태료, 벌금, 과징금부과 등의 경제적 불이익과 경고, 시설개선, 조업정지, 허가취소 등의 행정상의 조치 등 직접적이고 명시적인 손실만 고려하고 있으며, 시장이나 지역주민의 압력으로 인한 경제적 손실은 과소 측정되고 있다고 하였다. 즉, 기업이 환경규제를 위반하는 것은 직접적이고 명시적인 손실뿐만 아니라 미래에 발생할 수 있는 다양한 리스크(주민의 피해보상요구, 정부 규제강화에 따른 규제 준비용 증가, 기업 이미지 하락으로 인한 매출감소, 금융시장과 자본시장으로부터의 자본 조달의 어려움, 신규진출사업의 제약, 세계상의 불이익 등)로 인해 장기적으로는 경영성과를 악화시킬 가능성이 높다고 하였다.

위의 연구를 바탕으로 본 연구에서는 환경규제란 정부 당국이 환경 정책과 관련하여 시행하는 각종 법규와 친환경 정책으로 기업을 친환경적으로 유도하기 위해 시행하는 각종 인증제도라고 정의 하였다.

2.2. 친환경공급사슬관리(Supply Chain Environmental Management : SCEM)

기업이 경제성만을 고려해 활동하던 시기를 넘어 환경을 함께 생각하는 시대에 접어들면서 제품과 서비스를 창출하는 기업의 경영활동은 매우 힘들어졌다. 특히 소비자의 환경에 대한 관심이 높아지면서 기술혁신을 통한 비효율적인 요소를 제거하고 친환경적인 공정의 개발을 추구하는 것이 공급사슬관리의 중요한 부분이 되었다. 즉, 환경문제가 소비자의 인식변화로 인해 기업의 핵심 관심사가 되었고 경영활동에 지대한 영향을 미치게 되었다.

친환경공급사슬관리와 관련한 국내의 선행연구로서 이종철(2003)과 김영주(2004), 김정현(2009)의 연구는 기업사례를 분석한 연구이며, 김남규 · 황금주(2008)의 연구는 협력적(Collaborative) 기법이 더 효과적으로 중소기업의 환경활동 촉진에 기여하고 있다는 점을 제시하였고, 이정희(2008)의 연구는 친환경공급사슬관리에 대한 이론적 기반을 제시하고 기업간 파트너십과 녹색구매가 친환경공급사슬관리 변수로써 친환경 설계와 생산자책임 자원회수, 종속변수로서 에코효율성을 기반으로 한 환경성과에 정(+)의 영향을 미친다고 제시하였으나 공급사슬관리와 관련한 성과 변수에 대한 추가적인 연구는 미흡하였다.

또한 국외의 연구로써 Roome(1998), Banerjee(2001)는 기업이 환경적인 주도권을 얻기 위한 의사결정 분야 가운데 공급사슬

관리와 관련한 분야로는 제품개발과 회수에 대한 부분이 많이 주목을 받고 있으며, 공급사슬관리에서 상류기업과 하류기업의 환경영향을 감소시키기 위한 의사결정에는 친환경 공급사슬, 제품의 회수와 재활용, 친환경적 구매(녹색 구매)등이 여기에 해당한다고 하였다.

Purba(2002)는 친환경공급사슬관리는 기업의 경제적·환경적 성과 및 기업의 경쟁력에까지 영향을 미친다는 연구에서 발생 폐기물, 배기가스, 환경규제 대응력 등의 환경적 성과와 신규시장 진입기회, 제품가격, 이윤, 시장 점유율, 매출 등의 경제적 성과를 제시하였다.

Sarkis(2003)는 환경성을 향상시키는 요소로 제품수명주기관점에서는 친환경설계, 가치사슬 관점에서는 제조 단계의 물질대체, 재활용 및 회수 그리고 환경영향을 최소화시키기 위한 감량, 재이용, 재활용 노력을 통한 폐기활동이라고 하였다.

위의 연구들을 종합하면 친환경공급사슬관리는 공급사슬 구성원의 환경개선 노력으로 환경영향을 최소화시키는 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 점차 환경규제가 강화됨에 따라 제조 단계보다 앞 단계인 원재료 선정단계부터 제품 완성단계를 거쳐 제품 수명 종료 후 회수와 재활용 및 폐기의 단계까지 친환경 제품설계로 비효율적이거나 낭비의 요소를 찾아서 제거하고, 제품 및 서비스의 생산과정에서 낭비 및 폐물질, 환경오염물질의 발생 최소화를 통하여 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것과 적극적인 수명종료 제품 및 반품의 회수활동이 중요하다고 판단하였다. 따라서 친환경 공급사슬관리의 변수로서 친환경 제품설계 및 회수물류를 선정하였다.

2.2.1. 친환경 제품설계(Design for Environment : DfE)

기본적으로 기업은 공급사슬 전반에 걸쳐 일상적으로 자원을 소모하고, 생산, 유통, 폐기 등의 과정에서 지속적으로 환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로, 제품의 수명주기와 전체 공정 단계에서 환경, 건강, 안전과 관련된 설계로서 성능을 시스템적으로 고려하여야 하며, 이를 고려하는 제품의 설계 및 생산방식을 친환경 제품설계라고 할 수 있다. 친환경 제품설계는 종래의 성능과 비용의 측면뿐만 아니라 제품의 설계 및 생산과정과 관련된 항목에 환경적인 요소를 추가하여 제품을 설계하고 생산할 수 있도록 하는 것이다. 이에 대한 선행연구를 살펴보면 아래와 같다.

Bor and Blom(1994)은 친환경 제품설계를 지구로부터 원료를 덜 추출하고, 제품수명주기를 연장하고, 부품을 재사용함으로써 가능하면 추출된 원자재를 지속적으로 사용하여 자재를 재자원화하기 위한 시도를 말하는 것으로 중요한 환경문제를 자재주기를 없애는 방법으로 해결하고자 하였다. 이 방안은 사용한 자재를 회수하여, 해체한 후 재사용 가능한 모든 부품을 검사하고

정상적인 방법으로 그 제품을 만드는 공정에 투입시키는 것이라고 하였다.

에코프린티어(2003), 홍상태 외(2006)에 의하면 친환경 제품설계는 에코디자인(Eco-Design) 또는 전과정평가(LCA)를 고려한 디자인(Lifecycle Design)이라고 불리지만 의미상으로 전과정을 가장 효과적으로 통제할 수 있는 제품설계 단계에서부터 환경성(오염부하, 자원 효율성, 에너지 소비, 재활용성)을 다른 경쟁요소(경제성, 기술, 품질 등)들과 함께 고려함으로써 경쟁력 있는 제품을 설계, 생산, 판매하는 기업경영 활동으로 정의한다.

안중우 외(2005)에 의하면 친환경 제품설계를 적용함으로써 얻을 수 있는 이점으로는 제품의 환경영향 저감으로 인해 환경규제 준수 보장 및 법규준수 비용 제거, 미래 환경적 요구사항 관련 불확실성 감소 및 제품의 잠재적 위험 감소로 시장에서의 신뢰성 제고, 비용 효과성 제고와 직원의 참여 증대 및 창조성의 증진으로 생산비용 저감, 제품의 질 향상, 고객에게 친환경 기업으로서의 좋은 이미지를 심어줌으로서 기업 이미지를 제고할 수 있고, 세계 각국의 환경규제 고려로서 국제적인 무역규제의 대처 등을 제시하였다.

2.2.2. 회수물류(Rreverse Logistics : RL)

우리나라의 경우 1995년 쓰레기 종량제를 시작으로 '자원의 절약과 재활용에 관한 법률 시행령'이 2003년부터 발효되어 시행됨에 따라 생산자 책임 재활용(Extended Producer Responsibility : EPR)제도가 시행되고 있는 상황이다. 이 법률의 주요 내용은 재활용이 가능한 폐기물의 일정량 이상을 재활용하도록 생산자에게 의무를 부여하고, 재활용 의무를 이행하지 못할 경우 재활용에 소요되는 비용 이상을 생산자로부터 징수하는 제도이다.

서동숙(2004)의 연구에 의하면 생산자 책임 재활용은 제품사용 후 발생하는 폐기물의 재활용까지를 생산자의 책임으로 확대한 것으로 폐기물 재활용에 대한 법적 의무는 생산자에게 있지만, 생산자가 수거부터 재활용 전 과정을 직접 책임져야 한다는 의미가 아니라 소비자·지방자치단체·생산자·정부가 재활용의 일정부분을 각자 분담하는 체계이며, 결론적으로 제품의 실제, 포장재의 선택 등에서 결정권이 가장 큰 생산자가 재활용 체계의 중심적 역할을 수행하도록 유도한다는 것이다.

이 제도의 가장 핵심이자 근원적인 목표는 생산자가 친환경적인 재질의 자원사용 및 구조적인 개선으로 처음부터 친환경적인 제품을 만들어서 폐기물이 생기지 않도록 하는 것이며, 이 제도를 적용한 결과 비록 몇 가지 개선하여야 할 점도 있지만 제도의 적용이후 회수 및 처리되는 폐기물의 양이 늘어나고 있으며, 생산자의 비용 효율성과 사회적 효과성이 높아지고 있다고 하였다.

그리고 이러한 법률적용에 따른 환경변화는 조달물류, 생산물류, 판매물류 등 기존의 물류활동 뒤에 가려져 있던 회수물류를 기업의 주요한 물류활동의 하나로 나타나게 만들었다는데 있다.

Carter and Ellram(1998)은 회수물류를 기업이 사용가능한 자원의 양을 절감하고, 재사용하고, 재생산하는 것을 통해서 환경적인 효율성을 증가시키는 모든 프로세스로 정의하였는데 이는 회수물류의 범위를 환경적인 효율성의 측면까지 포함한 것이다.

박석하(2005)는 제품의 생산부터 재활용 및 매립장까지의 제품 수명주기에는 전 단계에 걸쳐 환경 친화적 활동의 추진이 필요하며, 자원 순환형 시스템 구축과 환경 친화적 물류정책은 자원순환을 통한 지속가능한 사회를 건설하기 위하여 3R(Reduse, Reuse, Recycle)의 적극적인 추진이 필요하다고 하였다.

전준수 · 김대진(2005)의 연구에 의하면 회수물류를 제품이나 원자재의 가치를 되살리거나 창출하기 위한 목적으로 소비자를 시작점으로 하여 최종 목적지로 이동하는 것으로 정의하고, 이제는 기업이 물류전략을 수립하는 경우 회수물류를 염두에 두어야 하며, 회수물류를 포함시킨 서비스 체계를 구축해야만 고객을 만족시킬 수 있다고 하였다. 또한 회수물류가 점차 중요해지고 있는 이유를 살펴보면 강화되는 환경규제, 경제적인 성과, 그리고 상업적 요인 등으로 나눌 수 있다고 하였다.

2.3. 공급사슬관리 성과(Supply Chain Management Performance : SCMP)

공급사슬관리 성과를 정확하게 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 특히 친환경공급사슬관리는 환경성과 경제성을 모두 포함하고 있기에 이 두 가치를 모두 측정하여야 성과를 합리적으로 측정할 수 있다.

친환경공급사슬관리 따른 성과에 대한 연구로는 Purba(2002)가 환경적 성과와 경제적 성과를 제시하였고, 안중우 외(2005)는 친환경 제품설계의 적용에 따른 이점, 이정희(2008)는 에코효율성을 기반으로 하는 환경성 성과를 제시하였다.

이를 바탕으로 하여 본 연구는 기존 공급사슬관리의 선행연구에서 주요성과로 제시된 재무적 성과를 기초로 하여, 기업의 친환경공급사슬관리의 적용은 환경경영의 일환이라고 판단하여 환경경영과 관련한 선행연구에서 제시한 성과로서 경제적 가치와 환경영향을 판단하는 에코효율성, 친환경 기업으로서의 이미지 제고, 제품설계와 생산과정에서의 개선 및 혁신을 통한 생산성 향상과 이해관계자들과의 협상 및 대화의 과정에서 우위의 위치를 의미하는 유리한 협상위치의 변수를 선정하여 연구하였다.

2.3.1. 에코 효율성(Eco-Efficiency : EF)

차경훈(2006)에 의하면 에코 효율성이란 광범위하게는 환경과 사회의 목적을 동시에 충족시킬 수 있는 경쟁력 있는 가격의 제품과 서비스의 사용 및 전달, 생산의 개념으로 정의될 수 있으며, 지속 가능성을 달성하기 위한 구체적인 실현도구로써 즉, 산업기술, 생산, 공정, 제품 디자인 및 실행조직에서의 의사결정을 지원하는 것으로 이러한 과정의 경영혁신활동은 원가절감과 향상된 제품의 질, 환경적 영양의 감소와 원자재 사용의 저감을 통한 환경적 채무의 감소 등으로 이루어 질 수 있으며, 이러한 결과는 주요 산업분야에 걸쳐 중요한 경영활동 도구로 구체화될 수 있다고 하였다.

공급사슬관리 성과 측정방법으로서 에코 효율성은 환경과 사회적 목적을 동시에 충족시킬 수 있는 경쟁력 있는 가격의 제품과 서비스의 사용 및 전달, 생산의 개념으로 정의한다.

이정희(2008)는 에코 효율성을 매출액 대비 자원 사용량, 에너지 소비량, 폐기물 감소량, 친환경공급사슬관리 실행이후 자원 재활용의 증가여부, 그리고 기업의 환경경영과 관련하여 자원 사용량, 자원 재활용도, 에너지 사용량에 대한 증감 및 관리여부를 측정하였다. 하지만 이러한 자원 사용량, 에너지 소비량, 폐기물 감소량, 자원 재활용의 증가여부를 개별 기업별로 상세히 파악한다는 것은 이러한 자료를 기업이 쉽게 밝히지 않으므로 전부 통합하여 에코 효율성 하나의 항목으로 측정하였다.

본 연구에서는 친환경공급사슬관리 적용에 따른 에코 효율성 증가 여부를 아래의 표 2.의 방식에 따라 측정하였다.

표 2. 에코 효율성 측정 공식

$$\text{에코 효율성} = \frac{\text{경제적 가치(창출 제품 및 서비스 가치)}}{\text{환경영향}}$$

2.3.2. 재무적 성과(Financial Performance : FP)

공급사슬이나 기업의 성과를 측정하는데 있어서 재무적 성과 측정은 가장 일반적으로 사용되고 있다. 이는 재무적 성과 측정이 기업의 전략 및 전략의 구현, 그리고 기업 활동의 기초적 단계에서부터 기업성과의 개선에 기여하는지를 알려주기 때문이다.

환경성과와 재무성과의 관계에 대한 연구로 Erfle and Fratantuono(1992)는 규제순응에 관한 사건자료와 리사이클링, 폐기물저감 프로그램 등과 같은 적극적인 환경 프로그램 운영여부에 따라 기업들을 고·중·저의 환경성과와 총자산순이익률(ROA), 자기자본순이익률(ROE), 투자수익률(ROI)이 유의적으로 긍정적인 관계에 있음을 보여주었다.

Al-Tuwaijri 외(2004)는 198개의 S&P 500기업의 횡단면 표

본을 대상으로 환경공시, 환경성과, 경제성과의 변수들 서로간의 영향관계를 분석한 결과 환경성과가 좋은 기업들은 경제성과와 밀접한 연관성이 있다는 것을 제시하였다.

한완선(2004)은 환경성과 및 재무적 성과와 기업 가치의 근거로서 첫째, 기업의 친환경 정책은 생산과 서비스 전달 프로세스를 재설계하게 하며, 이는 새로운 기술의 도입으로 결국 경제적 성과의 향상으로 이어진다는 것, 둘째, 기업에서 오염방지 정책을 수립하면, 이 과정을 통해 전 직원의 참여 및 학습기능의 통합이 이루어지고 종업원의 능력이 증진되어 기업의 경쟁력 향상으로 귀결된다는 것, 셋째, 환경성과는 환경친화기업으로의 이미지를 개선시켜 매출이 증대되는 효과가 있다고 하였다.

정용기·김선화(2009)의 연구에 의하면 환경규제의 위반은 총자산이익률(ROA) 및 토빈 Q와 음(-)의 영향관계를 나타냄으로써 환경규제를 위반한 기업이 환경규제를 위반하지 않는 기업에 비하여 경영성과가 좋지 않으며, 지속적으로 악화되는 경향을 보인다고 하였다.

위의 연구결과를 바탕으로 하여 기업의 친환경공급사슬관리를 통한 기업의 친환경 경영이 해당 기업의 투자 수익률(ROI)이나 자기자본 수익률(ROE) 같은 재무적 성과에 어떤 영향을 미치는지 측정하고자 한다.

2.3.3. 기업 이미지 제고(Corporate Image Improvement : CII)

정기한 외(2004)의 연구에 따르면 기업의 환경주의 변수로써 환경 친화적인 제품과 서비스 제공, 자원 재활용, 환경보호, 환경오염 행위 적발 유무와 기업 이미지 변수로써 친근감, 전반적인 이미지, 깨끗함, 성장 가능성 간의 관계를 검증한 결과 기업의 환경주의 변수는 기업의 이미지에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

심한택·조정일(2004)은 두산그룹의 낙동강 폐놀사고를 이용하여 사건을 발생시킨 두산전자의 경상이익은 1990년 5,519백만원에서 763백만원으로 무려 86.2%가 감소하였으며, 사건년도인 1991년의 당기순손실은 2,978백만원을 기록하였고, 이러한 사건의 영향은 1993년이 되어야야 다소 회복되었으며, 두산그룹 계열사 전체의 누적초과수익률의 하락이 두산 전자·전기의 누적초과수익률 하락보다 2배나 더 많이 하락하여, 폐놀사건이 두산그룹 계열사에 미친 영향이 더 높았음을 제시하였다.

김원선(2008)은 환경규제의 위반기업으로 분류된 기업은 준수 기업으로 분류된 기업보다 매출액 증가율과 영업현금흐름에 부정적인 영향을 받는 것으로 조사되었으며, 주요 요인으로 우리나라 국민들의 환경의식 수준이 점점 높아지고 있기 때문이며, 환경규제에 대한 위반이 고객들에 대한 기업의 신뢰도와 이미지에 영향

을 미치기 때문인 것으로 분석 하였다.

위의 연구결과를 바탕으로 하여 기업의 친환경공급사슬관리를 통한 기업의 친환경 경영이 해당 기업이미지 제고에 영향을 미치는지 측정하고자 한다.

2.3.4. 생산성 향상(Productivity Improvement : PI)

환경 관련 규제와 생산성 향상의 대표적인 연구로서 Porter(1991)는 기업의 경쟁력은 동태적 관점에서 생산효율성(경쟁사보다 저렴한 가격), 가격차별화의 능력(제품의 고품질화로 프리미엄 가격을 설정할 수 있는 능력), 기술혁신을 통한 생산성 우위에 있다고 규정하고, 환경규제의 강화는 환경규제를 준수하기 위한 비용을 상쇄할 수 있는 기술혁신을 유도하고 생산성 우위를 확보하여 기업의 경쟁력을 강화한다고 주장한다.

김정남(2003)은 환경 친화적 기업이라는 이미지개선을 통해 제품자체의 경쟁력을 향상시킬 수 있으며, 이는 원재료 사용의 절감과 오염물질의 감소를 위한 생산 공정의 개선을 통해 제품의 원가를 줄일 수 있고 원가절감은 제품의 가격경쟁력에 영향을 미쳐 매출의 확대를 기대할 수 있고, 제품의 친환경성을 강조하고 있는 선진국의 수출에도 정(+)의 영향을 미칠 수 있다고 하였다.

앞서 조주현 외(2004)는 환경규제 강화와 13개 산업의 생산성 분석에서 환경규제의 강화는 생산성의 향상과 기업 경쟁력 강화의 결과를 가져왔다고 하였다.

위의 연구결과를 바탕으로 하여 기업의 친환경공급사슬관리를 통한 친환경 경영이 해당 기업의 제품설계나 생산공정 등의 개선을 가져올 것이라고 판단하여 개별기업의 생산성 향상에 어떤 영향을 미치는지 측정하고자 하였다.

2.3.5. 유리한 협상위치(Advantageous Negotiating Position : ANP)

Lewicki 외(1999)는 협상을 계획하고 실천하는데 있어서 근본적인 선행요인은 관련된 정보의 수집에서부터 시작하며, 협상이슈와 관련된 정보는 다양한 출처로부터 획득될 수 있고, 정확한 정보는 협상 시의 의사결정에 있어서 결정적인 역할을 할 수 있다고 하였다. 다시 말하면, 정보는 협상상황에서 가장 일반적인 힘의 원천이 될 수 있다는 것이다. 그러므로 정보력은 협상자가 자신의 위치, 논의 또는 요망 결과를 지지할 수 있는 데이터를 수집하거나 조직화할 수 있는 능력을 구비할 경우 얻어질 수 있으며, 협상 상대방의 입장이나 요망 결과에 필적할 수 있는 도구로서도 정보를 활용할 수 있고, 또한 협상 상대방의 정보의 공유로 협상에 있어서 양보획득 과정의 핵심이 될 수 있다고 하였다.

이종건(2001)은 협상은 서로 만족스러운 결과를 얻어내기 위하여 서로 부합하지 않는 목표를 가지고 사회적 상호작용에 적극

적으로 관여하는 둘 또는 그 이상의 상호 의존적 협상자들을 필요로 하며, 일반적인 커뮤니케이션과는 달리 목표, 관계, 규범적 관행을 동반하는 독특한 상호작용으로 조화를 이루지 못한 이슈에 초점을 맞추고, 상호 수용 가능한 합의를 도출하는데 목표를 두고 전략과 전술을 사용한다는 점에서 일반적인 커뮤니케이션과 구별된다고 하였다.

이종건·박헌준(2004)은 구매자와 공급자의 협상에서 협상이슈와 관련된 정보를 최초부터 더 많이 보유한 협상자가 더 높은 협상력을 보이며, 협상력에서 차이가 난다는 사실을 증명하였다.

위의 연구결과를 바탕으로 하여 기업의 친환경공급사슬관리를 통한 친환경 경영은 해당 기업에게 환경관련 문제의 개선 및 환경성과와 관련된 정보의 수집 및 획득에 도움을 줄 것이고 이러한 정보의 수집 및 획득은 기업의 다양한 이해관계자와의 협상 및 기타 환경관련 활동의 홍보 등에서 유리한 위치를 선점할 수 있을 것이라고 판단하여 기업의 친환경공급사슬관리를 통한 친환경경영이 여러 이해관계자들과의 대화 및 협상시 유리한 협상위치를 선점할 수 있는가를 측정하고자 하였다.

2.4. 환경 혁신성(Environmental Innovation : EI)

이병욱(1997)은 기업의 환경 혁신성을 '사후대응방식'과 '사

전에방방식'으로 분류하는데 사후대응방식은 기업이 환경관련 규제를 준수하기 위해서 오염방지 시설 구입 및 폐기물 최종처리를 위해 사후처리시설을 구입하는 것이며, 이를 통해 환경에 대한 임무를 다했다고 생각하는 것이며, 사전예방방식은 기업의 생산과정에서 나오는 비효율을 점검하여 이를 친환경적으로 개선하고 친환경성을 이용한 제품을 개발함으로써 환경을 통해 이익을 증가시키는 방식으로 내부관리 개선, 사업장 내 재료의 재활용, 투입물질 변화, 공정기술 변화, 제품변경 등을 의미한다고 하였다.

이미홍(2002)은 환경혁신을 환경에 부하를 덜 주는 공정, 제품이나 서비스를 생산하고자 선택하는 생산수단의 새로운 결합 혹은 환경문제에 대응하고 이를 해결하기 위해 기업들이 선택하는 조치라고 정의하고 있다.

개별 기업의 환경 혁신성을 이병욱(1997)의 연구에서 제시한 방안으로 세밀하게 구분하는 것은 많은 어려움이 있으므로 위의 연구를 바탕으로 본 연구에서는 오염방지 시설의 설치와 폐기물 처리, 일상적인 활동 속에서의 자원 절약, 자원 재활용, 녹색구매(조달), 친환경 설계를 통한 생산 공정 관리와 수집된 제품의 재활용 및 해체를 고려한 설계의 여부 정도를 변수로 하여 측정하였다.

각 연구변수에 대한 조작적 정의 및 참조문헌은 표 3.에 종합하여 나타내었다.

표 3. 연구변수의 조작적 정의 및 참조문헌

변수명	조작적 정의	참조문헌
환경규제 (ER)	환경정책 및 법규 준수, 정책 및 법규내용 준수, 변경사항 추적, 환경친화기업 지정 노력, 환경친화기업 내용 숙지, 환경친화기업지정 관리성과 도움	Griffin&Mahon(1997), Waddock & Graves(1997) Walton 외(1998), 노상환(2004), Dasgupta 외(2006), 조주현(2006)
친환경 제품설계(DfE)	제품수명 연장고려 설계, 부품사용 공용화 설계, 리필가능성 고려 설계	Bor&Blom(1994), 예코프런티어(2003), 홍상태 외(2006), 안중우 외(2005)
회수물류 (RL)	완성품/부품/조립품 회수, 포장/기타재료 회수, 회수물류정보시스템 운영, 회수제품 재활용, 회수 매뉴얼 및 지침 관리	Carter&Ellram(1998) 서동숙(2004), 박석하(2005) 전준수 · 김대진(2005)
공급사슬 관리성과 (SCMP)	친환경공급사슬관리의 적용에 따른 성과 에코효율성 : 경제적 가치 / 환경영향 재무적성과 : 투자수익률(ROI) 및 자기자본수익률(ROE) 기업 이미지 제고 : 해당 기업이미지 제고에 영향 생산성 향상 : 제품설계나 생산공정 등의 개선 여부 유리한 협상위치 : 대화 및 협상시 유리한 협상위치 선점	차경훈(2006), 이정희(2008) Erfle&Fratantuono(1992), Al-Tuwaijri 외(2004), 한완선(2004), 정용기 · 김선화(2009) 정기한 외(2004), 심한택 · 조정일(2004) 김원신(2008), Porter 외(1991), 김정남(2003), 조주현 외(2004), Lewicki 외(1999), 이종건(2001), 이종건 · 박헌준(2004)
환경혁신성 (EI)	오염방지시설, 자원절약활동, 생산현장 자원 재활용, 녹색구매시행, 친환경설계 및 재활용 시행	이병욱(1997), 이미홍(2002)

3. 연구모형 및 가설설정

3.1. 연구모형

본 연구에서는 앞서 제 2 장 문헌연구 및 이론적 배경을 토대로 하여 다음과 같은 가설을 설정하고 검증하고자 한다.

첫째, 환경규제는 친환경공급사슬관리에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

둘째, 친환경공급사슬관리는 공급사슬관리 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

셋째, 친환경공급사슬관리와 공급사슬관리 성과 사이에서 환경 혁신성은 조절변수의 역할을 할 것이다.

넷째, 친환경공급사슬관리는 환경규제와 공급사슬관리 성과 사이에서 매개역할을 할 것이다.

연구를 위한 세부적인 변수로서 독립변수는 환경규제이며, 매개변수는 친환경공급사슬관리이며 이의 세부변수로는 친환경 제품설계, 회수물류이다. 마지막으로 종속변수는 에코 효율성, 재무적 성과, 기업이미지 제고, 생산성 향상, 유리한 협상위치를 종합한 공급사슬관리 성과이다.

위에서 제시한 가설 설정과 검증을 위한 연구모형은 아래의 그림 1.과 같다.

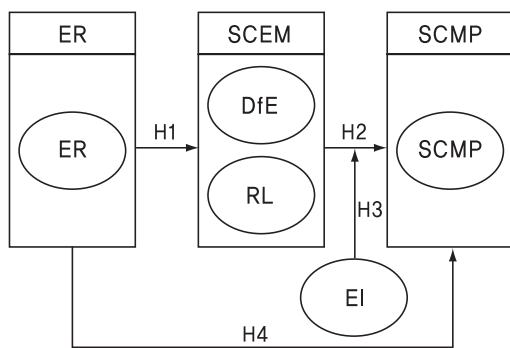


그림 1. 연구모형

3.2. 연구가설 설정

3.2.1. 환경규제와 친환경공급사슬관리 간의 관계

앞서 제시한 Griffin and Mahon(1997), Waddock and Graves(1997), Walton et al.(1998), 조주현 외(2004), 노상환(2004), Dasgupta 외(2006)의 연구를 바탕으로 하여 환경규제는 환경규제의 준수와 규제준수에 따른 리스크 감소 및 폐기물의 발생을 최소화시켜 주며, 기업의 환경경영에 영향을 미치는 외부

효과로 작용하기 때문에 기업들이 친환경공급사슬관리 요소로서 친환경 제품설계와 회수물류체계를 구성하고 시행하기 위한 기본 요인으로서 그리고 친환경 제품설계 및 회수물류가 잘 실현될 수 있도록 영향을 미칠 것으로 판단하였다.

따라서 앞서 제시한 연구를 바탕으로 하여 가설 H1-1 및 H1-2를 수립하여 이를 검증해보고자 한다.

3.2.2. 친환경공급사슬관리와 공급사슬관리 성과 간의 관계

Roome(1998), Banerjee(2001), Purba(2002), Sarkis(2003), 이정희(2008)의 연구들을 바탕으로 하여 친환경공급사슬관리 요인으로서 친환경 제품설계 및 회수물류는 공급사슬 내부적으로는 자원의 낭비 요인을 제거하고, 재활용 및 재사용을 통한 자원사용 감소를 통해 공급사슬 전체의 비용절감 효과와 재무적인 성과를 비롯한 환경적 성과를 달성할 수 있을 것으로 판단하며, 내·외부적으로는 기업의 이해 관계자들과의 관계개선을 통해 최종적으로는 기업이미지 제고와 각종 환경규제 기관 및 단체와의 협상이나 대화시 유리한 위치를 달성할 수 있을 것으로 판단하였다.

따라서 차경훈(2006), 이정희(2008)의 연구, Erfle and Fratantuono(1992), Al-Tuwaijri 외(2004), 한완선(2004), 정용기·김선화(2009)의 연구, 정기한 외(2004), 심한택·조정일(2004), 김원신(2008)의 연구, Porter(1991), 김정남(2003), 조주현 외(2004)의 연구, Lewicki 외(1999), 이종건(2001), 이종건·박현준(2004)의 연구를 바탕으로 하여 가설 H2, H2-1 및 H2-2를 수립하여 이를 검증해보고자 한다.

3.2.3. 환경 혁신성의 조절효과 검증

앞서 이병욱(1997)의 개별기업의 환경 혁신성을 구분하는 방식과 이미홍(2002)의 연구를 기초로 하여 본 연구에서는 개별기업의 환경 혁신성을 5가지 변수로 하여 7점 리커트 척도로 측정하였다.

따라서 본 연구에서는 개별기업의 환경 혁신성의 조절효과를 검증하기 위해개별기업의 공급사슬관리 성과는 환경 혁신성이 높을수록 높을 것이라고 판단하였다. 이에 따라 세부적으로 가설 H3-1과 H3-2를 수립하고 이를 검증하고자 하였다.

3.2.4. 친환경공급사슬관리의 매개역할 검증

환경규제와 공급사슬관리 성과 사이에서 친환경공급사슬관리의 매개역할을 검증하기 위해 아래와 같은 방법을 이용하였다.

X1(독립변수)은 X3(종속변수)에 직접적으로 영향을 미치기도 하지만 X2(매개변수)를 거쳐서 간접적인 영향을 미칠 수도 있다. 이 경우 X2는 매개변수의 역할을 수행한다고 할 수 있다. 따라서

X2가 매개변수의 역할을 하는지에 대해서 검증하기 위해서는 먼저 $X1 \rightarrow X3$ 이 유의적인가를 검증한다. 그리고 $X1+X2 \rightarrow X3$ 에서 X1이 비유의적이거나 유의성이 낮아야만 하고, X2가 유의적으로 나오면 X2는 매개변수라고 할 수 있다.

따라서 환경규제가 공급사슬관리 성과에 직접적인 영향을 미칠 수 있지만 매개변수인 친환경공급사슬관리를 통하여 시행될 경우 더 높은 공급사슬관리 성과를 달성할 수 있을 것이라고 보았다.

앞서 환경규제가 기업의 성과에 영향을 미친다는 연구(Forster, 1991 : 유상희, 1997 : 강만옥 · 임현정, 1999 : 광대중 · 한기주 · 임동순, 2002 : 이기환, 2004 : 강만옥 · 이상용, 2006 : 조주현, 2006 : 중소기업 중앙회, 2007)를 제시하였으므로 본 연구에서도 환경규제가 공급사슬관리 성과에 정(+)의 영향을 미치는가의 가설 H-4를 검증하여보고 더불어 친환경공급사슬관리 변수인 친환경 제품설계 및 회수물류를 통하여서는 더 나은 성과를 달성할 수 있을 것이라고 판단하고 다음과 같은 가설 H4-1과 H4-2를 수립하고 이를 검증하여 보고자 하였다.

본 연구에서 검증하고자 하는 연구가설의 세부내용 및 회귀식

의 종합현황은 표 4.에 제시하였다.

4. 가설검정 결과

4.1. 연구 방법론

4.1.1. 표본 설계 및 주요 설문 내용

본 연구에서 제시된 가설을 검증하기 위한 자료조사의 대상은 공급사슬의 전 단계에 걸쳐서 공급사슬관리 및 친환경공급사슬관리를 실행하는 기업을 대상으로 하여 환경경영시스템 인증기업, 환경마크 보유기업, 환경친화지정 기업 등을 중심으로, 특히 각종 논문이나 신문에서 친환경공급사슬관리 사례를 제시한 기업을 되도록 조사하고 이들 기업에서 설문지를 받을 수 있도록 하였다.

설문의 구성은 환경규제 6항목, 친환경 제품설계 3항목, 회수물류 5항목, 공급사슬관리 성과 5항목, 환경 혁신성 5항목, 일반 현황 5항목으로 총 29 항목으로 구성되었으며, 각각의 항목은 앞서 표 3.에서 제시한 조작적 정의와 참조문헌을 통하여 구성되

표 4. 연구가설의 세부내용 및 회귀식 종합

H1-1	환경규제는 친환경 제품설계에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $DfE = \alpha + \beta 1ER$
H1-2	환경규제는 회수물류에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $RL = \alpha + \beta 1ER$
H2	친환경 제품설계와 회수 물류는 공급사슬관리 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $SCEMP = \alpha + \beta 1DfE + \beta 2RL$
H2-1	친환경 제품설계는 공급사슬관리 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $SCMP = \alpha + \beta 1DfE$
H2-2	회수물류는 공급사슬관리 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $SCMP = \alpha + \beta 1RL$
H3-1	친환경 제품설계가 공급사슬관리 성과에 미치는 영향은 환경혁신성이 높을수록 높을 것이다. $SCMP = \alpha + \beta 1DfE + \beta 2EI + \beta 3DfE*EI$
H3-2	회수물류가 공급사슬관리 성과에 미치는 영향은 환경혁신성이 높을수록 높을 것이다. $SCMP = \alpha + \beta 1RL + \beta 2EI + \beta 3RL*EI$
H4	환경규제는 공급사슬관리 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $SCMP = \alpha + \beta 1ER$
H4-1	친환경 제품설계는 환경규제와 공급사슬관리 성과 사이에서 매개역할을 할 것이다. $SCMP = \alpha + \beta 1ER + \beta 2DfE$
H4-2	회수 물류는 환경규제와 공급사슬관리 성과 사이에서 매개역할을 할 것이다. $SCMP = \alpha + \beta 1ER + \beta 2RL$

었다.

설문 응답은 해당기업의 환경관련 업무부서나, 공급사슬관리 업무를 담당하는 직원으로 되도록 상위 직책에 있는 직원에게 주로 의뢰하여 수집하였으며, 특히 중소기업은 기업의 전반적인 경영상황을 가장 잘 파악하고 있는 최고 경영자와 부장급 이상 직위에서 설문 답변이 비교적 많이 수집되었다. 또한 기업 당 1개의 설문을 받는 것을 원칙으로 하였지만 국내의 대기업으로서 하나의 기업에 독립적으로 여러 개의 사업 부문이 명확하게 구별되는 경우에는 사업 부문별로 설문을 진행하여 의견을 수렴하였다.

4.1.2. 자료조사 대상 및 방법

설문의 각 항목은 리커트 7점 척도로 조사하였으며, 조사기간은 2009년 10월 10일부터 2010년 1월 10일까지이며, 해당 기업을 직접방문하거나 e-mail을 통하여 설문지를 450부를 배포하고 그 중 22.2%에 해당하는 101개사가 11월 초부터 말까지 설문에 응답을 해 주었다. 설문지는 1차로 79부, 2차로 22부를 회수하였다. 회수된 설문지 총 101부중 4부는 회수 공급사슬에 관한 항

목에서 답변이 누락되어 제거하였고, 3부는 규모와 친환경공급사슬관리에서 너무 현격한 차이를 보여 제거하여 총 94부를 연구에 활용하였다. 그리고 연구변수의 통계처리는 SPSS 17.0을 활용하여 연구를 진행하였다. 설문조사 결과 표본 집단의 특성은 표 5.와 같다.

4.2. 상관관계 및 신뢰성과 타당성 분석

4.2.1. 기술 통계량 및 상관관계

변수들의 기술 통계량 및 상관관계는 다음의 표 6.에 나타내었다. 기술 통계량을 살펴보면 전반적으로 응답기업의 환경규제와 친환경 제품설계, 회수물류는 평균(4.00)보다 높게 나왔다. 따라서 조사대상 기업들의 친환경 공급사슬관리를 위한 기본적인 요인으로서 환경규제의 평균점수가 높으므로 기업들이 환경규제의 중요성을 인식하고 있으며 또한 잘 준수하고 있는 것으로 판단되어 환경규제에 대한 정부당국의 적절한 개발과 시행으로 기업들의 자발적인 참여 유도를 이끌 수 있으며, 외부효과로도

표 5. 표본 응답자의 특성 및 업종, 규모

직위	대리 이하	과장 이하	부장 이하	이사 이하	CEO	합계(%)
	-	31(33.0)	31(33.0)	21(22.3)	11(11.7)	94(100)
근속년수	5년 이하	7년 이하	10년 이하	15년 이하	15년 이상	합계(%)
	16(17.0)	12(12.8)	13(13.8)	27(28.7)	26(27.7)	94(100)
부서	영 업	생 산	환 경	재 무	기 타	합계(%)
	20(21.3)	22(23.4)	3(3.2)	11(11.7)	38(40.4)	94(100)
업종빈도 (%)	화학, 석유 외	제약	섬유, 피혁 외	제지, 펄프	철강, 비철	-
	8(8.5)	5(5.3)	5(5.3)	2(2.1)	4(4.3)	
	금속소재	조립금속	전자, 통신	전기, 기구 외	자동차 외	
	5(5.3)	8(8.5)	17(18.1)	5(5.3)	4(4.3)	
	조선, 기계 외	의료정밀	가구, 사무용품	음식료품	기 타	합계(%)
	6(6.4)	2(2.1)	10(10.6)	10(10.6)	3(3.2)	94(100)
규모	대기업	54(57.4)	중소기업	40(42.6)	합계(%)	94(100)

표 6. 기술통계량 및 상관계수

구 분	1	2	3	4	5
1. 환경규제(ER)	1				
2. 친환경 제품설계(DfE)	.584**	1			
3. 회수 물류(RL)	.341**	.379**	1		
4. 공급사슬관리 성과(SCMP)	.756**	.531**	.478**	1	
5. 환경 혁신성(EI)	.390**	.210*	.298**	.343**	1
평균(Mean)	5.23	5.44	4.15	4.42	5.15
표준편차(Deviation)	1.53	1.24	1.72	1.26	1.15

** p < 0.01 수준에서 유의, * p < 0.05 수준에서 유의

표 7. 각 변수들에 대한 신뢰성 및 타당성 분석 결과

구성 개념	요인 적재량(Factor Loading)					고유 값 (설명된 분산의 %)	Cronbach's α
	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분		
환경 규제 (ER)	.721	.164	.163	.326	.267	5.619 (23.412)	.967
	.865	.165	.214	.192	.223		
	.893	.178	.199	.174	.088		
	.854	-.008	.172	.289	.222		
	.837	.120	.182	.333	.214		
	.806	.071	.125	.291	.326		
친환경 제품설계 (DfE)	.280	.106	.121	.313	.7582	.800 (11.666)	.901
	.242	.213	-.034	.000	.894		
	.363	.192	.116	.193	.817		
회수 물류 (RL)	.216	.911	.073	.117	.0774	.505 (18.771)	.958
	.198	.902	.128	.141	.087		
	.228	.922	.118	.138	.004		
	-.060	.857	.158	.102	.271		
	-.007	.847	.158	.246	.197		
공급사슬관리 성과 (SCMP)	.337	.301	.117	.613	.4463	.419 (14.246)	.943
	.368	.110	.043	.772	.255		
	.547	.238	.195	.713	.075		
	.306	.256	.200	.823	.081		
	.539	.253	.104	.711	.068		
환경 혁신성 (EI)	.238	.094	.849	.049	.0344	.308 (17.949)	.947
	.093	.065	.883	.140	.042		
	.187	.124	.881	.067	-.018		
	.105	.159	.900	.094	.060		
	.139	.138	.902	.091	.124		

작용하고 있으므로, 환경규제가 친환경공급사슬관리 요인으로서 친환경 제품설계와 회수물류를 위한 중요한 선행요인이라는 것을 알 수 있다.

하지만 회수 물류가 평균 4.15로 낮게 나타나고 있다는 것은 현재 기업이 회수 물류에는 크게 관심을 기울이고 있지 않고 있는 것으로 판단하였다.

또한 연구변수들의 상관관계를 알기위한 상관계수를 살펴보면 최저 .210에서 최대 .756을 보여 연구 진행에는 문제가 없는 것으로 판단하였다.

4.2.2. 신뢰성 및 타당성 분석 결과

본 연구 모형을 구성하는 변수들의 요인별 내적 일관성 여부를 판단하기 위해 Cronbach's α 값을 이용한 신뢰성 검정을 하였고, 요인분석으로 고유값을 추출하였다. 그리고 주성분분석(PCA)중 요인 사이에 독립성을 가정한 배리맥스 직각회전 방식

으로 타당성을 검정하였다. 신뢰성 및 타당성 검정결과는 표 7.에 나타내었다.

먼저 신뢰성분석 결과는 대부분의 변수들의 신뢰성계수가 .90 이상으로 나타나 매우 높은 신뢰성을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 변수들 간의 누적된 설명력은 총 86.044%를 보여 높은 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

4.3. 가설검정 결과

4.3.1. 환경규제와 친환경공급사슬관리의 가설검정 결과

환경규제를 독립변수로 하고, 친환경공급사슬관리의 친환경 제품설계와 회수물류를 종속변수로 하여 회귀분석을 실시 결과를 위의 표 8.에 나타내었다.

검정결과 연구가설 H1-1, H1-2는 모두 유의한 것으로 나타났으며, 환경규제는 친환경 제품설계와 회수 물류에 정(+)의 영향을

표 8. 환경규제와 친환경공급사슬관리 간의 회귀분석 결과 종합

가설	독립 변수	종 속 변 수			표준화 계수 및 유의확률		
			DfE	RL	베타	t값	유의확률
H1-1	ER	R^2 , (p-val)	.341 (.000)		.584	6.902	.000
H1-2	ER	R^2 , (p-val)		.116(.001)	.341	3.482	.001

표 9. 친환경공급사슬관리와 공급사슬관리 성과 간의 회귀분석 결과 종합

가설	독립 변수	종 속 변 수		표준화 계수 및 유의확률		
			SCMP	베타	t값	유의확률
H2	DfE	R^2 , (p-val)	.371(.000)	.408	4.545	.000
	RL			.323	3.599	.001
H2-1	DfE	R^2 , (p-val)	.282(.000)	.531	6.007	.000
H2-2	RL	R^2 , (p-val)	.229(.000)	.478	5.220	.000

미치고 있다는 것을 알 수 있다. 세부적으로 살펴보면 환경규제는 회수 물류($\beta=.341$)보다 친환경 제품설계($\beta=.584$)에 더 높은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 안중우 외(2005)에서 제시한 것처럼 환경규제 및 정책이 제품에 초점을 맞추는 방향으로 변화하고, 이병욱 외(2009)에서 제시한 것처럼 국내 환경규제의 대부분이 제조과정에서 발생하는 오염 배출물에 대한 지표를 중심으로 관리되고 있기 때문에 기업들이 제품의 설계 및 제조 과정에 대한 개선에 집중하기 때문이라는 결과와 유사하다고 할 수 있다.

또한 회수물류에 대한 환경규제의 영향력이 친환경 제품설계와 비교해서는 비교적 낮으므로 인해 회수물류를 강화하기 위한 환경규제의 도입 및 시행이 필요하다는 것을 알 수 있다.

4.3.2. 친환경공급사슬관리와 공급사슬관리 성과의 가설검정 결과

친환경공급사슬관리를 독립변수로 하고, 공급사슬관리 성과를 종속변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과는 아래의 표 9.에 나타내었다.

검정결과 연구가설 H2, H2-1, H2-2는 모두 유의한 것으로 나타났다. 즉, DfE와 RL은 SCMP에 정(+)의 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 세부적인 내용을 살펴보면 DfE($\beta=.408$)가 RL($\beta=.323$) 보다 더 높은 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

이는 앞서 제시한 것처럼 연구대상 기업들은 친환경공급사슬관리 요인으로 친환경 제품설계에 더 많은 관심을 가지고 있고, 이러한 친환경 제품설계가 공급사슬관리 성과에 더 많은 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다.

4.3.2. 친환경공급사슬관리와 공급사슬관리 성과의 가설검정 결과

친환경 제품설계, 환경 혁신성, 친환경 제품설계*환경 혁신성 및 회수물류, 환경 혁신성, 회수물류*환경 혁신성을 독립변수로 하고, 공급사슬관리 성과를 종속변수로 하여 다중회귀분석을 실시한 결과는 다음의 표 10.에 나타내었다.

검정결과 환경 혁신성은 친환경공급사슬관리와 공급사슬관리 성과 사이에서 환경 혁신성이 높을수록 공급사슬관리 성과도 높을 것이라는 조절변수로서의 역할을 하지 않는 것으로 나타나 연구가설을 기각할 수밖에 없었다. 그러나 베타계수의 값이 양(+)의 부호를 가지고 있으므로 더 많은 표본 자료를 이용하여 검정하거나, 환경 혁신성이 높은 기업과 낮은 기업을 구분하여 환경 혁신성이 높은 기업만을 대상으로 하여 검정하여 본다면 또 다른 결과가 나타날 수 있을 것이다.

4.3.4. 친환경공급사슬관리의 매개효과 검정 결과

환경규제와 공급사슬관리 성과 사이에서 친환경공급사슬관리의 매개역할에 대한 검정결과는 다음의 표 11.에 나타내었다.

세부적으로 살펴보면 친환경공급사슬관리 세부변수인 친환경 제품설계는 수정된 R^2 값의 변화가 거의 없으며, 베타계수가 유의하게 나타나지 않아($p=.108$) 매개변수의 역할을 하지 않는 것으로 판단하여 가설 H4-1을 기각할 수밖에 없었다. 반면 회수물류는 수정된 R^2 값이 증가($+0.051$)하고 있고, 베타계수도 유의하게 나타나($p=.000$) 환경규제와 공급사슬관리 성과 사이에서 매개변수의 역할을 하는 것으로 나타났다.

그리고 개별기업에 적용되고 있는 환경규제가 공급사슬관리 성과에 직접적인 정(+)의 영향을 미치고 있으므로(가설 H-4 지

표 10. 환경 혁신성의 조절역할 검정 결과

가설	회귀식	R ²	AdjR ²	AdjR ² 변화량	F-val (p-val)	표준화 계수 및 유의확률		
H3-1	SCMP = $\alpha + \beta 1 DfE$	.282		.274	36.088(.000)	DfE .531(.000)	EI	DfE*EI
	= $\alpha + \beta 1 DfE + \beta 2 EI$	.338	.323	+.049	23.212(.000)	.480(.000)	.242(.007)	
	= $\alpha + \beta 1 DfE + \beta 2 EI + \beta 3 DfE*EI$	.338	.316	+.042	15.307(.000)	.455(.216)	.218(.541)	.039(.943)
H3-2	SCMP = $\alpha + \beta 1 RL$	.229	.220		27.252(.000)	RL .478(.000)	EI	RL*EI
	= $\alpha + \beta 1 RL + \beta 2 EI$	.273	.257	+.037	17.051(.000)	.412(.000)	.220(.021)	
	= $\alpha + \beta 1 RL + \beta 2 EI + \beta 3 RL*EI$	.275	.251	+.031	11.375(.000)	.149(.767)	.099(.686)	.325(.592)

표 11. 친환경공급사슬관리의 매개변수 역할 검정

가설	회귀식	R ²	AdjR ²	AdjR ² 변화량	F-val (p-val)	표준화 계수 및 유의확률		
						ER	DfE	RL
H4	SCMP = $\alpha + \beta 1 ER$	.572	.567		122.787(.000)	.756(.000)		
H4-1	SCMP = $\alpha + \beta 1 ER + \beta 2 DfE$	.584	.575	+.008	63.806(.000)	.677(.000)	.135(.108)	
H4-2	SCMP = $\alpha + \beta 1 ER + \beta 2 RL$	.626	.618	+.051	76.309(.000)	.671(.000)		.249(.000)

지) 앞서 환경규제가 기업의 성과에 정(+)의 영향을 미친다는 Forter(1991), 유상희(1997), 강만옥·임현정(1999), 광대중·한기주·임동순(2002), 이기한(2004), 강만옥·이상용(2006), 조주현(2006) 등의 연구와 유사한 결과이다.

또한 회수물류가 환경규제와 공급사슬관리 성과 사이에서 매개역할을 하고 있으므로 개별 기업은 더 높은 공급사슬관리 성과를 달성하기 위해서는 회수물류를 강화할 필요성이 제기되는 것이다. 앞서 회수물류의 기술통계량이 낮았으므로 기업의 회수물류에 대한 관심이 저조하다고 볼 수 있는데, 이에 대한 정부 당국의 대책이 필요할 것이다.

5. 결론 및 토의

5.1. 연구결과 요약 및 시사점

본 연구는 환경규제, 친환경공급사슬관리 변수로서 친환경 제품설계와 회수물류와 공급사슬관리 성과의 관계를 연구하는 것이 주요목적이었다. 이러한 연구목적을 달성하기 위하여 많은 문헌과 연구 논문을 검토하여 각각의 변수들을 설명할 수 있는 선행연구를 찾아내 변수들 간의 가설을 수립하고 유의한 관계를 검정해 보고자 하였다. 선정된 변수 간의 가설 검정 결과를 살펴보면 아래와 같다.

첫째, H1-1, H1-2는 지지되었으며, 위의 결과는 환경규제가 기업들이 친환경공급사슬관리를 구성 및 시행하는 주요 요인으로 작용하고 있다는 것을 입증하였다고 할 수 있다.

둘째, H2, H2-1, H2-2 역시 지지되었으며, 위의 결과는 공급사슬관리 성과의 달성을 위해서는 본 연구에서 친환경 제품설계, 회수물류를 통해 달성할 수 있음을 입증하였다고 할 수 있다.

셋째, 환경 혁신성의 조절효과를 검정한 H3-1, H3-2는 지지되지 않았다. 하지만 조절효과를 검정한 변수의 계수가 양(+)의 형태를 보임으로서 더 많은 연구 자료를 수집하여 검정하거나 환경혁신성이 높은 집단으로 구분 후 연구한다면 다른 연구결과를 보일 수도 있을 것이라고 판단한다.

마지막으로 매개변수로서 친환경 제품설계 및 회수물류의 역할을 살펴보면 먼저 독립변수인 환경규제는 공급사슬관리 성과에 유의한 영향을 미치고 있으며(가설 H-4 지지), 친환경 제품설계는 매개변수의 역할을 하지 않지만(가설 H4-1 기각), 회수물류는 매개변수의 역할 수행함으로서(H4-2 지지) 회수물류에 의해 더 높은 공급사슬관리 성과를 달성할 수 있음을 입증하였다.

그러나 친환경 제품설계도 더 많은 표본 자료를 확보하여 연구한다면 현재의 연구결과와는 다르게 유의한 결과가 나올 수 있을 것으로 판단한다.

본 연구의 결과는 아래와 같은 시사점을 가진다.

첫째, 기업의 친환경공급사슬관리 구성과 시행을 위해서는 기본적으로 환경규제가 반드시 필요로 하는 선행요인이라는 것을

알 수 있었다. 이는 환경관련 규제를 만들고 시행하는 정부 당국의 역할이 매우 중요함은 물론 정부 당국의 환경규제는 외부효과로서 기업 및 공급사슬 전체에 영향을 미치고 있다는 것을 나타낸 것이라 할 수 있다.

그리고 개별기업 측면에서는 개별기업이 독자적으로 공급사슬관리 전 과정에 걸쳐서 환경관련 규제를 준수할 수 있도록 일일이 확인 감독하는 것은 많은 어려움이 있으므로 기본적으로 환경규제를 준수할 수 있는 환경경영과 공급사슬관리를 결합한 친환경공급사슬관리 요인으로 친환경 제품설계와 회수물류체계를 구축하는 것이 필요하다고 할 것이다.

둘째, 친환경공급사슬관리 변수로서 친환경 제품설계, 회수물류를 통하여 공급사슬관리 성과를 달성할 수 있다는 것을 입증하였다. 또한 회수물류가 매개변수로의 역할도 수행하므로 공급사슬관리 성과 달성에는 회수물류를 통하여 실행하는 것이 더 좋은 결과를 가져올 수 있다는 것을 알 수 있었다.

셋째, 회수물류의 강화가 필요하다. 본 연구의 조사대상 기업들은 회수물류에 적극적이지 않았다. 이는 회수물류의 기술통계량(4.15)과 환경규제가 회수물류에 미치는 영향이 친환경 제품설계보다 낮은 가설 검정결과(H2)에 기인한 것이다. 즉, 기업들이 제품의 반품이나 수명이 종료된 제품의 회수에는 크게 관심을 기울이지 않는다는 측면과 회수와 관련된 업무는 자신의 역할 범위의 외의 업무이며, 부가가치를 생산하지 않는 비용의 측면으로 판단하고 있을 가능성이 높다고 하겠다.

기본적으로 반품이나 수명이 종료된 제품의 회수율이 높고 재활용률이 높아진다면, 기업의 추가적인 원자재 조달 비용의 절감을 가져올 수 있고, 공급사슬 전체의 수익증가 뿐만 아니라 성과의 개선도 달성할 수 있을 것이다. 여기에 정부 당국도 현재의 생산자 책임 재활용 제도나 회수물류를 강화하는 규제나 기업지원 정책이 뒷받침 될 수 있어야 할 것이다.

마지막으로 본 연구를 통해 개별 기업의 환경규제 준수의 노력이 친환경공급사슬관리에 미치는 영향을 살펴봄으로서 환경규제와 기업 및 공급사슬관리 성과를 조화시키는 방안을 제시하였다.

이러한 사실은 기업의 친환경공급사슬관리 전략 수립에 중요한 시사점을 제공한다고 할 수 있다. 즉, 정부당국의 환경규제와 기업의 경쟁력 제고를 위한 조화 방안으로서 친환경공급사슬관리를 구축하고 시행한다면 환경규제와 기업 및 공급사슬성과의 관계가 상호갈등의 관계에서 상호조화를 이룰 수 있는 방안이 될 수 있음을 입증한 것이다.

그리고 정부의 환경관련 업무 담당자에게는 환경규제가 기업에 어떠한 영향을 미치는가 또한 어떠한 방향으로 기업을 이끌고 유인해야 하는지, 환경규제와 기업의 경쟁력을 조화시킬 수 있는 방안에 대한 좋은 시사점을 제공하여 본 연구의 목적을 달성하였

다고 할 수 있다.

5.2. 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구의 주요 한계점 및 향후 연구방향은 아래와 같다.

첫째, 자료조사의 대상이 작았다는 점이다. 설문지에 대한 답변이 어느 한 부서에서만 응답하기에는 힘들어 여러 부서에서 공동으로 답변을 작성하여야 하는 어려움이 있었으며, 공급사슬관리의 개념을 이해하고 적극적으로 공급사슬관리를 적용하는 기업도 많이 있었지만 친환경공급사슬관리의 범위까지 업무의 영역을 확장하여 수행하는 기업은 그렇게 많지는 않았다.

이는 몇몇 대기업을 제외하고는 친환경공급사슬관리의 도입 초기 단계이거나 계획만 보유한 경우가 대부분이어서 설문에 대한 응답과 지연이 많았고, 여기에 따라 설문지의 회수율이 많이 떨어졌다고 생각하며, 본 연구의 결과를 일반화시키는 것에도 한계가 있을 것이라고 판단한다.

둘째, 정부당국에서 환경을 고려한 기업의 활동이 이루어질 수 있도록 여러 가지 규제나 지원책을 제시하고 있지만, 설문에 대한 응답과는 다르게 실제 기업의 입장에서는 아직도 환경과 관련된 규제를 잘 지키지 않는 경향이 있으며, 이러한 규제에 대응하기 위한 투자를 비용으로 생각하는 경우도 많아 일부 대기업을 제외하고는 친환경공급사슬관리가 완전하게 정착되지는 않았다고 판단된다.

또한 조사 대상기업을 전 산업에서 골고루 조사하여 연구 결과를 일반화 시키려고 하였지만 전자 통신장비와 가구 사무용품, 음식료품의 비중이 다른 산업에서 보다 높게 나타나 연구의 결과를 전 산업에 걸쳐서 모든 기업에게 적용하는 데는 다소 무리가 있다. 그러나 어느 한 산업 측면에 국한하여 자료조사 대상을 선정하지는 않았으며 되도록이면 다양한 산업집단을 대상으로 하여 자료를 조사하려고 하였다는 것을 미리 밝혀 둔다.

셋째, 앞서 환경 혁신성의 조절효과 검정에서 제시한 것처럼 환경 혁신성이 높은 집단과 낮은 집단으로 구분 후 가설을 검정하여 본다면 다른 결과가 나타날 수 있으므로 여기에 대한 추가검정을 시행하여야 했으나 개별기업의 환경 혁신성을 구분하는데 따르는 어려움으로 인해 이는 다음 연구로 미루었다.

넷째, 가장 큰 제한 사항으로 기업의 공급사슬관리 성과변수로 5개의 변수로만 나누어 연구하였다. 연구방법적인 측면에서 이러한 변수들에 대한 정밀한 측정을 위해서는 해당기업에서 작성하거나 외부기관에서 평가한 자료를 기반으로 객관적으로 일반화하여 측정하여야 하지만 이러한 성과에 대한 측정을 해당기업에 근무하는 직원을 통해 Likert 7점 척도로 측정하였다는 제한사항이 있다.

마지막으로 본 연구에서 연구한 기업의 친환경공급사슬관리 적용에 따른 공급사슬관리 성과 역시 단기간에 효과가 나타나서 경영성과를 제고시키는 것이 아니다. 지속적인 환경관련 투자와 최고경영자의 관심을 필요로 하는 부분이다. 따라서 현재의 환경 규제와 친환경공급사슬관리 및 공급사슬관리 성과를 측정하였다면 일정 시간이 경과한 후 다시 한 번 측정하여 그 성과를 비교하여 보는 것이 바람직할 것이다.

참고 문헌

- [1] 강만옥 · 이상용(2006), 환경규제가 국내 제조기업의 경쟁력에 미치는 영향, *환경정책*, 제14권 제1호, pp.169~193.
- [2] 강만옥 · 임현정(1999), 환경규제가 경쟁력에 미치는 영향 연구, 한국환경정책평가연구원.
- [3] 광대중 · 한기주 · 임동순(2002), 산업환경규제의 준수비용 분석 및 규제효율 제고 방안 : 대기분야를 중심으로, 연구보고서 제463호, 산업연구원.
- [4] 김남규 · 황금주(2008), 친환경공급망관리가 중소기업의 환경활동에 미치는 영향 분석, *자원 · 환경경제연구*, 제17권 제1호, pp.83~122.
- [5] 김상오(2009), 환경경영이 환경성과와 공급사슬성과에 미치는 영향, *한국생산관리학회지*, 제20권 제1호, pp.33~61.
- [6] 김영주(2004), 친환경공급사슬관리 : 동인, 유형 및 성과, 한국과학기술원 석사학위 논문.
- [7] 김원신(2008), 환경규제가 기업의 재무성과에 미치는 영향, 전남대학교 대학원 석사학위 논문.
- [8] 김정남(2003), 우리나라 기업의 환경성과가 재무성과에 미치는 영향, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문.
- [9] 김정현(2009), 녹색공급사슬관리 도입의 활성화 방안에 관한 사례연구, 성균관대학교 대학원 석사학위 논문.
- [10] 노상환(2004), 환경친화지정기업의 경영성과에 관한 연구, *자원 · 환경경제연구*, 제13권 제3호, pp.499~520.
- [11] 박석하(2005), 환경친화적 물류활동 실태분석, *산학경영연구*, 제18권 제2호, pp.111~131.
- [12] 서동숙(2004), 생산자책임재활용제도의 문제점 및 개선방안에 관한 연구, 광운대학교 환경대학원 석사학위 논문.
- [13] 심한택 · 조정일(2004), 환경오염유발사건이 기업가치에 미치는 영향, *산업경제연구*, 제17권 제1호, pp.311~328.
- [14] 안중우 · 조병옥 · 허탁 · 문국현(2005), 친환경 제품설계, *동화기술*, pp.31~33.
- [15] 에코프런티어(2003), 2003 국제환경규제 대책 세미나 : 선진국형 에코디자인 시스템구축, 산업자원부 기술표준원
- [16] 유상희(1997), 환경규제와 환경정책과의 연계방안, *한국환경경제학회지*, p79~123.
- [17] 이기한(2004), 효율적 환경규제 정책수단 비교 연구, *환경법연구*, 제26권 제3호, pp.117~150.
- [18] 이미홍(2002), 환경정책의 강도와 형태가 산업계의 환경혁신에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원, 박사학위논문.
- [19] 이병욱(1997), *환경경영론*, 서울, 비봉출판사.
- [20] 이병욱 · 황금주 · 김남규(2009), *환경경영, 에코리브르*.
- [21] 이정희(2008), 친환경 공급사슬관리가 환경성과에 미치는 영향에 관한 연구, 홍익대학교 대학원 박사학위 논문.
- [22] 이종건(2001), 구매-공급 협상에서의 협상성과 결정요인 : 협상자 개인특성, 협상 상황, 협상전략에 관한 실증연구, 연세대학교 대학원 경영학과 박사학위 논문.
- [23] 이종건 · 박현준(2004), 협상자 개인특성과 협상성과 : 협상자 역할을 고려한 실증연구, *경영학연구*, 제33권, 제2호, pp.325~347.
- [24] 이종철(2003), 국내제조기업의 환경친화적 공급사슬관리에 관한 사례연구, 한국과학기술원 석사학위 논문.
- [25] 전준수 · 김대진(2005), 회수물류의 전략적 활용방안을 위한 고려요인에 관한 연구, *해운물류연구*, 제47호, pp.127~149.
- [26] 정기한 · 허미옥 · 신재익(2004), 기업의 사회적 책임, 이미지, 신뢰, 몰입, 고객충성도간의 관계에 관한 연구, *한국비영리연구*, 제7권 제1호, pp.161~202.
- [27] 정용기 · 김선화(2009), 기업의 환경규제위반이 경영성과에 미치는 영향, *한국경영학회 통합학술대회*, pp.1~22.
- [28] *자원의절약과재활용촉진에관한법률시행령*, 2009, 대통령령 제21958호.
- [29] 조주현(2006), *환경규제강화와 경쟁력*, (주)한국학술정보.
- [30] 조주현 · 이영수 · 차근호(2004), 환경규제강화와 생산성 분석 : 간접효과와 직접효과를 중심으로, *산업조직연구*, 제12권, 제1호, pp.21~62.
- [31] 중소기업중앙회(2007), 2007수출중소기업의 해외 환경규제 대응 실태 조사 보고서.
- [32] 차경훈(2006), 기후변화협약의 교토메카니즘에 대한 에코효율성 접근 방법 연구, 건국대학교 대학원 석사학위 논문.
- [33] 한완선(2004), 환경성과와 재무성과, *산업경제연구*, 제17권 제5호, pp.1877~1891.
- [34] 홍상태 · 강경식 · 김현수(2006), 환경친화적 물류활동이

- 물류관리 성과에 미치는 영향, *해운물류연구*, 제48호, pp.97~115.
- [35] Achrol, R. S. and Reve, T and Stern, L. W.(1983), The Environment of Marketing Channel Dyads : A Framework for Comparative Analysis, *Journal of Marketing*, Vol. 47(Fall), pp.55~67.
- [36] Al-Tuwaijri, S. A. and Christensen, T. E. and Huges, K. E.(2004), The Relations among Environmental Disclosure, Environmental Performance, and Economic Performance : A Simultaneous Equations Approach, *Accounting, Organization and Society*, 29, pp.447~471.
- [37] Banerjee, S.(2001), Managerial Perceptions of Corporate Environmentalism : Interpretations from Industry and Strategic Implications for Organizations, *Journal of Management Studies*, Vol. 38(4), pp.489~513.
- [38] Bor, J. M. and Blom, J. A. G.(1994), Environmental Product Development Becomes Business, *Journal of Engineering Design*, Vol. 5(1), pp.55~63.
- [39] Carter, C. R. and Ellram, L. M.(1998), Reverse Logistics : A Review of the Literature and Framework for Future Investigation, *Journal of Business Logistics*, Vol. 19(1), pp.85~102.
- [40] Dasgupta, S. and Hong, J. H. and Laplante, B. and Mamingi, N.(2006), Disclosure of Environmental Violations and Stock Market in the Republic of Korea, *Ecological Economics*, Vol. 58(4), pp.759~777.
- [41] Erfle, S. and Fratantuono, M.(1992), *Interrelations among Corporate Social Performance, Social Disclosure, and Financial Performance : An Empirical Investigation*, In *Alternative Perspectives on Finance*, Bucknell University.
- [42] Griffin, J. J. and Mahon, J. F.(1997), The Corporate Social Performance and Corporate Financial Performance Debate : Twenty-Five Years of Incomparable Research, *Business and Society*, Vol. 36(1), pp.5~31.
- [43] Lewicki, R. J., Saunders, D. M, Minton, J. W.(1999), *Negotiation 3rd ed*, New York : McGraw-Hill.
- [44] Porter, M. E.(1991), *America's Green Strategy*, Scientific American, 264, Apr, p.168.
- [45] Purba, R.(2002), Greening the Supply Chain : A New Initiative in South East Asia, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 22(6), pp.632~655.
- [46] Roome, N.(1998) *Sustainability Strategies for Industry : The Future of Corporate Practice*, Island Press.
- [47] Sarkis, J. (2003), A Strategic Decision Framework for Green Supply Chain Management, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 11(4), pp.397~409.
- [48] Waddock, S. A. and Graves, S. B.(1997), The Corporate Social Performance-Financial Performance Link, *Strategic Management Journal*, Vol. 18(4), pp.303~319.
- [49] Walton, S. V. and Handfield, R. B. and Melnyk, S. T.(1998), The Green Supply Chain : Integrating Suppliers into Environmental Management Process, *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol. 34(2), pp.2~11.



박찬권

충북대학교 사회학과 학사
충남대학교 경영학과 석사
현재 : 경북대학교 대학원 박사과정
관심분야 : SCM, 운영관리, 물류유통



김채복

고려대학교 산업공학과 학사
고려대학교 산업공학과 석사
School of Industrial Engineering,
University of Oklahoma 박사
현재 : 경북대학교 경영학부 교수
관심분야 : 서비스운영관리, 물류,
제량경영

컨테이너터미널에서 선석계획과 안벽크레인할당의 동시 결정*

이원봉* · 구평회**†

*다다C&C · **부경대학교 시스템경영공학과

Simultaneous Determination of Berth Schedule and Quay Crane Allocation

Won-Bong Lee* · Pyung-Hoi Koo**†

*DadaC&C

** Dept. of Systems Management & Engineering, Pukyong National University

This paper addresses berth scheduling and quay crane (QC) allocation problems in seaport container terminals. Identifying the berth and QCs as bottleneck resources, we present an optimization model to simultaneously determine the berth schedule and QC allocation, with the objective of minimizing ship turnaround time. Since the optimization model is a NP-hard, a GA(genetic algorithm)-based berth scheduling procedure is proposed to solve real problems. Numerical experiments are performed to verify the performance of the proposed models. Experimental results show that our study can drive a berth schedule and QC allocation decision of satisfactory quality.

Keywords: Berth planning, quay crane allocation, genetic algorithm, container terminal

1. 서론

컨테이너터미널에서는 여러 종류의 물류자원이 협력하여 컨테이너를 배에 싣고(적하) 내리는(양하) 작업을 수행한다. 컨테이너터미널의 중요한 물류자원으로는 선석(berth), 안벽크레인, 야드크레인, 리치스태커, 야드트럭, 야드공간 등을 들 수 있다. 컨테이너 처리는 이러한 여러 물류자원이 상호 연계하는 복잡한 물류할

동에 의해서 수행된다. 이러한 자원 중에서 항만의 생산능력을 결정하는 가장 중요한 자원은 선석이다. 선석은 선박이 접안 할 수 있는 장소로서 막대한 투자비용으로 인하여 크기가 제한적이며, 따라서 컨테이너항의 능력을 선석의 규모로 표현하기도 한다. 일단 선석의 규모가 정해져 있는 컨테이너터미널에서는 안벽크레인(QC: quay crane)이 생산능력을 결정하는 자원이다. 안벽크레인은 안벽을 따라 설치되며 컨테이너의 적하 및 양하 작업을 담당하는 하역장비이다(그림 1 참조). 안벽크레인은 가격이 고가이기 때

* 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2008-313-D01220)

† **Corresponding author:** Dept. of Systems & Management Engineering, Pukong National University,

San100 Yongdang Namgu, Busan, 608-739, Korea.

TEL : 82-51-629-6485 FAX : 82-51-629-6478 E-mail : phkoo@pknu.ac.kr

* 2010년 7월 5일 투고, 8월 2일 게재 확정.

문에 여유 있게 보유할 수 없고, 차지하는 공간의 크기와 상호간섭으로 인하여 단일 선박에 동시에 작업할 수 있는 크레인의 수가 제한적이다.



그림 1. 컨테이너터미널에서 작업 중인 안벽크레인

컨테이너터미널의 경쟁력은 컨테이너선을 얼마나 신속하게 처리할 수 있는가에 달려있다. 이와 관련하여 컨테이너선이 항만에 도착하여 물류서비스를 받고 다시 목적지로 출발할 때까지의 시간을 나타내는 선박체류시간은 선석계획과 안벽크레인 할당에 대한 결정에 있어서 주요 생산성지표로서 인식되고 있다(Kim, 2007). 선박체류시간은 도착 후 선석이 할당될 때까지 기다리는 선석대기시간과 선석이 할당된 후 접안하여 물류서비스를 받는 접안시간으로 구성된다. 컨테이너터미널이 경쟁력을 확보하기 위해서는 이 두 가지의 시간을 최소화해야 한다. 대기이론(queueing theory)을 통해 알 수 있듯이 서비스시간(접안시간)을 빠르게 하면 자원을 대기하는 시간(선석대기시간)을 줄일 수 있다. 따라서 선박의 체류시간을 줄이기 위해서는 자원을 최대한 활용하여 서비스시간을 줄이는 것이 필요하다.

항만에서는 동시에 여러 척의 컨테이너선이 접안하여 컨테이너의 적/양하 작업을 수행한다. 컨테이너선이 항만에 도착하면 언제 어느 장소에서 서비스 받아야 할지 결정되어야 한다. 이러한 결정은 선석계획(berth scheduling) 절차를 통하여 결정된다. 처리해야 할 선박의 사이즈와 도착시간이 각기 다른 상황에서 어떤 선박을 안벽의 어느 위치에 어떤 시점에 배정하는가에 따라 선석의 활용도에 차이가 난다. 또한 동시에 여러 척의 배가 접안하여 물류작업이 수행되므로, 각 안벽크레인과 어떤 컨테이너선에서 작업할 것인지 결정되어야 한다. 안벽크레인을 선박에 할당하는 것은 안벽크레인 할당(QC allocation) 절차를 통하여 결정된다. 항만에는 안벽크레인의 대수가 제한적이므로 이에 대한 효율적인 활용이 항만 생산성에 중요한 역할을 한다. 지금까지 대부분 선석스케줄과 안벽크레인할당 문제는 그 복잡성으로 인하여 각기 별개로 의사결정이 수행되어 왔다. 즉 각 선박에 안벽 크레인을 우선 배정하고, 이를 기반으로 하여 선석계획을 작성한다. 그러나 이와 같

은 순차적인 의사결정은 부분적으로 각 자원의 활용도를 높일 수는 있으나 시스템적인 측면에서 체류시간의 단축이라는 목표에는 미흡한 결과를 도출할 수 있다는 단점이 있다. 본 논문에서는 선석계획과 안벽크레인할당에 대한 의사결정을 동시에 수행하는 방안을 제시함으로써 항만시스템의 생산성을 높이고자 한다.

2. 기존 연구

선석에 대한 스케줄은 일반적으로 비연속적(discrete)인 상황과 연속적(continuous)인 상황에서 각각 연구가 되어오고 있다. 초창기 대부분의 선석스케줄문제(BSP: Berth Scheduling Problem)에 대한 연구는 한 선석에 하나의 선박만이 정박할 수 있는 비연속적인 선석을 가정하고 있다. Lai & Shih(1992)는 FCFS(first-come-first-served) 전략 하에서 항만 운영 합리화를 위한 BSP 휴리스틱을 개발하였다. Imai et al.(1997)는 항만의 생산성을 위해서는 FCFS가 최선이 아니라는 것을 보이고, 계획기간내의 모든 선박이 처음부터 도착해 있는 정적인 상황에서 선석의 생산성을 최대화 하는 방안을 제시하였다. 후에 Imai et al.(2001)는 선박이 계획기간 중에 도착하는 동적인 상황에서의 BSP를 다루었다. 여기서 BSP의 목적은 접안 대기시간과 접안시간을 포함한 선박의 총 체류시간을 최소화 하는 것이다. Nishimura et al.(2001)은 수심에 따른 선박 접안 장소 제약을 추가하여 Imai et al.(2001)의 연구를 발전시켰다. 최근 Imai et al.(2008a)는 대형 컨테이너선에 적합한 톱니모양의 터미널에서의 BSP 문제를 위해 유전알고리즘을 활용한 방안을 제시하고, 기존의 터미널과 톱니모양의 터미널의 수행도를 비교분석하였다. Hansen et al.(2008)은 컨테이너선 처리 비용을 대기비용, 지체비용 및 처리비용으로 구분하고 이들의 합을 최소로 하는 모델을 제시하고, 실제적인 문제를 해결하기 위해서 variable neighborhood search를 기반으로 하는 휴리스틱을 제시하였다. Imai et al.(2008b)은 부하율이 높은 컨테이너터미널에서 선석을 효율적으로 운영하는 방안과 일정한 대기시간을 초과하는 선박을 외부 항만에 배정하는 방안에 대한 연구를 수행하였다.

이상에서의 연구는 안벽을 몇 개의 선석으로 나누고 계획하는 비연속적 선석환경을 다루고 있다. 연속적인 선석 환경에서는 안벽을 연속적인 직선으로 가정하고 선박에 할당한다. 비연속적 BSP와 비교하면 유휴공간으로 남아있는 공간을 활용하여 생산성을 증대시키는 효과가 있다. Lim(1998)은 연속적인 안벽 상황에서 동시에 접안 한 선박의 길이의 합을 최소가 되도록 하는 방안을 제시하였다. 이후, makespan의 최소화 (Li et al., 1998), 완료시간 합의 최소화 (Guan et al., 2002), 지체비용과 최적위치

로부터의 위치관련 비용의 최소화 (Park & Kim, 2002) 등을 목적으로 하는 여러 휴리스틱이 연구되었다. Guam & Cheung(2003)은 체류시간을 최소로 하는 최적화 모형과 하한값(lower bound)을 제시하고 이를 기반으로 tree search를 기반으로 하는 휴리스틱을 제안하였다. Kim & Moon(2003)은 Park & Kim(2002)에서의 subgradient optimization 방법 대신에 simulated annealing을 이용한 휴리스틱을 제시하였다. 부산항은 안벽의 활용도를 높이기 위하여 하나의 선석을 복수의 컨테이너선이 동시에 접안할 수 있도록 하는 연속적인 형태로 운영된다. 따라서 본 논문에서는 국내 컨테이너항의 생산성 향상을 위하여 연속적인 선석 형태를 대상으로 한다.

안벽크레인에 대한 기존의 연구는 안벽크레인이 처리할 컨테이너의 순서를 결정하는 순서계획문제와 안벽크레인을 어떤 선박에 할당할 것인가를 결정하는 할당문제가 주를 이루고 있다. Bish(2003)는 컨테이너를 운반할 자물야드트럭과 저장할 야드 위치를 고려하여 컨테이너의 양하 작업 순서를 결정하는 모형을 발표하였다. Kim et al.(2004)은 안벽크레인 스케줄과 야드맵을 바탕으로 개별 컨테이너의 적하작업 순서를 결정하기 위한 방안을 연구하였고, 정다훈 등(2006)은 장치장의 현황정보를 고려하여 안벽크레인의 일정계획을 수립하는 방안을 발표하였다. 안벽크레인 할당문제(CAP: Crane Allocation Problem)에 대한 연구는 상대적으로 그리 많지 않다. 안벽크레인은 안벽과 평행한 직선형 트랙을 따라 이동하므로 다른 안벽크레인을 넘어서는 작업할 수 없는 특징이 있다. Daganzo(1989)는 여러 대의 선박 작업을 수행하기 위한 안벽크레인의 일정계획문제를 다루는 연구를 처음으로 시도하였고, 후에 Peterkofsky & Daganzo(1990)은 선박의 지연시간을 최소화 하도록 출항시간과 안벽크레인의 할당대수를 결정하는 문제에 대하여 최적화 모형을 개발하고 branch and bound를 이용하여 크레인을 할당하는 방안을 제시하였다. Kim & Park(2004)은 특정 컨테이너선에 할당된 크레인에 대한 스케줄링 방안을 연구하였다.

BSP와 CAP를 동시에 다루는 연구는 Park & Kim(2003)에서 찾아볼 수 있다. 이들은 연속적인 선석 상황에서 2-phase를 기반으로 하는 절차를 제시하였다. Phase 1에서는 각 선박의 접안 시간 및 위치를 결정하고 시간대별로 각 선박에 크레인의 수를 할당한다. 선박체류시간은 할당된 크레인의 수에 영향을 받는다고 가정하고, 선박의 위치에 대한 페널티 비용, 선박의 조기 및 지연 접안에 대한 비용, 그리고 출발일을 어기는 페널티 비용을 최소화 하는 선석계획을 수립하는 subgradient optimization 기법을 적용한 절차를 제시하였다. Phase 2에서는 동적계획법을 이용하여 각 안벽크레인이 어떤 선박에서 작업해야 하는 지를 결정한다. Park & Kim(2003)은 BSP와 CAP를 함께 다루고 있으나, BSP

에서 선석계획을 먼저 결정한 후에 CAP에서 개별 크레인을 선박에 할당하는 순차적인 절차를 따르고 있다.

본 논문에서는 BSP단계에서 CAP를 고려한 BSP-CAP 통합 모형을 제시하고자 한다. 본 논문의 구성은, 우선 3절에서 선석계획 문제의 특성과 안벽크레인의 할당 방식에 대한 문제를 기술하고, 문제의 특징을 반영하여 선박의 총 체류시간을 최소화 하는 최적화 모형을 개발한다. 다음, 4절에서는 실제 복잡한 문제의 해결을 위하여 유전알고리즘을 기반으로 하는 선석계획 절차를 제시하고, 5절에서는 제시한 최적화 모형과 유전자알고리즘 기반의 선석계획을 예를 들어 설명하고, 6절에서는 실험을 통하여 제시된 방안의 수행능력을 비교분석한다. 마지막으로 결론과 향후 연구 방향을 논한다.

3. 선석계획 및 QC할당 최적화 모형

그림 2는 안벽에 접안 될 컨테이너선의 접안 시간과 접안 위치를 보여주는 선석스케줄을 간트차트 형태로 보여주고 있다. 대상 시스템은 선석길이가 22이고 안벽크레인은 10대가 있다고 가정한다. 여기서 세로축은 안벽(선석)자원의 위치를 나타내며 가로축은 시간을 나타낸다. 시간-공간으로 구성된 블록(이후 선박블록이라 칭함)은 컨테이너선을 의미하며, 선박블록 높이는 해당 선박이 정박할 안벽의 길이를 의미하며 폭은 정박 할 기간을 의미한다. 선박블록 내의 숫자는 컨테이너선 번호를 의미하고 괄호 안의 숫자는 할당된 안벽크레인의 수이다. 예를 들어 컨테이너선 5는 안벽 0-11의 위치에 시간 5에 정박하며 4대의 안벽크레인이 컨테이너를 처리하고 시간 8에 처리가 완료된다는 것을 의미한다. 그림에서 빗금 친 부분은 안벽에 컨테이너선이 접안해 있지 않고 유향상태인 상황을 나타낸다. 앞에서도 언급하였지만 항만의 능력

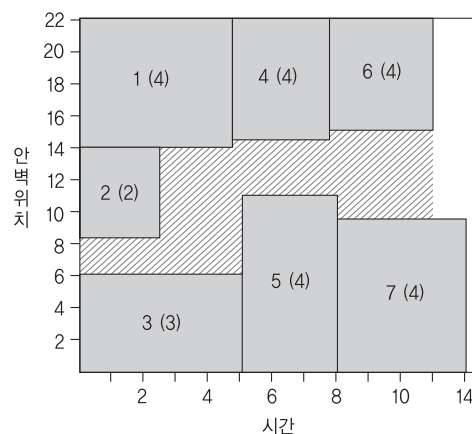


그림 2. 간트차트 형태로 표현한 선석계획

을 결정하는 가장 핵심적인 자원은 안벽이다. 따라서 이 안벽 자원은 최대한 활용 되어야 하나 그림에서 많은 부분이 사용되고 있지 않음을 볼 수 있다.

선석스케줄 문제에서 빗금 친 부분을 최소화 하는 문제는 cutting stock 문제와 유사하다. Cutting stock 문제는 여러 물품을 효율적인 방법으로 박스에 넣는 문제이다. 항만에서의 BSP는 선박블록을 효율적으로 시간-공간 좌표에 넣는 것이 목적이다. 그러나 BSP는 아래와 같이 여러 면에서 cutting stock 문제와 다르다.

- (1) 선석스케줄에서는 cutting stock 문제에서와 같이 선박블록을 90° 회전하여 배치시킬 수 없다.
- (2) 각 선박은 도착하는 시간이 다르므로 선박블록의 시간축의 위치는 도착시간 이후여야 한다. 또한 각 선박은 출항 due date가 존재하는 경우가 대부분이다.
- (3) 선박이 도착한 후 접안까지는 외항에서 대기해야 하고 이때 비용이 발생한다.
- (4) Cutting stock에서는 빗금 친 부분의 최소화가 목적이거나 선석스케줄에서는 선박블록을 가급적 왼쪽에 (즉, 빨리 작업을 마치도록) 배치하여 대기시간을 최소화 하고 체류시간을 최소화 하는 것이다.
- (5) 가용한 QC 수의 제약이 있다. 따라서 공간의 여유가 있을 지라도 QC가 부족하여 도착한 선박이 선석을 배정받지 못하는 경우가 발생할 수 있다.
- (6) 선박블록의 크기에서 세로축 길이는 선박의 크기를 나타내므로 한 선박블록의 세로 길이는 고정적이나 처리시간을 나타내는 가로축 길이는 할당되는 QC의 수에 따라서 가변적이다. 본 논문에서는 한 선박에 할당하는 QC의 수는 3가지가 있다고 가정하고 각 경우를 QC할당옵션으로 표현한다.

위에서 언급한 이러한 선석계획의 특징을 반영하여 선박이 선석에 접안하는 위치와 시간, 그리고 각 선박에 몇 대의 QC를 할당해야 하는지에 대한 의사결정을 위해 선박의 총 체류시간을 최소화 하는 최적화 모형을 다음과 같이 제시한다.

$$\text{Minimize } z = \min \sum_{i=1}^N w_i (c_i - a_i)$$

Subject to

- ① 모든 선박은 하나의 QC할당옵션을 이용하여 한 위치에 접안되어야 한다. 여기서 $x_{ijst}=1$ 의 의미는 선박 i 가 QC할당옵션 j 를 이용하여 t 시점부터 작업이 시작되도록 일정계획이 수립되는데, 그 위치는 선박블록의 왼쪽 아래 (LL: lower left corner)가 격자 (s,t) 라는 것을 의미한다. 여기서

격자 (s,t) 란 공간위치 s 와 시간위치 t 에 대응한 간트차트 상의 좌표 위치를 말한다.

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{s=1}^{S-s_i+1} \sum_{t=a_i}^{T-p_{ij}+1} x_{ijst} = 1 \quad \forall i$$

- ② 한 격자 (s,t) 에는 최대 한대의 배만 할당 될 수 있다. 이 제약식을 통하여 중복할당을 배제할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^N y_{ist} \leq 1 \quad \forall s, t$$

- ③ 각 선박의 작업완료시점은 접안시작시간에 처리시간을 더한 시간이다.

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{s=1}^{S-s_i+1} \sum_{t=a_i}^{T-p_{ij}+1} (t+p_{ij}) x_{ijst} = c_i \quad \forall i$$

- ④ 한 선박은 배 크기에 맞게 안벽을 점유해야 한다. 이는 $x_{ijst}=1$ 인 경우에 격자 (s,t) 를 기준으로 간트차트의 세로축으로는 해당 선박의 길이만큼, 가로축으로는 처리시간 만큼의 사각 공간에 대응하는 $y_{ist'}$ 값이 모두 1로 되게 함으로써 조건을 만족시킬 수 있다.

$$\sum_{s=s_i-1}^{s_i-1+t+p_{ij}-1} \sum_{t'=t}^{t+p_{ij}-1} (y_{ist'}) - p_{ij} s_i - (x_{ijst} - 1) M \geq 0 \quad \forall i, j, s, t$$

- ⑤ 한 시점에서 사용되는 QC의 수는 보유하고 있는 QC의 수를 넘을 수 없다.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j \in J_i} \sum_{s=1}^{S-s_i+1} \sum_{t'=t-p_{ij}+1}^t (q_{ij} x_{ijst'}) \leq q_t \quad \forall t$$

- ⑥ 이진수 제약

$$x_{ijst}, y_{ist} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, j, s, t$$

여기서 각 기호는 아래와 같이 정의 된다.

$$x_{ijst} = \begin{cases} 1 & \text{선박 } i \text{가 QC할당옵션 } j \text{를 사용하여 격자}(s,t) \text{에 접안하는 경우} \\ 0 & \text{이외의 경우} \end{cases}$$

$$y_{ist} = \begin{cases} 1 & \text{1 격자}(s,t) \text{가 선박 } i \text{에 의해 점유되는 경우} \\ 0 & \text{이외의 경우} \end{cases}$$

a_i 선박 i 의 도착 시간 ($i=1,2,\dots,N$)

s_i 선박 i 의 길이.

c_i 선박 i 의 완료시간.

w_i 선박 i 의 가중치

J_i 선박 i 에 대한 QC할당옵션 집합

p_{ij} 선박 i 가 QC할당옵션 j 에 의해 처리되는 작업시간 (이러한 작업을 작업 (i,j) 라 표현한다.)

q_{ij} 작업 (i, j) 에 필요한 QC의 수

q_t 시간 t 에 보유하고 있는 QC의 수 ($t=1, 2, \dots, T$)

S 안벽의 총 길이

M 임의의 큰 수

상기 최적화모형의 목적식에서 $\sum_{i=1}^N w_i(c_i - a_i)$ 는 각 선박의 가중 체류시간의 합을 의미한다. 즉 최적화 모형의 목적은 각 선박의 중요도를 고려하여 총 체류시간을 최소화 하는 것이다. 이러한 목적식은 터미널의 운영환경에 따라 변경될 수 있다. 예를 들어 각 선박에 출항 요구시간이 있고 이보다 늦게 작업이 완료되면 페널티가 있는 경우 아래의 식을 목적식에 포함할 수 있다.

$$\min \sum_{i=1}^N w_i(c_i - d_i)^+$$

여기서 d_i 는 선박 i 의 출항 요구 시간이고, $(x)^+$ 는 $(x)^+ = \max(x, 0)$ 를 의미한다. 즉, $\sum_{i=1}^N w_i(c_i - d_i)^+$ 는 출항요구시간까지 작업이 완료되지 않아 출항이 지연되는 시간의 가중합을 의미한다.

모든 선박이 시간 0부터 스케줄링이 가능하다면, 즉 static 문제인 경우, 위의 최적화 모형은 그림 3과 같은 선석스케줄을 도출한다. 여기서, 그림 3(a)는 고정적 QC할당 방식을 적용한 경우의 해이고, 그림 3(b)는 가변적 QC할당 방식을 적용한 결과이다.

고정적 QC할당의 경우 그림 2와 동일하게 각 배에 일정한 QC를 고정적으로 할당한 경우이고, 가변적 QC할당의 경우는 각 배마다 3가지의 QC할당 옵션을 둔 경우이다. 고정적 QC할당의 경우 그림 2와 비교하여 대상 선박들을 모두 처리하는 시간이 14 시간단위에서 11 시간단위로 줄어들었다는 것을 알 수 있다. 가변적 QC할당 방식을 적용하는 경우는 안벽자원을 더욱 효율적으로 사용하는 것을 볼 수 있다. 여기서는 기존에 선박 1과 선박 4에 할당된 안벽 크레인 수를 조정하여 선박 4는 안벽크레인을 기존의 4

대에서 3대로 줄여 처리시간을 1시간 증가시키고, 반대로 여기서 남은 안벽크레인 1대는 선박1에 추가로 배정하여 선박1의 처리시간을 1시간 줄여 이 두(선박 1과 선박 4) 선박이 동시에 작업이 마칠 수 있도록 한다. 그 결과 다음에 접안하여 처리된 선박 2와 선박 6은 작업시작 시간이 그만큼 앞당겨 지게 되어 안벽 유희시간을 나타내는 빗금 친 부분을 줄이게 된다. 모든 선박이 작업을 마치는 시간도 BSP와 CAP를 동시에 고려한 결과 도출된 그림 3(b)는 BSP 최적화 모형의 결과인 그림 3(a)보다 1 시간단위가 줄어들었고 (11에서 10으로 감소), 원래의 계획(그림 2)보다는 4시간 단위가 줄어들었음을 알 수 있다.

위의 수리 모형을 이용하면 선석스케줄과 안벽크레인의 할당 문제를 최적으로 해결할 수 있다. 그러나 이러한 문제는 NP-Hard문제로 알려져 있어 현실적인 시스템과 같이 문제의 크기가 커지면 최적해로 문제를 해결하기 어렵다(Lim, 1998). 본 논문에서는 이러한 현실적인 문제에 대한 해결을 위해 유전알고리즘을 이용하여 근사최적해를 찾는 알고리즘을 제시한다.

4. 유전알고리즘 기반의 선석계획

4.1 유전알고리즘 기반의 선석계획 절차

유전알고리즘은 많은 조합 최적화 문제에 응용되어 왔다. 유전알고리즘을 적용하기 위해서는 대상문제의 특징에 맞는 알고리즘, 관련된 여러 조정변수들, 유전인자의 유전염색체(chromosome)의 표현방법, 적합도(fitness) 평가함수, 모집단의 초기화 방법, 염색체 선택전략 등을 결정해야 한다. 그림 4는 본 논문에서 적용한 유전알고리즘의 순서도를 나타낸다.

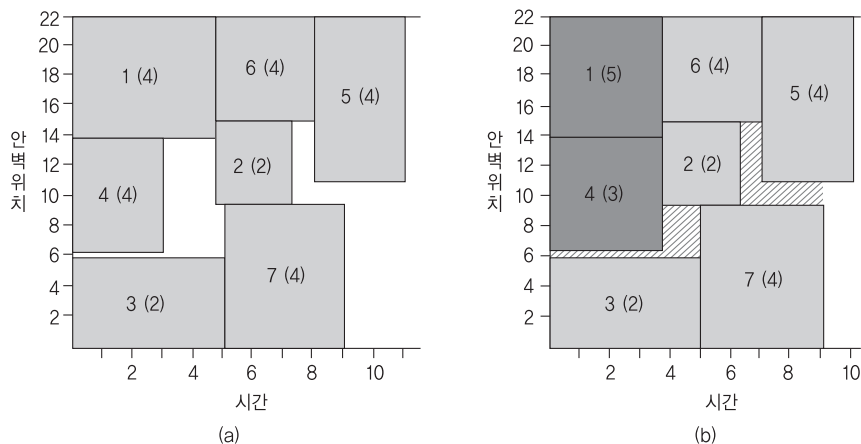


그림 3. 안벽의 활용을 높이는 선석계획 (a: 고정적 QC할당; b: 가변적 QC할당)

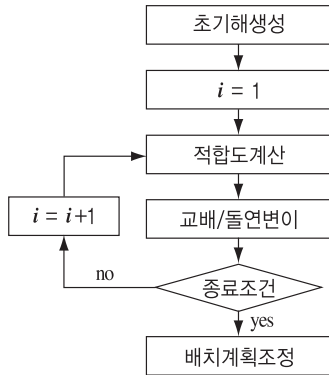


그림 4. 선석계획 유전 알고리즘의 진행 절차

위의 진행 절차에서는 선석계획 문제에 대한 가능한 해를 정해진 자료구조로 표현한 다음 이를 점차적으로 변형함으로써 더 좋은 해를 찾고자 한다. 입력자료로는 배의 도착 시간, 컨테이너 수, 출발요구시간, 처리할 컨테이너 수, QC할당옵션 및 각 옵션별 처리소요시간 등이 있다. 이 알고리즘에서 목적식은 선박체류시간의 최소화로 앞 절의 수리최적화모형과 같은 목적식을 사용한다. 구체적으로 절차는 아래와 같다.

Step 1. 선박별 할당될 QC 수 결정: 대상으로 하는 선박별로 각 선박의 QC옵션을 선택하기 위하여 옵션 수만큼 0과 1사이의 난수(random number)를 발생시킨다(그림 5 참조). 본 논문에서는 각 선박에 3개의 난수가 할당되며, 이 중 가장 큰 값을 갖는 QC할당옵션을 기반으로 할당되는 QC 수를 결정한다. 예를 들어 그림 5에서 선박1은 두 번째 QC할당 옵션이 선택된다.

Step 2. 안벽 배치: 안벽크레인이 배정 된 후 각각의 배들은 도착 시간 이후 시점에서 위치를 배정받는다. 모든 선박에 대해 시공간적으로 중복되지 않고 한 시점에서 제한된 크레인 수 이상을 초과하지 않도록 선박을 배치한다. 이 때 선박의 위치 배정 순서는 도착시간이 빠른 선박이 우선적으로 선석에 배정될 확률이 높도록 하는 룰렛휠(roulette wheel) 선택방식을 이용한다. 룰렛 휠 방법은 예를 들어 두 대의 배가 시간 3과 7에 도착한다면, 먼저 도착하는 배가 우선적으로 선석에 배정되는 확률이 높도록 (예를 들어 70%) 하는 방법이다. 선박의 배치시 공간을 탐색하는 방법은 전역 탐색 기법을 사용하여 각 배들의 배치는 배의 접근시작

순서에 상관없이 선박 도착시간부터 시작하여 배의 크기에 따라 들어갈 수 있는 공간을 찾고 할당한다. 이 때 이미 할당 된 공간에 재배치는 불가능하도록 한다. 만약 일정 시간에 할당 가능 공간이 존재하지 않으면 시간을 증가해 가면서 배치가능 공간을 찾는다. 배치된 선박들 중 대기 시간이 발생하는 배들에 대해 리스트를 작성한다. 대기리스트 중 대기 시간이 가장 긴 선박을 기준으로 대기 시간이 발생한 배들에 대해 위치를 교환하여 최상의 적합도를 가진 배치를 초기해로 삼는다.

Step 3. 위의 과정을 통해 정해진 수만큼의 초기해를 생성한 후 이를 이용하여 유전알고리즘을 수행한다. 우선 초기해로 생성된 난수의 수만큼 다시 0~1사이의 난수를 생성시킨다. 재생산을 위해 부모세대를 토너먼트 방식으로 선택한 후 교배 및 돌연변이를 통한 유전알고리즘을 수행한다. 이 부분은 뒤에서 좀 더 자세히 설명한다.

Step 4. 주어진 종료 조건(전체 진행 횟수)을 모두 만족하는 경우 도출된 최적해를 저장하고 종료하며 그렇지 않은 경우 단계 2에서 단계3의 상황을 종료 조건까지 반복하도록 한다.

4.2 적합도 계산

유전알고리즘에서는 새 연산을 거쳐 새로운 집단이 완성될 때마다 개체들의 적합도가 평가되는데 이 논문에서는 앞서 수리모델에서 정의한 아래의 목적함수를 적합도 평가로 사용하였다.

$$z = \sum_{i=1}^N w_i (c_i - a_i)$$

위 식에서 얻어진 적합도를 바탕으로 재배열이 이루어지는데 재배열이란 매 세대마다 모집단 내 염색체에 대해 낮은 적합도 값을 갖는 염색체가 높은 염색체보다 선택될 기회를 더 많이 갖게 되는 과정이다. 즉, 적합도가 낮은 값을 갖게 하는 염색체 배열은 높은 값을 가지는 배열에 비해 더 많이 선택되는 것을 말하며 이 논문에는 토너먼트 선택(tournament selection)을 사용하였다. 이 방법은 개체군 중에서 일정한 개수의 개체를 임의로 선택하여 그 중에 더 나은 적합도를 가지는 개체를 다음 세대에 남기는 방법이다. 이 선택법을 사용하여 종료조건으로 정해진 세대의 개체수가 종료조건에 도달할 때까지 해를 선택하며 작업을 수행한다.

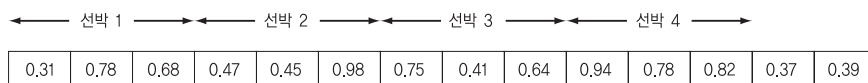


그림 5. 잠재해의 유전적 표현 예

4.3 교배 (Crossover)

교배는 탐색 공간상의 가능한 새로운 점을 찾기 위하여 교배급 원으로부터 부모 염색체 쌍을 임의로 선택하고, 교배점 이후의 비트들을 서로 교환 결합함으로써 자손을 생성한다. 이때 유전자를 절단하는 교배점은 염색체 내에서 임의로 선택된다. 이러한 연산은 교배된 자손의 수가 부모 집단의 크기와 같을 때까지 반복된다. 본 논문에서의 교차 변이는 이점교배를 사용하였고, 진행 단계의 예가 그림 6에 나타나 있다.

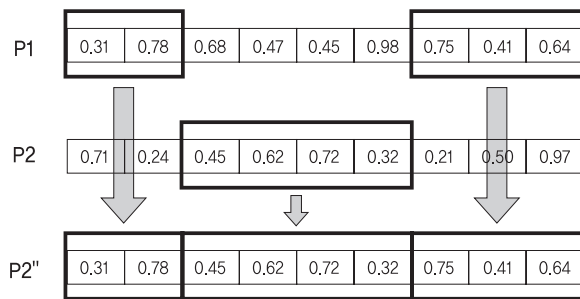


그림 6. 2점 교배 예

위의 그림과 같이 이점교배는 원소 사이의 두 절단점을 임의로 선택한 다음 두 절단점에 의해서 나누어진 중간부분의 유전인자를 상호 교환하여 자손을 생성하는 방법이다.

4.4 돌연변이(Mutation)

진화가 계속 되는 동안 재생산과 교배 연산자는 집단을 더욱

강하게 하지만 이러한 현상이 세대 초기에 발생하게 되면 유전자의 다양성이 줄어들어 최적해를 구하는데 어려움이 생길 수 있다. 이러한 경우에서 벗어나기 위한 방법으로 돌연변이를 사용하는데 염색체 내의 비트를 정해진 돌연변이 확률을 토대로 변경시킨다. 이렇게 함으로 초기 세대에서 모든 염색체의 특정 비트가 고정되는 것을 방지하고 탐색영역을 확대할 수 있다. 본 논문에서는 돌연변이 방법으로 그림7과 같은 교환방법을 사용하였다. 교환방법은 랜덤으로 두 유전자가 선택되고 그 선택된 위치의 유전자 값을 교환하여 위치를 재배열 하도록 한다.

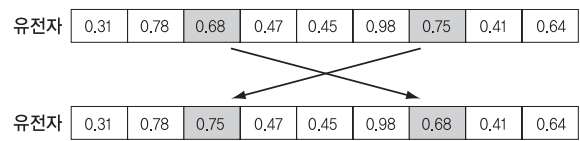


그림 7. 돌연변이 예

4.5 종료조건

종료 조건은 알고리즘의 반복 횟수의 제한을 두거나, 최적값의 갱신 없는 연속적인 반복횟수를 정하여 알고리즘이 종료토록 한다.

4.6 선석계획 시스템 구현

본 논문에서 제시한 알고리즘 및 프로그램은 Flash MX 2004를 이용하여 구현하였고 결과는 현장에서 사용하는 것과 유사하

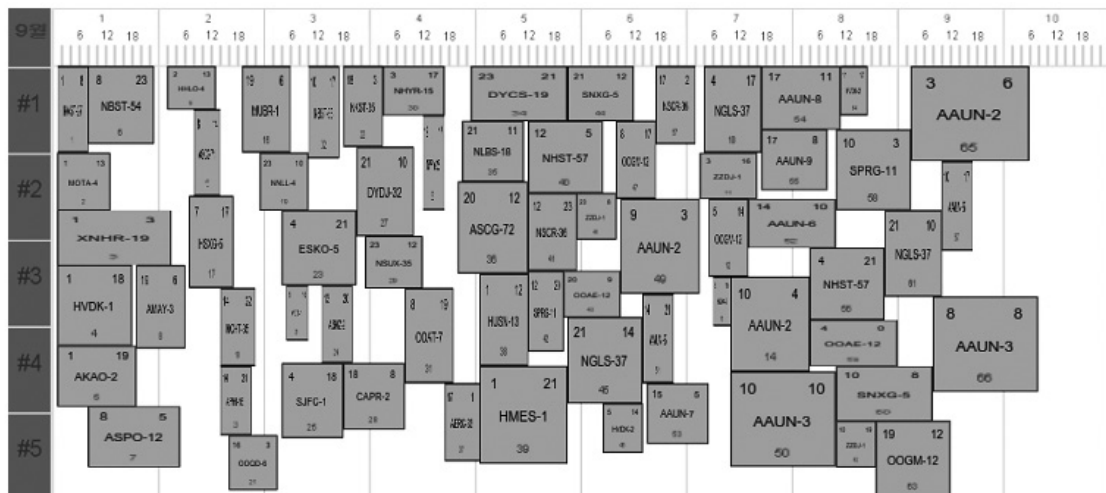


그림 8. 시스템구현 화면

계 화면에 간트차트 형태로 나타나게 하였다. 그림 8은 시스템 구현 결과 화면의 예이다.

5. 실험분석

제시된 유전알고리즘 선석계획의 수행능력을 분석하기 위하여 가상의 간단한 항만 시스템을 가지고 최적화 모형과 유전 알고리즘의 결과를 비교 한다. 길이가 12인 안벽에 9대의 QC를 사용하여 선박 8대를 접안하는 계획을 수립하는 것이 목적이다. 선박별 데이터는 아래와 같다.

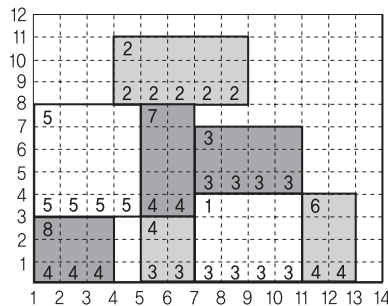
위의 동일한 문제에 대하여 (1) 일반적으로 현장에서 현재 사용하는 FCFS를 기반으로 하는 선석계획과, (2) 본 논문에서 제시된 최적화 모형에 의해 도출된 선석계획, 그리고 (3) 유전알고리즘을 적용한 선석계획을 수립하였다. 최적화 모형으로 해결하기 위하여 최적화 소프트웨어인 LINGO를 사용하였다. 그림 8은 각 경우의 선석계획 결과를 보여주고 있다. 그림에서 각 박스의 왼쪽 위의 수는 선박번호를 의미하고, 박스의 아래 부분 수들은 해당 선

박에 할당된 QC의 수를 나타낸다. 각 시점에서 사용되는 QC의 수는 9개로 제한되어 있기 때문에 공간의 여유가 있더라도 선박이 접안되지 못하는 경우도 존재한다. (예: 그림 8(a)의 선박 4) 선석계획 결과 FCFS의 경우 모든 선박들의 체류시간은 46 시간단위가 소요되지만, 최적화 모형의 결과 체류시간은 40 시간단위가 소요되어, 최적화 모형을 활용하는 경우 체류시간이 총 6 시간단위가 절감될 수 있다는 것을 보여주고 있다. 또한 유전알고리즘을 적용한 경우에도 최적화모형의 결과와 동일한 40 시간단위를 알 수 있다.

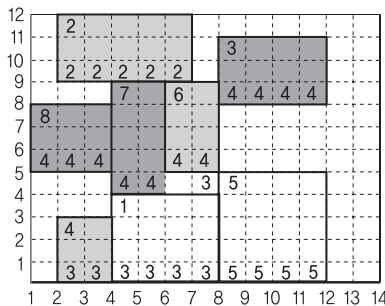
실제 컨테이너터미널에서는 위의 실험모형보다 선박의 수와 선석의 길이가 크므로 최적화모형에 의해서는 문제해결이 불가능하다. 간단한 문제는 조합의 수가 많지 않아 유전알고리즘이 최적화모형과 동일한 결과를 줄 수 있지만 실제와 같은 문제가 복잡한 시스템의 경우는 유전알고리즘 결과의 수행도를 장담할 수 없다. 본 논문에서는 복잡한 문제 상황에서 제시된 유전알고리즘 선석계획의 수행도를 분석하기 위하여 부산 신전대 컨테이너터미널에서의 데이터를 이용하였다. 실험 대상으로 사용한 자료는 부산 신전대 컨테이너터미널의 2009년 09월 01일부터 09월 21일까지의

표 1. 간단한 가상 시스템

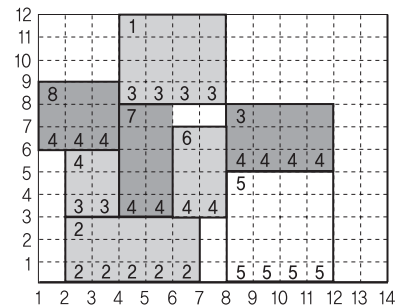
선박	도착시간	선박크기	가중치	QC할당옵션1		QC할당옵션2		QC할당옵션3	
				QC수	처리시간	QC수	처리시간	QC수	처리시간
1	3	4	1	2	5	3	4	4	3
2	2	3	1	2	5	3	4	4	3
3	4	3	1	3	5	4	4	5	3
4	2	3	1	1	5	2	3	3	2
5	1	5	1	3	6	4	5	5	4
6	5	4	1	2	4	3	3	4	2
7	3	5	1	2	4	3	3	4	2
8	1	3	1	2	6	3	5	4	3



(a) FCFS 적용 결과



(b) 최적화모형 결과



(c) 유전알고리즘 적용 결과

그림 9. 대상 시스템의 선석할당

실제 선석 계획 자료이다. 신선대 컨테이너터미널의 경우 총 선석의 길이는 1500m 이며 안벽크레인은 총 15기가 가동된다. 각 실험에서 대상으로 하는 선박수는 실제 터미널에서의 운영자료를 기반으로 하여 50대로 정하였다. 실험의 테스트 환경은 윈도우 XP, AMD Athlon(tm) 64 X2 Dual Core Processor 4200+ CPU와 2.00GB 메모리의 컴퓨터 환경에서 실험하였다. 통계적인 오차를 줄이기 위하여 신선대 터미널의 실제데이터를 분석하

여 유사한 조건의 10 가지 시나리오를 생성하고 이를 가지고 실험 분석 하였다. 또한 터미널의 가동율이 낮은 경우와 높은 경우에서의 선석계획의 수행도를 함께 비교분석 하였다. 어느 경우에도 computing 시간은 1초를 넘지 않는다.

표 2는 작업 부하가 높지 않은 상태에서 FCFS 선석계획과 제시된 알고리즘을 이용한 선석계획의 결과를 비교하고 있다. 각 방식은 또한 고정적 QC할당 방식과 가변적 QC할당 방식을 나누어 실험하였다. 실험결과 기존 일정계획에 비해 본 논문에서 제시한 유전알고리즘을 통한 일정계획이 다소 향상된 일정계획임을 나타낼 수 있다. 하지만 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 처리할 컨테이너가 많지 않아 항만능력이 여유가 생겼기 때문에 자원의 최적 활용과는 관계없이 시스템이 원활히 운영되기 때문으로 분석된다.

본 논문에서는 화물량을 2배로 증대하여 항만이 바쁜 상태에서의 수행도를 함께 분석하였다. 그 결과는 표 3에 나타나 있다. 표 3에서 볼 수 있듯이 화물량이 증가하여 터미널 자원이 바쁘게 움직이는 경우 가변적 QC할당 전략을 적용하면 고정적 QC할당 방식을 적용할 때보다 평균대기시간은 약 50%를 줄일 수 있고 체류시간도 22% 정도를 줄일 수 있다. 또한 기존의 FCFS 방식보다 제시된 유전알고리즘 기반의 선석계획을 사용하는 경우 추가로 체류시간과 대기시간을 줄일 수 있음을 볼 수 있다.

그림 10는 각 시나리오 별로 선석계획 방식과 QC할당 방식의 수행도를 비교하고 있다. 이 그림에서 보듯이 가변적 QC할당 방식기반의 유전알고리즘 선석계획이 일관적으로 좋은 해를 보여줄 수 있다.

표 2. 선석계획 방법별 수행도 비교 (가동률이 낮은 경우)

	고정적 QC할당		가변적 QC할당	
	평균체류시간	평균대기시간	평균체류시간	평균대기시간
FCFS 선석계획(a)	5.92	0.22	5.46	0.02
유전알고리즘 선석계획(b)	5.62	0.16	4.36	0.01
차이 (a-b)	0.3	0.06	1.10	0.01

표 3. 선석계획 방법별 수행도 비교 (가동률이 높은 경우)

	고정적 QC할당		가변적 QC할당	
	평균체류시간	평균대기시간	평균체류시간	평균대기시간
FCFS 선석계획(a)	16.5	4.0	12.9	2.1
유전알고리즘 선석계획(b)	15.9	3.6	12.1	1.7
차이 (a-b)	0.6	0.4	0.8	0.4

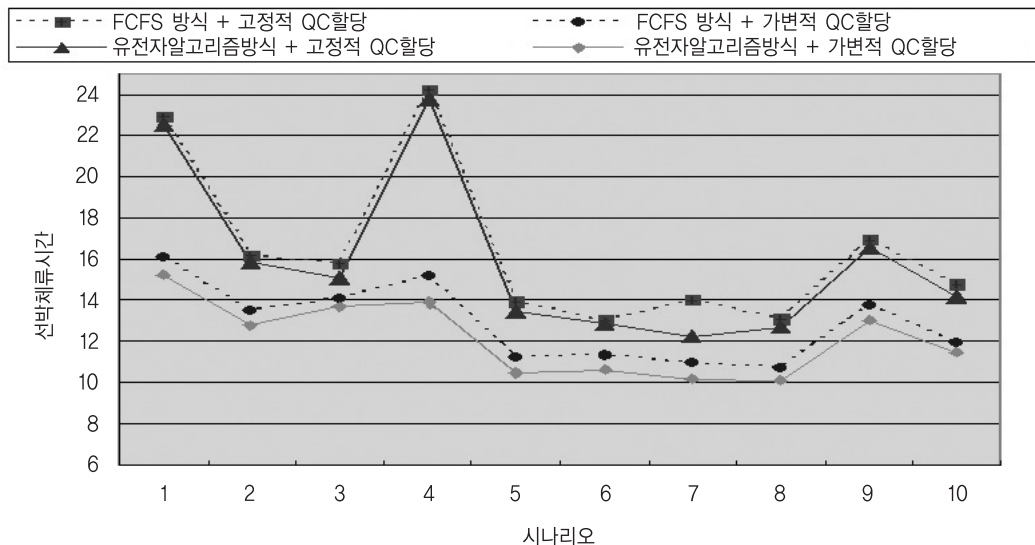


그림 10. 시나리오별 수행도 비교 (가동률이 높은 경우)

6. 결론 및 향후 연구

컨테이너선이 항만에 도착하면 언제 어느 장소에서 서비스 받아야 할지 결정되어야 한다. 이러한 결정은 선석스케줄 절차를 통하여 결정된다. 처리해야 할 선박의 사이즈와 도착시간이 각기 다른 상황에서 어떤 선박을 안벽의 어느 위치에 어떤 시점에 배정하는가에 따라 선석의 활용도에 차이가 난다. 또한 동시에 여러 척의 배가 접안 하여 물류작업이 수행되므로, 각 안벽크레인도 어떤 컨테이너선에서 작업할 것인지 결정되어야 한다. 항만에는 안벽크레인의 대수가 제한적이므로 이에 대한 효율적인 활용이 항만 생산성에 중요한 역할을 한다. 지금까지 대부분 선석스케줄과 안벽크레인할당 문제는 그 복잡성으로 인하여 각기 별개로 의사결정이 수행되어 왔다. 본 논문에서는 선박의 접안 계획과 안벽크레인의 할당 문제를 동시에 결정하는 방안을 제시하였다. 안벽과 안벽크레인의 효율적인 활용을 통하여 선박의 체류시간을 최소화하는 최적화모형을 개발하였고, 실제적인 문제를 해결하기 위하여 유전알고리즘 기반의 선석계획 절차를 제안하였다. 실험을 통하여 제안된 방식의 수행도를 검증하였다. 특히 가변적 QC할당의 효과를 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

유전알고리즘에서 해의 수행도는 염색체표현, 선택, 교배 및 돌연변이 방법과 이와 관련된 여러 파라미터에 영향을 많이 받는다. 본 논문에서는 활용성을 높이기 위하여 비교적 간단한 방법의 유전자 표현과 유전자 연산 방법을 사용하였다. 이 부분에서의 추가적인 연구를 통해 보다 개선된 해를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 실제 선석계획에서는 본 알고리즘에서 고려한 가정으로는 설명되지 않는 여러 가지 조건이 추가될 수 있다. 선박의 크기와 중량에 따라 접안 위치의 제약이 있는 경우도 있고, 컨테이너 야드장과의 연계성으로 인해 선호하는 접안 위치도 존재하는 선박도 있다. QC를 가변적으로 할당하는 문제도 QC의 이동 문제로 인해 제약이 될 수 있다. 본 논문에서 제시한 알고리즘에 의한 선석계획은 현재 선석계획을 담당자가 수동으로 배치한다는 점을 고려할 때 기본적인 가이드를 제시하는 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구과제로는 이러한 추가적인 제약 사항을 고려하여 보다 현실적인 접근법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] 정다훈, 이병권, 박영만, 류광렬, 김갑환 (2006) 컨테이너 터미널에서 장치장 현황정보를 고려한 안벽크레인 일정 계획 방법, *한국경영과학회/대한산업공학회 공동학술대회*

논문집, KAIST

- [2] Bish, E.K. (2003) A multiple crane constrained scheduling problem in a container terminal, *European Journal of Operational Research*, 144, pp. 83-107.
- [3] Daganzo, C. (1989) The crane scheduling problem, *Transportation Research Part B*, 23, pp. 159-175.
- [4] Guan, Y., Cheung, R.K. (2004), The berth allocation problem : models and solution methods, *OR Spectrum*, 26, pp. 75-92.
- [5] Guan, Y., Xiao, W.Q., Cheung, R.K., Li, C.L. (2002) A multiprocessor task scheduling model for berth allocation : heuristic and worst-case analysis, *Operations Research Letters*, 30, pp. 343-350.
- [6] Hansen, P., Oguz, C., Mladenovic, N. (2007) Variable neighborhood search for minimum cost berth allocation, *European Journal of Operational Research*, 191(3), pp. 636-649
- [7] Imai A., Nagaiwa, K., Chan, W. (1997) Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia, *Journal of Advanced Transportation*, 31, pp. 75-94.
- [8] Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S. (2001), The dynamic berth allocation problem for a container port, *Transportation Research Part B*, 35, pp. 401-417.
- [9] Imai, A., Chen, H.C., Nishimura, E., Papadimitriou S. (2008a) The simultaneous berth and quay crane allocation problem, *Transportation Research Part E*, 44(5), pp. 900-920.
- [10] Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S. (2008b) Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity, *Transportation Research Part E*, 44, pp. 136-151.
- [11] Kim, K.H. (2007) Decision-making problems for the operation of container terminals, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 33(3), pp. 290-302.
- [12] Kim, K.H., Kang, J.S. and Ryu, K.R. (2004) A beam search algorithm for the load sequencing of outbound containers in port container terminals, *OR Spectrum*, 26(1), pp. 93-116.

- [13] Kim, K.H., Moon, K.C. (2003) Berth scheduling by simulated annealing, *Transportation Research Part B*, 37, pp. 541-560.
- [14] Kim, K.H., Park, Y.M. (2004) A crane scheduling method for port container terminals, *European Journal of Operational Research*, 156, pp. 752-768.
- [15] Lai, K, Shih, K. (1992) A study of container terminal berth allocation, *Journal of Advanced Transportation*, 26(1), pp. 45-60.
- [16] Li, C., Cai, X., Lee, C. (1998) Scheduling with multiple-job-on-one-processor pattern, *IIE Transactions*, 30, pp. 433-445.
- [17] Lim, A. (1998) The berth planning problem, *Operations Research Letters*, 22, pp. 105-110.
- [18] Lim, A., Wang F. (2007) A stochastic beam search for the berth allocation problem, *Decision Support Systems*, 42, pp. 2186-2196.
- [19] Nishimura, E., Imai, A., Papadimitriou, S. (2001) Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms, *European Journal of Operational Research*, 131, pp. 282-292.
- [20] Park, K.T., Kim, K.H. (2002) Berth scheduling for container terminals by using a subgradient optimization technique, *Journal of the Operational Research Society*, 52, pp. 1054-1062.
- [21] Park, Y.M., Kim, K.H. (2003) A scheduling method for berth and quay cranes, *OR Spectrum*, 25, pp. 1-23
- [22] Peterkofsky, R., Daganzo, C. (1990) A branch and bound solution method for the crane scheduling problem, *Transportation Research Part B*, 24, pp. 159-172.



구 평 회

한양대학교 산업공학과 학사

Purdue University 산업공학과 석사, 박사

현재 : 부경대학교 시스템경영공학과 교수

관심분야 : 생산물류, 린시스템



이 원 봉

부경대학교 시스템경영공학과 학사

부경대학교 시스템경영공학과 석사

현재 : 다다C&C 검사실 팀장

관심분야 : 생산관리, 물류관리

두 단계 푸쉬-풀 공급망에서 공급자 주도 재고 관리의 구현 - 가변 생산량이 갖는 영향을 중심으로

김은갑[†]

이화여자대학교, 경영대학

Implementation of a vendor-managed inventory agreement in a two-stage push-pull supply chain - The effect of variable production lot size

Eungab Kim[†]

College of Business Administration, Ewha Womans University

We consider a supply chain with a component manufacturer and a customized end item manufacturer in stage under a vendor-managed inventory (VMI) agreement. The component manufacturer continuously reviews both component inventory and backorder status at the end item manufacturer. Based on this information, the component manufacturer dynamically determines production scheduling and lot size which is the multiple of the basic lot size. The goal of this paper is to find the component manufacturer's production policy which minimizes the total supply chain cost. From numerical experiment, we investigate the impact of the variable production lot size on the supply chain cost.

Keywords: Two-stage supply chain, Vendor-managed inventory, Production lot size, Continuous review, Component production, Customized manufacturing

1. Introduction

In this paper, we consider a supply chain consisting of a component manufacturer (hereinafter push facility) and a customized end item manufacturer (hereinafter pull facility) in stage under a vendor-managed inventory (VMI) agreement. With the spread of supply chain management and information

technology, suppliers and manufacturers have paid more attention to coordinating their production activities through the agreements such as VMI (see, Kuk(2004)). Such agreements usually transfer the management of inventory to the supplier and imposing penalties for both overloading and underloading the inventory. Through this transfer, a retailer can attain a high customer service level with low inventory costs. VMI was first successfully popularized in late 1980's by Wal-Mart and

[†] Corresponding author: 120-750 서울 서대문구 대현동 11-1 이화여자대학교,

TEL : 82-2-3277-3970 FAX : 82-2-3277-2835 E-mail : evanston@ewha.ac.kr

* 2010년 7월 7일 투고, 8월 10일 수정본 접수, 8월 16일 게재 확정.

Procter & Gamble, and later became one of the key programs in the ‘quick response’ initiatives (Walter et al.(1999)). Lately, it has been also widely implemented by many suppliers in high-tech industries.

The pull facility faces customers from the market with the option to reject and provides service for accepted customers using components. Order rejection can be used in practice when a firm with a limited production capacity has to face unexpectedly huge demand. For instance, with the shortage of nicotine patches, Ciba-Geigy Ltd., Marion Merrell Dow Inc. and American Cyanamid Co. had to ration products to their customers. General Motors adopted an order rejection policy against buyers for its hottest-selling vehicles due to capacity limitations (Yang et al., 2006).

The push facility continuously observes both the component inventory level and the size of customers waiting for service (hereinafter backorder). Based on this information, it determines whether or not to start a production. Furthermore, if it decides to produce, a decision must be made on the production lot size, MQ where M is an integer and Q is the basic lot size.

The goal of this paper is to find the push facility’s production policy which minimizes the total supply chain cost. In this paper, we also investigate the impact of the variable order quantity on the supply chain cost.

Our model has a common feature with make-to-order inventory-production systems in the literature. He and Jewkes(2000) showed the order size for order-up-to policies as the economic order quantity. He et al.(2002) studied a policy with varying order quantity according to the backorder level. Consideration of admission and production control is limited in this area. Berman and Kim(1999) characterized an optimal policy with a threshold admission control. Kim(2005) extended Berman and Kim(1999) by considering a stochastic lead time. Compared to the references, our model is distinct in that order quantity is varied depending on the system status.

Our model can be viewed as a dynamic (r, n, Q, T) model where the system reviews its inventory every T period. If the inventory position drops below r , the system orders a quantity of the smallest integer multiple of batch size Q so as to bring the inventory position above r . The (r, n, Q, T) model was first studied by Hadley and Whitin(1963). Kiesmuller and

Kok(2006) analyzed the waiting time of this model. Larson and Kiesmuller(2007) found a closed-form cost expression under a compound Erlang demand process. Maxwell and Muckstadt(1985) showed that the power-of-two policy is near optimal, assuming deterministic demand. The (r, n, Q) policy, a special case of (r, n, Q, T) policy with $T=1$, has been extensively studied and we refer the reader to Chen(1998) for a complete review.

The literature with dynamic admission and inventory /production control is also found in make-to-stock and assemble-to-order systems with multiple demand classes. Using the framework of Markov decision problem, the references identified the structure of the optimal admission control and inventory rationing policy under different settings of the problem (Ha(1997a), Ha(1997b), de Vericourt et al.(2002), Benjaafar and ElHafsi(2006), ElHafsi(2008), and Carr and Duenyas(2000)). A detailed literature survey for admission and inventory/production control is found in Teunter and Haneveld(2008).

Our model contributes to the current literature of make-to-order production-inventory systems in the following two essential aspects. First, we consider both production decision and order quantity. Second, we explicitly incorporate setup cost into the model and examine its impact on the optimal policy. In particular, the second aspect has not been covered yet in the references with joint dynamic admission and inventory control. Since a setup cost is not considered, they assumed that the batch size is one. In addition, production can be interrupted before its completion, which is inappropriate in real applications.

The rest of the paper is organized as follows. We describe a problem in the next section. In Section 3, we provide a formulation of our model. Section 4 identifies the optimal policy. In Section 5, we present a numerical procedure that finds the optimal performances. Section 6 discusses the results of numerical experiment and the last section states conclusions.

2. Problem description

Customers randomly arrive at the pull facility and are

rejected if the backorder level reaches a threshold, N . Therefore, N represents the maximum size of backorders. Whenever each customer is rejected, a penalty cost of c_R is incurred. A backorder cost is assessed at rate c_1 for each backorder. A customized manufacturing for each accepted customer is processed using a component. Each customized manufacturing time is a random variable with mean μ^{-1} .

Component production lead times are random with mean d^{-1} . At each instant a production order with mQ units of component is placed, a setup cost of $f(m, c_K)$ is incurred where m is an integer with $1 \leq m \leq M$ and c_K is the setup cost of producing Q units of components. We call M the indicator of the maximum production lot size and Q the basic lot size. It is assumed that $f(m, c_K)$ is increasing in m . For each unit of component in inventory at the pull facility, the push facility pays a holding cost incurred at rate c_2 . Figure 1 illustrates a schematic model of the problem described above.

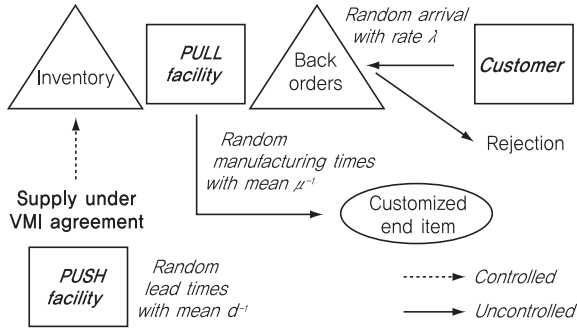


Figure 1. A push-pull SCM under VMI agreement

3. Model formulation

For insights into the VMI implementation, we model the problem using an Markov Decision Process (MDP). To this end, we assume that customer arrival process follows a Poisson process, and both customized manufacturing and component production processes have an exponential distribution. Respectively denote x_1 and x_2 the backorder and component inventory level. The model is described by the vector (x_1, x_2, δ, m) . The integer m is an indicator of the production lot size. The indicator δ describes the status of

component production: $\delta=1$ implies that a production batch with size mQ is in run while $\delta=0$ means no production is in process. Note that $m>0$ if $\delta=1$; $m=0$ if $\delta=0$. Also note that a production can start only in state $(x_1, x_2, 0, 0)$. The following state transitions can be considered in (x_1, x_2, δ, m) :

- Customer arrival: When $x_1 < N$, x_1 increases by one.
- Customized manufacturing completion: x_1 and x_2 decrease by one, respectively.
- Component production completion: x_2 increases by mQ and δ becomes zero.
- Production batch placement with size kQ : $\delta=1$ and $m=k$.

Let $v(x_1, x_2, \delta, m)$ be the optimal value function in state (x_1, x_2, δ, m) . In the following, we define the value iteration (VI) operator T on $v(x_1, x_2, \delta, m)$, assuming that M is given. In fact, T decides the optimal action in state (x_1, x_2, δ, m) for the next state transition. Let $\gamma \equiv \lambda + \delta + d$. Transitions in current state (x_1, x_2, δ, m) can be either customer arrival and customized manufacturing completion when $\delta=0$, or customer arrival, customized manufacturing completion, and component production completion when $\delta=1$. Then, $Tv(x_1, x_2, \delta, m)$ becomes

$$Tv(x_1, x_2, \delta, m) = \begin{cases} \min\{P_k v(x_1, x_2, 0, 0), 0 \leq k \leq M\}, & \text{if } \delta=0, m=0 \\ P_0 v(x_1, x_2, \delta, m), & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

In (1), $P_0 v(x_1, x_2, \delta, m)$ is the value function corresponding to the action of not producing component in state (x_1, x_2, δ, m) and it is given by

$$P_0 v(x_1, x_2, \delta, m) = (c_1 x_1 + c_2 x_2) / \gamma + \mu / \gamma \{v(x_1 - 1, x_2 - 1, \delta, m)1(x_1 x_2 > 0) + v(x_1, x_2, \delta, m)1(x_1 x_2 = 0)\} + \lambda / \gamma \{v(x_1 + 1, x_2, \delta, m)1(x_1 < N) + (v(x_1, x_2, \delta, m) + c_R)1(x_1 = N)\} + d / \gamma \{v(x_1, x_2, \delta, m)1(\delta=0, m=0) + v(x_1, x_2 + mQ, 0, 0)1(\delta=1, m>0)\}. \quad (2)$$

$P_k v(x_1, x_2, 0, 0)$ corresponds to the action of producing kQ units of component in state $(x_1, x_2, 0, 0)$. To see (2), we first note that the expected length of time between state transitions is $1/\gamma$ because all process times are exponentially distributed. In (2), $(c_1 x_1 + c_2 x_2) / \gamma$ is the expected backorder and holding costs during $1/\gamma$, the terms multiplied by λ / γ represent transitions generated with customer arrival, the term multiplied by μ / γ implies transition associated with customized manufacturing, and the terms multiplied by d / γ imply transitions associated with production of mQ components. From the definition of P_0 and P_k ,

$$P_k v(x_1, x_2, 0, 0) = f(k, c_K) + P_0 v(x_1, x_2, 1, k). \quad (3)$$

From ch 8 in Puterman(2005), the Bellman's equation for the average MDP is

$$g(M) + v(x_1, x_2, \delta, m) = Tv(x_1, x_2, \delta, m), \quad \delta = 0, 1, \quad 0 \leq m \leq M \quad (4)$$

where $g(M)$ is the average cost during $1/\gamma$, given M . To find the best value of M , we solve the following equation:

$$M^* = \operatorname{argmin}_M g(M). \quad (5)$$

If M^* is found using (5) via (4), the optimal production control in state $(x_1, x_2, 0, 0)$ is determined by mQ , $0 \leq m \leq M^*$, depending on x_1 and x_2 .

4. The structural properties of the optimal production policy

In this section, we investigated the structure of the optimal production control. To this end, consider a VI algorithm to solve for (4):

$$v^{n+1}(x_1, x_2, \delta, m) = Tv^n(x_1, x_2, \delta, m), \quad n \geq 0 \quad (6)$$

where

$$Tv^n(x_1, x_2, \delta, m) = \begin{cases} \min\{P_k v^n(x_1, x_2, 0, 0), 0 \leq k \leq M\}, & \text{if } \delta = 0, m = 0 \\ P_0 v^n(x_1, x_2, \delta, m), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

where P_k and P_0 are defined in (2) and (3) and $v^0(x_1, x_2, \delta, m) = 0$ for every state (x_1, x_2, δ, m) . VI algorithm is most widely used for solving MDP. It iteratively solves $v^{n+1} = Tv^n$, $n=0, 1, \dots$ until $|Tv^n - v^n|$, the difference between the maximum and the minimum of component-wise deviations of Tv^n and v^n , is within a termination criterion. It is usually set to 10^{-3} in the literature. Therefore, VI algorithm of the average cost MDP approximately finds a constant to which $|Tv^n - v^n|$ converge. This constant is known as the optimal average cost. If VI algorithm stops at the $(l+1)^{\text{th}}$ iteration, $v \approx Tv^l$ and $g(M)$ is given by the average of the maximum and the minimum of $|Tv^n - v^n|$. The following theorem shows that v^n converges to v and (4) has a well-defined solution.

Theorem 1. An integer I , a constant $g(M)$, and a function v exist such that

$$v^{nI+r}(x_1, x_2, \delta, m) - (nI+r)g(M) \rightarrow v(x_1, x_2, \delta, m)$$

for all $r=0, \dots, I-1$ as $n \rightarrow \infty$.

Proof. We apply the same argument as in Theorem 1 of Carr and Duenyas(2000). $x_2 c_2 / \gamma$ is the cost of holding x_2 components during $1/\gamma$. Suppose $x_2 c_2 / \gamma > M c_K$. Then, it means that the pull facility already has sufficiently large component inventory. Hence, the push facility does not have any incentive to produce mQ units. This argument limits the maximum size of component inventory to $x_2 \leq M c_K \gamma / c_2$. We also have $x_1 \leq N$ by assumption. Since the original problem can be transformed into a finite state problem, by Theorem 8.4.1. in Puterman(2005), the result follows.

Theorem 2. For the average cost problem defined in (4), there exists a stationary production policy that is average cost optimal.

Proof. From Theorem 1, our original MDP problem can be formulated into a new MDP with finite state space. It can be easily shown that this finite MDP problem generates an irreducible aperiodic Markov chain. Furthermore, since only two control actions can be applied to each state $(x_1, x_2, 0, 0)$, the action space is finite. Therefore, the result follows from Theorem 8.4.5. in Puterman(2005).

Numerical investigation suggests that the optimal production policy has the following set of the structural properties even though we cannot prove it.:

Conjecture. (i) Let

$$r_m(x_1) := \min\{x_2 : P_m v(x_1, x_2, 0, 0)\} \quad (8)$$

where

$$m = \operatorname{argmin}\{1 \leq k \leq M : P_k v(x_1, x_2, 0, 0)\}. \quad (9)$$

Then, the sequence $\{r_m(x_1) \leq m \leq M\}$ exists such that $r_m(x_1)$ decreases in m and it is optimal to produce mQ components if $r_{m+1}(x_1) < x_2 \leq r_m(x_1)$.

(ii) $r_m(x_1)$ increases in x_1 .

From Property (i), the production control is managed by M switching curves and an increase in m given x_1 leads to lowering a switching curve. From Property (ii), the switching curve will be higher if x_1 increases. To illustrate the structure

of $r_m(x_1)$, we compute a numerical example. Customer arrivals are Poisson with $\lambda=0.5$. Customized manufacturing and lead time processes are exponential with $\mu=1$ and $d=0.1$, respectively. Setup cost of the basic lot size is $c_K=400$, and customer rejection penalty is $c_R=10$. Backorder and inventory cost rates are $c_1=4$ and $c_2=1$ respectively. Maximum size of backorders is $N=13$, and basic lot size is $Q=10$. The indicator of the maximum production lot size is $M=2$. Setup cost with mQ units of component is $f(m, c_K)=400m$, $m=1,2$. $r_1(x_1)$ and $r_1(x_2)$ are found using the optimal solution procedure in Section 5. As shown in <Figure 2>, production and admission control depend on x_1 and x_2 . For example, in state (10,1), the push facility produce $2Q$ units of component and the pull facility accepts an incoming customer.

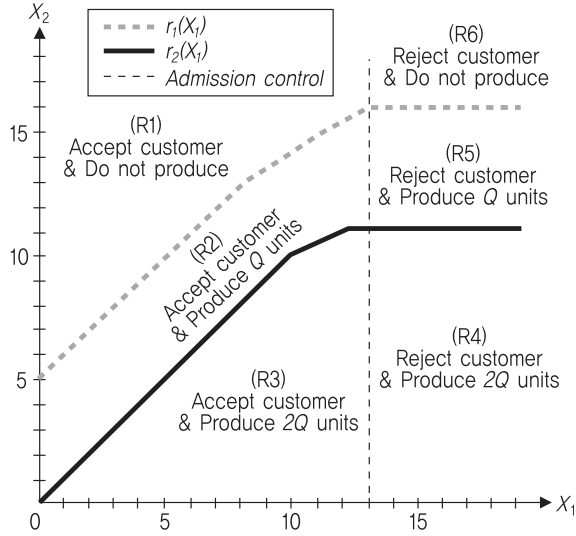


Figure 2. Optimal switching curves

5. Optimal solution procedure

In this section, we present a numerical procedure which given M and Q , jointly finds the optimal value function v , the optimal average cost $g(M)$, and the optimal switching curves $\{r_m(x_1), 1 \leq m \leq M\}$. Let ϵ be the termination criterion.

1. Initialization: Set $n=0$ and $v^0(x_1, x_2, \delta, m)=0$.

2. Value iteration step: Implement a VI on v^n via Equation

(7).

3. Termination test: Perform the following convergence test:

$$\underline{b}_n = \min_{(x_1, x_2, \delta, m)} \{Tv^n(x_1, x_2, \delta, m) - v^n(x_1, x_2, \delta, m)\} \quad (10)$$

$$\bar{b}_n = \max_{(x_1, x_2, \delta, m)} \{Tv^n(x_1, x_2, \delta, m) - v^n(x_1, x_2, \delta, m)\}. \quad (11)$$

If $(\bar{b}_n - \underline{b}_n) \geq \epsilon$, for every state (x_1, x_2, δ, m) , let

$$v^{n+1}(x_1, x_2, \delta, m) = Tv^n(x_1, x_2, \delta, m) - Tv^n(0, 0, 0, 0). \quad (12)$$

Increase n and go to *Value iteration step*. Otherwise, go to *Evaluation step*.

4. Evaluation step:

Let $v(x_1, x_2, \delta, m) \approx Tv^n(x_1, x_2, \delta, m)$, $g(M) = (\bar{b}_n + \underline{b}_n)/2$,

$m = \operatorname{argmin}\{1 \leq k \leq M: P_k v^n(x_1, x_2, 0, 0)\}$, and

$r_m(x_1) := \min\{x_2: P_m v^n(x_1, x_2, 0, 0)\}$. Stop the procedure.

Since we cannot prove the convexity of $g(M)$ with respect to M , we iterate the optimal solution procedure over the set of possible values of M and find M^* which achieves the best performance.

6. Numerical study

In this section, we examine how much the variable lot size (MQ policy) contributes to lowering the cost, and under what parameter conditions it is more effective over the basic lot size control (Q policy). To this end, we present the specific sets of examples rather than with randomly generated examples. Test examples and results are reported in Table 1. We conduct 8 sets of computational experiments.

In all numerical experiments, we assume that Q is the economic order quantity (EOQ); $\sqrt{2c_K\lambda/c_2}$. Columns 2-9 show the parameters, column 10 EOQ. Column 11 g , the optimal average cost of Q policy, and columns 12-13 the optimal performance of MQ policy. % in column 14 denotes the percentage performance difference between Q and MQ policies obtained from $(g - g(M^*)) / g(M^*) \times 100$. In numerical experiment, $f(m, c_K) = mc_K$, that is, set up cost is linearly increasing in m .

The details of numerical experiment and managerial

insights are as follows:

- *Impact of c_K on the performance difference (Examples 1-4):* We analyze the impact of setup cost by varying c_K from 100 to 250 in steps of 50. The result shows that the % values is decreasing as c_K increases. Since the increase in c_K restricts production, it is likely that the beneficial effect of MQ policy under a higher setup cost will be smaller than that under a lower setup cost.

- *Impact of c_R on the performance difference (Examples 5-8):* We analyze the impact of rejection cost by varying it from 5 to 20 in steps of 5. To clarify the impact of c_R on the optimal performance, we considered a supply chain scenario with heavy traffic and long lead time process. The result 5-8 shows that the % value increases in c_R , which implies that MQ policy becomes more effective than Q policy when order rejection becomes expensive.

Table 1. Performance comparison of Q and MQ policies

Ex	Parameters									Optimal performance			
	C_K	C_R	C_1	C_{-2}	λ	μ	d	N	EOQ	g	M^*	$g(M^*)$	%
1	100	13	3.5	1	0.55	1	0.015	13	11	47.81	3	40.37	18.4
2	150								13	46.80	3	41.51	12.7
3	200								15	45.84	2	41.76	9.8
4	250								17	45.03	2	42.22	6.6
5	100	5	3	1	.85	1	0.007	13	13	42.69	2	42.44	0.6
6		10							13	46.23	3	45.61	1.4
7		15							13	49.78	3	48.77	2.1
8		20							13	53.32	3	51.76	3.0
9	150	20	2	1	0.7	1	0.01	13	15	37.84	2	36.98	2.3
10			3						15	49.79	2	47.54	4.7
11			4						15	61.73	2	58.09	6.3
12			5						15	73.68	2	68.64	7.3
13	300	15	5	1	0.5	1	0.005	13	18	67.86	2	63.18	7.4
14				2					13	70.77	3	67.76	4.5
15				3					10	72.12	3	70.91	1.7
16				4					9	72.50	3	72.29	0.3
17	100	10	4	1	0.3	1	0.01	13	8	50.41	3	35.60	41.6
18					0.5				10	54.00	3	45.38	19.0
19					0.7				12	56.86	3	52.90	7.5
20					0.9				14	59.55	2	58.68	1.5
21	100	20	4	1	0.9	1	0.01	13	14	67.15	2	65.28	2.9
22						1.1			14	66.84	2	64.26	4.0
23						1.2			14	66.56	2	63.36	5.1
24						1.3			14	66.33	2	62.59	6.0
25	100	10	3	1	0.6	1	0.02	13	11	40.72	3	36.23	12.4
26							0.04		11	34.20	2	31.14	9.8
27							0.08		11	25.76	2	25.61	0.6
28							0.16		11	20.50	1	20.50	0.0
29	130	20	3	1	0.75	1	0.02	8	14	36.64	2	36.15	1.4
30								10	14	42.44	2	41.24	2.9
31								12	14	48.32	2	46.55	3.8
32								14	14	54.26	2	52.07	4.2

- *Impact of c_1 on the performance difference (Examples 9-12)*: We analyze the impact of backorder cost by varying c_1 from 2 to 5 in steps of 1. To clarify its role, we considered an expensive rejection penalty so that more customers can be accepted. Examples 9-12 show that an increase in c_1 enlarges % value. This implies that when c_1 is large, MQ policy can be a more cost effective way than Q policy. It is also observed that an increase in c_1 does not affect M^* .
- *Impact of c_2 on the performance difference (Examples 13-16)*: We analyze the impact of inventory holding cost by varying c_2 from 1 to 4 in steps of 1. A scenario is considered with expensive setup cost and long production process so that larger inventory can be kept. Examples 13-16 show that % value decreases in c_2 . That is, MQ policy can be more valuable when holding cost is small. We also observe that M^* weakly increases in c_2 . It indicates that when c_2 is large, giving more flexibility to production lot size with smaller basic lot size becomes essential.
- *Impact of λ on the performance difference (Examples 17-20)*: We analyze the impact of customer arrival rate by varying λ from 0.3 to 0.9 in steps of 0.2. A scenario with a small c_K is considered so that frequent production can be allowed, and with a high ratio of c_1/c_2 so that rejecting customers can be activated. Examples 17-20 show that % value can decrease in λ . In particular, case with $\lambda=0.3$ shows that MQ policy can significantly outperform Q policy under a light traffic. M^* tends to decrease weakly in λ . It implies that under a low traffic, giving more flexibility to production lot size with smaller EOQ is essential.
- *Impact of μ on the performance difference (Examples 21-24)*: We analyze the impact of customized manufacturing rate by varying μ from 1 to 1.4 in steps of 0.1. To this end, we considered a base example with $\lambda/\mu=0.9$ and increased the value of μ . Examples 21-24 show that an increase in μ enlarges % value, which means that it is important to use MQ policy for fast customized manufacturing. Interestingly, the increase in μ does not affect M^* even though one might think that an increase in μ will increase M^* . This is because customer admission

control is not affected by the increase in μ . Hence, there is no incentive to keep more component inventory by increasing M^* .

- *Impact of d on the performance difference (Examples 25-28)*: We analyze the impact of the lead time rate by varying d from 0.02 to 0.16 in steps of twice. To clarify its impact, we considered a small c_K so that frequent inventory replenishment can be placed. Examples 25-28, we observe that MQ policy can be more valuable when production process is slow than when it is fast, which is consistent with references in the inventory control literature.
- *Impact of N on the performance difference (Examples 29-32)*: We analyze the impact of maximum size of backorders by varying N from 8 to 14 in steps of 2. To clarify its role, we consider large c_R and c_1 with high ratio of λ/μ . Examples 29-32 show that an increase in N tends to increase % value, which indicates that for large N , MQ policy can contribute to saving costs. Interestingly, M^* is not affected by the increase in N even though more backorders can be kept.

Next, we discuss the cross impact among multiple parameters on the percentage performance difference between g and $g(M^*)$. Since there are a number of combinations among parameters, we present the cross impact of c_K and λ , which is shown in <Figure 3>. We consider the first set of examples in Table 1 as a reference set and vary λ : 0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 0.85. <Figure 3> shows that given c_K , the percentage performance difference between g and $g(M^*)$ becomes larger

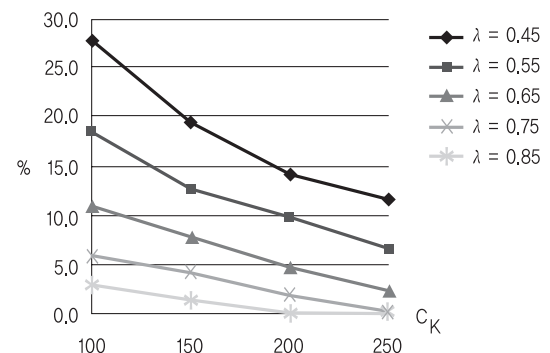


Figure 3. Cross impact of c_K and λ

as traffic intensity decreases. This phenomenon is more apparent when c_K is low. This result implies that the variable lot size control can be much more effective under a light traffic and a small c_K , compared with the basic lot size control.

7. Conclusions

We considered a supply chain with a component manufacturer on the push mode and an end item manufacturer on the pull mode under a VMI agreement, and studied a production control with variable lot size depending on the system status. Numerical investigation showed that the optimal control is characterized by switching curves. We examined how much a variable lot size can contribute to cost reduction and under what conditions it is much more favorable over a basic lot size control. Numerical findings suggest that it is crucial to examine the cross impact among multiple parameters. For example, more meaningful observations were derived from the cross impact of c_K and λ on g and $g(M^*)$.

The methodology developed here provides a simple basis for estimating variable production lot sizes and supply chain costs based on test examples, which restricts the applicability of our model. To provide managerial insights for component and end product manufacturers, a more elaborate computational study is needed based on real company data. To do so, one needs a richer model than our model, which will be a viable direction of further research.

References

- [1] Benjaafar, S. and Elhafsi, M.(2006), Production and inventory control of a single product assemble-to-order system with multiple customer classes, *Management Science*, Vol. 52, pp. 1896-1912.
- [2] Berman, O. and Kim, E.(1999), Stochastic models for inventory management at service facilities, *Stochastic Model*, Vol. 15, pp. 695-718.
- [3] Carr, S. and Duenyas, I.(2000), Optimal Admission Control and Sequencing in a Make-To-Stock/Make-To-Order Production System, *Operations Research*, Vol. 48, pp. 709-720.
- [4] Chen, F.(1998), On (R,nQ) policies in serial inventory systems, S. Tayur, R. Ganeshan, M. Magazine, eds. Quantitative models for supply chain management. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, pp. 71-110.
- [5] de Vericourt, F., Karaesmen, F. and Dallery, Y.(2002), Stock allocation for a capacitated supply chain, *Management Science*, Vol. 48, pp. 1486-1501.
- [6] Elhafsi, M.(2009), Optimal integrated production and inventory control of an assemble-to-order system with multiple non-unitary demand classes, *European Journal of Operational Research*, Vol. 194(1), pp. 127-142.
- [7] Ha, A.(1997a), Inventory rationing in a make-to-stock production system with several demand classes and lost sales, *Management Science*, Vol. 43, pp. 1093-1103.
- [8] Ha, A.(1997b), Stock rationing policy for a make-to-stock production system with two priority classes and backordering, *Naval Research Logistics*, Vol. 44, pp. 457-472.
- [9] Hadley, G. and Whitin, T.(1963), *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [10] He, Q. and Jewkes, E.(2000), Performance measure of a make-to-order inventory-production system, *IIE Transactions*, Vol. 32, pp. 409-419.
- [11] He, Q., Jewkes, E., and Buzacott, J.(2002), Optimal and near-optimal inventory control policies for a make-to-order inventory-production system, *European Journal of Operational Research*, Vol. 141, pp. 113-132.
- [12] Kiesmüller, G. and de Kok, A.(2006), The customer waiting time in an (R,s,Q) inventory system, *International Journal of Production Economics*, Vol. 104, pp. 354-364.
- [13] Kim, E.(2005), Optimal inventory production policy for a queueing system with finite waiting room capacity, *European Journal of Operational Research*, Vol. 161, pp. 256-274.
- [14] Kuk, G.(2004), Effectiveness of vendor-managed inventory in the electronics industry: determinants and outcomes, *Information and Management*, Vol. 41. pp. 645-654.
- [15] Larson, C. and Kiesmüller, G.(2007), Developing a

closed-form cost expression for an (R,s,n,Q) policy where the demand process is compound generalized Erlang, *Operations Research Letters*, Vol. 35, pp. 567-572.

- [16] Maxwell, W. and Muckstadt, J.(1985), Establishing consistent and realistic reorder intervals in production-distribution systems, *Operations Research*, Vol. 33, pp. 1316-1341.
- [17] Puterman, M.(2005), *Markov Decision Processes*, John Wiley and Sons.
- [18] Teunter, R. and Haneveld, W.(2008), Dynamic

inventory rationing strategies for inventory systems with two demand classes, Poisson demand and backordering, *European Journal of Operational Research*, Vol. 190, pp. 156-178.

- [19] Walter, M., Davis T., and Johnson, M.(1999), Vendor-managed inventory in the retail supply chain, *Journal of Business Logistics*, Vol. 20(1), pp. 183-203.
- [20] Yang, J., Qi, Y., and Yu, G.(2006), Inventory Control with Markovian Capacity and the Option of order Rejection, *European Journal of Operational Research*, Vol. 174, pp. 622-645.



김 은 갑

서울대학교 산업공학과 학사

서울대학교 산업공학과 석사

Northwestern University, Dept. of
IE/MS 박사

현재 : 이화여자대학교 경영대학
경영학전공 부교수

관심분야 : SCM, Stochastic
Optimization, Simulation

중장기 우편물류를 위한 수요예측 시스템 개발

김태영* · 황승준†**

*동양미래대학 경영학부 · **한양대학교 경상대학 경영학부

Development of a Long-Term Postal Demand Forecasting System

Tai-Young Kim* · Seung-June Hwang†**

*Department of Business Management, Dongyang Mirae University, Seoul, Korea

**Department of Business Administration, Hanyang University, Ansan, Gyeonggi, Korea

Today, environmental changes and technical advances are changing the way of postal logistics services, and are changing the awareness and usage of Postal logistics of consumers. This paper is a case study that shows the development of demand forecast information system for local postal logistics is used in simulation and it helps decision for logistics facilities install or logistics. The system is used in simulating and making decisions on postal logistics network design problems such as facilities location and construction.

Specifically, postal demand forecasting system in this paper has been developed to analyze the impact of descriptive statistics showing the social change and business cycle of South Korea to local postal logistics, and to analyze changes in patterns of South Korea local postal logistics user with the passage of time, and accordingly time series forecasting and casual forecasting for decision-making.

Keywords: Postal Logistics, Demand Forecasting, Management Information System

1. 서론

우편물류 서비스는 한 나라의 국민은 물론 전세계 사람들이 큰 부담 없이 활용할 수 있어야 하는 보편적 서비스라는 특징을 가지고 있다. 다른 한편으로는, 변화하는 시대 조류와 경영 환경에 맞추어 소포 및 택배와 같이 우편을 이용한 물류 서비스 수요가 시

간이 갈수록 늘어나고 있다(Trinkner와Grossmann, 2006). 또한 등기와 같이 소비자가 특별한 비용 부담을 감수하더라도 배달에 확실성을 기대하는 특수 우편 서비스와 같은 분야의 중요성도 계속적으로 증가하고 있다.

때문에 언제나 일반 통상 우편 서비스에 대해서는 보편적인 우편물의 배달이 가능하도록 현재의 서비스 수준을 계속적으로 유지하고, 증가하는 소포 물량에 대하여 빠른 배송이 가능하도록 하

† **Corresponding author:** 425-791. 1271 Sa-dong, Ansan, Gyeonggi-do, Department of Business Administration, Hanyang University,ERICA Campus, Ansan, Korea

TEL : 82-31-400-5637 FAX : 82-31-400-5591 E-mail : sjh@hanyang.ac.kr

* 2010년 8월 27일 투고, 9월 29일 게재 확정.

는 서비스 제공 체계를 구축할 수 있도록 우편물류에 대한 인프라가 마련되어야 한다. 이러한 요구에 따라 우편물류 서비스를 위하여 중장기적 인프라 구축 계획을 수립하기 위하여 애써 왔지만, 최적의 인프라 구축 계획을 수립하기 위해서는 미래 시점의 우편물량의 변화에 대한 정확한 수요예측이 선행되어야 한다. 우편물류를 위한 인프라 구축은 많은 비용과 시간을 소요하는 국가의 기간 업무 중 하나이기 때문에 그 의사결정은 신중할 수 밖에 없으며 정확한 수요예측과 과학적인 판단의 근거 자료를 필요로 한다. 따라서 각 지역별로 필요한 인프라의 규모를 측정하기 위하여, 우선 우편 서비스 유형별로 정확한 중장기 수요예측을 실시하여야 한다. 그리고 이러한 수요예측 결과를 토대로 각 지역에 산재하여 존재하게 되는 우체국, 집중국, 교환 센터 등의 주요 우편물류 거점에 대한 최적 규모와 바람직한 입지를 선정하는 인프라 구축 계획을 수립하여야 한다.

우편물류를 위한 최적화 문제와 수요예측 대하여 국내외에서 다양한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 우선 국내에서 진행된 우편물류 예측에 대한 연구를 살펴보면, 우선 김의창과 최현탁(1999)은 우편 집중국별로 운송 차량 할당을 위한 최적 계획을 수립하기 위하여 우편 물량을 예측에 대한 연구를 진행하였다. 최지영 등(2001)은 우편물류에 대한 기간 운송 계획을 수립하는 알고리즘을 개발하는 연구를 진행하였으며, 특히 우편 물량에 대한 정확한 수요예측이 최적 물류 계획 수립을 위하여 중요하다는 것을 강조하였다. 임준목 등(2003)은 미래 시점의 한국 인구 변동에 대한 통계청의 예측 자료를 기반으로 인구수에 따른 우편 물량 간의 관계에 대한 단일 회귀 분석에 의한 수요예측 연구를 진행하였다. 오형식 등(2003)은 미래시점의 GDP 예상값을 기반으로 우편물류에 대한 회귀 분석 결과를 제시하였고, 이후 성장모형 로지스틱스 곡선을 활용하여 보다 정교한 우편물류를 위한 수요예측을 실시하였다. 이덕주 등(2005)은 시계열 분석의 ARIMA 기법을 이용하여 국내 우편물류 예측을 실시하는 연구를 진행하였다.

우편물류 인프라에 대한 효율성을 평가하는 연구도 꾸준히 진행되어 왔다. 김대기와 최재필(2006)은 DEA(data envelopment analysis) 기법을 활용하여 주요 우편물류 인프라인 집중국들에 대한 상대적 효율성 평가를 진행하고 각각의 집중국별로 효율성 순위를 매겼으며, 임준목 등(2007)은 우편 집배국의 순로구분을 자동화하였을 경우에 대한 효율성 평가를 진행하는 연구를 수행하였다. 그 밖에 임재민 등(2006)은 우편 집중국에서 진행되는 구분 작업의 노동 생산성을 평가하는 연구를 수행한 바 있다.

해외에서 진행된 우편물류에 대한 연구로는, Werners와 Wülfing(2010)가 독일의 우편 서비스를 위한 우편물 최적 할당과 정리 문제를 혼합정수계획법 형태의 수리 모형으로 모델링하

여 분석하였다. Trinkner와 Grossmann(2006)은 스위스의 통상 우편 서비스에 대하여 수요예측을 수행하였고, Christian(2007)는 스위스에서 우편 시장과 통상 우편 서비스의 생존 능력에 대하여 연구를 진행하였다.

우편물류 서비스가 통상 우편 외에 소포와 우체국 택배 등과 같은 일반 물류 서비스의 비중이 날로 커지고, 또한 국제 특송, 국내 등기와 같은 특별 운송이 주목받게 되면서, 이러한 특별 운송에 관련된 연구도 국내외에서 활발하게 진행되고 있다. 이충배 등(2003)은 국제 특송 운송에 대한 동향과 미래 전망에 대한 연구를 진행하였다. 문성철(2008)은 향후 우정 사업의 전개와 국제 특송 업계와의 관계 변화에 대하여 고찰하였다.

Pettus와 Munoz(2008)는 페덱스(FedEx)의 국제 운송 물류 서비스에 대한 비즈니스 전개에 대한 연구를 진행하였으며, McAree 등(2006)은 페더럴 익스프레스(Federal Express)의 특송 운송을 위한 포장 및 정리를 위한 설비 활용 문제에 대하여 연구하였다. Ko 등(2007)은 특송 물류 서비스의 한계 시간을 고려하여 이익을 최대화할 수 있는 수리 모형을 모델링하고, 이를 유전 알고리즘을 통하여 현실적으로 가능한 시간 내에 해를 구할 수 있는 시스템을 제안하였다.

최적의 중장기 우편물류 인프라 구축을 위해서는 우체국, 집중국, 교환 센터 등의 각각의 우편 인프라의 부하를 정확히 측정할 수 있어야 하고, 이를 위해서는 미래 시점의 우편 물량을 정확히 예측할 수 있는 기능이 필요하다. 본 논문은 최적의 우편물류 인프라 계획 수립을 위하여, 시계열 분석 및 다중 회귀 분석 등의 주요 수요예측 기법을 통하여 우편물류에 대한 중장기 수요예측을 수행할 수 있는 소프트웨어 개발 및 실제 우편물류 서비스 현장 도입 사례를 연구하였다. 현재까지 한국의 우편물류 서비스를 위한 전용 수요예측 소프트웨어는 개발된 바 없으며, 본 연구가 소개하는 우편 물량 예측 소프트웨어가 한국 최초의 개발 사례이다.

2. 우편물류 수요예측 시스템의 개발

2.1 시스템 개발 프로젝트 개요

한국의 우편물류 서비스 사업을 관장하는 우정사업본부는 보다 향상된 우편물류 서비스 제공과 안정적인 우편물류를 위한 인프라 구축을 위하여, 우정기술연구센터와 더불어 2006년부터 2010년까지 5개년에 걸쳐 ‘실시간 우편물류 기술 개발’ 사업을 추진 중에 있다(이상락 등[4]). 이를 위한 세부 과제로 “실시간 우편물류 운영 기술 개발”을 위하여 우편 물량에 대한 수요예측을 실시하는 소프트웨어 개발 과제가 진행되었다. 우편물류 서비스를 위한 물

량 예측 소프트웨어 개발은 우정사업본부가 발주하여 한국전자통신연구원(ETRI)에 의해 관리되었으며, 해당 소프트웨어의 실제 개발은 경기도 안산에 소재한 H대 경영학부와 서울에 소재한 D대 경영학부의 교수진에 의하여 이루어졌다.

우편물류를 위한 수요예측 소프트웨어 개발 작업은 2009년 5월에서 2009년 10월까지 6개월에 걸쳐 이루어졌으며, 이후 2개월 간의 수정 및 보완 작업을 거쳐 2010년 1월부터 우정사업본부의 우편물류 수요예측 업무에 실제로 도입되어 활용 중에 있다. 우편물류를 위한 수요예측 시스템 개발을 위하여 MS Visual Studio 2008 닷넷(.net) 기반의 C# 프로그래밍 언어를 이용하였으며, 이렇게 개발된 우편물류 수요예측 소프트웨어는 Windows 기반의 OS 환경에서 사용할 수 있도록 제작되었다.

2.2 전체 시스템 구조 설계

우편물류 예측 시스템은 우선 과거의 실제 우편 물량 자료를 입력하고, 예측 기간 및 예측 방법을 선택한 뒤, 우편 물량 예측 결과를 제시하는 방식으로 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 개발되었다. 이 때 우편물류에 대한 수요예측은 미래 시점에 우편물류를 위한 효과적인 인프라 관리를 위한 자료로 활용하고자 하는 목적을 갖고 있기 때문에, 기본적으로 중장기 수요예측(long-term forecasting)을 진행하는 것을 주안점으로 하고 있다. 따라서 장기적으로 우편 물량 변동에 영향을 미치는 원인 요소를 찾아내고 이에 따라 수요예측을 실시할 수 있도록 시스템 구조를 설계하였다.

우편물류 예측 시스템은 우정사업본부가 관리하고 있는 우편물류 데이터베이스 시스템 '포스트넷(PostNet)' 으로부터 과거 시점의 실제 우편 물량 수요 데이터를 넘겨 받아 미래 시점에 대한 수요예측을 실시하도록 설계하였다. 입력 데이터는 csv 확장자 포맷 파일을 기본으로 하여 연도별 각 우편 유형에 대한 데이터, 월별 각 우편 유형에 대한 데이터, 연도별 청별 각 우편 유형에 대한 데이터 등 세 가지 실제 과거 우편 물량 데이터를 사용하는 것으로 하였다. 또한 주어진 데이터를 활용하여 최대한 정확한 예측이 가능하도록 하기 위하여, 각 수요예측 기법에 대하여 MSE 분석(mean square error analysis)을 실시하여 예측 오차를 검증할 수 있도록 하였다.

우편물류에 대한 수요를 예측하기 위하여 활용한 예측 기법은 인과형 예측(casual forecasting)과 시계열 분석(time series analysis)을 사용할 수 있도록 하였다. 인과형 예측을 위해서는 독립 변수를 최대 4 가지까지 동시에 고려하는 다중 회귀 분석(multiple regression analysis)이 가능하도록 시스템을 설계하여 개발하였으며, 시계열 분석은 추세 요인(trend factor), 계절

요인(seasonality factor), 주기 요인(cyclical factor) 등과 같은 다양한 시계열 요인을 동시에 고려하여 예측에 반영할 수 있는 분해법(decomposition methods)을 사용하여 예측을 진행할 수 있도록 설계하였다. 특히 한국의 우편물류에 적합한 수요예측 기법을 찾아내기 위하여, 회귀 분석이나 분해법 등에 대하여 시간의 흐름에 따라 선형으로 우편 물량이 증가하거나 감소하기보다는, 우편 물량의 수요 증가세가 차츰 둔화되는 비선형의 관계일 수 있다는 것을 감안하여 이 부분을 반영한 수요예측도 선택적으로 수행할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

회귀 분석을 진행할 경우, 우편 물량의 변동에 원인 요인으로 작용할 것으로 판단되는 주요 항목에 대한 독립 변수 자료를 미리 입력하여 활용하여야 한다. 따라서 통계청 등의 국가 기관에서 공시한 사항을 참고하여 2000년에서 2030년까지의 인구(명), 1인당 GDP(원), 사이버 쇼핑물 거래액(원), 가구수(세대), 택배 시장 규모(원), 실질 GDP(원), 실질 GNI(원), 상장 주식수(주), 전력 발전량(MWh), 경제 활동 인구(명) 등의 10가지 항목에 대한 자료를 수집하여 정리하였고, 회귀 분석을 진행할 때 독립 변수로 사용할 수 있도록 하였다.

3. 우편물류 수요예측 시스템 기능 구현

3.1 입력 데이터 조회 및 검증 기능

우편 물량 데이터 관리를 위하여, 우선 입력 데이터가 저장된 폴더 선택하여 입력 데이터 가져오기 기능을 이용하여 과거의 실제 우편물류량에 대한 데이터를 불러들이게 된다. 이러한 입력 데이터 자료는 연도별 물량 현황 조회 기능과 월별 물량 현황 조회 기능 등을 활용하여 기술 통계량(descriptive statistics)을 확인할 수 있다. 과거 우편물류 수요에 대한 실제 데이터 조회를 통하여 우선 수요예측에 적용할 수 있는지 적합성을 검증할 수 있도록 개발하였으며, 경우에 따라 다양한 방법으로 수요예측과 시물레이션(simulation)을 진행할 수 있도록 사용자가 원하는 대로 입력 데이터를 자유롭게 수정하여 활용할 수 있는 기능도 설계하였다.

특히 과거에 진행한 바 있는 물량 예측 과정에 대한 모든 내용은 프로젝트 단위로 개별 폴더에 동시에 저장하고 관리할 수 있도록 개발하였다. 만일 과거의 실제 입력 데이터를 수요예측이나 시물레이션 등의 작업을 진행하기 위하여 수정하였다면, 이를 필요에 따라 다시 불러들여 우편물류를 위한 물량 예측 작업에 재사용하는 것이 가능하도록 하였다. 이러한 기능을 활용하면 다양한 경우의 수에 대한 물량 예측을 반복적으로 수행하는 것이 가능하고, 이것을 통하여 인프라 구축을 위한 시물레이션 작업을 진행할 때에도 유연한 시물레이션이 가능해진다.

〈그림 1〉은 우편물류 과거 실 데이터를 입력 한 후 기술 통계량을 조회하는 화면을 보인 것이다.

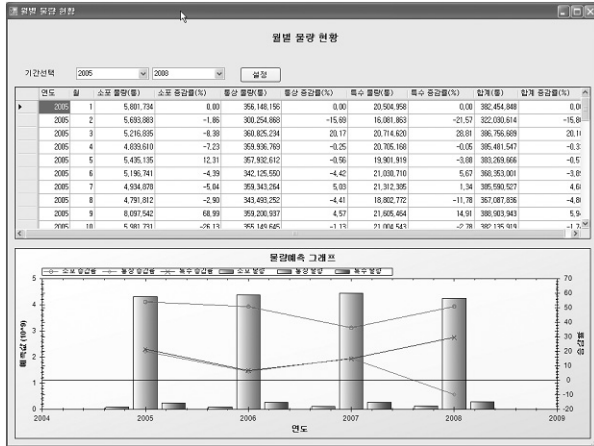


그림 1. 우편물류 과거 실 데이터 조회

3.2 물량 예측 최적 해법 자동 선택 및 실행

우편물류를 위한 물량의 수요예측 실행 화면에서는, 우선 과거 물량 데이터 사용 기간 및 예측 기간 설정에 대한 기능을 구현하였다. 예측 기간의 설정은 전체 '계획 기간(PH: planning horizon)'과 '단위 구간(TB: time bucket)'을 결정하는 부분이기 때문에 향후 예측 결과를 사용하여 우편물류 인프라 구축을 위한 시뮬레이션 등을 진행하고자 할 때 대단히 중요한 역할을 한다. 전체 10년의 '계획 기간(PH)'에 대하여 각 1년씩 '단위 구간(TB)'을 설정하였다면, 앞으로 미래 10년 동안의 우편물류에 대한 수요예측을 진행하고 그 결과값을 1년 단위로 조회하게 된다. 우편물류 서비스를 위한 경영 활동에 있어서, 모든 계획(planning)과 예측은 이러한 '계획 기간(PH)'과 '단위 구간(TB)'이 먼저 제대로 설정되어 있어야 한다.

이러한 우편물량 예측을 위한 시간 축의 설정은 시스템에 설정되어 있는 초기 설정값을 자동으로 인식하여 활용할 수도 있고, 필요에 따라 수정하거나 수동으로 입력하는 것도 가능하도록 개발하였다. 우편물류를 위한 수요예측 시스템에서 활용되는 '계획 기

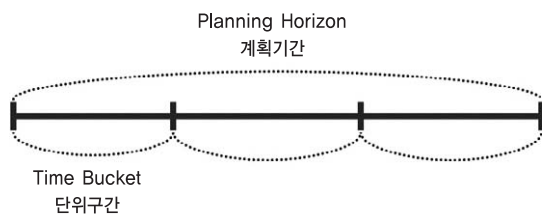


그림 2. 계획 기간과 단위 구간

간(PH)'과 '단위 구간(TB)'의 개념은 〈그림 2〉와 같이 도시할 수 있다(함용석과 김태영, 2010).

우편물류 유형에 따라 적합한 최적 해법을 자동으로 제안하여 예측을 수행하도록 하는 기능을 개발하였다. 이 때 물량 예측을 위한 자동 해법 선택은 MSE 분석을 실시하여 그 결과가 가장 우수한 것을 대표 해법으로 선정하는 방식으로 이루어지도록 하였다.

최적 해법에 따라 수행된 물량 예측 결과 조회 기능은 우편물류 유형에 따라 조회하는 기능과 월별 또는 연도별로 예측 결과를 바꾸어 조회하는 기능, 각 지역의 체신청별로 조회하는 기능 등을 개발하였다. 또한 물량 예측 결과를 csv 확장자의 파일이나 엑셀 파일 등으로 저장할 수 있도록 하여 사용자의 활용성을 높였다.

〈그림 3〉은 최적 해법의 자동 선택에 의한 수요예측 결과의 조회 화면을 보인 것이다.

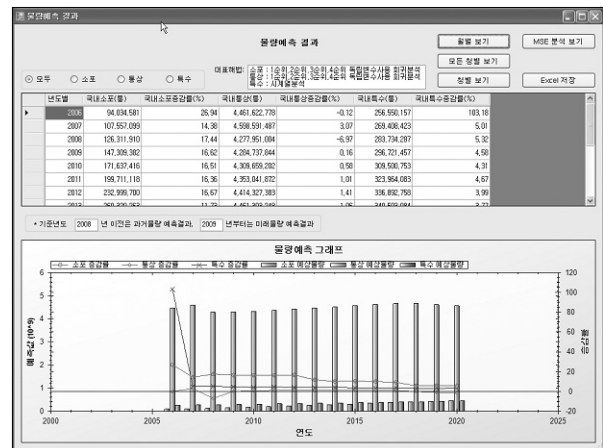


그림 3. 최적 해법 자동 선택에 의한 예측 결과

3.3 회귀 분석 기능

회귀 분석(regression analysis)을 위한 과거 물량 데이터 사용 기간 및 예측 기간을 자동으로 인식하고 이를 필요에 따라 수정하거나 입력하는 기능을 구현하였다. 이 부분은 3.2 절에 소개된 기능과 사실상 동일하다.

다중 회귀 분석을 실시하기 이전에, 종속 변수에 따라 효과적으로 독립 변수를 선택할 수 있도록 상관 계수(correlation coefficient)를 구하고 우수한 독립 변수를 추천할 수 있도록 하는 기능을 구현하였다. 각각의 독립 변수들과 종속 변수 사이의 상관 계수는 식 (1)과 같이 계산되어지며, 그 결과가 1에 가까울수록 양의 상관성이 강해지고 -1에 가까울수록 음의 상관성이 강해지며, 0에 가까울수록 두 변수 간에는 상관성이 적다고 할 수 있다(Kleinbaum 등, 2007).

$$\rho_{xy} = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

회귀 분석의 대상이 되는 보통 우편, 특수 우편, 소포 등 종속 변수 선택에 따라 어떠한 독립 변수가 보다 적합한지 확인할 수 있도록 하기 위하여, 종속 변수를 선택하면 우편물류에 영향을 미칠 수 있는 독립 변수들과의 상관 계수를 자동으로 계산하여 비교 조회할 수 있도록 소프트웨어를 개발하였다. 이에 따라 종속 변수에 따라 우수한 독립 변수를 추천할 수 있으며, 사용자가 회귀 분석 등에 대한 전문적인 지식 없이도 적합한 독립 변수를 보다 쉽게 파악하여 활용할 수 있게 되었다.

〈그림 4〉는 예측 대상을 소포, 통상 우편, 특수 우편 등으로 선택함에 따라 10가지 독립 변수에 대한 상관 계수 값을 계산하여 종속 변수와 관련성이 높은 순위를 조회할 수 있도록 하는 기능을 보인 것이다.

독립변수	상관계수	순위
택배시장	0.9905	1
1인당GDP	0.9976	2
경제활동인구	0.9968	3
전력발전량	0.9965	4
사이버쇼핑몰 거래액	0.9910	5
가구수	0.9884	6
상장주식수	0.9734	7
인구	0.9397	8
실질GDP	0.8992	9
실질GNI	0.8556	10

그림 4. 상관 계수 순위 조회

우편물류 수요예측을 위한 회귀 분석 기능은 Kleinbaum 등 (2007)에 소개된 다중 회귀 분석 기법의 수학적 모델에 따라 설계하였으며, 독립 변수 4개까지 활용할 수 있는 다중 회귀 분석 실행 모듈을 개발하였다. 회귀 분석을 실행할 때는 종속 변수 및 독립 변수 데이터를 불러들인 후 경우에 따라 수정하거나 추가 입력할 수 있는 기능을 구현하였다.

다중 회귀 분석을 위하여 사용되는 회귀식은 아래 식 (2)와 같다(Kleinbaum 등, 2007).

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k + \epsilon \quad (2)$$

여기서 Y 는 종속 변수, X_k 는 각 원인 인자에 의한 독립 변수, b_k 는 각 독립 변수에 대한 회귀 계수(regression coefficient)이며 ϵ 는 오차이다.

종속 변수는 식 (3)과 같은 Y 벡터 형태로 표현할 수 있다.

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

독립 변수는 식 (4)와 같은 X 벡터 형태로 표현된다.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

이 때, 식 (2)와 같은 회귀식에서의 회귀 계수에 대한 벡터값을 의미하는 b 벡터는 식 (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

회귀 분석을 위한 최소 자승법(method of least square)에서의 정규 방정식(normal equation)은 식 (6)과 같다.

$$X^T X b = X^T Y \quad (6)$$

따라서 최소 자승 추정량 b 벡터는 식 (6)의 정규 방정식을 이용하여 식 (7)과 같이 전개하여 구할 수 있다.

$$b = [X^T X]^{-1} X^T Y \quad (7)$$

식 (7)에 의하여 구해진 b_k 값을 활용하여 통계청 등으로부터 수집된 자료인 각각의 독립 변수 값 X_k 를 식 (2)에 대입하여 다항식을 계산하면, 최종적으로 다중 회귀 분석에 의한 수요예측치를 구해낼 수 있게 된다.

우편물류를 위한 물량 예측을 실시하는데 있어, 다중 회귀 분석 기능은 식 (7)의 계산 알고리즘을 C#으로 구현하는 것에 초점이 맞추어 졌다. 특히 b 벡터를 구하기 위하여 $n \times n$ 형태의 역행렬을 피벗팅(pivoting) 방식으로 가우스 조던 소거법(Gauss-Jordan elimination method)을 통해 계산해 낼 수 있도록 개발하였다.

회귀 분석을 수행한 결과를 조회하는 기능의 경우, 우선 일반, 특수, 소포 등의 우편물류 유형에 따라 조회할 수 있도록 하였다. 그리고 회귀 분석에 대한 월별 결과 및 연도별 결과를 자유롭게 변환시켜가면서 조회할 수 있는 기능을 구현하였으며, 체신청을 선택하여 회귀 분석 결과를 각 지역별로 조회할 수 있는 기능도 개발하였다. 그리고 회귀 분석의 결과를 csv 확장자와 엑셀 파일 등으로 저장할 수 있도록 하여 사용자가 수요예측 결과를 자유롭게 활용할 수 있도록 하였다.

〈그림 5〉는 다중 회귀 분석의 실행 화면을 보인 것이다.

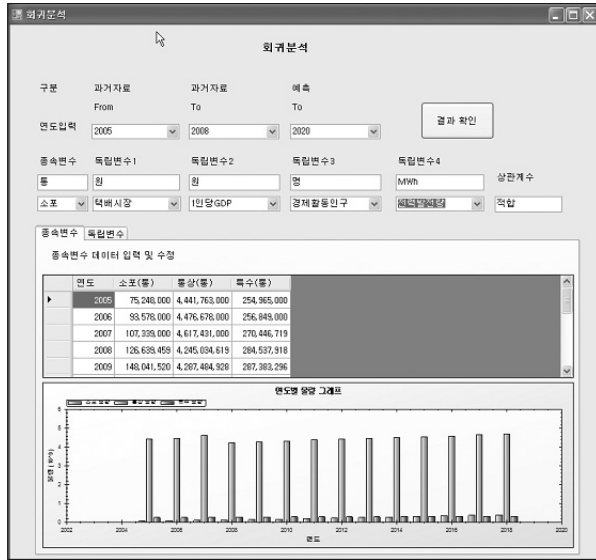


그림 5. 다중 회귀 분석 실행 화면

3.4 시계열 분석 기능

우편물류 수요예측을 위한 시계열 분석(time series analysis)에서도 3.2 절에 소개된 기능과 같이 위한 과거 물량 데이터 사용 기간, 예측 기간을 자동으로 인식하고 경우에 따라 수정하거나 추가로 입력할 수 있도록 개발하였으며, 시계열 분석을 위한 과거 물량 데이터를 조회하고 수정사항을 입력하는 기능을 갖도록 하였다.

우편물류 수요예측을 위하여 구현된 시계열 분석 모듈은 Montgomery 등(2008)에 소개된 분해법(decomposition method)의 방법론에 따라 설계되었다. 분해법에서는 각 시점 t 에 대하여 식 (8)과 같이 수요(D: demands)를 추세 요인(T: trend factor), 순환 요인(C: cyclical factor), 계절 요인(S: seasonality factor), 랜덤 요인(R: randomness)의 곱으로 표현할 수 있다고 본다.

$$D_t = T_t \times C_t \times S_t \times R_t \quad (8)$$

각 시점의 실제 우편 물량의 수요를 각 시점에 대한 이동평균값(MAV: moving average)으로 나누면 식 (9)와 같이 계절 요인과 랜덤 요인의 곱이 구해진다. 이 때 이동평균값은 수요에 영향을 미치는 추세 요인과 사이클 요인 이렇게 두 요인의 곱으로 파악된다.

$$\frac{D_t}{MAV_t} = \frac{T_t \times C_t \times S_t \times R_t}{T_t \times C_t} = S_t \times R_t \quad (9)$$

식 (9)로부터 구해진 값을 각 월별로 평균을 내어 랜덤 요인의

영향을 사실상 없애는 것으로 정리하면, 월별 계절 요인 지수 S_t 를 구해낼 수 있게 된다.

수요를 종속 변수로 하고 시간의 흐름에 따르는 각 시점 t 를 독립 변수로 하는 단순 선형 회귀 분석을 위한 회귀식은 식 (10)과 같다.

$$D_t = b_0 + b_1 \times t \quad (10)$$

식 (10)은 다중 회귀 분석을 위한 식 (2)에서 오직 한 가지 종류의 독립 변수만 존재하는 특수한 경우에 대한 회귀식이라고 할 수 있다. 따라서 다중 회귀 분석을 실시할 때와 마찬가지로 식 (3)~식 (7)을 통하여 b 를 구하고, 이를 식(2)에 대입하여 회귀선을 구할 수 있다. 이렇게 구해진 회귀선의 기울기 b_1 값이 시간의 흐름에 대한 추세 요인 T_t 가 된다.

시간의 흐름에 대한 수요의 움직임을 추세 요인을 구할 때, 식 (10)과 같이 시간의 흐름에 따라 일정하게 증가하거나 감소하는 선형 함수 형태를 갖는다고 가정하는 것이 실제 우편물류 수요의 추세 변화에 적합하지 않을 수도 있다. 따라서 향후 우편물류 수요 변화의 추이와 가장 유사한 형태일 것으로 예상되는 완만하게 수요의 증가 폭이 감소할 경우에 대해서는 식 (11)과 같이 로그 함수에 대한 회귀식을 이용할 수 있다.

$$D_t = b_0 + b_1 \times \ln t \quad (11)$$

로그 함수를 적용한 회귀식 식 (11)에 대하여, 최소 자승법을 활용할 경우 최소화해야 하는 값은 식 (12)과 같다.

$$\sum_{t=1}^n (b_1 \times \ln t + b_0 - D_t)^2 \quad (12)$$

식 (12)를 와 에 대하여 편미분하면 식 (13), 식 (14)와 같다.

$$b_0 = \frac{\sum_{t=1}^n D_t - b_1 \sum_{t=1}^n \ln t}{n} \quad (13)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{t=1}^n D_t \ln t - b_0 \sum_{t=1}^n \ln t}{\sum_{t=1}^n (\ln t)^2} \quad (14)$$

식 (14)를 식 (13)에 대입하면 연립 방정식에 의하여 식 (15)와 같이 전개할 수 있고, 이를 통하여 b_1 을 구하기 위한 식 (16)을 얻게 된다.

$$b_0 = \frac{\sum_{t=1}^n D_t}{n} - \frac{\sum_{t=1}^n D_t \ln t - \frac{1}{n} (\sum_{t=1}^n D_t) (\sum_{t=1}^n \ln t)}{n \sum_{t=1}^n (\ln t)^2 - (\sum_{t=1}^n \ln t)^2} \quad (15)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{t=1}^n D_t \ln t - \frac{1}{n} (\sum_{t=1}^n D_t) (\sum_{t=1}^n \ln t)}{\sum_{t=1}^n (\ln t)^2 - \frac{1}{n} (\sum_{t=1}^n \ln t)^2} \quad (16)$$

식 (16)을 이용하면 시간의 흐름에 따라 추세 변화가 완만하게 진행되는 것을 반영하는 추세 요인 T_t 를 구해낼 수 있다.

분해법에서 순환 요인은 이동평균값을 추세 요인으로 나누는 방법으로 구할 수 있으며, 이는 식 (17)과 같다.

$$C_t = \frac{MA V_t}{T_t} \quad (17)$$

이렇게 계절 요인, 추세 요인, 순환 요인 등과 같은 각 요인들을 모두 분해하여 값을 구한 후, 이를 식 (8)에 대입하면 분해법에 의한 수요예측치를 구할 수 있게 된다. 추세 요인을 찾을 때 월별 기간을 미래 시점까지 길게 늘여서 구하므로, 미래에 대한 수요예측이 가능해 진다. 또한 실제 우편 물량 수요 데이터가 존재하는 과거의 기간에 대한 수요예측값은, 예측치와 실제 수요량을 서로 비교하여 예측 오차를 구해내고 이를 이용하여 MSE 분석을 실시하는 데 사용한다.

시계열 분석 모듈은 이상과 같은 계산 방법에 따라 분해법을 실행하고 그 결과를 우편물류 유형에 따라 조회할 수 있도록 구현하였다. 특히 분해법의 추세 요인의 경우 선형 함수 또는 로그 함수를 선택할 수 있도록 시스템을 개발한 것이 특징이다. 또한 시계열 분석에 사용된 계절 요인과 순환 요인 값을 조회할 수 있도록 하였다.

시계열 분석 결과 조회 부분에서는, 각각의 우편 유형에 대하여

월별 또는 연도별로 수요예측 결과값을 자유롭게 조회할 수 있도록 개발하였다. 각 지역별 체신청별 결과도 별도로 선택하여 조회할 수 있도록 하였으며, 시계열 분석 결과를 csv 확장자나 엑셀 파일 등으로 저장할 수 있도록 하였다.

〈그림 6〉은 시계열 분석 결과의 각 지역 체신청별 조회 화면을 보인 것이다.

4. 결론

본 연구는 우편물류를 위한 중장기 수요예측 시스템 개발 및 도입에 대한 사례를 다루고 있으며, 소프트웨어 개발 과정에서 적용한 주요 알고리즘과 개발 방법을 상세하게 소개하였다. 지금까지 국내외에서 우편물류의 수요예측을 다루는 연구는 다양한 방법으로 진행된 바 있지만, 한국의 우편물류 서비스 실정에 맞는 수요예측 소프트웨어를 실제로 개발하고 그 과정에 대하여 소개한 것은 이번 사례 연구가 처음이다. 실제 한국의 우편 서비스 과거 물량 변화 추이에 맞추어 자동으로 최적의 수요예측 해법을 제안하고 그것에 따라 예측 결과를 활용할 수 있도록 한 것이 본 연구에서 소개한 소프트웨어의 특징이다.

향후 과제로는, 우선 우편물류 서비스를 위한 중장기 수요예측을 기반으로 중장기 우편물류 인프라 구축의 최적 계획 수립에 관한 연구를 진행할 필요가 있으며, 중장기 우편물류 인프라에 대한 수요예측 결과를 기반으로 다양한 시뮬레이션을 수행하는 연구가 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] 김대기, 최재필(2006), 우편집중국의 운영효율성 개선을 위한 의사결정지원 모델에 대한 연구, *한국 SCM 학회지*, 제6권, 제2호, pp. 36~47.
- [2] 김의창, 최현탁(1999), 집중국별 우편물량 예측에 따른 차량 할당, *한국정보시스템학회 1999년도 춘계학술대회 발표논문집*, pp. B64~B71.
- [3] 문성철(2008), 'POST-EXPO 2008'을 통해 본 우정사업의 미래, *우정정보*, 제75권, 제4호, pp. 95~110.
- [4] 오형식, 이성준, 남윤석, 장태우(2003), 우편물량에 대한 예측 (로지스틱 곡선을 중심으로), *대한산업공학회 2003년도 추계학술대회 발표논문집*, pp. 281~285.
- [5] 이덕주, 김기홍, 안재경, 김종화, 이성준(2005), 시장환경

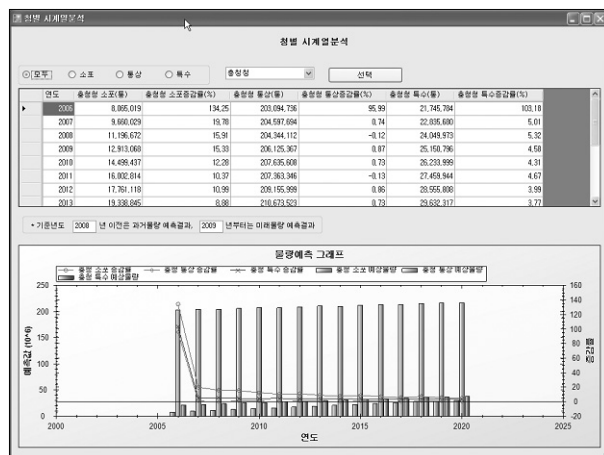


그림 6. 체신청별 시계열 분석 결과 조회

- 변화를 고려한 국내 다량우편물 물량 예측”, 한국경영과학회/대한산업공학회 2005년도 춘계공동학술대회 발표 논문집, pp. 784~793.
- [6] 이상락, 임재민, 박종홍, 박기식, 전성무(2006), 실시간 우편물류 구축을 위한 기술 및 적용 방법론 분석, 전자통신동향분석, 제21권, 제2호, pp. 98~106.
- [7] 이충배, 양재훈, 이정민(2003), 국제 특송업체의 글로벌 경쟁전략, 로지스틱스연구, 제11권, 제1호, pp. 59~81.
- [8] 임재민, 김완석, 차춘남(2006), 우편집중국 구분작업의 노동생산성 평가모형에 관한 연구, 한국 SCM 학회지, 제6권, 제2호, pp. 63~73.
- [9] 임준묵, 강진규, 최한용, 차춘남(2003), 국내 우편물량의 수요예측, 한국경영과학회 2003년도 추계학술대회 발표 논문집, pp. 3~6.
- [10] 임준묵, 이성준, 김호연(2007), 우편 집배국의 순로구분 자동화 수행도 평가, 한국 SCM 학회지, 제7권, 제2호, pp. 99~110.
- [11] 최지영, 이경식, 박성수, 김진석, 김혜규(2001), 우편물 기간운송계획 알고리즘, 한국경영과학회 2001년도 추계학술대회 발표논문집, pp. 191~194.
- [12] 함용석, 김태영(2010), 알기쉬운 생산운영관리. 두남.
- [13] Christian, J.(2007), Liberalization of the Swiss letter market and the viability of universal service obligations, *Swiss Journal of Economics and Statistics*, Vol. 143(3), pp. 261~282.
- [14] Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., Nizam, A. and Muller, K. E.(2007), *Applied Regression Analysis and Multivariable Methods*, 4th ed., Duxbury Press.
- [15] Ko, C. S., Min, H. K. and Ko, H. J.(2007), Determination of cutoff time for express courier services: a genetic algorithm approach, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 14(2), pp. 159~177.
- [16] McAree, P., Bodin, L., Ball, M. and Segars, J.(2006), Design of the Federal Express large package sort facility, *Annals of Operations Research*, Vol. 144(1), pp. 133~152.
- [17] Montgomery, D. C., Jennings, C. L., Kulahci, M.(2008), *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*, John Wiley & Sons.
- [18] Pettus, M. L. and Munoz, J. M.(2008), Conducting business in the Philippines: the case of FedEx, *Global Business & Organizational Excellence*, Vol. 27(3), pp. 57~67.
- [19] Trinkner, U. and Grossmann, M.(2006), Forecasting Swiss Mail Demand, *Progress Toward Liberalization of the Postal and Delivery Sector*, Crew, M. A. and Kleindorfer, P. R.(ed), Springer.
- [20] Werners, B. and W?lfing, T.(2010), Robust optimization of internal transports at a parcel sorting center operated by Deutsche Post World Net, *European Journal of Operational Research*, Vol. 200(1), pp. 419~426.



김 태 영

한양대학교 산업공학과 학사

한양대학교 산업공학과 공학석사

한양대학교 산업공학과 공학박사

현재 : 동양미래대학 경영학부 전임강사

관심분야 : 생산/물류관리, ERP/SCM, 경영과학



황 승 준

한양대학교 산업공학과 학사

Georgia Institute of Technology

산업공학과 공학석사

Georgia Institute of Technology

산업공학과 공학박사

현재 : 한양대학교 경상대학 경영학부 조교수

관심분야 : 생산관리, 물류/SCM, 경영과학

불안정한 수요분포를 갖는 공급망의 목표 서비스 수준 만족을 위한 분배계획

권익현[†]

인제대학교 시스템경영공학과

Distribution Planning for a Supply Chain to Satisfy Target Service Level with Non-stationary Demand

Ick-Hyun Kwon[†]

[†]Department of Systems Management Engineering, Inje University

This paper addresses a distribution planning scheme for satisfying fill-rate type target service level under non-stationary demand environment. The model considered in this paper is a serial inventory system where N nodes are arranged in series. For this problem we first propose a new adaptive forecasting scheme which is aimed to make up for the drawback of the existing adaptive forecasting approach. And then we propose a heuristic distribution planning procedure which determines base-stock levels dynamically at each time period by decomposing the considered model into a number of independent single node models. In order to solve these subproblems efficiently, we utilize a result derived by Sobel(2004) that can calculate an exact base-stock level for a single node model under fill-rate constraint. A simulation based experiment was performed to evaluate the performance of the proposed distribution planning scheme.

Keywords: supply chain management, non-stationary customer demand, service level, serial inventory system, adaptive forecasting

1. 서론

글로벌 경쟁이 점차 심해지는 가운데 공급망관리(supply chain management)는 전 세계 모든 산업으로 확대되고 있으며, 오늘날의 기업들은 그들의 생존을 위해 공급망관리에 많은 역량을 집중하고 있다(Simchi-Levi et al., 2008). 이러한 공급망

에서 가장 불확실하고 가변성이 높은 요소는 무엇보다 고객의 수요이다(Cachon and Terwiesch, 2009). 따라서 이 고객의 수요를 정확하게 반영하는 것이 전체 공급망의 성능 향상을 위해 필요한 중요한 요소라 할 수 있다.

지금까지 대부분의 연구는 분포의 형태가 미리 알려진 안정적인 고객수요를 가정한 반면, 현실에서의 고객수요는 그 분포를 알 수 없으며 시간의 흐름에 따라 변화하는 특성을 갖는다.

* 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-331-D00697).

† Corresponding author: 621-749 경남 김해시 어방동 607 인제대학교 시스템경영공학과

TEL : 055-320-3992 FAX : 055-320-3632 E-mail : ikwon@inje.ac.kr

* 2010년 8월 30일 투고, 9월 29일 게재 확정.

Gavirneni and Tayur(2001)는 고객 수요가 불안정한 형태를 나타내는 다양한 원인을 5가지(경제상황의 변화, 계절적인 요인, 수요정보의 베이지안 갱신, 정보의 흐름, 환율 변동 등) 범주로 구분하고 각각의 원인을 다룬 기존 연구들을 언급하였다.

기존 연구에 대한 검토결과 공급망과 관련된 대부분의 기존 연구들은 고객 수요의 불안정성(non-stationarity)에 대해 매우 단순한 가정을 하고 있음을 알 수 있다. 즉, 고객 수요를 Markov modulated demand(예 : Beyer and Sethi, 1997) 또는 integrated moving average process(예 : Graves, 1999) 등으로 모델링하고 이러한 분포에 대한 불안정성에 영향을 주는 요소인 Markov transition matrix나 기타 여러 가지 모수(parameter)들은 이미 알려져 있다고 가정하였다. 또한 이러한 문제들을 동적계획법(dynamic programming)과 같은 수리적인 방법을 통해 해결하고자 하였기에 과도한 계산시간과 모델링의 복잡성 등으로 인해 단일노드와 같은 매우 단순한 모형에 국한된 연구를 수행하였다. Treharne and Sox(2002)는 이와 같은 연구를 완전히 관측되는 불안정한 수요 문제(fully observed, non-stationary demand problem)로 정의하고 이러한 한계를 극복할 수 있는 방안으로 공급망 관련 모수가 알려지지 않는 문제를 해결하기 위해 부분적으로 관측되는 마코브 의사결정 과정(partially observed Markov decision process : POMDP)을 이용한 접근 방법을 제안하였다. 그러나 이들의 모형 역시 수학적 접근 방법으로 인해 여전히 제한적인 문제에만 적용 가능한 한계가 존재한다.

또한 기존 연구의 검토결과 한 가지 더 주목해야 할 점은, 대부분의 기존 연구는 계획 기간 동안의 비용 최소화를 목적으로 하는 연구를 수행하였을 뿐 서비스 수준과 관련된 연구는 상대적으로 드문 실정이라는 점이다. 그러나 고객에게 주어진 서비스 수준을 만족시키기 위한 재고 정책을 결정하는 문제 또한 간과해서는 안 될 매우 중요한 문제 가운데 하나이며, 서비스 수준의 결정은 기업의 중요한 정책 가운데 하나로써 해당 기업의 경쟁력과 직결되는 문제이다. 즉 재고 정책의 방향을 어떻게 결정하는가에 따라 전체 공급망에서 발생하는 비용에 영향을 미치게 되기에 매우 중요하게 고려되어야 할 과제이다. 또한 최근의 기업들은 물류 경쟁력 향상을 위해 SLA(service level agreement)의 도입에 대한 관심이 증가하고 있음을 주목할 필요가 있다. 이는 고객 만족의 극대화를 위해 고객의 시각에서 서비스를 관리하고 개선하기 위한 서비스 관점의 전환을 의미하는 것이다. 안정적인 수요에 대한 서비스 수준 만족 문제는 이미 상당한 연구가 진행되어 왔으며, Diks et al.(1996)에 의해 체계적으로 정리되어 발표된바 있다.

본 논문의 목적은 보다 현실적인 형태의 공급망에 대한 재고문제에 대한 해법을 제시하는 것이다. 본 논문에서는 N개의 노드가

연속적으로 이루어진 시리얼(serial) 형태의 공급망을 대상으로 시간에 따라 동적으로 변화하는 고객 수요의 행태 하에서 주어진 서비스 수준을 보장하는 물류계획 방법론을 제시하고자 한다. 서비스 수준은 그 정의에 따라서 표현 방법이 달라지는데, 본 논문에서는 충족률(fill rate)을 서비스 수준의 척도로 사용하기로 한다. 충족률이란 발생한 수요 중에서 해당 노드가 가지고 있는 재고로써 즉시 충족 가능한 량의 비율을 나타내는 것으로, 서비스 수준을 표현하는 방법으로 많이 사용되어 지고 있으며 실제 산업 현장에서도 광범위하게 활용되어지고 있다(Axsater, 2006; Sobel, 2004).

2. 기존 연구

지금까지 공급망관리에 관한 대부분의 연구는 안정적인 수요를 갖는 비교적 단순한 공급망 네트워크를 대상으로 확률적 모델이나 해석적 모델을 이용하여 수리적인 접근 방법을 통해 정량화하는 연구를 시도하여 왔다. 이러한 기존의 공급망 관련 연구 방법들은 비교적 정확한 결과값을 제시하지만, 노드의 수가 늘어나거나 다른 제약조건이 추가될 경우 수리적으로 접근하기에는 한계가 있어 비교적 제한된 범위에 적용될 수밖에 없으며 그 결과들을 실제 문제에 적용하기에 많은 어려움이 따르는 한계점이 존재한다.

본 논문과 이론적으로 밀접하게 관련된 대표적인 연구로 Treharne and Sox(2002)를 들 수 있다. 그들은 공급망의 재고관리 문제를 다음과 같은 4가지 범주로 구분하고 각 범주에 속하는 대표적인 연구들을 언급하였다.

- 완전히 관측되는 안정된 수요(fully observed, stationary demand)
- 완전히 관측되는 불안정한 수요(fully observed, non-stationary demand)
- 부분적으로 관측되는 안정된 수요(partially observed, stationary demand)
- 부분적으로 관측되는 불안정한 수요(partially observed, non-stationary demand)

여기서 “부분적으로 관측되는(partially observed)”이란 실제 고객 수요에 대한 정보(예 : 분포의 형태, 평균, 표준편차 등)를 사전에 직접적으로 알 수 있는 것이 아니라, 실제로 발생한 수요값들을 통해 간접적으로 알아나가는 형태를 말하며 실제로 대부분의 공급망에서 발생하는 고객 수요는 이와 같은 형태를 따를 것이

다. 첫 번째와 두 번째 범주에 속하는 형태의 경우 고객에 대한 수요분포를 사전에 알고 있기 때문에 비교적 쉬운 문제에 해당되며, 이와 관련된 여러 가지 다양한 연구가 진행되어 왔다.

반면에 “부분적으로 관측되는 불안정한 수요”에 해당되는 문제는 아직까지 많은 연구가 진행되지 못한 실정이다. Aviv(2003)은 4번째 범주에 속하는 기존 연구를 다시 3가지로 구분하였다. 첫 번째 접근방법은 Bayesian updating mechanism을 이용하여 과거에 발생한 수요정보를 분석하고 이를 토대로 현시점에 대한 수요분포의 모수들을 추정하는 방법이다. 두 번째 방법은 고객 수요를 간단한 시계열 모형(예 : autoregressive moving-average process)을 사용하여 모델링하는 방법이다. 세 번째 방법은 고객의 수요를 Markov-modulated process로 모델링하는 것으로 대표적인 연구로는 Song and Zipkin(1993)이 있다. 그러나 이러한 기존의 수리적인 접근 방법은 비록 최적해 또는 근사최적해를 제공하지만, 매우 제한적인 형태의 모델에 대해서만 적용 가능하다는 한계점이 존재한다.

본 논문에서는 “부분적으로 관측되는 불안정한 수요”에 대한 기존 접근 방법의 단점을 보완하면서, 보다 일반적인 공급망 형태인 시리얼(serial) 재고모형에 대해 주어진 충족률 형태의 서비스 수준을 만족하기 위한 효과적인 재고정책을 제안하는 것을 목표로 한다. 공급망에서 충족률 만족을 목표로 하는 대부분의 연구는 단일노드를 대상으로 첫 번째 범주에 해당하는 고객수요를 다룬 것이 대부분이다. 현실 환경의 복잡성과 비정형성을 모두 다단계 재고 모델에 반영하여 문제를 해결하기에는 안정적인 수요분포에서도 어려움을 겪고 있는 점을 감안하면, 다단계 재고모형에 관한 연구를 진행하기에는 현실적으로 많은 어려움이 따를 것으로 예상된다.

단일노드에 대한 충족률 만족 문제를 고려한 대표적인 연구로는 Sobel(2004)의 연구를 언급할 수 있다. Sobel(2004)은 감마분포(gamma distribution)와 정규분포를 따르는 단일노드에서 충족률을 정확하게 표현하였으며, 정규분포일 경우의 근사적인 표현 방법을 제안하였다. 또한 시리얼 재고모형에서 충족률과 각 노드의 기초재고 수준(base-stock level)과의 상관관계를 분석하였으며, 주어진 기초재고 수준에서 충족률의 상한과 하한을 구하였다.

본 논문에서는 불안정한 수요 하에서 N개의 노드가 연속적으로 이루어진 시리얼 재고모형에 대한 각 노드별 기초재고 수준을 계산하기 위해 주어진 모형을 N개의 독립된 단일노드 형태로 분해(decomposition)시킨 후에 각각의 단일노드에 대한 기초재고 수준을 Sobel(2004)의 연구결과를 활용하여 동적으로 계산하는 접근방법을 사용하여 주어진 충족률 형태의 목표 서비스 수준을 만족시킬 수 있는 물류계획 방법론을 제안하는 것을 목표로 한다.

3. 본 론

3.1 문제의 정의 및 가정

본 논문에서 제안하는 연구와 대부분의 기존 연구와의 가장 큰 차이점은 수요 분포에 대한 가정에 있다. 본 연구에서는 불안정한 고객 수요를 대상으로 한다. 불안정한 형태의 고객 수요는 ARIMA(autoregressive integrated moving average)에서와 같은 시계열 모형도 아니며, 여타의 수학적 접근방법에서 사용되는 통계분포도 아닌, 시간에 따라서 그 평균과 분산 등이 변화하는 것이다. 또한 이러한 변화 형태를 미리 알고 있지 않은 것으로 가정한다. 이러한 불안정한 수요 형태는 서비스 수준의 준수와 재고 비용 감소 등과 관련된 공급망 운영을 어렵게 만드는 요소가 된다.

본 논문의 대상 모형은 아래 <그림 1>과 같이 N개의 노드가 연속적으로 이루어진 시리얼 네트워크이다. 다단계 공급망 네트워크에 물량을 공급하는 외부 공급자의 생산능력은 제한이 없는 것으로 가정한다. 분배계획의 목적은 계획기간(planning horizon) 동안 목표로 하는 충족률(fill rate) 형태의 서비스 수준을 만족하는 것이다. 각 노드의 주문량 결정은 주기적 재고조사(periodic review), order-up-to 혹은 base-stock 정책에 따라 이루어진다.

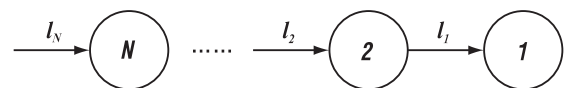


그림 1. 시리얼 재고모형의 예

3.2 수요예측

일반적으로 수요예측의 정확성의 차이에 따라 전체 시스템에 대한 분배계획의 결과는 큰 영향을 받는다. 따라서 최상위 의사결정 단계인 수요예측 값의 결정은 전체 계획 수립 절차에 있어서 가장 우선시하여 고려되어야 하는 중요한 사항이다. 따라서 본 논문에서는 공급망에 대한 분배계획 수립 절차를 제안하기에 앞서 불안정하게 변화하는 고객의 수요분포를 빠르고 정확하게 예측하기 위한 수요예측 알고리즘을 제안한다.

정확한 고객의 수요정보를 획득하기 위해 본 논문에서 제안하는 수요예측 알고리즘에서는 지수평활법(exponential smoothing)을 사용하여 수요정보(고객수요 분포의 평균 및 표준편차)를 갱신하되, 평활모수(smoothing parameter)를 적응적으로 조절해 나가는 방식을 택하기로 한다. 전통적인 지수평활법은 고정된 값을 갖는 평활모수 α 를 사용하기에 수요분포의 변화를

빠르게 탐지하여 이를 즉각적으로 반영하기에는 한계가 있다 (Brown, 1963). 따라서 수요분포의 변화에 적응적으로 대응하기 위해서는 수요의 평균 및 표준편차를 예측하기 위해 평활모수 또한 적응적으로 변화되어야 한다. 예를 들어 만약 최근 급격한 수요분포의 변화가 탐지되었다면 최근의 수요 데이터에 보다 많은 가중치를 주어 예측 수요분포를 갱신하는 것이 효과적일 것이며, 이를 위해서는 보다 큰 평활모수를 사용하는 것이 타당할 것이다.

기존의 많은 연구에서도 이미 이러한 적응형 지수평활 기법을 제안한 바 있다. 대표적인 연구로 Trigg and Leach(1967)는 추적신호(tracking signal) 기법을 사용하여 평활모수를 조정해나가는 방법을 제안하였다. 추적신호 기법은 과거의 데이터와 현재의 데이터를 비교하여 현재 데이터가 과거 데이터에 비해 얼마나 많이 변했는지를 추적하는 기법이다. 추적신호 기법을 이용하는 경우 t 기간의 평활모수 α_t 는 아래의 식을 통해 적응적으로 계산될 수 있다.

$$\alpha_t = \left| \frac{MD_t}{MAD_t} \right|$$

$$\text{단, } MD_t = (1-\gamma) \cdot MD_{t-1} + \gamma \cdot (D_{t-1} - \widehat{D}_{t-1}),$$

$$MAD_t = (1-\gamma) \cdot MAD_{t-1} + \gamma \cdot |D_{t-1} - \widehat{D}_{t-1}|,$$

D_t : t 기간의 실제 수요,

$\widehat{D}_t$: t 기간의 예측수요

MD_t 는 t 기간까지 예측수요의 평균편차(mean deviation)를 의미하고, MAD_t 는 t 기간까지 예측수요의 평균절대편차(mean absolute deviation)를 의미한다. 또한 추적모수(tracking parameter)인 γ 는 MD_t 와 MAD_t 값의 변화를 제어하는 역할을 수행하는데 일반적으로 γ 의 값은 0.1이 주로 사용된다. 이러한 추적신호 기법의 가장 큰 단점은 짧은 기간 동안 동일한 부호(sign)의 예측오차가 연속해서 발생할 경우 평활모수는 이러한 변화에 빠르고 민감하게 반응하여 수요예측의 성능을 저하시킨다는 점이다. 이와 같은 추적신호 기법의 단점을 보완하기 위한 많은 연구가 진행되었으나, 여전히 많은 한계점이 존재하는 실정이다 (George and Powell, 2006; Makridakis et al., 1998). 본 논문에서는 기존에 연구된 적응형 지수평활법의 단점을 보완할 수 있는 보다 개선된 수요예측 기법을 제안하고, 이를 활용하여 보다 효과적인 공급망 분배계획을 수립할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 수요변화에 대처하여 적응적으로 지수 평활법에 사용되는 평활모수를 결정하기 위하여 후보 평활모수의 집합 $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ 을 사전에 정의한 후(예 : $A = \{0.05, 0.1, 0.15, \dots, 0.5\}$), 이 가운데 특정한 α 를 특정한 n 기간 동안의 평활모수로 사용하는 방안을 제안한다. α 를 선택하는 기준으로는 지난 n 기간

동안의 예측수요에 대한 절대오차(absolute error)의 합이 가장 작은 α 를 다음 n 기간 동안의 평활모수로 사용하는 방식을 사용한다. 예를 들어 현재시점 부터 향후 n 기간 동안 사용될 평활모수는 $t-n$ 부터 $t-1$ 기간 동안 실제수요와 예측수요 간의 절대오차의 합이 가장 작은 α 가 선택된다.

즉 $\widehat{D}_t(\alpha_j)$ 를 평활모수 α_j 를 사용한 t 기간의 예측수요라고 정의하면 다음의 조건을 만족하는 α 가 t 시점부터 향후 n 기간 동안 사용될 평활모수 $\alpha^*(\in A)$ 로 선택되어 진다.

$$\alpha^* = \underset{\alpha_j \in A}{\operatorname{argmin}} \sum_{t'=t-n}^{t-1} |D_{t'} - \widehat{D}_{t'}(\alpha_j)|$$

t 시점에서 사용될 평활모수를 선택하기 위해서는 이전 n 기간 동안에서 선택 가능한 모든 평활모수들에 대한 실제 절대오차의 합이 주어져야 한다. 그러나 실제 재고관리 상황에서는 n 기간에서의 예측오차의 합을 최소화할 수 있는 하나의 평활모수만이 선택되어지기 때문에 선택되지 않은 다른 평활모수들에 대한 실제 예측오차의 합을 직접적으로 알 수 없다는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 <그림 2>에서 제시한 바와 같은 retrospective analysis 방법을 이용하여 선택 가능한 모든 평활모수에 대한 절대오차의 합을 계산가능하게 한다. <그림 2>에서 굵은 실선으로 표시된 화살표는 특정 기간에서 절대오차의 합을 최소화할 수 있는 평활모수로 선택된 것에 대한 실제 절대오차의 합을 계산하는 것을 의미하고, 점선으로 표시된 화살표는 선택되지 않은 나머지 평활모수들에 대한 절대오차의 합을 계산하기 위해 이전 시점으로 회귀하여 각각의 평활모수에 대한 실제 절대오차를 계산하는 것을 의미한다. 이러한 retrospective analysis를 활용한 접근방법은 기존의 다른 연구들에 적용되어 좋은 결과를 얻은 바 있다 (Kim et al., 2008).

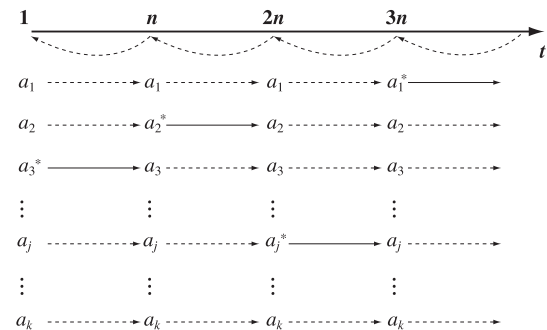


그림 2. Retrospective analysis의 예

3.3 분배계획 수립

본 논문에서는 복잡한 공급망에 대해 효과적인 분배계획을 수립하기 위해 전체 공급망을 단일노드 형태로 분해(decomposition)시킨 후 계층재고(echelon inventory) 개념을 이용하여 목표 서비스 수준을 준수하기 위해 필요한 각 노드별 order-up-to 수준을 동적으로 계산하는 접근방법을 사용한다. 이러한 계층재고 정책은 하위노드의 재고량의 합에 기반 하는 재고정책으로 상위노드의 주문량을 결정하는데 있어 하위노드가 재고를 많이 가지고 있는 경우 상위노드의 주문량을 낮추고 하위노드의 재고가 적을 경우 상위노드의 주문량을 높임으로써 공급망상의 모든 단계의 재고량을 효과적으로 유지하게 한다(Axsater, 2006). 각 노드별 order-up-to 수준은 Sobel(2004)의 연구결과와 3.2절의 수요예측을 통해 계산된 평균과 표준편차를 활용하여 근사적으로 계산한다.

Sobel(2004)의 표현에 따라 단일노드에 대해 x_t 를 t 기간 초의 재고 수준(inventory level), q_t 를 t 기간에 도착할 물량, y_t 를 q_t 가 도착하였지만 수요가 발생하기 전 시점의 재고 수준으로 정의하면 $y_t = x_t + q_t$ 의 관계가 성립한다. 또한 t 기간의 수요 분포를 D_t 라 하면 $x_{t+1} = y_t - D_t$ 로 표현된다. 이때 충족률 β 는 아래의 식을 통해 계산된다.

$$\beta = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left[\sum_{t=1}^T \min \{ (y_t)^+, D_t \} / \sum_{t=1}^T D_t \right],$$

$$\text{단 } x^+ = \max(x, 0), \quad x^- = \max(-x, 0),$$

$$x^+ - x^- = x$$

Sobel(2004)의 연구 결과에 의하면 주어진 기초재고 수준을 S , 리드타임을 L , 단위 기간 당 수요의 평균을 μ , 단위 기간 당 수요의 표준편차를 σ , $\nu = \sigma/\mu$, $b(a, j) = (a - j\mu)/(\sigma\sqrt{j})$, $\Phi(\cdot)$ 와 $\phi(\cdot)$ 를 각각 표준 정규분포(standard normal distribution)의 누적분포함수(cumulative distribution function)와 확률밀도함수(probability density function)라고 하면, 충족률 β 는 아래의 식을 통해 정확히 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \beta = & \nu \{ \sqrt{L}(\phi[b(S, L)] - \phi[-\sqrt{L}/\nu]) \\ & - \sqrt{L+1}(\phi[b(S, L+1)] - \phi[-\sqrt{L+1}/\nu]) \} \\ & + (1/\mu)(S - L\mu)(\Phi[b(S, L)] - \Phi[b(S, L+1)]) \\ & + \Phi[b(S, L+1)] + L\phi[-\sqrt{L}/\nu] \\ & - (L+1)\phi[-\sqrt{L+1}/\nu] \end{aligned} \quad (1)$$

앞서 <그림 1>에서 보듯이 본 논문에서는 N 개의 노드로 구성된 시리얼 형태의 공급망에서 최하위 단계인 노드에서부터 최상

위 노드의 순으로 노드번호를 부여한다. 각각의 노드에 해당하는 리드타임을 $l_1, l_2, \dots, l_N$ 으로 나타내기로 한다. 본 연구에서 사용 되는 나머지 기호들은 다음과 같다.

• l_i : 노드 i 의 리드타임

• L_i : 노드 i 부터 노드 1까지의 누적 리드타임, 즉

$$L_1 = l_1, \quad L_i = \sum_{j=1}^i l_j \text{ for } i > 1$$

• β : 목표 충족률

• $I_{i,t}$: 노드 i 의 t 시점에서의 on-hand 재고량

• $q_{i,t}$: t 시점에 주문되어 $t+l_i$ 시점에 노드 i 에 도착하게 될 물량

• $IP_{i,t}$: 노드 i 의 t 시점의 계층재고 상태(echelon inventory position),

$$\text{즉 } IP_{i,t} = \sum_{j=1}^i (I_{j,t} + \sum_{k=t-l_j+1}^t q_{j,k})$$

• D_t : t 시점에서 실제 고객 수요

• $\hat{D}_t$: $t-1$ 시점에 결정된 t 시점을 위한 예측 수요

• $\hat{\sigma}_t$: t 시점의 예측 오차에 대한 표준편차

• β_t : t 시점까지의 실제 서비스 수준, 즉

$$\sum_{k=1}^t \min \{ (I_{1,k})^+, D_k \} / \sum_{k=1}^t D_k$$

• $S_{i,t}$: 노드 i 의 t 시점에서의 계층 order-up-to 수준

본 논문에서는 공급망에서 발생하는 일련의 사건들은 매 기간 초에 발생하며, 다음과 같은 순서로 발생하는 것으로 가정한다.

- ① 각 노드의 리드타임 이전 기간 초에 주문한 물량($q_{i,t-l_i}$, $i=1,2,\dots,N$) 도착
- ② 이번 기간의 실제 수요(D_t) 발생
- ③ 현재까지의 실제 서비스 수준 β_t 계산
- ④ 다음 기간에 대한 예측수요($\hat{D}_{t+1}$) 및 예측 오차에 대한 표준편차($\hat{\sigma}_{t+1}$) 계산
- ⑤ 각 노드별 새로운 order-up-to 수준 계산($S_{i,t+1}$, $i=1,2,\dots,N$) 및 이에 따른 물량 이동($q_{i,t+1}$, $i=1,2,\dots,N$)

공급망에서의 재고균형(inventory balance)은 아래의 두 식을 따른다. 즉 고객수요가 발생하는 노드 1에서 t 기간의 재고수준은 $t-1$ 기간의 재고수준과 t 시점에 도착할 물량의 합에서 t 기간의 고객수요를 차감한 값이 된다. 반면에 나머지 노드들의 경우, t 기간의 재고수준은 $t-1$ 기간의 재고수준과 t 시점에 해당 노드로 도착할 물량의 합에서 t 기간에 하위노드로 보내지는 물량을 차감한 값이 된다.

$$I_{1,t} = I_{1,t-1} + q_{1,t-l_1} - D_{1,t}, \text{ if } i = 1$$

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + q_{i,t-l_i} - q_{i-1,t}, \text{ if } i > 1$$

본 논문에서 제안하는 구체적 분배계획 방법론의 수립 절차는 아래와 같으며, 이와 같은 절차를 매 기간 t 에 대해 반복적으로 적용한다.

(Step 1) t 시점을 위한 $\widehat{D}_t$ 와 $\widehat{\sigma}_t$ 계산

- $\widehat{D}_t = \widehat{D}_{t-1} + \alpha_t (D_{t-1} - \widehat{D}_{t-1})$,
- $\widehat{\sigma}_t = \sqrt{\pi/2} MAD_t \approx 1.25 MAD_t$,
- $MAD_t = (1 - \alpha_t) MAD_{t-1} + \alpha_t |D_{t-1} - \widehat{D}_{t-1}|$

(Step 2) 계층재고 개념을 사용하여 t 시점을 위한 $S_{i,t}$ 와 $q_{i,t}$ 를 결정하기 위해 $i=1$ 에서 $i=N$ 의 순으로 아래의 Step 2.1에서부터 Step 2.5를 반복적으로 적용

$$(Step\ 2.1) \frac{\sum_{k=1}^{t-1} \min\{(I_{1,k})^+, D_k\} + x_i}{\sum_{k=1}^{t-1} D_k + L_i \cdot \widehat{D}_t} = \beta \text{를 만족하는 } x_i \text{ 계산}$$

$$(Step\ 2.2) \frac{\min(x_i, L_i \cdot \widehat{D}_t)}{L_i \cdot \widehat{D}_t} \text{를 } \widehat{\beta}_i \text{로 설정}$$

(Step 2.3) 아래의 모수 값들을 따르는 안정적인 수요하의 단일노드 문제에서 주어진 충족률 제약을 만족하는 order-up-to 수준을 $\widetilde{S}_{i,t}$ 로 설정

- 평균 = $\widehat{D}_t$
- 표준편차 = $\widehat{\sigma}_t$
- 목표 충족률 = $\widehat{\beta}_i$
- 리드타임 = L_i

(Step 2.4)

$$\text{If } i < N, q_{i,t} = \min\{I_{i+1,t-1} + q_{i+1,t-l_{i+1}}, \widetilde{S}_{i,t} - (IP_{i,t-1} - D_{t-1})\}$$

$$\text{Else, } q_{i,t} = \widetilde{S}_{i,t} - (IP_{i,t-1} - D_{t-1})$$

(Step 2.5) $(IP_{i,t-1} - D_{t-1}) + q_{i,t}$ 를 $S_{i,t}$ 로 설정

Step 1은 앞서 3.2절의 수요예측 부분에서 계산되는 내용이다.

Step 2에서는 <그림 3>에서와 같이 N단계 시리얼 재고모형을 N개의 독립적인 단일노드로 분해, 즉 각각의 노드 i 는 리드타임이 L_i 인 단일노드로 분해시킨 후에 각 노드의 목표서비스 수준을

만족시키기 위한 order-up-to 수준 $S_{i,t}$ 와 이에 따라 이동하게 될 물량 $q_{i,t}$ 를 계산한다.

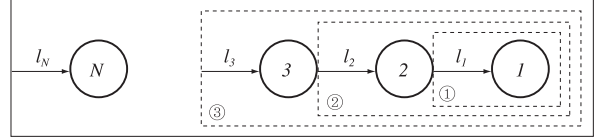


그림 3. 분해 절차

세부적인 절차로 먼저 Step 2.1에서는 최하위 노드부터 상위 노드의 순으로 순차적으로 지난 $t-1$ 기간까지의 누적된 실제 서비스 수준을 이용하여 목표 서비스 수준을 만족시키기 위해 t 시점부터 $t+L_i-1$ 시점까지 필요한 계층재고 상태(echelon inventory position) x_i 를 계산한다. 이때 t 시점부터 $t+L_i-1$ 시점까지인 L_i 기간 동안 발생할 예상 고객 수요는 $L_i \cdot \widehat{D}_t$ 를 사용한다.

다음으로 Step 2.2에서는 x_i 만큼의 계층재고를 운용하였을 경우 발생하게 될 L_i 기간 동안의 예상 충족률을 계산한다. Step 2.3에서는 $\widehat{\beta}_i$ 를 만족시키기 위해 필요한 임시 order-up-to 수준 $\widetilde{S}_{N,t}$ 을 계산한다. 단일노드에서 평균과 표준편차가 알려져 있을 경우 수식 (1)의 Sobel(2004)이 제안한 방법을 통해 목표 충족률을 만족시키는데 필요한 order-up-to 수준을 계산할 수 있다. 이때 상위 노드에서 충분한 물량의 재고가 존재하지 않을 경우 $\widetilde{S}_{N,t}$ 를 만족시키지 못하는 경우가 발생할 수 있기 때문에, Step 2.4에서는 이를 고려하여 이동하게 될 물량 $q_{i,t}$ 를 계산한다. 이때 주목할 점은, 다른 노드들과 달리 최상위 노드인 노드 N의 경우, 상위 노드에 의한 물량 제한이 존재하지 않기 때문에 항상 $\widetilde{S}_{N,t}$ 를 유지하는 것이 가능하다.

4. 실험 및 결과 분석

4.1 실험환경

먼저 본 논문에서 제안하는 분배계획 방법론의 성능 평가를 위해 공급망의 서비스 수준에 영향을 미치는 요소들을 아래의 표와 같이 3가지로 구분하였으며, 이러한 항목들의 모든 조합에 대해 시뮬레이션을 수행하여 결과를 분석하도록 한다.

본 논문에서는 고객수요가 정규분포를 따르며, 고객수요 분포의 평균과 표준편차가 시간에 따라 변화하는 불안정한 형태를 지닌다고 가정하였다. 이를 위해 고객수요 분포의 평균과 표준편차가 무작위로 추출된 주기마다 무작위로 변화하는 특징을 갖는 것으로 가정하였다. 따라서 본 논문에서는 불안정한 고객수요를 발

표 1. 실험조건

항목	사용 값
노드 수	3(NN1), 4(NN2)
리드타임	1(LT1), 2(LT2), 3(LT3)
고객수요	약간불안정(CD1) 다소불안정(CD2) 매우불안정(CD3)

생시킴을 위해 고객수요 분포의 평균(Mean)이 무작위로 추출된 주기(T)마다 무작위로 변화하도록 하였다. 고객수요 분포의 표준 편차(standard deviation; SD)는 평균에 변동계수(coefficient of variation; CV)를 곱한 값을 사용하였고, 변동계수 역시 무작위로 추출된 주기마다 무작위로 변화하도록 설정하였다. 이러한 가정하에서 본 논문에서 정의하는 불안정한 고객수요의 3가지 형태는 각각 다음과 같다. 주기, 평균 및 변동계수의 변화 패턴을 통해 고객수요는 CD1에서 CD3로 이동할수록 불안정함의 정도는 증가한다는 것을 알 수 있다.

- CD1 : $T \sim U(1, 100)$, $Mean \sim U(100, 120)$, $CV \sim U(0.1, 0.15)$
- CD2 : $T \sim U(1, 50)$, $Mean \sim U(100, 150)$, $CV \sim U(0.1, 0.2)$
- CD3 : $T \sim U(1, 30)$, $Mean \sim U(100, 200)$, $CV \sim U(0.1, 0.3)$

본 논문에서는 목표 충족률을 95%로 설정하였고 실험의 안정화를 위한 준비 기간(warm-up period)을 200기간으로 정하였으며, 한 시행을 10,000기간으로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 실험결과의 신뢰성을 높이기 위해 동일한 환경에서 시뮬레이션을 10회 반복 시행하여 도출된 평균값을 토대로 결과분석을 수행하였다. 이와 같은 실험환경은 불안정한 고객수요를 다룬 기존 논문인 Jiang and Sheng(2009)의 실험환경을 참고하여 이와 유사하게 설정된 것이다.

4.2 비교 대안

본 논문에서 제안하는 분배계획 방법론의 객관적인 성능평가를 위해 2가지 비교 대안과의 평가를 수행하도록 한다. 본 논문과 관련된 기존 연구가 충분하지 않기 때문에 비교적 간단하면서도 일반적으로 많이 활용되는 다음의 2가지 방안을 활용하도록 한다.

4.2.1 지수평활법 기반 분배계획

지수평활법은 시계열 분석(time series analysis) 방법 중 단기간 수요예측에 가장 많이 사용되는 방법 가운데 하나이다. 지수평활법을 이용하여 고객수요를 예측하는 경우에는 t 기간의 예측수요

$\widehat{D}_t$ 은 $t-1$ 기간의 실제 고객수요 D_{t-1} 와 예측수요 $\widehat{D}_{t-1}$ 와의 차이에 평활모수 α 를 곱한 값을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$\widehat{D}_t = \widehat{D}_{t-1} + \alpha(D_{t-1} - \widehat{D}_{t-1})$$

일반적으로 평활모수 α 는 0.1~0.3 사이의 값이 주로 사용되며 본 논문에서는 이러한 값 가운데 $\alpha = 0.2$ 를 사용하여 고객수요를 예측하였다. 다음과 같은 절차를 통해 매기간 각 노드별 order-up-to 수준을 계산하는 절차를 반복한다.

(Step 1) t 시점을 위한 $\widehat{D}_t$ 과 $\widehat{\sigma}_t$ 계산

- $\widehat{D}_t = \widehat{D}_{t-1} + \alpha(D_{t-1} - \widehat{D}_{t-1})$,
- $\widehat{\sigma}_t = \sqrt{\pi/2} MAD_t \approx 1.25MAD_t$,
- $MAD_t = (1 - \alpha)MAD_{t-1} + \alpha|D_{t-1} - \widehat{D}_{t-1}|$

(Step 2) $S_{i,t} = L_i \cdot \widehat{D}_t + k \cdot \sqrt{L_i} \cdot \widehat{\sigma}_t$ 을 토대로 $i=1$ 에서부터 $i=N$ 의 순으로 t 시점의 order-up-to 수준 S_{it} 계산

기본적으로 지수평활법의 경우에도 본 논문에서 제안하는 분배계획 방법론과 마찬가지로 N 단계 시리얼 재고모형을 N 개의 독립적인 단일노드로 분해하고 각 단일노드별 order-up-to 수준을 독립적으로 계산하는 방식을 적용한다. Step 2에서 사용되는 k 는 안전계수(safety factor)로써 $k \cdot \sqrt{L_i} \cdot \widehat{\sigma}_t$ 는 L_i 기간 동안의 불확실성에 대처하기 위해 사용되는 안전재고를 의미한다. 95% 충족률을 만족하기 위해서 사용되는 k 는 1.64이다(Axsater, 2006).

4.2.2 이동평균법 기반 분배계획

이동평균법(moving average)은 최근 m 기간의 데이터를 사용하여 고객수요를 예측하는 방법이다. 지수평활법의 평활상수 α 와 이에 상응하는 이동평균법에서 사용되는 데이터의 수(m)와는 $\alpha=2/(m+1)$ 의 관계가 성립됨으로, 동일한 실험조건 설정을 위해 본 논문에서는 $m=9$ 를 사용하였다(Brown, 1963). 앞서 지수평활법에서와 유사한 방법으로 다음과 같은 절차를 통해 매기간 각 노드별 order-up-to 수준을 계산하는 절차를 반복한다.

(Step 1) t 시점을 위한 $\widehat{D}_t$ 과 $\widehat{\sigma}_t$ 계산

- $\widehat{D}_t = \sum_{s=1}^m D_{t-s} / m$,
- $\widehat{\sigma}_t = \sqrt{\pi/2} MAD_t \approx 1.25MAD_t$,
- $MAD_t = (1 - \alpha)MAD_{t-1} + \alpha|D_{t-1} - \widehat{D}_{t-1}|$

(Step 2) $S_{i,t} = L_i \cdot \widehat{D}_t + k \cdot \sqrt{L_i} \cdot \widehat{\sigma}_t$ 을 토대로 $i=1$ 에서부터 $i=N$ 의 순으로 t 시점의 order-up-to 수준 S_{it} 계산

4.3 결과 분석

먼저 본 논문에서 제안하는 적응형 수요예측 방법론의 성능을 평가하도록 한다. 비교대상이 되는 수요예측 방법은 앞서 3.2절에서 언급하였던 Trigg and Leach(1967)의 추적신호 기법(TL)과 지수평활법(ES) 및 이동평균법(MA)이며, 수요예측의 예측오차를 평가하기 위한 지표로는 $\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |D_t - \hat{D}_t|$ 과 같이 정의되는

MAD(mean absolute deviation)를 사용하기로 한다.

4.1절에서 정의된 3가지 고객수요의 형태(CD1, CD2, CD3)에 대해 실험한 결과를 아래 <그림 4>에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 수요예측 방법론은 사전에 정의된 모든 불안정한 수요 형태에 대해서 다른 방법론들에 비해 우수한 결과를 보임을 알 수 있다. 특히 고객수요의 불안정성이 클수록 다른 방법론과의 성능차이가 더욱 증가함을 알 수 있으며, 이를 통해 제안된 수요예측 방법론이 불안정한 수요 환경을 효과적으로 반영할 수 있도록 설계되었음을 확인할 수 있다.

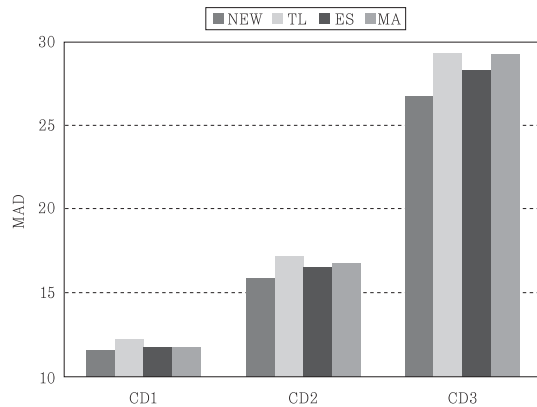


그림 4. 예측방법별 MAD

다음으로 4.1절에서 언급한 실험환경을 토대로 하여 실험한 결과를 요약하면 <그림 5>와 <그림 6>과 같다. 먼저 <그림 5>는 노드수가 3인 경우에 대한 실험결과를 나타내는데 3가지 방법론(그림에서 제안된 방법론은 NEW, 지수평활법 기반은 ES, 이동평균법 기반은 MA로 표시) 모두 대체적으로 리드타임의 증가할수록(LT1에서 LT3으로 이동) 또는 고객 수요의 불안정성이 증가할수록(CD1에서 CD3으로 이동) 충족률이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 리드타임이 클수록 또는 고객 수요의 변동폭이 클수록 공급망의 불확실성이 증가하기 때문에 나타나는 현상으로 해석될 수 있다. 그러나 다른 2가지 방법론과 달리 본 논문에서 제안하는 방법론의 경우 실험조건의 변화에 따른 충족률의 변화폭이 매우 작으며 대체로 목표 충족률을 중심으로 안정적인 형태를 나타냄으

로써 대부분 목표 충족률을 만족시키는 결과를 보였다. 반면에 ES나 MA는 서로 유사한 실험결과를 보였는데, 이들의 경우 실험 환경의 변화에 따라 충족률이 최대 98.31%에서 최소 79.69%까지 큰 폭으로 변화하였으며, 이로 인해 대부분의 경우 목표 충족률을 만족시키지 못한 것으로 나타났다.

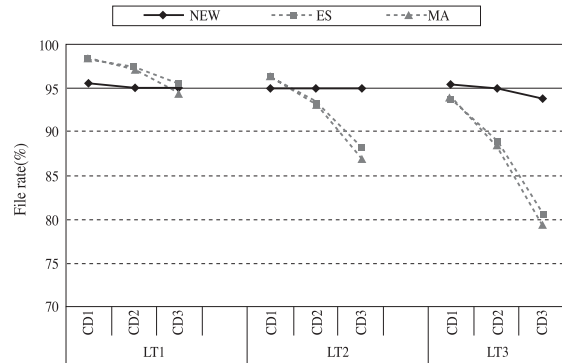


그림 5. 노드수가 3인 경우 서비스 수준

<그림 6>은 노드수가 4인 경우의 실험결과를 나타낸다. 앞서 <그림 5>에 비해 <그림 6>은 노드수가 하나 증가한 경우이며, 이러한 노드수 증가는 누적 조달시간이 증가하는 것을 의미하기 때문에 상대적으로 수요정보에 대한 불확실성이 증가하기 마련이다. 따라서 이러한 노드수의 증가는 공급망에 대한 불확실성의 증가를 초래하였으며, 이로 인하여 모든 방법론의 전반적인 서비스 수준 역시 감소되는 결과를 보였다. 그러나 앞서 <그림 5>에서와 마찬가지로 본 논문에서 제안된 방법론의 경우 다른 두 가지 방법론에 비해 실험조건의 변화에 민감하지 않았으며 대부분의 경우 목표 충족률을 만족시키는 결과를 보였다.

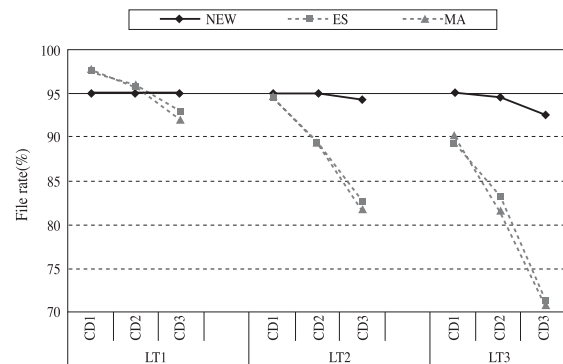


그림 6. 노드수가 4인 경우 서비스 수준

이상의 <그림 5>와 <그림 6>의 결과를 종합적으로 분석해 보았

을 때 본 논문에서 제안한 분배계획 방법론은 공급망의 불확실성에 영향을 주는 다양한 실험환경 하에서 주어진 목표 서비스 수준을 대체로 잘 만족시키는 결과를 보였으며 이를 통해 제안된 방법론의 우수성을 입증할 수 있다. 특히 노드수가 증가하고 수요의 분포가 불안정할수록 공급망의 상황에 맞게 서비스 수준을 유동적으로 변경할 수 있도록 하는 장점과 다른 방법론과 달리 실험조건 변화에 민감한 결과를 보이지 않은 강건함(robustness)으로 인해 제안된 방법론이 불안정한 수요 환경에 적합하게 설계되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 N개의 노드가 연속적으로 이루어진 시리얼 형태의 공급망을 대상으로 시간에 따라 동적으로 변화하는 고객 수요의 행태 하에서 주어진 충족률 형태의 서비스 수준을 보장하는 물류계획 방법론을 제시하였다. 이를 위해 본 논문에서는 먼저 기존에 연구된 적응형 지수평활법의 단점을 보완할 수 있는 보다 개선된 형태의 적응형 수요예측 기법을 제안하였다. 다음으로 시리얼 재고모형에 대한 각 노드별 기초재고 수준을 계산하기 위해 주어진 모형을 N개의 독립된 단일노드 형태로 분해시킨 후 각각의 단일노드에 대한 기초재고 수준을 Sobel(2004)이 제안한 연구결과를 활용하여 동적으로 계산하는 접근방법을 제안하였다. 다양한 실험을 통해 본 연구에서 제안하는 방법론이 불안정한 수요 환경하에서 목표 서비스 수준을 훌륭히 만족시키는 결과를 보였으며 이를 통해 제안된 방법론의 우수성을 입증할 수 있었다.

그러나 이와 같은 연구 성과에도 불구하고 모형의 단순화를 위해 본 논문에서 설정하는 기본적인 가정들로 인하여 이를 실제적인 문제에 적용하기에는 여전히 많은 한계점이 존재한다. 무엇보다도 본 연구에서는 서비스 수준 측면만을 고려하여 가능하면 목표 서비스 수준과의 차이를 최소화하는 것을 목적으로 하였다. 그러나 보다 현실적인 측면을 반영하기 위해서는 공급망 전체 노드에서 발생하는 재고유지 비용의 총합을 최소화시킬 필요가 있다. 그러므로 고객에 대한 목표 서비스 수준을 만족시키면서 동시에 재고비용의 최소화를 목적으로 하는 문제에 대한 연구가 진행되어야 한다. 현실성을 보완하기 위한 추가적인 연구 방향으로는 제한된 생산 용량이나 주문비용, 확률적인 조달시간 등의 추가적인 제약 환경을 고려하는 연구가 필요하다. 또한 보다 현실적인 공급망 형태를 반영하기 위해 조립형 시스템(assembly system)이나 분배형 시스템(distribution system)과 같은 보다 현실적인 공급망 모형에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

참고 문헌

- [1] Aviv, Y.(2003), A time-series framework for supply-chain inventory management, *Operations Research*, 51(2), pp. 210-227.
- [2] Axsater, S.(2006), *Inventory Control*, Springer.
- [3] Beyer, D. and S. P. Sethi(1997), Average cost optimality in inventory models with Markovian demands, *Journal of Optimization Theory and Applications*, 92(3), pp. 497-526.
- [4] Brown, R. G.(1963), *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*, Prentice-Hall.
- [5] Cachon, G. and C. Terwiesch(2009), *Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management*, McGraw-Hill.
- [6] Diks, E. B., A. G. de Kok and A. G. Lagodimos (1996), Multi-echelon systems: A service measure perspective, *European Journal of Operational Research*, 95(2), pp. 241-263.
- [7] Gavirneni, S. and S. Tayur(2001), An efficient procedure for non-stationary inventory control, *IIE Transactions*, 33, pp. 83-89.
- [8] George, A. P. and W. B. Powell(2006), Adaptive stepsizes for recursive estimation with applications in approximate dynamic programming, *Machine Learning*, 65, pp. 167-198.
- [9] Graves, S. C.(1999), A single-item inventory model for a non-stationary demand process, *Manufacturing & Service Operations Management*, 1(1), pp. 50-61.
- [10] Jiang, C. and Z. Sheng(2009), Case-based reinforcement learning for dynamic inventory control in a multi-agent supply-chain system, *Expert Systems with Applications*, 36(3), pp. 6520-6526.
- [11] Kim, C. O., I. H. Kwon and J. G. Baek(2008), Asynchronous action-reward learning for nonstationary serial supply chain inventory control, *Applied Intelligence*, 28(1), pp. 1-16.
- [12] Makridakis, S., S. C. Wheelwright and R. J. Hyndman(1998), *Forecasting: Methods and Applications*, Wiley.

- [13] Simchi-Levi, D., P. Kaminsky and E. Simchi-Levi(2008), *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*, McGraw-Hill.
- [14] Sobel, M. J.(2004), Fill rates of single-stage and multistage supply systems, *Manufacturing & Service Operations Management*, 6(1), pp. 41-52.
- [15] Song, J. S. and P. H. Zipkin(1993), Inventory control in a fluctuating demand environment, *Operations Research*, 41(2), pp. 351-370.
- [16] Treharne, J. T. and C. R. Sox(2002), Adaptive inventory control for non-stationary demand and partial information, *Management Science*, 48(5), pp. 607-624.
- [17] Trigg, D. W. and A. G. Leach(1967), Exponential smoothing with an adaptive response rate, *Operational Research Quarterly*, 18, pp. 53-59.



권익현

고려대학교 산업공학과 학사

고려대학교 산업공학과 석사

고려대학교 산업공학과 박사

University of Illinois at Urbana-Champaign 박사후 연구원

현재 : 인제대학교 시스템경영공학과 조교수

관심분야 : 물류 및 공급망관리, 수요예측, 생산계획 및 통제, e-Business

변동이웃검색 알고리즘 기반의 주기적 차량경로 문제해법

정태수[†]

*조지아공과대학교 산업시스템공학과

A Variable Neighborhood Search (VNS) Based Approach for Periodic Vehicle Routing Problems

Taesu Cheong[†]

*School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology

In the paper, we present a variable neighborhood search (VNS)-based heuristic for the Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP). The PVRP generalizes the classical Vehicle Routing Problem (VRP) by extending the planning horizon from a single day to multiple days. The proposed algorithm in this paper is based on concepts of VNS and local improvement heuristics. Computational results are presented for the 32 benchmark instances from literature, and the solutions generated by the proposed method are compared with best-known solutions so far. The results indicate that the proposed approach has produced competitive quality of solutions with benchmark results, and for 12 out of the 32 instances, the proposed approach produced equal or improved solutions.

Keywords: Periodic Vehicle Routing Problem, Variable Neighborhood Search

1. 서론

차량경로문제(Vehicle Routing Problem: VRP)는 그간 많은 연구가 진행되어 왔던 분야로서, 다음과 같이 정의 된다: 중앙차고(depot)에 있는 차량용량(vehicle capacity)이 Q 인 m 대의 차량들이 수요량(q_i)이 미리 알려진 n 개의 각 수요지점에 배송을 마치고 차고에 되돌아 오는 각 차량의 운행계획 또는 경로를 결정하는 문제이다. 각 수요지점 i 와 $j(i, j \in \{1, 2, \dots, n\})$ 사이 및 차고(0)와 각 수요지점 간의 운행비용 c_{ij} 가 주어졌을 때, 일반적으로 모

든 차량의 총 운행비용을 최소화하는 것을 목적으로 한다.

일반적으로 VRP의 계획기간(planning horizon) T 는 하루($T=1$)인 반면, 본 논문에서 다루고자 하는 주기적 차량경로문제(Periodic VRP: PVRP)는 계획기간이 하루 이상($T \geq 1$)이며, 수요지점 별로 계획기간 동안 방문횟수(visiting frequency)가 상이하하다. 각 수요지점 i 를 계획기간 내에 반드시 f_i 회수만큼 방문해야 하며, 이를 방문횟수라 일컫는다. 또한, 각 수요지점 별로 방문횟수를 만족하는 허용 가능한 방문일정조합(visit day combination VDC) 집합 C_i 가 존재하며, C_i 내의 VDC 중 하나를 선택하여야 한다. 예를 들면, 계획기간이 $T=5$ 인 경우, 수요지점 i

[†] Corresponding author: 425B Main Building, 765 Ferst Drive, NW, Atlanta, GA 30332-0205, U.S.A.,

TEL : 1-404-514-7959 E-mail : taesu.qlink@gmail.com

* 2010년 8월 31일 투고, 10월 19일 게재 확정.

의 방문횟수가 $f_i=2$ 이고, 수요지점 i 의 VDC 집합이 $C_i=\{01010, 01001, 00101\}$ 와 같이 주어진 경우, 이 중 하나의 VDC를 선택하여야 한다. 여기서 각 VDC는 T길이의 이진문자열로 기술되며, 그 합이 f_i 이어야 한다. 이진문자열에서 1은 해당 일자에 수요지점 i 를 방문하는 일정을 일컫는다. 예를 들어, VDC가 01001인 경우, 해당 수요지점을 계획기간 5일 중 둘째 및 마지막 일자, 총 두 번 방문하는 일정을 의미한다. 따라서, PVRP에서는 계획기간 동안 각 수요지점의 방문횟수만큼의 방문 일정을 추가적으로 결정하여야 한다.

본 논문에서는 PVRP 문제 해결을 위해 변동이웃검색(Variable Neighborhood Search; VNS) 알고리즘 기반의 발견적 해법을 제안하고자 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 연구와 관련된 기존 문헌들을 검토하고, 3장에서는 수리적 모형을 제시한다. 4장에서는 PVRP와 관련된 여러 가능한 국지적 탐색(local search) 방안들을 소개한다. 5장에서는 PVRP를 위한 VNS기반 발견적 해법(heuristics)을 제시하고, 6장에서는 이에 대한 성능을 평가한다. 마지막으로 7장에서는 결론 및 향후 연구방안을 논의한다.

2. 관련 문헌 연구

PVRP는 다양한 응용분야가 존재한다. 예를 들어, 엘리베이터의 주기적인 유지 보수 (Blakely et al., 2003), 폐기물 수집 (Beltrami and Bodin, 1974 Kim et al., 2006), 폐지 용기 수집 (Baptiste et al., 2002), 주기적인 자판기 관리 (Rusdiansyah and Tsao, 2005), 지역 도서관들 간의 책 대여 및 주기적인 재배치 (Francis, Smilowitz and Tzur, 2006) 등이 있으며, 그 외 제조회사 수/배송, 식료품 배송, 쓰레기 수거, 노약자를 위한 홈케어 서비스 등 그 응용분야가 다양하다.

PVRP는 일반적인 VRP와 비교하여 계획기간 동안 각 수요지점별 방문일정을 차량 운영계획과 동시에 고려해야 함에 따라, 기존문헌에서 제안된 해법들 중 대부분이 두 단계 (phase)로 나뉘어진다. Beltrami and Bodin (1974)은 (i) 차량 경로를 먼저 결정하고, 이후 각 수요지점별로 방문일정을 결정하는 방식과, (ii) 각 수요지점별 방문일정을 먼저 결정하고, 그 이후 개별 일자 별 차량경로를 결정하는 방식을 제시하였다. 그 중 두 번째 방식이 기존 문헌에 주로 제안된 방식으로서, 예를 들면, Baptiste et al. (2002), Christofides and Beasley (1984), Cordeau et al. (1997), Gaudioso and Paletta (1992), Tan and Beasley (1984) 등이 있다. 본 논문 또한 기본적으로 두 번째 방식에 기초하고 있다.

PVRP 문헌들 중 메타 휴리스틱 기법에 근거한 해법을 제시한 것들이 있다. 예를 들면, Cordeau et al. (1997)는 타부 검색(tabu search) 기법에 기반한 해법을 제시하였으며, 타부 검색에서 사용된 이웃해 형태는 임의 날짜 내에 하나의 수요지점을 다른 차량 경로로 이동하거나, VDC를 변경하는 방식으로 정의하였다. Drummond et al. (2001)은 유전자 알고리즘 (genetic algorithm)과 국지적 개선기법에 근거한 메타 휴리스틱을 제시하였다.

본 논문에서는 또 다른 메타 휴리스틱 중 하나인 VNS를 기반으로 하는 해법을 제시하고자 한다. VNS는 Mladenovic and Hansen (1997)에 처음 소개된 메타 휴리스틱으로 자세한 기법 및 응용분야에 관해서는 Hansen and Mladenovic (2001)를 참고하길 바란다. 이 기법은 시간대 제약이 있는 VRP (VRP with time windows; Polacek et al., 2004), 대규모 VRP 문제 (Kytöjoki et al., 2007), 배달과 수거가 혼합된 VRP (Ghodsi and Amiri, 2010), 주기적으로 고객을 방문하는 외판원 순회문제 (Polacek et al., 2007) 등 다양한 차량 경로문제에 활용되어 왔다. 본 논문과 관련해서는, 최근에 Hemmelmayra et al. (2009)이 PVRP 문제에도 최초로 이 VNS 기법을 적용하였다. 본 논문은 VNS 프레임워크를 그대로 적용한 Hemmelmayra et al. (2009)과 달리 VNS 기법을 기반으로 하여 확장된 휴리스틱 기법을 제안하고자 한다.

3. 문제 정의

본 장에서는 PVRP의 수리적 모형을 제시하고자 한다. 먼저 기호정의는 다음과 같다.

• 인덱스 집합

$H=\{1,2,...,T\}$	계획기간 내의 날짜 집합
$N=\{1,2,...,n\}$	수요지점 집합
$N^+=\{0\} \cup N$	차고(0) 및 수요지점(1,2,...,n) 집합
$E=\{(i,j): i \neq j, \forall i,j \in N^+\}$	두 지점간의 가지(arc) 집합
$K=\{1,2,...,m\}$	차량 집합

• 상수

$$a_{ct} = \begin{cases} 1 & \text{만약 VDC } c \in C_i \text{에서 날짜 } t \in H \text{에 방문 한다면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

(모든 수요지점 i 별로, 각 VDC $c \in C_i$ 에 대해 $\sum_{t \in H} a_{ct} = f_i$ 를

만족한다고 가정한다.)

Q	개별 차량 용량
c_{ij}	수요지점 i 에서 j 로의 운행비용
q_i	수요지점 i 의 수요량 (매번 차량 방문 시 수요 지점 i 에 전달되어야 하는 수량)

• 결정변수

$$x_{ijk}^k = \begin{cases} 1 & \text{만약 차량 } k \in K \text{에서 날짜 } t \in H \text{에 수요지점 } i \text{에서 } j \text{로 운행한다면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

$$y_{ic}^k = \begin{cases} 1 & \text{차량 } k \in K \text{가 수요지점 } i \in N \text{를 VDC } c \in C_i \text{에 따라서 운행한다면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

PVRP는 아래와 같이 선형/정수계획법을 통해 기술될 수 있다:

Minimize

$$\sum_{t \in \Delta} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ijt}^k \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{c \in C_i} \sum_{k \in K} y_{ic}^k = 1, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{c \in C_i} q_i a_{ct} y_{ic}^k \leq Q, \forall k \in K, \forall t \in H \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N^+} x_{ijt}^k = \sum_{c \in C_i} a_{ct} y_{ic}^k, \forall i \in N, \forall k \in K, \forall t \in H \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N^+} x_{ijt}^k = \sum_{j \in N^+} x_{jit}^k, \forall i \in N^+, \forall k \in K, \forall t \in H \quad (5)$$

$$\sum_{i,j \in \tilde{N}} x_{ijt}^k \leq |\tilde{N}| - 1, \forall \tilde{N} \subseteq N, \forall k \in K, \forall t \in H \quad (6)$$

$$x_{ijt}^k \in \{0,1\}, \forall i,j \in N^+, \forall k \in K, \forall t \in H \quad (7)$$

$$y_{ic}^k \in \{0,1\}, \forall i \in N, \forall k \in K, \forall c \in C_i \quad (8)$$

본 문제의 목적은 (1)에서 표현된 바와 같이 계획기간 동안의 총 차량 운행비용을 최소화하도록, T기간 동안 각 일자 별로 개별 차량의 운행계획 또는 경로를 수립하는 것이다. 제약식 (2)는 각 수요 지점별로 단 하나의 VDC가 선택되어야 함을 의미한다. 제약식 (3)은 임의의 일자에 한 차량이 처리해야 하는 수요량의 총합은 차량용량을 넘을 수 없음을 나타낸다. 제약식 (4)는 두 결정변수 x_{ijt}^k 와 y_{ic}^k 간의 관계를 설정한다. 제약식 (5)는 특정 일자

t에 차량 k가 수요지점 i를 방문할 시, 해당 차량의 운행경로 연결성을 보장한다. 마지막으로 제약식 (6)은 운행경로의 부분순환(sub-tour) 발생을 제거하기 위해 추가되었다. 식 (7)과 (8)은 두 결정변수가 이진 값을 취함을 의미한다.

4. 국지적 가능해 개선기법 (Local Improvement Heuristics)

본 장에서는 실현 가능해(feasible solution)가 주어져 있을 경우, 이를 개선하기 위한 국지적 개선기법들을 소개하고자 한다. 여기서 국지적 개선기법이란 현재 가능해의 ‘이웃’ 해들을 탐색함으로써, 반복적으로 주어진 해를 개선하는 것을 의미한다. 본 논문에서는 ‘날짜 내 개선기법’과 ‘날짜 간 개선기법’으로 구분하여 살펴본다.

4.1. 날짜 내 개선기법

(Intra-day Local Improvement Heuristics)

날짜 내 개선기법은 각 일자 별로 계획된 차량운행경로의 개선을 그 목적으로 한다. 이 개선기법에서는 수요지점들의 VDC 변경은 고려하지 않는다. 이를 위해, 각 일자 별로 수립된 개별 차량의 운행경로가 주어졌을 때, 한 차량의 경로 자체를 개선하거나 혹은 임의의 두 차량 간의 운행경로를 동시에 고려하여 개선함으로써 그 목적을 달성 할 수 있다. 따라서, 날짜 내 개선기법은 다시 차량운행경로 내 개선기법과 차량운행경로 간 개선기법으로 구분된다.

4.1.1. 차량운행경로 내 개선기법

(Intra-route Improvement Heuristics)

기존 외판원 순회문제(Traveling Salesman Problem; TSP)를 위해 제안되었던 국지적 해 개선기법들이 이에 해당된다. 예를 들어, 그림 1과 같이 λ -OPT, Or-OPT 교환기법 등이 존재하며,

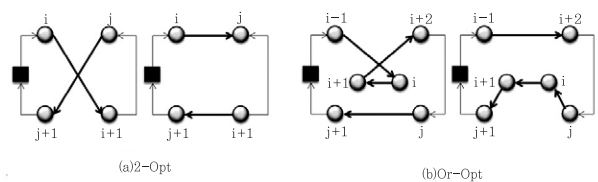


그림 1. 차량운행경로 내 개선기법 예제: (a) 2-Opt와 (b) Or-Opt (Braysy and Gendreau, 2005)

λ -OPT는 차량 운행경로 상의 λ 개의 가치를 제거하고 새로운 λ 개의 가치를 추가하여 운행비용의 개선 여부를 판별하는 기법이며, Or-OPT기법은 연속된 수요지점 사슬(a chain of consecutive nodes)을 재배치하는 기법이다.

4.1.2. 차량운행경로 간 개선기법

(Inter-route Improvement Heuristics)

기존 VRP를 위해 제안되었던 국지적 개선기법들이 이에 해당한다. 그림 2는 본 개선기법에 해당하는 다양한 예들을 소개하고 있다. 본 기법에서 주의해야 할 사항은 개선 이후에도 각 차량 별 운행경로는 계속 차량용량 제약조건을 만족해야 한다.

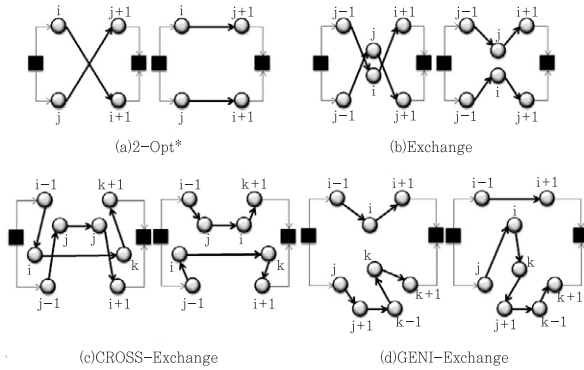


그림 2. 차량운행경로 간 개선기법 예제: (a) 2-Opt*, (b) Exchange, (c) CROSS-Exchange와 (d) GENI-Exchange (Braysy and Gendreau, 2005)

4.2. 날짜 간 개선기법

(Inter-day Local Improvement Heuristics)

PVRP의 문제 특성 상 수요지점들의 VDC를 변경함으로써 해를 개선할 가능성이 존재한다. 본 절에서는 두 가지 유형(type)의 VDC 변경을 통한 개선기법 (날짜 간 개선기법)들을 소개한다.

Type 1 날짜 간 개선기법

본 유형에서는 임의의 한 수요지점의 VDC를 변경한다. 자세한 절차는 아래와 같다:

단계 1. $|C_i| > 1$ 인 임의의 수요지점 i 를 선택한다.

단계 2. c_i^{cur} 를 수요지점 i 의 현재 선택된 VDC라 하자. 임의의 $c'_i \in C_i \setminus \{c_i^{cur}\}$ 에 대해 해당 수요지점 i 를 c'_i 에 의해 표기된 방문일자에서 제거하고, 동시에 c'_i 에 의해 표기된 방문일자에 GENI

추가방식(Gendreau, M. et al., 1994)으로 추가를 하였을 때, 전체 운행비용 감소분을 계산한다. 만약 개선이 있다면, 수요지점 i 의 VDC를 c_i^{cur} 에서 c'_i 로 변경한다. 그렇지 않으면, 다른 VDC를 선택하여 위와 같은 절차를 반복한다.

Type 2 날짜 간 개선기법

본 유형에서는 양립될 수 있는 수요지점들을 찾아 이들간의 교환을 통해 해를 개선한다. 자세한 절차는 다음과 같다.

단계 1. 양립될 수 있는 수요지점들 (예를 들면, 수요량과 방문횟수는 동일하나, VDC가 다른 경우)을 선택한다.

단계 2. 만약 선택된 수요지점들의 교환으로 전체 운행비용이 개선된다면, 교환을 수행한다.

양립될 수 있는 수요지점들의 다른 예로서, 다음의 세 수요지점들을 고려해보자:

수요 지점(L)	방문 횟수(f_L)	현재 VDC(c_L^{cur})
i	2	01010
j	1	10000
k	1	00100

만약 각 수요지점별로 $c'_i=10100$, $c'_j=01000$, $c'_k=00010$ 인 VDC가 존재하고, 수요지점 i 와 수요지점 j, k 간의 교환 시 차량용량 제약을 만족하며, 동시에 총 운행비용이 개선된다면 교환을 수행한다.

본 장에서는 두 가지 날짜 간 개선기법이 제안되었으나, 이들은 초기해 개선에만 이용된다. 다음 장에서 설명된 바와 같이 제안하고자 하는 알고리즘에서는 VNS의 이웃해 구조를 적절하게 정의함으로써 수요지점의 VDC 변경을 해결하고자 한다.

5. 제안 알고리즘: VNS 기반 발견적 해법

5.1. VNS 소개

VNS는 다른 메타 휴리스틱-예를 들면, 타부 검색, 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing) 알고리즘, 유전자 알고리즘 등-에 비해 비교적 최근에 제안된 메타 휴리스틱 기법으로, 해 검색 중 이웃해 구조의 체계화된 변경이라는 간단한 개념에 기초한 알고리즘이다 (Mladenovic and Hansen, 1997 Hansen and Mladenovic, 2001). 본 절에서는 Hansen and Mladenovic (2001)에서 설명된 내용에 근거하며 VNS에 대한 개략적인 소개

를 하고자 한다. 먼저, 다음과 같은 최적화 문제를 생각해보자:

$$\min f(x): x \in X, X \subseteq S$$

여기서, S 는 해 공간, X 는 실현 가능한 해 집합, x 는 실현 가능 해, $f(x)$ 는 목적함수이다. $N_k(k=1,2,\dots,k_{\max})$ 를 사전에 정의된 이웃해 구조라 하고, 임의의 해 x 에 대해 $N_k(k)$ 는 x 의 k 번째 이웃해 구조에 의해 생성된 x 의 이웃해 집합이라 하자. $x_{\text{opt}} = \operatorname{argmin} f(x): x \in X, X \subseteq S$ 를 전체 최적해(global optimum)라 하고, 만약 모든 $x \in X, N_k(x') \subseteq X$ 에 대해 $f(x) < f(x')$ 인 x 가 존재하지 않는다면, $x' \in X$ 를 N_k 상에서의 국소 최적해(local optimum)라 하자. VNS는 다음과 같은 간단한 몇 가지 사실 혹은 관찰들에 기초한다:

- ① 한 이웃해 구조 상에서의 국소 최적해가 다른 이웃해 구조 상에서의 국소 최적해일 필요는 없다.
- ② 전체 최적해는 모든 가능한 이웃해 구조 상에서의 국소 최적해이다.
- ③ 많은 경우, 여러 개의 이웃해 구조 상에서의 국소 최적해들은 해공간 상에서 상대적으로 가깝게 위치한다.

위 사실 혹은 관찰들에 근거하여 VNS는 아래와 같은 절차에 따라 해를 개선해가는 메타 휴리스틱 기법이다.

[초기화]

단계 1. 일련의 이웃해 구조 $N_k, k=1,2,\dots,k_{\max}$ 를 결정한다. 이는 실제 해를 생성하기 위한 일종의 템플릿(template)들이며, 임의의 해 x 가 주어지면 그 해의 이웃해 집합 $N_k(x), k=1,2,\dots,k_{\max}$ 들을 정의하게 된다.

단계 2. 초기해 x 를 구한다. x 를 현재까지의 최선해(best solution)라고 하자.

[반복]

아래의 과정을 종료 조건을 만족할 때까지 반복한다:

단계 1. 변수 k 를 정의하고, 이를 $k \leftarrow 1$ 로 설정한다.

단계 2. 변수 k 가 $k_{\max}$ 와 일치할 때까지 아래 과정을 반복한다:

단계 2.1. Shaking: 현재 최선해 x 의 이웃해 구조 $N_k(x)$ 에 따라 임의의 해 x' 를 생성한다.

단계 2.2. Local Search: 국소 개선 기법들을 적용하여 x' 를 개선하며, $x' < x$ 를 이라 하자.

단계 2.3. Move or Not: 만약 $x' < x$ 가 현재 최선해 x 보다 나은 경우 (즉, $f(x') < f(x)$), x 를 x' 로 교체한 후 $k \leftarrow k+1$ 로

설정한다. 아니면, $k \leftarrow k+1$ 로 설정한다.

앞서 언급된 바와 같이 VNS는 반복적으로 이웃해 구조를 변경함으로써 해를 개선해 나가는 메타 휴리스틱으로서, 세부 절차는 크게 3단계로 나뉘어 진다: Shaking 과정은 해당 이웃해 구조에 따라서 현재 최선해의 이웃해를 생성하고, Local Search 과정을 통해 국지적으로 그 이웃해를 개선하며, 마지막으로 Move or Not 과정에서는 이웃해가 현재 최선해와 비교하여 개선되었다면 현재 최선해를 이웃해로 치환하고, 아니면 다른 이웃해 구조를 시도한다.

5.2. 초기해 생성 기법

본 절에서는 각 수요지점 별로 적절한 VDC를 선택하여, 계획 기간 T 내의 개별 일자간의 로드 밸런싱(load balancing)을 목적으로 하는 초기해 생성 휴리스틱을 제안하고자 한다. 이는 일정 계획론(scheduling theory)에서 T 개의 기계 및 처리해야 할 작업들이 주어졌을 경우, 총 작업 소요시간(makespan)을 최소화하기 위한 일정계획을 수립하는 문제로 볼 수 있으며, 본 휴리스틱에서는 makespan을 최소화 하기 위해 일반적으로 적용하는 Longest Processing Time first (LPT) 규칙을 활용하고자 한다. 자세한 절차는 다음과 같다.

단계 0. 용량이 mQ 인 T 개의 동일한 용기(bin)들이 주어졌다 고 가정한다. 각 용기는 계획기간 내 개별 일자와 상응한다.

단계 1. 먼저 $|C_i| = 1$ 인 수요지점 i 들이 존재하면, VDC 상에 명시되어 있는 일자에 수요지점 i 들을 할당한다.

단계 2. $|C_i| > 1$ 인 수요지점 i 들에 대해, 먼저 다음과 같은 순서에 따라 수요지점들을 정렬한다:

- (1) 수요량 q_i 가 감소하는 순서대로 수요지점들을 정렬한다.
- (2) 만약 동일한 수요량을 가지는 수요지점들이 존재하면, 방문 횟수 f_i 가 감소하는 순서대로 수요지점들을 정렬한다.
- (3) 만약 수요량 및 방문횟수 모두 동일한 수요지점들이 존재한다면, $|C_i|$ 가 증가하는 순서대로 수요지점들을 정렬한다.

단계 3. (RC_t) 를 용기 $t \in \{1,2,\dots,T\}$ 의 현재 시점의 가용 용량이라 하자. 단계 2에서 정렬된 순서대로 각 수요지점 i 를 T 개의 용기에 다음과 같이 할당한다:

- (1) 집합 $\tilde{C}_1 = \emptyset$ 을 정의한다.
- (2) 다음 조건을 만족하는 VDC 를 $c_i^* \in C_i$ 선택한다:
 $c_i^* = \operatorname{argmax}_{c_k \in C_i \setminus \tilde{C}_1} \min_{t \in c_k} (RC_t)$. 여기서 $t \in c_k$ 는 VDC c_k 에서 1로 표기된 방문일자 $t \in \{1,2,\dots,T\}$ 들을 의미한다.
- (3) 만약 $\min_{t \in c_i^*} [(RC_t) - q_i] < 0$ 이면, $\tilde{C}_1 \leftarrow \tilde{C}_1 \cup \{c_i^*\}$ 로 치환한

후, (2)로 간다. 아니면, 수요지점 i 를 용기 $t \in c_i^*$ 에 할당하며, 모든 $t \in c_i^*$ 에 대해 $(RC_t) \leftarrow (RC_t) - q_i$ 로 치환함으로써 용기 $t \in c_i^*$ 의 가용용량을 q_i 만큼 감소시킨다.

단계 4. 각 용기 별로 할당된 수요지점들에 대해 Clarke and Wright (1964)의 절약해법(savings algorithm)을 적용하여 각 차량 별 운행계획을 수립한다.

단계 5. 반복적으로 4장에서 소개한 국지적 개선기법들을 적용한다.

위 절차 중 단계 2에서 수요지점들을 정렬함에 있어, 수요량 q_i 를 작업처리시간으로 간주하고 LPT 규칙에 따라 수요지점들을 정렬하였다. 세부적으로는 수요지점들을 각 용기에 할당하는데 제약이 많은 지점들이 우선적으로 할당될 수 있도록 정렬순서를 결정하였다. 각 일자 별로 할당된 수요지점들에 대해 절약해법을 적용하여 실현가능한 차량별 운행계획을 수립한 후, 국지적 개선기법들을 통해 초기 해를 개선한다.

5.3. VNS 기반 알고리즘

NP-hard 문제로 알려진 VRP(Garey and Johnson, 1979)는 $T=1$, 그리고 모든 수요지점 i 에 대해 $f_i=1, C_i=\{1\}$ 인 PVRP의 특별한 경우이다. 따라서, PVRP 또한 NP-hard 문제로서 최적해를 구하기 위한 다항 시간 알고리즘(polynomial time algorithm)이 존재할 가능성이 낮다. 따라서, 본 절에서는 5.2절에서 제시한 초기 해를 바탕으로 해를 개선하기 위해 5.1절에서 소개한 VNS 기법을 기초로 한 발견적 해법을 제시하고자 한다. 추가적으로 본 알고리즘에서는 타부 검색에서 이용되는 타부목록 개념을 도입한다. 타부목록이란 해의 이동정보를 나타내는 타부속성을 일정기간 동안 기억하기 위한 것으로, 목록에 등록된 해가 일정기간 동안 재진입을 제어하기 위한 목적으로 활용된다. 최근에 생성된 한정된 해의 정보를 기억하는 단기기억과 처음부터 기억하는 장기기억, 두 가지 타부목록 운영방식이 있으며, 이중 본 논문에서는 단기기억 기법을 이용한다. 다음은 VNS에 근거한 PVRP의 발견적 해법에 대한 절차이다.

[Phase I : 초기화]

단계 0. 먼저 아래와 같은 상수/변수들을 정의한다:

- x_{init} : 실행 가능한 초기해
- x_{best} : 현재까지의 최선해
- $maxIteration$: 최대 반복횟수
- $maxNoImprovement$: 현재 최선해인 x_{best} 가 개선되지 않는 반복횟수의 최대 허용가능 횟수

• Iteration: 반복 횟수 (초기에 1로 설정)

• $\hat{N}$: 현재 최선해가 $maxNoImprovement$ 기간 동안 변경이 이루어 지지 않았을 경우, 현재 최선해 x_{best} 를 변경하기 위해 활용될 해집합

• p : $\hat{N}$ 의 임의의 해집합 선택 확률

• Candidates: 최선 해 집합 (초기에 $\emptyset$ 로 설정)

단계 1. 5.2절에 제시된 절차를 통해 초기해 x_{init} 를 구하고, $x_{best} \leftarrow x_{init}$ 으로 설정한다

단계 2. TBLlist는 타부목록으로 (수요지점 인덱스, 방문일자 조합 인덱스, 카운터) 정보를 유지한다. x_{best} 의 관련정보로 TBLlist를 초기화한다.

단계 3. 이웃의 이웃해 구조 $N_k, k=1,2,\dots,k_{max}$ 들을 결정한다.

[Phase II : VNS기반 탐색]

단계 1. 변수 Iteration의 값이 $maxIteration$ 과 동일하면 x_{best} 를 Candidates에 추가한 후, 단계 9로 가고, 아니면 단계 2로 간다.

단계 2. 이웃해 구조 인덱스를 표기하는 k 를 1로 초기화 한다.

단계 3. $k \leq k_{max}$ 일 경우 단계 4로 가고, $k > k_{max}$ 이면 단계 7로 간다.

단계 4. 이웃해 구조 N_k 에 따라, 현재 최선해의 이웃해 집합 $N_k(x_{best})$ 를 생성한다. 단, TBLlist를 이용하여, 최근에 TBLlist에 추가된 특정 수요지점의 특정 VDC가 선택된 경우가 존재한다면 이를 배제한다. p 의 확률로 $\hat{N} \leftarrow N_k(x_{best})$ 를 설정한다.

단계 5. $N_k(x_{best})$ 내에 존재하는 x_{best} 의 각 이웃해 별로, 날짜 내 개선기법을 적용하여 해를 개선한다. 이들 중 최선해를 x_k^* 라 하자.

단계 6. 만약 x_k^* 의 전체 운행비용이 x_{best} 의 전체 운행비용보다 적다면, $x_{best} \leftarrow x_k^*$ 로 설정한 후, 단계 7로 간다. 아니면, $k \leftarrow k+1$ 로 설정한 후 단계 3으로 간다.

단계 7. TBLlist내의 각 요소 별 카운터를 1씩 감소한 후, 카운터가 0인 요소들을 TBLlist로 부터 제거한다.

단계 8. 만약 x_{best} 가 최근에 변경된 이후 $maxNoImprovement$ 에서 정해진 반복횟수 동안 더 이상의 변경이 이루어지지 않았다면, x_{best} 를 Candidates에 추가하고, $\hat{N}$ 중 임의의 해를 선택하여 x_{best} 를 선택된 해로 치환한다. $maxIteration \leftarrow maxIteration + 1$ 로 설정한 후, 단계 1로 간다.

단계 9. Candidates에 추가된 해들 중 총 운행비용이 최소인 해를 선택한 후, 종료한다.

앞서 5.1절에서 소개된 바와 같이 VNS는 (i) shaking (이웃해 구조 변경), (ii) local search, (iii) move or not 순으로 진행된다

다. 위 절차에서 기술 된 바와 같이 local search 과정에서는 날짜 내 개선기법 만을 적용한다. 반면, VDC 변경은 적절한 이웃해 구조의 정의를 통해 제안된 알고리즘 상에서 이루어진다 (Phase II, 단계 4). Hansen and Mladenovic (2001)에서 지정한 바와 같이 이웃해 구조를 어떻게 정의 하는가에 따라 VNS 알고리즘의 성능이 좌우되며, 알고리즘의 효율성과 국소 최선해에 머무르는 것을 방지하는 방안과의 균형이 요구된다. 본 알고리즘에서는 VDC 변경을 위한 이웃해 구조를 아래 예와 같이 정의한다 (단, 이웃해 구조의 실제 인자 값은 실험사례별로 변경될 수 있다):

k	NS	CF	F
1	5	1	1
2	10	1	1
3	8	2	1
4	6	3	1
5	8	1	*
6	6	1	*
7	5	2	*
8	4	3	*

여기서 | NS | 은 현재 최선해의 이웃해 개수 (혹은 이웃해 집합의 크기), | CF | 는 각 이웃해 별로 VDC를 변경할 수요지점의 수, 마지막으로 | CF | 만큼의 수요지점 선택 시, 방문횟수가 F보다 작거나 같은 수요지점들로 제한함을 의미한다. 열 F에서 *는 $F \in \{1, 2, \dots, T-1\}$ 중 임의의 한 값을 의미한다. 예를 들어, 이웃해 구조가 $(| NS |, | CF |, F) = (5, 2, 1)$ 인 경우, x_{best} 를 기준으로 5개의 이웃해를 생성하는데, 각 이웃해 별로 x_{best} 에서 방문횟수가 1인 수요지점 2곳을 임의로 선택하여, 선택된 각 수요지점의 VDC를 변경한다. 따라서, 본 이웃해 구조는 초기에는 방문횟수가 1회인 수요지점들의 VDC만을 변경하여 해를 개선하고, 이후에 방문횟수가 1회 이상인 수요지점들 또한 그들의 VDC를 변경하도록 그 대상을 확대하는 방식이다. 만약 선택된 수요지점에 대해, 변경하고자 하는 VDC에 해당하는 일자에 수요를 추가적으로 처리할 수 있는 차량이 여의치 않다면, 다른 VDC를 선택하여 언급된 과정을 반복한다.

6. 실험 및 분석

6.1. 실험과정

본 논문에서는 제안된 해법의 성능평가를 위하여 기존 문헌에

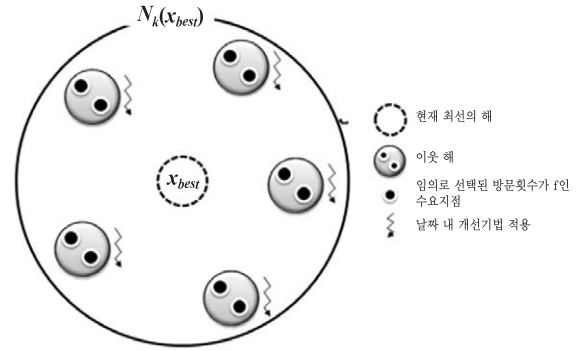


그림 3. 이웃해 구조 $N_k(x_{best})$:
(| NS |, | CF |, F)=(5,2,1)와 같이 정의 된 경우

서 알고리즘 성능평가를 위해 사용되었던 실험사례들(problem instances)을 그 평가 대상으로 하였다. 기존 문헌에서 제시된 실험사례 데이터 및 각 사례별로 현재 시점까지 알려진 가장 좋은 최선해(best known solutions)들은 다음 웹사이트에서 제공하고 있다:

http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/index.html?/Problem_Instances/instances.html

실험사례는 Christofides and Beasley (1984), Russel and Gribbin (1991), Chao, Golden and Wasil (1995) 등에 의해 제안된 것들로서, 총 32개로 구성되어 있다. 자세한 데이터 구성은 다음과 같다 (표 1 참조): 각 사례별 수요지점수 $(| N |)$, 일자 별로 운영할 수 있는 최대 차량 대수 $(| K |)$, 계획기간 T, 개별 차량용량 Q, 그리고, 각 수요지점별 방문횟수 (방문횟수 f_i 및 방문횟수가 f_i 인 수요지점 수) 정보가 제시되어있다.

제안된 알고리즘은 Sun Java JDK 1.6.1로 구현되었으며, 실험은 Intel Xeon 2.66 GHz 프로세서와 4GB 메모리가 장착된 리눅스 머신에서 수행하였다. 각 사례별로 maxNoImprovement는 50, maxIteration은 최대 10^5 으로 설정하여 수행하였다. 이웃해 구조는 5.3절에서 예시로 제시한 구조를 기본으로 각 실험사례별로 인자 값을 조정하였다.

6.2. 실험결과 및 분석

실험에 사용된 실험사례 데이터에 대한 수행 결과가 기존 문헌들에 있으나, 최적해가 알려져 있지 않다. 6.1절에 소개된 웹사이트에는 앞서 언급한 바와 같이 현재시점까지 기존 문헌에서 알려진 가장 좋은 해에 대한 총 운행비용 및 세부 차량 운행계획 정보

를 제공하고 있다. 그 정보를 바탕으로 각 사례별로 현재까지 기존문헌에 알려진 최선 해를 표 1에 실험 사례 데이터 정보와 병기하였다. 표 1은 또한 본 논문에서 제안한 알고리즘을 각 실험 사례별로 10회 반복 수행하여 그 중 가장 좋은 해를 기록하였으며, 마지막 열 (%sol)은 기존까지 알려진 최선해와 본 알고리즘의 결과 간의 Percentage Gap= $((2)-(1))/(1) \times 100(\%)$ 을 기록한 것으로, 이를 제안된 알고리즘의 성능 및 알고리즘을 통해 제시된 해의 품질을 평가하는 지표로 이용한다. 각 사례별로 주어진 수행횟

수에 대해 연산시간은 최소 30초, 최대 25분 이내이며, 기존에 제안된 알고리즘과의 수행시간 비교는 수행환경이 다른 이유로 직접 결과 비교가 불가능함에 따라 개별적인 수행시간을 표 1에 기술하지 않았다. 본 논문에서는 최선해 간의 비교를 통해 제안된 알고리즘의 성능을 평가하고자 하며, 표 1에 만약 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존까지 알려진 최선해와 동일하거나 혹은 이를 개선하였다면 볼드체로 표시하였다.

표 1에서 보는 바와 같이 총 32개 중 12개의 실험사례에 대해

표 1. 실험사례 목록 및 최선해 간의 비교

번호	실험사례					(1)	(2)	%sol
	N	K	T	Q	(f _i :수요지점 수)	최선 해	본 논문	
P01	51	3	2	160	(1:51)	524.61	524.61	0.00
P02	50	3	5	160	(1:17), (2:26), (5:7)	1322.87	1335.31	0.94
P03	50	1	5	160	(1:50)	524.61	524.61	0.00
P04	75	5	2	140	(1:75)	835.43	845.62	1.22
P05	75	6	5	140	(1:30), (2:34), (5:11)	2027.99	2052.32	1.20
P06	75	1	10	140	(1:75)	836.37	852.48	1.93
P07	100	4	2	200	(1:100)	826.14	829.62	0.45
P08	100	5	5	200	(1:40), (2:46), (5:14)	2034.15	2054.12	0.98
P09	100	1	8	200	(1:100)	826.14	838.60	1.51
P10	100	4	5	200	(1:40), (2:46), (3:14), (4:1), (5:1)	1595.84	1633.96	2.39
P11	139	4	5	235	(1:103), (2:22), (3:12), (4:1), (5:1)	779.29	802.24	2.94
P12	163	3	5	140	(1:148), (2:8), (3:7)	1195.88	1250.18	4.54
P13	417	9	7	2000	(1:377), (2:40)	3511.62	3692.68	5.16
P14	20	2	4	20	(1:8), (2:8), (4:4)	954.81	954.81	0.00
P15	38	2	4	30	(1:16), (2:16), (4:6)	1862.63	1862.63	0.00
P16	56	2	4	40	(1:24), (2:24), (4:8)	2875.24	2875.24	0.00
P17	40	4	4	20	(1:16), (2:16), (4:8)	1597.75	1611.07	0.83
P18	76	4	4	30	(1:32), (2:32), (4:12)	3147.24	3152.93	0.18
P19	112	4	4	40	(1:48), (2:48), (4:16)	4834.34	4846.49	0.25
P20	184	4	4	60	(1:80), (2:80), (4:24)	8367.40	8367.40	0.00
P21	60	6	4	20	(1:24), (2:24), (4:12)	2184.04	2194.19	0.46
P22	114	6	4	30	(1:48), (2:48), (4:18)	4271.11	4303.44	0.76
P23	168	6	4	40	(1:72), (2:72), (4:24)	6602.59	6753.62	2.29
P24	51	3	6	20	(1:36), (2:9), (6:6)	3687.46	3687.46	0.00
P25	51	3	6	20	(1:36), (2:9), (6:6)	3777.15	3781.07	0.10
P26	51	3	6	20	(1:36), (2:9), (6:6)	3795.32	3795.32	0.00
P27	102	6	6	20	(1:72), (2:18), (6:12)	21956.46	22169.18	0.97
P28	102	6	6	20	(1:72), (2:18), (6:12)	22934.71	22461.35	-2.06
P29	102	6	6	29	(1:72), (2:18), (6:12)	22909.36	22721.91	-0.82
P30	153	9	6	20	(1:108), (2:27), (6:18)	75016.58	76044.66	1.37
P31	153	9	6	20	(1:108), (2:27), (6:18)	78179.89	78007.86	-0.22
P32	153	9	6	20	(1:108), (2:27), (6:18)	80479.2	79580.02	-1.12

제안된 알고리즘이 기존에 알려진 가장 좋은 해와 비교하여 동일한 혹은 개선된 해를 제시하였음을 알 수 있다. 또한, 표 1은 실험 사례 P10-13를 제외한 나머지 실험사례에 대해 기존문헌에서 알려진 최선해와의 오차율이 2% 이내에 있음을 나타내고 있다. 제안된 알고리즘이 다른 실험사례에 비해 상대적으로 저조한 결과를 제시한 실험사례 P10-13 또한 기존 최선 해와 비교하여 최대 6%이내의 오차범위를 보이고 있다. 이는 본 알고리즘이 기존 문헌에서 제안된 해법들과 비교하여 경쟁력 있는 해를 제시하고 있음을 간접적으로 보여주고 있다. 또한, 제안된 알고리즘이 비교적 문제 크기가 크거나 방문횟수 빈도가 높은 실험사례에 대해 보다 효과적임을 알 수 있다.

7. 결론

PVRP는 폐기물 수거, 주기적인 제품 수/배송, 최근에는 노약자를 위한 홈케어 서비스에서 의료진의 주기적 방문일정 결정 등 다양한 물류/운송 응용분야가 존재한다. 본 논문은 PVRP를 해결하기 위해 VNS 알고리즘 기반의 발견적 해법을 제시하였다. 세부적으로는, 먼저 주어진 임의의 해를 개선하기 위한 국지적 해 개선기법들을 소개하였으며, LPT기반의 초기해 생성 알고리즘을 제시하였다. 또한, 초기해를 바탕으로 보다 개선된 해를 구하기 위해 VNS 알고리즘 구조를 도입하여 PVRP를 위한 발견적 해법을 제시하였다.

제안된 알고리즘의 성능평가를 위해서 기존 문헌에서 성능척도에 사용된 실험사례 데이터들을 통하여, 기존 문헌에서 제시된 가장 좋은 해들과 비교해 보았다. 총 32개 사례 중 12개 사례에 대해 기존 최선해와 비교하여 동일하거나 개선된 해를 제시하였으며, 나머지 다른 사례들에 대해서도 적절한 시간 내에 기존 최선해에 근사하게 접근하였다. 이를 통해 본 논문에서 제안된 알고리즘이 기존에 제안된 알고리즘들과 비교하여 경쟁력 있음을 간접적으로 확인하였다.

추후 연구과제로는 제안된 알고리즘을 향상시키는 것으로, 다음과 같은 몇 가지를 추가적으로 고려하여 개선하고자 한다. 먼저 5.2 절에서 소개된 초기해 생성기법은 수요지점들의 위치정보를 고려하지 않은 단점을 가지고 있다. 이를 위해 지리적인 위치를 고려한 할당문제(assignment problem) 기반의 수리적 모형을 세우고 이를 효과적으로 해결하기 위한 해법 연구가 필요하다. 또한, 제안된 알고리즘은 초기해를 비롯하여 알고리즘 진행 상에 발생하는 모든 고려대상의 해들에 대해서도 실현 가능한 해들로만 제한하고 있으며, 이 제한에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 예를 들어, 초기해 혹은 현재 최선해가 모든 차량을 다 사용하고, 각

차량 별 총 수요량 합이 용량제한에 매우 근접(tight)한 경우를 생각해보자. 여기서, 모든 차량에 대해 차량 별 가용용량의 최대치를 $(RC)_{max}$ 라 하자. 만약 각 수요지점의 수요량이 $(RC)_{max}$ 보다 큰 경우 본 논문에서 의도하는 바인 각 수요지점의 VDC 변경을 VNS기법에 의존하는 방식은, 알고리즘의 고려대상을 실현 가능 해에 국한 시킬 경우 제대로 작동하지 못하게 된다. 따라서, 실현 불가능한 해(infeasible solution) 또한 알고리즘 상에서 허용되 이러한 해에 대해 벌금(penalty)을 부과하는 방식을 통해 보다 다양한 해를 살펴보고 이들을 개선할 수 있는 가능성을 높일 수 있으리라 기대한다. 또 다른 연구과제로는 PVRP의 확장형태의 다양한 문제들이 존재하는데, 이들을 해결하기 위해 본 논문에서 제안된 알고리즘을 확장하는 연구 등이 있다.

참고 문헌

- [1] Beltrami, E.J. and Bodin, L.D. (1974), "Networks and Vehicle Routing for Municipal Waste Collection," *Networks*, Vol.4, pp. 65~94.
- [2] Baptiste, S., Oliviera, R. C. and Zuquete (2002), E., "A Period Vehicle Routing Case Study," *European Journal of Operational Research*, Vol. 139, pp.220~229.
- [3] Blakely, F., Bozkaya, B., Cao, B., Hall, W. and Knolmayer, J. (2003), "Optimizing Periodic Maintenance Operations for Schindler Elevator Corporation," *Interfaces*, Vol. 33, pp.67~79.
- [4] Braysy, O. and Gendreau, M. (2005), "Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithm," *Transportation Science*, Vol. 39(1), pp. 104~118.
- [5] Chao, I.M., Golden, B.L. and Wasil, E.A. (1995), "An Improved Heuristic for the Period Vehicle Routing Problem," *Networks*, Vol. 26, pp.25~44.
- [6] Christofides, N. and Beasley, J. E. (1984), "The Period Routing Problem", *Networks*, Vol. 14, pp.237~256.
- [7] Clarke, G. and Wright, J. W. (1964), "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, Vol. 2(4) , pp. 568~581.

- [8] Cordeau, J.F., Gendreau, M. and Laporte, G. (1997), "A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-depot Vehicle Routing Problems," *Networks*, Vol. 30(2), pp.105~119.
- [9] Drummond, L.M.A., Ochi, L.S. and Vianna, D.S. (2001), "An Asynchronous Parallel Metaheuristic for the Periodic Vehicle Routing Problem," *Future Generation Computer Systems*, Vol. 17(4), pp.379~386.
- [10] Francis, P., Smilowitz, K. and Tzur, M. (2006), "The Period Vehicle Routing Problem with Service Choice," *Transportation Science*, Vol. 40, pp.439~454
- [11] Garey, M. R. and Johnson, D. S. (1979), *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness*. Freeman, San Francisco.
- [12] Gaudio, M. and Paletta, G. (1992), "A Heuristic for the Periodic Vehicle Routing Problem," *Transportation Science*, Vol. 26 (2), pp.86~92.
- [13] Gendreau, M., Hertz, A. and Laporte, G. (1994), "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem," *Management Science*, Vol. 40(10), pp.1279~1290.
- [14] Ghodsi, R. and Amiri, A.S. (2010) "A Variable Neighborhood Search Algorithm for Continuous Location Routing Problem with Pickup and Delivery," in *Proceeding of 2010 Fourth Asia International Conference on Mathematical/ Analytical Modelling and Computer Simulation*, pp.199~203.
- [15] Hansen, P. and Mladenovic, N. (2001), "Variable Neighborhood Search: Principles and Applications," *European Journal of Operational Research*, Vol. 130, pp. 449~467.
- [16] Hemmelmayra, V.C., Doerner, K.F. and Hartl, R.F. (2009), "A Variable Neighborhood Search Heuristic for Periodic Routing Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 195(3), pp. 791~802.
- [17] Kim, B., Kim, S. and Sahoo, S. (2006), "Waste Collection Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Computers and Operations Research*, Vol. 33, pp.3624~3642.
- [18] Kytöjoki, J., Nuortio, T., Bräysy, O. and Gendreau, M. (2007), "An efficient variable neighborhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems," *Computers and Operations Research*, Vol. 34, pp.2743~2757.
- [19] Mladenovic, N. and Hansen, P. (1997), "Variable Neighborhood Search," *Computers and Operations Research*, Vol. 24, pp. 1097~1100.
- [20] Polacek, M., Doerner, K.F., Hartl, R.F., Kiechle, G. and Reimann, M. (2007), "Scheduling Periodic Customer Visits for a Traveling Salesperson," *European Journal of Operational Research*, Vol. 179, pp.823~837.
- [21] Polacek, M., Hartl, R.F., Doerner, K.F. and Reimann, M. (2004), "A Variable Neighborhood Search for the Multi Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Journal of Heuristics*, Vol. 10, pp.613~627.
- [22] Rusdiansyah, A. and Tsao, D. (2005), "An Integrated Model of the Periodic Delivery Problems for Vending-machine Supply Chains," *Journal of Food Engineering*, Vol. 70(3), pp. 421~434.
- [23] Russel, R.A. and Gribbin, D. (1991), "A Multiphase Approach to the Period Routing Problem," *Networks*, Vol. 31, pp. 747~765.
- [24] Tan, C. C. R. and Beasley, J. E. (1984), "A Heuristic Algorithm for the Period Vehicle Routing Problem", *Omega*, Vol. 12, pp. 497~504.



정 태 수

고려대학교 산업공학 학사

한국과학기술원 산업공학 석사

한국전자통신연구원 연구원

현재 : 조지아공과대학 산업시스템공학과 박사과정

관심분야 : SCM, RFID/USN
정보시스템

PSO 알고리즘의 탐색 가능 영역 조정을 위한 새로운 기법[†]

박경중[†]

광주대학교 경영학과

A New Method to Control a Search Space of PSO Algorithm

Kyoung-Jong Park[†]

Dept. of Business Administration, Gwangju University

This paper proposes a new method to control a search space varied during the optimization process of PSO(Particle Swarm Optimization) algorithm. It is necessary to move a component beyond the search space into a feasible search space because the obtained component using the equations of particle and velocity of PSO method may be out of the search space. Finally, this paper makes a comparison between a new method and TRC method which is popular and simple. The results show that the new method outperforms TRC method though the population size is varied.

Keywords: PSO, Search Space, Optimization Process, Particle, Velocity

1. 서론

진화 알고리즘(Evolutionary Algorithms: EA)은 단일 목적 및 다목적 최적화 문제를 해결하기 위한 대안으로 18세기부터 사용되어 왔다(Julio et al., 2005). 최근에는 새, 곤충, 물고기 떼의 집단 행태에 영감을 받아 개발된 PSO(Particle Swarm Optimization) 기법이 단일 목적 및 다목적 최적화 문제로 확장되어 사용되고 있다.

PSO 기법은 Eberhart & Kennedy (1995)에 의해 처음으로 소개되었다(강석호 & 김승, 2008). PSO 기법은 자연선택의 진화

과정을 모방하는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)과는 다르게 새와 물고기들이 행하는 생체군집의 사회적 행동 양식을 바탕으로 하고 있다(강석호 & 김승, 2008). PSO 기법은 목적식 값을 얻어내는 결정변수를 입자(particle)로 표현하고, 결정변수의 전체 집단을 모집단(swarm)으로 표현한다.

유전자 알고리즘, 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing: SA), 타부 서치(Tabu Search: TS) 등의 메타 휴리스틱(Meta Heuristic: MH) 기법들은 어떤 형태의 문제에도 적용이 가능하며, 사용하는 연산자나 파라미터의 값을 조정하여 지역 최적해에 빠지지 않도록 한다. 그러나, PSO 기법은 가능해의 공간상에 위치(location)하는 입자들의 배치, 속도(velocity), 관

* 이 연구는 2010년도 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

* 2010년 9월 5일 투고, 10월 8일 수정본 접수, 10월 14일 게재 확정.

성하중(inertia weight: w), 가속상수(c_1, c_2), 모집단의 크기 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 입자들의 움직임이 목적식에 대한 적합도가 가장 큰 최적 위치를 향하여 가도록 방향성을 부여하여 최적해를 찾는 방법이다. PSO 기법은 개별 입자의 반복을 통해 발견한 개인 최적해 pbest(personal best)와 전체 입자의 반복을 통해 발견한 전체 최적해 gbest(global best)가 지시하는 방향으로 해들을 개선시킨다. 그 과정에서 난수를 발생시켜 임의성을 포함시킨다. 개별 최적해와 전체 최적해들은 보통 가이드(guide)로 불리며, 해의 방향이 정해지게 되면 세대가 진행될수록 해 집단의 다양성은 떨어지고 지역 최적해에 빠질 가능성이 알고리즘에 내재되어 있다(강석호 & 김승, 2008).

PSO 기법은 매우 간단한 개념으로 구성되었고, 알고리즘은 몇 줄의 컴퓨터 코드로 구성된다(Eberhart & Kennedy, 1995). PSO 기법에서 N 개의 입자를 가진 모집단의 각 결정변수 X_n 은 다음 세대에서 위치를 결정하는 속도를 가지며, 각 입자의 위치는 다음의 식 (1) 또는 (2)로 표현된다(Julio et al., 2005).

$$X_n^{(t+1)} = X_n^{(t)} + V_n^{(t)} \quad (1)$$

$$X_n^{(t+1)} = X_n^{(t)} + \chi V_n^{(t)} + \epsilon^{(t)} \quad (2)$$

식 (1)은 t 세대에서 위치와 속도를 이용하여 다음 세대($t+1$)의 각 입자의 위치를 구하는 가장 일반적인 식이다. $V_n^{(t)}$ 은 t 세대에서의 n 번째 입자의 이동 속도를 의미한다. 식 (1)은 다음 세대의 개체로 이동할 때 입자의 위치와 속도를 미세하게 조절하도록 식 (2)로 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 마지막 항(term)은 격동 인자(turbulence factor)로 작은 확률적인 동요(stochastic perturbation)이며, 입자가 지역 최적해에 빠지지 않도록 현재의 위치에서 결정 공간을 더 넓게 탐색하도록 하는 역할을 수행한다.

식 (2)와 같은 효과를 내기 위해 별도로 식 (3)과 같이 격동 인자(Fieldsend & Singh, 2002) R_t 를 포함하여 각 입자의 새로운 위치를 만들어서 사용하기도 한다(Mostaghim & Teich, 2003).

$$X_n^{(t+1)} = R_t X_n^{(t)} \quad (3)$$

격동 인자는 모집단에서 각 입자의 위치를 갱신하기 위해 사용된다. 격동 인자는 진화 알고리즘에서의 교배 연산자(mutation

operator)와 비슷한 역할을 하고 각 입자의 현재 위치에 랜덤 값을 더하여 계산된다(Mostaghim & Teich, 2003).

PSO 기법에서 각 입자의 속도는 다음의 식 (4)를 이용하여 계산한다.

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

각 입자의 속도는 개인 최적값(pbest) P_{nk} 과 전체 최적값(gbest) G_{nk} 인 가이드 지표를 향해 비행하도록 갱신된다. P_{nk} 은 각 입자에 의해 발견된 현재까지의 개인 최적값이다. G_{nk} 은 입자들이 정보 공유와 탐색을 더 많이 하도록 전체 모집단에서 발견한 전체 최적값이다. 각 입자의 속도에서 k 번째 요소는 식 (4)를 이용하여 갱신된다. r_1 과 r_2 는 $[0, 1]$ 사이의 일양분포를 하는 랜덤 변수이고, 상수 c_1 과 c_2 는 개인 최적값과 전체 최적값의 효과를 조절하는 역할을 한다. 관성이라고 알려진 파라미터 w 는 전역 탐색(global experience)과 지역 탐색(local experience) 사이의 트레이드 오프(trade-off)를 조절한다. 즉, w 가 커질수록 현재의 속도에 큰 가중치를 주어서 전역 탐색을 수행하도록 한다. 본 장에서 설명하는 PSO 기법에 대한 주된 설명은 박경중(2009)에서 참조하였다.

본 연구의 제 1장에서는 PSO 기법에 대해서 개괄적으로 설명하였고, 제 2장에서는 PSO 알고리즘이 수행되는 동안 가능해 영역 밖으로 해들이 벗어날 수 있음을 보인다. 제 3장에서는 가능해 영역을 벗어나는 입자들을 가능해 영역 안으로 이동시키는 새로운 방법을 제안한다. 제 4장에서는 가장 쉽고, 일반적으로 사용되는 TRC 방법과 비교하고 그 결과를 제시한다. 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 추후 연구과제를 제시한다.

2. 탐색 가능 영역의 위배

PSO 방법은 식 (1), (2), (3)과 식 (4)로 표현되는 입자의 위치와 속도를 이용하여 최적해를 찾다고 앞에서 설명하였다. 다음의 식 (5)로 표현되는 다목적 함수식을 이용하여 다목적 PSO 최적화 과정을 수행하여 그 결과를 분석한다(Mostaghim & Teich, 2003).

$$\begin{aligned} g(x_2, \dots, x_n) &= 1 + 9 \left(\sum_{i=2}^n x_i \right) / (n-1) \\ h(f_1, g) &= 1 - \sqrt{f_1/g} \\ f_1(x_1) &= x_1 \\ f_2(x) &= g(x_2, \dots, x_n) \cdot h(f_1, g) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 $x_i \in [0, 1]$ 이고 n 이 30인 경우에 PSO 알고리즘을 적용하면 <그림 1>과 같은 결과가 얻어진다. <그림 1>을 보면 목적

식 $f_1(x_1)$ 과 $f_2(\vec{x})$ 를 만족하는 값은 <그림 2>의 파레토 최적 프런트와 같이 모두 0과 1사이 존재해야 되지만, 목적식 $f_2(\vec{x})$ 의 경우에는 파레토 프런트 경계값 1을 초과하여 형성됨을 알 수 있다. 이러한 이유는 최적해를 구하는 알고리즘의 성능에도 문제가 있을 수 있지만, 가능해 영역에 형성되어야 할 위치 값이 가능해 영역을 벗어나서 형성되어 파레토 프런트에 영향을 미치는 것도 요인이 된다. 즉, 기본 알고리즘은 가능해 영역을 벗어나는 값들에 의해 균일하게 파레토 프런트가 형성되지 못하고 파레토 프런트의 한 곳에 최적해가 집중되거나 또는 최적해를 전혀 발견하지 못하기도 한다.

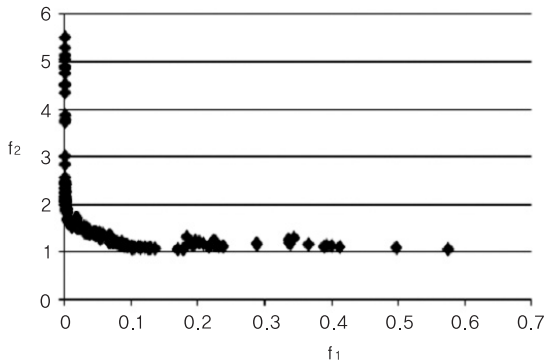


그림 1. 가능해 영역으로 입자를 이동시키지 않고 PSO를 실행한 결과

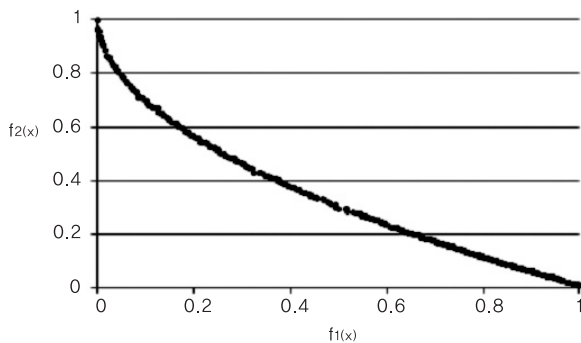


그림 2. 파레토 최적 프런트

그러므로 PSO 알고리즘은 단일 목적이나 다목적 문제와 상관 없이 가능해 영역 안에서 입자들이 움직여야 한다는 제약조건을 추가할 필요가 있다. 가능해 영역 안에서 입자들이 움직이도록 하는 방법에 따라 알고리즘의 수행 척도는 많은 차이가 발생한다. 특히, 최적의 결정변수 값들이 가능해 영역의 경계치에 있거나 경계치와 가까우면 더욱 민감한 문제가 될 수 있다.

입자들이 가능해 영역 안에서 움직이도록 이러한 문제점을 해결한 방법들이 제시되었다. Fieldsend(2004)는 식 (4)을 이용하여 속도를 계산할 때 가능해 영역 안에서 입자의 위치가 얻어질

때 까지 확률적인 항목 r_1 과 r_2 를 재생산하는 방법을 제안하였다. Van den Bergh(2001)은 속도의 크기를 명확하게 제한하고, Clerc(1999)는 입자의 속도를 구하는 식 (4)에서 w , c_1 , c_2 와 같은 상수 값들을 수정하는 방법을 사용하였고, 제약 입자인 x' 의 값을 수정하여 사용하였다. 이러한 방법들은 구체적인 알고리즘을 적용하기 보다는 가능해 영역 안으로 입자가 들어갈 때 까지 파라미터 값들을 단순히 반복적으로 변경하여 사용하였다.

최적화되는 특정 문제에 대해 선형적인 지식(a priori knowledge)을 이용하는 방법도 있지만(Mostaghim & Teich, 2004), 이 방법은 특정 문제에 대한 해의 품질을 높여줄 수 있으나 최적화되는 함수의 선형적 지식에 의존하지 않는 일반적인 문제에는 좋은 해를 주지 못한다.

3. 새로운 제안 기법

가장 일반적이면서 사용하기 쉬운 방법은 Coello et al.(2004)에서 설명되었고, Julio et al.(2005)에서 사용된 TRC 기법이다. 이 방법은 입자가 가능해 영역을 벗어나면 벗어난 쪽의 경계치로 입자의 값을 할당한다는 기본 원칙을 적용하며, 다음의 <그림 3>으로 설명된다. <그림 3>에서 U를 결정변수의 상한 값, L을 결정변수의 하한 값, $X_{nk}^{(t+1)}$ 를 t+1 세대에서 n번째 입자의 k번째 요소라 정의한다. 만약 입자 $X_{nk}^{(t+1)}$ 가 가능해 영역 $[L, U]$ 에 위치하면 변경하지 않고, $X_{nk}^{(t+1)} < L$ 또는 $X_{nk}^{(t+1)} > U$ 이면 $X_{nk}^{(t+1)} = L$ 또는 $X_{nk}^{(t+1)} = U$ 로 설정한다. 이러한 과정을 수행하면 입자의 위치가 변경되고, 다음 세대에서 속도값도 변경되어 가능해 영역 안으로 결정변수 값들이 들어올 수 있다.

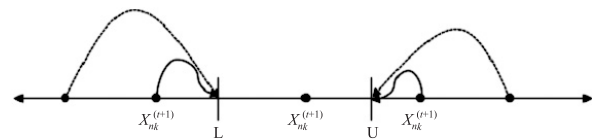


그림 3. TRC 방법의 적용 원칙

그러나 TRC 기법은 입자들이 경계치를 벗어나면 모두 경계치 값으로 할당하기 때문에 파레토 최적 프런트의 값들이 경계치와 근접한 곳에 존재한다면 최적해를 찾는 데 해로운 영향을 줄 수 있다. 다음의 <그림 4>와 <그림 5>는 식 (5)로 표현되는 다목적 최적화 문제를 모집단의 수가 100일 때와 200일 때 TRC 기법을 수행하여 얻은 결과이다.

TRC 기법을 적용한 <그림 4>와 <그림 5>의 파레토 프런트를 보면 최적해의 범위가 모두 0과 1사이에서 형성되어 만족스러운

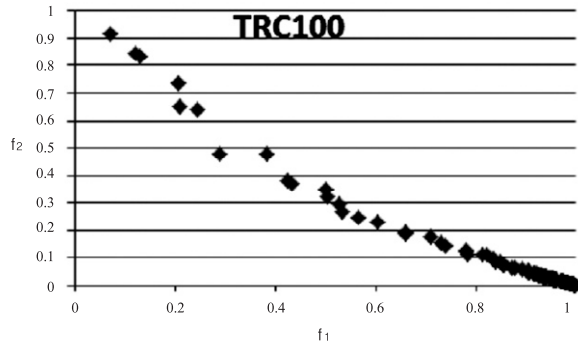


그림 4. TRC 기법(TRC100)

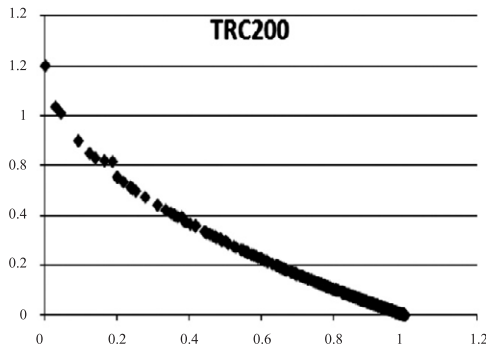


그림 5. TRC 기법(TRC200)

결과가 얻어짐을 알 수 있다. 그러나 형성된 파레토 프런트의 입자의 분포를 살펴보면 얻어진 해들이 균일한 밀집도가 있는 프런트를 만들어내지 못하고 최적해들이 오른쪽 하단에는 많고 왼쪽 상단에는 적음을 알 수 있다. 이러한 형태가 TRC 방법의 문제점을 보여준다고 설명할 수 있다. 즉, TRC 방법은 경계치를 초과하는 결정변수의 값들을 벗어난 쪽의 경계치로 무조건 할당하는데 최적해들이 경계치 근처에 많이 형성되어 있으면 균일하게 흩어진 해들을 얻을 수 없다. 그러므로 가능해 영역으로 입자들을 이동시킬 때 이러한 특성을 반영할 수 있는 효율적인 방법이 필요하다.

본 연구에서 제안하는 기법의 기본 개념은 가능해 영역을 벗어나는 입자의 방향성을 동일하게 유지하면서 가능해 영역 안에서 적절하게 움직이도록 하는 것이다. 제안하는 알고리즘은 <그림 6>과 같이 $X_{nk}^{(t+1)}$ 를 t세대에서 n번째 입자의 k번째 요소라 하고 이를 허용 구간의 크기인 비율변수로 정의하여 설명할 수 있다.

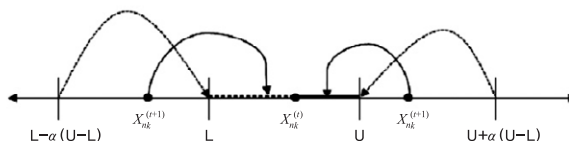


그림 6. 제안 알고리즘의 기본 방향

<그림 6>의 가장 기본적인 원칙은 $X_{nk}^{(t+1)}$ 이 U와 L사이에 위치하면 그 값을 그대로 사용하며, $L-\alpha(U-L)$ 과 L사이에 위치하면 이 값을 L과 $X_{nk}^{(t)}$ 사이로 방향성을 유지하면서 이동시키는 것이다. 즉, L보다 작아지는 입자 $X_{nk}^{(t+1)}$ 는 $L \leq X_{nk}^{(t+1)} < X_{nk}^{(t)}$ 사이에서 결정된다. 마찬가지로 $X_{nk}^{(t)}$ 이 $U+\alpha(U-L)$ 과 U사이에 위치하면 이 값을 $X_{nk}^{(t)}$ 과 U사이의 입자가 되도록 방향성을 유지하면서 이동시킨다. 즉, U를 초과하는 입자 $X_{nk}^{(t+1)}$ 는 $X_{nk}^{(t)} < X_{nk}^{(t+1)} \leq U$ 로 결정된다. 또한 $X_{nk}^{(t+1)}$ 이 $L-\alpha(U-L)$ 에 위치하면 이 값은 L로 설정하고, $U+\alpha(U-L)$ 에 위치하면 이 값은 U로 설정되도록 하여 α 값에 상관없이 입자 $X_{nk}^{(t+1)}$ 은 항상 [L, U] 사이에 위치하게 된다. 지금까지 설명된 내용은 <그림 7>의 알고리즘으로 구체화될 수 있다.

```

If  $L < X_{nk}^{(t+1)} < U$  Then
    Return  $X_{nk}^{(t+1)}$ 
End If
If  $X_{nk}^{(t+1)} > U$  Then
    If  $X_{nk}^{(t+1)} > U + \alpha(U-L)$  Then
        Return U
    Else If  $X_{nk}^{(t+1)} \leq U + \alpha(U-L)$  Then
        Return  $(X_{nk}^{(t+1)} - U)(U - X_{nk}^{(t)}) / \alpha(U-L) + X_{nk}^{(t)}$ 
    End If
Else If  $X_{nk}^{(t+1)} < L$  Then
    If  $X_{nk}^{(t+1)} < L - \alpha(U-L)$  Then
        Return L
    Else If  $X_{nk}^{(t+1)} \geq L - \alpha(U-L)$  Then
        Return  $X_{nk}^{(t)} - (L - X_{nk}^{(t+1)})(X_{nk}^{(t)} - L) / \alpha(U-L)$ 
    End If
End If

```

그림 7. 제안 알고리즘

4. 수행도 평가

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(global) 파레토 프런트와 제안된 알고리즘의 파레토 프런트의 거리(distance)를 최소화한다. 둘째, 최적 기법은 발견된 해들의 흩어짐(spread)을 최대화하여 부드럽고(smooth) 균일한(uniform) 벡터 분포를 얻도록 한다. 셋째, 최적 기법은 파레토 최적해의 집합에 포함되는 요소(element) 수를 최대화 한다.

본 논문은 정량적인 평가 항목 중에서 파레토 최적해의 집합에 포함되는 요소의 수를 최대화하는 평가 방법을 사용한다. 이 방법은 지금까지 발견된 비지배해들이 진짜 파레토 프런트의 멤버가

되지 않는 비율을 ER(Error Ratio)로 표현하고 식 (6)을 이용하여 계산한다.

$$ER = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (6)$$

식 (6)에서 n 은 이용 가능한 비지배해 집합에 있는 벡터의 개수이다. 만약 벡터 i 가 파레토 최적 집합의 멤버이면 $e_i=0$ 이고 그렇지 않으면 $e_i=1$ 이 된다. ER 이 0이면 지금까지 발견된 모든 비지배해가 파레토 최적 집합에 포함된다는 것을 의미한다.

그러나 식 (6)으로 표현되는 ER 은 전체 파레토 후보 집합 중에서 실제 몇 개의 요소가 파레토 최적 집합에 포함되는가에 대한 비율만을 계산하기 때문에 어떤 기법이 더 많은 파레토 최적해를 찾아내는지는 알 수 없다. 그러므로 본 연구는 ER 방법과 함께 파레토 최적해 집합에 포함되는 요소의 개수도 정량적 평가의 수행척도로 사용한다.

새롭게 제안된 기법은 객관적인 실험이 되도록 TRC 방법과 동일하게 모집단의 크기가 100개인 경우와 200개인 경우를 대상으로 한다. α 값은 0, 1, 2일 때를 실험하며, 만약 α 가 0이면 TRC 방

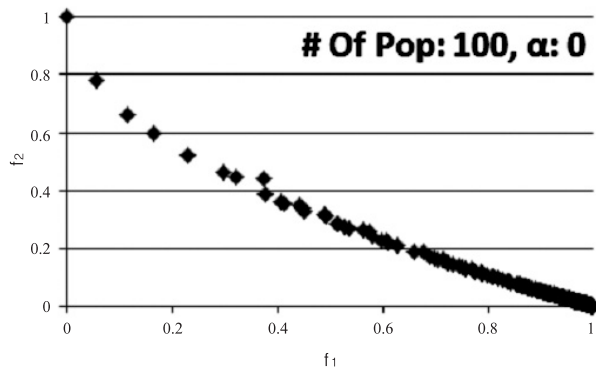


그림 8. 제안 기법(CCSD100_0)

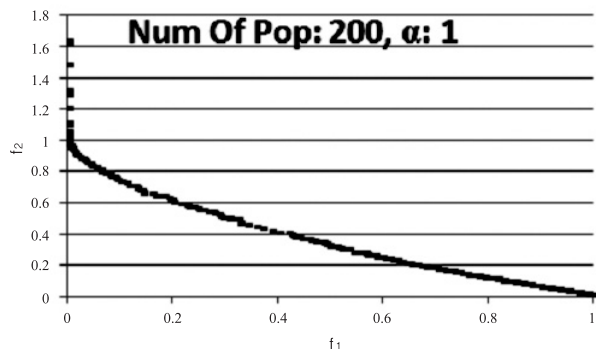


그림 9. 제안 기법(CCSD200_1)

법과 같은 조건이 된다. 제안 기법은 <그림 8>, <그림 9>, <그림 10>과 같이 실험 결과를 보여준다.

<그림 8>은 모집단의 수가 100이고, 허용 구간이 없을 때($\alpha=0$)의 결과이다. 발견된 파레토 최적해의 후보 개수는 301개이며, 이 중에서 파레토 최적해의 요소가 아닌 개수는 0이다.

<그림 9>는 모집단의 수가 200이고, 허용 구간이 1배일 때($\alpha=1$)의 결과이다. 발견된 파레토 최적해의 개수는 603개이며, 이 중에서 49개가 파레토 최적해의 요소가 아니다.

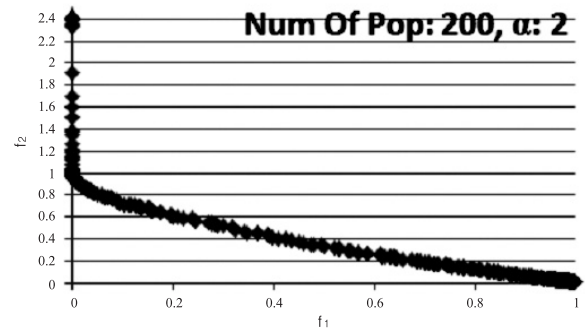


그림 10. 제안 기법(CCSD200_2)

<그림 10>은 모집단의 수가 200이고, 허용 구간이 2배일 때($\alpha=2$)의 결과이다. 발견된 파레토 최적해의 개수는 518개이며, 이 중에서 76개가 파레토 최적해의 요소가 아니다.

<그림 11>은 TRC 방법의 결과인 <그림 4>, <그림 5>와 제안 방법의 결과인 <그림 8>, <그림 9>, <그림 10>을 최적 파레토 요소 수와 ER 로 평가한 결과이다.

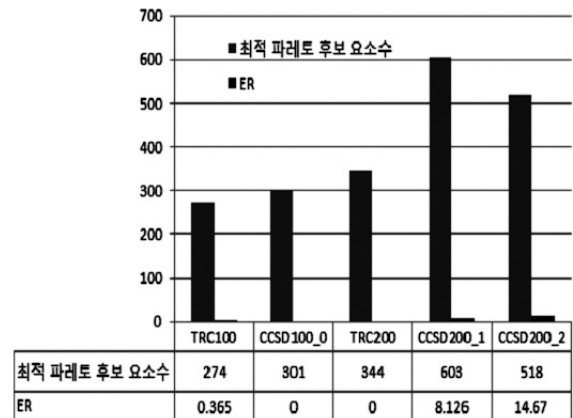


그림 11. TRC와 제안방법의 비교

<그림 11>은 정확한 비교가 되도록 TRC 방법과 조건이 같도록 모집단의 크기가 100이고, 허용 구간이 $\alpha=0$ 일 때의 결과이다. TRC100에서 발견된 파레토 최적 집합의 요소는 274이고,

CCSD100_0에서 발견된 파레토 최적 집합의 요소 수는 301개이다. 그러므로 CCSD100_0의 효율이 TRC100을 기준으로 9.9%가 향상되었음을 알 수 있다.

모집단의 수가 200일 때의 기존 방법인 TRC200과 허용 구간이 1배일 때의 제안 방법인 CCSD200_1은 제안 방법이 기존 방법을 기준으로 파레토 최적 후보 요소 수가 75.29%가 향상되었고, 허용 구간이 2배일 때의 제안 방법인 CCSD200_2는 50.58% 향상됨을 알 수 있다.

모집단의 수가 100일 때의 TRC 기법(TRC100)과 새롭게 제안된 기법의 기본형이 되는 $\alpha=0$ 인 경우(CCSD100_0)를 표현하는 <그림 3>과 <그림 8>은 2가지 방법 모두에서 파레토 최적해가 얻어짐을 알 수 있다. 그러나 구해진 파레토 최적해의 값들은 목적 함수 $f_1(X)$ 는 값이 큰 방향으로 움직이고 $f_2(X)$ 는 값이 작은 방향으로 움직이는 경향이 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 오른쪽 하단으로 움직일수록 지역 최적해에 빠져들 수 있음을 보여주기 때문에 지역 최적해에 빠지지 않고 다양한 프런트 최적해를 얻기 위해서는 $f_1(X)$ 는 값이 작은 방향으로 움직이도록 하고 $f_2(X)$ 는 값이 큰 방향으로 움직일 수 있도록 하는 알고리즘이 필요함을 알 수 있다. 기존 방법인 TRC100과 TRC200은 발견된 파레토 최적해 집합이 한 쪽으로 편중된 경향을 해결하지 못하고 있다. 그러나 새롭게 제안된 방법인 모집단의 수가 200일 때의 CCSD200_1과 CCSD200_2 방법은 모두에서 균일한 파레토 최적해 집합이 구해짐을 알 수 있다. 새롭게 제안된 방법은 한쪽으로 편중된 파레토 최적해 집합의 요소들을 균일하게 하는 과정에서 파레토 최적해 집합을 벗어나는 경우가 발생(CCSD200_1: 8.126%, CCSD200_2: 14.67%)하지만, 파레토 최적해 집합의 요소 수가 기존의 TRC 방법보다 매우 효율적(CCSD200_1: 75.29%, CCSD200_2: 50.58%)이기 때문에 이를 충분히 상쇄할 수 있다고 판단된다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구는 PSO 알고리즘의 위치와 속도를 계산하는 식을 이용하여 해를 구하면, 이 해들이 가능해 영역을 벗어나는 경우가 발생함을 설명하였다. 또한 제안 방법은 가능해 영역을 벗어나는 해들을 적절한 방법을 통해 가능해 영역 안으로 이동시켜야 좋은 해들을 얻을 수 있음을 제시하였다. 본 연구는 가능해 영역을 벗어나는 입자들을 영역 안으로 이동시키기 위한 새로운 기법을 제안하였고, 일반적으로 가장 쉽고 많이 사용하는 TRC 방법과 비교하였다.

TRC 방법은 가능해 영역 안으로 입자들을 이동시킬 수 있으나

다목적식의 해들이 경계치에 가까이 형성되는 경우에는 무조건 경계값으로 입자들을 할당시켜 주기 때문에 문제가 발생한다. TRC 방법은 한쪽으로 편중된 파레토 프런트를 해결하지 못하지만, 제안된 방법은 한쪽으로 편중된 파레토 프런트를 균일하게 흩어진 파레토 프런트로 조정할 수 있음을 제시하였다. 또한 제안된 방법은 한쪽으로 편중된 파레토 최적해 집합의 요소들을 균일하게 분포시키는 과정에서 파레토 최적해 집합을 벗어나는 경우가 발생(CCSD200_1: 8.126%, CCSD200_2: 14.67%)하지만 파레토 최적해 집합의 요소 수의 비교에서 기존의 TRC 방법보다 매우 효율적(CCSD200_1: 75.29%, CCSD200_2: 50.58%)임을 보였다.

추후 연구과제에서는 제시된 방법이 균일하게 흩어진 파레토 프런트를 기존 방법보다 훨씬 많이 생성하지만, 최적 파레토 프런트를 벗어나는 요소들을 제거하지 못하기 때문에 이 부분을 해결하고자 한다. 이러한 문제가 해결되면 다음 단계는 제안 알고리즘을 실제 문제에 적용하고 그 효율성을 판단하는 것이다.

참고 문헌

- [1] 강석호, 김승(2008), Particle 2-Swarm Optimization for Robust Search, *경영정보논총*, 제18권, 제1호, pp. 1-10.
- [2] 박경중(2009), PSO를 이용한 단일 목적 및 다목적 최적화에 관한 연구, *산경연구*, 제22권, 제2호, pp. 18-30.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Fieldsend, J.(2004), Multi- Objective Particle Swarm Optimization Methods, *Technical Report No. 419*, University of Exeter.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Mostaghim, S. and Teich, J. (2004), *Personal Communication*.
- [10] 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.
- [11] Van Den Bergh, F.(2001), An Analysis of Particle Swarm Optimization, *Ph.D. thesis*, University of Pretoria.



박경중

한양대학교 산업공학과 학사

한양대학교 산업공학과 석사

한양대학교 산업공학과 박사

현재 : 광주대학교 경영학과 부교수

관심분야 : 시뮬레이션 최적화, sSCM,
PSO, GA 등

2단계 배치 픽킹 알고리즘과 성과분석

백련희[†] · 임석철

아주대학교 대학원 산업공학과

A two-stage batch picking algorithm and its performance analysis

Lianji Bai[†] · Suk Chul Rim

Department of Industrial Engineering, Ajou University

Order picking is one of the most crucial activities in the warehouse management. In practice, batch picking rather than pick-by-order is widely used for picking efficiency. In this study, we consider the finite volume capacity of the picking cart in batching the orders. We propose a two-stage order batching algorithm for this practical problem. In the first stage, we apply a heuristic algorithm for the bin packing problem to minimize the number of picking tours; and in the second stage, pairwise exchange is applied for the two orders assigned to two different tours, while satisfying the cart capacity so as to minimize the total travel distances of the picker. Simulation is used to compare the average performance of the proposed method for various routing methods of the picker.

Keywords: order picking, batch picking, picking cart capacity, pairwise exchange

1. 서론

1.1 오더 픽킹 개요

물류센터의 대표적인 활동으로는 제품의 입고(receiving), 적치(putaway), 저장(storing), 불출(retrieval), 오더 픽킹(order picking), 포장(packing), 보충(replenishment), 출하(shipping) 등이 있다. 이 중에서 오더 픽킹은 물류센터의 활동 중에서 인력과 비용이 가장 많이 소요되는 활동이다. 오더 픽킹이

란 특정 고객의 주문을 충족하기 위하여 주문된 품목들을 창고의 저장위치로부터 꺼내는 픽킹(picking)과, 주문별로 품목을 모으는 집품(accumulation) 또는 분류(sorting) 작업 등을 포함하는 활동이다. 오더 픽킹 비용은 물류센터의 총 인건비의 60%를 차지하고, 운영비용의 65%를 차지할 만큼 비중이 크며(Gademann *et al.*, 2005), 제품이 날로 다양해 지고 있는 오늘날 오더 픽킹은 물류센터의 비용과 리드타임 측면에서 더욱 중요한 활동이 되고 있다.

오더 픽킹은 수동(manual) 창고에서는 픽킹 작업자(이하 픽커(picker)라 함)들의 노동집약적인 활동이고, 자동화 창고에서는

[†] Corresponding Author : Bai Lianji, San5, Woncheon-dong, Yeongtong-gu, Suwon 443-749, Korea
Tel: +82-31-219-2955 Fax: 82-31-219-1610 E-mail: bailianji@ajou.ac.kr

* 2010년 9월 16일 투고, 10월 14일 게재 확정.

상당한 설비투자가 필요하기 때문에 오더 픽킹은 창고운영의 생산성 향상을 위해서 가장 최우선 순위 활동으로 간주된다. 또 오더 픽킹 운영은 물류센터가 수주 이후 목적지에 주문품을 배송하는 배송리드타임과 주문품목 및 수량의 정확성, 물류센터의 재고 수준 및 운영비용 등에 영향을 미쳐 궁극적으로 공급망의 성과에 직접적인 영향을 주기 때문에 공급망의 경쟁력 강화를 위해 오더 픽킹의 고도화가 매우 중요하다.

1.2 오더 픽킹의 분류

오더 픽킹은 여러 기준에 따라 다음과 같이 다양하게 분류될 수 있다. (De Koster *et al.*, 2007)

1.2.1. 이동 주체에 따라

- (1) picker-to-parts system : 픽커가 이동하면서 품목을 추출하는 방식이며, 물류현장에서 가장 보편적으로 사용되는 방식이다. 작업의 높이에 따라 low-level 픽킹(픽커가 저장랙 또는 상자로부터 물품을 인출) 또는 high-level 픽킹(픽커가 오더 픽킹 트럭 등을 타고 이동하면서 선반의 높은 지점에서 픽킹, man-on-board 방식이라고도 함)으로 분류된다.
- (2) parts-to-picker system : 자동창고(AS/RS)나 캐러젤(carousel) 등의 자동화 설비를 사용하여 원하는 품목을 픽커의 위치로 이동시켜 픽킹하는 방식이다.

1.2.2. 픽킹 대상 주문에 따라

- (1) 주문별 픽킹(picking by order) : 한 픽커가 하나의 주문을 픽킹 완료 후 다음 주문을 픽킹하는 방식으로, 픽커의 총 이동거리는 증가하나, 작업이 단순하고 픽킹 후 분류(sorting)작업이 불필요하여 오류의 소지가 적다.
- (2) बै치(batch) 픽킹 : 한 픽커가 여러 주문을 한번의 이동(tour)시 한꺼번에 모아서 픽킹한 후 다시 주문별로 분류하는 방식이다. 품목별 픽킹(picking by item)이라고도 하며, 픽커의 총 이동거리는 단축되나, 픽킹 후 주문별 분류 작업에 추가적 시간이 소요되는 단점이 있다. 정적(static) बै치는 모든 주문이 접수완료된 상태에서 각 주문을 बै치에 할당(assignment)하는 문제이다. 반면에 동적(dynamic) बै치는 주문의 도착시각이나 주문라인(order line: 한 주문 안에서 특정품목의 주문 수량) 등이 확률적인 문제이며, 결정변수는 बै치 크기 또는 बै치 시간창(time window)이고, 목적함수는 주문당 평균 픽킹시간을 최소화하는 것이다. बै치(batch) 픽킹은 그룹 픽킹 또는 콘솔리데

이션(consolidation) 픽킹이라고도 불리운다.

1.2.3. 픽커의 작업구역에 따라

- (1) 전지역 픽킹 : 모든 픽커가 픽킹지역 전체를 이동하면서 픽킹을 수행하는 방식이다.
- (2) 구역(zone) 픽킹 : 각 픽커는 자신에게 할당된 특정 구역내에 저장된 품목만을 픽킹하고, 이들을 다시 결합하는 방식이다. 이는 주문 제품의 특성 상 다수의 물품들이 여러 구역으로 분리되어 있는 경우 유용하게 쓰이며, 픽커의 이동 경로는 효율성이 높아지지만 주문의 결합 및 분류 등의 작업이 수반되어야 한다. 하나의 주문에 대해 각 구역을 차례로 이동하면서 픽킹 품목을 더해가는 progressive (sequential 또는 pick-and-pass) zoning 방식과, 하나의 주문에 대해 모든 구역에서 동시에 픽킹하여 합하는 simultaneous (또는 synchronized) zoning 방식이 있다.
- (3) Bucket Brigade 픽킹 : 픽커들의 담당구역의 경계를 고정하지 않고 동적으로 변화하며, 픽커가 픽킹 작업중 후행 픽커와 마주치면 그 지점에서 픽킹 카트를 후행 픽커에게 인계한 후 즉시 선행 픽커 방향으로 되돌아가 선행 픽커를 만나는 지점에서 선행 픽커로부터 카트를 인수받아 후행 방향으로 이동하면서 픽킹을 수행하는 방식이다. (Bartholdi *et al.*, 2000)

1.2.4. बै치 픽킹의 경우 분류(sorting) 시점에 따라

- (1) sort-while-pick : बै치 픽킹시 픽커가 픽킹을 하면서 픽킹 카트(cart) 내에서 주문별로 분류를 수행하는 방식이다. 이를 위해서는 बै치를 주문 단위로 묶어야만 한다.
- (2) pick-and-sort : 품목별로 총량을 픽킹하여 픽킹 종료 후 품목을 주문별로 분류하는 방식이다. 따라서 बै치를 주문 단위로 묶을 필요가 없다.

1.3 오더 픽킹 연구주제

오더 픽킹의 연구 주제는 레이아웃, 픽커의 이동경로(routing), 그리고 제품 저장정책, 구역(zone) 구분, 주문 बै치, 시간대 분할 등으로 대별된다.

1.3.1. 레이아웃 문제

오더 픽킹 레이아웃 문제는 입고 및 출고 도크, 픽킹지역, 저장지역, 분류지역, 포장지역 등의 위치와 크기 등을 결정하여 이동거리 최소화하에 따른 소요시간(리드타임) 및 자재취급비용 최소화가 주요 관심사이다.

1.3.2. 이동경로

이동경로란 픽커가 하나의 픽킹 투어를 위해 이동하는 궤적을 말한다. 픽킹 투어(tour)란 픽커가 빈 카트를 끌고 출발점을 출발하여 각 픽킹 지점들을 차례로 방문하여 제품을 꺼내 담아 다시 출발점으로 돌아오는 하나의 폐쇄경로를 말한다. 분류를 제외한 오더 픽킹의 총 소요시간은 각 투어의 소요시간의 합이며, 각 투어의 소요시간은 일반적으로 픽커의 이동시간과 픽킹작업시간의 합이다. 주어진 총 주문에 대해서 총 픽킹작업시간은 투어 구성에 무관하게 동일하다고 볼 수 있다. 또 이동시간은 이동거리에 비례한다고 볼 수 있다. 픽커는 매 투어마다 출발점을 출발하여 각 선반(rack) 사이의 통로(aisle)에 픽킹 물량이 없는 경우는 그 통로를 건너뛰고, 픽킹 물량이 있는 경우에는 그 통로에 진입하여 픽킹하되 그 이동경로는 흔히 다음의 네 가지로 구분된다.

- (1) S-shape 방식 : <그림 1a>와 같이 S자(ㄷ자) 모양으로 통로를 차례로 방문하면서 픽킹하며, 그 결과 마지막 통로는 불필요하게 왕복하는 경우가 발생할 수 있다.
- (2) Return 방식 : <그림 1b>와 같이 진입한 통로의 가장 먼 픽

킹 지점까지 가서 픽킹한 후 되돌아와서 다음 통로로 이동하는 방식이다.

- (3) Mid-point 방식 : <그림 1c>와 같이 선반의 중간지점(mid-point) 이전에 있는 가장 먼 픽킹지점까지만을 픽킹하고, 중간지점 이후의 픽킹지점들은 나중에 반대편에서 진입하여 픽킹하는 방식이다.
- (4) Largest gap 방식 : <그림 1d>와 같이 해당 통로에 있는 모든 픽킹지점들 간의 간격중 가장 큰 간격을 경계로 하여 그 이전까지만 픽킹하고, 그 이후의 픽킹지점들은 나중에 반대편에서 진입하여 픽킹하는 방식이다.

<그림 1>에서 예시한 픽킹지점(검은 칸)에 대해 위 네가지 경로 방식에 따른 총 이동거리(시간)는 각각 68, 84, 70, 64로 나타나 이 경우 최대 31.3%의 차이가 날 수 있음을 보여준다.

1.3.3. 저장정책

제품저장 정책은 대개 5가지 종류로 구분된다. 입출고점으로



그림 1. 대표적인 네가지 픽킹 경로방식

부터 가장 가까운 빈 칸에 저장하는 방식(closest open location storage), 품목별로 지정된 위치에 저장하는 지정저장 방법(dedicated storage), 그리고 이 둘을 절충한 군별(class-based) 저장방식 등이 사용된다. 군별 저장방식에서는 흔히 고회전 제품은 입출고점으로부터 가까운 지역에, 저회전 제품은 먼 지역에 배치하고 동일 지역 내에서는 임의의 빈 자리에 저장한다.

그러나 대부분의 오더픽킹 지역에서 품목의 저장위치 변경은 상당한 비용과 시간이 소요되므로 자주 변경하기 어렵기 때문에 각 품목의 저장위치가 고정되어 있는 상황에서 오더 픽킹이 수행된다. 또 하나의 주제는 저장지역과 별도로 자주 픽킹되는 품목들을 전진배치하는 픽킹지역의 설치 문제로서 품목 선정, 저장지역으로부터의 보충빈도 및 수량 계획 등이 주요 연구대상이다.

1.3.4. 구역 구분

오더픽킹 지역을 여러 개의 구역(zone)으로 분할하는 문제는 픽킹 지역의 형상, 픽커의 수, 제품특성(크기, 무게, 요구 온도, 요구 안전사항 등), 복도나 층으로 인한 구분 등에 따라 주로 결정되며, 구역의 수와 형상 등이 주요 결정변수가 된다.

1.3.5. 주문 배칭

배치 픽킹을 수행하기 위해 주문들을 어떻게 그룹핑할 것인지를 결정하는 주문 배칭 문제는 분석적인 방법론을 사용한 최적화가 기대되는 분야이다. 주문 배칭을 위한 경험적 알고리즘으로는 seed 알고리즘과 saving 알고리즘이 있다. (Gu *et al.*, 2007)

- (1) Seed 알고리즘: 배치의 씨앗이 되는 주문을 결정하는 seed selection rule로는 저장위치가 가장 많은 주문, 총 이동거리가 가장 긴 주문, 입고점으로부터 가장 먼 품목을 포함한 주문 등을 선정할 수 있다. 또한 현재 배치에 다음으로 추가되어야 할 주문을 결정하는 기준으로는 두 주문간의 공통품목 수 등 다양한 기준이 사용된다.
- (2) Savings 알고리즘: 처음에는 각 주문을 별개의 배치로 할당 한 후, 가장 이동거리 감축이 큰 한 쌍의 주문을 찾아 이 둘을 하나의 배치로 묶고, 이 과정을 픽킹 용량이 허용하는 범위내에서 반복하는 방법이다.

1.3.6. 시간대 분할

주문이 계속 도착하는 상황에서 일정 시간대마다 접수된 주문을 픽킹하는 시간적 경계를 시간창(time window 또는 wave)라고 한다 (Parikh and Meller, 2008). 시간창의 길이를 짧게 할수록 시간창 내의 오더 픽킹 최적화 효과는 줄어들지만 오더픽킹의 최종 종결시점을 다소 앞당길 수 있다.

오더 픽킹에 대해 많은 연구가 수행되었지만 여전히 학문적 연

구결과와 실무적 문제 사이에는 상당한 간격이 존재하고 있다. 본 연구는 물류 현장에서 사용 가능한 실무적 접근방법을 추구하고자 하며, 위 다섯 개의 주제 중에서 주문 배칭에 해당하는 주제를 다룬다.

1.4 문제의 정의

본 연구에서 다루는 문제는 다음과 같다. 물류센터의 픽킹 지역에 <그림 1>과 같이 N쌍의 선반이 평행으로 배치되어 있고, 각 선반은 여러 단(level)으로 구성되어 있으나 그 높이는 최상단도 픽커(picker)가 제품을 꺼낼 수 있는 높이이다. 선반의 각 단은 동일 폭의 칸(cell)으로 구분되며, 각 칸에는 동일제품이 저장된다. 선반의 각 칸의 폭과 깊이와 통로의 폭은 모두 동일하다. 선반의 동일한 행(column), 상이한 단(level)에 배치된 제품을 픽킹하기 위해 픽커가 상하로 움직이는 이동시간은 무시할 만하다.

픽커는 1명을 가정한다. 만일 픽커의 수를 증가시키면 픽킹 종료시각은 앞당길 수 있으나 픽킹 작업의량은 불변이므로 픽커 인건비도 불변이라고 가정한다. 픽커는 픽킹 카트(cart)를 끌고 다니면서 제품을 픽킹하며, 카트의 부피 용량 내에서만 픽킹을 수행할 수 있다. 픽커는 물류센터 레이아웃의 좌하단에 위치한 출발점으로부터 픽킹 투어를 시작하며 픽킹 종료후 다시 출발점으로 돌아와 다음 투어를 시작한다. 고객으로부터의 주문은 하루의 일정 기간 내에 무작위로 접수된다. 각 주문은 몇 개의 품목으로 구성되며 각 품목별 수량은 복수개일 수 있다. 하루 동안에 도착하는 주문이 모두 도착한 후에 단일 픽커가 픽킹을 시작하되, 각 주문은 동일 투어에서 픽킹하면서 픽킹 중에 주문별로 분류를 시행하는 sort-while-pick 방식의 배치 픽킹을 다룬다.

이러한 문제를 위해 본 연구에서는 2단계 경험적 알고리즘을 제시한다. 1단계에서는 접수된 N개의 주문을 bin packing problem으로 모형화하여 M개로 그룹핑하고, 2단계에서는 서로 다른 투어에 속한 두 주문들 중에서 부피가 동일한 두 개의 단일 주문을 상호 교환해 보는 쌍대교환(pairwise exchange)을 시행한다. 그 결과로 얻어지는 M개의 개선된 투어의 총 이동시간(TBPPE)을 다른 세가지 방법에 따른 총 이동시간과 비교해 본다.

2. 관련연구

창고 운영의 각 활동들에 대한 전반적인 연구 현황은 Gu *et al.*(2007)에 잘 요약되어 있다. 본 논문과 직접적인 관련이 있는 오더 픽킹에 대해서 De Koster *et al.*(2007)은 기존에 수행된 많은 연구결과들을 체계적으로 분류하고, 오더 픽킹의 네가지 주요

효율화 방법으로 픽킹 경로 최적화, 픽킹지역의 적절한 구역화(zoning), 제품별 저장위치 최적화, 그리고 주문의 배치를 꼽았다.

오더픽킹의 연구 분야는 크게 레이아웃 설계, 제품저장 정책, 픽킹경로, 그리고 픽킹정책 등의 네 분야로 나눌 수 있다. 레이아웃 설계에 대한 연구는 다시 물류센터 내의 입고, 픽킹, 저장, 분류 그리고 선적 등의 다양한 부서들을 어디에 배치할 것인지를 다루는 시설 레이아웃 문제(facility layout problem)와, 픽킹지역의 블록의 개수, 각 블록 내 통로의 개수, 길이 및 너비 결정과 같은 내부 레이아웃 설계(internal layout design) 문제로 나눌 수 있다. Meller and Gau(1996)는 레이아웃 설계 방법론들을 체계적으로 비교하였다.

픽킹 경로에 관한 논문은 최단 이동경로를 찾는 것으로서 외판원 문제(Traveling Salesman Problem)의 특수한 경우라고 볼 수 있다. 그러나 외판원 문제는 NP-hard 문제로 알려져 있어서 실용적인 크기의 문제는 해를 구하기 어려워 대부분 휴리스틱 알고리즘에 의해 문제를 해결하고자 하였다. Roodbergen and De Koster(2001)는 픽킹지역 선반들에 가로통로(cross aisles)가 있는 경우에 대한 경험적 픽킹경로 알고리즘을 제시하고, branch-and-bound 알고리즘으로 구한 최단 경로와 비교하여 그 성능을 평가하였다.

픽킹정책에 대한 연구로는 대표적으로 Discrete, Batch, Zone, Bucket brigade 그리고 Wave 픽킹정책들이 연구되어 왔으며, 본 연구와 가장 관련이 깊은 배칭에 대해서는 픽커 탑승형(man-on-board) 자동창고에 대해 Hwang and Lee(1988)는 유사성 계수에 따라 일부 주문을 배칭하여 처리하는 경험적 알고리즘을 제시하였다. Elsayed and Unal(1989)은 자동창고에 대해서 주문을 배칭하는 4개의 경험적 알고리즘을 제시하고 그 평균 성능을 비교하였으며, S/R machine의 이동시간 추정치를 구하는 분석적 모형을 개발하였다. Pan and Liu(1995)는 픽커 탑승형(man-on-board) 오더픽킹 시스템에 대하여 4개의 시작점(seed) 선정기준과 4개의 주문추가기준으로부터 만들어낼 수 있는 총 16개 경험적 알고리즘을 비교하였다. Lin and Lu(1999)는 오더픽킹 전략을 결정하는 절차를 제시하였다. 1단계에서는 분석적인 방법을 사용하여 주문들을 다섯 개의 범주로 분류하고, 2단계에서는 시뮬레이션을 사용하여 각 범주별 주문에 적합한 픽킹 전략을 생성하였다.

Petersen(2000)은 주문별 픽킹, 배치픽킹, 순차적 구역픽킹, 동시적 구역픽킹, 그리고 웨이브(wave) 픽킹 등 다섯 가지의 오더픽킹 정책에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 결정변수는 일간 주문의 수와 수요의 편중 정도(skewness)를 사용하였다. Yu and De Koster(2009)는 pick-and-pass 오더 픽킹 시스템에서 오더 배칭과 구역분할(zoning)이 평균 오더픽킹 수행도에 미

치는 영향을 분석하기 위해 대기행렬이론 기반의 근사적 모형을 제시하였다. Armstrong *et al.*(1979)은 고정크기의 배치를 사용하는 오더 배칭문제를 위한 정수계획 모형을 제시하였다. Chen and Wu(2005)는 데이터 마이닝과 이진정수계획법을 사용하여 각 배치 내의 주문간의 관련성(association)을 최대화하는 오더 배칭문제를 다루었다.

Van den Berg(1999)는 대부분의 경험적인 배칭 알고리즘에서 먼저 중심 주문(seed order)을 선정하고 이에 가까운 주문들부터 픽커 용량이 허용하는 동안 차례로 더해 나가는 방법을 사용하고 있기 때문에 멀리 위치한 주문의 픽킹이 지나치게 늦어지는 경우가 발생함을 지적하고, 이를 피하기 위해서는 먼저 긴급주문을 선택하여 이에 근접한 주문들을 배칭하는 방식을 제시하였다. Elsayed and Stern(1983)과 Gibson and Sharp(1992)는 복수개의 평행 배치된 선반으로 구성된 자동창고 픽킹지역에 대해 주문의 배칭문제를 다루었다. Koo(2009)는 Bucket Brigade 픽킹이 적합한 주문픽킹에 대해 고유의 특성을 도출하고, 성능을 개선하는 새로운 Bucket Brigade 픽킹방식을 제안하였다. Gademann *et al.*(2001)은 평행복도형 창고에서 주문 배치의 최대 지연을 최소화하는 wave 픽킹 문제를 푸는 branch-and-bound 알고리즘을 제시하였다. Elsayed *et al.*(1993)은 납기일이 정해진 주문들에 대해 조기처리비용(earliness)과 지연비용(tardiness)의 합을 최소화하는 경험적 배칭 알고리즘을 제시하였다. Gademann *et al.*(2005)은 복수의 평행 복도형 창고에서의 주문 배칭문제를 generalized set partitioning 문제로 모델링하고 그 선형계획 완화문제를 푸는 column generation 알고리즘을 제시하였다. Le-Duc and De Koster(2007)는 중앙복도가 있는 2-블록형 창고에 대해서 픽커가 s-shape 이동경로를 사용할 때 포아송 분포로 도착하는 주문들의 평균 처리시간을 추정하는 분석적 모형을 제시하고, 이를 이용하여 최적의 배칭 크기를 결정하는 방법을 제시하였다.

지금까지의 연구들을 정리하면, 오더픽킹에 대하여 최적 레이아웃 설계, 제품저장 정책, 경로정책, 그리고 픽킹정책과 같이 각 분야별로 다양하게 연구가 진행되어 왔다. 대부분의 기존 연구는 픽커의 용량에 제한이 없다고 가정하였으나 현실적으로는 제품의 부피를 고려해야 하기 때문에 부피용량의 제한을 고려해야만 한다. 본 연구에서 다루는 픽커의 카트용량과 픽킹제품의 부피를 고려하는 주문배칭 문제에 대한 연구는 이제까지 보고된 바가 없다.

3. 2단계 알고리즘

본 절에서는 앞서 1.4절에서 정의한 문제에 대한 2단계의 경험적 알고리즘을 제시한다. 알고리즘의 구성은 <그림 2>에서 보듯이 1단계에서는 접수된 N개의 주문을 bin packing problem으로 모형화하여 경험적 알고리즘을 사용하여 M개로 그룹핑하고, 2단계에서는 서로 다른 투어에 속한 두 주문들 중에서 부피가 동일한 두 개의 단일 주문을 상호 교환해 보는 쌍대교환을 시행한다. 그 결과로 얻어지는 M개의 개선된 투어의 총 픽킹시간을 측정하고, 이를 다른 방법에 의한 총 픽킹시간과 비교하여 그 개선폭을 측정한다.

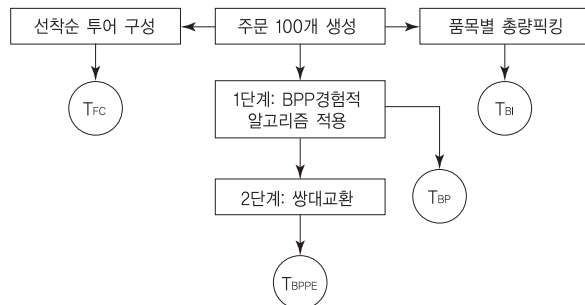


그림 2. 2단계 알고리즘의 해(T_{BPPE})와 비교대상 해의 구조

이를 위해 다음의 표기법을 사용한다.

i : 주문 ($i=1, \dots, N$)

Q : 모든 주문의 집합

K_i : 주문 i 에 포함된 품목들의 집합

n_{ik} : 주문 i 에 포함된 품목 k 의 수량

v_k : 품목 k 의 부피

V_i : 주문 i 의 총 부피 = $\sum_{k \in K_i} n_{ik} v_k$

V_c : 픽킹 카트의 부피용량

m : 투어 ($m=1, \dots, M$)

P_m : 투어 m 에 속한 주문들의 집합

1단계: Bin Packing Problem

접수된 N개의 주문을 M개의 투어로 그룹핑하기 위해 Bin Packing Problem에 대한 다음의 경험적 알고리즘을 적용한다.

Φ : 투어에 배정되지 않은 주문의 집합

V_m : 투어 m 에 배정된 주문들의 총 부피

Step 0: $P_m = \emptyset$ and $V_m = 0$ for all m .

$\Phi = Q$, $m=1$.

Step 1: If $\Phi = \emptyset$, stop.

else among $i \in \Phi$, choose the

largest V_i . (Break the tie randomly.)

$V_m = V_m + V_i$.

If $V_m \leq V_c$, $P_m = P_m \cup \{i\}$. $\Phi = \Phi - \{i\}$.

go to step 1;

else $m=m+1$. go to step 1.

위 알고리즘의 결과로 m 개의 투어가 얻어지며, 각 투어에 배정된 주문들의 총 부피는 카트의 부피용량을 초과하지 않는다.

2단계: 쌍대교환

1단계에서 얻어진 m 개의 투어 중 서로 다른 두 개의 투어에 배정된 두 개의 주문 i, j 를 생각해 보자. $V_i = V_j$ 인 경우 또는 주문 i 와 주문 j 를 교환해도 두 투어의 총 부피가 각각 카트 용량을 초과하지 않는 경우에 대해서 주문 i 와 주문 j 를 교환해 보고, 이들 중 가장 크게 총 이동거리(시간)를 단축하는 주문 i 와 주문 j 를 선택하여 교환을 실행한다. 이러한 교환을 더 이상의 개선이 없을 때 까지 계속한다.

4. 성능 분석

앞 장에서 서술한 2단계 알고리즘을 구현하기 위해 본 연구에서는 C++ 언어를 사용하여 프로그래밍하였다. 시뮬레이션을 위해 물류센터의 레이아웃은 <그림 1>과 같이 10개의 선반이 쌍으로 배치되었고 각 선반은 몇 개의 단(level)으로 구성되며, 각 단은 동일한 폭을 갖는 10개의 칸으로 구성된다. 각 칸에는 동일 제품이 다수 저장되어 있다. 통로의 폭은 각 칸의 폭과 동일하다. 픽킹 카트의 부피용량은 50으로 하고, 각 품목의 부피는 1에서 5까지의 다섯 개의 정수값이 동일한 확률을 갖는다고 가정하였다. 각 주문의 품목 수는 2개, 3개, 4개가 각각 동일한 확률을 갖는다고 가정하였다. 주문내 각 품목의 픽킹 수량은 1개, 2개, 3개일 확률이 각각 50%, 30%, 및 20%으로 가정하였다. 배치 픽킹을 위한 픽커의 총 이동시간은 다음의 네가지로 표시하자.

T_{FC} : 주문이 도착하는 순서대로(first-come, first-served) 총 부피의 합이 카트 용량을 초과하기 전까지 최대한의 주문을 하나의 투어로 배칭하는 경우의 총 이동시간

T_{BI} : 모든 주문이 도착한 후 주문 단위를 유지하지 않고 품목별(by item) 총량 픽킹으로 복도 사이를 S자 형으로 이동하면서 총 부피가 카트 용량을 초과하기 전까지 최대한의 품목을 하나의 투어로 배칭하는 경우의 총 이동시간

T_{BP} : 3장의 1단계에서 제시한 Bin Packing Problem의 경험적 알고리즘으로 그룹핑하여 생성한 투어들의 총 이동시간

TBPPE: Bin Packing Problem의 경험적 알고리즘으로 그룹핑하여 생성한 투어들에 3장 2단계에 서술한 쌍대교환을 시행하여 얻은 투어들의 총 이동시간

매일 접수되는 100개의 주문을 위 가정사항에 따라 무작위로 생성한 후, 이를 300일간 시뮬레이션하여 픽커의 평균 이동시간을 비교한 결과는 <표 1> 및 <그림 3>과 같다. 픽커의 네 가지 이동 경로 방식 중 가장 단순한 S-shape 방식을 기준으로 살펴보면 $T_{FC}=1,327$; $T_{BP}=1,236$; 그리고 $T_{BPPE}=1,041$ 로서 픽커의 평균 이동시간 단축 폭은 Bin packing 알고리즘을 적용하여 배칭하면 도착순으로 배칭할 때보다 평균 6.86%가 감소되는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제시하는 2단계 알고리즘을 사용하여 배칭하면 Bin packing 알고리즘만을 적용하여 배칭할 때보다 평균 15.78%가 감소되는 것으로 나타났으며, 도착순으로 배칭할 때보다는 평

균 21.55%가 감소되는 것으로 나타났다. 이 개선폭은 <그림 4>에서 보듯이 픽킹 경로방식에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다.

<그림 3>의 S-shape에서 나타나는 T_{BI} 는 기존의 세 방식의 이동거리보다 현저하게 작는데 그 이유는 주문 단위를 유지하지 않고 품목별로 총량픽킹을 하기 때문에 인접한 품목들만을 픽킹할 수 있기 때문이다. 본 논문의 실험에서는 TBI가 412로 나타나 $T_{BPPE}=1,041$ 에 비해 60.4%의 픽커 이동시간이 단축되는 것으로 나타났다. 다만 이 경우에는 총량픽킹 이후에 주문별로 분류하는 작업이 추가적으로 필요하다. 즉, 이 방식의 타당성 여부는 픽커 이동시간 감축분과 분류시간 추가분 간의 상충관계(trade-off)에 의해 결정될 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 물류센터에서 오더픽킹의 방법으로 널리 사용되고 있으나 많이 연구되지는 않은 배치 픽킹(batch picking) 문제 중에서 카트 용량을 명시적으로 제한하는 경우를 다루었다. 픽킹 카트의 부피용량을 초과하지 않으면서도 각 투어의 이동거리(시간)가 가급적 최소화되도록 주문들을 적절히 그룹핑하여 픽킹 투어를 형성함으로써 총 픽커 이동시간을 최소화하는 문제이다.

제시한 해법은 각 품목의 단위 부피가 주어진 상황에서 각 주문의 품목과 수량을 사용하여 주문의 부피 총합을 계산한다. 먼저 1단계에서는 bin packing problem의 경험적 알고리즘을 사용하여 주문들을 그룹핑한다. 2단계에서는 1단계에서 얻은 투어들 중 상이한 두 투어에 속한 두 주문을 상호 교환하는 쌍대교환(pairwise exchange)을 시행하여 총 이동거리(시간)를 최소화하는 개선된 투어들을 구한다. 쌍대교환은 부피가 동일한 두 주문이거나 또는 두 주문을 교환한 후 해당 두 투어의 총 부피가 각각 카트 용량을 초과하지 않는 경우에 대해서 시행했다.

성능평가를 위해 본 연구에서 제시한 2단계 알고리즘을 C++를 사용하여 프로그래밍하였고, 300일간의 주문데이터를 무작위로

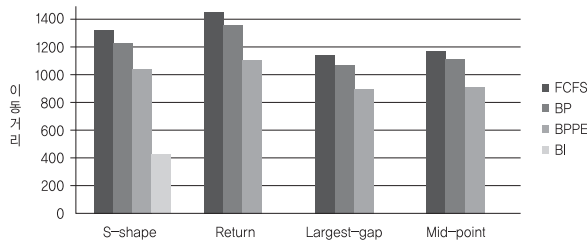


그림 3. 픽킹 경로방식별 총 이동시간 비교

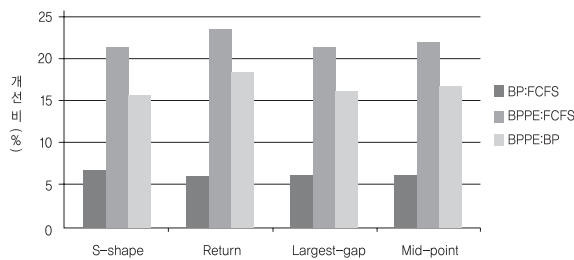


그림 4. 픽킹 경로방식별 알고리즘간 개선비율

표 1. 픽커의 평균 이동시간 비교

		S-shape	Return	Largest-gap	Mid-point
이동거리 (시간)	FCFS	1327	1455	1147	1181
	BP	1236	1366	1076	1109
	BPPE	1041	1114	902	922
개선비(%)	BP:FCFS	6.86	6.12	6.19	6.10
	BPPE:FCFS	21.55	23.44	21.36	21.93
	BPPE:BP	15.78	18.45	16.17	16.86

생성하여 그 개선폭을 분석하였다. 픽커의 이동경로 방식으로는 S-shape 방식, Return 방식, Mid-point 방식, 그리고 Largest gap 방식 등 네 가지 방식을 모두 검토하였다. 시뮬레이션 결과 2 단계의 쌍대교환을 시행한 투어들은 1단계까지만 적용하여 얻은 투어보다 총 이동시간이 16% 정도 단축되었으며, 주문의 도착순으로 뱃칭하는 경우와 비교하면 22% 정도 단축되었다. 만일 주문 단위를 유지하지 않고 품목단위로 총량픽킹을 한다면 가까운 지점에 위치한 품목만을 픽킹할 수 있게 되어 픽커의 평균이동거리는 대폭 감소할 수 있다. 본 논문의 실험에서는 T_{BPPE} 에 비해 60.4%의 픽커 이동시간이 단축되는 것으로 나타났다. 그러나 품목별 픽킹을 사용하는 경우에는 픽킹 후 주문별 분류작업이 필요하다는 점을 고려해야 한다.

향후 연구로는 매일의 주문 접수시간을 n 개의 기간으로 분할하여 중간마감하고, 기간중에 접수된 주문들을 뱃치 픽킹하는 wave 픽킹 방식에 대하여 n 과 픽커의 총 이동거리(시간) 단축 비율간의 관계를 분석하는 연구가 필요하다고 사료된다. 또한 주문이 긴급주문과 일반주문으로 구분되는 경우 긴급주문들만을 골라서 투어를 형성하여 먼저 픽킹함으로써 긴급주문의 배송리드타임을 하루 줄이는 방식에 대한 성과분석도 연구할 만한 주제라고 사료된다. 만일 하루 주문접수시간의 어느 시점 T 이전까지 도착한 주문을 뱃치 픽킹하여 출하하면 고객에게 배송일을 하루 앞당길수 있는 경우라면 T 시점 이전까지 접수된 주문들에 대해서 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 적용하여 T 시점을 가급적 늦출 수 있고, 그 결과로 보다 많은 물량의 배송일을 하루 앞당기는 성과를 거둘 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Armstrong, R. D., Cook, W. D. and Saipé, A. L., (1979) Optimal Batching in a Semi-automated Order Picking System, *Journal of the Operational Research Society*, 30(8), 711-720.
- [2] Bartholdi, J. J., Eisenstein, D. D., Foley, R. D., (2000) Performance of bucket brigades when work is stochastic, *Operations Research*, 49(5), 710-719.
- [3] Chen, M-C. and Wu, H-P., (2005) An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns, *The International Journal of Management Science*, 33(4), 333-343.
- [4] De Koster, R., Le-Duc, T. Roodbergen, K. J., (2007) Design and control of warehouse order picking: A literature review, *European journal of operational research*, 182, 481-501.
- [5] Elsayed E. A., Lee, M. K., Kim, S., and Scherer, E., (1993) Sequencing and batching procedures for minimizing earliness and tardiness penalty of order retrievals, *International Journal of Production Research*, 31(3), 727-738.
- [6] Elsayed, E. A. and Stern, R. G., (1983) Computerized algorithms for order processing in automated warehousing systems, *International journal of production research*, 21(4), 579-586.
- [7] Elsayed, E. A. and Unal, O. I., (1989) Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 27(7), 1097-1114.
- [8] Gademann N., Van de Velde S., (2005) Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse, *IIE transactions* 37(1), 63-75.
- [9] Gademann, N., van den Berg, J. P., van der Hoff, H. H., (2001) An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse, *IIE Transactions* 33, 385-398.
- [10] Gibson, D. R. and Sharp, G. P., (1992) Order batching procedures, *European Journal of Operational Research*, 58(1), 57-67.
- [11] Gu, J., Goetschalckx, M., and McGinnis, L. F., (2007) Research on warehouse operation: a comprehensive review, *European journal of operational research*, 177, 1-21.
- [12] Hwang, H. and Lee, M.-K. (1988) Order batching algorithms for a man-on-board automated storage and retrieval system, *Engineering Costs and Production Economics*, 13(4), 285-294.
- [13] Koo, P. H., (2009) The use of bucket brigades in zone order picking systems, *OR spectrum : Quantitative approaches in management*, 31(4), 759-774.
- [14] Le-Duc, T. and De Koster, R.M.B.M., (2007) Travel time estimation and order batching in a 2-

- block warehouse, *European Journal of Operational Research* 176(1), 374–388.
- [15] Lin, C.-H. and Lu, I.-Y., (1999) The procedure of determining the order picking strategies in distribution center, *International Journal of Production Economics*, 60–61, 301–307.
- [16] Meller, R. D. and Gau, K.-Y., (1996) The Facility Layout Problem: Recent and Emerging Trends and Perspectives, *Journal of manufacturing systems* 15(5), 351–366.
- [17] Pan, C. H. and Liu, S. Y., (1995) A comparative study of order batching algorithms, *Omega*, 23(6), 691–700.
- [18] Parikh, P. J. and Meller, R. D., (2008) Selecting between batch and zone order picking strategies in a distribution center, *Transportation research. Part E, Logistics and transportation review*, 44(5), 696–719.
- [19] Petersen, C. G., (2000) An evaluation of order picking policies for mail order companies, *Production and Operations Management*, 9(4), 319–335.
- [20] Roodbergen, K. J. and De Koster, R., (2001) Routing methods for warehouses with multiple cross aisle, *International Journal of Production Research*, 39(9), 1865–1883.
- [21] Van Den Berg, J. P., (1999) A literature survey on planning and control of warehousing systems, *IIE Transactions*, 31(8), 751–762.
- [22] Yu, M. and De Koster, R.B.M., (2009) The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance, *European Journal of Operational Research*, 198(2), 480–490.



임 석 철

서울대학교 산업공학과
한국과학기술원 산업공학과
The University of Michigan, Dept. of
Industrial & Operations Engineering
현재 : 아주대학교 산업정보시스템공학부
교수

관심분야 : 물류/SCM, 시뮬레이션,
제약이론



백 런 희

연변과학기술대학교 경영학과
현재 : 아주대학교 산업공학과 석사과정

2010년 한국SCM학회지 10권 2호 심사자 명단(가나다 순)

고시근 교수(부경대 시스템경영공학과), 김대기 교수(고려대 경영대학), 김승철 교수(한양대 경영대학), 김정 교수(안산공과대 산업경영과), 김태현 교수(연세대 경영학과), 김태호 교수(인천대 경영학과), 서용원 교수(중앙대 경영대학), 선지웅 교수(한국외대 산업경영공학과), 양재환 교수(서울시립대 경영학부), 이상현 교수(국방대 운영분석학과), 이창원 교수(한양대 경영대학), 임성묵 교수(고려대 경영대학), 임준묵 교수(한밭대 산업경영공학과), 장성기 교수(영산대 경영학과), 정석재 교수(광운대 경영대학), 정지복 교수(대전대 경영학과), 정호상 교수(상명대 경영공학과), 차춘남 교수(경상대 산업시스템공학부), 최경일 교수(한국외대 산업경영공학과), 최기석 교수(한국외대 산업경영공학부)

학회지 심사를 위해 노고를 아껴주시지 않은 심사자 여러분들께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

※ 이 학술지는 2009년도 정부재원(교육과학기술부 학술연구조성사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 출판되었음.

※ 이 학술지는 2010년도 하반기 학술단체지원사업비로 재단법인 산학협동재단의 지원을 받아 출판되었음.

한국 SCM 학회지 제10권, 제2호

인 쇄 / 2010 년 10월 31일

발 행 / 2010 년 10월 31일

발행인 / 이영해

편집인 / 김승철 · 임석철

발행처 /  한국SCM학회

경기도 안산시 상록구 서3동 121 한양대학교 산업경영공학과 내
5공학관 532호

전화 031-438-5233, 400-4506

전송 031-436-1089

http: //www.kscm.org