

한국 SCM 학회지

*Journal of the Korean Society of
Supply Chain Management*

Volume 14 Number 1
2014



사단
법인 한국SCM학회

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

1 불확실한 수요하에서의 동적 다경로 운송문제를 위한 지배 규칙

임석철 · 장정정

In today's global manufacturing environment, products are usually transported globally to meet the changing demand of the customer, from an origin to a destination, multiple routes are usually available, with different lead times and unit transportation costs. In this paper, we consider the case where more than two routes are available. Assuming that the length of lead time and unit transportation cost are in reverse order for m ($m > 2$) routes, we mathematically formulate the problem. We present a domination rule where some of the $(m-2)$ in-between routes can be dominated by the fastest and slowest route in minimizing the long-term average total cost, while keeping the shortage rate at a certain level for a single product. In case all in-between routes are dominated, the problem becomes the two-route case, whose approximate optimal solution is known.

11 택배 위탁차량의 영업소 순회 경로 네트워크 설계를 위한 유전 알고리즘 접근법

프리스카 · 김홍배 · 고창성

In Korean express delivery service market, many domestic companies have been competing fiercely to extend their own market share. The line-haul vehicles operated by the express delivery service companies in Korea in general can be classified into three types depending on the ways their expenses occur; company-owned vehicle, mandated vehicle which is owned by outsider who entrust the company with its operation, and rented vehicle (outsourcing). Actually, most of the line-haul vehicles in express delivery services belong to the mandated vehicle class. Hence, this study suggests an approach to the design of a service network with pick-up and delivery visits for mandated line-haul vehicles with the objective of maximizing the incremental profits of the drivers

19 공급사슬 네트워크의 위상구조적 특성에 관한 연구 : 군공급사슬 네트워크 사례를 중심으로

이영 · 정기홍 · 문성암 · 민순홍 · 강동주

There have been few studies on topology of whole supply chain network as a specific unit of analysis. In this paper we investigate the topological characteristics of a whole military supply chain network using NetworkX by Python, based on the database of 16,394,122 transactions. The result shows that connectivity distribution of military supply chain network follows power law. The degree exponents are 2.09 and 2.03, respectively in our study. It means that the military supply chain network is a typical scale-free network. Through this interdisciplinary research, it is expected that network science could be applied to the analysis of SCM as a effective tool to deal with the growing complexity of supply chain network.

27 협력적 공진화 알고리즘과 퍼지 집합 이론의 병행 사용을 통한 친환경 공급사슬 네트워크의 설계

한용호

Recently green supply chain management has drawn the attention of researchers. Previous studies to design a generalized closed-loop supply chain (CLSC) network are very limited and do not consider the qualitative factors of the facilities to be open. In this paper, a new generalized supply chain network design problem is considered that includes facilities like suppliers, plants, distribution centers, dismantlers and customers. We propose a closed-loop supply chain model considering not only the quantitative costs but also the qualitative factors of facilities. The model has two objective functions. The first is to minimize the total cost, and the second is to maximize the total weight of all facilities to be open. Our approach is composed of two phases. In the first phase, a framework for facilities

41 집중형 및 분산형 지역에서의 역물류 네트워크 비교 분석 : 유전알고리즘 접근법

윤영수

In this paper, we propose two types of reverse logistics (RL) networks: reverse logistics network in centralized area (RLC) and reverse logistics network in decentralized area (RLD). For the RLC, the used products taken from all customers are sent to one of the centralized integration centers, which performs the functions of collection center, recovery center, and redistribution center simultaneously, after treating them in it, they are all sent to one of the centralized secondary markets. For the RLD, the used products taken from all customers are sent to the regionally decentralized integration centers, and after treating them in each integration center, they are sent to regionally decentralized secondary markets. The mathematical models for effectively representing the RLC and RLD are proposed

55 멀티서버 시스템에서의 일정계 획문제를 위한 한 접근법 - 배송희망 시간 준수를 위한 대형 화물 배송 트럭의 관점에서

김태호

This paper deals with the problem of determining the optimal assignment of transportation works to identical trucks to minimize the total difference between delivery time desired by customers and real delivery time. Transportation work can be defined as a huge size or amount of freight such as steel coil and oil or a group of small freights which can be delivered by a truck by one travel. This paper develops a brand new quantitative model from the view point of customers rather than that of deliverers, tries to find the optimal assignment of freights to trucks and the optimal order of delivery of them. In conclusion, it is possible to identify the new optimal scheme which can improve the customer satisfaction.

63 국내 제조업에서의 Green SCM 도입 절차에 대한 고찰

김송이 · 정봉주

This paper presents adoption process for GSCM (Green Supply Chain Management) in Korean manufacturing companies by analyzing their sustainability reports. At first, we developed GSCM evaluation index from two different frameworks, sustainability evaluation framework focusing on environmental side and strategy and activities in GSCM. Based on this, we analyzed 158 sustainability reports of Korean manufacturing firms published from 2008 to 2012. As a result, we observed that the adoption process for GSCM is implemented in the order of importance of GSCM areas, which are eco design, green manufacturing, environment management system, life cycle analysis, cooperation system, and reverse logistics network. Also, we found that there exist significant procedural and strategic differences not only among companies, but also among industries in adopting GSCM.

75 공급사슬 품질경영에서 구매자와 공급자간 협력이 공급자 성과에 미치는 영향

김현정 · 김수옥

Supply Chain Quality Management (SCQM) which has recently received wide interest is a means of gaining competitive advantage by operating inter-organizationally within a firm's supply chain to improve product and service quality. First, we expand the scope of existing SCQM analyses that focus on the buyer by considering the key processes affecting business outcomes from the supplier's standpoint. Second, we determine the moderating effect of buyer-supplier relationships in SCQM processes and business performance. We use data drawn from the SCQM model and Quality Collaboration Index for Supply Chain Management (QCI-SCM) developed by the Korean Standards Association, and our results are as follows. First, analyzing the impact of

each of the SCQM processes on business performance shows that quality delivery and talent development positively influence performance whereas crisis management does not have significant impact. Second, we examine whether the link between SCQM processes and business outcomes are

89 분산 제조환경 하에서 생산 및 간선수송 연계 모형

김형수 · 김정섭 · 박윤선 · 정석재

This paper presents the linkage model of production and direct shipment planning model under the decentralized batch production facilities. P-paint company that target as a case study in our research, has a distinct characteristics like these: (1) Each product has its own distinct manufacturing factory, (2) Direct shipment in other warehouses around plants, (3) Batch manufacturing system with production-sequence, (4) The items produced in batch process are directly translated in stock-keeping unit(SKU) for storage at warehouses and transportation among them. These leads to higher complexity of the problem over a generic supply chain planning. We determine the production lot size considering the point of direct shipment and highlight the best strategy among three alternatives, including base case, linkage between production and transportation, and the partial allowance of cross-docking system through experiments with CPLEX.

103 비용과 리드타임을 고려한 3단계 공급사슬 네트워크 최적 설계에 관한 연구

정기호

This paper deals with the problem of designing 3-stage supply chain network consisting of suppliers, plants, distribution centers(DCs) and retailers. To define the problem considered in this paper it is assumed that there are single product, multi raw materials, and two objective functions and there exists a lead time for DCs to replenish the order from retailers. The problem determines the locations and numbers of plants

and DCs to be open among the potential plants and DCs, and allocates the raw materials from suppliers to open plants and finished goods from plants to DCs and from DCs to retailers while minimizing total costs as well as maximizing the customer service levels. This paper formulates the mathematical model for this problem and develops the solution procedure exploiting the fuzzy set theory. In order to show the applicability of the proposed solution procedure five different sized numerical examples are generated and solved.

113 공급사슬 품질경영 성과 향상을 위한 공급자 선정에 관한 연구

김현정 · 김수옥

Supply chain Quality Management (SCQM) emerged as product quality issues expanded beyond an organization and into its supply chain. In SCQM, first-rate suppliers play a vital role in determining the buyer's competitiveness and success. Previous SCQM studies, however, only focus on the need for SCQM, rendering supplier selection largely unexamined. This research fills in that gap by identifying quality, cost, flexibility, delivery, and the relative importance of these factors as the criteria for supplier selection and providing empirical analysis of the criteria for improving SCQM outcomes. With 217 automotive parts manufacturers categorized into three SCQM groups where the high-performing group contains 40, the moderately-performing group 145, and the low-performing group 32 manufacturers, we run a Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) and an Analytic Hierarchy Process (AHP). First, MANOVA results in the importance of the selection factors show a significant difference in quality, cost, and delivery at the 5% significance level across the three SCQM groups whereas flexibility has no statistical significance. Second, AHP results of the relative importance of the selection factors across the three performance groups show that quality, delivery, and cost must be taken into account before flexibility to improve SCQM. Findings in this study elucidate the implications of aligning

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

투고논문 작성요령

1. 제출방법

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

• 제출처 : 한국SCM학회 사무국

(우)426-791 경기도 안산시 상록구 한양대학교로 55

한양대학교 산업경영공학과 내(5공학관 532호)

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

2. 제출절차

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

3. 표지 및 내용

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

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

4. 영문작성

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

5. Abstract 및 키워드

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

6. 각주(footnote)

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

7. 저자구분

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

8. 번호매김

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

9. 그림과 표

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

10. 수식표시

수식(formula)은 필요한 경우 번호를 부여한다.

(예) $y = a_1 x^2 + a_2 x + a_3$ (1)

11. 참고문헌

인용된 문헌은 () 안에 저자명과 연도를 본문 중에 명시하고 인용된 문헌의 전부를 본문 끝에 저자명의 순(국문, 영문 순)으로 일괄 기입한다. 학술지의 경우는 저자명(발행연도), 논문제목, 학술지명(이탤릭체), 권(호), 쪽수의 순으로 기입하고, 정기간행물이 아닌 문헌의 경우는 저자명(출판연도), 서명(이탤릭체), 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 2만원을 추가 납부. 또한 각주 중 연구비 지원에 대한 사사표기가 있을 경우에는 10만원을 추가로 납부.

<송금처>

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

불확실한 수요하에서의 동적 다경로 운송문제를 위한 지배규칙*

임석철[†] · 장정정
아주대학교 산업공학과

Domination Rule For The Dynamic Multi-Route Transportation Problem Under Demand Uncertainty

Suk-Chul Rim[†] · JingJing Jiang

Department of Industrial Engineering, Ajou University

In today's global manufacturing environment, products are usually transported globally to meet the changing demand of the customer, from an origin to a destination, multiple routes are usually available, with different lead times and unit transportation costs. In this paper, we consider the case where more than two routes are available. Assuming that the length of lead time and unit transportation cost are in reverse order for m ($m > 2$) routes, we mathematically formulate the problem. We present a domination rule where some of the $(m-2)$ in-between routes can be dominated by the fastest and slowest route in minimizing the long-term average total cost, while keeping the shortage rate at a certain level for a single product. In case all in-between routes are dominated, the problem becomes the two-route case, whose approximate optimal solution is known.

Keywords: Domination rule, Inventory, Target service level, Multi-route transportation

1. Introduction

Nowadays, many manufacturers that run global business operate a global supply chain to transport products via transportation network that connects many manufacturing

sites, distribution centers, and customer sites located around the world. For many manufacturers, the transportation cost accounts for approximately two thirds of the total logistics costs (KITA, 2013). Therefore, it is very important to reduce the transportation cost to reduce the total logistics cost. For global transportation, multiple transportation modes are

* This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(2012-0002387).

[†] **Corresponding author:** Department of Industrial Engineering, Ajou University, Youngtong-gu Woncheon-dong, San 5, Suwon, 443-749, S. Korea
Tel: 82-31-219-2424 Email: scrim@ajou.ac.kr

2013년 7월 9일 투고, 2014년 1월 6일 수정본 접수, 2월 5일 게재 확정.

usually available. A manufacturer can choose the transportation mode based on the products' attribute. The fastest mode is the airplane, which is the most expensive per unit amount of product. Moreover, the slowest and the cheapest one is vessel. For domestic areas or near distance, trucks are mainly used.

A series of transportation modes that carries products to meet the demand at the destination is called multi-modal transportation, which is now widely used. Transportation modes include vessel, railroad, airplane and truck. In multi-modal transportation, the most important issue is to minimize the transportation cost while satisfying the demand. However, it is very difficult to meet a certain level of service at the destination due to the changing demand and delivery lead time.

In multi-modal transportation, considering two extreme choices: the most expensive air transportation by which the inventory level at the destination can be minimized, and the least expensive vessel transportation which will result in a higher inventory level to cope with the demand change during the long lead time. The relative economic advantage of the two alternatives will depend on the parameter values, including product parameters, cost parameters and route parameters. Product parameters include unit price of the product, profit rate, and available quantity from the origin when shipping at every period.

If the multi-modal transportation mode can be operated suitably, the total transportation can be reduced while still satisfying the demand, comparing with the two extreme choices. Fig.1 gives an illustrative example including 5 routes from origin to destination. The lead time marked in each route is inversely proportional to the unit transportation cost of this route. Note that time unit of lead times is assumed to be week in this paper for easier presentation, but it can be any time unit.

Rim *et al.* (2012) proposed the dynamic two-route transportation problem, which is to determine the shipping amount of a product from the origin to destination at every period via two distinct routes with respective lead time and unit transportation cost so that the long term average total transportation cost is minimized, while maintaining a target service level. In our paper, we expand dynamic two-route transportation problem to multi-route transportation problem.

However, our objective is not to find the shipping amount of products for each route. Assuming that there exists m routes ($m > 2$), what we attempt to figure out in this paper is whether some of the in-between routes i ($1 < i < m$) can be dominated by the two extreme route, that is, the fastest and the slowest route in minimizing the long term average total cost while maintain the service level. If all the in-between routes are dominated by the two extreme routes,

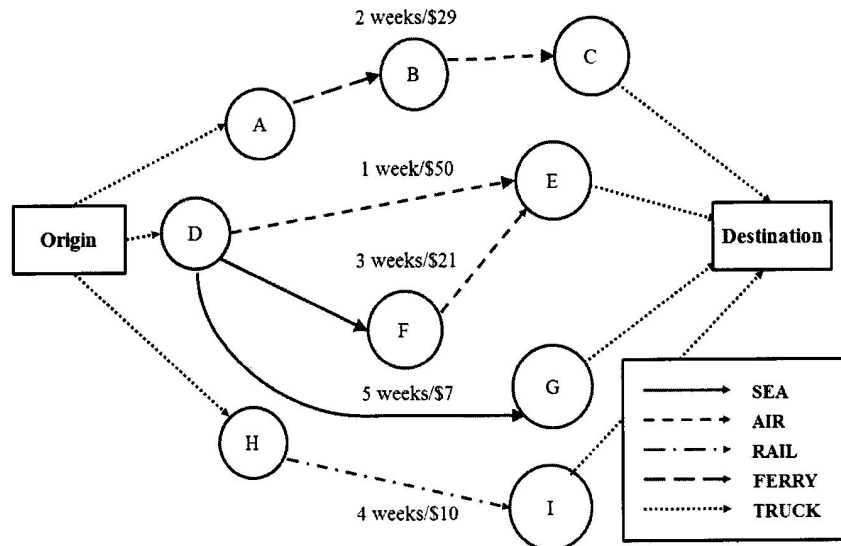


Fig.1 An illustrative example of Dynamic Multimodal Transportation Problem with 5 routes

then the problem becomes the two route case, whose approximate optimal solution is known by Rim *et al.* (2012)

The rest of this paper is organized as follows. In Section 2, we review the related literature. In Section 3, we mathematically formulate the problem. In Section 4, we present a domination rule by a theorem. Conclusion and future research are discussed in Section 5.

2. Literature review

For multi-route transportation problem, a group of research has figured out the problem of determining shipping quantity over multiple routes. Many of them use the updated demand forecast. Sethi *et al.* (2003) classifies these into the following three categories. The first category is Bayesian Analysis, where demand forecast is updated by Bayes rule. The second category is using a time-series model (Eppen and Iyer, 1997), which is useful for the case when the demands of consecutive periods are correlated. Demand can be modeled as an ARIMA model, and myopic optimal policy can be derived under special conditions. (Johnson and Thompson, 1975, and Lovejoy, 1990)

The third category is a demand forecast that can be classified into demand update and stationary demand model. Hausman (1969) presents an optimal decision rule by modeling the updating process of demand forecast as time elapses which is the quasi-Markovian process. Sethi and Sorger (1991) propose an optimal solution framework for a rolling-horizon type decision rule for practical use. However, their dynamic programming formulations have limited practicality due to heavy computational burden. Heath and Jackson (1994) model the evolution process of demand forecast using a martingale. They address the problem of determining an economically safe stock level for multi-item, multi-facility production system. Yan *et al.* (2003) present a single-period optimal ordering rule for two supply channels with updated demand forecast. Donohue (1998) studies the pricing policy for perfect demand update in a risk-sharing purchase contract between seller and buyer. Barnes-Schuster *et al.* (1999) study the structure of objective functions between seller and buyer in a single period, two-stage model where

updated demand forecast arrives at the beginning of the second stage. The Gallego and Özer (1999) model the updating process of demand forecast using a super martingale and show that the state-dependent (s,S) policy is optimal.

Bensoussan *et al.* (1983) study an inventory model with two supply modes, one instant delivery and the other with one unit of lead time, and present generalized (s,S) as an optimal ordering policy for fixed or variable ordering cost. Zhang (1996) extends this study to the case of three supply modes. Scheller-Wolf and Tayur (1998) show that a state-dependent base-stock policy is optimal for a Markovian dual-source production inventory model without taking demand forecasts into consideration.

Sethi *et al.* (2001) address the problem in which demand forecast is updated as time elapses. The authors point out that future demand contains many random factors, and uncertainty is eliminated as time approaches. Finally, real demand is realized in the same way that one can peel off the layers of an onion to get to the core. This study deals with the multi-period problem of periodic review ordering for a single item. The authors show that the ordering policy defined by the state-dependent base-stock level of fast and slow routes is optimal for finite-period and discounted infinite-period problems. As an extension, the same authors [2003] show the optimality of the (s,S) policy by demand forecast update when ordering cost is constant. For two route case, Rim *et al.* (2012) presented an approximate optimal solution procedure.

This paper is basically an extension of the work of Rim *et al.* (2012), which addresses the two route case. In this paper, we address the problem of more than two route case, which is more realistic. We also assume that demand follows a certain distribution because the demand of high-tech electronic products with short life cycles is hard to forecast so that it will be better to regard demand as a random variable that follows a certain distribution.

3. Mathematical modeling

In this section, we will present a mathematical model of the problem. We will use the same notations as in Rim *et al.* (2012) as follows to describe our problem.

i : route ($i=1, 2, 3, \dots, m$)

t : week ($t=1, 2, 3, \dots, T$)

D_t : demand during week t (realized at the end of week t , random variable)

E_t : inventory at the destination at the end of week t

A_t : arriving quantity at the beginning of week t

B_t : inventory at the destination at the beginning of week t

c_i : unit transportation cost of route i

b : unit backorder cost

w : unit inventory holding cost per week

f : unit inventory finance cost per week

ψ : unit obsolescence cost per week

α : probability of shortage in weekly demand at the destination

λ_i : constant portion of average demand to be shipped via the route i

S_t^i : shipping quantity via route i at the beginning of week t (decision variable)

Note that

$$E_t = B_t - D_t \quad (1)$$

$$B_t = E_{t-1} + A_t \quad (2)$$

At the destination, the demand during week t is met by the beginning on-hand inventory of the week t . Backorder quantity at the end of week t is immediately met by the products that arrive in the beginning of week $(t+1)$. To visualize the problem, an example of four-route case is presented in Fig. 2.

To simplify the problem, we assume that the lead time of route 1, 2, 3, and 4 are one, two, three and four weeks, respectively. At the beginning of week t , we want to determine S_t^1, S_t^2, S_t^3 and S_t^4 by considering four arriving amounts $S_{t-1}^1, S_{t-2}^2, S_{t-3}^3$, and S_{t-4}^4 , and six in-transit amounts, and $S_{t-1}^2, S_{t-1}^3, S_{t-2}^4, S_{t-2}^3$, and S_{t-3}^4 .

To generalize, let us consider the m ($m>2$) route problem in which the lead time of route i is assumed to be i weeks. We need to determine $S_t^1, S_t^2, S_t^3, \dots, S_t^m$ at the beginning of week t . There are m arriving amounts $S_{t-1}^1, S_{t-2}^2, S_{t-3}^3, \dots, S_{t-m}^m$, and $m(m-1)/2$ in-transit amounts such as $S_{t-1}^2, S_{t-1}^3, \dots, S_{t-1}^m, S_{t-2}^3, S_{t-2}^4, \dots, S_{t-2}^m, \dots, S_{t-(m-2)}^m, S_{t-(m-2)}^m$, and $S_{t-(m-1)}^m$.

Demand is assumed to be realized at the end of every week, and so the resulting inventory.

To define the objective function of the problem, we define the weekly total cost during the week t as follows:

$$TC_t = \sum_{i=1}^m c_i S_t^i + B_t(w + f + \psi) + \left(\sum_{i=1}^m \sum_{n=0}^{i-1} S_{t-n}^i \right) (f + \psi) + b \cdot \max[0, -E_t] \quad (3)$$

The four terms of equation (3) represent the transportation cost, inventory cost at the destination, cost of in-transit inventory, and backorder cost, respectively. Note that the cost of in-transit inventory does not include the holding cost because the in-transit inventory is not stored at a warehouse.

To determine the optimal shipping amount S_t^i ($1 \leq i \leq m$) at the beginning of every week such that the long term average

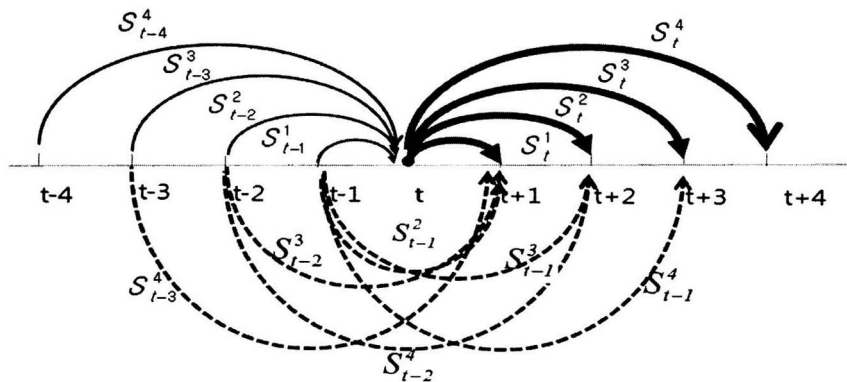


Fig. 2. Four decisions (thick line) considering four arrivals (thin line) and six in-transits (dotted line) at the beginning of week t

total cost will be minimized is a very complex problem. One alternative approach to this complex problem is to assign a certain portion of the average demand to the $(m-1)$ slowest routes, respectively, and adjust the required service level at the destination by determining the shipping amount via the fastest route (S_t^1). Rim *et al.* (2012) proposed this approach for the two route problem.

We assume that the stationary demand at the destination D_t follows an independent and identically distributed normal distribution $N(\mu, \sigma^2)$. Note that we have to determine S_t^1 such that the ending inventory of every week will have a shortage with probability α . So, for each week, the following equations must hold.

$$\Pr(D_t > B_t) = \alpha \quad (4)$$

$$A_t = \sum_{i=1}^m S_{t-i}^i \quad (5)$$

Using eq. (1), (2) and (5), eq. (4) can be rewritten as

$$\begin{aligned} & \Pr(D_{t+1} > B_{t+1}) = \alpha \\ & = \Pr(D_{t+1} > E_t + A_{t+1}) \\ & = \Pr(D_{t+1} > E_{t-1} + A_t - D_t + \sum_{i=1}^m S_{t+1-i}^i) \\ & = \Pr(D_{t+1} + D_t > k) = \alpha \end{aligned} \quad (6)$$

Where $k = E_{t-1} + A_t + \sum_{i=1}^m S_{t+1-i}^i$ for any $t \geq 3$. Recall that D_t follows $N(\mu, \sigma^2)$, so $D_{t+1} + D_t \sim N(2\mu, 2\sigma^2)$. From eq.(6), we get $k = 2\mu + z_\alpha \sigma \sqrt{2}$, where $\int_{-\infty}^{z_\alpha} f(x)dx = 1 - \alpha$ and $f(x)$ is the probability density function of the standard normal distribution $N(0, 1)$.

Recall that we assign a certain portion of the average weekly demand to the $(m-1)$ slowest routes, and adjust the required service level at the destination by determining the shipping amount via the fastest route (S_t^1). Let λ_i denote the portion of the average weekly demand (μ) to the route i for the $(m-1)$ slowest routes. Then,

$$S_t^i = \lambda_i \mu \quad (1 < i < m) \quad (7)$$

Using eq. (2), (7) and k , can be expressed as

$$\begin{aligned} S_t^1 &= \max \left[k - \left(E_{t-1} + A_t + \sum_{i=2}^m S_{t+1-i}^i \right), 0 \right] \\ &= \max \left[k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu - B_t, 0 \right] \end{aligned} \quad (8)$$

To summarize, we always ship a set of fixed amount $\lambda_i \mu$ ($2 \leq i \leq m$) via $(m-1)$ slowest routes ($\sum \lambda_i < 1$), but ship the variable amount defined by eq.(8) via the fastest route. In doing so, the service level $(1-\alpha)$ at the destination is met every week.

The natural question that follows is what set of portion λ_i ($2 \leq i \leq m$) will minimize the long term average total cost. As we consider the average weekly total cost as $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum_{t=1}^T TC_t}{T}$, finding an exact optimal solution seems to be very hard. An approximate solution for two routes was proposed in the paper of Rim *et al.* (2012). However, in this paper, instead of attempting to present an optimal solution, we will attempt to figure out if some of the in-between routes i ($1 < i < m$) can be dominated by the two extreme route, that is, the fastest and the slowest route in minimizing the long term average total cost while maintain the service level. If *all* the in-between routes are dominated by the two extreme routes, then the problem becomes the two route case, whose approximate optimal solution is known by Rim *et al.* (2012)

4. Domination rule

Since D_t follows $N(\mu, \sigma^2)$ and D_t is iid, B_t follows $N(k-\mu, \sigma^2)$ since B_{t+1} from eq. (6). Furthermore, since $E_t = B_t - D_t$ follows $N(k-2\mu, 2\sigma^2)$, the expected values of the shipping amounts S_t^i at the beginning of week t are as eq. (9).

Where F is the cumulative distribution function of standard normal distribution. For the last term of eq. (3), the expected quantity of the backorder in week t is obtained as eq. (10).

By using Taylor series for exponential function as eq. (11) and an approximation for the *cdf* of $N(0, 1)$ as eq. (12), we obtain eq. (13) and eq. (14).

By taking only the first three terms of eq. (13), we obtain eq. (15).

eq. (9)

$$\begin{aligned}
E[S_t^i] &= \lambda_i \mu \quad (1 < i \leq m) \\
E[S_t^1] &= E\left[\max(k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu - B_t, 0)\right] \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \max\left(k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu - B_t, 0\right) f(B_t) dB_t \\
&= \int_{-\infty}^{k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu} \left(k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu - B_t\right) f(B_t) dB_t + \int_{k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu}^0 0 \cdot f(B_t) dB_t \\
&= \left(k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu\right) \int_{-\infty}^{k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu} f(B_t) dB_t - \int_{-\infty}^{k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu} B_t f(B_t) dB_t \\
&= \left(k - \sum_{i=2}^m \lambda_i \mu\right) \cdot F\left[\frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)\mu}{\sigma}\right] - \left[(k - \mu) \cdot F\left(\frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)\mu}{\sigma}\right) - \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^2 \mu^2}{2\sigma^2}}\right] \\
&= \left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)\mu \cdot F\left[\frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)\mu}{\sigma}\right] + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^2 \mu^2}{2\sigma^2}}
\end{aligned}$$

eq. (10)

$$\begin{aligned}
E[\max(0, -E_t)] &= \int_{-\infty}^{\infty} \max(0, -E_t) g(E_t) dE_t \\
&= \int_{-\infty}^0 (-E_t) \cdot g(E_t) dE_t + \int_0^{\infty} 0 \cdot g(E_t) dE_t \\
&= (k - 2\mu) \left[1 - F\left(\frac{2\mu - k}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right] + \frac{\sigma}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{(2\mu - k)^2}{4\sigma^2}}
\end{aligned}$$

eq. (11)

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \quad \text{for any } x \in \mathbb{R},$$

eq. (12)

$$F(x) = 0.514 + 0.414x - 0.11x^2 + 0.009x^3 \quad \text{for any } x \geq 0,$$

eq. (13)

$$e^{-\frac{\left(1-\sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^2 \mu^2}{2\sigma^2}} = 1 - \frac{\left(1-\sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^2 \mu^2}{2\sigma^2} + \frac{\left(1-\sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^4 \mu^4}{2!2^2\sigma^4} - \frac{\left(1-\sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^6 \mu^6}{3!2^3\sigma^6} + \dots,$$

eq. (14)

$$F\left[\frac{\left(1-\sum_{i=2}^m \lambda_i\right)\mu}{\sigma}\right] = 0.514 + 0.414 \frac{\left(1-\sum_{i=2}^m \lambda_i\right)\mu}{\sigma} - 0.11 \frac{\left(1-\sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^2 \mu^2}{\sigma^2} + 0.009 \frac{\left(1-\sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^3 \mu^3}{\sigma^3}.$$

eq. (15)

$$\begin{aligned} E(TC_t) &= c_l E(S_t^l) + \sum_{i=2}^m c_i E(S_i^l) + (\omega + f + \psi) E(B_i) + E(S_i^l)(f + \psi) + \sum_{i=2}^m i \cdot \lambda_i \mu \cdot (f + \psi) \\ &\quad + b \cdot \max[0, -E_t] \\ &\cong (c_l + f + \psi) \left[\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right) \mu \left[0.514 + 0.414 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right) \mu}{\sigma} - 0.11 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^2 \mu^2}{\sigma^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + 0.009 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^3 \mu^3}{\sigma^3} \right] \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left(1 - \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^2 \mu^2}{2\sigma^2} + \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i\right)^4 \mu^4}{8\sigma^4} \right) \right] \\ &\quad + \mu \sum_{i=2}^m \lambda_i (c_i + i \cdot f + i \cdot \psi) + (k - \mu)(\omega + f + \psi) + b \cdot \left[(k - 2\mu) \left(1 - F\left(\frac{2\mu - k}{\sigma \sqrt{2}}\right) \right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sigma}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{(2\mu - k)^2}{4\sigma^2}} \right] \end{aligned}$$

<Theorem> If $(c_i - c_m) - (m - i)(f + \psi) \geq 0$ holds for $2 \leq i \leq m - 1$, then $\lambda_i = 0$ minimizes the average weekly total cost, therefore such route i is dominated.

(Proof)

We use letters A, B, and C to express terms of eq.(15) separately as following equations, eq. (16), eq. (17) and eq. (18).

Let $\nu = \sum_{i=2}^m \lambda_i$ ($0 < \nu < 1$), so we can analyze equations

clearly. Then A and B can be expressed respectively as eq. (19) and eq.(20) and C does not change.

We assume that $\lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_m$ is a constant, and compare the average weekly total cost when $\lambda_i = 0$ ($1 < i < m$) with when $\nu > \lambda_i > 0$. As all the parameters are constant, so are A and C. From eq.(20), in order to minimize the term B, λ_i ($1 < i < m$) must be equal to 0 when $(c_i - c_m) - (m - i)(f + \psi)$ is positive.

eq. (16)

$$A = (c_1 + f + \psi) \left[\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right) \mu \left(0.514 + 0.414 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right) \mu}{\sigma} - 0.11 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right)^2 \mu^2}{\sigma^2} \right) \right. \\ \left. + 0.009 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right)^3 \mu^3}{\sigma^3} \right] \\ + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left(1 - \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right)^2 \mu^2}{2\sigma^2} + \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right)^4 \mu^4}{8\sigma^4} \right)$$

eq. (17)

$$B = \mu \sum_{i=2}^m \lambda_i (c_i + i \cdot f + i \cdot \psi)$$

eq. (18)

$$C = (k - \mu)(w + f + \psi) + b \cdot \left[(k - 2\mu) \left(1 - F \left(\frac{2\mu - k}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right) + \frac{\sigma}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{(2\mu - k)^2}{4\sigma^2}} \right]$$

eq. (19)

$$A = (c_l + f + \psi) \left[(1 - \nu) \mu \left(0.514 + 0.414 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right) \mu}{\sigma} - 0.11 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right)^2 \mu^2}{\sigma^2} \right) \right. \\ \left. + 0.009 \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right)^3 \mu^3}{\sigma^3} \right] \\ + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left(1 - \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right)^2 \mu^2}{2\sigma^2} + \frac{\left(1 - \sum_{i=2}^m \lambda_i \right)^4 \mu^4}{8\sigma^4} \right)$$

eq. (20)

$$B = \mu \sum_{i=2}^m \lambda_i (c_i + i \cdot f + i \cdot \psi) \\ = \mu \left\{ \lambda_2 (c_2 + 2f + 2\psi) + \lambda_3 (c_3 + 3f + 3\psi) \right. \\ \left. + \dots + \lambda_{m-1} [c_{m-1} + (m-l)f + (m-l)\psi] + \lambda_m (c_m + mf + m\psi) \right\} \\ = \mu \left\{ \lambda_2 (c_2 + 2f + 2\psi) + \lambda_3 (c_3 + 3f + 3\psi) \right. \\ \left. + \dots + \lambda_{m-1} [c_{m-1} + (m-l)f + (m-l)\psi] + \left(\nu - \sum_{i=2}^{m-l} \lambda_i \right) (c_m + mf + m\psi) \right\} \\ = \mu \left\{ \lambda_2 [(c_2 - c_m) - (m-2)(f + \psi)] + \lambda_3 [(c_3 - c_m) - (m-3)(f + \psi)] \right. \\ \left. + \dots + \lambda_{m-l} [(c_{m-l} - c_m) - (f + \psi)] + \nu (c_m + mf + m\psi) \right\}$$

5. Conclusion and future research

In this paper, we study the dynamic multi-route transportation problem, as an extension of the two route case. We present a mathematical formulation of the problem. Unlike the two route case, we could not present any solution procedure for the multi route case. Instead, we present a domination rule such that some of the in-between routes are dominated in minimizing the long term average total cost, while maintaining a specific service level at the destination.

In case all the in-between routes are dominated by the rule we present in this study, the problem fortunately becomes the two route case, whose approximate optimal solution is known. Even if some of the in-between routes remain in the problem, the domination rule we provided will serve as a sensitivity analysis tool as to how much change of the parameters will make the route in question dominated, so that the problem will become the two route case. The result of this study can be applied only to the case where demand follows a normal distribution, which may not be common in practice. This is a weakness of this paper.

For the cases where more than two routes remain in the problem after the domination rule has been applied, the future research is to develop a solution procedure to determine approximate optimal solution for the problem.

REFERENCES

- [1] 박형훈, 송상화 (2008), 신선도 유지가 중요한 제품의 적기 공급을 위한 재고 및 운송 계획 통합 수립: Family 레스토랑 사례를 중심으로, *한국SCM학회지*, Vol. 8, No. 1, pp.37~48
- [2] 정정우, 이영해 (2007), 생산 및 운송 과정의 불확실성을 고려한 지속적 공급사슬 동기화, *한국SCM학회지*, Vol. 7, No. 1, pp.153~166
- [3] Barnes-Schuster, D., Bassok, Y. and Anupindi, R. (2002), Coordination and flexibility in supply contracts with options, *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol. 4(3), pp. 171~207.
- [4] Bensoussan, A., Crouhy, M., and Proth, J. M. (1983), *Mathematical Theory of Production Planning*, North-Holland, New York.
- [5] Donohue, K. L. (2000), Efficient Supply Contracts for Fashion Goods with Forecast Updating and Two Production Modes, *Management Science*, Vol. 46(11), 1397~1411.
- [6] Eppen, G. D. and Iyer, A. V. (1997), Improved fashion buying with bayesian updates, *Operations Research*, Vol. 45(6), 805~819.
- [7] Gallego, G. and Özer, O. (2001), Integrating replenishment decisions with advance demand information, *Management Science*, Vol. 47(10), 1344~1360.
- [8] Hausman, W. H. (1969), Sequential Decision Problems: A Model to Exploit Existing Forecasters, *Management Science*, Vol. 16(2), B93~B111.
- [9] Heath, D. C. and Jackson, P. L. (1994), Modeling the evolution of demand forecasts with application to safety stock analysis in production / distribution systems, *IIE Transactions*, Vol. 26(3), 17~30.
- [10] Johnson, G. D. and Thompson, H. E. (1975), Optimality of Myopic Inventory Policies for Certain Dependent Demand Processes, *Management Science*, Vol. 21(11), 1303~1307.
- [11] Korea International Trade Association (2013), *Annual Business Logistics Cost Report 2011*.
- [12] Lovejoy, W. S. (1990), Myopic Policies for Some Inventory Models with Uncertain Demand Distributions, *Management Science*, Vol. 36(6), 724~738.
- [13] Rim, S. C., Jang, I. J., and Choi, J. Y. (2012), Dynamic two-route transportation problem for a target service level, *INFORMATION: An International Interdisciplinary Journal*, Vol. 15(12C), 5969~5984.
- [14] Scheller-Wolf, A. and Tayur, S. (1998), A Markovian dual-source production-inventory model with order bands, *GSIA Working Paper*, #1998-E200, Carnegie Mellon University.
- [15] Sethi, S. P. and Sorger, G. (1991), A theory of rolling horizon decision making. *Annals of Operations Research*, Vol. 29(1), 387~415.
- [16] Sethi, S. P., Yan, H. and Zhang, H. (2001), Peeling layers of an onion: Inventory model with multiple delivery modes and forecast updates, *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol. 108(2), 253~281.

- [17] Sethi, S. P., Yan, H. and Zhang, H. (2003), Inventory models with fixed costs, forecast updates, and two delivery modes, *Operations Research*, Vol. 51(2), 321~328.
- [18] Yan, H., Liu, K. and Hsu, A. (2003), Optimal ordering in adual-supplier system with demand forecast updates, *Production and Operations Management*, Vol. 12(1), 30~45.
- [19] Zhang, V. L. (1996), Ordering policies for an inventory system with three supply modes, *Naval Research Logistics*, Vol. 43(5), 691~708.

**임 석 철**

서울대학교 산업공학과 학사

KAIST 산업공학과 석사

The Univ. of Michigan 산업공학과 박사

현재: 아주대학교 산업공학과 교수

관심분야: SCM, 물류, 시물레이션, TOC

**JingJing Jiang**

중국, 염성공학원 마케팅 학사

아주대학교 국제대학원 석사

현재: 아주대학교 산업공학과 박사과정

관심분야: SCM, 물류

택배 위탁차량의 영업소 순회 경로 네트워크 설계를 위한 유전 알고리즘 접근법*

프리스카 · 김홍배 · 고창성[†]

경성대학교 산업경영공학과

A Genetic Algorithm-Based Heuristic For Network Design Of Service Centers With Pick-Up And Delivery Visits Of Mandated Vehicles In Express Delivery Service Industry

Friska Natalia Ferdinand · Hong Bae Kim · Chang Seong Ko[†]

Department of Industrial and Management Engineering, Kyung Sung University

In Korean express delivery service market, many domestic companies have been competing fiercely to extend their own market share. The line-haul vehicles operated by the express delivery service companies in Korea in general can be classified into three types depending on the ways their expenses occur; company-owned vehicle, mandated vehicle which is owned by outsider who entrust the company with its operation, and rented vehicle (outsourcing). Actually, most of the line-haul vehicles in express delivery services belong to the mandated vehicle class. Hence, this study suggests an approach to the design of a service network with pick-up and delivery visits for mandated line-haul vehicles with the objective of maximizing the incremental profits of the drivers of the vehicles under the assumption that express delivery service companies operate mandated vehicles only. A heuristic based on genetic algorithm is developed and tested through an example problem.

Keywords: Express delivery services, Pick-up and delivery, Mandated line-haul vehicle, Genetic algorithm.

* This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science Technology(2012-007468).

[†] **Corresponding author:** 309, Suyeong-ro(Daeyeon-dong), Nam-gu, Busan 608-726, Korea.

Tel: 82-51-663-4724, Fax: 82-51-621-2454, Email: csko@ks.ac.kr

2013년 10월 17일 투고, 2013년 11월 14일 게재 확정.

1. Introduction

Although most service centers in an express courier service network are directly linked to a consolidation terminal, some of them with geographical disadvantages are operated as milk run types (from/to the consolidation terminal), which can be represented as a traditional Pick-up and Delivery Problem (PDP). The pick-up and delivery activities in PDP are performed using a fleet of vehicles and a set of customer requests. In this case, both the collection and delivery of goods should be carried out within the routes and the goods collected from the pick-up location must be delivered to the corresponding customers by the vehicles (Lee *et al.* 2010, Kim *et al.* 2011; 2012, Ferdinand *et al.* 2013). Usually, the line-haul vehicles operated by the express delivery service companies in Korea can be classified into three types depending on how their expenses occur; company-owned vehicle, mandated vehicle which is owned by outsiders who entrust the company with its operation, and rented vehicle (outsourcing). From the operational point of view, mandated vehicles are essentially identical to company-owned vehicles. The only difference is how the drivers are paid, and a mandated vehicle is paid by the amount which is proportional to its workload. For a given set of delivery orders, the manager of the express delivery service company has to allocate the orders to three types of vehicles considering vehicle routing and dispatching (Ko *et al.* 2002, Chung *et al.* 2007). The objective of this study is to construct a network design for the profitable tour problem with pick-up and delivery visits with the goal of maximizing the incremental profits of the drivers of mandated line-haul vehicles.

2. Literature Review

A number of studies have been carried out related to the design of service networks for express delivery service. Cheung *et al.* (2001) was the first to examine a service network design problem encountered by express couriers such as DHL Hong Kong. They proposed a hybrid optimization/simulation model that aims to maximize service

coverage and service reliability by adjusting the cutoff time. Their study revealed that the extension of the cutoff time led to a higher level of service coverage but decreased the service reliability. Also, Ko *et al.* (2007) developed an integer programming model and a genetic algorithm to determine the cutoff time at each service center according to the spatial proximity of the service centers to the customers and the consolidation terminal capacity. Lee *et al.* (2010) configured an express delivery service network that maximizes revenue for PDP. An optimization model for a profitable tour design with pick-up and delivery based on a multi-objective formulation involving single and multiple companies allied for resource sharing was developed by Kim *et al.* (2011, 2012). Recently, Ferdinand *et al.* (2013) proposed an approach to a pick-up and delivery service network design problem with the objective of maximizing profits of the companies.

3. Problem Definition

First consider the cost structures of operating three types of vehicles. The cost of a company-owned vehicle is the sum of the fixed cost and the variable cost and calculated as the equivalent monthly cost. Mandated vehicle has a similar cost function, but the fixed cost is much lower compared with that of company-owned vehicle. Rented vehicle has only variable cost which is proportional to the shipping amount. It is more economical to operate the company-owned vehicle when the shipping amount is high, while in the opposite case mandated and rented vehicles are more economical (Ko *et al.* 2002). According to the classification by Bodin *et al.* (1983), the problem considered here can be represented as a typical PDP. The difference in this study is that the objective function is formulated to maximize the revenue instead of minimizing the cost of delivery. However, a PDP with sales (PDPs) may be also interpreted as a travelling salesman problem with sales (TSPs). The approach used in this study has a similar concept to the previous studies such as Lee *et al.* 2010, Kim *et al.* 2011; 2012, Ferdinand *et al.* 2013). The first step of the proposed procedure is to divide all nodes into pick-up and delivery nodes. Route generation is intended to link all nodes for each vehicle starting from and ending at the same depot.

The second step is to build the m-TSP (Multiple Traveling Salesman Problem) by converting the profitable tour problem with pick-up and delivery nodes. For example, consider that a line-haul vehicle travels among five service centers for pick-up and delivery at early times, and packages are picked up and delivered along the travel route followed; there are two vehicles and each vehicle is assigned to one tour. Each service center has two different nodes, delivery and pick-up, and thus there are ten nodes for five service centers. The difference in this study is that the delivery and pick-up processes are not performed by the same vehicle. The converted model is regarded as a type of m-TSP with the objective of maximizing the incremental profit. Many studies have been performed

regarding the m-TSP with applications in several areas including logistics. Because this problem belongs to the NP-hard class, most studies suggest heuristic algorithms due to the problem characteristics. Given the tour route, the total revenue and operating costs are easily obtained based on the travel times among the depot and the service centers and the operating times for each service center. The objective function in this study is to maximize the net profit, which is calculated by subtracting the incremental cost from the incremental revenue instead of assessing the total revenue for m-TSPs with multiple service centers. The constraints are equivalent to those of an m-TSP with two nodes for each service center. Thus, the objective function is defined as follows:

$$\begin{aligned} \text{Maximize } W_1 &= \{\alpha Z_1 - \beta(\Delta T_1)^\gamma\} \\ &\vdots \\ \text{Maximize } W_m &= \{\alpha Z_m - \beta(\Delta T_m)^\gamma\} \end{aligned} \quad (1)$$

where

$$Z_i = \begin{cases} \sum_{j=1}^{n_i} D_{ij}(a_{ij})(\Delta dt_{ij}) & \text{if } j \text{ is a delivery mode} \\ \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij}b_{ij}(\Delta pt_{ij}) & \text{if } j \text{ is a pick-up mode} \end{cases}$$

In Expression (1), incremental revenue is produced via an increase in collected profits resulting from adjustment of the tour route and the delivery and pick-up times. An incremental operating cost is incurred due to an increase in the travel times. When calculating the operating cost, instead of (ΔT) , $(\Delta T)^\gamma$ is used to prevent an excessive time increase that may affect the operating times in the consolidation terminal where γ is larger than or equal to one. The notation used in this study is defined as follows:

- i index for a vehicle from an express delivery service company, $i = 1, 2, \dots, m$
- j index for a node corresponding to a service center serviced by vehicle i , $j = 1, 2, \dots, n_i$
- W_i incremental of revenue of vehicle i
- α incremental revenue per unit
- D_{ij} delivery amount per hour of service center j for vehicle i

- a_{ij} delivery type for service center j for vehicle i which reflects order characteristics such as residential, industrial, and commercial areas
- Δdt_{ij} incremental increase in time required for delivery order for vehicle i in an updated tour as compared to the current tour of service center j (unit: hour)
- P_{ij} pick-up amount per hour of service center j for vehicle i
- b_{ij} pick-up type of service center j for vehicle i which reflects order characteristics
- Δpt_{ij} incremental increase in time required for pick-up order for vehicle i in an updated tour compared to the current tour of service center j (unit: hour)
- β incremental cost per hour according to increase of total tour time
- ΔT_i incremental increase in total tour time for an updated tour of vehicle i compared to the current tour (unit: hour)
- γ index reflecting the effect of tour time on tour cost

4. Solution Procedure

A genetic algorithm (GA) is generally referred to as a stochastic solution search procedure that is proven to be useful for solving combinatorial problems using the concept of evolutionary computation imitating the natural selection and biological reproduction of animal species (Goldberg, 1989; Gen and Cheng, 2000). The chromosome representation contains 51 genes, as shown in Figure 1. The first three genes represent the number of service centers supported by three vehicles, respectively. We assume that each vehicle should support at least 10 nodes. The remaining 48 genes denote the routes that will be taken by each vehicle. Four genetic operators are used in the proposed GA: cloning, crossover, mutation and selection operators. The cloning operator copies a subset of the best current chromosomes to the new population. A partial-mapped crossover (PMX) is applied, which is viewed as an extension of the two point crossover operation for a binary string to a permutation representation. Next, a reciprocal exchange mutation is adopted for the mutation operation, and roulette wheel selection is used to select the new population. The decoded chromosome generates a candidate solution and its fitness value based on the fitness function. The objective function in the proposed model given in Expression (1) is used as the fitness function. The partial mapped crossover is used in the crossover process, which passes ordering and value information from the parent tours to the offspring tours in which the chromosome cannot contain duplicate values. The process is mapped from a portion of one parent string onto a portion of the other parent string while the remaining string values are exchanged. Next, the reciprocal exchange mutation is adopted as a mutation operator. The decoded chromosome generates a candidate solution and its fitness value based on the fitness function. The objective function in the proposed model is used as the fitness function. The values of dt_{ij} , pt_{ij} , ΔT_i can be easily calculated from the tour sequence corresponding to a chromosome. Since the proposed model belongs to a class of multi-objective decision making problems, the maxmin operator is employed to obtain a compromised solution. The overall procedures are coded in Matlab™.

5. An Example Problem

An illustrative numerical example is carried out with a data set similar to the previous studies (Lee *et al.* 2010, Kim *et al.* 2011; 2012, Ferdinand *et al.* 2013). The example problem considers a single consolidation terminal, 24 service centers and three mandated line-haul vehicles. Table 1 shows the current operation data of each service center for three scenarios. The travel times among a consolidation terminal and service centers are shown in Table 2. It is also assumed that 5 minutes are required for preparing the package loading/unloading tasks in the service center, and 0.03 minutes of package handling is required for each package. The upper bound of trip time is 12 hours, and the capacity for each vehicle is 3000 units. The GA parameter values are as follows: population size is set to 500, maximum number of generations is 300, and cloning, crossover and mutation rates are 2%, 70% and 6%, respectively. After a GA-based heuristic is applied to the example problem based on the maxmin criterion, it is obtained that the incremental profits and travel times for each vehicle are: 9.03 hours and \$166.80 for vehicle 1, 12.30 hours and \$68.37 for vehicle 2, and 12.53 hours and \$39.43 for vehicle 3, respectively. We observe that although the travel time for each vehicle is longer, more incremental profits of \$39.427 are realized. Figure 2 shows tour sequences for each vehicle with scenario 1 after GA implementation.

6. Conclusions

This study suggests a GA-based heuristic for the service network design for the pick-up and delivery among a single depot and multiple service centers with the objective of maximizing the incremental profits of the drivers of mandated line-haul vehicles. While most of the express delivery service companies in Korea operate mandated vehicles, the proposed approach considers the balance of the profits of drivers based on maxmin criterion. As a further research, a service network design problem compromising profits of the company and drivers is suggested based on maxsum and maxmin criteria.

Table1. Current operation data for service centers

Service Center	Delivery	Pick-up	a_i	b_j	Service Center	Delivery	Pick-up	a_i	b_j
1	160	200	0.2	0.02	13	40	20	0.1	0.01
2	20	40	0.1	0.01	14	50	60	0.1	0.01
3	120	100	0.2	0.02	15	380	450	0.3	0.03
4	20	20	0.1	0.01	16	170	220	0.2	0.02
5	60	80	0.1	0.01	17	20	40	0.1	0.01
6	40	20	0.1	0.01	18	120	100	0.2	0.02
7	400	500	0.3	0.03	19	20	20	0.1	0.01
8	150	180	0.2	0.02	20	40	40	0.1	0.01
9	20	40	0.1	0.01	21	60	80	0.1	0.01
10	100	180	0.2	0.02	22	40	20	0.1	0.01
11	20	20	0.1	0.01	23	60	80	0.1	0.01
12	60	80	0.1	0.0	24	350	420	0.3	0.03

(a) Scenario 1

Service Center	Delivery	Pick-up	a_i	b_j	Service Center	Delivery	Pick-up	a_i	b_j
1	160	200	0.2	0.02	13	110	100	0.2	0.02
2	20	40	0.1	0.01	14	40	60	0.1	0.01
3	40	20	0.1	0.01	15	20	20	0.1	0.01
4	400	500	0.3	0.03	16	130	170	0.2	0.02
5	60	80	0.1	0.01	17	20	40	0.1	0.01
6	120	100	0.2	0.02	18	40	20	0.1	0.01
7	20	20	0.1	0.01	19	370	440	0.3	0.03
8	120	160	0.2	0.02	20	180	160	0.3	0.03
9	20	40	0.1	0.01	21	60	80	0.1	0.01
10	40	20	0.1	0.01	22	120	100	0.2	0.02
11	400	480	0.3	0.03	23	40	60	0.1	0.01
12	60	80	0.1	0.01	24	20	20	0.1	0.01

(b) Scenario 2

Service Center	Delivery	Pick-up	a_i	b_j	Service Center	Delivery	Pick-up	a_i	b_j
1	400	500	0.3	0.03	13	40	20	0.1	0.01
2	20	40	0.2	0.02	14	60	70	0.2	0.02
3	120	100	0.1	0.01	15	150	180	0.3	0.03
4	20	20	0.1	0.01	16	330	460	0.1	0.01
5	60	80	0.1	0.01	17	20	40	0.2	0.02
6	40	20	0.2	0.02	18	120	100	0.1	0.01
7	160	200	0.3	0.03	19	20	20	0.1	0.01
8	350	460	0.1	0.01	20	140	110	0.2	0.02
9	20	40	0.2	0.02	21	60	80	0.1	0.01
10	100	110	0.1	0.01	22	40	20	0.1	0.01
11	20	20	0.1	0.01	23	8	90	0.2	0.02
12	60	80	0.1	0.01	24	120	150	0.2	0.02

(c) Scenario 3

Table2. Travel times among a consolidation terminal and service centers

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T	38	72	18	11	17	39	50	23	56	42	84	14	63	21	50	12	94	21	17	49	44	79	82	46
1	0	25	32	43	13	41	30	42	74	27	29	10	49	63	19	91	13	61	31	27	54	50	68	23
2		0	24	85	23	34	71	29	38	19	22	30	68	91	47	97	31	48	18	74	78	35	71	24
3			0	16	89	26	72	41	35	67	15	46	88	25	36	84	23	40	42	69	24	20	55	67
4				0	41	18	20	23	31	43	12	47	44	15	25	92	40	66	19	97	40	63	60	10
5					0	19	55	20	33	54	14	22	83	41	13	11	69	22	39	78	33	56	73	96
6						0	17	52	48	16	32	87	38	19	76	28	11	42	22	91	97	59	22	28
7							0	53	49	21	29	43	62	42	40	15	75	41	38	23	33	86	84	86
8								0	32	43	56	70	19	82	14	39	93	17	31	94	41	63	56	95
9									0	22	99	25	17	20	32	47	14	81	48	42	85	63	90	30
10										0	64	23	42	15	73	51	22	98	16	93	36	78	44	29
11											0	26	62	31	18	15	28	79	37	61	14	58	16	29
12												0	44	20	19	77	34	13	48	80	94	21	52	85
13													0	41	33	61	15	78	28	61	11	40	24	30
14														0	51	19	22	79	43	82	38	25	64	64
15															0	47	39	66	45	58	69	72	78	59
16																0	27	49	12	50	17	30	93	41
17																	0	45	27	23	85	58	17	93
18																		0	81	19	97	80	17	15
19																			0	84	46	33	89	43
20																				0	49	92	26	64
21																					0	34	23	62
22																						0	84	41
23																							0	26
24																								0

No of SC		Truck 1										Truck 2										Truck 3																												
15	17	16	P8	P14	P3	P15	P19	P6	P7	P10	D15	D8	P21	P11	P12	D10	P23	P24	D11	P20	P2	P9	D12	P1	P18	P22	D2	D1	P4	D19	D21	D7	D18	P17	P5	D24	P16	P13	D23	D3	D20	D4	D9	D16	D6	D13	D22	D5	D14	D17

(a) Overview of chromosome

15	17	16
----	----	----

(b) Number of nodes supported by each vehicle

P8	P14	P3	P15	P19	P6	P7	P10	D15	D8	P21	P11	P12	D10	P23
----	-----	----	-----	-----	----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----

(c) Vehicle 1

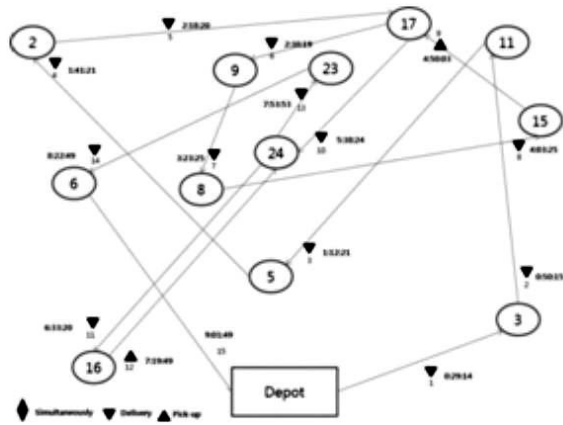
P24	D11	P20	P2	P9	D12	P1	P18	P22	D2	D1	P4	D19	D21	D7	D18	P17
-----	-----	-----	----	----	-----	----	-----	-----	----	----	----	-----	-----	----	-----	-----

(d) Vehicle 2

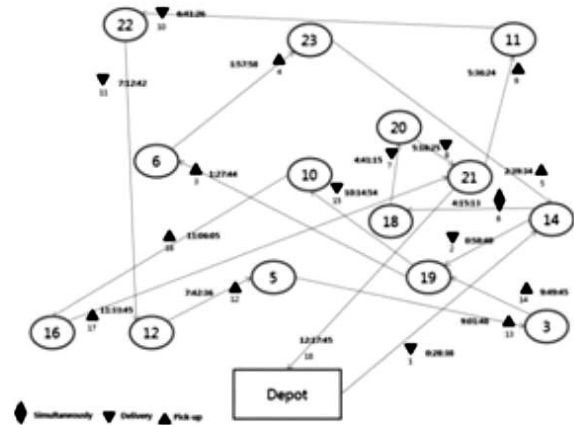
P5	D24	P16	P13	D23	D3	D20	D4	D9	D16	D6	D13	D22	D5	D14	D17
----	-----	-----	-----	-----	----	-----	----	----	-----	----	-----	-----	----	-----	-----

(e) Vehicle 3

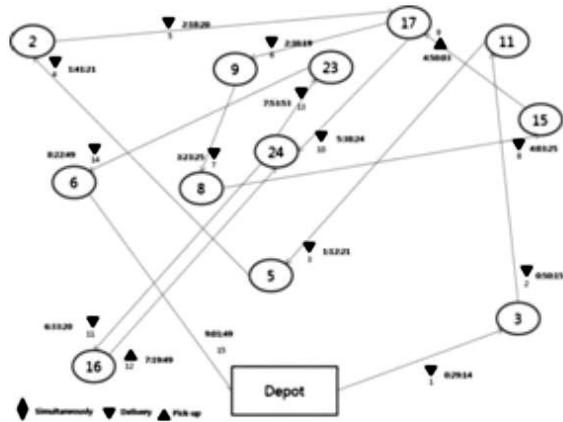
Figure 1. An example of chromosome representation



(a) Mandated vehicle 1



(b) Mandated vehicle 2



(a) Mandated vehicle 3

Figure 2. The tour sequences based on GA

References

- [1] Bodin, L. D., Golden, B. L., Assad, A. A. and Ball, M. O. (1983). "Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art," Computers and Operations Research, Vol.10, pp.63-211.
- [2] Cheung, W., Leung, L. C. and Wong, Y. M., (2001), "Strategic service network design for DHL Hong Kong," Interfaces, Vol.31, pp.1-14.
- [3] Chung, K.H., Ko, C.S., Shin, J.Y., Hwang, H., and Kim, K.H. (2007), "Development of mathematical models for the container road transportation in Korean trucking companies," Computers and Industrial Engineering, Vo.53, No.2, pp.252-262.
- [4] Ferdinand, F.N., Moon, I., and Ko, C.S. (2013), "A pick-up and delivery service network design among service centers for low demands in express delivery services," ICIC Express Letters: International Journal of Research and Surveys, Vol.5, No.21, pp.3625-3630.
- [5] Gen, M. and Cheng, R. (2000). Genetic Algorithms and Engineering Optimization, New York: Wiley.
- [6] Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Reading, MA: Addison Wesley.
- [7] Kim, Y. J., Ferdinand, F. N., Lee, H. K. and Ko, C.S. (2011). "Collaboration-Based Profitable Tour Design with Pick-up and Delivery in Express Courier Services," ICIC Express Letters: International Journal of Research

and Surveys, Vol.5, No.21, pp.3625-3630.

- [8] Kim, Y. J., Ferdinand, F. N., Lee, H. K. and Ko, C. S. (2012). "Multi-objective Profitable Tour Design with Strategic Alliance Scheme in Express Courier Services," ICIC Express Letters: International Journal of Research and Surveys, Vol.6, No.24, pp.923-928.
- [9] Ko, C.S., Chung, K.H., and Shin, J.Y. (2002), "Determination of fleet size for the LTL transportation with dynamic demand," International Journal of Management Science, Vol.8, No.2, pp.33-45.

- [10] Ko, C.S., Min, H. and Ko, H.J. (2007), "Determination of cutoff time for express courier services: A genetic algorithm approach," International Transactions in Operational Research, Vol.14, pp.159-177.
- [11] Lee, H.K., Ferdinand, F.N., Kim, T. and Ko, C.S. (2010), "A Genetic Algorithm Based Approach to the Profitable Tour Problem with Pick-up and Delivery," International Journal of Industrial Engineering and Management Systems, Vol.9, No.22, pp.80-87.



Friska Natalia Ferdinand

인도네시아 Pelita Harapan 대학교 정보
시스템학과 학사
인도네시아 Pelita Harapan 대학교 산업
공학과 석사
경성대학교 산업경영공학과 박사
현재: 경성대학교 산업경영공학과 외래교수
관심분야: 물류시스템, 공급사슬경영



김 홍 배

서울대학교 산업공학과 학사
KAIST 산업공학과 석사
부산대학교 산업공학과 박사
현재: 경성대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 항만물류, 생산시스템 설계



고 창 성

서울대학교 산업공학과 학사
KAIST 산업공학과 석사
KAIST 산업공학과 박사
현재: 경성대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 물류시스템, 공급사슬경영

공급사슬 네트워크의 위상구조적 특성에 관한 연구 : 군공급사슬 네트워크 사례를 중심으로

이영^{1)†} · 정기홍²⁾ · 문성암³⁾ · 민순홍⁴⁾ · 강동주⁵⁾

¹⁾³⁾국방대학교 · ²⁾한국과학기술원 · ⁴⁾연세대학교 경영대학원 · ⁵⁾한국전기연구원

A Study on Topology of Supply Chain Network: Focusing on a case of Military Supply Chain Network

¹⁾Young Lee[†] · ²⁾Ki-Hong Chung · ³⁾Seong-Am Moon · ⁴⁾Soon-Hong Min · ⁵⁾Dong-Joo Kang

¹⁾³⁾Department of Defense Management, Korea National Defense University

²⁾Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology

⁴⁾Yonsei University, School of Business

⁵⁾KERI (Korea Electro-technology Research Institute)

There have been few studies on topology of whole supply chain network as a specific unit of analysis. In this paper we investigate the topological characteristics of a whole military supply chain network using NetworkX by Python, based on the database of 16,394,122 transactions. The result shows that connectivity distribution of military supply chain network follows power law. The degree exponents are 2.09 and 2.03, respectively in our study. It means that the military supply chain network is a typical scale-free network. Through this interdisciplinary research, it is expected that network science could be applied to the analysis of SCM as a effective tool to deal with the growing complexity of supply chain network.

Keywords: Military supply chain network, topology, Scale-free network, Power law, Interdisciplinary research

1. 서론

Choi et al.(2001)은 공급사슬을 단순 시스템이 아닌 복잡계 관점에서 전체 구조를 연구하여야 한다고 제안하였다. 그 동안

구매자와 공급자의 선형적 관계에 집중해왔던 연구들(예, Cox et al., 2006)에 비해 그들이 제안한 동역학적 요소들은 기존의 공급사슬관리 연구가 설명해 주지 못하던 많은 문제들에 대한 통찰력을 제공해 주었다. 이후 Choi and Hong(2002)은 center console assembly에 대한 3개 제조라인의 공급 네트워크를 맵

† 교신저자 : 경기도 고양시 덕양구 제2자유로 33(또는 서울 은평구 수색동 205번지) 국방대학교

Tel : 010-5073-4002, Fax : 02-309-9774, E-mail : ylee6455@gmail.com

2013년 10월 27일 투고, 2013년 12월 24일 게재 확정.

핑함으로써 복잡한 공급 네트워크 구조의 일부분을 보여주었다. 또한 Kim et al.(2011)의 연구는 Borgatti and Li(2009)가 제안한 SNA방법론의 활용 가능성을 인식하고 공급사슬관리에 본격적으로 적용하였다.

그러나 Kim et al.(2011)은 특정 자동차 부품 모듈(center console assembly)로 연구를 한정하면서 공급 네트워크의 한 공급업자가 다른 제품라인에 걸친 다수의 공급 네트워크에 관여할 수 있음을 연구의 한계로 언급하고 있다. 이것은 한정된 공급 네트워크에서는 하위의 연결 수준이 낮은 공급업자가 전체 네트워크에서는 또 다른 위치에 있을 수도 있음을 의미한다. 하지만 아쉽게도 아직 전체 공급 네트워크의 구조에 관한 연구는 부족하다.

과연 공급 네트워크를 포함한 전체 공급사슬 네트워크의 구조를 분석대상으로 연구할 수 있을까? 전체 구조를 이해하기 위한 실마리는 다른 학제인 물리학으로부터 나왔다. Barabais and Albert(1999)는 서로 다른 성질의 네트워크인 월드 와이드 웹(World Wide Web)과 연기자 협업, 전력 네트워크에 관한 방대한 자료를 바탕으로 복잡 네트워크의 특성을 결정하는 높은 수준의 자기조직화 현상이 존재함을 실증하였다.

공급사슬관리 연구는 분석의 대상으로 핵심 기업에 집중해 왔다(Borgatti and Li, 2009). 공급 네트워크 연구를 포함해서 현재까지 특정 연구대상으로서 전체 공급사슬 네트워크를 대상으로 한 연구는 없다. 본 연구의 목적은 군공급사슬 네트워크 사례 연구를 통해 군공급사슬 네트워크의 위상구조를 연구하는데 있다. 이를 위해 2011년 총 16,394,122건의 한국군 공급사슬 네트워크 운영자료를 토대로 복잡 네트워크 분석틀인 Python의 NetworkX를 활용한다.

엄밀한 의미에서 Kim et al.(2011)의 연구대상이 고객, 고객과 인접한 공급업자의 공급 네트워크(Cooper et al., 2001)라면 본 연구의 대상은 완제품의 공급업자로부터 최종 고객에 이르는 네트워크로서의 공급사슬(Dyer and Nobeoka, 2000)이라고 할 수 있다. 이러한 의미에서 본 연구는 공급 네트워크(완제품)를 포함하면서 최종고객(전투부대)까지 네트워크의 범위를 확장한 공급사슬 네트워크에 관한 연구라고 할 수 있다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서 공급사슬 관리 맥락에서 공급사슬 구조연구와 학제간 위상구조에 관한 연구, 그리고 복잡 네트워크 과학에서 척도 없는 네트워크에 관한 기존 연구의 결과와 의미를 살펴본다. 3장에서는 네트워크 과학의 방법론을 활용하여 군공급사슬 네트워크의 위상구조를 분석한 사례연구와 그 결과를 제시한다. 결론에서는 본 연구의 결과를 정리하고 연구의 한계와 이를 토대로 공급사슬관리 연구에 어떻게 활용될 수 있는지 미래 연구방향을 제안한다.

II. 이론적 배경

2.1 공급사슬 구조(structure)와 네트워크 위상구조(topology)

공급사슬 구조에 관한 연구는 공급사슬 구조 연구가 곧 공급사슬관리 연구의 시발점이라고 주장한 Forrester(1961) 이래로 많은 연구가 진행되었다. 공급사슬 구조와 관련된 연구는 크게 (1) 수요 패턴 등 제품특성에 기반한 연구, (2)공급사슬 참여자수, 리드타임, 주재고 위치 등 공급사슬 구조변수와 관련된 연구, (3)공급 네트워크 관점의 연구 등 3가지로 구분할 수 있다.

제품특성과 관련된 연구로 Fisher(1997)와 Ramdas and Speckmen(2000)은 효율적 제품과 혁신적 제품으로 구분하고 이들에 적합한 공급사슬을 디자인해야 한다고 주장하였다. Lee(2002) 또한 기업이 새로운 시장 혹은 기술로 진입할 때, 새로운 사업 기회와 도전에 대해 공급사슬이 준비되어 있어야 한다고 강조하였다.

공급사슬 구조변수와 관련된 연구는 앞의 연구보다 더욱 구체적이고 실질적이다. 많은 연구자들(예, Sjoerd and Jac, 1992; Christopher and Towill, 2000)은 공급사슬 구조는 분리 지점(decoupling point)에 의해 결정된다고 주장하였으며, Van Donk(2001)는 식품산업의 사례연구를 통해 분리지점에 의해 공급사슬 구조가 달라짐을 보였다. Towill et al.(1992)은 공급사슬 구조가 재고의 위치와 재고량에 의해 결정됨을 언급하였으며, 특히 문성암(1999; 2000)은 제품특성이 영업환경과 밀접한 관계가 있으며, 제품전략에 따라 공급사슬 구조가 다름을 참여자 수, 리드타임, 대응지점, 수요예측의 독립성이라는 4가지 변수를 통해 실증하였다.

공급 네트워크 연구는 구매자와 공급자간 선형적 관계에 집중한 연구를 네트워크 수준으로 확장시켰다. Choi et al.(2001)은 공급 네트워크 구조를 공급 네트워크에 속한 조직간 관계의 패턴으로 정의하고 공급 네트워크를 복잡적응계로 개념화하였다. Choi and Hong(2002)은 공급 네트워크의 구조를 공식화(formalization), 중앙성(centralization), 복잡성(complexity) 등 3가지 관점에서 실제 공급 네트워크를 비교 분석하였다. 또한 Borgatti and Li(2009)는 SNA(Social Network Analysis)의 유용성을 강조하였고 Kim et al.(2011)은 SNA 방법론을 적용하여 실제 공급 네트워크의 구조적 특성을 연구하였다.

한편 네트워크의 위상구조는 다른 학제에서 또 다른 의미를 가지고 있다. 컴퓨터 네트워크에서 Najar and Gaudiot(1990)은 오류에 강한 네트워크를 설계하는 데 있어서 연결된 네트워크의 디자인은 큰 규모의 시스템 설계에 있어서 가장 중요한 이슈 중의

하나라고 언급하였다. Van Mieghem et al.(2010)은 네트워크의 위상구조는 노드라 불리는 개체가 링크에 의한 상호연결된 패턴이라고 정의하면서 어떠한 네트워크에서도 두 가지 결정적인 특성-네트워크 위상구조와 설계된 네트워크의 서비스 수준-을 가지고 있다고 언급하였다. 특히 네트워크의 서비스 수준은 위상구조의 영향을 받으며 거의 대부분 특정 서비스 수준을 제공하도록 설계된다(Van Mieghem et al., 2010). 이는 인터넷 프로토콜의 성능은 네트워크의 위상구조에 크게 영향을 받는다는 Lorenz et al.(2001)의 주장과도 일치한다.

네트워크 과학에서는 척도 없는 네트워크를 중심으로 다양한 네트워크의 위상구조를 이해하려는 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 Barabasi and Albert(1999)는 서로 다른 성질의 네트워크인 월드 와이드 웹(World Wide Web)과 연기자 협업, 전력 네트워크와 관련된 방대한 자료를 바탕으로 그것의 연결도 분포가 멱함수 분포를 따른다는 사실을 실증하였다. 이후 인터넷(Albert et al., 1999; Cohen et al., 2000), 신진대사 네트워크(Jeong et al., 2000), 수송 네트워크(Banavar et al., 1999)와 같은 전혀 다른 성질의 복잡 네트워크에서도 척도 없는 네트워크라는 동일한 특성이 나타남이 밝혀졌다.

공급사슬 구조연구와는 달리 위상구조에 관한 학제간 연구들은 모두 전체 네트워크 구조의 중요성을 강조하고 있다. 공급사슬관리 연구 맥락에서 전체 위상구조에 관한 연구가 부족하다고 할 때 다양한 네트워크 사례에서 실증된 척도 없는 네트워크는 공급사슬 네트워크의 위상구조를 이해하기 위한 출발점으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 다음 절에서 네트워크 과학에서 다루어지는 척도 없는 네트워크에 대한 개념과 의미를 간략하게 살펴본다.

2.2 위상구조로서의 척도 없는 네트워크(Scale-free network)와 그 의미

서로 다른 학제 속에서 다양한 네트워크를 대상으로 연구되어 온 척도 없는 네트워크의 의미는 크게 3가지로 정리할 수 있다. 첫째는 그것이 오랜 기간 학계를 지배해왔던 연결의 무작위성(Erdos and Renyi, 1959)에 대한 통념을 깨고 거대한 네트워크에 대한 실제 자료를 기반으로 연결의 분포가 멱함수 법칙을 따른다는 것을 실증하였다는 점이다(Barabasi and Albert, 1999). 무작위 네트워크는 평균이라는 분포의 정점을 가지고 있다. 따라서 무작위 네트워크는 연결선 수 분포가 정점분포의 하나인 포아송 연결도 분포를 따른다(Erdos and Renyi, 1959). 정점분포의 특성을 지닌 네트워크는 고유한 척도를 가지고 있으며 이는 허브는 있을 수 없다는 것을 의미한다. 반면

에 멱함수 분포에서는 정점이 없기 때문에 전체를 특징짓는 척도같은 것은 없다. 대신 매우 높은 연결도를 가지는 희소한 허브에서부터 낮은 연결도를 가지는 많은 작은 노드들에 이르기까지의 연속적인 위계가 있을 뿐이다. 척도 없는 네트워크는 허브에 존재에 대한 이론적 정당성을 부여함과 동시에 허브를 중심으로 하는 구조의 의미에 대한 새로운 시각을 제공해 주었다(Barabasi, 2003).

두 번째 의미는 그 특성의 보편성에 있다고 할 수 있다. 척도 없는 네트워크는 단백질의 상호작용 네트워크(Barabasi and Oltvai, 2004)와 World Wide Web(Albert et al., 2000)은 물론 인터넷(Govindan and Tangmunarunkit, 2000), 수송 네트워크(Banavar et al. 1999), 소셜 네트워크(Kossinets and Watts, 2006)의 사례에서도 실증되었으며, 데이터 셋과 지도(map) 뿐만 아니라 네트워크 구조를 예측하는 분석모델과 경험적 데이터 간의 일치된 결과(Caldreli, 2007)에서도 그 증거를 발견할 수 있다. 그 법칙의 단순함에도 보편성을 인정받고 있는 것이다(Barabasi, 2009).

세 번째 의미는 네트워크가 새로운 노드를 추가함으로써 지속적으로 확장한다는 성장(growth)과 새로운 노드는 이미 연결도가 높은 노드에 보다 잘 연결된다는 선호적 연결(preferential attachment)이라는 2가지 매커니즘이 척도 없는 네트워크, 즉 허브의 생성에 중요한 원인으로 작용한다는 점이다(Barabasi and Albert 1999). 상대적으로 중요한 노드에 대한 관심은 오래 전부터 있었다. 사회관계 연구에서 Mintz and Schwartz(1985)는 중심성이 곧 힘과 동일하다고 주장하였으며, 사회심리학 문헌에서 전형적으로 리더십의 역할은 가장 중심적 위치에 있는 개인에게 주어진다라는 연구도 있다(Berkowitz 1956; Shaw 1964). Webster Jr(1992)에 따르면 네트워크는 다수의 전략적 동맹의 결과로서 나타나는 복잡하고 다면적인 조직구조이다. 네트워크 조직의 기본적인 특징은 허브에 의해 유도되는 느슨하고 유연한 연합체를 이룬다. 이 때 허브의 핵심 기능은 동맹의 발전과 관리의 물론 핵심 경쟁력과 전략의 정의와 관리, 고객과의 관계 발전, 그리고 네트워크를 묶는 정보자원의 관리를 포함한다.

이와 같은 오랜 논의에도 불구하고 지금까지는 네트워크에 상대적으로 중요한 노드가 있음을 관찰만 했었다면 성장과 선호적 연결에 기반한 척도 없는 모형은 거대한 네트워크의 발전이 강력한 자기조직화 현상에 의해 출현함을 보여주었다(Barabasi and Albert 1999). 곧 구조와 네트워크의 진화는 분리될 수 없음을 말해주고 있다(Barabasi 2009).

III. 사례연구: 군공급사슬 네트워크

3.1 자료의 수집 및 분석

공급사슬 네트워크의 위상구조를 연구하기 위해서는 네트워크 전체의 흐름을 담고 있는 데이터가 필요하다. 많은 연구자들(예, Olsen and Ellram, 1997)이 공급사슬관리 연구가 전체 네트워크에 집중해야 한다고 주장하였음에도 전체 네트워크를 연구 대상으로 하는 연구가 부족한 데에는 자료 확보의 어려움이 있을 것이다(Kim et al., 2010). 과거에는 방대한 자료의 축적과 보관, 그리고 처리가 어려웠다면 현재는 충분한 데이터의 축적에도 불구하고 그 데이터의 성격이 국가 혹은 기업의 주요 기반시설과 관련되어 유출시 오히려 역이용 될 수 있다는 우려가 높아 데이터에 대한 접근자체가 쉽지 않다.

현재의 군공급사슬 네트워크를 분석하기 위해서는 전체 공급

사슬의 흐름을 담고 있는 자료가 필요하다. 현재 한국군은 물자, 장비, 수리부속에 대한 군수정보체계를 운영하고 있으며 각각 국방전산정보원과 육·해·공군의 군수사령부에 서버를 두어 관련 자료를 축적하고 있다. 연구팀은 국방부의 협조로 탄약을 제외한 급식에서 유류와 장비, 수리부속을 포함하는 육·해·공군의 2011년 전체 군공급사슬 운영자료를 확보하였다. 이 자료들을 MS SQL을 이용하여 DB화하였으며 2011년 기준 총 16,394,122 건의 주문정보를 확인하였다. 이 주문정보들을 네트워크 분석을 위해 'from', 'to', 'weight'의 3열데이터 형태로 변환시킨 뒤 Python의 네트워크 분석 툴인 NetworkX를 활용하여 분석을 진행하였다.

3.2 결과

군공급사슬 네트워크는 노드가 11,936개이고 링크가 45,304

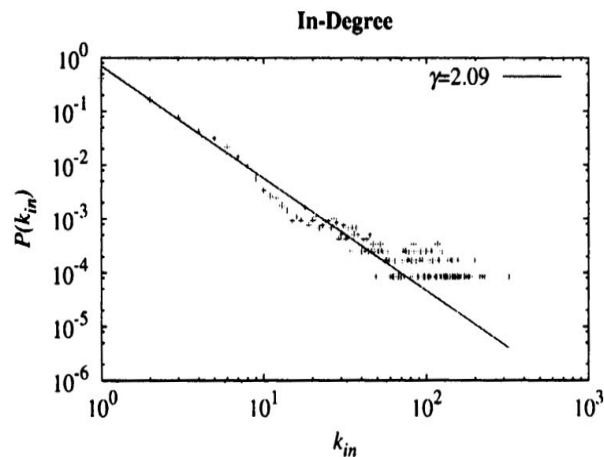


그림 1. Indegree 연결도 분포(log-log plot)

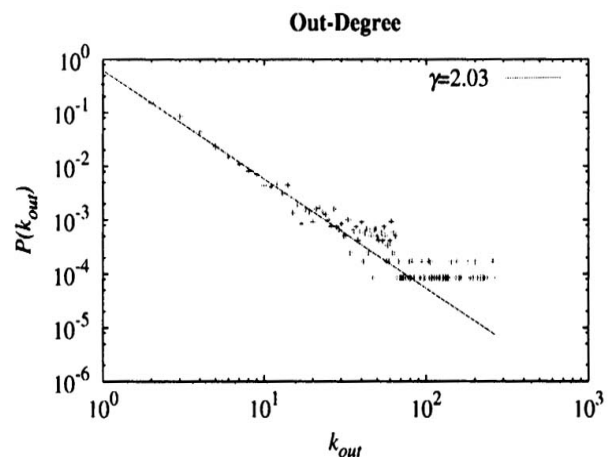


그림 2. Outdegree 연결도 분포(log-log plot)

표 1. 선행연구와 군공급사슬 네트워크 연구결과 비교

연구 대상	네트워크크기(size)	Outdegree exponent	Indegree exponent	관련 문헌
WWW	2×10^8	2.72	2.1	Broder et al.(2000)
Internet router	150,000	2.4	2.4	Govindan and Tangmunarunkit(2000)
Movie actor	212,250	2.4	2.3	Barabasi and Albert(1999)
Ptotein, S. cerev	1,870	2.4	2.4	Jeong et al.(2001)
Metabolic, E.coli	778	2.2	2.2	Jeong et al.(2000)
Military network	11936	2.03	2.09	—

* 출처: Albert and Barabasi(2002)의 내용을 저자가 정리

개로 구성된 네트워크로 밝혀졌다. <그림 1>, <그림 2>는 각각 Indegree, Outdegree의 연결도 분포를 보여준다. 그림에서 보는바와 같이 군공급사슬 네트워크는 연결도 지수가 각각 2.09, 2.03인 멱함수 분포를 따르고 있다. 곧 군공급사슬 네트워크가 전형적인 척도 없는 네트워크라는 사실을 의미한다. 이 결과를 다른 네트워크 연구 사례들과 비교하기 위해 표로 정리하였다. <표 1>은 군공급사슬 네트워크는 성격이 다른 다양한 네트워크와 본질적으로 동일한 속성을 가지고 있음을 보여준다.

링크수와 노드수의 관계를 직관적으로 이해할 수 있도록 그림으로 정리하였다. <그림 3>은 Indegree 관점에서 노드수와 링크수의 관계를 보여준다. 0~10개의 연결도가 낮은 노드는 11,419개로 전체의 약 95%를 차지하지만 100~322개의 연결도가 매우 높은 노드 또한 76개가 존재하고 있다. 이처럼 작지만 연결도가 매우 높은 노드가 다수 존재하고 있으며, 이러한 노드들이 네트워크 전체의 높은 상호연결성을 유지하는데 기여하고 있음을 짐작할 수 있다.

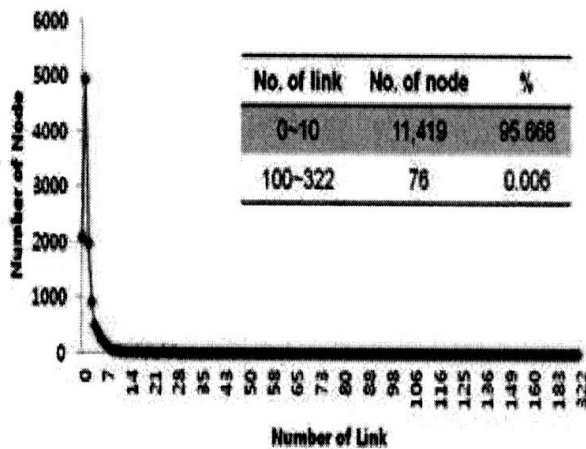


그림 3. Indegree의 노드수와 링크수의 관계

IV. 결론

4.1 연구의 함의

본 연구는 사회학자가 물리학자의 눈을 빌려 복잡한 네트워크인 공급사슬 네트워크를 바라보고자 하였다. 즉 16,394,122건에 달하는 한국군의 공급사슬 네트워크 운영자료를 토대로 네트워크 과학이라는 물리학의 방법론을 적용하여 공급사슬 네트워크의 위상구조를 연구하고자 하였다. 이를 위해 학제간 연구인 네트워크

과학의 연구중 척도 없는 네트워크를 중심으로 그것이 공급사슬 관리 연구에 주는 의미를 살펴보고 군공급사슬 네트워크 사례를 연구하였다. 결론적으로 군공급사슬 네트워크는 Indegree, Outdegree의 연결도 지수가 각각 2.09, 2.03인 전형적인 척도 없는 네트워크로 밝혀졌다.

본 연구의 학문적 기여는 다음과 같다. 먼저 군공급사슬 네트워크가 척도 없는 네트워크라는 점을 실증하였다. 군공급사슬 네트워크가 척도 없는 네트워크로 밝혀짐에 따라 다른 학제에서 연구하는 네트워크와 공급사슬 네트워크를 동일한 시각에서 관찰할 수 있는 공통분모를 발견하였다는 점에 의의가 있다.

또한 본 연구는 사회과학의 관점에서 특정 연구대상의 완전한 네트워크(Kilduff and Tsai, 2003)를 다룬 연구라는데 의의가 있다. 완전한 네트워크를 연구함으로써 네트워크가 어떻게 진화하고 통제되며, 어떻게 집단적인 결과물이 만들어지는지 이해할 수 있다면(Provan et al. 2007), 완전한 공급사슬 네트워크를 연구하는 것은 그 자체만으로도 의미가 있다고 할 수 있다.

4.2 연구의 한계와 향후 연구방향

본 연구는 다음과 같은 한계를 가지고 있으며 이를 토대로 미래 연구방향을 제안한다. 먼저 11년 군공급사슬 네트워크라는 단일 연구대상 및 연도라는 한계를 가지고 있다. 하나의 공급사슬 네트워크에 대한 종적 연구를 통해 공급사슬 네트워크의 구조와 그 패턴의 변화를 관찰할 수 있을 것이다. 구체적으로 공급사슬 네트워크 관리 정책(예, 직접 계약-3자 물류 계약, 단일공급원-복수공급원 등)을 통해 발생하는 네트워크의 변화과정을 확인할 수도 있을 것이다. 또는 다양한 네트워크의 교차분석을 통해서 네트워크의 구조에 영향을 미치는 요인을 보다 분명하게 확인할 수 있다. 교차비교의 이점은 한 계(예, 산업, 공급사슬)에서 찾아내기 힘든 미묘한 특성들이 다른 계에서는 두드러져서 쉽게 알아볼 수도 있다는 점이다(Holland, 1995). 그리고 이를 통해 여전히 미지의 영역인 네트워크의 동태성(Bell et al., 2006)을 탐구할 수 있을 것이다.

두 번째는 엄밀한 의미에서 완전한 네트워크를 대상으로 연구하는 것이 쉽지 않다는 점이다. 본 연구 또한 시스템에서 관리하는 모든 노드들을 포함시켰지만 공급업자의 경우 완제품을 납품하는 업체만이 포함되어 있다. 또한 군공급사슬 네트워크의 특성상 다양한 해외도입 수리부속 흐름이 있지만 이 자료는 DB에서 관리되지 않는다. Pathak et al.(2007)은 공급사슬 네트워크 연구에서 이론이 타당성을 확보할 수 있는 적절한 물리적 시스템의 규모 혹은 분석대상을 선정하는 것이 매우 중요하다고 주장했다. 연구의 목적에 부합하되 자료의 확보가 가능한 범위에서 완전한

네트워크로서의 분석대상의 범위를 고민할 필요가 있다.

세 번째는 공급사슬 네트워크에서 기업간, 조직간의 연결은 매우 다양한 형태로 나타난다. 하지만 본 연구는 자재의 흐름만을 고려하였다. Kim et al.(2011)의 자재의 흐름과 계약 관계 뿐만 아니라 조직 구성원간의 관계를 통해서도 가능하다. 이미 이메일을 통한 상호작용을 토대로 사회 네트워크의 진화과정을 분석한 연구도 있다(예, Kossinets and Watts, 2006). 동일한 공급사슬 네트워크를 자재와 계약, 조직 구성원이라는 다른 측면에서 분석함으로써 공급사슬 네트워크 정책에 따른 네트워크의 변화 과정을 다른 각도에서 다른 렌즈로 관찰할 수도 있다.

마지막으로 본 연구는 군공급사슬 네트워크의 위상구조가 척도 없는 네트워크라는 사실을 밝혔지만 이러한 결과가 공급사슬 네트워크 속에 있는 다양하고 복잡한 관계의 패턴(예, 공급 네트워크, 공급자-구매자 네트워크 등)을 보여주지는 못한다. 그러나 데이터의 관리 수준에 따라 공급 네트워크, 구매자-공급업체 네트워크, 전체 네트워크와 같은 다양한 수준의 공급사슬 네트워크 연구가 가능할 것으로 기대된다.

지금까지 공급사슬관리의 연구가 주로 경험적, 기술적 연구에 집중되었다면(Defee and Stank, 2005; Croom et al., 2000), 앞에서 언급한 향후 연구방향을 토대로 학제간의 연구, 특히 네트워크 과학의 이론과 방법론의 적용은 공급사슬 네트워크를 포함하는 공급사슬관리 이론의 발전과 강화에 기여할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 문성암(1999), 제조업자의 제품전략이 유통경로구조에 미치는 영향에 관한 연구, *마케팅관리연구*, 제4권 제2호, pp.149-177.
- [2] 문성암(2000), 제품전략에 따른 공급체인 구조가 공급체인 재고에 미치는 영향에 관한 연구, *경영학연구*, 제29권 제4호, pp.617-642.
- [3] Albert, R., Jeong, H., Barabási A.-L.(1999), Internet: Diameter of the World-Wide Web, *Nature*, Vol. 401, pp.130-131.
- [4] Banavar, J.R., Martine, A., Rinaldo A.(1999), Size and form in efficient transportation networks, *Nature*, Vol. 399, pp.130-132.
- [5] Barabasi, A.-L., Albert, R.(1999), Emergence of Scale in Random Networks, *Science*, Vol. 286, pp.509-512.
- [6] Barabasi, A.-L., Albert, R., Jeong, H.(2000), Scale-free characteristics of random networks: the topology of the world-wide web, *Physica A*, Vol. 281, pp. 69-77.
- [7] Barabasi, A.-L., Oltvai, Z.N.(2004), Network biology: understanding the cell's functional organization, *Nat. Rev. Genet.*, Vol. 5, pp.101-113.
- [8] Bell, J., den Ouden, B., Ziggers, G.W.(2006), Dynamics of cooperation: At the brink of irrelevance, *Journal of Management Studies*, Vol. 43(7), pp.1607-1619.
- [9] Berkowitz, L.(1956), Personality and Position, *Sociometry*, Vol. 19, pp. 210-222.
- [10] Borgatti, S., Li, X.(2009), On Social network Analysis in a supply chain context, *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 45(2), pp.1-17.
- [11] Caldarelli, G.(2007), *Scale-Free Network*, Oxford Univ. Press, Oxford.
- [12] Choi, T.Y., Dooley, K.J., Rungtusanatham, M. (2001), Supply networks and complex adaptive system: control versus emergence, *Journal of Operations Management*, Vol. 19, pp.351-366.
- [13] Choi, T.Y., Hong, Y.(2002), Unveiling the structure of supply networks: case studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler, *Journal of operations Management*, Vol. 20, pp.469-493.
- [14] Christopher, M., Towill, D.R.(2000) Supply chain migration from lean and functional to agile and customised, *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 5(4), pp.206-213.
- [15] Cohen, R., Erez, K., Ben-Avraham, D., Harlin, S.(2000), Resilience of the Internet to Random Breakdown, *Physical Review Letters*, Vol. 85, pp.4626-4628.
- [16] Cooper, M.C., Lambert, D.M., Pagh, J.D.(1997), Supply chain management: more than a new name of logistics, *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 8(1), pp.1-14.
- [17] Cox, A., Sanderson, J., Van Wassenhove, L.N.(2006), Supply chains and power regimes: toward an analytic framework for managing extended networks of buyer and supplier relationships, *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 37(2), pp.28-35.
- [18] Croom, S., Romano, P., Giannakis, M.(2000), Supply

- chain management: an analytical framework for critical literature review, *European Journal of Purchasing & Supply chain management*, Vol. 6, pp.67-83.
- [19] Defee, C.C., Stank, T.P.(2005), "Applying the strategy-structure -performance paradigm in the supply chain environment", *International Journal of Logistics Management*, Vol. 16(1), pp.28-50.
- [20] Dyer, J.H., Nobeoka, K.(2000), Creating and managing a high-performance knowledge-sharing network: the Toyota case, *Strategic Mangement Journal*, Vol. 21(3), pp.345-367.
- [21] Erdos, P., Renyi, A.(1959), On random Graphs, *Publicationes Mathematicae Debrecen*, Vol. 6, pp.290-297.
- [22] Fisher, M.L.(1997), What is the Right Supply Chain for Your Product?, *Harvard Business Review*, March-April, pp.105-116.
- [23] Forrester, J.W.(1961), *Industrial Dynamics*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- [24] Ginsberg, J., Mohibbi, M.H., Patel, R.S., Brammer, L., Smolinski, M.S., Brilliant, L.(2009), Detecting influenza epidemics using search engine query data, *Nature*, Vol. 457, pp.1012-1014.
- [25] Govindan, R., Tangmunarunkit, H.(2000), Heuristics for Internet map discovery, *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Proceedings. IEEE.
- [26] Holland, J.H.(1995), *Hidden Order: How Adaotation Builds conmplexity*. Addison-Wesley Longman, Inc. Reading, MA.
- [27] Jeong, H., Tomber, B., Albert, R., Oltvai, Z.N., Barabasi, A.-L.(2000), The large-scale organization of metabolic networks, *Nature*, Vol. 407, p.651.
- [28] Jeong, H., Mason, S.P., Barabasi, A.-L., Oltvai, Z.N.(2001), Lethality and centrality in protein networks, *Nature*, Vol. 411, pp.41-42.
- [29] Kim, Y., Choi, T.Y., Yan, T., Dooley, K.(2011), Structural investigation of supply networks: A social network analysis approach, *Journal of Operations Management*, Vol. 29, pp.194-211.
- [30] Kilduff, M., Tsai, W.(2003), *Social networks and organizations*, Thousand Oaks, CA: Sage.
- [31] Kossinets, G., Watts D.(2006), Empirical Analysis of an Evolving Social Network, *Science*, Vol. 311, pp.88-90.
- [32] Lee, H.(2002), Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties, *California Management Review*, Vol. 44(3), pp.105-119.
- [33] Lorenz, D.H., Orda, A., Raz, D., Shavitt, Y.(2001), *DIMACS Technical Report 2001-17*(Center for Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, Rutgers University, Piscataway, NJ).
- [34] Mintz, B., Schwartz, M.(1985), *The Power Structure of American Business*, Chicago: University of Chicago Press.
- [35] Najjar, W., Gaudiot, J.L.(1990), Network Resilience: A Measure of Network Fault Tolerance, *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 39(2), pp.174-181
- [36] Olsen, R.F., Ellram, L.M.(1997), Buyer-supplier relationships: alternative research approaches, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol. 3(4), pp.221-231.
- [37] Pathak, S.D., Day, J.M., Nair, A., Sawaya, W.J., Kristal, M.M.(2007), Complexity and adaptivity in Supply Networks: Building Supply Network Theory Using a Complex Adaptive Systems Perspective, *Decision Sciences*, Vol. 38(4), pp.547-580.
- [38] Provan, K.G., Fish, A., Sydow, J.(2007), Interorganizational networks at the network level: A review of the empirical literature on whole networks, *Journal of management*, Vol. 33(3), pp.479-516.
- [39] Ramdas, K., Spekman, R.(2000), Chain or Shackles: Understanding what drives supply-chain performance, *Interfaces*, Vol. 30(4), pp.3-21
- [40] Shaw, M.E.(1964). u Communication Networks, *ADV Experimental Social Psychology*, Vol. 1, pp.111-147.
- [41] Sjoerd H, Jac R(1992), Integral logistics Structures: *Developing Customer Oriented Goods Flows*, McGraw-Hill, London.
- [42] Towill, D.R., Naim, M.M., Wikner, J.(1992), Industrial Dynamics Simulation Models in the Design of Supply Chains, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 22(5), pp.3-13.

- [43] Van Donk, D.P.(2001), Make to stock or make to order: The decoupling point in the food processing industries, *International Journal of Production economics*, Vol. 69, pp.279-306.
- [44] Van Mieghem, P., Doerr, C., Wang, H., Martin, H.J., Hutchison, M., Karaliopoulos, M., Kooi, R.E.(2010),

A Framework for Computing Topological Network Robustness, Delft University of Technology, Report20101218.

- [45] Webster, F.E., Jr.(1992), The Changing role of Marketing in the Corporation, *Journal of Marketing*, Vol. 56, pp.1-17.



이영

육군사관학교 경영학과 학사
국방대학교 국방관리학과 석사
국방대학교 관리대학원 국방관리학과 박사
현재 : 육군본부 군수참모부 물자탄약지원장교
관심분야 : SCM(risk, resilience), logistics, inventory management,



정기홍

한국과학기술원 물리학과 학사
현재 : 한국과학기술원 물리학과 석·박사
통합과정
관심분야 : Network, Epidemic Spreading, Phase Transition



문성암

연세대학교 경영학과 학사
연세대학교 경영학과 석사
연세대학교 경영학과 박사
현재 : 국방대학교 관리대학원 국방관리학과 교수
관심분야 : SCM(risk, resilience), behavioral operations management, inventory management, system dynamics, logistics



민순홍

연세대학교 경영학과 학사
University of Michigan 경영학 석사
University of Tennessee 경영학 박사
현재 : 연세대학교 경영대학원 교수
관심분야 : SCM(relationship management), sustainable management



강동주

연세대학교 경영학과 박사수료
홍익대학교 전자전기공학과 학사·석사·박사졸업(공학박사)
성신여대 금융정보대학원 석사
국민대학교 금융보험 MBA
현재 : 한국전기연구원 스마트전력망연구센터 선임연구원
관심분야 : Smart Grid, Internet of Things, Social Network, Cyber Security, Game Theory, OR, etc.

협력적 공진화 알고리즘과 퍼지 집합 이론의 병행 사용을 통한 친환경 공급사슬 네트워크의 설계*

한용호[†]

부산외국어대학교 e-비즈니스학과

Design of a Green Supply Chain Network using Both a Cooperative Coevolutionary Algorithm and Fuzzy Set Theory

Yongho Han[†]

Department of e-Business, Busan University of Foreign Studies

Recently green supply chain management has drawn the attention of researchers. Previous studies to design a generalized closed-loop supply chain (CLSC) network are very limited and do not consider the qualitative factors of the facilities to be open. In this paper, a new generalized supply chain network design problem is considered that includes facilities like suppliers, plants, distribution centers, dismantlers and customers. We propose a closed-loop supply chain model considering not only the quantitative costs but also the qualitative factors of facilities. The model has two objective functions. The first is to minimize the total cost, and the second is to maximize the total weight of all facilities to be open. Our approach is composed of two phases. In the first phase, a framework for facilities selection criteria is proposed based on fuzzy set theory. The output of this stage is the weight of each facility. In the second phase, a multi-objective mixed integer nonlinear programming model is formulated to choose the facilities to be open for each type and to optimize the amount of parts and products shipped between facilities in the CLSC network. A cooperative coevolutionary algorithm is then applied to get an approximate solution. A numerical example is presented and a sensitivity analysis is performed. The results show that both the proposed model and the solution approach are validated.

Keywords: green supply chain management, closed-loop supply chain, cooperative coevolutionary algorithm, fuzzy set theory, multi-objective mixed integer nonlinear programming

*이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2012-S1A5A2A-01017238)

[†] 교신저자 : 부산광역시 금정구 금샘로 485번길 65 부산외국어대학교 e-business학과, 전화: 051-509-6101, e-mail: yghan@pufs.ac.kr
2013년 12월 31일 투고, 2014년 2월 3일 게재 확정.

1. 서론

오늘날 부품조달에서부터, 제품의 생산, 유통, 소비를 거쳐, 수거, 재생 및 재활용에 이르기까지 제품 라이프 사이클의 모든 단계에 걸쳐 효과적인 친환경 활동을 할 수 있게 해주는 공급사슬 네트워크의 설계문제는 어느 때보다 그 중요성이 높아졌다. 공급사슬에서의 흐름은 크게 순방향 물류와 역방향 물류로 구성된다. 순방향 물류에는 공급업체, 공장, 물류센터, 소매업체 등이 관련되며, 역방향 물류에는 수거업체, 분해업체, 재생업체 및 폐기업체 등이 관련된다. 순방향 물류와 역방향 물류를 모두 포함하는 공급사슬 네트워크 설계 문제는 공급업체, 물류센터, 분해업체, 재생업체 및 폐기업체별로 주어진 후보업체들로부터 개설될 업체들을 선정해야 하는 전략적 의사결정문제와, 각 개별업체들 사이의 부품(또는 제품)의 수송량을 할당해야 하는 운영적 의사결정문제를 포함한다.

지금까지 제시된 공급사슬 네트워크 설계 문제에 대하여 제시된 대부분의 수리 모형들은 비용최소화만을 단일 목적으로 추구하였다. 각각의 모형에 대한 해를 구하기 위하여 다음과 같이 여러 유형의 해법들이 시도되었다. Lu and Bostel(2007)은 순방향 물류를 고려한 리배뉴팩처링 역물류 네트워크의 위치선정 문제에 대하여 0-1 혼합정수계획 모형을 제시하고 근사해를 구하기 위하여 라그랑지 완화법(Lagrangian relaxation)에 기반을 둔 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다. Üster *et al.*(2007)은 폐쇄루프 네트워크 설계 문제에 대한 대형 혼합정수계획 모형의 최적해를 구하기 위하여 Benders 분할법을 사용하였다. Lee and Dong(2008)은 리스(lease)가 종료된 컴퓨터의 회수 네트워크에서 시설의 위치결정 및 수송량 할당 문제의 해를 구하기 위하여 네트워크 심플렉스 알고리즘과 터부 서치(Tabu search)를 순차적으로 적용하는 해법을 제시하였다.

한편, Sim *et al.*(2004), Zhou *et al.*(2005), Ko and Evans(2007), Kannan *et al.*(2009), Wang and Hsu(2010), Kannan *et al.*(2010)은 유전 알고리즘(genetic algorithm; 이하 GA로 칭함)을 다양한 폐쇄루프 네트워크 설계 문제의 해법으로 사용하였다. 전통적인 수리적 접근방법은 하나의 해를 탐색해가는 반면, GA는 동시에 여러 해의 개선을 추구한다는 면에서 상대적인 강점을 지닌다. 반면 GA는 공급사슬 네트워크 설계 문제와 같이 결정변수의 수가 많은 경우 근사해의 질이 저하된다는 단점을 지니고 있다.

이제까지 언급한 연구 모형에서는 정량적 비용만을 포함할 뿐 품질, 납기 및 공급업체의 대응력 등의 정성적 기준들을 반영하지 않았다. 한편, 공급사슬 설계문제의 일부에 해당하는 공급업체의

평가 및 선정 문제에서는 정성적 평가기준들을 반영하는 연구들이 많이 이루어졌다. 먼저, 공급업체의 선택에서 주관적 평가의 불확실성을 표현하기 위하여 퍼지 집합 이론이 응용되었다. 예를 들어, Bottani and Rizzi(2006)는 공급업체들을 선택하는 데 퍼지 TOPSIS를 적용하였다. 한편 Chan and Kumar(2007)는 퍼지 AHP를 사용하였다. Chou and Chang(2008)은 전략 경영의 관점에서 공급업체의 선택 문제를 해결하기 위하여 전략 중심의 퍼지 접근 방식을 제시하였다. Wang, Cheng, and Huang(2009)은 공급업체를 선택하는 데 퍼지 TOPSIS와 AHP 기법을 결합한 접근 방식을 제안하였다. Amin and Razmi(2009)는 인터넷 서비스 제공자(ISP)를 선택하는 문제에 퍼지 QFD 기반 알고리즘을 제시하였다. Ghodsypour and O'Brien(1998)은 최적의 공급업체를 선택하고 주문 할당량을 결정하기 위한 모형을 제시하였다. 이들은 AHP를 사용하여 공급업체를 선택하기 위한 정성적 기준을 평가하고, 선형계획법을 이용하여 주문 할당량을 결정하였다. 이 연구 이후 이 아이디어에 기반을 둔 여러 연구들이 그 뒤를 이었다(Amin and Zhang, 2012). 이 모든 연구는 오픈 루프 공급사슬 네트워크를 연구 대상으로 하는 공통점을 지니고 있다. 반면 Amin and Zhang(2012)은 폐쇄 루프 공급사슬 네트워크를 구성하기 위한 퍼지 통합 모형을 제시하였다. 그러나, 이 연구에서는 공급업체와 관련된 공급사슬의 일부만을 모형에 포함시켰을 뿐, 전체적인 공급사슬을 모형에 반영하지는 못하였다.

이상 살펴본 바에 의하면 순물류와 역물류가 통합된 공급사슬 네트워크를 대상으로 비용 최소화 목표와 정성적 가치의 최대화라는 두 목표를 동시에 추구하는 공급사슬 설계문제는 아직 제시되지 못한 바, 본 연구에서는 이 문제를 연구대상으로 설정한다.

본 연구에서는 공급사슬 네트워크 설계 문제를 오픈루프 대신 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 모형으로 정식화한다. 기존연구(Amin and Zhang, 2012)에서는 공급업체라는 한 가지 유형의 업체에 대해서만 정성적 기준들을 적용한 반면, 본 연구에서는 여러 유형의 업체(공장, 유통업체 및 재생업체 등)로까지 정성적 기준의 적용범위를 확대한다. 각 후보업체에 부여된 정성적 평가치로부터 이에 대응하는 하나의 계량화된 값을 도출하기 위하여 퍼지 집합 이론을 이용한다.

이러한 특성을 지닌 본 문제는 기존에 제시된 문제들에 비해 그 복잡도가 상대적으로 더 높아서 기존의 해법들로는 좋은 근사해의 도출을 기대하기 힘든 것으로 판단된다. 따라서 협력적 공진화 알고리즘(cooperative coevolutionary algorithm; 이하 CCEA로 칭함)을 본 문제에 대한 새로운 해법으로 적용하고자 한다. CCEA는 최적화 문제를 그 문제의 특정 부분들을 나타내는

여러 개의 하위문제들로 분해한 후, 각 하위문제별로 그에 대응하는 염색체 집단을 구성한다. 각 집단의 개체는 하나의 표준적인 GA를 사용함으로써 전체해의 특정한 일부분을 표현하고, 다른 집단들을 대표하는 개체들과 결합하여 전체해를 생성한다. CCEA는 2단계 수송문제(한용호 2009), 역물류 네트워크 설계(한용호 2010), 다단계 공급사슬 네트워크 설계(한용호 2011, 한용호 2012a, 한용호 2012b) 등에 이미 적용된 바 있다. 본 문제는 그 속에 개설될 업체의 선정문제들과 각 개별업체들 사이의 부품(또는 제품)의 수송량 할당문제들이 상호의존적으로 결합되어 있다. 따라서 다중의 집단을 쉽게 구성할 수 있어 CCEA 기법을 적용하기에 적합한 성격을 지니고 있다.

2장에서는 본 연구에서 해결하고자하는 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제 및 이 문제에 대한 접근방법의 틀을 소개한다. 3장에서는 정성적 의사결정의 수단으로 이용되는 퍼지 집합 이론의 적용방법을 소개한다. 4장에서는 이 문제에 대한 수리 모형을 소개한다. 5장에서는 주어진 모형에 대한 근사해를 구하기 위한 CCEA의 핵심내용을 소개한다. 6장에서는 본 접근방법의 적용예를 소개하고, 마지막으로 7장에서 결론을 맺는다.

2. 문제와 접근방법

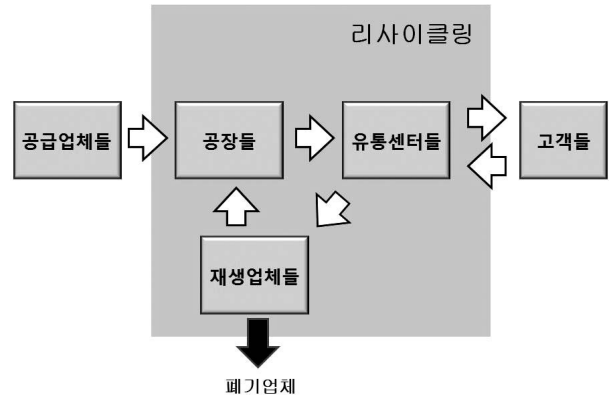
2.1 공급사슬 네트워크 설계 문제

본 연구에서 다루고자 하는 공급사슬 형태를 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다. 이 공급사슬은 한 가지 종류의 제품만을 대상으로 한다. 그리고 하나의 제품이 다수의 부품으로 구성되는 경우에도 본 연구의 접근방법이 그대로 적용되나, 문제의 복잡도를 줄이기 위하여 하나의 제품은 하나의 부품만을 포함하고 있는 것으로 가정한다.

부품(또는 제품)의 순방향 물류는 공급업체들로부터 시작하여, 공장들, 유통센터들을 거쳐 고객들에게 이른다. 순방향 물류는 풀(full) 시스템으로서 고객들의 수요에 의해서 시작되어, 유통센터들, 공장들, 공급업체들 순으로 할당량이 정해진다.

폐제품의 역방향 물류는 푸쉬(push) 시스템으로서 고객들로부터 시작하여 (수거센터의 기능을 병행하는) 유통센터들과 재생업체들을 거쳐 재생 부품으로 재생되어 공장들로 되돌아간다. 역방향 물류의 양은 각 고객의 수요량 및 폐제품 회수율에 의해 결정된다. 수거센터(유통센터)들, 재생업체들, 공장들 순으로 할당량이 정해진다.

공급업체는 새부품을, 재생업체는 재생부품만을 각각 공장에 공급한다. 새부품과 재생부품은 사용상의 차이가 없는 것으로 가



<그림 1> 공급사슬 형태

정한다. 각 공장들은 순방향 물류와 역방향 물류가 만나는 지점이 된다. 이로 인해 공급사슬의 폐쇄루프가 형성된다. 각 유통센터는 순방향 물류에 대해서는 유통센터로서의 기능을, 그리고 역방향 물류에 대해서는 수거센터로서의 기능을 수행한다. 따라서 각 유통센터의 저장능력은 이 두 기능에 의해 공유된다. 각 고객들의 폐제품 중 일정한 비율만이 수거센터(유통센터)들로 수거되며, 이것은 모두 재생업체들로 운송된다. 재생업체에서는 폐제품을 분류, 검사하여 그 중 일정한 비율의 양은 폐기하고, 나머지 양은 재생작업을 거쳐 공장들에 재생부품으로 공급한다.

본 문제에 대한 입력 데이터로는 공급사슬을 구성할 각 후보업체의 처리능력 및 수송비용 등의 정량적 데이터뿐만 아니라, 후보업체들에 대한 여러 전문가들의 정성적인 평가결과도 포함된다. 본 연구에서는 이러한 환경 하에서 첫째, 공장, 유통센터 및 재생업체별 후보업체들 중에서 실제로 운영될 대상들을 선택하고, 둘째, 순방향의 각 계층(공급업체-공장, 공장-유통센터, 유통센터-고객) 및 역방향의 각 계층(고객-유통센터, 유통센터-재생업체, 재생센터-공장)에서 각 공급지와 수요지사이의 수송량을 결정하고자 한다.

2.2 접근방법

첫 단계로서, 전문가들에 의해 생성되는 정성적 데이터를 계량화시키는 수단이 필요하다. 퍼지 AHP 기법의 사용을 고려할 수도 있으나, 이것은 공장, 유통업체 및 재생업체별로 후보업체들의 수가 많으면 모든 후보업체들간에 쌍비교를 수행하는 데 많은 시간과 불편함을 수반하는 문제점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 퍼지 집합 이론(fuzzy sets theory)을 적용하기로 한다. 퍼지 집합 이론을 적용함으로써, 먼저 각 평가기준들의 가중치(중요도)를 결정한다. 그리고 언어 스케일 $U=\{VL, L, ML, M, MH, H,$

VH)을 사용하여 각 후보업체의 경제적 가치 및 환경적 가치를 평가한다. 그 다음 이 언어변수 값을 그에 대응하는 퍼지수로 변환시키고, 최종적으로 각 업체별 가중치를 구한다.

다음 단계에서는 앞에서 구한 업체별 가중치와 함께 업체별 처리능력 및 업체간 수송비용 등을 입력 파라미터로 하는 수리모형을 정식화한다. 수리모형은 두 개의 목적함 즉, 총비용의 최소화를 추구하는 목적함수와 정성적 가치의 최대화를 추구하는 목적함수로 구성된다. 이 두 개의 목적함수는 정성적 가치의 정량적 가치에 대한 상대적 가중치를 이용해 하나의 목적함수로 결합된다.

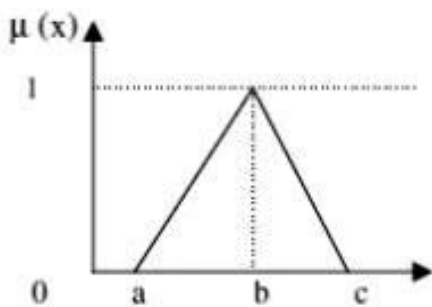
마지막 단계로서 모형에 대한 해법을 적용한다. 본 문제에는 여러 하위문제들이 상호의존적으로 결합되어 있는 바, 이 특성을 이용하기 위하여 본 모형에 대한 해법으로 CCEA를 채택해서 그 내용을 설계한다.

3. 퍼지 집합 이론의 적용

3.1 퍼지 집합 이론의 소개

퍼지라는 용어는 Zadeh(1965)에 의해 처음으로 제안되었다. 퍼지 집합 이론은 인간 측면들을 포함한 실세계의 복잡한 시스템들을 해결하기 위하여 기존의 너무 단순화된 모델보다 좀 더 강력하고 좀 더 유연한 모델을 개발하기 위해 도입되었다.(Lai & Hwang, 1995) 퍼지 집합 이론은 인간 생각의 불확실성을 극복하는 데도 도움이 된다.

퍼지수(fuzzy number)는 0과 1사이에서 하나의 수를 취하는 멤버십 함수로 표현될 수 있다. 그 중 삼각퍼지수(TFN)는 가장 중요한 유형에 속한다. 삼각퍼지수는 와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 은 중앙값, 는 좌측산포, 는 우측산포를 나타낸다. (<그림 2> 참조)



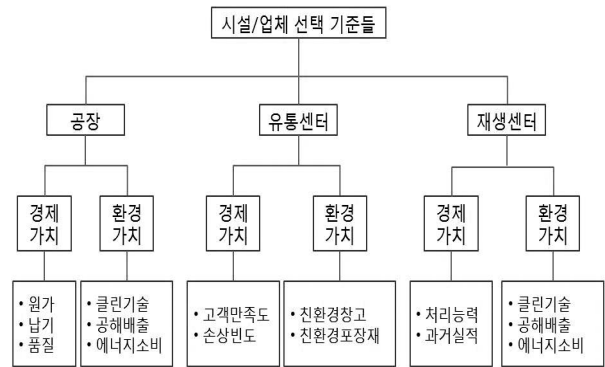
〈그림 2〉 삼각퍼지수

$X = (a, n, b)$ 와 가 주어졌을 때 $Y = (c, m, d)$ 가 주어졌을 때 $C = (a+c, n+m, b+d)$ 는 이 두 수의 합을 나타낸다. $D = (a-c, n-m, b-d)$ 는 이 두 수의 차를 나타낸다. $E = (a \times c, n \times m, b \times d)$ 는 이 두 수의 곱을 나타낸다.(Lai & Hwang, 1995)

3.2 퍼지 집합 이론의 평가에의 적용

전문가들의 평가에 의해 만들어진 정성적 데이터는 다음과 같이 6 단계로 구성된 퍼지 집합 이론의 적용과정을 거쳐 그에 상응하는 정량적 가중치로 변환될 수 있다.

단계 1: 각 후보업체에 적용할 평가 프레임워크를 정의한다. 본 연구의 예에서는 <그림 3>의 평가틀을 사용한다. 이 그림에서 공급사슬의 가치는 공장, 유통센터 및 재생업체라는 세 업체유형의 가치로 분해된다. 각 업체유형별 하나의 후보업체는 경제 가치와 환경 가치로 구성된다. 평가틀의 최하위 계층에는 각 업체유형별 경제가치 및 환경가치에 대한 구체적인 평가기준들이 나열되어 있다.

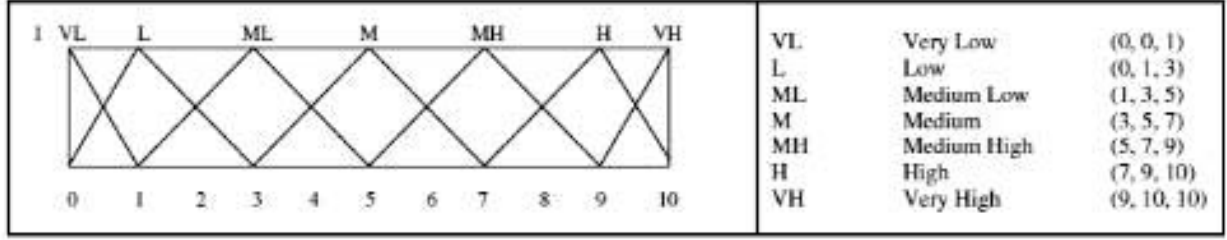


〈그림 3〉 평가틀

단계 2: 3-5명 정도의 전문가들로 평가그룹을 구성한다. 본 연구에서는 N명의 평가자, M개의 평가기준, 3개의 업체유형, 2개의 가치유형(경제가치, 환경가치)이 존재한다고 가정한다. 각 평가기준에 대한 평가결과는 언어 스케일 $U = \{L, ML, M, MH, H\}$, VH)을 사용하여 나타낸다. 본 연구에서는 <그림 4>의 언어 스케일을 사용한다. 언어 스케일 U의 언어변수는 이 그림의 오른쪽에서 그에 대응하는 삼각퍼지수로 계량화될 수 있다.

Ca_{xv} 는 전문가 N에 의해 평가된 업체유형 x의 가중치를 나타낸다고 정의하면, 업체유형 x의 가중치는 식(1)에 의해 결정된다.

$$Ca_x = \frac{Ca_{x1} + Ca_{x2} + \dots + Ca_{xN}}{N} \quad x = 1, 2, 3 \quad (1)$$



〈그림 4〉 언어 스케일 (Amin & Razni, 2009)

Ca_{yN} 는 전문가 N 에 의해 평가된 가치유형 y 의 가중치를 나타낸다고 정의하면, 가치유형 y 의 가중치 Ca_y 는 식(2)에 의해 정해진다.

$$Ca_y = \frac{Ca_{y1} + Ca_{y2} + \dots + Ca_{yN}}{N} \quad y = 1, 2 \quad (2)$$

단계 3: w_{xymN} 는 업체유형 x 의 가치유형 y 의 평가기준 m 에 대하여 전문가 N 에 의해 평가된 가중치를 나타낸다고 정의하면, 업체유형 x 의 가치영역 y 의 평가기준 m 의 가중치 w_{xym} 는 식(3)에 의해 구해진다.

$$\omega_{xym} = \frac{\omega_{xym1} + \omega_{xym2} + \dots + \omega_{xymN}}{N} \quad (3)$$

단계 4: $Fa_{xymN}(k)$ 는 후보업체 k 에 대하여 그 업체유형 x 의 가치유형 y 의 평가기준 m 에 대하여 전문가 N 에 의해 평가된 값을 나타낸다고 정의하면, 후보업체 k 의 업체유형 x 의 가치유형 y 의 평가기준 m 에 대한 평가치 $Fa_{xymN}(k)$ 는 식(4)에 의해 구해진다.

$$Fa_{xym}(k) = \frac{Fa_{xym1}(k) + \dots + Fa_{xymN}(k)}{N} \quad (4)$$

단계 5: 식(5)를 이용하여 후보업체 k 의 최종점수 a_k 를 구한다. a_k 는 삼각퍼지수이다.

$$a_k = \sum_{x=1}^3 \sum_{y=1}^2 \sum_{m=1}^M (Ca_x)(Ca_y)(\omega_{xym})(Fa_{xym}(k)) \quad (5)$$

단계 6: 식(6)을 이용하여 삼각퍼지수 $a_k=(a, n, b)$ 에 대응하는 비퍼지수를 구한다.(Chou & Chang, 2008)

$$be_k = \frac{a+n+b}{3} \quad (6)$$

그리고 식(7)로부터 후보업체 k 에 대하여 정규화된 가중치 t_k 를 구한다.

$$t_k = be_k / \sum_{k=1}^K be_k \quad (7)$$

4. 수리 모형

본 연구에서 제시한 공급사슬 네트워크 설계 문제를 다음과 같이 이 폐쇄루프 공급사슬 모델로 정식화할 수 있다.

인덱스:

i : 공급업체 ($i=1, 2, \dots, I$)

j : 공장 ($j=1, 2, \dots, J$)

k : 유통센터 ($k=1, 2, \dots, K$)

l : 고객 ($l=1, 2, \dots, L$)

m : 재생업체 ($m=1, 2, \dots, M$)

파라미터:

$\mu_{1,i}$: 정성적 가치로부터 도출된 공장 i 의 정규화된 평가치

$\mu_{2,k}$: 정성적 가치로부터 도출된 유통센터 k 의 정규화된 평가치

$\mu_{3,m}$: 정성적 가치로부터 도출된 재생업체 m 의 정규화된 평가치

pl_m : 재생업체 m 에서의 폐제품의 폐기비용

s_{ij} : 공급업체 i 로부터의 공장 j 에서의 부품단위당 운반비용

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

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

v_{km} : 유통센터 k 로부터 재생업체 m 으로의 폐제품단위당 운반비용

w_{mj} : 재생업체 m 으로부터 제조업체 j 로의 재생부품단위당 운반비용

Ru_{ik} : 고객 l 로부터 유통센터 k 로의 폐제품단위당 수거비용

f_j : 공장 j 의 운영비용(고정비)

g_k : 유통센터 k 의 운영비용(고정비)

h_m : 재생업체 m 의 운영비용(고정비)

ψ : 폐제품 단위당 처분비용(고정비)

결정변수:

x_{ij} : 공급업체 i 로부터 공장 j 로의 새부품 수송량

y_{jk} : 공장 j 로부터 유통센터 k 로의 제품 수송량

z_{kl} : 유통센터 k 로부터 고객 l 로의 제품 수송량

Rz_{ik} : 고객 l 로부터 유통센터 k 로의 폐제품 수송량

Ro_{km} : 유통센터 k 로부터 재생업체 m 으로의 폐제품 수송량

Rd_{km} : 재생업체 m 으로부터 공장 j 로의 재생부품 수송량
 α_j : 0-1 변수(공장 j 의 가동여부; 가동시 1의 값을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 취함)
 β_k : 0-1 변수(유통센터 k 의 개설여부)
 γ_m : 0-1 변수(재생업체 m 의 개설여부)

목적함수는 다음과 같이 2개로 구성된다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z_1 = & \sum_i \sum_j s_{ij} x_{ij} + \sum_j \sum_k t_{jk} y_{jk} \\ & + \sum_k \sum_l u_{kl} z_{kl} + \sum_l \sum_k Ru_{lk} Rz_{lk} \\ & + \sum_k \sum_m v_{km} Ro_{km} + \sum_m \sum_j w_{mj} Rd_{mj} + \sum_j f_j \alpha_j \\ & + \sum_k g_k \beta_k + \sum_m h_m \gamma_m + \psi \sum_m p_l \sum_k o_{km} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{Maximize } Z_2 = \sum_j \alpha_j \mu_{1,j} + \sum_k \beta_k \mu_{2,k} + \sum_m \gamma_m \mu_{3,m} \quad (9)$$

목적함수 Z_1 은 총비용(공급사들 각 단계별 부품, 제품 및 폐제품의 수송비용 + 업체들의 개설비용)의 최소화를 추구한다. 목적함수 Z_2 는 개설되는 업체들의 가치(경제적 가치+환경적 가치)의 최대화를 추구한다.

비용 단위에 대한 가치 단위의 상대적 비중을 λ 로 정의할 때, λ 값은 앞에서 소개한 퍼지 집합 이론이나 퍼지 AHP를 통해 정해질 수 있다. 하나의 λ 값이 주어지면, 이를 이용하여 두 목적함수 Z_1 과 Z_2 를 식(10)과 같이 하나의 목적함수로 결합할 수 있다.

$$\text{Minimize } Z = Z_1 - \lambda Z_2 \quad (10)$$

이 모형의 제약조건의 기본적인 내용은 다음과 같다. 구체적인 제약조건식은 한용호(2013)를 참조할 수 있다.

- 순방향 물류에서 공급업체와 공장의 공급능력의 제약
- 순방향 물류와 역방향 물류에서 유통센터 능력의 공유에 관한 제약
- 유통센터 능력 중 역방향 물류에 대한 할당분의 제약
- 각 유통센터의 공급량은 고객수요를 충족시켜야 한다.
- 재생업체로의 수송량의 합은 재생업체의 능력을 초과할 수 없다.
- 가동될 공장, 유통센터, 재생업체 수는 주어진 상한을 초과할 수 없다.
- 각 공장으로부터의 부품의 유입량은 그 공장으로부터의 제품의 유출량과 같아야 한다.
- 각 유통센터로의 제품의 유입량은 그 유통센터로부터의 유

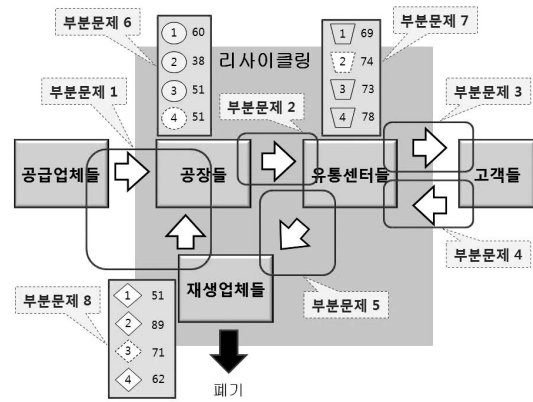
출량과 같아야 한다.

- 고객별 제품 수요량과 그 고객으로부터의 폐제품 수거량 사이의 관계에 대한 제약
- 각 유통센터로의 유입량은 그 유통센터로부터의 유출량과 같아야 한다.
- 각 재생업체로의 유입량은 그 재생업체로부터의 유출량과 같아야 한다.
- 공장들간 이용을 편차는 주어진 상한을 초과할 수 없다.

이 문제는 NP-hard로 알려져 있다(Wang & Hsu, 2010). 따라서 최적해 대신 우수한 근사해를 구할 수 있는 효율적인 알고리즘을 필요로 한다.

5. CCEA의 설계

본 문제에 대한 CCEA의 설계는 한용호(2013)의 방법을 채택해 사용하기로 한다. 그 주요 내용을 다음과 같이 단계별로 소개한다.



〈그림 5〉 부분문제들로의 분할

5.1 부분문제들로의 분할

본 문제를 〈그림 5〉와 같이 모두 8개의 부분문제들로 분할한다. 이 그림에서 부분문제 1, 2, 3은 순방향 물류를 대상으로 한다. 부분문제 1은 공급업체(재생업체 포함)-공장간, 부분문제 2는 공장-유통센터간, 그리고 부분문제 3은 유통센터-고객간 수송량 할당문제이다. 부분문제 4와 5는 역방향 물류를 대상으로 한다. 부분문제 4는 고객-유통센터간, 그리고 부분문제 5는 유통센터-재생업체간 수송량 할당문제이다. 부분문제 6, 7, 8은 후보업체

들 가운데 주어진 상한 안에서 가동될 공장, 유통센터 및 재생업체를 각각 결정하는 문제이다.

5.2 집단별 염색체의 표현 및 해석

각 집단별 염색체의 표현방법을 정해야 한다. 먼저, 집단 1-5의 각 염색체의 유전인자들은 하나의 정수 순열로써 표현한다. <그림 6>에서 집단 1의 염색체는 공급업체 1, 2, 3과, 4개의 재생업체 후보업체군 중에서 선택된 재생업체 1, 2, 3이 합쳐져서 공급지 집합을 구성하고, 4개의 공장 후보군 중에서 선택된 공장 1, 3, 4가 수요지 집합을 구성하는 수송문제에 대응한다. 한 염색체 내 유전인자의 수는 공급지의 수와 수요지의 수의 합인 9개이다. 유전인자들의 값은 1부터 9까지의 정수로부터 얻어지는 하나의 순열 (3, 8, 2, 7, 6, 9, 5, 1, 4)로부터 얻어진다. 집단 2-5들도 이와 같은 방법으로 그 염색체들을 표현한다. 집단 1-5의 각 염색체 값에 Gen *et al.* (2006)의 알고리즘을 적용함으로써 그 염색체에 대응하는 근사해(즉, 각 공급지와 수요지간 수송량)를 구할 수 있다.



〈그림 6〉 염색체의 표현

다음으로, 집단 6, 7, 8의 각 염색체의 유전인자들의 값도 하나의 정수 순열로써 표현한다. 하나의 염색체는 그것에 대응하는 업체유형(공장, 유통센터, 또는 재생업체)의 후보업체의 수만큼의 유전인자들로 구성된다. 예를 들어, <그림 6>의 집단 6에서 가능한 공장의 수는 4이다. 1부터 4까지 정수의 하나의 순열인 (1, 3, 4, 2)가 유전인자들의 값들로 지정되었다. 이와 동일한 방법으로 집단 7과 8의 염색체들도 표현할 수 있다.

집단 6의 경우 하나의 염색체 값이 주어졌을 때 이에 대응하는 부분해를 구하는 방법은 매우 간단하다. 선택할 공장 수의 상한은 3이며, 하나의 염색체 (1, 3, 4, 2)는 4개의 유전인자 값(allele)으로 구성되어 있다. 이 유전인자 중 좌측으로부터 상한에 해당하는 3개의 유전인자 값에 대응하는 공장(즉, 공장 1, 3, 4)만을 선택하고, 그 오른쪽에 있는 나머지 유전인자의 값에 대응하는 공장(공

장 2)은 선택되지 않음을 의미한다. 이와 동일한 방법으로 부분문제 7과 8의 염색체도 해석할 수 있다.

5.3 부분문제들의 결합

각 부분문제는 자신의 출력정보를 다른 부분문제에 대한 입력정보로 제공하기도 하고, 다른 부분문제에서의 출력정보를 자신의 입력정보로 사용하기도 한다. 이러한 부분문제들간의 의존성을 고려하여 부분문제 7-3-6-2-4-8-5-1의 순서로 부분문제의 부분해를 구하고 이것들을 결합함으로써 주어진 문제에 대한 해를 구한다.

5.4 유전 연산의 적용

8개 집단의 염색체는 모두 정수의 순열 형태로 표현되는 바 모든 집단에 동일한 연산을 적용한다. 선택 연산으로는 엘리티스트(elitist) 전략을 수반한 이진 토너먼트 선택 연산을, 교배 연산으로는 OX(order crossover) 연산을, 돌연변이 연산으로는 swap 연산을 적용한다.

5.5 적합도 함수의 정의

적합도 함수는 주어진 염색체의 바람직한 정도를 측정한다. 수리모형의 목적함수 식(10)을 기본적인 적합도 함수로 사용한다. 이제까지 설계한 염색체의 표현 및 해석 방법으로 인해, 공장들간 이용을 편차는 주어진 상한을 초과할 수 없다는 제약조건을 제외하고, 나머지 제약조건들은 모두 충족된다. 이 마지막 제약조건을 충족시키기 위하여 Goldberg(1989)의 penalty 방법을 사용하여 적합도 함수 Z^* 를 다음과 같이 정의한다. (한용호 2013)

$$Z^* = Z - M \cdot \max \left(\sqrt{\sum_j \left(\sum_k y_{jk} / b_j - \sum_k y_{jk} / \sum_j b_j \right)^2} - C_p, 0 \right)$$

여기서 Z 는 수리모형에서의 목적함수 식(10)을, 그리고 M 은 임의의 매우 큰 수를 나타낸다. 이 제약조건을 만족하지 못하는 해는 목적함수 값이 불리하게 설정되어 세대변천시 도태된다.

5.6 집단별 염색체의 적합도 평가

세대변천이 이루어짐에 따라 각 집단들의 염색체들의 조합을 통해 해를 개선시켜 나가는 메커니즘을 필요로 한다. 이를 위해 먼저 하나의 평가대상 집단을 정하고 이 집단내 각 염색체에 대하여 이 염색체를 나머지 집단들의 각 협력자들과 결합시킴으로써 이 염색체의 적합도를 구한다. 그 중 가장 높은 적합도 값을 지닌

염색체를 그 집단을 대표하는 협력자로 지정한다. 이와 동일한 절차를 다른 모든 집단에도 round-robin 방식으로 적용한다.

표 1. 이용가능한 업체의 수 및 선택 상한

공급업체	공장		유통센터		재생업체		고객
전체	전체	상한	전체	상한	전체	상한	전체
6	4	3	8	4	8	4	15

6. 적용 예

6.1 공급사슬 후보업체 및 선택 상한

이제 지금까지 설명한 퍼지 집합 이론과 CCEA를 결합한 해법의 적용 예를 소개한다. <표 1>은 공급사슬의 구성에 이용 가능한 각 업체유형별(공급업체, 공장, 유통센터 및 재생업체) 후보업체의 전체 수와 선택될 업체 수의 상한을 나타낸다. 이 표에서 공급업체는 모두 6개 업체로 모두 이용한다. 공장의 후보군은 4개이며, 그 중 3개까지만 공급사슬에 포함될 수 있다. 유통센터 및 재생업체는 각각 4개까지 포함될 수 있다. 고객은 모두 15개군으로 주어진다.

6.2 후보업체들의 정성적 평가

평가그룹은 3명의 전문가들(DM1, DM2, DM3)로 구성되며 각 전문가는 정성적 기준에 따라 후보업체들을 평가한다. 이 평가결과는 3.2절의 퍼지 집합 이론에 따라 다음의 정량화 과정을 거친다.

단계 1: 각 후보업체에 적용할 평가기준으로 <그림 3>의 평가틀을 사용한다.

단계 2: 각 전문가는 <그림 4>의 언어 스케일을 사용하여 업체 유형 및 가치유형의 가중치를 각각 평가한다. <표 2>는 업체유형별 가중치에 대한 평가결과에 식(1)을 적용하여 업체유형별 가중치를 삼각퍼지수 형태로 나타낸 것이다. <표 3>은 가치유형별 가중치에 대한 평가결과에 식(2)를 적용하여 가치유형별 가중치를 삼각퍼지수 형태로 나타낸 것이다. <표 3>의 경제가치와 환경가치의 가중치는 공장, 유통센터 및 재생업체의 업체유형에 모두 동일하게 적용된다고 가정한다.

단계 3: 언어 스케일과 식(3)을 적용하여 각 업체유형의 각 가치유형 내 각 기준들의 가중치를 산출한다. 그 중 '공장'의 경제가치와 환경가치의 모든 평가기준들의 가중치를 <표 4>에 나타내었다.

단계 4: 식(4)를 적용하여 각 업체유형의 각 가치유형의 모든 평가기준들에 대하여 그 평가치를 구한다. 그 중 '공장 1'에 대한

표 2. 업체유형별 평가

카테고리 1	DM1	DM2	DM3	TFN1	TFN2	TFN3	가중치
공장	L	M	ML	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1.3, 3, 5)
유통센터	M	MH	MH	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(4.3, 6.3, 8.3)
재생업체	VH	H	VH	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(8.3, 9.7, 10)

표 3. 가치유형별 평가

카테고리 2	DM1	DM2	DM3	TFN1	TFN2	TFN3	가중치
경제가치	VH	VH	VH	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
환경가치	H	H	MH	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(6.3, 8.3, 9.7)

표 4. '공장'에 대한 평가기준별 가중치

	평가기준	DM1	DM2	DM3	TFN1	TFN2	TFN3	가중치
경제가치	원가	VH	VH	VH	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	납기	H	VH	VH	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(8.3, 9.7, 10)
	품질	VH	VH	VH	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
환경가치	클린기술	VH	MH	MH	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(6.3, 8, 9.3)
	공해배출	H	H	H	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
	에너지소비	H	H	MH	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(6.3, 8.3, 9.7)

경제가치 및 환경 가치의 모든 평가기준들의 평가치를 <표 5>에 나타내었다.

단계 5: 식(5)를 적용하여 각 후보업체의 '최종점수'에 대한 삼각퍼지수를 구한다. <표 6>은 '공장 1'에 대한 최종점수의 삼각퍼지수를 나타낸 것이다.

단계 6: 각 후보업체별로 식(6)을 적용하여 삼각퍼지수에 대응하는 비퍼지수를 구한 후, 식(7)을 적용하여 정규화된 가중치를 구한다. <표 7>은 그 결과를 나타낸 것이다. 이 표의 값들은 수리 모형에서 입력 파라미터의 값으로 사용된다.

6.3 CCEA의 실행 및 결과

CCEA는 비주얼 C++ 언어를 사용하여 객체지향 방식으로 구현되었다. CCEA에서 사용될 입력 데이터는 <표 8>과 같다. 각 계층별 공급지와 수요지 사이의 수송비용들의 값은 (1, 20)의 균등분포로부터, 그리고 각 수요지의 수요량의 값은 (5, 60) 사이의

균등분포로부터 표본을 취하여 정하였다. 각 업체들의 능력의 값은 모형의 제약조건을 감안하여 적절한 평균값을 지니는 균등분포로부터 생성하였다.

CCEA의 실행과 관련된 파라미터들의 값은 <표 9>와 같이 정하였다. C_p 값은 테스트 문제를 대상으로 예비로 CCEA를 실행한 후, 그 결과를 바탕으로 공장간 가동율의 표준편차에 관한 제약조건을 다소 어렵게 충족될 수 있는 수준인 0.4로 설정하였다. CCEA안에서 8개 집단별 염색체 수는 소속 염색체가 취할 수 있는 값의 다양성에 따라 50 또는 100으로 설정하였다. 돌연변이 비율은 0.1로 설정하였다. 목적함수에서의 정량적 비용에 대한 정성적 가치의 비 즉, λ 값은 10,000으로 설정하였다.

CCEA의 실행결과 생성된 가장 좋은 근사해를 <그림 7>과 같이 나타내었다. 이 해에 따르면 후보업체들 중에서 공장 1, 3, 4, 유통업체 3, 4, 5, 7 및 재생업체 1, 2, 8이 공급사슬에 참여하는 업체로 선택되었다. 각 계층별 공급지와 수요지 사이의 연결선 상에 표시된 수(수송량)에 따라 각 업체의 소요용량도 결정된다. 재

표 5. '공장 1'에 대한 평가기준별 평가치

	평가기준	DM1	DM2	DM3	TFN1	TFN2	TFN3	평가치
경제 가치	원가	VH	VH	VH	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	납기	VH	H	VH	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(8.3, 9.7, 10)
	품질	H	VH	VH	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(8.3, 9.7, 10)
환경 가치	클린기술	VH	ML	MH	(9, 10, 10)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(5, 6.7, 8)
	공해배출	VH	H	MH	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(7, 8.7, 9.7)
	에너지소비	H	H	M	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(5.7, 7.7, 9)

표 6. '공장 1'에 대한 최종점수

	평가기준	카테고리 1 가중치	카테고리 2 가중치	평가기준 가중치	평가기준 평가치	최종점수
경제 가치	원가	(1.3, 3, 5)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(972, 3000, 5000)
	납기	(1.3, 3, 5)	(9, 10, 10)	(8.3, 9.7, 10)	(8.3, 9.7, 10)	(833, 2803, 5000)
	품질	(1.3, 3, 5)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(8.3, 9.7, 10)	(900, 2900, 5000)
환경 가치	클린기술	(1.3, 3, 5)	(6.3, 8.3, 9.7)	(6.3, 8, 9.3)	(5, 6.7, 8)	(267, 1333, 3609)
	공해배출	(1.3, 3, 5)	(6.3, 8.3, 9.7)	(7, 9, 10)	(7, 8.7, 9.7)	(414, 1950, 4672)
	에너지소비	(1.3, 3, 5)	(6.3, 8.3, 9.7)	(6.3, 8.3, 9.7)	(5.7, 7.7, 9)	(303, 1597, 4205)

표 7. 후보업체별 가중치

		1	2	3	4	5	6	7	8
공장 ($\mu_{1,i}$)	점수	14920	11952	11136	14734	—	—	—	—
	가중치	0.049	0.040	0.037	0.049	—	—	—	—
유통센터 ($\mu_{2,i}$)	점수	20006	17299	20114	13626	18579	13751	18579	14030
	가중치	0.066	0.057	0.067	0.045	0.062	0.046	0.062	0.047
재생업체 ($\mu_{3,m}$)	점수	12330	16803	11098	17272	9709	16739	11845	16908
	가중치	0.041	0.056	0.037	0.057	0.032	0.056	0.039	0.056

표 8. 공급사슬 관련 입력 데이터

가동비용 (고정비)	공장 유통센터 재생업체	{990, 960, 880, 740}; {500, 670, 790, 610, 680, 610, 970, 680}; {710, 600, 700, 990, 640, 810, 610, 750};
업체별 능력	공급업체	{69, 60, 100, 98, 91, 86};
	공장	{240, 324, 360, 264};
	유통센터	{280, 380, 360, 380, 272, 292, 264, 308};
	재생업체	{210, 222, 210, 255, 228, 267, 228, 258};
	고객 수요	{47, 12, 45, 7, 47, 57, 42, 58, 42, 43, 42, 35, 9, 30, 35};
단위당 구입비	계층 1: (공급업체-공장 간)	{{13, 12, 12, 12}, {17, 3, 9, 6}, {11, 6, 10, 4}, {18, 16, 10, 5}, {14, 6, 20, 20}, {13, 14, 1, 12}};
단위당 구입비	계층 1: (재생업체-공장 간)	{{3, 2, 2, 2}, {1, 2, 2, 2}, {3, 1, 2, 1}, {2, 2, 2, 2}, {3, 2, 1, 1}, {3, 1, 2, 2}, {1, 2, 2, 2}, {3, 2, 2, 2}};
단위당 운송비	계층 2: (공장-유통업체 간)	{{15, 15, 1, 1, 5, 20, 3, 8}, {20, 12, 4, 7, 9, 9, 12, 13}, {15, 14, 13, 15, 10, 10, 4, 5}, {10, 11, 4, 10, 16, 18, 2, 12}};
단위당 운송비	계층 3: (유통센터-고객 간)	{{12, 12, 10, 19, 8, 17, 6, 18, 3, 8, 11, 13, 10, 20, 2}, {7, 20, 3, 10, 17, 19, 13, 8, 13, 4, 4, 12, 16, 1, 7}, {4, 8, 20, 5, 8, 14, 14, 1, 17, 19, 7, 18, 15, 20, 20}, {2, 6, 9, 4, 8, 15, 1, 17, 4, 12, 12, 18, 15, 3, 12}, {5, 9, 2, 7, 1, 17, 4, 12, 2, 3, 9, 6, 4, 20, 12}, {8, 2, 16, 16, 20, 3, 15, 17, 13, 12, 3, 19, 10, 19, 16}, {15, 3, 17, 15, 15, 8, 1, 17, 14, 10, 1, 8, 12, 20, 1}, {11, 5, 3, 16, 1, 20, 13, 19, 15, 8, 18, 9, 3, 6, 20}};
단위당 운송비	계층 5: (유통센터-재생업체 간)	{{8, 7, 7, 4, 9, 2, 5, 4}, {14, 17, 7, 5, 3, 2, 16, 4}, {14, 3, 13, 13, 3, 9, 8, 10}, {6, 11, 13, 3, 5, 17, 9, 2}, {11, 4, 13, 15, 10, 13, 19, 6}, {18, 9, 6, 16, 1, 7, 9, 9}, {1, 18, 12, 7, 10, 9, 12, 5}, {4, 13, 11, 13, 8, 16, 18, 4}};
폐제품의 수거비용(pc_i)		0.4
폐제품의 폐기비용(pl_m)		0.2

생부품의 경우 새 부품에 비해 단위당 비용이 상대적으로 낮기 때문에 3개 재생업체(1, 2, 8)에서 재생된 부품들이 모두 3개 공장들로 투입되는 것을 볼 수 있다. <표 7>에서 유통센터들 가운데 정성적 가치가 가장 높은 유통센터 3이 가동될 업체로 선택되었음을 알 수 있다.

4개 유통센터들로부터 15개 고객군으로 제품의 순물류가 이루어진 후, 고객들로부터 유통센터들로의 폐제품의 역물류에서 14개 고객들은 제품을 조달받은 원래의 유통센터로 폐제품을 보내는 반면, 1개 고객(9번 노드)의 폐제품은 유통센터의 수용능력의 한계로 인해 (접선으로 연결된) 다른 유통센터(5번 노드)로 회수되어야 함을 보여준다.

표 9. CCEA 실행 관련 파라미터

파라미터	값
C_p	0.4
집단별 크기	100(집단 1-5), 50(집단 6-8)
최대생성세대 수	200
돌연변이 비율	0.1
λ	10,000

6.4 λ 값의 민감도 분석

식(10)에서 λ 값은 목적함수에서 정량적 가치와 정성적 가치 사이의 상대적 중요도를 나타낸다. λ 값이 변함에 따라 총비용을 나타내는 목적함수의 값이 어떻게 변하는지를 파악하기 위하여 민감도 분석을 수행한다. λ 값이 0에서부터 100,000까지 증가함에

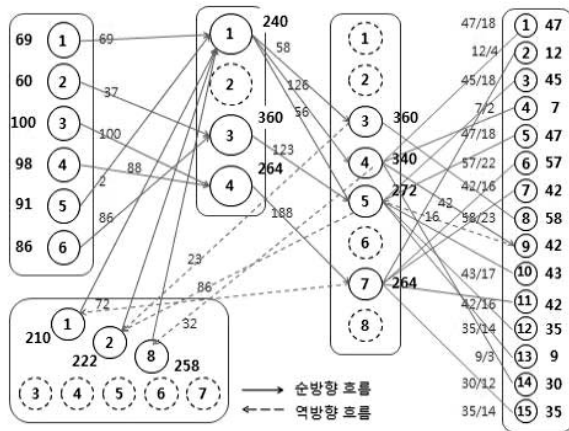


그림 7. 생성된 근사해

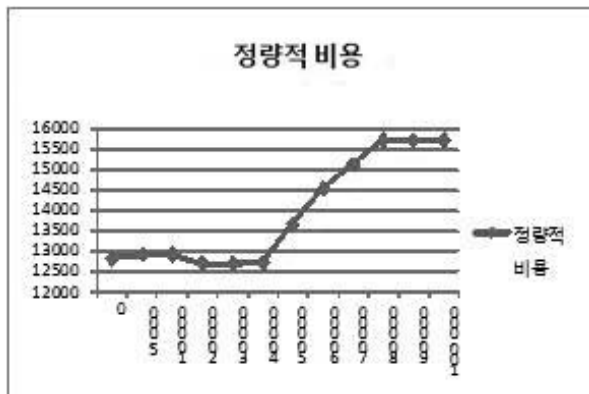


그림 8. 값의 변화에 따른 총비용

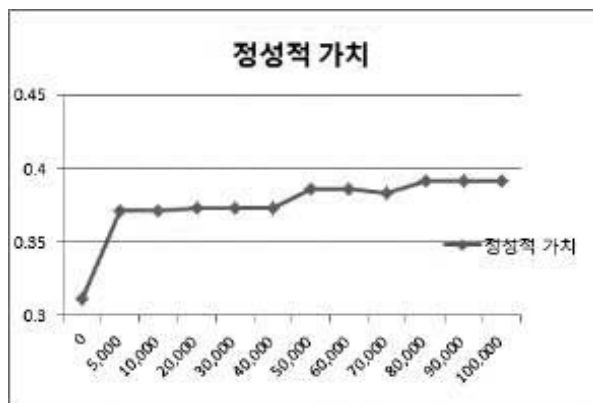


그림 9. λ값의 변화에 따른 정성적 가치

따라 이에 대응하는 총비용을 나타내는 식(10)의 값을 <그림 8>에 나타내었다. 이 그림에서 λ값이 40,000이 될 때까지는 총비용의 변화는 크지 않다. 즉 값이 이 범위에 있는 경우 환경가치가 목적

함수에 반영되더라도 총비용의 증가가 크지 않다는 것을 의미한다. 또한, 환경가치를 포함한 정성적 가치는 정량적 가치에 비해 그 비중이 훨씬 낮음을 알 수 있다. λ값이 50,000부터 80,000 사이로 증가할 경우 총비용이 13,657에서 15,723까지 급속히 증가한다. 즉, 이 범위의 λ값의 변화에 대하여 정량적 가치와 정성적 가치의 상대적 비중은 민감해진다. λ값이 80,000을 초과하면 총비용은 하나의 값 15,723으로 수렴하는 현상을 보인다.

식(10)의 목적함수의 일부인 Z_2 즉, 식(9)의 목적함수는 정성적 가치를 의미한다. λ값이 변화에 따라 식(10)의 목적함수 중에서 특별히 Z_2 값은 어떻게 변하는지를 <그림 9>에 나타내었다. λ값이 0 일 때(즉, 정성적 가치를 전혀 고려하지 않을 때) Z_2 값은 0.311이다. λ값이 5,000에서부터 100,000까지 증가함에 따라 Z_2 값은 점차 증가하다가 λ값이 80,000 일 때부터 Z_2 값은 0.392로 수렴하는 현상을 보인다. λ값이 충분히 커지면 목적함수 (10)은 목적함수 (9)와 같은 해를 추구한다는 것을 의미한다. 따라서 정성적 가치가 비용에 비해 상대적 가치가 매우 높은 경우 구현된 공급사슬내 정성적 가치는 계속 증가하는 것이 아니라 일정한 상한에 수렴한다는 사실을 알 수 있다.

7. 결론

본 연구에서는 공장, 유통업체 및 재생업체라는 업체유형별 후보업체들로부터 공급사슬에 포함될 업체들을 선택하고, 또한 순방향 및 역방향의 각 계층에서 공급지들과 수요지들사이의 수송량을 결정해야하는 공급사슬 네트워크 설계 문제에 대하여 정량적 목표뿐만 아니라 정성적 가치도 반영해야 하는 문제를 제시하였다. 그리고 이 문제의 해를 구하기 위하여 퍼지 집합 이론과 CCEA의 결합을 통한 해법을 제안하고 구체적인 적용 예를 소개하였다.

먼저, 이용가능한 각 업체유형(공장, 유통센터, 재생업체)에 대하여 전문가들은 언어변수를 사용하여 그 경제가치 및 환경가치를 정성적으로 평가한다. 이 정성적 데이터를 수리 모형의 입력파라미터로 사용하기 위하여 이 정성적 데이터에 퍼지 집합 이론을 적용하여 계량화된 값으로 변환시켰다. 그리고 본 문제의 수리모형을 정식화하였다. 목적함수는 정량적 비용의 최소화과 정성적 가치의 최대화를 각각 추구하는 2개의 목적함수로 구성하였다. 비용에 대한 정성적 가치의 상대적 중요도(를 이용하여 두 목적함수를 하나의 목적함수로 결합하였다. 이 수리모형은 그 속에 상호 연관된 여러 작은 문제들을 포함하고 있는 특성을 지니고 있는 바, 이 특성을 이용하기 위하여 CCEA를 본 수리모형의 해법으로 채택하였다.

CCEA를 적용하기 위하여 본 문제를 8개의 부분문제들로 분할하였다. 각 부분문제별로 염색체 집단을 형성하고 염색체의 표현 방법 및 염색체로부터 그에 대응하는 부분해의 생성방법을 설계하였다. 각 세대마다 하나의 평가대상 집단에 대하여 각 염색체를 나머지 집단들로부터의 협력자들과 결합시킴으로써 그 염색체의 적합도를 구하였다. 이러한 절차를 나머지 각 집단에 round-robin 방식으로 적용하였다. 그리고 각 염색체 집단에 적절한 유전연산을 적용하였다. 이렇게 설계된 해법을 하나의 예를 통하여 그 구체적 적용방법을 소개하였다. 또한 의 민감도 분석을 실시하여 값의 변화에 따른 총비용 및 정성적 가치의 변화 행태도 분석하였다.

본 연구대상의 공급사슬은 하나의 제품을 그 대상으로 하며, 그 제품은 또한 단일 부품으로 구성되었다고 가정하였다. 그리고 새부품과 재생부품은 그 사이에 아무런 성능차이가 없는 것으로 가정하였다. 이와 같이 단순화된 가정들을 현실적으로 완화시킨 상황에서 본 연구에서 제시하는 해법을 확대 적용하는 연구를 고려해 볼 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 한용호(2009), “2단계 수송문제에 대한 협력적 공진화 알고리즘 기반의 혁신적 해법”, *산업혁신연구*, 제25권, 4호, 경성대학교 산업개발연구소, pp.227-251.
- [2] 한용호(2010), “역물류 네트워크 모델의 최적화를 위한 협력적 공진화 알고리즘”, *경영과학*, 27권, 3호, pp.15-31.
- [3] 한용호(2011), “협력적 공진화 알고리즘에 기반한 다단계 공급사슬 네트워크의 설계”, *한국 SCM 학회지*, 제11권 제2호, pp.87-96.
- [4] 한용호(2012a), “순열 표현 기반의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 다단계 공급사슬 네트워크의 설계”, *경영과학*, 제29권 제2호, pp.1-14.
- [5] 한용호(2012b), “5개 집단의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 다단계 공급사슬 네트워크 설계”, *한국 SCM 학회지*, 제12권, 2호, pp.1-10.
- [6] 한용호(2013), “다중 집단 기반의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계”, *한국 SCM 학회지*, 제13권, 1호, pp.55-66.
- [7] Amin, S. H. and Zhang, G.(2012), “An Integrated Model for Closed-Loop Supply Chain Configuration and Supplier Selection: Multi-Objective Approach,” *Expert Systems with Applications*, 39(8), pp.6782-6791.
- [8] Amin, S. H. and Razmi, J.(2009), “An Integrated Fuzzy Model for Supplier Management: A Case Study of ISP Selection and Evaluation,” *Expert Systems with Applications*, 36(4), pp.8639-8648.
- [9] Bottani, E. and Rizzi, A.(2006), “A Fuzzy TOPSIS Methodology to Support Outsourcing Logistics Services,” *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(4), pp.294-308.
- [10] Chan, F. T. S. and Kumar, N.(2007), “Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-Based Approach,” *Omega*, 35(4), pp.417-431.
- [11] Chou, S. Y. & Chang, Y. H. (2008), “A Decision Support System for Supplier Selection Based on a Strategy-Aligned Fuzzy SMART Approach,” *Expert Systems with Applications*, 34(4), pp.2241-2253.
- [12] Gen, M., Altıparmak, F., and Lin, L.(2006), “A Genetic Algorithm for Two-Stage Transportation Problem Using Priority-Based Encoding”, *OR Spectrum*, Vol. 28, pp.337-354.
- [13] Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C.(1998), “A Decision Support System for Supplier Selection Using an Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming,” *International Journal of Production Economics*, pp.56-57.
- [14] Goldberg, David E.(1989), *Genetic Algorithm: in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison Wesley.
- [15] Kannan, G., Noorul Haq, A. and Devika, M.(2009), “Analysis of Closed Loop Supply Chain Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimisation”, *International Journal of Production Research*, 47, pp.1175-1200.
- [16] Kannan, G., Sasikumar, P. and Devika, M.(2010), “A Genetic Algorithm Approach for Solving a Closed Loop Supply Chain Model: A Case of Battery Recycling”, *Applied Mathematical Modelling*, 34, pp.655-670.
- [17] Ko, H. J. and Evans, G. W.(2007), “A Genetic Algorithm-based Heuristics for the Dynamic Integrated Forward/Reverse Logistics Network for

- 3PLs”, *Computers & Operations Research*, 34, pp.346-366.
- [18] Lai, Y. J. & Hwang, C. L.(1995), *Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag Inc..
- [19] Lee, D. H. and Dong, M.(2008), “A Heuristic Approach to Logistics Network Design for End-of-Lease Computer Products Recovery”, *Transportation Research Part E*, 44, pp.455-474.
- [20] Lu, Z. and Bostel, N.(2007), “A Facility Location Model for Logistics Systems Including Reverse Flows: The Case of Remanufacturing Activities”, *Computers & Operations Research*, 34, pp.299-323.
- [21] Sim, E., J., S., Kim, H. and Park, J.(2004), “A Generic Network Design For a Closed-Loop Supply Chain Using Genetic Algorithm, In: Genetic and Evolutionary Computation - GECCO 2004, Springer, Berlin, pp.1214-1225.
- [22] Üster, H., Easwaran, G., Akcali, E. and Cetinkaya, S.(2007), “Benders Decomposition with Alternative Multiple Cuts for a Multi-Product Closed-Loop Supply Chain Network Design Model”, *Naval Research Logistics*, 54, pp.890-907.
- [23] Wang, J. W., Cheng, C. H. and Huang, K. C.(2009), “Fuzzy Hierarchical TOPSIS for Supplier Selection,” *Applied Soft Computing Journal*, 9(1), pp.377-386.
- [24] Wang, H. F. and Hsu, H. W.(2010), “A Closed-Loop Logistics Model with a Spanning-Tree Based Genetic Algorithm”, *Computers & Operations Research*, 37, pp.376-389.
- [25] Zadeh, L. A.(1965), “Fuzzy Sets,” *Information and Control*, 8(1), pp.338-353.
- [26] Zhou, Q., Sarkis, J., and Geng, Y.(2005), “Green Supply Chain Management in China: Pressures, Practices and Performance”, *International Journal of Operations & Production Management*, 25, pp.449-468.



한용호

서울대학교 산업공학과 학사

KAIST 산업공학과 석사

KAIST 산업공학과 박사

현재: 부산외국어대학교 e-비즈니스학과 교수

관심분야: 협력적 공진화 알고리즘, 공급
사슬관리(SCM), 비즈니스 프로
세스 관리(BPM)

집중형 및 분산형 지역에서의 역물류 네트워크 비교 분석 : 유전알고리즘 접근법*

윤영수[†]

조선대학교 경상대학 경영학부

Comparison of Reverse Logistics Networks in Centralized and Decentralized Areas: Genetic Algorithm Approach

YoungSu Yun[†]

Division of Business Administration, Chosun University

In this paper, we propose two types of reverse logistics (RL) networks: reverse logistics network in centralized area (RLC) and reverse logistics network in decentralized area (RLD). For the RLC, the used products taken from all customers are sent to one of the centralized integration centers, which performs the functions of collection center, recovery center, and redistribution center simultaneously, after treating them in it, they are all sent to one of the centralized secondary markets. For the RLD, the used products taken from all customers are sent to the regionally decentralized integration centers, and after treating them in each integration center, they are sent to regionally decentralized secondary markets. The mathematical models for effectively representing the RLC and RLD are proposed and they are solved in a genetic algorithm approach. In numerical experiment, two types of RL networks are presented for comparing the performances of the RLC and RLD using various measures of performance. Finally, we can conclude that the RLC significantly outperforms the RLD.

Keywords: Reverse logistics network, centralized area, decentralized area, genetic algorithm

1. Introduction

In general, supply chain management can be presented by two ways of flow. First flow is a forward logistics network

which is consists of various components such as raw material supply firms, manufacturing firms, distribution centers, wholesaler, retailers and customers. On the other hand, the second flow is called as a reverse (or backward) logistics network which considers collection centers, recovery centers

* This study was supported by research fund from Chosun University, 2013

[†] **Corresponding author:** Division of Business Administration, Chosun University, 375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju 501-759, South Korea,
Tel: 82-62-230-6243, FAX : 82-62-226-9664, E-mail: ysyun@chosun.ac.kr

2014년 1월 3일 투고, 2014년 2월 3일 게재 확정.

(or remanufacturing center), redistribution centers, first and secondary markets after collecting the used products from customers. Of the two flows, reverse logistics (RL) network have recently focused on many researchers since increasing interests on exhaustion of resources and environmental regulation have caused the effective treatment of used products (Min et al. 2006; Kim et al. 2007; Tuzkaya and Gulsun 2008; REVLOG 2008; Lee et al. 2009). The RL network is usually consists of customers, collection centers, recovery centers, redistribution centers, first and secondary markets.

The European working group on reverse logistics defined the RL network as “the propose of planning, implementing and controlling flows of raw materials, in process inventory, and finished goods, from the point of use back to point of recovery or point of proper disposal” (REVLOG 2004). Therefore, in a broader sense, the RL network is related with the distribution activities involved in product return, source reduction, recycling, reuse, repair, disposal, refurbishment, and remanufacturing (Stock 1992).

Various sides of fields of the RL network have been investigated by many researchers (Fleischmann et al. 1997; Brito et al. 2003). Of the sides, several researchers have studied the determination problem of the optimal locations of various components such as collection centers, recovery centers, redistribution center, and secondary markets etc. (Stock 1992; Krikke et al. 1999; Jung and Lee 2005; Min et al. 2006; Aras and Aksen 2008; Na and Lee 2009; Yun et al. 2012; Yun 2013a).

Krikke et al. (1999) proposed a mixed integer programming (MIP) model for solving the multi-echelon RL network with customers, collection centers, selection centers, recovery centers, redistribution centers, disposal centers and secondary markets. In the multi-echelon RL network, the recovery centers had the functions of remanufacturing and recycling centers simultaneously. They considered various costs such as transportation costs, handling costs and investment cost resulting from customers to collection centers, selection centers, and recovery centers. However, there is a mistake that they did not considered the transportation costs between recovery centers and redistribution centers. Min et al. (2006) proposed a genetic algorithm (GA) approach to solve a RL network, which can be

represented by the MIP model of determining the optimal numbers and locations of initial collection centers and centralized return centers. Although they reinforced the efficiency of the proposed approach by performing a sensitivity analysis using varying maximum holding periods, initial collection points and unit inventory carrying costs, the transportation costs resulting from customers to initial collection centers and centralized return centers did not be considered and another components of RL networks such as redistribution centers, first and secondary markets did not be also taken into consideration in the MIP model. Similar study was performed by Aras and Aksen (2008).

Na and Lee(2009) designed a RL network that the used products collected from customers are sent to centralized returns collection center and disposal facility. In their study, the centralized returns collection center has the functions of collecting and treating the used products simultaneously and a sensitivity analysis using the changes of fixed costs and variable costs had been done. However, unfortunately, they did not considered recovery centers, redistribution centers, first and secondary markets in the RL network. A similar study was also performed by Jung and Lee (2005). They used the centralized return center which can perform the functions of collecting and treating the used products. Yun (2012) proposed an MIP model for solving four-stage RL networks for product resale. Customers, collection centers, remanufacturing centers, redistribution centers and secondary markets were considered in the four-stage RL networks. The MIP model was solved by using an adaptive GA approach. In numerical experiments, he proved that the performance of the proposed adaptive GA approach is more efficient in various measures of performance that that of the conventional GA approach. Although he considered various components in RL network, if much larger sized RL networks are considered in the MIP model, finding the optimal solution will become more and more difficult, since the numbers of the components which can be opened at each stage are increased.

Yun (2013a) developed a hybrid GA approach to solve a multi-stage RL network which can determine the optimal locations of collection center, remanufacturing centers, redistribution center and secondary markets. He compared the performance of the GA approach with that of the hybrid GA

approach and concluded that the hybrid GA approach outperforms the GA approach in some measures of performance. However, his study only focused on the RL network of a centralized area and did not consider various situations of RL network such as decentralized area.

The conventional studies mentioned above can be classified into two ways. One is to consider multiple stages at a RL network (Min et al. 2006; Aras and Aksen 2008; Yun 2012, 2013a). The other uses a single (or integrated) stage at a RL network (Krikke et al. 1999; Jung and Lee 2005; Na and Lee 2009). Especially, the conventional studies considering integrated stage have proved to be more effective than those considering multiple stages (Jung and Lee 2005; Na and Lee 2009). Therefore, in this paper, we also consider the RL networks with integrated stage. The RL networks with integrated stage are divided into two types: the RL network in centralized area (RLC) and the RL network in decentralized areas (RLD). For the RLC, the used products taken from all customers are sent to a centralized integration center, which performs the functions of collection center, recovery center, and redistribution center simultaneously, after treating them in it, they are sent to a centralized secondary market. For the RLD, the used products taken from all customers are sent to regionally decentralized integration centers, and after treating them in each center, they are sent to regionally decentralized secondary markets.

Although some conventional studies showed the efficiency of the RLC and RLD, respectively (Jung and Lee 2005; Min et al. 2006; Lin et al. 2014), any comparison between their performances has not been made. Therefore, the objective of this paper is to compare the performances of the RLC and

RLD. Section 2 shows the structures of the RLC and RLD in detail. The mathematical formulations for representing the RLC and RLD are proposed in Section 3. The mathematical formulation is solved by a GA approach in Section 4. The performances of the RLC and RLD using various measures are compared by various numerical examples in Section 5. Finally, the conclusion and remarks are followed in Section 6.

2. Structure of RLC and RLD

Since the RLC and RLD are represented by a multistage form which is composed of various components such as customers, integration centers and secondary markets, we need to correctly define their status and structure. Figure 1 shows a conceptual model for the RLC and RLD.

For the RLC of Figure 1, the used products taken from all customers are sent to one of centralized integration centers considered in a whole area, and after treating them in it, they are sent to one of centralized secondary markets considered in a whole area. For the RLD, on the other hand, the used products taken from all customers are sent to one of the integration centers considered in regionally decentralized areas, and after treating them in each center, they are sent to one of the secondary markets considered in regionally decentralized areas.

The considerations under the RLC and RLD shown in Figure 1 are as follows:

- The location of the integration center which will be opened should be determined for effectively sending the

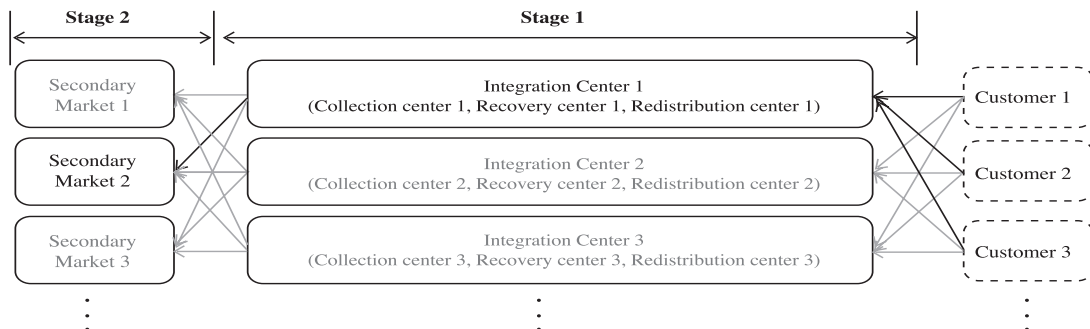


Figure 1. Conceptual model for the RLC and RLD

used products taken from customers to the secondary market which will be opened.

- The fixed costs required for the opening of the determined integration center and secondary market, and their handling costs for unit products should be determined.
- The transportation costs required for transporting the used products at each stage (customer → integration center → secondary market) should be determined.

- Unit transportation costs are calculated by the site coordinates of the integration centers and secondary markets opened and all customers at each stage. For instance, if the site coordinates of the integration center 2 and the secondary market 3 are (3.3, 2.5) and (5.8, 4.5) respectively, then the unit transportation cost between the integration center and the secondary market is calculated by using the Euclidian distance as follows:

$$\text{Unit transportation cost} = \sqrt{(5.8 - 3.3)^2 + (4.5 - 2.5)^2} \quad (1)$$

3. Mathematical Formulation

Before designing a mathematical model for the RLC and RLD, several assumptions are considered as follows.

- This paper considers the RL network for single product only.
- The number of customers is already known. For the RLD, all customers respectively sends only one used product to one of integration centers and one of secondary markets located in regionally decentralized areas. For the RLC, all customers respectively send only one used product to one of centralized integration centers and one of centralized secondary markets within a whole area. Therefore, the capacity of all customers is identical with the number of customers both in the RLD and RLC.
- The locations of customers, regionally decentralized integration centers and secondary markets, and centralized integration centers and secondary markets are displayed as site coordinates and their values of each location are known in advance.
- In the RLD, integration centers and secondary markets will be respectively opened alone within each regionally decentralized area. In the RLC, however, integration centers and secondary markets will be opened alone within a whole area.
- The fixed costs required for the opening of integration centers and secondary markets are different each other and are already known.
- Unit handling costs are identical even though which integration center and secondary market are opened in same stage. The costs are already known.

Based on the assumptions mentioned above, a mathematical model which can represent the RLC and RLD is developed. The objective function is to minimize the total cost which is composes of fixed costs, handling costs and transportation costs under considering various constraints. The index set, parameters and decision variables used in the objective functions and constraints are set as follows:

Index set:

i : index of customer; $i \in I$

j : index of integration center; $j \in J$

k : index of secondary market; $k \in K$

Parameters:

FIC_j : fixed cost at integration center j

FSM_k : fixed cost at secondary market k

HIC : unit handling cost at integration center

HSM : unit handling cost at secondary market

TCI_{ij} : unit transportation cost from customer i to integration center j

TIS_{jk} : unit transportation cost from integration center j to secondary market k

CCU_i : capacity at customer i

Decision variables:

hi_j : handling capacity at integration center j

hs_k : handling capacity at secondary market k

$x_j^I = \begin{cases} 1, & \text{if integration center } j \text{ is opened} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

$x_k^S = \begin{cases} 1, & \text{if secondary market } k \text{ is opened} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

Using the parameters and decision variables, the mathematical model for the DRL and CRL is represented as follows:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & \sum_i \sum_j TCI_{ij} \cdot CCU_i \cdot x_j^I + \sum_j FIC_j \cdot x_j^I + HIC(\sum_j hi_j \cdot x_j^I) + \\ & \sum_i \sum_k TIS_{jk} \cdot hi_j \cdot x_k^S + \sum_k FSM_k \cdot x_k^S + HSM(\sum_k hs_k \cdot x_k^S) \end{aligned} \quad (2)$$

Subject to

$$\sum_j hi_j - \sum_k hs_k = 0 \quad (4)$$

$$\sum_j x_j^I = 1 \quad (5)$$

$$\sum_k x_k^S = 1 \quad (6)$$

$$x_j^I = \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$x_k^S = \{0, 1\} \quad \forall k \in K \quad (8)$$

The objective function of equation (2) minimizes the sum of fixed costs, handling costs and transportation costs resulting from each stage. Equation (3) ensures that the sum of the used products handled in whole integration centers is the same as that in whole secondary markets. Equations (4) and (5) show that integration centers and secondary markets should be opened alone. Equations (6) and (7) restrict the variables to integers 0 and 1. Equation (8) means non-negativity.

4. GA Approaches

Several conventional studies have reported that solving network design problems such as the RLC and RLD were known as NP-complete (Gen and Cheng 1997; Savaskan et al. 2004). Therefore, conventional approaches such as heuristics are difficult to effectively find global optimal solution. Recently, some methodologies using GA approach has been successfully adopted to effectively solve the network design problems (Min et al. 2006; Lee et al. 2009; Yun et al. 2012, 2013b). In this section, we also design a GA approach to effectively solve the RLC and RLD.

4.1 Representation and Initialization

The most important thing when designing the RLC and

RLD using GA approach is how to set a correct representation scheme, since whether integration centers and secondary markets are opened or not should be automatically determined during genetic search process. Therefore, we design a new representation scheme as shown in Figure 2 to correctly represent the structure of the RLC and RLD.

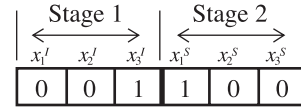


Figure 2. An example of representation for the RLC and RLD

In Figure 2, the integration center 3 is opened ($x_3^I = 1$) and the integration centers 1 and 2 are not opened ($x_1^I = x_2^I = 0$). As a same meaning, the secondary market 1 is opened and the secondary markets 2 and 3 are not opened. Therefore, whether any integration centers and secondary markets should be opened or not is automatically determined by randomly having 0 or 1 in order to minimize the total cost. By using this representation scheme, we can easily produce initial population. For example, if population size is 5, then initial population can be generated as shown in Figure 3.

$V_1 =$	0	0	1	1	0	0
$V_2 =$	0	1	0	0	1	0
$V_3 =$	0	1	0	0	0	1
$V_4 =$	1	0	0	1	0	0
$V_5 =$	0	0	1	0	0	1

Figure 3. An example of initial population

4.2 Genetic operators

4.2.1 Selection

The selection strategy is to choose the promising individuals from the current population, and the chosen individuals are then considered as the population of the next generation. For selection, the elitist selection strategy in an enlarged sampling space (Gen and Cheng 1997) is used.

4.2.2 Crossover

Crossover operator is adapted by exchanging some genes between individuals. The main reason adapting crossover operator is to improve the solution quality during genetic search process. For the RLC and RLD, the revised two point crossover operator (Yun 2013a) is used. The detailed implementation procedure for the revised two point crossover operator is as follows:

- Step 1: two individuals are randomly selected in population.
- Step 2: two genes in the selected individuals are randomly selected.
- Step 3: If the values of the selected genes in the selected individuals are identical, then go to Step 2, since there is no change when the values are exchanged with each other. If the values of the selected genes are different, then go to Step 4.
- Step 4: the values of the selected genes are exchanged with each other. If the value of a selected gene is exchanged with 1 (the case of the second and fifth genes of V_4^* in Figure 4), then the genes with the value 1 among the other genes should have the value 0 instead of 1 (the case of the first and fourth genes of V_4^{**} in Figure 4). If the value of a selected gene is exchanged with 0 (the case of the second and fifth genes of V_2^* in Figure 4), then randomly select a gene (the case of the third and sixth genes of V_2^* in Figure 4) among the other genes and then the value of the selected gene is exchanged with 1 (the case of the third and sixth genes of V_2^{**} in Figure 4).

These procedures for the revised two point crossover operator are summarized in Figure 4.

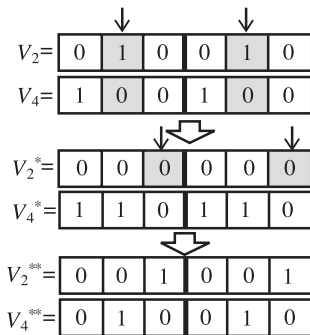


Figure 4. An example of crossover operator

4.2.3 Mutation

In general, random mutation operator (Gen and Cheng, 1997) is to simply select one individual and points out one gene in the selected individual. If the value of the selected gene value is 0, then the value is exchanged with 1. However, this mutation procedure does not be directly adapted in the RLC and RLD, since all integration centers and secondary markets do not be opened when the selected gene values are changed into 0, and the duplicated integration centers and secondary markets can be opened when the selected gene values are changed into 1. Therefore, for the RLC and RLD, the revised random mutation operator (Yun 2013a) is used for preventing the difficulties mentioned above. The detailed implementation procedure of the revised random mutation operator is as follows:

- Step 1: an individual is randomly selected in population.
- Step 2: a gene in the selected individuals is randomly selected.
- Step 3: If the value of the selected gene is 0, then the value is exchanged with 1 (the case of third genes of V_3^* in Figure 5). In this case, the gene with the value 1 among the other genes should have the value 0 instead of 1 (the case of second genes of V_3^{**} in Figure 5). If the value of the selected gene is 1, then the value is exchanged with 0. In this case, a gene among the other genes is randomly selected and the value of the selected gene is exchanged with 1.

These procedures for the revised random mutation operator are summarized in Figure 5.

4.2.4 Fitness test

Each individual of the new population produced from crossover and mutation operators should be evaluated by measuring its fitness. The fitness values of each individual are computed by using the objective functions in the equation (2) under satisfying all constraints from the equations (3) through (8).

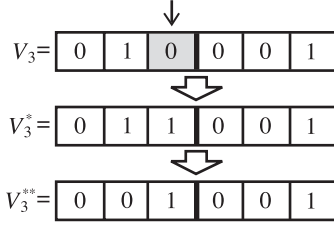


Figure 5. An example of mutation operator

4.3. Overall Implementation Procedure

The overall implementation procedure using the proposed GA approach is as follows:

Step 1: Initial population size

Generate initial population using the representation scheme proposed in Section 4.1

Step 2: Genetic operators

Step 2-1: Selection

The elitist selection strategy in an enlarged sampling space (Gen and Cheng 1997) is used.

Step 2-2: Crossover

The revised two point crossover operator (Yun 2013a) is used

Step 2-3: Mutation

The revised random mutation operator (Yun 2013a) is used.

Step 2-4 Fitness test

Fitness test is performed by the objective function under satisfying all constraints.

Step 3: Stop condition

If a pre-determined number of termination condition is satisfied, then exits all steps, otherwise, go to Step 2

5. Numerical Experiment

In numerical experiment, the test problems 1 and 2 using RL network are presented. They have various sizes of customers, integration centers and secondary markets. Tables 1 and 2 summarize the sizes of them. In Table 1, 40 customers, 12 integration centers and 8 secondary markets are used for the RLC, while they are separated into 10 customers, 3 integration centers, and 2 secondary markets in each region

for the RLD, since we divide the components of the RLC into regionally decentralized four parts.

Table 1. Test problem 1 for the RLC and RLD

		No. of customer	No. of int. center	No. of sec. market
RLC		40	12	8
RLD	Region 1	10	3	2
	Region 2	10	3	2
	Region 3	10	3	2
	Region 4	10	3	2

Table 2. Test problem 2 for the RLC and RLD

		No. of customer	No. of int. center	No. of sec. market
RLC		80	24	16
RLD	Region 1	20	6	4
	Region 2	20	6	4
	Region 3	20	6	4
	Region 4	20	6	4

Table 2 shows much larger sized numbers of customers, integration centers and secondary markets for the RLC and RLD.

For the test problems 1 and 2, the fixed costs, the unit handling costs and the site coordinate information at customers, integration centers, and secondary markets are listed in Appendixes 1 and 4. In Appendixes 1 and 2, for the RLD, customers, integration centers and secondary markets are separated into four regions (region 1: customer 1 through 10, integration center 1 through 3, and secondary market 1 through 2, region 2: customer 11 through 20, integration center 4 through 6, and secondary market 3 through 4, region 3: customer 21 through 30, integration center 7 through 9, and secondary market 5 through 6, region 4: customer 31 through 40, integration center 10 through 12, and secondary market 7 through 8). In Appendixes 3 and 4, for the RLC, customers, integration centers and secondary markets are separated into four regions (region 1: customer 1 through 20, integration center 1 through 6, and secondary market 1 through 4, region 2: customer 21 through 40, integration center 7 through 12, and secondary market 5 through 8, region 3: customer 41 through 60, integration center 13 through 18, and secondary

market 9 through 12, region 4: customer 61 through 80, integration center 19 through 24, and secondary market 13 through 16). The graphical representations using the site coordinate information for the test problems 1 and 2 are displayed Figures 6 and 7.

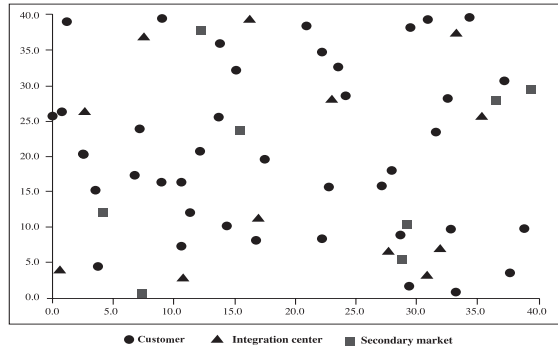


Figure 6. Graphical representation for the test problem 1

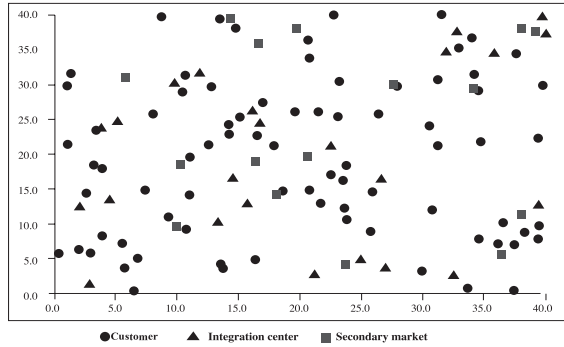


Figure 7. Graphical representation for the test problem 2

The proposed GA approaches for the RLC and RLD is programmed in Visual Basic Version 6.0 and runs on IBM compatible PC 3.40 GHz processor (Inter Core i7-2600 CPU), 4GB RAM and Window 7. The parameters in each approach are set as follows: total number of generations is 10,000, population size is 20, crossover rate is 0.5, and mutation rate is 0.05. Altogether 20 independent iterations are carried out to eliminate the randomness of each approach. Table 2 shows the measures for comparing the performances for each GA approach.

Table 2. Measures of performance

Measure	Description
Optimal setting	The value of minimizing the sum of handling cost, fixed cost, and transportation cost resulting from each stage.
Optimal setting	Opening or closing decision at integration centers, and secondary markets in the optimal solution
CPU time	Average CPU time (in Sec.)

In Table 2, the CPU time is the averaged value over 20 independent iterations. The optimal solution and the optimal setting mean the best result when each approach reaches to a pre-determined total number of generations. Table 3 shows the performance results for the Test problem 1.

Table 3. Performance results for the Test problem 1

		Optimal setting	Optimal solution	CPU time		
		Opening	Handling Cost	Fixed Cost	Transp. Cost	Total cost
RLC	I.C.*	4	232.0	162.5	848.0	1,498.6 0.85
	S.M.*	4	140.0	52.1	64.0	
RLD Region1	I.C.	1	58.0	150.5	110.8	1,797.9 1.02
	S.M.	2	35.0	65.1	42.0	
Region2	I.C.	1	58.0	162.5	80.7	
	S.M.	2	35.0	52.1	16.0	
Region3	I.C.	1	58.0	170.2	112.1	
	S.M.	2	35.0	65.5	49.0	
Region4	I.C.	2	58.0	150.5	115.4	
	S.M.	2	35.0	58.5	25.0	

* I.C.: integration center, S.M.: secondary market

For the RLD of Table 3, integration center 1 and secondary market 2 are opened in regions 1, 2 and 3, but integration center 2 and secondary market 2 are opened in regions 4, in terms of the optimal setting. The handling costs at integration centers and secondary markets are the same as each other in all regions, since we assume that the costs are identical even though which integration center and secondary market are opened in same stage. On the other hand, the fixed costs and transportation costs are very different in each region, since the fixed costs and site coordination formation in each integration center and secondary market are different each other. The handling costs, fixed costs and transportation costs in all

regions are summarized as total cost. For the RLC of Table 3, integration center 4 and secondary market 4 are opened. The handling cost of 232.0 in the integration center 4 is identical with the sum of the handling costs of each integration center opened in the regions 1, 2, 3, and 4 of the RLD, since we give the assumption in Section 3 such as unit handling costs are identical even though which integration center and secondary market are opened in same stage. As a same meaning, the handling cost of 140.0 in the secondary market 4 is identical with the sum of the handling costs of each secondary market opened in the regions 1, 2, 3, and 4 of the RLD.

In the comparison between the performances of the RLD and that of the RLC, the total cost of the RLD is greater than that of the RLC and the CPU time of the RLD is slightly slower than that of the RLC. Finally, the performances of the RLC are superior to those of the RLD in terms of the optimal solution and the CPU time.

Figures 8 and 9 show the graphical representations according to the opening and closing decisions of each integration center and secondary market, when the GA approaches for the RLC and RLD reach to the optimal solution.

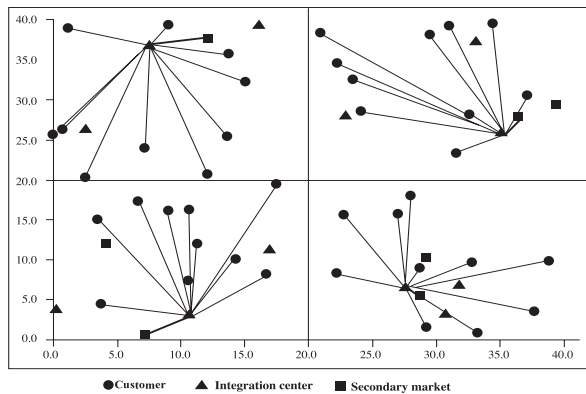


Figure 8. Graphic representation according to opening/closing decisions for the RLD in test problem 1

The opening decisions of integration centers and secondary markets, including all customers, are represented as a link among them. In Figure 8, we can see that the used products from customers are sent to one of the integration centers and secondary markets considered within regionally decentralized areas. On the other hand, in the RLC of Figure 9, all the

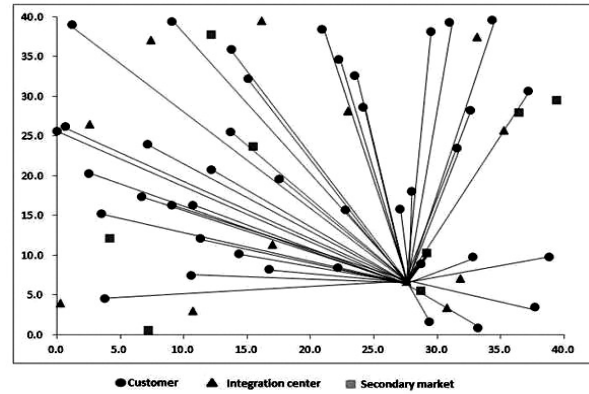


Figure 9. Graphic representation according to opening/closing decisions for the RLC in test problem 1

customers send each used product to one of the integration centers and secondary market considered within whole area. Table 4 shows the performance results for the Test problem 2.

Table 4. Performance results for the Test problem 2

		Optimal setting	Optimal solution	CPU time	
		Opening	Handling Cost	Fixed Transp. Cost	Total cost
RLC	I.C.	22	1,240.0	107.8	1,224.1
	S.M.	6	448.0	84.2	192.0
					3,296.1 1.6
RLD Region1	I.C.	6	310.0	101.7	167.7
	S.M.	4	112.0	57.6	152.0
Region2	I.C.	6	310.0	103.1	210.3
	S.M.	4	112.0	57.5	30.0
Region3	I.C.	5	310.0	118.8	160.0
	S.M.	3	112.0	91.7	80.0
Region4	I.C.	2	310.0	138.3	177.8
	S.M.	2	112.0	50.9	120.0
					3,505.4 2.2

In Table 4, the sum of the fixed costs ($107.8 + 84.2 = 192.0$) at the integration center and the secondary market opened in RLC is significantly lower than that of the fixed costs ($101.7 + 57.6 + \dots + 50.9 = 719.6$) at the integration centers and the secondary markets opened in RLD, on the other hand, the sum of the transportation costs ($1,224.1 + 192.0 = 1,416.1$) at the integration center and the secondary market opened in RLC are highly greater than that of the transportation costs ($167.7 + 152.0 + \dots + 120.0 = 1,097.8$) at

the integration centers and the secondary markets opened in RLD. This means that four integration centers and four secondary markets for the RLD should be opened in each region, while, for the RLC, just one integration center and the secondary market should be opened within whole area. These costs are summarized at the total cost. Finally, the performances of the RLC are more efficient in terms of the total cost and the CPU time than those of the RLD.

Figures 10 and 11 show the graphical representation when the GA approaches for the RLC and RLD reach to the optimal solution.

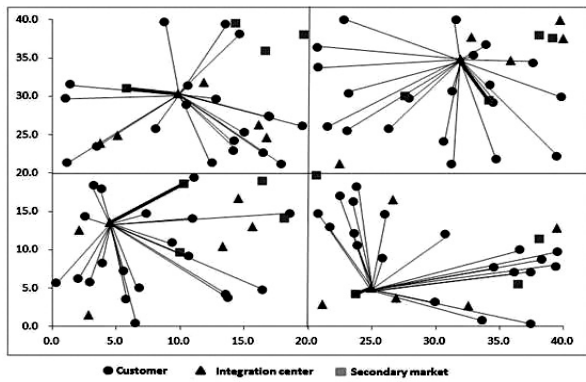


Figure 10. Graphic representation according to opening/closing decisions for the RLD in Test problem 2

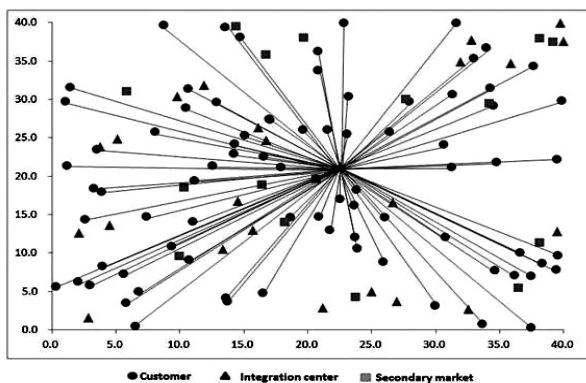


Figure 11. Graphic representation according to opening/closing decisions for the RLC in Test problem 2

As shown in Figures 8 and 9, Figure 10 shows that the used products from customers are sent to one of the integration centers and secondary markets considered within regionally decentralized areas. On the other hand, in Figure 11, all the customers send their used products to one of the integration centers and secondary market considered within whole area.

6. Conclusion

In this paper, two types of RL network have been proposed. First type is to consider the RL network in centralized area (RLC) and the second type is the RL network in decentralized areas (RLD). For the RLC, the used products taken from all customers are sent to one of the centralized integration centers considered in whole area, which performs the functions of collection center, recovery center, and redistribution center simultaneously, after treating them in it, they are sent to one of the centralized secondary markets in whole area. However, for the RLD, the used products taken from all customers are sent to one of the integration centers considered within regionally decentralized areas, and after treating them in each center, they are sent to one of the secondary markets within regionally decentralized areas. The mathematical model for representing the RLC and RLD has been suggested and the model has been solved in the proposed GA approach. For the proposed GA approach, a new representation scheme has been developed and the initial population has been generated using the scheme. The initial population has been reproduced using the conventional genetic operators.

In numerical experiment, two test problems using various sizes of RL networks has been presented to compare the performances of the GA approaches for the RLC and RLD. Test problem 1 has 40 customers, 12 integration centers, and 8 secondary markets. The test problem 2 has a larger sized RL network than test problem 1. These two test problems have been performed under the same environment and the computation results have been compared using various measures of performance such as optimal solution, optimal setting and CPU time. Finally the RLC outperforms the RLD in terms of the optimal solution and the CPU time. For future study, i) a logic for adaptively controlling GA parameters such as crossover and mutation rates will be developed, ii) much larger sized RL network problems will be considered, and iii) a sensitivity analysis according to the increase and decrease of the fixed costs and transportation costs will be also performed for carefully comparing the performances of the RLC and RLD.

Acknowledgement

This paper is a revised and extended version of the paper titled “regionally distributed and centralized reverse logistics networks: genetic algorithm approach” which was presented in International Industrial Information Systems Conference, Thailand, 2014.

REFERENCES

- [1] Aras, N. and Aksen, D. (2008). Locating collection centers for distance- and incentive-dependent returns, *International Journal of Production Economics*, Vol. 111(2), pp. 316-333.
- [2] Brito, M. P., Dekker, R. and Flapper, S. D. P. (2003). Reverse logistics: a review of case studies, *ERIM Report Series*, Reference No. ERS-2003-012-LIS, available at: <http://ssrn.com/abstract=411649>.
- [3] Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Vander Laan, E., Van Numen, J. A. E. E. and Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 103(1), pp.1-17.
- [4] Gen, M. and Cheng, R. (1997). *Genetic algorithms and engineering design*, John Wiley & Son.
- [5] Jung, Y. H. and Lee, H. C. (2005). A study on returned product of reverse logistics network in e-retail industries, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.5(2), pp. 29-42.
- [6] Kim J. D., Choi H. S. and Lee D. H. (2007). A case study on the stochastic vehicle routing in a refuse collection system, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.7(2), pp. 57-65.
- [7] Krikke, H. R. Kooi, E. J. and Schuur, P. C. (1999). Network design in reverse logistics: a quantitative model, *Working Paper*, Erasmus Universiteit Rotterdam.
- [8] Lee, J. E. Gen M. and Rhee, K. G. (2009). Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56, pp. 951-964.
- [9] Lin, L., Yun, Y. S., Kim, H. J. and Hwang, Y. Y. (2014). Regionally distributed and centralized reverse logistics networks: genetic algorithm approach, *International Industrial Information System Conference*, pp.49-53, Thailand.
- [10] Min, H., Ko, H. J. and Ko, C. S. (2006). A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns, *Omega*, Vol. 34, pp. 56-69.
- [11] Na, H. Y. and Lee, S. H. (2009). A location-routing problem for logistics network integrating forward and reverse flow, *IE Interfaces*, Vol.22(2), pp.153-164.
- [12] REVLOG, (2004). Available from: <http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/PROJECTS/TERMINOLOGY/def-reverselogistics.html>
- [13] Stock, J. K. (1992). Reverse logistics, *White paper*, Council of logistics management. IL: Oak Brook.
- [14] Tuzkaya G. and Gulsun, B. (2008). Evaluating centralized return centers in a reverse logistics network: An integrated fuzzy multi-criteria decision approach, *International Journal of Environment Science Technology*, Vol. 5(3), pp. 339-352.
- [15] Yun, Y. S., Gen, M. and Hwang, R. K. (2012). Adaptive genetic algorithm to multi-stage reverse logistics network design for product resale, *Information: An International Interdisciplinary Journal*, Vol. 15(12), pp. 6117-6138.
- [16] Yun, Y. S. (a) (2013). Evaluating reverse logistics networks with centralized centers: hybrid genetic algorithm approach, *Intelligent Information System*, Vol. 19(4), pp. 55-79.
- [17] Yun, Y. S. (b) (2013). Evaluating reverse logistics networks using genetic algorithm approach, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 13(1), pp. 1-14.
- [18] Savaskan, R. C., Bhattacharya, S. and Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-loop supply chain models with product remanufacturing, *Management Science*, Vol. 50, pp. 239-252.

Appendix 1. Site coordinate information for the test problem 1

No.	Customer		Integration center		Secondary Market	
	x	y	x	y	x	y
1	11.3	12.1	10.7	3.0	4.1	12.1
2	17.5	19.6	17.0	11.4	7.2	0.6
3	3.8	4.6	0.2	4.0	29.1	10.2
4	10.6	7.4	27.6	6.7	28.7	5.6
5	3.5	15.2	31.8	7.1	15.5	23.7
6	9.0	16.3	30.8	3.4	12.2	37.8
7	6.7	17.4	7.4	37.1	39.4	29.5
8	10.7	16.3	2.6	26.5	36.4	28.0
9	16.7	8.2	16.1	39.5		
10	14.3	10.2	33.2	37.4		
11	28.7	9.0	35.3	25.7		
12	27.9	18.0	23.0	28.1		
13	27.1	15.8				
14	22.7	15.7				
15	37.7	3.4				
16	33.2	0.9				
17	22.2	8.4				
18	32.8	9.8				
19	38.8	9.8				
20	29.4	1.6				
21	0.7	26.2				
22	2.5	20.3				
23	0.0	25.6				
24	13.7	35.9				
25	12.1	20.8				
26	15.1	32.2				
27	13.7	25.5				
28	1.2	39.0				
29	7.2	24.0				
30	9.1	39.4				
31	31.6	23.5				
32	23.5	32.6				
33	29.5	38.2				
34	22.2	34.7				
35	34.3	39.6				
36	32.6	28.3				
37	37.1	30.7				
38	30.9	39.3				
39	24.1	28.7				
40	20.9	38.5				

Appendix 2. Fixed costs and unit handling costs for the test problem 1

	Fixed Cost	Unit Handling Cost
Integration center 1	150.5	5.80
Integration center 2	185.2	"
Integration center 3	146.0	"
Integration center 4	162.5	"
Integration center 5	178.4	"
Integration center 6	155.5	"
Integration center 7	170.2	"
Integration center 8	190.3	"
Integration center 9	160.5	"
Integration center 10	145.8	"
Integration center 11	150.5	"
Integration center 12	165.2	"
Secondary Market 1	56.4	3.5
Secondary Market 2	65.1	"
Secondary Market 3	60.2	"
Secondary Market 4	52.1	"
Secondary Market 5	60.2	"
Secondary Market 6	65.5	"
Secondary Market 7	55.0	"
Secondary Market 8	58.5	"

Appendix 3. Site coordinate information for the test problem 2

No.	Customer		Integration center		Secondary Market		No.	Customer	
	x	y	x	y	x	y		x	y
1	10.7	9.1	14.5	16.7	10.0	9.6	41	17.0	27.3
2	13.7	3.7	15.7	13.0	18.2	14.0	42	8.8	39.6
3	6.8	5.0	2.1	12.6	16.4	18.9	43	10.5	28.9
4	5.8	3.5	13.3	10.5	10.3	18.5	44	1.1	29.7
5	16.5	4.8	2.9	1.6	38.1	11.4	45	12.8	29.6
6	13.6	4.2	4.5	13.6	20.7	19.6	46	12.6	21.3
7	11.1	19.4	21.1	2.9	36.5	5.5	47	15.1	25.3
8	6.5	0.4	26.6	16.6	23.7	4.2	48	17.0	27.4
9	9.4	10.9	32.5	2.7	14.4	39.5	49	14.2	22.9
10	7.4	14.7	26.9	3.7	19.7	38.0	50	3.5	23.5
11	2.1	6.2	39.5	12.8	5.8	31.0	51	1.2	21.4
12	3.0	5.8	25.0	5.0	16.7	35.8	52	16.6	22.6
13	3.2	18.4	16.7	24.6	39.2	37.5	53	8.1	25.8
14	2.6	14.3	5.1	24.9	34.2	29.4	54	13.6	39.4
15	18.6	14.7	3.8	23.9	38.1	37.9	55	1.4	31.5
16	11.0	14.0	11.9	31.8	27.7	30.0	56	17.9	21.2
17	5.6	7.3	9.8	30.4			57	14.2	24.2
18	0.3	5.7	16.1	26.3			58	19.6	26.1
19	4.0	8.3	32.8	37.7			59	10.6	31.3
20	3.9	17.9	31.9	34.9			60	14.7	38.1
21	23.6	16.2	35.9	34.7			61	33.9	36.7
22	30.0	3.2	22.5	21.3			62	33.0	35.3
23	36.2	7.1	39.7	40.0			63	26.4	25.7
24	23.9	10.6	40.0	37.5			64	20.8	36.3
25	34.6	7.7					65	31.2	21.2
26	25.9	8.8					66	30.6	24.1
27	23.8	18.2					67	22.8	40.0
28	39.6	9.7					68	37.6	34.3
29	21.7	12.9					69	39.8	29.9
30	37.4	0.3					70	34.2	31.5
31	26.0	14.6					71	20.8	33.8
32	20.8	14.7					72	21.5	26.1
33	23.6	12.1					73	34.5	29.2
34	36.6	10.0					74	23.1	25.5
35	33.7	0.7					75	31.3	30.6
36	39.4	7.8					76	23.2	30.4
37	38.3	8.7					77	34.7	21.8
38	22.5	17.0					78	27.9	29.7
39	37.4	7.0					79	39.5	22.2
40	30.7	12.0					80	31.6	39.9

Appendix 4. Fixed costs and unit handling costs for the test problem 2

	Fixed Cost	Unit Handling Cost		Fixed Cost	Unit Handling Cost
Integration center 1	182.5	15.5	Secondary market 1	95.0	5.6
Integration center 2	162.1	“	Secondary market 2	82.4	“
Integration center 3	138.3	“	Secondary market 3	78.9	“
Integration center 4	146.9	“	Secondary market 4	57.6	“
Integration center 5	146.5	“	Secondary market 5	83.5	“
Integration center 6	101.7	“	Secondary market 6	84.2	“
Integration center 7	117.5	“	Secondary market 7	75.1	“
Integration center 8	151.3	“	Secondary market 8	57.5	“
Integration center 9	189.2	“	Secondary market 9	78.0	“
Integration center 10	159.1	“	Secondary market 10	72.1	“
Integration center 11	180.3	“	Secondary market 11	91.7	“
Integration center 12	103.1	“	Secondary market 12	68.7	“
Integration center 13	160.4	“	Secondary market 13	92.1	“
Integration center 14	195.3	“	Secondary market 14	50.9	“
Integration center 15	165.7	“	Secondary market 15	59.6	“
Integration center 16	130.8	“	Secondary market 16	72.5	“
Integration center 17	118.8	“			
Integration center 18	124.0	“			
Integration center 19	183.4	“			
Integration center 20	138.3	“			
Integration center 21	176.0	“			
Integration center 22	107.8	“			
Integration center 23	103.4	“			
Integration center 24	142.1	“			

**윤영수**

대구대학교 산업공학과 학사

건국대학교 산업공학과 석사, 박사

Waseda Univ. 정보생산시스템연구과 박사

현재: 조선대학교 경영학부 부교수

관심분야: 유전알고리즘, SCM, 생산최적화

멀티서버 시스템에서의 일정계획문제를 위한 한 접근법*

— 배송희망 시간 준수를 위한 대형화물 배송 트럭의 관점에서

김태호[†]

인천대학교 경영학과

An Approach to Scheduling Problem for Multi-Server System — Concentrating on Logistics Activities

Taeho Kim

Department of Business Administration, Incheon National University

This paper deals with the problem of determining the optimal assignment of transportation works to identical trucks to minimize the total difference between delivery time desired by customers and real delivery time. Transportation work can be defined as a huge size or amount of freight such as steel coil and oil or a group of small freights which can be delivered by a truck by one travel. This paper develops a brand new quantitative model from the view point of customers rather than that of deliverers, tries to find the optimal assignment of freights to trucks and the optimal order of delivery of them. In conclusion, it is possible to identify the new optimal scheme which can improve the customer satisfaction.

Keywords: Assignment of freights, Order of delivery, Customer satisfaction, Mixed integer programming

1. 서론

화물을 배송하는 기업들은 매일 배송을 시작하는 시점에서 보통 2가지 문제에 봉착하게 된다. 그 첫 번째는 배송해야 하는 화물들을 기업이 보유하고 있는 트럭들의 용량을 고려하여 몇 개의 그룹으로 나누는 것이다. 만약 각 개별 화물의 크기나 양이 아주 크다면 하나의 화물이 하나의 그룹을 구성하게 될 것이다. 예를

들면, 각 주유소에 기름을 배달해 주는 유조차의 경우 한번에 하나의 주유소에만 배송을 할 수 있고, 거대한 철 강판 코일의 경우도 그 무게 때문에 하나 이상을 배송하는 것이 쉽지 않으며, 이삿짐의 경우도 각 트럭은 한 번에 한 고객의 이삿짐만을 배송할 수 있을 것이다. 이런 경우에는 하나의 화물이 하나의 그룹을 형성하게 된다. 이하에서는 이렇게 나누어진 화물의 집합이나 개별 대형 화물을 모두 화물로 언급하게 된다. 나누어진 각 화물들은 각 트럭에 의해 배송이 이루어지게 되는데, 이때 트럭의 용량이 충분히

* 본 논문은 2011년 인천대학교 교내 공모과제 연구비 지원에 의해 작성되었음.

[†] 교신저자 : 인천광역시 연수구 아카데미로 199 인천대학교 경영학부, 전화: 032-835-8733, e-mail: thkim@incheon.ac.kr.

2014년 1월 7일 투고, 2014년 1월 24일 게재 확정.

크고 트럭의 수가 충분히 많다면 배송에 나서는 각 트럭들은 한번의 배송 활동에 의해 모든 화물을 배송할 수 있을 것이지만, 그렇지 않은 경우라면 트럭들은 모든 화물을 배송하기 위해 한 번 이상의 배송 활동을 하게 된다 (Shapiro, 2007). 두 번째 문제는 바로 이렇게 화물을 모두 배송하기 위해 트럭들이 최소 한 번 더 나아가서 한번 이상의 배송 활동을 해야 하는 경우에 발생하게 되는데 특정 목적을 달성하기 위하여 각 화물들이 어느 트럭에 할당이 되어야 하면 할당이 이루어진 후에는 어떤 순서로 각 트럭에 의해 배송이 이루어져야 하는 가 하는 것이 된다.

위의 첫 번째 문제는 우리가 흔히 알고 있는 Vehicle Routing Problem (VRP) 모형이나 Capacitated VRP (CVRP) 모형이나 그들에 기초해서 개발된 다른 모형들 (Song and Kim, 2013; Ralphs et al., 2001; Seyran, 2006; Chandran and Raghavan, 2008 등)에 의해 해결될 수 있다. 반면에 한 번의 배송 활동에 의해 하나의 화물만 배송할 수 있는 대형 화물의 경우에는 이 문제는 해결할 필요가 없는 문제가 된다. 두 번째 문제의 경우에는 각 트럭들이 한 번 이상의 배송 활동을 해야 하는 경우라면 화물의 크기나 양에 상관없이 언제든지 발생할 수 있는 문제가 된다.

본 연구에서는 바로 이 두 번째 문제에 집중해서 대형 화물을 배송하는 경우에 각 화물의 배송에 소요되는 시간, 배송 후 복귀하는데 소요되는 시간, 그리고 배송이 완료되어야 하는 시간에 대한 정보를 활용하여 각 트럭에 화물을 할당하고 할당된 화물들의 각 트럭에 의한 배송 순서와 배송 출발 시간을 결정하는 문제를 풀기 위한 수리모형을 제시하고, 간단한 예를 통하여 그 모형의 유용성을 평가하게 된다. 본 연구에서 제시하는 모형은 Song and Kim (2013)에서 제시하는 스쿨버스 경로 일정계획 모형을 본 연구의 문제에 맞게 수정하여 사용하게 된다.

실제로 이 문제는 같은 작업을 수행하는 여러 대의 병렬 기계에 기계의 대수보다 많은 작업을 할당하는 문제와 아주 유사하다고 할 수 있다 (Kim et al., 2002; Omar and Teo, 2006; Chekuri et al., 2004 등). 배송에 소요되는 시간은 각 작업을 수행하는 시간이고, 배송 후 복귀하는데 소요되는 시간은 선행 작업을 마친 후 다음 작업을 준비하는 시간 (setup time)이며 배송이 완료되어야 하는 시간은 작업 완료 시간이기 때문이다. 그러나 본 연구는 위의 기존의 연구들과 다른 목적함수를 채택하고, 할당과 순서 결정을 따로 하지 않고 동시에 결정하며, 휴리스틱을 사용하지 않고 최적해를 구하고자 한다는 점에서 차별화 된다고 할 수 있다.

기존의 연구들의 경우에는 대부분 목적함수로 작업 지연 (배송 지연), 총 작업시간 (총 배송 소요 시간) 등과 같이 생산 시스템이나 배송 시스템의 효율과 관련된 함수들을 채택하면서 문제를 효율적으로 풀기 위한 이론이나 알고리즘 개발에 초점을 맞추고 있

는데 반해 본 연구에서는 화물을 배송 받아야 하는 고객의 입장에서 납기의 개념을 좀 더 감정적으로 확장하여 실제로 고객의 배송 완료 희망 시간과 실제 배송이 이루어 지는 시간 사이의 차이를 목적함수로 채택한다. 이를 통하여 배송 시스템의 효율보다는 고객의 만족 또는 배송 서비스의 품질을 개선하는데 초점을 맞추고자 한다 (Gronroos, 1984; Kim, 2012).

대형 화물을 고객이 원하는 배송시간을 존중하는 배송 일정 계획을 찾는 연구의 첫 단계로 인천 지역에서 철 강판 코일을 제조하여 판매하는 기업에 대한 조사를 본 연구의 타당성을 확인하였다. 이러한 문제를 해결하는데 도움을 주기 위해 기존에 존재하는 연구들에서 제시하고 있는 수리모형을 소비자가 원하는 배송시간과 실제 배송시간의 차이를 목적함수로 고려할 수 있도록 수정하고 확장하여 본 연구의 취지에 맞는 모형을 개발하였으며 개발된 모형을 검증하고 결과를 비교하기 위하여 위의 기업으로부터 실제 데이터를 입수하였다. 이 데이터를 solver 소프트웨어를 사용하여 문제를 풀었고, 본 연구가 제시하는 모형의 유용성을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 선행연구들에 대해 검토해 보고, 3장에서는 본 연구에서 사용하는 수리모형과 solver 들에 대해 설명한다. 4장에서는 실제 데이터 데이터를 요약하고, 5장에서 결과 및 시사점을 제시한다. 끝으로 6장에서는 결과를 바탕으로 본 연구의 결론을 서술하고자 한다.

2. 참고문헌 리뷰

서론에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 다루는 문제와 유사한 기존의 연구 문제는 1950년대 이후 많은 연구가 진행되어온 동일한 기능을 하는 여러 대의 병렬 기계에 작업을 할당하고 순서를 정하는 문제 (Identical Multi-Parallel Machine Scheduling Problem)로 m 개의 기계들의 특정 시간에 n 개의 작업을 할당하는 문제로 정의된다 (Conway et al., 1967; Baker, 1974, Johnson, 1983; Lawler et al., 1993; Kim et al., 2002 등). 이 문제를 풀려면 크게 기계 환경, 작업 특성, 그리고 최적화 조건과 같은 3가지 정보를 알아야 하며 이들 정보의 속성에서의 차이가 일정 계획 문제의 형태를 결정하게 된다 (Lawler et al., 1993).

이 문제에 대한 연구는 크게 2가지 방향에서 이루어져 왔는데 하나는 문제를 수리 방법 모형을 활용하여 정확히 모형화하는 것이고, 그 다음은 개발된 모형을 효율적으로 푸는 방법을 개발하는 것이었다.

첫 번째 문제의 경우 Bruno et al. (1974)가 여러 대의 동일한 기능을 하는 독립적인 기계에 대한 일정 계획 문제에 대해 작업

완료 시간을 최소화하는 목적을 가지고 선구적으로 모형화한 이후 Garey et al. (1983)과 Coffman Jr. et al. (1988)은 주로 동질적인 기계들에 대한 일정 계획 문제를 모형화하는 연구에 집중해 왔으며 이 외에도 해아릴 수 없이 많은 연구들이 계속되어 와서 (Kim et al., 2002; Chekuri et al., 2004; Omar and Teo, 2006) 이제는 목적함수를 바꾸거나 일부 제약식을 바꾸는 것이 외에 상당 부분 정형화가 이루어져 있다.

반면 두 번째 문제의 경우에는 여전히 많은 연구의 가능성이 열려 있다고 할 수 있는데 컴퓨터의 발달로 인해 과거에 비해 많이 푸는 속도가 많이 빨라졌지만 아직도 이 문제들이 갖는 복잡성 (Complexity) 때문에 (Karp, 1975; Lenstra and Rinnooy Kan, 1979; Shmoys and Tardos, 1993) 문제의 크기가 커지게 되면 NP-complete 문제가 되게 되어서 실제로 최적 해를 구하기 보다는 휴리스틱 알고리즘을 개발하여 근사 해를 구하는 것이 (Bar-Noy et al., 1999; Chekuri et al., 2004; Omar and Teo, 2006) 더 합리적으로 보일 때가 있다.

그러나 이러한 위의 연구들이 화물을 배송하는 문제로 직접 적용된 사례는 거의 찾아 볼 수가 없다. 이런 의미에서 본 연구는 위의 연구들을 직접 물류 산업에 적용했다는 면에서 차별성을 가질 수 있을 것이며 목적함수에서 물류 기업의 효율성보다는 고객의 만족에 더 초점을 맞추었으며 할당과 순서 결정을 동시에 고려하는 수리 모형을 개발했다는 측면에서 기존의 연구들과 다르다고 할 수 있을 것이다. 더 나아가서, 모형의 풀이 측면에서 새로운 알고리즘의 개발이나 기존 알고리즘의 개선보다는 최근에 개발된 효율적이고 효과적인 알고리즘을 구현하는 적절한 solver 소프트웨어를 선구적으로 활용해서 최적 해를 구하고 이를 바탕으로 기업에 적절한 시사점을 제공한다는 점에서도 의미를 찾을 수 있을 것이다.

3. 이론적 배경 및 연구 모형

언급한 바와 같이 본 연구는 Song and Kim (2013)이 개발한 스쿨버스 노선 일정계획 모형을 기초로 하고 이를 수정하여 다양한 배송 요구시간을 충족시킬 수 있는 새로운 모형을 제시한다. 그들의 모형은 비선형혼합정수계획모형 (Mixed Integer Non-linear Programming: MINLP)인데 반해 본 연구는 이를 수정하여 선형혼합정수계획모형 (Mixed Integer Linear Programming: MIP)인데 이것도 본 연구의 공헌 중 하나이다.

고객이 원하는 배송시간과 실제 배송이 이루어지는 시간 사이에 차이를 최소화하는 배송 일정계획문제를 위한 매개변수들은 다음과 같다. 매일 배송이 시작되는 시점에서 당일 배송해야 하는

J 개 ($j = 1, 2, \dots, J$)의 화물들은 각기 배송에 소요되는 시간 (DT_j), 배송 후 복귀에 소요되는 시간 (BT_j)와 화물의 크기 또는 양 (L_j)에 대한 정보를 가지게 된다. 물류회사가 보유하고 있는 L_j 보다 큰 용량을 가진 I 대 ($j = 1, 2, \dots, I$)의 트럭들이 화물들의 수송에 투입되게 된다. 각 화물들은 먼저 각 트럭에 할당이 되어야 하면 그 후에 각 트럭에 의한 배송순서가 결정되게 된다. 만약 회사가 보유하고 있는 트럭의 수가 화물의 수보다 많다면 괜찮지만 그렇지 않고 화물의 수가 더 많다면 각 트럭들은 여러 개의 화물을 배송해야 하는데 이럴 때 배송순서를 결정하는 문제가 발생하게 된다. 이 2단계 문제를 합하여 배송 일정계획으로 정의할 수 있을 것이다. 여기서 LB 와 UB 를 한 대의 트럭이 배송할 수 있는 최소 화물의 집합의 수와 최대 화물의 수로 정의하고 D_j 는 각 화물이 배송이 완료되기를 희망하는 시간을 나타낸다. 본 연구에서는 화물이 실제 배송되는 시간이 D_j 보다 늦을 수는 없다는 가정 하에 D_j 와 실제 배송이 완료되는 시간의 차이를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 그 이유는 만약 배송이 D_j 보다 일찍 완료될 경우 고객이 직접 받을 수 없거나 재고비용을 감당해야 하는데 이를 줄이는 것이 고객 만족을 개선시킬 것이기 때문이다 (Gronroos, 1984). 더해서, M 은 아주 큰 양의 정수를 나타낸다.

결정변수들은 st_{ij} , a_{ij} , z_{ijk} , 그리고 y_{ijk} 이다. st_{ij} 는 트럭 i 가 화물 j 를 배송하기 위해 출발하는 시간이다. a_{ij} 는 0 또는 1 정수 변수로 만약 화물 j 가 트럭 i 에 할당되면 1의 값을 가지고 그렇지 않으면 0이 된다. z_{ijk} 는 0 또는 1 정수 변수로 만약 화물 j 와 화물 k 가 동시에 트럭 i 에 할당되면 1의 값을 가지고 그렇지 않으면 0이 되고, y_{ijk} 도 0 또는 1 정수 변수로 만약 화물 j 와 화물 k 가 동시에 트럭 i 에 할당되고 화물 j 가 화물 k 보다 먼저 배송이 되면 1의 값을 가지고 그렇지 않으면 0이 된다.

위와 같은 변수와 목적함수에 대한 정의를 기초로 본 연구가 제시하는 선형혼합정수계획모형은 아래와 같다.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (D_j a_{ij} - st_{ij} - DT_j a_{ij}), \quad (1-1)$$

subject to,

$$M \cdot y_{ijk} + M \cdot (1 - z_{ijk}) + st_{ij} - st_{ik} \geq RT_k + BT_k \text{ for all } i, j < k \quad (1-2)$$

$$M \cdot (1 - y_{ijk}) + st_{ik} - st_{ij} \geq RT_j + BT_j \text{ for all } i, j < k \quad (1-3)$$

$$z_{ijk} \geq a_{ij} + a_{ik} - 1, \text{ for all } i, j < k \quad (1-4)$$

$$z_{ijk} \leq a_{ij}, \text{ for all } i, j \quad (1-5)$$

$$z_{ijk} \leq a_{ik}, \text{ for all } i, k \quad (1-6)$$

$$y_{ijk} \leq z_{ijk}, \text{ for all } i, j < k \quad (1-7)$$

$$st_{ij} + RT_j \leq D_j \text{ for all } i, j \quad (1-8)$$

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} \geq LB \text{ for all } i \quad (1-9)$$

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} \leq UB \text{ for all } i \quad (1-10)$$

$$\sum_{i=1}^I a_{ij} = 1 \text{ for all } j \quad (1-11)$$

$$a_{ij}, y_{ijk}, z_{ijk} = 0 \text{ or } 1, st_{ij} \geq 0 \text{ for all } i, j, k \quad (1-12)$$

제약식 (1-2)와 (1-3)은 트럭 i 에 할당된 화물들의 배송 순서를 결정하는 역할을 한다 (Stevenson and Ozgur, 2007). 원래 Song and Kim (2013)에서는 목적함수와 제약식 (1-2)와 (1-3)이 비선형이었는데 여기서는 모두 선형으로 바꾸어서 계산 시간을 획기적으로 줄이게 되었다. 제약식 (1-4), (1-5), and (1-6)은 각 화물들이 어떤 트럭에 할당되는지를 결정하는데 a_{ij} 와 a_k 가 동시에 1일 때만 z_{ijk} 가 1이 될 수 있는 구조가 된다. 제약식 (1-7)은 z_{ijk} 가 1일 때만 y_{ijk} 가 1이 될 수 있는 두 변수 사이의 관계를 나타낸다. 제약식 (1-8)은 모든 화물들이 각자의 배송 요구시간 이전에 배송이 완료되어야 함을 의미하며, 제약식 (1-9)와 and (1-10)은 각 트럭들이 배송할 수 있는 화물들의 허용 수를 나타낸다. 제약식 (1-11)은 각 화물은 반드시 한번 배송이 되어야 함을 의미하며 마지막 제약식 (1-12)는 각 결정변수들이 가질 수 있는 값들의 한계를 표시한다.

위에서 제시된 모형의 유용성을 검증하기 위하여 실제 강판 코일을 배송하는 회사의 실제 데이터를 사용하였다. 그리고 이러한 데이터들을 가지고 본 연구가 제시한 선형혼합정수계획모형(MIP)을 풀기 위하여 (General Algebraic Modelling System (GAMS)에 내장된 CPLEX 13 solver를 사용했다. Cplex solver는 Branch-and-cut algorithm을 사용하여 현존하는 solver들 중 가장 효율적으로 규모가 큰 선형혼합정수계획모형을 풀 수 있는 것으로 알려져 있다 (Bonami et al., 2005; GAMS, 2010; Bussieck and Vigerske, 2011). Kim (2012)와 Song and Kim (2013)에서도 사용되었다.

4. 실증연구 데이터와 결과

언급된 바와 같이 본 연구에서 실증적인 분석을 위해 사용한 데이터는 경인지역에서 철 강판 코일을 생산하여 배송하는 기업으로부터 실제 배송에 관한 자료를 받아서 사용했다. 이러한 데이터들이 일종의 기업 기밀 사항이라 많은 케이스를 받지는 못하고 3개 정도의 케이스를 받아서 사용했는데 <표 1>은 데이터를 요약한 결과를 보여준다. <표 1>에 배송 소요 시간과 복귀 소요 시간

은 분 단위로 표시되어 있고, 배송 희망 시간은 아침 9시를 0으로 하고 오후 6시를 480으로 하여 (점심시간 1시간 제외) 하루 8시간 배송을 기준으로 시간 지점을 의미한다. 만약 배송 희망 시간이 150이면 아침 9시 정각으로부터 150분 후인 10시 30분을 의미하는 것이다. 이 기업은 경인 지역의 배송을 위해 기본적으로 6대의 트럭을 운용하고 있으며 Case 4의 경우처럼 배송이 많을 경우에는 5대를 추가로 운용할 수 있다.

<표 1>의 데이터를 가지고 총 고객이 원하는 배송 완료 시간과 실제 배송 완료 시간 사이의 차이를 최소화 하는 할당과 배송 순서를 결정하는 문제를 푼 결과가 <표 2>에 나타나 있다. 각 case 별로 할당 트럭 열에는 각 배송 작업이 할당된 트럭의 번호가 표시되어 있고 출발 시간 열에는 각 배송 작업이 할당된 트럭이 해당 배송 작업을 위해 출발하는 시간이 표시되어 있다. 예를 들어 case 2의 배송 작업 5는 6번 트럭에 할당이 되었고, 그 트럭은 아침 9시 정각에서 163분이 지난 오전 11시 43분에 배송 작업 5를 수행하기 위해 출발하는 것이다. <표 2>의 결과를 각 트럭 별로 예를 들어서 분석해 보면 case 3에서 트럭 2번의 경우 배송 작업 1, 9, 12, 16, 그리고 22를 수행해야 하는데 그 순서를 보면 1(17)→9(122)→22(192)→16(273)→12(394)의 순서로 수행하게 된다. 이 때 작업 1은 배송 희망 시간이 131인데 85에 도착해서 46분 일찍 도착하고, 작업 9는 배송 희망 시간이 211인데 170에 도착해서 41분 일찍 도착하고, 작업 22는 배송 희망 시간이 269인데 244에 도착해서 25분 일찍 도착하게 되지만 작업 16과 12는 희망 배송 시간이 실제 배송시간과 같아져서 차이가 생기지 않게 된다. Case 3의 경우 각 트럭에 의해 이렇게 발생하는 차이의 최소 총합이 722분이 되는 것이다. 다시 말해서 <표 2>에 있는 배송 작업의 할당과 출발 시간의 결정이 최적 해인 것이다. 그리고 이것을 결정하는데 Intel Core i5-2410M 2.30GHz CPU에서 8.00GB Ram으로 GAMS에 내장된 CPLEX 13 소프트웨어를 활용하여 3,547초가 소요되었음을 보여준다.

이런 차원에서 각 case별로 배송 작업의 수가 많아짐에 따라 최적 해를 얻기 위한 계산 시간이 증가하게 되고 목적함수 값 즉, 고객의 배송 희망 시간과 실제 배송 시간 사이의 차이도 커지게 된다. Case 4의 경우에 배송 작업의 수가 29임에도 불구하고 그 차이가 0인 것은 <표 1>에서 보는 바와 같이 트럭의 수가 11대로 충분히 많아서 고객들의 배송 희망 시간을 모두 만족시킬 수 있음을 보여준다.

본 연구가 제시하는 수리 모형을 활용하면 <표 2>에서 보는 바와 같이 고객의 배송 희망 시간을 최대한 배려할 수 있는 배송 체계를 구축할 수 있다. 더해서 수리 모형이 선형이기 때문에 CPLEX와 같은 효율적인 solver들을 활용하면 문제의 크기가 상당히 커져도 경제적으로 최적 해를 구할 수 있을 것이다.

표 1. 3가지 배송 케이스의 배송 소요 시간, 배송 완료 희망 시간, 그리고 배송 후 복귀 소요 시간 데이터 요약

job	Case 1			Case 2			Case 3 / 4		
	6대 트럭, 11 배송			6대 트럭, 15 배송			6대 트럭, 29 배송 / 11대 트럭, 29 배송		
job	배송 소요 시간	배송 희망 시간	복귀 소요 시간	배송 소요 시간	배송 희망 시간	복귀 소요 시간	배송 소요 시간	배송 희망 시간	복귀 소요 시간
1	78	150	10	68	131	37	68	131	37
2	82	190	28	62	252	31	72	286	24
3	80	294	35	62	462	11	62	252	31
4	76	181	16	46	353	23	58	400	14
5	78	260	26	48	211	22	62	462	11
6	58	434	24	52	227	24	60	461	23
7	64	177	22	52	186	25	46	353	23
8	100	209	21	96	273	24	50	444	16
9	100	330	23	96	143	14	48	211	22
10	96	145	15	72	446	25	48	430	12
11	58	194	34	60	220	16	52	227	24
12				70	229	28	60	454	16
13				60	166	21	52	186	25
14				56	378	21	52	431	24
15				44	450	26	96	273	24
16							100	373	16
17							96	143	14
18							80	257	30
19							72	446	25
20							72	306	13
21							60	220	16
22							52	269	29
23							70	229	28
24							68	293	27
25							60	166	21
26							52	474	13
27							56	378	21
28							60	328	26
29							44	450	26

5. 결론 및 연구의 한계점

오늘날과 같이 기업이 경쟁력을 확보하는데 있어서 고객의 만족이 중요한 시대에 제품의 질적 수준을 높임으로써 고객의 만족을 개선하는 것도 중요하지만 기술의 성숙화와 정보기술의 발달로 인한 신 기술의 빠른 전파로 인해 많은 산업에서 더 이상 제품 개발을 통해 고객 만족을 증진시키기는 어려워졌으며 공급 체인

관리 활동에 의해 고객의 만족이 큰 폭으로 좌우되게 되었다. 공급 체인 관리 활동 중에서도 고객이 원하는 시간에 제품을 배송하는 것도 아주 중요한 경쟁 요인이라고 할 수 있다. 특히 공급체인에서 완제품 제조 기업에 대해 부품이나 소재를 공급하는 기업들의 경우에는 완제품 제조 기업이 희망하는 시점에 배송을 해 주는 것이 아주 중요하다. 본 연구는 이러한 문제점을 파악하고 고객의 만족을 개선할 수 있는 배송 수단과 순서를 결정할 수 있는 수리 모형을 개발하고 이를 검증하고자 시도했다.

이를 위하여 목적함수에 고객이 희망하는 배송시간이라는 개

표 2. 기존 모형을 활용한 최적경로 및 최적해

배송 Job	Case 1		Case 3		Case 3		Case 4	
	목적함수:24분 계산시간:12.9초		목적함수:31분 계산시간:379.2초		목적함수:722분 계산시간:3,547초		목적함수:0분 계산시간:70.3초	
	할당 트럭	출발 시간	할당 트럭	출발 시간	할당 트럭	출발 시간	할당 트럭	출발 시간
1	3	72	3	63	2	17	4	63
2	5	108	1	190	1	169	9	214
3	1	214	4	400	6	175	8	190
4	1	105	1	307	3	334	5	342
5	3	182	6	163	1	400	6	400
6	6	376	3	175	5	401	10	401
7	4	113	1	113	1	265	6	307
8	6	109	2	177	1	334	9	394
9	4	230	6	47	2	122	3	163
10	2	25	3	374	6	362	4	382
11	2	236	4	160	3	149	2	175
12			5	159	2	394	1	394
13			2	96	5	59	9	134
14			4	322	5	325	11	379
15			2	406	4	177	6	177
16					2	273	1	273
17					4	47	3	47
18					1	59	7	177
19					4	374	8	374
20					5	234	4	234
21					3	73	10	160
22					2	192	5	217
23					5	136	1	159
24					3	225	11	225
25					6	94	8	106
26					6	422	5	422
27					4	297	2	322
28					6	268	10	268
29					3	406	2	406

념을 도입하여 그것과 실제 배송 시간의 차이를 배송과정에서 고객의 만족에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 규정하고 이를 최소화하는 것을 목적으로 기존의 모형을 변형하였고, 배송 작업을 트럭에 할당하고 각 트럭 별로 할당된 배송 작업들의 순서를 결정하는 문제를 동시에 해결할 수 있는 모형을 개발하고, 실제 기업 데이터를 가지고 모형의 유용성을 검증하였다. 결론적으로 본 연구에서 새로 개발된 모형은 배송시간에서의 차이를 최소화하는데 성공적이었으며 최적 해를 구하는데 소요되는 계산 시간도 상당 부분 줄이는데 성공하였다. 기업들은 본 연구가 제시하는 모형을 활

용하여 경쟁력 강화에 도움을 받을 수 있을 것으로 확신한다.

본 연구가 가질 수 있는 한계는 배송에 필요한 시간이 하루 이상 걸리는 경우에 대한 적용 가능성, 서론에서 설명한 화물이 하나가 아니라 여러 개 화물의 그룹인 경우에 각 개별 화물의 배송 희망 시간을 고려하지 못했다는 것, 그리고 기업이 보유하고 있는 트럭이 동질적이라는 것 등을 들 수가 있을 것이다. 이러한 문제들에 대해 추후에 더 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 김태호(2012), "내구재 배송 체계에서 최적 경로 결정 - 고객 만족의 기준에서 -", *한국SCM학회지*, Vol. 12(1), pp. 1-9.
- [2] Baker, K.R.(1974), *Introduction to sequencing and scheduling*, Wiley.
- [3] Bar-Noy, A., Guha, S., Naor, J., and Schieber, B.(1999), "Approximating the throughput of multiple machines in real-time scheduling", *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on Theory*.
- [4] Bonami, P., Biegler, L., Conn, A., Cornuejols, G., Grossmann, I., Laird, C., Lee, J., Lodi, A., Margot, F., Sawaya, N., and Wachter, A.(2005), "An algorithmic framework for convex mixed integer nonlinear programs", *Paper 30, Department of Chemical Engineering*, Carnegie Mellon University.
- [5] Bruno, J.L., Coffman Jr., E.G., and Sethi, R.(1974), "Scheduling independent tasks to reduce mean finish time", *Communication ACM*, Vol. 17, pp. 382-387.
- [6] Bussieck, M.R. & Vigerske, S.(2001), *INLP solver software*. GAMS Development Corp..
- [7] Chandran, B. and Raghavan, S.(2008), "Modeling and solving the capacitated vehicle routing problem on trees", in *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges*, Springer, pp. 239-261.
- [8] Chekuri, C., Goel, A., Khanna, S., & Kumar, A.(2004), "Multiprocessor Scheduling to Minimize Flow Time with Resource Augmentation", presented in STOC' 04, Chicago, IL..
- [9] Coffman Jr., E.G., Lueker, G.S., and Rinnooy Kan, A.H.G.(1988), "Asymptotic methods in the probabilistic analysis of sequencing and packing heuristics", *Management Science*, Vol. 34, pp. 266-290.
- [10] Conway, R.W., Maxwell, W.L., and Miller, L.W.(1967), *Theory of scheduling*, Addison-Wesley.
- [11] Garey, M.R., Johnson, D.S., Tarjan, R.E., and Yannakakis, M.(1983), "Scheduling opposing forests", *SIAM Journal of Algorithms and Discrete Methodologies*, Vol. 4, pp. 72-93.
- [12] Gronroos, C.(1984), "A service quality model and its marketing implications", *European Journal of Marketing*, Vol.18, pp. 36-44.
- [13] Johnson, D.S.(1983), "The NP-completeness column: An ongoing guide", *Journal of Algorithms*, Vol. 4, pp. 189-203.
- [14] Karp, R.M.(1975), "On the computational complexity of combinatorial problems", *Networks*, Vol. 5, pp. 45-68.
- [15] Kim, D., Kim, K., Jang, W., & Chen, F.F.(2002), "Unrelated parallel machine scheduling with setup times using simulated annealing", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 18, pp. 223-231.
- [16] Lenstra, J.K. and Rinnooy Kan, A.H.G.(1979), "Computational complexity of discrete optimization problems", *Annals of Discrete Mathematics*, Vol. 4, pp. 121-140.
- [17] Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.H.G., and Shmoys, D.B.(1993), "Sequencing and Scheduling: Algorithms and Complexity", in *Logistics of Production and Inventory*, North-Holland, pp. 445-522.
- [18] Omar, M.K. & Teo, S.C.(2006), "Minimizing the sum of earliness/tardiness in identical parallel machines schedule with incompatible job families: An improved MIP approach", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 181, pp. 1008-1017.
- [19] Ralphs, T.K., Kopman, L., Pulleyblank, W.R., and Trotter, L.E.(2003), "On the capacitated vehicle routing problem", *Mathematical Programming, Series B*, Vol. 94, pp. 343-359.
- [20] Seyran, I.(2006), "An Application of the vehicle routing problem to a glass manufacturing firm", *Master Thesis, Cankaya University*, Turkey.
- [21] Shapiro, J.F.(2007), *Modelling the Supply Chain*, 2nd ed., Thomson.
- [22] Shmoys, D.B. and Tardos, E.(1993), "Computational complexity of combinatorial problems", in *Handbook in Combinatorics*, North-Holland.
- [23] Song, S. & Kim, T.(2013), "Customer-oriented school bus operations for childcare centers in Korea", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 66, pp. 116-124.
- [24] Stevenson, W.J. and Ozgur, C.(2007), *Introduction to Management Science with Spreadsheets*, McGraw-Hill.

**김태호**

Pennsylvania State University 경영학박사

현재: 인천대학교 경영학부 부교수

관심분야: SCM, 생산운영관리, 계량경영학

국내 제조업에서의 Green SCM 도입 절차에 대한 고찰*

김송이 · 정봉주[†]

연세대학교 정보산업공학과

A Study on Adoption Process for Green Supply Chain Management in Korean Manufacturing Industry

Songi Kim, Bongju Jeong[†]

Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University

This paper presents adoption process for GSCM (Green Supply Chain Management) in Korean manufacturing companies by analyzing their sustainability reports. At first, we developed GSCM evaluation index from two different frameworks, sustainability evaluation framework focusing on environmental side and strategy and activities in GSCM. Based on this, we analyzed 158 sustainability reports of Korean manufacturing firms published from 2008 to 2012. As a result, we observed that the adoption process for GSCM is implemented in the order of importance of GSCM areas, which are eco design, green manufacturing, environment management system, life cycle analysis, cooperation system, and reverse logistics network. Also, we found that there exist significant procedural and strategic differences not only among companies, but also among industries in adopting GSCM.

Keywords: Green supply chain management, Adoption process, Sustainability report, Korean manufacturing firm

1. 서론

전 세계적으로 다양한 환경 이슈가 대두되고 있고, 그 중요성 역시 날로 커지고 있다. 이에 따라 제조 산업에서도 효율성뿐만 아니라 친환경성을 함께 고려하는 생산방법을 시행해나가는 추세이다. Zhu *et al.*(2012)에 따르면 기업들은 독자적으로 존재하기보다 서로 유기적으로 연결되어 있다. 따라서 공급사슬 안에

속한 기업들이 함께 친환경적인 생산 활동을 할 경우 더욱 효과적인 결과를 얻을 수 있다. 이에 따라 친환경적인 공급사슬(Green supply chain management, 이하 GSCM)의 중요성이 대두되고 있으며, 많은 기업들이 GSCM을 실천하기 위해 노력하고 있다.

Srivastava (2007)는 GSCM을 '공급사슬관리에 속하는 제품 설계, 원자재 조달 및 선택, 생산 과정, 완제품 배송 단계는 물론 사용이 끝난 제품 단계까지 환경적으로 고려하는 것'으로 정의했

* 본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2009-0085893).

[†] 교신저자 : 서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 정보산업공학과,

전화 : 02-2123-4013, 전송 : 02-364-7807, 이메일 : bongju@yonsei.ac.kr

2014년 2월 9일 투고, 2014년 3월 25일 수정본 접수, 4월 11일 게재 확정.

다. 따라서 GSCM은 기업이 독자적으로 실천할 수 없고 공급사슬 구성원들의 협력을 바탕으로 진행되어야 한다. 그 결과 공급사슬 전체의 친환경 목표는 공급사슬 구성원들이 속한 상황을 고려한 세부 목표로 분화되고, 단계적으로 추진된다. 그러나 GSCM의 다양한 하부 영역 중 일부만을 실천하는 데 그치는 기업들이 마치 GSCM의 전 영역을 고루 시행하고 있는 것처럼 보고하는 경우가 많아 GSCM의 진행 단계와 수준을 정확히 파악하기 힘든 상황이다(환경부, 2005).

본 연구는 GSCM 도입 절차를 파악할 수 있도록 GSCM 하위 영역 별 지표를 도출하고 국내 제조 산업 기업들이 발간한 지속가능경영 보고서를 평가한다. 지속가능경영 보고서는 기업이 이해관계자에게 경제적, 사회적, 환경적 지속가능성 성과 정보를 제공하는 보고서로, 본 논문에서는 특히 환경적 지속가능성 성과 정보를 활용하고자 한다. 그리고 결과를 분석해 GSCM 영역 별 수준과 GSCM이 어떤 단계를 거쳐 도입되는지 진행 과정을 파악하고자 한다. 특히 국내의 실정에 맞는 GSCM 평가 지표를 도출하기 위해 환경부에서 제시한 지속가능경영 프레임워크의 세부 항목들을 GSCM의 영역과 연계한다.

그런 다음, 현재 국내 제조 기업들의 GSCM의 하위 영역 별 평가 점수를 매기고, 연도 별로 정리하여 GSCM 도입 절차를 분석한다. 나아가, 기업별이 아닌 세부 산업 별로 나누어 분석함으로써 GSCM을 도입함에 있어서 산업 별 특징을 파악한다.

2. 기존문헌 연구

최근 GSCM에 대한 관심이 커짐에 따라 GSCM이 포함하는 다양한 영역들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Zhu *et al.*(2012)는 Bass 모형을 사용해 중국에서 ISO 14001 인증과 eco-labeling이 어떻게 확산되는지 연구하였다. 가장 널리 알려진 확산 모형인 Bass 모형은 새로운 혁신이 확산되는 과정을 혁신구매자(innovator)와 모방구매자(imitator)의 요인으로 설명한다. 두 요인은 각각 자체적인 채택 의사결정 정도를 나타내는 혁신계수(the coefficient of innovation)와 외부 요인이 채택에 영향을 미치는 정도인 모방계수(the coefficient of imitation)으로 구체화된다. 본 논문에서 연구 대상으로 설정한 ISO 14001과 eco-labeling은 중국의 GSCM 확산을 예측하기에 적합하며, 확산에 영향을 미치는 다양한 요인들과 확산 과정을 분석했다는 점에서 의의가 있다. 하지만 Bass 모형의 혁신계수와 모방계수를 결정하는 근거가 부족하다는 한계가 있다.

Huang *et al.* (2012)는 분산분석(Analysis of variance, ANOVA)과 요인분석을 실시하여 중국 생산기업들의 GSCM 도

입에 영향을 미치는 요인들을 분석했다. 특히 직원이 2000명 이하이고 연매출 3억 RMB 이하이며 총 자산이 4억 RMB를 넘지 않는 중소기업(Small and medium-sized enterprises: SMEs)을 대상으로 삼았다. 그 결과 환경 관련법과 규제, 제품 판매 과정에 대한 압박, 공급 사슬 내의 공급자, 고객과의 관계에서 발생하는 압력, 세 가지 모두 중국 중소기업의 GSCM 도입에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

위 연구들은 GSCM이 확산되는 양상과 GSCM 도입에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 그러나 GSCM은 경영전략부터 조직 체계 및 인프라 구축, 실질적인 활동 등 광범위한 범위에서 실현되기 때문에 어느 한 시점 혹은 명확한 하나의 기준으로 도입 여부를 판단하기 어렵다. 따라서 본 연구는 GSCM의 도입이 점진적으로 이루어진다고 가정하고 절차를 분석하였다.

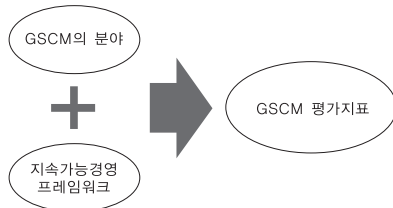
또한 앞선 연구에 따르면 GSCM 도입에는 관련법과 규제의 영향력이 존재하고, 기업 외부적으로 GSCM 시행에 대한 압력이 유의하게 작용한다. 법률 및 규제와 함께, GSCM에 대한 사회적 인식과 요구수준 역시 나라 별로 다르기 때문에 국내 제조 산업의 GSCM 도입 절차를 알기 위해서는 한국의 상황을 잘 반영한 GSCM 평가지표가 필요하다.

본 연구에서는 국내 제조기업의 GSCM 도입 절차를 분석하기 위해 먼저 지속가능보고서를 토대로 GSCM을 평가할 수 있는 평가지표를 도출한다. 이 지표를 사용해 기업별 GSCM 하위영역 점수를 산출하고 변화양상을 분석함으로써 국내 제조기업의 GSCM 도입 절차 및 세부 산업별 GSCM 도입 절차를 도출한다.

3. GSCM 평가지표

본 연구에서 도출하고자 하는 GSCM 평가지표는 이를 통해서 국내 기업들을 대상으로 GSCM의 세부 영역을 골고루 평가할 수 있어야 한다. 한국은 2002년 지속가능발전 기업협의회가 발족하였으며, 이후 기업들이 지속가능경영에 관심을 갖기 시작하며 지속가능경영 보고서를 발간하고 있다. 지속가능경영 보고서는 기업의 경제적, 사회적, 환경적 지속가능 성과를 이해관계자에게 전달하기 위한 보고서이며, 본 논문에서는 이 중 환경적 지속가능성과 정보를 활용하고자 한다. 환경부(2005)에서는 환경적 측면을 고려한 지속가능경영 프레임워크를 제시하여 기업의 환경적 성과 보고의 가이드라인이 되고 있다.

〈그림 1〉은 GSCM 평가지표를 도출하는 과정을 나타낸다. 우선 GSCM의 영역을 파악하고, 환경부에서 제시한 지속가능경영 프레임워크를 연계하여 GSCM 평가지표를 도출한다.



〈그림 1〉 GSCM 평가지표 도출 과정

3.1 GSCM의 영역

GSCM의 영역은 크게 기업이 GSCM의 전략을 구성하는 것과 실질적인 GSCM 활동으로 나뉜다. 기업의 자원기반이론(The resource-based theory)에 따르면 가치 있고 희귀하며 모방하기 힘든 조직의 자원과 능력의 결합은 다른 경쟁사와 구별되는 역량과 경쟁력을 만드는 데 핵심적으로 작용한다(Barney, 2001). 이러한 시각에서 조직 학습 시스템은 기업의 현존하는 자원과 능력을 개발하고 보완하여 소기의 목적을 달성하는 데 영향을 미친다(Zhu *et al.*, 2008). 실제로 기업의 친환경 전략에 대한 여러 연구에서 다양한 조직학습 시스템을 다루고 있는데, 이 중 Darnall & Edwards(2004)는 환경경영시스템(Environmental management system, EMS)을, Kitazawa & Sarkis(2000)의 연구에서는 품질관리시스템과 ISO 9000을 대상으로 조직학습 시스템을 다루었다.

경영지원은 조직의 리더뿐 아니라 전사적인 차원에서 GSCM의 중요성을 인지하고, 기업의 비즈니스 전략에 이를 통합하는 것을 의미한다. Daily & Huang(2001)의 연구에서 경영지원은 환경 시스템을 시행하는 데 매우 중요한 요소로 나타났다.

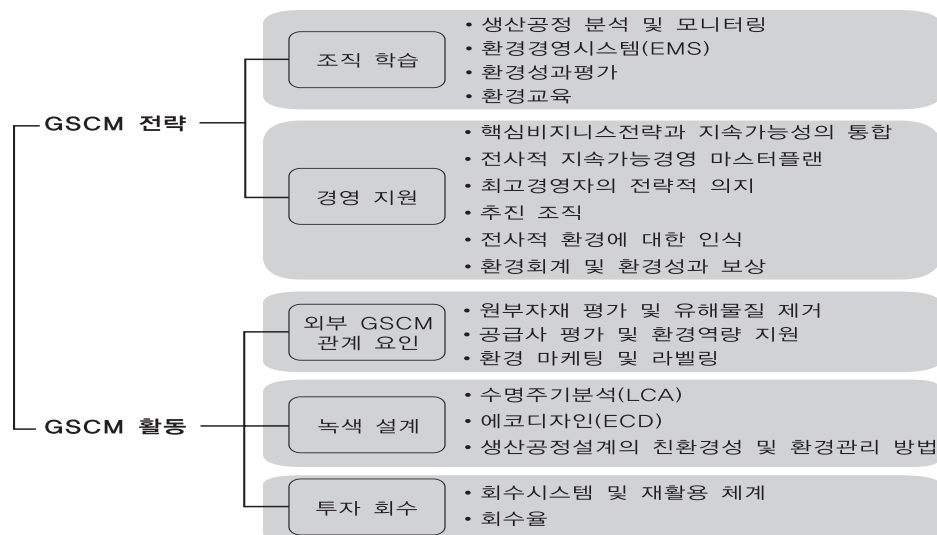
한편, GSCM에 대한 연구는 많이 진행되지 않은 탓에 연구마다 GSCM을 실행하는 데 핵심적인 활동을 다르게 규정하고 있다(Zhu *et al.*, 2008). 본 연구에서는 그 중 Zhu *et al.*(2008)의 분류 활동을 기준으로, GSCM의 주요 활동을 외부 GSCM 요인, 녹색설계, 그리고 투자회수(Investment recovery)의 세 가지로 구분하였다.

외부 GSCM 요인은 외부와의 관계를 통하여 들어오고 나가는 물류의 흐름을 환경적으로 관리하는 것을 의미한다. 공급 측면에서 녹색 구매, 공급자 관리를 포함하며 물류와 고객에 대한 녹색 제품 마케팅에서도 GSCM 활동을 찾아볼 수 있다(Murphy & Poist, 2000).

녹색설계는 친환경설계(Eco design: ECD)와 수명주기 분석(Life cycle analysis: LCA)를 포함한다. 친환경설계는 제품과 공정이 환경에 미치는 영향을 최소화하도록 기술적으로 개선하고 설계하는 활동이며, 제품을 설계하는 방법이 제품의 친환경 능력에 영향을 미친다는 이해에서 시작된다. 기업은 친환경설계를 통해 필요한 원자재와 유해물질 양을 줄이고 재활용 제품 사용을 늘리도록 제품과 공정을 설계한다.

수명주기 분석은 제품이 수명주기의 전 상태에서 환경, 건강, 자원에 어떤 영향을 미치는지를 분석하는 과정을 말한다. 이때 수명주기는 원자재를 추출 및 가공하고, 제품을 생산하고, 운송하고, 사용하고, 재가공하거나 최종적으로 폐기되기까지 전 과정을 의미한다.

마지막으로 투자회수는 재활용, 재사용, 재판매 등 원자재와 제품으로부터 더 큰 가치를 창출하는 활동을 일컬으며, 역물류 네트워크(Rreverse logistics and network)와 관련이 깊다. 역물류 네트워크 설계에서는 사용된 제품을 회수하는 방법(장소), 회수된 제품을 공정에 재투입하기에 앞선 처리 과정, 회수율에 관한 것들이 포함된다. 이러한 GSCM의 영역을 도식화하면 〈그림 2〉와 같다.



〈그림 2〉 GSCM의 영역

3.2 GSCM 평가지표 도출

지속가능경영 보고서는 기업의 지속가능한 발전성과를 공개하는 보고서로, 기업의 이해관계자들에게 경제적 성과와 더불어 사회적, 환경적 성과를 함께 공개하고 있다. GRI(Global Reporting Initiative)는 지속가능 보고서에 대한 가이드라인을 제시했으며, 국제표준화기구(International Organization for Standardization) 역시 ISO26000을 발표하여 기업의 사회적 책임에 대한 국제표준을 제정하였다. 2005년 환경부는 환경적 측면을 중심으로 한 지속가능경영 프레임워크를 제시하고, 항목별로

성숙도를 파악할 수 있도록 구체적인 기준을 제시했다(환경부, 2005). 이는 기업이 지속가능경영 보고서를 발간하는 데 가이드라인을 제시하고, 각 기업에서 자사의 지속가능경영 수준을 파악하는 데 도움을 준다. 환경 측면을 중심으로 한 지속가능경영 프레임워크는 <표 1>에 나타나 있다.

지속가능경영 프레임워크는 크게 환경적 지속가능경영 전략과 환경적 지속가능경영 시스템으로 나뉜다. 환경적 지속가능경영 전략은 기업의 최고경영자와 더불어 전사적으로 지속가능성에 대한 중요성을 인식하고 핵심 비즈니스전략에 통합하였는지, 또한 지속가능경영을 실현하기 위한 중장기적 마스터플랜이 수립되어

표 1. 환경 측면의 지속가능경영 프레임워크

환경적 지속가능경영 전략	[S01] 핵심비즈니스전략과 지속가능성의 통합성	
	[S02] 지속가능성 실현을 위한 전사적 지속가능경영 마스터플랜	
	[S03] 지속가능경영을 위한 최고경영자의 전략적 의지	
	[S04] 추진 조직	
	[S05] 전사적 환경(지속가능성)에 대한 인식	
환경적 지속가능경영 시스템	제품 개발 시스템	[S06] 수명주기 분석(LCA)
		[S07] 에코디자인(ECD)
	청정생산 시스템	[S08] 생산공정설계의 친환경성
		[S09] 생산공정 분석 및 모니터링 체계
		[S10] 생산공정 환경 관리 방법
	경영 시스템	[S11] 환경경영시스템(EMS)의 구축 범위
		[S12] 환경경영시스템(EMS)의 통합
		[S13] 환경감사
		[S14] 환경성과평가(EPE)
		[S15] 환경교육
		[S16] 환경회계
		[S17] 환경성과보상
	공급사 관리 시스템	[S18] 원부자재 평가시스템
		[S19] 원, 부자재 유해물질 제거
		[S20] 공급사 평가 시스템
		[S21] 공급사 환경역량 지원시스템
		[S22] 공급사 EMS 인증
	환경 마케팅 시스템	[S23] 환경마케팅
		[S24] 환경라벨링
	자원재순환 시스템	[S25] 회수시스템 및 재활용 체계
		[S26] 회수율
	커뮤니케이션 시스템	[S27] 기업 환경정보 공개
		[S28] 지역사회와의 관계
		[S29] NGO와의 관계
		[S30] 정부와의 관계
		[S31] Global 리더십 활동
		[S32] Global 환경보호 활동

있으며 이를 추진하기 위한 추진 조직이 구축되었는지 등, 기업의 전략에 지속가능전략이 잘 통합되어있는지를 평가한다.

기업의 비즈니스 전략과 비전은 향후 기업이 나아가고자 하는 방향을 공표하는 것이다. 따라서 기업의 핵심 비즈니스 전략에 지속가능성 이슈를 포함하는 것은 기업의 경영활동에 지속가능성을 적극적으로 반영하겠다는 선언으로 이해할 수 있다(S01).

이렇게 기업의 비즈니스 전략에 통합된 지속가능성을 구현하기 위해서는 전사적 지속가능경영 마스터플랜(S02)이 필요하다. 지속가능경영 마스터플랜은 기업이 중장기적 계획을 수립하고, 각 부서별로 구체화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서는 기업의 최고 경영자가 지속가능성의 중요성을 인지하고, 강력한 리더십을 발휘하여 지속가능경영을 추진할 수 있어야 한다(S03). 또한 지속가능경영을 지원할 수 있는 전담 조직이 구성되어야 하며(S04), 전사적으로 친환경에 대해 높은 수준으로 인식하고 있어야 한다(S05).

앞서 GSCM은 친환경활동의 하나로 생각할 수 있다고 했기 때문에, 이 다섯 개의 항목들은 기업이 GSCM을 실현하기에 앞서 중요성을 인지하고 추진하는 경영지원으로 생각할 수 있다. 따라서 환경적 측면의 지속가능경영 프레임워크의 처음 다섯 개 항목(S01, S02, S03, S04, S05)은 GSCM 전략의 경영지원(G2)에 속한다.

한편, 친환경 경영을 실현하게 하는 환경적 지속가능경영 시스템은 제품 개발 시스템, 생산 시스템, 경영 시스템, 공급사 관리 시스템, 마케팅 시스템, 자원재 순환 시스템, 커뮤니케이션 시스템으로 구성된다.

제품 개발 시스템 중 수명주기 분석은 제품이 생산에서부터 고객에게 사용되고 폐기되기 까지 환경에 미치는 영향을 분석하는 과정이다. 기업은 수명주기 분석을 수행함으로써 생산되는 제품이 수명주기 전반에 걸쳐 환경에 미치는 영향을 이해할 수 있다(S06). 또한 제품 개발 단계에서부터 환경성을 고려하는 에코디자인을 통해 유해물질 함유, 원자재 투입량을 낮추고 재활용성을 높이는 제품을 생산한다(S07). 이 두 가지 항목은 GSCM 활동 중 녹색설계(G4)와 연계할 수 있다.

지속가능경영을 실현하기 위해서는 생산 과정에서 환경에 미치는 오염 요소들을 최소화 할 필요가 있다. 따라서 환경에 미치는 영향을 줄이도록 생산 공정을 설계하고(S08), 공정에 들어가는 투입물과 공정 중, 후에 발생하는 각종 산출물의 종류 및 양을 정확히 파악할 수 있는 모니터링 체계를 갖추며(S09), 발생하는 오염물을 제거하는 것뿐만 아니라 사전예방 차원에서 공정을 철저히 관리할 필요가 있다(S10). 친환경적인 생산공정 설계(S08)와 공정에서 발생하는 오염을 사전에 막는 환경 관리 방법(S10)은 GSCM 활동 중 녹색설계(G4)에 해당한다. 생산공정 분석 및 모니터링 체계(S09)는 특히 공정에서 발생하는 산출물 중 폐기되는 양을 파악하는 데 도움을 주므로 GSCM 전략 중 조직학습(G1)에

해당한다고 할 수 있다.

S11부터 S17까지의 항목들은 경영시스템에 해당한다. 환경에 관한 인증시스템이 전 사업장에 구축되어야 하며(S11), 모든 부서가 정해진 EMS 절차에 따라 영향평가, 성과보고를 수행해야 한다(S12). 또한 정기적으로 모든 사업장을 대상으로 내, 외부 감사를 시행하고(S13) 모든 임직원들을 대상으로 정기적인 환경교육을 실시해야 한다(S15). 특히 환경 성과지표 (Environmental performance indicators: EPIs)를 개발하고 측정함으로써 전사적으로 환경성과평가(Environmental performance evaluation: EPE)를 공유할 필요가 있다(E14). 이 네 가지 항목들은 GSCM 전략 중 조직학습(G1)에 해당한다.

또한 경영시스템은 환경회계를 통해 환경적 지속가능경영을 위해 소요된 비용 및 투자된 비용을 체계적으로 분석하고 의사결정 과정에 반영해야 하며(S16), 조직 구성원들의 환경관련 성과에 대한 보상이 적합하게 이루어져야 한다(S17). 이 두 가지 항목은 GSCM 전략 중 경영지원(G2)에 속한다.

공급사 관리 시스템은 원부자재의 환경성을 평가하는 원부자재 평가시스템(S18)과 유해물질 제거(S19)와 같이 원부자재에 대한 관리를 포함한다. 그리고 공급사의 환경 성과를 평가하여 공급사를 선정하는 데 반영하는 공급사 평가시스템(S20)과 공급사의 환경 경영을 지원하기 위한 공급사 환경역량 지원시스템(S21), 공급사의 EMS 인증(S22)이 속해있다. 이 다섯 가지 항목은 GSCM 활동의 외부 GSCM 요인(G3)에 해당하나, 국내기업의 EMS 인증 수준은 아직 미진하여 S22를 제외하였다.

한편 환경마케팅(S23)과 환경라벨링(S24)은 고객의 친환경 요구에 대응하는 수준을 의미하기 때문에 역시 외부 GSCM 요인

표 2. 지속가능경영 프레임워크를 반영한 GSCM 평가 지표

GSCM의 영역		지속가능경영 프레임워크
GSCM 전략	[G1] 조직학습 - EMS	S09, S11, S12, S13, S14, S15
	[G2] 경영지원 - 중요성 인지 - 환경회계 - 성과보상	S01, S02, S03, S04, S05, S16, S17
GSCM 활동	[G3] 외부 GSCM 요인 - 공급사 관리 - 고객 관리	S18, S19, S20, S21, S23, S24
	[G4] 녹색설계 - 친환경설계 - 수명주기 분석	S06, S07, S08, S10
	[G5] 투자회수 - 역물류 네트워크	S25, S26

(G3)에 연계하였다.

자원재순환 시스템에 해당하는 회수시스템 및 재활용 체계(S25)는 기업이 자원 재활용을 위해 재활용 정보를 제공하고 있는지, 판매 후 제품의 회수를 위해 노력하고 있는지를 평가하며 이를 통해 제품 회수율(S26)이 파악된다. 이 두 가지 항목은 GSCM의 투자회수(G5)에 해당한다.

본 연구에서는 <표 1>의 항목들을 GSCM 평가 프레임워크에 맞게 변형하여 기업들의 지속가능경영 보고서를 통해 GSCM 수준에 대한 평가를 진행하였다. GSCM의 영역과 <표 1>의 하위 항목들을 연계하여 새롭게 만든 GSCM 평가 지표는 <표 2>와 같으며, 각 항목 별로 5점 리커트 척도(Likert scale)로 평가하여 점수를 계산하였다.

4. 평가 및 결과 분석

공급사슬은 실제로 사슬 상의 여러 기업들이 유기적으로 연결된 모습이므로, 본 연구에서는 공급사슬의 중심을 생산자로 정하고 생산자의 GSCM 도입 절차에 초점을 맞춰 분석하였다. 국내의 제조 산업은 대기업 중심으로 여러 중소기업들이 연결된 형태이다(한국개발연구원, 2004). 중소기업 기본법 제2조에 따르면 제조업에서 상시 근로자수가 300명 미만일 경우 중소기업으로 구분되므로, 본 연구에서 공급사슬의 중심인 생산자는 상시 근로자

수 300명 이상의 중견기업과 대기업으로 한정한다. 본 연구에서는 2008년부터 2012년까지 지속가능경영 보고서를 발간한 중견 및 대기업들의 지속가능경영 보고서를 토대로 국내 제조기업의 GSCM 도입 절차를 분석하였다. 조사한 데이터에 대한 요약은 <표 3>에 정리되어 있다.

본 연구에서는 총 48개 기업, 158개의 보고서를 조사했으며 산업은 석유화학, 전자, 정밀화학, 자동차, 조선, 제철로 구분하고 그 외의 기업들은 기타로 분류하였다. 대체로 2008년부터 발간된 보고서의 숫자는 매년 증가하고 있으나, 일부 기업에서 아직 2012년 성과에 대한 보고서를 발간하지 않아 2012년 보고서의 수는 2011년에 비해 적은 것으로 이해된다.

산업 별 분석에서 연도 별 보고서의 수가 너무 적은 산업은 제외하고 석유화학, 전자, 정밀화학, 자동차의 네 가지 산업 군을 대상으로 분석을 진행했다.

평가는 먼저 환경부(2005)에서 제시한 지속가능경영 프레임워크 항목 별 수준 평가 기준을 참고하여 158개 지속가능성 보고서를 5가지 수준에 맞게 평가하고 이를 5점 리커트 척도로 변환하였다. 리커트 척도에 따라 점수는 1점부터 5점 사이의 값을 갖게 되며, 점수는 높을수록(5점에 가까울수록) 해당 항목의 수준이 높은 것으로 해석되며, 반대의 경우 항목에 대한 수준이 낮다고 해석할 수 있다. 이후 앞서 재구성한 GSCM 평가 지표에 맞게 GSCM 영역별로 평균점수를 도출하였다.

표 3. 국내 제조기업의 GSCM 영역별 점수

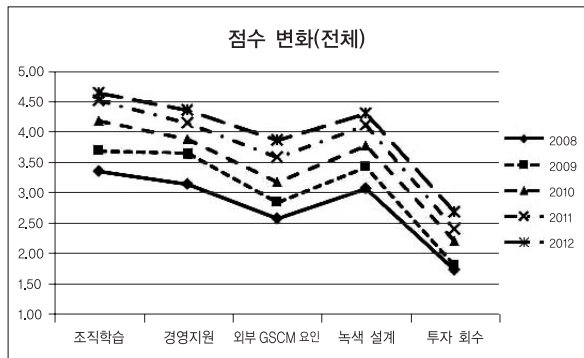
GSCM의 영역		2008	2009	2010	2011	2012
GSCM 전략	[G1] 조직학습	3.34	3.68	4.17	4.50	4.63
	[G2] 경영지원	3.12	3.63	3.87	4.12	4.35
GSCM 활동	[G3] 외부 GSCM 요인	2.57	2.83	3.16	3.56	3.86
	[G4] 녹색설계	3.07	3.41	3.76	4.10	4.29
	[G5] 투자회수	1.72	1.80	2.19	2.38	2.67

표 4. 데이터 요약

		기업 수	보고서 수					
			2008	2009	2010	2011	2012	계
계		48	23	32	38	39	26	158
산 업	석 유 화 학	10	6	9	7	7	4	33
	전 자	9	5	4	7	7	7	30
	정 밀 화 학	7	4	6	6	7	4	27
	자 동 차	5	3	3	5	5	4	20
	조 선	6	0	2	5	5	2	14
	제 철	2	2	1	2	2	2	9
	기 타	9	3	7	6	6	3	25

4.1 국내 제조기업의 GSCM 도입 절차

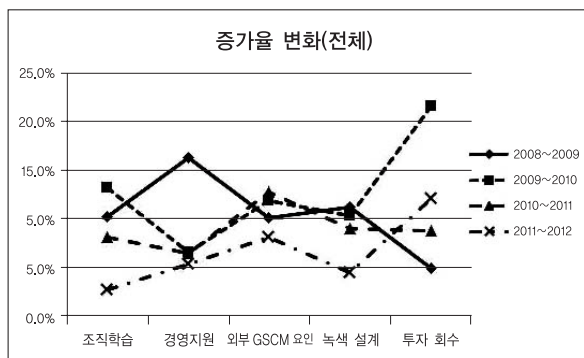
전체 보고서의 점수를 평균하여 정리하면 <표 4>와 같고 <그림 3>은 이를 보기 쉽게 그래프로 나타낸 것이다.



<그림 3> 국내 제조기업의 GSCM 영역별 점수 변화

<그림 3>의 그래프를 보면 2008년에도 조직학습(G1)과 경영지원(G2), 녹색설계(G4)는 높은 수준을 보이는 것을 알 수 있다. 반면 외부 GSCM 요인(G3)과 투자회수(G5)는 상대적으로 점수가 낮았다.

<그림 3>에서 시간이 지날수록 GSCM의 모든 영역에서 점수가 높아지는 것을 알 수 있으나, 증가 폭은 영역별로 달라 증가율 변화를 알기 쉽게 <그림 4>과 같이 새로이 정리하였다.



<그림 4> 국내 제조기업의 GSCM 영역별 점수 증가율 변화

<그림 4>의 증가율 변화를 보면 조직학습(G1)과 경영지원(G2), 녹색설계(G4)는 초기에 높은 증가율을 보이며 갈수록 증가율이 줄어드는 것을 알 수 있다. 반면 외부 GSCM 요인(G3)과 투자회수(G5)의 증가율은 변화가 적거나 일정하지 않다.

<그림 3>과 <그림 4>의 결과를 종합해 보면, 국내의 제조기업은 먼저 GSCM의 중요성을 인지하여 경영지원을 실시하고, 환경경영시스템을 체계화하여 공정에서 발생하는 환경오염물질들을 모니터링하고 폐기과정을 관리하는 것으로 나타났다. 그리고 제품과 생산공정을 설계할 때 환경적인 요인을 고려하는 녹색설계의 점수가 높다.

즉, 기업은 GSCM의 중요성을 인지하고 마스터플랜을 수립하는 동시에 환경경영시스템을 구축한다. 이를 통해 사업장에서 발생하는 오염물들을 정확히 모니터링하고 전사적으로 자료를 실시간 공유할 수 있다. 그리고 환경경영시스템을 바탕으로 환경 교육, 환경 회계와 같은 활동을 시행한다. 한편 공정에 투입되는 원자재들을 평가하고 양을 줄이기 위한 노력이 병행된다.

한편, 녹색설계(G4) 중 수명주기 분석과 투자회수(G5)에 해당하는 역물류 네트워크 설계, 외부 GSCM 요인과의 협력 체계(G3)에 대한 점수는 낮아, 다소 느리게 진행되고 있음을 보여주었다. 수명주기 분석은 제철, 석유화학 산업 등에서 제품의 특성상 생산 이후에 환경에 미치는 영향을 평가하기 어려운 경우가 있어 전체 평균 점수가 낮은 것으로 생각된다. 또한 4점 이상인 기업의 수가 드문 것으로 보아 기업들은 대체로 핵심 제품 몇 가지에 대한 수명주기 분석을 목표로 삼고 있다는 것을 알 수 있다.

외부 GSCM 요인과의 협력 점수 변화는 상생환경, 협력의 중요성이 강조됨에 따라 기업이 협력 체계를 구축하기 위해 노력하고 있는 것을 보여준다. 특히 공급사의 친환경 경영을 위한 정보 공유와 투자가 일부 시행되며 꾸준히 수준이 높아지고 있다.

한편, 기업의 회수 체계를 활성화하기 위한 연구에 대한 관심은 커지고 있으나, 실제로 기업들의 역물류 네트워크 설계나 회수율에 대한 수준은 낮은 것으로 보여 진다. 대다수의 보고서에서 역물류 네트워크 혹은 회수율에 대한 내용을 언급하고 있지 않거나, 보고하는 정보의 범위가 좁았다. 이는 기업들이 GSCM에서 역물류 네트워크에 대한 중요성을 인지하지 못하거나, 구축하는데 있어 어려움이 존재하는 것으로 해석할 수 있다.

4.2 세부 산업 별 GSCM 도입 절차

(1) 석유화학산업

석유화학 산업에서는 10개 기업을 대상으로 2008년부터 2012년 까지 총 33개의 보고서를 평가하였다. 국내 석유화학산업 기업들의 GSCM 영역별 점수는 <표 5>에 정리되어 있다. <그림 5>은 <표 5>의 점수 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

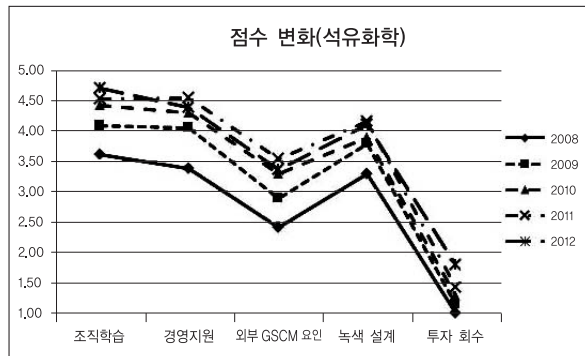
<그림 5>을 보면 석유화학산업 기업들의 GSCM 점수는 변화의 폭이 크지 않은 것을 알 수 있다. 제품의 특성 상 환경에 미치는 영향이 크기 때문에 GSCM이 기업 가치에 긍정적인 영향을 주는 요

표 5. 국내 석유화학산업 기업들의 GSCM 영역별 점수

GSCM의 영역		2008	2009	2010	2011	2012
GSCM 전략	[G1] 조직학습	3.61	4.07	4.40	4.52	4.70
	[G2] 경영지원	3.38	4.04	4.29	4.53	4.37
GSCM 활동	[G3] 외부 GSCM 요인	2.42	2.89	3.29	3.54	3.35
	[G4] 녹색설계	3.29	3.79	3.89	4.14	4.10
	[G5] 투자회수	1.00	1.14	1.29	1.43	1.80

소임을 빠르게 인식하고(G2) 친환경 공정 설계 및 에코디자인(G4)에 대한 투자가 일찍 이루어졌다. 또한 환경경영시스템 구축(G1)도 일찍 이루어졌다. 반면 생산되는 제품의 특성상 추적이나 회수가 어려워서 수명주기 분석나 역물류 네트워크(G5)에 대한 점수는 낮았고, 변화폭도 크지 않았다. 따라서 공급사슬의 순방향에서 친환경성을 갖추기 위해 노력하고 있는 것을 알 수 있다.

한편 석유화학산업 기업의 보고서는 대체로 공급사에 대한 언급이 적은 것으로 나타나 친환경을 위한 협력 체계 구축(G3)은 미진한 것으로 생각된다.



〈그림 5〉 국내 석유화학산업 기업들의 GSCM 영역별 점수 변화

(2) 전자산업

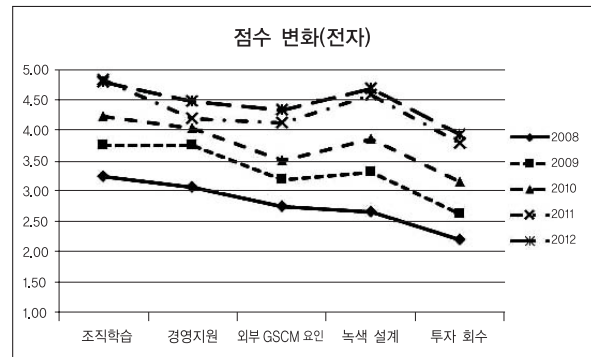
조사 대상 중 전자 산업에 속하는 기업은 9개였으며, 2008년부터 2012년 까지 총 30개의 보고서를 평가하였다. 국내 전자산

업 기업들의 GSCM 영역별 점수는 〈표 6〉에 정리되어 있다. 〈그림 6〉은 〈표 6〉의 점수 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

〈그림 6〉를 보면 전자 산업에 속한 기업들의 점수 변화 폭은 전체 평균과 달리 GSCM 영역별로 차이가 작은 것으로 나타났다. 또한 최근(2012년) GSCM 영역별 점수가 전체 제조기업을 대상으로 한 결과에 비해 전반적으로 높게 나타났다.

세부 항목들을 분석해 보면, 전체 제조기업 평균에서 낮은 수준이었던 수명주기 분석, 역물류 네트워크 설계 및 회수율, 외부 GSCM 요인과의 협력 같은 항목들의 점수가 높아 전자산업이 GSCM 실현에 앞서 나간다고 해석할 수 있다.

전자제품은 생산자 책임 재활용제(Extended producer responsibility: EPR)에 해당하는 것이 많기 때문에, 생산자는 재활용이 가능한 폐기물의 일정량 이상을 재활용해야 하는 의무를 가지고 있다. 이러한 제도가 전자기업들이 역물류 네트워크에



〈그림 6〉 국내 전자산업 기업들의 GSCM 영역별 점수 변화

표 6. 국내 전자산업 기업들의 GSCM 영역별 점수

GSCM의 영역		2008	2009	2010	2011	2012
GSCM 전략	[G1] 조직학습	3.23	3.75	4.21	4.81	4.79
	[G2] 경영지원	3.06	3.75	4.02	4.18	4.47
GSCM 활동	[G3] 외부 GSCM 요인	2.75	3.19	3.50	4.11	4.32
	[G4] 녹색설계	2.65	3.31	3.86	4.57	4.68
	[G5] 투자회수	2.20	2.63	3.14	3.79	3.93

대한 중요성을 인지하고 실천하는 데 기여했을 것이라고 추측해 볼 수 있다.

(3) 정밀화학산업

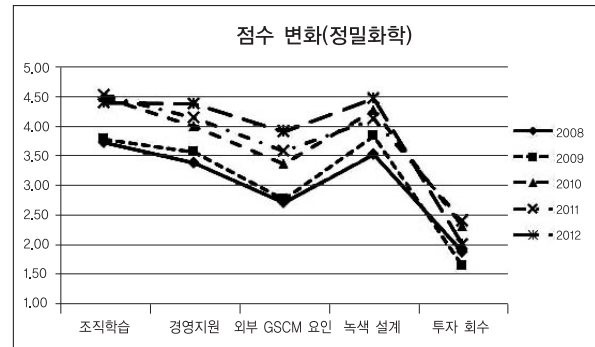
정밀화학산업은 정밀화학, 제지, 담배를 생산하는 기업들이 포함되며, 본 연구에서는 2008년부터 2012년 까지 발간된 7개 기업의 보고서 27개를 평가하였다. 국내 정밀화학산업 기업들의 GSCM 영역별 점수는 <표 7>에 정리되어 있다. <그림 7>은 <표 7>의 점수 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

정밀화학산업의 기업들은 석유화학산업의 경우와 마찬가지로 GSCM의 중요성을 빠르게 인지하고 추진하였다(G2). 그러나 석유화학기업들이 수명주기 분석에 어려움이 있는 것에 반해 정밀화학기업들은 수명주기 분석을 높은 수준으로 진행하고 있었다. 그 결과 수명주기 분석을 포함하는 녹색설계(G4)의 2012년 점수가 네 개 산업 군 중에서 가장 높았다. 분석 과정에서 정밀화학기업들은 제품의 내용물뿐만 아니라 제품의 포장용기를 친환경적으로 설계하고, 그 영향을 줄이기 위해 상당한 노력을 기울이고 있는 것을 알 수 있었다.

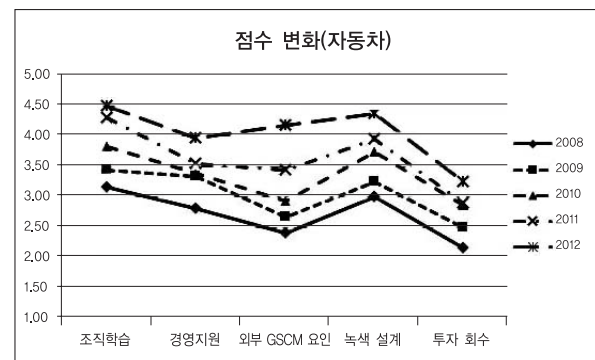
하지만 여전히 역물류 네트워크 설계(G5)에 대한 부분은 미진한 실정이며, 수준 변화도 더디게 나타난다.

(4) 자동차산업

자동차산업은 엔진이나 부품, 또는 완제품을 생산하는 기업들로 구분되며, 본 연구에서 조사한 기업 중 자동차산업에 속하는 기업은 5개이고, 2008년부터 2012년 까지 총 20개의 보고서를 평가하였다. 국내 자동차산업 기업들의 GSCM 영역별 점수는 <표 8>에 정리되어 있다. <그림 8>은 <표 8>의 점수 변화를 그래프



<그림 7> 국내 정밀화학산업 기업들의 GSCM 영역별 점수 변화



<그림 8> 국내 자동차산업 기업들의 GSCM 영역별 점수 변화

로 나타낸 것이다.

자동차산업 기업들의 GSCM 영역별 점수 중 눈에 띄는 것은 GSCM의 중요성 인지, 성과보상, 환경회계가 포함된 경영지원(G2)의 점수가 조금 낮으나 역물류 네트워크에 대한 영역인 G5와

표 7. 국내 정밀화학산업 기업들의 GSCM 영역별 점수

GSCM의 영역		2008	2009	2010	2011	2012
GSCM 전략	[G1] 조직학습	3.71	3.75	4.47	4.50	4.38
	[G2] 경영지원	3.36	3.54	3.97	4.12	4.36
GSCM 활동	[G3] 외부 GSCM 요인	2.69	2.75	3.35	3.56	3.88
	[G4] 녹색설계	3.50	3.81	4.25	4.10	4.44
	[G5] 투자회수	1.88	1.63	2.30	2.38	2.00

표 8. 국내 자동차산업 기업들의 GSCM 영역별 점수

GSCM의 영역		2008	2009	2010	2011	2012
GSCM 전략	[G1] 조직학습	3.17	3.44	3.83	4.30	4.50
	[G2] 경영지원	2.81	3.33	3.39	3.54	3.96
GSCM 활동	[G3] 외부 GSCM 요인	2.42	2.67	2.94	3.45	4.19
	[G4] 녹색설계	3.00	3.25	3.75	3.95	4.38
	[G5] 투자회수	2.17	2.50	2.88	2.90	3.25

외부 GSCM 요인과의 협력(G3) 점수가 높은 것이 특징이다.

특히 협력 점수는 후에 큰 폭으로 증가한 것으로 보인다. 자동차 산업은 공급자와 매우 긴밀한 관계를 가지고 있기 때문에 협력 체계를 구축하는 것에 대한 이해도가 높고, 구현시 협조가 상대적으로 원활했을 것으로 생각된다.

5. 결론

기업들은 독자적으로 존재하기보다 서로 유기적으로 연결되어 있어서, 공급사슬의 기업들이 함께 친환경적인 생산 활동을 할 경우 그 효과는 더욱 커질 수 있다. 이에 따라 GSCM의 중요성이 대두되었다. 하지만 GSCM의 실천은 단기간, 혹은 부분적인 영역에서 일어나는 것이 아니라 장기적이고 다양한 영역에서 실현되는 것이다. 본 연구에서는 국내 제조기업들의 지속가능경영 보고서를 분석하여 GSCM의 도입 절차를 파악하였다. 이를 위해 지속가능경영 보고서를 근거로 GSCM 영역 별 점수를 평가할 수 있는 평가 지표를 도출하고, 2008년부터 2012년까지 5년동안 국내 제조기업에서 발간한 지속가능경영 보고서를 평가하였다.

연구 결과 GSCM의 전반적인 영역에서 점수가 증가하였으며, GSCM의 영역 중 GSCM의 중요성, 에코디자인, 폐기의 영역에 대한 점수는 2008년부터 높았다. 반면 2012년이 되어도 수명주기 분석, 회역물류 네트워크 설계, 협력 체계의 점수는 낮은 것으로 나타났다.

분석 결과를 종합해 보면, 국내의 제조기업은 GSCM의 중요성을 인지하고 마스터플랜을 수립하는 동시에 에코디자인 제품 설계를 시행하는 것을 알 수 있다. 또한 사업장에서 발생하는 오염물들을 정확히 모니터링하는 시스템을 구축한 뒤 오염물질을 양을 줄일 수 있도록 친환경 생산 공정, 오염 방지를 시행한다고 볼 수 있다. 그 후 환경경영시스템을 구축하거나 원자재 감축을 시행한다. 환경경영시스템은 환경에 대한 모든 정보를 전사적으로 공유하는 시스템으로, 환경 교육이나 환경 회계와 같이 전 부서의 구성원들의 업무에 환경 이슈를 반영할 수 있게 하는 바탕이 된다.

수명주기 분석, 역물류 네트워크, 협력 체계에 대한 점수는 전반적으로 낮아 다소 느리게 진행되었다. 수명주기 분석은 일부 산업에서 제품의 특성상 생산 이후에 환경에 미치는 영향을 평가하기 어려운 경우가 있을 것으로 생각된다. 또한 4점 이상인 기업들의 수가 드문 것으로 보아 기업들은 대체로 핵심 제품 몇 가지에 대한 수명주기 분석만을 목표로 삼고 있다는 것을 알 수 있다.

상생환경, 협력의 중요성이 강조됨에 따라 공급사의 친환경 경영을 위한 정보공유와 투자가 일부 시행되며 협력 체계의 꾸준히

수준이 높아지고 있으나 아직은 미흡한 상황이다.

한편, 기업의 회수 체계를 활성화 하기 위한 연구에 대한 관심은 커지고 있지만 실제로 기업들의 역물류 네트워크 수준은 낮은 것으로 나타났다. 이는 기업들이 GSCM에서 역물류 네트워크에 대한 중요성을 인지하지 못하거나, 구축하는 데 있어 어려움이 존재하는 것으로 생각된다.

이후 산업 별 분석에서는 전자, 자동차, 석유화학, 정밀화학 산업으로 구분하여 분석을 진행했다.

전자산업의 경우 GSCM의 점수가 전반적인 영역에서 가장 높았다. 또한 정밀화학과 함께 회수 네트워크에 대한 점수가 높은 산업으로 파악되었다. 자동차산업에서는 협력 체계에 대한 점수가 높았으나, 실제로 GSCM의 중요성에 대한 점수는 낮게 나왔다. 마지막으로 석유화학산업에서 제품의 특성상 수명주기 분석이 어려운 반면, 정밀화학산업에서는 수명주기 분석이 활발하게 수행되고 있는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 국내의 실정에 맞게 GSCM을 평가할 수 있도록 환경적 지속가능경영 프레임워크를 활용한 평가지표를 도출한 것에 의의가 있다. 또한 기업의 GSCM 도입을 여러 측면으로 나누어 생각하고, 국내의 제조기업이 어떤 절차로 GSCM을 도입하는지 파악했다는 점에서 의미가 있다.

하지만 지속가능경영 보고서를 통해 발표된 정보만으로 평가를 진행하였기 때문에 실제 기업들의 GSCM 진행 과정 및 수준을 정확히 파악했다고 보기는 어렵다. 또한 일정하게 매년 발간하지 않은 기업이 있었기 때문에 넓은 범위에서 해석할 수밖에 없다는 한계를 가지고 있다.

추후 연구에서 GSCM 평가 지표 항목들을 보완하고 보다 많은 자료를 바탕으로 GSCM 영역별 점수를 도출한다면 GSCM 진행 절차와 현 수준을 더 정확히 파악하고 GSCM 진행을 촉진할 수 있는 적절한 방안을 찾을 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 전세계 기업들의 GSCM 도입 수준을 평가 및 비교한다면 국내기업들의 경쟁력 제고에 매우 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] 박상욱(2006), 한국 제조 기업 공급사슬관리의 발전, 경영논집, 제40권, pp. 125~155.
- [2] 한국개발연구원(2004), 한국의 산업경쟁력 종합연구 (Ⅱ) 서중해 편.
- [3] 허대식, 김길선, 최정욱(2008), 한국과 해외 우수 제조기업의 공급사슬 통합 현황에 대한 탐색적 고찰 : 자동차, 전자, 기계 산업을 중심으로, 경영과학회지, 제33권, 제4호, pp. 101~118.

- [4] 환경부(2005), 지속가능경영 추진 가이드라인 - 환경측면을 중심으로-.
- [5] Barney J. B.(2001), Is the resource-based “view” a useful perspective for strategic management research? Yes., *Academy of Management Review*, 26(1), pp. 41-56.
- [6] Daily, B. & Huang, S.(2001), Achieving sustainability through attention to human resource factors in environmental management, *International Journal of Operations & Production Management*, 21(12), pp. 1539-1552.
- [7] Darnall, N. & Edwards, D.(2006), Predicting the cost of environmental management system adoption: the role of capabilities, resources and ownership structure, *Strategic Management Journal*, 27(4), pp. 301-320.
- [8] Govindan, K., Kannan, D., Mathiyazhagan, K., Jabbour, A. L., & Jabbour, C. J.(2013), Analysing green supply chain management practices in Brazil’s electrical/electronics industry using interpretive structural modeling, *International Journal of Environmental Studies*, pp. 1~17.
- [9] Hervani, A. A., Helms, M. M., & Sarkis, J.(2005), Performance measurement for green supply chain management, *Benchmarking: An International Journal*, 12(4), pp. 330-353.
- [10] Huang, X., Tan, B. L., & Li, D.(2012), Pressures on green supply chain management: A study on manufacturing small and medium-sized enterprises in China, *International Business and Management*, 4(1), pp. 76~82.
- [11] Kitazawa, S. & Sarkis, J.(2000), The relationship between ISO 14001 and continuous source reduction programs, *International Journal of Operations & Production Management*, 20(2), pp. 225-248.
- [12] Li, Y.(2011), Research on the performance measurement of green supply chain management in China, *Journal of Sustainable Development*, 4(3), pp. 101~107.
- [13] Murphy, J. & Gouldson, A.(2000), Environmental policy and industrial innovation: integrating environment and economy through ecological modernization, *Geoforum*, 31, pp. 33~44.
- [14] Murphy, P. R. & Poist, R. F. (2000), Green logistics strategies: an analysis of usage patterns, *Transportation Journal*, 40(2), pp. 5-16.
- [15] Srivastava, S. K.(2007), Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review, *International Journal of Management Reviews*, 9(11), pp. 53~80.
- [16] Zhu, Q., Sarkis, J., Cordeiro, J. J., & Lai, K.(2008), Firm-level correlates of emergent green supply chain management practices in the Chinese context, *Omega*, 36, pp. 577-591.
- [17] Zhu, Q., Tian, Y., & Sarkis, J.(2012), Diffusion of selected green supply chain management practices: an assessment of Chinese enterprises, *Production Planning & Control*, 23(10-11), pp. 837-850.



김 송 이

연세대학교 정보산업공학 학사

현재: 연세대학교 정보산업공학 석박사 통합과정

관심분야: Green SCM, Reverse Logistics, Manufacturing System



정 봉 주

서울대학교 산업공학 학사

서울대학교 산업공학 석사

미국 Pennsylvania State University 산업공학 박사

현재: 연세대학교 정보산업공학과 교수

관심분야: Green/Sustainable SCM, Modeling of Manufacturing System, Innovation Engineering and Strategy

공급사슬 품질경영에서 구매자와 공급자간 협력이 공급자 성과에 미치는 영향

김현정¹⁾ · 김수욱²⁾†

¹⁾상지영서대학교 경영과 · ²⁾서울대학교 경영학과

Impact of Buyer-Supplier Collaboration on Supplier Performance in Supply Chain Quality Management

¹⁾Hyun Jung Kim · ²⁾Soo Wook Kim†

¹⁾Department of Business Administration, Sangji Youngseo College

²⁾College of Business Administration, Seoul National University

Supply Chain Quality Management (SCQM) which has recently received wide interest is a means of gaining competitive advantage by operating inter-organizationally within a firm's supply chain to improve product and service quality. First, we expand the scope of existing SCQM analyses that focus on the buyer by considering the key processes affecting business outcomes from the supplier's standpoint. Second, we determine the moderating effect of buyer-supplier relationships in SCQM processes and business performance. We use data drawn from the SCQM model and Quality Collaboration Index for Supply Chain Management (QCI-SCM) developed by the Korean Standards Association, and our results are as follows. First, analyzing the impact of each of the SCQM processes on business performance shows that quality delivery and talent development positively influence performance whereas crisis management does not have significant impact. Second, we examine whether the link between SCQM processes and business outcomes are moderated by buyer-supplier relationships and find the following; the stronger the bond between the buyer and the supplier, the greater the positive impact that quality delivery process, talent development process, and crisis management process have on business outcomes.

Keywords: Supply Chain Quality Management (SCQM), Buyer-Supplier Relationship, SCQM Process, SCQM Performance

1. 서론

최근 경쟁 심화에 따른 아웃소싱(Outsourcing)의 확대로 점차 개별 기업 간의 경쟁보다 기업군 간의 경쟁이 중요해지고 있다. 최종 소비자에게 높은 품질의 제품을 제공하기 위해서는 기업 내부의 역량을 강화할뿐만 아니라, 협력업체에서 제공하는 원재료 및 부품의 품질 수준이 향상되어야 한다. 이에 따라 품질경영은 기업 내부의 활동에서 공급사슬(Supply Chain) 전체의 활동으로 범위가 확장되었고(Forker et al., 1997; Romano and Vinelli, 2001; Kaynak and Hartley, 2008), 공급사슬 품질경영(SCQM: Supply Chain Quality Management)이 주목받게 되었다.

SCQM은 기업이 공급사슬 내 다른 기업들과 협업하여 제품과 서비스의 품질을 향상시킴으로써 경쟁 우위를 달성하는 것을 의미한다(Robinson & Malhotra, 2005; 김태규와 현완순, 2009). 즉, 전사적 품질경영(TQM: Total Quality Management)과 공급사슬 관리(SCM: Supply Chain Management)의 통합(Flynn and Flynn, 2005; Mahdiraji et al., 2012)이라고 볼 수 있다.

SCQM에 관한 연구는 아직 활발하지는 않지만 지속적으로 진행되었다. 대부분의 초기 연구들은 SCQM이 기업 성과에 유의한 영향을 미치는 것을 밝히는데 주력하였으며(Kuei et al., 2001; Lin et al., 2005; Kannan and Tan, 2005; Sila et al., 2006), 이후 SCQM의 구성요소를 도출하고(Kuei et al., 2008), 구성요소와 성과 간의 인과관계(Lin et al., 2013; Zeng et al., 2013) 등 보다 구체적인 연구들이 이루어졌다.

그러나 선행연구들은 몇 가지 한계점을 지닌다. 첫째, 대부분의 연구들은 구매자만을 대상으로 분석하였고(Garvin, 1988; Gulati et al., 2005; 김승철 외, 2011; 박찬권과 김채복, 2013), 공급자의 입장에서는 분석되지 않았다. 이는 기존의 연구들이 구매자-공급자 관계의 중심을 구매자로 생각하였기 때문이다. 그러나 최종 제품의 품질을 향상시키기 위해서는 원재료, 부품 등의 품질이 향상되어야 하므로(Forker, 1997) 공급자를 대상으로 연구할 필요가 있다.

둘째, 효과적인 SCQM을 위한 구성요소로 밝혀진 요소들이 개별 기업에 그대로 적용될 수 있을지는 여전히 밝혀지지 않았다. 연구자마다 SCQM 핵심 구성요소에 관한 의견이 엇갈리는 것은 두 변수 간의 관계를 조절하는 외생적인 영향이 존재한다는 것을 의미한다(서아영과 신경식, 2001). 이를테면, 각 기업마다 처한 구매자-공급자 관계가 다른데(Dyer and Singh, 1998), 선행연구에서는 SCQM의 구성요소 도출 시 이를 고려하지 않고 분석하였다.

구매자-공급자 관계에서 대표적인 변수는 관계 강도이다. SCM에 관한 대부분의 선행연구들은 구매자-공급자의 강한 결속

관계가 구매자 또는 공급자의 성과에 긍정적인 영향을 미친다(Noordewier et al., 1990; Han et al., 1993; Dyer and Nobeoka, 2002; Zeller and Gillis, 1995; 김태우와 서창교, 2013)고 주장하였다.

따라서 본 연구는 기존에 주로 구매자 위주로 이루어졌던 SCQM 분석의 범위를 확장하여 공급자 입장에서 기업 성과에 영향을 미치는 핵심 프로세스를 분석하고자 한다. 또한 구매자-공급자 관계가 SCQM 프로세스와 기업 성과 간에 어떤 조절 효과를 지니는지를 살펴보고자 한다.

이를 위해 한국표준협회가 ‘품질혁신 기반구축 및 확산 사업’으로 지식경제부의 지원을 받아 개발한 공급사슬 품질경영(SCQM) 모델과 평가지표로 개발한 공급사슬 품질협력지수(QCI-SCM: Quality Collaboration Index for Supply Chain Management) 자료를 활용할 것이다. 국내는 대기업과 중소기업 간의 양극화 현상이 심화되면서 대기업이 대부분인 구매자의 경쟁력은 비교적 높은 수준이지만, 중소기업이 대부분인 공급자의 경쟁력은 그에 미치지 못하고 있는 상황이다(이계형, 2006). 이에 따라 SCQM 모델은 대기업의 단가 인하 정책, 중소기업의 전문인력 및 예산 확보의 어려움을 극복하고 구매자와 공급자 간의 상생협력을 모색하기 위하여 개발되었다.

본 연구를 통해 학술적으로는 SCQM의 필요성과 구성요소 도출에만 한정되어 있던 선행연구의 범위를 구매자-공급자 관계를 고려한 SCQM 프로세스 연구로 확장하고, 실무적으로는 SCQM을 도입하려 하거나 도입하고 있는 공급자에게 구매자와의 관계를 고려한 효과적인 SCQM 전략 방향을 제시하였다는데 의의가 있다.

2. 이론적 배경

2.1 공급사슬 품질경영

공급사슬은 제품이 원자재에서 제조 과정을 거쳐 최종 소비자에 이르기까지의 재화 및 정보의 흐름을 의미한다. 이러한 공급사슬에는 원재료 및 부품 공급업체, 제조업체, 유통업체, 판매업체 등이 관여하므로, 최종 소비자가 구입하는 제품의 품질은 공급사슬에 관여하는 모든 기업들의 역량에 의해 결정된다. 따라서 제품의 품질을 향상시키기 위해서는 개별 기업을 넘어서 공급사슬에 관여하는 모든 기업들의 역량이 향상되어야 하고, 기업 간의 협업이 요구된다. 이에 따라 SCQM에 관한 연구가 이루어졌다.

SCQM이란 최종 소비자에게 제공되는 제품 및 서비스의 품질을 향상시키기 위하여 이루어지는 공급사슬 내 기업들 간의 협업

활동이다(Robinson and Malhotra, 2005; Foster, 2008; 김태규와 현완순, 2009). 즉, SCQM은 품질 측면에서의 공급사슬 관리를 의미한다.

선행연구들은 공급사슬 내에서 특정 기업의 품질경영 활동보다 SCQM이 전체 공급사슬의 성과에 더 큰 영향을 미친다고 주장하였다. Lin 외(2005)는 SCQM의 핵심요소로 SCQM 실행, 공급자 참여, 공급자 선택을 제시하고, 기업의 품질경영은 직접적으로는 성과에 유의한 영향을 미치지 못하고, 공급자 참여를 통해 간접적으로만 성과에 유의한 영향을 미친다고 주장하였다. Chow 외(2008)는 SCQM이 제품의 품질, 운영능력 등을 향상시킴으로써 공급사슬의 성과에 영향을 준다고 주장하였다. 또한 Sila 외(2006)는 실증조사를 통해 제조업체들이 SCQM을 부분적으로 실행하여도 최종 제품의 품질이 크게 향상된 것을 제시하면서, 공급사슬 내에서 SCQM이 실시되어야 함을 역설하였다.

한편, Ahire과 Dreyfus(2000)는 기업의 품질경영에 있어 프로세스 관리의 중요성을 강조하였고, Beamon과 Ware(1998)는 구매자와 공급자의 프로세스가 통합되어야 한다고 제안하였다. 이에 따라 SCQM 분야에서 프로세스 관리가 주목받으며 몇몇 연구들은 어떠한 SCQM 프로세스가 기업 성과에 영향을 미치는지에 관해 구체적으로 살펴보았다. Flynn 외(1994)는 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 성과공유 프로세스 등, Lin 외(2004)는 SCQM 프로세스로 인재육성 프로세스, 지원 프로세스, 커뮤니케이션 프로세스 등을 제시하면서 이러한 프로세스들이 기업 성과에 유의한 영향을 미친다고 주장하였다.

김계수(2000)는 국내 자동차 제조업체와 부품업체를 대상으로 실증조사한 결과, 커뮤니케이션과 문제해결능력이 프로세스 경영을 통해 기업의 재무적인 성과와 비재무적인 성과에 유의한 영향을 미친다고 주장하였다. 이를 통해 구매자와 공급자 간의 끊임없는 커뮤니케이션을 통한 프로세스 경영이 품질 성과에 영향을 주는 것을 밝혔다.

종합하면 대부분의 선행 연구들이 SCQM이 기업 성과에 긍정적인 영향을 미치고 있다고 주장하였다. 또한 공급사슬의 특성상 구매자와 공급자의 프로세스가 통합되어야 하는데, SCQM 프로세스로 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 성과공유 프로세스, 지원 프로세스, 커뮤니케이션 프로세스 등이 제시되었다.

2.2 공급사슬 품질경영 모델

한국표준협회는 구매자와 공급자의 동반 성장을 통한 글로벌 경쟁력 강화를 위하여 '품질혁신 기반구축 및 확산 사업'의 일환으로 공급사슬 품질경영(SCQM) 모델을 개발하였다(진현웅, 2008).

SCQM 모델은 크게 SCQM 구현을 위한 인프라, 구매자와 공급자 간의 수행 업무인 SCQM 프로세스, 이를 통해 얻어지는 SCQM 성과로 구성된다. 각 구성요소를 구체적으로 살펴보면 첫째, SCQM 인프라는 구매자와 공급자 간의 협업을 위한 기업문화, 리더십, 조직, 시스템, 예산을 의미한다.

둘째, SCQM 프로세스는 최종 제품의 품질 향상을 위해 구매자와 공급자 간에 이루어지는 협업 프로세스이다. 이는 핵심 프로세스인 품질실현 프로세스와 이를 지원하는 프로세스들로 구성된다. 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 위기관리 프로세스는 구매자와 공급자의 개별 프로세스이므로 구매자와 공급자 각각에서 측정된다. 한편, 지원 프로세스, 커뮤니케이션 프로세스, 평가 프로세스, 성과공유 프로세스는 구매자와 공급자의 공통 프로세스이므로 구매자 측면에서만 측정된다.

먼저 개별 프로세스를 살펴보면, 품질실현 프로세스는 품질, 비용, 납기 등의 최적화를 목적으로 제품 개발에서 양산검토 및 승인, 구매, 생산 및 품질관리, 보관 및 인도, 서비스까지의 전체 과정에서 구매자와 공급자 간에 수행되는 협업 업무이다. 인재육성 프로세스는 구매자의 요구사항을 만족시킬 수 있도록 교육훈련을 통해 공급자의 인력을 양성하는 업무이며, 위기관리 프로세스는 기업을 둘러싼 모든 위험을 총괄적으로 관리하는 것이다.

다음으로 공통 프로세스를 살펴보면, 지원 프로세스는 이윤의 창출과 글로벌 경쟁력 향상을 위한 구매자와 공급자 간의 인적, 물적 자원의 공유 및 지원 업무이고, 커뮤니케이션 프로세스는 구매자와 공급자의 구성원 간에 원활한 커뮤니케이션을 유지하기 위한 업무이다. 평가 프로세스는 구매자와 공급자가 공동의 목적을 달성하기 위한 평가 시스템의 구축 및 실행이며, 마지막으로 성과공유 프로세스는 구매자와 공급자 간 SCQM의 결과로 얻어진 성과의 적절한 분배 및 성과공유의 확산을 위한 업무이다.

셋째, SCQM 성과는 구매자와 공급자 간의 협업 후에 얻어질 수 있는 성과를 의미한다. 구매자는 7대 프로세스 향상성과, 공급자는 SCQM 성과로 측정된다. 7대 프로세스 향상성과는 앞서 살펴본 SCQM 프로세스가 핵심성과지표(KPI: Key Performance Indicator)를 어느 정도 달성했는지를 의미하고, SCQM 성과는 품질 성과, 비용 성과, 생산성 성과, 안전·환경 성과, 사기·윤리 성과로 구성된다.

한국표준협회는 이러한 SCQM 모델의 각 항목을 측정하기 위해 <표 1>과 같이 공급사슬 품질협력지수(QCI-SCM)를 개발하였다(진현웅, 2008). 이 지수는 공식된 자료를 반영하고 품질기술연구회의 전문가회의를 통해 수차례 검증함으로써 신뢰성과 타당성을 갖추었다(지식경제부 기술표준원, 2008).

표 1. QCI-SCM

평가분야	심사항목	구매자	공급자	평가분야	심사항목	구매자	공급자
SCQM 인프라	기업문화	5		커뮤니 케이션 프로세스	커뮤니케이션 채널 구축	40	
	리더십	20	20		갈등 조정 및 해소	10	
	조직	10	10		소 계	50	0
	시스템	10		평가 프로세스	평가시스템 구축	40	
	예산	5			평가결과의 피드백 및 공유	10	
	소 계	50	30		소 계	50	0
품질실현 프로세스	개발	15	10	성과공유 프로세스	성과공유시스템 구축	40	
	양산검토 및 승인	15	10		성과공유의 확산	10	
	구매	20	10		소 계	50	0
	생산 및 품질관리	30	80	SCQM 성과	품질 성과		50
	보관 및 인도	15	30		비용 성과		40
	서비스	15	20		생산성 성과		40
	소 계	110	160		안전·환경 성과		10
인재육성 프로세스	교육체계 및 프로그램 개발	20			사기·윤리 성과		10
	교육 실시 및 평가	30	30		소 계	0	150
	소 계	50	30	7대 프로세스 향상성과	품질실현 프로세스 성과	20	
위기관리 프로세스	위기관리 체계 구축	40	20		인재육성 프로세스 성과	20	
	위기관리매뉴얼 작성	10	10		위기관리 프로세스 성과	10	
	소 계	50	30		지원 프로세스 성과	20	
지원 프로세스	지원시스템 구축 및 평가	15			커뮤니케이션 프로세스 성과	20	
	기술, 설비 및 물류업무의 지원	35			평가 프로세스 성과	10	
	재정적 지원	30			성과공유 프로세스 성과	10	
	소 계	80	0		소 계	110	0

2.3 구매자와 공급자간 협력

공급사슬 관리에 있어서 구매자-공급자 관계는 중요한 요소로 강조되어 왔다(Lambert et al., 1996; Cousins and Menguc, 2006). 이에 관한 선행연구들은 견제적 거래 관계(Arm's Length Relationship) 또는 시장 거래 관계에서 점차 전략적 협력 관계를 중요시하는 방향으로 발전하였다. Ghoshal과 Moran(1996)은 미국 기업들을 대상으로 실증조사하여 구매자-공급자 관계가 통제적인 관계에서 점차 협력적인 관계로 변화했음을 입증하였다.

거래비용이론(Transaction Cost Theory)에 따르면, 시장에 공급자가 충분히 존재하고 자산특유성이 낮은 경우에 구매자는 공급자와의 거래를 쉽게 중단할 수 있다(Williamson, 1979). 이러한 견제적 거래 관계에서 기업은 다른 기업과 관계를 맺을 때 거래비용을 최소화하는 방향으로 의사결정을 한다.

그러나 비용 외에도 품질, 기술적 지원 등을 고려할 경우에는

기업 간 협력을 중요시해야 한다(Weber et al., 1991). 자원의존이론(Resource Dependency Theory)에 따르면, 기업은 필요 자원을 지닌 다른 기업에 의존하고(Gruner and Homburg, 2000), 공동의 목표를 달성하기 위하여 다른 기업과 전략적 협력 관계를 맺는다(Das and Teng, 2000).

종합하면 기업이 비용을 최소화하기 위해서는 시장 거래 관계를 맺는 것이 가장 효율적이지만, 공급사슬 전체의 품질을 높여야 하는 SCQM에서는 장기적이고 전략적인 협력 관계가 바람직하다고 볼 수 있다.

또한 구매자-공급자 관계와 기업 성과에 관련된 대부분의 선행연구들은 강한 결속 관계가 구매자 또는 공급자의 성과에 긍정적인 영향을 미친다고 주장하였다. 구매자와 공급자의 강한 결속 관계는 기업의 재무 성과를 향상시키며(Noordewier et al., 1990; Han, 1993; Afuah, 2001; Dyer and Nobeoka, 2002; Kotabe et al., 2003; Cousins and Menguc, 2006) 총비용을 감소시킨다(Larson, 1994). 대표적인 기업 사례로 포드 자동차는

TQM을 실시하면서 구매자-공급자 관계를 적대적인 관계에서 협력적인 관계로 변경함으로써 경쟁우위를 확보하였다(Zeller and Gillis, 1995).

한편, Whipple과 Frankel(2000)은 강한 결속 관계를 통해 구매자와 공급자가 얻는 성과가 다를 수 있다고 의문을 제기하였고, Corsten과 Kumar(2005)는 공급자가 협력 관계를 통해 얻는 이익은 구매자의 이익보다 작은 편이라고 주장하였다.

그러나 일반적으로 공급자 입장에서 소수의 구매자와 장기간의 강한 결속관계를 맺는 것이 다수의 구매자와 단기간의 약한 결속관계를 맺는 것보다 더 큰 이익을 창출한다(Berry and Parasuraman, 1991; Morgan and Hunt, 1994). 이는 공급자가 구매자와 장기간 관계를 맺으면서 지식과 프로세스가 공유되고 의결조율 비용이 감소하며 효율성이 증가하기 때문이다(Humphreys et al., 2004; Paulraj and Chen, 2005).

종합하면 구매자-공급자 관계와 기업 성과에 관한 대부분의 선행연구들이 구매자-공급자 간의 결속 관계가 강할수록 기업 성과에 긍정적인 영향을 미친다고 주장하였다.

3. 연구설계

3.1 연구모형 및 가설 설정

본 연구는 SCQM 프로세스와 기업 성과 간의 인과관계를 밝히고 구매자-공급자 관계의 강도가 어떠한 조절효과를 지니는지 분석하기 위하여 <그림 1>과 같은 연구모형을 설정하였다. SCQM 프로세스와 기업 성과에 관한 선행연구들(Beamon and Ware, 1998; Ahire and Dreyfus, 2000)과 한국표준협회의 SCQM 모델을 바탕으로 각 변수들을 도출하였다. SCQM 모델에 따르면, 공급자의 경우 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 위기관리 프로세스로 총 3가지 프로세스를 지닌다.

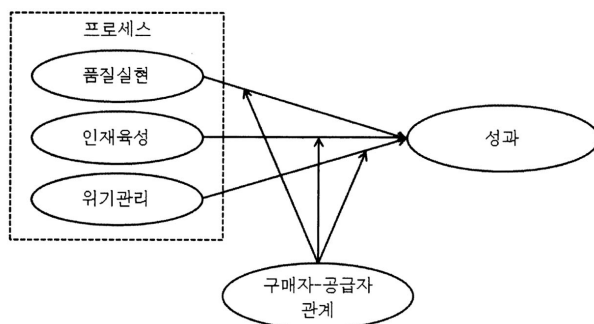


그림 1. 연구모형

또한 SCQM 프로세스가 기업 성과에 미치는 영향을 주장한 여러 선행연구가 존재한다. Flynn 외(1994)는 기업의 품질경영을 측정하는 변수로 경영자의 리더십, 기업문화 외에도 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스를 도출하였고 이들 변수들이 기업 성과에 긍정적인 영향을 준다고 주장하였다. Kannan과 Tan(2005)은 SCQM과 기업 성과 간의 관계를 살펴보고 위기관리 프로세스 등이 기업 성과에 유의한 영향을 미친다고 주장하였다. 이 외에도 Lin 외(2004)는 홍콩과 대만의 기업들을 대상으로 SCQM 프로세스로 인재육성 프로세스, 지원 프로세스 등을 제시하고 이러한 프로세스들이 기업 성과에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였다. 본 연구는 이러한 선행연구들을 바탕으로 SCQM 프로세스와 기업 성과 간의 인과관계를 다음과 같이 설정하였다.

- H1: SCQM 프로세스는 기업 성과에 긍정적 영향을 미칠 것이다.
 H1-1: 품질실현 프로세스는 기업 성과에 긍정적 영향을 미칠 것이다.
 H1-2: 인재육성 프로세스는 기업 성과에 긍정적 영향을 미칠 것이다.
 H1-3: 위기관리 프로세스는 기업 성과에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

한편 Lambert 외(1996)는 공급사슬 내 여러 기업들이 협력적 관계를 형성하는 경우가 기업이 독립적으로 활동하는 경우보다 높은 성과를 달성한다고 주장하였다. 또한 구매자-공급자 관계의 강도가 기업 성과에 영향을 미치는데, 강한 결속 관계일수록 재무 성과를 향상시키고(Noordewier et al., 1990; Han, 1993; Afuah, 2001; Dyer and Nobeoka, 2002; Kotabe et al., 2003; Cousins and Menguc, 2006) 총비용을 감소시킨다(Larson, 1994). 그리고 이러한 인과관계는 공급자 입장에서 여전히 성립한다(Berry and Parasuraman, 1991; Morgan and Hunt, 1994; Corsten and Kumar, 2005). 이를 바탕으로 구매자-공급자 관계의 강도가 SCQM 프로세스와 기업 성과 간의 관계를 조절할 것이라는 가설을 설정하였다.

- H2: 구매자-공급자 관계의 결속이 강할수록 SCQM 프로세스가 기업 성과에 미치는 영향은 클 것이다.
 H2-1: 구매자-공급자 관계의 결속이 강할수록 품질실현 프로세스가 기업 성과에 미치는 영향은 클 것이다.
 H2-2: 구매자-공급자 관계의 결속이 강할수록 인재육성 프로세스가 기업 성과에 미치는 영향은 클 것이다.
 H2-3: 구매자-공급자 관계의 결속이 강할수록 위기관리 프로세스가 기업 성과에 미치는 영향은 클 것이다.

3.2 분석 자료

한국표준협회는 ‘품질혁신 기반구축 및 확산 사업’으로 공급사슬 품질경영(SCQM) 모델과 공급사슬 품질협력지수(QCI-SCM)를 개발하였다. 그 후 국내 30대 그룹의 대표업종을 조사하고 산업 규모, 향후 성장성 등을 고려하여 12대 업종(기계, 수송기계, 조선/항공, 전기, 전자, 통신, 금속, 화학, 요업, 에너지, 건설, 의료업)을 선정하였다.

설문문항에 해당하는 공급사슬 품질협력지수(QCI-SCM)는 구매자와 공급자 간에 다른데, 본 연구에서는 공급자의 설문문항들을 이용하였고 구체적인 내용은 <표 2>에 제시된 바와 같다. 조사 방법으로는 품질경영 전문가들로 구성된 품질기술연구회가 기업에 직접 방문하여 실태 조사 후에 설문 응답을 받고 기록하는 방식을 취하였다.

본 연구에서는 2008년 9월부터 약 1년간 실시된 제 4차년도 데이터터를 활용하였다. 이 데이터터는 구매자 52개, 공급자 346개의 데이터터로 구성되었는데, 본 연구는 공급자 입장에서 SCQM 프로세스와 성과의 관계, 구매자-공급자 관계의 조절 효과를 살펴보는 것이므로 총 346개의 공급자 데이터터를 이용하였고, 이 중에서 데이터터가 불충분한 기업을 제외한 334개의 데이터터를 SPSS 18.0으로 분석하였다.

표본기업의 구성을 살펴보면, 매출의 경우 80억 이상이 가장

많았으며 그 다음으로는 10억 이상~20억 미만의 비율이 높았다. 종업원 수의 경우 20명 이상~40명 미만의 기업이 가장 많았다. 전반적으로 대부분의 기업들이 200억 원 이하의 매출액과 500명 이하의 직원을 지닌 중소기업(Baird et al., 1994)에 속하는 것으로 나타났다. 또한 응답자는 품질관리 소속이 가장 많았고 직책은 차장급 이상이 대부분이었다.

4. 연구결과

4.1 신뢰성 및 타당성 분석

본 연구에 포함된 측정문항들의 내적 일관성을 분석한 결과, Cronbach's α 값은 품질실현 프로세스 0.698, 위기관리 프로세스 0.792, 구매자-공급자 관계 0.780, 성과 0.769이었다. Nunnally(1978)에 의하면 0.6 이상이면 수용할만한 것으로 여겨지므로, 전체적으로 측정도구의 신뢰도는 양호한 것으로 볼 수 있다. 또한 어떠한 변수를 제거해도 Cronbach's α 값이 상승하지 않았으므로, 모든 문항들을 분석에 이용하였다.

각 개념과 측정항목에 대한 확인적 요인분석을 실시하였다. 그 결과 모형의 적합도를 살펴보면 $\chi^2=305.730(df=98, p=0.000)$, RMSEA=0.078, CFI=0.911, TLI=0.891이었다.

표 2. 측정변수

변수	측정내용	참고문헌
품질실현 프로세스	개발 단계에서 양사의 협력	Flynn et al.(1994), 이계형(2006), 김태규 외(2008)
	양산승인 및 양산 초기 단계에서의 협력	
	양사의 구매정보 공유 및 활용의 효율성	
	생산전략 및 생산계획 수립에 대한 양사의 협력	
	양사의 재고 및 납품정보 관리의 협력	
	각종 클레임에 대한 대응 및 조치의 체계성	
인재육성 프로세스	교육훈련의 실시 및 평가의 효율적 운영	Flynn et al.(1994), Lin et al.(2004), 이계형(2006), 김태규 외(2008)
위기관리 프로세스	위기관리 체계 구축 및 가상훈련	이계형(2006), 김태규 외(2008)
	위기관리 매뉴얼의 활용	
구매자-공급자 관계	거래업체와의 관계에 투자된 정도	Heide and John(1990), Cousins and Menguc(2006), Barry et al.(2008), Adams et al.(2012)
	양사의 상호작용이 활발한 정도	
	거래업체와의 관계가 지속된 기간	
성과	최종공정 시그마 수준	Sila et al.(2006), 이계형(2006), 김태규 외(2008), Chow et al.(2008)
	실패비용 비율	
	1인당 부가가치(생산성)	
	이산화탄소 배출량 감소	
	부정거래 적발 및 공정거래 위반 감소	

표 3. 표본기업 및 응답자의 일반적 특성

구분	변수		빈도(명)	비율(%)	변수		빈도(명)	비율(%)
표본 기업	매출액	10억 미만	56	16.8	종업원수	10명 미만	41	12.3
		10억 ~ 20억	73	21.9		10명 ~ 20명	66	19.8
		20억 ~ 40억	61	18.3		20명 ~ 40명	99	29.6
		40억 ~ 80억	60	18.0		40명 ~ 60명	60	18.0
		80억 이상	84	25.1		60명 이상	68	20.4
		계	334	100.0		계	334	100.0
응답자	부서	기획관리	62	18.6	직책	대리	14	4.2
		품질관리	127	38.0		과장	85	25.4
		생산관리	74	22.2		차장	109	32.6
		사업관리	43	12.9		부장	59	17.7
		기타	28	8.4		대표이사	67	20.1
		계	334	100.0		계	334	100.0

TLI는 0.90보다 조금 낮지만, CFI는 0.90 이상이고(Bentler, 1990) RMSEA가 0.08보다 낮으므로(Browne and Cudeck, 1992) 종합적으로 판단할 때 모형의 적합도가 확보되었다고 볼 수 있다. 모든 구성개념의 개념신뢰도(CR: Construct Reliability)와 분산추출지수(AVE: Average Variance Extracted)가 각각 수용 기준치인 0.7과 0.5 이상이므로(Fornell and Larcker, 1981) 집중타당도에 문제가 없는 것으로 확인되었다. 또한 구성개념 각각의 분산추출지수가 구성개념 간 상관계수의 제곱보다 크게 나올 때 판별타당도가 확보되는

데, 모든 분산추출지수가 상관계수의 제곱보다 크므로 판별타당도가 충분히 확보되었다고 볼 수 있다.

4.2 가설 검정

가설의 검정을 위하여 위계적 회귀분석(Hierarchical Regression Analysis)을 실시하였다. 연구 모형의 설명력을 높이기 위하여 구매자-공급자 관계의 강도에 영향을 미칠 수 있는 외생변수인 연간 매출액을 통제변수로 설정하였다(Autry and

표 4. 집중타당도 분석 결과

잠재변수	측정변수	요인적재량	t-value	CR	AVE
품질실현 프로세스	개발	0.748		0.912	0.633
	양산검토 및 승인	0.803	14.818		
	구매	0.816	15.078		
	생산 및 품질관리	0.805	14.847		
	보관 및 인도	0.813	15.003		
	서비스	0.785	14.437		
위기관리 프로세스	위기관리 체계 구축	0.883		0.831	0.711
	위기관리매뉴얼 작성	0.801	14.732		
구매자 - 공급자 관계	투자	0.827		0.827	0.614
	상호작용	0.746	13.261		
	지속기간	0.776	14.012		
성과	품질 성과	0.733		0.887	0.611
	비용 성과	0.757	13.332		
	생산성 성과	0.738	13.164		
	안전·환경 성과	0.791	14.652		
	사기·윤리 성과	0.881	17.980		

표 5. 판별타당도 분석 결과

변수	품질실현 프로세스	위기관리 프로세스	구매자-공급자 관계	성과
품질실현 프로세스	0.633			
위기관리 프로세스	0.396(0.629)	0.711		
구매자-공급자 관계	0.280(0.529)	0.333(0.577)	0.614	
성과	0.220(0.469)	0.190(0.436)	0.253(0.503)	0.611

주) 대각선은 분산추출지수, 그 아래는 구성개념 간 상관계수의 제곱, 괄호 안은 상관계수를 의미함

Golicic, 2010). 분석 방법은 통제변수인 연간 매출액과 독립변수인 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 위기관리 프로세스를 1단계, 조절변수인 구매자-공급자 관계를 2단계, 상호작용변수들을 3단계로 투입하는 방법을 택하였다.

상호작용변수의 첨가로 다중공선성 문제가 발생하는 것을 방지하기 위하여 독립변수들과 조절변수를 평균 중심화시켰다(Aiken and West, 1991; 이학식과 임지훈, 2013). 이러한 조치를 취한 후에 다중공선 허용치(Tolerance), 분산확대요소(VIF: Variance Inflation Factor)를 확인한 결과, 모든 변수 간에 다중공선성 문제는 없는 것으로 나타났다.

〈표 6〉에 제시된 위계적 회귀분석 결과를 살펴보면, 모형 1은 기업 성과를 기준변수로 하고, 통제변수인 연간 매출액과 독립변수들인 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 위기관리 프로세스를 설명변수군으로 회귀 분석한 결과이다. 표에서 보는 바와 같이 품질실현 프로세스($\beta=0.343$, $p<0.01$)와 인재육성 프로세스($\beta=0.193$, $p<0.01$)는 기업 성과에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 H1-1과 H1-2는 채택되었

다. 그러나 위기관리 프로세스($\beta=0.001$, n.s.)는 기업 성과에 통계적으로 유의한 영향을 주지 못하는 것으로 나타났으므로 H1-3은 기각되었다. 종합하면, SCQM 프로세스가 기업 성과에 긍정적 영향을 미칠 것이라는 H1은 부분적으로 채택되었다고 볼 수 있다.

모형 2에서 조절변수인 구매자-공급자 관계를 추가하여 분석한 결과, 구매자-공급자 관계 변수의 회귀 계수($\beta=0.101$, $p<0.05$)는 유의하며, 회귀모형의 설명력이 증가하는 것으로 나타났다($\Delta R^2=0.010$, $\Delta F=4.395$, $p<0.05$). 이러한 결과는 본 연구에서 조절변수로 채택한 구매자-공급자 관계가 기업 성과를 설명하는데 있어 중요한 요인임을 의미한다.

마지막으로 모형 3에서는 구매자-공급자 관계가 SCQM 프로세스와 기업 성과의 관계에 미치는 조절 효과를 분석하였다. 그 결과, 구매자-공급자 관계는 각 SCQM 프로세스와 기업 성과의 관계에 유의한 조절효과를 미치는 것으로 나타났다. 구체적으로 각 프로세스별 상호작용변수들의 회귀 계수를 살펴보면, 품질실현 프로세스($\beta=0.162$, $p<0.01$), 인재육성 프로세스($\beta=0.294$,

표 6. 위계적 회귀분석 결과

변수	모형 1	모형 2	모형 3
1단계 (통제/독립)			
연간 매출액	0.024	0.020	0.013
품질실현 프로세스	0.343**	0.328**	0.312**
인재육성 프로세스	0.193**	0.197**	0.073
위기관리 프로세스	0.001	0.015	0.211*
2단계 (조절)			
구매자-공급자 관계		0.101*	0.091
3단계 (상호작용)			
품질실현 x 구매자-공급자			0.162**
인재육성 x 구매자-공급자			0.294*
위기관리 x 구매자-공급자			0.255**
전체 모형의 R^2	0.242	0.252	0.294
ΔR^2		0.010	0.042
ΔF		4.395*	6.325**

주) 표준화된 베타 값임. * $p<0.05$, ** $p<0.01$

$p<0.05$), 위기관리 프로세스($\beta=0.255$, $p<0.01$)가 유의하였고, 회귀모형의 설명력 역시 증가하였다($\Delta R^2=0.042$, $\Delta F=6.325$, $p<0.01$). 따라서 구매자-공급자 관계의 결속이 강할수록 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 위기관리 프로세스가 기업 성과에 미치는 영향이 클 것이라는 H2-1부터 H2-3까지가 모두 지지되었으므로, H2는 채택되었다.

5. 결론

본 연구는 공급자 측면에서 SCQM 프로세스를 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 위기관리 프로세스로 구분하여 기업 성과에 미치는 영향을 분석하고, SCQM 프로세스와 기업 성과 간의 관계에 있어 구매자-공급자 관계의 조절 효과를 살펴보는 데 초점을 맞추었다. 이를 위해 한국표준협회가 개발한 공급사슬 품질경영(SCQM) 모델과 공급사슬 품질협력지수(QCI-SCM)의 데이터를 이용하여 실증적으로 분석하였다.

먼저 SCQM 프로세스가 기업 성과에 미치는 영향을 분석한 결과, 품질실현 프로세스와 인재육성 프로세스는 기업 성과에 긍정적인 영향을 미치지만, 위기관리 프로세스는 유의한 영향을 미치지 않았다. 즉, 공급자가 공급사슬 내 품질의 성과를 향상시키기 위해서는 개발, 양산검토 및 승인, 구매, 생산 및 품질관리, 보관 및 인도, 서비스 업무에 있어서 상생을 위한 협업을 하고, 구매자의 요구사항을 만족시킬 수 있도록 교육훈련을 통하여 인력을 양성하여야 함을 파악하였다. 그러나 구매자와 공급자 간의 제품결함, 정보 유출 등의 위기 발생으로 인한 피해를 관리하는 위기관리 프로세스는 기업 성과에 별다른 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다.

SCQM 프로세스 중에서 위기관리 프로세스가 기업 성과에 영향을 주지 못하는 것으로 분석된 본 연구의 결과는 박지영 외(2011)의 연구와 일맥상통한다. 이는 본 연구의 분석 대상이 된 공급자들이 대부분 200억 원 이하의 매출액과 500명 이하의 직원을 지닌 중소기업(Baird et al., 1994)이기 때문에 나타난 결과로 해석할 수 있다. 중소기업은 별다른 위기관리를 하지 않더라도 위기에 유연하게 대응할 수 있고(Levy and Powell, 2000), 많은 투자를 필요로 하는 위기관리시스템을 구축하는 것보다 일상적인 문제들을 즉시 해결하는 경향이 강한 특성(Adams et al., 2012)을 지녔다. 이러한 특성으로 인해 중소기업의 위기관리 프로세스는 기업 성과에 유의한 영향을 미치지 않을 수 있다.

또한 본 연구에서는 SCQM 프로세스가 기업 성과에 미치는 영향이 구매자-공급자 관계에 의해 조절되는지에 관해 살펴보았다. 그 결과, 구매자-공급자 관계가 강한 결속관계를 지닐수록 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 위기관리 프로세스가 기업 성

과에 미치는 긍정적 영향이 더욱 크게 나타났다. 특히, 위기관리 프로세스는 기업 성과에 직접적인 영향을 미치지 않는 반면, 구매자-공급자 관계를 통해 간접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 구매자와 공급자 간의 결속 관계가 강할수록 제품결함, 정보 유출 등의 위험을 잘 관리하는 것이 기업 성과를 더욱 향상시킨다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 선행연구들을 바탕으로 해석할 수 있다. 구매자와 공급자 간에 강한 결속관계를 지니는 경우, 구매자는 공급자의 위험을 더 이상 기업 외부의 위험이 아닌 내부의 위험으로 인식하고(Kleindorfer and Saad, 2005), 기업의 경영 활동에 지장을 주는 사건이 발생했을 때 이러한 위험에 대처하는 능력이 향상된다(Wagner and Bode, 2006).

본 연구의 결과는 몇 가지 학술적 및 실무적 시사점을 지닌다. 첫째, SCQM의 각 프로세스를 성공적으로 운영하면 기업 성과가 향상될 것이라는 막연한 기대가 아니라 각 프로세스의 성공적인 운영이 어떻게 품질향상, 비용절감 등의 기업 성과로 이어지는지를 실증적으로 분석함으로써, 기업들에게 효과적인 SCQM 가이드라인을 제공하였고 이를 통해 성과 향상을 위하여 어떠한 프로세스를 집중적으로 관리해야 하는지에 관한 전략적 방향을 제시하였다.

둘째, 구매자 중심으로 공급사슬관리의 구성요소와 기업 성과 간의 관계를 분석한 대부분의 선행연구들(Garvin, 1988; Gulati et al., 2005)과 다르게 본 연구는 공급자의 입장에서 SCQM 프로세스와 기업 성과의 관계를 분석하였다. 그동안 공급사슬관리에 관한 대부분의 선행연구에서 공급자의 입장은 상대적으로 등한시되었다. 그것은 기존 연구들이 구매자-공급자 관계의 중심을 구매자로 생각하였기 때문이다. 그러나 최종 제품의 품질을 향상시키기 위해서는 공급자가 제공하는 원재료 및 부품의 품질이 보장되어야 한다는 점에서(Forker, 1997) 본 연구는 구매자 위주의 관점을 공급자 측면으로 확장하였다는 의의를 지닌다.

셋째, 본 연구는 구매자-공급자 관계가 SCQM 프로세스와 기업 성과 간에 조절변수로서 어떠한 역할을 하는지 살펴봄으로써, 바람직한 구매자-공급자 관계를 제시하였다. SCQM을 실시하는 기업의 담당자는 기업 성과를 향상시키기 위하여 구매자-공급자 관계가 다른 기업이 모방할 수 없는 경쟁 역량(Ketchen Jr and Hult, 2007)임을 인식하고, 기업 내부의 SCQM 프로세스뿐만 아니라 구매자-공급자 관계를 긴밀하게 관리해야 할 것이다.

이러한 의의에도 불구하고 본 연구는 몇 가지 한계를 지닌다. 첫째, 한국표준협회의 사업이 구매자와 1차 공급자만을 대상으로 이루어졌으므로, 본 연구는 first-tier SCQM만을 분석하였다는 한계를 지닌다. 둘째, 구매자-공급자 관계와 기업 성과는 시간의 흐름에 따라 서로 영향을 주고받는 순환의 관계를 지니는데, 본 연구는 횡단 연구를 진행함으로써 이러한 관계를 반영하지 못하였다.

향후 연구에서는 first-tier SCQM뿐만 아니라 second-tier SCQM 등으로 연구 범위를 확대하고, 시계열 자료를 이용하여 구매자-공급자 관계가 SCQM 프로세스와 기업 성과 간의 관계에 미치는 역동적인 영향을 살펴볼 수 있을 것이다. 이러한 후속 연구를 통해 학계 및 산업계에서 더욱 활발한 SCQM 활동이 이루어질 수 있기를 기대한다.

참고 문헌

- [1] 김계수(2000), 부품업체와 제조업체간의 전략적인 공급사슬 관리가 품질경영성과에 미치는 영향에 관한 연구, *한국품질경영학회지*, 제28권, 제4호, pp.204~222.
- [2] 김승철, 홍진범, 황수영(2011), 공급사슬 파트너십이 기업성과에 미치는 영향, *한국SCM학회지*, 제11권, 제2호, pp.137~150.
- [3] 김태규, 현완순(2009), 공급망 품질경영(SCQM) 활동성과 분석, *한국품질경영학회지*, 제37권, 제1호, pp.69~79.
- [4] 김태우, 서창교(2013), AHP를 이용한 기계산업의 SCM 주요 성공요인 분석, *한국SCM학회지*, 제13권, 제2호, pp.61~73.
- [5] 박지영, 오수정, 김수옥(2011), 모기업과 협력기업의 공급망 품질경영 인프라(Infra), 프로세스(Process), 성과(Performance)간 인과관계 연구, *한국품질경영학회지*, 제39권, 제4호, pp.464~479.
- [6] 박찬권, 김채복(2013), 공급사슬 통합요인과 공급사슬통합 및 공급사슬 성과와의 관계: 공급사슬에서 협력업체를 중심으로, *한국SCM학회지*, 제13권, 제1호, pp.39~54.
- [7] 서아영, 신경식(2001), 공급자-구매자 관계유형에 따른 공급사슬관리 성공요인에 관한 실증연구, *Information Systems Review*, 제3권, 제1호, pp.191~203.
- [8] 이계형(2006), *공급망 품질경영(SCQM) 모델*, 한국표준협회.
- [9] 이학식, 임지훈(2013), *SPSS 18.0 매뉴얼*, 집현재.
- [10] 지식경제부 기술표준원(2008), *공급망 품질경영(SCQM) 가이드북*, 한국표준협회.
- [11] 진현웅(2008), *공급망 품질협력으로 동반 성장*, 한국표준협회.
- [12] 김태규, 변재현, 조규선(2008), *공급망 품질협력지수(QCI-SCM) 평가시트*, 한국표준협회.
- [13] Adams, J. H., Khoja, F. M. and Kauffman, R.(2012), An Empirical Study of Buyer-Supplier Relationships within Small Business Organizations, *Journal of Small Business Management*, Vol.50(1), pp.20~40.
- [14] Afuah, A.(2001), Dynamic Boundaries of the Firm: Are Firms Better off Being Vertically Integrated in the Face of a Technological Change?, *Academy of Management Journal*, Vol.44(6), pp.1211~1228.
- [15] Ahire, S. L. and Dreyfus, P.(2000), The Impact of Design Management and Process Management on Quality: An Empirical Investigation, *Journal of Operations Management*, Vol.18(5), pp549~575.
- [16] Aiken, L. S. and West, S. G.(1991), *Multiple Regression: Testing and Interpreting Interactions*, Newbury Park, CA, Sage.
- [17] Autry, C. W. and Golicic, S. L.(2010), Evaluating Buyer-Supplier Relationship-Performance Spirals: A Longitudinal Study, *Journal of Operations Management*, Vol.28(2), pp.87~100.
- [18] Baird, L. S., Lyles, M. A. and Orris, J. B.(1994), Choice of International Strategies for Small Businesses, *Journal of Small Business Management*, Vol.32(1), pp.48~59.
- [19] Barry, J. M., Dion, P. and Johnson, W.(2008), A Cross-Cultural Examination of Relationship Strength in B2B Services, *Journal of Services Marketing*, Vol.22(2), pp.114~135.
- [20] Beamon, B. M. and Ware, T. M.(1998), A Process Quality Model for the Analysis, Improvement and Control of Supply Chain Systems, *Logistics Information Management*, Vol.11(2), pp.105~113.
- [21] Bentler, P. M.(1990), Comparative Fit Indexes in Structural Models, *Psychological Bulletin*, Vol.107(2), pp.238~246.
- [22] Berry, L. L. and Parasuraman, A.(1991), *Marketing Services: Competing through Quality*, Free Press.
- [23] Browne, M. W. and Cudeck, R.(1992), Alternative Ways of Assessing Model Fit, *Sociological Methods Research*, Vol.21(2), pp.230~258.
- [24] Chow, W. S., Madu, C. N., Kuei, C. H., Lu, M. H., Lin, C. and Tseng, H.(2008), Supply Chain Management in the U.S. and Taiwan: An Empirical Study, *Omega*, Vol.36(5), pp.665~679.
- [25] Corsten, D. and Kumar, N.(2005), Do Suppliers Benefit from Collaborative Relationships with Large Retailers? An Empirical Investigation of Efficient

- Consumer Response Adoption, *Journal of Marketing*, Vol.69(3), 80~94.
- [26] Cousins, P. D. and Menguc, B.(2006), The Implications of Socialization and Integration in Supply Chain Management, *Journal of Operations Management*, Vol.24(5), pp.604~620.
- [27] Das, T. K. and Teng, B. S.(2000), A Resource-Based Theory of Strategic Alliances, *Journal of Management*, Vol.26(1), pp.31~61.
- [28] Dyer, J. H. and Singh, H.(1998), The Relational View: Cooperative Strategy and Sources of Interorganizational Competitive Advantage, *Academy of Management Review*, Vol.23(4), pp.660~679.
- [29] Dyer, J. H. and Nobeoka, K.(2002), Creating and Managing a High Performance Knowledge-Sharing Network: The Toyota Case, *Strategic Management Journal*, Vol.21, pp.345~367.
- [30] Flynn, B. B. and Flynn, E. J.(2005), Synergies between Supply Chain Management and Quality Management: Emerging Implications, *International Journal of Production Research*, Vol.43(16), pp.3421~3436.
- [31] Flynn, B. B., Schroeder, R. G., Sakakibara, S.(1994), A Framework for Quality Management Research and an Associated Measurement Instrument, *Journal of Operations Management*, Vol.11(4), pp.339~366.
- [32] Fornell, C. and Larcker, D. F.(1981), Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error: Algebra and Statistics, *Journal of Marketing Research*, Vol.18(3), pp.382~388.
- [33] Forker, L. B.(1997), Factors Affecting Supplier Quality Performance, *Journal of Operations Management*, Vol.15(4), pp.243~269.
- [34] Forker, L. B., Mendez, D. and Hershauer, J. C.(1997), Total Quality Management in the Supply Chain: What is Its Impact on Performance? *International Journal of Production Research*, Vol.35(6), pp.1681~1702.
- [35] Foster, S. T. Jr.(2008), Towards an Understanding of Supply Chain Quality Management, *Journal of Operations Management*, Vol.26(4), pp.461~467.
- [36] Garvin, D. A.(1988), *Managing Quality*, Free Press.
- [37] Ghoshal, S. and Moran, P.(1996), Bad for Practice: A Critique of the Transaction Cost Theory, *Academy of Management Review*, Vol.21(1), pp.13~47.
- [38] Gruner, K. E. and Homburg, C.(2000), Does Customer Interaction Enhance New Product Success?, *Journal of Business Research*, Vol.49(1), pp.1~14.
- [39] Gulati, R., Lawrence, P. R. and Puranam, P.(2005), Adaptation in Vertical Relationships: Beyond Incentive Conflict, *Strategic Management Journal*, Vol.26(5), pp.415~440.
- [40] Han, S. L., Wilson, D. T. and Dant, S. P.(1993), Buyer-Supplier Relationships Today, *Industrial Marketing Management*, Vol.22(4), pp.331~338.
- [41] Heide, J. B. and John, G.(1990), Alliances in Industrial Purchasing: The Determinants of Joint Action in Buyer-Supplier Relationships, *Journal of Marketing Research*, Vol.27(1), pp.24~36.
- [42] Humphreys, P. K., Li, W. L. and Chan, L. Y.(2004), The Impact of Supplier Development on Buyer-Supplier Performance, *Omega*, Vol.32(2), pp.131~143.
- [43] Kannan, V. R. and Tan, K. C.(2005), Just in Time, Total Quality Management, and Supply Chain Management: Understanding Their Linkages and Impact on Business Performance, *Omega*, Vol.33(2), pp.153~162.
- [44] Kaynak, H. and Hartley, J. L.(2008), A Replication and Extension of Quality Management into the Supply Chain, *Journal of Operations Management*, Vol.26(4), pp.468~489.
- [45] Ketchen Jr., D. J. and Hult, G. T. M.(2007), Bridging Organization Theory and Supply Chain Management: The Case of Best Value Supply Chains, *Journal of Operations Management*, Vol.25(2), pp.573~580.
- [46] Kleindorfer, P. R. and Saad, G. H.(2005), Managing Disruption Risks in Supply Chains, *Production and Operations Management*, Vol.14(1), pp.53~68.
- [47] Kotabe, M., Martin, X. and Domoto, H.(2003), Gaining from Vertical Partnership: Knowledge Transfer, Relationship Duration and Supplier Performance Improvement in the U.S. and Japanese Automotive Industries, *Strategic Management Journal*, Vol.24, pp.293~316.
- [48] Kuei, C. H., Madu, C. N. and Lin, C.(2001), The Relationship between Supply Chain Quality

- Management Practices and Organizational Performance, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.18(8), pp.864~872.
- [49] Kuei, C. H., Madu, C. N. and Lin, C.(2008), Implementing Supply Chain Quality Management, *Total Quality Management & Business Excellence*, Vol.19(11), pp.1127~1141.
- [50] Lambert, D. M., Emmelhainz, M. A. and Gardner, J. T.(1996). Developing and Implementing Supply Chain Partnerships, *International Journal of Logistics Management*, Vol.7(2), pp.1~18.
- [51] Larson, P. D.(1994), An Empirical Study of Inter-Organizational Functional Integration and Total Costs, *Journal of Business Logistics*, Vol.15(1), pp.153~169.
- [52] Levy, M. and Powell, P.(2000), Information Systems Strategy for Small and Medium Sized Enterprises: An Organizational Perspective, *Journal of Strategic Information Systems*, Vol.9(1), pp.63~84.
- [53] Lin, C., Madu, C. N., Kuei, C. H. and Lu, M. H.(2004), The Relative Efficiency of Quality Management Practices: A Comparison Study on American-, Japanese- and Taiwanese-Owned Firms in Taiwan, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.21(5), pp.564~577.
- [54] Lin, C., Chow, W. S., Madu, C. N., Kuei, C. H. and Yu, P. P.(2005), A Structural Equation Model of Supply Chain Quality Management and Organizational Performance, *International Journal of Production Economics*, Vol.96(3), pp.355~365.
- [55] Lin, C. Kuei, C. H., Chai, K. W.(2013), Identifying Critical Enablers and Pathways to High Performance Supply Chain Quality Management, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.33(3), pp.347~370.
- [56] Mahdiraji, H. A., Arabzadeh, M. and Ghaffari, R.(2012), *Supply Chain Quality Management*, *Management Science Letters*, Vol.2(7), pp.2463~2472.
- [57] Morgan, R. M. and Hunt, S. D.(1994), The Commitment -Trust Theory of Relationship Marketing, *Journal of Marketing*, Vol.58(3), pp.20~38.
- [58] Noordewier, T. G., John, G. and Nevin, J. R.(1990), Performance Outcomes of Purchasing Arrangements in Industrial Buyer-Vendor Relationships, *Journal of Marketing*, Vol.54(4), pp.80~93.
- [59] Nunnally, J. C.(1978), *Psychometric Theory*, McGraw-Hill.
- [60] Paulraj, A. and Chen, I. J.(2005), Strategic Supply Management and Dyadic Quality Performance: A Path Analytical Model, *Journal of Supply Chain Management*, Vol.41(3), pp.4~18.
- [61] Robinson, C. J. and Malhotra, M. K.(2005), Defining the Concept of Supply Chain Quality Management and Its Relevance to Academic and Industrial Practice, *International Journal of Production Economics*, Vol.96(3), pp.315~337.
- [62] Romano, P. and Vinelli, A.(2001), Quality Management in a Supply Chain Perspective: Strategic and Operative Choices in a Textile-Apparel Network, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.21(4), pp.446~460.
- [63] Sila, I., Ebrahimpour, M. and Birkholz, C.(2006), Quality in Supply Chains: An Empirical Analysis, *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol.11(6), pp.491~502.
- [64] Wagner, S. M. and Bode, C.(2006), An Empirical Investigation into Supply Chain Vulnerability, *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol.12(6), pp.301~312.
- [65] Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C.(1991), Vendor Selection Criteria and Methods, *European Journal of Operational Research*, Vol.50(1), pp.2~18.
- [66] Whipple, J. M. and Frankel, R.(2000), Strategic Alliance Success Factors, *Journal of Supply Chain Management*, Vol.36(2), pp.21~28.
- [67] Williamson, O. E.(1979), Transaction-Cost Economics: The Governance of Contractual Relations, *Journal of Law and Economics*, Vol.22(2), pp.233~261.
- [68] Zeller, T. L. and Gillis, D. M.(1995), Achieving Market Excellence through Quality: The Case of Ford Motor Company, *Business Horizons*, Vol.38(3), pp.23~31.
- [69] Zeng, J., Phan, C. A. and Matsui, Y.(2013), Supply Chain Quality Management Practices and Performance: An Empirical Study, *Operations Management Research*, Vol.6(1-2), pp.19~31.



김현정

이화여자대학교 경영학과 학사

서울대학교 경영학과 석사

서울대학교 경영학과 박사 수료

현재: 상지영서대학교 경영과 조교수

관심분야: Service Operations, Quality Management, SCM, SCQM, Productivity, Buyer-Supplier Relationship



김수옥

서울대학교 경영학과 학사

서울대학교 경영학과 석사

Michigan State of University 경영학과 박사

현재: 서울대학교 경영학과 교수

관심분야: Service Operations, SCM, Buyer-Supplier Relationship

분산 제조환경 하에서 생산 및 간선수송 연계 모형*

김형수¹⁾ · 김경섭²⁾ · 박윤선³⁾ · 정석재^{4)†}

¹⁾²⁾연세대학교 정보산업공학과 · ³⁾명지대학교 산업경영공학과 · ⁴⁾광운대학교 경영학부

Production and direct shipment linkage model in a decentralized batch manufacturing environment: Focused on Paint Industry

¹⁾Hyung Soo Kim · ²⁾Kyung Sup Kim · ³⁾Yun Sun Park · ⁴⁾Suk Jae Jeong[†]

¹⁾²⁾Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University

³⁾Department of Industrial and Management Engineering, Myongji University

⁴⁾School of Business, Kwangwoon University

This paper presents the linkage model of production and direct shipment planning model under the decentralized batch production facilities. P-paint company that target as a case study in our research, has a distinct characteristics like these: (1) Each product has its own distinct manufacturing factory, (2) Direct shipment in other warehouses around plants, (3) Batch manufacturing system with production-sequence, (4) The items produced in batch process are directly translated in stock-keeping unit(SKU) for storage at warehouses and transportation among them. These leads to higher complexity of the problem over a generic supply chain planning. We determine the production lot size considering the point of direct shipment and highlight the best strategy among three alternatives, including base case, linkage between production and transportation, and the partial allowance of cross-docking system through experiments with CPLEX.

Keywords: Paint Industry, Batch Production, Decentralized Manufacturing, Production and Distribution

1. 서론

일반적으로 분산 제조라 함은 기업들이 고객의 요구에 보다 신속하고 유연한 대응력을 갖추도록 요구 받는 환경에서 여러 지역

에 분산하여 생산시설을 입지하고, 소비지에서 완제품을 생산하여 고객 수요를 충족시키는 전략을 도입하는 것을 일컫는다(송익수 외, 2002). 하지만 본 연구의 대상인 페인트 산업의 경우, <그림 1>과 같이 기업의 정책과 전략적인 측면의 분산 제조가 아닌 제품의 생산 특성에 의하여 불가피하게 분산 제조를 실시하고 있는 대표적인 산업이다. 이러한 특수한 상황은 생산 단위에서 일반

* 이 논문은 2014년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

† 교신저자 : 139-701 서울특별시 노원구 광운로 20 광운대학교 경영대학 누리관 531호,

Tel: 02-940-5294, Fax: 02-940-8181, E-mail: sjeong@kw.ac.kr

2014년 2월 23일 투고, 2014년 3월 19일 게재 확정.

적인 산업과는 다른 제약을 발생시키는 요인이 되며 이는 단순히 생산 단위에서 뿐만 아니라 전체 공급사슬의 복잡성에 영향을 미치게 된다. 따라서 페인트 산업이 갖고 있는 복잡성을 해결하기 위해서는 일반적인 공급사슬과는 다른 특수한 형태를 가지는 접근 방법의 연구가 요구된다.

페인트산업은 고도의 기술 집약이 요구되는 정밀화학 산업의 한 분야로서 석유화학제품, 천연수지 및 유지류, 금속 및 비 금속류의 광물류, 유기·무기안료와 각종 보조제(첨가제) 등 광범위한 화공재료를 원부자재로 하여 합성하는 종합적인 화학 산업이라 할 수 있다. 국내 페인트업체는 자동차, 선박 등 대형 품목의 과점을 기반으로 하는 대형업체와 일반 범용제품의 판매확대를 추구하는 중소기업으로 크게 양분되어 있다. 업체 수는 수입업체를 포함하여 약 150여개 업체로 이 중 중소기업이 90% 이상을 차지하고 있으며, 대기업은 6개사에 불과하여 업계 전체가 매우 영세한 실정이라 할 수 있다. 이처럼 중소기업의 비중이 높은 이유는 소규모 자본투자와 범용설비만으로도 기업운영이 가능하다는 업종 특성 때문이라 할 수 있으며, 대부분의 중소기업들은 범용페인트를 중심으로 과당 경쟁체제를 형성하고 있다. 페인트 산업이 전체적으로 고민하고 있는 가장 큰 이슈는 생산 및 재고 관리이다. 그 원인으로는 첫째, 페인트 제품의 경우 탱크(배치) 단위로 생산이 이

루어지기 때문에 수요보다 많은 생산량이 불가피하다. 예를 들어 탱크는 1000L단위로 생산 할 수 있고 수요가 1500L 발생 했다면 500L는 전부 재고가 된다. 둘째, 제품의 종류가 매우 많고 다른 제품의 탱크를 생산하기 위한 설정 비용과 시간이 많이 발생하기 때문에 한 번에 최대한 많은 양을 생산 하려는 경향이 있다. 셋째, 페인트를 장기 보관할 경우에 용기의 부식 및 제품의 응고가 발생할 수 있다. 이러한 이유로 인해 <그림 2>에서 언급하고 있는 바와 같이 현재 페인트 산업에서는 필요 이상의 재고가 발생하고 있고, 보관 시설이 부족해 빈번한 야적, 팔지 못하는 불용재고가 발생하고 있으며, 이는 고스란히 기업의 불필요한 비용으로 연결되고 있기 때문에 과잉재고를 줄이기 위한 생산계획이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 페인트 산업에서 고민하고 있는 과잉재고를 해결하기 위한 합리적인 생산계획을 결정하고 적절한 대안을 통해 비용을 최소화하는 데에 목적이 있다고 할 수 있다.

앞서 언급한 페인트 산업의 이슈인 생산 및 재고 관리를 위한 합리적인 생산량의 결정은 최적화적 접근 방법으로 해결이 가능하다. 본 연구에서는 이를 대표적인 최적화적 기법인 정수계획법으로 제시하였다. 정수계획법의 수리모형에는 2장에서 언급하는 페인트 산업의 특성을 반영 하였다. 또한 모형을 더욱 확장해 생산과 수송을 따로 생각하는 것이 아닌 동시에 고려하는 개념을 적

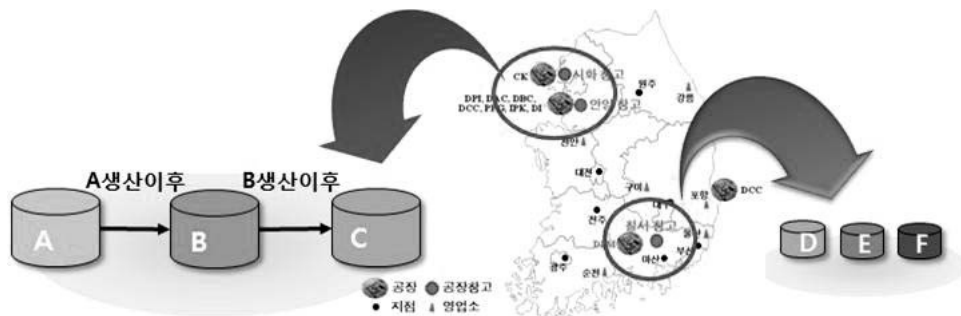


그림 1. 국내 페인트 P사의 분산 제조 네트워크

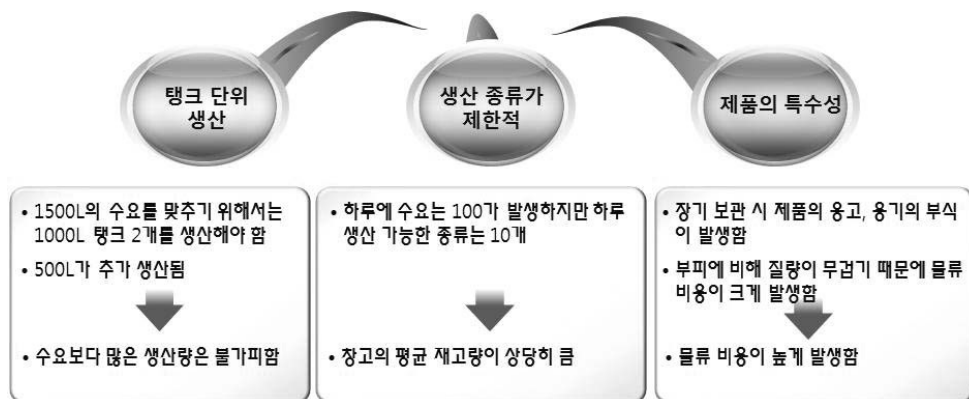


그림 2. 페인트 제품의 과잉재고 발생에 따른 문제점

용 시킨 생산 수송 연계 모형을 제시하였다. 그리고 생산과 수송을 연계하는 개념을 적용한 시나리오를 국내 실제 페인트 회사인 P사를 통해 실험을 진행 및 분석하였으며, 추가적인 대안으로 부분 크로스도킹 형태의 시나리오를 포함한 종합적인 결과를 비교·분석 실시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 생산·분배 계획, 로트 사이즈 결정에 관한 선행연구 고찰 및 페인트 산업의 특성을 열거한다. 3장에서는 페인트 산업의 생산 특성과 생산 및 수송을 연계한 수리모형을 제시하며, 4장에서는 이를 검증하기 위한 실제 P사의 시나리오 대안 별 비용 절감 효과를 비교 및 분석한다. 끝으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 진행 방향을 제시한다.

2. 선행연구 고찰 및 페인트 산업의 특성

2.1 선행연구 고찰

2.1.1. 정수/혼합정수 계획법을 적용한 생산과 분배 계획에 관한 연구

정수 혹은 혼합정수 계획법을 이용한 생산과 분배량 결정 문제는 최근까지 꾸준히 연구가 진행되고 있다. McDonald and Karimi (1997)는 다수의 플랜트, 제품, 기간 환경을 갖는 화학 산업의 생산과 수송량을 결정하기 혼합 정수 계획 모형을 제시하였으며 Sakawa et al. (2001)은 건설용 제품을 생산하는 일본 기업의 생산 및 수송을 혼합 정수 계획으로 제시하였다. Rizk et al. (2006)은 하나의 생산 플랜트가 있고 다수의 분배센터가 있는 생산 환경에서의 생산 분배 계획을 혼합 정수 계획으로 제시하였다. Romo et al. (2009)는 노르웨이 천연가스의 생산 및 수송량 결정에 혼합 정수 계획을 사용하였다. 황승준 등(2011)은 혼합 정수 계획법을 이용하여 중소 부품 제조업체와 완성품 제조업체의 통합 생산 및 물류계획을 수립하였다. 여러 산업이나 특수한 상황에서 최적의 생산과 수송량을 결정하기 위한 연구는 진행 되고 있으나 본 연구에서 제시하는 분산 제조환경을 대상으로 하는 생산과 분배 연구는 전무한 실정이며 생산과 수송을 이원화해 모형을 구성하고 있다는 점에서 한계점이 있다.

2.1.2. 로트 사이즈 결정 연구

생산 로트 크기 및 순서, 수송량 결정 문제는 페인트 산업뿐만 아니라 유사한 성격을 가지는 다양한 산업에서 다루어야 할 중요한 문제이다. 페인트 산업의 생산적인 측면에서의 특징은 액상 제품을 생산하여 수요에 따른 용기 규격별로 분할하여 완제품을 생산하는 것이다. 이와 유사한 경향을 보이는 산업으로는 요구르트 생산(Marinelli et al., 2007), 금형 주조(Araujo et al., 2008),

곡물 생산(Luche et al., 2009), 유리 가공 산업(Almada-Lobo et al., 2008), 가축 사료 산업(Toso et al., 2009), 음료 산업(Ferreira et al., 2010), 제약 산업 (Stadtler, 2011), 사형 주조 산업(Hans and Van de Velde, 2011) 등이 있다.

앞서 언급한 산업들을 대상으로 생산 로트 크기 의사결정 문제를 다른 연구들은 대부분 생산 로트 크기를 결정함과 동시에 생산 순서를 함께 고려하고 있다(e.g., Fleischmann, 1990; Pinedo, 1995; Drexel and Kimms, 1997; Meyr, 2000; Karimi et al., 2003; Toledo and Armentano, 2006). 하지만 생산 로트 크기 결정 문제와 스케줄링 문제를 단일 단계(Single stage)로 해결하는 것은 일반적으로 NP-Hard 문제로 인식되어 있다(Bitran and Yanasse, 1982; Meyr, 2002). 이는 제품의 생산 관리를 하는데 있어서 제품 수요, 장비 가동률, 원자재 이용률 등 동시에 고려해야 될 사항들이 많기 때문이다.

유사한 산업 즉, 금형 주조, 곡물, 음료 산업 등과 같이 대규모 용기(탱크) 단위로 제품을 생산하여 용기별로 분리한 후 완제품을 생산하는 특징을 갖는 산업에 대하여 로트 크기 결정 문제와 생산 스케줄링 문제를 고려한 선행 연구를 살펴보면, Clark(2003)는 음료 공장에서 캔으로 생산되는 제품에 대하여 큰 용기 단위로 생산된 제품 종류의 변화가 없다면 완제품 생산 순서에 따라 독립적인 설정 시간(set-up time)을 가지고, 그 이외의 경우는 고정된 설정 시간을 가지는 생산 로트 크기 결정 문제에 관하여 연구하였다.

Toledo et al.(2013)은 로트 크기 결정과 스케줄링 문제를 통합하여 해결하고자 하였고, 생산 단계에서 설정 시간이 순서에 의존적인 경우와 모두 동일한 경우를 고려한 문제를 고려하였으며, 문제 해결을 위하여 휴리스틱 및 메타휴리스틱 기반의 방법론을 제안하였다.

이외에 다른 특징을 갖는 로트 크기 결정 및 스케줄링 문제에 관한 연구들이 많이 소개되었다. 예를 들어, Fleischmann and Meyr (1997), Haase and Kimms (2000), Meyr (2000), Beraldi et al.(2008), and Kovacs et al. (2009), 김은갑(2010) 등은 로트 크기 결정 및 스케줄링 문제를 해결하는 데 있어서 순서에 의존적인 설정 시간과 비용을 특징으로 갖는 연구들을 수행하였다.

본 연구에서는 우선 페인트 산업에서의 로트 크기 결정 문제를 다루고, 스케줄링의 문제가 아닌 간단한 생산 순서를 결정하는 모형을 설계하고자 한다. 또한 거점 단위 분배 창고의 재고 충족 및 수요의 대응을 위한 제품을 수송할 때, 생산과의 연계를 통하여 창고/제품별 재고량을 최소화시키고, 전체 비용을 최소화시킬 수 있는 수송량 결정 모형 연구를 실시하고자 한다. 따라서 본 연구가 갖는 차별성은 페인트의 특성이 반영된 특수한 생산 분배 모형

을 설계 하였으며 생산과 간선수송을 연계한 개념을 적용하였다 는 데에 있다.

2.2. 페인트 산업의 생산 특성

페인트 산업의 생산단위에서의 특성은 다음과 같다.

첫째, 상이한 공장에서는 서로 독립적인 제품을 생산한다. 페인트는 배합, 분산, 용해, 조색, 희석, 포장의 단계까지 매우 복잡하고 기술적인 부분을 필요로 한다. 만약 상이한 공장에서 같은 색상을 생산한다면 공정 환경이 다르고 매우 민감한 제품이기 때문에 미세한 색의 차이가 발생하게 된다. 일반적인 부품생산의 경우 상이한 공장에서 생산하더라도 오차범위 이내의 제품을 생산하면 서로 혼용해서 사용할 수 있다. 하지만 페인트의 경우 미세한 색의 차이가 발생한다면 결코 같은 색상이라 할 수 없으며, 혼용해서 사용될 수 없다. 이러한 페인트의 특성 때문에 페인트산업은 상이한 공장에서 서로 독립적인 제품을 생산하는 분산형 제조 환경의 구조를 지닌다.

둘째, 일정 기간 내에 생산할 수 있는 제품의 종류는 제한적이다. 페인트회사에서 생산하는 제품의 종류는 적게는 수천 종에서 많게는 수십만 종에 이른다. 페인트는 생산과정이 복잡해서 제품 생산 주기가 길고 제품 생산간 발생하는 설정 시간과 비용이 많이 발생하기 때문에 하루 단위 생산할 수 있는 제품의 종류에 제약이 생긴다. 하루에 생산가능한 제품의 종류가 많지 않은 반면에, 수요는 모든 종류에서 발생하기 때문에 일반적인 제조업보다 재고가 많이 발생하는 산업이며 이를 잘 관리하는 것이 중요한 이슈이다.

셋째, 제품이 탱크 단위로 생산되며 분배 및 수요의 단위는 용기 단위로 발생한다. 페인트는 탱크 단위로 크게 생산해서 용기 단위로 배분 및 포장 과정을 거친다. 수요는 용기 단위로 발생하고 생산은 탱크 단위로 이루어지기 때문에 수요를 초과하는 생산은 불가피하다. 탱크로 생산된 제품은 모두 용기화 되기 때문에

수요를 만족하고 남은 용기는 고스란히 재고로 쌓이게 된다. 이는 단순 재고 유지비용뿐만 아니라 페인트 제품의 민감한 특성상 불용재고의 리스크가 발생할 수 있기 때문에, 불용재고로 폐기되는 비용까지 포함한 총 비용을 줄이기 위해서는 적절한 생산시점에서의 로트 크기를 결정하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 연구는 위의 특성을 반영한 모형을 설계하였으며, 다음 장에서 자세히 다루었다.

3. 연구모형

3.1 문제정의

이번 장에서는 2장에서 언급한 페인트 산업의 특성을 반영한 생산 및 수송 모형을 정수계획법으로 설계한다. 본 연구의 모형은 페인트를 생산하는 공장, 용기단위를 보관하는 창고, 수요지의 3단계로 구성되어있다. 페인트 산업의 경우 서로 상이한 공장에서는 독립적인 제품을 생산하지만 수요는 전국적으로 발생하기 때문에 각 공장에서 분산 제조된 제품은 모든 수요지에 배송이 되는 네트워크 구조를 갖추고 있어야 한다. 일반적인 수송 네트워크와 본 모형에서 사용되는 네트워크를 비교해보면 그림 3과 같다.

회사 정책 및 비용의 관점에서 네트워크는 얼마든지 달라질 수 있지만 페인트는 다품종 소량 수요가 많이 발생하는 산업이기 때문에 창고로부터 모든 수요지에 직접적으로 배송하는 것은 과도한 수송비를 초래할 수 있다. 따라서 대부분의 페인트 회사는 직접배송 보다는 물류센터를 경유하는 간선수송을 하고, 각 창고에 할당된 여러 수요지로는 1톤 트럭의 지선 배송을 함으로써 효율적인 운영이 가능한 형태를 취하고 있다. 본 모형에서는 간선수송을 하는 형태의 네트워크 구조를 적용해 모형을 설계하였다. 수송

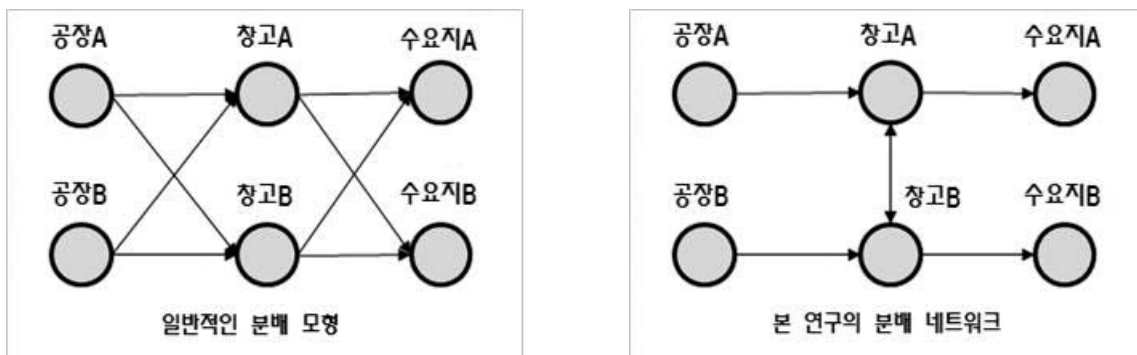


그림 3. 일반적인 분배 네트워크와 본 연구의 분배 네트워크

네트워크와 생산 단위에서의 페인트 산업의 특성을 포함한 본 연구의 구체적인 네트워크 구조는 그림 4와 같다.

서로 상이한 위치에 있는 공장이 2개(Factory 1, 2)가 있으며 2장에서 언급하였듯이 각각의 공장이 생산할 수 있는 페인트 제품의 종류는 중복되지 않는다. 예를 들어 전체 10종류의 페인트 제품 중에 Factory 1번에서 제품 1번부터 6번까지 생산할 수 있다고 한다면 Factory 2에서는 7번부터 10번까지 생산할 수 있다. 또한 각각의 공장에서는 제품을 탱크단위로 생산하게 되는데 하나의 탱크에서는 동시에 2가지 종류의 페인트를 생산할 수 없다. 다른 종류의 제품을 생산하고자 한다면 앞서 제품의 생산이 완료된 뒤에 다른 제품을 생산할 수 있다. 탱크단위로 생산이 이루어지고 나면 제품은 용기 단위(SKU : Stock Keeping Unit)로 분배하게 되는데 이때 용기의 종류 또한 여러 가지가 존재한다. 그리고 탱크의 단위 개수 당 용기의 분배는 사전에 정의된 조합에 의해 결정이 된다. 이렇게 생산된 i 페인트의 j 용기 제품은 공장 인근의 창고로 이동해 저장된다. 창고는 수요지 권역의 수요를 충족시키기 위해 인근 공장에서 생산한 제품을 포함해 상호 떨어진 제품까지 재고로 보관하고 있으며 하루에 한번 차량-창고간의 간선수송을 통해 재고를 보충한다.

본 연구는 추가적으로 생산과 간선수송의 연계를 적용해 모

형을 설계하였다. 생산과 간선수송 연계는 생산과 수송을 이원화하지 않고 동시에 고려한다는 개념이다. 그림 5와 그림 6은 생산과 간선수송을 연결했을 경우와 그렇지 않을 경우의 수송량의 차이점을 표현한 것이다. 생산과 간선수송을 연결하지 않을 경우에는 생산과 수송은 독립적으로 이뤄지기 때문에 기존에 보유하고 있는 재고가 수송량의 대상이 되며, 수송량이 결정된 이후에 생산된 제품이 새롭게 재고로 저장되는 형태이다. 반면에 생산과 간선수송을 연결하는 경우에는 수송량을 결정하는데 있어서 생산되어지는 제품까지 고려하기 때문에 현재 보유하고 있는 재고에서 생산량을 제외한 나머지 양이 수송량의 대상이 된다. 따라서 생산되어지는 제품이 창고의 버퍼역할을 하게 되고 창고가 보유하고 있어야하는 평균재고량을 감소시킬 수 있게 된다.

본 연구의 모형은 생산과 간선수송을 연계하는 개념이 추가되면서 더욱 복잡성을 띄고 있다. 페인트 산업은 일반적으로 제품의 종류가 매우 많고 하루 생산할 수 있는 제품의 종류는 한정되어 있다. 보통의 경우에는 하루 생산할 수 있는 제품의 종류를 결정하는 문제가 된다. 이러한 경우에 보낼 수 있는 수송량은 일반적으로 전달 보유하고 있던 재고를 고려해서 결정된다. 하지만 생산과 간선수송을 연계해서 단위시간동안 생산된 제품까지 수송에 고려할 수 있다고 한다면 어떤 제품을 먼저 생산하는 것이

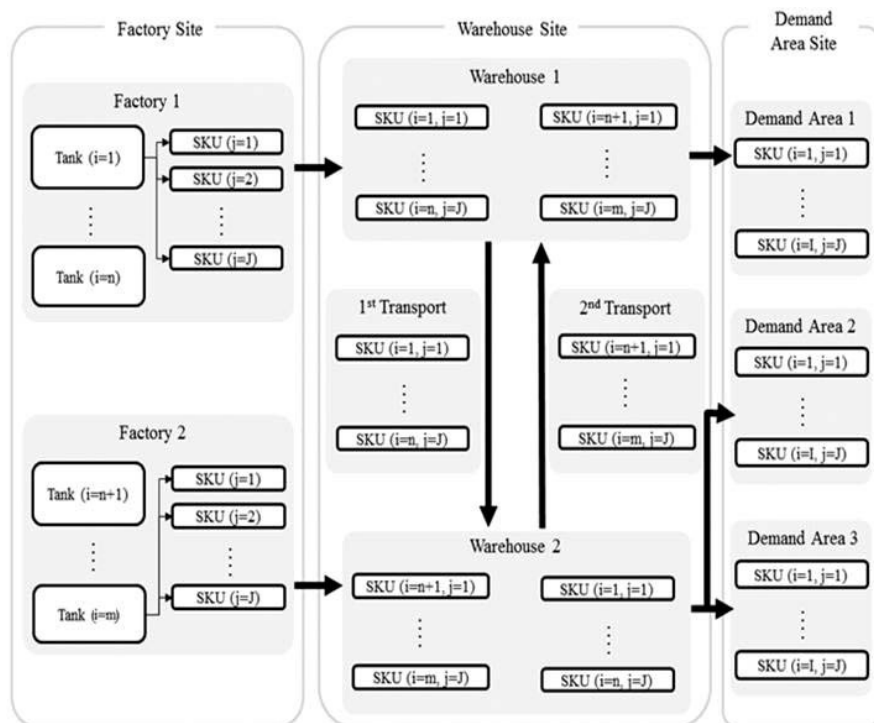


그림 4. 본 연구의 구체적인 네트워크 모형

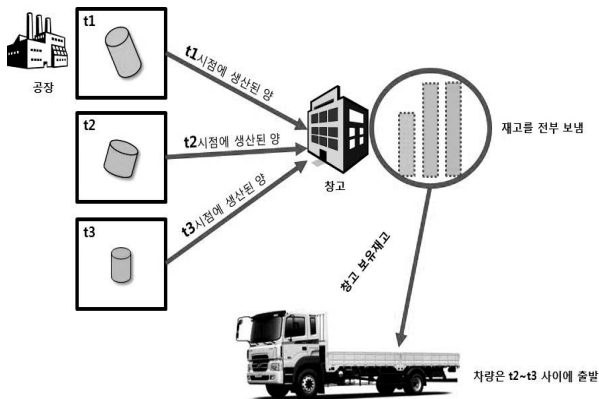


그림 5. 생산과 간선수송을 연계하지 않을 경우의 수송량

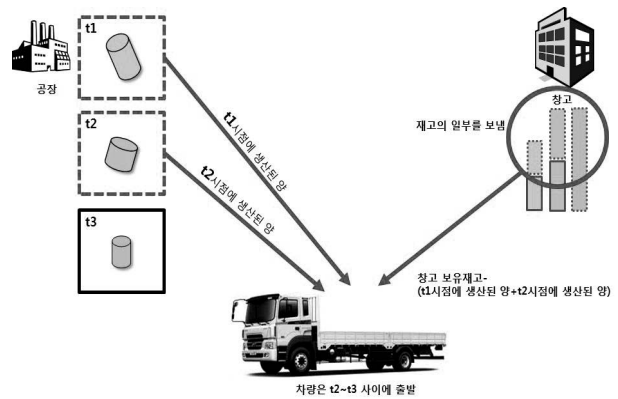


그림 6. 생산과 간선수송을 연계 할 경우의 수송량

좋은지에 대한 생산 순서를 결정해야하는 문제가 된다. 그림 7은 생산과 간선수송 시점을 연계하는 경우에 발생하는 복잡성을 나타낸다.

따라서 본 연구모형은 기본적으로 비용 최소화 관점에서 페인트 제품의 생산량 및 수송량을 결정하면서 생산 순서를 결정해야 하는 복잡한 문제라고 할 수 있으며 이는 일반적인 생산 및 수송 문제와는 확연히 다른 형태의 모형이다. 본 연구모형의 가정 사항을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 생산되는 탱크의 용량은 항상 동일하다.

둘째, 배분되는 용기의 용량은 제품 종류에 상관없이 정해진 규격을 따른다.

셋째, 수요는 T 기간마다 발생하며 수요발생시 즉시 보충한다.

넷째, 비용은 생산비용과 재고비용을 고려한다.

다섯째, 품질 및 백 오더는 생각하지 않는다.

3.2. 기호 정의

Index

i : 제품의 종류

j : 저장 용기의 종류

c : 생산되는 페인트의 저장 용기 조합

k : 공장

l : 창고

t : 제품 i 를 용기 j 로 만들기 단위시간

T : 제품군 변경 시점

Set

K_k^{set} : 공장 k 에서 생산되는 제품 i 의 set

L_l^{set} : 창고 l 로 보내는 공장 k 의 set

TL_l^{set} : 창고 l 에서 보낼 수 있는 제품 i 의 set

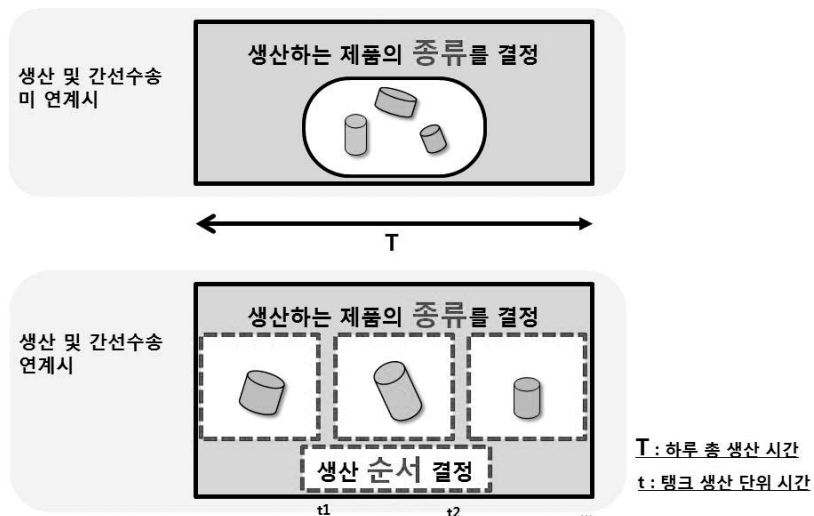


그림 7. 생산 및 간선수송 연계의 복잡성

I_k^{set} : 창고 l 에서 보낼 수 있는 t 시점 set

Parameter

d_{ijl}^T : T 시점에 창고 l 에서 담당하는 제품 i 의 용기 j 수요

CI_{ij} : 단위당 제품 i 의 용기 j 재고유지비용

BC_j : 단위당 용기 j 의 용량

CBC_{jc} : c 조합에 포함된 용기 j 의 수

CT : 생산 가능 용량

CAT : 단위당 탱크 생산 비용

CC : 간선 차량 용량

SD : 안전 재고 일수

$MinP$: 최소 생산량

Variable

I_{ijl}^T : T 시점에 창고 l 의 제품 i 용기 j 의 재고 개수

P_{ijkt}^T : T 시점에 t 기간의 공장 k 에서 제품 i 이 용기 j 로 담겨진 개수

PT_{ikct}^T : T 시점에 t 기간의 공장 k 에서 c 조합으로 생산되는 제품 i 의 개수

$R_{ijll'}^T$: T 시점에 l 창고에서 창고 l' 로 배송되는 제품 i 의 j 용기 개수

y_{ijk}^T : T 시점에 t 기간의 공장 k 에서 제품 i 의 생산여부 2진 변수

3.3. 수리모형

목적함수

Minimize

$$\sum_{c,i,k,t,T} (CAT \cdot PT_{ikct}^T) + \sum_{i,j,l,T} (CI_{ij} \cdot I_{ijl}^T) \quad (1)$$

제약조건

$$MinP \cdot y_{ikt}^T \leq \sum_c PT_{ikct}^T \leq CT \cdot y_{ikt}^T \quad \forall i \in K_k^{set}, k, t, T \quad (2)$$

$$\sum_i y_{ikt}^T \leq 1 \quad \forall k, t, T \quad (3)$$

$$P_{ijkt}^T = \sum_c PT_{ikct}^T \cdot CBC_{jc} \quad \forall i, j, k, t, T \quad (4)$$

$$I_{ijl}^T = I_{ijl}^{T-1} + \left(\sum_{t,k \in L_l^{set}} P_{ijkt}^T + \sum_{l'} R_{ijll'}^T \right) - \left(\sum_{l'} R_{ijll'}^T + d_{ijl}^T \right)$$

$$I_{ijl}^T = I_{ijl}^{T-1} + \left(\sum_{t,k \in L_l^{set}} P_{ijkt}^T + \sum_{l'} R_{ijll'}^T \right) - \left(\sum_{l'} R_{ijll'}^T + d_{ijl}^T \right) \quad \forall i, j, l, T \quad (5)$$

$$I_{ijl}^T \geq \sum_{SD} d_{ijl}^{T-SD} \quad \forall i, j, l, T \quad (6)$$

$$\sum_{i,j} R_{ijll'}^T \cdot BC_j \leq CC \quad \forall l, l', T \quad (7)$$

$$\sum_{l'} R_{ijll'}^T \leq I_{ijl}^{T-1} + \sum_{k \in L_l^{set}, t \in t_l^{set}} P_{ijkt}^T \quad \forall i \in TL_l^{set}, j, l, T \quad (8)$$

$$\sum_{l'} R_{ijll'}^T = 0 \quad \forall i \notin TL_l^{set}, j, l, T \quad (9)$$

$$I_{ijl}^T, P_{ijkt}^T, PT_{ikct}^T, R_{ijll'}^T = integer \quad (10)$$

$$y_{ikt}^T \in \{0, 1\} \quad (11)$$

목적함수(1)은 각각의 공장에서 생산되는 탱크의 생산비용의 합과 창고에 저장되는 용기의 재고유지비용의 합을 최소화 하는 식이다. 제약조건(2)는 제품 i 가 생산이 이루어 질 경우에 한 번에 생산 할 수 있는 탱크의 개수를 나타낸다. 제약조건(3)은 공장 k 에서 T 의 시점, t 시기에 생산 가능한 제품의 종류는 한 종류만 가능하다는 것을 나타낸 식이다. 제약조건(4)는 탱크를 용기단위로 분배할 경우에 사전에 정의된 조합법에 의해서 결정된다는 것을 표현했다. 또한 결정된 용기는 같은 제품, 같은 용기의 종류끼리 합해 생산량이 된다는 식이다. 제약조건(5)는 각 창고가 보유하게 되는 재고량은 이전 시점에 보유하고 있던 재고량에서 보내는 수송량, 받는 수송량, 창고 주변의 수요를 뺀 값이 된다는 뜻이다. 제약조건(6)은 각각의 창고는 안전 재고일수 이상의 재고를 보장해야 한다는 식이다. 제약조건(7)은 간선 수송하는 전체 용기의 합은 창고의 용량을 만족해야 한다는 식이다. 제약조건(8)은 본 연구에서 제시하는 생산과 수송을 연계하는 제약식으로 간선 수송하는 전체 용기의 합은 현재 보유하고 있는 재고와 그때까지 생산된 제품의 양의 합을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 제약조건(9)는 간선수송의 역수송을 막기 위한 식이다.

4. 사례연구

이번 장에서는 4장에서 제시한 수리모형의 적합성을 검증하기

위한 사례연구를 실시하였다. 실험에 사용되는 데이터는 국내 굴지의 페인트 회사인 P사의 실제 수요 데이터를 기반으로 하였다. 사례연구의 과정은 그림 8과 같다.

먼저 페인트 P사의 현재 운영 현황 및 현재 직면하고 있는 문제점을 파악하였다. 다음에는 기본 시나리오 및 문제점을 해결하기 위한 전략적인 측면의 시나리오를 구성하였다. 마지막으로 시나리오에 대한 실험 및 분석을 정수계획법을 이용해 실시하였다.

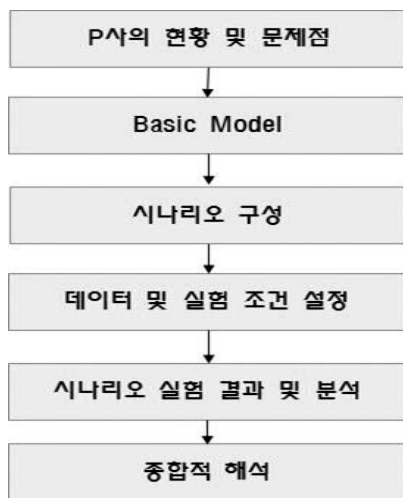


그림 8. 사례 연구 과정

P사의 사례연구를 분석하기 위해 최적화 패키지인 CPLEX-ILOG version 12.1을 사용하였으며 Intel(R)

Core(TM) i7-3770 CPU@3.40GHz, RAM 4G 환경에서 실험을 진행하였다.

4.1. P사의 현황 및 문제점

P사는 현재 공장이 두 군데 입지하고 있는데 각각의 공장은 인근에 창고가 위치하고 있으며 창고는 각각 경인지역과 남부지역을 담당하고 있다. 경인지역은 경인/강원/충청/전북지역의 수요를 담당하고 있으며, 남부창고는 대구, 포항, 부산, 광주, 마산을 거점으로 수요를 충족시키는 형태를 취하고 있다. 또한 A공장에서만 생산되는 제품과 B공장에서만 생산 가능한 제품이 있기 때문에 간선수송의 형태로 부족분을 충당하고 있다.

P사는 현재 합리적인 생산계획이 되고 있지 않으며, 100% 고객 만족도를 지키기 위해서 무리하게 재고를 보유하고 있는 상황이다. 그림 10은 P사의 제품군 별로 수요 대비 재고 보유일수를 나타낸 것이다. 평균 24.5일이 유지되고 있어 이는 회사 정책인 15일치 재고에 비해 상당한 제품의 재고를 보관하고 있다는 것을 알 수 있다. 페인트 산업에서 재고가 많아지면 그림 11과 같이 (1) 제품이 빈번하게 야적되어 운영효율을 떨어뜨리며, (2)야적되는 양이 많아져 제품의 부식을 초래한다. 또한 (3)선입선출의 어려움이 발생하게 되어 제품의 보관기간이 늘어나게 되는데, 이러한 문제점들은 결국 사용할 수 없는 불용재고의 증가로 나타난다. P사의 경우 평균 재고 물량은 약 110억 원 규모인데, 1억 8천만 원이 불용재고의 비용으로 발생하고 있다.



그림 9. P사의 네트워크 구조

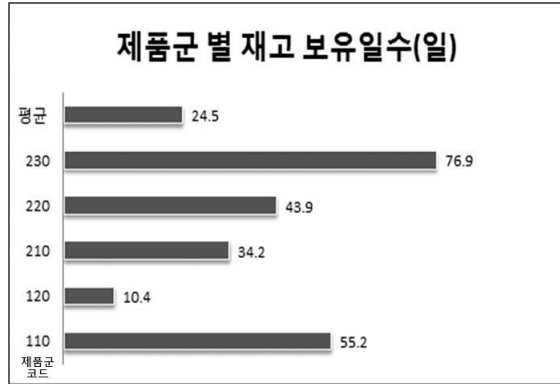


그림 10. P사의 제품군 별 재고보유일수

4.2. 시나리오 구성

이 장에서는 앞 절에서 언급한 P사의 문제점을 해결하기 위한 현실적인 시나리오를 구성하였다. P사의 경우에는 100% 고객 만족도를 지키는 것을 최우선적으로 하고 있기 때문에 회사 정책적으로 15일치 재고를 유지해야만 한다. 따라서 회사의 정책을 지키며 재고를 줄이기 위한 전략적인 측면에서의 접근이 필요하다. Basic Model의 네트워크를 유지하면서 재고를 줄일 수 있는 시나리오로 생산 및 수송 연계, 부분 크로스도킹을 제시하였다. 시나리오 내용과 본 연구에서 제시한 연구모형의 변경사항을 표 1에 정리하였다.

4.2.1. Basic Model — P사의 AS-IS

현재 P사에서는 그림 12와 같은 형태로 생산 및 수송이 이뤄지고 있다. A공장과 B공장은 서로 상이한 제품을 생산하고 있으며, 한 단위시간에 A공장에서 생산된 제품은 즉시 인근 경인창고로 저장되며, 남부창고에서 필요한 제품들을 트럭에 적재하게 된다. 경인 창고를 떠난 트럭은 남부창고에 도착해 수송한 물품을 저장하게 되며, 남부창고에서 출고되는 제품이 발생할 때까지 대기하

시나리오	내용	연구 모형 변경 사항
Basic Model	이전 시점까지 보관하고 있는 재고 한도 내에서 수송을 하며 모든 제품을 창고에 재고로 보관하는 경우	$\sum_l R_{ijl}^T \leq I_{ijl}^{T-1} + \sum_{k \in L_{ij}^T, t \in t_{ij}^T} P_{ijkt}^T$ (8)을 $\sum_l R_{ijl}^T \leq I_{ijl}^{T-1}$ 으로 변경
생산과 수송을 연계	생산시점과 간선수송시점을 연계하여 간선수송시점까지 생산된 제품을 고려하는 경우	—
부분 크로스도킹	제품 중에 수요가 많지 않은 제품은 창고에 재고로 두지 않고 크로스도킹 형태로 운영하는 경우	$I_{ijl}^T \geq \sum_{SD} d_{ijl}^{T-SD}$ 을 $I_{ijl}^T \geq d_{ijl}^T$ 로 변경 크로스도킹 하는 제품의 재고일수를 0으로 변경

고 있다. B공장에서는 두 단위시간 동안 생산된 제품이 남부창고에 저장되며 경인창고에서 필요한 제품을 대기하고 있던 트럭차량에 적재하게 된다. 제품을 적재한 트럭은 다시 경인창고에 도착해 수송한 제품을 저장한다. 정리해보면 각 공장에서는 하루 동안 상이한 제품을 단위시간마다 생산할 수 있으며 한 번 간선수송이 이뤄지는 흐름이다.

Basic Model에서의 특징은 제품의 생산과 간선수송을 이원화하고 있다는 점이다. 하루 단위 시간마다 생산되는 제품은 그대로 창고에 저장이 되고 수송량은 전일 창고에서 보유하고 있던 재고에 한해서 고려된다.

4.2.2. 생산 및 간선수송 연계 시나리오

생산 및 간선수송 연계시나리오는 Basic Model에서 본 연구에서 제안하는 생산과 간선수송을 연계하는 개념을 적용한 시나리오를 구성하였다. 그림 13은 생산 및 간선수송 연계를 도식화한 것이다.

생산과 간선수송을 연계하는 것의 특징은 생산과 수송을 일원



그림 11. 과잉재고로 발생하는 문제점

화한다는 점이다. 공장에서 생산된 제품이 수송량으로 고려된다는 것에서 기본 시나리오와 차이점을 갖는다. P사에 본 시나리오를 적용했을 때 예상되는 흐름도는 그림 14와 같다.

4.2.3. 부분 크로스도킹 시나리오

부분 크로스도킹은 일부 제품을 선별해 크로스도킹을 허용하는 모델이다. 크로스도킹을 하면 선별된 일부 제품의 보관 공간이 가용하게 된다. P사의 경우 야적장이 존재하기 때문에 야적장의 일부 공간을 이용한 크로스도킹형태의 수송이 가능한 상황이다. 그림 15는 부분 크로스도킹을 하는 예시이다.

창고에서 간선수송 된 물품 중에 일부는 즉시 크로스도킹으로

배송하고 나머지는 창고에 보관하여 수요를 충족하는 형태이다.

4.3. 데이터 및 실험 조건 설정

페인트는 색상에 용기단위를 더할 경우 십만 가지의 종류에 이른다. 하지만 용도에 따라 분류할 경우 건축용 페인트, 자동차용 페인트, 선박용 페인트, 선저페인트, 목공용 페인트, 콘크리트용 페인트, 캔용 페인트, 휴대폰용 페인트 등의 몇 가지 종류로 구분할 수 있다. 같은 용도로 사용되는 페인트의 경우 생산 시간에는 차이가 발생 할 수 있지만, 생산 방식은 큰 차이를 보이지 않는다. 따라서 P사의 실제 데이터를 용도에 따라 15가지 제품을 5가지의

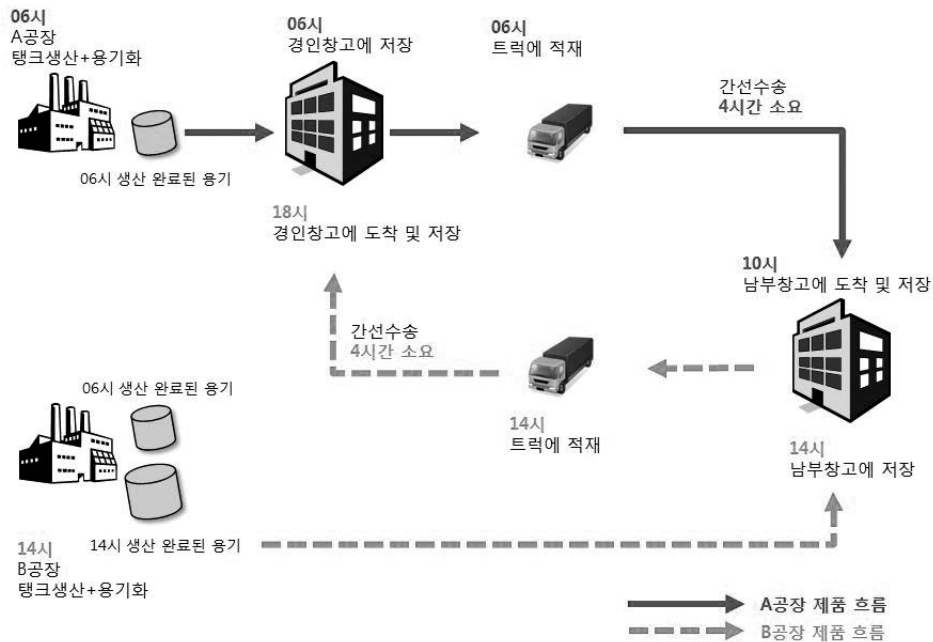


그림 12. P사의 생산 및 수송 흐름도(AS-IS)

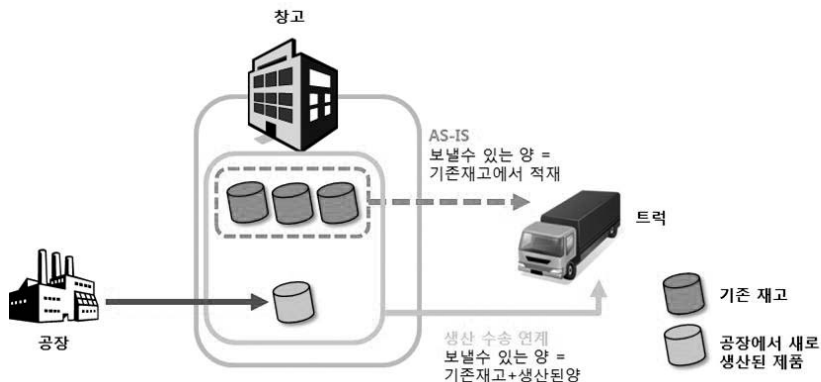


그림 13. 생산 및 간선수송 연계

제품군으로 분류하였다. 용기의 용량과 탱크용량, 차량 용량, 제품의 재고유지비, 탱크의 생산비는 실제 P사에서 사용되는 값을 사용하였으며, 안전재고일수는 15일, 실험기간은 총 30일로 진행하였다.

실험에 사용된 제품군 코드는 110, 120, 210, 220, 230이며,

각 제품군 별 재고단가는 각각 2800원, 2100원, 1500원, 1700원, 10,300원이다. 또한 간선 수송에 사용되어지는 차량은 5톤 차량이며, 탱크 단위당 생산비용은 50만원으로 설정하였다. 또한 평균 재고일수가 낮은 2개의 제품군에 한해서 부분 크로스도킹 시나리오를 적용하였다.

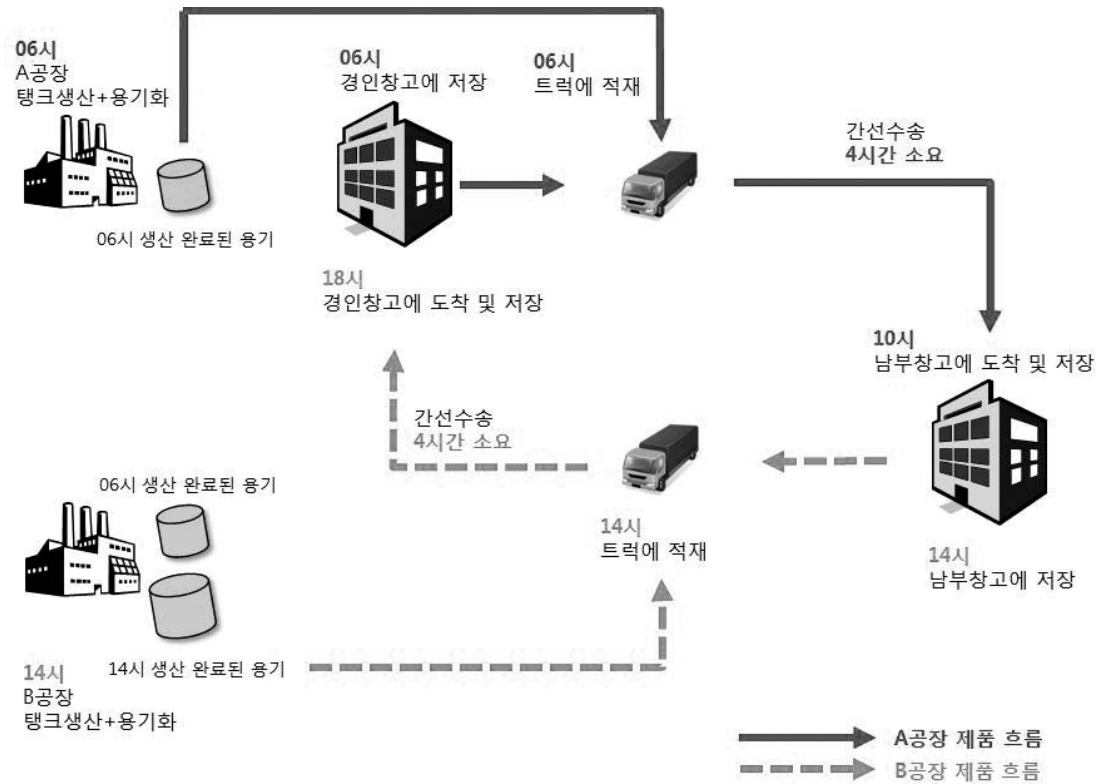


그림 14. P사의 생산 및 수송 흐름도(연계 적용 후)

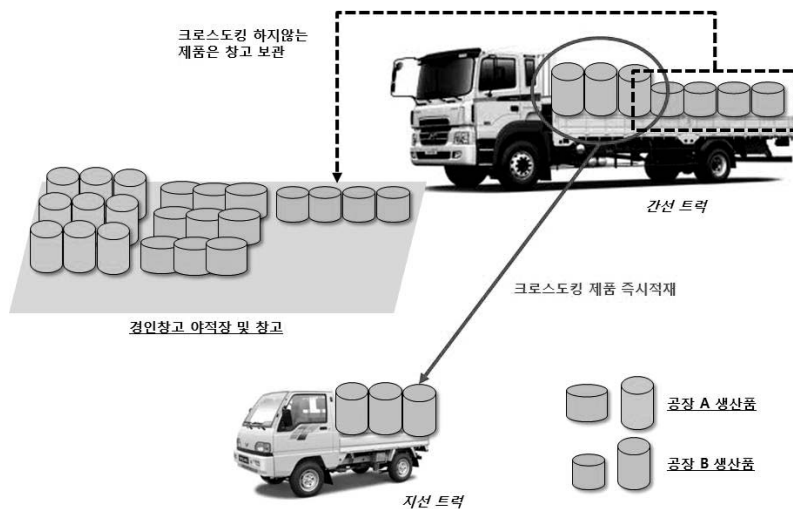


그림 15. 부분 크로스도킹 시나리오

4.4. 시나리오 실험 결과 및 분석

4.4.1. 생산 및 간선수송을 연계 시나리오 결과

표 2는 생산 및 간선수송을 연계하는 경우 Basic Model 대비 비용 감소를 보여주고 있다. 분석 결과 2.22%의 비용감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 페인트의 경우 매출액 대비 영업이익이 약 4%정도로 순이익이 높지 않은 산업이기 때문에 수송 비용이 제외되었다는 것을 감안하더라도 2.22%의 비용감소는 매우 큰 효과라는 것을 알 수 있다.

표 2. 생산 및 간선수송 연계 시나리오 분석 결과

구분	비용(천원)	차이(천원)	차이(%)
Basic Model	3,151,885	—	—
생산 및 간선수송 연계	3,081,814	70,071	2.22

표 3과 표 4는 수요량과 재고 단가 증가에 따른 비용의 민감도 변화를 보여주고 있다. 수요량을 점차적으로 증가 시키는 경우에 Basic Model과의 절대적인 차이는 증가하지만 비율은 감소하고 있다. 이는 평균 재고가 증가하면서 연계모형의 영향력이 약해지기 때문이다.

재고 단가가 증가 할 경우에도 역시 Basic Model과의 절대적인 차이가 증가하고 있지만 비율은 증가하고 있다. 이는 재고단가가 오르면 생산을 더 자주 하게 되어 평균재고량은 감소하게 되고 이는 생산과 수송을 연계하는 경우에 더욱 효과가 있다고 할 수 있다.

표 3. 수요량 증가에 따른 분석 결과 — 생산 및 간선수송 연계 시나리오

수요량 증가 비율 (%)	Basic Model 비용 (천원)	생산 수송 연계 비용(천원)	Basic Model과의 차이	
			금액(천원)	%
0	3,152,358	3,081,814	70,544	2.22
20	3,778,907	3,700,568	78,339	2.07
40	4,408,752	4,325,111	83,641	1.89
60	5,045,149	4,956,130	89,019	1.76

표 4. 재고 단가 증가에 따른 분석 결과 — 생산 및 간선수송 연계 시나리오

재고 단가 증가 비율 (%)	Basic Model 비용 (천원)	생산 수송 연계 비용(천원)	Basic Model과의 차이	
			금액(천원)	%
0	3,152,358	3,081,814	70,544	2.22
20	3,224,860	3,141,280	83,580	2.59
40	3,298,295	3,198,972	99,323	3.01
60	3,367,431	3,257,146	110,285	3.27

4.4.2. 부분 크로스도킹 시나리오 결과

표 5는 부분 크로스도킹을 하는 경우에 비용 감소 효과를 보여주고 있다. 시나리오 분석 결과 Basic Model 대비 6.68%의 비용 감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 실험을 실시한 30일을 기준으로 전체 창고가 보유하고 있는 재고의 약 2일치에 해당하는 비용이며, 제품군 2개를 부분 크로스도킹 하는 것만으로도 충분한 비용 감소효과를 볼 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 5. 부분 크로스도킹 시나리오 분석 결과

구분	비용(천원)	차이(천원)	차이(%)
Basic Model	3,152,358	—	—
부분 크로스도킹	2,941,268	211,090	6.67

표 6과 표 7은 부분 크로스도킹을 실시하는 경우에 수요량과 재고 단가의 증가에 따른 민감도의 변화를 살펴본 것이다. 먼저 수요량이 점차적으로 증가할 경우에 절대적인 비용은 증가하고 있지만 비율은 거의 비슷하게 유지되고 있다. 따라서 수요량이 변화하더라도 부분 크로스도킹 시나리오가 비용에 미치는 영향은 없다고 할 수 있다.

표 6. 수요량 증가에 따른 분석 결과 — 부분 크로스도킹

수요량 증가 비율 (%)	Basic Model 비용 (천원)	부분 크로스도킹 비용(천원)	Basic Model과의 차이	
			금액(천원)	%
0	3,152,358	2,941,268	211,090	6.67
20	3,778,907	3,529,621	249,286	6.66
40	4,408,752	4,117,682	291,070	6.65
60	5,045,149	4,706,352	338,797	6.65

표 7. 재고 단가 증가에 따른 분석 결과 — 부분 크로스도킹

재고 단가 증가 비율 (%)	Basic Model 비용 (천원)	부분 크로스도킹 비용(천원)	Basic Model과의 차이	
			금액(천원)	%
0	3,152,358	2,941,268	211,090	6.67
20	3,224,860	3,439,328	214,468	6.65
40	3,298,295	3,517,731	219,436	6.65
60	3,367,431	3,593,384	225,953	6.68

재고 단가가 증가하는 경우에도 절대적인 비용은 증가하고 있지만, 비용의 비율 증가 면에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 재고 단가의 증가와 부분 크로스도킹에는 서로 영향을 미치지 않는 것을 <표 7>를 통해 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 분산제조환경의 대표적인 산업이자 국가 기반산업인 페인트 산업의 특성을 반영한 모형을 설계하였으며 생산과 간선수송을 연계하는 개념을 추가하였다. 또한 P사의 실제 문제점을 파악하고, 이를 해결하기 위한 방안으로 본 연구에서 제시한 생산 및 간선수송 연계모형 시나리오와 부분 크로스도킹 시나리오를 적용해 실험 실시 및 결과 분석을 진행하였다. 실험 결과 본 연구에서 제시하는 생산 및 간선수송 연계 모형은 페인트 산업의 비용 감소효과에 크게 기여하는 것으로 나타났다. 이는 생산과 간선수송을 이원화하는 것 보다, 동시에 고려하는 것이 비용 절감면에서 우위에 있다는 것을 보여주고 있다. 또한 수요에 대비해 보유하고 있는 페인트의 재고 일수가 높은 제품군을 선정해 부분 크로스도킹을 하는 경우, 비용의 큰 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

수요량과 재고 단가가 증감함에 따라 시나리오별 비용 감소효과를 분석한 결과, 생산 및 간선수송 연계 모형에서는 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었으나, 부분 크로스도킹의 경우에는 영향이 없는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 대상으로 하는 페인트 산업에서는 생산된 제품이 즉시 수송에 고려될 수 있도록 생산 계획을 수립하는 것이 중요하며, 부분 크로스도킹을 통해 비용을 절감하고자 한다면 이를 통한 비용 절감효과와 일부 갑작스런 수요에 대응하지 못한 비용을 비교해 유동적으로 부분 크로스도킹 할 제품군을 고려해야 한다.

향후 연구 방향으로는 장기간의 수요데이터를 이용한 거시적인 비용 효과 분석이 요구된다. 또한 품질비용, 백 오더 비용 및 수송비용이 추가된 연구가 필요하며, 더 나아가 시나리오 분석 및 파라미터의 변화에 따른 보다 다양한 민감도 분석이 요구된다.

참고 문헌

- [1] 김은갑(2010), Implementation of a vendor-managed inventory agreement in a twostage push-pull supply chain, *한국 SCM 학회지*, 10(2), pp.63-71.
- [2] 박준형 · 박성일 · 김중수(2013), 최소요구주문량 조건을 고려한 다품목 발주정책, *한국 SCM 학회지*, 13(2), pp.99-112.
- [3] 송익수 · 정호상 · 정봉주(2002), 분산제조환경에서 생산 가용량을 고려한 통합 생산-분배 계획 수립에 관한 연구, *한국경영과학회 2002년 추계학술대회논문집*, pp.397-400.
- [4] Araujo, S. A., Arenales, M. N., Clark, A. R. (2008),

- Lot-sizing and furnace scheduling in small foundries, *Computers & Operations Research*, 35, pp.916-932.
- [5] Beraldi, P., Ghiani, G., Grieco, A., Guerriero, E.(2008), Rolling-horizon and fix-and-relax heuristics for the parallel machine lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent set-up costs, *Computers & Operations Research*, 35, pp.3644-3656.
- [6] Bitran, G. R., Yanasse, H. H.(1982), Computational complexity of the capacitated lot size problem, *Management Science*, 28(10), pp.1174-1186.
- [7] Clark, A. R.(2003), Hybrid heuristics for planning lot setups and sizes, *Computers & Industrial Engineering*, 45, pp.545-562.
- [8] Drexel, A., Kimms, A.(1997), Lot sizing and scheduling - Survey and extensions, *European Journal of Operational Research*, 99, pp.221-235.
- [9] Ferreira, D., Morabito, R., Rangel, S.(2010), Relax and fix heuristics to solve one-stage one-machine lot-scheduling models for small-scale soft drink plants, *Computers & Operations Research*, 37(4), pp.684-691.
- [10] Fleischmann, B.(1990), The discrete lot sizing and scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 44, pp.337-348.
- [11] Fleischmann, B., Meyr, H.(1997), The general lotsizing and scheduling problem, *OR Spektrum*, 19, pp.11-21.
- [12] Haase, K., Kimms, A.(2000), Lot sizing and scheduling with sequence-dependent setup costs and times and efficient rescheduling opportunities, *International Journal of Production Economics*, 66(2), pp.159-169.
- [13] Hans, E., Van de Velde, S.(2011), The lot sizing and scheduling of sand casting operations, *International Journal of Production Research*, 49(9), pp.2481-2499.
- [14] Karimi, B., Ghomi, S.M.T.F., Wilson, J.M.(2003), The capacitated lot sizing problem: A review of models and algorithms, *Omega International Journal of Management Science*, 31(5), pp.365-378.
- [15] Kovacs, A., Brown, K. N., Tarim, S. A.(2009), An efficient MIP model for the capacitated lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setups, *International Journal of Production Economics*, 118(1), pp.282-291.
- [16] Luche, J. R., Morabito, R., Pureza, V.(2009), Combining

- process selection and lot sizing models for production scheduling of electrofused grains, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 26, pp.421-443.
- [17] Marinelli, F., Nenni, M. E., Sforza, A.(2007), Capacitated lot sizing and scheduling with parallel machines and shared buffers: a case study in a packaging company, *Annals of Operations Research*, 150(1), pp.177-192.
- [18] McDonald, C. M., Karimi, L. A.(1997), Planning and scheduling of parallel semicontinuous processes. 1. Production planning. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 36, pp. 2691-2700.
- [19] Meyr, H.(2000), Simultaneous lot sizing and scheduling by combining local search with dual reoptimization, *European Journal of Operational Research*, 120, pp.311-326.
- [20] Meyr, H.(2002), Simultaneous lot sizing and scheduling on parallel machines, *European Journal of Operational Research*, 39, pp.277-292.
- [21] Pinedo, M.(1995), *Scheduling - Theory, Algorithms and Systems*, Prentice Hall.
- [22] Rizk, N., Martel, A., D' amours, S.(2006), Multi-item dynamic production-distribution planning in process industries with divergent finishing stages, *Computers and Operations Research*, 33, pp.3600-3623.
- [23] Romo, F., Tomasgard, A., Hellemo, L., Fodstad, M., Eidesen, B. H., Pedersen, B.(2009), Optimizing the Norwegian Natural stry: a VNS approach, *International Journal of Production Economics*, 114(1), pp.363-375.
- [24] Sakawa, M., Nishizaki, I., Uemura, Y.(2001), Fuzzy programming and profit and cost allocation for a production and transportation problem, *European Journal of Operational Research*, 131, pp.1-15.
- [25] Stadtler, H.(2011), Multi-level single machine lot-sizing and scheduling with zero lead times, *European Journal of Operational Research*, 209(3), pp.241-252.
- [26] Toledo, C. F. M., Arantes, M. S., Oliveira, R. R. R., Almada-Lobo, B.(2013), Glass container production scheduling through hybrid multi-population based evolutionary algorithm. *Applied Soft Computing*, 13, pp.1352-1364.
- [27] Toledo, F. M. B., Armentano, V. A.(2006), A Lagrangian-based heuristic for the capacitated lot sizing problem in parallel machines, *European Journal of Operational Research*, 175, pp.1070-1083.
- [28] Toso, E. A., Clark, A. R., Morabito, R.(2009), Lot sizing and sequencing optimisation at an animal-feed plant. *Computers & Industrial Engineering*, 57, pp.813-821.

**김형수**

경기대학교 산업공학과 학사
연세대학교 정보산업공학과 석사
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션, SCM

**김경섭**

연세대학교 기계공학과 학사
University of Nebraska-Lincoln 산업공학과 석사
North Carolina State University 산업공학과 박사
현재 : 연세대학교 정보산업공학과 교수
관심분야 : 생산물류, 시뮬레이션, SCM

**박윤선**

서울대학교 산업공학과 학사
Texas A&M University 산업공학과 석사
University of Michigan 산업공학과 박사
현재 : 명지대학교 산업경영공학과 교수
관심분야 : 대기행렬모형, 시뮬레이션

**정석재**

한국해양대학교 물류시스템공학과 학사
연세대학교 정보산업공학과 석사
연세대학교 정보산업공학과 박사
현재 : 광운대학교 경영학과 교수
관심분야 : SCM, 물류관리, 생산운영관리

비용과 리드타임을 고려한 3단계 공급사슬 네트워크 최적 설계에 관한 연구*

정기호[†]

경성대학교 경영정보학과

3-stage Supply Chain Network Design with Considering Cost and Lead Time

Ki Ho Chung[†]

Department of Management Information Systems, Kyung Sung University

This paper deals with the problem of designing 3-stage supply chain network consisting of suppliers, plants, distribution centers(DCs) and retailers. To define the problem considered in this paper it is assumed that there are single product, multiple raw materials, and two objective functions and there exists a lead time for DCs to replenish the order from retailers. The problem determines the locations and numbers of plants and DCs to be open among the potential plants and DCs, and allocates the raw materials from suppliers to open plants and finished goods from plants to DCs and from DCs to retailers while minimizing total costs as well as maximizing the customer service levels. This paper formulates the mathematical model for this problem and develops the solution procedure exploiting the fuzzy set theory. In order to show the applicability of the proposed solution procedure five different sized numerical examples are generated and solved.

Keywords: 3-stage supply chain network design, lead time, utilization rate, customer service level, fuzzy set theory

1. 서론

오늘날 기업들의 경제 활동이 글로벌화 되고 정보기술의 급속한 발달로 인해 제품수명주기는 점점 짧아지고 소량주문이 증대되었으며 소비자들의 욕구는 점점 다양해졌다. 이러한 현상들은 고객들의 수요 불확실성을 증대시켜 기업들은 극심한 환경 변화

를 경험하고 있다(Melo, Nickel and Saldanha-da-Gama 2009). 기업들이 이러한 시장 환경 변화에 효율적으로 대처하고 경쟁에서 살아남기 위해서는 소비자들이 원하는 제품을 원하는 시기에 원하는 장소로 신속하게 배달해야 한다. 이를 위해서는 다수의 공장과 배송센터를 지리적으로 분산시켜 고객 인근에 설치함으로써 고객이 원하는 수요를 신속하게 공급할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 이러한 분산시스템을 도입하고자 할 때, 공장과

*이 논문은 2014학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

[†] 교신저자 : 부산광역시 남구 수영로 309 (대연동) 경성대학교, Tel: 051-663-4451, Fax: 051-627-6830, E-mail: khchung@ks.ac.kr
2014년 3월 29일 투고, 2014년 4월 14일 게재 확정.

배송센터를 어디에 세워야 하며, 각 고객 수요를 어떤 배송센터가 맡아서 수송할 것인지, 그리고 공장에서 생산된 제품은 어느 배송센터로 수송해야 할 것인지 등 공급사슬 관리의 중요성이 대두되고 있는데(Ghan, Chung and Wadhwa 2005), 공급사슬 네트워크 설계 문제는 공급사슬 관리에 있어서 가장 핵심적인 출발점이다.

공급사슬 네트워크 설계 문제는 1990년대부터 많은 연구들이 이루어져 왔다. 지금까지 연구가 진행된 공급사슬 네트워크 설계 문제는 크게 구분하여 2 단계(2-stage) 문제와 3 단계(3-stage) 문제로 분류된다. 2 단계 공급사슬 네트워크 문제는 먼저 공장-배송센터(또는 물류센터)-고객으로 이어지는 3 계층(3 echelons) 네트워크 구조에서 공장에서 배송센터, 배송센터에서 고객까지의 두 단계를 거쳐 최종 소비자에게 제품이 수송되는 문제를 뜻하며, 3 단계 공급사슬 네트워크 문제는 부품공급업체-공장-배송센터의 세 단계를 거쳐 최종 소비자에게 제품이 수송되는 문제를 말한다. 따라서 3 단계 공급사슬 네트워크 문제는 4 계층(4 echelons)으로 이루어진 네트워크 구조를 갖는다. 일반적으로 공급사슬 네트워크 설계 문제는 공장으로부터 최종소비자에 이르기까지 공급사슬 네트워크 구조의 형태를 수송비용과 설비의 설립 및 운영비용의 총합을 최소로 하도록 최적화하는데 초점을 맞추고 있다(Lin, Gen, and Wang 2009).

본 연구 대상인 3 단계 공급사슬 네트워크 설계 문제는 공급업체, 공장, 배송센터, 소매대리점으로 이어지는 네트워크에서 공장 과 배송센터 입지 후보지가 정해져 있고 소매대리점에서의 제품 수요량이 알려져 있을 때, 공장 과 배송센터의 입지선정, 공급업체에서 공장으로의 부품 수송량, 공장에서 배송센터로 제품 수송량, 배송센터에서 소매대리점으로의 제품 수송량을 결정하는 문제이다. 3단계 공급사슬 네트워크 설계 문제는 제품생산에 투입되는 부품 종류 개수, 취급하는 제품의 수, 그리고 목적함수 개수에 따라 여러 유형의 문제 형태로 나누어진다. 즉, 공급업체에서 공급하는 부품이 단일 부품이나 복수 부품이냐에 따라, 공장에서 배송센터, 소매대리점으로 수송하는 제품의 종류가 한 개나 복수 개냐에 따라, 그리고 목적함수가 단일 목적함수 또는 복수 목적함수냐의 여부에 따라 다양한 형태의 3단계 공급사슬네트워크 설계 문제 유형이 만들어진다.

3단계 공급사슬네트워크 설계 문제에 대한 기존의 연구들을 보면 다음과 같다. Syarif, Yun and Gen(2002)은 가장 기본적인 형태의 3단계 공급사슬네트워크 설계문제를 다루었다. 단일 부품, 단일 제품만을 취급하며, 단일 목적함수를 갖는 문제에서 공급업체, 공장, 배송센터의 용량 제한이 있는 가정 하에 설치할 공장 과 배송센터의 위치와 개수를 결정하는 문제를 다루었다. Jayaraman and Pirkul(2001)은 복수 부품, 복수 제품, 단일 목

적함수를 갖는 3단계 공급사슬네트워크 설계문제를 다루었고, Altiparmak, et.al.(2006)과 한용호(2011, 2012a, 2012b)는 단일 부품, 단일 제품, 복수 목적함수를 갖는 3단계 공급사슬네트워크 설계문제를 다루었다. 일반적으로 공급사슬네트워크 설계문제에서 고려할 수 있는 목적함수는 총비용 최소화, 고객서비스 수준 최대화, 설비들의 이용률 균등화 등이 사용되고 있다. Jayaraman and Pirkul(2001)은 각각의 고객 수요를 단 하나의 배송센터로부터 공급해야 한다는 단일조달(single sourcing) 조건을 설정하여 모형을 만들고 라그랑지안 완화법(Lagrangian Relaxation)을 적용하여 문제를 풀었다. 한편 Altiparmak, et.al.(2006)은 위에서 언급한 세 가지 목적함수를 모두 사용하여 터키의 실제 사례에 적용하였다. 이 연구에서는 제품 단위당 생산에 투입되는 부품의 개수를 뜻하는 부품 사용률(utilization rate) 개념을 도입함으로써 현실성 있는 수리적 모형을 제시하였고, 유전해법(genetic algorithm)을 이용하여 해를 구하였다. 한용호(2011, 2012a, 2012b)는 제품 한 개 생산에 한 개의 부품만이 사용된다는 가정을 함으로써 Altiparmak, et.al.(2006) 연구에 비해 현실성이 다소 떨어지는 문제를 다루고 있다. 이 논문에서는 총비용 최소화와 설비이용률 균등화 등 두 가지 목적함수를 고려하여 수리적 모형을 제시하였고 협력적 공진화 알고리즘을 적용하여 문제를 풀었다.

한편 Lin, Gen and Wang(2009)은 현실에서 고려해야 하는 많은 가정들을 모형에 반영함으로써 앞의 다른 연구들에 비해 현실 적용가능성이 높은 문제를 다루었다. 공장-배송센터-소매점-고객으로 구성된 4 계층 공급사슬 네트워크에서 공장의 위치가 이미 주어져 있다고 가정하고 배송센터와 소매점의 위치를 결정하는 문제를 다루고 있는데, 단일제품을 취급하고 있으며, 공급업체 계층이 빠져 있기 때문에 부품은 고려하지 않았다. 이 연구에서는 기존의 다른 연구들과 차이나는 몇 가지 특징들이 있다. 먼저, 가장 두드러진 점은 인접한 하위 계층으로의 수송뿐만 아니라 계층을 건너뛴 수송도 가능하다고 가정하고 있다. 즉, 공장에서도 고객으로의 직접 수송뿐만 아니라, 배송센터에서 고객으로의 직접 수송과 공장에서 소매점으로의 직접수송도 가능하다. 그리고 단일 기간 모형이 아니라 계획된 다기간 모형을 다루고 있어 좀더 현실적인 의미를 가지고 있다. 그리고 각 수송 형태별로 리드타임이 존재한다고 가정하고, 배송센터와 소매점 재고를 고려하여 각 기간별 최적재고량도 결정하고 있어 상당히 현실 문제에 가까운 모형을 설정하여 다루고 있다. 기존의 연구들을 요약하면 다음 <표 1>과 같다.

본 연구에서는 지금까지 연구된 바가 없는 복수 부품, 단일 제품, 복수 목적함수를 갖는 3단계 공급사슬네트워크 설계문제를 다룬다. 본 연구에서 고려하는 목적함수는 총비용 최소화과 고객

표 1. 3단계 공급사슬 네트워크 설계문제 분류

기존연구	부품수	제품수	목적함수	단일조달	설치개수 상한
Syarif, Yun and Gen(2002)	단일	단일	단일	X	O
Jayaraman and Pirkul(2001)	복수	복수	단일	O	O
Altiparmak, et.al.(2006)	단일	단일	복수(3)	X	O
한용호(2011, 2012a, 2012b)	단일	단일	복수(2)	X	O
Lin, Gen and Wang(2009)	-	단일	단일	X	X

서비스 수준 최대화 등 두 개다. 두 개의 목적함수를 반영한 수학적 모형을 제시하고 두 개의 목적함수를 동시에 고려하여 적절한 절충해를 찾기 위해 퍼지집합이론을 이용한 방법을 제시하고, 여러 가지 예제 문제들을 대상으로 최적해를 구하는 과정을 살펴봄으로써 연구모형의 현실적용 가능성과 제시한 해법의 효율성을 알아보고자 한다.

2. 문제 정의 및 수학적 모형

2.1 문제 정의

본 연구에서 다루고 있는 공급사슬 네트워크 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다. 거래하는 부품 공급업체가 알려져 있고, 새로 설립하고자 하는 다수의 공장 후보지와 배송센터 후보지가 사전에 정해져 있고, 고객들의 위치와 수요량이 주어져 있다. 여기서 고객이라 함은 개별 소비자를 의미하는 게 아니라 소비자들의 집합인 소매대리점을 일컫는다. 이러한 상태에서 신규로 설립할 공장과 배송센터의 위치를 결정하고, 또한 공급업체에서 공장으로 부품 수송량, 공장에서 배송센터로, 배송센터에서 고객으로의 제품 수송량을 결정하는 문제를 다루고자 한다. 단 이때 고려해야 하는 기준은 총비용 최소화과 고객서비스 수준 최대화의 두 가지이다. 기존 연구에서 고려된 바 있는 설비 이용률 균등화는 현실적인 의미에서의 중요성이 떨어지기 때문에 본 연구에서는 제외하였다. 총 비용에는 공장과 배송센터 설립에 소요되는 고정비뿐만 아니라 공급사슬 각 단계별 수송비도 포함된다. 다만 여기서 고정비는 설립 초기비용으로 한번만 발생하는데 반해 수송비는 분기별 또는 연간 지속적으로 발생하기 때문에, 단일기간 모형을 사용하는 본 연구에서는 고정비와 수송비를 연간 단위로 환산하여 측정하였다. 일반적으로 공급사슬관리에서 고객서비스 수준은 주문충족률이나 제품충족률과 같은 기준을 사용하여 측정하고 있는데(Chopra and Meindl 2012), 본 연구에서는 전체 수요량 중에서 사전에 정해진 허용시간 내에 도착한 제품 양의 비율을 나타

내는 제품충족률로 고객서비스 수준을 측정하여 목적함수에 반영하였다.

현실적인 상황들을 고려하여 본 문제에서 가정하고 있는 사항들을 구체적으로 열거하면 다음과 같다.

1. 공장에서 생산되어 배송센터를 거쳐 고객에게 수송되는 제품은 한 가지뿐이며, 제품 생산에 사용되는 부품은 여러 종류이다.
2. 제품 1개 생산에 투입되는 부품의 개수는 부품 종류에 따라 서로 다르다.
3. 공장에 부품을 공급할 공급업체는 미리 정해져 있으며, 각 공급업체에서는 여러 종류의 부품을 생산하여 공장에 공급한다. 그리고 각 공급업체에서 공급할 수 있는 부품의 양에 제한이 있다.
4. 공장과 배송센터 설치 후보지들이 정해져 있으며, 이들 중 최대 설치할 개수가 정해져 있다.
5. 공장의 생산 용량, 배송센터의 저장 용량에 제한이 있다.
6. 소매대리점 위치는 알려져 있으며, 소매대리점이 요구하는 수요량도 알려져 있다.

2.2 수학적 모형

수학적 모형에 사용될 입력 데이터 및 결정변수는 다음과 같다.

(입력 데이터)

S : 공급업체 집합

I : 공장 후보지 집합

J : 배송센터 후보지 집합

K : 소매대리점 집합

R : 부품 집합

b_{sr} : 공급업체 s 에서 공장 i 로 부품 r 한 개 수송하는 비용

c_{ij} : 공장 i 에서 배송센터 j 로 제품 한 개 수송하는 비용

e_{jk} : 배송센터 j 에서 소매대리점 k 로 제품 한 개 수송하는 비용

h_{jk} : 배송센터 j 에서 소매대리점 k 로 제품 수송하는데 소요되

는 시간

τ : 배송센터에서 소매대리점까지 수송에 있어서 리드타임 최대 허용시간

$K(j)$: 배송센터 j 에서 τ 시간 내에 수송할 수 있는 소매대리점 집합

$$\text{즉 } K(j) = \{k \mid h_{jk} \leq \tau\}$$

f_j : 공장 i 의 설립 및 운영에 관한 고정비용

g_j : 배송센터 j 의 설립 및 운영에 관한 고정비용

D_k : 소매대리점 k 에서의 제품수요량

P_i : 공장 i 의 생산용량

Q_j : 배송센터 j 의 저장용량

T_{sr} : 공급업체 s 의 부품 r 공급용량

u_r : 제품 단위당 부품 r 의 사용률 즉, 부품 r 이 제품 1개 생산에 사용되는 양

p : 공장의 최대 설치 개수

q : 배송센터의 최대 설치 개수

(결정변수)

v_{sir} : 공급업체 s 에서 공장 i 로 수송하는 부품 r 의 양

w_{ij} : 공장 i 에서 배송센터 j 로의 제품 수송량

x_{jk} : 배송센터 j 에서 소매대리점 k 로의 제품 수송량

y_i : 공장 i 가 설립되면 1, 아니면 0인 이진변수

z_j : 배송센터 j 가 설립되면 1, 아니면 0인 이진변수

본 연구에서 사용하는 목적함수는 총비용과 고객서비스 수준 두 가지이다. 먼저 총비용은 수송비와 고정비로 구성된다. 수송비는 공급업체에서 공장까지 수송하는 부품 수송비, 공장에서 배송센터로 수송하는 제품 수송비, 배송센터에서 고객까지의 제품 수송비를 모두 합한 것이며, 고정비는 신규로 설립하는 공장과 배송센터의 설치비용을 말한다. 한편 고객서비스 수준은 제품충족률을 사용하여 측정하였는데, 다음과 같이 고객들이 요구하는 전체 수요량 중에서 리드타임 허용시간 이내에 수송되는 제품량의 비율을 수식으로 나타내어 구하였다.

$$Z_2 = \frac{\sum_{j \in J} \sum_{k \in K(j)} x_{jk}}{\sum_{k \in K} D_k}$$

본 연구의 수학적 모형은 다음과 같이 혼합정수계획법 문제 (P)로 표현될 수 있다.

(P)

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{s \in S} \sum_{i \in I} \sum_{r \in R} b_{sir} v_{sir} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} w_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} e_{jk} x_{jk} + \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{j \in J} g_j z_j \quad (1)$$

$$\text{Max } Z_2 = \frac{\sum_{j \in J} \sum_{k \in K(j)} x_{jk}}{\sum_{k \in K} D_k} \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{j \in J} x_{jk} = D_k, \quad k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} w_{ij} \leq P_i y_i, \quad i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} w_{ij} \leq \frac{1}{u_r} \sum_{s \in S} v_{sir}, \quad i \in I, \quad r \in R \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} v_{sir} \leq T_{sr}, \quad s \in S, \quad r \in R \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} x_{jk} \leq Q_j z_j, \quad j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} x_{jk} = \sum_{i \in I} w_{ij}, \quad j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} y_i \leq p, \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} z_j \leq q, \quad (10)$$

$$v_{sir} \geq 0, \quad s \in S, \quad i \in I, \quad r \in R \quad (11)$$

$$w_{ij} \geq 0, \quad i \in I, \quad j \in J \quad (12)$$

$$x_{jk} \geq 0, \quad j \in J, \quad k \in K \quad (13)$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad i \in I \quad (14)$$

$$z_j \in \{0, 1\}, \quad j \in J \quad (15)$$

목적함수 (1)은 총비용을 최소화한다는 의미의 목적함수이고, 목적함수 (2)는 제품충족률을 최대화한다는 의미이다. 제약조건식 (3)은 모든 배송센터에서 소매대리점 k 로 수송하는 제품의 양의 합은 소매대리점에서 요구하는 수요량을 만족시켜야 한다는 것을 의미한다. 제약조건식 (4)는 공장의 생산용량 제약조건으로서, 공장 i 가 설립되면 공장 i 에서 배송센터들로 수송하는 제품들의 합은 최대한 공장 i 의 생산용량까지만 가능하고, 설립되지 않으면 공장 i 에서는 어떠한 제품도 수송할 수 없음을 뜻한다. 식 (5)는 공장 i 에서 배송센터들로 수송하는 양의 합은 부품공급업체에서 공급하는 부품을 사용하여 생산하는 제품의 양을 초과할 수 없음을 보여준다. 제약조건식 (6)은 부품공급업체에서 공장들로 공급하는 부품의 양에 대한 제약조건이다. 식 (7)은 배송센터 j 가 설립되면 최대한 배송센터 j 의 저장 용량 범위 내에서 각 소매대리점으로 제품을 수송할 수 있고, 설립되지 않는다면 배송센터 j 에서는 어떠한 제품도 소매대리점으로 수송할 수 없음을 뜻한다. 제약식 (8)은 흐름보존법칙에 따른 제약조건식으로서, 배송센터 j 에서 소매대리점으로 수송하는 양은 공장에서 배송센터 j 로 수송하는 양과 같음을 나타낸다. 제약식 (9)와 (10)은 공장과 배송센터의 최대 설치 개수에 대한 상한 제약조건을 의미한다. 식 (11), (12), (13), (14), (15)는 결정변수를 규정하는 제약조건식으로서, 특히 (14)와 (15)는 이진변수를 나타내고 있다.

이와 같은 유형의 문제들에 대해서는 Lagrangean Relaxation 방법이나 유전해법, 그리고 협력적 공진화 알고리즘 등의 휴리스틱 방법을 개발하여 근사적인 해를 구하고자 시도하였다. 따라서 기존 연구들은 대체로 새로운 해법 개발에 연구의 주안점을 두고, 개발된 해법이 얼마나 효율적인지를 제시하는데 초점을 맞추고 있다. 본 연구에서는 기존 연구들처럼 효율적인 해법 개발에 목적을 두는 것이 아니라, 여러 가지 다양한 시나리오들을 설정하여 각각의 경우에 가장 최적인 구조를 도출해 봄으로써 기업 현실에서 3단계 공급사슬 네트워크 구조를 설계할 때 실질적인 도움을 주고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 최적해를 구하는 해법으로서 엑셀의 최적화 도구인 해찾기(Solver) 프로그램을 활용하고자 한다. 그런데 이 해찾기 프로그램은 문제 크기가 아주 작은 경우 즉, 변수 개수가 200개 이내인 경우에 대해서만 최적해를 구할 수 있다. 그러나 현실 문제들은 대부분 문제 크기가 매우 방대하여 변수 개수가 200개를 훨씬 초과한다. 따라서 기존의 엑셀 해찾기 도구인 Solver는 현실 문제를 풀 수가 없다. 다행히 Premium Solver Platform이라는 상업용 프로그램이 개발되어 있어서 이 프로그램을 엑셀에 연계하여 사용할 경우 변수 개수가 8000개까지의 대단히 큰 문제도 풀 수가 있다(Powell and Baker 2013; Ragsdale 2011). 본 연구에서는 Premium Solver Platform이라는 추가기능 프로그램을 엑셀에 추가하여 문제를 풀고자 한다.

3. 수학적 모형 적용

3.1 해법

본 연구에서 제시한 수학적 모형은 혼합정수계획법 문제로서 일반적으로 NP-hard 문제에 해당하여 풀기가 어렵다. 지금까지

3.2 예제 문제의 생성

본 연구 모형을 현실 문제에 적용하였을 때 결과가 어떻게 나타나는지 분석해 보기 위해 현실 문제와 유사한 예제 문제를 생성하여 최적해를 구해 보기로 한다. 예제 문제를 만들 때 가장 주의해야 할 점은 데이터를 어떻게 생성하느냐에 따라 최적해 구하는

것이 아주 단순해 질 수 있다는 점이다. 이렇게 되면 수학적 모형의 효과적 구성 여부에 무관하게 최적해를 쉽게 구할 수 있어 제대로 된 분석이 이루어질 수 없다. 따라서 가능하면 현실 문제와 유사하게 예제 데이터를 생성하는게 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 2단계 공급사슬 문제를 풀기 위한 예제 문제를 현실 문제와 가깝도록 생성한 Amiri(2006) 연구에서와 같은 데이터 생성 방법을 활용하기로 한다.

본 연구에서 채택한 데이터 생성을 위한 기본 절차는 다음과 같다. 기본적으로 공급사슬 각 단계를 구성하는 공급업체, 공장, 배송센터, 소매대리점 위치를 가로, 세로 각각 100인 정사각형 내에서 균등분포로부터 생성하고, 소매대리점 수요량은 [10, 100] 균등분포로부터 생성하였다. 한편 공장과 배송센터의 연간 운영에 관한 고정비는 기본적으로 가로, 세로 100인 정사각형의 중심인 좌표값 (50,50)에서 해당 설비까지의 거리에 비례해서 다음과 같은 방법으로 설정한다. 공장 i 의 고정비는 공장 i 의 위치와 좌표값 (50,50)의 유클리드 거리에 40을 곱해서 설정한다. 만일, 이 값이 소수값이면 소수점 이하는 버리고 정수값으로 취해서 고정비용으로 설정한다. 배송센터 j 의 고정비는 좌표값 (50,50)에서 배송센터 j 의 위치와의 유클리드 거리에 10을 곱해서 설정한다.

공장과 배송센터의 생산 및 저장 용량은 다음과 같이 구한다. 먼저 공장의 생산용량은 후보지 모두 동일한 것으로 가정하고, 소매대리점에서 요구하는 총수요량을 공장 최대 설치 개수로 나눈 뒤 약간 여유 있게 백 단위로 끊어 올려서 설정한다. 마찬가지로 배송센터에서의 저장 용량도 후보지 모두 동일한 것으로 가정하고, 소매대리점들의 총수요량을 배송센터 최대 설치 개수로 나눈 뒤 약간 여유 있게 백 단위로 끊어 올려서 설정한다. 한편 공급업체에서의 부품 공급용량 역시 공급업체 모두 동일한 것으로 가정하고, 소매대리점의 총수요량에 부품사용률 u_r 을 곱해서 설정한다.

공장에서 배송센터, 배송센터에서 소매대리점으로 제품 한 단위 수송하는데 드는 수송비 c_{ij} 와 e_{jk} 는 각각 공장 i 와 배송센터 j 사이의 유클리드거리, 배송센터 j 와 소매대리점 k 사이의 유클리드거리를 5로 나누어 정수를 취한 뒤 1을 더하여 구한다. 1을 더하는 이유는 정수값을 취했을 때 단위당 수송비가 0이 되는 것을 막기 위해서 이다. 한편 공급업체에서 공장으로 부품 한 단위를 수송하는데 드는 수송비는 부품 종류에 관계없이 공급업체 s 와 공장 i 사이의 유클리드거리를 10으로 나눈 뒤 1을 더하여 구한다.

배송센터로부터 소매대리점까지 제품을 수송하는데 소요되는 시간 h_{jk} 는 둘 사이의 거리에 비례하여 결정되는 것으로 가정하여 배송센터와 소매대리점 사이의 유클리드거리를 6으로 나누어 정수를 취한 뒤 1을 더하여 구한다. 소매대리점에서의 수요는 배송센터로부터 12시간 이내에 수송되는 경우 소매대리점의 주문 서비스가 충족되는 것으로 가정하였다.

3.3 해법 적용 방법 및 결과

본 연구에서 제시한 수학적 모형 (P)는 목적함수가 두 개로서, 총비용을 최소화하는 목적함수 (1)과 고객 서비스 수준을 최대화하는 목적함수 (2)로 구성되어 있다. 이 두 가지 목적함수는 서로 상충관계에 있기 때문에 이 두 가지 목적함수를 동시에 달성하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 두 개의 목적함수를 갖는 문제를 풀기 위해 본 연구에서는 다음과 같이 두 가지 경우로 나누어서 풀어보고자 하였다.

(1) 목적함수의 제약조건화

먼저 목적함수식 (2)에 대한 현실적인 목표 수준을 설정하고, 최소한 이 수준값 이상을 충족시킬 수 있는 해를 구하고자 하였다. 즉, 고객서비스 수준을 최소한 90% 이상 충족시키도록 하는 제약조건식을 문제에 포함시킴으로써, 목적함수는 총비용을 최소화하는 목적함수 (1)만 남기고 목적함수 (2)는 다음과 같은 제약조건식으로 변환시켰다.

$$\frac{\sum_{j \in J} \sum_{k \in K(j)} x_{jk}}{\sum_{k \in K} D_k} \geq 0.9$$

본 연구에서는 <표 2>과 같이 모두 5개의 예제 문제를 생성하여 풀어 보았다. 5개 문제 모두 짧은 시간 내에 최적해를 구할 수 있었다.

표 2. 예제 문제

문제	I	R	III	J	K	p	q
1	3	2	3	5	20	3	5
2	3	2	5	10	30	3	7
3	3	2	5	10	50	3	7
4	3	2	10	20	50	6	12
5	3	2	10	20	200	6	12

이 들 중 크기가 가장 큰 문제인 문제 5를 대상으로 해법 적용 과정과 결과에 대해 구체적으로 설명해 보고자 한다. 문제 5는 공급업체 수 3개, 부품 수 2개, 공장 후보지 10개, 배송센터 후보지 20개, 소매대리점 200개, 공장 설치 최대 개수 6개, 배송센터 설치 최대 개수 12개인 경우의 문제로서 해법 적용 결과는 다음 <표 3>와 같았다.

표 3. 해법 적용 결과

설비	최적 설치 개수	설치된 공장/배송센터
공장	5	4, 5, 6, 7, 9
배송센터	10	2, 5, 6, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18

(2) 퍼지 집합이론 적용

앞에서와 같이 목적함수식 (2)를 제약조건식으로 변환하지 않고 목적함수식이 두 개인 다목적 의사결정문제를 퍼지집합이론을 적용하여 풀어 보았다. 두 개 목적함수식은 서로 상충관계에 있기 때문에, 동시에 만족시키는 해는 존재하지 않는다. 따라서 이 두 가지 목적함수를 적절한 수준에서 만족시키는 절충해를 찾기 위해 본 연구에서는 퍼지집합이론을 적용하였다.

각각의 목적함수값에 대한 멤버십함수를 설정하기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다. 먼저 목적함수식 (1)만을 사용하여 최적해를 구한 뒤, 이 해를 사용하여 목적함수값 Z_1 과 Z_2 를 구하였다. 이 때의 Z_1 값은 첫 번째 목적함수값의 최적 목적함수값으로 이를 Z_1^{min} 으로 표기한다. 그리고 이 때의 값은 고객서비스수준 최대화 관점에서 가장 낮은 수준의 값을 제공하므로 이를 Z_2^{min} 으로 표기한다. 그리고 난 후 이제는 목적함수식 (2)만을 사용하여 최적해를 구한 뒤, 이 해를 사용하여 역시 목적함수값 Z_1 과 Z_2 를 구하였다. 여기서는 Z_2 가 두 번째 목적함수값의 최적 목적함수값으로 Z_2^{max} 라고 표기하고, 이 때의 값은 총비용 최소화 관점에서 가장 높은 값을 나타내므로 이 값을 라고 표기한다.

예제 문제를 푼 결과가 다음 <표 4>와 같이 나왔다.

표 4. 단일 목적함수 사용 결과

	목적함수식 (1) 사용	목적함수식 (2) 사용
Z_1	153,257	359,002
Z_2	0.6058	1.0

목적함수값 Z_1 은 총비용을 나타내는 것으로서, 비용이 가장 낮은 값은 $Z_1^{min} = 153,257$ 이고, 비용이 가장 높을 때가 $Z_1^{max} = 359,002$ 이다. 마찬가지로 목적함수값 Z_2 는 고객서비스수준을 나타내며, 가장 높을 때가 $Z_2^{max} = 1.0$, 가장 낮을 때가 $Z_2^{min} = 0.6058$ 이다. 따라서 비용최소화를 나타내는 첫 번째 목적함수값 Z_1 이 Z_1^{min} 값을 가질 때 Z_1 에 대한 멤버십 함수값이 1이 되고, Z_1 이 Z_1^{max} 값을 가질 때 Z_1 에 대한 멤버십 함수값은 0이 된다. 한편 목적함수값 Z_2 는 고객서비스 수준을 나타내므로, 이 값이 커질수록 멤버십함수값은 1에 가까워진다. 따라서 Z_2 가 Z_2^{max} 일 때 Z_2 에 대한 멤버십 함수값은 1이 되고, Z_2 가 Z_2^{min} 일 때 Z_2 에 대한 멤버십 함수값은 0이 된다. 두 목적함수값에 대한 멤버십함수를 그래프로 나타내면 <그림 1>과 같다.

특정 목적함수값 Z_1 과 Z_2 에 대한 멤버십 함수값은 각각 다음 식에 의해 구해진다.

$$\mu_1(Z_1) = \frac{Z_1^{max} - Z_1}{Z_1^{max} - Z_1^{min}},$$

$$\mu_2(Z_2) = \frac{Z_2 - Z_2^{min}}{Z_2^{max} - Z_2^{min}}$$

두 개의 목적함수를 갖는 문제 (P)를 풀기 위해 퍼지집합이론을 적용할 경우, 두 개의 서로 상충된 목적함수값을 동시에 바람직한 수준으로 달성하기 위해서는 두 개의 멤버십 함수값 $u_1(Z_1)$ 과 $u_2(Z_2)$ 의 최소값을 최대화하는 해를 구해야 한다. 이를 위해 새로운 결정변수 α 를 설정하여 다음과 같은 관계식을 만족시키는 α 를 최대화하는 문제를 풀면 된다.

$$\alpha = \text{Min}\{u_1(Z_1), u_2(Z_2)\}$$

이 때, $\alpha = \text{Min}\{u_1(Z_1), u_2(Z_2)\}$ 는 다음과 같은 두 개의 식으로 나타낼 수 있다.

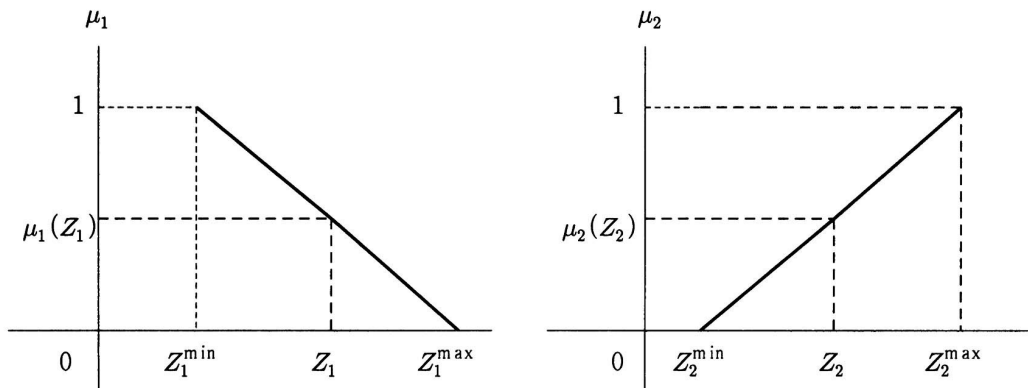


그림 1 Z_1 과 Z_2 에 대한 멤버십 함수

$$u_1(Z_1) \geq \alpha$$

$$u_2(Z_2) \geq \alpha$$

따라서 본 연구에서 다루고자 하는 두 개의 서로 상충된 목적 함수를 갖는 문제 (P)는 다음과 같이 하나의 변수로 구성된 목적 함수식과 두 개의 제약조건식이 새로 추가된 최대화문제 형태로 변환될 수 있다.

Max α

$$\frac{Z_1^{\max} - Z_1}{Z_1^{\max} - Z_1^{\min}} \geq \alpha$$

$$\frac{Z_2 - Z_2^{\min}}{Z_2^{\max} - Z_2^{\min}} \geq \alpha$$

(3)-(15)

이 문제를 풀었더니 최적 멤버십 함수값은 $\alpha^* = 0.9462$ 로 나왔고, $Z_1^* = 164,328$, $Z_2^* = 0.9788$ 이었다. 즉, 총비용은 164,328이며 고객서비스수준은 97.88%이며, 이 때 총비용과 고객서비스수준 모두 동일하게 0.9462의 멤버십 함수값을 가지게 된다.

본 연구에서의 문제를 고객서비스수준을 제약조건식으로 둔 경우, 목적함수 (1)과 (2)를 각각 구분해서 하나의 목적함수를 대상으로 푼 경우, 그리고 퍼지집합이론을 적용하여 푼 결과가 다음 <표 5>와 같다.

총비용 최소화 목적함수(Z_1)만을 사용하여 문제를 풀어 보면 고객서비스수준이 60.58%로서 허용 가능 최대 배송시간 내에 제품을 배송할 비율이 극히 낮음을 알 수 있다. 반면에 고객서비스수준 최대화 목적함수(Z_2)만을 사용하게 되면 고객서비스수준은 100% 달성되나 총비용이 엄청나게 증가하게 된다. 한편 고객서비스수준 최대화 목적함수 Z_2 대신에 고객서비스 수준을 90% 이

상 충족시켜야 한다는 제약조건식으로 변환하고 총비용 최소화목적함수 Z_1 만을 사용하여 문제를 풀게 되면, 총비용 159,809로 비교적 적은 비용으로 90%의 고객서비스 수준을 달성하게 됨을 알 수 있다. 물론 고객서비스 수준 제약조건식에서 90% 보다 좀 더 높은 고객서비스수준을 충족시키길 원한다면 최적해에서의 총비용은 더 올라가게 된다. 따라서 고객서비스수준을 높일수록 총비용이 증가하기 때문에 고객서비스수준과 총비용은 상충관계에 있음을 알 수 있다. 그렇다면 과연 어느 정도의 고객서비스수준을 충족시키도록 하면 고객서비스수준과 총비용 모두 바람직한 수준으로 받아들일 수 있을지 하는 어려운 문제가 생긴다. 이를 해결하기 위한 방법이 퍼지집합이론을 적용하여 의사결정자의 주관적인 만족도 개념을 사용한 방법인데, 이 방법에 의해 문제를 풀게 되면 총비용 164,328, 고객서비스수준 97.88%로 총비용과 고객서비스수준 모두 가장 바람직한 수준에서 달성하게 되었다.

4. 결론

본 연구에서는 지금까지 연구된 바가 없는 복수 부품, 단일 제품, 복수 목적함수를 갖는 3단계 공급사슬네트워크 설계문제를 다루었다. 총비용 최소화와 고객서비스 수준 최대화 등 두 개의 목적함수를 반영한 수학적 모형을 제시하고, 해를 구하기 위한 방법을 제시하였다. 두 개의 목적함수를 가진 공급사슬네트워크 설계문제를 다루기 위해 현실적으로 적용할 수 있는 방법으로 본 연구에서는 두 가지를 제시하였다. 첫 번째 방법으로는 고객서비스 수준 최대화 목적함수를 제약조건식으로 변환하여 총비용 최소화 목적함수만을 사용하여 문제를 풀어 보는 것이었다. 이 때 달성하고자 하는 고객서비스수준을 사전에 정해놓고 이를 제약조건식으로 만들어 풀게 되면 두 가지 목적함수를 갖는 문제를 현실적으로 해결할 수 있는 좋은 대안이 될 수 있다. 두 번째 방법으로는 두 가지 목적함수를 모두 고려하여 이 두 가지를 동시에 만족시킬 수 있는 절충해를 찾는 방법으로 퍼지집합이론을 이용하는 것이다.

표 5. 퍼지집합이론 적용 결과

		$Z_1 \geq 0.9$	$Min Z_1$	$Max Z_2$	$Max \alpha$
비용	부품수송비	38,400	38,400	939,000	33,000
	inbound 수송비	29,382	29,422	96,700	34,266
	outbound 수송비	45,827	39,235	113,802	50,062
	공장 고정비	31,000	31,000	40,000	32,000
	배송센터 고정비	15,200	15,200	14,600	15,000
	총비용	159,809	153,257	359,002	164,328
고객서비스 수준		0.9	0.6058	1.0	0.9788

다양한 크기의 예제 문제들을 생성하여 이들을 대상으로 바람직한 절충해를 얻을 수 있었으며, 본 논문에서 제시한 연구 모형의 현실적용 가능성과 제시한 해법의 효율성을 알아보았다. 그러나 본 연구에서와 같이 퍼지접근법을 적용할 경우 가장 바람직한 절충해를 쉽게 얻을 수 있는 장점은 있으나, 일반적으로 다기준 의사결정문제에서 요구되는 파레토 최적해 집합을 통해 의사결정자가 선택할 수 있는 대안을 폭넓게 제시하지 못한다는 점에서 연구의 한계로 지적될 수 있다.

본 연구에서는 단일 제품만을 취급하고 있는데 현실적인 의미에서는 복수제품을 다루는 문제를 대상으로 한 연구가 필요하다고 본다. 즉, 가장 현실적인 문제가 복수 부품, 복수 제품, 복수 목적함수를 갖는 문제인데, 이러한 형태의 문제는 아주 복잡한 형태를 띠기 때문에 추후 연구 과제로 남겼다. 그러나, 본 연구에서 시도한 방법들을 확장하여 적용하게 되면 어렵지 않게 해결할 수 있으리라 판단된다.

참고 문헌

- [1] 정기호(2013), 2단계 공급사슬 네트워크에서 전략적 의사결정을 위한 수리적 모형, 경영과 정보연구, 32(3), pp. 107-125.
- [2] 한용호(2011), 협력적 공진화 알고리즘에 기반한 다단계 공급사슬 네트워크의 설계, 한국 SCM 학회지, 11(2), pp. 87-96.
- [3] 한용호(2012), 순열 표현 기반의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 다단계 공급사슬 네트워크의 설계, 경영과학, 29(2), pp. 21-34.
- [4] 한용호(2012), 5개 모집단의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 다단계 공급사슬 네트워크 설계, 한국 SCM 학회지, 12(2), pp. 1-10.
- [5] Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T.(2006), A Genetic Algorithm Approach for Multi-objective Optimization of Supply Chain Networks, Computers & Industrial Engineering, Vol. 51, pp. 96-215.
- [6] Amiri, A.(2006), Designing a Distribution Network in a Supply Chain System: Formulation and Efficient Solution Procedure, European Journal of Operational Research, Vol. 171, pp. 567-576.
- [7] Chan, F., Chung, S. and Wadhwa, S.(2005), A hybrid Genetic Algorithm for Production and Distribution, Omega, Vol. 33, pp. 345-355.
- [8] Chopra, S. and Meindl, P.(2012), Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation, 5th edition, NJ: Pearson Prentice Hall.
- [9] Jayaraman, V. and Pirkul, H.(2001), Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities, European Journal of Operational Research, Vol. 133, pp. 394-408.
- [10] Lin, L., Gen, M., and Wang, X.(2009), Integrated multistage logistics network design by using hybrid evolutionary algorithm, Computers & Industrial Engineering, Vol. 56, pp. 854-873.
- [11] Melo, Nickel and Saldanha-da-Gama(2009), Facility Location and Supply Chain management-A Review, European Journal of Operational Research, Vol. 196, pp. 401-412.
- [12] Powell, S. G. and Baker, K. R.(2013), Management Science: The Art of Modeling with Spreadsheets, 4th ed., Wiley, Hoboken, N.J.
- [13] Ragsdale, C. T.(2011), Spreadsheet Modeling & Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science, 6th ed., Cengage Learning, Mason, OH.
- [14] Syarif, A., Yun, Y., and Gen, M.(2002), Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach, Computers & Industrial Engineering, Vol. 43, pp. 299-314.



정 기 호

서울대학교 경영학과 학사

KAIST 경영과학과 석사

KAIST 경영과학과 박사

현재: 경성대학교 경영정보학과 교수

관심분야: 물류네트워크 설계, 공급사슬경영

공급사슬 품질경영 성과 향상을 위한 공급자 선정에 관한 연구

김현정¹⁾ · 김수욱²⁾†

¹⁾상지영서대학교 경영과 · ²⁾서울대학교 경영학과

Analysis of Supplier Selection in Improving Supply Chain Quality Management

¹⁾Hyun Jung Kim · ²⁾Soo Wook Kim†

¹⁾Department of Business Administration, Sangji Youngseo College

²⁾College of Business Administration, Seoul National University

Supply chain Quality Management (SCQM) emerged as product quality issues expanded beyond an organization and into its supply chain. In SCQM, first-rate suppliers play a vital role in determining the buyer's competitiveness and success. Previous SCQM studies, however, only focus on the need for SCQM, rendering supplier selection largely unexamined. This research fills in that gap by identifying quality, cost, flexibility, delivery, and the relative importance of these factors as the criteria for supplier selection and providing empirical analysis of the criteria for improving SCQM outcomes. With 217 automotive parts manufacturers categorized into three SCQM groups where the high-performing group contains 40, the moderately-performing group 145, and the low-performing group 32 manufacturers, we run a Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) and an Analytic Hierarchy Process (AHP). First, MANOVA results in the importance of the selection factors show a significant difference in quality, cost, and delivery at the 5% significance level across the three SCQM groups whereas flexibility has no statistical significance. Second, AHP results of the relative importance of the selection factors across the three performance groups show that quality, delivery, and cost must be taken into account before flexibility to improve SCQM. Findings in this study elucidate the implications of aligning the strategic direction between buyers and suppliers for improving the overall SCQM performance and competitiveness.

Keywords: Supply Chain Quality Management (SCQM), Supplier Selection, Multivariate Analysis of Variance (MANOVA), Analytic Hierarchy Process (AHP)

1. 서론

기업을 둘러싸고 있는 경영환경은 개별 기업 간의 경쟁에서 기업군 간의 경쟁으로 변화하고 있다(Fawcett et al., 2006). Gadde(2013)는 기업의 경계를 소유의 경계, 인식의 경계, 영향의 경계로 구분하고, 과거 기업들은 소유의 경계만 고려하였으나 환경이 급격히 변화하면서 최근에는 인식의 경계와 영향의 경계까지 염두에 두어야 한다고 주장하였다. 기업이 특정 기능을 아웃소싱할 때 그 기능은 소유의 경계 측면에서는 더 이상 기업 내부의 경계선 안에 포함되지 않는다. 그러나 기업은 아웃소싱한 기능에 관해 일정 수준 이상의 지식을 보유해야 하고 그것을 통해 아웃소싱한 기능은 인식의 경계 안에 포함된다. 또한 기업이 자체적으로 모든 제품을 생산할 때에 비하여 협력업체들에 아웃소싱할 때 기업의 통제력은 약해지는 반면에 협력업체의 영향력은 그 협력업체의 내부 경계선을 넘어 아웃소싱한 기업에까지 미치게 된다. 이와 같이 기업의 경계가 기존의 소유의 경계에서 인식의 경계와 영향의 경계로 확장되면서 기업은 공급사슬 내 다른 기업들과 협업하여 비용을 감소하고 품질을 향상시키기 위해 노력하고 있다(Ferguson, 2000).

이와 같이 기업이 제공하는 제품 및 서비스의 품질이 더 이상 기업 내부의 문제가 아니라 공급사슬 전반으로 확대됨에 따라(Kuei and Madu, 2001; 박철순, 2012) 공급사슬 품질경영(SCQM: Supply Chain Quality Management)이 등장하였다. SCQM은 최종 고객에게 제공되는 제품 및 서비스의 품질을 향상시키기 위하여 이루어지는 공급사슬 구성 주체 간의 협업 활동이다(Robinson and Malhotra, 2005).

또한 우수한 공급자를 확보하는 것은 구매자의 성과를 향상시키고 경쟁력을 좌우하는 주요 요인이다(Kannan and Tan, 2002; Liu and Hai, 2005; Drake and Lee, 2009). 과거에는 다수의 공급자들 중에서 원재료 및 부품을 가장 낮은 비용으로 제공하는 공급자를 선택하였지만, 점차 비용절감 외에도 높은 품질, 유연한 대응, 적기 공급 등이 중요시되고 있다(김승철 외, 2011). 즉, 구매자의 경쟁력은 공급자가 제공하는 원재료 및 부품 등의 품질, 비용, 유연성, 납기 등에 의해 결정되므로 구매자에게 있어 우수한 공급자를 선정하는 것은 매우 중요한 의사결정이다.

공급자 선정의 중요성을 살펴볼 수 있는 대표적인 사례로 영국의 고급 스포츠카 제조업체인 애스턴 마틴(Aston Martin)이 부품 공급업체 관리를 잘못하여 1만 8천대의 차량 리콜을 실시한 경우가 있다. 본드카로 유명한 이 기업은 중국의 부품 제조업체로부터

공급받은 가속페달이 위조품이었다는 사실을 뒤늦게 발견하고 2008년 이후 생산된 차량 중 75%를 리콜하게 되었고, 부품 공급업체를 변경하는 방안을 검토 중이다¹⁾.

그러나 SCQM에 관한 대부분의 선행연구들은 SCQM이 기업의 성과를 향상시키는지 살펴보았으며(Lin et al., 2005; Sila et al., 2006; Foster, 2008; 박철순, 2012), SCQM의 주요 의사결정 중 하나인 공급자 선정을 다룬 선행연구는 거의 없다. 공급자 선정기준으로는 일반적으로 품질, 비용, 유연성, 납기가 있는데(Ho et al., 2010; 오광기와 이동명, 2012), 이들 간에는 상충관계가 존재하므로 다양한 조건을 만족시키는 공급자를 선정하는 것은 어려운 의사결정이다(Boyer and Lewis, 2002). 이에 본 연구에서는 기업 성과에 영향을 미치는 공급자 선정기준의 상대적 중요도를 파악함으로써, SCQM의 성과를 향상시키기 위한 공급자 선정기준에 관해 살펴보고자 한다.

본 연구의 시사점은 다음과 같이 요약할 수 있다. 먼저 학술적 측면에서 살펴보면, 첫째, SCQM의 필요성 위주로 논의된 선행연구들의 범위를 확장하여 SCQM 분야에서 공급자 선정기준의 상대적 중요도를 실증적으로 분석하였다. 둘째, 공급자 선정에 관한 의사결정을 SCQM 성과와 연관지어 살펴봄으로써, SCQM 성과 향상을 위한 공급자 선정기준을 제시하였다. 다음으로 실무적 측면에서 살펴보면, 본 연구의 결과를 바탕으로 공급자 입장에서 고객인 구매자의 기대를 명확히 이해하고 전략적 방향을 설정할 수 있고, 구매자 입장에서는 공급자에 대한 적절한 평가를 통해 우수한 공급자를 선정함으로써 기업의 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 공급자 품질관리

최종 제품의 품질은 공급사슬에 관여하는 모든 기업들의 역량에 의해 결정되는데, 특히 공급자 품질은 공급자뿐만 아니라 구매자의 성과에 영향을 미친다. 이러한 공급자 품질관리는 품질경영 분야에서 꾸준히 강조되어 왔다. Saraph et al.(1989)은 미국 기업의 실무자들을 대상으로 품질경영에 영향을 미치는 8가지 핵심 요인들을 조사하였는데, 그 결과 공급자 품질관리, 최고경영자의 리더십, 품질부서의 역할, 훈련, 제품 및 서비스의 설계, 프로세스 관리, 품질 정보 관리, 종업원 관계를 핵심 요인으로 도출하였다. Flynn et al.(1995)은 공급자의 품질 개선 활동이 구매자의 경쟁

1) 중국 부품업체 때문에... '본드카' 애스턴 마틴, 대량 리콜사태, 헤럴드경제, 2014년 2월 6일.

우위와 고객 만족을 향상시킬 수 있음을 밝혔다. Ahire et al.(1996)은 최종 제품의 품질이 공급자 품질관리, 고객 지향성, 종업원의 권한, 공급자 성과, 기업 내부의 품질정보 사용 정도와 밀접한 관계를 지님을 실증적으로 밝혔다. 그들은 이러한 실증분석 결과를 바탕으로 기업이 품질을 전략적으로 관리하기 위해서는 공급자 품질관리, 고객 지향성, 인적자원관리가 중요하다고 주장하였다.

Krause et al.(2000)은 제조업체들의 아웃소싱 비중이 점차 늘어나면서 구매자의 장기적 성공에 있어서 공급자의 품질 성과가 더욱 중요시되었다고 강조하면서, 구매자가 성과를 향상시키기 위해서는 공급자들 간의 경쟁을 촉진하고 공급자의 직원들을 훈련시키는 등 다양한 노력을 기울여야 한다고 주장하였다. 이 외에도 Li et al.(2007)은 홍콩의 전자 제조업체들을 실증조사하여 공급자 개발 노력이 구매자의 경쟁우위를 향상시킨다고 주장하였다. 그들은 특히 공급자 개발 노력이 구매자의 운영 효과성과 시장 반응성에 미치는 영향을 구체적으로 분석하였고, 그 결과 공급자의 협력 활동과 신뢰가 구매자의 경쟁우위 향상에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

SCQM 분야에서도 공급자 품질관리의 중요성을 살펴본 몇몇 연구들이 있다. Kuei and Madu(2001)는 SCQM의 주요 구성요소로 최고경영자의 리더십, 훈련, 제품의 설계, 공급자 품질관리 등을 주장하였는데, 공급자 품질관리는 공급자가 품질에 관해 책임지는 정도 혹은 제품의 비용이 아닌 품질을 중요시 여기는 정도 등을 의미한다. Lin et al.(2005)은 대만과 홍콩 기업의 실무자들을 대상으로 실증조사를 하였는데, 그 결과 품질 활동은 공급자 참여를 통해 구매자의 성과와 고객 만족을 향상시켰다. 품질 활동은 최고경영자의 리더십, 훈련, 제품 또는 서비스의 설계, 공급자 품질관리, 프로세스 관리, 품질자료 보고, 직원과의 관계, 고객과의 관계, 벤치마킹 학습으로 구성된다.

종합하면 공급자 품질관리에 관한 선행연구들은 공급자의 품질 수준과 구매자의 성과 간의 관계를 입증하면서 공급자 품질관리의 중요성을 강조하고 있다.

2.2 공급자 선정

Wind and Robinson(1968)은 공급자 선정 문제를 복잡한 다기준 의사결정이라고 여겼다. 왜냐하면 제품의 품질을 최고의 수준으로 향상시키면 그에 따른 비용이 증가하므로 제품을 가장 낮은 비용으로 제공할 수 없으며 정해진 납기기한을 맞추기 어려워지는 등 공급자 선정기준들 간에는 상충관계가 존재하기 때문이다.

Boyer and Lewis(2002)는 생산 목표인 품질, 비용, 유연성, 납기 간의 관계에 대한 대표적인 관점으로 상충관계(trade-off) 모

델, 누적적인(cumulative) 모델, 통합적인(integrative) 모델을 제시하였다. 상충관계 모델에 따르면, 기업이 보유한 자원은 한정되어 있으므로 여러 가지 생산 목표들 중에서 상대적인 중요성에 따라 우선순위를 설정하여 시간과 자원을 투자해야 한다. 반면에 누적적인 모델에 따르면, 생산 목표들은 상호보완적인 것으로서 한 가지 목표를 강화하면 다른 목표가 강화될 수 있다. 예를 들어, 세계적인 우수기업들은 치열한 경쟁 환경 속에서도 경쟁자보다 우수한 품질을 갖고 다양한 시장 요구에 신속하게 대응할뿐만 아니라 낮은 비용을 유지하고 있다. 마지막으로 통합적인 모델은 상충관계 모델과 누적적인 모델을 조화시킨 것이다. Boyer and Lewis(2002)는 이러한 세 가지 모델을 실증분석 하였는데, 그 결과 누적적인 모델이나 통합적인 모델에서도 기업은 특정 목표에 우선순위를 두고 있음을 밝혔고, 생산 목표들 간에는 여전히 상충관계가 존재한다고 주장하였다. 이와 같이 생산 목표들 간에 나타나는 상충관계로 인해 공급자를 선정하는 의사결정은 더욱 복잡해진다.

공급자 선정에 관한 최초의 연구는 Dickson(1966)의 연구인데, 이는 향후 연구들에 큰 영향을 미쳤다. 그는 구매 담당자가 공급자 선정 시 고려하는 품질, 정시납품, 공급자의 과거실적, 비용 등 23개 요인들을 고려한다고 주장하였다. Weber et al.(1991)은 공급자 선정과 관련하여 1966년부터 1990년까지 발간된 총 74편의 논문을 분석한 결과, 47편의 연구들이 Dickson(1966)이 주장한 23개의 공급자 선정 요인들 중 적어도 2가지 이상을 포함하고 있고, 총 74편의 논문 중에서 공급자 선정 요인으로 정가, 배송, 품질이 각각 80%, 59%, 54%씩 제시되었다고 밝혔다.

이후 많은 연구자들은 공급자 선정에 관한 논의를 보다 구체화하여 특정 산업 내에서의 공급자 선정기준을 살펴보거나 제품의 유형을 고려한 공급자 선정기준을 제시하였다(Tam and Tummala, 2001; Bharadwaj, 2004; Ting and Cho, 2008; Ho et al., 2010). Tam and Tummala(2001)는 AHP 기법을 이용하여 통신업에서의 공급자 선정 문제를 분석한 결과, 공급자 선정의 주요 기준으로 품질과 비용의 중요성을 제시하였으며, Bharadwaj(2004)는 제품의 유형에 따라 공급자 선정기준이 다르다고 주장하였다. Ting and Cho(2008)는 대만의 PC 제조업체를 대상으로 실증조사하여 공급자 선정기준으로 16개를 제시하면서 비용, 품질, 납기의 신뢰성이 가장 중요하다고 주장하였다. Ho et al.(2010)은 2000년부터 2008년까지 발간된 총 78편의 논문을 분석하여 전체의 약 80% 이상이 품질, 납기, 비용을 주요 공급자 선정기준으로 주장하였음을 밝혀냈다.

한편, 공급자 선정과 관련된 국내의 대표적인 연구를 살펴보면 Park and Krishnan(2001)은 미국과 한국의 공급자 선정기준을 비교하였다. 그 결과, 미국의 경영자들은 재무적인 안정성, 경제적 성과, 공급자의 제조 및 설계능력, 한국의 경영자들은 신뢰와

사업신용을 중요시하고 있었다. 즉, 미국의 경영자들은 단기적이고 재무적인 성과를 강조하지만, 한국의 경영자들은 장기적인 성장 기회와 공급자와의 관계, 자산 투자를 강조하였다. 김성홍과 김진한(2003)은 AHP 기법을 이용하여 구매업체와 공급업체의 실무자, 전문가들 간에 공급자 선정기준에 관한 인식에 차이가 있는지를 실증연구 하였다. 공급자 선정기준으로 재무요소, 품질요소, 관계, 유연성, 기술력, 서비스능력, 비용요소, 문화적요소를 살펴 보았는데 그 결과, 집단 간에 공급자 선정기준이 유의하게 차이가 나지 않았지만, 구매업체와 공급업체의 실무자는 비용과 기술, 전문가는 기술과 품질을 중요하게 인식하는 것을 확인하였다. 유영목(2004)은 공급자 선정기준과 주문확득 평가기준을 품질 능력, 납품 능력, 유연성 능력, 비용 능력, 혁신 능력으로 구분하고 공급자 선정기준이 주문확득 평가기준과 일관되어야 한다고 주장하였다. 특히, 품질 측면의 일관성은 성과 영역의 모든 부문에 고르게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이옥기(2005)는 공급자 선정기준으로 품질관리, 개발관리, 납기대응력, 비용경쟁력을 제시하고, 공급자를 선정하는 방법으로 AHP 방법론이 품의제도와 같은 기존 평가방법에 비해 합리적이라고 주장하였다.

종합하면 대부분의 선행연구들은 공급자 선정기준으로 품질, 비용, 유연성, 납기를 제시하고 AHP 기법을 이용하여 공급자 선정기준의 상대적 중요도를 분석하였다. 최근에는 이를 보다 구체화하여 특정 산업 내에서의 공급자 선정기준을 살펴보기나 제품 유형을 고려한 공급자 선정기준을 찾기 위해 노력하고 있다. 그러나 선행연구들은 공급자 선정기준의 상대적 중요도를 밝히는데 국한되었고, 공급자 선정에 관한 의사결정이 기업의 성과와 어떤 연관을 지니는지 살펴보지 않았다는 점에서 한계를 지닌다.

2.3 공급사슬 품질경영 성과

Li et al.(2006)은 196개 제조업체들을 대상으로 효과적인 공급사슬 관리가 기업 성과를 향상시키고 경쟁우위를 높이는 것을 입증하였다. 공급사슬 활동인 전략적인 공급자 관계 관리, 고객 관계 관리, 정보 공유, 지연 전략이 기업의 품질, 비용, 납기, 신제품 개발 등의 경쟁우위에 영향을 미치고 결국 기업의 시장성과 재무성과를 높여준다고 주장하였다. Lin et al.(2013)은 SCQM 성과에 관한 기존 연구들이 비용과 재무 성과에만 초점을 맞춘 것을 비판하고, 고객과 관련된 성과를 추가해야 한다고 주장하였다. 고객과 관련된 성과는 공급사슬 상류와 하류 모든 방향에 있어서 고객의 요구를 충족시키고 고객과의 관계를 개선하는 것으로서, 주문 조달, 주문 사이클 타임(Cycle Time), 제품의 품질 향상, 제품 실패의 감소 등으로 측정할 수 있다.

한편, SCQM 성과와 관련된 국내의 대표적인 연구를 살펴보면

김계수(2000)는 제조업체와 부품업체 간의 전략적인 공급사슬 관리가 품질경영 성과에 미치는 영향을 살펴보면서, 품질경영의 성과를 매출 성장률, 시장점유율, 원가경쟁력, 유연성, 납기준수 등의 재무적인 성과와 고객만족, 동종업계와 비교한 경쟁우위, 장기적인 거래 가능성 등의 비재무적인 성과로 구분하였다. 김태규와 현완순(2009)은 한국표준협회의 SCQM 모형과 공급사슬 품질협력지수(QCI-SCM: Quality Collaboration Index for Supply Chain Management)를 통해 SCQM의 활동성과를 분석하였다. SCQM 성과는 품질실현 프로세스, 인재육성 프로세스, 커뮤니케이션 프로세스, 지원 프로세스, 위기관리 프로세스, 평가 프로세스, 성과공유 프로세스를 효율적으로 수행한 후 얻는 품질, 비용, 생산성, 안전/환경, 사기/윤리 측면에서의 성과라고 주장하였다. 박철순(2012)은 기존의 연구들이 SCQM 성과로 제품의 품질 성과 또는 재무적 성과만을 고려하거나 두 성과를 묶어서 살펴봤다고 비판하면서 기업 성과를 세분화하였다.

한편, 공급자 선정과 SCQM 성과 간의 관계를 살펴본 몇몇 선행연구들이 있다. Tan et al.(1998)은 공급자 선정과 기업 성과의 관계를 살펴보았는데, 기업 성과로는 제품 품질, 고객 서비스, 생산 비용, 시장점유율, 매출 등을 제시하였다. Vonderembse and Tracey(1999)는 공급자 선정기준이 적합하고 공급자가 제품 개발에 참여하면 공급자의 성과가 향상되고 이는 구매자의 품질 성과로 이어지는 것을 입증하였다. Kuei et al.(2001)은 기업들을 품질 지향성에 따라 세 그룹으로 구분하고 각 그룹별로 기업 성과 지표, 공급자 선정 등이 다름을 실증하였다. 기업 성과 지표로는 비용절감, 생산성, 매출 성장률, 수입 성장률, 직원 만족, 공급자 선정기준으로는 제품 품질, 비용, 납기, 혁신 역량 등을 제시하였다. Kuei et al.(2002)은 공급자 선정이 고객 만족도, 생산성, 재무적 성과와 같은 SCQM 성과에 영향을 준다고 주장하였다. 그들은 기업 성과가 품질 관련 변수들인 공급자 선정, 프로세스 관리, 통계적 기법에 관한 훈련에 의해서 구분된다고 역설하였다.

한편, Kannan and Tan(2002)은 공급자 선정이 구매자-공급자 관계의 성공을 매개로 하여 구매자의 기업 성과에 영향을 미친다고 주장하면서 품질, 납기 준수, 지속적 향상 등을 고려한 공급자 선정이 협력 증가와 같은 구매자-공급자 관계의 성공을 통해서 시장점유율, 제품 품질, 고객 서비스 수준 등의 기업 성과에 유의하게 영향을 미침을 입증하였다.

종합하면 SCQM 성과에 관한 선행연구들은 활발하게 이루어졌지만, SCQM 성과에 큰 영향을 미치는 공급자 선정을 살펴본 연구는 부족한 편이다. 따라서 본 연구에서는 SCQM 성과에 따라 기업들을 고성과, 중성과, 저성과 그룹으로 구분한 후, 각 그룹별로 공급자 선정기준에 있어 어떠한 차이를 보이는지 살펴보고자 한다.

3. 연구설계

3.1 변수의 조작적 정의 및 측정

본 연구에서는 크게 공급자 선정기준과 관련된 변수들과 SCQM 성과와 관련된 변수들을 사용하였다. 각 변수의 조작적 정의를 정리하면 <표 1>과 같다.

공급자 선정기준은 크게 품질, 비용, 유연성, 납기로 분류된다. 각 선정기준의 하위 요소를 살펴보면, 첫째, 품질의 하위 요소는 품질적합도, 내구성, 신뢰성이다. 품질적합도는 공급자가 제공한 제품이 구매자의 기준을 충족하는 정도이고, 내구성은 공급자가 제공한 제품이 출하 후 장기간에 걸쳐 본연의 기능을 발휘하는 정도이며, 신뢰성은 공급자가 일관성 있는 품질을 유지할 수 있는 정도를 의미한다.

둘째, 비용의 하위 요소는 구매비용, 재고비용, 품질비용이다. 구매비용은 구매자가 제품을 구매할 때 공급자에게 지불하는 비용이고, 재고비용은 재고를 보관하는데 필요한 비용이며, 품질비용은 구매자가 원하는 품질 수준을 달성하기 위해 공급자가 필요로 하는 비용을 말한다.

셋째, 유연성의 하위 요소는 변화에 대한 반응, 생산능력, 불평에 대한 대응력이다. 변화에 대한 반응은 기업 외부환경의 변화에 따라 주문 수량 등을 변경할 수 있는 능력이고, 생산능력은 제품의 다양화를 달성할 수 있는 공급자의 능력이며, 불평에 대한 대응력은 구매자의 불평 발생 시 공급자의 대응 능력을 말한다.

넷째, 납기의 하위 요소는 개발 속도, 납기 준수, 납기 속도인데, 개발 속도는 공급자가 신제품 개발 시 필요로 하는 시간이고, 납기 준수는 공급자가 정해진 납기일을 정확히 지키는 정도이며, 납기 속도는 구매자가 공급자로부터 제품을 공급받는데 필요한 리드 타임(Lead Time)을 나타낸 것이다.

한편 SCQM 성과는 기존의 연구들이 재무 성과에만 초점을 맞춘 것을 비판한 Lin et al.(2013)의 주장을 받아들여 경쟁사 대비 제품의 품질수준, 매출, 시장점유율, 고객 만족도를 측정하였다.

설문 문항의 측정 시에는 SCQM 성과간 차이 분석을 위하여 리커트(Likert) 5점 척도를 이용하였다. 1점은 '전혀 그렇지 않다', 2점은 '약간 그렇지 않다', 3점은 '보통이다', 4점은 '약간 그렇다', 5점은 '매우 그렇다'로 구분하였다. 또한 SCQM 성과별 공급자 선정기준의 상대적 중요도 비교를 위하여 Saaty(1980)가 제시한 9점 척도의 이원비교(pairwise comparison) 형태로 측정하였다.

3.2 자료 수집

본 연구에서는 국내 자동차부품 제조업체들을 대상으로 자료를

수집하였다. 자동차산업을 선택한 이유는 크게 두 가지이다. 첫째, 자동차부품의 특성상 탑승자의 생명과 연결되는 제품이라는 속성을 지니기 때문에 품질이 매우 중요하다. 산업 내 경쟁이 치열해지면서 점차 많은 자동차부품 제조업체들이 품질의 중요성을 강조하고 있다(Park et al., 2001). 둘째, 자동차 제조에는 약 3만 개의 공급자들이 필요하기 때문에 자동차산업에서는 효과적인 공급자 관리가 중요하다(Dyer and Ouchi, 1993).

자료 수집 시에는 먼저 설문지의 용어와 문항이 충분히 전달되고 있는지를 조사하기 위하여 2012년 4월 9일부터 13일까지 예비조사를 실시하였다. 그 후에 설문 문항의 수정 및 보완과정을 거친 후에 2012년 5월 3일부터 29일까지 설문지를 배포하여 회수하였다.

조사 대상은 SCQM을 실시하는 자동차부품 제조업체들 총 250개였으며, 조사의 정확성을 위하여 전문리서치 업체에서 표본을 추출하고 실증조사를 실시하였다. 전체 조사 대상 기업들 중에서 불성실하게 응답한 기업들을 제외하고 217개 기업의 데이터를 분석에 활용하였다.

표본기업의 구성을 살펴보면, 매출의 경우 평균 44억 1천만 원 이었고 2억 6천만 원부터 210억 원까지 고루 분포하였다. 응답자들은 각 기업에서 공급자 선정을 담당하는 부서의 관리자였고, 직위를 살펴보면 CEO를 포함한 최고경영진이 15.2%, 중간 관리자급이 84.8%여서 설문 문항을 잘 이해하고 응답할 수 있었다.

3.3 분석방법

본 연구는 SCQM 성과에 따라 공급자 선정기준의 상대적 중요도를 분석하고자 한다. 이를 위해 SPSS 18.0 프로그램을 이용하여 다변량 분산분석(MANOVA: Multivariate Analysis of Variance)을 한 후, Expert Choice 11.0 프로그램을 이용하여 AHP 기법을 실시하였다.

다변량 분산분석(MANOVA)은 종속변수가 두 개 이상인 경우 집단 평균들의 벡터(Vector)를 비교하는데 사용되는 분석방법이다. 종속변수가 복수인 경우 단일변량 분산분석(ANOVA: Analysis of Variance)을 수차례 하는 대신 다변량 분산분석(MANOVA)을 실시해야 되는데 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 종속변수들이 서로 상관관계가 높은 경우, MANOVA를 사용하면 ANOVA에서 밝힐 수 없는 결합된 차이를 밝혀낼 수 있다. 즉, ANOVA는 집단 간 차이를 밝히는데 사용가능한 정보를 MANOVA보다 적게 사용한다. 둘째, ANOVA를 여러 번 사용하는 경우 1종 오류(Type I error)가 발생할 확률이 커진다(이학식과 임지훈, 2013).

또한 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법은 Saaty(1980)

표 1. 측정변수

측정변수		설명	참고 문헌
품질	품질적합도	제품이 구매자의 기준을 충족하는 정도	Dickson(1966), Weber et al.(1991), Tam and Tummala(2001), Kuei et al.(2001), Kannan and Tan(2002), 김성홍과 김진한(2003), 유영목(2004), 이옥기(2005), Ting and Cho(2008), Ho et al.(2010)
	내구성	제품이 장기간 본연의 기능을 발휘하는 정도	
	신뢰성	일관성 있는 품질을 유지할 수 있는 정도	
비용	구매비용	제품 구매 시 공급자에게 지불하는 비용	Dickson(1966), Weber et al.(1991), Tam and Tummala(2001), Kuei et al.(2001), 김성홍과 김진한(2003), 유영목(2004), 이옥기(2005), Ting and Cho(2008), Ho et al.(2010)
	재고비용	재고를 보관하는데 필요한 비용	
	품질비용	특정한 품질 수준 달성을 위해 필요한 비용	
유연성	변화에 대한 반응	기업 외부환경의 변화에 따라 주문 수량 등을 변경할 수 있는 능력	Dulmin and Mininno(2003), 김성홍과 김진한(2003), 유영목(2004), 오광기와 이동명(2012)
	생산능력	제품의 다양화를 달성할 수 있는 공급자의 능력	
	불평에 대한 대응력	구매자의 불평 발생 시 공급자의 대응력	
납기	개발 속도	공급자가 신제품 개발 시 필요로 하는 시간	Dickson(1966), Weber et al.(1991), Kuei et al.(2001), Kannan and Tan(2002), 유영목(2004), 이옥기(2005), Ting and Cho(2008), Ho et al.(2010)
	납기 준수	공급자가 정해진 납기일을 정확히 지키는 정도	
	납기 속도	구매자가 제품을 공급받는데 필요한 리드 타임	
SCQM 성과	제품의 품질수준	경쟁사 대비 기업의 제품 품질수준	Tan et al.(1998), 김계수(2000), Kuei et al.(2001), Kuei et al.(2002), Kannan and Tan(2002), 김태규와 현완순(2009), 박철순(2012), Lin et al.(2013),
	매출	경쟁사 대비 기업의 매출	
	시장점유율	경쟁사 대비 시장점유율	
	고객 만족도	경쟁사 대비 고객 만족도	

가 개발한 이후로 다기준 의사결정에 효과적으로 활용되고 있다. 이 기법은 상충관계를 지닌 여러 기준들 간의 우선순위를 결정하고, 객관적이고 주관적인 평가기준을 포함시킬 수 있다는 장점을 지닌다. AHP를 실시하는 과정은 다음과 같다. 첫째, 의사결정 문제와 관련된 여러 가지 요인들 간에 의사결정 계층을 설정한다. 이 단계에서 의사결정자는 상호 관련되어 있는 여러 요인들을 계층

화한다. 둘째, 같은 계층에 있는 요인들을 쌍대비교하여 각 요인들의 상대적 중요도를 산출한다. 두 개의 대안을 비교하여 상대적으로 어느 것이 더 중요한지를 비교함으로써, 여러 개의 대안을 한꺼번에 판단할 때의 오류를 방지하고 쉽게 판단을 내릴 수 있도록 구조화한다. 셋째, 의사결정 요소들의 상대적인 중요도를 산출하고, 산출된 중요도가 일관성을 지니는지 확인하기 위하여 개인의

판단 오차 정도를 측정하는 일관성 비율(CR: Consistency Ratio)이 0.1 보다 작은지를 확인한다. CR 값이 0.1 보다 작으면 일관성 있게 판단한 것이며(Prasanta et al., 2008), 이 값이 작을수록 일관성 높게 이원비교를 수행한 것으로 판단한다. 넷째, 기하평균 방법 또는 가중치 산출 평균 방법을 이용하여(Escobar and Moreno-jimenez, 2007) 여러 응답자들의 평가치를 종합한다.

비록 AHP 기법은 계층의 수준을 잘못 설정함으로써 부적절한 계층구조가 형성될 수 있다는 단점을 지니지만, 두 개의 요인을 상호 비교함으로써 비교의 단순화가 가능하다. 또한 비교 과정에서 두 개의 요인들에 관한 선호도만을 필요로 하므로 정량적인 정보뿐만 아니라 정성적인 정보인 의사결정자의 경험과 직관을 활용할 수 있다는 장점을 지닌다(김태우와 서창교, 2013). Narasimhan(1983)이 공급자 선정 문제에 최초로 AHP 기법을 적용한 이후로 AHP 기법은 공급자 선정 시 대표적인 방법으로 사용되었다(Hill and Nydick, 1992; Barbarosoglu and Yazgac, 1997; 전종태 외, 2004; Teng and Jaramillo, 2005; Tahriri et al., 2008).

4. 연구결과

4.1 신뢰성 및 타당성

분석에 들어가기 전에 구성개념들의 신뢰도와 타당도를 검토하였다. 먼저 구성개념들의 신뢰도를 검토하기 위해서 Cronbach's

α 값, 구성신뢰도(CR: Construct Reliability)와 평균 분산추출(AVE: Average Variance Extracted)을 점검하였다. Nunnally(1978)에 따르면 Cronbach's α 값이 0.6 이상이면 신뢰도가 확보된 것으로 볼 수 있는데, 품질 0.665, 비용 0.716, 유연성 0.807, 납기 0.657, SCQM 성과 0.833으로 모두 기준치인 0.6 이상이었다. Fornell and Larcker(1981)에 따르면 CR 값은 0.7 이상, AVE 값은 0.5 이상이 되어야 해당 구성개념의 신뢰도를 확보할 수 있는데, <표 2>에서 보듯이 본 연구의 구성개념들은 모두 이 기준을 만족하였다. 즉, 세 개의 지표를 통한 검증 결과 구성개념들의 신뢰도는 확보된 것으로 볼 수 있다.

확인적 요인분석(CFA: Confirmatory Factor Analysis)을 통해 구성개념들의 집중타당도를 검토하였다. Bagozzi and Yi(1988)에 따르면 잠재변수와 측정변수 간의 요인적재량이 0.5 이상이면 바람직한데, 잠재변수에 대한 측정변수들의 요인적재량이 모두 0.5 이상이므로 집중타당도가 있다고 볼 수 있다.

마지막으로 구성개념들의 판별타당도를 살펴보았다. 각 구성개념 간 상관계수의 제곱이 AVE보다 작으면 판별타당도가 있다고 할 수 있는데(Fornell and Larcker, 1981), 모든 상관계수의 제곱이 해당 구성개념의 AVE보다 작으므로 각 잠재변수 간의 판별타당도를 확인할 수 있었다.

4.2 공급사슬 품질경영 성과간 차이

SCQM 성과에 따라 고성과, 중성과, 저성과 집단으로 구분한

표 2. 구성개념의 신뢰도와 타당도

잠재변수	측정변수	요인적재량	t-value	CR	AVE
품질	품질적합도	0.878		0.883	0.717
	내구성	0.919	12.265		
	신뢰성	0.732	9.731		
비용	구매비용	0.851		0.796	0.568
	재고비용	0.692	9.124		
	품질비용	0.708	9.346		
유연성	변화에 대한 반응	0.914		0.832	0.626
	생산능력	0.728	9.265		
	불평에 대한 대응력	0.715	9.309		
납기	개발 속도	0.779		0.826	0.613
	납기 준수	0.764	10.313		
	납기 속도	0.805	10.847		
SCQM 성과	제품의 품질수준	0.897		0.842	0.574
	매출	0.724	9.524		
	시장점유율	0.740	10.278		
	고객 만족도	0.649	8.565		

표 3. 구성개념 간의 상관관계

변수	품질	비용	유연성	납기	SCQM 성과
품질	1				
비용	0.215***	1			
유연성	0.088	0.379***	1		
납기	0.180***	0.206***	0.402***	1	
SCQM 성과	0.234***	0.273***	0.150**	0.219***	1

주) *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$

후, 집단별로 공급자 선정기준의 중요도에 관한 인식이 통계적으로 유의한 차이를 보이는지 파악하기 위해 다변량 분산분석(MANOVA)을 시행하였다. 총 217개의 조사 대상 기업들은 고성과 40개, 중성과 145개, 저성과 32개로 구분되었고, MANOVA를 실시하기 전에 세 집단의 공분산행렬이 동일한 것을 확인하였다. 그 후에 'SCQM 성과에 따른 집단간 평균값들의 벡터(Vector)가 동일하다'는 귀무가설을 검증하기 위해 MANOVA를 실시하였다. 그 결과, 네 가지 통계량인 Pillais's trace, Wilk's lamda, Hotelling's trace, Roy's largest root의 유의확률이 각각 0.019, 0.018, 0.016, 0.001로 매우 낮아($p < 0.05$) 모두 기각되었다. 즉, SCQM 성과에 따라 구분한 집단 간에 공급자 선정기준의 중요도가 모두 동일하지는 않다고 볼 수 있다.

이러한 결론이 공급자 선정기준들 중에서 어느 변수에서 주로 기인하는지를 살펴본 결과는 <표 4>와 같다. SCQM 성과별로 유의수준 5% 하에서 공급자 선정기준인 품질, 비용, 납기에 대해 유의한 차이를 보였고, 유연성에 대해서는 유의한 차이가 없었다. 다만, 유연성의 경우 유의수준 10% 하에서는 유의한 차이를 보였다.

MANOVA를 한 후에는 사후검증에 LSD(Least Significant Difference)를 사용하였다. 사후검증에서 SCQM 성과에 따른 집단간 평균값의 차이를 구체적으로 분석하였다. 그 결과는 <표 5>에 제시되어 있는데, 품질, 비용, 납기에서는 고성과 그룹의 평균은 중성과 그룹이나 저성과 그룹의 평균보다 유의하게 높은 값을 가지는 것으로 나타났다. 그러나 유연성에서는 고성과, 중성과, 저성과 그룹별로 평균값에 유의한 차이가 없었다.

4.3 공급자 선정기준의 상대적 중요도

SCQM 성과에 따른 공급자 선정기준의 상대적 중요도를 파악하기 위하여 AHP 기법을 적용한 결과는 <표 6>과 같다. 공급자 선정에 영향을 미치는 상위항목의 중요도와 우선순위를 살펴보면, 고성과 그룹은 품질(40.6%), 납기(31.2%), 비용(16.0%), 유연성(12.2%), 중성과 그룹은 품질(52.4%), 비용(20.2%), 납기(14.8%), 유연성(12.6%), 저성과 그룹은 비용(38.0%), 유연성(28.3%), 품질(23.0%), 납기(10.8%) 순이었다. 이러한 결과는 공

표 4. SCQM 성과간 공급자 선정기준의 중요도 차이

공급자 선정기준	제 III 유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
품질	4.610	2	2.305	4.295	0.015**
비용	6.220	2	3.110	4.353	0.014**
유연성	3.425	2	1.712	2.827	0.061*
납기	5.280	2	2.640	3.694	0.026**

주) ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

표 5. 사후검증

공급자 선정기준	공급사슬 품질경영 성과별 그룹의 평균값			LSD 검정 결과 ($p < 0.05$)
	고성과	중성과	저성과	
품질	3.86	3.56	3.36	고성과 > 중성과, 고성과 > 저성과
비용	3.88	3.47	3.38	고성과 > 중성과, 고성과 > 저성과
유연성	3.78	3.46	3.47	-
납기	4.03	3.64	3.57	고성과 > 중성과, 고성과 > 저성과

급자 선정 시 SCQM 성과가 높거나 중간인 구매자는 공급자의 품질 능력을 가장 중요시하지만, SCQM 성과가 낮은 구매자는 공급자의 비용 능력을 가장 중요시한다는 것을 의미한다. 또한 SCQM 성과가 높은 구매자일수록 납기와 비용을 유연성보다 중요시하지만, SCQM 성과가 낮은 구매자일수록 유연성을 품질과 납기보다 중요시한다고 볼 수 있다.

구체적으로 하위항목의 중요도와 우선순위를 살펴보면, SCQM 성과에 따라 공급자 선정기준이 매우 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 고성과 그룹에 있어서 공급자 선정기준의 중요도는 품질적합도(24.2%), 납기 준수(17.2%), 내구성(11.2%), 재고비용(10.0%) 순이었고, 중성과 그룹은 품질적합도(23.3%), 내구성(20.3%), 개발 속도(10.1%), 재고비용(9.9%) 순이었다. 반면에 저성과 그룹은 품질비용(21.1%), 내구성(14.7%), 변화에 대한 반응(13.6%), 생산능력(11.5%) 순으로 중요하였다.

이러한 연구결과는 많은 선행연구들의 이론적 주장을 보완할 수 있는 실증분석 결과에 해당된다. 많은 연구자들이 공급자 선정의 주요 기준으로 품질과 비용을 주장하였다(Dickson, 1966; Pearson and Ellram, 1995; Hirakubo and Kublin, 1998; Tam and Tummala, 2001; Ting and Cho, 2008; Ho et al.,

2010). 또한 Kuei et al.(2001)은 SCQM 성과에 따라 구매자를 고성과, 중성과, 저성과 그룹으로 구분하여 공급자 선정기준을 살펴 보았는데, 그 결과 고성과 그룹과 중성과 그룹은 품질, 저성과 그룹은 비용이 상대적으로 중요하다고 주장하였다.

5. 결론

기업이 경쟁력을 갖추기 위해서는 우수한 공급자로부터 질 좋은 제품을 저렴한 가격으로 적기에 공급받아야 한다. 이에 따라 구매자는 공급자의 중요성을 인식하고 구매자와 공급자 간의 협력을 바탕으로 장기적인 관계를 추구하고 있다. 그러나 구매자가 적절한 공급자를 선정하지 못한 경우 구매자와 공급자 간의 장기적인 관계는 오히려 실적 악화로 이어질 수 있다. 이러한 적합한 공급자 선정의 중요성은 최종 고객에게 제공되는 제품 및 서비스의 품질을 향상시키기 위하여 이루어지는 공급사슬 구성 주체 간의 협업 활동인 SCQM에 있어서도 마찬가지다.

이에 본 연구는 공급자 선정이 중요한 자동차산업의 부품 제조 업체들을 대상으로 SCQM 성과에 따라 공급자 선정기준인 품질,

표 6. SCQM 성과에 따른 공급자 선정기준(상위항목)의 중요도

상위항목	고성과 그룹		중성과 그룹		저성과 그룹	
	중요도	순위	중요도	순위	중요도	순위
품질	0.406	1	0.524	1	0.230	3
비용	0.160	3	0.202	2	0.380	1
유연성	0.122	4	0.126	4	0.283	2
납기	0.312	2	0.148	3	0.108	4

표 7. SCQM 성과에 따른 공급자 선정기준(하위항목)의 중요도

하위항목	고성과 그룹		중성과 그룹		저성과 그룹	
	중요도	순위	중요도	순위	중요도	순위
품질적합도	0.242	1	0.233	1	0.065	8
내구성	0.112	3	0.203	2	0.147	2
신뢰성	0.052	8	0.088	5	0.017	11
구매비용	0.022	11	0.075	6	0.098	5
재고비용	0.100	4	0.099	4	0.070	6
품질비용	0.038	9	0.028	10	0.211	1
변화에 대한 반응	0.038	9	0.071	7	0.136	3
생산능력	0.071	6	0.045	8	0.115	4
불평에 대한 대응력	0.013	12	0.011	12	0.032	9
개발 속도	0.075	5	0.101	3	0.010	12
납기 준수	0.172	2	0.015	11	0.068	7
납기 속도	0.065	7	0.031	9	0.030	10

비용, 유연성, 납기의 상대적 중요도를 살펴보았다. 본 연구의 분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, SCQM 성과간 공급자 선정기준의 중요도 차이를 MANOVA로 분석한 결과, SCQM 성과별로 유의수준 5% 하에서 공급자 선정기준인 품질, 비용, 납기에 대해 유의한 차이를 보였고, 유연성에 대해서는 유의한 차이가 없었다. 다만, 유연성은 유의수준 10% 하에서는 유의한 차이를 보였다.

둘째, SCQM 성과에 따른 공급자 선정기준의 중요도를 AHP 기법으로 비교한 결과, 고성과 그룹은 품질, 납기, 비용, 유연성 순으로 중요시하였고, 중성과 그룹은 품질, 비용, 납기, 유연성 순으로 중요시하였다. 반면에 저성과 그룹은 비용, 유연성, 품질, 납기 순으로 중요시하는 것으로 나타났다. 이는 자동차부품 제조업체가 SCQM 성과를 향상시키기 위해서는 품질, 납기, 비용을 우선적으로 고려한 후 유연성을 중요시하여야 함을 확인한 것이다.

본 연구의 학술적 시사점은 SCQM의 필요성 위주로 논의된 선행연구들의 범위를 확장하여 SCQM 성과에 따른 공급자 선정기준의 상대적 중요도를 실증적으로 분석하였다는 데 있다. SCQM에 관한 대부분의 선행연구들은 SCQM 활동이 기업 성과에 미치는 영향을 분석하여 SCQM의 필요성을 확인하는데 치중하였고, 공급자 선정기준에 관한 대부분의 선행연구들은 공급자 선정기준인 품질, 비용, 유연성, 납기 등을 제시하고 AHP 기법을 이용하여 공급자 선정기준의 상대적 중요도를 분석하는데 그쳤다. 최근에는 공급자 선정기준에 관한 논의가 보다 구체화되면서 특정 산업 내의 공급자 선정기준을 살펴보기나 제품 유형을 고려한 공급자 선정기준을 살펴보고 있지만, 여전히 공급자 선정기준 간의 상대적 중요도를 밝히는데 국한되었고 기업의 성과와 어떠한 연관을 지니는지 살펴보지 않았다는 점에서 한계를 지닌다.

또한 본 연구의 실무적 시사점은 SCQM 성과를 향상시키고자 하는 기업들에게 바람직한 공급자 선정기준의 우선순위와 그에 따른 가중치를 제시하였다는 데 있다. SCQM에 참여하는 공급자 입장에서는 구매자의 기대를 명확히 파악함으로써 품질, 비용, 유연성, 납기 중에 어떠한 역량을 우선적으로 향상시켜야 할지에 관한 전략을 수립할 수 있고, SCQM에 참여하는 구매자 입장에서는 기업 성과를 향상시키기 위한 바람직한 공급자 선정기준 전략의 방향을 설정할 수 있을 것이다. 이는 결국 SCQM에 참여한 구매자와 공급자의 전략적 방향을 일치시킴으로써 공급사슬 전체의 성과와 경쟁력을 제고하는데 일조할 수 있을 것이다.

그러나 본 연구는 몇 가지 한계점을 지니고 있으며 이를 극복하기 위한 향후 연구 방향은 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 자동차산업을 대상으로 실증조사를 수행하였기 때문에 다른 산업에 적용하기 어렵다는 한계를 지닌다. 둘째, 공급사슬에 참여한 구매자는 경쟁상황, 자사의 전략에 따라 공급자 선정기준의 중요도를 다르

게 적용할 수 있는데(Sen et al., 2008), 본 연구에서는 이를 고려하지 못했다는 한계를 지닌다. 향후 다양한 업종에서 구매자의 경쟁상황과 전략을 고려한 공급자 선정기준의 중요도에 관한 종합적인 연구가 이루어지면 더 많은 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 김계수(2000), 부품업체와 제조업체간의 전략적인 공급사슬 관리가 품질경영성과에 미치는 영향에 관한 연구, *한국품질경영학회지*, 제28권, 제4호, pp.204~222.
- [2] 김성홍, 김진한(2003), 공급자 선정기준의 상대적 중요성에 관한 실증연구 - 국내 전자업체에 대한 AHP 적용, *한국생산관리학회지*, 제14권, 제1호, pp.3~25.
- [3] 김승철, 홍진범, 황수영(2011), 공급사슬 파트너십이 기업 성과에 미치는 영향, *한국SCM학회지*, 제11권, 제2호, pp.137~150.
- [4] 김태규, 현완순(2009), 공급망 품질경영(SCQM) 활동성과 분석, *한국품질경영학회지*, 제37권, 제1호, pp.69~79.
- [5] 김태우, 서창교(2013), AHP를 이용한 기계산업의 SCM 주요 성공요인 분석, *한국SCM학회지*, 제13권, 제2호, pp.61~73.
- [6] 박철순(2012), 공급자참여와 고객참여 및 학습·훈련이 품질 성과와 기업성과에 미치는 영향, *한국품질경영학회지*, 제40권, 제1호, pp.1~14.
- [7] 오광기, 이동명(2012), 제품 및 공급사슬유형에 따른 공급자 선정 및 평가 모형에 관한 연구, *한국경영공학학회지*, 제17권, 제2호, pp.259~272.
- [8] 유영목(2004), 공급업체 선정기준과 고객주문획득 평가기준의 일관성이 공급사슬성과에 미치는 영향, *한국생산관리학회지*, 제15권, 제1호, pp.87~107.
- [9] 이육기(2005), 공급업체 선정에 대한 의사결정에 관한 연구, *디지털정책연구*, 제3권, 제2호, pp.23~37.
- [10] 이학식, 임지훈(2013), SPSS 18.0 매뉴얼, 집현재, pp.438~444.
- [11] 전종태, 송익수, 정봉주(2004), AHP기법과 목표계획법을 이용한 공급자 선택 및 공급 계획 모델, *한국SCM학회지*, 제4권, 제2호, pp.107~117.
- [12] Ahire, S. L., Golhar, D. Y. and Waller, M. A.(1996), Development and Validation of TQM Implementation Constructs, *Decision Sciences*, Vol.27(1), pp.23~56.
- [13] Bagozzi, R. P. and Yi, Y.(1988), On The Evaluation of Structural Equation Models, *Journal of the Academy*

- of Marketing Science*, Vol.16(1), pp.74~94.
- [14] Barbarosoglu, G. and Yazgac, T.(1997), An Application of the Analytic Hierarchy Process to the Supplier Selection Problem, *Production and Inventory Management Journal*, Vol.38(1), pp.14~21.
- [15] Bharadwaj, N.(2004), Investigating the Decision Criteria Used in Electronic Components Procurement, *Industrial Marketing Management*, Vol.33(4), pp.317~323.
- [16] Boyer, K. K. and Lewis, M. W.(2002), Competitive Priorities: Investigating the Need for Trade-Offs in Operations Strategy, *Production and Operations Management*, Vol.11(1), pp.9~20.
- [17] Dickson, G. W.(1966), An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions, *Journal of Purchasing*, Vol.2(1), pp.5~17.
- [18] Drake, P. R. and Lee, D. M.(2009), Component Prioritisation for Strategic Purchasing and the Case Study of a South Korean Elevator Manufacturer, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.43(9-10), pp.883~895.
- [19] Dulmin, R. and Mininno, V.(2003), Supplier Selection Using a Multi-Criteria Decision Aid Method, *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol.9(4), pp.177~187.
- [20] Dyer, J. H. and Ouchi, W. G.(1993), Japanese-Style Partnerships: Giving Companies a Competitive Edge, *Solan Management Review*, Vol.35, pp.51~63.
- [21] Escobar, M. T. and Moreno-jimenez, J. M.(2007), Aggregation of Individual Preference Structures in AHP-Group Decision Making, *Group Decision and Negotiation*, Vol.16(4), pp.287~301.
- [22] Fawcett, S., Ellram, L. and Ogden, J.(2006), *Upper Saddle Rive*, Prentice-Hall.
- [23] Ferguson, B. R.(2000), Implementing Supply Chain Management, *Production and Inventory Management Journal*, Vol.41(2), pp.64~67.
- [24] Flynn, B. B., Schroeder, R. G. and Sakakibara, S.(1995), The Impact of Quality Management Practices on Performance and Competitive Advantage, *Decision Sciences*, Vol.26(5), pp.659~691.
- [25] Fornell, C. and Larcker, D. F.(1981), Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error: Algebra and Statistics, *Journal of Marketing Research*, Vol.18(3), pp.382~388.
- [26] Foster, S. T. Jr.(2008), Towards an Understanding of Supply Chain Quality Management, *Journal of Operations Management*, Vol.26(4), pp.461~467.
- [27] Gadde, L. E.(2013), Moving Corporate Boundaries: Consequences for Innovative Redesign, *Journal of Supply Chain Management*, Vol.49(4), pp.12~26.
- [28] Hirakubo, N. and Kublin, M.(1998), The Relative Importance of Supplier Selection Criteria: The Case of Electronic Components Procurement in Japan, *Journal of Supply Chain Management*, Vol.34(1), pp.19~24.
- [29] Ho, W., Xu, X. and Dey, P. K.(2010), Multi-Criteria Decision Making Approaches for Supplier Evaluation and Selection: A Literature Review, *European Journal of Operational Research*, Vol.202(1), pp.16~24.
- [30] Kannan, V. R. and Tan, K. C.(2002), Supplier Selection and Assessment: Their Impact on Business Performance, *Journal of Supply Chain Management*, Vol.38(3), pp.11~21.
- [31] Krause, D. R., Scannell, T. V. and Calantone, R. J.(2000), A Structural Analysis of the Effectiveness of Buying Firms' Strategies to Improve Supplier Performance, *Decision Sciences*, Vol.31(1), pp.33~55.
- [32] Kuei, C-H. and Madu, C. N.(2001), Identifying Critical Success Factors for Supply Chain Quality Management (SCQM), *Asia Pacific Management Review*, Vol.6(4), pp.409~423.
- [33] Kuei, C-H., Madu, C. N. and Lin, C.(2001), The Relationship between Supply Chain Quality Management Practices and Organizational Performance, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.18(8), pp.864~872.
- [34] Kuei, C-H., Madu, C. N., Lin, C. and Chow, W. S.(2002), Developing Supply Chain Strategies Based on the Survey of Supply Chain Quality and Technology Management, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.19(7), pp.889~901.
- [35] Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. S. and

- Subba Rao, S.(2006), The Impact of Supply Chain Management Practices on Competitive Advantage and Organizational Performance, *Omega*, Vol.34(2), pp.107~124.
- [36] Li, W., Humphreys, P. K., Yeung, A. C. L. and Cheng, T. C.(2007), The Impact of Specific Supplier Development Efforts on Buyer Competitive Advantage: An Empirical Model, *International Journal of Production Economics*, Vol.106(1), pp.230~247.
- [37] Lin, C., Chow, W. S., Madu, C. N., Kuei, C-H. and Yu, P. P.(2005), A Structural Equation Model of Supply Chain Quality Management and Organizational Performance, *International Journal of Production Economics*, Vol.96(3), pp.355~365.
- [38] Lin, C., Kuei, C-H. and Chai, K-W.(2013), Identifying Critical Enablers and Pathways to High Performance Supply Chain Quality Management, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.33(3), pp.347~370.
- [39] Liu, F. H. F. and Hai, H. L.(2005), The Voting Analytic Hierarchy Process Method for Selecting Supplier, *International Journal of Production Economics*, Vol.97(3), pp.308~317.
- [40] Narasimhan, R.(1983), An Analytical Approach to Supplier Selection, *Journal of Purchasing & Materials Management*, Vol.19(4), pp.27~32.
- [41] Nunnally, J. C.(1978), *Psychometric Theory*, McGraw-Hill.
- [42] Nydick, R. L. and Hill, R. P.(1992), Using the Analytic Hierarchy Process to Structure the Supplier Selection Procedure, *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol.28(2), pp.31~36.
- [43] Park, D. and Krishnan, H. A.(2001), Understanding Supplier Selection Practice: Differences between U.S. and Korean Executives, *Thunderbird International Business Review*, Vol.43(2), pp.243~256.
- [44] Park, S., Hartley, J. L. and Wilson, D.(2001), Quality Management Practices and Their Relationship to Buyer's Supplier Ratings: A Study in the Korean Automotive Industry, *Journal of Operations Management*, Vol.19(6), pp.695~712.
- [45] Prasanta, K. D., Hariharan, S. and Despic, O.(2008), Managing Healthcare Performance in Analytical Framework, *Benchmarking: An International Journal*, Vol.15(4), pp.444~468.
- [46] Pearson, J. N. and Ellram, L. M.(1995), Supplier Selection and Evaluation in Small versus Large Electronics Firms, *Journal of Small Business Management*, Vol.33(4), pp.53~65.
- [47] Robinson, C. J. and Malhotra, M. K.(2005), Defining the Concept of Supply Chain Quality Management and Its Relevance to Academic and Industrial Practice, *International Journal of Production Economics*, Vol.96(3), pp.315~337.
- [48] Saraph, J. V., Benson, P. G. and Schroeder, R. G.(1989), An Instrument for Measuring the Critical Factors of Quality Management, *Decision Sciences*, Vol.20(4), pp.810~829.
- [49] Saaty, T. L.(1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill.
- [50] Sila, I., Ebrahimpour, M. and Birkholz, C.(2006), Quality in Supply Chains: An Empirical Analysis, *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol.11(6), pp.491~502.
- [51] Sen, S., Başligil, H., Sen, C. G. and Baracli, H.(2008), A Framework for Defining both Qualitative and Quantitative Supplier Selection Criteria Considering the Buyer-Supplier Integration Strategies, *International Journal of Production Research*, Vol.46(7), pp.1825~1845.
- [52] Tam, M. C. Y. and Tummala, V. M.(2001), An Application of the AHP in Vendor Selection of a Telecommunications System, *Omega*, Vol.29(2), pp.171~182.
- [53] Tan, K. C., Handfield, R. B. and Krause, D. R.(1998), Enhancing the Firm's Performance through Quality and Supply Base Management: An Empirical Study, *International Journal of Production Research*, Vol.36(10), pp.2813~2837.
- [54] Tahriri, F., Osman, M. R., Ali, A., Yusuff, R. M. and Esfandiary, A.(2008), AHP Approach for Supplier Evaluation and Selection in a Steel Manufacturing Company, *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol.1(2), pp.54~76.

- [55] Teng, S. G. and Jaramillo, H.(2005), A Model for Evaluation and Selection of Suppliers in Global Textile and Apparel Supply Chains, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol.35(7), pp.503~523.
- [56] Ting, S. C. and Cho, D. I.(2008), An Integrated Approach for Supplier Selection and Purchasing Decisions, *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol.13(2), pp.116~127.
- [57] Vonderembse, M. A. and Tracey, M.(1999), The Impact of Supplier Selection Criteria and Supplier Involvement on Manufacturing Performance, *Journal of Supply Chain Management*, Vol.35(2), pp.33~39.
- [58] Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C.(1991), Vendor Selection Criteria and Methods, *European Journal of Operational Research*, Vol.50(1), pp.2~18.
- [59] Wind, Y. and Robinson, P. J.(1968), The Determinants of Vendor Selection: The Evaluation Function Approach, *Journal of Purchasing*, Vol.4(3), pp.29~41.



김현정

이화여자대학교 경영학과 학사
 서울대학교 경영학과 석사
 서울대학교 경영학과 박사 수료
 현재: 상지영서대학교 경영과 조교수
 관심분야: Service Operations, Quality Management, SCM, SCQM, Productivity, Buyer-Supplier Relationship



김수옥

서울대학교 경영학과 학사
 서울대학교 경영학과 석사
 Michigan State of University 경영학과 박사
 현재: 서울대학교 경영학과 교수
 관심분야: Service Operations, SCM, Buyer-Supplier Relationship

한국SCM학회지 14권 1호 심사자 명단(가나다 순)

고창성(경성대 산업경영공학과), 고현정(군산대 물류학과), 김병수(인천대 산업경영공학과), 김병인(포항공대 산업경영공학과), 김병조(고려대 경영대학), 김연성(인하대 경영학부), 김용진(서강대 경영대학), 김재곤(인천대 산업경영공학과), 김현수(경기대 산업경영공학과), 김화중(인하대 물류전문대학원), 문덕희(창원대 산업시스템공학과), 문일경(서울대 산업공학과), 박건수(KAIST 경영대학), 박영태(동의대 무역학과), 박정수(인하대 경영대학), 박창순(한양대 공학기술연구소), 송상화(인천대 동북아물류대학원), 송창용(한라대 산업공학과), 양재환(서울시립대 경영학부), 오중산(숙명여대 경영학과), 오형술(강원대 산업경영공학과), 이민호(남서울대 유통학과), 이영해(한양대 산업경영공학과), 이흥희(단국대 경영학부), 임석철(아주대 산업공학과), 정기호(경성대 경영정보학과), 조정은(경성대 경영학부), 진현정(중앙대 경영학부), 한용호(부산외대 e-비즈니스학과)

학회지 심사를 위해 노고를 아껴주시지 않은 심사자 여러분들께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

한국 SCM 학회지 제14권, 제1호

인 쇄 / 2014년 5월 31일

발 행 / 2014년 5월 31일

발행인 / 이영해

편집인 / 고창성 · 김수옥

발행처 / **한국SCM학회**

경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
5공학관 532호

전화 031-438-5269, 400-4506 전송 031-406-1089

http: //www.kscm.org