

# 한국 SCM 학회지

*Journal of the Korean Society of  
Supply Chain Management*

Volume 13 Number 1  
2013



사단  
법인 한국SCM학회

# 한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

## 1 제한된 생산용량 하에서 종합 반도체기업 공급사슬의 주문침투점 선정에 관한 연구

김승환 · 김중인

This paper presents an approach for the decision making process of positioning customer order decoupling points (CODPs) in the integrated device manufacturer's (IDM) semiconductor supply chain under limited capacity, demand and manufacturing lead-time variability. First, the feasible areas for CODPs in IDM supply chain using a semiconductor product-process matrix are identified. Then the positioning of CODPs under limited capacity, demand and manufacturing lead-time variability in IDM supply chain is analyzed based on simulation experiments. Lastly, a strategic grid for positioning CODPs based on the findings is suggested. Managerial implications on the dynamics of limited capacity, demand and lead time variability with CODPs are followed.

## 17 농수산물 도매시장 입지 선정에 있어 연결망 중심성과 효율성 비교 검증

송지현

The purpose of this study is to investigate the relevance of application of social network analysis for location selection of agricultural wholesale market. We measured the centrality of agricultural goods volume in Korean 167 si-gun, and compared with the efficiency of the agricultural wholesale market.

The study implications are as followings. First, centralities have relevances to agricultural goods volume and efficiency of the agricultural wholesale market. Especially, Gunsan-si and Pyeongtaek-si have high centralities, but not have the agricultural wholesale market. In addition, agricultural wholesale markets of Seoul Garak, Seoul Gangseo, Busan Omgung, Busan Gukje, Gwangju Gakhwa have high centralities, transport volumes and also have efficiency. For conclusion, social network analysis will be new attempt as appropriate method for selecting optimal locations of the agricultural wholesale market.

## 31 소매점 수요 사이에 상관관계가 존재하는 다단계재고시스템의 모형화

임시영 · 허선

An inventory model where the demands to the retailers are correlated with each other is considered. It is common, because of the fashion or the seasonal factors, that customers are likely to prefer buying some products at the similar moment, which may result in the correlation between the demands of retailers. In this research, we consider a two-echelon inventory model with one external supplier, one warehouse and two retailers. We derive the demand process to the warehouse and conduct experiments by simulations to characterize the effect of correlated demands on the inventory of the warehouse. It is concluded that higher inventory level is required to keep the stockout probability low when there exists positive correlation between the demands of the retailers.

## 39 공급사슬 통합요인과 공급사슬 통합 및 공급사슬 성과와의 관계 : 공급사슬에서 협력업체를 중심으로

박찬권 · 김채복

The main purpose of this study is to examine the relationship among information sharing, flexibility, and uncertainty of management environment (variables of supply chain integration factors) as independent variables, supply chain integration (intervening variables), and integration performance as well as customer satisfaction performance (variables of supply chain performance) as dependent variables. In order to obtain this research goal, this study develops hypotheses concerning variables by literature review to verify relationship. The results of hypothesis verification can be tests can be summarized as follows:

First, supply chain integration factors except uncertainty of management environment showed positive effect on supply chain integration. Second, supply chain integration impacted positively on supply chain performance. Third, there is no conflict responses and regulating effect of cooperation. But,

conflict responses and regulating effect of cooperation positively affect on supply chain performance. That implies better supply chain performance can be achieved as the level of conflict responses and cooperation regulating effect of increase. It is shown that the intervening roles of supply chain integration extracts better supply chain performance

## 55 다중 집단 기반의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 폐쇄루프 공급사슬 네트워크의 설계

한용호

Literature survey shows that only a few papers deal with comprehensive supply chain models with both forward and reverse flows. The goal of this study is to propose a comprehensive closed-loop model integrating forward and reverse logistics for the supply chain network design and to design a cooperative coevolutionary algorithm(CCEA) as a heuristic approach to get a good approximate solution. Mathematical model is formulated first, and then CCEA is designed as follows; First, the problem is broken down into eight subproblems. For each subproblem, a population of chromosomes is created, a chromosome is encoded using a permutation of integers, and a decoding method is suggested to get a partial solution. As genetic operators, binary tournament selection with elitist strategy, order crossover, and swap mutation are applied for evolving each of the subpopulations. To find feasible solutions satisfying a nonlinear constraint, a penalty method is adopted. The evaluation of a partial solution in a subpopulations is done by composing a complete solution with the best partial solutions from all the other subpopulations. Experimental results show that our CCEA in almost every case outperforms GA in terms of both the quality of solution obtained and the potential for solution improvement.

## 67 특허분석을 통한 공급망 관리 동향 연구

김태우 · 서창교

Patent analysis, which refers to statistical methods used to examine the information contained in a

patent document, is widely used to analyze the research and development capacity. This study applied patent analysis to examine the research and development for SCM(supply chain management) using KIPRIS(Korea Intellectual Property Rights Information Service) database. The technology development activities in the field of SCM from the year 1999-2012 were investigated using 295 applied patents. The factors analyzed include patents in a calendar year, patent portfolio, patentee capability, patentee nationality, technological classification using the IPC(international patent classification), and detailed analysis for the issued patents. The research findings show that the patent analysis can provide stakeholders of SCM with information that will assist in their strategic research and development planning efforts.

#### 77 파프리카 농가의 공급사슬 도입을 위한 정보교환의 영향요인에 관한 연구

하두중 · 이영만 · 이상용 · 정정석

This study was conducted to find out the factors affecting information exchange of Paprika farms to apply SCM(Supply chain management) and to define the effect of information exchange by performance a paprika supply chain. In conclusion, farmers or managers recognize the necessity of information exchange with SC partner to enhance paprika supply chain performance in deed. But the cost and risk made them reluctant to information exchange. They don't want information exchange in short term but they desire a strategic information exchange in the future. So it is required that agricultural information exchange should be supported by government and organization with the change of cognition about agricultural information exchange.

#### 89 복원적 공급사슬 디자인 : 육군 공급사슬 사례연구를 중심으로

이영 · 문성암 · 석순복

Supply chains are facing numerous changes that are contributing to increasing vulnerability to disturbances. Therefore, supply chains must be resilient. The paper present a supply chain

simulation study based on empirical data for a real case related with Army supply chains. The purpose of this paper is to evaluate alternative supply chain scenarios based on supply chain structure for improving supply chain resilience to a surge demand in war time. and assess how mitigation strategies affect end user as well as whole supply chain. Strategic inventory and redeployment is considered as redundancy and flexibility respectively. To assess the supply chain structure of each scenario, three performance measures are used, stockout rate at end user as customer fillrate, end user recovery pattern and total inventory level. We show that right redundancy leads Army supply chains to be more resilient as well as efficient.

#### 105 온실가스 배출량을 고려한 폐가전 수거물류 향상방향 연구

김원섭 · 김현수

The local government has the direct responsibility of reverse logistics over locally disposed end-of-life (EOL) consumer electronics (CE). In this study, the range of reverse logistics is set from the customer's EOL CE disposal site to the collection warehouse selected by the local government.

The system which measures the least greenhouse gas emission is analyzed as the most applicable reverse logistics for EOL CE based on the assumption that proper disposal information of EOL CE such as item type, quantity, location and weight are noticed in advance. For this, two heuristics such as shortest distance method and Sweep method are applied in this study. Also, 1 ton, 2.5 ton, and 2.5 & 1 ton transportation vehicles for reverse logistics are compared to calculate the greenhouse gas emissions.

The result of this study can be applied to initiate the research of environmentally friendly reverse logistics for EOL CE ranging fully from consumers to recycling centers via local government's collection place

#### 115 유전알고리즘 접근법을 이용한 역물류 네트워크 평가

윤영수

The objective of this paper is to compare two types of reverse logistics networks using genetic algorithm (GA) approach. Reverse logistics network with decentralized centers (RLNDC) and reverse logistics network with centralized centers (RLNCC) are considered. The former allows multiple collection centers, recovery centers, redistribution centers, and secondary markets in reverse logistics networks, whereas, the latter considers single collection center, recovery center, redistribution center, and secondary market in reverse logistics networks. The mathematical models for the RLNDC and RLNCC are developed and each model is programmed and evaluated by GA approach. Finally, the RLNCC outperforms the RLNDC by means of various measures of performance.

#### 131 택배에서의 전략적 제휴를 위한 의사결정지원 모형에 대한 연구

프리스카 · 정기호 · 고현정 · 고창성

The market competition of express courier service has become severe so that an express delivery company is consistently under pressure to operate its service network as efficient as possible. In this regard, the strategic alliance between small and medium companies can be considered as a useful way in maintaining their competitiveness. This study proposes a decision support model to examine the feasibility of merging under-utilized courier service centers and collaborating consolidation terminals with strategic alliances among them. The proposed models can be formulated as a multi-objective programming models maximizing the minimum expected profit increase of each participating company. A solution procedure based on the maxmin criterion is developed by using a genetic algorithm (GA). The applicability and efficiency of the proposed models are demonstrated through illustrative numerical examples.

# 한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

## 투고논문 작성요령

### 1. 제출방법

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

- 제출처 : 한국SCM학회 사무국  
(우)426-791 경기도 안산시 상록구 사3동 1271  
한양대학교 산업경영공학과 내(5공학관 532호)  
E-mail : kscm@kscm.org T. 031-438-5269, 400-4506

### 2. 제출절차

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

### 3. 표지 및 내용

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

### 4. 영문작성

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

### 5. Abstract 및 키워드

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

### 6. 각주(footnote)

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

### 7. 저자구분

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

### 8. 번호매김

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

### 9. 그림과 표

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

### 10. 수식표시

수식(formula)은 필요한 경우 번호를 부여한다.  
(예)  $y = a_1 x^2 + a_2 x + a_3$  (1)

### 11. 참고문헌

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

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

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

홍길동(1990), 한국의 SCM전략, 박영사.

이몽룡(역)(2000), e-비즈니스 전략, 헤이즈(원저), 법문사.  
Hayes, R.(2000), *SCM Strategy in Korea*, 2nd ed., pp. 123 ~ 145, Prentice-Hall.

### 12. 논문 심사료 및 게재료

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

# 제한된 생산용량 하에서 종합반도체기업 공급사슬의 주문침투점 선정에 관한 연구\*

김승환\* · 김종인\*\*†

\*아주대학교 경영대학 · \*\*홍익대학교 상경대학

## Decision Framework for Customer Order Decoupling Point in a Semiconductor Supply Chain under Limited Capacity\*

Seung Hwan Kim\* · Joong In Kim\*\*†

\*Ajou University · \*\*Hongik University

This paper presents an approach for the decision making process of positioning customer order decoupling points (CODPs) in the integrated device manufacturer's (IDM) semiconductor supply chain under limited capacity, demand and manufacturing lead-time variability. First, the feasible areas for CODPs in IDM supply chain using a semiconductor product-process matrix are identified. Then the positioning of CODPs under limited capacity, demand and manufacturing lead-time variability in IDM supply chain is analyzed based on simulation experiments. Lastly, a strategic grid for positioning CODPs based on the findings is suggested. Managerial implications on the dynamics of limited capacity, demand and lead time variability with CODPs are followed.

**Keywords:** Customer Order Decoupling Point, Supply Chain Management, Semiconductor Manufacturing, Integrated Device Manufacturer, Limited Capacity

### 1. Introduction

Under a long economic downturn, the high-tech industries are feeling even more pressure for improvements and cost reduction due to the severe unpredictability in their markets. One of the examples is the semiconductor manufacturing industry which has reached an unprecedented level of

competition (Chen, 2012). To survive, they are trying to come up with new ways of business such as alliances, becoming fabless, outsourcing and developing next-generation technologies (Chen, 2012).

One of the strategies they adapted is the use of customer order decoupling point (CODP), also known as decoupling point (DP), order penetration point (OPP), or push-pull boundary (PB), in their supply chains (Olhager 2003 ; Naylor

\* 이 논문은 2012학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

† **Corresponding author:** College of Business Management, Hongik University, Sejong City 339-701, Korea,

Tel: 82-44-860-2526 Fax: 82-44-862-2974 Email: jokim@hongik.ac.kr

2012년 10월 4일 투고, 2013년 2월 5일 수정본 접수, 2월 18일 게재 확정.

et al., 1999 ; Harrison et al., 2004 ; Christopher, 1998). CODP is the boundary between make-to-stock (MTS) and make-to-order (MTO) in the manufacturing supply chain, where a particular product is linked to a specific customer order - MTS productions are applicable upstream of CODP and MTO productions are necessary for downstream operations (Olhager, 2003). The goal of CODP is to achieve the benefits of both responsiveness (i.e. high service level) by MTS and low inventory costs by MTO but there exists a trade-off between service level and inventory costs (Kim, 2006). Furthermore, CODP may differ between products and over time for a particular manufacturing firm (Olhager, 2003). Thus, it is needed to find the optimal CODP balancing service level and inventory costs in a particular manufacturing supply chain associated with particular product types.

In the semiconductor supply chain, there are different types of semiconductor design and manufacturing companies such as integrated device manufacturer (IDM), fab-lite, fables, foundry, outsourced semiconductor assembly and test (OSAT), and electronics manufacturing services (EMS) companies. Among them, IDM (e.g. Intel, Samsung, Fujitsu, and Hitachi) is a large, vertically integrated firm with fairly concentrated market structures in each product segment. IDMs typically perform R&D, manufacturing, sales, and marketing on their own. Semiconductor manufacturing processes are most often divided into two primary processes: the front-end (i.e. blank wafer production, wafer fabrication, and probe) and the back-end (i.e. assembly, packaging, and test) (Brown et al., 2000 ; Lee, 2001). IDM manufacturing supply chain includes all of the front-end and back-end processes. This paper focuses on the optimal CODP in IDM manufacturing supply chain.

In order to identify the optimal CODP, a discrete-event process simulation approach is employed. The purpose of this study is to develop a decision framework for positioning CODP in a semiconductor supply chain based on the levels of product capacity and demand variability. One of the approaches for considering the capacity and demand variability is what-if analysis. Simulation is an effective tool for what-if analysis (Chang and Makatsoris, 2001) and has been widely used in supply chain frameworks for decision making and supporting process (Van Der Zee and Van Der

Vorst, 2005 ; Tako and Robinson, 2012). In addition, acquiring and using the real data about the semiconductor manufacturing are very difficult. Under such circumstances, simulation has been a useful research method

The key performance measures are the total cost (i.e. the sum of inventory holding cost, incentive cost, and tardiness cost) and on-time delivery rate (i.e. a measure of service level) since the trade-off between inventory cost and service cost is the key factor that influence the optimal location. Most papers that seek for the optimal CODP location generally use these costs as the performance measures (Cochran and Kim, 1998 ; Sun et al., 2010 ; Kim et al., 2012). The tardiness cost or penalty cost is the cost which is assigned when manufacturers do not accomplish the on-time delivery (Sun et al., 2010). The incentive cost or discount cost is the cost which is incurred when the customer's desired delivery lead time is shorter than the expected manufacturing lead time. In this case, manufacturers propose a price discount as an incentive to the customer so that the customer agrees to accept the expected manufacturing lead time as the delivery lead time (Kim et al., 2012).

The most important factor in this research is the capacity. As mentioned previously, the economic downturn has been pushing semiconductor manufacturing companies for cost reduction and budget cuts. But the problem with it is that semiconductor manufacturing has extremely complex processes and requires very expensive equipment (Vardar et al., 1997). Also with the decreasing profit margins due to the rising fabrication/designing costs and falling prices, semiconductor companies are having hard time investing their capital to equipment for maintaining reasonable capacity for their highly fluctuating demand (Brown and Linden, 2009).

In this paper, an approach for the decision making process for CODP location in the semiconductor supply chain is presented when there is lack of capacity due to the capital investment constraint. This study includes three main stages: 1) identifying feasible areas for CODPs in IDM supply chain via the *semiconductor product-process matrix*; 2) analyzing the positioning of CODPs under limited capacity, demand and manufacturing lead-time variability in IDM supply chain via the simulation experiments; 3) presenting a strategic framework for positioning CODP under limited capacity based

on the findings and implications of the experiments.

The remainder of the paper is organized as follows: In the next section, related literature on finding optimal CODP location is reviewed. In sections 3 and 4, the above three main stages of the study are described. Lastly, conclusion and future research are given in section 5.

## 2. Literature Review

There have been many discussions about choosing the right strategy between 'push' (i.e. building products based on forecast in advance) and 'pull' (i.e. building products after receiving actual orders) in the literature (Hirakawa, 1996 ; Dengiz and Akbay, 2000 ; Grosfeld-Nir et al., 2000 ; Li, 2003). But the key issue is not to determine which is better but to match supply chain strategies with markets and products (Fisher, 1997 ; Lee, 2002). The semiconductor industry has market/product characteristics such as high demand variation, short product life cycle, and long production lead time (Brown et al., 2000 ; Kim, 2006) and the hybrid strategy between push and pull, in which a product is processed to a certain point (push) then wait for the actual customer order to finish processing (pull), has been used as the mainstream supply chain strategy (Brown et al., 2000 ; Jain et al., 2000). Not only in the semiconductor industry, but the hybrid strategy also has been successful in various industries (Lee et al., 1993 ; Federgruen, 1993 ; Mrena, 1997).

The most critical decision in the hybrid strategy is the location of the boundary (as explained in Section 1, the boundary has been called by different names in the literature - CODP, DP, OPP, or PB) between push portion (MTS production) and pull portion (MTO production) of the supply chain. Cochran and Kim (1998) apply the hybrid strategy to production system and call it 'Horizontally Integrated push/pull Hybrid Production System' (HIHPS) and try to find the optimal location of CODP in a serial production line that minimizes the sum of inventory cost and service cost. They also show that the proposed hybrid system outperforms pure push system and pure pull system by using a case study of a transmitter manufacturer. Olhager (2003) point out that market, product, and production factors affect CODP

positioning and the shifting of CODP upstream or downstream in the supply chain. In the extant literature, the most influential factors for CODP are demand variability (Fisher, 1997 ; Olhager, 2003 ; Waddington et al., 2002) and manufacturing lead-time variability (Brown et al., 2000 ; Olhager, 2003 ; Waddington et al., 2002). The demand variability and manufacturing lead-time variability should be included in a model that allows the manufacturing firm to choose the right CODP.

According to the above factors to be considered for CODP positioning, this study aimed to determine the optimal CODP balancing inventory costs and service level under the market, product, and production factors in IDM manufacturing supply chain. The market factors are demand variability and delivery lead time. The product factors are different semiconductor product types. The production factors are semiconductor manufacturing process, manufacturing lead time, and limited capacity of bottleneck stations.

## 3. Identifying Feasible Areas for CODPs in IDM Semiconductor Supply Chain

Before finding an 'optimal' CODP in IDM supply chain using a simulation study, it is needed to identify 'feasible' CODPs for semiconductor product types and manufacturing processes. To identify feasible CODPs for IDM, a *semiconductor product-process matrix* (Kim, 2006) that shows the feasible 'process areas' for CODPs along the manufacturing processes for several semiconductor product types is adopted. Next, 'controllable candidates' for the optimal CODP within the feasible areas in IDM supply chain are identified. Finally the discrete-event simulation study to analyze the optimal CODP is performed.

To explain the steps to identify the feasible areas of CODP for semiconductor supply chain, begin with the products. In terms of process characteristics, semiconductor products are divided into three main types: Standard general-purpose IC, application-specific IC (ASIC), and application-specific standard part (ASSP). ASIC can be divided into Full Custom IC, Cell-Based IC (CBIC), Structured ASIC, Gate Array (GA), Programmable Logic Device (PLD), and Field

Programmable Gate Array (FPGA) (Smith, 1997; TechWeb, 2009). Also by the application areas, they can be classified into three types: memory, microprocessor, and logic devices (Brown et al., 2000). If both categorizations are combined, memory and microprocessor ICs belong to the standard general-purpose IC, whereas logic devices are part of the ASIC and ASSP products.

Even though semiconductor manufacturing processes are long and complicated with respect to different types of products, generally they can be divided into two major pieces: the front-end (i.e. blank wafer production, wafer fabrication, and probe) and the back-end (i.e. assembly, packaging, and test) (Brown et al., 2000; Lee, 2001). The front-end performs the transfer of circuit patterns to blank wafers (i.e. fabrication process) and functional electrical test of fabricated wafers (i.e. probe process). Then there is the 'die bank' which is a storage location between the front-end and the back-end. After the die bank, the back-end includes the separation of individual ICs (dies) from the finished wafer, sorting, mounting, attaching and wire-bonding of the die to the appropriate mount media, molding, and package preparation (i.e. assembly and packaging process). Then a functional electrical test of the product is performed (i.e. burn-in test process). Finally, products are then delivered to original equipment manufacturer (OEM) customers, electronics manufacturing services (EMSs), or third-party vendors of the electronics products. Packaged ICs are then incorporated into subsystems, systems, applications, or printed circuit boards (PCBs) at the customer sites (i.e. system set-up process).

Kim (2006) developed a *semiconductor product-process matrix* which identifies feasible process areas for CODPs as shown in Figure 1. The feasible areas in Figure 1 were identified according to the *customization processes* of each product type because a CODP cannot be placed in the customization processes:

1) Full-custom ASICs and CBICs launch the customization processes at the beginning of the fabrication because they are created on blank wafer.

2) Structured ASICs actually start their customization at the early fabrication process.

3) GAs begin their customization during the fabrication process but later than Structured ASICs.

4) For PLDs and FPGAs, customization occurs only after finished chips are delivered to the customers.

5) ASSPs and Standard general-purpose ICs have no customization processes.

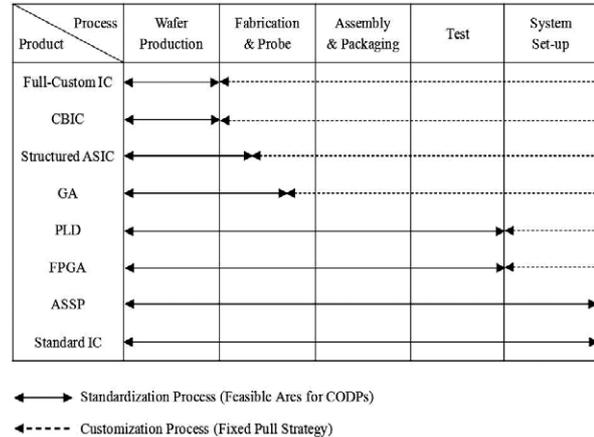


Figure 1. Semiconductor product-process matrix identifying feasible areas for CODPs (Kim, 2006)

In Figure 1, a CODP can be placed anywhere in the feasible areas. But in reality there are certain points where stopping the process flow makes sense technologically or economically. In this study, there are three feasible CODPs: wafer bank (WB), die bank (DB), and finished ICs warehouse (FW). The wafer bank which is located between 'foundry fab' and 'metals fab' in wafer fabrication (Leachman, 1994) is a feasible stock point. If stopping, storing, or resuming activities cause unnecessary yield losses, companies may not use this stock point. The die bank (DB) is a feasible stock point that most semiconductor companies have used. The fabricated and probed (i.e. functionally tested) wafers are stored in this location before being cut and assembled into individual ICs in the assembly stage. The finished ICs warehouse (FW) has the finished integrated circuit (IC) products that go through assembly, packaging, and final quality tests in the assembly and testing processes. Since our scope is within the processes of IDMs, the blank wafer production and the system set-up processes are excluded. Figure 2 shows IDM semiconductor supply chain processes considered in this paper. Products that have WB, DB, and FW as the feasible CODPs (Standard IC, PLD, ASSP, and FPGA) are considered in the experimentation.

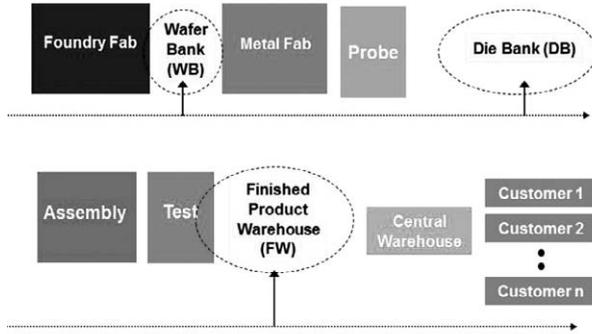


Figure 2. IDM semiconductor supply chain in this research

## 4. Analysis of CODP Positioning under Limited Capacity in IDM Supply Chain

### 4.1 Experimental Setting

To examine the impact of CODP positions to the performance of a supply chain under limited capacity, simulation experiments are performed in this study. Demand variability and customer's delivery lead-time requirement are the market factors that influence the performance of the supply chain (Olhager, 2003). Demand variability is defined as different levels of coefficient of demand variation (CV) from 0.2 to 2.0 with daily mean demand of 100 wafers. The high value of CV typically coincides with high demand fluctuation and low demand volume (Olhager, 2003). Customer's delivery lead time requirement is assumed to be uniformly distributed from 7 days (i.e. fast delivery) to 180 days (i.e. long-term commitment). If the supplier does not meet the customer's delivery lead time requirement, a penalty cost which is called 'service cost' is assigned (e.g. 5% of the sales price is discounted). It is assumed that the supplier must satisfy at least 90% mean on-time delivery (OTD) rate.

To manage inventories in the three supply chain models with CODPs at wafer bank (WB), die bank (DB), and finished IC warehouse (FW), first a pilot study is performed to estimate appropriate replenishment lead times for each supply chain model based on the capacity scenarios which are described below. Order/setup cost is assumed to be negligible since this paper considers single product in an IDM type company (i.e.

replenishment orders are made within the same organization for one product). Therefore a daily periodic review base-stock model, which checks inventory level everyday and places orders, is used with the safety factor of 1.28. Typically annual inventory holding cost rate for high-tech products such as semiconductors is higher than other industries, ranging from 0.42 to 0.45 (SRI International, 2001). In our experiment, the annual rate of 0.45 is applied for the calculation of inventory holding cost. For the service costs, Hegedus and Hopp (2001) suggest that service costs could be about 50 times of the daily inventory holding cost rate. Based on the inventory holding cost rate used in our experiments (i.e. 0.45 per year), 0.05 is chosen as the service cost rate. For the facility capacities, four levels of capacity are assumed. Let  $\mu_d$  be the mean daily demand and  $\sigma_d^{max}$  be the maximum expected standard deviation of the daily demand (when CV=2.0 in our experiments). Then the four levels of capacity are assumed as follows:

- Low Level:  $\mu_d + 0.5\sigma_d^{max}$  (250 wafers per day in the experiments)
- Low-Medium Level:  $\mu_d + 1.0\sigma_d^{max}$  (400 wafers per day in the experiments)
- Medium-High Level:  $\mu_d + 2.0\sigma_d^{max}$  (700 wafers per day in the experiments)
- High Level:  $\mu_d + 3.0\sigma_d^{max}$  (1000 wafers per day in the experiments)

Simulation models are created by ExtendSim© 8.02. Each simulation run length is 5 years and 50 replications are performed for each scenario. Each replication is truncated at 175 days. Table 1 presents the key market factors and the model parameters. This experimentation considers a situation where the supplier ships the encapsulated wafers, not the individual ICs, to the customers. To build valid models, all the models are developed by benchmarking existing models that employ real semiconductor factory datasets. The wafer fabrication model is developed mainly based on Duarte et al. (2002) and also refers to Atherton & Atherton (1995).

The simulation modeling approach adapted from Duarte et al. (2002) in this research is for creating a parameterized simulation model that effectively describes a large semiconductor dataset from an IDM type semiconductor company. The most important element is how the cycle time/lead time distributions are generated. Instead of using

Table 1. Market factors and model parameters used in the experiments

Market factors	Demand variability	Normally distributed with mean 100 and standard deviation from 20 to 200 (step size 20), in wafers per day
	Delivery lead-time requirement	Uniform (7, 180), in days
Model parameters	Facility capacity	250/400/700/1000 per day, in wafers
	Minimum service requirement	Mean OTD rate of 0.90
	Inventory policy	Daily periodic review base-stock model with a safety factor of 1.28
	Holding cost rate	0.45 per year
	Service cost rate	0.05 of sale price

stationary probability distributions, the mean and standard deviation of the cycle time/lead time distributions are generated based on the monotonically increasing cycle time-throughput curve (Fowler et al., 2001). This curve is then linearly interpolate into three segments and every day the mean and standard deviation of the distribution is determined by entering the capacity loading of each day to those linear equations. Then the simulation model generates lead times according to the mean and standard deviation of the distribution determined every different day. For example, the mean lead time can be obtained for capacity loading up to 70% by  $y=a_1x+b_1$ , by  $y=a_2x+b_2$  for between 70% and 90%, and by  $y=a_3x+b_3$  for greater than 90%. Figure 3 illustrates this method. Table 2 shows some examples of the parameter values used in the wafer fabrication model (can only show one value from each segment due to confidentiality issue).

Since their linear interpolation parameters are employed, the output of the simulation model in this research is relatively close to their output which represents a wafer fabrication facility for a single product with release rate of 12 lots/day,

100% yield, 83 tool groups with 265 tools, 32 operator groups with 90 operators. The capacity and the release rate in this paper are then modified to perform what-if analysis.

The assembly and test model is created based on Sivakumar (2000) and a production planning spreadsheet model of a real semiconductor company. The model gives lead time estimates and unit costs based on the capacity loading. Due to confidentiality, numbers are modified and the output from the modified model is compared with the result from Sivakumar (2000) for validity. Some examples of the modified parameters in the model are shown in Table 3. The product assumed is the wafer level chip scale packaging (WLCSP)

Table 2. Examples of lead time distribution parameters in wafer fabrication model (in days)

Lead Time Distribution : Normal		
Capacity Loading	Mean	Standard deviation
50%	16.2677	1.475
80%	22.9334	1.9517
95%	32.136	2.7982

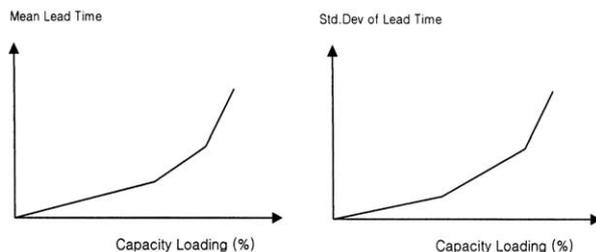


Figure 3. Generating mean and standard deviation of lead time distribution

Table 3. Examples of modified parameters in the assembly and test model

Available Hours / Week	168
Work Weeks per Year	50
Direct operator utilization assumption	0.8
Wafer Mount process rate (per hr)	18520
Wafer Saw / Clean process rate (per hr)	2410
2 / Opt Inspection process rate (per hr)	1100
Plasma Clean process rate (per hr)	56375

product, which has been a new trend because it allows smaller chip size and lower manufacturing costs (Garrou, 2000). For this product, the assembly operations are performed at the wafer level.

### 4.2 Analysis of the Experimentation for CODP Positioning

Table 4 presents the outcomes of the simulation

Table 4. Results of three supply chain models under high capacity (cost in dollars)

CODP at WB	High Capacity (1000 wafers / day)			
CV of Demane	Average Total Costs	Average Holding Costs	Average Service Costs	Average OTD rate
0.2	355051	45582	309469	0.9457
0.4	371250	59608	311642	0.9457
0.6	407828	78878	328950	0.9448
0.8	444693	86204	358489	0.9436
1.0	488400	96284	392116	0.9416
1.2	543935	100995	442940	0.9391
1.4	593421	108671	484749	0.9370
1.6	619345	111287	508057	0.9385
1.8	691038	122682	568357	0.9347
2.0	744364	127928	616436	0.9328

CODP at DB	High Capacity (1000 wafers / day)			
CV of Demane	Average Total Costs	Average Holding Costs	Average Service Costs	Average OTD rate
0.2	108964	87510	21454	0.9910
0.4	130202	98595	31607	0.9928
0.6	155302	109472	45830	0.9938
0.8	193821	141353	52468	0.9929
1.0	244472	189143	55329	0.9911
1.2	285664	213477	72188	0.9875
1.4	306708	225050	81659	0.9880
1.6	338504	246797	91707	0.9846
1.8	361285	253050	108236	0.9857
2.0	398276	256106	142170	0.9822

CODP at FW	High Capacity (1000 wafers / day)			
CV of Demane	Average Total Costs	Average Holding Costs	Average Service Costs	Average OTD rate
0.2	119502	111690	7812	0.9986
0.4	144037	119729	24308	0.9958
0.6	181640	143063	38577	0.9950
0.8	214185	172587	41599	0.9947
1.0	278480	225427	53052	0.9915
1.2	307475	243726	63750	0.9917
1.4	351229	269857	81373	0.9882
1.6	381533	294173	87360	0.9878
1.8	417082	313501	103581	0.9839
2.0	442393	313382	129011	0.9839

experiments for the three supply chain models with CODPs at WB, DB, and FW, when the capacity level is high. Results from the experimentation under the other three levels of capacity (i.e. low, medium-low, and medium high) are listed in the appendix. The motivation of positioning CODP upstream in the supply chain is very obvious. It provides a lower value of inventory, which means inventory cost reduction. On the other hand, it may deteriorate on-time delivery performance. To check this trade-off between inventory costs and service level, Figure 4 compares the mean inventory holding costs and the mean OTD level of the three models for each capacity level.

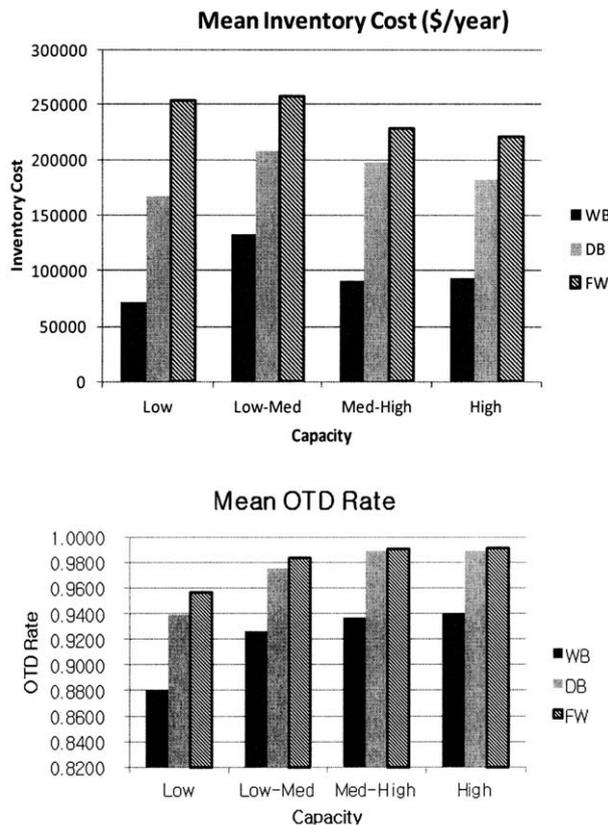


Figure 4. Mean inventory cost and OTD rate comparison among the three supply chain models

Figure 4 clearly shows the trade-off between inventory cost and service level. Moving CODP closer to the end of supply chain results in better service level but higher inventory cost, and moving CODP closer to the beginning of supply chain gives worse service level but lower inventory cost – FW (closest to the supply chain end) shows the best mean OTD

rate but the worst inventory cost, WB (closest to the supply chain start) has the worst mean OTD rate but the best inventory cost. As the next step in the analysis, the total costs of the models are presented in Figure 5 in order to compare the overall performance of the models.

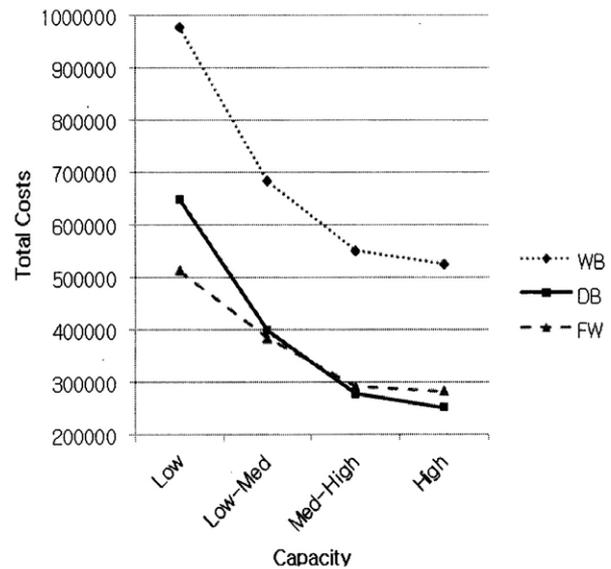


Figure 5. Overall cost comparison among the three supply chain models

The first thing can be noticed from Figure 5 is that WB is significantly outperformed by the others. It can be explained by 'feasible degree of postponement' in designing a hybrid supply chain strategy (Kim et al, 2012) – there exists an upper bound that a CODP can be positioned in a supply chain with respect to its product/market/production characteristics and therefore positioning CODP away from the customer or the end of supply chain will benefit only up to that point. It is evident in Figure 5 that even though positioning CODP at WB significantly reduces the inventory holding cost, WB is over the upper bound of CODP position in this supply chain and results in too much service cost. On the other hand, it is hard to tell which can be considered better between DB and FW. It appears that the decision of positioning CODP at either DB or FW depends on the capacity level. At the low capacity level, FW produces lower cost but as the capacity increases DB catches up and outperforms FW at the high capacity level. It indicates that the trade-off between inventory cost and service cost is driven by capacity levels. Lower capacity level

increases the lead time and service cost, therefore overwhelms the benefit of inventory cost reduction in DB. Higher capacity level decreases the lead time and service cost and as a result inventory cost reduction in DB outweighs service cost.

But another important factor that is needed to analyze this phenomenon closely is the demand variability since it affects lead times. Therefore, further analysis is performed including demand variability with the focus on DB and FW in Figure 6.

Now by considering Figure 5 and 6 together, the following observations can be made. At low capacity in Figure 5, overall FW performs better than DB. But after demand variability is included, it can be seen from Figure 6 that DB shows good performance when demand variability is low but as demand variability increases FW performs better and the difference becomes larger. As the capacity level increases, the range of demand variability where DB can be effective also goes up and eventually DB outperforms FW in a small margin under

the entire demand variability range in the experiments. Then at high capacity, Figure 5 and 6 indicate DB outperforms FW regardless of demand variability level.

To interpret these outcomes, let's go back to Figure 5 - it shows that DB has lower inventory costs in any capacity level. This indicates that it is a matter of how much DB can reduce its sensitivity of lead time against demand variability with the increasing capacity, since demand variability affects lead time variability, which in turn will increase service cost. Since DB is located further from the customers, its service cost is greatly affected by lead-time variability. Increased demand variability leads to more frequent high-volume orders. When there is insufficient capacity, these large orders quickly increase the utilization of the bottleneck, which means longer lead times and higher lead-time variability. But if there is sufficient capacity, these large orders should give less influence on the lead-time variability and therefore results in relatively stable lead time.

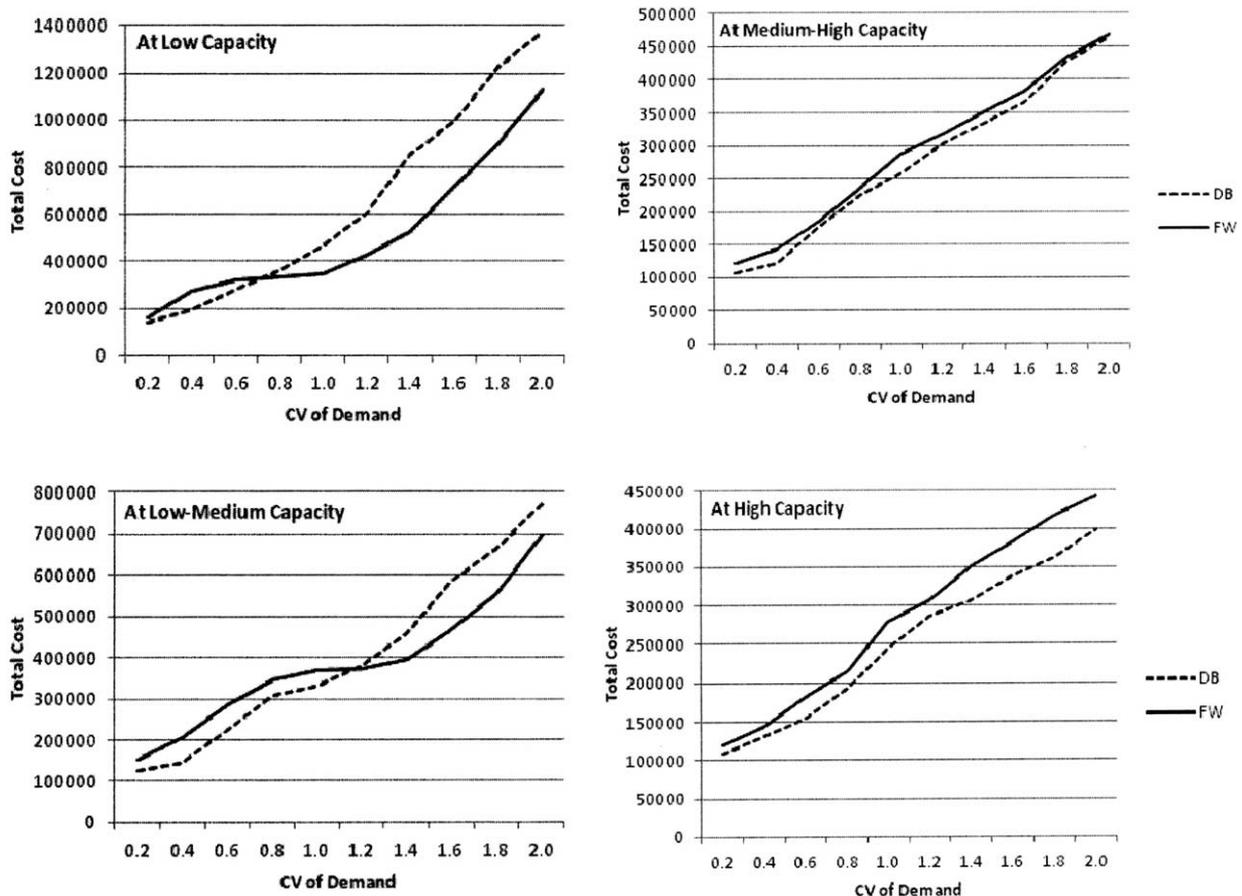


Figure 6. Positioning CODP at DB and FW under different demand variability and capacity

To validate this reasoning, the trend of service costs with each capacity level is presented in Figure 7. As expected, Figure 7 shows that when the capacity level is low, the service cost of DB model increases rapidly as demand variability increases and result in significant differences from the service cost of FW. But as the capacity level goes up, the service cost increase of DB model slows down and eventually approaches to the service cost of FW at the high capacity level.

In addition, the same experimentation is performed under a different inventory policy to see if the outcome differs from the original case with a base-stock model. Figure 8 presents the equivalent of Figure 6 which compares total cost of DB and FW with a daily periodic review (s, S) inventory model with

both demand and lead time variability. Under (s, S) inventory model, a replenishment order is placed if the inventory level is below 's', and the order quantity is the difference between 'S' and current inventory level (Nahmias, 2004). In Figure 8, it can be observed that the overall pattern seems to be very close to the outcome from the original experiments.

Note that the results of experiments in this paper support the fact that the majority of semiconductor companies position their CODP at DB (Brown et al., 2002 ; Chong et al., 2004 ; Jain et al., 2000). If companies can maintain financial resources for enough capacity, positioning CODP at DB is an effective supply chain strategy. But considering the volatility of semiconductor related high-tech markets and the recent

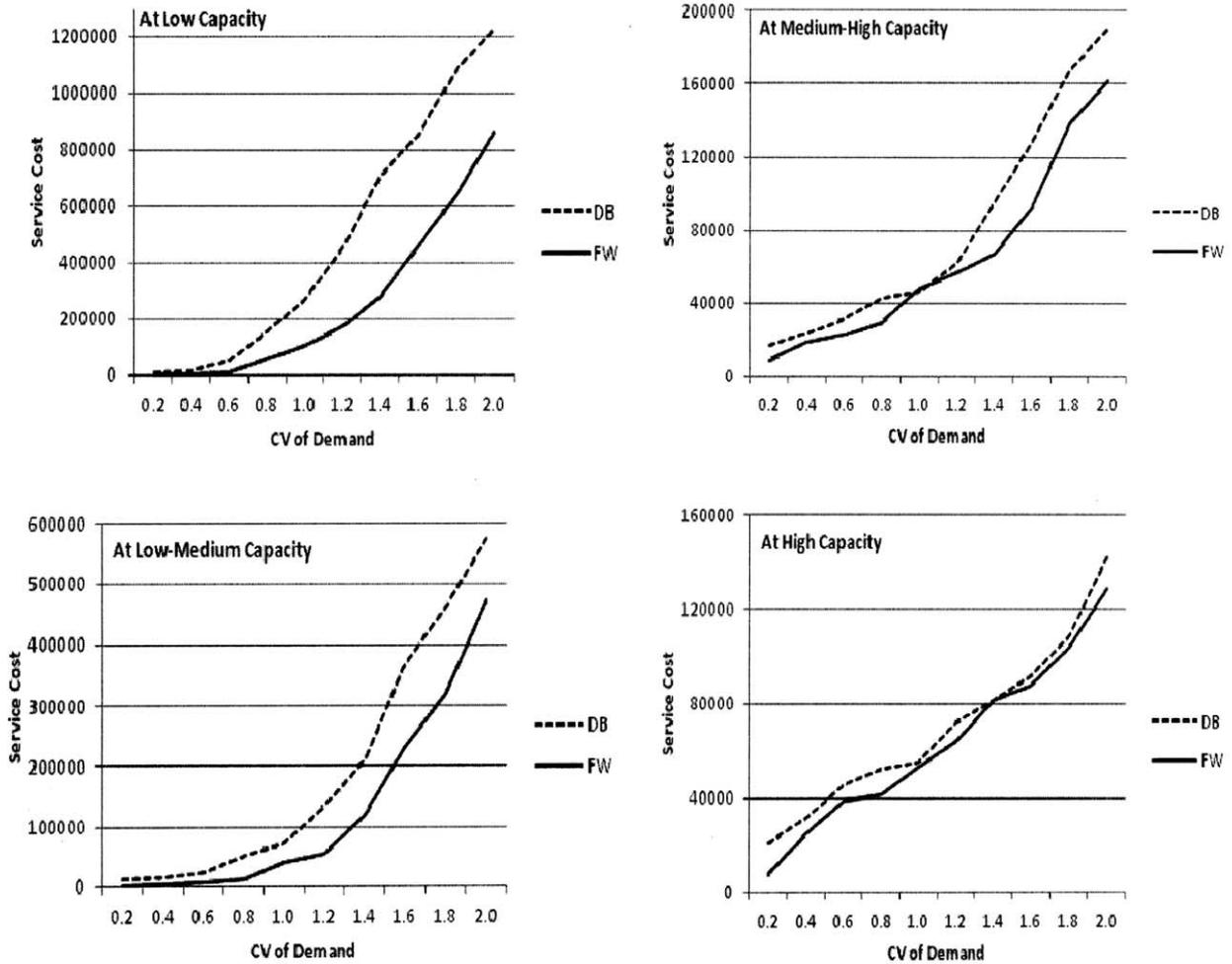


Figure 7. The trend of service cost with increasing capacity

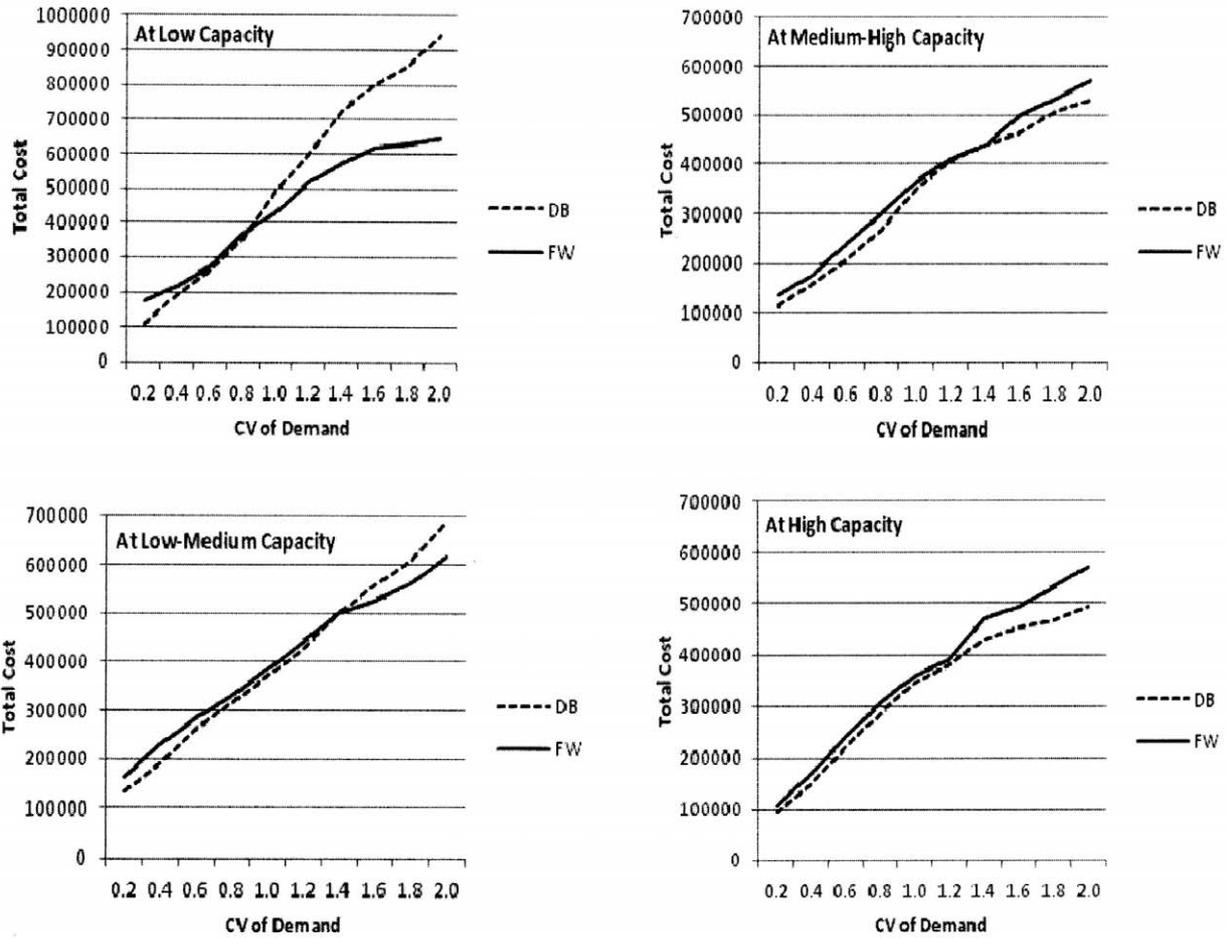


Figure 8. Results from additional experiments under (s, S) inventory policy

downturn, it can be suggested that supply chain managers may have to re-evaluate the location of CODP for their products based on their capacity plans. To facilitate the decision making process for positioning CODP in semiconductor supply chains, Figure 9 proposes a decision framework for positioning CODP based on the experimentation in this paper.

Figure 9 recommends the positioning of CODP based on the level of capacity and demand variability. When a product has low demand variability, its CODP may stay upstream (or at DB in terms of current industry practice), or it can be determined by its market situation if capacity level is relatively low. For example, if capacity outlook seems to be enough, they can position its CODP at DB or upstream in the supply chain. If not, companies need to see the market situation and decide which is more critical – providing a high service level to its customers or

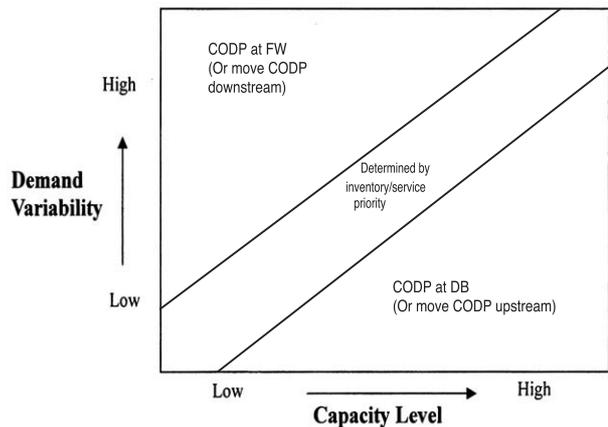


Figure 9. Decision framework for CODP positioning in a semiconductor supply chain

mitigating inventory cost / obsolescence risk of the product. Then as the demand variability of the product increases, positioning CODP at downstream in the supply chain (or at FW in terms of current industry practice) is recommended unless the capacity plan for the product is large enough compared to its demand. When it is hard to tell if capacity will be adequate compared to product demand, the decision maker should see if the current situation for the product requires to maintain stable service level or to maintain lower inventory cost.

Even though the strategic CODP positioning grid in Figure 9 is constructed based on our experimental data, it provides a meaningful insight on how companies should approach CODP positioning decision - the degree of demand variability has to be assessed with the company's capacity plan *concurrently* in CODP positioning decision process. There are some semiconductor suppliers that use different *fixed* CODP positions for each product. Basically these companies analyze the historical demand and determine CODP positions of their products. But if the commitment on capacity becomes uncertain so that the ratio between the capacity and the demand of products fluctuates, the fixed-CODP strategy may bring some substantial risks to their supply chain performance. Depending on the degrees of capacity reduction, the dynamics of CODP location and the demand variability may significantly vary, as it can be observed from our experimentation, and therefore the results and insights from this paper can be leveraged as a guideline for semiconductor companies and their supply chain strategies.

## 5. Conclusion and Future Research

This study aims to determine CODP location under the market, product, and production factors in IDM semiconductor supply chain. Especially our main focus is the possibility of capacity limitation or reduction due to the world-wide economic downturn and the high level of uncertainty in the high-tech industries. First, the type of business model, products, processes, and the supply chain are determined based on the *semiconductor product-process matrix*. Then the feasible stock points in the supply chain are identified and they become the candidates for the strategic CODP position.

Based on these configurations and the external market factors such as demand variability and customer delivery lead-time requirement, simulation experimentation is implemented by adapting and benchmarking previous research that use real semiconductor manufacturing datasets. Finally, the experimental outcomes are analyzed and the decision framework for positioning CODP in a semiconductor supply chain based on the levels of product capacity and demand variability is presented.

In the semiconductor industry, DB has been typically used and recommended as CODP location and there have been some companies that employed different CODPs based on their products. But due to the fast-pace evolution of semiconductor technologies, companies need to keep up with it and therefore have to commit themselves to invest their resources on new machines and their capacity. If difficult financial situations force companies to limit their capital investment on capacity, the sensitivity of lead time against demand variability may increase and can cause unstable supply chain performance if they do not re-evaluate their supply chain strategies in terms of CODP positioning. In this situation, this paper can provide a basis for strategizing CODP positioning based on product, process, demand variability, lead-time variability, and capacity limitation.

The managerial implications from this paper are the following: If the financial situation of the company is good and therefore steady investment on capacity is maintained, using DB as CODP or positioning CODP upstream in a supply chain can remain as an effective strategy. If the constraints in capacity investment become stronger and the capacity plan gets more conservative, they have to re-evaluate the impact of demand variability with the capacity plan concurrently, and then strategically determine if CODP has to move downstream, possibly after assembly and test operations. If the capacity plan will reasonably follow the demand trend but not certain that it will be enough, companies may position the CODP with respect to the market situation where avoiding excessive inventory or providing better service has to be considered more critical.

There are several areas that this research can be improved and extended. First, there are certain factors that cannot be quantitatively captured in our modeling approach. By moving CODP downstream, there are certain benefits such as increased efficiency and facility utilization, thanks to the

economies of scale and more streamlined processes. If these factors can be included in the modeling approach with the feasible ways of measuring those benefits, it can be a meaningful extension of our research. Second, the empirical validation of the CODP positioning framework by using actual datasets can be a natural next direction of our research. Lastly,

this study did not comprehensively consider the other market, product, more performance measures and production factors suggested by Olhager (2003), which established a guideline for CODP research. Even though it may be difficult to include all of the factors and measures in a model, it will be desirable to include them in future research as more as possible.

CODP at WB	Low Capacity (250 wafers / day)				Low-Medium Capacity (400 wafers / day)				Medium-High Capacity (700 wafers / day)			
	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate
0.2	385130	49991	335139	0.9411	386983	83589	303393	0.9467	363122	45619	317503	0.9442
0.4	427042	73959	353084	0.9383	439988	129762	310227	0.9459	384066	58740	325326	0.9432
0.6	502329	86078	416252	0.9301	462894	153323	309572	0.9479	420397	75867	344530	0.9418
0.8	647671	79203	568468	0.9102	541687	152958	388729	0.9392	465005	83913	381091	0.9398
1.0	826422	71669	754753	0.8886	584483	155476	429007	0.9367	519881	89755	430126	0.9369
1.2	1021360	69827	951533	0.8682	655990	144957	511033	0.9296	563397	95784	467613	0.9360
1.4	1225043	68999	1156044	0.8501	712398	138707	573691	0.9255	593113	102341	490772	0.9366
1.6	1415676	71235	1344441	0.8349	866372	130072	736300	0.9098	669278	110157	559121	0.9318
1.8	1612007	73033	1538975	0.8217	1036224	119295	916929	0.8946	693754	117159	576595	0.9333
2.0	1722743	76479	1646264	0.8172	1146754	114856	1031898	0.8868	840973	122277	718696	0.9212

CODP at DB	Low Capacity (250 wafers / day)				Low-Medium Capacity (400 wafers / day)				Medium-High Capacity (700 wafers / day)			
	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate
0.2	141341	136116	5225	0.9991	127718	115601	12117	0.9979	106527	90121	16405	0.9954
0.4	196033	183051	12982	0.9977	146724	132787	13938	0.9976	122169	98071	24098	0.9958
0.6	280011	229527	50484	0.9913	224094	201702	22392	0.9961	175837	144465	31372	0.9946
0.8	358474	204379	154096	0.9742	306054	253685	52369	0.9946	225222	182036	43187	0.9928
1.0	466751	195924	270827	0.9530	330879	260153	70726	0.9886	257287	210850	46437	0.9925
1.2	601722	149750	451973	0.9308	381131	247346	133785	0.9796	302294	239997	62297	0.9904
1.4	857557	146549	711008	0.9099	458193	248361	209562	0.9751	334136	238187	95949	0.9861
1.6	993241	136892	856349	0.8927	585104	218532	366573	0.9576	366347	238671	127675	0.9850
1.8	1228184	143898	1084287	0.8816	661820	201439	460381	0.9392	427853	259923	167931	0.9793
2.0	1369568	143569	1225999	0.8574	771389	196501	574888	0.9274	464505	274168	190338	0.9764

CODP at FW	Low Capacity (250 wafers / day)				Low-Medium Capacity (400 wafers / day)				Medium-High Capacity (700 wafers / day)			
	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate	Average Total Cost	Average Holding Cost	Average Service Cost	Average OTD rate
0.2	161760	161760	0	1.0000	151397	149575	1823	0.9997	122096	113440	8656	0.9985
0.4	270915	268698	2218	0.9996	204572	201170	3402	0.9994	142757	124644	18113	0.9968
0.6	322057	312267	9790	0.9983	284337	276781	7556	0.9987	184968	162531	22436	0.9961
0.8	332128	276049	56078	0.9906	347245	335911	11334	0.9981	236299	206533	29765	0.9950
1.0	345539	240344	105194	0.9736	368883	328845	40039	0.9936	286280	237873	48407	0.9923
1.2	428040	255178	172862	0.9565	371723	317512	54212	0.9917	316361	259810	56551	0.9914
1.4	527759	248662	279097	0.9384	394450	273740	120710	0.9824	349941	283215	66726	0.9873
1.6	715815	251616	464199	0.9209	467874	237847	230028	0.9684	381949	289593	92356	0.9860
1.8	899373	256859	642514	0.9013	553889	234387	319502	0.9578	434613	296103	138510	0.9819
2.0	1125619	264275	861344	0.8804	698916	226084	472832	0.9405	468694	307340	161354	0.9799

Appendix : Results from the experimentation under the other three levels of capacity (Please refer to Table 4)

## REFERENCES

- [1] Atherton, L.F. and Atherton, R.W. (1995), *Wafer Fabrication: Factory Performance and Analysis*, Kluwer International Publisher.
- [2] Brown, A.O., Lee, H.L. and Petrakian, R. (2000). "Xilinx improves its semiconductor supply chain using product and process postponement." *Interfaces*, Vol. 30, No. 4, pp.65-80.
- [3] Brown, C. and Linden, G. (2009), *Chips and Change: How the Crisis Reshapes the Semiconductor Industry*, The MIT Press.
- [4] Chang, Y. and Makatsoris, H. (2001), "Supply chain modeling using simulation," *International Journal of Simulation*, vol. 2, no. 1, pp.24-30.
- [5] Chen, T. (2012), "A flexible way of modeling the long-term cost competitiveness of a semiconductor product," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Forthcoming (Available online 25 May, 2012).
- [6] Christopher, M. (1998), "Logistics and supply chain management", London: Pitman Publishing.
- [7] Chong, C. S., Lendermann, P., Gan, B. P., Duarte, B. M., Fowler, J. W. and Callarman, T.E. (2004), "Analysis of a customer demand driven semiconductor supply chain in a distributed simulation test bed," *2004 Winter Simulation Conference*, pp.1902-1909.
- [8] Cochran, J.K. and Kim, S. (1998), "Optimum junction point location and inventory levels in serial hybrid push/pull production systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 36, No. 4, pp.1141-1155.
- [9] Dengiz, B. and Akbay, K.S. (2000), "Computer simulation of a PCB production line: metamodeling approach," *International Journal of Production Economics*, Vol. 63, No. 2, pp.195-205.
- [10] Duarte, B. M., Fowler, J.W., Knutson, K., Gel, E. and Shunk, D.L. (2002), "Manufacturing supply chain applications 2: parameterization of fast and accurate simulations for complex supply networks" *2002 Winter Simulation Conference*, pp.1327-1336.
- [11] Federgruen, A. (1993), "Recent Advances in Production and distribution Management." *Perspectives in Operations Management*. R Sarin (ed.), Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [12] Fisher, M. L. (1997), "What is the right supply chain for your product," *Harvard Business Review*, March-April, pp.105-116.
- [13] Fowler, J. W. and Park, S. (2001), "Efficient Cycle Time-Throughput Curve Generation Using Fixed Sample Size Procedure", *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No.12, pp.2595-2613.
- [14] Garrou, P. (2000), "Wafer level chip scale packaging (WL-CSP): an overview," *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, Vol. 23, No. 2, pp.198-205.
- [15] Grosfeld-Nir, A., Magazine, M., and Vanberkel, A. (2000), "Push and pull strategies for controlling multistage production systems," *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 11, pp.2361- 2375.
- [16] Harrison, T.P., Lee, H.L., and Neale, J.J. (2004), "The practice of supply chain management: where theory and application converge", New York: Springer Science & Business Media.
- [17] Hegedus, M. G. and Hopp, W. J. (2001), "Due date setting with supply constraints in systems using MRP," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 39, No. 3-4, pp.293-305.
- [18] Hirakawa, Y. (1996), "Performance of a multi-state hybrid push/pull production control system," *International Journal of Production Economics*, Vol. 44, No. 2, pp.129-135.
- [19] Jain, S., Gan, B., Lim, C. and Low, Y. (2000). "Bottleneck based modeling of semiconductor supply chains," *International Conference on Modeling and Analysis of Semiconductor Manufacturing*, Tempe, Arizona, May pp.10-12.
- [20] Kim, J.I. (2006), "Strategic positioning of decoupling points on the semiconductor supply chain", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 6, No. 1, pp.79-93.
- [21] Kim, S., Fowler, J.W, Shunk, D.L., and Pfund, M.E. (2012), "Improving the push-pull strategy in a serial supply chain by a hybrid push-pull control with multiple pulling points", *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 19, pp.5651-5668.
- [22] Leachman, R.C., Benson, R.F., Liu, C., and Raar, D.J. (1996), "IMPreSS: an automated production-planning and delivery-quotation system at Harris Corporation-Semiconductor Sector," *Interfaces*, Vol. 26, No. 1, pp.6-37.

- [23] Lee, H.L., Billington, C., and Carter, B. (1993), "Hewlett-Packard gains control of inventory and service through design for/ localization", *Interfaces*, Vol.23, No.4, pp.1-11.
- [24] Lee, Y.H. (2001), "Supply chain model for the semiconductor industry of global market." *Journal of Systems Integration*, Vol. 10, No. 3, pp.189-206.
- [25] Li, J.W. (2003), "Simulation-based comparison of push and pull systems in a job-shop environment considering the context of JIT implementation," *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 3, pp.427-447.
- [26] Mrena, C. (1997), "Supply Chain Strategies at Sun Microsystems." *Supply Chain Management Conference*, Santa Clara University, CA, May 5.
- [27] Nahmias, S. (2004), "Production and operations analysis", 5<sup>th</sup> edition, New York: McGraw-Hill.
- [28] Naylor, J.B., Naima, M.M., and Berry, D. (1999), "Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain", *International Journal of Production Economics*, Vol. 62, No.1-2, pp.107-118.
- [29] Olhager, J. (2003), "Strategic positioning of the order penetration point," *International Journal of Production Economics*, Vol. 85, No. 3, pp.319-329.
- [30] Sivakumar, A.I. (2000), "Simulation based cause and effect analysis of cycle time distribution in semiconductor backend," *2000 Winter Simulation Conference*, pp.1464-1471.
- [31] Smith, M. (1997), *Application-Specific Integrated Circuits*, Upper Saddle River: Addison-Wesley.
- [32] SRI International (2001), "Global impacts of FedEx in the new economy," Technical Report.
- [33] Sun, Y., Shunk, D.L, Fowler, J.W, and Gel, E. (2010), "Strategic factor-driven supply chain design for semiconductors", *California Journal of Operations Management*, Vol. 8, No. 1, pp.31-43.
- [34] Tako, A. and Robinson, S. (2012), "The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context", *Decision Support Systems*, Vol.52, No.4, pp.802-815.
- [35] TechWeb Encyclopedia (2009), <http://www.techweb.com>.
- [36] Van Der Zee, D. and Van Der Vorst, J. (2005), "A Modeling Framework for Supply Chain Simulation: Opportunities for Improved Decision Making", *Decision Science*, Vol.36, No. 1, pp.65-95.
- [37] Vardar, C., Gel, E.S., and Fowler, J.W. (2007), "A framework for evaluating remote diagnostics investment decisions for semiconductor equipment suppliers," *European Journal of Operational Research*, Vol. 180, No. 3, pp.1411-1426.
- [38] Waddington, T., Childerhouse, P., Towill, D.R. (2002), "Engineer your supply chain to cope with demand uncertainty," *International Journal of Operations Management and Control*, Vol. 27, No. 10, pp.14-18.



김중인

한양대학교 산업공학과 학사 및 석사  
Arizona State University 산업공학과 박사

현재 : 홍익대학교 상경대학 교수  
관심분야 : 마케팅, 공급사슬관리



김승환

성균관대학교 산업공학과 학사  
Arizona State University 산업공학과 석사 및 박사

현재 : 아주대학교 경영대학 교수  
관심분야 : 생산관리, 공급사슬관리

# 농수산물 도매시장 입지 선정에 있어 연결망 중심성과 효율성 비교 검증

송지현<sup>†</sup>

한국철도기술연구원 녹색교통시스템공학연구소

## A comparison between network centrality and efficiency on selecting optimal location of the agricultural wholesale market

Ji Hyun Song<sup>†</sup>

Green Transport & Logistics Institute, KRRI

The purpose of this study is to investigate the relevance of application of social network analysis for location selection of agricultural wholesale market. We measured the centrality of agricultural goods volume in Korean 167 si-gun, and compared with the efficiency of the agricultural wholesale market.

The study implications are as followings. First, centralities have relevances to agricultural goods volume and efficiency of the agricultural wholesale market. Especially, Gunsan-si and Pyeongtaek-si have high centralities, but not have the agricultural wholesale market. In addition, agricultural wholesale markets of Seoul Garak, Seoul Gangseo, Busan Omgung, Busan Gukje, Gwangju Gakhwa have high centralities, transport volumes and also have efficiency. For conclusion, social network analysis will be new attempt as appropriate method for selecting optimal locations of the agricultural wholesale market.

**Keywords:** agricultural wholesale market, centrality, efficiency, social network analysis

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경 및 목적

1990년대 조성되기 시작한 농수산물 도매시장은 상적유통기

능, 물적유통기능, 유통정보기능, 수급조절기능 등의 기능을 하고 있다. 첫째, 상적유통기능은 농수산물의 매매거래에 관한 기능으로서 가격형성·대금결제·금융기능 및 위험부담 등의 기능이며, 둘째, 물적유통기능은 생산물 즉 재화의 이동에 관한 기능으로서 집하, 분산, 저장, 보관, 하역, 운송 등을 포함한다. 셋째, 유통정보기능은 시장동향, 가격정보 등의 각종 유통관련 자료들이 도매

<sup>†</sup> **Corresponding author:** Green Transport & Logistics Institute, KRRI, #176 Railroad museum road, Uiwang-si, Gyeonggi-do 437-757, Korea  
Tel: 82-31-460-5865 FAX : 82-31-460-5021 E-mail: kafka0703@naver.com

2012년 12월 3일 투고, 2013년 2월 4일 수정본 접수, 3월 8일 게재 확정.

시장에서 생성/수집/전파됨을 의미한다. 마지막으로 수급조절기 능은 도매시장법인 및 중도매인에 의한 물량반입, 반출, 저장, 보관 등으로 농수산물의 공급량을 조절하고, 가격변동을 통하여 수 요량을 조절하는 기능이다.

지금까지 도매시장내 경쟁촉진과 도매시장에 대한 관리 강화, 활성화를 통한 효율성 제고 등이 꾸준히 시도되어 왔지만 이러한 역할을 제대로 수행하기 위하여 도매시장의 입지선정은 가장 중요한 요인이 될 수 있다. 그러나 종전에 행해진 입지선정방식은 단순 거래물량과 지역사회경제지표를 고려한 것으로 다소 평면적 이고 일차원적인 면이 없지 않다.

연결망 분석은 개인간 상호작용이나 관계분석에서부터 조직 간, 지역간, 국가간 관계에서 형성되는 구조적 지위나 지배력을 파악하는 데 널리 사용되어 왔다. 최근에는 국제간 항공여객 흐름이나 국제무역 및 도시공간구조분석이나 도시간 상호작용을 통해 형성되는 계층성을 파악하는 데도 적용되고 있다. 본 연구 에서 연결망 분석은 기존에 취급물량, 또는 이동거리 등으로 입 지 선정에 참고한 연구와 비교하였을 때 타지역과의 관계를 고 려하며 2분화된 관계자료를 활용하여 타지역과의 교류정도를 나 타내고, 또한 지역단위 내에서의 중심성, 농수산물 이동 네트워크 내에서의 지역 기여도, 지위를 확인하고 상대적으로 비교하 는 데 의미를 둔다. 따라서 본 연구는 농산물 이동 중심성 분석 을 통해 도출된 각 지역 중심성 결과를 가지고, 기존 도매시장 운영 효율성 분석을 실시하고 상관관계 분석을 통해 연결망 분 석결과를 농수산물 도매시장 입지 선정의 한 방법으로서의 가치 를 평가하여 본다.

1.2 농수산물 도매시장 운영현황

농수산물 도매시장은 「농수산물유통 및 가격 안정에 관한 법 률」에 의해 개설되기 시작하였다. 이 법에 따르면 ‘농수산물도매 시장’이란 특별시·광역시·특별자치시·특별자치도 또는 시가 양곡류·청과류·화훼류·조수육류·어류·조개류·갑각류·해 조류 및 임산물 등 대통령령으로 정하는 품목의 전부 또는 일부를 도매하기 위하여 관할구역에 개설하는 시장이다. 농수산물 도매 시장은 개설자와 투자주체에 따라 구분할 수 있다.

표 1. 개설자에 따른 도매시장 분류

구 분	개설자	개설허가자
중앙도매시장	특별시·광역시, 특별자치도	농림수산식품부장관
지방도매시장	시 또는 특·광역시, 특별자치도	시→도, 특·광역시, 특별자치도→자체
민영도매시장	민간	시, 도지사

표 2. 투자주체에 따른 도매시장 분류

구 분	개설자			개설 허가자
	정부	지자체	민간	
공영도매시장	O	O	X	시
일반법정 도매시장	X	X	O (기부체납)	시
민영도매시장	X	X	O	민간

농수산물 도매시장은 「국도의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의 한 기반시설 중 ‘유통·공급시설’이며, 도시계획시설로는 ‘시장’ 에 해당한다. 「농수산물 유통 및 가격 안정에 관한 법률 시행령」 제2조(농수산물도매시장의 거래품목)에 따르면 농수산물도매시 장에서는 양곡부류, 청과부류, 축산부류, 수산부류, 화훼부류, 약 용작물부류, 그밖에 농어업인이 생산한 농수산물과 이를 단순가 공한 물품으로서 개설자가 지정하는 품목 등을 거래할 수 있다.

2012년 현재 전국 농수산물 도매시장은 총 48개소로 부류별로 는 공영도매시장이 33개소, 일반법정도매시장이 13개소, 민영도 매시장이 2개소이다. 지역별로는 경북에 8개소로 가장 많고, 경 기 5개소, 서울 4개소, 부산/대구/인천/광주광역시 3개소 순이다.

농수산물 도매시장의 품목별 판매량을 보면 지난 2개년간 물 량은 3.3% 증가한 반면, 판매금액으로 보았을 때는 5.7% 감소를 보였다. 특히 일반법정도매시장의 경우 물량과 판매액 모두 증가 하였지만, 공영도매시장의 경우 물량은 3.3% 증가한 반면, 판매 액은 6.1% 감소하였고, 민영도매시장의 경우에는 물량과 판매액 에서 각각 16.3%, 8.6% 가량 감소하였다.

1.3 기존연구

(1) 시설입지선정

산업단지와 유통시설 등의 입지 선정을 위한 연구에서 다양한 모형과 방법이 시도되었다. 기존연구를 살펴본 결과 대체적으로 상업/산업시설의 입지 선정과 관련하여 수송모형과 환적모형, GIS, AHP, 연결망 분석, 신경망모형, 다기준의사결정 등이 이용 되었다.

김명환 외(1991)는 국내산 총 육류 추정 공급량을 비선형환적 모형(nonlinear transshipment model)에 적용하여 최소의 비 용으로 수집, 도축, 분배할 수 있는 도축장의 입지를 분석하고 축 산물 도매시장과 도축장의 경영개선방안을 제시하였다.

이상훈(1997)의 연구에서는 경기도에 물류시설의 적정 입지와 규모를 결정하기 위하여 선형환적모형(linear transshipment model)을 사용하였으며 경기지역 공로수송물량의 경로별 물동량 이동현황을 기초로 물량이 반입지로부터 이동하여 물류단지에 보

표 3. 농수산물 도매시장 지역별/부류별 현황

(2012년 11월 기준, 단위 : 개소)

	계	공영 도매	일반법정도매시장						민영 도매	공영도매시장 소재지역
			소계	청과	수산	축산	양곡	약용		
계	48	33	13	5	2	4	1	1	2	
서울	4	2	2	-	1	-	1	-	-	서울가락, 서울강서
부산	3	3	-	-	-	-	-	-	-	부산염곡, 부산반여, 부산국제
대구	3	1	2	-	-	1	-	1	-	대구북부
인천	3	2	1	-	-	1	-	-	-	인천구월, 인천삼산
광주	3	2	1	-	-	1	-	-	-	광주각화, 광주서부
대전	2	2	-	-	-	-	-	-	-	대전오정, 대전노은
울산	1	1	-	-	-	-	-	-	-	울산
경기	5	4	1	-	-	1	-	-	-	수원, 안양, 안산, 구리
강원	3	3	-	-	-	-	-	-	-	춘천, 강릉, 원주
충북	2	2	-	-	-	-	-	-	-	충주, 청주
충남	2	1	-	-	-	-	-	-	1	천안
전북	3	3	-	-	-	-	-	-	-	전주, 익산, 정읍
전남	3	1	2	2	-	-	-	-	-	순천
경북	8	3	4	3	1	-	-	-	1	포항, 안동, 구미
경남	3	3	-	-	-	-	-	-	-	창원, 진주, 마산

자료 : <http://market.affis.net> 농림수산물식품부 도매시장 통합홈페이지

관될 경우의 수송비와, 물류단지에서 출발하여 경기지역내 또는 경기도의 지역으로 반출하는 경우의 수송비를 최소화시키는 지점을 물류단지로 결정하도록 구성하였다.

김완배 외(2004)는 산지에서 물류센터까지의 수송비와 물류센터에서 소비자까지의 수송비 합을 최소화시키는 환적모형을 수립하여 생산지-물류센터, 물류센터-소비지의 수송량을 결정하였다.

김정희(2000)은 농산물유통의 상당수를 차지하는 물류비절감이 선행되어야 한다는 입장에서 농산물 물류센터의 적정배치를 하고자 하였다. 입지선정 조건으로 지형, 토지이용현황, 농산물 물동량 예측, 화물교통로와의 접근을 고려하여, 각 조건에 맞는 지역을 GIS(geographic information system) 공간분석기법을 이용해 추출하여 최적지로 제시하였다.

조성호(2011)은 GIS를 이용한 근거리 시설 탐색(finding closet facility)을 통해 푸드마켓 이용자들의 푸드마켓 접근성을 분석하고 취약지역에 입지를 선정한 후 접근성 변화를 검토하였다. 이용자 밀도 분석을 위해 커널밀도 추정분석을 실시했고, 푸드마켓 이용자의 주소 정보와 푸드마켓의 위치 정보를 이용하여 푸드마켓 이용자의 공간적 분포, 이동거리, 이동경로 등을 파악하였다.

김규창(1998)은 농산물 종합물류센터 조성을 위하여 토지이용·비용·교통여건·물동량처리용이성 등 물류센터 선정의 주요인을 조사하여 각 요인에 대한 가중치를 부여하여 종합적인 평가를 통한 입지방안을 연구하고, AHP(analytic hierachy process)를 적용하여 물류센터를 조성할 각 지역에서 활용할 수 있는 방안을 모색하였다.

Ashrafzadeh et al.(2012)는 다기준의사결정(MCDM) 중 퍼지 TOPSIS(fuzzy technique for order performance by similarity to ideal solution)을 이용하였다. 인건비, 교통비, 하역비, 지가, 숙련된 노동력, 노동력확보 및 용지이용 용이, 기후, 교통수단 및 정보통신의 확보, 소비자/생산지 거리, 소요시간, 민감성 등의 자료를 가지고 참고 입지를 선정하였다.

국승용(2007)은 농산물 물류센터의 입지 선정을 위해 김완배 외(2004)의 연구에서 환적모형을 통해 생산된 '산지-경유지, 경유지-소비지 행렬'을 이용하여 친환경농산물의 시군별 생산량과 소비량을 추정하고 사회연결망분석 SNA(social network analysis)의 구조적 등위성과 중심성(매개중심성) 분석을 실시하였다. 연구 결과 취급비중이 높은 물류센터가 대부분의 연결망에서 높은 중심성을 보였다. 입지 선정 과정에서 연결망 분석을 보완적으로 사용함으로써 산지-경유지-소비지의 물류네트워크를

표 4. 농수산물 도매시장 품목별 판매량

(단위 : 톤, 억원)

구 분		'10		'11		증감률(%)	
		물 량	금 액	물 량	금 액	물 량	금 액
계		6,872,622	123,196	7,096,306	116,226	3.3	△5.7
공 영	소계	6,577,034	113,429	6,797,118	106,478	3.3	△6.1
	청과	6,226,402	96,132	6,468,106	94,581	3.9	△1.6
	(채소)	(4,869,507)	(69,425)	(4,936,144)	(63,250)	1.4	△8.9
	(과일)	(1,356,895)	(26,707)	(1,531,962)	(31,331)	12.9	17.3
	수산	287,059	10,075	320,488	10,804	11.6	7.2
	축산	63,573	7,222	8,524	1,093	△86.6	△84.9
일 반 법 정	소계	278,705	9,512	285,053	9,515	2.3	0.03
	청과	50,418	827	50,216	795	△0.4	△3.9
	(채소)	(21,634)	(221)	(20,616)	(175)	△4.7	△20.8
	(과일)	(28,784)	(606)	(29,600)	(620)	2.8	2.3
	수산	107,509	3,582	102,035	3,700	△5.1	3.3
	축산	73,234	4,084	59,453	3,907	△18.8	△4.3
	양곡 약용	47,145 399	976 43	73,103 246	1,077 36	55.1 △38.3	10.3 △16.3
민영	소계	16,883	255	14,135	233	△16.3	△8.6
	청과	16,883	255	14,135	233	△16.3	△8.6
	(채소)	(6,882)	(66)	5,373	55	△21.9	△16.7
	(과일)	(10,001)	(189)	8,762	178	△12.4	△5.8

자료 : <http://market.affis.net> 농림수산물부 도매시장 통합홈페이지

시각화하여 유통시스템에 대한 직관적인 이해를 높일 수 있으며 다양한 네트워크 지표를 활용하여 각 물류센터가 갖는 기능과 특성을 다른 각도에서 활용할 수 있다고 제시하고 있다.

## (2) 효율성 분석

장철호(2008)는 DEA/Window분석과 MPI분석을 활용하여 전국 농수산물 도매시장 29개소를 대상으로 2001년부터 2006년까지 6년간 변화에 따른 동태적 효율성 분석을 실시하였다. 투입요소로는 농수산물도매시장의 시설면적, 거래관계자 수, 임직원 수, 자본금을 선정하였고, 산출요소로는 1일평균 거래금액을 선정하였다. 그 결과 효율성은 점차적으로 하락하였으며 그 요인이 기술적 요인에 있는 것으로 분석하였다. 농수산물 도매시장 중 안산 농수산물 도매시장의 경우 꾸준히 생산성이 향상되었으며 중앙도매시장이 지방도매시장보다 생산성악화가 적은 것으로 분석하였다.

장동현(2009)은 농수산물 도매시장 중 전국 32개 공영 도매시장을 대상으로 자료포락분석(DEA)에 의한 효율성을 분석했다.

투입요소로는 총 종사자, 시설면적, 자본금을, 산출요소로는 매출액과 영업입수를 변수로 삼았다. 그 결과 분석대상 공영도매시장 32개소의 효율성 평균은 0.780731, 순수기술효율이 0.820779, 규모효율성이 0.953387이었고, 규모수익이 규모에 대한 보수증가가 13개, 규모에 대한 보수 불변이 7개, 규모에 대한 보수감소가 12개로 분석되어 총 종사자, 시설면적, 자본금에 있어서 개선할 여지가 있다고 설명하고 있다.

김윤두(2005)는 23개 농수산물 도매시장을 대상으로 투입과 산출 자료로 시설면적, 유통인 수, 임직원 수, 1일 평균 거래물량, 장려금, 고객만족도를 이용하였다.

이상덕 외(2002)는 전국 15개 공영농수산물 도매시장을 중심으로 효율성을 평가하였다. 투입요소로는 시설면적, 유통인 수, 임직원 수, 자본금을 사용하였고 산출요소로는 연간 거래금액을 이용하였다.

표 5. 시설입지선정 연구

연구자(연구년도)	입지선정 대상	이용자료	방 법
김명환 외(1991)	축산물 도매시장과 도축장	연도별, 지역별 쇠고기, 돼지고기의 수요 및 공급량	비선형 환적모형
이상훈(1997)	경기도 물류시설	경기도 공로수송물량의 경로별 물동량 이동현황	선형환적모형
김완배 외(2004)	친환경 농산물 물류센터	친환경농산물의 지역별 생산량 및 소비량	환적모형
김정희(2000)	농산물 물류센터	지형, 토지이용 상태, 농산물 물동량 예측, 화물교통로 접근	GIS 공간분석기법
조성호(2011)	푸드마켓	푸드마켓 이용자의 공간적 분포, 이동거리, 이동경로	커널밀도추정, GIS 근거리 시설탐색
김규창(1998)	농산물 종합 물류센터	토지이용비용, 교통여건, 물량처리용이성	AHP
Maysam Ashrafzadeh et al. (2012)	참고	인건비, 교통비, 하역비, 지가, 숙련된 노동력, 노동력확보 및 용지이용 용이, 기후, 교통수단 및 정보통신의 확보, 소비자/생산지 거리, 소요시간, 민감성	퍼지 TOPSIS
국승용(2007)	농산물 물류센터	친환경농산물 시군별 생산량, 소비량	연결망 분석

표 6. 농수산물 도매시장 효율성 분석 연구

연구자(연구년도)	분석 대상	이용자료	방 법
장동현(2009)	농수산물도매시장	투입요소 : 총 종사자, 시설면적, 자본금 산출요소 : 매출액, 영업일수	DEA
장철호(2008)	농수산물도매시장	투입요소 : 시설면적, 거래관계자 수, 임직원수, 자본금 산출요소 : 1일평균 거래금액	DEA/Window /MPI
김운두(2005)	농수산물도매시장	투입요소 : 시설면적, 유통인 수, 임직원 수 산출요소 : 1일 평균 거래물량, 장려금, 고객만족도	DEA
이상덕 외(2002)	농수산물도매시장	투입요소 : 시설면적, 유통인 수, 임직원 수, 자본금 산출요소 : 연간 거래금액	DEA

## 2. 연구자료 및 방법

### 2.1 연구자료

#### (1) 연결망 분석

연결망 분석(network analysis)을 위해서 국토교통부 국가교통DB(KTDB)센터가 2012년 발표한 2010년 기준 '품목별 기종점(O/D) 화물통행량' 자료를 이용하였다. 특히 농수산물 도매시장 거래물량으로 화물수송실적 자료 중 '농산물'의 물동량을 활용하도록 하였다. '농산물'은 작물생산물 및 달리 분류되지 않은 기타 작물생산물, 통작업생산물, 채소, 화훼작물 및 중요생산물, 채소 작업생산물, 중요생산물, 시설작물 생산물 등을 포함하고 있다.

이 자료의 출발지/도착지(O/D) 지역구분은 행정중심복합도시 1개 지역을 포함하여 크게는 167개 시군, 작게는 250개 시군구 체계로 되어있다. 논문에서는 167개 시군을 중심으로 분석을 실

시하였다. 연결망 분석에 사용되는 프로그램은 NetMiner 2.6 Ver.이다.

#### (2) 효율성 분석

도매시장 운영 효율성 분석을 위하여 법인수, 부지면적, 건물 면적, 총 종사자 수, 출하자 수, 하역인원을 투입변수로 하였고, 거래물량을 산출변수로 하였다. 각 도매시장의 현황자료는 농림수산식품부(2012)의 「2011년도 농수산물도매시장통계연보」를 참고하였다. DEA(data envelopment analysis)분석에는 EMS(efficiency measurement system) 1.3 Ver.를 사용하였다.

표 7. KTDB 농산물 출발-도착량 기술통계

(단위 : 톤/년)

	출발량	도착량
평균	337,197	337,197
표준오차	82,035	73,320
중앙값	138,619	99,665
표준편차	1,060,126	947,506
첨도	68	59
왜도	8	7
범위	10,704,343	9,491,192
최소값	0(울릉군)	0(울릉군)
최대값	10,704,343(인천시)	9,491,192(서울시)
합	56,311,873	56,311,873
관측수	167	167

표 8. 공영 농수산물 도매시장 효율성 변수 기술통계

	법인수	부지 면적	건물 면적	종사자 수	출하자 수	하역 인원	거래 물량
평균	3	99,663	47,073	544	15,518	109	205,973
표준오차	0	16,106	7,018	163	5,844	39	69,815
중앙값	3	74,461	29,872	292	4,517	50	85,960
표준편차	1	92,523	40,317	936	33,572	227	401,058
첨도	7	17	2	26	24	28	25
왜도	2	4	2	5	5	5	5
범위	8	511,952	155,601	5,386	189,919	1,318	2,295,977
최소값	1	31,499	7,489	84	6	6	17,156
최대값	9	543,451	163,090	5,470	189,925	1,324	2,313,133
관측수	33	33	33	33	33	33	33

2.2 연결망 분석

본 연구에서는 농산물의 지역간 이동량(물동량) 자료를 이용한 중심성(매개, 정도, 위세중심성)을 분석하였다.

연결망 분석은 행위자 및 행위자 간의 연결 관계를 그래프 이론(graph theory)과 행렬(matrix)을 사용하여 표현한다. 각 연결 관계의 주체를 노드(node)라 하고, 2개 이상의 노드간에 형성된 관계를 연결 또는 링크(link, tie)라고 한다. 본 연구에서 노드는 각 시군이며, 링크는 농산물의 이동노선(물동량)이다.

네트워크 데이터는 행렬(1)로 표현할 수 있으며 이러한 행렬을 '인접행렬'이라고 한다. 인접행렬은  $g \times g$ ( $g$  by  $g$ ) 정방행렬로 행과 열은 네트워크 내의 각각의 노드를 의미한다. 하나의 인접행렬을  $A$ 라고 하면 행렬  $A$  성분  $a_{ij}$ 는 노드  $i$ 에서  $j$ 로 가는 연결선이 된다.

표 9. KTDB 농산물 출발-도착 물동량 행렬

	도착지1	도착지2	도착지3	...	도착지167
출발지1	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{167}$
출발지2	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	...	$a_{267}$
출발지3	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	...	$a_{367}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
출발지167	$a_{1671}$	$a_{1672}$	$a_{1673}$	...	$a_{167167}$

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1g} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{ig} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{g1} & \cdots & a_{gj} & \cdots & a_{gg} \end{bmatrix} \cdots (1)$$

$a_{ij}$  = 노드  $i$ 와 노드  $j$ 간 관계 (물동량)

작은 연결선까지 고려하기에는 노드와 링크의 수가 많기 때문에 전체 물동량의 1/(167×167)을 기준으로 그 이하 물동량은 분석대상에서 제외하도록 하였다.

**(1) 매개중심성(betweenness centrality)**

매개중심성은 서로 다른 노드를 연결시켜주는 역할이 큰 노드가 큰 중심성을 갖도록 고안된 방법이다. 매개중심성은 서로 다른 두 노드를 연결하는 경우의 수 중에서 특정노드를 경유할 비율로 표현될 수 있다. 즉 j노드와 k노드를 연결하는 최단 경로의 수를  $g_{jk}$ 라 하고 그 중 노드 i를 경유하는 연결의 수를  $g_{jk}(n_i)$ 라 하면, 매개중심성  $C_B$ 는 (2)과 같다.

$$C_B(n_i) = \sum_j \sum_k \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \dots (2)$$

$g$  : 네트워크 내 노드의 수  
 $C_B$ 의 최대값은  $(g-1)(g-2)/2^4$ , 최소값은 0

$C_B$ 의 최대값이 1이 되도록 표준화한  $C'_B$ 는 (3)과 같이 정의된다.

$$C'_B(n_i) = \frac{C_B(n_i)}{(g-1)(g-2)/2} \dots (3)$$

$C'_B$ 의 값을 비교하여, i가 네트워크 내에서 노드간의 상호연결을 성사시키는 비중을 알 수 있다(국승용, 2007). 이는 경우지로서 도매시장의 기능을 잘 나타내주는 지표로 활용될 수 있다.

**(2) 정도중심성(degree centrality)**

정도중심성은 절대적 중심성과 상대적 중심성으로 구분된다. 절대적 중심성은 한 점 주변에 직접적으로 연결되어있는 이웃점의 '절대적' 수로 측정된다. 그러나 절대적 정도중심성(4)에서는 노드들의 수에 영향을 받기 때문에 네트워크 매개의 비교가 불가능하므로 이러한 단점을 해결하기 위해 표준화시킨 상대적 정도중심성(5)을 이용한다. 노드( $n_i$ )의 절대적 정도중심성은 다음과 같다.

$$C_D(n_i) = d(n_i) = \sum_j x_{ij} \dots (4)$$

노드( $n_i$ )의 상대적 정도 중심성은 네트워크 전체 노드의 수에서 1을 뺀 값에 절대적 정도중심성으로 나눈 값이다.

$$C'_D(n_i) = \frac{d(n_i)}{g-1} \dots (5)$$

$g$  : 네트워크 내의 전체 노드 수  
 $d(n_i)$  : 절대적 연결정도 중심성

한 노드에서 측정된 연결정도 중심성은 그 노드에서 나가는 방향이면 외향 정도중심성(out-degree centrality), 들어오는 방향이면 내향 정도중심성(in-degree centrality)으로 나누어진다(송영진, 2011). 외향 정도중심성은 농산물 생산지 정도중심성, 내향 정도중심성은 농산물 소비지 정도중심성으로 볼 수 있다.

**(3) 위세중심성(prestige centrality)**

위세중심성은 아이겐벡터(eigenvector), 또는 위세지수(prestige index)라고도 한다.

노드 i와 연결된 노드들의 중요성을 노드 I의 중심으로 판단하는 데 사용하는 개념이다. 이웃의 중요성이 모두 같지는 않다는 데서 출발한다.

위세중심성은 연결된 노드가 네트워크 상에서 얼마나 중요한 노드인가를 분석하는 것으로 한 노드의 정도중심성과 매개중심성이 낮은 경우에도, 해당 연결망에서 중심성 지표가 높거나 또는 다른 이유에 의해 중요하다고 판단되는 노드와 연결되어 있는 경우 위세중심성은 높게 나올 수 있다. 즉, 연결된 상대방의 중심성과 두 노드간의 유동량이 가중치로 고려되기 때문에 중심성이 높은 노드와 연결되어 있거나 유동량이 많으면 위세중심성은 높아진다. 따라서 주변에 영향력이 상대적으로 높은 노드들과 연결되어 있는 경우 자신의 영향력도 함께 증가된다.

$$A\chi = K_1\chi \dots (6)$$

$A\chi$  : 위세중심성  
 $K_1\chi$  : 인접행렬의 *principal eigenvector*

노드 i의 위세중심성은 아래(7)과 같고 이웃 노드들의 중심성 합에 비례하게 된다.

$$\chi_i = K_1^{-1} \sum_j A_{ij}\chi_j \dots (7)$$

**2.3 효율성 분석**

효율성(efficiency)은 투입과 산출간의 관계를 파악하는 것을 말한다. 투입에 대한 산출의 비율로 주어진 투입요소를 가지고 얼마나 많은 산출물을 내느냐를 가늠할 수 있다.

DEA(Data Envelopment Analysis)는 어떤 조직이 한가지 투입요소를 사용하여 한 단위로 환산할 수 없는 여러 산출요소들을 생산하는 복잡한 상황에서 기술적인 효율성을 측정하기 위해 창안된 방법이다. DEA는 상대적 효율성을 산출한다. 실제의 투입과 산출을 바탕으로 하여 분석에 사용되는 자료의 경험적인 효율성에 근거하며 평가대상기관간의 비교를 통해 상대적인 효율치가 산출된다. 그러므로 투입과 산출간의 함수적 관계나 모수에 대한 가정이 불필요하다.

DEA의 기본모형은 Charnes, Cooper, and Rhodes(1978)에 의해 제시된 CCR모형이다. CCR모형에서의 의사결정단위(DMU) 효율성은 산출물의 가중 합에 대한 투입물 가중 합 비율로 정의되며, DEA모형은 효율성을 평가하기 위한 가중치를 계산하는 최적화모형이다.

$$\text{최대화 } E_k = \frac{\sum_{r=1}^s Y_{rk} U_r}{\sum_{i=1}^m X_{ik} V_i} \quad \text{제약조건 } E_k = \frac{\sum_{r=1}^s Y_{rk} U_r}{\sum_{i=1}^m X_{ik} V_i} \leq 1 \dots (8)$$

- $E_k$  : 농수산물도매시장  $k$ 의 효율성
- $Y_{rk}$  : 농수산물도매시장  $k$ 의 산출요소  $r$ 의 값
- $X_{ik}$  : 농수산물도매시장  $k$ 의 투입요소  $i$ 의 값
- $U_r$  : 산출요소  $r$ 의 가중치
- $V_i$  : 투입요소  $i$ 의 가중치
- $s$  : 산출요소의 수
- $m$  : 투입요소의 수
- $n$  : 농수산물도매시장의 수

CCR모형은 투입요소에 초점을 두는가 또는 산출물에 초점을 두는가에 따라 투입지향 CCR모형(input oriented CCR model)과 산출지향 CCR모형(output oriented CCR model)으로 나누어지며 일반적으로 흔히 투입지향 CCR모형이 쓰인다.

### 3. 분석결과

#### 3.1 매개중심성

매개중심성이란 전체 네트워크에서 그 노드의 중요성을 결정하며 네트워크에 존재하는 모든 노드쌍의 최단경로와 그 최단경로가 특정노드를 경유하는 비율에 대한 측정이다. 매개중심성이 큰 노드는 사회적 클러스터들을 연결하는 연결고리 역할을 한다.

그래프는 매개중심성 분석 결과를 나타내는 것이다. 점은 노드(지역)이며, 숫자는 국가교통DB 상에서 각 지역이 갖는 고유번호이다. 고유번호에 따른 지명은 <표 10>에 함께 나타나있다. 원의

표 10. 매개중심성 분석결과

순위	지역 번호	시군	중심성 지수	물동량 비중	도매시장 개소
1	1	서울	0.324	15.125	2[2]
2	2	부산	0.140	6.851	2
3	6	대전	0.134	2.640	2
4	5	광주	0.125	3.263	2[1]
5	3	대구	0.103	3.938	1[2]
6	4	인천	0.091	14.506	2[1]
7	41	강릉시	0.053	0.475	1
8	7	울산	0.037	3.177	1
9	85	전주시	0.034	1.126	1
10	124	안동시	0.032	0.663	1
11	86	군산시	0.031	1.386	-
12	149	진주시	0.029	0.576	1
13	69	천안시	0.023	1.253	1
14	59	제천시	0.022	0.274	-
15	87	익산시	0.019	0.776	1
16	57	청주시	0.019	1.064	1
17	99	목포시	0.019	0.961	1
18	40	원주시	0.019	0.597	[1]
19	14	평택시	0.018	1.430	-
20	113	영암군	0.017	0.373	-
21	101	순천시	0.014	0.592	1
22	102	나주시	0.011	0.507	-
23	121	포항시	0.010	0.164	1[1]
24	111	강진군	0.010	0.816	-
25	44	속초시	0.009	0.167	-
26	112	해남군	0.008	0.421	-
27	90	김제시	0.008	0.559	-
28	45	삼척시	0.008	0.196	-
29	18	과천시	0.007	0.361	-
30	126	영주시	0.006	0.309	-

주 : [ ]안은 일반·민영도매시장의 개소수임.

중심에 가까워질수록 중심성이 높은 노드이며, 점선으로 된 원의 같은 범주 안에 있으면 비슷한 수준의 중심성을 갖는 노드이다. 이 그래프는 지역간 상대적 중심성 크기를 볼 수 있는 편의성을 가지고 있다. 매개중심성이 가장 높게 나온 서울시의 경우 원의 정가운데 자리잡고 있으며 중심점에서 바깥으로 나갈수록 중심성이 낮은 지역들이 분포되어 있다.

매개중심성 분석결과와 물동량간의 상관계수는 0.846으로 상당히 유의한 것으로 나타났다. 실제로 대도시 중심인 서울, 부산, 대전, 광주, 대구, 인천 순으로 높게 나타났으며 대부분의 30위권 지역 중 18개 시군이 농수산물 도매시장이 입지해있는 시군이었

다. 군산시, 제천시, 평택시, 영암군, 나주시, 강진군, 속초시, 해남군, 김제시, 삼척시, 과천시, 영주시의 경우 도매시장이 입지해 있지 않으나 매개중심성이 높은 것을 나타냈다.

대전시, 강릉시, 전주시, 안동시, 군산시, 진주시, 천안시, 제천시 등 다수의 지역이 물동량 비중은 작은 데 비해 높은 매개중심성을 보이는 것으로 나타났다. 국승용(2007)은 이렇게 취급비중이 작음에도 불구하고 매개중심성이 높게 나온 지역에 대해서 '인근에 뚜렷한 대규모 생산지나 소비지가 없어, 취급량이 적은 다수의 산지 및 소비지와 거래 네트워크를 형성하고 있는 것'이라고 설명하고 있다.

반면 서울시, 부산시, 광주시, 대구시, 인천시, 울산시의 경우 높은 물동량 비중과 함께 매개중심성도 높은 것으로 나타났다.

정도중심성 모두 상관관계가 있으며 특히 외향 정도중심성이 물동량과 더 관계가 있는 것으로 나타났다.

**(1) 내향 정도중심성**

내향 정도중심성을 분석한 결과, 30위권내 서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 인천, 천안시 등 도매시장이 개설되어있는 지역은 24개 시군이었다. 공영·일반·민영도매시장 중 어느 것도 개설되어있지 않은 지역은 군산시, 아산시, 성남시, 나주시, 평택시, 안동시 등이었다.

내향 정도중심성은 외부 지역에서 유입되어오는 링크가 많은 경우 중심성이 높아지는 것으로 대체적으로 소비지의 성격을 보인다. 표에서도 확인할 수 있듯이 군지역은 순위에서 찾아볼 수 없으며 대부분이 대도시 지역이었다.

**(2) 외향 정도중심성**

전국 167개 시군 중 외향 정도중심성이 높은 지역은 서울, 인천, 광주, 군산시, 부산, 대전, 대구, 울산, 평택시, 수원시 등이었다. 공영·일반·민영도매시장 중 어느 것도 개설되어있지 않은 지역은 군산시, 평택시, 당진군, 서산시, 예산군, 고창군, 화성시, 해남군, 보령시, 홍성군, 부여군, 김제시, 용인시였다. 비교적 군단위의 분포를 볼 수 있다.

외향 정도중심성은 외부 지역으로 향하는 링크가 많을 때 중심성이 높아진다. 내향 정도중심성과는 다르게 여러 군지역을 찾아볼 수 있으며, 농수산물 도매시장이 개설되어있지 않은 지역이 내향 정도중심성 순위에서보다 더 많이 분포하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 농수산물 도매시장은 외부에서 오는 농수산물을 집하, 분산, 저장, 보관, 하역, 운송하는 것으로 해석할 수 있다.

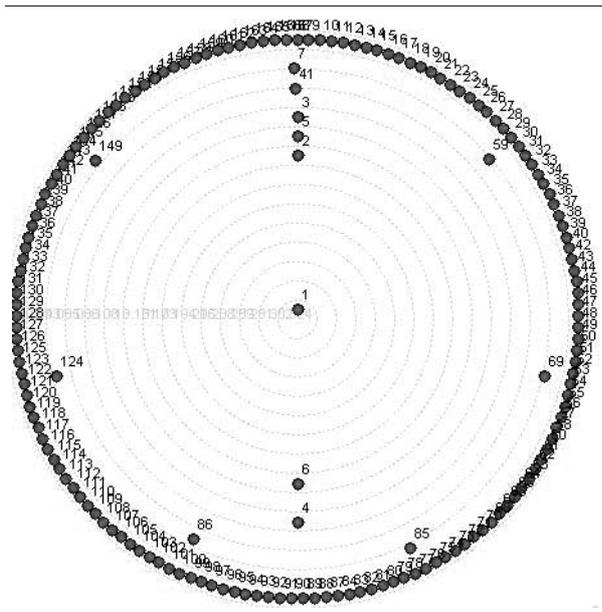


그림 1. 매개중심성 분석 결과 그래프

**3.2 정도중심성**

정도중심성은 중심성 측정지수 가운데 가장 간단하면서도 도출하기 용이한 지수이다. 정도중심성은 앞서 연구방법에서 말한 바와 같이 네트워크에서 직접적으로 연결되어 있는 점들의 합으로 산출할 수 있다. 즉 한 노드가 네트워크의 국지적(local) 범위 내에서 다른 노드들과 얼마나 많이 또 직접(direct) 연결되어 있으면서 중앙에 위치하는지 계량화한 지수로 결국 정도중심성이 높은 노드는 네트워크에서 가장 활동적인 노드임을 의미한다.

정도중심성 분석 결과 얻어진 중심성지수와 물동량과의 상관관계는 내향 정도중심성 0.689, 외향 정도중심성 0.833으로 두

**3.3 위세중심성**

위세중심성의 경우 중심성 지수와 물동량과의 관계가 0.593으로 나타나 비교적 유의하였다. 전국 지역 중에는 대전, 서울, 청주, 인천, 천안, 대구, 전주, 평택시, 군산시, 광주 등이었고 이들 중 공영·일반·민영도매시장 중 어느 것도 개설되어있지 않은 지역은 평택시, 군산시, 서산시, 보령시, 당진시, 예산군, 아산시, 홍성군, 김제시, 화성시, 용인시, 태안군, 이천시, 부여군, 안성시 등 15개 시군이었다.

표 11. 내향 정도중심성 분석결과

순위	지역 번호	시군	중심성 지수	물동량 비중	도매시장 개소
1	1	서울	0.428	15.125	2[2]
2	6	대전	0.392	2.640	2
3	3	대구	0.361	3.938	1[2]
4	2	부산	0.277	6.851	2
5	5	광주	0.271	3.263	2[1]
6	57	청주시	0.271	1.064	1
7	4	인천	0.229	14.506	2[1]
8	69	천안시	0.229	1.253	1
9	85	전주시	0.211	1.126	1
10	8	수원시	0.145	0.597	1
11	101	원주시	0.145	0.592	1
12	40	순천시	0.145	0.888	1
13	149	진주시	0.133	0.576	1
14	87	익산시	0.127	0.776	1
15	7	울산	0.120	3.177	1
16	125	여주시	0.114	0.553	1
17	100	구미시	0.114	0.559	[1]
18	86	군산시	0.102	1.386	-
19	121	포항시	0.102	0.816	1[1]
20	99	아산시	0.096	0.961	-
21	72	목포시	0.096	0.603	[1]
22	9	성남시	0.090	1.251	-
23	147	안산시	0.090	0.445	1
24	16	충주시	0.090	0.619	1
25	58	창원시	0.090	0.312	1
26	102	춘천시	0.084	0.507	1
27	39	나주시	0.084	0.422	-
28	14	평택시	0.078	0.663	-
29	124	안동시	0.078	1.430	-
30	152	김해시	0.078	0.752	1

주 : [ ]안은 일반·민영도매시장의 개소수임.

### 3.4 효율성 분석

국내 33개소 운영중인 공영 농수산물 도매시장을 중심으로 효율성을 평가하여 본 결과는 아래 표와 같다. 효율성 값이 100%를 만점으로 하였을 때 총 10개소 농수산물 도매시장이 효율성이 있는 것으로 나타났고, 참조횟수가 많을수록 투입산출의 구조가 보편적이라 벤치마킹 하는 것이 상대적으로 유리하다고 볼 수 있다. 32개 공영도매시장의 효율성 평균은 78.42%로 비교적 모두 양호한 정도를 나타내었다. CCR 결과, 효율성 100%인 도매시장 중

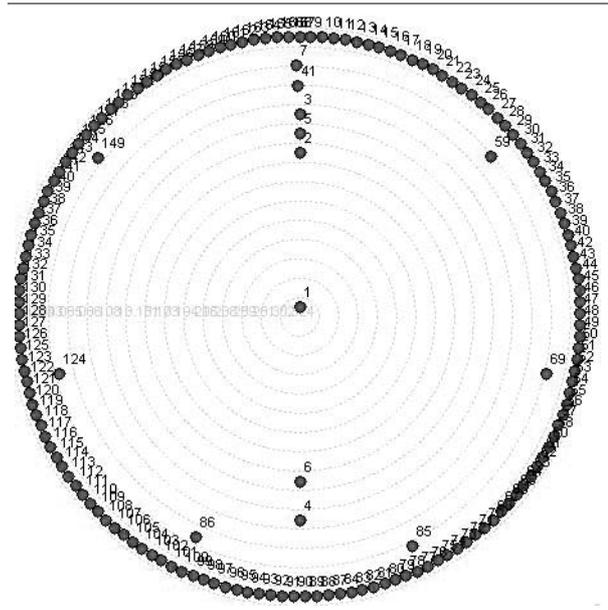


그림 2. 내향 정도중심성 분석 결과 그래프

효율성이 높고, 참조 횟수가 많은 순으로 정리하면 대구북부, 인천삼산, 광주각화, 부산염곡, 서울가락, 서울강서, 부산국제, 대전오정, 포항 등의 순으로 평가된다.

창원내서, 익산, 구리, 순천, 안산, 창원팔용, 원주, 구미, 진주, 안양, 충주, 전주, 강릉의 경우 평균 이하의 효율성을 보여 비교적 비효율적인 것으로 나타났다.

### 3.5 결과종합

중심성 분석 결과 물동량과 상관관계가 대부분 있는 것으로 나타났으나 특히 매개중심성이 0.846으로 가장 큰 상관계수를 보였다.

중심성 30위권 지역 중 농수산물 도매시장 미개설 지역을 나열한 결과 <표 16>과 같고 이들 지역 중 중심성 모두에서 높은 순위를 나타낸 지역은 군산시와 평택시였다.

효율성 분석 결과에서도 효율성 하위 순위 도매시장은 매개중심성에서도 역시 낮은 순위를 나타내어 매개중심성과 상관관계가 큰 것으로 나타났다.

효율성 분석 결과, 100%의 효율을 보이는 것으로 나타난 서울가락, 서울강서, 부산염곡, 부산국제, 대구북부, 인천삼산, 광주각화, 대전오정과 같은 도매시장의 경우 마찬가지로 높은 중심성을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 안양, 안산, 원주, 강릉, 충주, 구미, 창원팔용, 진주의 경우 낮은 효율성과 함께 중심성도 낮은 것으로 나타났다. 중심성이 떨어지는 데 비해 효율성이 높게 나타난 지역

표 12. 외항 정도중심성 분석결과

순위	지역 번호	시군	중심성 지수	물동량 비중	도매시장 개소
1	1	서울	0.355	15.125	2[2]
2	4	인천	0.295	14.506	2[1]
3	5	광주	0.175	3.263	2[1]
4	86	군산시	0.163	1.386	-
5	2	부산	0.151	6.851	2
6	6	대전	0.145	2.640	2
7	3	대구	0.145	3.938	1[2]
8	7	울산	0.145	3.177	1
9	14	평택시	0.139	1.430	-
10	8	수원시	0.108	0.888	1
11	149	진주시	0.102	0.576	1
12	84	당진군	0.102	0.426	-
13	124	안동시	0.096	0.663	1
14	73	서산시	0.096	0.387	-
15	69	천안시	0.090	1.253	1
16	85	전주시	0.090	1.126	1
17	82	예산군	0.090	0.278	-
18	97	고창군	0.090	0.336	-
19	87	익산시	0.084	0.776	1
20	31	화성시	0.084	0.389	-
21	112	해남군	0.084	0.421	-
22	71	보령시	0.078	0.261	-
23	81	홍성군	0.078	0.310	-
24	57	청주시	0.072	1.064	1
25	74	논산시	0.072	0.435	[1]
26	78	부여군	0.072	0.244	-
27	101	순천시	0.066	0.592	1
28	99	목포시	0.066	0.961	[1]
29	90	김제시	0.066	0.559	-
30	26	용인시	0.066	0.564	-

주 : [ ]안은 일반·민영도매시장의 개소수임.

은 정읍, 포항 등이다. 반면 청주의 경우 중심성에 비해 효율성은 낮았다. 중심성과 효율성간 상하10위 지역의 일치는 최소 11에서 최대 15개 사이였다.

#### 4. 결론

본 연구는 공신력 있는 KTDB의 최근 농산물 물동량 자료를 활용하여 농수산물 도매시장의 입지 선정방식에서 새로운 시도로

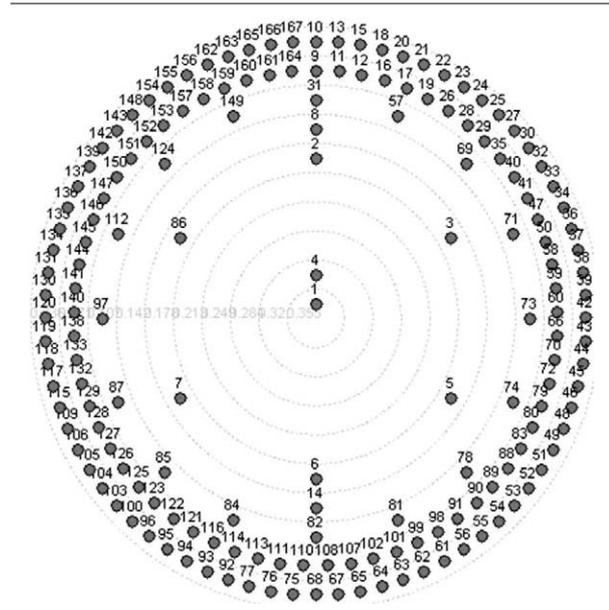


그림 3. 외항 정도중심성 분석 결과 그래프

서 연결망 분석을 실시하고 이의 검증과정으로 효율성을 활용하였다. 과거 평면적으로 검토되던 입지선정 방식과는 달리 새로운 방식을 제안하였다는 데 의미를 둔다.

그러나 단순한 연결망 분석에서 다양한 개념의 중심성이 제시되는 것은 그만큼 다양한 관점의 중심성 개념을 적용할 수 있다는 장점이 있기는 하지만 그 때문에 관점에 따라 전혀 상이한 결과가 도출될 수 있다. 따라서 이에 대한 이해가 부족하거나 다각도의 검증을 거치지 않고서는 각 분석이 모두를 충분히 설명하지 못하므로 이에 대한 검증과정의 정립이 필요하다. 특히 중심성과 효율성 분석이 모두 상대적인 비교를 위한 평가인만큼 확실한 결과를 제시하는 데는 무리가 따른다. 따라서 이것이 본 연구의 한계점이 될 수 있다.

현재 정부에서는 시설의 추가적 공급은 하지 않고 있다. 다만 2012년 국토교통부 계획에 따르면 2017년까지 시설의 현대화·복합화 정책을 추진하여 계획기간내 서울가락, 대전오정, 청주, 대구 북부, 광주각화 농수산물 도매시장의 기능개선을 실시할 예정이다.

도매시장의 신규건설이 지속적으로 이루어지지 않는 것은 대형 유통업체의 진출확대와도 관련이 있지만, 기존 농수산물 도매시장의 활용도를 제고하는 것을 우선으로 하였기 때문으로도 해석할 수 있다.

그러나 기존 전국 공영 농수산물 도매시장 평균 운영년수가 16년이 넘었고, 특히 서울가락 27년, 대전오정 25년, 대구북부·청주 24년 등 오래된 시설들의 현대화가 필요한 시점이다. 시설현대화 역시 이전만큼이나 막대한 예산이 소요되며 지난 20여년동

표 13. 위세중심성 분석 결과

순위	지역 번호	시군	중심성 지수	물동량 비중	도매시장 개소
1	6	대전	0.291	2,640	2
2	1	서울	0.277	15,125	2[2]
3	57	청주시	0.245	1,064	1
4	4	인천	0.235	14,506	2[1]
5	69	천안시	0.227	1,253	1
6	3	대구	0.179	3,938	1[2]
7	85	전주시	0.172	1,126	1
8	14	평택시	0.170	1,430	-
9	86	군산시	0.169	1,386	-
10	5	광주	0.154	3,263	2[1]
11	8	수원시	0.152	0,888	1
12	87	익산시	0.139	0,776	1
13	74	논산시	0.131	0,435	[1]
14	73	서산시	0.130	0,387	-
15	71	보령시	0.128	0,261	-
16	2	부산	0.127	6,851	2
17	84	당진군	0.127	0,426	-
18	82	예산군	0.124	0,603	-
19	72	아산시	0.124	0,278	-
20	40	원주시	0.123	0,597	1
21	7	울산	0.121	3,177	1
22	81	홍성군	0.118	0,310	-
23	90	김제시	0.113	0,559	-
24	31	화성시	0.109	0,389	-
25	26	용인시	0.106	0,564	-
26	83	태안군	0.105	0,473	-
27	28	이천시	0.103	0,776	-
28	78	부여군	0.099	0,244	-
29	58	충주시	0.095	0,445	1
30	29	안성시	0.095	0,271	-

안 농산물 이동의 중심지가 변화하였음을 고려하면 도매시장의 기능 및 역할을 최대화할 수 있도록 이전 또는 추가 적정 입지 검토도 다각도로 고려되어야 한다.

과거 '농수산물도매시장 및 공판장건설 사업 지침' 등의 평면적인 검토방법 즉, 시설의 입지 선정시 반출입 현황, 기존 도매시장 현황, 소매시장 현황, 인구, 교통계획, 주요 도로망, 입지, 자연환경 외에도, 이에 그치지 않고 산지-소비지간, 그리고 인근 지역간 관계, 농산물 이동 연결망 분석을 통해 입지 선정시 고려하여 농수산물 도매시장 당초의 목적, 동기, 장점, 기대효과, 타지역과의 상생효과를 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

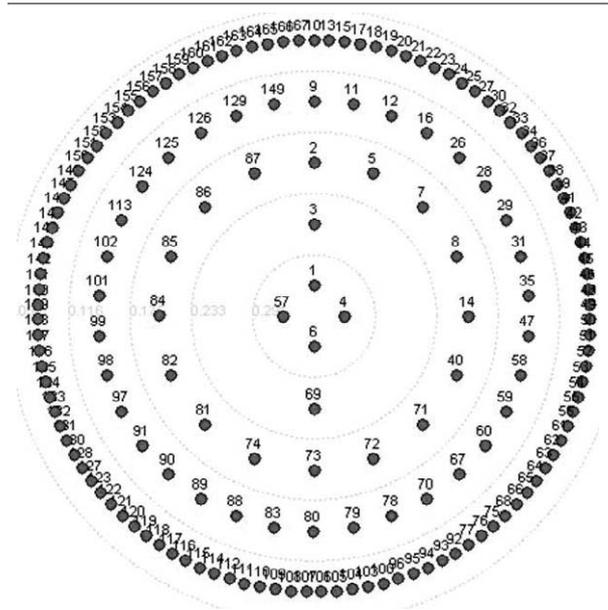


그림 4. 위세중심성 분석 결과 그래프

표 14. 농수산물 도매시장 CCR 평가 결과

시장별	참조 수	시장별	참조 수
대구북부	20	서울강서	1
인천삼산	10	부산국제	1
광주각화	9	대전오정	1
부산염곡	8	포항	1
서울가락	4	정읍	0
총 개소수 10		총 참조횟수 55	

참고 문헌

- [1] 국승용(2007), 연결망 분석 기법을 활용한 농산물 물류센터의 입지특성 분석, 농촌경제, 제30권, 제4호, pp.221~235.
- [2] 국토해양부(2012), 제2차 물류시설개발 종합계획(2013~2017). pp.43~45.
- [3] 김규창(2008), 농산물 종합물류센터조성을 위한 입지선정 평가요인 분석, 유통연구, 제3권, 제1호, pp.145~154.
- [4] 김명환 외(1991), 축산물 도매시장과 도축장의 적정입지와 운영개선, 연구보고 235, 한국농촌경제연구원.
- [5] 김용학(2003), 사회연결망 이론, 박영사.
- [6] 김원배 외(2004), 친환경농산물 통합물류체계 구축 및 물류센터건설 방안에 관한 연구, 서울대학교 · 농림부.

표 15. 농수산물 도매시장 최적 벤치마킹대상

시장별	효율성	Benchmarks
인천구월	98.75%	대구북부(0.17) 광주각화(0.59)
청 주	91.47%	대구북부(0.04) 인천삼산(0.11) 광주각화(0.24)
안 동	90.81%	대구북부(0.01) 인천삼산(0.01) 광주각화(0.35)
대전노은	84.63%	부산염곡(0.13) 대구북부(0.14) 인천삼산(0.08)
광주서부	83.75%	인천삼산(0.79) 광주각화(0.15)
울 산	82.68%	서울가락(0.00) 대구북부(0.07) 광주각화(0.23)
춘 천	82.16%	부산염곡(0.05)
수 원	81.43%	서울가락(0.02) 대구북부(0.03) 광주각화(0.20)
부산반여	80.70%	부산염곡(0.11) 대구북부(0.37)
천 안	80.42%	서울가락(0.01) 대구북부(0.11)
창원내서	75.39%	대구북부(0.08) 인천삼산(0.11)
익 산	74.57%	대구북부(0.01) 인천삼산(0.25)
구 리	70.32%	서울가락(0.03) 서울강서(0.17) 대구북부(0.37) 광주각화(0.31)
순 천	62.34%	부산염곡(0.10) 대구북부(0.09)
안 산	59.45%	대구북부(0.12) 인천삼산(0.02) 광주각화(0.05)
창원팔용	58.01%	부산국제(0.01) 인천삼산(0.22) 포항(0.09)
원 주	57.50%	부산염곡(0.01) 대구북부(0.07)
구 미	55.72%	부산염곡(0.03) 대구북부(0.02)
진 주	54.65%	대구북부(0.05) 인천삼산(0.18)
안 양	51.84%	부산염곡(0.14) 대구북부(0.06)
충 주	51.66%	대구북부(0.01) 인천삼산(0.12) 광주각화(0.01)
전 주	48.12%	대구북부(0.11) 대전오정(0.07)
강릉	44.45%	부산염곡(0.03) 대구북부(0.01)

표 16. 도매시장 미개설 중심성 상위 시군

순 위	매개 중심성	내향정도 중심성	외향정도 중심성	위세 중심성	물동량 비중
1	군산시	군산시	군산시	평택시	제주시
2	제천시	아산시	평택시	군산시	평택시
3	평택시	성남시	당진군	서산시	군산시
4	영암군	나주시	서산시	보령시	이천시
5	나주시	평택시	예산군	당진군	김해시
6	강진군	안동시	고창군	예산군	부천시
7	속초시	-	화성시	아산시	고양시
8	해남군	-	해남군	홍성군	성남시
9	김제시	-	보령시	김제시	아산시
10	삼척시	-	홍성군	화성시	-
11	과천시	-	부여군	용인시	-
12	영주시	-	김제시	태안군	-
13	-	-	용인시	이천시	-
14	-	-	-	부여군	-
15	-	-	-	안성시	-

- [7] 김윤두(2005). 농산물 유통산업의 효율성 측정에 관한 연구. 한국국제농업개발학회. 제17권, 제2호, pp. 100~111.
- [8] 김정희 외(2004), “서울시 농산물 물류센터의 입지선정에 관한 연구”, 문화역사지리, 제22권, 제1호, pp.277~286.
- [9] 농림수산물식품부(1999), 농수산물도매시장 및 공판장건설 사업 지침.
- [10] 송영진(2011), SNA 분석방법의 이론과 응용방안, 중앙대학교 대학원 회계학과 석사논문.
- [11] 오성열(2011), 공항네트워크 중심성 연구, 인하대학교 물류전문대학원 박사논문.
- [12] 이상덕 · 박평식 · 김윤두(2002). 비모수적 방법을 이용한 농수산물 도매시장의 효율성 측정. 농업경영정책연구. 제29권, 제3호, pp.210~224.
- [13] 이상훈(1997), 경기도 물류시설의 적정입지 선정 및 규모결정에 관한 연구, 경기개발연구원.
- [14] 장동현 · 백승우(2009), 농수산물 도매시장의 효율성 분석 :

표 17. 중심성과 효율성 분석결과 관계

시장별	효율성	내향정도 중심성	외향정도 중심성	매개 중심성	위세 중심성	물동량 비율
서울가락	1	1	1	1	3	1
서울강서	1	1	1	1	3	1
부산엄궁	1	6	7	3	15	5
부산반여	19	6	7	3	15	5
부산국제	1	6	7	3	15	5
대구북부	1	5	10	10	9	8
인천구월	11	12	3	11	6	3
인천삼산	1	12	3	11	6	3
광주각화	1	9	5	8	11	9
광주서부	15	9	5	8	11	9
대전오정	1	3	10	6	1	12
대전노은	14	3	10	6	1	12
울산	16	21	10	14	19	11
수원	18	16	14	26	13	18
안양	30	29	25	31	24	23
안산	25	24	29	24	21	15
구리	23	31	22	31	28	22
춘천	17	27	33	28	29	30
원주	27	16	22	19	18	24
강릉	33	30	25	13	33	28
청주	12	9	20	19	5	17
충주	31	24	29	26	20	29
천안	20	12	17	18	8	14
전주	32	15	17	15	10	16
익산	22	20	19	19	14	20
정읍	1	33	22	29	25	31
순천	24	16	21	22	27	25
포항	1	23	25	23	30	19
안동	13	28	16	16	22	21
구미	28	22	29	24	23	27
창원팔용	26	31	32	31	32	32
창원내서	21	24	25	29	31	33
진주	29	19	15	17	26	26
효율성 상위10 일치수		7	7	6	5	7
효율성 하위10 일치수		6	6	5	7	8

공영도매시장을 중심으로, *산업경제연구* 제22권 제5호, pp. 2383~2397.

[15] 장철호(2008), DEA/Window와 Malmquist 생산성지수를 이용한 효율성 분석 : 농수산물공영도매시장을 중심으로, *농업경영·정책연구*, 제35권, 제4호, pp. 778~808.

[16] 조성호(2011), *네트워크 분석을 이용한 푸드마켓의 입지 분석 및 개선 방안*, 상명대학교 지리학과 석사논문.

[17] Liyao Hou, Euiho Suh, 2007, "An application of BP-Artificial Neural Networks for factory location selection : case study of a Korean factory", 2007년도 한국지능정보시스템학회자료.

[18] Maysam Ashrafzadeh et al.(2012), Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location : A Case Study, *Interdisciplinary Journal Of Contemporary Research In Business*, Vol. 3(9), pp.655~671.

[19] Mehmet irfan yesilnacar et al.(2005), Site selection for hazardous wastes : A case study from the GAP area, Turkey, *Engineering Geology* Vol. 81, pp.371~388.

[20] Scott, John(2000), *Social Network Analysis - a handbook*, 2nd Ed. SAGE publication, pp.82~99.

[21] <http://www.moleg.go.kr> 법제처.

[22] <http://market.affis.net> 농림수산물부 도매시장통합 홈페이지.

[23] <http://www.ktdb.go.kr> 국가교통DB센터.



**송지현**

서울시립대학교 경제학과 박사과정 수료  
 현재 : 한국철도기술연구원 녹색교통시스  
 템공학연구소 연구원  
 관심분야 : SCM, 물류

# 소매점 수요 사이에 상관관계가 존재하는 다단계재고시스템의 모형화\*

임시영 · 허선<sup>†</sup>

한양대학교 산업경영공학과

## A modeling on the multi-echelon inventory system with correlation between retailers' demands\*

Si Yeong Lim · Sun Hur<sup>†</sup>

Department of Industrial & Management Engineering

An inventory model where the demands to the retailers are correlated with each other is considered. It is common, because of the fashion or the seasonal factors, that customers are likely to prefer buying some products at the similar moment, which may result in the correlation between the demands of retailers. In this research, we consider a two-echelon inventory model with one external supplier, one warehouse and two retailers. We derive the demand process to the warehouse and conduct experiments by simulations to characterize the effect of correlated demands on the inventory of the warehouse. It is concluded that higher inventory level is required to keep the stockout probability low when there exists positive correlation between the demands of the retailers.

**Keywords:** Supply chain, Multi-echelon, Inventory system, Correlated demand.

### 1. 서론

공급사슬은 단일 비즈니스 단위가 아닌 시스템 총비용을 최소화할 수 있도록 운용되어야 하므로 공급사슬 전반에 걸쳐 재고 수준을 줄이기 위한 노력이 필요하다. 일반적으로 제대로 운영되지 않는 공급사슬은 두드러지게 과도한 재고를 유발하게 된다. 따라

서 수요, 프로세스, 공급 등에 대한 불확실성을 얼마나 잘 관리하는가에 공급사슬의 효과적인 운용이 달려 있게 되고 이에 재고에 대한 연구는 공급사슬 관리에서 중요한 의미를 가진다.

일반적으로 제품이 지리적으로 큰 지역에 걸쳐서 분배될 때 최종 소비자 가까이에 몇 개의 지역 저장고를 두는 것이 실용적이다 (Axsater, 1993). 생산된 제품을 하나의 중앙창고에서 일괄적으로 저장하는 것이 아니라 각 지역에 지역 저장고를 두고 여기에서

\* 본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012R1A2A2A01005219)

<sup>†</sup> Corresponding author: 55 Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan Kyeonggi-do, 426-791, Korea,

Tel: 82-31-400-5265 Fax: 82-31-400-5265 E-main: hursun@hanyang.ac.kr

2012년 12월 26일 투고, 2013년 3월 11일 1차 수정본 접수, 3월 27일 2차 수정본 접수, 4월 8일 게재 확정.

최종 소비자에게 인도하는 방식이 보다 효과적이다. 이러한 로컬 재고(local inventory)시스템은 차례로 더 높은 레벨의 저장 장소 입장에서는 고객이 된다. 결과적으로 전체 재고시스템은 각기 다른 재고시스템들이 네트워크로 연결된 형태가 된다. 이와 같이 네트워크 형태로 연결된 재고 시스템을 다단계재고시스템(multi-echelon inventory system)이라 한다.

현대의 소비자들은 지역적으로 분산되어 있으며, 제품은 하나 이상의 다단계재고시스템을 통해 배포되는 경우가 많다. 대표적으로 컴퓨터, 자동차, 그리고 국방관련 하드웨어 등이 다단계 재고시스템을 통해 제공된다. 지리적으로 분산된 수요를 가지며 생산/배송에서 규모의 경제를 적용하여 이득을 얻는 기업들은 전통적으로 경쟁에서 살아남기 위해 다단계재고시스템에 의지해야 한다(Graves, 1996).

다단계재고시스템에 대한 연구는 매우 활발하게 진행되고 있다. 그 중 Arda와 Hennet(2006)은 2단계 공급사슬에서 다수의 공급자에 주문을 분배하는 방법을 소개하였다. Chen 등(2007)은 다양한 정보공유 시나리오를 통해 공급사슬의 효율성을 평가하였다. Wee 등(2006)은 Newsboy 문제를 적용하여 수요의 분포가 알려져 있지 않은 경우에 대해 불완전생산품을 갖는 2단계 공급사슬을 분석하였다.

공급사슬관리의 요소들 중 고객 수요과정에 대한 가정은 정상과정(stationary process) 가정과 비정상과정(non-stationary process) 가정으로 크게 구분할 수 있다. 정상과정 가정은 수요의 도착간격이 독립적이고 동일하다(i.i.d : independently and identically distributed) 가정하고 이에 대한 수리모형으로 포아송과정(Poisson process)을 주로 사용한다. 고객 수요가 포아송 과정을 따르는 다단계재고시스템에 대한 성능 분석 연구의 일부를 살펴보면 다음과 같다. Graves(1996)는 확률적 수요(stochastic demand)를 갖는 다단계재고시스템에 대해 연구하였다. 그는 중앙창고와 소매점 모두가 안전재고를 가져야만 하며, 안전재고의 대부분은 소매점이 가지고 있어야 한다는 것을 예제로 확인하였다. Solis와 Schmidt(2007)은 Graves(1996)의 연구를 확장하여 중앙창고와 소매점 사이 리드타임이 확률적인 모형을 연구하였다. Graves(1996) 모형에서 중앙창고가 재고 없이 운영되는 경우(예를 들면 cross-dock point 역할을 하는 경우)에 베타분포를 따르는 확률적 리드타임(stochastic leadtime)이 소매점의 안전재고에 미치는 영향을 분석하였다. Chiang과 Monahan(2005)은 전통적인 소매점 채널과 인터넷을 이용한 채널로 이루어진 듀얼-채널을 가지는 공급사슬에서 재고관리에 대한 연구를 진행했다. 이 연구에서는 각 채널의 수요를 포아송과정으로 가정하고 마코프체인을 이용하여 분석하였다.

위 연구들은 공통적으로 고객의 수요는 독립적이고 동일한 분

포를 가진다는 가정을 이용한다. 그러나 특정제품의 유행 또는 계절적 요인에 의한 수요 변동은 한정된 지역 내에서 동일한 영향을 미치므로, 해당 지역 내에 있는 소매점의 수요 간에는 상관관계가 있다. 예를 들면 제품의 유행으로 인해 한 소매점에서 수요가 증가할 때 근접한 소매점들에서 동일한 현상이 발생할 것이다. 이는 해당 지역을 담당하고 있는 지역저장고에는 유행에 의해 독립적이지 않은 소매점들의 수요가 발생한다는 것을 의미한다.

기존의 정상과정 가정을 사용할 경우 지역 저장고에 발생하는 소매점 수요간 상관관계를 반영할 수 없다. 수요 간 상관관계로 인해 중앙창고의 수요는 더 큰 변동폭을 가질 수 있으며 이는 중앙창고의 재고 정책을 수립하는데 큰 영향을 미칠 수 있다.

본 연구와 같이 수요간 상관관계의 영향에 대한 연구들도 확인할 수 있다. Liu와 Yuan(2000)은 상관관계가 있는 두 제품을 위한 재고문제를 마코프체인을 활용하여 분석하였다. 그들은 모든 수요는 동일한 포아송과정에 따라 발생하며 그중  $P_1$ 의 확률로 제품 1,  $P_2$ 의 확률로 제품 2,  $1-P_1-P_2$ 의 확률로 제품 1, 2 모두를 위한 수요가 발생한다고 가정하였다. Altay 등(2012)은 간헐적 주문 차원에서 수요예측과 재고관리에 대한 수요 크기, 수요 간격, 수요 크기와 간격간의 교차 상관관계에 대한 효과를 분석하기 위하여 시뮬레이션을 사용하였다. Raghunathan(2003)은 게임이론을 사용하여 정기발주정책을 사용하는  $N$ 개의 소매점과 1개의 생산자로 이루어진 2단계 공급사슬에서 수요 상관관계가 수요자와 공급자의 과소(과잉) 재고를 유발함을 보였다. So 등(2003)은 상관관계가 있는 수요 도착을 AR(1)과정으로 가정하여 공급자 리드타임과 소매점 수요갭이 주문량에 미치는 영향을 분석하였다. 그러나 위 연구들에서는 중앙창고에 도달하는 수요에 대한 정확한 분포를 알 수가 없다는 단점이 있다.

본 연구에서는 고객의 수요 간 상관관계를 반영할 수 있는 방법을 소개하고 중앙창고에 도달하는 수요를 모델링하며, 이 상관관계가 소매점 및 중앙창고의 재고 수준에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 확인한다.

일반적인 재고이론에서는 확률적 수요를 모형화 하는 방법으로 독립 포아송과정을 주로 사용한다. 이는 다단계재고시스템에서 소매점 재고모형의 수요로 동일하게 사용된다. 또한 다단계공급사슬의 경우 중앙창고에 발생하는 수요는 독립인 포아송과정의 합으로 표현되어 이 역시 포아송과정이 된다. 따라서 중앙창고 수요에 존재하는 상관관계를 표현할 수 있는 방법이 존재하지 않는다. 그러나 본 연구에서는 소매점 재고관리는 기존 포아송과정을 활용함과 동시에 중앙창고 재고관리를 위해 상관관계를 가지는 수요 분포를 도출하고자 한다. 또한 소매점간 수요에 존재하는 상관관계가 중앙창고 재고에 미치는 영향을 실험으로 확인한다.

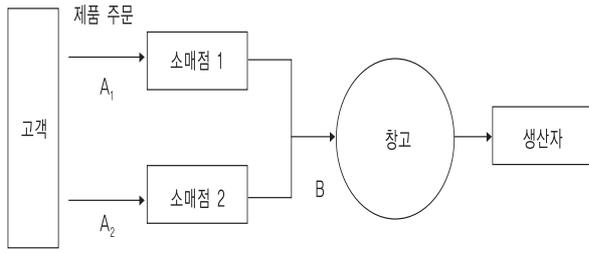


Fig. 1. A simple supply chain model

## 2. 모형

본 연구에서 다루는 모형은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 두 개의 소매점과 하나의 중앙창고, 하나의 생산자로 이루어져 있다. 두 소매점의 수요 과는 각각 포아송과정을 따르지만 과 사이에 존재하는 상관관계로 인해 중앙창고의 수요는 포아송과정을 따르지 않는' 경우에 대해, 소매점 수요간 상관계수가 품질확률에 미치는 영향을 파악하기 위하여 해당 모형을 사용한다.

위 모형은 Graves(1996)에서 고려한 것과 동일하다. 그는 다단계재고시스템의 수요를 모델링하기 위해, 각 소매점의 수요과정을 포아송과정으로 가정하고 중앙창고에 도착하는 수요를 독립적인 포아송과정의 합(다른 포아송과정)으로 모델링하였다. 그리고 중앙창고에서 재고 수준이 안전재고 수준으로 떨어질 때까지 걸리는 시간을 정기보충간격(fixed replenishment intervals)과 비교함으로써 재고시스템의 성능을 분석하였다.

Graves(1996)는 가상할당(Virtual Allocation)이라는 개념을 소개하였는데, 중앙창고의 재고는 언제나 가장 오래된 주문부터 만족시킨다는 공평한 분배 규칙으로 설명할 수 있는 개념이다. 이 방법을 적용하면 특정 소매점에서 긴급한 주문이 발생했을 때 중앙창고에 재고가 있더라도 이를 만족시킬 수 없다. 중앙창고에 재고가 있음에도 이미 가상할당된 재고분에 대해서는 다른 소매점의 수요를 만족시킬 수 없으므로 현실상황과는 거리감이 있다. 소매점 1에 고객의 수요가 발생하면 중앙창고의 재고는 다음 소매점 1의 주문에 대응하기 위해 미리 할당된다. 이 때, 소매점 2의 주문이 도착하더라도 중앙창고에서 미리 할당된 재고는(비록 아직 소매점 1의 주문이 도착하지 않았지만) 소매점 2에게 할당할 수 없다. 그러나 이 방법은 최적의 방법은 아니지만 다단계재고시스템을 수리적으로 분석할 수 있는 기반을 만들었다는 점에서 높은 평가를 받고 있다.

본 연구에서 다루고자 하는 재고시스템의 가정은 Graves(1996) 가정과 유사하다. 각 소매점에 도착하는 고객의 수요는 중앙창고에 있는 재고 수준에 따라 즉각적으로 만족되거나 또는 중앙창고에 재고가 없을 경우 생산자로부터 중앙창고에 입고되는

제품의 리드타임만큼을 기다린 후 만족된다. 각 소매점과 중앙창고는 미리 정해진 재고수준에 도달하면 정해진 재고수준에 도달할 수 있을 양 만큼의 주문을 낸다. 발주 시점에 재고수준이 0일 경우 리드타임 동안 도착하는 고객은 품질고객이 된다. 전체 고객 수 중 품질고객의 수를 구하여 이를 품질확률(stockout probability)로 사용한다. 또한 오직 수요에 대한 측면만을 고려하기 위해 리드타임(lead time)은 고정된 값으로 가정한다. 외부 생산자는 언제나 주문에 대응할 수 있다고 가정한다.

## 3. 고객 수요내 상관관계의 모델링

일반적으로 공급 사슬 관리에서 포아송과정을 이용하여 소매점의 수요를 모델링 할 때는 각 소매점의 고객 수요가 서로 독립이라 가정하면 중앙창고에 도착하는 고객의 수요에 대한 확률과정은 두 소매점에 도착하는 '수요 평균의 합'을 평균으로 가지는 포아송과정이 된다. 이와 같이 소매점의 고객 수요 간 독립성을 가정하는 것은 계산을 용이하게 하는 장점이 있는 반면 현실에서 존재할 수 있는 각 소매점에 도착하는 고객 수요에 대한 상관관계를 반영할 수 없는 단점이 있다. 제품의 유행 또는 계절적 특성에 의해 소매점 간의 수요에서 상관관계를 확인할 수 있는 경우는 매우 빈번하게 일어난다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같이 고객 수요를 모델링 할 것을 제안한다.

시간  $t$  동안 소매점  $A_1$ 과 소매점  $A_2$ 에 도착하는 고객 수요의 도착과정을 각각  $N_{A_1}(t)$ 과  $N_{A_2}(t)$ 라고 하자. 각 소매점의 수요는 다음 식 (1), 식 (2)와 같이 두 개의 확률 변수의 합으로 이루어진다고 가정하자.

$$N_{A_1}(t) = N_a(t) + N_c(t) \tag{1}$$

$$N_{A_2}(t) = N_b(t) + N_c(t) \tag{2}$$

여기서 확률변수  $N_a(t)$ ,  $N_b(t)$ ,  $N_c(t)$ 는 서로 독립이고, 평균이 각각  $\lambda_{a,t}$ ,  $\lambda_{b,t}$ ,  $\lambda_{c,t}$ 인 포아송과정이라 가정하자.  $N_a(t)$ 와  $N_b(t)$ 는 각각 소매점  $A_1$ 과  $A_2$ 에서 발생하는 보편적 수요이며  $N_c(t)$ 는 두 소매점에 발생하는 공통된 성격의 수요(예를 들어 유행에 의해 발생된 수요)라고 하자. 본 연구에서 도입된 공통수요  $N_c(t)$ 는 구체적인 어떤 특정제품의 수요를 의미하기보다는 두 소매점간 수요의 상관관계를 표현하고 제어하기 위해 도입된 가상의 수요이다. 즉, "상관관계가 재고 품질에 미치는 영향"을 알아보기 위한 본 연구의 목적상, 두 소매점간 수요의 상관관계를 자유로이 변화시킬 수 있게 하기 위해 도입된 것이다.

각 소매점에 도착하는 고객 수요의 분포는 각각 다음 식 (3)과 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$\Pr(N_{A_1}(t) = n_1) = \frac{e^{-(\lambda_a + \lambda_c)t} \{(\lambda_a + \lambda_c)t\}^{n_1}}{n_1!} \quad (3)$$

$$\Pr(N_{A_2}(t) = n_2) = \frac{e^{-(\lambda_b + \lambda_c)t} \{(\lambda_b + \lambda_c)t\}^{n_2}}{n_2!} \quad (4)$$

즉  $N_{A_1}(t)$ 와  $N_{A_2}(t)$ 는 각각 평균이  $(\lambda_a + \lambda_c)t$ ,  $(\lambda_b + \lambda_c)t$ 인 포아송 확률변수가 된다. 그러나 이 두 확률변수  $N_{A_1}(t)$ ,  $N_{A_2}(t)$ 는 확률변수  $N_c(t)$ 를 공통으로 포함하고 있기 때문에 독립이 아니다. 이는 두 확률변수 사이에 상관관계가 존재하고 중앙창고에 도착하는 수요  $N_w(t) (= N_{A_1}(t) + N_{A_2}(t))$ 는 포아송 확률변수가 아니라는 것을 의미한다. 소매점에 도착하는 고객의 수요는 각각 포아송과정을 따르지만 소매점들의 수요가 모여서 만들어지는 중앙창고의 고객 수요 과정은 포아송과정이 아닌 다른 확률과정이 될 수도 있다는 것이다. 확률변수  $N_{A_1}(t)$ 와  $N_{A_2}(t)$ 의 공분산은 다음 식 (5)와 같다. 편의상 수식 전개시 인덱스  $t$ 를 생략한다.

$$\begin{aligned} \text{Cov}(N_{A_1}, N_{A_2}) &= E(N_{A_1}N_{A_2}) - E(N_{A_1})E(N_{A_2}) \\ &= E((N_a + N_c)(N_b + N_c)) \\ &\quad - E(N_a + N_c)E(N_b + N_c) \\ &= E(N_aN_b + N_aN_c + N_bN_c + N_c^2) \\ &\quad - (E(N_a)E(N_b) + E(N_a)E(N_c) \\ &\quad + E(N_b)E(N_c) + E^2(N_c)) \\ &= E(N_c^2) - E^2(N_c) \\ &= \text{Var}(N_c) \\ &= \lambda_c t \end{aligned} \quad (5)$$

또한 상관계수는 다음 식 (6)으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Corr}(N_{A_1}, N_{A_2}) &= \frac{\text{Cov}(N_{A_1}, N_{A_2})}{\sqrt{\text{Var}(N_{A_1})} \sqrt{\text{Var}(N_{A_2})}} \\ &= \frac{\lambda_c}{\sqrt{\lambda_a + \lambda_c} \sqrt{\lambda_b + \lambda_c}} \end{aligned} \quad (6)$$

다음으로 시간  $t$  동안 중앙창고에 도착하는 고객의 수요  $N_w(t)$ 의 분포는 확률변수  $N_c(t)$ 에 대한 조건을 주어 다음 식 (7)처럼 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr(N_w(t) = n) &= \Pr(N_{A_1}(t) + N_{A_2}(t) = n) \\ &= \Pr(N_a(t) + N_b(t) + 2N_c(t) = n) \\ &= \begin{cases} \sum_{k=0}^{(n-1)/2} \{ \Pr(N_a(t) + N_b(t) + 2N_c(t) = n \\ |N_c(t) = k\} \times \Pr(N_c(t) = k) \}, & \text{if } n \text{ is odd} \\ \sum_{k=0}^{n/2} \{ \Pr(N_a(t) + N_b(t) + 2N_c(t) = n \\ |N_c(t) = k\} \Pr(N_c(t) = k) \}, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases} \\ &= \begin{cases} \sum_{k=0}^{(n-1)/2} \frac{e^{-\lambda_a t} (\lambda_c t)^k}{k!} \sum_{l=0}^{n-2k} \frac{e^{-(\lambda_a + \lambda_b)t} ((\lambda_a + \lambda_b)t)^l}{l!}, & \text{if } n \text{ is odd} \\ \sum_{k=0}^{n/2} \frac{e^{-\lambda_c t} (\lambda_c t)^k}{k!} \sum_{l=0}^{n-2k} \frac{e^{-(\lambda_a + \lambda_b)t} ((\lambda_a + \lambda_b)t)^l}{l!}, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

다음과 같은 확률생성함수(probability generating function)를 정의하자.

$$P_w(z) = E(Z^{N_w}) = \sum_{n=0}^{\infty} \Pr(N_w(t) = n) z^n$$

확률변수  $N_w(t)$ 의 분포(식 (7))를 이용하면  $N_w(z)$ 는 다음 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} P_w(z) &= E(z^{N_w}) \\ &= E(z^{N_{A_1} + N_{A_2}}) \\ &= E(z^{N_a + N_b + 2N_c}) \\ &= E(z^{N_a}) E(z^{N_b}) E(z^{2N_c}) \\ &= (e^{-\lambda_a t(1-z)}) (e^{-\lambda_b t(1-z)}) (e^{-\lambda_c t(1-z^2)}) \\ &= e^{-(\lambda_a + \lambda_b)t(1-z)} e^{-\lambda_c t(1-z^2)} \end{aligned} \quad (8)$$

위 식 (8)에서 네 번째 등호는 확률변수  $N_a(t)$ ,  $N_b(t)$ ,  $N_c(t)$ 가 서로 독립이라는 가정으로부터 성립한다.

확률생성함수의 성질을 이용하면 중앙창고에 도착하는 고객의 수요에 대한 확률값을 계산할 수 있다. 중앙창고의 수요  $N_w(t)$ 의 평균과 분산은 다음 식 (9)와 식 (10)과 같다.

$$E(N_w(t)) = (\lambda_a + \lambda_b + 2\lambda_c)t \quad (9)$$

$$\text{Var}(N_w(t)) = (\lambda_a + \lambda_b + 4\lambda_c)t \quad (10)$$

여기서 분산이 가지는 의미를 살펴보기 위해 중앙창고의 분산을 확률변수 정의(식 (1)과 식 (2))를 이용해 구하면 다음 식 (11)과 같다. 편의를 위해 수식 전개시 인덱스  $t$ 를 생략한다.

$$\begin{aligned}
 \text{Var}(N_u) &= \text{Var}(N_{A_1} + N_{A_2}) \\
 &= \text{Var}(N_{A_1}) + \text{Var}(N_{A_2}) + 2\text{Cov}(N_{A_1}, N_{A_2}) \\
 &= (\text{Var}(N_u) + \text{Var}(N_c)) \\
 &\quad + (\text{Var}(N_b) + \text{Var}(N_c)) \\
 &\quad + 2\text{Var}(N_c) \\
 &= (\lambda_a + \lambda_c)t + (\lambda_b + \lambda_c)t + 2\lambda_c t
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

식 (11)을 보면 중앙창고 수요의 분산은 두 소매점에 도착하는 고객 수요의 공분산을 포함하고 있다. 따라서 중앙창고 수요의 분산은 소매점 수요를 분석하여 공통된  $N_c(t)$ 를 파악하면 적절하게 계산할 수 있다. 이 점은 소매점들 간의 수요에 계절적 요인 또는 유행 등에 의한 상관관계가 존재할 때, 본 연구에서 제안하는 모델링 방법에 따라 소매점 수요간 공분산을 구하여 이를 중앙창고 수요의 분산에 반영하면 보다 정확한 모형 수립이 가능함을 의미한다.

#### 4. 고객수요내 상관관계의 영향

이 절에서는 앞에서 제시한 방법에 의해 고객 수요 사이에 존재하는 상관관계를 표현하고, 상관관계를 변화시켜 감에 따라 중앙창고와 소매점의 품질확률이 어떻게 달라지는지를 확인한다. 이를 위해 본 연구에서는 Arena 9.0을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

각 소매점 1과 소매점 2에 도착하는 고객의 수요는 각각 단위 시간당 평균이 18인(18명/일) 포아송과정을 따른다고 가정하였다. 소매점 수요간 상관계수가 소매점, 중앙창고의 품질확률에 미치는 영향을 극대화하기 위하여 소매점, 중앙창고 모두 안전재고를 두지 않았으며 재고정책은 연속조사, order-up-to 정책을 사용하였다. Order-up-to 정책이란 재고수준이 특정수준(안전재고)에 도달하였을 경우 미리 정해진 만큼 재고수준을 높일 수 있도록 주문하는 방식이다. 예를 들어 안전재고가 10인 재고시스템에서 최대재고수준을 100으로 설정하였다면, 재고수준이 10 밑으로 떨어지는 순간(예를 들어 재고수준이 11에서 수요가 집단으로 5개 도착하여 재고수준이 6이 되는 것도 포함) 재고수준이 9가 되므로 91개를(집단도착에서는 94개) 주문하는 재고 정책이다. 이 경우 도착과정의 독립을 가정하여 시뮬레이션을 수행해보면, 소매점과 중앙창고의 품질확률을 0.05 미만으로 유지하기 위해서

는 소매점-중앙창고간 리드타임이 1일인 경우, 중앙창고는 재고수준이 110개, 소매점은 재고수준이 41개가 되도록 주문을 발생시켜야 하고, 소매점-중앙창고간 리드타임이 0.5일인 경우, 중앙창고는 재고수준이 91개, 소매점은 재고수준이 35개가 되도록 주문을 발생시켜야 한다. 이는 본 연구와 동일한 환경에서 수요간 독립성을 가정하고 실험한 Graves(1996)에서 도출된 결과와 동일하다.

시뮬레이션은 5,000시간의 warm-up 기간과 더불어 100,000시간의 실험을 10번 반복하였다. 이 실험은 소매점들의 수요에 존재하는 상관관계의 강약 정도가 품질확률에 미치는 영향을 살펴보기 위한 것이므로 품질확률의 평균의 신뢰구간을 구하는 대신 평균값을 그대로 사용하였다. 상관계수 값이 변화하도록 공통 포아송과정(0)의 모수인  $\lambda$ 를 0에서 18까지 변화시켜 가면서 시뮬레이션을 시행하였다. Fig. 2와 3은 각각 소매점-중앙창고간 리드타임이 1일인 경우와 0.5일인 경우에 상관관계가 0에서 1로 변화함에 따라 중앙창고와 소매점의 품질확률 변화추이를 나타내고 있다.

Fig. 2는 중앙창고의 재고수준을 110개, 소매점의 재고수준을 각각 41개, 리드타임을 1로 고정하고 상관계수를 변화시켰을 때 중앙창고와 소매점에서 발생하는 품질확률을 조사한 결과이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 두 소매점간 수요에 상관관계가 존재하는 경우 소매점의 품질확률은 거의 변화가 없지만 중앙창고의 품질확률은 상관관계가 증가함에 따라 높아지고 있다. 소매점간 수요의 상관계수가 0일 경우 품질확률을 0.05 미만으로 유지할 수 있으나, 소매점 수요간의 상관계수가 높아질수록 품질확률이 증가하므로 더 많은 재고를 유지해야 함을 알 수 있다. 실험 결과, 공급사슬의 길이가 짧으며 소매점이 2개인 가장 단순한 모형에서도 상관계수의 상승에 따라 중앙창고에서 0.02 정도의 품질확률 상승을 가져왔다. 만약 소매점이 더 많아지고, 공급사슬이 더 길어진다면 상관관계 영향은 드라마틱하게 커질 것이다. Sterman(1989)은 4단계로 이루어진 'Beer Game'에서 마지막 단계인 공장 주문의 분산은 최초 단계인 소매점 주문의 분산보다 5.5배 컸으며 고객 주문이 2배가 되었을 때 공장에서는 7배의 주문 증가를 가져왔음을 보였다. 이러한 점을 고려하면 소매점-중앙창고 간 품질확률의 증가는 결코 작은 것은 아니다.

Fig. 3은 중앙창고의 재고수준을 91개, 소매점의 재고수준을 각각 35개, 리드타임을 0.5로 고정하고 상관계수를 변화시켰을 때 중앙창고와 소매점에서 발생하는 품질확률을 조사한 결과이다. 이 경우 상관계수가 0일 때 품질확률을 0.05 미만으로 유지할 수 있다. 실험 결과, 소매점-중앙창고간 리드타임이 1일인 경우와 마찬가지로 상관계수가 커짐에 따라 품질확률이 증가하는 동일한 현상을 확인할 수 있다. 또 하나의 특별한 현상은 리드타임

이 1일인 경우보다 리드타임이 0.5일인 경우에서, 상관관계가 클 때 소매점의 품질확률이 더욱 높아짐을 확인할 수 있었다. 즉, 소매점의 품질확률은 중앙창고의 재고수준이 어느 정도인지에 따라 소매점간의 상관관계에 받는 영향이 다르게 나타난다는 사실을 확인할 수 있었다. 가상할당의 개념을 고려하면, 소매점의 품질은 주문이 발생했을 때 중앙창고의 재고가 비어있을 경우 발생한다. 소매점-중앙창고의 리드타임이 줄었을 경우 중앙창고는 더 낮은 수준의 재고를 유지하면서도 소매점, 중앙창고 모두 적절 수준의 품질확률을 유지할 수 있지만, 이때 소매점의 품질확률은 소매점-중앙창고간의 리드타임이 길 때보다 상관관계에 더 큰 영향을 받는 것을 확인하였다.

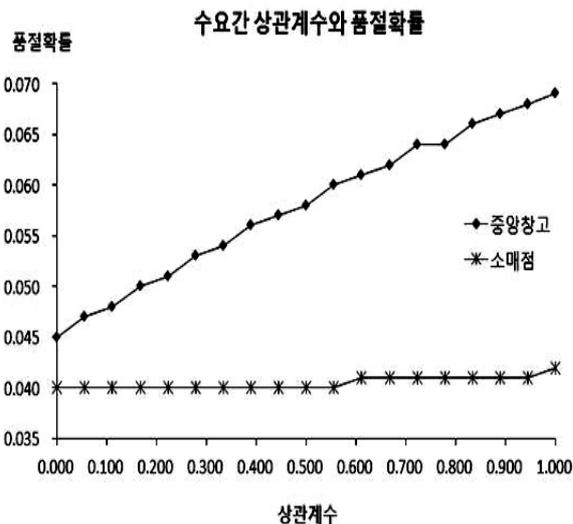


Fig 2. Change of the loss probability as the correlation increases (leadtime=1)

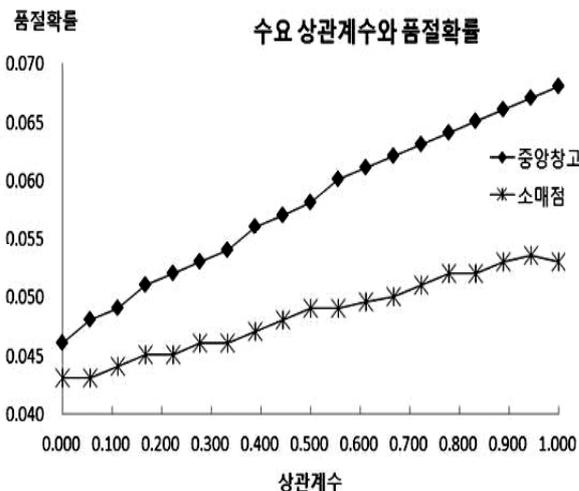


Fig. 3. Change of the loss probability as the correlation increases (leadtime=0.5)

### 5. 결론

본 연구에서는 다단계 재고 시스템에서 소매점의 수요는 포아송과정이지만 소매점 수요간에 상관관계가 존재하는 경우를 모델링할 수 있는 방법을 제시하였다. 그리고 소매점 수요간의 상관관계가 변함에 따라 중앙창고의 재고 수준이 어떻게 영향 받는지를 시뮬레이션으로 알아보았다. 그 결과 수요간의 상관관계가 증가할수록 중앙창고의 품질확률이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 소매점 수요간 상관관계가 증가할수록 중앙창고에서는 같은 품질확률을 만족시키기 위해서 더 많은 재고를 필요로 한다는 것을 확인하였다.

본 연구에서 다른 재고모형은 수요간 존재하는 상관관계를 표현하기 위해 간단한 모형을 사용하였으므로 재고 수준에 영향을 줄 수 있는 재고 정책이나 확률적인 리드타임들의 경우에 대하여 추후 연구가 필요하다. 그리고 각각의 상황에 대해 비용을 고려하여 수요간 상관관계가 있는 모형에 대한 최적해를 구하는 연구도 필요하다. 또한 소매점을 개로 일반화하여 소매점 쌍 개개의 상관관계, 전체 중앙창고로 들어오는 수요의 상관관계 등을 고려하여 민감도 분석을 수반하는 연구도 필요하다.

### 참고 문헌

- [1] Altay, N., Litteral L. A., and Rudisill, F. (2012), Effects of correlation on intermittent demand forecasting and stock control, *International Journal of Production Economics*, Vol. 135, pp.275-283.
- [2] Arda, Y. and Hennes, J. C. (2006), Inventory control in a multi-supplier system, *International Journal of Production Economics*, Vol. 104, pp.249-259.
- [3] Axsater, S. (1993), Continuous Review Policies for Multi-Level Inventory Systems with Stochastic Demand, *Handbooks in OR&MS*, Vol. 4, pp.175-197.
- [4] Chen, M. C., Yang, T. and Yen, C. T. (2007), Investigating the value of information sharing in multi-echelon supply chains, *Quality & Quantity* Vol. 41, pp.497-511.
- [5] Chiang, W. K. and Monahan, G. E. (2005), Managing inventories in a two-echelon dual-channel supply chain, *European Journal of Operational Research*, Vol. 162, pp.325-341.
- [6] Graves, S. C. (1996), A Multiechelon Inventory Model

- with Fixed replenishment Intervals, *Management Science*, Vol. 42(1), pp.1-18.
- [7] Liu, L. and Yuan, X. M. (2000), Coordinated replenishments in inventory systems with correlated demands, *European Journal of Operational Research*, Vol. 123, pp.490-503.
- [8] Raghunathan, S. (2012), Impact of demand correlation on the value and incentives for information sharing in a supply chain, *European Journal of Operational Research*, Vol. 146, pp.634-649.
- [9] So, K. C. and Zheng, X. (2003), Impact of supplier's lead time and forecast demand updating on retailer's order quantity variability in a two-level supply chain, *International Journal of Production Economics*, Vol. 86, pp.169-179.
- [10] Solis, A. O. and Schmidt, C. P. (2007), Stochastic leadtimes in a one warehouse, N-retailer inventory system with the warehouse not carrying stock, *European Journal of Operational Research*, Vol. 181, pp.1004-1013.
- [11] Sterman, J. (1989), Modeling Managerial Behavior: Misperception of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment, *Management Science*, Vol. 35, No. 4, pp.321-339.
- [12] Wee, H. M. and Chung, C. J. (2006), A Two-Echelon Deteriorating Production Inventory Newsboy Model with Imperfect Production Process, *ICCSA 2006, LNCS 3982*, pp.862-874.



**임시영**

한양대학교 산업공학과 학사  
 한양대학교 산업공학과 공학석사  
 한양대학교 산업공학과 공학박사  
 현재 : 한양대 산업경영공학과 연구교수  
 관심분야 : 대기이론, SCM, 재고관리



**허선**

서울대학교 산업공학과 학사  
 서울대학교 산업공학과 공학석사  
 Texas A&M 대학교 산업공학과 공학박사  
 현재 : 한양대 산업경영공학과 교수  
 관심분야 : 응용확률론, 재고관리, 데이터 마이닝

# 공급사슬 통합요인과 공급사슬통합 및 공급사슬 성과와의 관계 : 공급사슬에서 협력업체를 중심으로\*

박찬권 · 김채복<sup>†</sup>

영남대학교 경영학부 · 경북대학교 경영학부

## A Study on the Relationship among Supply Chain Integration Factors, Supply Chain Integration and Supply Chain Performances : Focused on the Cooperative Companies in the Supply Chain\*

Chan Kwon Park · Chae Bogk Kim<sup>†</sup>

School of Business Administration, Yeoungnam University  
School of Business Administration, Kyungpook National University

The main purpose of this study is to examine the relationship among information sharing, flexibility, and uncertainty of management environment (variables of supply chain integration factors) as independent variables, supply chain integration (intervening variables), and integration performance as well as customer satisfaction performance (variables of supply chain performance) as dependent variables. In order to obtain this research goal, this study develops hypotheses concerning variables by literature review to verify relationship. The results of hypothesis verification can be tests can be summarized as follows:

First, supply chain integration factors except uncertainty of management environment showed positive effect on supply chain integration. Second, supply chain integration impacted positively on supply chain performance. Third, there is no conflict responses and regulating effect of cooperation. But, conflict responses and regulating effect of cooperation positively affect on supply chain performance. That implies better supply chain performance can be achieved as the level of conflict responses and cooperation regulating effect of increase. It is shown that the intervening roles of supply chain integration extracts better supply chain performance

**Keywords:** SC, SCM, SC Integration, SCM Performance.

---

\* 이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

† **Corresponding author:** 702-701, School of Business Administration, Kyungppok National University, 80 Daehak-Ro, Buk-Ku Daegu, Korea.

Tel: 82-53-950-5444, E-mail: kimb@knu.ac.kr

2013년 1월 24일 투고, 2월 20일 게재 확정.

## 1. 서론

김수옥 외(2006)는 기존의 공급사슬 통합과 관련된 연구들을 종합하여 보면, 공급사슬 통합의 필요성과 중요성에 대해서는 강조하지만 실제 수행에 대한 연구가 부족하며, 또한 그 동안 많은 기업들이 효율적인 공급사슬 통합을 시도하고, 시스템적으로 공급사슬 통합 전략을 수행한다고 주장해 왔지만, 성공적으로 공급사슬을 통합한 기업은 거의 없으며, 공급사슬 통합이 기업성과에 어떤 영향을 주는지에 대하여 알아보는 연구도 부족하였음을 제시하였다.

또한 강아름 · 오중산(2011)에 의하면 공급사슬 통합과 성과 간의 인과관계를 통합적으로 고려한 연구들이 다소 부족한 실정이며, 공급사슬 통합이 성과에 긍정적인 영향을 미친다는 규범적인 연구들에 비해, 상대적으로 공급사슬 통합에 영향을 미치는 요인과 관련된 연구들도 부족하다고 하였다.

개별 기업들이 공급사슬을 구성하고 통합되어 운영된다면 통합된 공급사슬은 하나의 목적을 가진 시스템이라고 볼 수 있다(이정희, 2008). 즉, 원재료 공급업체로부터 최종적으로 고객에게 제품을 전달하는 유통업체(도 · 소매상)까지가 하나의 가상적인 기업 혹은 가상적인 조직이라고 할 수 있는데(Chopra and Meindl, 2007), 이들 통합된 공급사슬의 구성 기업 간 거래에서 고객수요의 변동이나 기술의 변화 혹은 거래조건의 변화에 따른 자연적인 현상으로서 개별기업의 수익과 비용은 변동될 수 있으며, 이에 따른 갈등의 발생과 갈등 발생에 따른 대처 방안이 공급사슬 성과에는 어떠한 영향을 미쳤는가에 대한 연구로서 Lee(2004)의 연구가 있지만 이를 실증적으로 제시한 연구는 더욱 제한적이었다.

따라서 본 연구에서는 공급사슬 통합에 영향을 미치는 변수들을 선행연구 및 각종 공급사슬 관련 단행본을 참조하여 찾아보고 이러한 공급사슬 통합에 영향을 미치는 요인들이 공급사슬 통합에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고 공급사슬 통합이 공급사슬 성과에는 어떠한 영향을 미치는지도 파악하지만, 공급사슬 통합이 공급사슬 성과에 미치는 영향에서 공급사슬 구성원 간 갈등의 발생 시 갈등에 대한 적절한 대응이 공급사슬 성과에 어떠한 조절 역할을 하는지를 파악하는 것이 주요한 연구목적이다.

그러므로 본 연구에서는 국내 제조업체 중 완성품을 제조하는 업체보다는 공급사슬 구성에서 대부분을 차지하고 있으며, 완제품 제조업체에 부품을 공급하는 1차 혹은 2차 부품 공급업체로서 협력업체를 주요 연구대상으로 하여 연구를 진행하여, 개별 기업들이 공급사슬을 통합하여 운영 하도록 하는 요인들을 정확하게 파악하고, 공급사슬 통합이 공급사슬 성과 제고에 어떠한 영향을 미치는지도 알아보지만, 통합된 공급사슬에서 이해관계의 차이점

때문에 갈등이 발생하는 경우 이러한 갈등 대응에 적극적으로 대응하여 협조하는 경우 더 높은 공급사슬 성과를 제고할 수 있다는 것을 알아보는 것이다.

본 연구의 세부적인 구성 및 내용은 아래와 같이 정리할 수 있다. 먼저 제2장은 문헌연구 및 이론적 배경으로 본 연구의 주요 변수인 공급사슬 통합요인, 공급사슬통합, 공급사슬 성과에 대하여 선행연구를 개관하여 본 다음 조작적 정의를 제시하고 주요한 측정변수를 제시한다. 제3장은 연구모형 및 가설설정으로 제2장 문헌연구 및 이론적 배경을 바탕으로 본 연구에서 연구하고자 하는 연구모형과 연구가설을 제시한다. 제4장은 가설검정으로 본 연구에서 연구하고자 했던 가설들을 검증한 결과를 제시하며, 제5장은 결론 및 토의로서 본 연구의 결과를 간단히 요약한 다음 연구의 제한사항과 향후 연구방향을 제시하였다.

## 2. 문헌연구 및 이론적 배경

공급사슬의 통합이 기업의 성과 혹은 공급사슬 성과에 어떤 영향을 주는지에 대해서 연구한 많은 연구가 있다(곽수일 외, 2005 ; 김형기 외, 2008 ; 박상욱 · 김수옥, 2007 ; 허대식 외, 2008 ; Armisted and Mapes, 1993 등). 하지만 이들 연구들은 공급사슬 성과의 향상을 위하여 공급사슬 통합의 필요성을 제시하는 연구라고 할 수 있지만, 공급사슬 통합의 요인을 구체적으로 제시한 연구는 조금 미흡했다고 할 수 있다.

일부 연구에서 제한적으로 공급사슬 통합의 요인을 제시한 연구(김형욱 · 윤선희, 2005 ; 이충배 · 정석모, 2009)가 있지만 김형욱 · 윤선희(2005)의 연구는 공급사슬 통합의 선행요인을 파트너십, 정보공유, 정보품질로 제시하고(이중 정보공유와 정보품질은 매개변수) 이들 요인이 공급사슬 통합에 영향을 미치는가에 대하여 연구하였는데 주로 파트너십과 정보공유를 선행요인으로 제시하였고, 이충배 · 정석모(2009)는 공급사슬 통합의 선행요인을 환경요인, 관계요인, 비용요인, 고객만족요인으로 구분하여 공급사슬 통합에 미치는 영향을 연구 하였는데 공급사슬 통합을 구조적 부분의 협력과 기능적 부분의 협력으로 연구하여, 공급사슬 통합의 형태를 곽수일 외(2005), 김수옥(2004), 김수옥 외(2006), 허대식 외(2008), Stevens(1990), Morash and Clinton(1998) 등이 제시한 기업의 기능 간 통합으로부터 공급사슬 구성원 전체의 통합인 공급사슬 통합으로 연구한 것이 아니라는 제한사항이 있다.

따라서 본 연구에서는 앞서 서론에서도 간단히 제시하였지만 개별기업들이 공급사슬 통합의 요인이라고 할 수 있는 요인을 구체적으로 제시하고자 하였으며, 공급사슬 통합, 공급사슬 구성원

간의 갈등대응에 대한 사항을 추가하여 연구하고자 하며, 본 연구의 세부적인 연구변수의 내용은 다음과 같다.

## 2.1. 공급사슬 통합요인(Supply Chain Integration factors)

### 2.1.1. 정보의 공유(Information Sharing : IS)

Dyer(1996)는 정보 공유란 구매업체와 공급업체들이 상호 관련되어 있는 과업과 관계된 정보를 서로 공유하는 것을 의미한다고 하면서 구체적으로는 공급업체의 기밀적인 혹은 독점적인 정보를 공유하는 것, 구매업체와 공급업체의 생산비용에 관한 정보를 공유하는 것, 생산비용을 더 낮추거나 품질의 개선, 재고관리와 납기의 개선을 위한 정보 등을 서로 공유하는 것을 의미한다고 하였다.

또한 정중암(2000)에 의하면 모기업은 협력업체의 생산 및 개발지도, 제품가격 및 납품단가의 결정을 위하여 협력업체의 생산 공정, 품질관리체계, 재고관리, 원재료 조달 등에 대한 정보와 원가와 관련된 정보를 파악할 필요성이 있는데, 특히 생산공정 및 원가에 대한 정보는 민감한 사항이기 때문에 협력업체로서는 공개를 꺼리는 부분이다. 따라서 협력업체가 모기업에 어느 정도의 생산, 원가, 투자관련 정보를 제공하는가는 협력의 강도를 측정할 수 있는 좋은 지표가 될 수 있다고 하였다.

반면 모기업이 협력업체에 제공하는 정보는 주로 모기업의 향후 정책방향이나 제품 계획, 생산 및 투자계획 등에 관한 것이다. 모기업이 제공하는 이러한 정보를 통하여 협력업체는 미래의 자재나 생산과 관련하여 시설이나 기술계획을 수립할 수 있게 된다. 상호 교환되는 이러한 정보는 그만큼 상대방 기업과의 협력적 경영활동을 추진해 나가는데 있어서 효율성을 제고시키며, 나아가 기업 간 협력관계에 대한 만족도를 높인다고 하였다.

따라서 본 연구에서 공급사슬 통합요인으로 먼저 정보의 공유를 선정 하였으며, 정보의 공유를 Dyer(1996)가 제시한 것처럼 상호 관련되어 있는 과업과 관계된 정보를 서로 공유하는 것으로 정의하였다.

### 2.1.2. 유연성(Flexibility)

유연성에 대한 연구로서 먼저 Aggarwal(1997)은 유연성을 초과적인 비용이나 시간 혹은 조직의 혼란이 야기되지 않으면서 성과의 손실 없이 시장의 요구를 만족시킬 수 있는 조직의 능력으로 설명하였다.

그리고 Vickery 외(1999)는 유연성을 전체 부가가치 시스템의 측면에서 보아야 하며 공급사슬의 유연성은 제품(고객화) 유연성, 생산량 유연성, 출시(신제품 출시) 유연성, 접근 유연성과 목표시

장에 대한 반응성 등 5가지 영역에 의해 측정될 수 있다고 하였다.

이곡지(2010)는 앞서 제시한 Vickery 외(1999)가 제시한 유연성을 바탕으로 하여 제품유연성, 생산량유연성, 납품유연성, 반응유연성을 제시 하였다.

또한 윤선희(2004)는 공급사슬에서의 유연성을 다양한 모양, 옵션, 사이즈, 색깔의 제품을 생산할 수 있다. 고객수요의 변동에 따라 제품을 추가 생산하거나 줄일 수 있다. 제품개선 및 변동이 많을 때 빠르게 수용할 수 있다. 신제품 도입을 빠르게 추진할 수 있다 등의 내용을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 유연성을 앞서의 선행연구를 참조하여 거래업체와의 거래에서 초과적인 비용이나 시간 혹은 조직의 혼란이 야기되지 않으면서 조직의 성과를 제고하기 위해 다양한 종류의 제품과 주문량의 변경에도 불구하고 제품과 주문량을 생산할 수 있는 능력으로 정의 하였다.

### 2.1.3. 경영환경의 불확실성(Management Environment Uncertainty : MEU)

Daft and Macintosh(1981)는 불확실성이란 과업을 수행하는데 요구되는 정보의 양과 실제로 가지고 있는 정보의 양 간의 차이를 나타내므로, 불확실성이 높을수록 필요한 정보의 양은 증가하게 된다고 하였다. 또한 Guimaraes 외(2002)에 의하면 기술변화속도가 빠르면 불확실성이 증가하고, 불확실성의 정도가 높을수록 예상치 못한 상황이나 문제에 직면하는 빈도는 증가하게 되므로, 현재 가지고 있는 지식이나 정보로는 새로운 문제들에 적절히 대처할 수 없게 된다고 하였다.

또한 김팔술 외(2004)는 기술의 변화속도를 기업 간에 거래하는 제품의 변화정도로 하여, 세부적으로는 제품 모델 · 디자인 · 제조기술 · 새로운 설비 구입이 필요한 정도로 정의하였다.

따라서 본 연구에서는 경영환경의 불확실성을 위의 선행연구에서 제시한 정의를 바탕으로 하여, 개별 기업이 속한 해당 산업의 기술 변화속도와 고객 수요의 변화가 급격하게 발생하거나 변화에 적절하게 대처하지 못하는 것으로 정의를 내리고 여기에 따라 연구를 진행 하였다.

## 2.2. 공급사슬 통합(Supply Chain Integration : SCI)

강아름 · 오중산(2011)에 의하면 공급사슬 통합과 관련된 선행연구를 크게 2가지로 구분해 볼 수 있다고 하였다. 하나는 단일 조직 내에 존재하는 여러 기능 부서들 간의 통합에 초점을 맞추고 있는 내부통합(Internal Integration)에 관한 연구이고, 다른 하나는 기업 외부에 위치한 조직과의 통합으로 외부통합(External

Integration)에 관한 연구이다.

또한 김수욱 외(2006), Narasimhan and Kim(2001)는 공급 사슬의 통합을 내부 기능적 통합(Internal Functional Integration), 공급자 통합(Suppliers Integration), 고객 통합(Customers Integration)으로 크게 3가지로 구분하여 제시하였다.

이중 본 연구에서는 내부통합 혹은 내부 기능적 통합을 제외하고 공급사슬 내의 모든 공급자 및 관련업무가 통합적으로 운영되어야 한다는 개념으로 외부통합 혹은 외부 기능적 통합의 관점에서 공급사슬 통합을 설명하며 기업이 궁극적으로 고객만족을 달성하기 위하여 공급사슬 상의 핵심적인 고객 혹은 공급자와 전략이나 절차 등을 협력적으로 구축하는 것(Stank 외, 2001)으로 서로 다른 기업들 간의 조정(Coordination)과 협력(Collaboration), 상호작용(Interaction)하는 것(O'Leary-Kelly and Flores, 2002)으로 정의 하였다.

### 2.3. 갈등대응협조(Cooperative Attitude of Conflict : CAC)

갈등은 상호의존적인 관계에서 다른 구성원이 자신의 목표와 효율적인 성과달성을 방해하는 경우에 당사자가 느끼는 욕구불만 상태를 의미한다(Gaski, 1984).

그리고 Rosenbloom(1973)은 경로효율과 갈등수준사이의 관계를 설명하면서 갈등은 식역수준을 전환점으로 역기능적인 측면 뿐만 아니라 순기능적인 측면도 있다고 하였다. 갈등초기의 경우 경로구성원들은 서로 관용을 보이고 인내를 함으로써 경로효율에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 일정한 정도를 넘는 이후부터는 갈등이 표출되지만 경로구성원들이 건설적인 긴장을 야기하여 갈등은 결속을 강화하고 궁극적으로 경로효율에 긍정적으로 작용한다고 하였다.

특히 갈등이 성과에 긍정적인 영향을 미치기 위해서는 거래쌍방의 힘이 균형적인 상황에 접근해야 하고 또한 갈등을 해소할 수 있는 불만처리의 구조적 수단과 같은 제도적 장치가 잘 정비되어 있어야만 갈등의 해결을 통하여 보다 나은 성과를 기대할 수 있다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 위에서 제시된 선행연구를 바탕으로 갈등대응협조를 Gaski(1984)의 정의를 바탕으로 하여 갈등을 해소하기 위한 상호 거래기업 간의 불만처리의 구조적 수단과 같은 제도적 장치를 통하여 해결함으로써 보다 나은 공급사슬 성과를 제고하기 위한 노력으로 정의한다.

### 2.4. 공급사슬 성과(Supply Chain Performance : SCP)

공급사슬 성과를 정확하게 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 하지만 본 연구에서는 개별기업들이 공급사슬을 통합한 결과에 따른 성과로서 통합성과와 공급사슬 통합을 통하여 최종적으로 달성하고자 하는 고객만족성과의 두 가지 요인으로 구분하여 연구하며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

#### 2.4.1. 통합성과(Integration Performance : IP)

Stevens(1990)은 공급사슬 통합 단계에 대한 연구에서 통합의 단계가 높아질수록 통합이 기능 간 또는 조직 간 장애를 제거하여 준다고 하였으며, 김수욱(2004) 역시 공급사슬 통합의 단계가 올라갈수록 공급사슬관리에 대한 초점이 전반적인 업무성과 향상으로 변화되어야 한다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 통합성과를 공급사슬 통합을 통하여 거래기업 간 상호 제공되는 업무에 대한 성과로서 업무 서비스에 대한 제고와 만족도, 상호간 불만의 감소정도로 조작적 정의를 내리고 여기에 대하여 연구하였다.

#### 2.4.2. 고객만족성과(Customer Satisfaction Performance : CSP)

Fawcett and Magnan(2001)에 의하면 기업은 공급사슬 통합을 통해 신상품 개발기간 단축, 유연성 향상, 납기 성과 향상, 재고비용 감축, 핵심역량 강화, 고객서비스 향상 등의 성과를 얻을 수 있다고 하였다.

또한 박연우 · 이정희(2004)는 공급사슬에서의 성과측정을 균형성과표를 이용하여 고객성과, 프로세스성과, 목표성과, 재무성과로 구분하여 제시하였는데 이중 본 연구와 유사한 고객성과에 대한 내용을 살펴보면, 업무처리시간 및 자원낭비 감소, 사이클 타임 감소, 공급사슬 파트너에 대한 유연한 대응, 생산원가 및 영업비용 감소 등을 달성할 수 있다고 하였다. 그리고 김수욱(2004) 역시 고객서비스성과로 주문처리 정확성, 제품반품률, 주문처리 신속성, 생산량변동 요구에 대한 반응시간을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 위의 선행연구에서 제시된 내용을 바탕으로 하여 고객만족성과를 공급사슬 통합을 통하여 최종 고객에 대한 만족도 제고와 가치창출 측면의 성과라고 조작적 정의를 내리고 공급사슬 통합이 이러한 고객만족성과를 달성할 수 있는가를 검증 하였다.

이상에서 연구변수에 대한 조작적 정의는 앞서 본문의 내용에 간단히 요약하여 제시하였으므로 각 연구 변수의 측정항목 및 참조한 선행연구는 다음의 표 1에 종합하여 나타내었다.

표 1. 연구변수의 측정항목 및 참조문헌

변수명	조작적 정의	참조문헌
정보의 공유 (IS)	고객의 요구사항(디자인, 형태) 공유	김상오·윤선희(2007) 김성홍·김진한(2007) 정종암(2000) Dyer(1996)
	고객의 요구사항(가격, 성능, 편리성) 공유	
	고객의 요구사항(주문량, 납기) 공유	
	고객의 요구사항(포장, 유통경로) 공유	
	생산관련 정보(생산계획, 생산능력) 공유	
	생산관련 정보(기술력, 재고, 품질) 공유	
	제품개발정보(디자인, 출시시기) 공유	
	원재료 및 부품 구매 관련 정보(구매량, 구매시기) 공유	
	원재료 및 부품 구매 관련 정보(구매가격, 지불조건) 공유	
유연성 (FL)	다양한 종류, 옵션, 크기의 제품 생산	윤선희(2004) 이곡지(2010) Aggarwal(1997) Vickery 외(1999)
	고객수요 및 시장의 변동에 대응	
	신제품의 도입을 빠르게 추진	
	제품수명주기에 따른 생산계획의 신속한 변경	
경영환경의 불확실성 (MEU)	해당 산업의 기술 변화속도가 빠르다	김팔술 외(2004) Daft and Macintosh(1981) Guimaraes 외(2002)
	생산하는 제품 및 서비스는 수요의 변화가 심하다	
	기술의 변화속도가 미치는 영향을 예측하기 어렵다	
	수요의 변화가 미치는 영향을 예측하기 어렵다	
	기술 변화속도를 적절하게 대응하기 위한 지식과 능력 부족	
공급사슬 통합 (SCI)	수요의 변동에 공동으로 대처할 수 있다	강아름·오중산(2011) 김수옥 외(2006) O'Leary-Kelly and Flores(2002) Stank 외(2001)
	시장관련 정보가 거래업체의 경영정책에 반영	
	정기적인 업무관련 회의	
	업무에 대한 성과지표의 공유	
갈등대응 협조 (CAC)	상호간 문제점의 해결 위한 노력	Gaski(1984) Rosenbloom(1973)
	상호간 신뢰 구축을 위한 노력	
	상호간 역할에 대한 충분한 이해	
	상호간 책임에 대한 명확한 규명	
	상호간 불만 사항을 적절히 표현	
	갈등 발생 시 대화 창구 보유 및 활용	
갈등 발생 시 업무관련 연락의 내용을 강화		
통합성과 (IP)	협력사에 제공하는 업무 서비스가 향상	김수옥(2004) Steven(1990)
	협력사로부터 제공받는 업무 서비스가 향상	
	협력사와 거래 시 업무 만족도 향상	
	업무 처리에 대한 협력사 불만의 감소	
고객만족 성과 (SCP)	제품 및 서비스의 생산성 증가	김수옥(2004) 박연우·이정희(2004) 장형욱(2006) Fawcett and Magnan(2001)
	제품 및 서비스의 적시 납기 준수율 증가	
	주문에서 납품까지의 시간이 단축	
	제품 및 서비스의 유연성 증가	
	제공하는 고객 서비스 향상	
	제품 및 서비스에 대한 고객 불만이 감소	
	고객 불만의 처리시간 단축	
제품 및 서비스에 대한 고객의 만족도 향상		

### 3. 연구모형 및 가설설정

#### 3.1. 연구모형

본 연구에서는 앞서 제2장 문헌연구 및 이론적 배경을 토대로 하여 다음과 같은 가설을 수립하고 검증하고자 한다.

첫째, 공급사슬 통합요인은 공급사슬 통합에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

둘째, 공급사슬 통합은 공급사슬 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

셋째, 갈등대응협조는 공급사슬 통합과 공급사슬 성과 사이에서 조절역할을 할 것이다.

넷째, 공급사슬 통합은 공급사슬 통합요인과 공급사슬 성과 사이에서 매개역할을 할 것이다.

연구를 위한 세부적인 변수로서 독립변수는 공급사슬 통합요인이며 이의 세부변수로는 정보의 공유, 유연성, 경영환경의 불확실성이다. 매개변수는 공급사슬 통합이며, 마지막으로 종속변수는 통합성과와 고객만족 성과를 종합한 공급사슬 성과이다.

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

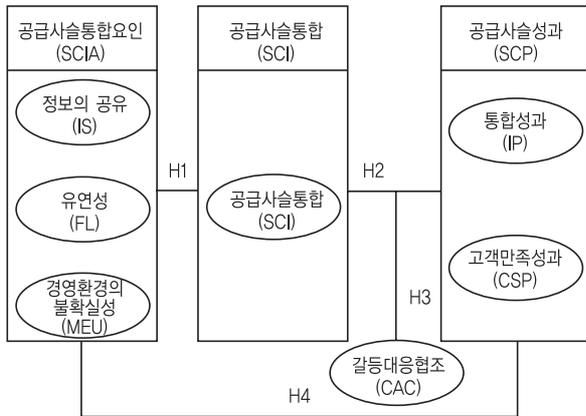


그림 1. 연구모형

#### 3.2. 연구가설 설정

##### 3.2.1. 공급사슬 통합요인과 공급사슬 통합 간의 관계

김용진(2003)에 의하면 정보공유는 참여하고 있는 모든 구성원에게 동시적인 혜택을 제공하는데, 전략적 수준에서 비즈니스 목표에 대한 정보공유는 개별적인 구성원들에게 경쟁우위와 시스템적인 공급사슬에 대한 상호 이해를 제공하며, 이는 협력의 출발점이 된다. 그리고 전술적 수준에서의 정보공유는 구성원들의 수

요의 불확실성을 감소시키고, 조직 간에 발생하는 의사결정의 복잡성을 극복할 수 있게 하며, 기회주의적 행위로 인한 관계의 취약성을 극복하게 해준다고 하였다.

따라서 개별 기업의 입장에서는 거래하는 기업과 신뢰관계가 구축되지 않는다면 상호간 정보의 공유를 꺼릴 것이다. 그러므로 정보의 공유는 거래기업 간 협력을 추구하는 공급사슬 통합의 요인으로 작용할 것이다.

또한 Cannon, 외(2000)에 의하면 유연성은 불확실하고 애매 모호한 상황에서 적절한 행동을 유도하는 기준을 제공하기 때문에 파트너 간 공유된 가치에 집중하게 하고, 기회주의와 소극적인 협력을 최소화하는 기능을 갖고 있고, 나아가서는 교환의 지속성을 보호해 주는 역할을 한다고 하였다.

그리고 Chenhall and Morris(1986)에 의하면 환경 불확실성은 기업내부의 정보보다는 외부상황과 관련된 정보의 필요성을 증가시키게 된다고 하였는데 이는 환경이 불확실 할수록 기업의 외부조직과 관련된 정보의 획득이 중요해지므로 거래하는 기업과의 통합을 위한 요인으로 작용한다는 것이다. 또한 Rindfleisch and Heide(1997)는 환경 불확실성은 수직적 통합에 정(+)의 효과를 가져다준다고 하였다.

그리고 홍관수 · 정기웅(2004)은 환경의 변화속도가 빠른 경우 즉 불확실성이 높아지는 경우 공급자와 구매자 간의 협력에 정(+)의 영향을 미친다고 하였으며, 불확실성이 높을수록 공급자를 시장에서 찾기보다는 기존의 공급자와 협력관계를 강화하여 불확실한 환경의 변화에 대처 한다고 하였다.

따라서 앞서 제시한 연구를 바탕으로 하여 가설 H1, H1-1을 수립하고 이를 검증해보고자 한다.

##### 3.2.2. 공급사슬 통합과 공급사슬 성과 간의 관계

김수옥 외(2006)에 의하면 공급사슬 통합은 전체 공급사슬 상의 기업과 공급자간, 내부 시스템, 그리고 고객 간의 비즈니스 프로세스 통합과 효율화 문제를 해결하려는 것으로, 공급사슬 통합을 통해 향상된 조정 능력은 리드 타임(Lead Time) 감소와 비용 절감을 유도하며, 상호 의존적 의사결정 프로세스를 정돈시켜 주고, 공급사슬 상의 각 구성원들의 전반적인 성과를 향상시켜 준다고 하였다.

그리고 Morash and Clinton(1998)은 공급사슬 통합의 목적은 고객 가치 창출을 위해 공급사슬 구조의 효과성과 효율성을 제고하는 데 있으며, 공급사슬 통합은 공급사슬 전체의 가치를 증진시켜 최종 고객에게 보다 큰 만족을 제공하는 것(Bowersox 외, 2000)이라는 선행 연구를 바탕으로 하여 가설 H2, H2-1, H2-2를 수립하고 이를 검증해보고자 한다.

### 3.2.3. 갈등대응협조의 조절효과 검증

Sahin and Robinson(2002)은 기업간 거래는 예측하지 못한 상황변화로 인해 당초 의도한 바대로 거래가 진행되기 어려우며, 이런 경우 기업 간에는 갈등이 발생하게 되고, 각 기업이 자신만의 이익에 근거하여 행동을 하게 된다면 전체 시스템의 최적화를 달성할 수 없게 된다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 기업 간 거래에서 개별 기업이 갈등상황에 직면하는 경우 발생한 갈등에 대응하여 협조하는 갈등대응협조의 조절효과를 검증하기 위해 개별기업의 공급사슬 성과는 갈등대응협조수준이 높을수록 높을 것이라고 판단하였다. 이에 따라 세부적으로 가설 H3, H3-1, H3-2를 수립하고 이를 검증하고자 하였다.

### 3.2.4. 공급사슬통합의 매개역할 검증

공급사슬 통합요인과 공급사슬 성과 사이에서 공급사슬통합의 매개역할을 검증하기 위해 아래와 같은 방법을 이용하였다.

X1(독립변수)은 X3(종속변수)에 직접적으로 영향을 미치기도

하지만 X2(매개변수)를 거쳐서 간접적인 영향을 미칠 수도 있다. 이 경우 X2는 매개변수의 역할을 수행한다고 할 수 있다. 따라서 X2가 매개변수의 역할을 하는지에 대해서 검증하기 위해서는 먼저  $X1 \rightarrow X3$ 이 유의적인가를 검증한다. 그리고  $X1 + X2 \rightarrow X3$ 에서 X1이 비유의적이거나 유의성이 낮아야만 하고, X2가 유의적으로 나오면 X2는 매개변수라고 할 수 있다.

따라서 공급사슬 통합요인이 공급사슬 성과에 직접적인 영향을 미칠 수 있지만 매개변수인 공급사슬통합을 통하여 시행될 경우 더 높은 공급사슬 성과를 달성할 수 있을 것이라고 보았다.

본 연구에서는 공급사슬 통합요인이 공급사슬 성과에 정(+)의 영향을 미치는가를 검증하여보고 더불어 공급사슬 통합을 통하여서는 더 나은 공급사슬 성과를 달성할 수 있을 것이라고 판단하고 다음과 같은 가설 H4, H4-1, H4-2, H4-3을 수립하고 이를 검증하여 보고자 하였다.

따라서 앞서 제시한 내용을 종합하여 본 연구에서 검증하고자 하는 연구가설의 세부내용 및 회귀식을 아래의 표 2에 제시하였다.

표 2. 연구가설의 세부내용 및 회귀식 종합

H1	공급사슬 통합요인은 공급사슬통합에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $SCI_1 = a + \beta 1SCIIF$
H1-1	정보의 공유, 유연성, 경영환경의 불확실성은 공급사슬통합에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $SCI_2 = a + \beta 1IS + \beta 2FL + \beta 3MEU$
H2	공급사슬통합은 공급사슬 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $SCP = a + \beta 1SCP$
H2-1	공급사슬통합은 통합성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $IP = a + \beta 1SCI$
H2-2	공급사슬통합은 고객만족성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $CSP = a + \beta 1IP$
H3	공급사슬통합이 공급사슬 성과에 미치는 영향은 갈등대응협조 수준이 높을수록 높을 것이다. $SCP = a + \beta 1SCI + \beta 2CAC + \beta 3SCI * CAC$
H3-1	공급사슬통합이 통합성과에 미치는 영향은 갈등대응협조 수준이 높을수록 높을 것이다. $IP = a + \beta 1SCI + \beta 2CAC + \beta 3SCI * CAC$
H3-2	공급사슬통합이 고객만족성과에 미치는 영향은 갈등대응협조 수준이 높을수록 높을 것이다. $CSP = a + \beta 1SCI + \beta 2CAC + \beta 3SCI * CAC$
H4	공급사슬 통합요인은 공급사슬 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. $SCP = a + \beta 1SCIIF$
H4-1	공급사슬 통합은 공급사슬 통합요인과 공급사슬 성과 사이에서 매개역할을 할 것이다. $SCP = a + \beta 1SCIIF + \beta 2SCI$
H4-2	공급사슬 통합은 공급사슬 통합요인과 통합성과 사이에서 매개역할을 할 것이다. $IP = a + \beta 1SCIIF + \beta 2SCI$
H4-3	공급사슬 통합은 공급사슬 통합요인과 고객만족성과 사이에서 매개역할을 할 것이다. $CSP = a + \beta 1SCIIF + \beta 2SCI$

## 4. 가설검정 결과

### 4.1. 연구 방법론

#### 4.1.1. 표본 설계 및 주요 설문 내용

본 연구에서 제시된 가설을 검정하기 위한 자료조사의 대상은 공급사슬의 전 단계에 걸쳐서 공급사슬 통합을 시행하거나 원래로 공급업체로부터 최종 유통업체까지의 공급사슬 전체를 관리하고 있는 기업을 중심으로, 특히 각종 논문이나 신문에서 공급사슬 통합과 관련된 사례를 제시한 기업들을 선정하고, 되도록 이들 기업이나 관련 협력업체에서 설문지를 받을 수 있도록 하였다.

설문의 구성은 정보의 공유 9항목, 유연성 4항목, 경영환경의 불확실성 6항목, 공급사슬 통합 4항목, 갈등대응협조 7항목, 통합성과 4항목, 고객만족성과 8항목, 일반현황 7항목으로 총 42항목으로 구성되었으며, 각각의 측정항목은 앞서 표 1에서 제시하였으며, 제2장에서 제시한 조작적 정의와 참조문헌을 통하여 구성되었다.

설문 응답은 해당기업의 공급사슬관련 업무를 담당하는 직원으로 되도록 상위 직책에 있는 직원에게 주로 의뢰하여 수집하였으며, 특히 중소기업은 기업의 전반적인 경영상황을 가장 잘 파악하고 있는 최고 경영자와 부장급 이상 직위에서 설문의 답변을 받을 수 있도록 노력하였다. 또한 기업 당 1개의 설문을 받는 것을 원칙으로 하였지만 국내의 대기업으로서 하나의 기업에 독립적으로 여러 개의 사업 부문이 명확하게 구별되는 경우에는 사업 부문별로 설문을 진행하여 의견을 수렴하였다.

#### 4.1.2. 자료조사 대상 및 방법

설문의 각 항목은 리커트 7점 척도로 조사하였으며, 조사기간은 2012년 8월 10일부터 2012년 11월 10일까지이며, 해당 기업을 직접방문하거나 e-mail을 통하여 설문지를 500부를 배포하고 그 중 33.2%에 해당하는 166개사가 9월 초부터 11월까지 설문지에 응답을 해 주었다. 설문지는 1차로 88부, 2차로 64부, 3차로 14부를 회수하였다.

회수된 설문지 총 166부중 7부는 공급사슬 성과로서 통합성과와 고객만족성과에 관한 항목에서 답변이 누락되어 제거하였고 총 159부를 연구에 활용하였다. 그리고 연구변수의 통계처리는 SPSS 20을 활용하여 연구를 진행하였다. 설문조사 결과 표본 응답자의 특성은 아래의 표 3과 같다.

## 4.2. 상관관계 및 신뢰성과 타당성 분석

#### 4.2.1. 기술 통계량 및 상관관계

변수들의 기술 통계량 및 상관관계는 다음의 표 4에 나타내었다. 기술 통계량을 살펴보면 전반적으로 응답기업의 기술 통계량 값이 평균(4.00)보다 높게 나타났는데 이중 정보의 공유(4.75), 유연성(4.81), 갈등대응협조(4.90), 고객만족성과(4.95)에서 높은 평균값을 보였다. 따라서 조사대상 기업은 정보의 공유 수준, 유연성의 수준, 갈등대응협조의 수준이 높으며, 고객만족 성과의 수준 역시 높다는 것을 알 수 있다.

그리고 정보의 공유와 유연성 수준이 높게 나타나는데 조사대상 기업들이 정보의 공유와 유연성의 중요성을 인식하고 있다는

표 3. 표본 응답자의 특성

공급사슬 위 치	원재료		부품		제조		유통·판매		무응답		합계(%)			
	-		37(23.3)		114(71.7)		8(5.0)		-		159(100)			
직 위	임원 이상		부실팀장		과·차장		대리이하		무응답		합계(%)			
	18(11.3)		35(22.0)		69(43.4)		37(23.3)		-		159(100)			
근 속 년 수	3년 미만		3-5년		5-10년		10년 이상		무응답		합계(%)			
	18(11.3)		28(17.6)		69(43.4)		44(27.7)		-		159(100)			
담 당 직 무	마케팅		생산·제조		물류·유통		R & D		구매·조달		기타	합계(%)		
	3(1.9)		133(83.6)		3(1.9)		7(4.4)		4(2.5)		9(5.7)	159(100)		
업 종 (%)	전기·전자		자동차·부품		건설·운송		기계·금속		석유·화학		도소매·유통			
	44(27.7)		56(35.2)		2(1.3)		37(23.3)		3(1.9)		3(1.9)			
	통신		플라스틱		의약/생활용품		종이·펄프		기타		합계			
	1(0.6)		7(4.4)		1(0.6)		2(1.3)		3(1.9)		159(100)			
매출액 규 모	100억 이하	100~300억	300~500억	500~1천억	1천~5천억	5천억~1조	1조 이상	기타		무응답	합계(%)			
	60(37.7)	20(12.6)	14(8.8)	21(13.2)	14(8.8)	1(0.6)	16(10.1)	5(3.1)		8(5.0)	159(100)			
종업원 수 (명)	50인 미만		50~100명		100~200명		200~300명		300~500명		500~1000명	1000명이상	무응답	합계(%)
	57(35.8)		30(18.9)		21(13.2)		14(8.8)		4(2.5)		5(3.1)	20(12.6)	8(5.0)	159(100)

것을 알 수 있으며, 경영환경의 불확실성은 평균보다는 높게 나타나지만 다른 어떤 변수들보다 낮은 평균값을 보여 경영환경 불확실성에 대한 인식은 낮은 것으로 나타났다.

또한 연구변수들의 상관계수를 살펴보면 최저 .005에서 최대 .635의 값을 보인다. 이중 경영환경의 불확실성 변수가 다른 변수들과 낮은 상관관계를 보이며, 유의하지 않은 것으로 나타나는데 이는 기술 통계량에서 나타낸 값과 유사한 결과이다. 하지만 본 연구의 핵심 연구변수인 공급사슬 통합, 갈등대응협조, 공급사슬 성과는 비교적 높은 상관관계를 보이므로 연구 진행에는 문제가 없는 것으로 판단하였다. 본 연구에서 연구하고자 하는 변수들의 기술 통계량 및 상관관계는 아래의 표 4에 정리하여 나타내었다.

#### 4.2.2. 신뢰성 및 타당성 분석 결과

본 연구 모형을 구성하는 변수들의 요인별 내적 일관성 여부를 판단하기 위해 Cronbach's  $\alpha$  값을 이용한 신뢰성 검정을 하였다. 본 연구에서는 척도의 내적일관성을 제고하기 위하여 각 변수의 Cronbach's  $\alpha$  값과 개별측정항목을 제외한 경우의 Cronbach's  $\alpha$  값을 비교하여 개별측정항목을 제외한 경우의 Cronbach's  $\alpha$  값이 더 큰 값을 갖는 경우 그 측정항목을 제거하는 내적일관성방법을 이용하였다. 그러므로 각 측정 항목별로 내적 일관성을 저해한다고 판단되는 개별항목들을 제거하여 분석하였다. 따라서 연구 변수 중 유연성에서 1개 문항, 경영환경의 불확실성에서 2개 문항을 제거하여 신뢰성을 측정하였다. Cronbach's  $\alpha$ 에 의한 신뢰성 측정치 계수는 0.8-0.9이면 바람직하고, 0.6-0.7이면 수용할만한 것으로 여겨진다. 본 연구에서는 개념 타당성 파악을 위한 요인분석은 주성분분석(PCA) 중 요인사이에 독립성을 가정한 Verimax 직각회전방식으로 요인분석을 시행하였다. 신뢰성 검정결과 모두 0.75이상으로 나타나 설문 항목 간의 신뢰성이 비교

적 높음을 알 수 있다.

또한 여기서 KMO 측도 값은 0.6이상이어야 하고, Bartlett의 구형성 검정 값은 유의확률 이 0.05(95% 신뢰구간일 경우)보다 작아야 하는데 본 연구에서의 KMO 측도 값은 .858로 기준치보다 높게 나타났고, Bartlett의 구형성 검정 값의 유의확률은 .000으로 나타나 전반적으로 변수들 간의 상관관계는 유의한 것으로 나타났다. 최종적으로 타당성 분석에서 설명력은 72.467로 나타나 연구 변수의 타당성을 확보하였으므로 연구를 계속하여 진행하였다. 세부적인 타당성 검정결과는 다음의 표 5에 나타내었다.

### 4.3. 가설검정 결과

#### 4.3.1. 공급사슬 통합요인과 공급사슬 통합 간의 가설검정 결과

공급사슬 통합요인을 독립변수로 하고, 공급사슬 통합을 종속변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과는 다음의 표 6에 나타내었다.

검정결과 연구가설 H1은 유의하고, H1-1은 부분적으로 유의한 것으로 나타났다. 즉, 공급사슬 통합요인은 공급사슬 통합에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 세부적으로 살펴보면 경영환경의 불확실성은 공급사슬 통합에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 정보의 공유( $\beta=.462$ )는 유연성( $\beta=.188$ )보다 공급사슬 통합에 더 높은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

이러한 결과는 공급사슬 통합을 위한 선행요인으로서 기업이 가장 먼저 그리고 핵심적으로 이루어야 하는 사항이 정보의 공유라는 것이다. 이러한 결과는 김용진(2003)의 연구 결과와 유사한 결과이지만 경영환경의 불확실성이 공급사슬 통합에 정(+)의 영향을 미친다는 홍관수·정기웅(2004)의 연구결과와는 반대의 결과로 나타났다.

표 4. 기술통계량 및 상관관계

구분	1	2	3	4	5	6	7
1. 정보의 공유	1						
2. 유연성	.510**	1					
3. 경영환경의 불확실성	.047	.235**	1				
4. 공급사슬통합	.557**	.423**	.049	1			
5. 갈등대응협조	.586**	.617**	.085	.585**	1		
6. 통합성과	.412**	.467**	.005	.504**	.616**	1	
7. 고객만족성과	.565**	.512**	.094	.591**	.604**	.635**	1
평균(Mean)	4.7581	4.8155	4.1730	4.3519	4.9029	4.6352	4.9502
표준편차(Deviation)	1.1761	1.1810	1.0558	1.0515	1.0065	0.9779	0.9169

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

표 5. 각 변수들에 대한 신뢰성 및 타당성 분석 결과

구성항목	요인 적재량(Factor Loading)							Cronbach's $\alpha$
	1	2	3	4	5	6	7	
정보의 공유 (IS)	.283	.716	.249	.085	.071	.120	-.131	.934
	.241	.807	.240	.052	.060	.070	.056	
	.075	.796	.177	-.031	.091	.118	-.054	
	.136	.752	.281	.130	.053	.172	-.116	
	.248	.782	.202	.095	.121	.053	-.005	
	.198	.804	.180	.128	.158	-.031	.043	
	.245	.722	.203	.134	.128	.197	.159	
	.283	.665	-.044	.085	.182	.351	-.020	
.206	.496	.025	.137	.439	.251	-.118		
유연성 (FL)	.274	.265	.223	.071	.639	-.002	.160	.865
	.332	.184	.249	.199	.758	-.001	.087	
	.348	.153	.192	.136	.748	.069	-.013	
경영환경의 불확실성 (MEU)	.197	.045	.094	.280	.357	.327	.439	.751
	-.022	.061	.027	-.157	.246	.071	.804	
	.026	-.068	-.063	-.112	.010	-.135	.856	
공급사슬 통합 (SCI)	-.052	-.067	.019	.060	-.153	-.060	.837	.830
	.262	.232	.236	.077	.327	.620	-.051	
	.239	.296	.183	-.036	.422	.631	-.049	
	.253	.165	.252	.128	-.046	.703	-.002	
갈등대응협조 (CAC)	.143	.203	.226	.275	-.134	.732	-.074	.952
	.654	.240	.200	.208	.336	.220	-.075	
	.808	.166	.203	.048	.109	.095	-.004	
	.802	.236	.102	.000	.185	.108	.064	
	.753	.325	.170	.094	.012	.019	.063	
	.805	.221	.270	.155	-.055	.054	.026	
통합성과 (IP)	.739	.126	.170	.223	.237	.234	-.078	.892
	.804	.090	.160	.214	.162	.070	-.085	
	.269	.256	.340	.729	.025	.022	.017	
	.259	.069	.267	.783	.158	.114	-.058	
고객만족성과 (CSP)	.381	.012	.245	.665	.221	.250	-.121	.933
	.214	.136	.241	.788	.180	.138	-.111	
	.103	.262	.465	.447	-.053	.373	.085	
	.142	.299	.789	.074	.162	.155	.117	
	.077	.218	.715	.294	.030	.208	.082	
	.197	.272	.767	.205	.069	.051	.007	
	.296	.223	.733	.152	.190	.095	.035	
	.329	.132	.678	.129	.205	.173	-.107	
.254	.163	.776	.174	.139	.208	-.122		
.288	.177	.762	.211	.186	.099	-.039		
eigen 값	7.695	6.307	5.559	3.445	3.274	3.073	2.532	계
회전 제곱합 적재값(%)	17.489	14.334	12.634	7.830	7.441	6.984	5.754	72.467

표 6. 공급사슬 통합요인과 공급사슬 통합 간의 회귀분석 결과 종합

가설	독립 변수	종속 변수		표준화 계수 및 유의확률		
			SCI	베타	t값	유의확률
H1	SCIF	R <sup>2</sup> , (p-val)	.317(.000)	.563	8.464	.000
H1-1	IS	R <sup>2</sup> , (p-val)	.336(.000)	.462	5.999	.000
	FL			.188	2.383	.018
	MEU			-.016	-.237	.813

표 7. 공급사슬 통합과 공급사슬 성과 간의 회귀분석 결과 종합

가설	독립변수	종 속 변 수			표준화 계수 및 유의확률			
			SCP	IP	CSP	베타	t값	유의확률
H2	SCI	R <sup>2</sup> , (p-val)	.376(.000)			.613	9.633	.000
H2-1	SCI	R <sup>2</sup> , (p-val)		.249(.000)		.504	7.261	.000
H2-2	SCI	R <sup>2</sup> , (p-val)			.349(.000)	.591	9.082	.000

그러나 기술변화가 급속도로 발생하는 불확실한 환경에서 공급자와 밀접한 협력관계를 갖게 되면 오히려 구매자는 환경변화에 신속하게 대응할 수 없으므로(Heide and John, 1990), 공급자와의 밀접한 협력관계 구축은 변화가 빠른 동적인 기업환경에서는 바람직하지 않다는 연구(Guimaraes 외, 2002)결과도 있다.

따라서 이러한 연구결과에 대하여서는 차후 좀 더 세밀하고 추가적인 연구가 필요할 것이다.

#### 4.3.2. 공급사슬 통합과 공급사슬 성과간의 가설검정 결과

공급사슬 통합을 독립변수로 하고, 공급사슬 성과를 종속변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과는 위의 표 7에 나타내었다.

검정결과 연구가설 H2, H2-1, H2-2는 모두 유의한 것으로 나타났다. 즉, 공급사슬 통합은 공급사슬 성과에 정(+)의 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 세부적인 내용을 살펴보면 공급사슬 통합(SCI)은 통합성과(IP)( $\beta=.504$ )보다 고객만족성과

(CSP)( $\beta=.591$ )에 더 높은 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

이는 공급사슬통합을 통해서 통합성과도 달성할 수 있지만 고객만족 성과를 더 잘 달성할 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로 기업들이 고객만족성과의 제고를 위해서는 개별기업의 독자적인 노력보다는 공급사슬을 통합하는 것이 더 높은 성과를 제고할 수 있는 방안이라는 것을 제시한다.

#### 4.3.3. 갈등대응협조의 조절효과 검정결과

공급사슬 통합, 갈등대응협조, 공급사슬 통합\*갈등대응협조를 독립변수로 하고, 공급사슬 성과를 종속변수로 하여 다중회귀분석을 실시한 결과는 다음의 표 8에 나타내었다.

검정결과 갈등대응협조는 공급사슬 통합과 공급사슬 성과 사이에서 갈등대응협조 수준이 높을수록 공급사슬 성과도 높을 것이라는 조절변수로서의 역할을 하지 않는 것으로 나타나 연구가설을 기각할 수밖에 없었다. 그러나 베타계수의 값이 공급사슬성

표 8. 갈등대응협조의 조절역할 검정 결과

가설	회귀식	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	AdjR <sup>2</sup> 변화량	F-val (p-val)	표준화 계수 및 유의확률		
						SCI	CAC	SCI*CAC
H3	$SCP = \alpha + \beta_1 SCI$	.376	.372		92.799(.000)	.613(.000)		
	$= \alpha + \beta_1 SCI + \beta_2 CAC$	.521	.515	+ .143	82.210(.000)	.335(.000)	.472(.000)	
	$= \alpha + \beta_1 SCI + \beta_2 CAC + \beta_3 SCI * CAC$	.521	.512	+ .140	54.457(.000)	.292(.350)	.439(.068)	.142(.888)
H3-1	$IP = \alpha + \beta_1 SCI$	.254	.249		52.724(.000)	.504(.000)		
	$= \alpha + \beta_1 SCI + \beta_2 CAC$	.410	.402	+ .153	52.777(.000)	.218(.005)	.488(.000)	
	$= \alpha + \beta_1 SCI + \beta_2 CAC + \beta_3 SCI * CAC$	.411	.399	+ .150	35.056(.000)	.360(.295)	.596(.026)	-.225(.671)
H3-2	$CSP = \alpha + \beta_1 SCI$	.349	.345		82.486(.000)	.591(.000)		
	$= \alpha + \beta_1 SCI + \beta_2 CAC$	.455	.447	+ .102	62.937(.000)	.355(.000)	.401(.000)	
	$= \alpha + \beta_1 SCI + \beta_2 CAC + \beta_3 SCI * CAC$	.455	.444	+ .099	41.781(.000)	.223(.502)	.302(.238)	.208(.685)

표 9. 친환경공급사슬관리의 매개변수 역할 검증

가설	회귀식	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	AdjR <sup>2</sup> 변화량	F-val (p-val)	표준화 계수 및 유의확률	
						SCIA	SCI
H4	$SCP = \alpha + \beta 1SCIF$	.366	.362	·	89.395(.000)	.605(.000)	·
	$= \alpha + \beta 1SCIF + \beta 2SCI$	.474	.467	+ .105	68.423(.000)	.382(.000)	.396(.000)
H4-1	$IP = \alpha + \beta 1SCIF$	.208	.203	·	40.910(.000)	.456(.000)	·
	$= \alpha + \beta 1SCIF + \beta 2SCI$	.298	.289	+ .086	32.545(.000)	.264(.002)	.352(.000)
H4-2	$CSP = \alpha + \beta 1SCIF$	.361	.357	·	87.519(.000)	.601(.000)	·
	$= \alpha + \beta 1SCIF + \beta 2SCI$	.451	.444	+ .087	62.476(.000)	.392(.000)	.368(.000)

과(SCP)와 고객만족성과(CSP)에서는 양(+)의 부호를 가지고 있고, 통합성과(IP)에서는 부(-)의 부호를 가지고 있으므로 더 많은 표본 자료를 이용하여 검증하거나, 갈등대응협조 수준이 높은 기업과 낮은 기업을 구분하여 갈등대응협조 수준이 높은 기업만을 대상으로 하여 검증하여 본다면 또 다른 결과가 나타날 수 있을 것이다.

또한 갈등대응협조는 독립변수로는 공급사슬성과에 정(+)의 영향을 미치고 있으며( $\beta=.472$ ,  $p=.000$ ), 통합성과( $\beta=.488$ ,  $p=.000$ )와 고객만족성과( $\beta=.401$ ,  $p=.000$ )에도 정(+)의 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있는데 이는 갈등대응협조의 수준이 높을수록 공급사슬 성과도 잘 달성 있다는 것을 알 수 있다.

#### 4.3.4. 공급사슬 통합의 매개효과 검증 결과

공급사슬 통합요인과 공급사슬 성과 사이에서 공급사슬 통합의 매개역할에 대한 검증결과는 위의 표 9에 정리하여 나타내었다.

공급사슬 통합의 매개역할에 대한 검증결과를 살펴보면 공급사슬 통합은 공급사슬 통합요인과 공급사슬성과 사이에서 매개역할을 하는 것으로 나타났다. 가설 H4에서는 수정된 R<sup>2</sup>값이 증가(+.105)하고 있고, 베타계수도 유의하게 나타난다( $\beta=.396$ ,  $p=.000$ ). 가설 H4-1에서는 수정된 R<sup>2</sup>값이 증가(+.086)하고 있고, 베타계수도 유의하게 나타난다( $\beta=.352$ ,  $p=.000$ ). 가설 H4-2에서는 수정된 R<sup>2</sup>값이 증가(+.087)하고 있고, 베타계수도 유의하게 나타난다( $\beta=.368$ ,  $p=.000$ ). 따라서 가설 H4, H4-1, H4-2의 가설검정결과는 모두 유의하게 나타난다.

따라서 개별기업의 공급사슬 통합요인이 공급사슬 성과에 직접적으로 영향을 미칠 수 있지만 개별기업이 공급사슬 통합을 시행 및 적용한다면 더 높은 공급사슬 성과를 달성 수 있다는 것을 제시하는 것이다. 그러므로 공급사슬에서 개별기업은 독자적으로 기업을 경영하기 보다는 공급사슬을 통합하여 운영하는 것이 훨씬 더 좋은 성과를 달성할 수 있다는 것을 다시 한 번 확인 할 수 있다.

## 5. 결론 및 토의

### 5.1. 연구결과 요약 및 시사점

본 연구는 독립변수인 공급사슬 통합요인의 세부변수로서 정보의 공유, 유연성, 경영환경의 불확실성, 매개변수로서 공급사슬 통합, 종속변수인 공급사슬 성과의 세부변수로서 통합성과, 고객만족성과의 관계를 연구하는 것이 주요목적이었다.

이러한 연구목적에 달성하기 위하여 많은 문헌과 연구 논문을 검토하여 각각의 변수들을 설명할 수 있는 선행연구를 찾아내고 조작적 정의를 시행한 다음 변수들 간의 가설을 수립하고 유의한 관계를 검증해 보고자 하였다. 선정된 변수 간의 가설 검증 결과를 살펴보면 아래와 같다.

첫째, 가설 H1, H1-1은 지지되었다. 이러한 결과는 공급사슬 통합요인이 기업들이 공급사슬을 통합하려고 시도하거나 노력하는 주요 요인으로 작용하고 있다는 것을 입증하였다고 할 수 있다. 그러나 세부적으로 살펴보면 가설 H1-1은 부분적으로 지지되는데 선행연구의 결과와는 다르게 경영환경의 불확실성은 유의한 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

둘째, H2, H2-1, H2-2 역시 지지되었다. 이러한 결과는 공급사슬 통합은 공급사슬 성과에 정(+)의 영향을 미친다는 것으로서 공급사슬 성과의 세부변수로 선정된 통합성과와 고객만족 성과에 모두 정(+)의 영향을 미치고 있다는 사실을 알 수 있다. 따라서 공급사슬 통합을 통하여 궁극적으로 통합성과와 고객만족성과를 모두 달성할 수 있다는 것을 제시하였다.

셋째, 갈등대응협조의 조절효과를 검증한 H3, H3-1, H3-2는 지지되지 않았다. 하지만 조절효과를 검증한 갈등대응협조 변수의 계수가 공급사슬성과와 고객만족성과에서는 정(+)의 형태를 보이며, 통합성과에서는 부(-)의 형태를 보임으로서 더 많은 연구 자료를 수집하여 검증하거나 갈등대응협조 수준이 높은 집단과 낮은 집단으로 구분 후 연구한다면 다른 연구결과를 보일 수도 있

을 것이라고 판단한다. 또한 갈등대응협조가 독립변수로서는 공급사슬 성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나는데 갈등대응협조 수준이 높을수록 공급사슬 성과도 잘 달성할 수 있다는 것을 의미한다.

마지막으로 매개변수로서 공급사슬 통합 역할을 살펴보면 먼저 독립변수인 공급사슬 통합요인은 공급사슬 성과에 유의한 영향을 미치고 있으며, 공급사슬 통합의 매개역할에 의해(공급사슬 성과에서는 수정된  $R^2$ 값이 +.105증가,  $\beta=.396$ ,  $p=.000$ , 통합성과에서는 수정된  $R^2$ 값이 +.087증가,  $\beta=.352$ ,  $p=.000$ , 고객만족 성과에서는 수정된  $R^2$ 값이 +.087증가,  $\beta=.368$ ,  $p=.000$ ) 공급사슬 성과를 더 잘 달성할 수 있다는 것을 알 수 있다.

본 연구의 결과는 아래와 같은 시사점을 가진다.

첫째, 개별 기업들이 공급사슬을 통합하고자 하는 선행요인을 제시하였다는 것이다. 공급사슬 통합과 관련된 많은 선행연구들이 공급사슬 통합의 필요성과 공급사슬 통합에 따른 성과를 제시한 경우는 많이 있었지만 개별기업들이 공급사슬을 통합하고자 시도하거나 노력하는 통합(선행)요인을 제시한 논문은 제한적이었는데 본 연구에서는 공급사슬을 통합하고자 하는 선행요인으로 정보의 공유, 유연성, 경영환경의 불확실성을 선정하고 각각의 요인들이 공급사슬을 통합하고자 하는데 어떠한 영향을 미치는지를 검증하였다.

검정결과 정보의 공유와 유연성은 공급사슬 통합에 정(+)의 유의한 영향을 미치지만 경영환경의 불확실성은 공급사슬 통합에 부(-)의 영향을 미치며, 유의하지 않은 것으로 나타났다. 경영환경의 불확실성이 공급사슬 통합에 부(-)의 영향을 미치고 있다는 결과는 선행연구인 홍관수·정기웅(2004)의 연구결과와는 반대의 결과인데 더 많은 자료를 수집하고, Fisher(1997)가 혁신적인 제품과 관련된 공급사슬의 형태에서 제시한 것처럼 제품의 수명이 짧고 제품이 변화가 빨리 자주 발생하는 공급사슬에 속한 기업들을 대상으로 하여 조사하고 연구를 진행한다면 본 연구의 결과와는 다른 결과가 나타날 수 있을 것이다.

둘째, 본 연구의 결과를 통해 기업들이 독자적으로 경영성과를 개선하기 위하여 노력하기 보다는 원재료 공급업체로부터 부품 공급업체 완제품 제조업체, 유통업체를 모두 통합하는 즉, 공급사슬 전체를 통합하고 하나의 공동적인 가상 기업으로서 역할을 수행한다면 더 높은 공급사슬 상의 성과를 달성할 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 기존 선행연구에서 제시한 것처럼 본 연구 역시 공급사슬 통합의 필요성과 중요성을 제시한 것이다.

셋째, 공급사슬 통합에서 기업 간 갈등에 대한 대응방안을 제시한 것이다. 공급사슬을 구성한 기업이 통합되었다면 공급사슬 통합을 통해 기업들은 하나의 가상적인 조직을 이룬 것이라고 할 수 있고 하나의 시스템으로 운영된다고 할 수 있는데, 공급사슬

내에서 기업 간 거래과정이나 거래조건 및 상황은 항상 변화하기 마련이다.

그러므로 항상 같은 고정된 거래의 조건과 상황으로 기업 간 거래가 발생하지 않기 때문에 거래 조건과 상황이 변화되면 기업 간 거래에서 개별기업의 수익과 비용이 변화되므로 갈등이 발생할 수 있다.

따라서 갈등이 발생하게 된다면 기업은 기존의 거래관계를 유지하기 위해서 혹은 갈등을 초래한 문제점을 해결하려고 노력할 것이다. 이러한 갈등발생에 대한 대응으로 거래기업 간 협조를 하는 경우 공급사슬 성과가 더 좋아 질 것으로 예상하고, 갈등대응협조 변수가 공급사슬 통합과 공급사슬 성과 사이에서 조절변수로서의 역할을 하는가에 대하여 검증 하였으나 갈등대응협조는 조절변수로서의 역할은 하지 않는 것으로 나타나 가설을 전부 기각할 수밖에 없었다.

그러나 갈등대응협조는 독립변수로서는 공급사슬 성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나는데 공급사슬이 통합되었다고 하더라도 거래 조건과 상황이 변경되어 기업 간 갈등이 발생하더라도 갈등의 문제점을 해결하기 위해 협력하는 것이 공급사슬 성과를 제고할 수 있는 방안이라는 것을 제시하였다.

마지막으로 공급사슬통합이 공급사슬 통합요인과 공급사슬성과 사이에서 매개변수로서의 역할을 하는 것으로 나타나는데 기업의 경쟁력을 향상시킬 수 있는 좋은 방안이라는 시사점을 제공하여 본 연구의 목적을 달성하였다고 할 수 있다.

## 5.2. 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구의 주요 한계점 및 향후 연구방향은 아래와 같다.

첫째, 자료조사의 대상이 작았다는 점이다. 또한 설문지에 대한 답변이 어느 한 부서에서만 응답하기에는 힘들어 여러 부서에서 공동으로 답변을 작성하여야 하는 어려움이 있었으며, 공급사슬관리의 개념을 이해하고 적극적으로 공급사슬관리를 적용하는 기업도 많이 있었지만 그렇지 않은 기업도 많았다.

이는 몇몇 대기업과 중견기업을 제외하고는 공급사슬관리의 개념만 보유한 경우가 많았고, 일부 영업직원의 경우 고객만족을 위한 공급사슬통합과 정보의 공유를 중요하게 생각하는 경우가 있었지만 실제로 전사적 자원관리(Enterprise Resources Planning : ERP)시스템을 통하여 기업내부의 업무가 진행 되더라도 기업 내부의 부서 간 통합도 제대로 이루어지지 않는 경우가 있어서 설문에 대한 응답에 지연이 많았고, 여기에 따라 설문지의 회수율이 많이 떨어졌다고 생각하며, 본 연구의 결과를 일반화시키는 것에도 한계가 있을 것이라고 판단한다.

둘째, 설문조사 대상의 기업을 전 산업에 걸쳐서 골고루 조사

하여 연구 결과를 일반화 시키려고 하였지만 전자·전기(27.7%), 자동차 부품(35.2%), 기계·금속(23.3%)의 비중이 다른 산업에서 보다 높게 나타나 연구의 결과를 전 산업에 걸쳐서 모든 기업에게 적용하는 데는 다소 무리가 있다. 그러나 어느 한 산업 측면에 국한하여 자료조사 대상을 선정하지는 않았으며 되도록이면 다양한 산업집단을 대상으로 하여 자료를 조사하려고 하였다는 것을 미리 밝혀 둔다.

셋째, 앞서 갈등대응협조의 조절효과 검증에서 제시한 것처럼 갈등대응협조의 수준이 높은 집단과 낮은 집단으로 구분 후 가설을 검증하여 본다면 다른 결과가 나타날 수 있으므로 여기에 대한 추가검증을 시행하여야 했으나 이는 다음의 연구로 미루었다.

마지막으로 가장 큰 제한 사항으로 기업의 공급사슬성과 변수로서 통합성과와 고객만족성과의 2개의 변수로만 나누어 연구하였다. 연구방법적인 측면에서 이러한 변수들에 대한 정밀한 측정을 위해서는 해당기업에서 작성하거나 외부기관에서 평가한 자료를 기반으로 객관적으로 일반화하여 측정하여야 하지만 이러한 성과에 대한 측정을 해당기업에 근무하는 직원을 통해 Likert 7점 척도로 측정하였다는 제한사항이 있다. 이는 공급사슬 성과로서 기업성과를 측정하는 과정에서 조사 대상자의 편에 의한 답변이 있을 수 있으므로 결과의 해석에 주의하여야 함을 의미한다.

## 참고 문헌

- [1] 강아름 · 오중산(2011), 신상품 개발과정에서 공급업체 R&D 역량과 내부통합이 공급사슬 외부통합에 미치는 영향, *한국생산관리학회지*, 제22권 제4호, pp.469-494.
- [2] 박수일 · 문종범 · 김수욱(2005), 공급사슬 통합의 대상과 유형의 분류에 관한 탐색적 연구, *한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집*, pp.651-657.
- [3] 김상오 · 윤선희(2007), 정보공유 선행요인, 정보공유, 리스크 정보공유가 공급사슬성과에 미치는 영향에 관한 연구, *한국생산관리학회지*, 제18권 제4호, pp.117-146.
- [4] 김성홍 · 김진한(2007), 기업간 협력활동의 성공요인 : 환경요인의 조절역할, *대한경영학회지*, 제20권 제2호, pp.913-937.
- [5] 김용진(2003), *기업간 정보시스템 활용과 협력적 의사소통이 공급사슬성과에 미치는 영향 연구 : 의류제조업체와 백화점 간의 거래를 중심으로*, 연세대학교 대학원 석사학위 논문.
- [6] 김수욱(2004), 기업성과향상을 위한 공급체인통합의 전략적 역할에 관한 연구, *경영학연구*, 33(2), pp.631-653.
- [7] 김수욱 · 장정주 · 이성호 · 최강화(2006), 공급사슬 통합 구성요소들이 공급사슬 관리 및 기업 성과에 미치는 영향, *대한경영학회지*, 제19권 제3호, pp.987-1014.
- [8] 김팔술 · 홍관수 · 이병찬(2004), 공급사슬관리를 위한 기업간 정보공유의 선행요인과 관계효과성에 관한 연구, *경영연구*, 제19권 제4호, pp.273-307.
- [9] 김형기 · 문종범 · 최창열(2008), 공급사슬 통합요인이 기업 성과에 미치는 영향에 대한 실증분석, *e-비즈니스연구*, 제9권 제1호, pp.3-25.
- [10] 김형욱 · 윤선희(2005), 공급사슬상의 파트너십이 공급사슬 통합에 미치는 영향에 관한 연구 : 정보공유와 정보품질의 매개역할을 중심으로, *한국생산관리학회지*, 제16권 제1호, pp.183-208.
- [11] 박상욱 · 김수욱(2007), 공급사슬 통합 아키텍처의 구축, *한국생산관리학회지*, 제18권 제4호, pp.173-200.
- [12] 박연우 · 이정희(2004), *SCM 성과측정과 성공요인에 관한 연구*, 2004년 한국유통학회 동계학술대회 발표 논문집, pp.123-152.
- [13] 윤선희(2004), *SCM 실행과 SCM 성과의 관계*, 홍익대학교 대학원 경영학과 생산관리전공 박사학위 논문.
- [14] 이곡지(2010), *시장지향성과 기술지향성이 SCM유연성과 기업성과에 미치는 영향*, 경남대학교 대학원 박사학위 논문.
- [15] 이정희(2008), *친환경공급사슬관리가 환경성과에 미치는 영향에 관한 연구*, 홍익대학교 대학원 경영학과 생산관리전공 박사학위 논문.
- [16] 이충배, 정석모(2009), 공급사슬통합 요인과 통합 성과에 관한 실증연구 - 전기·전자 기업을 중심으로, *물류학회지*, 제19권 제5호, pp.205-237.
- [17] 장형욱(2006), *공급사슬구조와 SCM 활동이 경영성과에 미치는 영향에 관한 연구*, 경성대학교 대학원 경영학과 박사학위 논문.
- [18] 정종암(2000), 하청관계에서 대기업과 중소기업간 협력적 관계정립에 관한 연구 : 전자산업에서 대기업-중소기업간 하청관계를 중심으로, *연세경영연구*, 제37권 제2호, pp.173-204.
- [19] 허대식 · 김길선 · 최정욱(2008), 한국과 해외 우수 제조기업의 공급사슬 통합 현황에 대한 탐색적 고찰 : 자동차, 전자, 기계산업을 중심으로, *한국경영과학회지*, 제33권 제4호, pp.101-118.
- [20] 홍관수 · 정기웅(2004), 환경변화속도, 정보공유, 그리고 협력이 공급사슬의 성과에 미치는 영향, *중소기업연구*, 제26

- 권 제2호, pp.77-100.
- [21] Armistead, C. G., Mapes, J.(1993), The Impact of Supply Chain Integration on Operating Performance, *Logistics Information Management*, 6(4), pp.9-14.
- [22] Aggarwal, S.(1997), Flexibility Management : The Ultimate Strategy, *Industrial Management*, 39(1), pp.36-31.
- [23] Bowersox, D. J., Closs, D. J., Stank, T. P.(2000), Ten Mega-trend That Will Revolutionize Supply Chain Logistics, *Journal of Business Logistics*, 21(2), pp. 1-16.
- [24] Cannon, J. R., Achrol, S., Gundlach, G. T.(2000), Contract, Norms, and Plural Form Governance, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 28(2), pp.180-194.
- [25] Chenhall, R., Morris, D.(1986), The Impact of Structure, Environment, and Interdependence on the Percived Usefulness of Management Accounting Systems, *The Accounting Review*, 61(1), pp.16-35.
- [26] Chopra, S., Meindl, P.(2007), *Supply Chain Management : Strategy, Planning & Operations*, Third Edition, Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.
- [27] Daft, R. l., Macintosh, N. B.(1981), A Tentative Exploration into the Amount and Equivocality of Information Processing in Organizational Work Unit, *Administrative Science Quarterly*, 26(2), pp.207-224.
- [28] Dyer, J. H.(1996), Specialized Supplier Networks as a Source of Competitive Advantage : Evidence from the Auto Industry, *Strategic Management Journal*, 17(4), pp.271-292.
- [29] Fawcett, S. E., Magnan, G. M.(2001), *Achieving World-class Supply Chain Alignment : Benefits, Barriers, and Bridges*, Tempe, AZ : Center for Advanced Purchasing Studies.
- [30] Fisher, M.(1997), What Is the Right Supply Chain for Your Product?, *Harvard Business Review*, March-April, pp.106-116.
- [31] Gaski, J. F.(1984), The Theory of Power and Conflict in Channels of Distribution, *Journal of Marketing*, 48(2), pp.9-29.
- [32] Guimaraes, T., Cook, D., Natarajan, N.(2002), Exploring the Importance of Business Clockspeed as a Moderator for Determinants of Supplier Network Performance, *Decision Science*, 33(4), pp.629-644.
- [33] Heide, J., John, G.(1990), Alliances in Industrial Purchasing : The Determinants of Joint Action in Buyer-Supplier Relationship, *Journal of Marketing Research*, 27(1), pp.24-36.
- [34] Lee, H. L.(2004), The Triple-A Supply Chain, *Harvard Business Review*, October.
- [35] Morash, E. A., Clinton, S. R.(1998), Supply Chain Integration : Customer Value Through Collaborative Closeness versus Operational Excellence, *Journal of Marketing Theory and Practice*, 6(4), pp.104-120.
- [36] Narasimhan, R., Kim, S.(2001), Information System Utilization Strategy for Supply Chain Integration, *Journal of Business Logistic*, 22(2), pp.51-65.
- [37] O'Leary-Kelly, S. W., Flores, B. E.(2002), The Integration of Manufacturing and Marketing/Sales Decisions : Impact on Organizational Performance, *Journal of Operation Management*, 20(3), pp.221-240.
- [38] Rosenbloom, B.(1973), Conflict and Channel Efficiency : Som Conceptual Models for the Decision Maker, *Journal of Marketing*, 37(3), pp.29-45.
- [39] Rindfleisch, A. and Heide, J. B.(1997), Transaction Cost Analysis : Past, Present, and Future Applications, *Journal of Marketing*, 61, 30-54.
- [40] Sahin, F., Robinson, E.(2002). Flow Coordination and Information Sharing in Supply Chains : Review, Implication, and Directions for Future Research, *Decision Science*, 33(4), pp.505-536.
- [41] Stank, T., Keller, S., Daugherty, P.(2001), Supply Chain Collaboration and Logistical Service Performance, *Journal of Business Logistics*, 22(1), pp.29-48.
- [42] Stevens, G. C.(1990), Successful Supply Chain Management, *Management Decision*, 28(2), pp.25-30.
- [43] Vickery, S., Calantone, R., Droge, C.(1999), Supply Chain Flexibility : An Empirical Study, *The Journal of Supply Chain Management*, 35(1), pp.16-24.

**박찬권**

충북대학교 사회학과 학사  
 충남대학교 경영학과 석사  
 경북대학교 경영학부 비즈니스 운영관리박사  
 현재 : 영남대학교 교책객원교수  
 관심분야 : SCM, 생산운영관리물류유통

**김채복**

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

## 다중 집단 기반의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 폐쇄루프 공급사슬 네트워크의 설계\*

한용호<sup>†</sup>

부산외국어대학교 e-비즈니스학과

## Design of Closed-Loop Supply Chain Network with Multi-Populations-Based Cooperative Coevolutionary Algorithm\*

Yongho Han<sup>†</sup>

Department of e-Business, Busan University of Foreign Studies

Literature survey shows that only a few papers deal with comprehensive supply chain models with both forward and reverse flows. The goal of this study is to propose a comprehensive closed-loop model integrating forward and reverse logistics for the supply chain network design and to design a cooperative coevolutionary algorithm(CCEA) as a heuristic approach to get a good approximate solution. Mathematical model is formulated first, and then CCEA is designed as follows; First, the problem is broken down into eight subproblems. For each subproblem, a population of chromosomes is created, a chromosome is encoded using a permutation of integers, and a decoding method is suggested to get a partial solution. As genetic operators, binary tournament selection with elitist strategy, order crossover, and swap mutation are applied for evolving each of the subpopulations. To find feasible solutions satisfying a nonlinear constraint, a penalty method is adopted. The evaluation of a partial solution in a subpopulations is done by composing a complete solution with the best partial solutions from all the other subpopulations. Experimental results show that our CCEA in almost every case outperforms GA in terms of both the quality of solution obtained and the potential for solution improvement.

**Keywords:** cooperative coevolutionary algorithm, genetic algorithm, closed-loop supply chain, reverse logistics, green supply chain, environment

---

\* 이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2011-327-B00192)

<sup>†</sup> **Corresponding author:** 부산광역시 남구 석포로 15 부산외국어대학교, Tel: 82-51-640-3149 E-mail: yghan@bufs.ac.kr  
2013년 3월 7일 투고, 4월 22일 수정본 접수, 5월 2일 게재 확정.

### 1. 서론

오늘날 엄격한 법적 제재, 사회적 책임, 기업 이미지 및 환경에 대한 소비자의 인식 등으로 인해 제조업체는 친환경 제품을 제공해야 할 뿐만 아니라, 수명이 다 한 폐제품을 회수하는 역물류 활동에도 큰 관심을 기울여야 하는 실정이다. 이에 따라 친환경 물류(green logistics) 개념도 등장하였다. 친환경 물류란 온실가스 방출과 소음 등 물류 활동에 의한 환경 파괴를 줄임으로써, 경제적, 환경적 및 사회적 목적들 사이에 지속가능한 균형을 유지하는 것을 목표로 하는 활동들을 의미한다(Dekker et al., 2012). 역물류 및 폐쇄루프(closed-loop) 공급사슬의 운영도 친환경 물류 활동의 하나로 볼 수 있다(Geyer and Jackson, 2004). 제품은 그 수명이 다했을 때 대개 그 가치가 완전히 소진되지 않고 어느 정도 남아있다. 역물류란 폐제품의 가치를 회복시키거나 적절히 처분할 목적으로 원자재, 재공품, 완제품 및 관련 정보를 소비 지점에서부터 본래 지점까지 효율적으로 그리고 낮은 비용으로 흐름을 계획하고, 실행하고, 통제하는 과정이다(Rogers and Tibbon-Lembke, 1998). 역물류가 기존의 순방향 물류와 통합될 때 이를 폐쇄루프 공급사슬이라 부른다. 순방향 물류란 원자재의 공급업체로부터, 공장, 유통센터를 거쳐 고객에 이르기까지의 전통적인 물류를 가리킨다.

역물류를 통한 폐제품의 회수 유형은 그 목적에 따라 크게 직접 재사용, 재생 및 폐기의 세 가지로 분류된다(Thierry et al., 1995). <그림 1>에서처럼 재생은 다시 수리(repair), 리퍼비싱(refurbishing), 리매뉴팩처링(remanufacturing), 카니벌라이제이션(cannibalization) 및 리사이클링(recycling)의 5 가지로 세분된다. 리퍼비싱이란 사용된 제품을 여러 모듈들로 분해하고 중요한 모듈들을 검사한 후 수리하거나 교체함으로써, 폐제품을 특정한 품질수준까지 올리는 것을 가리킨다. 리매뉴팩처링이란 폐제품을 완전히 분해하고 모든 모듈과 부품들을 철저히 검사함으로써, 새로운 제품과 같은 정도의 엄격한 품질 수준으로 올리는 것을 가리킨다. 수리, 리퍼비싱, 리매뉴팩처링의 세 가지 회수 유형에서는 폐제품의 상당부분이 재사용된다. 반면 카니벌라이제이션이란 폐제품으로부터 재사용이 가능한 일부 부품들만을 회수하는 것을 의미한다. 리사이클링이란 제품과 컴포넌트의 특성 및 기능은 상실되고, 다만 제품과 컴포넌트로부터 회수되는 원료를 재사용하는 것을 의미한다. 이 중 어떠한 회수 유형이 사용되는지는 제품 고유의 성격 및 수거된 폐제품의 상태에 달려있다. 일반적으로 역물류는 수거, 검사 및 분리, 재처리, 폐기 및 재유통 활동들의 다양한 조합으로 구성된다.

지금까지 자동차, 화학, 식품, 산림 등 특정 산업분야를 대상으

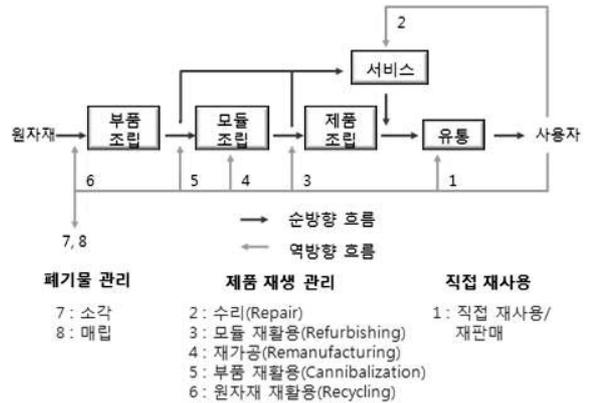


그림 1. 통합 공급사슬(Thierry et al., 1995)

로 공급사슬 네트워크 설계에 대한 사례연구는 많이 수행되었다(Melo et al., 2009). 반면, 여러 산업에 두루 적용할 수 있는 일반적인 폐쇄루프 공급사슬 모델에 대하여 연구는 아직 충분히 수행되지 못한 상태에 있다. Fleischmann et al.(2001)은 시설 능력에 아무런 제한이 없다는 가정 하에 역방향 물류와 순방향 물류를 모두 고려하는 공급사슬 네트워크 모형을 제안하였다. Salema et al.(2007)은 Fleischmann et al.(2001)의 모형에 각 시설능력의 제약을 추가하여 좀 더 일반화된 모델을 제시하였다. Wang and Hsu(2010)은 모델 안에 공급업체들을 추가하고, 공장은 공급업체와 해체업체의 양쪽으로부터 부품을 공급받을 수 있도록 하고, 유통업체는 순방향 물류에 대한 고유의 역할과 더불어 역방향 물류에서 수거센터의 역할도 병행하는 것으로 설정함으로써 Fleischmann et al.(2001)의 모형을 더욱 일반화시켰다. 본 연구에서는 Wang and Hsu(2010)의 모형에, 공장간 가동률의 차이를 일정 수준 이하로 유지시켜야 한다는 비선형 형태의 제약식이 추가된 수리모형을 제시한다.

이제까지 공급사슬 네트워크 설계 문제에 대한 수리 모형의 해를 구하기 위하여 여러 유형의 해법들이 시도되었다. Lu and Bostel(2007)은 순방향 물류를 고려한 리매뉴팩처링 역물류 네트워크의 위치 문제에 대하여 0-1 혼합정수계획 모형을 제시하고 근사해를 구하기 위하여 라그랑지 완화법(Lagrangian relaxation)에 기반을 둔 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다. Uster et al.(2007)은 폐쇄루프 네트워크 설계 문제에 대한 대형 혼합 정수 계획 모형에 대하여 최적해를 구하기 위하여 Benders 분할법(decomposition)을 사용하였다. Lee and Dong(2008)은 리스(lease)가 종료된 컴퓨터의 회수 네트워크에서 시설의 위치 결정 및 수송량 할당 문제를 해결하기 위하여 네트워크 심플렉스 알고리즘과 터부 서치(Tabu Search)를 순차적으로 적용하는 해법을 제시하였다.

최근 들어, 유전 알고리즘(genetic algorithm; 이하 GA로 칭

함)이 폐쇄루프 네트워크 설계 문제의 해법으로 많이 시도되었다. 전통적인 수리적 접근방법에서는 하나의 해를 탐색해 가는 반면, GA에서는 동시에 여러 해의 개선을 추구해 간다는 면에서 GA가 상대적인 강점을 지닌다. Sim et al.(2004)은 폐쇄루프 공급사슬의 설계문제에 대하여 선형계획법과 GA를 병행 사용하여 근사해를 구하는 해법을 제시하였다. Zhou et al.(2005)은 순방향과 역방향 물류를 모두 지닌 유통 문제를 해결하기 위하여 비선형 혼합정수계획 모형과 GA를 사용하였다. Ko and Evans(2007)는 제3자 물류업체의 순방향 및 역방향 네트워크 설계 문제에 대하여 비선형계획 모형을 구성하고 GA를 해법으로 사용하였다. Kannan et al. (2009)은 주문생산 환경에서 다계층 폐쇄루프 공급사슬을 설계하기 위하여 GA와 particle swarm 최적화 기법을 사용하였다. Wang and Hsu(2010)는 폐쇄루프 공급사슬의 설계와 관련된 정수계획 모델의 해를 구하기 위하여 spanning-tree 기반의 GA를 사용하였다. Kannan et al.(2010)은 배터리의 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제에 대하여 혼합정수계획 모형을 정식화하고 GA 기반의 휴리스틱 해법을 제시하였다. 전통적인 GA는 수리모형내 결정변수의 수가 늘어남에 따라 해의 질이 저하되거나 적절한 해를 구하기까지 많은 시간이 소요되어 적용이 힘들어진다. 된다. 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제의 경우에도 많은 수의 결정변수가 수반되기 때문에, 보다 효율적인 휴리스틱을 필요로 한다.

최근 들어 이 문제를 극복하기 위해 협력적 공진화 알고리즘(cooperative coevolutionary algorithm; 이하 CCEA로 칭함)이 사용되기 시작하였다. CCEA는 Potter and De Jong(1994)에 의해 최적화 문제의 근사 해법으로 처음으로 소개되었다. 전통적인 GA에서는 하나의 동질적 집단을 사용하여 그 속의 각 개체가 전체해를 표현하는 반면, CCEA에서는 전체해의 특정 부분을 나타내는 여러 개의 (하위) 집단들이 사용된다. CCEA에서 각 집단은 하나의 표준적인 GA를 사용함으로써 전체해의 일부를 표현하고, 다른 집단들을 대표하는 개체들과 결합하여 전체해를 생성한다. 세대교체시 다른 집단들을 대표하는 개체들과 협력적 상호작용을 통해 전체해를 개선시켜 나간다. 이처럼 CCEA에서 탐색 공간의 분할에 의해 만들어진 해의 성능 개선은 다른 최적화 문제에서 이미 입증된 바 있다(Danoy et al. 2006, Danoy et al. 2009). 공급사슬 네트워크 설계 분야에서는 CCEA는 2단계 수송문제(한용호 2009), 역물류 네트워크 설계(한용호 2010), 다단계 공급사슬 네트워크 설계(한용호 2011, 한용호 2012a, 한용호 2012b) 등에 부분문제들로의 분할 방법이나 집단내 염색체(chromosome)의 표현방법을 달리하면서 적용된 바 있다.

본 연구에서는 포괄적인 성격을 지닌 하나의 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제에 대하여 우수한 근사해를 생성할 수 있는

CCEA를 설계하고자 한다. 2장에서는 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제를 설명한다. 3장에서는 이 문제에 대한 수리 모형을 정식화한다. 4장에서는 본 모형에 대한 근사해를 구하기 위하여 CCEA의 세부 내용을 설계한다. 5장에서는 테스트 문제들을 대상으로 본 연구에서 제시하는 CCEA와 GA를 각각 실행시켜 그 성능을 비교한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 공급사슬 네트워크 설계 문제

본 연구에서는 하나의 제품만을 대상으로 한다. 그리고 하나의 제품이 다수의 부품으로 구성되는 경우에도 본 연구의 접근방법을 그대로 적용할 수 있으나, 문제의 복잡도를 줄이기 위해 하나의 제품은 하나의 부품으로 구성된다고 가정한다. 본 연구에서 다루고자 하는 공급사슬의 프레임워크는 <그림 2>와 같이 표현된다. 이 그림에서 순방향 물류는 공급업체로부터 시작하여, 공장, 유통센터를 거쳐 고객에 이른다. 반면 폐제품의 역방향 물류는 고객으로부터 시작하여 그 일부는 유통센터(수거센터의 기능을 병행함)와 재생업체를 거쳐 재생되어 제조업체로 되돌아간다. 재생업체에서 재생이 불가능한 나머지 폐제품은 폐기업체로 넘겨져 폐기된다.

공급업체는 신부품을, 그리고 재생업체는 재생부품을 각각 공장에 공급할 수 있다. 신부품과 재생부품은 사용상의 차이가 없는 것으로 가정한다. 각 공장은 순방향 물류와 역방향 물류가 만나는 지점이 되며, 이 때문에 공급사슬의 폐쇄 루프가 완성된다.

유통센터는 순방향 물류에서 유통센터로서의 기능뿐만 아니라 역방향 물류에서 수거센터로서의 기능도 병행한다. 따라서 각 유통센터의 저장능력은 유통센터로서의 기능과 수거센터로서의 기능이 공동으로 사용한다. 고객에 의해 사용된 폐제품들 중 일정한 회수율에 해당하는 양은 수거센터(유통센터)들로 수거되며, 수거된 폐제품은 모두 재생업체들로 운송된다. 재생업체에서는 폐제

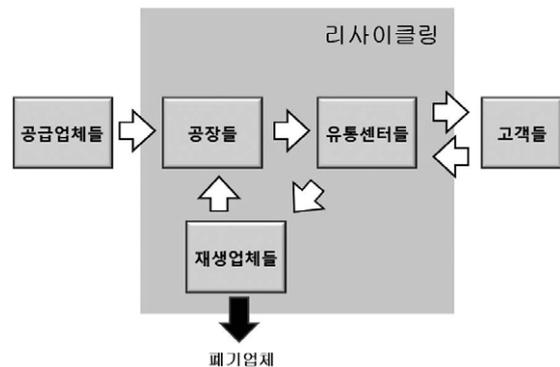


그림 2. 공급사슬 프레임워크

품을 분류, 검사, 분해하여 그 중 일정 비율에 해당하는 양은 폐기 업체로 운송하고, 나머지 양은 재생작업 등을 거쳐 공장에 재생부품으로 공급한다.

폐쇄루프 공급사슬 안에는 풀(pull) 시스템과 푸쉬(push) 시스템의 두 가지 유형이 존재한다. 먼저 순방향 물류는 풀 시스템으로서 고객들의 수요에 의해서 시작된다. 유통센터 공장, 공급업체 순으로 할당이 이루어진다. 역방향 물류는 푸쉬 시스템으로서 고객들로부터 시작되며 그 양은 각 고객의 수요량과 폐제품 회수율에 의해 결정된다. 수거센터(유통센터), 재생업체, 공장 순으로 할당이 이루어진다.

이러한 환경 하에서 폐쇄루프 공급사슬 네트워크의 설계는 다음과 같은 의사결정을 수반한다. 먼저, 공장, 유통센터 및 재생업체들의 후보군 중에서 실제로 운영될 공장, 유통센터 및 재생업체들을 선택해야 한다. 또한, 순방향의 각 계층(공급업체-공장, 공장-유통센터, 유통센터-고객) 및 역방향의 각 계층(고객-유통센터, 유통센터-재생업체, 재생센터-공장)에서 공급지와 수요지간 수송량을 결정해야 한다.

### 3. 수리 모형

폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제에 대한 수리 모형은 다음과 같이 정식화된다.

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:

$a_{ij}$ : 공급업체  $i$ 의 부품공급능력

$b_j$ : 공장  $j$ 의 제품생산능력

$Sc_k$ : 유통센터  $k$ 의 제품저장능력

$pd_k$ : 유통센터  $k$ 의 제품저장능력 중 역물류에 대한 할당비율

$pc_l$ : 고객  $l$ 로부터의 폐제품의 수거비용

$pl_m$ : 재생업체  $m$ 에서의 폐제품의 폐기비용

$d_l$ : 고객  $l$ 의 수요량

$e_m$ : 재생업체  $m$ 의 폐제품 처리능력

$s_{ij}$ : 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

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

$Ru_{lk}$ : 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)

$\psi$ : 폐제품 단위당 처분비용(고정비)

$P$ : 운영할 수 있는 공장 수의 상한

$Q$ : 운영할 수 있는 유통센터 수의 상한

$W$ : 운영할 수 있는 재생업체 수의 상한

$C_p$ : 공장들간 이용을 편차의 상한

결정변수:

$x_{ij}$ : 공급업체  $i$ 로부터 공장  $j$ 로의 신부품 수송량

$y_{jk}$ : 공장  $j$ 로부터 유통센터  $k$ 로의 제품 수송량

$z_{kl}$ : 유통센터  $k$ 로부터 고객  $l$ 로의 제품 수송량

$Rz_{lk}$ : 고객  $l$ 로부터 유통센터  $k$ 로의 폐제품 수송량

$o_{km}$ : 유통센터  $k$ 로부터 재생센터  $m$ 으로의 폐제품 수송량

$Rd_{mj}$ : 재생업체  $m$ 으로부터 공장  $j$ 로의 재생부품 수송량

$\alpha_j$ : 0-1 변수(공장  $j$ 의 가동시 1의 값을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 취함)

$\beta_k$ : 0-1 변수(유통센터  $k$ 의 개설시 1의 값을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 취함)

$\gamma_m$ : 0-1 변수(재생업체  $m$ 의 개설시 1의 값을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 취함)

이 문제의 수리 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & \sum_i \sum_j s_{ij} x_{ij} + \sum_j \sum_k t_{jk} y_{jk} \\ & + \sum_k \sum_l u_{kl} z_{kl} + \sum_k \sum_m v_{km} o_{km} \\ & + \sum_m \sum_j w_{mj} Rd_{mj} + \sum_l \sum_k Ru_{lk} Rz_{lk} + \sum_j f_j \alpha_j \\ & + \sum_k g_k \beta_k + \sum_m h_m \gamma_m + \psi \sum_m pl_m \sum_k o_{km} \end{aligned} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij} \leq a_i, \forall i \quad (2)$$

$$\sum_k y_{jk} \leq b_j \alpha_j, \forall j \quad (3)$$

$$\sum_l z_{kl} + \sum_m o_{km} \leq Sc_k \beta_k, \forall k \quad (4)$$

$$\sum_m o_{km} \leq pd_k Sc_k \beta_k, \forall k \quad (5)$$

$$\sum_k z_{kl} \geq d_l, \forall l \quad (6)$$

$$\sum_k o_{km} \leq e_m \gamma_m, \forall m \quad (7)$$

$$\sum_j \alpha_j \leq P \quad (8)$$

$$\sum_k \beta_k \leq Q, \quad (9)$$

$$\sum_m \gamma_m \leq W, \quad (10)$$

$$\sum_i x_{ij} + \sum_m R d_{m,j} = \sum_k y_{jk}, \quad \forall j \quad (11)$$

$$\sum_j y_{jk} = \sum_l z_{kl}, \quad \forall k \quad (12)$$

$$\sum_k R z_{lk} = p c_l \sum_k z_{kl} \quad \forall l \quad (13)$$

$$\sum_l R z_{lk} = \sum_m o_{km}, \quad \forall k \quad (14)$$

$$\sum_k o_{km} = \sum_j R d_{m,j} + p l_m \sum_k o_{km}, \quad \forall m \quad (15)$$

$$\sqrt{\sum_j \left( \sum_k y_{jk} / b_j - \sum_j \sum_k y_{jk} / \sum_j b_j \right)^2} \leq C_p \quad (16)$$

$$\alpha_j, \beta_k, \gamma_m, \in 0, 1, \quad \forall j, k, m \quad (17)$$

$$x_{ij}, y_{jk}, z_{kl}, o_{km}, R d_{m,j}, R z_{lk} \in N \cup \{0\}, \quad (18)$$

$$\forall i, j, k, l, m$$

목적함수 (1)은 제품, 부품 및 폐제품의 수송비용과 각종 시설의 운용에 필요한 고정비용의 합을 최소화한다. 제약식들은 크게 두 유형으로 분류된다. 첫번째 유형은 제약식 (2)–(10)으로 각 시설능력의 제약을 나타낸다. 두번째 유형은 제약식 (11)–(15)로 네트워크 내 각 경유노드에서의 흐름보전의 법칙을 나타낸다. 제약식 (2)와 (3)은 각각 순방향 물류에서 공급업체와 공장의 공급능력의 제약을 나타낸다. 제약식 (4)는 순방향 물류와 역방향 물류에서 동시에 이용할 수 있는 유통센터 능력의 제약을 나타낸다. 제약식 (5)는 유통센터 능력 중 역방향 물류에 대한 할당분의 제약을 나타낸다. 제약식 (6)은 유통센터들의 공급량이 고객 수요를 충족시켜야 함을 나타낸다. 제약식 (7)은 재생업체로의 수송량의 합은 재생업체의 능력을 초과할 수 없음을 나타낸다. 제약식 (8), (9), (10)은 각각 가동될 공장, 유통센터, 재생업체의 수는 사전에 주어진 수( $P, Q, R$ )를 초과할 수 없음을 나타낸다. 제약식 (11)은 공급업체들과 재생업체들로부터 각 공장에서의 유입량은 그 공장으로부터 유통센터들로의 유출량과 같아야 함을 나타낸다. 제약식 (12)는 공장들로부터 각 유통센터로의 유입량은 그 유통센터로부터 고객들로의 유출량과 같아야 함을 나타낸다. 제약식 (13)은 고객별 제품 수요량과 그 고객으로부터의 폐제품 수거량 사이의 관계를 나타낸다. 제약식 (14)는 고객들로부터 각 유통센터로의 유입량은 그 유통센터로부터 재생업체들로의 유출량과 같아야 함을 나타낸다. 제약식 (15)는 유통센터들로부터 각 재생업체로의

유입량은 그 재생업체로부터 공장들과 폐기업체들로의 유출량의 합과 같아야 함을 나타낸다. 그 외, 제약식 (16)은 공장들간 이용률 편차는 주어진 상한을 초과할 수 없음을 나타낸다. 제약식 (17)은 이진변수를, 제약식 (18)은 비음 정수 조건을 각각 나타낸다. 이 모형에서 비율을 나타내는 변수( $pd_k, pc_l$ , 및  $pl_m$ )가 사용되는 모든 항은 정수값을 취하는 것으로 가정한다. 이 변수들과 곱해지는 양은 충분히 크다고 가정할 수 있기 때문이다. 이 문제는 NP-hard로 알려져 있다(Wang & Hsu, 2010). 따라서 최적해 대신 우수한 근사해를 구할 수 있는 효율적인 알고리즘을 필요로 한다.

## 4. CCEA의 설계

### 4.1 CCEA의 개요

CCEA의 패러다임을 실현하기 위하여 먼저 주어진 문제를 여러 개의 부분문제들로 분해하고, 각 부분문제별로 자신의 (부분)해를 나타낼 염색체 표현방법을 정의하고 그 속에 존재할 개체(individual)의 수를 정함으로써 집단을 구성한다. 각 집단은 그에 대응하는 부분문제의 최적화를 담당한다. 매 세대가 끝날 때마다 각 집단은 유전연산을 통해 그 속의 개체들을 새로이 생성한 후, 각 개체를 다른 나머지 집단들로부터의 베스트 개체들과 결합시키고, 그 결과 생성된 적합도를 기반으로 그 개체를 평가한다. 종료조건을 만족하면 각 부분문제별로 자신의 베스트 부분해들을 결합함으로써 하나의 전체해를 생성한다. 이러한 CCEA의 전체적인 수행절차를 다음의 유사 코드로 요약할 수 있다(Dorrnsoro et al, 2013).

```

알고리즘. CCEA의 유사 코드
t ← 0 //세대 카운터를 초기화
for each i ∈ [1, I] do //각 집단에 대하여
    p_i^0 ← initialPopulation() //초기 집단의 생성
    //다른 집단내 개체와의 결합, 각 개체의 평가
    evaluatePopulation(p_i^0) //
end for
//집단별 베스트 부분해를 다른 집단에 전달
migrateBestSols(p_i^0) ∀i ∈ [1, I]
while not StoppingCriterion() do
    t ← t + 1 //세대교체
    for each i ∈ [1, I] do //각 집단에 대하여
        //이전 세대로부터 개체들의 선택
        p_i^1 ← selectParents(p_i^{t-1})
    
```

```
//유전연산의 적용
p'_i ← applyGeneticOperators(p'_i)
evaluatePopulation(p'_i) //각 개체의 평가
migrateBestSols(p'_i)
end for
end while
solution assembleBestSols(p'_i)
```

이제부터 이 절차의 각 요소들을 구체적으로 설계한다.

### 4.2 부분문제들로의 분할

폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제를 <그림 3>과 같이 모두 8개의 부분문제들로 분할한다. 여기서 부분문제 1은 공급업체/재생업체-공장간 수송문제로서 순방향 물류와 역방향 물류가 서로 만나는 지점을 포함한다. 부분문제 2는 공장-유통센터간, 그리고 부분문제 3은 유통센터-고객간 순방향 수송문제를 나타낸다. 부분문제 4와 5는 역방향 물류를 대상으로 한다. 부분문제 4는 고객-유통센터간, 그리고 부분문제 5는 유통센터-재생업체간 수송문제를 나타낸다. 부분문제 6, 7, 8은 수리모형의 제약식 (8)-(10)을 충족시키기 위하여 가동될 공장, 유통센터 및 재생업체를 결정하는 문제이다. 각 부분문제별로 이에 대응하는 집단을 구성해야 한다.

### 4.3 집단별 탐색체의 표현

각 집단을 구성하기 위하여 GA에서처럼 탐색체의 표현방법을 정해야 한다. 먼저, 부분문제 1, 2, 3, 4, 5에 대하여 각각 Gen et

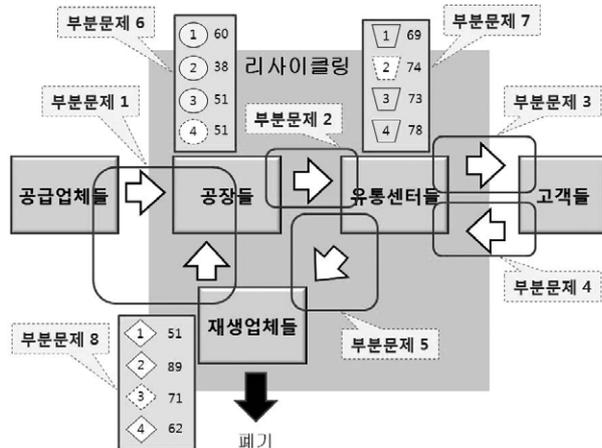


그림 3. 부분문제들로의 분할

al.(2006)에 의해 제시된 정수들의 순열기반 표현방법을 사용하기로 한다. <그림 4>에서 부분문제 1에 대응하는 집단의 경우 하나의 탐색체는 공급지의 수(공급업체의 수( $|I|$ ))+재생업체의 수( $|M|$ ))와 수요지인 공장의 수( $|J|$ )를 합한 수( $|I|+|M|+|J|$ )의 유전인자들로 구성된다. 각 유전인자의 값은 1부터  $|I|+|M|+|J|$ 까지 정수의 임의의 순열로 표현되며, 탐색체 정보의 해석시 이 값은 공급지들과 수요지들간의 수송량을 배정하는 과정에서 이 유전인자에 대응하는 노드(공급지 또는 수요지)의 상대적 우선순위로 사용된다. <그림 4>에서 부분문제 1의 경우 3개의 공급업체와 (4개의 이용가능한 재생업체들 중에서) 선택된 3개의 재생업체(즉, 재생업체 1, 2, 3)가 공급지를 나타내고, (4개의 이용가능한 공장 중에서 선택된) 3개의 공장(즉, 공장 1, 3, 4)이 수요지를 나타낸다. 따라서 하나의 탐색체는 9개의 유전인자들로 구성된다. 유전인자의 값은 1부터 9까지의 정수로부터 만들어진 하나의 순열 (3, 8, 2, 7, 6, 9, 5, 1, 4)로 표현되었다. 부분문제 2, 3, 4, 5의 경우에도 각각 이와 같은 방법으로 각 집단의 탐색체를 구성하였다.

다음으로, 부분문제 6, 7, 8에 대응하는 집단내 탐색체의 각 유전인자는 가동여부를 결정해야 할 대상시설(공장, 유통센터, 또는 재생업체)을 가리키는 값으로 표현된다. 이를 위해 탐색체는 부분문제 1, 2, 3, 4, 5에서와 같이 정수들의 하나의 순열 형태로 표현된다. 예를 들어, <그림 4>의 부분문제 6에서 이용가능한 공장수  $|J|$ 는 4이다. 따라서 정수들 (1, 2, 3, 4)로부터 구성될 수 있는 하나의 순열인 (1, 3, 4, 2)가 탐색체의 유전인자들의 값들로 지정되었다. 이와 동일한 방법으로 부분문제 7과 8에 대응하는 집단들의 탐색체를 표현하였다.

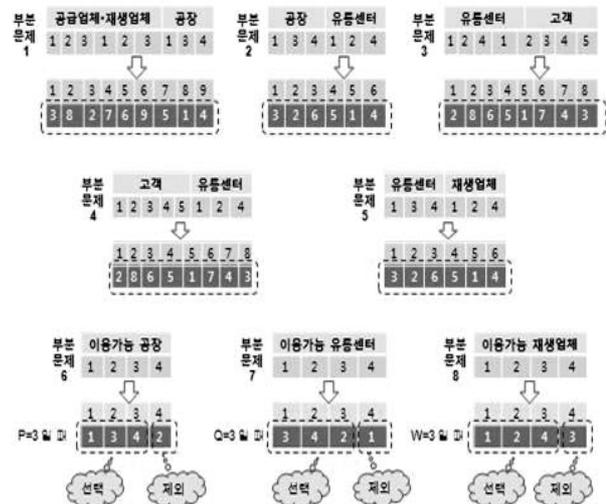


그림 4. 집단별 탐색체의 표현

#### 4.4 집단별 염색체의 해석

8개 집단의 각 염색체는 모두 정수들의 순열 형태로 표현된다. 형태상의 공통점을 지니고 있으나, 그 염색체 정보를 해석하는 방법은 크게 두 가지 유형으로 나뉘어진다. 부분문제 1, 2, 3, 4, 5가 하나의 해석 방법을 공유하며, 나머지 부분문제 6, 7, 8이 또 다른 하나의 해석 방법을 공유한다.

##### 1) 집단 1, 2, 3, 4, 5에 대한 염색체의 해석

집단 1, 2, 3, 4, 5에 대하여 앞 절에서 설명한 바와 같이 염색체를 표현하면, Gen et al.(2006)의 알고리즘을 사용하여 이 염색체를 해석할 수 있다. 즉, 염색체의 각 유전인자를 그 유전인자에 대응하는 특정한 공급지 또는 수요지에 대한 상대적 우선순위로 해석하고, 이 알고리즘을 적용함으로써 이 염색체에 대응하는 부분해(즉, 각 공급지-수요지간 수송량)를 구할 수 있다.

〈그림 5〉는 하나의 부분문제에서 3개의 공급지와 4개의 수요지로 구성되고, 공급지들의 공급능력, 수요지들의 수요량, 공급지와 수요지간 제품단위당 수송비용이 주어졌을 때 Gen et al.(2006)의 알고리즘을 적용을 통해 하나의 부분해(즉, 수송 트리가 생성됨을 보여준다.

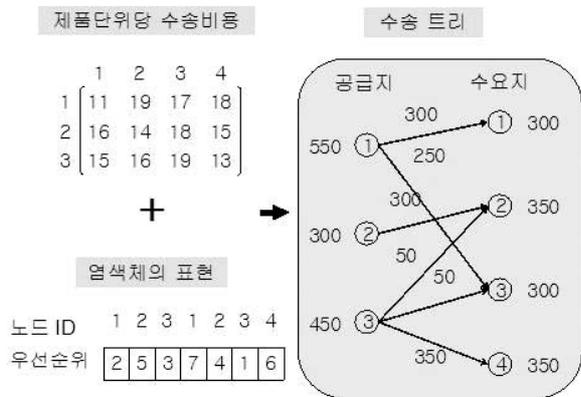


그림 5. 집단 1, 2, 3, 4, 5에 대한 염색체의 해석(Gen et al., 2006)

##### 2) 집단 6, 7, 8에 대한 염색체의 해석

집단 6, 7, 8에 대하여 하나의 염색체의 값이 주어졌을 때 이를 해석하고 이에 대응하는 부분해를 구하는 방법은 매우 간단하다. 〈그림 4〉의 부분문제 6에서 운영할 공장 수의 상한치( $P$ )가 3으로, 그리고 하나의 염색체가 (1, 3, 4, 2)로 주어져 있다. 이 4개의 유전인자 값(allele) 중 좌측으로부터  $P$ 개의 유전인자 값에 대응하는 공장(즉, 공장 1, 3, 4)은 운영대상으로 선택되고, 그 오른편

에 있는 나머지 유전인자의 값에 대응하는 공장(공장 2)은 선택되지 않음을 의미한다. 부분문제 7과 8에 대응하는 염색체도 동일한 방법으로 해석할 수 있다. 〈그림 4〉에서 부분문제 7에서 유통센터 3, 4, 2는 운영대상으로 선택되고, 유통센터 3은 선택되지 않음을 의미한다. 부분문제 8에서 재생업체 1, 2, 4는 운영대상으로 선택되고, 재생업체 3은 선택되지 않음을 의미한다. 부분문제 6, 7, 8에 대하여 이러한 염색체 해석방법을 사용하면 수리모형의 제약식 (8), (9), (10)의 충족을 보장할 수 있다.

#### 4.5 부분문제들의 결합 순서

이제 각 부분문제에 대응하는 하나의 염색체가 주어졌을 때, 이를 결합해서 본래의 문제에 대한 하나의 (전체)해를 구하는 방법이 필요하다. 각 부분문제는 자신의 출력정보를 다른 부분문제에 대한 입력정보로 제공하기도 하고, 다른 부분문제에서의 출력정보를 자신의 입력정보로 사용하기도 한다. 따라서 부분문제들의 (부분)해를 구하는 순서를 정해야 한다.

우선, 부분문제 6, 7, 8은 각각 운영될 공장, 유통센터 및 재생업체들을 선택하는 문제로서, 다른 부분문제들로부터 입력정보를 필요로 하지 않는다.

제품의 순방향 물류(공급업체-공장-유통센터-고객)는 full 시스템에 해당하기 때문에 먼저 부분문제 3(유통센터-고객간 수송량 결정)의 해를 구한 후, 부분문제 3으로부터의 산출정보(각 유통센터의 공급량)를 부분문제 2에 대한 입력정보로 사용하여 부분문제 2(공장-유통센터간 수송량 결정)의 해를 구해야 한다. 한편, 부분문제 3의 해를 구하기 위해서는 부분문제 7의 해(즉, 운용될 물류센터들의 결정)를 입력정보로 이용해야 한다. 따라서 기호  $a \ll b$ 는 부분문제 a가 부분문제 b보다 먼저 해를 구해야 함을 의미한다고 할 때,  $7 \ll 3 \ll 2$ 가 만족되어야 한다. 그리고 부분문제 2의 해를 구하기 위해서는 부분문제 6의 해(즉, 운용될 공장들의 결정)를 입력정보로 이용해야 한다. 따라서  $6 \ll 2$ 가 만족되어야 한다.

폐제품의 역방향 물류(고객-유통센터-재생업체)는 push 시스템에 해당한다. 따라서 부분문제 3의 해를 입력정보로 사용하여 부분문제 4(고객-유통센터간 수송량 결정)의 해를 구한 후, 부분문제 5(유통센터-재생업체간 수송량 결정)의 해를 구할 수 있다. 따라서  $3 \ll 4 \ll 5$ 를 만족해야 한다. 한편, 부분문제 5의 해를 구하기 위해서는 부분문제 7의 해(즉, 운용될 재생업체들의 결정)를 입력정보로 이용해야 한다. 따라서  $7 \ll 5$ 를 만족해야 한다.

부분문제 1에서는 공장에 대한 부품의 공급지가 공급업체와 재생업체의 두 그룹으로 구성됨으로써 순방향 물류와 역방향 물류의 폐쇄루프가 형성된다. 따라서 부분문제 1의 해는 나머지 모든

부분문제들이 해결된 후 마지막으로 구해야 한다.

따라서 전체해를 구하기 위하여 위에서 언급한 부분적 순서들을 모두 만족하는 하나의 전체 순서를 정해야 한다. 본 연구에서는 그 중 다음 순서를 사용한다.

$$7 \ll 3 \ll 6 \ll 2 \ll 4 \ll 8 \ll 5 \ll 1$$

### 4.6 유전 연산의 적용

각 집단내 염색체의 세대교체는 다른 집단들과는 독립적으로 세 가지 유전 연산에 의하여 수행된다. 유전 연산은 선택(selection), 교배(crossover) 및 돌연변이(mutation)로 구성된다. 8개 집단의 염색체가 모두 순열 형태로 표현되기 때문에 모든 집단에서 다음과 같이 동일한 연산을 적용한다.

#### 1) 선택 연산

선택 연산은 탐색과정에서 축적된 정보의 이용을 목적으로 한다. 선택 연산으로는 엘리트리스트(elitist) 전략을 수반한 이진 토너먼트 선택 연산을 사용한다. 이진 토너먼트 선택이란 균등 분포를 사용하여 선택 풀에서 두 개의 염색체를 선택하여, 그 중에서 적합도가 더 높은 염색체를 다음 세대의 염색체로 선택하는 방식이다. 엘리트리스트 전략이란 선택 과정을 통하여 가장 우수한 염색체가 선택되지 않더라도 새로운 세대에서 그 염색체를 보존하는 방식으로, 본 연구에서는 선택 연산에 대한 보조 수단으로 적용하기로 한다.

#### 2) 교배 연산

교배 및 돌연변이 연산은 새로운 해의 영역을 탐색하고자 한다. 순열 형태의 염색체에 적용할 수 있는 교배 연산으로는 PMX(partially mapping crossover), OX(order crossover) 및 PX(position-based crossover) 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 이 중 OX 연산자를 사용한다.

#### 3) 돌연변이 연산

순열 형태의 염색체에 대한 돌연변이 연산으로는 insert 연산과 swap 연산이 있다. insert 연산은 하나의 디지털(digit)을 무작위로 선택한 후, 그것을 무작위로 선택된 새로운 위치에 삽입하는 것이다. swap 연산은 무작위로 두 디지털을 선택한 후, 그들의 위치를 상호 교환하는 것이다. 본 연구에서는 swap 연산자를 사용한다.

### 4.7 적합도 함수의 정의

본 문제는 최적화 문제이기 때문에, 수리모형의 목적함수 (1)을 주어진 염색체의 바람직한 정도를 측정하는 적합도 함수로 활용한다. 본 연구에서 설계한 염색체의 표현 및 해석 방법으로 인해 수리모형의 제약식 (16)을 제외한 나머지 제약식은 모두 충족된다. 이제 제약식 (16)을 충족시키기 위하여 Goldberg(1989)의 penalty 방법을 사용한다. 세대변천시 제약식 (16)을 만족하지 못하는 해의 도태를 유도하기 위하여 적합도 함수  $Z^*$ 를 다음과 같이 정의한다. 여기서  $Z$ 는 수리모형의 목적함수인 식 (1)을, 그리고  $M$ 은 임의의 매우 큰 수를 나타낸다.

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

### 4.8 집단별 염색체의 적합도 평가

세대변천이 이루어짐에 따라 각 집단의 염색체가 나머지 집단들의 베스트 염색체와 결합하여 얻어지는 (전체)해를 개선시켜 나가는 메커니즘을 설계해야 한다. 먼저, 하나의 평가대상 집단내 각 염색체를 (4.5절에서의 결합 순서에 따라) 나머지 집단들의 협력자들과 결합함으로써 그 염색체의 적합도  $Z^*$ 를 구한다. 그 다음,  $Z^*$ 값이 가장 작은 염색체(베스트 염색체)를 구하고, 이 염색체를 평가대상 집단을 대표하는 협력자(collaborator)로 지정한다. 이 절차를 각 집단에 round-robin 방식으로 적용한다.

<그림 6>은 세대변천에 따라 8개 집단을 round-robin 방식으로 평가하기 위해 각 집단의 염색체들(평가대상 염색체 + 나머지 7개 집단의 협력자)을 결합하는 방식을 나타낸 것이다.

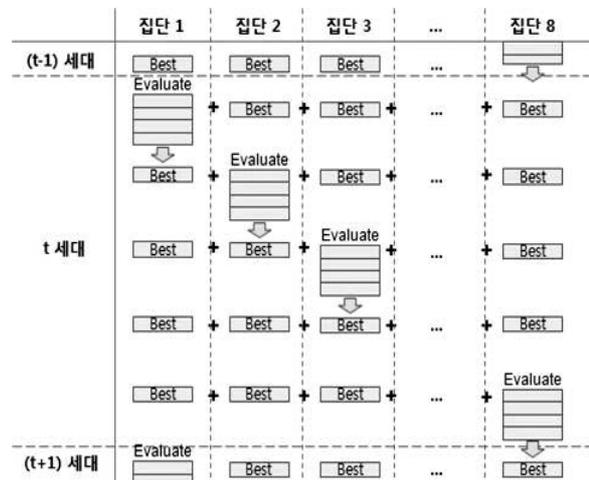


그림 6. 집단별 염색체의 적합도 평가

## 5. 시뮬레이션

### 5.1 코딩 및 테스트 문제의 준비

이제 CCEA와 비교대상이 되는 다른 알고리즘을 테스트 문제를 대상으로 실행시키고, 생성된 해들을 비교해 봄으로써 지금까지 설명한 CCEA의 성능을 파악하고자 한다. 비교대상 알고리즘으로는 GA를 선택한다. GA에서 사용하는 하나의 염색체는 CCEA에서 사용되는 8개 집단별 염색체가 하나로 결합된 형태를 취한다. GA에서 세대교체시 하나의 염색체가 CCEA에서의 8개 집단에 해당하는 유전인자 단위들로 분해되고, 각 단위별로 유전 연산(선택, 교배 및 돌연변이)이 독립적으로 적용된 후, 이것들이 재결합되어 하나의 새로운 염색체가 생성된다. CCEA와 GA는 모두 비주얼 C++ 언어를 사용하여 객체지향 방식으로 코딩한다. 두 알고리즘에 모두 동일한 선택, 교배 및 돌연변이 연산이 적용된다.

모두 7개의 테스트 문제를 준비한다. 공급업체의 수는 각각 3에서부터 30까지, 공장, 유통센터 및 재생업체의 수는 모두 4에서 40까지, 그리고 고객의 수는 5에서 60까지 변경된다. 테스트 문제 내 모든 데이터는 엑셀을 이용하여 무작위로 생성된다. 각 계층별 공급지와 수요지 사이의 수송비용은 모두 1과 20 사이의 균등(uniform) 분포로부터, 그리고 각 수요지의 수요량은 5와 60 사이의 균등 분포로부터 생성된다. 각 계층별 공급능력 및 저장능력은 모형의 제약식을 감안하여 적절한 평균값을 지니는 균등 분포로부터 생성된다. 실험에 사용되는 파라미터들은 <표 1>과 같이 요약된다.

### 5.2 실험계획

폐제품의 수거 비율( $pc$ )의 값은 고객  $l$ 에 관계없이 0.2, 폐제품의 폐기 비율( $pl_m$ )의 값은 재생업체  $m$ 에 관계없이 0.2를 사용한다. 또한  $C_p$ 의 값을 지정하기 위해 각 테스트 문제를 대상으로 예비 실험을 실시한 후, 그 결과를 바탕으로 공장간 이동율의 표준편차에 관한 제약식 (16)을 다소 어렵게 충족될 수 있는 수준에서 그 값을 설정한다. 그 결과, 문제 1, 2, 3, 4, 5의 경우  $C_p$ 의 값으로 0.3을, 문제 6, 7의 경우 0.4를 설정한다. 돌연변이 비율은 0.1로 설정한다.

7개의 테스트 문제에 대하여 두 알고리즘 CCEA와 GA를 각각 7회씩 반복 실행한다. 두 알고리즘에서 모두 각 염색체 값을 지정하는 과정에 난수가 사용된다. 이 난수를 생성하는 데 사용되는 시드(seed) 값을 변경시킴으로써 반복 실행한다. 테스트 문제의 크기가 커짐에 따라 각 집단의 크기를 40에서부터 200까지 증가시킨다. 두 알고리즘 CCEA와 GA의 실행시간은 염색체들의 총 평가횟수에 크게 의존한다고 볼 수 있다. CCEA와 GA는 각각 8개와 1개의 집단으로 구성되어 있고 각 집단의 크기는 같다. 두 알고리즘에서 염색체의 총 평가횟수가 같도록 만들기 위하여 GA의 생성세대수가 CCEA의 8배가 되도록 생성세대수를 설정한다. 테스트 문제별 CCEA와 GA에서의 생성 세대수를 <표 1>의 마지막 두 열에 나타내었다.

### 5.3 실험결과

두 알고리즘 CCEA와 GA의 모든 개별적인 실험결과를 <표 2>

표 1. 테스트 문제들의 파라미터

문 제	공급 업체 수	공 장 수	유통 센터 수	고 객 수	재 생 업 체 수	공 장 수 상 한	유통 센터 수 상 한	재 생 업 체 수 상 한	집 단 크 기	생 성 세 대 수	
										CCEA	GA
1	3	4	4	5	4	3	3	3	40	100	800
2	4	5	5	10	5	4	4	4	50	150	1,200
3	6	8	8	15	8	5	5	5	70	200	1,600
4	8	10	10	20	10	7	7	7	100	300	2,400
5	10	20	20	40	20	14	14	14	150	500	4,000
6	15	30	30	50	30	20	20	20	180	1,000	8,000
7	30	40	40	60	40	40	40	30	200	1,200	9,600

표 2. CCEA와 GA의 실행결과

문 제	구분	CCEA							GA						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	Z	4,769	5,033	4,769	5,033	5,088	4,967	4,984	5,269	5,211	4,963	5,097	5,547	5,449	5,545
	세대	19	38	3	67	0	13	22	591	518	737	435	689	54	769
2	Z	5,386	5,297	5,386	5,297	5,683	5,386	5,683	5,635	5,435	5,648	5,609	5,474	5,546	5,632
	세대	5	5	3	6	9	3	5	653	87	712	466	1033	2	256
3	Z	9,561	9,172	9,904	8,984	8,948	9,172	9,605	10,748	10,490	10,033	11,070	10,696	10,487	10,552
	세대	110	41	21	132	43	42	141	513	1,065	1,463	802	406	1,009	1,294
4	Z	12,726	12,104	13,889	13,367	12,951	11,133	13,094	13,923	12,802	12,223	14,105	13,610	12,885	13,877
	세대	146	118	6	2	12	202	5	614	43	2,277	1,705	278	114	1,711
5	Z	22,065	22,340	21,597	20,530	21,263	21,240	20,731	24,225	24,426	24,608	24,270	24,467	24,604	24,384
	세대	237	457	432	446	449	456	470	1,758	725	3,210	3,903	3,878	25	2,324
6	Z	30,680	31,201	31,107	30,931	30,775	30,321	30,719	33,766	33,506	33,716	33,783	33,809	34,280	33,508
	세대	965	988	996	785	963	910	936	5,704	5,960	5,653	2,553	3,187	2,487	2,168
7	Z	38,520	31,226	32,917	32,474	29,405	30,965	32,475	42,756	41,041	43,279	41,034	41,670	43,564	40,909
	세대	23	1,170	1,079	1,184	1,180	1,174	996	7,183	2,340	602	3,202	737	3,827	8,288

에 나타내었다. 이 표에서 'Z'는 생성된 해에 대응하는 목적함수 값을 나타내며, '세대'는 가장 좋은 해가 생성된 세대수를 나타낸다. 문제 1, 2, 3, 4의 경우 7회의 반복 실행 가운데 주어진 생성 세대수의 경계 부근에서 가장 좋은 해가 생성된 경우는 CCEA나 GA에서 모두 전혀 없거나 1회 정도에 불과하다. 이것은 주어진 생성세대수 부근에 이르기 전에 가장 좋은 해가 이미 생성되었다는 의미한다. 생성세대수를 더 증가시키더라도 해의 개선 가능성은 높지 않을 것으로 예상된다.

반면, 문제 크기가 상대적으로 더 큰 문제 5, 6, 7의 경우 CCEA는 7회의 반복 실행 가운데 각각 6회는 주어진 생성세대수 부근에서 가장 좋은 해를 생성하였다. 따라서 생성세대수를 더 늘리면 CCEA는 더 나은 해를 생성할 것으로 기대된다. 반면, GA는 7회의 반복 실행 중에서 주어진 생성세대수 부근에서 가장 좋은 해를 얻은 경우는 최대 2회에 불과하다. 따라서 생성세대수를 증가시키더라도 해의 개선가능성은 높지 않을 것으로 예상된다. 요컨대 문제의 크기가 커질수록 CCEA가 GA에 비해 해의 개선

가능성이 상대적으로 더 높다고 볼 수 있다.

〈표 3〉은 〈표 2〉의 실험결과를 요약한 것으로, 각 테스트 문제와 각 알고리즘의 조합별로 7회 반복 실행하여 얻어진 목적함수 값들의 최소, 평균 및 최대를 나타낸다. 목적함수 값들의 최소와 평균 면에서 CCEA는 7개의 모든 테스트 문제에서 GA보다 더 나은(작은) 값을 보였다. 목적함수 값의 최소 면에서 CCEA는 문제에 따라 GA에 비해 71.9~97.5%에 해당하는 값을 얻었다. 그리고 목적함수 값의 평균 면에서 CCEA는 GA에 비해 77.5~97.8%에 해당하는 값을 얻었다. 목적함수 값들의 최대 면에서도 CCEA는 7개의 테스트 문제 중 1개를 제외한 나머지 6개 문제에서 GA보다 더 나은 값을 보였다. 따라서 CCEA는 GA에 비해 분명히 더 나은 성능을 보인다고 판단할 수 있다.

어떤 문제를 GA를 통해 해를 구하기 위해 검색체를 이진(binary) 값을 취하는  $2n$ 개의 유전인자로 표현할 경우 모두  $2^{2n}$ 개의 해를 탐색해야 한다. 반면, 이 문제를 하나의 집단이  $n$ 개의 유전인자로 구성되는 2개의 집단을 기반으로 한 CCEA를 사용할 경우 모두  $(2^n+2^n)$ 개의 해만 탐색하기 때문에 GA에 비해 해의 탐색공간이 크게 줄어든다. ( $2^n \ll 2^{2n}$ ) 본 문제의 경우 그 특성상  $n$  값이 크며 모두 8개의 집단을 기반으로 하기 때문에 CCEA가 GA에 비해 비교적 큰 성능차이를 보인 것으로 판단된다.

표 3. CCEA와 GA의 실행결과 요약

문 제	CCEA			GA		
	최소	평균	최대	최소	평균	최대
1	4,769	4,949	5,088	4,963	5,297	5,547
2	5,297	5,445	5,683	5,435	5,568	5,648
3	8,948	9,335	9,904	10,093	10,591	11,070
4	11,133	12,752	13,889	12,223	13,348	14,105
5	20,530	21,399	22,340	24,225	24,426	24,608
6	30,321	30,819	31,201	33,508	33,780	34,280
7	29,405	32,569	38,520	40,909	42,036	43,564

## 6. 결론

오늘날 특정 산업분야를 대상으로 하는 공급사슬 네트워크 설계에 대한 사례연구는 많이 수행된 반면, 여러 산업에 두루 적용

할 수 있는 일반적인 폐쇄루프 공급사슬 모델에 대해서는 연구가 아직 충분히 수행되지 못한 상태에 있다. 따라서 본 연구에서는 포괄적인 성격을 지닌 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제를 제시하고 CCEA를 하나의 새로운 해법으로 제안하고 그 구체적 적용방법을 설계하였다. 먼저, 대상문제에 대하여 수리모형을 정식화하였다. 그리고 대상 문제를 여러 개의 부분문제들로 분할하고, 각 부분문제에 대하여 염색체를 정수들의 순열 형태로 표현하였다. 각 집단별 염색체로부터 그에 대응하는 부분해를 생성하는 알고리즘을 제시하였다. 각 집단으로부터의 염색체를 조합하여 문제에 대한 하나의 전체해를 구하는 순서를 정하였다. 각 집단에서 공통적으로 사용할 유전 연산으로 엘리트리스트(elitist) 전략을 수반한 이진 토너먼트 선택 연산, order 교배 연산 및 swap 돌연변이 연산을 선택하였다. 수리모형내 제약식을 충족시키기 위하여 penalty 방법을 사용하였다. 하나의 평가대상 집단내 각 염색체를 나머지 집단들의 협력자들과 결합함으로써 그 염색체의 적합도를 구하고, 이를 바탕으로 그 집단을 대표하는 협력자를 구하였다. 이러한 절차를 각 집단에 round-robin 방식으로 적용하였다. 이렇게 설계된 CCEA를 GA와 함께 여러 테스트 문제들을 상대로 반복 실행하였다. 그 결과 해의 개선 가능성 면에서 문제의 크기가 커질수록 CCEA가 GA에 비해 더 좋은 결과를 보였다. 모든 테스트 문제에서 CCEA는 목적함수 값의 최소와 평균면에서 GA보다 더 좋은 해를 얻었다.

본 연구에서 소개한 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 모형과 이에 대한 CCEA 해법은 일반성이 높아서 다양한 제품과 관련된 다양한 형태의 폐쇄루프 공급사슬 네트워크 설계 문제에도 쉽게 확장될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- [1] 한용호(2010), “역물류 네트워크 모델의 최적화를 위한 협력적 공진화 알고리즘”, *경영과학*, 27권, 3호, pp.15-31.
- [2] 한용호(2009), “2단계 수송문제에 대한 협력적 공진화 알고리즘 기반의 혁신적 해법”, *산업혁신연구*, 제25권, 4호, 경성대학교 산업개발연구소, pp.227-251.
- [3] 한용호(2011), “협력적 공진화 알고리즘에 기반한 다단계 공급사슬 네트워크의 설계”, *한국 SCM 학회지*, 제11권 제2호, pp.87-96.
- [4] 한용호(2012), “순열 표현 기반의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 다단계 공급사슬 네트워크의 설계”, *경영과학*, 제29권 제2호, pp.1-14.
- [5] 한용호(2012), “5개 집단의 협력적 공진화 알고리즘을 사용한 다단계 공급사슬 네트워크 설계”, *한국 SCM학회지*, 제12권, 2호, pp.1-10.
- [6] Danoy, G., Bouvry, P., Martins, T.(2006), “hLCGA: A Hybrid Competitive Coevolutionary Genetic Algorithm. In: International Conference on Hybrid Intelligent Systems, p.48.
- [7] Danoy, G., Dorronsoro, B., Bouvry, P.(2009), Overcoming Partitioning in Large Ad hoc Networks Using Genetic Algorithms. In: GECCO, pp.1347-54.
- [8] Dekker, R., Bloemhof, J. and Mallidis, I.(2012), “Operations Research for Green Logistics – An Overview of Aspects, Issues, Contributions and Challenges”, *European Journal of Operational Research*, 219(3), pp.671-679.
- [9] Dorronsoro, B., Danoy, G., Nebro, A.J. and Bouvry, P.(2013), “Achieving Super-Linear Performance in Parallel Multi-Objective Evolutionary Algorithms by Means of Cooperative Coevolution”, *Computers and Operations Research*, 40(6), pp.1552-1563.
- [10] Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof- Ruwaard, J.M., Van Wassenhove, L.N.(2001), “The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design”, *Production and Operations Management*, 10(2), pp.153-173.
- [11] Gen, Mitsuo, Altiparmak, F., and Lin, L.(2006), “A Genetic Algorithm for Two-Stage Transportation Problem Using Priority-Based Encoding”, *OR Spectrum*, Vol. 28, pp.337-354.
- [12] Geyer, R. and Jackson, T.(2004), “Supply Loop and Their Constraints: The Industrial Ecology of Recycling and Reuse”, *California Management Review*, 46, pp.55-73.
- [13] Goldberg, David E.(1989), *Genetic Algorithm: in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison Wesley.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Ko, Hyun Jeung and Evans, Gerald W.(2007), “A Genetic Algorithm-based Heuristics for the Dynamic Integrated Forward/Reverse Logistics Network for 3PLs”, *Computers & Operations Research*, 34, pp.346-366.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Melo, M.T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F.(2009), “Facility Location and Supply Chain Management – A Review,” *European Journal of Operational Research*, 196, pp.401-412.
- [20] Potter, M. and De Jong, K.(1994), A Cooperative Coevolutionary Approach to Function Optimization. In: *Parallel Problem Solving from Nature (PPSN III)*. Springer, pp.249-257.
- [21] Rogers, Dale S. and Tibbon-Lembke, Ronald S.(1998), *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, Center for Logistics Management, University of Nevada, Reno, Reverse Logistics Council.
- [22] Salema, M.I.G, Barbosa-Povoa, A.P., and Novais, A.Q.(2007), “An Optimization Model for the Design of a Capacitated Multi-Product Reverse Network with Uncertainty”, 179, pp.1063-1077.
- [23] 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.
- [24] Thierry, Martijn, Marc Salomon, Jo Van Nunen and Luk Van Wassenhove(1995), “Strategic Issues in Product Recovery Management”, *California Management Review*, Vol.37, No.2, pp.114-135.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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)

## 특허분석을 통한 공급망 관리 동향 연구\*

김태우\* · 서창교\*\*†

경북대학교 경영학부

## Researches on Trends in Supply Chain Management through the Patent Analysis\*

Tae-Woo Gim\* · Chang-Kyo Suh\*\*†

School of Business Administration, Kyungpook National University

Patent analysis, which refers to statistical methods used to examine the information contained in a patent document, is widely used to analyze the research and development capacity. This study applied patent analysis to examine the research and development for SCM(supply chain management) using KIPRIS(Korea Intellectual Property Rights Information Service) database. The technology development activities in the field of SCM from the year 1999-2012 were investigated using 295 applied patents. The factors analyzed include patents in a calendar year, patent portfolio, patentee capability, patentee nationality, technological classification using the IPC(international patent classification), and detailed analysis for the issued patents. The research findings show that the patent analysis can provide stakeholders of SCM with information that will assist in their strategic research and development planning efforts.

**Keywords:** Supply Chain Management, Patent Analysis, KIPRIS, Patent Portfolio, IPC

### 1. 서론

기업의 경영활동에 있어 환경변화가 복잡다양해 지면서 기업 경영 패러다임의 변화 중 하나는 개별기업의 독자적인 경영활동만으로는 경쟁할 수 없게 되었다는 점이다(서창교 & 황채영, 2012). 이러한 관점에서 공급망 관리의 영역은 개별기업에 국한된 것이 아니라 공급망에 존재하는 많은 활동들과 기업이라 할 수

있다. 따라서 다른 기업들과의 관계와 활동들의 통합은 기업의 공급망 관리의 성과에도 영향을 미친다.

최근의 공급망 관리(Supply Chain Management, 이하 SCM)는 협력기업과의 정보공유(함민제 & 이지훈, 2012), 협업을 통한 재고관리(한창엽 & 장형욱, 2005) 등 의사결정을 최적화하기 위한 경영기법적 측면과 모바일(김형태 & 서현주, 2008), 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 활용(심승배 등, 2012)등 IT 구현적인 기술적 측면에서 많은 변화와 발전을 가져오고 있다. 경영기법적

\* 본 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

† **Corresponding author:** School of Business Administration, Kyungpook National University, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea,

Tel: 82-53-950-5425 FAX : 82-53-950-6247 E-mail: ck@knu.ac.kr

2013년 3월 11일 투고, 3월 26일 수정본 접수, 4월 1일 게재 확정.

측면에서는 탄력적인 공급망 운영과 친환경 제조환경, 고객중심의 SCM 활용을 중심으로 변화하고 있으며, 정보시스템적인 SCM 구현을 위한 기술적 측면에서는 단위 업무 혹은 전사적자원관리(ERP)·생산관리시스템(MES)·공급망 관리(SCM) 시스템 별로 분산돼 있는 각종 데이터를 통합해 종합적으로 모니터링/분석할 수 있는 기술의 구현으로 과거 데이터를 전체적으로 조회하고 미래를 시뮬레이션 및 판단/예측 할 수 있는 시스템 구현이 추진되고 있다. 일례로 2012년 10월 조사에 의하면 공급망 관리/운영 기업들 중 50%가 지속가능한 공급망 구축의 일환으로 공급망 프로세스의 자동화 및 가시성 확보를 위한 새로운 시스템을 도입 중이거나 도입할 계획이 있는 것으로 조사되고 있으며, 특히 성숙 시장과 신흥 시장에서 공급망 운영 능력과 프로세스를 차별화하는 데 중점적으로 투자를 실행하고 있는 것으로 조사되고 있다(인더스트리솔루션, 2012).

21세기를 일컬어 지식정보화 사회라고 할 만큼 제반 산업분야에서의 특허분쟁이 나날이 심각해지고 있지만, 연구자들은 학술 논문과 달리 특허명세서들 통한 선행연구를 제대로 조사하지 않아 이미 밝혀진 연구를 중복하고 있는 경우가 자주 나타나고 있다. 일례로 특허청에 의하면 261개의 유럽기업을 대상으로 한 설문조사에서도 R&D 투자 후 해당기술이 이미 특허로 보호되고 있음을 발견한 경우가 70%에 달하고 있었다(박차철 & 김호정, 2009). 특정분야의 연구개발 현황과 기술특징을 파악하기 위해서는 해당기술의 동향을 분석하고 흐름을 파악하는 것이 중요하다. 특허분석은 특허동향을 조사함으로써 해당분야에서 주류 기술과 어떤 기술개발이 진행되고 있으며, 어떤 기업이 참여/선도하고 있는가를 살펴보고, 기술의 실용화 및 기술혁신의 방향을 가늠해 볼 수 있다(김은형, 2009).

본 연구에서는 SCM의 구현을 위한 국내 기술동향을 특허분석을 통해 파악하고자 한다. 이를 위해 SCM 관련 특허출원 동향분석과 등록특허 내용분석을 실시하였다. 또한 SCM 특허정보에서 나타나는 관련 특허의 IPC코드분포와 특허출원 동향과 출원인별 분포, 특허기술 분포, 특허활용분야 등에 대해 분석하였다. 즉, 본 연구의 목적은 SCM 관련 특허를 정리 분석함으로써 첫째, 국내의 SCM 관련 특허의 기초자료를 확보하여 기술변화의 흐름을 파악하며, 둘째, 출원된 특허통계의 분석을 통해서 기업의 SCM 경영전략 수립에 활용할 수 있는 정보를 제공하고, 셋째 SCM 연구개발 방향의 의사결정에 필요한 객관적 정보를 제공하는데 있다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 제2절에서는 특허정보와 특허정보 분석의 선행연구들을 정리하고, SCM 관련 특허를 분석하기 위한 SCM의 주요 기능, SCM 기본기술과 응용정보 기술을 정리하였다. 제3절에서는 특허정보 분석을 위한 연구방법론으로 특허정보 분석의 특징과 특허분석의 기준 및 지표에 대해 설명하였다.

제4절에서는 1999년 1월에서 2012년 9월까지 출원된 SCM 관련 특허들의 특허출원 동향, IPC 기술분류별 분석, 세부 기술 분석 결과를 제시하였다. 마지막 제5절에서는 본 연구의 결과와 시사점을 정리하였다.

## 2. 선행연구

### 2.1 특허정보

특허정보는 발명 활동과의 연계성, 광범위한 분야에 걸친 풍부하고 객관적인 정보의 제공, 데이터에 대한 접근 용이성 등의 이유로 기술동향을 분석하고 연구 개발의 성과를 측정하는 중요한 과학 기술지표로 인식되고 있으며, 또한 권리정보의 성격을 가지고 있어 경영전략 수립이나 신기술 연구개발과정에서의 의사결정에 중요한 역할을 하는 전략적인 정보로 활용되고 있다(이경표 & 이성주, 2010; Abraham & Moitra, 2001). 특허정보의 활용은 신기술의 습득과 기술력 향상을 기할 수 있으며, 기술적 문제의 해결방안을 습득함으로써 품질향상과 독자 기술개발을 유도한다(이금희, 2003). 또한 여러 형태의 특허정보 활용방법을 이용하여 차세대 연구 개발 테마에 대한 선행특허정보를 조사하여 기술의 파급효과를 파악하고, 연구개발 방향을 설정하여, 중복투자를 방지하면서 공백기술의 발견을 통해 특허분쟁을 사전 방지할 수 있다(한창욱, 2004).

이러한 특허정보는 기타 기술정보에 비해 분석하기에 용이한 특수한 특성을 갖고 있다. 첫째 특허는 기술개발에 있어서 창조적 효과라고 할 발명을 기초로 하고 있기 때문에 매우 기술적인 정보이고, 둘째 출원일로부터 18개월이 지나면 그 기술내용을 출원순으로 공개하기 때문에 정보전달이 신속하고 시계열분석이 용이하다는 것이며, 셋째 세계 공동의 특허분류(IPC 분류)를 사용하기 때문에 쉽게 자료를 수집할 수 있다(류영복, 1991). 또한 특허정보는 기술 정보의 대응지표로 활용되고 있다. 과거에는 특허 분석이 대부분 서지사항 분석을 목적으로 이루어졌으나, 최근 특허 분석의 목적은 기술사항 분석이 주를 이루고 있다(조영란 등, 2010). 특허정보는 과학기술 활동의 결과임과 동시에 연구개발 활동의 지적 투입요소가 될 수 있기 때문에 기술혁신을 측정하기 위한 지표로서 중요한 관심의 대상이 되고 있다. 또한 특허정보는 표준적이며, 객관적인 것으로서 기술수준이나 기술혁신의 동향과 흐름을 분석하는데 유익하게 활용되고 있다(정하교 & 황규성, 2007). 따라서 특허정보는 미래기술 계획 수립 시 실효성 있고 정확한 정책개발을 위해 현 산업과 기술의 방향을 제시해줄 수 있는 근거자료로 활용될 수 있으며 산업 및 기술의 지표로서 사용될 수 있다

(유화숙 등, 2007).

특허정보가 가지는 기술적, 지표적 의미로 인해 국내에서도 다양한 분야에서 특허분석이 이루어지고 있다.

김은형(2009)은 차세대 유비쿼터스 웹 환경에서 공공 및 민간의 공간정보를 통합한 맞춤형 국토정보 제공기술에 대하여 2000년부터 2009년까지 공개된 한국, 미국, 유럽특허 215건에 대하여 각국별 출원현황과 선두기업별 동향을 분석하여 맞춤형 국토정보 제공분야의 분야별 대응전략을 기술적, 정책적 관점에서 제시하였다.

박차철 & 김호정(2009)은 섬유산업의 연구개발 동향 분석을 위해 1980년부터 2007년까지의 한국, 미국, 일본, 유럽특허 18,081건을 분석하였다. 이 결과 우리나라 섬유산업 특허 중 내국인에 의해 출원된 특허건수가 외국인 출원건보다 많으나 IPC코드의 D03(제직), D04(부직포 및 편물), D05(봉제 및 자수)분야는 외국인의 특허출원이 더 많은 것으로 조사되었다.

유화숙 등(2007)은 섬유제품 상변화 물질에 대한 기술동향 분석을 위해 1980년부터 2005년까지의 한국과 미국 특허 205건을 분석하였다. 이를 통해 섬유제품 상변화 분야는 미국에 비해 특허출원이 적은 것으로 분석되었으며 기초기술 분야에 대한 정부의 적극적인 지원 필요성을 제안하였다.

이경표 & 이성주(2010)는 에너지 저장기술에 대한 특허분석을 위해 1997년부터 2007년까지의 한국, 미국, 일본, 유럽특허 1,915건을 조사하고, 각국의 출원현황, 세부기술동향을 분석하였다. 그 결과 기술개발은 미국과 일본이 주도하고 있는 것으로 조사되었으며 IPC코드의 H01G(전해장치) 분야에서는 한국의 특허출원이 높은 것으로 분석되어 강점분야에 대한 지속적 육성이 필요한 것으로 조사되었다.

정하교 & 황규성(2007)은 1995년부터 2006년까지 미국특허 분석을 통해 우리나라 항공기반 기술의 글로벌 경쟁력을 분석하였다. 이를 통해 항공선진국들 보다 우리나라가 우위에 있는 것으로 분석된 반도체/전자부품, 통신기기 산업과 같은 IT산업과 관련된 분야에 집중적인 투자의 필요성을 제안하였다.

조희진 등(2010)은 원유 불순물 제거 및 정제 관련 촉매 기술에 대한 특허 분석을 위해 1970년대부터 2009년 6월까지 한국, 미국, 일본, 유럽특허 643건을 활용하여 기술분석을 실시하였다. 그 결과 전체적인 기술의 단계는 특허건수와 출원인수가 모두 감소하는 퇴조기에 있는 것으로 나타났으며, 한국특허에서는 촉매 분야 특허가 상대적으로 많은 것으로 분석되었다.

한창욱(2004)은 1980년부터 2000년까지 한국, 미국, 일본, 유럽특허 7,619건을 활용하여 가스터빈 분야의 특허맵을 작성되었다. 이를 통해 특허맵의 활용범위와 활용방안과 출원인별 특허출원 동향분석, 세부기술 분야별 동향을 제시하였다.

국외에서도 디스플레이 제조기술(Chang et al., 2012), 풍력 기술(Daim et al., 2012), 가상화기술(Ju et al., 2012), 바이오수소 기술(Leu et al., 2012; Trappey et al., 2011), 바이오연료(Leu et al., 2012), 태양전지 기술(Nielsen et al., 2010; Tseng et al., 2011), RFID 기술(Trappey et al., 2011), 지능형 교통시스템 기술(Wu & Lee, 2007) 등 다양한 분야의 특허분석 연구들이 수행되고 있다.

## 2.2 SCM의 기능

기업 간의 경쟁이 강화됨에 따라 기업내부의 자원과 역량에 대한 관리만으로는 부족하며 공급망 내의 다른 주체들의 자원과 역량, 그들과의 협력관계에 대한 지속적인 모니터링의 중요성이 그 어느 때보다 강조되고 있다. 현재의 경영환경은 기업 간의 경쟁이 아니라 같은 공급망을 공유하고 있는 기업군 간의 경쟁의 양상을 나타내고 있으며, 시장의 불확실성이 커짐에 따라 공급망 내에 속해 있는 구성원 전체가 시장의 변화에 신속하게 대응해야 하기 때문이다. 따라서 공급망 전체의 경쟁력을 높이기 위해서는 공급망의 구성원 간에 정보 공유와 협업을 통하여 공급망의 유연성을 확보하려는 노력이 매우 중요하다(김수옥, 2012).

SCM에 대한 정의는 연구자에 따라 다양하게 정의될 수 있으나, 공통적으로 추구하는 목적은 가치가슬(Value Chain)전체에 대한 통합적인 합리화를 위한 것으로, 부품, 기자재, 원료등의 구매 및 조달, 제조, 보관, 운송, 유통 및 판매까지를 포함하는 것이다. 이를 통해 비용절감, 서비스 만족으로 이용기업의 수익증대를 달성하는 것이 그 핵심이라 할 수 있다. 즉, SCM 활용의 핵심은 자사정보를 같은 공급망에 있는 타사에 공개, 공유하는 것을 의미하며 고객에게 제품을 적기에 도달하게 하기 위해 다른 기업과 정보를 공유하는 것이 기본개념이라는 점에서 기존 다른 경영시스템 또는 경영기법과는 차별화 될 수 있다.

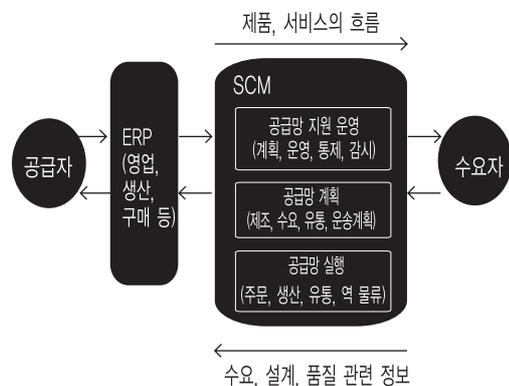


그림 1. SCM 구성에 대한 개념도

이러한 관점에서 SCM의 핵심기능은 <그림 1>과 같이 크게 운영(Monitoring)과 계획(Planning), 실행(Execution)기능으로 이루어져 있다.

먼저 공급망 운영은 다수의 참여자간의 효과적인 자원운영을 위한 계획의 수립과 운영, 통제 등의 활동으로 각 주체가 보유한 자원이 최적의 조건에서 공급되고 보충되는 시점과 방법에 대해 지속적으로 모니터링 하면서 상호간의 성장과 이익을 추구하는 활동이다. 공급망 계획은 공급망 자원의 운영자로서의 수요와 공급의 균형을 맞추기 위해 각 기능영역이 아닌 전체적인 관점에서 계획을 수립하는 역할을 한다(김상수 등, 2009). 공급망 실행은 주문, 생산 등 완성된 상품 또는 서비스가 고객에게 전달될 수 있도록 관리하는 것이 핵심이며 반대로 제공된 상품 또는 서비스에 하자가 발생하여 되돌아 오는 역물류까지 공급망 실행영역에 포함된다(하재원, 2008).

### 2.3 SCM 기본기술과 응용정보 기술

공급망 통합 발전단계의 최종 단계는 외부통합 단계와 내부 공급망 통합뿐만 아니라 공급자와 고객까지도 통합하는 것으로 최근의 SCM 구축은 기업 내부의 다양한 기능 영역을 통합시키고 이를 기업 외부의 공급자, 유통업자 및 고객의 활동 영역과 효과적으로 연계시킴으로써 공급망의 경쟁력 향상 및 기업성장을 추구하고 있다. 따라서 공급망 통합은 성공적인 SCM을 위해 필수적인 과제이며, 공급망 통합을 위해서는 통합의 대상에 대한 명확한 이해가 선행되어야 한다.

치열한 비즈니스 경쟁 환경에서는 고객의 수주에서 납품까지의 공급망 전체의 프로세스가 통합적으로 운영될 수 있도록 공급망 프로세스의 혁신활동이 중요하며, 이를 지속적이고 효율적으로 유지하기 위해서는 IT 기술을 적극 활용한 정보 인프라가 매우 중요한 역할을 해야 한다(박병삼 등, 2011). IT 기술의 발달로 SCM 시스템을 구축하는 비용과 시간이 크게 절감되었으며 공급망관리 시스템의 구축이 증가됨에 따라 이와 관련된 연구도 활발히 진행되고 있다(서창교 & 황채영, 2012).

SCM을 구현하기 위한 정보기술은 공급망에서의 정보교환을 위한 기본적인 핵심적인 기술로 POS, Bar Code, 그리고 RFID 기술이 대표적이라고 할 수 있다. 또한 내부 정보 통합기술과 고객, 공급자 등 파트너와의 거래처리 및 의사소통을 위한 인터넷 기반의 전자상거래 기술, 전자정보 교환을 위한 EDI기술은 예상수요와 차이를 최소화 하는 정보기술이라고 할 수 있다. 또한 각 제품의 최소단위인 단품별로 원가, 판매가격, 판매수량 관리를 위한 Unit Control 기술과 물류와 유통정보를 지원하는 지리정보(GIS) 등이 SCM의 구현을 위한 기본적인 정보기술이라고 할

수 있다(강성배 & 문태수, 2008).

SCM 구현을 위해서는 상기와 같은 기본적인 정보관리 기술을 바탕으로 제품판매, 시장요인분석, 재고수준, 제품수납, 서비스수준과 같은 다양한 정보를 통합하는 데 사용되는 자동발주시스템(Computer Assisted Ordering), 연속상품보충(Continuous Replenishment Program), 자동보충시스템(Automatic Replenishment), 공급사 재고관리(Vendor Managed Inventory), 공동재고관리(Co-Managed Inventory), 상호공급 예측프로그램(Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) 등이 추가되어 통합적으로 운영될 수 있다.

이러한 SCM 구현을 위한 응용 정보기술들은 각각 독자적인 기술영역을 바탕으로 데이터 관리기술과 RFID 등과 같은 통신기술, 분석기술, 센싱기술들이 함께 통합적으로 구현되고 있다.

## 3. 연구방법론

### 3.1 특허정보분석

특허분석은 특허를 통해 기술개발 동향을 파악할 수 있고, 기술변화 추이를 분석하여 현재 개발되고 있는 기술과 비교하여 향후 대책을 수립할 수 있게 해 준다. 또, 기술의 실용화 및 기술개발 방향 및 기술개발 전략 마련의 기초자료로 사용될 수 있다. 아울러 이미 개발된 특허기술에 대한 특허회피나 특허분쟁을 사전에 대비할 수 있고, 특허기술의 상호관련성 파악과 틈새기술의 발견 및 개발 가능성에 활용될 수 있다(김은형, 2009).

특허출원건수는 연구 개발에 기반을 둔 기술경쟁력의 척도로 볼 수 있다. 특허는 한 가지 발명을 하나의 특허로 출원하도록 규정하고 있으며, 하나의 발명에서 세부적으로 다른 조건에 의한 발명의 보호범위는 다수의 청구항에 기재된 청구범위에 의존한다. 따라서 특허 청구항이 많을수록 특허범위가 넓어지게 된다. 일반적으로 특허 당 청구항이 많다는 것은 해당 주제에 대한 연구개발의 결과가 보다 심층적이고 다양한 조건을 내포하고 있다는 것을 의미한다(박차철 & 김호정, 2009).

특허분석을 통한 기술동향 분석을 위해서는 검색가능한 모든 특허를 분석하는 것이 이상적이나 수집과 분석에 한계가 있음으로 본 연구에서는 SCM 분야에 대해 1999년 1월부터 2012년 9월까지 약 12년간의 국내 특허를 대상으로 분석을 실시하였다. 분석기간을 12년간으로 설정한 것은 통상 특허가 출원 후 18개월이 경과된 후에 정보가 공개되는 점을 고려하여 실질적인 10년간의 분석기간을 확보하기 위함이다.

검색과 분석에 이용한 데이터베이스는 특허청에서 운영중인

KIPRIS(Korea Intellectual Property Rights Information Service)로 KIPRIS는 특허청이 보유한 국내의 지식재산권 관련 모든 정보를 DB로 구축하여 인터넷으로 제공하는 특허정보검색 서비스이다.

### 3.2 특허분석의 기준 및 지표

특허분석을 위해서는 먼저 특허DB에서 연관 특허를 효과적으로 검색해야 한다. 공급망 관리 분야의 특허검색을 위해 활용한 키워드는 ‘공급망 관리’, ‘공급사슬관리’, ‘Supply Chain Management’를 기본 검색어로 활용하였다. 다만, SCM은 SCM(Slice-based Complexity Measure), SCM(Single Column Module), SCM(Spatial Channel Model) 등과 같이 타 학문분야에서도 약어로 많이 사용되어 검색키워드에서는 제외하였다.

상기 기본검색어와 함께 SCM 구현을 위한 기본 정보기술 키워드와 응용정보기술 키워드를 함께 조합하여 사용하였으며 검색 기간은 1999년 1월 1일부터 2012년 9월 30일까지 약 12년간으로 설정하였다. 이를 통합적으로 구성한 검색식은 아래와 같다.

(“공급망 관리” + 공급사슬관리 + “Supply Chain Management”) \* (POS + “Bar Code” + RFID + EDI + DSS + “Unit Control” + GIS + CAO + CRP + AR + VMI + CMI + CPFR) \* AD = [19990101~20120930]

위와 같은 검색식을 통해 KIPRIS 데이터베이스를 검색한 결과, 총 1,880건의 특허가 검색되었으며, SCM 분야와의 관계성과 유효성 검토를 통해 총 295건의 특허를 추출하였다. 이를 활용하여 1차로 전체 SCM 관련 특허출원 동향과 추이 분석을 실시하였다.

또한 2차로 295건의 특허 중 최종 등록된 119건에 대해 기술 분석을 실시하였다. 특허출원 동향과 추이 분석은 특허청에서 제공하는 특허분석툴인 PIAS(Patent Information Analysis System)3.0을 활용하였으며 기술분석은 전체 특허내용을 Microsoft Excel 2007을 활용하여 정리/분석하였다.

## 4. 특허분석

### 4.1 특허출원동향

SCM 분야의 연도별 특허출원 동향은 <그림 2>와 같다.

SCM 분야의 특허출원은 1998년에 2건으로 시작하여 2001년 26건의 특허출원까지 매년 꾸준히 증가하였으며, 2009년에 35

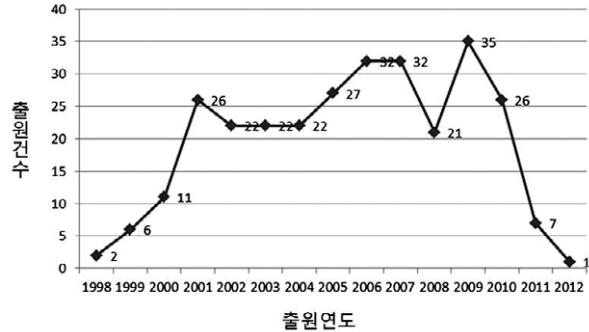


그림 2. 연도별 출원현황

사기 시간 중에서 가장 많은 35건의 특허가 출원되었다. 2000년 이후 매년 20건 이상의 특허가 꾸준히 출원되고 있어 SCM 관련 분야의 연구개발과 산업화 노력이 지속되고 있는 것으로 분석된다. 다만, 특허 출원 후 18개월 이후에 공개되는 특허제도의 특성상, 2010년 이후의 특허는 정보 공개 시기 등을 고려하면 전체적인 출원현황 추이와는 무관하며, 보다 정확한 경향은 최근에 출원된 비공개 특허들이 공개된 이후에 파악할 수 있다.

검색대상 기술의 특허출원건수와 출원인수의 상관관계를 살펴보는 포트폴리오 분석을 통해 기술의 기술발전 단계를 분석할 수 있다(<그림 3> 참조).

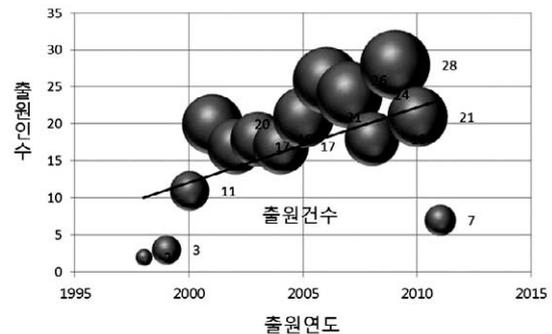


그림 3. 특허 포트폴리오

일반적으로 기술의 발전은 발전기, 성숙기, 퇴조기, 부활기 순으로 진행되는데, 특허 포트폴리오 분석을 통한 SCM 분야의 기술 성숙도는 2003년과 2004년에 출원건수 및 출원인수가 다소 감소하다가 출원건수와 출원인수가 모두 다시 증가추세를 나타내고 있어 우리나라 SCM 분야는 발전 단계에 진입하고 있는 것으로 분석된다.

또한 특허출원인 상위 10위 통계분포를 분석한 결과는 <그림 4>와 같이 정부출연연구원인 ETRI(한국전자통신연구원)가 13건으로 가장 많았으며, 삼성전자가 7건을 출원하였고 i2TECH, IBM이 각 6건을 출원한 것으로 분석되었다. 이어 KT, Ericsson,

부산대학교가 각 5건을 출원한 것으로 분석되었다.

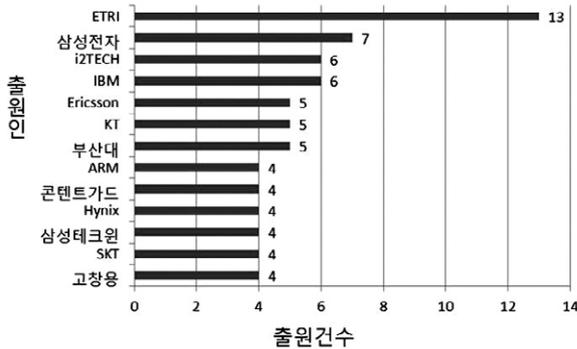


그림 4. 출원인별 현황

상위 10권내에 외국기업이 5개사(iZTECH, IBM, Ericsson, ARM, 콘텐츠가드)나 포함되어 국내 SCM 관련시장에 대한 외국 기업의 관심도와 진출의지가 높은 것을 알 수 있으며, 이들 외국 기업들로부터 국내 SCM 시장을 지키기 위해서는 우리나라 산/학/연이 SCM분야에 대한 보다 많은 연구개발과 사업화 노력이 필요할 것으로 분석된다.

출원인을 출신국가별로 추가적으로 분석한 국가별 출원현황 분석에서는 국내출원자가 전체 64.1%인 189건을 차지하였으며, 국외출원자가 35.9%인 106건으로 분석되었다. 이 중 미국이 67건으로 가장 많았으며 일본이 12건, 프랑스가 8건으로 3개국 이 국외출원자의 82%를 차지하여 국내시장에 대한 관심도가 높은 국가로 분석되었다 (<그림 5> 참조).

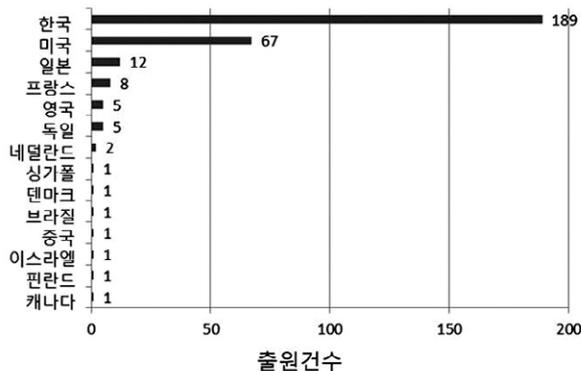


그림 5. 국가별 출원현황

4.2 특허분류별 분석

국내에는 물론 미국, 유럽, 일본에서도 국제특허분류에 의한 분류체계를 표기하고 있어 IPC(International Patent

Classification) 코드의 채택을 통해서 국내/외 특허문헌의 수집, 정리, 이용이 용이하며 기술개발의 동향조사를 위한 기초 및 선행 기술 조사의 지표로 활용되고 있다(박차철 & 김호정, 2009).

IPC 코드의 구성은 기술 전체를 8개의 섹션으로 나눠 알파벳 A~H로 표시하며 각각의 섹션에 대해 클래스, 서브클래스, 그룹, 서브그룹으로 세분화해 나간다. IPC코드의 8개 섹션구분은 아래와 같다(특허청, 2012).

- A. 생활필수품
- B. 처리조작, 수송
- C. 화학, 야금
- D. 섬유, 종이
- E. 고정 구조물
- F. 기계공학, 조명, 가열, 무기, 폭발
- G. 물리학
- H. 전기

출원된 특허들은 <그림 6>과 같이 SCM 관련 특허기술들의 상위 10위 IPC 코드 통계분포는 G06코드 중심으로 분석되었다.

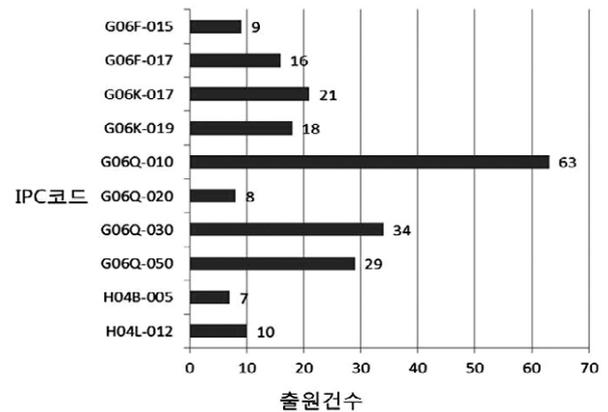


그림 6. IPC코드별 출원현황

이를 서브클래스와 메인그룹을 포함하여 세부적으로 분석해 보면, 조직의 통제 및 경영에 적합한 데이터 처리 시스템 분야로 기업환경에서의 워크플로우, 최적화 또는 예측분야인 G06Q-010 코드의 특허가 63건으로 가장 많은 것으로 분석되었다. 또한 물건 또는 서비스에 대한 마케팅, 청구모델에 적합한 데이터 프로세싱 시스템으로 온라인 카탈로그 웹페이지와 물품, 서비스에 대한 청구 또는 송장발부시스템 분야인 G06Q-030 코드의 특허가 34건, 특정 비즈니스 부문에 적합한 시스템 또는 방법으로 제조업 등의 시스템 분야인 G06Q-050 코드의 특허가 29건으로 분석되었다. 그 외에 데이터의 인식, 표시 기록매체 기술이 해당되는 G06K-17, G06K-19 분야의 특허가 각각 21건과 18건으로 분석되었으며, 디지털 계산 또는 데이터 처리장비/방법분야로 데

이더 처리 장치분야인 G06F-17 분야의 특허도 16건으로 분석되었다.

〈그림 6〉에 소개된 SCM 기술 분야 상위 10개 IPC코드의 주요 내용과 적용예시 설명은 아래 〈표 1〉과 같다.

표 1. SCM관련 IPC 코드별 정의

구분	주요내용 및 적용예시
G06F-015	디지털 계산기 일반 - 데이터 처리 장치
G06F-017	디지털 계산 또는 데이터 처리장비/방법 - 데이터 처리 장치
G06K-017	기록반송과에 대한 무선감지 - 신호변환장치, 데이터 장치
G06K-019	데이터의 인식, 표시 기록매체의 취급 - RFID 등
G06Q-010	조직의 통제/경영 분야 데이터 시스템 - 워크플로우, 최적화 또는 예측
G06Q-020	금융절차 구현을 위한 데이터 시스템 - 전자지불, POS와 연계된 지불프로토콜
G06Q-030	마케팅, 쇼핑, 청구, 경매 등의 시스템 - 온라인 카탈로그, 청구 또는 전자상거래 자체
G06Q-050	특정 비즈니스 부분에 적합한 시스템 - 제조업 등의 시스템
H04B-005	근접장 전송시스템 - 제한된 범위의 전송시스템
H04L-012	데이터 스위칭 네트워크 - 디지털 형태의 정보전송

### 4.3 세부 기술 분석

SCM관련 출원특허 중 최종 등록된 특허 119건을 세부적으로 분석한 결과, 〈그림7〉과 같이 81건(68.1%)이 산업계에서 특허가 등록되었으며, 개인이 17건(14.3%), 학계 15건(12.6%), 연구계 6건(5%)으로 산업계에 비해 상대적으로 개인과 학계와 연구계의 특허등록율이 낮은 것으로 분석되었다.

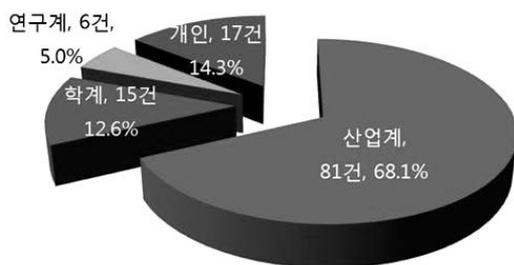


그림 7. 등록특허 출원인 분석

선행연구에서도 개인이 연구개발을 진행하는 경우에는 연구개발자의 연구에 대한 이론적 배경 및 연구시설 등 제반 연구여건이 열악하기 때문에 개발기술이 특허로 등록될 정도의 진보성을 인정받을 수 있는 수준에 도달하기 어려움과 대학이나 연구소 등에서 개발된 기술들이 상업화되기 위해서는 기술이전과정을 거쳐야 하는데 아직까지 대학이나 연구소의 기술이전이 활발하지 못한 점이 산업계에 비하여 개인과 학계와 연구계의 낮은 특허등록률의 이유로 지적하고 있다(김호정, 2009). 따라서 개인이나 대학, 연구소에 의해서 특허출원된 기술들에 대한 상업화를 위한 후속 연구가 수행될 수 있도록 SCM 분야에 대한 연구개발과 기술사업화에 대한 노력과 지원이 추가적으로 필요하다.

출원주체별 특허관심도를 IPC 코드 기준으로 분석하면 〈표 2〉와 같이 산업계/학계/연구계/개인의 특허등록 주체별로 특허관심도가 다소 차이가 있다.

표 2. 등록주체별 기술분포 분석

IPC 코드	산	학	연	인	합계
G06Q-10	13	4		5	22
G06K-17	7	6			13
G06K-19	7		1	2	10
G06Q-50	5	1		4	10
H04L-12	2	1	3	1	7
G06F-15	5	1			6
G06Q-30	3			2	5
G02F-11	4				4
G06F-17	3		1		4
G06F-12	3				3
G06F-94	3				3
기타	26	2	1	3	32

주) 산(업계), 학(계), 연(연구계), (개)인

산업계에서는 G06Q-10와 G06K-17, G06K-19 코드의 특허등록율이 높은 것으로 이는 조직의 통제/경영 분야 데이터 시스템으로 워크플로우, 최적화 또는 예측분야의 특허와 데이터의 인식, 표시 기록매체의 취급 등에 활용되는 RFID 관련 분야의 특허등록율이 높은 것으로 분석되었다. 학계에서는 RFID 관련 분야인 G06K-17 코드의 특허등록이 가장 많은 것으로 분석되었으며, 연구계에서는 비밀 또는 안전한 통신으로 데이터 교환 네트워크 분야인 H04L-12 코드의 특허등록이 가장 높은 것으로 분석되었다. 반면에, 개인의 특허등록은 G06Q-10 코드와 특정 비즈니스 부분에 적합한 시스템으로 제조업 등의 시스템 분야인 G06Q-50 코드의 특허등록이 높은 것으로 조사되었다.

특허의 활용분야에 대한 세부분석을 위해 SCM 관련 활용분야를 크게 14개로 분류하고 개별 특허의 발명 명칭, 초록, 청구항의 내용을 분석하여 해당특허의 핵심적인 활용분야를 분류한 결과, <그림 8>과 같이 효과적인 정보전달을 목적으로 하는 특허가 가장 많은 것으로 분석되었다.

정보전달의 세부적인 내용으로는 정보모니터링, H/W간 정보 전달, 개체간 정보전달, 시스템간 정보전달 등의 내용을 포함하고 있다. 다음으로 무선통신, RFID 구성, 네트워크 구성방안 등의 내용을 포함한 네트워크 분야가 많았으며 창고와 매장관리, 물품코드 등의 물품관리 분야, 보안인증, 수요예측 순으로 분석되었다. 또한 이들 특허의 주요 핵심기술은 RFID, 무선통신, 보안인증, 데이터처리 기술이 중점적으로 활용되고 있는 것으로 분석되었다.

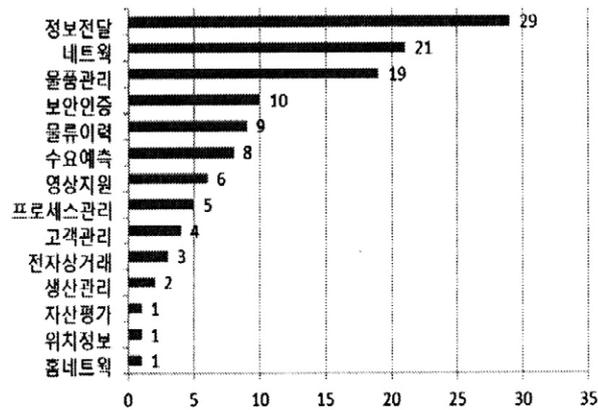


그림 8. 등록특허 활용분야 분석

등록특허 활용분야에 대한 산/학/연/인의 특허 등록주체별 분포를 분석해 보면, 특허 활용분야의 등록주체별 분포는 산/학/연/인이 다소 차이는 있으나 큰 차이를 보이지는 않는 것으로 분석되었다.

<표 3>과 같이 산업계에서는 정보전달 분야와 네트워크, 물품관리 분야의 특허등록이 가장 많았으며, 학계에서는 정보전달 분야, 네트워크 분야, 물품관리 분야 등, 연구계에서는 정보전달 분야 등, 개인은 수요예측 분야와 네트워크 분야가 비교적 높게 분석되었다.

### 5. 결론 및 시사점

본 연구에서는 SCM의 구현을 위한 기술적 관점의 국내 기술동향 분석을 위해 1999년 1월부터 2012년 9월까지 약 12년간의 국내 특허를 대상으로 SCM 관련 특허분석을 수행하였다. 분석은 국내 기술동향을 분석하기 위한 295건의 출원특허 분석과 핵심특

표 3. 활용분야의 등록주체별 분석

활용분야	산	학	연	인	합계
정보전달	22	3	3	1	29
네트워크	14	3	1	3	21
물품관리	13	3	1	2	19
보안인증	8	1		1	10
물류이력	5	1	1	2	9
수요예측	3	1		4	8
영상지원	6				6
프로세스관리	2	1		2	5
고객관리	4				4
전자상거래	2			1	3
생산관리	2				2
자산평가				1	1
위치정보		1			1
홈네트워크		1			1
총합계	76	15	6	16	119

주) 산(업계), 학(계), 연(연구), (개)인

허의 세부기술별 구조와 특성을 분석하기 위한 119건의 등록특허 분석을 수행하였다.

분석결과를 요약하면 첫째, 국내 SCM 분야의 특허출원은 2001년 이후로 연간 20건 이상 꾸준히 출원되고 있으며 특허출원 포트폴리오 분석을 통해서 SCM 관련 기술들은 출원건수와 출원인수가 증가하는 발전단계에 진입하고 있는 것으로 분석되었다.

둘째, 출원인 분석에서는 국외출원자가 106건(35.9%)을 차지하며, 특히 출원인 상위 10위권에 다국적 기업이 5개나 포함되는 등 국내 SCM 시장에 대한 외국의 높은 관심을 확인할 수 있으므로, 국내 SCM 시장을 지키기 위한 SCM분야에 대한 국내 산/학/연의 보다 적극적인 기술적, 사업화 노력이 필요한 것으로 분석되었다.

셋째, SCM 분야의 특허를 분석한 결과, SCM 특허는 IPC코드 G06중심으로 워크플로우, 최적화 또는 예측분야, 전자상거래 분야, 특정 비즈니스 적합 시스템에 대한 특허출원이 많은 것으로 분석되었다.

넷째, 세부 활용분야 분석에서는 정보모니터링을 위한 시스템 간 및 개체간 정보전달 분야의 특허가 가장 많았으며, RFID 구성과 활용등의 네트워크 분야, 창고와 매장관리 등의 물품관리 분야에 대한 특허등록이 많은 것으로 분석되어 Mobile 기술의 적용확대가 최근에 증가하고 있음을 확인할 수 있었다.

다섯째, 특허출원 주체별 기술관심도를 IPC코드 기준으로 분석한 결과, 산업계에서는 G06Q-10 특허인 워크플로우, 최적화

또는 예측분야의 특허가 가장 많았으며, 학계에서는 G06K-17 특허인 무선감지 분야의 특허등록이 가장 많은 것으로 분석되었다. 연구계에서는 H04L-12 특허인 데이터 네트워크 분야의 특허등록이 가장 많은 것으로 분석되었으며, 개인의 특허등록은 G06Q-10 특허인 워크플로우, 최적화 또는 예측분야의 특허가 가장 많은 것으로 분석되었다.

마지막으로 특허의 활용분야에 대한 분석에서는 산업계, 학계, 연구계에서 정보모니터링, H/W간 정보전달, 개체간 정보전달, 시스템간 정보전달 등의 내용을 포함하는 정보전달 분야의 특허등록이 가장 많았으며 개인은 수요예측 분야의 특허등록이 가장 많은 것으로 분석되었다.

특허는 발명을 장려/보호/육성함으로써 기술의 진보와 발전을 도모하고 국가산업의 발전에 기여하는 제도이자 기존의 기술변화에 대한 연구과정으로서 기술의 본질이나 특성을 파악할 수 있는 객관적이고 표준적인 기술정보이다(백동현 등, 2006). 뿐만 아니라 특허는 기술이 계속되어 개선되어가는 동향을 파악하게 해 줄 뿐만 아니라, 특허를 유지하기 위해 지불하는 유지 비용 자체가 기술에 의한 경제적 효익을 기대하는 것으로 볼 수 있어, 기술 수명에 영향을 미치는 기술혁신 요인과 시장수요요인을 고려하기에 유용하다(유선희, 2004).

따라서 장기간에 걸친 SCM 분야의 기술에 관련된 자료들이 축적되어 있는 SCM 관련 특허자료를 분석함으로써 SCM 산업의 기술개발 동향을 파악할 수 있으며, 이를 토대로 하여 SCM 분야의 새로운 연구/개발 계획을 설정할 수 있다. 본 분석을 통해 살펴본 SCM분야의 기술특성은 공급망내 참가자간 또는 참가자의 고객에 대한 대응력을 향상시키고 내부 효율성 증대와 보유자원의 활용 극대화에 중점을 두고 있었으며, SCM 프로세스 자동화 및 수요와 공급의 가시성 확보를 위한 기술개발이 큰 흐름으로 분석되었다.

### 참고 문헌

[1] 강성배, 문태수(2008), “자동차부품산업의 공급사슬관리(SCM) 협업 프로세스 설계 및 구현”, *인터넷전자상거래연구*, 8권, 4호, pp.21~44.  
 [2] 김상수, 박찬권, 김채복(2009), “납기준수 제고를 위한 글로벌 공급체인관리에 관한 사례 연구”, *한국SCM학회지*, 9권, 1호, pp.1~14.  
 [3] 김수욱(2012), “오픈 이노베이션 시대의 공급망 경영전략”, *한국SCM학회지*, 12권, 2호, pp.71~85.  
 [4] 김은형(2009), “맞춤형 국토정보 제공기술 관련 특허동향 및

향후 대응전략”, *한국공간정보시스템학회논문지*, 11권, 4호, pp.28~32.  
 [5] 김호정(2009), “특허분석을 통한 천연염색 기술의 현황”, *한국의류산업학회지*, 11권, 6호, pp.942~946.  
 [6] 김형태, 서현주(2008), “공급사슬 가시성과 프로세스 통합간 영향도 검증”, *한국SCM학회지*, 8권, 2호, pp.75~90.  
 [7] 류영복(1991), “특허정보에 의한 기술동향 분석”, *전자공학회지*, 18권, 3호, pp.168~175.  
 [8] 박병삼, 심정택, 이상식(2011), “IT기반 공급망 통합의 공급망 역량 및 기업성과에 관한 연구”, *대한경영학회지*, 24권, 3호, pp.1693~1709.  
 [9] 박차철, 김호정(2009), “특허분석을 통한 한국섬유산업 기술개발 동향”, *한국의류산업학회지*, 11권, 5호, pp.840~845.  
 [10] 백동현, 김현, 신민주(2006), “인용분석을 이용한 특허의 중요도 평가 모형 개발”, *한국지능시스템학회 학술대회논문집*, pp.223~232.  
 [11] 서창교, 황채영(2012), “한국SCM학회지의 연구 다양성 평가”, *한국SCM학회지*, 12권, 2호, pp.99~110.  
 [12] 심승배, 정호상, 이용민(2012), “클라우드 환경에서 정량적, 정성적 Big Data를 활용한공급사슬관리”, *Entrue Journal of Information Technology*, 11권, 2호, pp.227~238.  
 [13] 유선희(2004), “특허인용 분석을 통한 기술수명예측모델 개발에 관한 연구”, *정보관리연구*, 35권, 1호, pp.93~112.  
 [14] 유화숙, 박광희, 김문영(2007), “섬유제품 상변화물질 관련 특허정보 분석을 통한 한국과미국의 기술개발동향 - 특허정보검색 중심으로”, *한국의류산업학회지*, 9권, 3호, pp.295~302.  
 [15] 이경표, 이성주(2010), “특허 분석에 의한 에너지 저장 기술 동향”, *2010년 대한산업공학회/한국경영과학회 춘계공동학술대회 논문집*, pp.215~220.  
 [16] 이금희(2003), “의류디자인 분야의 특허정보 분석 - 국제특허분류를 중심으로”, *복식문화연구*, 11권, 6호, pp.835~851.  
 [17] (주)인더스트리솔루션 SCM저널(2012), “공급망 우수 기업 50%, 자동화·가시성을 위한 시스템 도입 추진”, <http://www.scmjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=2325>  
 [18] 정하교, 황규성(2007), “특허분석을 통한 항공기산업의 기술경쟁력에 관한 연구”, *한국경영과학회 학술대회논문집*, pp.43~57.  
 [19] 조영란, 윤정섭, 이성주(2010), “효과적인 특허분석을 위한

- 대표 주제어 선택 방법 연구,” *대한산업공학회/한국경영과 학회 춘계공동학술대회 논문집*, pp.208~214.
- [20] 조희진, 문성근, 조용민, 정연수(2010), “원유 불순물 제거 및 정제 관련 촉매 기술에 대한 특허 분석,” *청정기술*, 16권, 1호, pp.1~11.
- [21] 특허청, 국제특허분류코드 <http://www.patent.go.kr/jsp/ka/menu/support/main/SupportMain0601.jsp>
- [22] 하재원(2008), “공급망 계획시스템 도입의 주요 성공요”, *Entrue Journal of Information Technology*, 7권, 1호, pp.79~88.
- [23] 한창옥(2004), “특허정보의 조사, 분석 및 활용에 대하여 - PM을 중심으로”, *유체기계저널*, 7권, 3호, pp.99-104.
- [24] 한창엽, 장형욱(2005), “기업의 재고 수준 효율화를 위한 POS 시스템 활용에 관한 연구”, *한국산업정보학회지*, 10권, 3호, pp.81~88.
- [25] 함민제, 이지훈(2012), “통합 Supply Chain Visibility를 고려한 최적화된 납기약속 Process의 접근방법 고찰”, *Entrue Journal of Information Technology*, 11권, 3호, pp.161~173.
- [26] Abraham, B.P. and Moitra, S.D.(2001), “Innovation assessment through patent analysis”, *Technovation*, Vol 21, pp.245~252.
- [27] Chang, P-L., Wu, C-C., Leu, H-J.(2012), “Investigation of technological trends in flexible display fabrication through patent analysis,” *Displays*, Vol. 33, pp.68~73.
- [28] Daim, T., Idkin, I., Li, X., Zielsdorff, C., Bayraktaroglu, A.E., Dereli, T., Durmusoglu, A.(2012), “Patent analysis of wind energy technology using the patent alert system,” *World Patent Information*, Vol. 34, pp.37~47.
- [29] Ju, S-P., Lai, M-F., Fan, C-Y.(2012), “Using patent analysis to analyze the technological developments of virtualization,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 57, pp.146~154.
- [30] Leu, H-J., Wu, C-C., Lin, C-Y.(2012), “Technology exploration and forecasting of biofuels and biohydrogen energy from patent analysis,” *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 37, pp.15719~15725.
- [31] Nielsen, T.D., Cruickshank, C., Foged, S., Thorsen, J., Krebs, F.C.(2010), “Business, market and intellectual property analysis of polymer solar cells,” *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 94, pp.1553~1571.
- [32] Trappey, C.V., Wu, H-Y., Taghaboni-Dutta, F., Trappey, A.J.C.(2011), “Using patent data for technology forecasting: China RFID patent analysis,” *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 25, pp.53~64.
- [33] Tseng, F-M., Hsieh, C-H., Peng, Y-N., Chu, Y-W.(2011), “Using patent data to analyze trends and the technological strategies of the amorphous silicon thin-film solar cell industry,” *Technological Forecasting & Social Change*, Vol 38, pp.332~345.
- [34] Wu, Y-C. and Lee, P-J.(2007), “The use of patent analysis in assessing ITS innovations: US, Europe and Japan,” *Transportation Research Part A*, Vol. 41, pp.568~586.



### 김태우

경북대학교 경영학 석사  
 경북대학교 경영학 박사수료  
 현재 : 대구기계부품연구원 팀장  
 관심분야 : SCM, 웹기반 정보시스템 개발  
 및 운영, IT성과분석



### 서창교

경북대학교 경영학과 학사  
 POSTECH 산업공학과 석사  
 POSTECH 산업공학과 박사  
 현재 : 경북대학교 경영학부 교수  
 관심분야 : 프로젝트 관리, 정보시스템 채택과 구현, SCM

# 파프리카 농가의 공급사슬 도입을 위한 정보교환의 영향요인에 관한 연구

하두중\*† · 이영만\*\* · 이상용\* · 정정석\*\*\*

\*농촌진흥청 · \*\*경상대학교 농업경제학과 · \*\*\*경상남도

## Factors Affecting Information Exchange of Paprika Farms to Apply SCM

Doojong Ha\*\*† · Youngman Lee\*\* · Sangyong Lee\* · JungSak jung\*\*\*

\*Rural Development Administration · \*\*Gyeongsang National University · \*\*\*Gyeongnam Province Government

This study was conducted to find out the factors affecting information exchange of Paprika farms to apply SCM(Supply chain management) and to define the effect of information exchange by performance a paprika supply chain. In conclusion, farmers or managers recognize the necessity of information exchange with SC partner to enhance paprika supply chain performance in deed. But the cost and risk made them reluctant to information exchange. They don't want information exchange in short term but they desire a strategic information exchange in the future. So it is required that agricultural information exchange should be supported by government and organization with the change of cognition about agricultural information exchange.

**Keywords:** Bellpepper, SCM, Information exchange

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 필요성

농업경영체는 경영목적을 달성하기 위하여 보다 효율적인 경영기법을 도입하고자 한다. 우리나라의 농가는 전통적으로 경쟁력 강화를 위하여 생산부문의 효율성 제고, 즉 단위생산량 증가

또는 비용절감 등 경영내부의 요인에 주로 노력을 기울여 왔다. 2000년 이후에는 경쟁력강화 대책을 농산물의 판매방법, 농산물의 안전성 등 경영외부의 요인에서 찾으려고 노력을 경주하여 왔다. 그러나 이러한 노력들은 원료농산물의 생산자로부터 소비자에게 이르기까지 공급사슬 전과정에 대한 관심이나 노력은 부족하였다.

공급사슬관리(SCM: Supply Chain Management)는 제품의 생산단계에서부터 소비자에게 최종적으로 판매될 때까지의 모든

† Corresponding author: Rural Development Administration, 203 Chonchon-ro, Suwon, 440-706, Korea,

Tel: 82-31-240-3595 FAX : 82-31-240-3502 E-mail: workman@korea.kr

2013년 3월 24일 투고, 5월 3일 수정본 접수, 5월 16일 게재 확정.

과정을 연결시켜 관리하는 것을 의미한다. 공급사슬관리의 연구 대상은 공급사슬관리의 목적, 효율성의 대상, 구성원, 관리 방법, 효율성 지표, 정보관리 등 다양하게 열거될 수 있지만, 공급사슬 전체의 제품과 서비스의 흐름을 원활하게 하는 핵심요소가 정보의 교환과 흐름이다. 농업분야에도 공급사슬관리를 도입하여 공급사슬 전체의 경영성과를 높이기 위해서는 정보 교환, 정보 흐름, 피드백, 정보기술 등의 정보관리가 원활히 이루어져야 한다. 본고에서는 농업분야의 공급사슬관리 도입을 위하여 파프리카 농가를 대상으로 공급사슬 구성원간 정보교환의 영향 요인과 정보교환이 경영 성과에 미치는 영향을 도출하고자 한다.

## 1.2. 파프리카 경영에서 정보의 발생과 정보교환의 선행 요인

Moberg 등(2002)의 연구에서는 공급사슬에서 교환되는 정보를 운영적 정보와 전략적 정보로 분류하였다. 운영적 정보는 단기적, 양적, 계량적, 일상적 정보이며, 주문사이클 감소, 재고 감소, 고객서비스 향상을 목적으로 한다. 반면 전략적 정보는 장기적, 질적, 과거 미경험, 특수한 정보로써 공급사슬 구성원간 협력 증진, 전략 변화에 따른 미래 물류제도 계획 등을 목적으로 한다.

파프리카 경영에서 발생하는 정보는 경영계획 → 자재수급 → 파종 → 재배관리 → 수확 → 출하(수확)의 작업단계별로 발생된다(표 1). 파프리카 공급 사슬의 운영적 정보는 경영계획 단계에서는 생산시기, 품종, 작부체계, 가격, 재배면적, 신기술 투입정보 등이 발생되고 상호간에 교환된다. 자재 수급 단계에서는 비닐, 농약, 비료, 종자, 양액 등의 가격정보와 사용정보 등이 발생되며 농가간 또는 자재 공급업자, 농협 등과 정보가 교환된다. 재배관리 단계에서는 기상, 병해충, 환경관리 기술정보가 필요하며, 농가간 또는 관계기관 등과 정보를 교환한다. 수확단계에서는 작황 정보, 수출 검역 정보가 교환되며 출하 단계에서는 선별, 배송, 역 배송, 시장정보 등이 발생되며 공급사슬 구성원간 정보가 교환된다. 이러한 정보들은 단기적, 양적, 일상적, 계량적, 과거 미경험적 정보이기 때문에 운영적 정보로 분류된다. 정보교환이 활성화 되도록 하는 운영적 정보 특성을 가진 선행요인으로는 정보의 질, 정보기술 몰입, 경영자의 의지, 수요의 불확실성 등 4개 요인이 해당된다.

파프리카 공급사슬의 전략적 정보는 경영계획 단계에서는 노동인력 수급정보, 가격전망, 판매전략 정보, 소비자 수요변화, 해외정보 등이 생성, 교환된다. 자재수급 단계에서는 자재 수급전망이 교환되며, 재배관리 단계에서는 신품종 정보, 기상전망 정보 등이 교환된다. 수확 단계에서는 수출국 수요변화 정보, 작황전망 정보가 교환되며, 출하 시에는 물류변화정보, 시장 수요변화 정

보, 가격 전망, 소비자 정보 등이 공급사슬 구성원간 교환된다.

이러한 정보들은 장기적, 질적, 과거 미경험적, 특수한 정보의 특성을 가지고 있기 때문에 전략적 정보로 분류할 수 있다. 공급사슬에서 발생된 전략적 정보특성을 가진 정보교환의 선행요인으로는 상호 의존성, 신뢰, 관계 몰입 등 3요인이 해당된다(표 1).

## 1.3. 선행 연구

공급사슬 구성원간 정보교환에 영향을 미치는 선행 요인은 다방면에 걸쳐 연구되었다. Mentzer 등(2001)은 몰입과 정보의 질을 성과에 영향을 미치는 주요 변수로 추정하였다. 최성열(2002)은 정보교환이 공급사슬의 성과에 미치는 영향을 추정하기 위하여 운영적 정보교환은 정보의 질, 조직의 정보기술 몰입, 최고경영자의 의지와 공급환경 불확실성으로 나누고, 전략적 정보교환은 상호 의존성, 신뢰, 관계몰입으로 나누어 각각이 공급사슬의 성과에 미치는 영향을 추정하였다. Moberg 등(2002)은 정보교환에 영향을 미치는 선행요인을 정보특성, 조직특성, 그리고 관계특성으로 크게 나누었다. 정보특성에는 정보의 질, 조직특성에는 정보기술몰입, 조직의 크기, SCM 몰입 그리고 관계특성에는 신뢰와 관계몰입을 선택하였다. 정보교환을 다시 전략적 정보교환과 운영적 정보교환으로 나누었다. 김팔술 등(2004)은 운영적 정보공유 및 전략적 정보공유에 영향을 미치는 선행요인으로 기업문화의 유사성, 몰입과 지원 그리고 신뢰와 의존도라 추정하였다. 이상과 같이 공급사슬관리에서 정보교환에 영향을 미치는 선행요인은 여러 가지가 있지만 농업분야에서 연구된 바는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 선행연구과 이론을 바탕으로 파프리카 공급사슬 구성원간 정보교환에 미치는 선행 요인을 정보의 질, 몰입, 경영자의 의지, 수요의 불확실성, 상호의존도, 신뢰, 그리고 상호관계몰입으로 선정하고 다음과 같이 가설을 설정하여 진행하였다.

## 2. 연구 모형 및 가설

### 2.1. 연구 모형

운영적 정보교환과 전략적 정보교환은 장단기적인 기간의 차이 뿐 만 아니라 전략적 중요도에 있어서도 차이가 있기 때문에 이에 영향을 미치는 요인도 다르게 나타난다. 운영적 정보교환에 영향을 미치는 요인은 구성원간 단기적인 운영상의 목적을 달성하는데 관련된 요소가 반영되며, 전략적 정보교환은 장기적인 전략상의 목적을 달성하는데 관련된 요소가 반영된다. 본 연구에서

는 그림 1과 같이 정보교환의 선행요인이 운영적 정보교환과 전략적 정보교환에 미치는 영향과 정보교환이 파프리카 농가의 경영성과에 미치는 영향에 관한 연구 모형을 설정하였다.

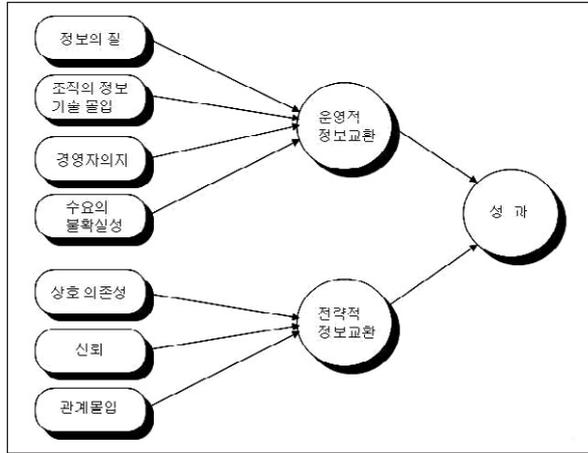


그림 1. 연구 모형

측정대상은 표 1과 같이 관련 연구의 분류에 체계에 따라 운영적정보공유의 선행요인과 전략적 정보공유의 선행요인으로 나누었다. 측정대상은 각항목당 2~4개의 변수를 설정하여 설문하였다.

## 2.2. 가설의 설정

### (1) 정보의 질

파프리카 공급사슬 구성원간 교환되는 정보는 의사결정을 하는데 필요한 충분한 내용을 포함하고 있어야 하며, 이러한 정보는 농가, 유통업체 등의 최근 실정을 잘

반영하고 있어야만 공급사슬에서 유용하게 사용되어 질 수 있다. 본 연구에서는 적시성, 시사성, 충분성을 포함하고 있는 정보의 질이 우수할수록 운영적 정보교환에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 추정하여 다음과 같이 가설을 설정하였다.

*H1a, b* : 파프리카 공급사슬 구성원간 교환되는 정보의 질이 높을수록 운영적 정보교환에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

### (2) 조직의 정보기술 몰입

파프리카 공급사슬 구성원은 SCM의 성공적 실행을 위해 새로운 정보기술에 몰입함으로써 신속한 정보교환을 통한 성과를 제고시키려 할 것이다. 본 연구에서는 품종, 가격, 물량 등 정보의 중요성, 정보교환의 긴밀성, 정보화 도구를 통한 정보 교환정도 등에 대한 파프리카 경영주의 주관적인 인식도를 3문항으로 측정하고 가설을 설정하였다.

표 1. 측정대상의 분류와 변수 설정

연구변수	측정대상	변수의 내용	관련연구
운영적 정보공유 선행요인	정보의 질	① 시사성 ② 충분성	김팔술(2004), 강재정(2001), Closs 등(1997), Gustin 등(1995), Moberg 등(2002).
	정보기술몰입	① 긴밀성 ② 정보교환상태	최성열(2002), Moberg(2002), Premkumar 등(1995)
	경영자 의지	① 활용희망 ② 비용감수 ③ 위험감수 ④ 자원투입	최성열(2002), Lambert 등(1998), Loforte(1991), Higginson and Alam(1997)
전략적 정보공유 선행요인	수요의 불확실성	① 시장수요변화 ② 생산 난해성 ③ 수요변동 극심	최성열(2002), Williamson (1989), Walker and Weber(1984)
	상호의존성	① 계약불가피성 ② 계약포기 어려움	Moorman 등(1992), Anderson and Weitz(1989), Mentzer 등( 2001)
	신뢰	① 생산도움 ② 상호조화 ③ 약속이행	이상만(2007), 김팔술(2004) Moorman 등(1993), Morgan and Hunt(1994)
정보공유	관계몰입	① 상호안위 ② 관계유지노력 ③ 협력자 여부	최성열(2002), Morgan and Hunt(1994), Anderson and Weitz, 1989), Gundlach(1995)
	운영적 정보교환	① 업무정보 교환 ② 정보 확인시스템 ③ 생산계획교환	Moberg(2002), 최성열(2002), 김팔술(2004)
	전략적 정보교환	① 중요정보교환 ② 가격정보교환 ③ 수출정보교환 ④ 재배기술정보교환	Moberg(2002), 김팔술(2004)
성과	—	① 수익성 ② 매출액 ③ 성장성 ④ 경쟁력	Tan 등(1998), 최성열(2002), 박연우(2003)

*H2a, b*: 파프리카 공급사슬 구성원의 정보기술 몰입도가 높을수록 운영적 정보교환에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

### (3) 경영자의 의지

파프리카 경영주의 의지는 조직의 변화를 이끌고, 구성원간 문화를 조정하고 축적된 기술을 실행으로 옮기는데 필수적인 요소이다. 정보가 효과적으로 활용되기를 희망하고, 정보교환 비용감수, 위험감수, 정보교환 활용지원, 인적·물적 자원 투입 희망 여부 등에 대한 파프리카 경영주의 정보교환 의지에 대한 인식을 5개 문항으로 구성하고 다음과 같이 가설을 설정하였다.

*H3a, b*: 정보교환에 관한 파프리카 경영자의 의지가 높을수록 운영적 정보교환에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

### (4) 수요의 불확실성

파프리카는 품종변화의 속도가 빨라 모양과 색깔이 자주 변하고, 장래에 기능 개선의 가능성이 높아 기술적 불확실성이 존재한다. 또한 시장에서 요구하는 파프리카의 모양, 크기 등의 변동성이 크므로 수요의 불확실성이 발생한다. 수요의 불확실성에 의해서 야기되는 문제는 적절한 정보공유에 의해서 해결되어야 한다. 수요의 불확실성은 기술적 불확실성, 수요의 변동성과 수출요구량 예측 어려움 등 경영자의 인식도를 3개의 문항으로 설문조사하고 다음과 같이 가설을 설정하였다.

*H4a, b*: 파프리카 공급사슬에서 수요의 불확실성이 높을수록 공급사슬 구성원과의 운영적 정보교환에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

## 2.3.2. 전략적 정보교환에 영향을 미치는 선행요인

### (1) 상호의존도

파프리카 공급사슬 구성원간 의존도가 높을수록 업무활동의 조정 및 협력의 필요성은 증가하므로, 공유해야 할 정보의 양은 증가한다. 파프리카 공급사슬에서 상호의존성은 공급사슬구성원간 상호의존성, 거래 상대의 변경의 어려움 여부, 계약 파기에 따른 비용 수반 여부에 대한 파프리카 경영주의 인식도 등 3개 문항으로 구성하여 설문조사하고 다음과 같이 가설을 설정 하였다.

*H5a, b*: 파프리카 산업 구성원간 상호의존도가 높을수록 전략적 정보교환에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

### (2) 신뢰

파프리카 공급사슬 구성원에게 제공한 정보가 구성원의 기회

주의적 활동에 사용되지 않고 상호 호혜적인 활동에 사용될 것이라는 믿음이 있어야 구성원과 정보를 공유하고자 할 것이다. 본 연구에서는 구성원간 신뢰를 구성원간 계약내용 성실 이행 정도, 상호간의 의사결정이 파프리카 경영성과에 도움이 되는 정도, 서로간의 조화, 약속 이행의 정도에 대한 경영주의 인식을 4문항으로 구성하여 측정하고 다음과 같이 가설을 설정하였다.

*H6a, b*: 공급사슬 구성원간 신뢰수준이 높을수록 전략적 정보교환에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

### (3) 상호 관계몰입

파프리카 공급사슬 구성원간 거래에 필요한 정보를 교환하기 위해서는 정보기술에 대한 자금, 인력, 시간 등의 투자가 필요하고 정보노출에 따른 위험이 발생할 수도 있으므로, 파프리카 경영주는 장기적으로 몰입된 구성원과 정보를 공유하고자 할 것이다. 파프리카 공급사슬에서 상호관계몰입은 서로의 안위 배려 정도, 구성원간 관계유지를 위한 노력의 정도, 구성원에 대한 존경심 정도, 거래선의 변경 의도에 대한 파프리카 경영주의 주관적 인식도를 4개 문항으로 설문조사하고 다음과 같이 가설을 설정하였다.

*H7a, b*: 구성원간 몰입도가 높을수록 전략적 정보교환에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

## 2.3.3. 정보교환과 경영 성과

경영성과는 경영주가 주관적으로 느끼는 수익성, 매출성, 성장가능성, 경쟁력으로 측정하였다. 운영적 정보교환을 통해 기업은 비용감소나 고객의 만족을 얻을 수 있으며, 전략적 정보교환은 장기적인 관점에서의 정보공유를 통해 재무적, 비재무적 장기성과를 얻을 수 있을 것으로 판단되어 다음의 가설을 설정하였다.

*H8a, b*: 공급사슬 구성원간 운영적 정보교환 수준이 높을수록 파프리카 경영성과에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

*H9a, b*: 공급사슬 구성원간 전략적 정보교환 수준이 높을수록 파프리카 경영성과에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

## 3. 실증분석

### 3.1. 표본설계

설문조사는 2010년 7월 24일과 9월 13일 파프리카 재배 농업

인 집합 교육시 파프리카 경영주에게 조사목적과 조사내용에 대하여 상세한 설명을 한 후 집단면접 설문을 하였다. 120부를 회수 하였으나 답변 누락 및 불성실 응답 설문 15부를 제외하고 105부에 대하여 연구모형의 검정에 이용하였다. 자료의 분석을 위해 신뢰도와 요인분석에는 SPSS를, 가설검정을 위한 공분산구조분석은 AMOS를 이용하였다.

### 3.2. 타당성 분석

#### 3.2.1. 요인분석

운영적 정보 중 “수출계획교환”은 동일한 요인으로 분류되지 않아 변수에서 제외하였다. 나머지는 요인적재량이 0.5 이상이며 다른 변수들과의 공통적인 분산비율을 나타내는 공통성 역시 0.5 이상으로 양호하게 나타났다(표 2).

표 3과 같이 정보교환 영향요인에 대한 분석결과 운영적 정보 교환은 4개의 각각 다른 요인으로 분류되었다. 동일한 요인으로 분류되지 않은 측정변수를 제외한 후 요인적재량은 모두 0.5 이상이었으며, 공통성 역시 0.5이상으로 나타났다. 전략적 정보 교환은 본 연구의 모형에서 상호의존성, 신뢰, 관계몰입으로 구성되어 있는데 상호의존성은 의존성 측정변수를 제외하고 하나의 요인으로 분류하였다. 신뢰는 계약이행 측정변수를 관계몰입은 협력자 교체여부 측정변수를 제외하고 신뢰와 상호의존성을 하나의 요인으로 분류되어 신뢰·몰입의 새로운 변수로 명명하였다. 전략적 정보교환의 요인적재량과 공통성 모두 0.5이상으로 나타났다.

#### 3.2.2. 신뢰도 분석

요인분석 후 도출된 변수에 대하여 조사하고자 하는 문항들이 동일한 내용을 측정하는가에 대한 신뢰성 분석 결과를 표 2와 표 3에 나타내었다.

운영적 정보와 전략적 정보는 크론바하 알파 계수값이 각각 0.737과 0.766으로 기준치인 0.6을 상회하여 신뢰성이 확보되었다. 경영 성과 역시 평균과 표준편차가 비슷한 경향치를 나타내고 있고 크론바하 알파계수가 0.797로 기준치 0.6을 상회하고 있어 정보교환 특성을 측정하는 측정변수로써의 신뢰성을 인정할 수 있다.

정보교환의 선행요인에 대한 신뢰성 분석 결과 크론바하 알파 계수가 정보의 질, 정보몰입, 경영자 의지, 신뢰?몰입 변수는 0.6 이상으로 나타나 신뢰성이 입증되었다. 수요의 불확실성과 상호 의존성은 크론바하 알파 계수가 0.522로 기준치인 0.6이하로 나타났다으나, Person 상관계수 값을 구한 결과 계수값이 유의하여 동일한 내용을 측정하는 단일변수로 이용될 수 있는 조건을 갖추었다.

### 3.3 확인 요인분석

모형의 적합도를 평가하기 위하여 확인요인분석을 실시한 결과 개념신뢰도는 표 4에서 나타난 바와 같이 수요의 불확실성을 제외하고는 측정값 모두 0.7이상으로 높은 내적일관성을 가진 것으로 나타났다. 분산추출지수 역시 수요의 불확실성을 제외하고는 0.5이상으로 신뢰도에 문제가 없음을 나타내고 있다. 판별타당성 분석에서도 표 5에서 나타난 바와 같이 각 요인사이에 구한

표 2. 정보교환과 경영성과의 요인분석 및 신뢰도 분석 결과

요인명	변수명	변수의 내용	요인1	요인2	요인3	공통성	신뢰도
운영적 정보	Oper1	업무정보교환	0.163	0.068	0.829	0.718	0.737
	Oper2	정보 시스템	-0.090	0.339	0.751	0.687	
	Oper3	생산계획교환	0.175	0.488	0.621	0.654	
전략적 정보	Stra1	중요정보교환	0.214	0.795	-0.017	0.678	0.766
	Stra2	가격정보교환	0.170	0.781	0.221	0.687	
	Stra3	수출정보교환	-0.032	0.756	0.262	0.642	
	Stra4	특수기술정보	-0.141	0.573	0.304	0.441	
경영 성과	Out1	수익성	0.823	0.229	0.000	0.729	0.797
	Out2	매출성	0.795	0.171	-0.048	0.664	
	Out3	성장성	0.752	-0.094	0.085	0.581	
	Out4	경쟁력	0.779	-0.035	0.144	0.628	
Eigen Value			2.641	2.590	1.876		
설명된 분산			24.01	23.55	17.06		

표 3. 정보교환 영향요인의 요인분석 및 신뢰도 분석 결과

매개변수	요인명	변수명	변수내용	요인1	요인2	요인3	요인4	요인5	요인6	공통성	신뢰도
영역적 정보 교환	정보의 질	IQu12	시사성	0.257	-0.041	0.054	0.810	0.110	0.021	0.740	0.759
		IQu13	충분성	0.102	-0.031	0.249	0.827	-0.022	-0.080	0.765	
	정보 기술몰입	IAbso2	긴밀성	0.058	0.026	0.816	0.217	-0.154	-0.053	0.743	0.704
		IAbso3	교환상태	0.208	0.144	0.758	0.157	0.052	0.175	0.697	
	경영자 의지	Will1	활용희망	0.141	0.701	-0.141	-0.133	0.108	-0.090	0.569	0.727
		Will2	비용감수	0.149	0.788	0.122	-0.041	0.123	-0.111	0.687	
		Will3	위험감수	0.004	0.774	0.073	0.090	-0.273	0.059	0.690	
		Will5	자원투입	0.246	0.609	0.153	0.050	-0.212	-0.028	0.503	
	수요의 불확실성	UnDe1	선호변화	-0.355	-0.087	-0.103	0.064	0.570	-0.205	0.516	0.522 (1→2 0.260 1→3 0.260 2→3 0.286)
		UnDe2	난해성	0.012	-0.147	0.088	-0.091	0.806	0.125	0.703	
UnDe3		수요변동	-0.032	0.128	-0.381	0.297	0.611	0.009	0.624		
전략적 정보 교환	상호 의존성	IDep2	계약불가피성	-0.032	-0.192	-0.041	0.049	-0.095	0.829	0.737	0.512 (0.344)
		IDep3	계약포기난	0.046	0.026	0.077	-0.095	0.087	0.746	0.581	
	신뢰	Trust2	생산도움	0.562	0.310	0.062	0.280	-0.161	-0.095	0.529	0.827
		Trust3	상호조화	0.692	0.117	0.290	-0.050	-0.110	-0.158	0.616	
		Trust4	약속이행	0.612	0.065	0.507	-0.121	-0.073	-0.138	0.676	
	관계 몰입	Lost1	상호안위	0.753	0.198	-0.106	0.211	0.049	0.261	0.732	0.700
		Lost2	관계유지	0.771	0.219	-0.050	0.234	0.014	0.006	0.700	
		Lost3	상호협력	0.723	-0.026	0.168	0.081	-0.084	0.074	0.570	
	Eigen Value				3.210	2.390	1.927	1.756	1.603	1.492	
설명된 분산				16.90	12.58	10.14	9.24	8.43	7.85		

주 : ( )는 항목간 Person 상관계수 값을 제시함(p<0.01수준에서 모두 유의함).

분산추출지수를 나타낸 대각선 행렬의 수치가 각 요인의 상관계수의 제곱보다 크기 때문에 각 요인사이에는 판별타당성이 존재하는 것으로 나타났다.

### 3.4. 연구가설의 검증

#### 3.4.1. 연구모형의 적합도 검증

앞에서 신뢰성과 타당성 검증을 통해 확인된 6개의 연구 개념과 21개의 측정항목에 대한 적합도를 살펴보면(표 6)  $\chi^2$ 은 322.0(df=338), 유의확률은 0.725로 나타났다. 연구모형은 다음과 같은 가설을 설정할 수 있다.

$H_0$  : 연구모형은 모집단 데이터에 적합하다.

$H_1$  : 연구모형은 모집단 데이터에 적합하지 않다.

유의확률 = 0.725 >  $p = 0.05$  이므로 귀무가설을 채택하여 개발된 연구모형은 모집단 데이터에 적합하다고 할 수 있다. 또한 RMR 0.066, CFI 1.00, GFI 0.845로 나타나 기준치를 상회하여

나 근접하고 있어 모형의 적합도는 전체적으로 잘 설명되고 있다.

#### 3.4.2. 연구가설 검증

본 연구 모형의 가설검정 결과는 크게 두 가지로 구분하여 확인할 수 있다. 첫째, 정보교환의 선행요인이 정보교환에 미치는 영향에 대한 가설검정 결과이다. 둘째, 운영적 정보와 전략적 정보가 파프리카 재배농가의 경영성공에 미치는 영향에 대한 가설을 검증하는 것이다. (그림 2)는 정보교환의 선행요인이 정보교환에 미치는 영향과 정보교환이 공급사슬의 성과에 미치는 영향을 공분산구조분석한 결과이다. 관계가 유의한 경로는 실선으로, 유의하지 않은 경로는 점선으로 나타내었다.

##### 2) 정보교환의 영향요인에 대한 가설 검정

운영적 정보교환의 영향요인은 정보의 질, 조직의 정보기술 몰입은 운영적 정보교환에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 경영주의 의지, 수요의 불확실성은 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(표 7). 전략적 정보교환의 영향요인은 파프리카산업 구성원간 장기적이고 질적이며 특수한 정보교환을 강조하는 요인으로

표 4. 정보교환 선행요인변수의 확인요인분석

변 수	측정 항목	표준 적재치	개념 신뢰도	분산 추출지수	변 수	측정 항목	표준 적재치	개념 신뢰도	분산 추출지수					
정보의 질	IQu12	0.802	0.834	0.716	신뢰·상호 몰입	Trust2	0.653	0.913	0.638					
	IQu13	0.766				Trust3	0.635							
정보 몰입	IAbso2	0.697	0.738	0.585		Trust4	0.603							
	IAbso3	0.787				Lost1	0.706							
경영주 의지	Will1	0.573	0.837	0.566		Lost2	0.758							
	Will2	0.755				Lost3	0.658							
	Will3	0.655				운영적 정보교환	Oper1			0.522				
	Will5	0.562					Oper2			0.681				
수요의 불확실성	UnDe3	0.559	0.537	0.283	전략적 정보교환	Oper3	0.835	0.785	0.557					
	UnDe2	0.403				Stra1	0.660							
	UnDe1	0.564				Stra2	0.771							
상호 의존도	IDep2	0.997	0.701	0.592		Stra3	0.726			0.841	0.572			
	IDep3	0.345				Stra4	0.549							
성과						경영성과	Out1					0.884	0.890	0.677
							Out2					0.779		
							Out3			0.548				
					Out4		0.609							

표 5. 정보교환 선행요인변수의 판별타당성 분석

구 분	정보질	정보몰입	경영주 의지	수요의 불확실	상호 의존도	신뢰몰입	운영정보	전략정보	성과
정보의질	0.716								
정보몰입	0.138	0.585							
경영주의지	0.001	0.054	0.566						
수요불확실	0.008	0.126	0.052	0.283					
상호의존도	0.003	0.007	0.073	0.010	0.592				
신뢰몰입	0.171	0.214	0.220	0.124	0.001	0.638			
운영정보	0.080	0.325	0.010	0.125	0.000	0.287	0.557		
전략정보	0.146	0.279	0.011	0.041	0.000	0.375	0.578	0.572	
성 과	0.009	0.058	0.349	0.247	0.021	0.272	0.062	0.082	0.677

표 6. 연구모형의 적합도 지수 비교

구분	$\chi^2$	df	P	RMR	CFI	GFI
지수	322.0	338	0.725	0.066	1.00	0.845

#### 4. 결론 및 시사점

상호의존성, 신뢰, 관계몰입으로 구성되어 있다. 공분산구조분석 결과 상호의존도는 전략적 정보교환에 영향을 미치지 않았으며, 신뢰·몰입 변수는 영향을 미치는 것으로 나타났다.

성과에 영향을 미치는 요인은 운영적 정보교환은 공급사슬 성과에 영향을 미치지 않는 것으로 나타난 반면 전략적 정보교환은 경영 성과에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구는 파프리카 농가의 공급사슬에서 정보교환에 영향을 미치는 영향요인 탐색과 정보교환이 경영성과에 미치는 영향을 도출하기 위하여 수행되었다. 가설검증 결과와 시사점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 파프리카 공급사슬에 제공되는 정보는 시의적절한 최근의 실정을 잘 반영되어 있는 시사성 있는 정보와 의사결정을 하는

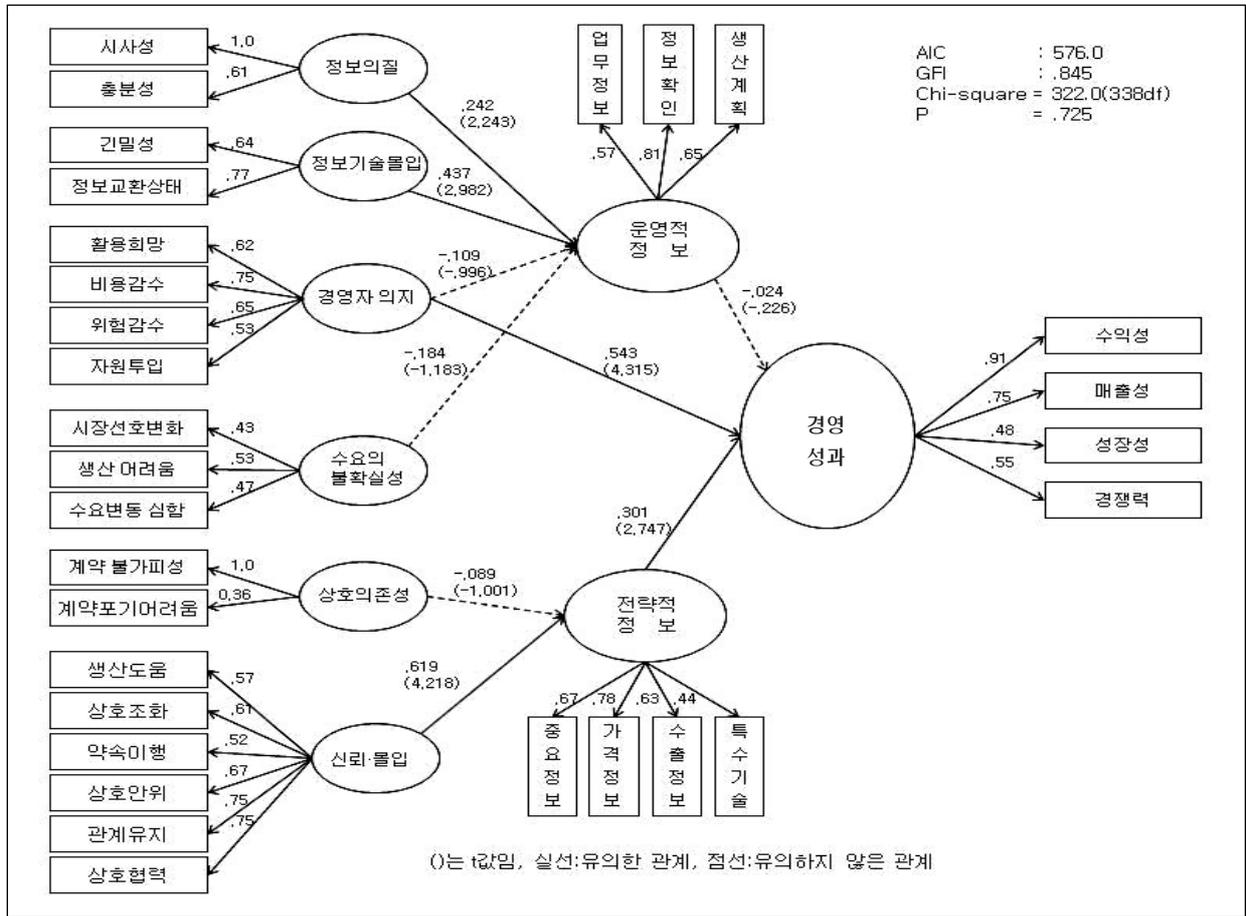


그림 2. 파프리카 공급사들의 정보교환에 관한 공분산구조분석 결과

표 7. 정보교환이 파프리카 경영성과에 미치는 영향 및 채택 여부

모형 경로		S.E.	C.R.	P	표준화계수	채택여부
운영적 정보교환	<--- 정보의 질	0.066	2,243	0.025**	0.242	채택
	<--- 정보기술 몰입	0.120	2,982	0.003***	0.437	채택
	<--- 경영주 의지	0.139	-0.996	0.319	-0.109	기각
	<--- 수요의 확실성	0.162	-1.183	0.237	-0.184	기각
전략적 정보교환	<--- 상호의존도	0.044	-1.001	0.317	-0.089	기각
	<--- 신뢰·몰입	0.199	4,218	0.000***	0.619	채택
경영성과	<--- 운영적 정보교환	0.134	-0.226	0.821	-0.024	기각
	<--- 전략적 정보교환	0.134	2,747	0.006***	0.301	채택

주 : \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

데 필요한 충분한 내용이 반영되어 있어야 할 것으로 판단된다.

둘째, 정보 몰입은 조직내부의 정보기술 기반이 갖추어진 정도로서 SCM 추진을 위해서는 조직 구성원의 정보기술 몰입이 중요

하다는 것을 의미한다. 즉 조직에서의 전화, 팩스, 인터넷, 컴퓨터 등 정보시스템을 구축해 놓고 조직구성원간 단기적, 계량적, 과거 경험이 있는 일상적 정보의 공유는 성공적인 SCM 추진을 위해서

필수적이다.

셋째, 최고경영자가 SCM의 도입결정이나 운영에 대한 의지를 나타낼 수 있으나, 직접적으로 구성원간에 교환되는 운영적 정보 교환에는 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 이는 농업의 특수성과 연관이 되는 것으로 농업에서는 경영자가 다수이기 때문에 정보의 공유시는 독점적인 정보가 되지 않고 공급사슬 전체에 완전공유가 되어버리기 때문인 것으로 풀이된다. 또한 경영주는 비용이 수반된다면 개인의 의지에 의한 정보교환을 하기 꺼려하는 경향이 많다. 따라서 농업에 있어서 정보교환 활성화에 의한 공급사슬관리 도입을 위해서는 경영주이자 최고경영자인 농업인이 정보교환을 적극적으로 할 수 있도록 정부나 단체의 적극적인 관심과 지원이 필요하다.

넷째, 수요의 불확실성은 운영적 정보교환에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 이는 생산자이자 경영주인 파프리카 재배농가는 자재수급, 생산, 운송 단계까지는 정보를 공유하지만 영농조합법인, 수출상인에게 파프리카를 납품과 동시에 정보가 단절되기 때문이다. 파프리카 경영주는 최종소비자 시장의 수요정보를 피드백 받지 못하고 생산에 시장의 선호변화, 수요변화 등을 반영하지 못하는 결과를 초래할 수 있다. 또한 지금까지 농가에서는 수출위주의 계약재배로 판매에 어려움이 없었기 때문에 농가 입장에서는 수요의 불확실성이 크게 체감되지 않은 것으로 판단된다.

다섯째, 상호의존성이 정보교환에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났는데 그 이유는 공급사슬에서 거래구성원의 역할이 부족함으로써 야기되는 전략적 정보교환의 결여 및 회피상태이거나, 공급사슬에서 거래구성원이 아닌 자신의 능력 또는 교섭력 부족으로 상대방이 전략적 정보교환을 꺼려하는 상태에 있기 때문으로 판단된다. 파프리카 재배농가는 다수이며 유통, 수출업자는 소수이기 때문에 파프리카 재배농가의 입장에서는 자신 이외에 다른 사람과 계약하는 것은 어렵지 않다고 판단하고 있다. 두번째 항목은 계약포기에 따른 대가 또는 비용 지불 정도를 알아보는 것이다. 그러나 경영주는 자신과 계약을 파기하고 다른 사람과 계약하는 것이 어렵지 않기 때문에 계약파기에 비용이 적을 것이라고 판단하고 있다. 즉 공급사슬에서 파프리카 경영주 주체의 역할 또는 대외교섭력의 부족으로 전략적 정보교환을 기피하기 때문에 본 연구의 가설이 기각된 것으로 판단된다. 따라서 금후 농업 SCM 추진시 정보교환은 파프리카 산업구성원간 역할과 교섭력, 능력을 고려하여 추진하여야 정보의 편중화 현상이 발생하지 않을 것이다.

여섯째, 신뢰·몰입은 산업구성원간 신뢰가 높을수록 교환된 정보가 상호 호혜적인 활동에 사용될 것이라는 믿음이 크므로 서로간에 교환하는 정보의 양은 증가한다는 것을 시사한다. 즉 신뢰

가 없이는 정보교환이 어렵다는 것을 나타내는 것이므로 파프리카 SCM 추진시에는 서로간의 유대강화, 협조와 이해 등으로 신뢰관계 형성이 최우선 되어야 할 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

- [1] 권오경(2010), *공급사슬관리*, 박영사, p.247-251.
- [2] 김상오(2007), 정보공유 선행요인, 정보공유, 리스크 정보공유가 공급사슬성과에 미치는 영향에 관한 연구, *한국생산관리학회지*, 제8권 제4호.
- [3] 김창봉(2009), 우리 식품 산업의 SCM 파트너십 구축과 생산성 결정요인에 관한 실증연구, *한국생산과학회지*, 제23권 제4호, pp.127-149.
- [4] 김팔술, 홍관수, 이병찬(2004), 공급사슬관리를 위한 기업간 정보공유의 선행요인과 관계효과성에 관한 연구, *비즈니스연구*, 제9권 제4호, pp.273-307.
- [5] 대한상공회의소, 2005, 「SCM 도입 가이드」, p.10-11.
- [6] 박명식(2005), 「농축산분야 SCM 도입 방안」, 대한상공회의소, 경제연구총서, 제382호.
- [7] 최성열(2002), *SCM 파트너간 정보교환 영향요인에 관한 연구*, 충남대학교박사학위논문.
- [8] 한관순(2010), 「2010농식품산업 SCM포럼 세미나 자료집」, *신선농산물 물류체계 현황 분석과 선진화 방안*, p.38-56.
- [9] Fornell, C., and D. F. Larcker(1981), Evaluating structural equation model with unobservable variables and measurement error, *Journal of Marketing Research*, Vol.18 No.2. pp.39-50.
- [10] Guinipero, L. C., and R. R. Brand (1996), Purchasing's in supply chain management, *The International Journal of Logistics Management*, Vol.7 No.1, pp.29-38.
- [11] Mentzer, J. T., W. Dewitt, J. S. Keebler., S. Min, N. W. Nix, C. D. Smith, and Z. G. Zacharia.(2001), Defining supply chain management, *Journal of Business Logistics*, Vol.22 No.2. pp.1-24.
- [12] Moberg, C. B., A. G. Culter, and T. Speh(2002), Identifying antecedents of information exchange within supply chains, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol.32 No.9. pp.750-770.
- [13] Nunnally, J. C(1978), *Psychometric theory(Second Edition)*, McGraw-Hill, pp.225-255.



**하두중**

경상대학교 농업경제학과 박사  
Texas A&M Univ. 초빙연구원  
현재 : 농촌진흥청 농업연구사  
관심분야 : SCM, 농산물유통



**이영만**

일본 경도대학 박사  
현재 : 경상대학교 농업경제학과교수  
관심분야 : SCM, 농업회계, 농산물류



**이상용**

경상대학교 농업경제학과 박사  
현재 : 농촌진흥청 농업연구관  
관심분야 : SCM, 농산물유통

**정정석**

경상대학교 농업경제학과 석사  
현재 : 경상남도 농업연구사  
관심분야 : SCM, 농산물전자상거래

## 복원적 공급사슬 디자인 : 육군공급사슬 사례연구를 중심으로

이영<sup>†</sup> · 문성암 · 석순복  
국방대학교 관리대학원

### A Simulation study of Designing Resilient Supply Chains : Focused on a Case of Army Supply Chains

Young Lee<sup>†</sup> · Seong-Am Moon · Sun-Bok Seok

Department of Defense Management, Korea National Defense University

Supply chains are facing numerous changes that are contributing to increasing vulnerability to disturbances. Therefore, supply chains must be resilient. The paper present a supply chain simulation study based on empirical data for a real case related with Army supply chains. The purpose of this paper is to evaluate alternative supply chain scenarios based on supply chain structure for improving supply chain resilience to a surge demand in war time. and assess how mitigation strategies affect end user as well as whole supply chain. Strategic inventory and redeployment is considered as redundancy and flexibility respectively. To assess the supply chain structure of each scenario, three performance measures are used, stockout rate at end user as customer fillrate, end user recovery pattern and total inventory level. We show that right reduncancy leads Army supply chains to be more resilient as well as efficient.

**Keywords:** Resilience, Army supply chain, System Dynamics, Uncertainty Framework, empirical data, supply chain design, right redundancy

#### 1. 서론

효율성에 기반한 공급사슬은 붕괴되기 쉽다. 아웃소싱의 증가, JIT, 여유능력의 감소, 공급사슬의 복잡성, 공급네트워크의 밀도 증가, 글로벌화에 따른 공급자와의 지리적 거리 증가 등의 요인으로 공급사슬은 더 많은 위험에 노출되어 있다(Christopher &

Towill, 2001; Norrman and Jansson, 2004; Tang, 2006; Kleindorfer & Saad, 2005; Klibi et al., 2010; Ellis et al., 2009; Stecke & Kumar, 2009). 더 심각한 문제는 충격에 대한 버퍼 역할을 했던 재고와 같은 여유분이 효율화에 따라 공급사슬에서 제거됨으로써 조그마한 충격이 전체 공급사슬로 급격하게 확대된다(Norrman and Jansson, 2004).

육군은 전쟁을 대비하는 조직이다. 이를 위해 육군 공급사슬은

---

<sup>†</sup> **Corresponding author:** Department of Defense Management, Korea National Defense University, Daedeuksan-ro 161, Deukyang-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 412-170, Korea, Tel: 82-10-5073-4002 FAX : 82-2-309-9774 E-mail: ylee6455@gmail.com

전시를 대비한 충분한 재고를 보유하고 있다. 하지만 국방경영 효율화로 육군 공급사슬의 재고를 중심으로 비용절감이 강도높게 추진되고 있다. 비용절감을 위한 과도한 재고감소는 작전지속능력 확보라는 육군 공급사슬의 목표와도 상충된다. 그러나 올바른 여유자원의 관점에서 공급사슬은 적절한 장소에 추가적인 가용능력을 배치함으로써 상대적으로 저렴한 비용으로 공급사슬의 이익을 얻을 수 있다(Brown et al., 2005). 서로 상충되는 공급사슬의 효과성과 효율성, 그리고 공급사슬의 정상적 운영과 위기 측면에서 여유자원의 의미와 가치에 대한 논의가 필요하다.

본 연구는 공급사슬 위기에 대한 대응, 회복이라는 복원력의 개념에 주목하였다. 복원적 공급사슬은 가장 낮은 비용의 공급사슬은 아닐지라도 환경에 대한 대응력을 키워준다(Carvalho & Machado, 2009). 불확실성에 보다 효과적으로 대응하고 신속하게 정상 운영상태로 복귀하는 복원력의 개념은 위기에 강한 육군의 공급사슬 관리에 많은 시사점을 준다. 이에 본 연구의 목적은 크게 2가지이다. 먼저 다양한 학제간에 논의되고 복원력의 문헌연구를 통해 복원력의 개념을 구체화한다. 두 번째는 구체화된 복원력의 개념을 토대로 복원적 육군 공급사슬을 설계한다. 보다 구체적으로 군공급사슬은 식자재부터 피복, 유류, 완성 장비, 수리부속까지 이르기까지 다양한 제품을 취급하고 있다. 이들 제품을 불확실성(Lee, 2002)을 활용해 범주화 한다. 전략적이고 선택적인 여유자원의 활용은 공급사슬 복원력에 핵심적인 요소가 될 수 있다(Christopher and Peck, 2004). 다양한 형태의 여유자원 중에서 육군 공급사슬에서 중요한 이슈인 재고의 관점에서 재고의 위치와 수준을 활용하여 복원적 육군 공급사슬 구조를 연구한다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서 복원력과 공급사슬 복원력의 개념, 육군 공급사슬 전략과 구조, 유연성과 여분으로서의 재고에 관한 문헌연구를 진행한다. 3장에서는 경험적 자료의 확보 및 시뮬레이션 모델링 과정을 설명한다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션 실행 및 결과를, 5장은 결론으로 시뮬레이션 결과를 종합하고 연구결과가 제안하는 함의를 도출한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 복원력과 공급사슬 복원력의 개념

Holling(1973)이 시스템은 복원력과 안정성을 가지고 있으며 복원력을 변화를 흡수하는 능력으로 정의한 이후 심리학, 경제학 등 다양한 학문영역에서 정의되고 활용되고 있다. 그 개념의 중심에는 예상치 못한 사건의 발생시 반응과 정상적인 수준으로의 복귀에 있다. <표 1>에서 보는 바와 같이 복원력은 다양한 학제 속

에서 연구되고 있지만, 초기 생태학에서 출발한 개념의 핵심은 다른 학제 속에도 충분히 녹아있다.

복원력 개념은 공급사슬 분야에서도 논의되고 있다. 그런데 공급사슬은 더욱 복잡해 졌으며 동태적으로 변화하는 웹이다(Harland et al., 1999). 또한 연결망 관점의 중요성이 강조되고 있고(Lazzarini et al., 2001), 공급네트워크가 단순히 시스템이 아닌 복잡적응계(Choi et al., 2001)라는 주장은 동일하게 적응성 개념을 강조하고 있다. 따라서 공급사슬 복원력 또한 적응성 개념이 추가되어 예상치 못한 사건에 대비하고 충격에 신속히 대응하며, 구조와 기능에 대한 연결성과 바람직한 수준으로 기업운영의 연속성을 유지함으로써 충격으로부터 회복하는 적응적 능력으로 정의하고 있다(Ponomarov & Holcomb, 2009).

복원력은 다학제적이고 다차원적 개념으로 인해 어떠한 체계적인 경험적 연구와 독립적인 주목을 받지 못했다(Sutcliffe & Vogus, 2003) 이러한 이유 중에 하나는 복원력이 가지는 다차원적, 다학제적 특성 때문에 단일한 척도로는 평가될 수 없다는 점이다(Haimes, 2009). <표 2>에서 보는 바와 같이 복원력의 개념은 측정의 관점에서도 학제간 다양한 용어들과 혼용되고 있으며, 이들은 연구 대상 시스템의 서로 다른 측면들을 구체화하고 계량화하고 있다. 주로 컴퓨터 공학, 통신 네트워크 등 구체적인 위협과 그 결과를 상대적으로 정의하기 쉬운 영역(예, 노드의 제거 혹은 에러시 패킷 전송률의 감소 등)에서 복원력의 계량적 연구가 진행되고 있다(Sterbenz et al., 2010; Caralli et al., 2010; Whitson et al., 2009; Bruneau et al., 2003, Albert, et al., 2000).

복원력 측정에 관한 Haimes(2009)의 논의는 많은 시사점을 제공해 준다. Haimes(2009)는 일부 영역(예, cyber systems)에 복원력을 측정하기 위한 평가 시스템이 있지만 특정 수치를 산출하고 이를 다른 시스템의 비교에 활용하는 것은 위험하다고 강조한다. 결국 복원력은 특정 시점과 위협에 대한 시스템을 구체화하는 많은 하위 상태의 관점에서 측정될 수 있다(Haimes, 2009). 이는 특정 생태계(예, 호수) 복원력 분야의 Carpenter et al.(2001)이 언급한 'resilience of what to what' 과 인터넷과 통신 네트워크 복원력 분야의 Sterbenz et al.(2010)이 언급한 구체적인 영역과 위협에 대한 복원력의 측정과도 일치한다. <표 2>는 복원력 측정과 관련된 연구들을 정리한 것이다. 그 내용은 연구자와 분야에 따라 조금씩 다르며, 크게 생존성, 오류허용력, 신뢰성, 수행가능성, 의존성, 강건성으로 측정되고 있다.

표 1. 학제간 복원력의 정의

관련 문헌	정 의	분 야
Holling(1973)	시스템의 지속정도 변화와 예기치 못한 혼란을 흡수하고 상태 변수간 동일한 관계를 유지하는 능력	생태학
Carpenter et al.(2001)	다른 프로세스에 의해 통제되는 다른 상태로 전이되기 전에 시스템이 저항할 수 있는 충격의 크기	사회 생태학
Rice&Caniato(2003)	예기치 못한 충격시 대응하고 정상 운영상태로 복귀하는 능력	공급사슬
Hamel&Valikangas(2003)	연속적인 재구조화에 대한 능력	조직
Folke et al.(2004)	다양성과 완전성 그리고 생태학적 프로세스를 유지하면서 예기치 못한 혼란으로부터 복귀하는 능력	생태학
Stoltz(2004)	역경으로부터 회복하고 전보다 더 강한 상태로 나아가는 능력	리더십
Christopher & Peck(2004)	혼란 이후 원래 상태로 복귀하고 더욱 바람직한 상태로 나아가는 시스템의 능력	공급사슬
Sheiff (2005)	붕괴의 방지와 그것으로부터의 회복	공급사슬
Rose&Liao(2005)	잠재적인 손실을 회피할 수 있도록 해주는 시스템의 본질적 능력과 적응적 반응	경제
Cook & Nemeth(2008)	갑작스럽고 예상치 못한 수요에 대응하고 최소한의 성능 손실로 신속하게 정상 운영상태로 복귀하는 시스템의 특징	엔지니어링
Ponomarove &Holcomb (2009)	예상치 못한 사건에 대비하고 충격에 신속히 대응하며, 구조와 기능에 대한 연결성과 바람직한 수준으로 기업운영의 연속성을 유지함으로써 재앙으로부터 회복하는 적응적 능력	공급사슬

표 2. 학제간 복원력 측정 개념

개 념	정 의	분야	관련 문헌
생존성 (Survivability)	공격, 실패, 사건 발생시 적절한 방법으로 임무를 수행할 수 있는 시스템의 능력	네트워크	Sterbenz(2010)
오류허용력 (Fault tolerance)	생존성의 하위 구성요소로서 서비스 실패를 유발하지 않는 구성품의 오류를 견딜 수 있는 시스템의 능력	네트워크	Jabbar(2010)
신뢰성 (Reliability)	특정 기간 동안 의도된 환경에서 한 개체가 요구된 임무를 완수할 수 있는 확률	컴퓨터 공학	Lee&Anderson(1990), Laprie(1994)
	시스템, 혹은 구성요소가 주어진 시간과 환경에서 의도된 기능을 수행할 수 있는 확률	공급 사슬	Snyder(2003), Bunschuh et al.(2006)
수행가능성 (Performability)	시스템이 고정된 기간 동안 과업 완수를 특정 수준 위로 유지할 수 있는 확률	컴퓨터 공학	Hagin(1994)
의존성 (Dependability)	시스템에 의해 전달되는 서비스를 수행할 수 있는 신뢰성을 보장하는데 설명하는 총체적 용어로 가용성과 신뢰성으로 구성	컴퓨터 공학	Lee&Anderson(1990), Laprie(1994)
강건성 (Robustness)	구성요소와 하부시스템의 실패시 의도된 기능을 수행할 수 있는 시스템의 능력	공급 사슬	Snyder (2003), Bunschuh et al.(2006) Christopher and Peck (2004)
	입력의 교란에 대한 시스템의 운영과 관련된 제어이론적 특성	컴퓨터 공학	Jen(2005), Willinger&Doley(2005)
	주어진 스트레스 혹은 수요의 수준을 견딜 수 있는 시스템의 능력	기반시설	Bruneau et al.(2003)

## 2.2 육군 공급사슬 복원력 측정 맥락

육군 공급사슬 복원력 측정을 위한 맥락을 구체화하기 위해 국방 군수정책, 육군 군수관련 다양한 문헌을 검토하였으며 기본적으로 지속능력이 강조되고 있다(국방부, 2007; 육군본부, 2006; 합동참모본부, 2010). 지속능력이라 함은 전·평시 모든 상황에서 재고의 고갈없이 전투부대가 필요로 하는 물자와 장비, 장비의 가용도를 유지하기 위한 물자, 장비, 수리부속을 지원하는 것을 말한다.

그 기간 중에서도 전시 초기 30일은 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 노틸러스 연구소(NAUTILUS INSTITUTE FOR SECURITY AND SUSTAINABILITY)의 피터 헤이즈 소장은 북한은 전쟁연료 비축분이 30일치가 되지 않으며 연료 재보급 능력도 없어 기름이 떨어지기 전에 싸움을 끝내는 초단기전을 해야만 한다고 언급하였다(YTN, 2013년 3월 23일 기사). 국가의 가용자산을 군이 수용하는 산업동원 초기에는 산업과 기반시설의 파괴, 수송자원의 제약 등 많은 불확실성으로 계획된 자원과 물류 흐름이 유지된다고 확신할 수 없다. 동시에 이 기간은 평시에서 전시 수요로 넘어가는 단계로서 예측불가능한 급격한 수요의 증가가 예상된다. 산업동원이 긴급단계를 지나 정상단계로 전환되는 기간동안 육군 공급사슬은 육군이 보유한 자원으로 급격한 수요증가에 견딜 수 있어야 한다.

## 2.3 육군의 공급사슬 전략과 구조

Chandler(1962)가 기업의 관점에서 전략의 수행에 적합한 구조를 가질 것을 주장한 이후로 전략과 구조에 관한 많은 논의가 있었다(Miller, 1988; Gupta, 1987; Child, 1972). 전략-구조-성과 관점에서 외부 환경요인의 고려를 통해 창조된 기업의 전략은 조직의 구조와 프로세스의 발전을 유도한다(Miles & Snow, 1978). 따라서 전략과 구조가 정렬된 기업들은 전략적 적합도가 부족한 경쟁자보다 더 나은 성과를 낼 것으로 기대된다(Galbraith & Kazanjian, 1986; Miles & Snow, 1984). 개별 기업에 집중된 전략-구조-성과를 Defee & Stank(2005)는 공급사슬 환경으로 논의를 확대했다.

육군의 공급사슬 전략에 대한 개념은 명확하지 않다. 단지 국방군수 정책서(2007)에 명시된 국방군수 정책방향을 통해서 큰 방향을 읽을 수 있다. 그 정책방향의 핵심은 효율성의 강화에 있다. 최근의 국방경영 효율화는 이러한 추세를 반영하고 있다. 반면에 육군공급사슬의 목표는 육군의 전시 작전지속능력을 평시부터 확보하고 유지하는 것이다. 이를 위해 육군의 공급사슬은 기본적으로 공급업자-군수사-군지사-사단-최종고객으로 이어지는

다단계 구조를 가지고 있다. 각 단계별로 재고를 유지하며 전시의 불확실성에 대비하고 있다. 강성진(2006)은 전장에서의 승리를 위해 적시성의 원리가 적용되어 각 단계를 전투를 위한 재고를 보유하면서 상위 물류단계에서 하위 물류단계로 흘러가는 다단계 공급사슬을 형성한다고 하였다.

다단계 구조는 비효율적일 수 있다. 다단계 구조의 단점을 극복하기 위해 육군 공급사슬은 단계를 뛰어넘는 직접보급과 인접 단계에서 지원받는 수평보급 등을 활용하고 있다. 직접보급과 수평보급은 재고감축과 속도 측면에서는 효율적이라고 할 수 있다. 그러나 공급사슬 외부의 충격 속에서 이러한 방법들이 제 기능을 발휘하면서 육군 공급사슬의 목표에 기여할 수 있는지에 대해서는 의문이다. 지금까지 많은 효율성에 기반한 공급사슬이 외부의 불확실한 충격을 받았을 때 붕괴한 사례는 이러한 사실을 잘 보여 준다.

육군 공급사슬의 전략이 효율성 관점으로 전환되고 있으나 비용절감을 위한 과도한 재고감소는 작전지속능력 확보라는 육군 공급사슬의 목표와도 충돌하게 된다. 공급사슬의 전략이 조직의 목표와 연계되어야 한다는 점을 고려할 때 현재 육군의 공급사슬은 효율성과 효과성을 모두 갖춘 공급사슬 구조가 요구된다. 공급사슬의 충격에 대한 대응과 정상 수준으로의 회복이라는 복원력 개념은 육군 공급사슬의 환경과 목표에 매우 적합하다.

## 2.4 유연성과 여분으로서의 재고

공급사슬은 불확실성에 대비하기 위한 주요한 수단으로 재고를 활용해 왔다(Sjoerd & Jac, 1992; Towill et al., 1992; Van Donk, 2001; Grave & Willems, 2003; Christopher & Peck, 2004). 그러나 많은 기업들이 JIT, 린 생산 등 공급사슬에서 재고를 포함한 잉여자원을 제거한 뒤 기업과 공급사슬은 더 많은 위기에 노출되고 있다(Martha & Subbakrahna, 2002; Jack G.A.J. et al., 2002; Peck, 2005; Sheffi & Rice, 2005; Cucchiella & Gastaldi, 2006; Trkman & McCormack, 2009; Oke & Gopalakrishnan, 2009; Deane et al., 2009). Engardio(2001)는 유연생산과 JIT 공급사슬의 과시는 그와 관련된 많은 위험들을 감추었다고 지적했으며, Lee(2004) 또한 효율적인 공급사슬은 수요와 공급의 예상치 못한 변화에 대응할 수 없다고 강조했다. 그러나 잠재적인 병목구간에 추가 가용능력 혹은 재고의 전략적 배치는 공급사슬의 복원력을 향상시킬 수 있다(Christopher & Peck, 2004). 이것은 재고의 올바른 위치와 수준을 강조하고 있다. 불확실성에 대비하는 수단이자 공급사슬 위기관리 완화전략은 물론, 복원력의 향상에 기여하는 유연성과 여분으로서의 재고의 가치에 주목할 필요가 있다.

여분은 충격시에 사용될 수 있는 예비적 자원이라는 개념이다. 즉 필요한 시점 이전에 자본과 능력의 투입을 통해 충격시에 대응할 수 있는 능력을 유지하는 것이다(Rice & Caniato, 2003). 가장 일반적인 여분의 형태는 안전재고이다. 여분은 즉시가 아니라 필요한 경우에 사용되는 것이다. 당연히 여분의 가치와 비용의 상쇄관계를 고려해야 한다.

유연성은 위협을 감지하고 그것들에 신속하게 대응하는 능력이다(Sheffi & Rice, 2005). 유연성과 여분의 차이는 여분이 사용될 수도 있고 사용되지 않을 수도 있는 능력을 포함한다는 점이다. 즉 여분이 충격시 야기되는 능력 손실을 대체하기 위해 사용될 추가적인 능력(예, 재고, 수송, 인력 등)이라면, 유연성은 이전에 할당된 능력의 재배치와 관련되어 있다(Rice & Caniato, 2003). 유연성을 활용함으로써 한 부분에서 남아있는 자원을 부족한 다른 부분으로 전환할 수 있다. 이러한 의미에서 유연성은 충격에 대한 복원력을 키울 뿐 아니라 정상적인 운영시에 운영상의 효율성과 이익을 획득하는데 기여한다(Sheffi & Rice, 2005).

재고의 유연성은 재고의 위치를 통해서 구현될 수 있다. Christopher & Peck(2004)은 추가적인 가용능력과 함께 완제품이 아닌 통상적 혹은 반제품 형태의 재고는 분리 지점(decoupling point)을 만들 수 있으며 생산과 수송 등 추가적인 가용능력과 함께 수요불확실성에 더욱 효과적으로 대응할 수 있게 해준다고 주장했다. 분리 지점은 수요정보가 공급사슬의 상류로 침투하는 지점으로 시장의 Pull과 상류의 Push가 만나는 단계를 의미한다. 또한 분리 지점은 고객의 주문을 만족시키기 위한 부분과 계획에 기반한 공급사슬 부분을 분리시킨다. 이것은 곧 재고가 저장되는 형태를 결정하게 된다(Sjoerd and Jac, 1992). 분리 지점이 중요한 이유 중의 하나는 고객에 대한 제품 배송이 이뤄지는 주요 보관지점이기 때문이다(Sjoerd and Jac, 1992).

분리 지점은 재고의 위치와 그 형태를 결정하는데 도움이 되는 유용한 틀이지만 본 연구의 대상인 육군 공급사슬은 조달을 통해 완제품을 구매하여 재고로 보유하며 고객에게 배송할 뿐이다. 따라서 통상적 혹은 반제품 형태의 재고 유형은 육군 공급사슬에서 취급하지 않는다. 본 연구는 Christopher and Peck(2004)이 주장한 잠재적인 병목구간에 대한 재고의 전략적 배치의 개념으로서 완제품의 주요 보관지점을 재고의 유연성으로 고려한다.

### 3. 시뮬레이션

본 연구의 시뮬레이션은 다음과 같은 절차로 진행된다. 먼저 시뮬레이션 연구 대상과 범위, 가정사항을 구체화한다. 두 번째 단계로 불확실성틀에서 제품을 분류하고 제품별 공급사슬 경로를

식별한다. 세 번째 단계는 모델의 기본모형을 토대로 제품별 공급사슬 모형을 구축한 뒤 입력 데이터를 산출하고 일치성을 검증한다. 마지막으로 모델의 타당성을 평가한 뒤 시뮬레이션 결과를 분석한다.

#### 3.1 모델링 영역, 대상 및 기본가정

모델의 복잡성과 현실성간의 딜레마를 절충하기 위해 실제 현실의 핵심적인 차원은 반영하면서 풀기에 너무 복잡하지 않는 정도에서 공급사슬 모델의 범위를 정의해야 한다. 본 연구는 공급사슬 복원력 확보전략에 공통적으로 언급되는 유연성과 여분을 고려하여 복원적 육군 공급사슬 구조를 설계하고자 한다. 특히 올바른 여유전략을 강조한 Brown et al.(2005)의 주장처럼 재고의 측면에서 재고 위치와 수준에 따른 육군 공급사슬의 복원력을 평가한다. 연구목적에 부합되도록 모델링의 대상과 영역을 설정하였다.

연구 대상은 육군의 공급사슬 중 핵심적인 작전 제대이면서 전시 실질적인 화력과 장비를 보유한 1개 군단을 중심으로 이뤄진 육군 공급사슬의 하위 시스템이다. 한국군의 핵심 지상군 전력은 군단 단위로 모듈화되어 있기 때문에 전체 육군의 공급사슬을 다루지는 않지만 육군 공급사슬의 핵심적인 현실을 반영할 수 있을 것으로 판단하였다.

시뮬레이션 연구는 현실을 가상적으로 단순화하여 실험해 보는 연구방법으로 기본가정을 어떻게 설정하느냐가 중요하다. 본 연구에서 공통적으로 적용하는 기본 가정사항은 다음과 같다. 먼저 전시의 수요증가율은 국방부 세미나 자료에 언급된 수준(300~400%)을 활용한다(최석기, 2010). 그리고 전시 수요의 편차는 평시 수요의 편차를 그대로 사용한다. 즉 전시수요는 평시수요보다 평균은 증가하고 편차는 동일한 것으로 가정한다. 둘째 공급능력은 평균 60%의 방산업체 가동률(정형록 등, 2007)을 고려하여 평시에는 평시수요의 2배, 전시에는 전시 평균수요만큼 공급가능한 것으로 가정한다. 셋째, 공급불확실성이 높은 품목의 경우 평균 70%의 생산능력을 유지하면서 50~100%의 정규분포로, 공급불확실성이 낮은 두 품목은 공급불확실성이 없는 것으로 가정하였다. 넷째, 모든 단계의 배송지연은 7일로 가정하였다. 다섯째, 군수사의 보급수준은 안전수준(30일)과 실조달기간으로 구성되어 있는데, 이 중 실조달기간은 70일로 가정하였다. 마지막으로 의사결정자의 개인적 성향은 제외하였다.

#### 3.2 제품불확실성 분류

육군 공급사슬은 다양한 제품을 취급한다. 따라서 제품군을 대

표할 수 있는 특정 제품을 선정할 필요가 있다. 분석대상 품목을 선정하는데 있어 품목의 긴요도와 중요성을 고려하였다. 특히 수리부속의 선정에 중점을 두었다. 2011년 기준 정보체계에 등록된 수리부속 품목수는 347,780건이었다. 연구대상 부대의 지휘관 및 실무자들과 인터뷰를 진행하였고 그들에게 주요 화력장비(K계열 전차)와 기동장비를 중심으로 주관리대상 수리부속 품목을 선정해줄 것을 요청하였다. 공통적으로 채택된 품목 중에서 연간 주문회수, 주문량, 긴요도 등을 고려하여 최종적으로 13가지 품목을 선정하였다.

올바른 공급사슬 전략을 선택함에 있어 제품의 특성을 구체화하는 단순하지만 강력한 방법으로 불확실성틀이 있다(Lee, 2002). 수요불확실성은 제품 수요의 예측가능성과 연관되어 있다. 수요특성을 나누는 기준으로 기능적 제품과 혁신적 제품을 비교하고 있으며 그 비교 대상은 각각 수요 불확실성, 예측가능성, 안정적-가변적 수요, 제품 사이클, 재고비용, 이익 마진, 제품 다양성, SKU당 규모의 크기, 재고 고갈 비용, 제품 진부화가 있다(Lee, 2002). 공급 불확실성의 경우 안정적 공급 프로세스와 진화적 공급 프로세스로 나누고 분류기준으로 고장의 정도, 생산성, 품질 문제, 공급 원천, 공급자의 신뢰성, 프로세스 전환, 가용능력의 제한 정도, 유연성 등을 제안하고 있다(Lee, 2002).

본 연구의 대상인 육군 공급사슬의 제품 불확실성을 분류하는 기준으로 수요불확실성의 경우 최종고객의 주문편차를 활용한다. 즉 제품의 주문편차가 크면 클수록 수요불확실성을 크다고 본다. 공급불확실성의 경우 군공급사슬은 별도로 공급자를 관리하는 정책이나 부서가 없어 공급업자에 대한 정보가 매우 부족하다. 하지만 국방기술품질원은 제품을 최종적으로 사용하는 고객이 제기한 제품의 하자과 관련된 품질불만 자료를 관리하고 있다. Lee(2002) 외에도 Ho et al.(2005)은 공급불확실성을 평가하는 척도로 핵심적인 자재의 품질 안정성을 언급하고 있다. 따라서 육군 공급사슬 제품의 공급불확실성은 품질불만 건수로 측정하였다.

수요불확실성을 평가할 제품별 주문편차를 구하기 위해 이 품목들에 대해 MS SQL을 이용해 해당 품목을 주문한 모델의 범위에 포함되는 부대의 모든 거래정보를 필터링하였다. 이 자료를 바탕으로 13가지 품목에 대한 최종사용자의 1년간 주문량, 주문빈도, 평균, 표준편차를 산출하였다. 공급불확실성을 평가할 품질불만 건수 자료를 확보하기 위해 국방기술품질원의 군수품 품질관리 DB에 접근하였다. 제품별 수요 표준편차와 품질 불만건수는 아래의 <표 3>과 같다. 이 데이터를 그래프에 도식해본 결과 <그림 1>과 같이 크게 3개 영역으로 나뉘어졌다. 그 중 수요/공급불확실성이 모두 낮은 영역에 다수의 제품이 모여있어 제품의 다양성, 취급 규모, 중요도를 고려하여 최종적으로 3개의 대표 품목(통신전지, 실린더 조립체, 트랙슈 조립체)을 선정하였다.

표 3. 제품별 제품 불확실성 자료

구분	품목	연간 최종고객 주문 표준편차	품질불만 건수
2종	통신전지	79.8	24
3종	엔진오일	0.9	0
8종	폴리우레탄 드레싱폼	1.61	0
9종	벨브 스탭	0.25	2
	노즐 분사용	0.4	0
	부품키트 유압다기관용	0.24	0
	펌프연료용	1.62	3
	실린더조립체 차륜용	2.05	1
	실린더조립체 주실린더용	0	1
	램프 백열등	1.12	2
	트랙슈조립체	64.73	6
	클러치조립체	0.27	0
	캠조립체	0.48	0

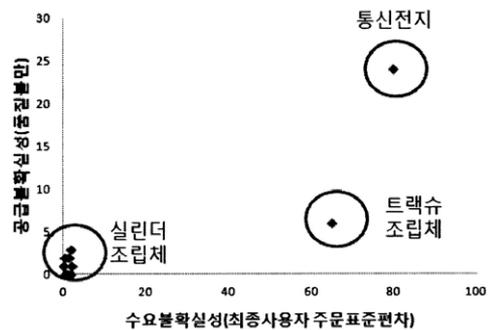


그림 1. 연구대상 품목의 제품불확실성

### 3.3 시뮬레이션 모델 구축

본 연구의 시뮬레이션 모델은 시스템 다이내믹스 기반의 시뮬레이션 소프트웨어 툴인 Vensim DSS 5.6b를 활용하여 개발되었다. 비선형적 관계는 모든 시스템 동적특성의 핵심이다(Sterman, 2000). 비선형성은 선형적인 모델로 구현하는데 한계가 있다. 그러므로 공급사슬의 진동과 증폭효과, 지연과 같은 동적특성을 구현할 수 있는 시스템 다이내믹스 방법론이 적절하다고 할 수 있다.

모든 공급사슬은 재고와 재고를 관리하기 위한 관리정책으로 구성되어 있다(Sterman, 2000). 관리정책은 목표수준까지 재고를 유지시켜주고 사용과 손실, 예상치 못한 고장을 보충하도록 설계되어 있다. <그림 2>처럼 본 연구는 재고의 흐름 구조와 의사결정 규칙을 모두 반영하고 있는 Sterman(1989, 2000)의 Generic Stock-Management System을 기반으로 모델링하였다. 특히

Sterman(2000)의 기본 모형을 활용한 맥주배송게임(beer distribution game)은 다단계로 이루어진 연속적인 공급사슬이기 때문에 단계별 의사결정자의 행위가 전체 공급사슬의 성과에 미치는 영향과 공급사슬의 동적 특성(예, 채찍 효과 등)을 확인하는데 유용하다(Larsen et al., 1999; Thomsen et al., 1992; Mosekilde & Larsen, 1988).

2011년 연구대상에 부대에 해당하는 13가지 제품에 대한 모든 거래정보를 분석한 결과 <그림 3>처럼 모두 4개의 공급사슬 경로가 식별되었다. 최종적으로 본 연구는 모형의 기본 모형을 토대로 시뮬레이션 대상 제품인 유형1(통신전자)과 유형4(실린더 조립체, 트랙슈 조립체)에 대한 시뮬레이션 모형을 구축하였다.

### 3.4 시뮬레이션 모델 입력 데이터

시뮬레이션을 위한 입력 모델은 본질적으로 확률분포에 기반한다(Johnson & Mollaghasemi, 1994). 실제 주문량에 대한 시계열 자료를 확인한 결과 제품별 기술통계량은 다음의 <표 4>와 같다.

표 4. 시뮬레이션 입력데이터 기초 통계량

구분	총주문량	평균	표준편차	최대	최소
실린더 조립체	1,119	3.62	2.04	6	0
통신전자	8,902	19.6	30.3	970	0
트랙슈 조립체	2,312	6.33	30.2	150	0

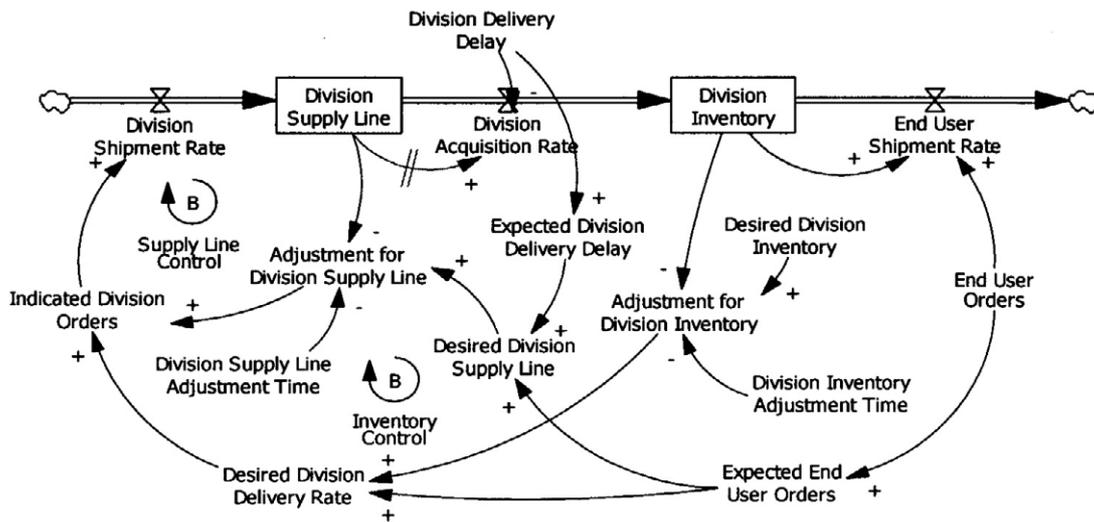


그림 2. Generic Stock-Management System 기반의 기본 모형

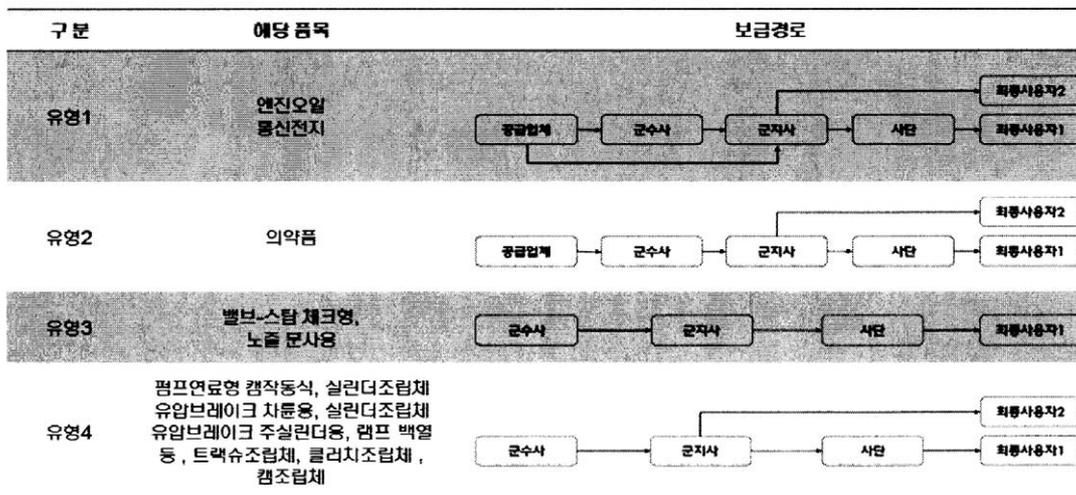


그림 3. 제품별 공급사슬 경로

시계열 자료를 분석하는 과정에서 제품별로 매우 다른 주문패턴을 발견하였다. 그래서 사용자 및 수리부속 취급부대에 추가적인 인터뷰를 실시하였다. 그 결과 실린더 조립체는 육군 대다수의 범용 차량에 활용되는 수리부속으로서 평균을 중심으로 연중 소모율이 상대적으로 일정하게 유지되고 있었다. 따라서 정규분포를 활용하였다. 반면에 통신전지와 트랙슈 조립체는 실린더 조립체와는 전혀 다른 패턴을 보이고 있었다. 통신전지의 경우 모든 형태의 부대가 사용하고 있으며 훈련시와 평시가 매우 큰 차이를 보였다. 트랙슈 조립체 또한 전차를 보유한 기계화 부대만이 사용하고 있는데 훈련 전후로 궤도정비가 다수 발생함에 따라 소모패턴은 큰 변동성을 가지고 있음을 확인하였다. 즉 매우 큰 규모의 수요가 발생하는 소수의 기간을 제외하면 대부분은 낮은 수준의 일정한 소모패턴을 보이고 있다. 이를 시계열이 아닌 주문량 기준으로 정렬했을 때 지수분포적인 특성이 있음을 확인하였다. 이에 본 연구는 제품별 주문자료와 행태를 기초로 가장 근사적인 분포를 적용하였다. 이 과정에서 통신전지의 전체 주문회수 기준 2.3%를 차지하는 970, 440, 320은 이상치로 판단하여 분석의 대상에서 제외하였다. 아래의 <그림 4>와 <표 5>는 통신전지의 실제 주문량과 입력데이터 간의 일치성을 보여준다.

### 3.5 타당성 검토

시뮬레이션 모델에 기반한 의사결정은 그 모델의 타당성에 달

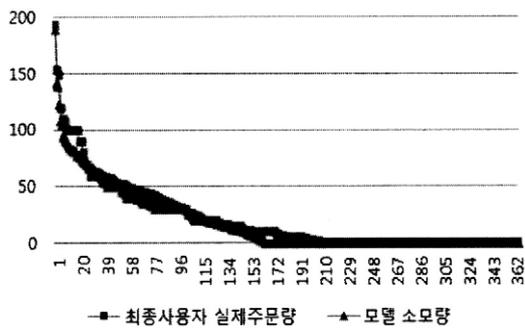


그림 4. 최종사용주문량과 입력 데이터 행태 비교

려있다. 본 연구는 시스템 다이내믹스 모형에 대한 전형적인 타당성 평가방법을 제안한 Sterman(2000)의 연구를 중심으로 타당성을 검증하였으며, Sargent(2005), Robinson(2004), Carson(2002) 등 시뮬레이션 연구에서 적용되는 타당성 기법들도 참고하였다.

모델 구조의 타당성을 검증하기 위해 시스템의 관련 지식과 모델 구조간의 일관성을 평가하는 Sterman(2000)의 구조평가를 검증하였다. 이는 개념적 모델 안에 있는 논리가 합리적인지를 말해주는 Sargent(2005)와 Carson(2002)의 표면 타당성(face validity)과 유사하다. 본 연구를 수행함에 있어 개념적 모델을 구성한 뒤 모델에 적용될 2011년의 실제 군물류 운영자료를 확보하였다. 이와 병행하여 육군 공급사슬의 하루(사단)에서 상류(군수사)까지 보급경로를 따라 단계별로 부대를 방문하여 개념적 모델과 확보한 데이터를 가지고 토의를 진행하였다. 결론적으로 Sterman(1989, 2000)의 간결한 기본 모델은 연구대상 시스템의 특징인 다단계 구조와 단단계 구조에서 나타나는 지연, 채찍효과 등 동적특성은 물론 단계별 의사결정 프로세스를 반영하고 있는 모델임을 확인할 수 있었다.

다음은 모델에 대한 강건성을 평가하기 위해 극한 조건 테스트와 민감도 분석을 하였다. 극한조건 테스트를 위해 최종 고객의 수요를 0으로 감소시켰다. 수요가 0일 경우 전체 공급사슬의 주문행위는 목표재고에 도달함과 동시에 중지될 것이라고 예상할 수 있다. <그림 5>처럼 주문량이 0이 됨에 따라 상류로 올라가면

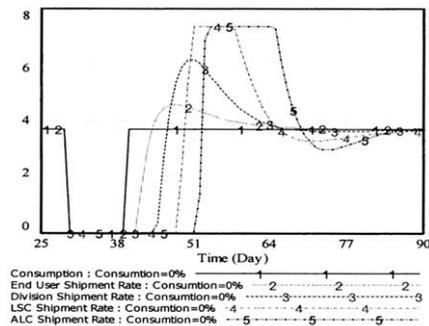


그림 5. 극한조건 평가

표 5. 통신전지 최종사용주문량과 입력데이터 t-test 결과

구 분		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	실제주문량-모델소모량	-.01370	6.0130	.3147	-.6326	.6052	-.044	364	.965

서 주문량을 0으로 하는 과정을 볼 수 있다. 모델이 합리적으로 반응하고 있음을 알 수 있다.

민감도 분석은 검토된 모든 연구에서 공통적으로 언급하고 있는 타당성 확보 방법인데(Sterman, 2000; Sargent, 2005; Robinson, 2004; Carson, 2002), 모델의 모수 값에 대한 가정을 변화시키고 그 변화로 야기되는 결과를 분석하여 모델의 타당성을 살펴보는 방법이다. 본 연구 모델의 중요한 모수 중 하나는 공급불확실성이다. 공급불확실성이 증가함에 따라 공급량에 영향을 미치게 되고 단계적으로 최종사용자 재고와 수요미충족량에 영향을 미치게 된다. 따라서 통신전지 모델의 공급불확실성 수준을 0.5-1로 변화시키면서 최종사용자의 수요미충족량에 대한 민감도 분석을 실시하였다. <그림 6>처럼 공급불확실성의 수준에 따라 최종사용자의 수요미충족량이 동일한 패턴으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 즉 공급불확실성에 따른 영향정도를 잘 반영하고 있음을 보여준다.

모델이 실제 시스템에 의해 나타나는 주요한 행태를 얼마나 정확하게 재생산하는가를 평가하기 위해 준거모드와의 비교를 실시하였다. 본 연구 모델의 독립변수는 최종사용자의 소모량이며 목표재고조정 루프를 통해 최종사용자의 주문량이 상류의 사단, 군 지사의 주문량이 결정되도록 모델링되었다. 모델이 현실을 잘 반영한다면 최종사용자의 소모량에 의해 촉발된 상류의 주문패턴 또한 유사한 패턴을 보일 것이라 예상할 수 있다. 한 예로 실린더 조립체에 대한 상류의 실제 주문량과 모델의 주문량을 비교하기 위해 분산분석을 실시하였다. <표 6>과 같이 실제 주문량과 모델의 주문량 집단간에는 차이가 없음을 알 수 있다.

마지막으로 Sargent(2005)와 Robinson(2004)은 데이터 타당성을 언급하고 있다. 본 연구의 데이터는 2011년 실제 군물류 운영자료에 기반한다. 우리는 국방부와 각 군이 보유하고 있는

군수정보체계 서버에서 다운받아 MS SQL로 DB화 한 후 전체 16,394,122건의 거래자료를 식별하였다. 그런 다음 실제 모델에 반영될 품목을 포함하는 모든 거래를 DB상에서 필터링하고 공급사슬의 흐름에 맞도록 각각의 거래들을 분류하였다. 이런 과정을 통해 육군 공급사슬의 흐름을 정확하게 반영하는 데이터셋을 구할 수 있었다. 곧 데이터 타당성을 확보했다고 할 수 있다.

표 6. 실린더 조립체(사단) 실주문량과 모델주문량 비교결과

구분	제곱합	df	평균제곱	F	유의확률
집단간	5940.312	20	297.016	.567	.900
집단내	13087.167	25	523.587		
합계	19027.478	45			

## 4. 시뮬레이션 결과분석

### 4.1 육군 공급사슬 복원력 성과평가 지표

공급사슬 모델링의 중요한 요소로 목적에 부합하는 적절한 성과변수의 선정이 필요하다(Beamon, 1998). 본 연구의 목적은 재고의 관점에서 서로 다른 재고위치와 수준이 육군 공급사슬의 복원력 향상에 미치는 영향을 평가하는데 있다. 이를 위해 최종사용자의 수요미충족량을 측정한다. Beamon(1998) 또한 수요패턴의 무작위 변동에 공급사슬이 대응할 수 있는 정도로서 유연성을 정의하고 재고고갈 확률을 최소화하는 대응력으로서의 유연성이 성과변수가 될 수 있다고 주장했다. 재고고갈 측면에서 본 연구는 Beamon(1998)의 개념과 유사하다. 더불어 Sheffi & Rice(2005)와 Tierney & Bruneau(2007)가 제안한 회복패턴의 도식화와 복원력 삼각형을 개념을 활용하여 제품별 복원 패턴을 정성적 측면에서 비교분석하였다. 마지막으로 효율성에 해당하는 연구대상 육군 공급사슬의 전체 재고수준을 성과지표로 활용하였다.

결과분석은 성과지표에 따라 제품별로 나누어 분석하였다. 단계 구조에서 다양한 재고수준과 위치가 고려될 수 있지만 본 연구는 전체 재고수준은 유지하면서 재고의 위치를 조정하는 <표 7>과 같은 대안을 비교한다. 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 제품별-시나리오별로 모두 1-500까지의 난수 번호를 부여하면서 500회씩 실시하였다. 전시 수요증가는 200일~230일 기간 동안 발생시켰으며 150일부터 300일까지의 결과값을 활용하였다. 시나리오별 평균값을 비교하기 위해 제품별, 시나리오별로 Paired-Difference t-test 통계기법을 이용하였다.

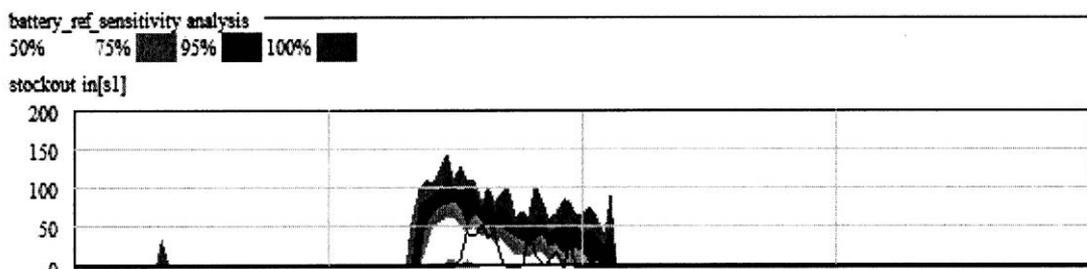


그림 6. 민감도 분석 결과

표 7. 대안별 재고수준 설정

비 고	군수사 재고수준	최종사용자 재고수준
AS_IS	100	15
대안1	95	20
대안2	90	25

4.2 최종사용자 수요미충족량

<그림 7>처럼 3가지 제품 모두에서 수요미충족량이 발생함을 볼 수 있다. 전시 급격한 수요의 증가에 대한 육군공급시설의 복원력이 부족함을 의미한다. 하지만 <표 8>에서 보는 바와 같이 3가지 제품에 대해 최종사용자의 재고수준을 증가시키는 대안1과 대안2의 수요미충족량이 크게 낮아짐을 확인할 수 있다. 전체 공급시설의 재고수준은 그대로 유지하면서 군수사의 재고수준을

최종사용자로 재배치하였을 뿐이다. 단지 소량의 최종사용자 재고수준 증가에도 최종사용자의 수요미충족량을 크게 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

흥미로운 점은 제품의 수요특성에 따라서 그 효과가 다르게 나타남을 알 수 있다. 좀 더 구체적으로 살펴보기 위해 각 제품별-대안별 수요미충족 누적량을 비교하였다. <표 9>에서 보는 바와 같이 공통적으로 수요의 불확실성이 큰 제품인 통신전지와 트랙슈 조립체의 경우가 그렇지 않은 경우보다 재고증가의 효과가 큼을 알 수 있다. 그런데 수요불확실성이 높은 그룹의 트랙슈 조립체와 통신전지의 경우 수요불확실성은 통신전지가 더 크지만 효과는 트랙슈 조립체가 높은 것으로 나타났다. 이것은 통신전지가 가지고 있는 공급불확실성 때문에 발생한 것으로 분석된다. 앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 통신전지의 공급불확실성을 최근 10년간 방산업체의 평균 가동률(60%)을 고려하여 평균 70%의 생산능력(상한 100%, 하한 50%인 정규분포)을 유지하도록 모델

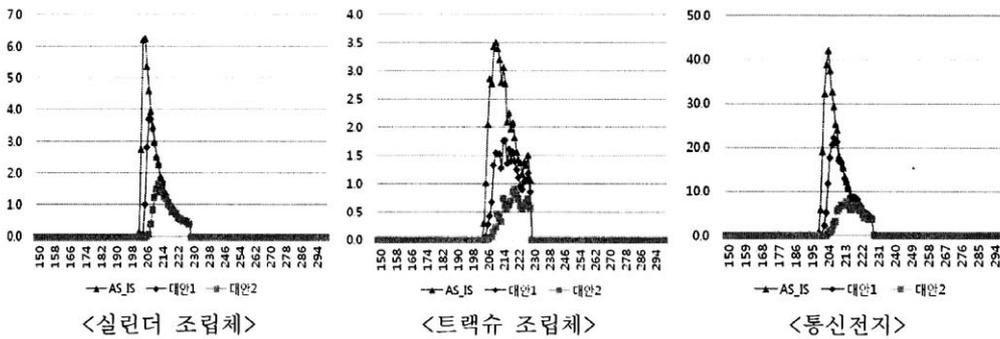


그림 7. 제품별 수요미충족 발생형태 비교

표 8. 실린더 조립체 최종사용자 수요미충족 누적량 t-test 결과

구 분	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair1	AS IS-대안1	.1205	.7238	.0589	.0041	.2369	2.046	150	.042
Pair2	AS IS-대안2	.2376	1.0015	.0815	.0767	.3988	2.917	150	.004
Pair3	대안2-대안1	-.1172	.5237	.0426	-.2014	-.0330	-2.751	150	.007

표 9. 제품별-대안별 수요미충족량 감소 효과 비교

구분(수요불확실성-공급불확실성)	AS_IS ①	대안1	대안2 ②	효과((①-②)/①)
실린더 조립체(Low-Low)	55	37	19	65% 감소
트랙슈 조립체(High-Low)	52	28	12	77% 감소
통신전지(High-High)	464	293	126	73% 감소

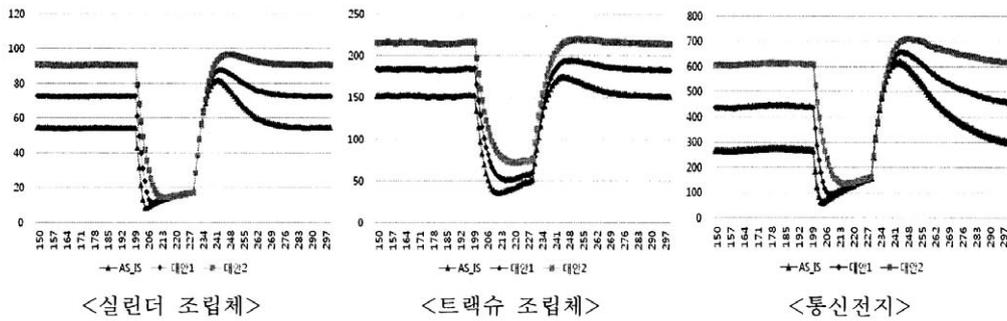


그림 8. 제품별 최종사용자 재고수준 복원패턴 비교

링하였다. 이러한 공급불확실성이 수요불확실성에 대응하려는 재고의 효과를 상쇄시키는 것으로 해석된다.

### 4.3 최종사용자 재고수준 복원패턴

지금까지 구체적인 재고량, 부족량 등 특정 수치에 비해 충격 이후 회복되는 패턴에 대한 관심은 부족하였다. 복원력의 관점에서 보면 복원패턴은 또 다른 시사점을 줄 수 있다. 이를 위해 최종사용자 재고수준이 충격이후 어떠한 경로를 따라 회복되는지 그 패턴을 비교하였다.

〈그림 8〉과 같이 150-300일간 각 제품별로 최종사용자의 재고수준 복원패턴을 도식화하였다. 공통적으로 최종사용자 재고수준의 증가에 따라 재고수준이 급격히 감소하는 지점이 조금씩 지연되고 있음을 확인할 수 있다. 비록 짧은 시간의 지연이지만 최종사용자의 재고수준이 급격한 수요증가에 대응할 시간을 주고 있는 것을 의미한다. 하지만 이후 본격적으로 회복되는 패턴은 재고수준과는 상관없이 동일한 패턴을 보이고 있다. 이것은 보다 신속한 회복을 원한다면 수송능력의 확대를 통해 유입량을 늘려야 함을 의미한다. 이를 확인하기 위해 실린더 조립체에 대해 최종사용자로 들어오는 수송능력을 증가시켜 보는 시뮬레이션을 추가로 실시하였다. 〈그림 9〉처럼 수송능력의 증가를 통해 회복패턴이

달라짐을 확인할 수 있다.

결론적으로 최종사용자 재고수준의 증가는 그 증가수준이 비록 높지 않더라도 충격에 대한 대응시간을 제공해줄 수 있으며, 이를 통해 수요미충족량을 크게 줄일 수 있다. 그러나 회복 패턴까지 변화시키지는 못한다는 것을 알 수 있다. 만약 육군 공급사슬 의사결정자의 목표가 최종사용자의 재고를 최소한으로 유지하면서 충격이후 가능한 빠른 시간내에 재고수준을 회복시키는 것이라면 이는 전혀 다른 수단이 필요함을 의미한다. 재고수준이 아니라 수송능력의 확대를 통해 유입량을 증가시켜야 하기 때문이다. 그러나 이상적인 조건에서 도출된 본 시뮬레이션 결과처럼 다른 요인은 제외하더라도 현재의 수송능력을 전시수요의 2배로 급격하게 증가시키는 것은 현실적으로 쉽지 않은 문제이다.

### 4.4 전체 재고수준 복원패턴 결과 분석

군공급사슬에서 복원력이 중요한 개념이라 하더라도 효율성을 무시할 수는 없다. 그래서 전체 재고수준의 관점에서 복원패턴을 살펴보았다. 앞에서 살펴본 바와 같이 최종사용자의 경우에는 수요미충족이 발생함을 보았다. 하지만 〈그림 10〉처럼 육군 공급사슬 전체 재고수준의 관점에서 보면 여전히 충분한 재고를 보유하고 있음을 알 수 있다. 본 연구의 경우 가장 상류인 군수사 목표재고 수준은 100일로 가정하였다. 2010년 국방부 군수관리관실 자료에 따르면 현재 국내조달의 경우 조달소요기간은 제품별로 다양하지만 방사청 조달의 경우 187일, 군수사 조달의 경우 227일로 분석되었다(국방부, 2010). 따라서 70일이라는 가정은 매우 이상적인 수치라고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 전체 재고수준은 감소시키면서 최종사용자 재고수준을 일부분 증가시킴으로서 복원력을 향상시킬 수 있음을 보여준다. 곧 효과성과 효율성이 공존할 수 있음을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

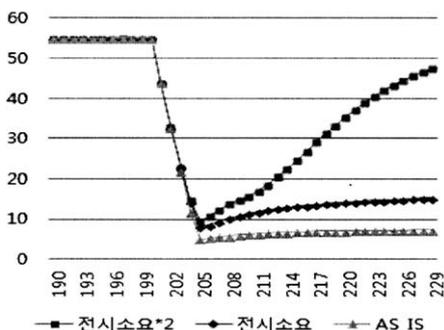


그림 9. 실린더 조립체의 수송능력 변화에 따른 복원패턴 비교

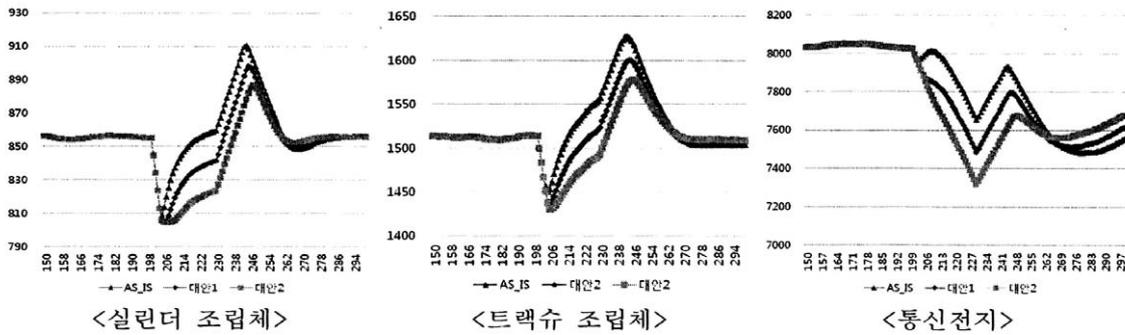


그림 10. 제품별 전체 재고수준 복원패턴 비교

### 5. 결 론

현재의 육군 공급사슬이 전시 급격한 수요증가를 견딜 수 있는 가는 중요한 문제이다. 하지만 효율성 또한 무시할 수 없는 국방 운영의 중요한 요소이다. 이처럼 상호충돌하는 환경에서 출발한 본 연구의 목적은 다양한 학계간에 논의되고 있는 복원력의 개념을 체계화하였다. 그리고 구체화된 복원력의 개념을 토대로 육군 공급사슬 맥락에 부합하는 복원력의 측정개념을 도출한 뒤 재고의 관점에서 복원적 육군 공급사슬을 디자인하는 것이다.

이를 위해 육군 공급사슬에서 취급하는 13가지 제품에 대해 Lee(2002)의 불확실성들을 활용하여 제품을 분류하였다. 그리고 Sterman(1989, 2000)의 Generic Stock - Management System을 활용하여 제품별 육군 공급사슬을 모델링하였다. 시뮬레이션 결과 전시의 급격한 수요증가에 대한 육군 공급사슬의 복원력은 부족한 것으로 드러났다. 우리는 이 연구 결과가 전시에 발생할 수 있는 많은 불확실성을 제외시킨 상태에서 나타난 결과라는 점을 강조하고 싶다. 즉 매우 이상적인 조건에서도 수요미충족이 발생함을 의미한다. 그러나 전시초기 육군 공급사슬의 병목 지점이라 할 수 있는 최종사용자로 재고를 재배치한 구조는 3가지 제품 모두에서 수요미충족량을 의미있게 감소시키는 결과가 나타났다. 그 중에서 수요불확실성이 큰 제품(통신전지, 트랙슈 조립체)은 그 성과가 더욱 크게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구결과가 제안하는 학문적 시사점은 다음과 같다. 첫째 복원력이 가지는 다학제적, 다차원적 개념을 확인하였고 다학제간에 논의되는 복원력의 평가를 위해 다양한 측정개념이 활용되고 있음을 알 수 있었다. 본 연구는 육군 공급사슬의 맥락 속에서 구체적인 위험과 기간을 선정하여 복원력의 계량적 연구를 시도하였다는 점에서 의의를 찾을 수 있다. 둘째, Lee(2002)의 불확실성들을 활용하여 육군 공급사슬이 취급하는 제품들의 불확실성 수준을 주문편차와 제품품질을 활용하여 실증하였다는 점이다. 셋째, 재고의 수준과 위치를 통한 여유자원이 공급사슬 복원력의

향상에 긍정적인 영향을 미친다는 점을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 이는 전략적이고 선택적인 여유자원의 활용은 공급사슬 복원력에 핵심적인 요소가 될 수 있다고 주장한 Christopher and Peck(2004)과 올바른 여유자원을 주장한 Brown et al.(2005)의 정성적 연구결과를 뒷받침하는 것이라고 할 수 있다. 하지만 제품 분류에 따라 그 효과가 상이함을 알 수 있었다. 마지막으로 경험적 데이터에 기반한 시뮬레이션 연구를 진행하였다는 점이다. 경험적 데이터의 활용을 통해 비록 간결한 모델이지만 현실의 행태를 충분히 반영할 수 있음을 보였다.

본 연구는 다음과 같은 실무적 시사점을 제공한다. 첫째, 육군 공급사슬 맥락에 부합하는 복원력의 측정개념을 구체화할 필요가 있다. 본 연구에서는 전시 초기 30일간의 수요미충족량을 성과측정변수로 활용하였다. 다양한 작전단계별로 육군공급사슬 복원력의 성과지표가 적용될 수 있다. 둘째, 특정지점에 대한 재고보유의 이점을 인식할 필요가 있다. 본 연구의 결과에 따르면 전시초기 특정지점은 최종사용자라고 할 수 있다. 현재는 전투부대의 기동성을 위해 최종사용자의 재고보유는 부정적인 것으로 간주된다. 정보체계의 통합, 자산 가시화 등을 통해 군수사와 같은 상류에서 풀링의 효과를 달성할 수도 있을 것이다. 하지만 아직까지 전시의 수요불확실성을 반영하고 있는 수요패턴을 식별하지 못하였고 그 효과를 볼 수 있는 시점은 단기전을 고려해 볼 때 늦은 시점이 될 수도 있다. 이런 측면에서 린 운영과 JIT의 과도한 믿음은 매우 위험할 수 있다. 따라서 육군 공급사슬은 전투부대의 기동성을 충분히 고려해야겠지만 올바른 위치에 필요한 재고라는 올바른 여유전략을 진지하게 고민할 필요가 있다. 셋째, 제품 불확실성에 따라 서로 다른 재고수준과 위치를 고려할 필요가 있다. 지금은 각 단계별로 목표재고가 부여되어 있으나 이는 제품이 가지는 불확실성을 전혀 고려하지 않은 것이다. 종별 보급수준이외에 제품별 불확실성을 고려하여 단계별로 재고수준을 달리 운영할 필요가 있다. 넷째, 체계적인 공급자 관리 정책이 필요하다. 육군의 내부자료에 따르면 2011년 기준 1,145개의 국내업체가 육군

의 공급업자로서 제품을 공급하고 있다. 2차 3차 협력업체까지 포함하면 그 수는 훨씬 증가할 것이다. 육군 공급사슬의 올바른 평가를 위해 공급업자에 대한 충분한 분석이 선행되어야 한다.

하지만 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가지고 있으며 이를 토대로 향후 연구방향을 제안한다. 먼저 1년간의 실제 주문량 데이터를 활용하였으나 여전히 실제 소모량에 대한 데이터는 없어 제품 수요패턴과 인터뷰를 통해 근사치를 활용하였으며, 전시 수요는 모두 정규분포를 적용한 점이다. 실제 소모량 뿐만 아니라 전시수요에 대한 보다 객관적인 데이터 확보와 적용이 필요하다. 둘째, 제품 불확실성을 판단하기 위해 13개의 제품만을 선정하였다. 만약 다른 제품이 추가될 경우 제품 불확실성 분류 결과는 전혀 다르게 나타날 수 있다. 셋째, 공급불확실성을 품질불만 건수라는 단일 차원으로 한정된 점이다. 아쉽게도 현재는 육군의 공급업자에 대한 기본적인 통계 자료(종업원, 매출규모 등)조차 체계적으로 정리되어 있지 않은 실정이다. 보다 구체적인 공급업자에 대한 정보를 반영하여 공급불확실성을 평가할 필요가 있다. 셋째, 재고의 위치조정에 관한 복원력의 효과를 보기 위해 배송지연은 상수로, 전시수요의 불확실성은 평시와 동일한 편차로 반영하였다. 다양한 불확실성의 수준을 반영한다면 새로운 군공급사슬의 동태성을 관찰할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] 강성진(2006), 군 물류 네트워크 및 물류비용 추정에 관한 연구, 국방대학교 안보문제연구소, *안보연구시리즈*, 제7집, 제 4호.
- [2] 국방부(2009), *국방군수정책서(국방기본정책서 부록 #6)*
- [3] 국방부 군수관리관실(2010), *군수품 조달체계 개선 계획*, p.5.
- [4] 육군본부(2006), *군수정책서, 육군 기본정책서('09~'25) 부록 '아*.
- [5] 정형록, 이우중, 윤성만, 안태식. 방산업체의 이익조정에 관한 연구, *회계학 연구*, 제32권 제1호, pp.59-88.
- [6] 최석기(2011), *국방경영효율화를 위한 군 물류체계 개선 방안*, 제 2회 군 물류 세미나 (주관: 국방부 군수관리관실).
- [7] 합동참모본부(2010), *2012~2026 합동개념서*.
- [8] YTN, *북 연료부족으로 초단기전 승리 노릴 것*, 검색일: 2013.3.23.
- [9] Albert, R., Jeong, H., and Barabasi, A.-L.(2000), Error and attack tolerance of complex networks, *Nature*, Vol. 406, pp.378-381.
- [10] Beamon, B.M.(1998), Supply chain design and analysis: Models and methods, *International Journal of Production Economics*, Vol. 55, pp.281-294.
- [11] Brown, G., Carlyle, M., Salmeron, J., and Wood, K.(2005), Analyzing the Vulnerability of Critical Infrastructure to Attack and Planning Defenses, *Tutorials in Operations Research*, pp.102-123.
- [12] Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Leem G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A.M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W.A., von Winterfeldt, D.(2003), A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Community, *Earthquake Spectra*, Vol. 19(4), pp.733-752
- [13] Carvalho, H., Machado, V.C.(2009), Lean, agile, resilient and green supply chain: a review, *Proceedings of the Third International Conference on Management Science and Engineering Management*, pp.66-76.
- [14] Caralli, R.A., Allen, J.H., Curtis, P.D., White, D.W., Young, L.R.(2010), Improving Operational Resilience Processes: The CERT Resilience Management Model, *IEEE International conference on Social Computing*, pp.1165-1170.
- [15] Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J.M., and Abel, N.(2001), From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?, *Ecosystems*, Vol. 4, pp. 765-781.
- [16] Carson, J.S.(2002), Model Verification and Validation, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation conference*, pp.52-58.
- [17] Chandler, A.D.Jr.(1962), *Strategy and Structure*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- [18] Child, J.(1972), Organizational Structure, Environment, and Performance: The Role of Strategic Choice, *Sociology*, Vol. 6(1), pp.1-22.
- [19] Choi, T.Y, Dooley, K.J. and Rungtusanatham, M.(2001), Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence, *Journal of Operations Management*, Vol. 19, 351-366.
- [20] Christopher, M., and Towill, D.(2000). Supply chain migration from lean and functional to agile and customized. *Supply chain management: An international Journal*, Vol. 5(4), pp.206-213.

- [21] Christopher, M. and Peck, H.(2004), Building the resilient supply chain, *International Journal of Logistics Management*, Vol. 15(2) pp.1-13.
- [22] Cucchiella, F., Gastaldi, M.(2006), Risk Management in Supply Chain: A Real Option Approach, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17(6), pp.700-720.
- [23] Deane, J.K., Craighead, C.W., Ragsdale, C.T.(2009), Mitigating Environmental and Density Risk in Global Sourcing, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 39(10), pp.861-883.
- [24] 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.
- [25] Ellis, S. C., Henry, R. M., and Shockley, J.(2009), Buyer Perceptions of Supply Chain Disruption Risk: A Behavioral View and Empirical Assessment, *Journal of Operations Management*, Vol. 28(1), pp.34-46.
- [26] Engardio, P., 2001. Why the supply chain broke down. *Business Week*, March 19, 2001. Issue:3724, 41.
- [27] Folke, C.(2006), Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses, *Global Environmental Change*, Vol. 16, pp.253-267.
- [28] Galbraith, J.R. and Kazanjian, R.K.(1986), *Strategy Implementation: Structure, Systems, and Process*, West Publishing Company, St Paul, MN.
- [29] Gupta, A.K.(1987), SBU Strategies, Corporate-SBU Relations, and SBU Effectiveness in Strategy Implementation, *Academy of Management Journal*, Vol. 30, pp.477-500.
- [30] Hagin, A.(1994), Performability, reliability, and survivability of communication networks: system of methods and models for evaluation, In *Proceedings of the 14th International conference on Distributed Computing Systems*, pp.562-573.
- [31] Haimes, Y. Y.(2009), On the Definition of Resilience in Systems, *Risk Analysis*, Vol. 29(4), pp.488-501.
- [32] Hamel, G. and Valikangas, L.(2003), The quest for resilience, *Harvard Business Review*, pp.52-63.
- [33] Harland, C.M., Lamming, R.C., Cousins, P.D.(1999), Developing the concept of supply strategy, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19(7), pp.650-673.
- [34] Ho, C.-F., Chi, Y.-P., and Tai, Y.-M.(2005), A Structural approach to measuring uncertainty in supply chain, *International Journal of Electronic Commerce*, Vol. 9(3), pp.91-114.
- [35] Holling, C.S.(1973), Resilience and stability of ecological systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4, pp.1-23.
- [36] Jabbar, A.(2010), *A frame to Quantify Network Resilience and Survivability*, University of Kansas, Ph.D. Thesis.
- [37] Jen, E.(2005), *Robust Design: A Repertoire of Biological, Ecological, and Engineering Case Studies*, Oxford University Press.
- [38] Johnson, M.E., Mollaghasemi, M.(1994), Simulation input data modeling, *Annals of Operations Research*, Vol. 53, pp.47-75.
- [39] Kleindorfer P.R. and Saad, G.H.(2005), Managing Disruption Risks in Supply Chains, *Production and Operations Management*, Vol. 14(1), pp.53-68.
- [40] Klibi, W. and Martel, A.(2010), Modeling Approaches for the Design of Resilient Supply Chain Networks under Disruptions, *CIRRELT-2009-27, working paper*.
- [41] Laprie, J.-C.(1992), Dependability: basic concepts and terminology, Draft, *IFIP Working Group 10.4 - Dependable Computing and Fault Tolerance*.
- [42] Larsen, E.R., Morecroft, J.D.W., Thomsen J.S.(1999), Complex behaviour in a production-distribution model, *European Journal of Operational Research*, Vol. 119, pp.61-74.
- [43] Lazzarini, S.G., Chaddad, F.R., Cook, M.L.(2001), Integrating supply chain and network analyses: the study of netchains, *Journal of Chain and Network Science*, Vol. 1(1), pp.7-22.
- [44] Lee, H.L.(2002), Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties, *California Management Review*, Vol. 44(3), pp.105-119.
- [45] Lee, P.A., Anderson, T.(1990), *Fault Tolerance: Principles and Practice*, Springer-Verlag New York,

- Inc., Secaucus, NJ, USA, ISBN:0387820779.
- [46] Martha, J., Subbakrishna, S.(2002), Targeting a just-in-case supply chain for the inevitable next disaster, *Supply Chain Management Review*, Vol. 6(5), pp.18-23.
- [47] Miles, R.E., Snow, C.C., 1978. Organizational strategy, *Structure and Process*. McGraw-Hill, New York, NY.
- [48] Miles, R.E., Snow, C.C.(1984), Fit, failure and the hall of fame. *California Management Review*, Vol. 26(3), pp.10-28.
- [49] Mill, D.(1988), Relating Porter's business strategies to environment and structure: Analysis and performance implications, *Academy of Management Journal*, Vol. 31(2), pp.280-308.
- [50] Mosekilde, E., Larsen, E.R.(1988), Deterministic chaos in beer production-distribution model, *System dynamics Review*, Vol. 4, pp.131-147.
- [51] Norrman, A. and Jansson, U.(2004), Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 34(5), pp.434-456.
- [52] Oke, A., Gopalakrishnan, M.(2009), Managing Disruptions in Supply Chains: A Case Study of A Retail Supply Chain, *International Journal of Production Economics*, Vol. 118(1), pp.168-174.
- [53] Peck, H.(2005), Drivers of Supply Chain Vulnerability: An Integrated Framework, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 35(4), pp.210-232.
- [54] Ponomarov, S.Y., Holcomb, M.C. (2009), Understanding the concept of supply chain resilience, *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 20(1), pp.124-143.
- [55] Rice, J.B. and Caniato, F. (2003), "Building a secure and resilient supply network", *Supply Chain Management Review*, September/October, pp.22-30.
- [56] Robinson, S.(2004), *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- [57] Rose, A., Liao, S.(2005), Modeling regional economic resilience to disaster: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions, *Journal of Regional Science*, Vol. 45(1), pp.75-112.
- [58] Sargent, R.G.(2005), Verification and Validation of Simulation Models. *Proceeding of the 2005 Winter Simulation Conference*.
- [59] Sheffi, Y.(2005), *The Resilient Enterprise*, The MIT Press.
- [60] Sheffi, Y.(2005), Building a resilient supply Chain, *Harvard Business Review: Supply Chain Strategy*, Vol. 1(8), 1.
- [61] Sheffi, Y., Rice, B., 2005. A Supply Chain View of the Resilient Enterprise, *MIT Sloan Management Review*, Vol. 47(1), pp.40-48.
- [62] Sjoerd, H., Jac, R.(1992), *Integral Logistics Structures: Developing Customer Oriented Goods Flows*, McGraw-Hill, London.
- [63] Snyder, L. V.(2003), *Supply chain robustness and reliability: Models and algorithms*. Ph.D. dissertation, Northwestern University.
- [64] Stecke, K. and Kumar, S.(2009), Sources of Supply Chain disruptions, factor that breed vulnerability and mitigating strategies, *Journal of Marketing Channels*, Vol. 16(3), pp.193-226.
- [65] Sterbenz, J.P.G., Hutchison, D., Cetinkaya, E.K., Jabbar, A., Rohrer, J.P., Scholler, M., and Smith, P.(2010), Resilience and survivability in communication networks: strategies principles and survey of disciplines. *Computer Networks*, Vol. 54(8), pp.1245-1265.
- [66] Serman, J.D.(1989), Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment, *Management Science*, Vol. 35, pp. 321-339.
- [67] Serman, J.D.(2000), *Business Dynamics: System thinking for a complex world*, Boston, McGraw-Hill.
- [68] Stoltz, P.G. (2004), *Building Resilience for Uncertain Times*, Wiley, Hoboken, NJ
- [69] Sutcliffe, K.M., and Vogus, T.J.(2003), *Organizing for resilience*. In: K.S. Cameron, J.E. Dutton and R.E. Quinn, eds. Positive organizational scholarship: foundations of a new discipline. San Francisco:

- Berrett-Koehler, pp.94-110.
- [70] Tang, C.S. (2006), Perspectives in supply chain risk management, *International Journal of Production Economics*, Vol. 103, pp.451-488.
- [71] Thomsen, J.S., Mosekilde, E., Sterman, J.D.(1992), Hyperchaotic phenomena in dynamic decision making. *System Analysis and Modeling Simulation*, Vol. 9, pp.137-156.
- [72] Tierney, K. and Bruneau, M.(2007), Conceptualizing and Measuring Resilience: A key to Disaster Loss Reduction, *TR News*, Vol. 250, pp. 14-17.
- [73] Trkman, P., McCormack, K.(2009), Supply Chain Risk in Turbulent Environments-A Conceptual Model for Managing Supply Chain Network Risk. *International Journal of Production Economics*, Vol. 199(2), pp.247-258.
- [74] Van der Vorst, J.G.A.G., Beulens, A.J.M.(2002), Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 32(6), pp.409-430.
- [75] Whitson, J.C., Ramires-Marquez, J.E.(2009), Resiliency as a component importance measure in network reliability. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 94, pp.1685-1693.
- [76] Willinger, W. and Doyle, J.(2002), *Robustness and the Internet: Design and Evolution*, Oxford University Press.



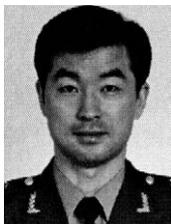
### 이영

육군사관학교 경영학과 학사  
국방대학교 국방관리학과 석사  
현재 : 국방대학교 국방관리대학원 국방관  
리학과 박사과정  
관심분야 : SCM(risk, resilience), supply  
chain design, 군수관리



### 문성암

연세대학교 경영학과 학사  
연세대학교 경영학과 석사  
연세대학교 경영학과 박사  
현재 : 국방대학교 국방관리대학원 국방관  
리학과 교수  
관심분야 : SCM(risk, resilience), BOM,  
재고관리, 시스템 다이내믹스



### 석순복

육군사관학교 무기공학과 학사  
국방대학교 무기체계학과 석사  
현재 : 국방대학교 국방관리대학원 국방관  
리학과 박사과정  
관심분야 : BOM, 시스템 다이내믹스, SCM

## 온실가스 배출량을 고려한 폐가전 수거물류 향상방향 연구\*

김원섭 · 김현수<sup>†</sup>

경기대학교 산업경영공학과

### A Study for Improving Reverse Logistics of End-of-Life Consumer Electronics Considering CO<sub>2</sub> Emission\*

Wonsob Kim · Hyunsoo Kim<sup>†</sup>

Department of Industrial & Management Engineering, Kyonggi University

The local government has the direct responsibility of reverse logistics over locally disposed end-of-life (EOL) consumer electronics (CE). In this study, the range of reverse logistics is set from the customer's EOL CE disposal site to the collection warehouse selected by the local government.

The system which measures the least greenhouse gas emission is analyzed as the most applicable reverse logistics for EOL CE based on the assumption that proper disposal information of EOL CE such as item type, quantity, location and weight are noticed in advance. For this, two heuristics such as shortest distance method and Sweep method are applied in this study. Also, 1 ton, 2.5 ton, and 2.5 & 1 ton transportation vehicles for reverse logistics are compared to calculate the greenhouse gas emissions.

The result of this study can be applied to initiate the research of environmentally friendly reverse logistics for EOL CE ranging fully from consumers to recycling centers via local government's collection place

**Keywords:** Reverse Logistics, EOL-CE(Consumer Electronics), Disposal Information, Greenhouse Gas Emission

#### 1. 서론

1992년 리우에서의 UN환경개발회의를 시작으로 교토의정서와 발리로드맵, 그리고 2010년 개최된 다보스 포럼과 APEC(Asia Pacific Economic Cooperation) 정상회담에서도

지구온난화 문제는 주요 의제로 채택되면서 전 세계적으로 기상 이변의 주된 원인 중 하나인 지구온난화 문제해결에 대한 관심이 집중되고 있다<표 1>(홍운선 외 3명, 2010, 녹색성장위원회, 2009).

국제적 차원의 지구온난화 대응을 위한 온실가스 감축규제가 지속적으로 강화됨에 따라 우리나라에서도 2012년 5월 14일 '온

\* 본 연구는 2013학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

<sup>†</sup> **Corresponding author:** Dept. of Industrial & Management Engineering, Kyonggi University, Suwon, Korea,

Tel: 82-31-249-9753 FAX : 82-31-244-3534 E-mail: hskim@kgu.ac.kr

2013년 4월 2일 투고, 4월 17일 게재 확정.

실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률안'이 국무회의를 통과하여 2015년 1월 1일부터 본격 시행될 예정이다. 따라서, 모든 기업은 온실가스 배출량 감축을 위한 강도 높은 대응전략의 수립 및 구체적인 실행방안이 필요한 상황이다.

특별히, 국내 냉장고, 세탁기, 에어컨, TV 등 4대 대형폐가전 발생량의 변화추이를 살펴보면 <그림 1>과 같다. 자원 빈약국인 우리나라에서는 증가하는 폐가전 발생량에 따라 도시광산 산업 활성화 방안 마련을 위해서라도 적절한 폐가전 수거물류 활동의 중요성이 커지고 있다(김현수, 2011).

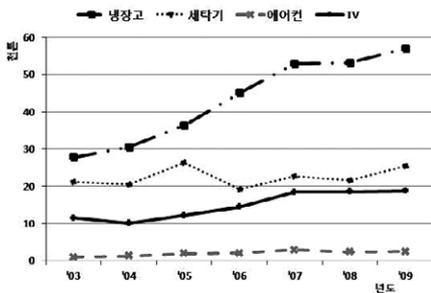


그림 1. 폐가전 4대 품목 발생량

국내에서 배출되는 폐가전의 수거물류 과정을 살펴보면 크게 두 개의 단계로 구성된다. 우선 1차 수거물류 단계는 <그림 2>와 같이 소비자가 폐기비용을 지불하고 폐가전을 배출하는 경우에 수거의무를 담당하는 지자체에서 직접 수거하여 해당 지자체 집하장까지 이동시키는 과정과 소비자가 신형 가전제품을 구입시 폐가전 배출을 희망하면 생산자는 무상으로 폐가전을 수거하여 해당 생산자 물류센터까지 이동시키는 과정으로 구성된다. 이후 2차 수거물류 단계는 배출된 폐가전의 1차 수거지(지자체 집하장과 생산자 물류센터)에서 해당권역을 담당하는 폐가전 재활용센

터(Recycling Center: 이하 RC로 명칭함)로의 이동으로 구성된다(장태우 외 1명, 2009).

류재환(2007)은 지방자치단체의 RC 및 생산자의 물류센터에서 폐가전제품을 수집하여 RC에 이르는 운송 네트워크를 연구범위로 하고, 운송거리와 RC 처리능력을 고려하여 수거경로를 재배치하는 연구를 수행하였다. 김현수 외 3명(2007)은 2차 수거물류 단계에서 신규 RC 입지선정 문제에 대해 수리모형을 적용하여, 총 운송비용을 최소화하는 RC 위치를 찾는 연구를 수행하였다.

허태영(2010)은 국내의 폐가전제품 재활용을 위한 2차 수거물류 단계에서 수거물류의 개선방안을 연구하여, 개선방안으로 공동 보관과 수송을 위한 중간집하장 도입에 따른 효과를 분석하였다. 또한, Kim et al.(2011)은 2차 수거물류 단계에서 현재 각 RC의 할당구역에 대한 문제점을 지적하고, 각 RC의 가동능력에 따른 제약조건을 고려하여 거리와 비용의 최소화 문제에 대한 연구를 수행하였다.

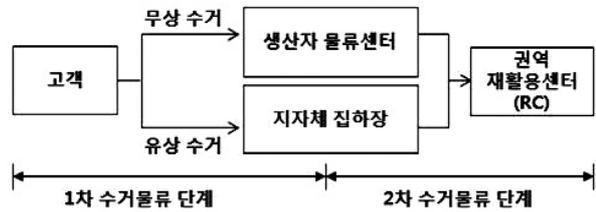


그림 2. 국내 폐가전 수거활동 범위

표 1. 국가간 기후변화 협약 체결 경과

Year	협약	주요내용
1992	리오 UN 환경개발회의 (기후변화협약)	- 기후변화에 관한 국제연합 협약(UNFCCC) <sup>1)</sup>
1997	교토의정서 채택	- 37개 선진국과 EU를 대상으로 온실가스 배출감축 협의
2001	마라케쉬 합의문 채택	- 교토의정서의 구체적 이행방안 마련 - 경제성장 감축목표 방안 제시
2005	교토의정서 발효	- 온실가스 감축 1차 의무공약기간('08~'12) 이행 준비 및 교토 메카니즘 활용
2007	발리로드맵	- 2009년 말까지 2013년 이후 온실가스 감축목표 설정

<sup>1)</sup> UNFCCC(United Framework Convention on climate Change) : "기후 변화에 관한 유엔 기본협약"으로 1992년 리우 정상회의에서 세계가 공동으로 기후변화에 대응하기 위한 목적으로 탄생.

※ 자료 : 녹색성장위원회(2009), "녹색성장 5개년 계획(2009~2013)"

최근까지의 국내 폐가전 수거물류에 관한 연구는 대부분 폐가전의 1차 수거지로부터 해당 RC로의 이동구간인 2차 수거물류 단계 활동에 국한되어 수행되고 있다. 그 이유는 소비자로부터 배출되는 폐가전의 내용, 물량, 위치 등 배출정보의 파악이 현실적으로 어려워 1차 수거물류 단계에 관한 연구가 불가능하기 때문이라고 판단된다.

그러나 2012년 6월에 서울시와 한국전자산업환경협회가 ‘대형폐가전 처리 협약’을 체결하고 소비자가 직접 인터넷을 통해 폐가전의 배출정보(위치, 품목, 수량, 무게 등)를 제공할 경우 직접 방문하여 배출을 희망하는 폐가전을 무상수거하는 서비스가 구축되어 본격적으로 폐가전에 관한 배출정보의 파악이 가능해짐에 따라 1차 수거물류 단계를 대상으로 한 본격적 연구가 가능해진 상황이다(폐가전 문전수거 서비스, 2012).

따라서 본 연구에서는 폐가전의 배출정보 파악이 가능한 상황을 가정하고, 사전에 파악된 폐가전 배출량에 따라 수거차량의 수거경로와 이에 기반한 차량의 최적크기 결정이 온실가스 배출량 감축에 어떤 효과를 미치는가에 대한 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 소비자로부터 배출되는 폐가전이 1차 수거지(지자체 집하장과 생산자 물류센터)까지 이동되는 1차 수거물류 단계 중 폐가비용을 지불하고 소비자가 배출하는 폐가전의 수거의무를 담당하는 지자체가 직접 수거하여 해당 지자체 집하장으로 이동시키는 수거물류 활동만을 연구범위로 제한하고, 이 과정에서 배출되는 온실가스 배출량을 최소화 하는 수거물류 활동의 향상방향을 연구하였다.

폐가전의 수거경로는 주어진 모든 도시를 한번씩만 경유하며 가장 짧은 경로를 찾는 TSP(Traveling Salesman Problem) 문제이다. 이에 관한 연구로는 지난 수십년간 Barach-and-

Bound 알고리즘, Dynamic Programming, Tabu Search, Genetic Algorithm등 여러 가지 방법론들이 제안되어 왔다. 하지만 그럼에도 불구하고 어떤 방법론이든 항상 최적의 해를 도출하는 것은 쉽지 않고, 적용하는데 있어서도 모두 장단점이 존재한다(Wang Hui, 2012).

따라서, 본 연구에서는 폐가전 수거를 담당하는 지자체의 수거물류 활동이 제한된 시간내에 근사해 도출이 가능하고, 비교적 적용이 편리한 2개의 휴리스틱 방법론(최단거리 이동법, Sweep 법)을 적용하였다(Ronald H. Ballou, 2003).

본 연구는 국내 폐가전의 1차 수거물류 단계에서 발생하는 온실가스 배출량을 최소화 하기 위해 발생하는 폐가전의 배출정보를 기반으로 한 수거물류 활동의 중요성을 분석하고, 지금까지 연구가 활성화 되지 못했던 폐가전 1차 수거물류 단계에 대한 연구기반을 제공하여 향후 국내 폐가전 수거물류 활동이 통합화된 환경에서의 연구 촉진화에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구내용

### 2.1 연구모형

본 연구는 2 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 폐가전 수거물류활동에서 최적의 차량크기 결정을 위해 보다 현실적인 연구환경을 가정하였다. 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 정의된 연구환경 가정하에서 2개의 휴리스틱 방법론(최단거리 이동법과 Sweep 법)을 적용한 수거경로에 따른 최적의 차량크기 결정을 비교 및 분석하였다(그림 3).

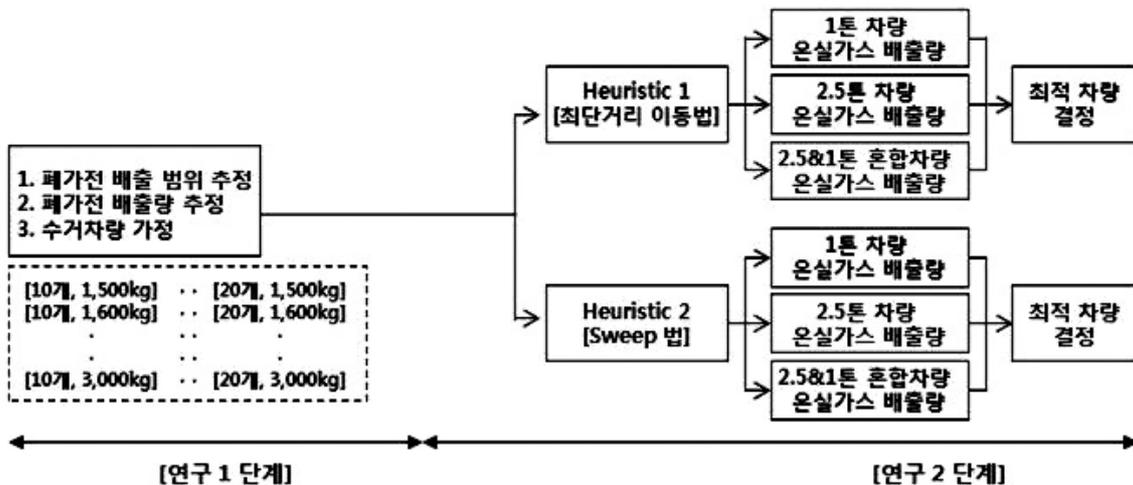


그림 3. 연구 모형

2.2 연구환경 설정

본 연구에서는 페르미 추정을 활용하여(Jonas et al. 2010) 배출된 폐가전의 수거의무를 직접 담당하는 지자체의 1차 수거물류 활동을 연구 대상범위로 규정하였다. 특정 지자체로는 서울시의 서초구를 선정하여 해당 지자체에서 발생하는 폐가전 배출량(한국전자산업환경협회, 2010)과 배출범위를 추정하여 보다 현실적인 연구환경하에서 1차 수거물류 단계에 관한 문제를 연구하였다.

(1) 특정지자체(예: 서초구) 폐가전 배출 범위 추정

- 서초구의 면적 : 47km<sup>2</sup>
- 서초구의 면적을 정사각형으로 가정하여 표현하면, 한변의 길이가 6.855km로 <그림 4>와 같이 폐가전의 배출범위를 가정하였다. 배출범위 안에서 배출된 폐가전이 수거되는 장소(수거지)는 100 곳이며, 이 중 하루에 10~20개의 수거지에서 폐가전이 배출된다고 가정하였다(그림 5).



그림 4. 폐가전 배출범위 추정(km)

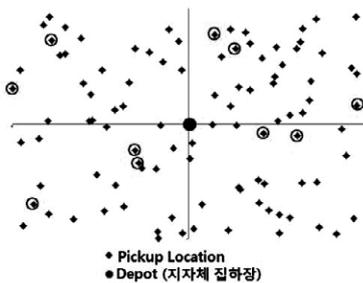


그림 5. 10개 수거지의 선택 방법

(2) 특정 지자체(예: 서초구) 폐가전 배출량 추정(행정안전부, 2010)

- 2009년 국내 대형 폐가전(냉장고, 세탁기, 에어컨, TV) 총 배출량: 103,493ton
- 2009년 하루당 폐가전 배출량: 103,493,000kg / 365일

=283,542kg/일

- 2009년 총 국내 인구수: 49,773,145명
- 2009년 국민 1인당 하루 폐가전 배출량: 283,542kg / 49,773,145명=0.00569kg
- 2009년 서초구 인구수: 425,481명
- 서초구에서 발생하는 하루당 폐가전 배출량: 0.00569kg×425,481명=2,423kg

추정 결과 특정 지자체(예: 서초구)의 하루 폐가전 배출량은 2,423kg으로 나타났으나, 추정값은 오차가 존재하므로 본 연구에서는 폐가전 배출량의 오차범위를 고려하여 하루당 10~20개의 수거지에서 총 1,500kg부터 3,000kg까지 폐가전이 배출된다고 가정하였다. 이때 개별 수거지의 배출량은 해당 범위내에서 무작위로 발생시켰다.

(3) 수거차량 가정

박영원(2007)의 기존문헌에 따르면 발생된 폐가전의 1차 수거물류 단계에서 사용되는 국내 폐가전 수거차량은 모두 1~3톤 크기의 트럭이며, 수거업체는 평균적으로 1.85대의 폐가전 수거차량을 보유하고 있다고 한다. 따라서, 본 연구에서는 폐가전 1차 수거물류 단계에서는 1톤 크기의 차량만을 사용하는 경우(CASE A)와 2.5톤 크기의 차량만을 사용하는 경우(CASE B), 2.5톤 차량을 우선 사용하고 1톤 차량을 사용하는 혼합의 경우(CASE C)인 3가지 방법을 사용할 수 있다고 가정하였다.

폐가전의 수거물류 활동에 따라 발생하는 온실가스 배출량은 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 가이드라인에서 제공하는 Tier 2 수준을 적용시켰다(환경부·환경관리공단, 2008). Tier 2 수준의 온실가스 배출량 산정 식은 아래와 같이 계산된다.

$$Emissions = \sum_a^E [Fuel_a \times EF_a]$$

$Emissions$  = CO<sub>2</sub> 배출량(kg)  
 $Fuel_a$  = 연료 a의 판매량  
 $EF_a$  = 배출계수(kg/TJ)  
 $a$  = 연료형태

아직까지 국가 배출계수가 존재하지 않아 정확한 Tier 2 수준이라고 하기에는 어려움이 있으나, 기존 문헌에서 제안한 1톤 차량의 적재비율에 따른 연비 변화를 참고하여(이태우 외 5명, 2011, 지식경제부, 2011) 본 연구에서는 보다 현실적인 연료 사용

량 기반의 온실가스 배출량을 산정하기 위해 수거차량의 적재비율에 따라 차별적 연비를 <표 2>와 같이 가정하였다.

표 2. 수거차량 사용 및 연비 적용방법

수거차량 구분	수거차량의 크기 및 사용방법	적재량(kg)	차별적 연비 (km/L)
CASE A	1톤 차량만을 사용	0~300	6.64
		300~900	6.45
		900~1,000	5.12
CASE B	2.5톤 차량만을 사용	0~750	5.56
		750~2,250	5.40
		2,250~2,500	4.29
CASE C	2.5톤 차량을 우선 사용하고, 1톤 차량을 사용	0~750	6.64
		750~2,250	6.45
		2,250~2,500	5.12
		0~300	5.56
		300~900	5.40
		900~1,000	4.29

### 2.3 수거경로 방법론

폐가전의 1차 수거물류 단계에서 발생하는 온실가스 배출량을 가급적 감축 시킬 수 있는 수거차량 의사결정 방법을 제안하기 위해서 우선적으로 특정 지자체의 100 개 수거지 중 하루에 10~20 개의 수거지에 대한 수거경로 결정이 필요하다. 폐가전 배출정보를 바탕으로 한 폐가전 수거경로 및 차량크기의 결정이 단 시간내에 수행되어야 하므로 본 연구에서는 근사해 도출을 위해 최단거리 이동법과 Sweep 법 두 개의 수거경로 방법론을 적용하고, 사용된 수거차량 CASE 별로 온실가스 배출량을 산정하였다.

최단거리 이동법은 현 수거지에서 가장 가까운 거리의 수거지로 이동하는 방법이고, Sweep 법은 1사분면을 출발점으로 반시계 방향으로 이동하며 각 수거지를 경유하는 방법이다. 각 수거경로 방법론을 설명하는 알고리즘은 아래 <그림 6>, <그림 7>과 같다.

두 가지 수거경로 방법론 모두 주어진 수거경로에 따라 폐가전 수거활동 중 수거한 배출량의 누적합이 수거차량의 용량을 초과할 경우, 해당 수거지에서 Depot 지점으로 우선 복귀하여 차량에 적재된 폐가전 물량을 하역 후, 재수거를 위해 돌아왔던 수거지로 다시 이동하는 제약이 존재한다.

국내 정보컨설팅업체의 발표에 따르면(Choi, 2007), 정보시스템 도입의 실패 또는 어려움을 발생시키는 요인으로 기업의 낮은

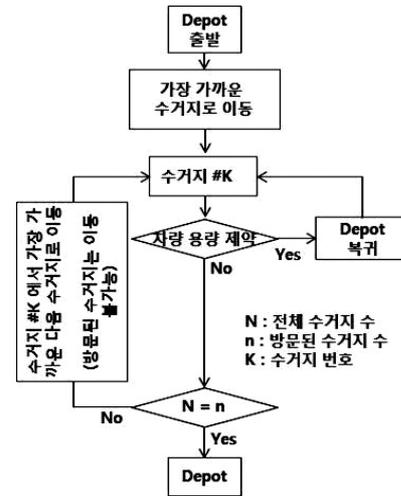


그림 6. 최단거리 이동법

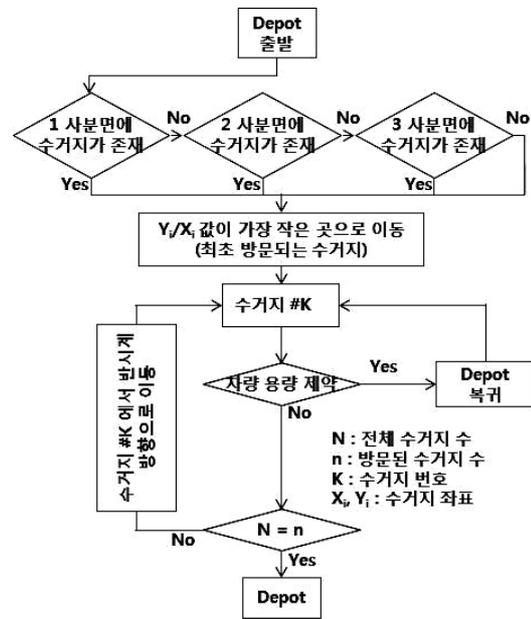


그림 7. Sweep 법

정보화 수준에 기인한다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 폐가전 수거경로 결정을 위해 기업 현장의 낮은 정보화 수준에서도 활용 가능한 Microsoft Excel의 VBA(Visual Basic Application)를 이용하였다.

본 연구에서 제안한 두 가지 수거경로 방법론을 적용하여 대표적으로 수거지 20개, 폐가전 배출량 1,500kg일 경우의 온실가스 배출량을 산정하면 다음 <표 3>과 같다.

### 3. 온실가스 배출량 비교분석 결과

본 연구에서는 폐가전 수거지가 10개, 11개, ..., 20개로 변화하고 폐가전 배출량은 1,500kg, 1,600kg, ..., 3,000kg로 변화되는 총 176(11×16) 가지 조합에 대해 분석하였고, 데이터의 신뢰도를 높이기 위해 각 실험을 30번씩 반복 수행하였다. 또한 30번씩 실험한 결과의 평균값을 통해 온실가스 배출량을 가장 최소화 하는 수거차량 사용방법에 대해 분석하였다. 그 결과는 <표 4>, <표 5>와 같다.

따라서 최단거리 이동법과 Sweep 법의 수거경로 결정 방법론에 따른 분석결과 폐가전 배출량이 1,500~2,500kg일 경우에는 대부분 CASE B(2.5톤 차량 사용)를 사용하는 것이 온실가스 배출량을 최소화 하는 것으로 분석되었다. 또한 폐가전 배출량이 2,500~3,000kg일 경우에는 대부분 CASE C(2.5톤 및 1톤 혼합 차량 사용)를 사용하는 것이 온실가스 배출량을 최소화 하는 것으로 분석되었다.

그러나, 불규칙적으로 CASE A(1톤 차량 사용)을 사용하는 것이 온실가스 배출량을 최소화 하는 경우도 발생하였는데, 그 이유는 특정 수거지에서 수거한 배출량의 누적합이 수거차량의 수거용량을 초과 할 경우, 해당 수거지에서 Depot로 일단 복귀하여 적재된 폐가전을 하역하고, 재수거를 위해 해당 수거지로 이동해야 하는 적재량에 대한 제약이 존재하기 때문으로 파악된다.

따라서, 폐가전 배출량을 2,500kg으로 고정하고, 수거지 수를 변동시킬 경우의 차량 CASE A와 CASE B의 온실가스 배출량을 분석한 결과 <그림 8>과 같이 나타났다. 동일한 방식으로, 폐가전 배출량을 3,000kg으로 고정하고, 수거지수를 변동시킬 경우, 차량 CASE A와 CASE C의 온실가스 배출량을 분석한 결과 <그림 9>와 같이 나타났다.

표 3. 수거경로 방법 및 수거차량 크기에 따른 온실가스 배출량 비교

[가정: 수거지 20개, 폐가전 배출량 1,500kg]

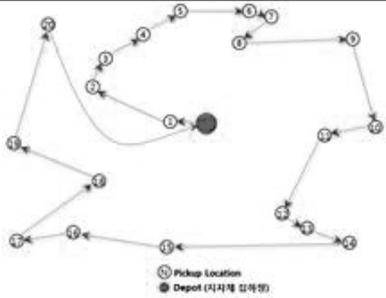
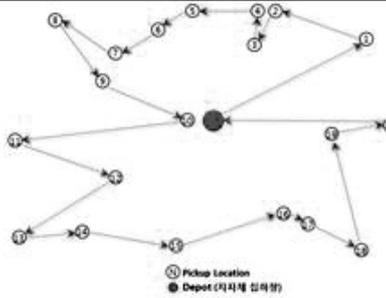
[20개, 1,500kg]	최단거리 이동법	Sweep 법
최적해 도출시간(Sec)	3.34	1.01
Depot 출발	출발	출발
첫 번째 수거지	수거지 20	수거지 69
두 번째 수거지	수거지 56	수거지 1
세 번째 수거지	수거지 75	수거지 85
⋮	⋮	⋮
열 여덟 번째 수거지	수거지 33	수거지 91
열 아홉 번째 수거지	수거지 11	수거지 87
스물 번째 수거지	수거지 12	수거지 54
Depot 복귀	복귀	복귀
총 이동거리	46,776km	49,099km
CASE A CO <sub>2</sub> 배출량	22,640 CO <sub>2</sub>	24,480 CO <sub>2</sub>
CASE B CO <sub>2</sub> 배출량	22,039 CO <sub>2</sub>	23,027 CO <sub>2</sub>
CASE C CO <sub>2</sub> 배출량	22,039 CO <sub>2</sub>	23,027 CO <sub>2</sub>
수거경로		

표 4. 수거지 및 폐가전 배출량에 따른 수거차량 결정(최단거리 이동법)

최단거리 이동법		수거지 수												
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
폐가전 배출량	1,500	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	1,600	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	1,700	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	1,800	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	1,900	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,000	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,100	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,200	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,300	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,400	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,500	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,600	C	C	C	C	C	A	A	A	C	A	A	A	A
	2,700	C	C	A	C	C	A	A	C	A	A	A	A	A
	2,800	C	C	C	C	C	A	C	C	C	A	C	C	C
	2,900	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3,000	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
CASE A: 1톤 차량 사용		CASE B: 2.5톤 차량 사용					CASE C : 2.5톤 및 1톤 혼합 차량 사용							

표 5. 수거지 및 폐가전 배출량에 따른 수거차량 결정(Sweep 법)

Sweep법		수거지 수												
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
폐가전 배출량	1,500	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	1,600	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	A	A
	1,700	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B
	1,800	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	1,900	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,000	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,100	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,200	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,300	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,400	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,500	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	2,600	C	C	C	C	C	A	C	C	C	C	C	A	A
	2,700	C	C	C	C	C	C	C	A	C	C	C	A	A
	2,800	C	C	C	C	C	A	A	C	A	C	C	A	A
	2,900	C	C	C	C	C	C	C	A	A	C	C	A	A
3,000	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	C	C	C	
CASE A: 1톤 차량 사용		CASE B: 2.5톤 차량 사용					CASE C : 2.5톤 및 1톤 혼합 차량 사용							

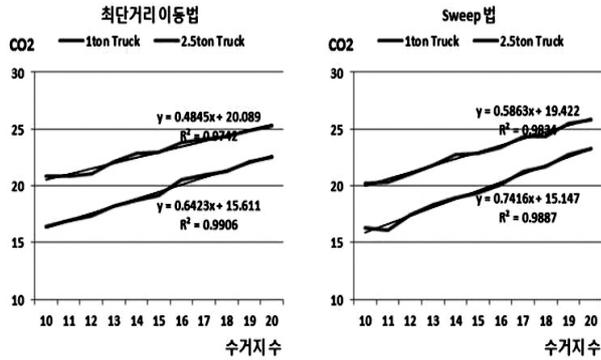


그림 8. CASE A, B 온실가스 배출량 비교[배출량 2,500kg]

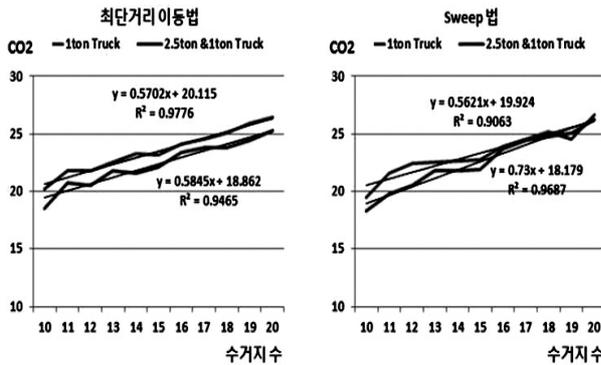


그림 9. CASE A, C 온실가스 배출량 비교[배출량 3,000kg]

〈표 4〉와 〈표 5〉를 살펴보면 수거지수가 증가 할수록 CASE A(1톤 차량 사용)의 선택빈도가 높아지는 것을 확인 할 수 있다.

즉, 〈그림 8〉과 〈그림 9〉와 같이 수거지수가 증가 할수록 특정 수거지와 Depot의 거리가 짧아질 확률이 증가한다는 것을 의미한다. 또한, 수거지 수가 증가 할수록 CASE A 차량을 선택하는 것이 온실가스 배출량이 최소화 된다는 것을 파악할 수 있다.

따라서 수거차량의 적재량을 초과하는 특정 수거지와 Depot의 거리가 짧을수록 CASE A 차량을 사용하는 것이 더 바람직하며, 특정 수거지와 Depot의 거리가 멀어질수록 CASE B 또는 CASE C 차량을 사용하는 것이 효율적이라는 것을 알 수 있다.

연구결과 온실가스 배출량을 최소화하는 수거차량의 선택은 수거지 수와 폐가전 배출량, 차량선택에 따라서 상이하므로, 폐가전 배출정보를 사전에 파악하고 효율적으로 활용하는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다. 또한, 한 종류의 차량만을 사용하는 것보다는 다종의 수거차량을 사용하여 폐가전 수거물류 활동을 실시하는 것이 더 바람직하다는 것을 알 수 있다. 이는 현재 1차 수거물류 단계에서 폐가전 수거물류 활동을 수행하는 국내업체의 수거차량 평균대수가 1대~2대 이므로, 1톤 차량과 2.5톤 차량을 혼합하여 사용하는 것이 더 바람직한 방법임을 의미한다.

#### 4. 결론

본 연구의 첫번째 단계에서는 소비자로부터 배출되는 폐가전의 직접적 수거의무를 담당하는 지자체를 주체로하여 지자체내에서 매일 발생하는 폐가전의 배출정보(위치, 품목, 수량, 무게 등)가 사전에 확보될 수 있는 환경을 가정하였다. 두번째 단계에서는 첫번째 단계의 환경에서 최단거리 이동법과 Sweep 법을 적용한 수거경로에 따라 발생하는 온실가스 배출량을 최소화하기 위한 수거차량 크기(CASE 별)에 대해 비교분석 연구를 수행하였다.

최근에 서울시가 시행한 폐가전 무상수거 시스템과 같이 소비자로부터 배출되는 폐가전 배출정보를 파악 할 수 있다면, 현재 사용되고 있는 고정된 수거경로 및 수거차량의 사용보다는 본 연구에서 제안하는 수거경로 방법론과 수거지 수 및 수거지 별 폐가전 배출량에 따른 수거차량 크기 결정방법을 사용하는 것이 1차 수거물류 단계에서 발생하는 온실가스 배출량을 최소화할 수 있는 방법으로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 의의는 지금까지는 폐가전의 배출정보 파악이 불가능하여 연구가 수행되지 못했던 최초 소비자의 배출지에서 폐가전을 수거하여 지자체 집하장으로 옮기는 1차 수거물류 단계의 연구영역에 관해 본격적인 연구의 시도에 의의가 있다. 또한, 온실가스 배출량 산정시 수거차량의 적재량에 따른 차별적 연비를 적용하여 좀더 현실적인 연료사용량을 산정하여 IPCC의 Tier 2 수준에 근접한 온실가스 배출량 산정을 시도했다는데 의의가 있다.

향후 연구과제로는 본 연구에서 적용한 연구환경(특정 지자체의 총 수거지 수, 하루 폐가전이 배출된 수거지수)을 좀더 현실화한 환경을 기반으로 한 연구가 필요하며, 수거차량의 적재량뿐만 아니라 교통상황, 도로의 노면상태, 운전자의 습관, 날씨 등을 추가적으로 고려한 연비산정을 적용한 연구가 수행되어야 할 필요가 있다. 또한, 특정 수거지에서 Depot로의 복귀거리에 따라 수거차량 크기의 선택이 달라지는 전환점 거리에 대한 좀더 구체적인 연구가 수행 될 필요가 있다.

#### 참고 문헌

- [1] 김현수(2011), “폐가전제품 회수물류 단계별 RFID 정보체계 연구”, 로지스틱스연구, 제19권, 제3호, pp.37-54.
- [2] 김현수 · 류재환 · 홍민선 · 임석철(2007), “폐가전제품 회수물류 네트워크 최적화”, 산업공학, 제20권, 제1호, pp.154~161.
- [3] 녹색성장위원회(2009), “녹색성장 5개년계획과 국가전략

- (2009~2013)".
- [4] 류재환(2007), 폐가전제품 회수 물류체계 효율화 연구, 아주대학교 대학원 석사학위 논문.
- [5] 박영원(2007), 재활용정책의 개선방안, *한국구매조달학회지*, 제6권, 제1호, pp.57~82.
- [6] 이태우 · 길지훈 · 전상진 · 박준홍 · 이종태 · 홍지형(2011), "소형 화물 차량의 적재량이 가속 주행시의 연비 및 오염물질 배출에 미치는 영향", *한국자동차공학회논문집*, 제19권, 제2호, pp.133~141.
- [7] 장태우 · 김현수(2009), 가전산업 회수물류 현황 분석 및 선진화 방안 연구, *한국SCM학회지*, 제9권, 제1호, pp.117-126.
- [8] 지식경제부(2011), 2011년도 에너지총조사 보고서.
- [9] 폐가전 문전 수거 서비스(2012), www.edtd.co.kr.
- [10] 한국전산산업환경협회(2010), 전자산업환경협회 10년사.
- [11] 허태영(2010), "중간집하장을 고려한 폐가전제품 회수물류 최적화 모형", 경기대학교 대학원 박사학위논문.
- [12] 홍운선 · 김선우 · 박연숙 · 김재오(2010), "온실가스 감축구제가 중소기업에 미치는 영향에 관한 연구", 중소기업연구원.
- [13] 행정안전부(2010), 주민등록인구통계 주민등록 인구 및 세대 현황.
- [14] 환경부 · 환경관리공단(2008), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인, 제2권, 에너지.
- [15] Choi, S.H.(2007), MES Benchmarking Report, Doosan IT BU Consulting Team, 2-11
- [16] Hui, W.(2012), "Comparison of several intelligent algorithms for solving TSP problem in industrial engineering", *system engineering Procedia*, Vol.4(2), pp.226-235.
- [17] Jonas, B.A. and Christer, B. (2010), "On the use of realistic fermi problems for introducing mathematical modelling in school", *The Montana Mathematics Enthusiast*, Vol.6(3), pp.331-364.
- [18] Kim, H.S., Yang, J.H. and Lee, K.D.(2011), "Reverse logistics using a multi-depot VRP approach for recycling end-of-life consumer electronic products in South Korea", *Sustainable Transportation*, Vol.5(5), pp.289-318.
- [19] Ronald H. Ballou.(2003), Business Logistics Management(5th Edition), CPRENTICE-HALL.



**김 원 섭**

경기대학교 산업경영공학과 학사  
 현재 : 경기대학교 산업경영공학과 석사과정  
 관심분야 : e-SCM, Reverse Logistics,  
 Operation Research



**김 현 수**

성균관대학교 산업공학과 학사  
 The Ohio State University 산업공학과 석사  
 The Ohio State University 산업공학과 박사  
 현재 : 경기대학교 산업경영공학과 교수  
 관심분야 : e-SCM, Reverse Logistics,  
 Production System

# 유전알고리즘 접근법을 이용한 역물류 네트워크 평가\*

윤영수<sup>†</sup>

조선대학교 경상대학 경영학부

## Evaluating Reverse Logistics Networks using Genetic Algorithm Approach\*

YoungSu Yun<sup>†</sup>

Division of Business Administration, Chosun University

The objective of this paper is to compare two types of reverse logistics networks using genetic algorithm (GA) approach. Reverse logistics network with decentralized centers (RLNDC) and reverse logistics network with centralized centers (RLNCC) are considered. The former allows multiple collection centers, recovery centers, redistribution centers, and secondary markets in reverse logistics networks, whereas, the latter considers single collection center, recovery center, redistribution center, and secondary market in reverse logistics networks. The mathematical models for the RLNDC and RLNCC are developed and each model is programmed and evaluated by GA approach. Finally, the RLNCC outperforms the RLNDC by means of various measures of performance.

**Keywords:** reverse logistics network, collection center, recovery center, remanufacturing center, secondary market, genetic algorithm

### 1. 서론

일반적으로 물류 네트워크는 다단계로 구성되어 지는 경우가 대부분이다. 즉 생산된 제품이 최종소비자에게 전달되기 위해서는 원자재(Raw Material) → 제품생산(Manufacturing) → 물류센터(Distribution Center) → 소매점(Retailer) → 고객(Customer)의 단계를 따르며, 고객으로부터 사용되어진 후 회수

되는 제품은 고객(Customer) → 수집센터(Collection Center) → 회복센터(Recovery Center), 리사이클링 센터(Recycling Center) 혹은 폐기(Disposal) → 재분배센터(Re-distribution Center) → 1차 시장(Primary Market) 혹은 2차 시장(Secundary Market)의 단계를 거쳐 처리되어지는 것이 일반적이다. 여기에서 전자를 순방향물류(Forward Logistics)라고 하며, 후자를 역방향물류 혹은 역물류(Reverse Logistics)라고 부른다.

\* 본 연구는 2011년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

<sup>†</sup> **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

2013년 4월 2일 투고, 4월 23일 수정본 접수, 5월 6일 게재 확정.

순방향물류의 경우 과거부터 많은 연구자들의 관심을 받아왔고 네트워크 각 단계에 대해 이미 많은 연구들이 진행되었다 (Morris 1980; Holland 1995; Ghiassi and Spera 2003; Hung et al. 2004; Giannakis and Louis 2011). 하지만 역물류의 경우 James(1974)에 의해 처음으로 그 개념이 정립된 이후 구체적인 역물류 네트워크 설계는 1980년대 말까지 주목할 만한 연구가 진행되지 않았다. 이는 역물류 네트워크가 순방향 물류 네트워크보다 구축비용 측면에서 2-3배 더 많이 들며 (Min 1989; Jayaraman et al. 2003), 더욱 복잡하고(Rogers 1999; Amini, 2005) 효율적인 역물류 네트워크 설계에 대한 타당성 및 필요성을 기업이나 고객이 그 당시까지도 인식하지 못했다는 점이다. 하지만 최근에 들어 각국 정부는 생산된 제품에 관한 다양한 규제(예를 들어, 고객이 사용한 제품에 대해 제조자의 강제회수제도, 재활용 가능한 제품의 생산 장려, 폐기제품의 축소 등)와 환경규제를 강화하여 제품을 생산하는 기업과 생산된 제품을 사용하는 고객이 역물류에 대한 인식변화가 생기게 되었다. 특히 기업측면에서는 순방향물류 네트워크에 비해 역물류 네트워크 구축은 기업의 또 다른 경쟁력 확보측면에서 유리하고, 폐기처분 및 재사용 등을 통해 자사가 생산한 제품에 대해 그 제품의 수명이 다할 때까지 책임을 진다는 측면을 고객에게 강조할 수 있기 때문에 궁극적으로 자사의 이미지 상승효과를 기대할 수 있다 (Min 1989).

이상과 같이 역물류에 대한 최근의 관심증대는 이 분야를 연구하는 학자들에게 새로운 연구기회를 제공해 주는 계기가 되었다. 특히 순방향물류 네트워크에 비해 각 단계가 더 복잡한 역물류 네트워크를 효율적으로 설계하기 위한 연구들이 최근에 몇몇 학자들에 의해 진행되었다 (Krikke et al. 1999; Jayaraman et al. 2003; Min et al. 2006; 김재동 등 2007; Srivastava 2007, 2008; Lee et al. 2009; 나호영, 이상현 2009; 임예지, 정봉주 2012). 역물류 네트워크 설계에 관한 대표적인 국내외 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

국내연구의 경우, 김재동 등 (2007)은 고객으로부터 수집된 사용 후 제품은 수집센터로 보내어 지며, 이러한 수집활동에 투입되는 차량의 적재용량을 고려하여 최단거리로 사용 후 제품을 수집하기 위한 역물류 문제를 다루었다. 하지만 이 연구에서는 수집된 제품을 단지 수집센터로만 수송하는 문제만을 다루고 있으며 일반적으로 역물류에서 발생하는 다양한 단계들, 예를 들어 회복센터, 리사이클링 센터, 재분배센터 등은 고려하지 않았다는 한계점이 있다. 나호영, 이상현(2009)은 고객으로부터 회수된 제품은 중앙반품수집센터 (Centralized Returns Collection Center)로 보내어 지며, 여기서는 분류, 재처리 및 가공을 거쳐 재사용되는 제품은 분배센터, 소매점으로 보내어 지고, 그러지 않은 제품은 폐기되는 역물류 모델을 제안하였다. 이 모델에서는 중앙반품수

집센터가 수집된 제품의 분류, 가공, 처리 등 대부분의 작업을 전담하는 기능을 가지고 있는 것이 특징이다. 임예지, 정봉주(2012)는 고객으로부터 수집된 제품은 수집센터로 보내어 지고, 수집센터에서는 분류를 거쳐 재수리 및 가공이 필요한 제품은 재제조센터(Remanufacturing Center)로 보내어 지며, 재제조센터에서 수리(혹은 가공)된 제품은 1차 혹은 2차 시장으로 보내어 진다. 수집센터에서 분류 후 더 이상의 사용가치가 없는 제품은 폐기되는 역물류 네트워크를 다루었다.

국외연구의 경우, Krikke et al.(1999)는 고객으로부터 회수되는 제품은 일반적인 역물류 네트워크를 따르며, 회복센터를 재제조센터와 리사이클링센터(Recycling Center)로 구분하였고, 회복이 불가능한 제품에 대해서는 폐기하도록 결정하는 네트워크를 설계하였으며, 이를 수리모델로 구축하여 해결하였다. 구축된 수리모델에서는 고객에서 수집센터로 수송되는 비용, 재제조센터 및 리사이클링센터의 투자비용 및 제품처리비용, 재분배센터에서 2차시장으로 수송되는 비용을 고려하였다. 하지만 재제조센터 및 리사이클링센터에서 재분배센터로 수송되는 경우에 발생하는 비용은 고려하지 않은 단점이 있다. Min et al. (2006)의 연구에서는 회수제품(Product Returns)에 대한 역물류 네트워크를 수리모델로 구축하여 이를 유전알고리즘(Genetic Algorithm: GA)을 이용해 해결하였다. 여기서 연구자들은 고객으로부터 회수되는 제품을 초기수집지점(Initial Collection Point)를 거쳐 중앙회수센터(Centralized Return Center)에서 분류한 후 사용 가능한 제품(Defect-free Products) 들은 재포장 (Repacking) 혹은 재상표부착 (Relabeling)을 한 후 초기수집지점으로 수송하고, 수리가 필요한 제품들은 제조시설 및 수리시설로 보내는 네트워크를 설계하였다. 하지만 설계한 네트워크에서는 제조시설 및 수리시설을 거친 제품이 고객에게 재판매 되는 경우와 구축된 수리모델에서 중앙회수센터의 운영비용(예를 들어 고정비용, 변동비용 등)을 고려하지 않은 단점이 있다.

Srivastava (2008)는 역물류 네트워크에서 고객은 재사용이 가능한 제품을 수집센터로 보내고, 그렇지 않은 제품, 즉 폐기 처분할 제품은 폐기처분센터로 보내는 두가지 경우를 고려하였다. 또한 수집센터로 보내어진 제품은 회복센터(이 센터는 수리(Repair, Refurbishing)센터, 재제조센터로 나누어 진다)를 거쳐 1차시장과 2차시장으로 수송되는 네트워크를 제시하였다. 고객으로부터 회수되는 제품의 재사용 혹은 폐기처분 여부는 수집센터에서 결정되는 것이 일반적(Krikke et al. 1999; Min et al. 2006)인데 Srivastava (2008)의 연구는 이를 수집센터가 아닌 고객이 직접 그 여부를 결정하는 것이 특징이다. 하지만 Srivastava (2008)의 연구는 이러한 복잡한 역물류 네트워크에서 단지 수집센터 및 회복센터의 수와 그 위치만을 결정하는 단순

한 모델만을 제시하였다. 즉 회복센터를 거친 제품이 재분배센터와 1차 혹은 2차시장으로 수송되는 경우는 고려하지 않은 단점이 있다.

이상의 국내의 역물류 관련 기존 연구들을 살펴보면 다음의 두 가지 특징을 확인할 수 있다.

첫째, 고객으로부터 수집된 사용 후 제품이 수집센터 → 회복센터, 재제조센터, 리사이클링센터, 혹은 폐기 → 재분배센터 → 1, 2차시장 등으로 이어지는 역물류 네트워크 전체 단계를 고려하는 연구는 극히 일부분이며, 대부분의 연구들이 전체 단계 중에서 일부의 단계만을 주로 고려하여 연구를 진행하였다.

둘째, 역물류 네트워크 각 단계별로 발생하는 비용을 고려하여 이를 최적화시키는 방향으로 기존연구가 주로 이루어 졌지만, 각 단계에서 발생하는 다양한 비용(예를 들어, 고정비용, 변동비용, 제품처리비용 등)을 함께 고려하지 않고 일부만을 고려한 연구들이 많았다.

이상과 같이 분석된 기존 연구들의 적용상의 한계점을 극복하기 위해 본 연구에서는 역물류 네트워크 전체 단계와 각 단계에서 발생하는 다양한 비용을 함께 고려한 연구를 진행하고자 한다. 또한 역물류 네트워크는 NP-complete 문제(Schrijver 2003; Min et al. 2006)로 알려져 있어서 효율적인 해를 구하는데 기존의 접근법으로는 적용이 곤란한 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기존 접근법의 적용상의 한계점을 극복할 수 있는 GA 접근법을 제안한다. GA 접근법은 기존의 많은 연구들을 통해 NP-complete 문제를 해결하는데 있어서 우수한 접근법 중의 하나로 알려져 있으며(Min et al. 2006), 특히 역물류와 같이 네트워크 형태로 표현되는 문제들에 있어서 그 최적해 혹은 근사최적해를 비교적 빠르게 구할 수 있는 장점을 가지고 있다 (Lee et al. 2009; Yun et al. 2009; Yun and Moon 2011).

본 연구에서 고려하는 역물류 네트워크는 고객으로부터 회수되는 제품이 재생 후 재사용하기 위한 목적으로 구축되며, 그 단계는 수집센터 → 회복센터 → 재분배센터 → 2차시장으로 연결되는 4단계 구조를 가지고 있다. 이러한 역물류 네트워크를 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차 시장이 각 단계에서 각각 1개만을 가지는 집중형센터를 가진 역물류 네트워크 (Reverse Logistics Network with Centralized Centers: RLNCC)와 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차 시장이 각 단계에서 1개 이상을 가질 수 있는 분산형센터를 가진 역물류 네트워크 (Reverse Logistics Networks with Decentralized Centers: RLNDC)로 구분하여 그 성능을 비교, 평가하고자 한다. 또한 각 단계에서 현실적으로 고려되어야 하는 다양한 제약조건을 바탕으로 단계별 수송비용, 고정비용, 변동비용의 총합을 최소화하는 수리모델을 RLNCC와 RLNDC 각각에 대해 구축하며, 이들 수리모델들은

GA접근법을 이용하여 실행되고 그 실행결과는 다양한 수행도 평가기준에 의해 비교, 분석 및 평가되어 최적의 역물류 네트워크를 선정하게 된다.

## 2. RLNCC와 RLNDC 설계

본 연구에서 고려할 역물류 네트워크는 RLNCC와 RLNDC이다. 먼저 각 역물류 네트워크 상황을 정확히 정의할 필요가 있다. <그림 1>, <그림 2>는 본 연구에서 고려하는 역물류 네트워크들의 개념적 모델이다.

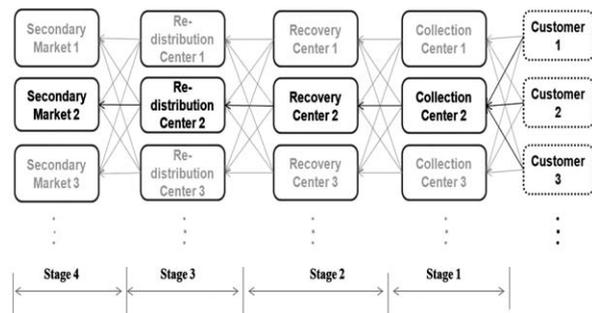


그림 1. 본 연구에서 고려하는 RLNCC 개념도

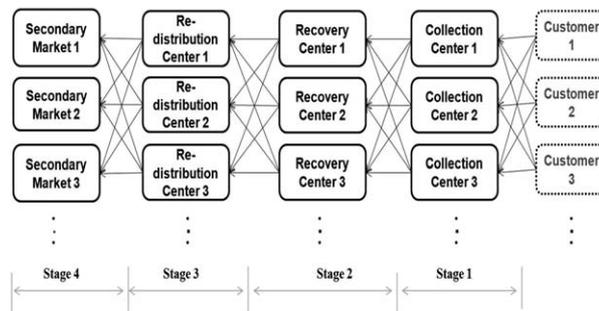


그림 2. 본 연구에서 고려하는 RLNDC 개념도(Yun et al, 2013)

<그림 1>의 RLNCC의 경우, 고객으로부터 수집된 사용 후 제품은 다수의 수집센터 중에서 오직 한 군데의 수집센터로만 수송되며, 수집센터로부터 회복센터 → 재분배센터 → 2차 시장으로 수송하는 경우에도 각 단계에서 오직 한 군데만 운영되는 형태를 지니게 된다. 각 단계에서 한 군데의 수집센터, 회복센터, 재분배센터 및 2차시장의 결정은 단계별 수송비용, 고정비용, 변동비용의 총합을 고려하여 가장 우수한 한 곳을 선정하게 된다. <그림 2>의 RLNDC의 경우, 고객으로부터 수집된 사용 후 제품은 한 군데 이상의 수집센터로 수송되며, 수집센터로부터 회복센터 → 재분배센터 → 2차 시장으로 수송하는 경우에도 각 단계에서 한

군데 이상이 운영되는 형태를 지니게 된다. 각 단계에서 한 군데 이상의 수집센터, 회복센터, 재분배센터 및 2차시장의 결정은 단계별 수송비용, 고정비용, 변동비용의 총합을 고려하여 선정하게 된다. RLNCC와 RLNDC 구축을 위해 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 고객으로부터 회수하는 제품이 각 수집센터로 효율적으로 보내어 지기 위해서는 수집센터의 위치와 수가 적절한 방법으로 결정되어야 한다. 또한 제품의 재생, 분배 및 판매를 위해 필요한 시설인 회복센터, 재분배센터 및 2차시장의 위치 및 수도 결정되어야 한다.
- 결정된 수집센터, 회복센터, 재분배센터 및 2차시장을 개설하는데 투입되는 비용(고정비)과 단위당 제품을 처리하는데 필요한 비용(변동비)이 결정되어야 한다.
- 각 단계별 (수집센터 → 회복센터 → 재분배센터 → 2차시장)로 제품을 운송하는데 필요한 단위당 수송비가 결정되어야 한다.

### 3. 수리모델 개발

수리모델 개발에 앞서 본 연구에서 제시된 RLNCC와 RLNDC 설계시 고려되는 가정을 설정하면 다음과 같다.

- 본 연구는 단일제품에 대한 역물류 네트워크만을 고려하며, 고객으로부터 회수되는 사용후 제품은 고객별로 1개씩만 회수되는 구조를 가지고 있다. 따라서 고객의 용량은 1로 한정한다.
- RLNCC 모델의 경우 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장은 각 단계에서 오직 한군데만 개설되며, RLNDC의 경우 복수의 개설을 허용한다.
- 각 단계에서 제품을 다음단계로 보낼 때 각 센터는 자신이 보유한 전체수량을 다음단계의 특정 센터 혹은 2차시장 한 곳으로 전부 보내야 하며, 전체수량의 일부를 타 센터로 분산하여 보낼 수 없다
- 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장의 위치는 좌표로 표시되며, 모든 좌표값은 사전에 알려져 있다.
- 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장의 개설에 필요한 비용(고정비)은 각각 다르며 사전에 알려져 있다.
- 같은 단계 내에서 단위당 제품 처리비용(변동비)은 동일하다. 예를 들어 회복센터가 네 군데 개설된다고 가정할 때, 이 네 군데에서 처리되는 단위당 제품 처리비용(변동비)은 전부 동일하다.

- 각 단계간 단위당 제품 수송비용은 개설되는 센터 및 2차시장들의 위치좌표를 기준으로 그 거리를 계산하여 결정된다. 예를 들어 회복센터 1의 좌표위치가 (1, 2)이고 재분배센터 1의 좌표위치가 (3, 4)라고 할 때 회복센터 1에서 재분배센터 1까지의 단위당 제품 수송비는 유클리디안 거리(Euclidian distance)를 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$\sqrt{|1-3|^2 + |2-4|^2} = 2.83 \quad (1)$$

- 각 단계별로 개설되는 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장의 수에 관계없이 각 단계별 허용용량의 합은 전부 동일하다. 예를 들어 고객 10명으로부터 회수되는 제품이 도달하는 다음단계인 수집센터가 5개 개설된다면 이들 5개의 수집센터의 용량 총합은 10이 되며, 그 다음단계에서 개설되는 회복센터가 2개일 경우 이들 2개의 회복센터 용량의 총합은 10이 된다.

이상과 같은 가정에 근거하여 RLNCC와 RLNDC를 위한 수리모델을 개발한다. 본 연구는 각 단계별로 발생하는 고정비용, 변동비용, 수송비용의 총합을 최소화 할 수 있는 최적네트워크 설계가 궁극적인 목표라고 할 수 있겠다. 따라서 이러한 총비용 최소화를 목적함수로 설정한다. 설정된 목적함수를 최적화하기 위해 각 단계별 다양한 제약조건들을 고려하여야 한다. 먼저 목적함수와 제약조건들에서 사용되는 모수 및 변수를 설정한다.

색인:

- $i$ : 고객 ( $i \in I$ )
- $j$ : 수집센터 ( $j \in J$ )
- $k$ : 회복센터 ( $k \in K$ )
- $l$ : 재분배센터 ( $l \in L$ )
- $m$ : 2차시장 ( $m \in M$ )

파라미터:

- $FCC_j$ : 수집센터  $j$ 의 고정비용
- $FRC_k$ : 회복센터  $k$ 의 고정비용
- $FDC_l$ : 재분배센터  $l$ 의 고정비용
- $FSM_m$ : 2차시장  $m$ 의 고정비용
- $HCC$ : 수집센터의 단위당 처리비용
- $HRC$ : 회복센터의 단위당 처리비용

$HDC$  : 재분배센터의 단위당 처리비용  
 $HSM$  : 2 차시장의 단위당 처리비용  
 $CTC_{ij}$  : 고객  $i$  에서 수집센터  $j$  로 보내는 단위당 수송비용  
 $CTR_{jk}$  : 수집센터  $j$  에서 회복센터  $k$  로 보내는 단위당 수송비용  
 $RTD_{kl}$  : 회복센터  $k$  에서 재분배센터  $l$  로 보내는 단위당 수송비용  
 $DTS_{lm}$  : 재분배센터  $l$  에서 2 차시장  $m$  으로 보내는 단위당 수송비용  
 $CC_i$  : 고객  $i$  의 용량

$$\sum_k r_k - \sum_l d_l = 0 \quad (4)$$

$$\sum_l d_l - \sum_m s_m = 0 \quad (5)$$

$$\sum_j x_j^C = 1 \quad (6)$$

$$\sum_k x_k^R = 1 \quad (7)$$

$$\sum_l x_l^D = 1 \quad (8)$$

$$\sum_m x_m^S = 1 \quad (9)$$

$$x_j^C = \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (10)$$

$$x_k^R = \{0, 1\} \quad \forall k \in K \quad (11)$$

$$x_l^D = \{0, 1\} \quad \forall l \in L \quad (12)$$

$$x_m^S = \{0, 1\} \quad \forall m \in M \quad (13)$$

$$c_j, r_k, d_l, s_m \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L, \forall m \in M \quad (14)$$

의사결정변수:

$c_j$  : 수집센터  $j$  의 수집용량  
 $r_k$  : 회복센터  $k$  의 처리용량  
 $d_l$  : 재분배센터  $l$  의 처리용량  
 $s_m$  : 2 차시장  $m$  의 처리용량  
 $x_j^C = \begin{cases} 1, & \text{수집센터 } j \text{ 가 개설될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$   
 $x_k^R = \begin{cases} 1, & \text{회복센터 } k \text{ 가 개설될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$   
 $x_l^D = \begin{cases} 1, & \text{재분배센터 } l \text{ 이 개설될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$   
 $x_m^S = \begin{cases} 1, & \text{2차시장 } m \text{ 이 개설될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$

위에서 설정된 파라미터, 의사결정변수를 이용하여 수리모델을 개발하면 다음과 같다.

RLNCC 수리모델

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & \sum_i \sum_j CTC_{ij} \cdot CC_i \cdot x_j^C + \sum_j FCC_j \cdot x_j^C + \\ & HCC \cdot \sum_j c_j \cdot x_j^C + \sum_j \sum_k CTR_{jk} \cdot c_j \cdot x_k^R + \\ & \sum_k FRC_k \cdot x_k^R + HRC \cdot \sum_k r_k \cdot x_k^R + \\ & \sum_k \sum_l RTD_{kl} \cdot r_k \cdot x_l^D + \sum_l FDC_l \cdot x_l^D + \\ & HDC \cdot \sum_l d_l \cdot x_l^D + \sum_l \sum_m DTS_{lm} \cdot d_l \cdot x_m^S + \\ & \sum_m FSM_m \cdot x_m^S + HSM \cdot \sum_m s_m \cdot x_m^S \end{aligned} \quad (2)$$

Subject to

$$\sum_j c_j - \sum_k r_k = 0 \quad (3)$$

수식(2)의 목적함수는 각 단계에서 발생하는 고정비용, 변동비용, 단계간 수송비용의 총합을 최소화하고 있다. 또한 수집센터, 회복센터, 재분배센터 및 2차시장의 처리용량을 결정하는 변수와 개설여부를 결정하는 변수가 함께 사용되어 비선형(Nonlinear) 형태를 띠고 있다. 의사결정변수인 수식 (3)은 모든 수집센터의 수집량의 합은 다음 단계인 회복센터의 모든 처리용량의 합과 같아야 한다는 제약이다. 같은 방법으로 수식 (4)과 (5)는 회복센터, 재분배센터, 2차 시장 각각의 처리용량의 합이 같아야 한다는 제약을 보여주고 있다. 따라서 각 단계별 처리용량의 합은 다음단계로 보내는 수송량의 합과 같은 개념으로 사용하고 있다. 수식 (6), (7), (8), (9)는 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차 시장 각각은 오직 한군데만 개설되어야 한다는 제약이다. 수식 (10), (11), (12), (13)은 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차 시장의 개설 여부(0 혹은 1)를 나타내고 있다. 수식 (14)는 비부 정수(Non-negativity)를 나타내고 있다.

RLNDC 수리모델

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & \sum_i \sum_j CTC_{ij} \cdot CC_i \cdot x_j^C + \sum_j FCC_j \cdot x_j^C + \\ & HCC \cdot \sum_j c_j \cdot x_j^C + \sum_j \sum_k CTR_{jk} \cdot c_j \cdot x_k^R + \\ & \sum_k FRC_k \cdot x_k^R + HRC \cdot \sum_k r_k \cdot x_k^R + \\ & \sum_k \sum_l RTD_{kl} \cdot r_k \cdot x_l^D + \sum_l FDC_l \cdot x_l^D + \\ & HDC \cdot \sum_l d_l \cdot x_l^D + \sum_l \sum_m DTS_{lm} \cdot d_l \cdot x_m^S + \\ & \sum_m FSM_m \cdot x_m^S + HSM \cdot \sum_m s_m \cdot x_m^S \end{aligned} \quad (15)$$

Subject to

$$\sum_j c_j - \sum_k r_k = 0 \tag{16}$$

$$\sum_k r_k - \sum_l d_l = 0 \tag{17}$$

$$\sum_l d_l - \sum_m s_m = 0 \tag{18}$$

$$\sum_j x_j^C \geq 1 \tag{19}$$

$$\sum_k x_k^R \geq 1 \tag{20}$$

$$\sum_l x_l^D \geq 1 \tag{21}$$

$$\sum_m x_m^S \geq 1 \tag{22}$$

$$\sum_j x_j^C - \sum_k x_k^R \geq 0 \tag{23}$$

$$\sum_k x_k^R - \sum_l x_l^D \geq 0 \tag{24}$$

$$\sum_l x_l^D - \sum_m x_m^S \geq 0 \tag{25}$$

$$x_j^C = \{0, 1\} \quad \forall j \in J \tag{26}$$

$$x_k^R = \{0, 1\} \quad \forall k \in K \tag{27}$$

$$x_l^D = \{0, 1\} \quad \forall l \in L \tag{28}$$

$$x_m^S = \{0, 1\} \quad \forall m \in M \tag{29}$$

$$c_j, r_k, d_l, s_m \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L, \forall m \in M \tag{30}$$

수식(15)의 목적함수는 RLNCC의 목적함수와 동일하다. 또한 수식 (16)에서 (18)까지, 수식 (26)에서 (30)까지도 RLNCC의 제약 조건들과 동일하다. 수식 (19)에서 (22)까지는 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차 시장 각각은 한 군데 이상이 개설되어야 한다는 제약이다. 수식 (23)은 개설되는 모든 수집센터 수는 다음 단계에서 개설되는 모든 회복센터의 수와 같거나 혹은 커야 한다는 제약이다. 같은 방법으로 수식 (24)과 (25)는 각각 개설되는 회복센터 및 재분배센터의 수는 다음단계에서 개설되는 재분배센터 및 2차 시장의 수와 같거나 혹은 커야 한다는 제약을 보여주고 있다.

본 연구에서 제시한 RLNCC 및 RLNDC 수리모델은 혼합정수 계획법(Mixed Integer Programming: MIP) 형태로 표시되며, 이를 해결하기 위해 GA가 사용된다.

### 4. GA 설계

#### 4.1 표현법 (Representation) 설계 및 초기집단 (Initial Population) 생성

GA를 이용하여 역물류 네트워크를 설계할 때 가장 중요한 것은 해의 올바른 표현법을 정하는 것이다. 특히 본 연구에서 제시

하는 역물류 네트워크의 경우, 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차 시장의 개설은 이미 정해진 것이 아니라 총비용을 최소화하도록 각각의 개설여부(0 혹은 1)가 유전연산과정 중에 자동적으로 결정되는 것이 무엇보다도 중요하다. 이를 위해서 <그림 3>, <그림 4>과 같은 표현법을 사용한다.

$x_1^C$	$x_2^C$	$x_3^C$	$x_1^R$	$x_2^R$	$x_3^R$	$x_1^D$	$x_2^D$	$x_3^D$	$x_1^S$	$x_2^S$	$x_3^S$
1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0

그림 3. RLNDC를 위한 표현법

$x_1^C$	$x_2^C$	$x_3^C$	$x_1^R$	$x_2^R$	$x_3^R$	$x_1^D$	$x_2^D$	$x_3^D$	$x_1^S$	$x_2^S$	$x_3^S$
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0

그림 4. RLNCC를 위한 표현법

<그림 3>을 살펴보면 수집센터 1과 2( $x_1^C=x_2^C=1$ )은 개설되어지고 (즉 1의 값을 가짐), 수집센터 3( $x_3^C=0$ )는 개설되어 지지 않는다 (즉 0의 값을 가짐). 같은 의미로 회복센터 2, 3과 재분배센터 1, 2차 시장 1, 2는 각각 개설되어지는 것을 볼 수 있다. <그림 3>은 RLNDC의 표현법이기에 때문에 각 단계에서 중복으로 개설되어질 수 있지만 <그림 4>의 RLNCC의 경우 각 단계에서 한 군데만 개설되어지는 것을 알 수 있다. 따라서 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장의 개설여부는 총비용이 최소화될 수 있도록 유전연산과정에서 1 또는 0의 값을 랜덤하게 가지도록 설계하면 된다. 이상과 같은 표현법을 사용하여 초기집단을 구축할 수 있다. 만일 초기집단의 크기가 6라고 할 때 RLNCC 와 RLNDC를 위한 초기집단은 <그림 5>, <그림 6>과 같이 표현될 수 있다.

$V_1 =$	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1
$V_2 =$	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
$V_3 =$	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
$V_4 =$	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
$V_5 =$	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
$V_6 =$	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1

그림 5. RLNDC를 위한 초기집단

$V_1 =$	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
$V_2 =$	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
$V_3 =$	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
$V_4 =$	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
$V_5 =$	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
$V_6 =$	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0

그림 6. RLNCC를 위한 초기집단

#### 4.2 유전 연산자 (Genetic Operator) 및 수리전략 (Repair Strategy)의 설계

유전연산자로 사용되는 것은 선택(Selection), 교차변이(Crossover), 돌연변이(Mutation), 적합도 함수(Fitness Function)이다. 또한 돌연변이 이후 생성된 새로운 집단의 개체(Individual)들 중에서 역물류 네트워크 연결이 불가능한 개체에 대해 연결이 가능하도록 하는 수리전략이 필요하다. 이들 각각은 효율이 좋고 RLNDC와 RLNCC 설계에 적합한 유전연산자와 수리전략을 기존연구들에서 사용하거나 혹은 새롭게 개발한다.

##### • 선택

〈그림 3〉, 〈그림 4〉의 표현법을 고려하여 이진토너먼트 선택법(Binary tournament selection method)을 사용한다 (Gen and Chang, 1997). 이 방법은 2진(0 와 1) 형태로 표시된 집단을 사용하며, 교차변이와 돌연변이를 수행하기 이전 집단과 이후 집단의 모든 개체를 대상으로 그 적합도 값이 우수한 일정 수(본 연구에서는 집단의 크기를 의미한다)의 개체만을 다음 유전연산과정을 위한 새로운 개체로 선정하는 절차이다.

##### • 교차변이

두 지점 교차변이(Two-point crossover: 2X)를 사용한다 (Gen and Cheng 1997). 이 방법은 집단에서 랜덤하게 선택된 두 개체에서 두 군데의 지점을 랜덤하게 선택한 후 선택된 지점의 유전인자(Gene)를 서로 교환한다. 다만 2X를 사용한 후 새롭게 생성된 개체의 네트워크 연결이 불가능할 경우를 대비하여 이를 수정하기 위한 방안도 함께 고려한다. 본 연구에서 고려하는 RLNDC와 RLNCC에 교차변이를 적용하는 방법은 다음과 같다.

##### - RLNDC를 위한 교차변이 적용방법

먼저 〈그림 5〉에서 생성된 초기집단에서 두 개체( $V_1$ ,  $V_4$ )를 선

택하고, 선택된 두 개체에서 랜덤하게 두 군데의 지점을 다시 선택한다 (〈그림 7〉에서 화살표로 표시된 부분). 그리고 두 개체에서 선택된 지점의 유전인자를 서로 교환한다. 이렇게 하여 생성된 새로운 두 개의 개체는 〈그림 7〉에서  $V_1^*$ ,  $V_4^*$ 로 표시되어 있다.

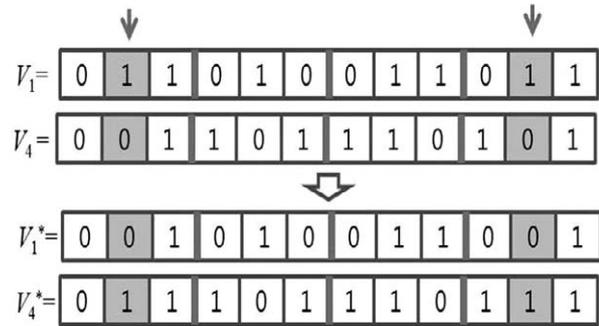


그림 7. RLNDC를 위한 교차변이 적용방법

##### - RLNCC를 위한 교차변이 적용방법

먼저 〈그림 6〉에서 생성된 초기집단에서 두 개체( $V_4$ ,  $V_6$ )를 선택하고, 선택된 두 개체에서 랜덤하게 두 군데의 지점을 다시 선택한다 (〈그림 8〉의 첫 번째 단계에서 화살표로 표시된 부분). 그리고 두 개체에서 선택된 지점의 유전인자를 서로 교환한다. 이렇게 하여 생성된 새로운 두 개의 개체는 〈그림 8〉의 두 번째 단계에서  $V_4^*$ ,  $V_6^*$ 로 표시되어 있다. 하지만 두 번째 단계에서 새롭게 생성된 개체( $V_4^*$ ,  $V_6^*$ )를 살펴보면 RLNCC의 원리에 맞지 않는 것을 알 수 있다. 즉  $V_4^*$ 의 첫 번째, 두 번째, 세 번째 유전인자의 값이 모두 0으로 표시되어 있다. 이것은 수집센터 1, 2, 3 모두가 개설되지 않는다는 것을 의미한다. 또한  $V_4^*$ 의 열한 번째, 열두 번째 유전인자는 모두 1의 값으로 표시되어 있으며, 이는 2차시장 2, 3이 동시에 개설된다는 의미이다. 이러한 현상을 해결해 주어야 한다. 먼저  $V_4^*$ 의 두 번째 유전인자(0값을 가짐)를 제외하고 나머지 두 개의 유전인자인 첫 번째, 세 번째 유전인자 중에서 하나를 랜덤하게 선택한다.

만일 선택된 유전인자가 세 번째 유전인자라면 원래의 값 0를 1의 값으로 변경시킨다(〈그림 8〉  $V_4^*$ 의 세 번째 유전인자) 이렇게 하면 세 개의 수집센터 중에서 수집센터 3만이 개설되는 의미를 가진다. 또한  $V_4^*$ 의 열한번째 유전인자 값 1은 2차시장 2가 개설된다는 의미이다. 따라서 나머지 2차시장인 3은 개설되지 않아야 한다. 이를 위하여  $V_4^*$ 의 열두 번째 유전인자 값 1은 0로 변경되어야 한다. 이러한 과정을 통해 수집센터와 2차시장은 각각 한 군데만 개설되도록 한다. 같은 방법을  $V_6^*$ 에 적용하여  $V_6^*$ 과 같은 수정된 개체를 만들 수 있다. 이상의 모든 과정은 〈그림 8〉에 나타나 있다.

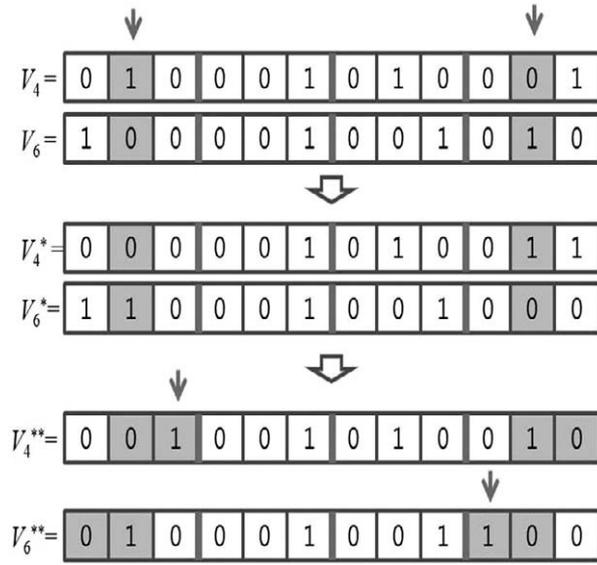


그림 8. RLNCC를 위한 교차변이 적용방법

• 돌연변이

랜덤 돌연변이(Random mutation)을 사용한다 (Gen and Cheng 1997). 이 방법은 집단에서 랜덤하게 하나의 개체를 선택한 후 이 개체의 유전인자들 중에서 랜덤하게 하나의 유전인자를 선택한다. 만일 선택된 유전인자의 값이 1일 경우(즉 특정 센터 혹은 시장이 개설되는 경우)는 반대의 의미인 0의 값(즉 특정센터 혹은 시장이 개설되지 않음)으로 변경한다. RLNDC의 경우 기존의 랜덤 돌연변이를 그대로 사용할 수 있다. 하지만 RLCC의 경우 교차변이에서와 마찬가지로 네트워크의 연결이 불가능한 경우가 발생할 수 있으므로 기존의 랜덤돌연변이를 연산자를 수정하여 적용한다.

- RLNCC를 위한 돌연변이 적용방법

먼저 <그림 6>에서 생성된 초기집단에서 하나의 개체( $V_2$ )를 선택하고, 선택된 개체에서 랜덤하게 한 군데의 지점을 다시 선택한다. (<그림 9>의 첫 번째 단계에서 화살표로 표시된 부분). 선택된 지점의 유전인자 값이 0이기 때문에 이를 1로 변경시킨다 (<그림 9>의 두 번째 단계에서 진하게 표시된 유전인자). 하지만 이렇게 변경할 경우 세 군데의 재분배센터 중에서 재분배센터 1, 2가 동시에 개설되게 되며, 이는 RLNCC의 원리에 어긋난다. 따라서 수정이 필요하다. 즉 <그림 9>의 두 번째 단계에서 진하게 표시된 유전인자(재분배센터 2가 개설되는 경우)를 제외하고 나머지 유전인자 값들 중에서 1의 값을 가지는 유전인자(재분배센터 1의 경우)를 0의 값으로 변경시킨다 (<그림 9>의 세 번째 단계에서 진하게 표시된 유전인자들). 이렇게 하면 세 군데의 재분배센터 중에서 단 한 군데의 재분배센터만 개설하게 되어서 RLNCC의 원리에 적합하게 된다. 이상의 과정은 <그림 9>에 설명되어 있다.

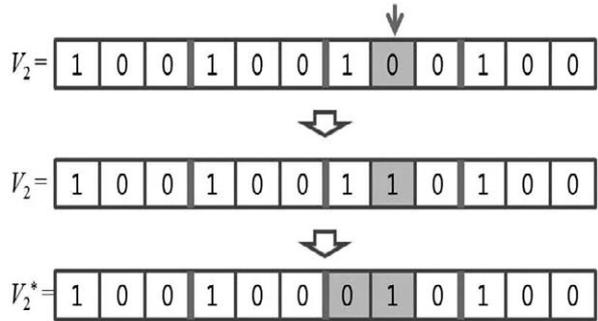


그림 9. RLNCC를 위한 돌연변이 적용방법

• 수리전략

교차변이와 돌연변이를 거쳐 생성된 새로운 집단의 개체들 중에서 네트워크 연결이 불가능한 개체에 대해 수리전략을 사용한다. 수리전략은 RLNDC와 RLNCC 각각에 대해 새롭게 개발한다.

- RLNDC를 위한 수리전략 적용방법

- Step 1: 교차변이와 돌연변이를 거쳐 생성된 개체들 중에서 유전인자의 값이 변경된 개체를 선택한다.
- Step 2: 만일 선택된 개체의 유전인자가 0에서 1로 변경되었을 경우 Step 3로 가고, 그렇지 않을 경우 Step 4로 간다.
- Step 3: 변경된 1의 값을 가진 단계(현재단계라고 하자)의 이전단계에서 1의 값을 가지는 유전인자들 중에서 하나를 랜덤하게 선택한다. 선택된 이전단계의 유전인자는 현재단계에서 변경된 1의 값을 가진 유전인자와 네트워크가 연결되도록 한다. 또한 현재단계의 이 유전인자는 다음단계의 유전인자들 중에서 1의 값을 가지는 유전인자들 중에서 하나를 랜덤하게 선택하여 네트워크 연결을 시킨다.
- Step 4: 변경된 0의 값을 가진 단계(현재단계라고 하자)의 이전 단계에서 1의 값을 가지는 유전인자들 중에서 하나를 랜덤하게 선택한다. 선택된 이전단계의 유전인자는 현재단계에서 1의 값을 가진 유전인자들 중에서 하나를 랜덤하게 선택하여 네트워크가 연결되도록 한다. 또한 현재단계로 연결된 유전인자는 다음단계의 유전인자들 중에서 1의 값을 가지는 유전인자들 중에서 하나를 랜덤하게 선택하여 네트워크 연결을 시킨다.
- Step 5: 만일 교차변이와 돌연변이 이후의 모든 변경된 개체의 유전인자가 선택되어 네트워크 연결이 가능하도록 표현되었다면 종료하고, 그렇지 않을 경우에는 Step 1으로 간다.

이상의 단계별 수리전략을 <그림 10>을 통해 적용해 보자. 교차변이와 돌연변이를 적용하기 이전의 개체가 <그림 10>의 (a)과 같다고 할 때, 이를 각 센터 및 2차시장의 개설여부를 고려하여 네트워크 형태로 표시하면 <그림 10>의 (b)와 같다. 만일 교차변이와 돌연변이를 적용한 이후에 생성된 개체가 <그림 10>의 (c)와 같다면, (c)는 기존의 네트워크인 (b)의 형태로 표현할 수 없게 된다. 따라서 표현 가능한 네트워크가 필요하다. 먼저 1의 값이 0로 변경된 유전인자가 포함된 현재단계 Stage 3의 이전단계인 Stage 2에서 1의 값을 가지는 유전인자들(첫 번째, 두 번째 유전인자)중에서 하나를 랜덤하게 선택한다. 선택된 유전인자가 만일 첫 번째 유전인자라면 이 유전인자는 현재단계에서 1의 값을 가지는 유전인자인 세 번째 유전인자와 네트워크를 연결시킨다. 현재단계에서 1의 값을 가진 세 번째 유전인자는 다음단계에서 1의 값을 가지는 유전인자들(두 번째, 세 번째 유전인자)중에서 랜덤하게 선택된 두 번째 유전인자와 네트워크를 연결시킨다. 이러한 과정은 <그림 10>의 (d)에 나타나 있다.

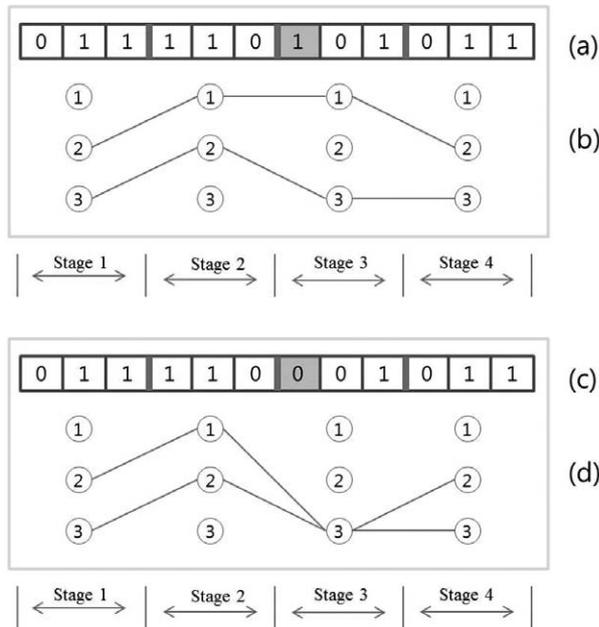


그림 10. RLNDC를 위한 수리전략 적용방법

- RLNCC를 위한 수리전략 적용방법

Step 1: 교차변이와 돌연변이를 거쳐 생성된 개체들 중에서 유전인자의 값이 변경된 개체를 선택한다.

Step 2: 변경된 유전인자가 포함된 단계(현재단계라고 하자)의 이전단계에서 1의 값을 가진 유전인자는 현재단계에서 1의 값을 가진 유전인자와 네트워크를 연결시킨다. 그리고 현재단계에서 1의 값을 가지는 유전인자는 다

음단계에서 1의 값을 가지는 유전인자와 네트워크 연결이 되도록 한다.

이상의 단계별 수리전략을 <그림 11>을 통해 적용해 보자. 먼저 교차변이와 돌연변이 이전의 개체가 <그림 11>의 (a)와 같다고 하자. 이를 네트워크 형태로 표현하면 <그림 11>의 (b)와 같다. 만일 교차변이와 돌연변이 이후의 개체가 <그림 11>의 (c)와 같다고 하면 이는 기존의 네트워크인 (b)로 표현할 수 없다. 따라서 표현 가능한 네트워크가 필요하다. 먼저 변경된 유전인자가 포함된 단계 Stage 3의 이전단계인 Stage 2에서 1의 값을 가지는 첫 번째 유전인자가 현재단계에서 1의 값을 가지는 두 번째 유전인자와 네트워크가 연결되도록 한다. 그런 다음 Stage 3의 두 번째 유전인자는 다음단계인 Stage 4에서 1의 값을 가지는 첫 번째 유전인자와 네트워크가 연결되도록 한다. 이러한 과정은 <그림 11>의 (d)에 나타나 있다.

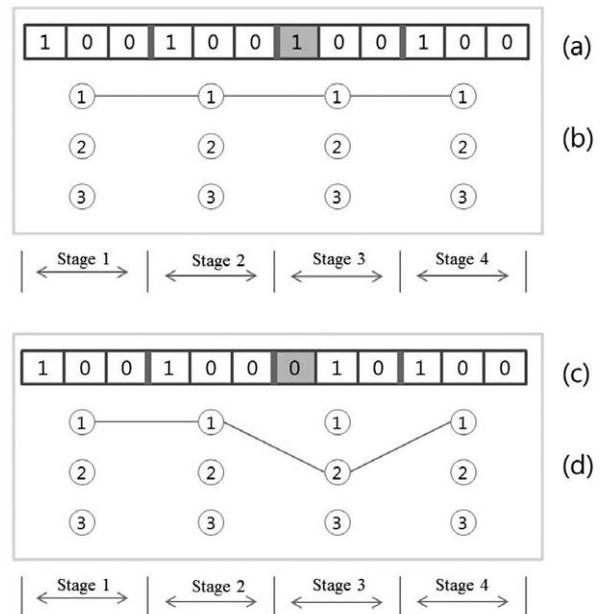


그림 11. RLNCC를 위한 수리전략 적용방법

• 적합도 함수

적합도 함수는 본 연구에서 제시한 수리모델의 목적함수를 사용한다. 즉 돌연변이 연산을 거친 후 새롭게 생성된 모든 개체들에 대해 먼저 제약조건 위반여부를 검사하고, 제약조건을 만족하는 개체들에 대해 목적함수 값을 구한다.

### 5. 수치실험

본 연구에서 제안된 GA접근법을 이용한 역물류 네트워크 평가를 위해 두 가지 형태의 역물류 네트워크를 사용한다. <표 1>에서 보여지는 것과 같이 각각의 형태는 다양한 크기의 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장을 가진다. Type 1 과 Type 2에 대한 상세한 고정비용, 단위당 처리비용, 위치좌표 정보는 <부록 1>에서 <부록4>까지 제시되어 있다. <부록 1>과 <부록 3>의 고정비용 및 단위당 처리비용은 임의로 설정한 값이며, <부록2>와 <부록 4>에 제시된 위치좌표 정보는 Microsoft Excel (Ver. 2010)을 이용하여 범위 0에서 80사이의 값들을 랜덤하게 발생시켜 생성하였다.

표 1. 수치실험을 위한 역물류 네트워크의 두 가지 형태

	Type 1	Type 2
No. of Customer	30	30
No. of collection center	5	15
No. of recovery center	2	6
No. of redistribution center	3	9
No. of secondary market	3	7

RLNDC와 RLNCC를 적용하기 위해 4장에서 제안된 GA 접근법은 Visual Basic Ver. 6.0을 이용해 프로그래밍되었으며, 실험에 사용된 컴퓨터 환경은 IBM 호환 PC, CPU 3.06Ghz, 1GB RAM, Windows XP이다. GA 접근법에서 사용되는 파라미터에는 총세대수 10,000, 집단의 크기 20, 교차변이율 0.5, 돌연변이율 0.1이며, 탐색의 랜덤성을 제거하기 위해 총 20번의 독립적인 반복을 실시하였다. RLNDC와 RLNCC의 성능을 비교하기 위해 <표 2>와 같은 수행도 척도를 사용한다.

표 2. 수행도 척도

Measure	Description
CPU time	평균 실행 속도(단위: 초)
Optimal solution	각 단계별로 발생하는 고정비용, 변동비용, 수송비용의 총합을 최소화하는 최적해
Optimal setting	최적해를 발생시키는 경우에 있어서 각 단계별 고정비용, 변동비용, 수송비용과 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장의 개설여부

<표 2>에서 CPU time은 RLNDC와 RLNCC를 적용하기 위해 제안된 GA 접근법이 총 20회의 반복수행을 한 후의 평균값을 의미하며, Optimal solution과 Optimal setting은 각각의 GA 접근법을 총 20회의 반복수행 후 가장 우수한 결과가 도출되는 경우의 값을 의미한다. <표 3>은 Type 1에 대하여 각 GA 접근법을 적용한 RLNDC와 RLNCC의 수행도 결과를 보여주고 있다.

표 3. Type 1에 대하여 각 GA 접근법을 적용한 RLNDC와 RLNCC의 수행도 결과

		RLNDC	RLNCC
CPU Time		0.73	0.43
Optimal solution		3453.7	3221.70
Optimal Setting	Col. Center	Fixed Cost 124.3	25.0
		Var. Cost 66.0	66.0
Rec. Center		Transp. Cost 1060.7	955.8
		Fixed Cost 33.1	33.1
		Var. Cost 186.0	186.0
Red. Center		Transp. Cost 1197.8	1170.0
		Fixed Cost 19.6	19.6
		Var. Cost 138.0	138.0
Sec. Market		Transp. Cost 165.0	165.0
		Fixed Cost 25.2	25.2
		Var. Cost 63.0	63.0
Col. Center 1		Transp. Cost 375.0	375.0
		Opening/Closing	Opening Opening
		"	Opening Closing
Col. Center 2		"	Opening Closing
		"	Opening Closing
		"	Opening Closing
Col. Center 3		"	Opening Closing
		"	Opening Closing
		"	Opening Closing
Col. Center 4		"	Opening Closing
		"	Opening Closing
		"	Opening Closing
Col. Center 5		"	Opening Closing
		"	Opening Closing
		"	Opening Closing
Rec. Center 1		"	Opening Opening
		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
Rec. Center 2		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
Red. Center 1		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
Red. Center 2		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
Red. Center 3		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
Sec. Market 1		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
Sec. Market 2		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
Sec. Market 3		"	Closing Closing
		"	Closing Closing
		"	Closing Closing

<표 3>의 수행도 CPU time에 있어서 RLNCC가 RLNDC보다 약간 더 빠르며, Optimal solution에서는 RLNCC가 RLNDC보다 약 6.7% 더 우수한 수행도를 보여주었다. RLNCC, RLNDC 각각에 대한 상세한 비교는 Optimal setting에 나타나 있다. 먼 전 수집센터의 경우 변동비용은 RLNCC와 RLNDC가 모두 동일한 결과를 보여주고 있지만, 고정비용과 수송비용에 있어서 RLNCC가 RLNDC보다 월등히 우수한 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과는 RLNCC의 경우 고객 30명으로부터 회수되는 사용 후 제품이 하나의 수집센터(즉 첫 번째 수집센터)로 전부 수집되

지만, RLNDC의 경우 모든 수집센터에 각각 분산되어 수집되기 때문에 전체 수송비용과 각 수집센터의 운영을 위한 고정비용이 RLNCC보다 더 증가하게 된다. 이러한 차이점에도 불구하고 변동비용이 동일한 이유는 고객 30명으로부터 회수되는 사용 후 제품 전부가 하나의 수집센터에서 처리되는 경우와 모든 수집센터에서 처리되는 경우 동일하게 30개의 회수되는 제품을 모두 처리하여야 하며, 결국 이들 모든 제품을 처리하기 위해 투입되는 비용의 합은 각각의 경우 모두 동일하게 된다.

회복센터에 대한 Optimal setting에 있어서 고정비와 변동비가 모두 동일한 이유는 RLNDC, RLNCC 각각은 동일한 회복센터(즉 첫 번째 회복센터)를 개설하기 때문이며, 수송비용이 차이가 나는 이유는 이전 단계인 수집센터에서 회복센터로 보내어 지는 제품이 RLNCC의 경우, 한 군데의 수집센터(즉 첫 번째 수집센터)에서 한 군데의 회복센터(즉 첫 번째 회복센터)로 보내지만 RLNDC의 경우 모든 수집센터에서 한 군데의 회복센터(즉 첫 번째 회복센터)로 보내기 때문에 차이가 나는 것으로 분석된다. 재분배센터 및 2차시장의 고정비용, 변동비용, 수송비용이 전부 동일한 이유는 RLNCC와 RLNDC에서 개설되는 재분배센터와 2차 시장이 모두 동일하기 때문이다.

〈그림 12〉와 〈그림 13〉은 RLNCC와 RLNDC에서 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장의 개설여부에 따른 네트워크를 보여주고 있다. 〈그림 12〉와 〈그림 13〉에서 알 수 있듯이 RLNCC는 각각의 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장이 하나만 개설되고, RLNDC의 경우 중복 개설을 허용하기 때문에 RLNCC가 RLNDC보다 좀 더 단순한 네트워크를 가지고 있다.

〈표 4〉에서는 Type 2에 대하여 각 GA 접근법을 적용한 RLNDC와 RLNCC의 수행도 결과를 보여주고 있다. 〈표 3〉의 수행도 결과와 마찬가지로 RLNCC가 RLNDC 보다 CPU time, Optimal solution에 있어서 우수한 수행도를 보여주고 있다. 특히 Optimal solution에 있어서 전자는 후자보다 약 33.1% 정도의 월등한 수행도를 보여주고 있다. Optimal setting에 있어서 변동비용의 경우를 제외하고 고정비용, 수송비용의 경우 거의 모든 결과에서 있어서 RLNCC가 RLNDC보다 우수하다. 〈그림 14〉와 〈그림 15〉는 RLNCC와 RLNDC에서 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장의 개설여부에 따른 네트워크를 보여주고 있으며, 〈그림 12〉와 〈그림 13〉에서 분석된 경우와 마찬가지로 RLNCC의 네트워크가 좀 더 단순하고, RLNDC의 네트워크가 좀 더 복잡한 구조를 보여주고 있다.

이상의 수행도 분석을 통해 다음과 같은 결론에 도달할 수 있다. RLNDC의 경우 고객으로부터 수집되어지는 제품은 고려된 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장들 중에서 각 단계별로 상황에 적합한 복수의 센터 및 2차 시장을 선택하여 보내어 지게

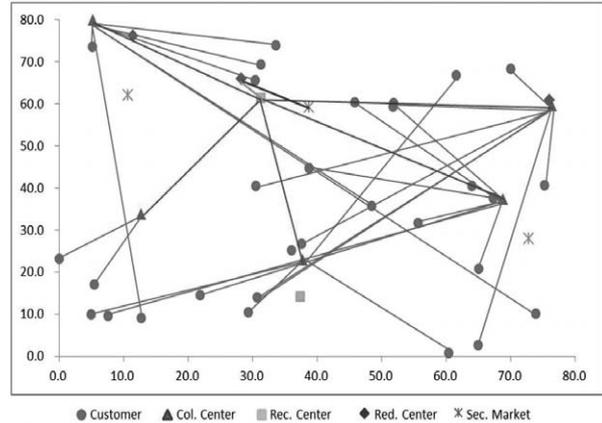


그림 12. Type 1에 대한 RLNDC의 각 센터 및 2차시장의 개설여부에 따른 네트워크 표현

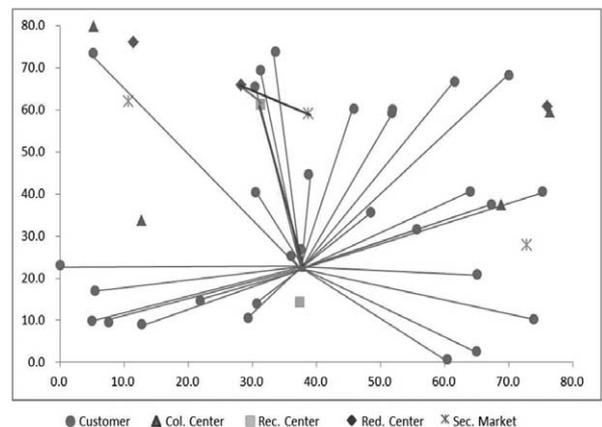


그림 13. Type 1에 대한 RLNCC의 각 센터 및 2차시장의 개설여부에 따른 네트워크 표현

되지만 RLNCC의 경우는 각 단계별로 상황에 적합한 하나의 센터 및 시장만을 선택하여 보내어 지는 특징을 가지고 있다.

또한 본 연구에서 사용한 수행도(CPU time, Optimal solution, Optimal setting) 측면에서 보면 RLNCC가 RLNDC보다 거의 모든 항목에서 우수한 결과를 보여주고 있으며, 사용된 문제의 규모가 클 경우(즉 Type 1 보다 Type 2의 경우)에 그 차이는 더욱 커진다. 따라서 전체적인 운영에서 발생하는 다양한 비용을 고려할 경우 RLNCC가 RLNDC 보다 훨씬 유리한 측면을 가지고 있다.

표 4. Type 2에 대하여 각 GA 접근법을 적용한 RLNDC와 RLNCC의 수행도 결과

			RLNDC	RLNCC
CPU Time			1,26	1,19
Optimal solution			4285,4	2866,4
Optimal Setting	Col. Center	Fixed Cost	250,2	21,5
		Var. Cost	84,0	84,0
		Transp. Cost	1164,5	863,7
Rec. Center	Fixed Cost	162,2	29,2	
	Var. Cost	246,0	246,0	
	Transp. Cost	732,5	465,0	
Red. Center	Fixed Cost	53,9	25,8	
	Var. Cost	135,0	135,0	
	Transp. Cost	384,5	324,0	
Sec. Market	Fixed Cost	39,1	18,2	
	Var. Cost	96,0	96,0	
	Transp. Cost	937,5	558,0	
Col. Center 1	Opening/Closing	Opening	Opening	
Col. Center 2	"	Opening	Closing	
Col. Center 3	"	Opening	Closing	
Col. Center 4	"	Opening	Closing	
Col. Center 5	"	Opening	Closing	
Col. Center 6	"	Opening	Closing	
Col. Center 7	"	Closing	Closing	
Col. Center 8	"	Opening	Closing	
Col. Center 9	"	Closing	Closing	
Col. Center 10	"	Opening	Closing	
Col. Center 11	"	Opening	Closing	
Col. Center 12	"	Opening	Closing	
Col. Center 13	"	Opening	Closing	
Col. Center 14	"	Opening	Closing	
Col. Center 15	"	Opening	Closing	
Rec. Center 1	"	Opening	Closing	
Rec. Center 2	"	Closing	Closing	
Rec. Center 3	"	Opening	Closing	
Rec. Center 4	"	Opening	Opening	
Rec. Center 5	"	Opening	Closing	
Rec. Center 6	"	Opening	Closing	
Red. Center 1	"	Closing	Closing	
Red. Center 2	"	Closing	Closing	
Red. Center 3	"	Closing	Closing	
Red. Center 4	"	Closing	Closing	
Red. Center 5	"	Closing	Closing	
Red. Center 6	"	Closing	Closing	
Red. Center 7	"	Closing	Closing	
Red. Center 8	"	Opening	Opening	
Red. Center 9	"	Opening	Closing	
Sec. Market 1	"	Closing	Closing	
Sec. Market 2	"	Closing	Closing	
Sec. Market 3	"	Closing	Closing	
Sec. Market 4	"	Closing	Closing	
Sec. Market 5	"	Closing	Closing	
Sec. Market 6	"	Opening	Opening	
Sec. Market 7	"	Opening	Closing	

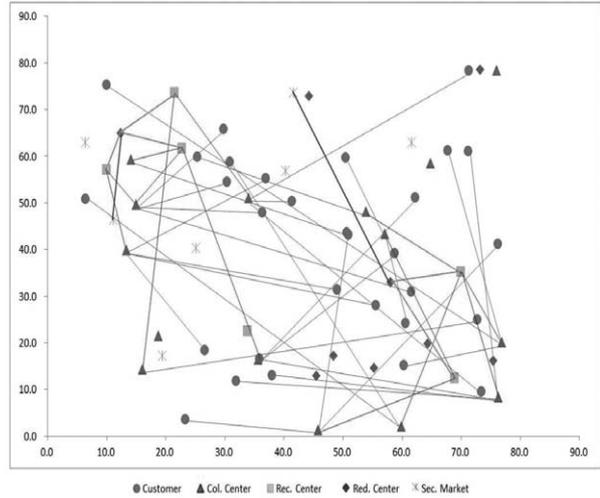


그림 14. Type 2에 대한 RLNDC의 각 센터 및 2차시장의 개설여부에 따른 네트워크 표현

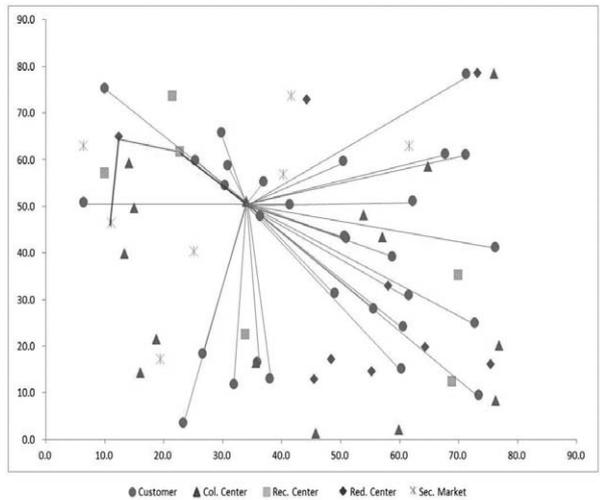


그림 15. Type 2에 대한 RLNCC의 각 센터 및 2차시장의 개설여부에 따른 네트워크 표현

### 5. 결론

본 연구는 고객으로 수집되어지는 사용 후 제품이 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장으로 거쳐가는 역물류 네트워크를 두 가지 형태로 구분하여 제시하고 있다. 첫 번째 경우의 역물류 네트워크는 RLNDC로서 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장에 대해 복수의 개설을 허용하는 경우이고, 두 번째 고려하는 역물류 네트워크는 RLNCC로서 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장 각각에 대해 각 단계별로 하나의 센터 및 시장만을

개설하도록 하는 경우를 고려하고 있다.

이와 같이 두 가지 형태의 역물류 네트워크에 대해 그 수행도를 비교 분석하는 것이 본 연구의 주된 목적이다. 이를 위해 먼저 RLND와 RLNC에 대한 역물류 네트워크의 특성을 살펴보고 있으며, 둘째, RLND와 RLNC 역물류 네트워크의 평가를 위해서 수집센터, 회복센터, 재분배센터, 2차시장으로 거쳐가면서 발생하는 고정비용, 변동비용, 수송비용의 총합을 최소화하는 목적으로 수리모형을 개발하였다. 셋째, RLND와 RLNC의 수리모형의 해결하기 위해 GA 접근법이 사용되었다. 넷째, 두 가지 형태의 역물류 네트워크를 이용하여 RLND와 RLNC의 수행도를 비교분석하였다. 수행도 비교분석을 통해서 RLNC가 RLND보다 더 우수한 결과를 보여주는 것이 확인할 수 있었다.

다만, 연구수행과정에서 있어서, 비교적 규모가 작은 크기의 역물류 네트워크를 사용하였기에 향후에는 좀 더 큰 규모의 역물류 네트워크 혹은 현장에서 실제 운영중인 역물류 네트워크를 이용하여 RLND와 RLNC의 수행도를 비교분석해 볼 필요가 있을 것이다. 또한 본 연구는 GA 접근법만을 이용하였지만 GA와 다른 접근법(예를 들어, Hill climbing method, Simulated annealing, Particle swarm optimization 등)을 함께 사용하는 혼합형 GA(Hybrid GA) 혹은 적응형 GA(Adaptive GA)를 이용하여 RLND와 RLNC를 비교 분석해 보는 방안도 유용할 것이다.

## Acknowledgement

본 연구는 2013년 중국에서 열린 The 9<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Manufacturing & Logistics Systems 에서 발표된 저자의 논문 "Evaluating Reverse Logistics Networks with Centralized/Decentralized Center: An Genetic Algorithm Approach"과 2013년 국제학술지 Information에 실린 저자의 논문 "Adaptive Genetic Algorithm to Multi-stage Reverse Logistics Network Design for Product Resale"의 수정 및 확장판이다.

## 참고 문헌

- [1] 김재동, 최현선, 이동호 (2007), 폐기물수거망에서의 확률적 차량경로 문제에 대한 사례연구, 한국SCM학회지, Vol. 7(2), pp.57-65.
- [2] 임예지, 정봉주 (2012), 역물류를 고려한 통합물류망에서의 확률적 입지-할당 모형에 관한 연구, 2012 한국경영과학회 추계학술대회, pp.765-772.
- [3] 나호영, 이상현 (2009), 역물류를 고려한 통합물류망에서의 입지: 경로문제, *IE Interfaces*, Vol. 22(2), pp.153-164.
- [4] 한국전자산업환경협회 (<http://www.aee.or.kr>)
- [5] Amini, M. M., Retzlaff-Roberts D. and Bienstock, C. C. (2005), Designing a reverse logistics operation for short cycle time repair services, *International Journal of Production Economics*, Vol. 96(3), pp.367-380
- [6] Debann?, J. G. (1975), A regional techno-economic energy supply-distribution-demand model for North America, *Computers and Operations Research*, Vol. 2(3~4), pp.153-193.
- [7] Gen, M. and R. Cheng, (1997), *Genetic algorithms and engineering design*, John Wiley & Son.
- [8] Ghiassi, M. and Spera, C. (2003), Defining the internet-based supply chain system for mass customized markets, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 45, pp.17-41.
- [9] Giannakis, M. and Louis, M. (2011), Readiness assessment of the construction supply chain for concurrent engineering, *European Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 7(2), pp.141-153.
- [10] Holland, C. P. (1995), Cooperative supply chain management: the impact of interorganizational information systems, *The Journal of Strategic Information Systems*, Vol. 4(2), pp.117-133.
- [11] Hung, W. Y., Kucherenko, S. K., Samsatli, N. J. and Shah, N. (2004), A flexible and generic approach to dynamic modeling of supply chains, *Journal of Operational Research Society*, Vol. 55, pp.801-813
- [12] James, D. E. (1974), *Distribution channel considerations*, In *managing product recalls*, edited by McGuire EP, pp.77-81, The Conference Board, NY.
- [13] Jayaraman, V., Patterson, R. A. and Rolland, E. (2003), The design of reverse distribution networks: models and solution procedures, *European Journal of Operational Research*, Vol. 150, pp.128-149.
- [14] Krikke, H. R., Kooi, E. J. and Schuur, P. C. (1999), Network design in reverse logistics: a quantitative model, *Working Paper*, Erasmus Universiteit Rotterdam.

- [15] Lee, J. E., Gen, M. and Rhee, K. G. (2009), Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 56, pp.951-964
- [16] Min, H. (1989), A bicriterion reverse distribution model for product recall, *OMEGA*, Vol. 17(5), pp.483-490.
- [17] 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.
- [18] Morris, R.M. (1980), Feed conversion efficiency and the efficiency of the UK food chain, *Agricultural Systems*, Vol. 5(4), pp.267-278.
- [19] Rogers, D. S. and Tibben-Lembke, R. S. (1999), *Going backwards: reverse logistics trends and practices*, Pittsburgh, RLEC Press.
- [20] Schrijver, A. (2003), *Combinatorial optimization: polyhedral and efficiency*, Berlin, Germany, Springer
- [21] Srivastava, S. K. (2007), Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review, *International Journal of Management Reviews*, Vol. 9(1), pp.53-80.
- [22] Srivastava, S. K. (2008), *Network design for reverse logistics*, *OMEGA*, Vol. 36, pp.535-548
- [23] Yun, Y. S., Moon, C. and Kim, D. H. (2009), Hybrid genetic algorithm with adaptive local search scheme for solving multistage-based supply chain problems, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 56(3), pp.821-838.
- [24] Yun, Y. S. and Moon, C.U. (2011), Genetic algorithm approach for precedence-constrained sequencing problems, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 22(3), pp.379-388.
- [25] Yun, Y. S., R. K. Hwang, Gen, M. and Jo, J. B. (2013), Evaluating reverse logistics networks with centralized/decentralized centers: an genetic algorithm approach, *The 9th International Conference on Intelligent Manufacturing and Logistics Systems*, Shanghai, China, pp.516-524.



### 윤영수

대구대학교 산업공학과 학사

건국대학교 산업공학과 석사, 박사

Waseda Univ. 정보생산시스템연구과 박사

현재 : 조선대학교 경영학부 부교수

관심분야 : 유전알고리즘, SCM, 생산최적화





## 택배에서의 전략적 제휴를 위한 의사결정지원 모형에 대한 연구\*

프리스카\* · 정기호\*\* · 고현정\*\*\* · 고창성\*†

\*경성대학교 산업경영공학과 · \*\*경성대학교 경영정보학과 · \*\*\*군산대학교 물류학과

## A Study on a Decision Support Model for Strategic Alliance in Express Courier Services\*

Friska Natalia Ferdinand\* · Ki Ho Chung\*\* · Hyun Jeung Ko\*\*\* · Chang Seong Ko\*†

\*Department of Industrial Engineering, Kyungsung University

\*\*Department of Management Information Systems, Kyungsung University

\*\*\*Department of Logistics, Kunsan National University

The market competition of express courier service has become severe so that an express delivery company is consistently under pressure to operate its service network as efficient as possible. In this regard, the strategic alliance between small and medium companies can be considered as a useful way in maintaining their competitiveness. This study proposes a decision support model to examine the feasibility of merging under-utilized courier service centers and collaborating consolidation terminals with strategic alliances among them. The proposed models can be formulated as a multi-objective programming models maximizing the minimum expected profit increase of each participating company. A solution procedure based on the maxmin criterion is developed by using a genetic algorithm (GA). The applicability and efficiency of the proposed models are demonstrated through illustrative numerical examples.

**Keywords:** Strategic alliance, express courier service, multi-objective programming, 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(2011-0027218).

† **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 4월 3일 투고, 5월 6일 수정본 접수, 5월 16일 게재 확정.

## 1. INTRODUCTION

The express courier service market in Korea has been expanding 20% or higher annually, which is much faster increase than in other industry areas. It however becomes already saturated because large sized companies are entering the market through the acquisition of existing delivery service companies. As a result, they will be faced with high competition with respect to low margin and high quality of customer service. Therefore, to cope with these substantial competitive pressures, strategic alliance is proposed as an effective solution to the challenges faced by SMEs in express courier service, more so for those of them in competitive relationships. In this paper, the network design models with strategic alliance are proposed to improve the efficiency of the logistics networks among small and medium express courier service companies. An express courier network generally consists of customer zones, service centers, and consolidation terminals. The proposed model places participating companies in a win-win alliance relationship, and suggests how to increase the net profit of each company by harnessing their low demand and under-utilized service centers, and sharing consolidation terminals with available processing capacity. In order to do this, a multi objective programming model and the solution procedure was developed based on genetic algorithm (GA) approach and coded in Matlab 7.0 with numerical examples in this study.

There have been a few researches on the topic of strategic alliances in logistics. Chopra and Meindl (2004), Min (1996), and Simchi-Levi *et al.*(2003) pointed out that different companies which operated their own facilities independently may benefit from the strategic alliance scheme which is conceptually similar to facility sharing. Cachon and Lariviere (1999) proposed optimal capacity allocation as a solution methodology for dealing with facility sharing. In particular, a study on the express courier service network design considering strategic alliance was performed by Chung *et al.*(2009). They proposed a network design model for strategic alliances among express courier service companies by monopoly of service centers. Chung *et al.*(2010) also extended the previous study to the problem of sharing service centers, in

which an integer programming model and a fuzzy set theoretic solution procedure were developed. This study was performed under the assumption that only a single service center is selected as a candidate for strategic alliance. Later, Chung *et al.*(2011) proposed a nonlinear integer programming model with the survival of multiple service centers. This study considers sharing not only service centers but also consolidation terminals whereas the previous studies have dealt with sharing only service centers.

## 2. PROBLEM DEFINITION

### 2.1. Strategic Alliance Models

The express courier service companies in Korea have many service centers throughout the country, some of which may have a little volume for pick-up demand. The regions that have service centers with such low volume shipments are called as a merging region. We classify the service centers into two groups, Type I and Type II. The service centers belonging to merging region are called as Type I and the remaining service centers are Type II. In this regard, the concept of strategic alliance can be well applied to the situation where small and medium sized companies are currently operating the under-utilized service centers in merging region.

In a merging region multiple service centers can be opened and responsible for pick-up demand of other company's closed service centers belonging to the same merging region after the alliance. The open Type I service centers in each merging region as well as Type II service centers need to be reassigned to the other company's consolidated terminal without exceeding its processing capacity.

#### 1) Model 1

The strategic alliance in Figure 1 deals with service center level collaboration, we call it as a weak strategic alliance. Each participating company operates its own terminals exclusively and collaborates in pick-up and delivery together at merging region.

#### 2) Model 2.

Model 2 in Figure 2 concerns about a terminal level

collaboration where companies participate to share the capacity of consolidation terminals by reassigning all the service centers to the appropriate terminals. In addition, each participating company collaborates in pick-up operation of the open service center in the merging regions.

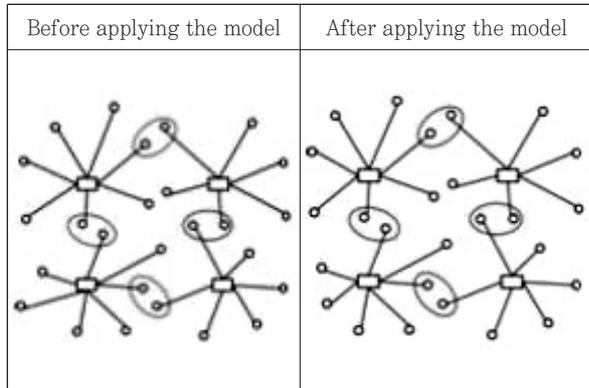


Figure 1. Service Center Level Collaboration

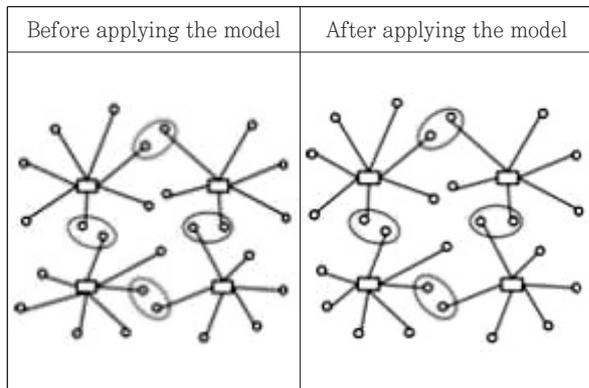


Figure 2. Terminal Level Collaboration

### 3) Model 3

Model 3 in Figure 3 is a strong terminal level collaboration model where the strategic alliance works such a way that they participate to collaborate not only in pick-up operation at the open service center in the merging region but also the capacity of consolidation terminals by reassigning all the service centers to the terminals. The open Type I service centers in each merging region as well as Type II service centers are reassigned to the other company's consolidated terminal.

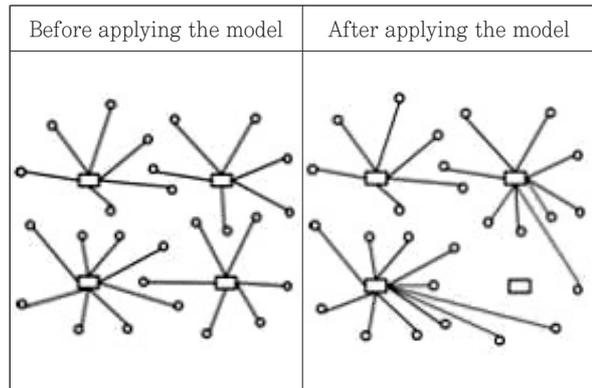


Figure 3. Strong Terminal Level Collaboration

## 2.2. Problem Modeling of Strategic Alliance

This study takes into account the combination between Model-1, Model-2 and Model-3 where the objective function of the strategic alliance problem is formed as a non-linear integer programming model. It has been designed to maximize the minimum expected profit increase of each participating company as our purpose of this study. Maxmin criterion is used to solve the problem and the conceptual model can be described as follows:

- a) The service center for each company is divided into two types; Type I service center belongs to a merging region, and Type II service center does not belong to any merging region.
- b) Only one service center can be opened and all the other service centers are closed within a merging region after the alliance.
- c) All pick-up amounts of another company's service center within the same merging region are assigned to the opened service center after the alliance.
- d) At least one terminal for each company must be opened and the remaining is closed within a region after the alliance.
- e) The open service center in each merging region as well as Type II service center may be able to be reassigned to other company's available consolidation terminal while satisfying the processing capacity of the terminal.

The proposed model can be developed as an algorithm by using GA to maximize the minimum expected profit increase

of each participating company so that maxmin criterion is used to solve the problem. The mathematical formulation can be described as follows:

- $I$  Set of service regions in which service centers are to be merged,  $I=\{1,2,\dots,m\}$
- $J$  Set of express courier companies,  $J=\{1,2,\dots,m\}$
- $S_j$  Set of Type II service centers of company  $j$ ,  $j \in J$
- $T_j$  Set of terminals for company  $j$ ,  $j \in J$
- $T$   $T=T_1+T_2+\dots+T_n$
- $d_{ij}^I$  Daily pick-up amount of company  $j$ 's Type I service center in region  $i$ ,  $i \in I, j \in J$
- $D_i$  Sum of daily pick-up amount of all the service centers within region  $i$ ,  $i \in I$ , i.e.,  $D_i = \sum_{j \in J} d_{ij}^I$
- $d_{ij}^{II}$  Daily pick-up amount of company  $j$ 's Type II service center  $l$ ,  $j \in J, l \in S_j$
- $a_{ijk}$  Indicator constant such that  $a_{ijk}=1$ , if daily pick-up amount of company  $j$ 's Type I service center in region  $i$  is assigned to terminal  $k$  of company  $j$  before alliance,  $a_{ijk}=0$ , otherwise,  $i \in I, j \in J, k \in T_j$
- $b_{jlk}$  Indicator constant such that  $b_{jlk}=1$ , if daily pick-up amount of company  $j$ 's Type II service center  $l$  is assigned to terminal  $k$  of company  $j$  before alliance,  $b_{jlk}=0$ , otherwise,  $j \in J, l \in S_j, k \in T_j$
- $Q_{jk}$  Capacity for terminal  $k$  of company  $j$ ,  $j \in J, k \in T_j$
- $r_{ij}$  Net profit contributed by one unit of pick-up amount for company  $j$ 's Type I service center in region  $i$ ,  $i \in I, j \in J$
- $w_{jk}$  Net profit obtained by terminal  $k$  when one unit of pick-up amount in a merging region is assigned to terminal  $k$  of company  $j$ ,  $j \in J, k \in T_j$
- $q_{pljk}$  Net profit obtained by terminal  $k$  when one unit of pick-up amount of company  $p$ 's Type II service center  $l$  is assigned to terminal  $k$  of company  $j$ ,  $p \in J, l \in S_p, j \in J, k \in T_j$
- $f_{ij}$  Daily fixed cost accruing from operating company  $j$ 's Type I service center in region  $i$ ,  $i \in I, j \in J$
- $g_{jk}$  Daily fixed cost accruing from operating company  $j$ 's terminal  $k$ ,  $j \in J, k \in T_j$
- $x_{ij}$  Binary variable such that  $x_{ij}=1$ , if company  $j$ 's Type I service center in region  $i$  is still open, otherwise,  $x_{ij}=0$ ,  $i \in I, j \in J$

- $y_{ijk}$  Binary variable such that  $y_{ijk}=1$ , if the sum of pick-up amount of all the Type I service centers in region  $i$  is assigned to terminal  $k$  of company  $j$ ,  $y_{ijk}=0$ , otherwise,  $i \in I, j \in J, k \in T_j$
- $v_{jk}$  Binary variable such that  $v_{jk}=1$ , if terminal  $k$  of company  $j$  is still open,  $v_{jk}=0$  otherwise,  $j \in J, k \in T_j$
- $z_{pljk}$  Binary variable such that  $z_{pljk}=1$ , if all the pick-up amount of company  $p$ 's Type II service center  $l$  is assigned to terminal  $k$  of company  $j$ ,  $z_{pljk}=0$ , otherwise,  $p \in J, l \in S_p, j \in J, k \in T_j$

When Type I service centers are merged and reallocated to a terminal, changes in net profit and reduction of operating cost for each company are calculated as follows: Consider a company called  $j$ . If the Type I service center of company  $j$  is still open in region  $i$ , then the profit of company  $j$  resulting from merging Type I service centers increases by  $r_{ij}(D_i - d_{ij}^I)$ . On the other hand, if Type I service center of company  $j$  is close in region  $i$ , then the profit of company  $j$  decreases by  $-r_{ij}d_{ij}^I$ . Thus the net profit of company  $j$  by merging Type I service centers for all merging regions can be written as  $\sum_{i \in I} r_{ij}(D_i x_{ij} - d_{ij}^I)$ . If the service center of company  $j$  is open in region  $i$  and the sum of daily pick-up amount of all the service centers in the region is assigned to another company's terminal, then the net profit of company  $j$  decreases because the profit from processing the amount in the terminal of company  $j$  will be transferred to other company. On the other hand, if other company's Type I service center is merged in a region and it is assigned to a terminal of company  $j$ , the profit of company  $j$  increases by  $\sum_{i \in I} \sum_{k \in T_j} w_{jk}(y_{ijk} - a_{ijk}x_{ij})D_i$ . The sum of daily fixed operating cost reduced by closing service centers of company  $j$  can be written as  $\sum_{i \in I} f_{ij}(1 - x_{ij})$ , and the sum of daily fixed operating cost reduced by closing terminals of company  $j$  can be calculated by  $\sum_{k \in T_j} g_{jk}(1 - v_{jk})$ . Next, the profit or loss which company  $j$  obtains by reassigning Type II service centers to the terminals is  $\sum_{p \in J} \sum_{l \in S_p} \sum_{k \in T_j} q_{pljk} d_{pl}^2 - \sum_{l \in S_j} \sum_{k \in T_j} q_{jljk} d_{jl}^2 b_{jlk}$ . Then the objective function for company  $j$  can be derived as follows:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z_j'(x) &= \sum_{i \in I} r_{ij}'(D_i x_{ij}' - d_{ij}') + \sum_{i \in I} \sum_{k \in T_j'} w_{i'k}'(y_{ij'k} - a_{ij'k} x_{ij}') D_i + \sum_{i \in I} f_{ij}'(1 - x_{ij}') \\
 &+ \sum_{p \in J} \sum_{l \in S_p} \sum_{k \in T_j'} q_{plj'k} d_{pl}^2 z_{plj'k} - \sum_{l \in S_j'} \sum_{k \in T_j'} q_{j'l'k} d_{j'l}^2 b_{j'l'k} + \sum_{k \in T_j'} g_{j'k}(1 - v_{j'k}) \\
 &= \sum_{i \in I} \left( r_{ij}' D_i - f_{ij}' - \sum_{k \in T_j'} w_{j'k} a_{ij'k} D_i \right) x_{ij}' + \sum_{i \in I} \sum_{k \in T_j'} w_{j'k} D_i y_{ij'k} + \sum_{p \in J} \sum_{l \in S_p} \sum_{k \in T_j'} q_{plj'k} d_{pl}^2 z_{plj'k} \\
 &- \sum_{k \in T_j'} g_{j'k} v_{j'k} + \sum_{i \in I} (f_{ij}' - r_{ij}' d_{ij}') + \sum_{k \in T_j'} g_{j'k} - \sum_{l \in S_j'} \sum_{k \in T_j'} q_{j'l'k} d_{j'l}^2 b_{j'l'k}
 \end{aligned}$$

Since the last three terms  $\sum_{i \in I} (f_{ij}' r_{ij}' d_{ij}') + \sum_{k \in T_j} g_{j'k} - \sum_{l \in S_j'} \sum_{k \in T_j'} q_{j'l'k} d_{j'l}^2 b_{j'l'k}$  are constant, they may be calculated and expressed as  $C_j$  in the objective function. Thus, the problem can be described as the following multi-objective integer programming model (P) with  $n$  objective functions:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z_1(x) &= \sum_{i \in I} \left( r_{i1} D_i - f_{i1} - \sum_{k \in T_1} w_{1k} a_{i1k} D_i \right) x_{i1} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in T_1} w_{1k} D_i y_{i1k} + \sum_{p \in J} \sum_{l \in S_p} \sum_{k \in T_1} q_{p11k} d_{pl}^2 z_{p11k} - \sum_{k \in T_1} g_{1k} v_{1k} + C_1 \\
 &\quad \vdots \\
 \text{Max } Z_n(x) &= \sum_{i \in I} \left( r_{in} D_i - f_{in} - \sum_{k \in T_n} w_{nk} a_{ink} D_i \right) x_{in} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in T_n} w_{nk} D_i y_{ink} + \sum_{p \in J} \sum_{l \in S_p} \sum_{k \in T_n} q_{p1nk} d_{pl}^2 z_{p1nk} - \sum_{k \in T_n} g_{nk} v_{nk} + C_n \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in T_j} y_{ijk} = 1, \quad i \in I \quad (3)$$

$$y_{ijk} \leq v_{jk}, \quad i \in I, j \in J, k \in T_j \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in T_j} z_{pljk} = 1, \quad p \in J, l \in S_p \quad (5)$$

$$\sum_{k \in T_j} v_{jk} = 1, \quad j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} D_i y_{ijk} + \sum_{p \in J} \sum_{l \in S_p} d_{pl}^2 z_{pljk} \leq Q_{jk} v_{jk}, \quad j \in J, k \in T_j \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J \quad (8)$$

$$y_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J, k \in T_j \quad (9)$$

$$z_{pljk} \in \{0, 1\}, \quad p \in J, l \in S_p, j \in J, k \in T_j \quad (10)$$

$$v_{jk} \in \{0, 1\}, \quad j \in J, k \in T_j \quad (11)$$

The objective function (1) consists of  $n$  conflicting objectives corresponding to  $n$  companies. Each objective function represents the sum of net profit increases through merging Type I service centers and net profit increases by allocating Type II service centers to terminals. Constraint (2)

assures that only one service center is open in a region and all the others closed. Constraint (3) implies that the entire pick-up amount consolidated in a region should be assigned to only one terminal. Constraint (4) expresses that the sum of pick-up amount of all the Type I service centers in region  $i$  can be

assigned to terminal  $k$  of company  $j$  only when the terminal  $k$  of company  $j$  is open after alliance. Constraint (5) means that every Type II service center must be allocated to only one terminal. Constraint (6) describes that each company has only one open terminal after alliance. Constraint (7) shows that the sum of daily pick-up amount of Type I and Type II service centers cannot exceed the processing capacity of the terminal when being allocated to an open terminal. Constraints (8)-(11) represent binary variables.

center is opened (SC1), while in region 2, 3, and 4 the opened service centers are company 3's service center, company 2's service center, and company 4's service center (SC3, SC2, and SC4) respectively.

### 3. ALGORITHM DEVELOPMENT

This study proposes 5 steps based on the genetic algorithm in order to solve the proposed model where it firstly chooses which service centers (only one service center can be opened) will be opened in each merging region, and then in the second step assigns all the daily pick-up amounts to the opened service centers. The third step decides which consolidation terminals are open or close for the allocation of shipments from service centers, and then reallocates all of the service centers to the available consolidation terminals. Finally, it calculates the profits of each company based on maxmin criterion. Four genetic operators are used in the proposed GA such as cloning, parent selection, crossover, and mutation operators. The parameter values for GA are: population size equals to 500; maximum number of generations is 150; cloning rate is set at 2%; crossover rate and mutation rate are 60-70% and 4-7%, respectively.

#### 3.1. Chromosome Design

In this study, we consider 4 companies for strategic alliance for which the chromosome consists of four parts dealing with decision variables shown in Figure 4. The first part, the first to the fifth genes, describes which service centers will be opened in each merging region where one service centers are allowed to be opened according on the rule in Table 1. The value of five genes can be selected from 1 to 4 considering that the single service center is open. For example, Figure 5 shows that the first five genes have integer values such as 1, 3, 2, 4 and 1, which means, in region 1 and region 5, company 1's service

Merging Region										Non-Merging Region										
Service Center					Available Terminal					Terminal Allocation										
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	3	2	4	1	3	1	2	1	4	7	2	2	2	...	8	2	8	5	3	6
R1	R2	R3	R4	R5	C1	C2	C3	C4		RSC1	RSC2	RSC3	RSC4	RSC1	RSC4	RSC1	RSC2	RSC3	RSC4	RSC1

Figure 4. Chromosome Representation

The second part in Figure 6 describes which consolidation terminals will be opened in each region (merging and non-merging) where one or two terminals are allowed to be opened according to the rule in Table 2. The value of five genes can be selected from 1 to 3 based on the available cases, where in case 1 and case 2 show only one terminal is opened, while in case 3 two terminals are opened.

Figure 6 indicates that the genes from sixth to ninth are randomly generated and belong to the certain companies. Those genes have values such as 3, 1, 2, and 1 which mean that two terminals (Terminal 1 and 2) are opened in Company 1, while in Company 2, 3, and 4 only one terminal (Terminal 3, 6, and 7) are opened respectively.

Service Center				
1	2	3	4	5
1	3	2	4	1
R1	R2	R3	R4	R5

Figure 5. Chromosome Representation of Opened/Closed Service Center

Available Terminal			
6	7	8	9
3	1	2	1
C1	C2	C3	C4

Figure 6. Chromosome Representation of Opened/Closed Terminals

Table 1. The Rules for Open and Close Service Centers

Cases	Open Service Center				Reallocated Pick-up Amount			
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4
1	○				SC2+SC3+SC4			
2		○			SC1+SC3+SC4			
3			○		SC1+SC2+SC4			
4				○	SC1+SC2+SC3			

Table 2. The Rules for Opening and Closing Terminals

Case	Company 1's Opened Terminal	Company 2's Opened Terminal	Company 3's Opened Terminal	Company 4's Opened Terminal
1	1	3	5	7
2	2	4	6	8
3	1 & 2	3 & 4	5 & 6	7 & 8

### 3.2. Crossover and Mutation Operators

This study takes 3 locations for crossover, and the first point is used to assign which service center that can be opened within each merging region. The second point is used to assign which consolidation terminal that will be available, and the last point is used for reassigning the Type I and Type II service center to the opened terminal.

On the first point, the general method that many people have already adopted is used. However, in the second and third point, a different way should be applied. All the crossover process can be seen in Figure 7.

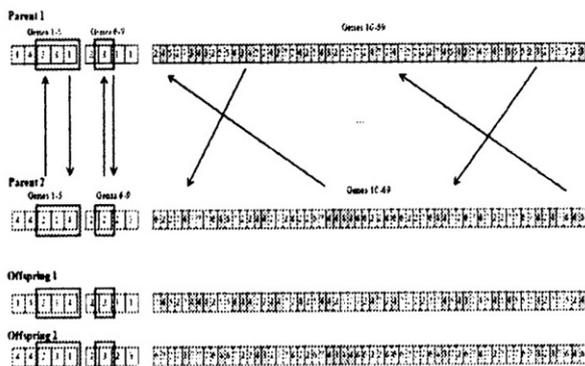


Figure 7. Crossover Method

The mutation process also needs some requirements, where not all of the genes can be flipped by randomly. Figure 8 shows the sixth until ninth genes will not have a mutation process because there is a dependency with the tenth until sixty-ninth genes to decide which terminal will be available.

Terminal			
6	7	8	9
3	1	2	2

Figure 8. The Genes Excluded of Mutation Process

If the mutation process is doing in these genes, it will change all the chromosome representation. Therefore, the mutation performs one of the following actions:

- a) If both terminals are available based on the distance rule shown in Table 3 and Table 4 for merging region and non-merging region, then they switch positions in the solution, Case 1.
- b) If both terminals are not available in the distance, then choose that they didn't swap the value, Case 2.

For example, assume that the first random numbers are 2 and 4 while the second and third random numbers are 3 and 17, and 9 and 36 respectively. Then, do the mutation as usual

by flipping each other. Figure 9 (a) – (b) shows the first part of mutation process there is no complicated problem because there is no boundary or any requirements.

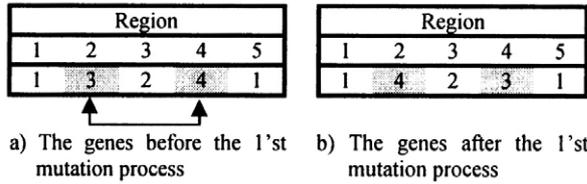


Figure 9. The First Mutation Process

In the second and third part of mutation there are distance rules which affects in the mutation process. In Figure 10 (a), three means in the first merging region, company 3's service center is allocated to terminal four while seventeen means in the fifth merging region, company 1's service center is allocated to terminal six; when the mutation is doing between these genes then the distance in Table 3 is considered. If the

terminal is available in the allocation of the company's service center within each region then the mutation process can be done otherwise it will be moved in case 2. Figure 10 (b) shows the terminal six and four are available to be the allocation of company 3's service center in first region and company 1's service center in the fifth region respectively.

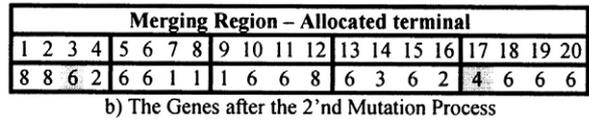
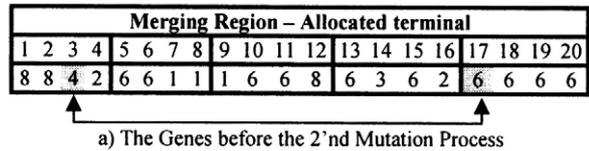


Figure 10. The Second Mutation Process

Based on the Table 4, all the mutation process considers the distance between service centers and terminals. If in the

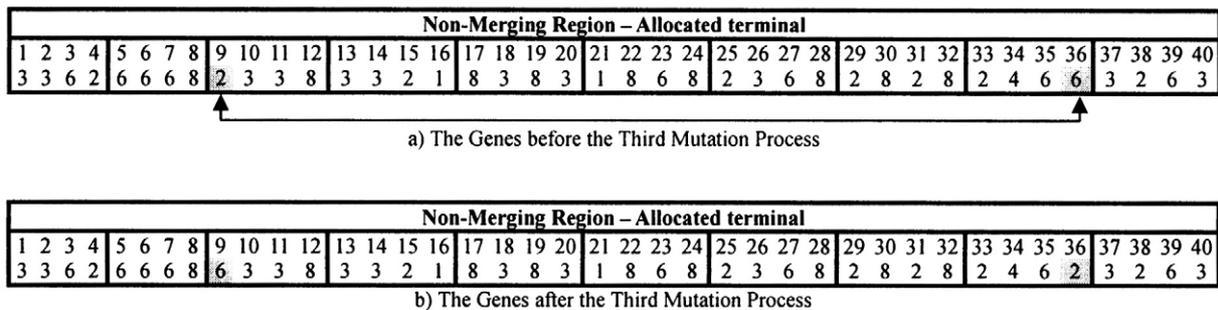


Figure 11. Third Mutation Process

Table 3. The Rules for Second Mutation

Merging Region	Company	Allocated Terminal							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		1		2		3		4	
1	1	○	○	X	○	○	X	X	○
	2	○	○	○	○	○	○	○	○
	3	X	○	X	○	○		○	○
	4	X	○	X	X	○	○	○	○
5	1	○	○	○		X	○	○	X
	2	○	○	○	○	X	○	○	X
	3	○	X	X	○	○	○	○	○
	4	○	○	○	X	○	X	○	○

Table 4. The Rules for Third Mutation

Non- Merging Region	Company	Allocated Terminal							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		1	2	3	4				
3	1	○	○	○	X	○	■	○	○
	2	X	○	○	○	○	X	○	X
	3	X	○	○	○	○	○	X	○
	4	X	○	○	○	○	○	○	○
9	1	○	○	X	X	○	○	○	○
	2	○	X	○	○	○	○	○	○
	3	X	○	○	X	○	○	X	X
	4	○	■	X	X	○	○	○	○

distance rules the terminal is not available in the allocation of the company's service center within each region then the mutation process cannot be done. In Figure 11 (a), nine means in the third non-merging region, company 1's service center is allocated to terminal two while thirty-six means in the ninth non-merging region, company 4's service center is allocated to terminal six. Based on the distance rules the terminal six and two are available in third region and in the ninth region to be the allocation of company 1's service center and company 4's service center respectively. Figure 11 (b).

#### 4. NUMERICAL EXAMPLE

For In the numerical example, the current operation data for Type I and Type II service centers are given in Table 5. There are four express courier service companies where each company has two terminals with different terminal fixed cost for all terminals in Table 6. The terminal for company 1 is {1, 2}, the terminal for company 2 is {3, 4}, the terminal for company 3 is {5, 6}, and the set of terminal for company 4 is {7, 8}. All service centers of each company are allocated to

Table 5. Current Operation Data Type I and II Service Centers

Merging Region	Pick-Up Amount				Daily Fixed Cost			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
1	15	48	36	48	52	71	82	55
2	38	42	30	22	88	57	36	72
3	50	30	25	20	64	91	66	56
4	10	26	47	16	78	83	54	63
5	43	42	35	44	75	61	86	93

Non-Merging Region				
Region	Pick-Up Amount			
	C1	C2	C3	C4
1	265	336	261	239
2	421	427	436	407
3	233	218	161	294
4	214	127	427	332
5	329	117	219	304
6	115	467	107	243
7	444	343	422	220
8	376	374	331	445
9	133	159	243	385
10	228	435	146	373

Table 6. Terminal Cost for All Terminals

Terminal Fixed Cost							
C1		C2		C3		C4	
1	2	3	4	5	6	7	8
1672	1896	1337	1021	1714	1905	1483	1259

one terminal. The daily pick-up amount for each Type I service center is randomly generated in the range between 10 and 50 units while for each Type II between 100 and 500 units. And, the capacity is 3,500 units for each terminal of the companies.

In this scenario all the terminals will not be available for each company within each region because of the terminal distance. The assumptions for this scenario are: the terminal is available for it owns the company and if the other company's terminal distance is more than 70 km then it will be not available to be allocated in that region. The overall procedures are coded in Matlab 7.0 and the result can be seen in Figure 12. The optimal solution for maxmin criterion can be obtained using GA and the result after GA implementation is shown in Table 7(a)-(c).

2, 3, 4, 6, and 7. Based on maxmin criterion, the obtained objective function values for each company is \$26,128, where the profits for each company are \$34,459, \$26,128, \$28,862, and \$45,119 respectively. The total profit of \$134,567 represents the total sum of the profit for each company.

Table 7. The Result after GA Implementation with Considering Distance

a) Available Terminal for Each Company

Non-Merging Region	Terminal Allocation			
	C1	C2	C3	C4
1	2	1	2	1
2	7	2	7	2
3	6	3	6	3
4	4	4	4	4
5	2	5	2	5
6	6	3	6	2
7	2	6	6	2
8	2	3	4	2
9	6	3	6	6
10	2	3	7	7

b) Type I Service Centers

Company	Available Terminal
1	2
2	3 & 4
3	6
4	7

c) Type II Service Centers

Merging Region	Opened Service Centers	Terminal Allocation
1	1	2
2	2	3
3	4	6
4	4	7
5	2	3

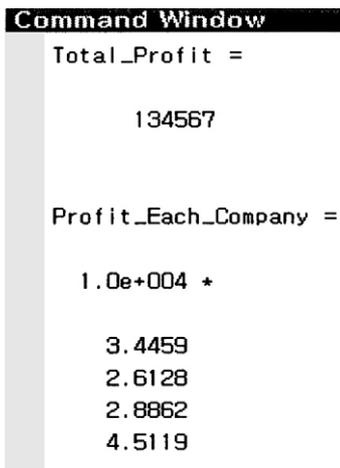


Figure 12. The Program Result after GA Implementation with Considering the Distance

Only in the merging region 1, company 1's service center is selected to be open; while in the region 3 and 4, company 4's service center are selected to be open and company 2's service centers are selected to be opened in regions 2 and 5 respectively. The available terminals in this case are terminal

## 5. Conclusions

This study developed a decision making model for a strategic alliance among express courier companies by using GA and its efficient solution procedure which aimed to maximize the expected profit from express courier services by merging the service centers, to decide the available terminals, and to share the capacity of consolidation terminals by reassigning all the service centers to the terminals without exceeding the capacity of the consolidation terminal. It also determined whether the existing consolidation terminals were still open or not in Type I and Type II cases. The solution procedure was developed using GA and coded in Matlab 7.0. As such, the model and solution procedure enabled express courier companies to earn maximized profit by merging the service center and also by reducing the number of consolidation terminals.

## REFERENCES

- [1] Cachon, G.P. and Lariviere, M.A.(1999), Capacity choice and allocation: strategic behavior and supply chain performance, *Management Science*, Vol.45(8), pp.1091~1108.
- [2] Chopra, S. and Meindl, P.(2004), *Supply chain management: strategy, planning and operation*, NJ: Pearson Prentice Hall.
- [3] Chung, K.H., Rho, J.J., and Ko, C.S.(2009), Strategic alliance model with regional monopoly of service centers in express courier services, *International Journal of Service and Operation Management*, Vol.5(6), pp.774~786.
- [4] Chung, K.H., Ko, C.S., Hwang, Y.M., and Rho, J.J.(2010), Network design for strategies alliance in express courier services: a fuzzy set approach, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 9(1), pp.349~359.
- [5] Chung, K.H., Ko, H.J., Ferdinand, F.N. and Ko, C.S.(2011), A fuzzy set-theoretic approach to the weak strategic alliance for the survival of multiple service center in express courier services, *ICIC Express Letters: International Journal of Research and Surveys*, Vol. 5(2), pp.385~389.
- [6] Min, H.(1996), Consolidation terminal location-allocation and consolidated routing problems, *Journal of Business Logistics*, Vol. 17(2), pp.235~263.
- [7] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., and Simchi-Levi, E.(2003), *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies*, McGraw-Hill.



**Friska Natalia Ferdinand**

인도네시아 Pelita Harapan 대학교 정보 시스템학과 학사

인도네시아 Pelita Harapan 대학교 산업 공학과 석사

경성대학교 산업경영공학과 박사

현재 : 경성대학교 산업경영공학과 외래 교수

관심분야 : 물류시스템, 공급사슬경영



**고 현 정**

계명대학교 산업공학과 학사

계명대학교 산업공학과 석사

루이빌대 산업공학과 박사

현재 : 군산대학교 물류학과 조교수

관심분야 : Closed-loop 공급사슬경영, 해운 및 항만물류, 물류 네트워크, 제약자원이론



**정 기 호**

서울대학교 경영학과 학사

KAIST 경영학과 석사

KAIST 경영학과 박사

현재 : 경성대학교 경영정보학과 교수

관심분야 : 물류네트워크 설계, 공급사슬경영



**고 창 성**

서울대학교 산업공학과 학사

KAIST 산업공학과 석사

KAIST 산업공학과 박사

현재 : 경성대학교 산업경영공학과 교수

관심분야 : 물류시스템, 공급사슬경영



## 한국SCM학회지 13권 1호 심사자 명단(가나다 순)

---

고시근 교수(부경대 시스템경영공학과), 고창성 교수(경성대 산업경영공학과), 고현정 교수(군산대 물류학과), 권순동 교수(충북대 경영정보학과), 김대철 교수(한양대 경영학부), 김동환 교수(안양대 무역유통학과), 김수욱 교수(서울대 경영대학), 김정 교수(신안산대 산업경영과), 김채수 교수(동아대 산업경영공학과), 문덕희 교수(창원대 산업시스템공학과), 문용마 교수(서울시립대 경영학과), 문일경 교수(서울대 산업공학과), 박명환 교수(한성대 산업경영공학과), 서용원 교수(중앙대 경영대학), 양재환 교수(서울시립대 경영학과), 유인선 교수(수원대 경영학과), 윤봉규 교수(국방대 관리대학원), 이동호 교수(한양대 산업공학과), 임승길 교수(성결대 산업경영공학과), 임준묵 교수(한밭대 글로벌융합학부), 정기호 교수(경성대 경영정보학과), 조영빈 교수(건국대 경영학과), 차춘남 교수(경상대 산업시스템공학부), 하병천 교수(서강대 경영학과), 한용호 교수(부산외국어대 e-비즈니스학과), 황학진 교수(조선대 산업공학과)

학회지 심사를 위해 노고를 아껴주시지 않은 심사자 여러분들께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

이 학술지는 2012년도 정부재원(교육과학기술부)으로 한국연구재단의 지원을 받아 출판되었습니다.

This journal was supported by the National Research Foundation of Korean Grant funded by the Korean Government(MEST)

## **한국 SCM 학회지** 제13권, 제1호

---

인 쇄 / 2013년 5월 31일

발 행 / 2013년 5월 31일

발행인 / 이영해

편집인 / 고창성 · 김수욱

발행처 / **한국SCM학회**

경기도 안산시 상록구 사3동 1271 한양대학교 산업경영공학과 내  
5공학관 532호

전화 031-438-5269, 400-4506 전송 031-406-1089

<http://www.kscm.org>