한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

Volume 20 Number 2
2020 October

KSCM 사단법인 한국SCM학회

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

1 DEA를 이용한 3PL 기업의 효율성 분석: 다년간 국제적 접근

Ancilla K. Kustedjo · 한현수 · 김대식

In this paper, we present the DEA application result, extending the analysis scope to longitudinal and international range, to assess 3PL firm's efficiency. Total twenty-two 3PL firms, located in Korea, Japan, and Taiwan, are chosen for the DEA analysis with following selection criteria such as, considerably large in scale to get listed on the Industry Classification Benchmark (ICB) (2017), and have been listed in the Stock Market and Wall Street Journal for more than five years. The data are gathered from the consolidated financial report posted annually on company web sites from 2013 to 2017, which results in total 110 DMUs. The distinguishing feature of this study is that both the individual firm level longitudinal efficiency variations, and aggregated national level efficiency changes are examined altogether. The DEA computational results offer useful insight for firm level benchmarking and national level 3PL policy regulations development. The procedures and computational DEA results illustrated in this research could be further elaborated in this field.

15 AHP분석과 확률분포를 이용한 공군 군수예산 집행 우수자 선발 기준 개선에 관한 연구

최명진 · 박건웅 · 고덕우 · 정병호

The Air Force has been operating the system since 2014 to encourage proper budgeting and timely execution, and is giving rewards and incentives to those who are excellent. The purpose of this study is to analyze the problems of the selection criteria for excellent people and to present improvement measures. In particular, the evaluation criteria were improved by applying AHP analysis, one of the quantitative decision-making techniques, to compensate for the lack of objectivity, equity, and discrimination, which had been pointed out as a problem with the current system, and the evaluation formula was improved using probability distribution. It is believed that objectivity and fairness of assessment items and scores will be guaranteed through the application of the results of this study, and that it can be used to improve evaluation standards operated by various institutions.

27 반응적 공급사슬 구성 기업들의 스마트 팩토리 관련 기술 사용의도에 대한 연구: 확장된 UTAUT 모형을 중심으로

서영복 · 박찬권

This study is aimed at small and medium-sized enterprises related to fashion clothing, electronics and electricity as companies in Korea's innovative products and responsive supply chain industries. In the acceptance of smart factory-related technologies, the main goal is to determine what factors the company's management practitioners will accept and accept. To this end, a questionnaire was conducted for domestic companies and the research hypothesis was tested using the collected questionnaire. As a result of the test of the research hypothesis, performance expectation, effort expectation, and social impact were tested to have a significant effect on the use intention (+), and the level of impact intensity was social impact> performance expectation> effort expectation. In addition, it was tested that the promotion conditions and network effect had a positive effect on the intention to use, but were not significant. In addition, innovation resistance was tested as having a negative effect on the intention to use. Finally, the intention to use was tested to have a positive (+) effect on usage behavior. In addition, in the difference analysis according to the size of the company, it was tested that there was a difference in all other research items except innovation resistance.

49 수요의 불확실성과 현금 흐름을 고려한 공급망 관리의 민감도 분석에 관한 연구

양근호 · 안시후 · 정병도

Supply chains faces various uncertainties such as demand, manufacturing and supply uncertainties. In this study, we consider both normal demand variation and sudden change in demand as risk factors in a supply chain. Capacity is adjusted by hiring and firing workforce to mitigate the impact of demand uncertainty in consideration of cash flow. A mixed-integer linear programming model is developed and numerical experiments are conducted to investigate the impact of uncertain demand in terms of inventory level, cash flow, debt ratio, and bankruptcy. The results show that safety stock of a focal company has less effect on cash flow of suppliers in the case of normal demand variation. Also, it is observed that the sudden change in demand worsens cash flow and causes bankruptcy and high inventory level in a supply chain. The ratio of production and fixed cost has a significant impact on the performance of a supply chain.

65 혼합정수계획법을 활용한 전시상황에서의 효율적인 급수 분배계획

신원섭 · 김준락 · 정봉주

In wartime situations securing water resources is one of the most important factors for operational success and the military establishes a plan to supply high-quality drinking water over and above the standard requirement in a wartime distribution system. The distribution of water supply is made in accordance with the water quality regulations for the supplied drinking water and the water quality test is tested periodically to ensure consistency. Nevertheless, the possibility of contamination of drinking water always exists and the drinking water pollution in wartime is a very important issue that has a serious impact on sustaining combat capability. In this study, an integrated optimization model of water purification equipment location and water supply distribution is proposed in order to efficiently supply drinking water to combat units. Through the numerical analysis using examples we show the validity and applicability of the proposed models.

77 모바일 사물인터넷 기반 자동심장충격기 효과 측정을 위한 시뮬레이션 분석

한현수 · 서경수 · 강태욱

In this paper, we report the process changes and quantitative benefit analysis result when mobile IoT technology is embedded into AED(Automated External Defibrillator) for the emergency heart attack patients. To-be process change versus as-is stand-alone AED is illustrated based on BPMN(Business Process Model and Notation) standard, and ARENA simulation tool is adopted to assess the benefit as for the possible multiple to-be process scenarios. We reference the actual data collected from Centers for Disease Control and Public Data Portal to develop to-be scenarios and simulation modeling. The lead time to dispatch the emergent patients to the hospital, CPR(cardiopulmonary resuscitation) treatment percentage, and survival rate are revealed to be radically improved, which are the benefit accrued by the implementation of mobile IoT based AED. The research result offers useful insight for the recently propagating mobile IoT based business model design and expected benefit analysis.

95 중국 시장의 공급업체 개발 역량과 성과 간 관계에 대한 환경경영 실행 요인의 조절효과 연구

김영길 · 박정수

This study verifies whether supplier development capacity of Chinese companies affects positively on performances of them by conducting surveys on a sample consisting of many types of Chinese companies. In the second stage of the study, we tried to confirm whether human environmental management factor and system environmental management factor, as the two important factors in environmental management practice factors, have positive moderating effect on the relationship between supplier development capacity and performances respectively. To verify these research goals, we conducted empirical surveys on 259 companies in Chinese market. As the results, in the first stage of this empirical study, we found that the independent variable of supplier development capacity affects positively in statistical significance on the dependent variable of performances of companies. Secondly, in environmental management practice factors, only system environmental management factor shows positive moderating effect on the relationship between quality management practices and performances, while human environmental management practice factor does not.

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

투고논문 작성 요령

1. 제출방법

투고자는 논문을 한글 또는 MS워드로 작성하며, 글씨크기 11포인트, 2단 편집으로 작성하여 제출한다. 논문 심사 후 게재가 확정되면 저자 약력 및 사진이 포함된 최종본을 e-mail로 제출하여야 한다. (논문저자 중 한 명 이상은 한국SCM학회 연회비 납부회원이어야 투고할 수 있다.)

2. 제출철회

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 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 사용자제)

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 키워드를 기입한다.

6. 각주(footnote)

- 연구비의 지원을 받아 연구가 이루어진 논문을 알릴 경우
- 연락저자의 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. 번호 매김

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

9. 그림과 표

그림과 표는 제목과 내용을 모두 영문으로 작성한다. 그림은 Fig. 로 표시하며, 그림의 제목은 그림의 아래 중앙에 표기한다. 표는 Table 로 표시하며 표의 제목은 표의 위 중앙에 표기한다. 모든 그림과 표는 본문의 적당한 위치에 삽입하고, 삽입이 어려운 경우는 논문의 맨 뒤에 첨부한다.

10. 수식표현

수식(formula)은 필요한 경우 번호를 부여한다.

(예) $y = a_1 x^2 + a_2 x + a_3$ (1)

11. 참고문헌

참고문헌의 모든 내용은 영문으로 작성하며, "REFERENCES"로 표제를 통일한다. 참고문헌은 알파벳 순으로 작성한다. 인용된 문헌은 ( )안에 저자명과 연도를 본문 중에 명시하고 인용된 문헌의 전부를 본문 끝에 저자명의 영문 순으로 일괄 기입한다. 학술지의 경우는 저자명(발행년도), 논문제목, 학술지명(이탤릭체), 권(호), 쪽수의 순으로 기입하고, 정기간행물이 아닌 문헌의 경우는 저자명(출판년도), 서명(이탤릭체), 출판수(2판 이상), 쪽번호 또는 장, 출판사명, 출판지역의 순으로 기입하되, 다음의 예를 따른다.

(예)

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

[2] 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 초과 시 페이지 당 2만원을 추가로 납부한다. 또한 각주 중 연구비 지원에 대한 사사표기가 있을 경우에는 10만원을 추가로 납부한다.(연구비 지원금액이 1천만원을 넘지 않을 경우 사무국으로 사사표기 금액 면제 요청)

〈송금처〉

국민은행 031737-00-000482

(예금주 : 사단법인 한국SCM학회/영수증 발급)

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management
Vol. 20, No. 2, pp.1 ~ 14, October 2020

ISSN 1598-382X
https://doi.org/10.25052/KSCM.2020.10.20.2.1

DEA를 이용한 3PL 기업의 효율성 분석: 다년간 국제적 접근

Ancilla K. Kustedjo*·한현수**†·김대식***

*.**한양대학교 경영학과 · ***한동대학교 경영경제학부

Longitudinal and International Approach to assess 3PL firm's Efficiency using DEA

Ancilla K. Kustedjo* · Hyun-Soo Han**† · Dae-Shik Kim***

*.**Hanyang University, School of Business
***Handong Global University, School of Management & Economics

In this paper, we present the DEA application result, extending the analysis scope to longitudinal and international range, to assess 3PL firm's efficiency. Total twenty-two 3PL firms, located in Korea, Japan, and Taiwan, are chosen for the DEA analysis with following selection criteria such as, considerably large in scale to get listed on the Industry Classification Benchmark (ICB) (2017), and have been listed in the Stock Market and Wall Street Journal for more than five years. The data are gathered from the consolidated financial report posted annually on company web sites from 2013 to 2017, which results in total 110 DMUs. The distinguishing feature of this study is that both the individual firm level longitudinal efficiency variations, and aggregated national level efficiency changes are examined altogether. The DEA computational results offer useful insight for firm level benchmarking and national level 3PL policy regulations development. The procedures and computational DEA results illustrated in this research could be further elaborated in this field.

Keyword : DEA, 3PL efficiency, International management, Longitudinal analysis.

※ This work was supported by the research fund of Hanyang University (HY-2019)
† **Corresponding Author** : Hanyang University, School of Business, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, 04763, Korea,
Tel: +82-2-2220-1822, E-mail: hshan@hanyang.ac.kr
Received: 11 June 2020, **Accepted**: 11 June 2020

1. Introduction

Third-party logistics (3PLs) providers are one of initiative that has been striving to be more productive and efficient in their core competencies for logistics function in the last few years (Hong et al., 2004; Lieb and Bentz, 2005; Min and Joo, 2006). Indeed, many 3PLs have been broadening their services to include manufacturing, warehousing, distribution, and freight forwarding (Menon et al., 1998; Lieb and Randall, 1999). The 3PL's survival is highly dependent on its ability to keep 3PLs operation lean due to tight profit margins and increasing competition (Min and Joo, 2006, Min et al., 2013). This is not easy to reduce the cost pressures appearing from increasing customer expectations and expanded services (Min and Joo, 2006; Min and Joo, 2009). Therefore, the international comparison of 3PLs performance provides more objective evaluation in assessing the management efficiency of domestic 3PLs (Colin et al., 2011; Marchet et al., 2017). For example, sometimes a domestic 3PLs yielding positive profit might not be as efficient as other country 3PLs in a similar environment.

Our research motivation is to compare the performance of 3PLs in Japan, South Korea, and Taiwan countries which have similar environment and relatively advanced in their ICT technology. Empirical studies focused on identifying and evaluating the operational efficiency propose non-parametric models such as DEA in the 3PLs industry. Even if these contributions have successfully adopted DEA to measure efficiency, they only analyze small samples from 3PLs in specific countries (Min and Joo, 2006; Zhou et al., 2008; Min and Joo, 2009; Min et al., 2013; Hong and Xu, 2015; Park and Lee, 2015; Marchet et al., 2017). Given the research gap of efficiency studies for 3PLs, this study investigates the efficiency of individual 3PLs companies that could improve the efficiency of the 3PL industry in Japan, South Korea, and Taiwan countries.

In the next section, the research methods of DEA application including variable selection is provided. And next, section 3 describes computational testing result. This is followed by section 4 which presents the longitudinal analysis and discussion. And lastly, section 5 provides the conclusion.

2. Research Methods

2.1. DEA Method

Data Envelopment Analysis (DEA) is a powerful analytical tool that is extensively used in the non-parametric method. This method evaluates the effect of multiple input and output on decision making units (DMUs) efficiency. The first DEA model has been introduced by Charnes et al. (1978) in the application of constant return to scale (CRS) and later expanded by Banker et al. (1984) in the application of variable return to scale (VRS) in order to measure the technical efficiency of a set of comparable DMUs. The purpose of method is measuring the ratio of total weighted output to weighted input that represents the relative efficiency of DMUs (Korpela et al., 2007; Samoilenko and Bryson, 2012). The comparison results in a ranking of the DMU in terms of relative efficiency, where the highest rank DMUs

are examined relatively efficiency and assigned a perfect value of 1. The rest of DMUs are considered to be relatively inefficient.

DEA measurement could examine two kinds of orientations (Charnes et al., 1994; Cook and Bala, 2007). First, the input-oriented DEA models can be illustrated efficiency as the optimal number of inputs that minimizes the given output level. The relatively efficient DMU under input-orientation cannot decrease the input level further to achieve a given output level. Second, the output-oriented DEA models explained efficiency as the optimal number of outputs that could be resulted under the given input levels. The relatively efficient DMU cannot increase the level of outputs any further relying on given input levels.

The analysis focus is considering the CCR model indicates technical efficiency, the θi (the efficiency of the DMUi) while θi in the BCC model is based on the VRS assumption that is a measurement of pure technical efficiency (PTE). The BCC models estimate both technical efficiency and scale efficiency. The scale efficiency indicates how close the firm in optimal scale (SE= TE/PTE) (Bogetoft and Otto, 2010). Nigam et al. (2012) examine that technical efficiency measures the efficiency by dividing inputs variable by output variable while the scale efficiency is 100% where all scales of production is only one most productive scale size. In consequence, the DMU is said to be efficient when technical and scale efficiency is efficient. When SE value equals one, it operates at CRS (Constant Return to Scale). In case of that, the SE score is an inefficient scale when the score is less than one for the target DMU and distinguished as either DRS (Decreasing Returns to Scale) or IRS (Increasing Returns to Scale) (Cooper et al., 2000).

2.2. Variable Selection

The selection of input and output variables is very fundamental to have meaningful and reasonable results in DEA analysis. In previous literature of 3PLs DEA analysis, the input and output variable selection is differential as illustrated in <Table 1>. The criteria for input variable selection is to assess the competency in 3PLs management, which include facility utilization, process efficiency, and labor productivity. Along with the input variable, the criteria for choosing output variables is to consolidate critical 3PLs performance such as operating income and revenue.

As such, the selected input variables are capital expenditure (CAPEX), operating expenses, and employee. They are already used in other 3PLs literature, for example, capital expenditure (CAPEX) in Park and Lee (2015), Ja et al. (2017), Tan et al. (2017); operating expenses in Min and Jo (2006), Zhou et al. (2008), Wong et al. (2016), Marchet et al. (2017); and employee in Min et al. (2013), Hong and Xu (2015), Park and Lee (2015), Ja et al. (2017). Capital expenditure is selected to evaluate the relative efficiency of infrastructure and facilities utilization. Capital expenditure might include plant and equipment purchases, building and expansion improvements, a vehicle to transport goods, and total properties. Operating expenses is a key resource for the cost of maintaining equipment operational and sustaining uninterrupted logistics operations as management processes. The total operating expenses represent

the sum of expenses consisting of selling and general administration expenses, cost of goods sold, and maintenance expenses. The number of employees is chosen to analyze labor productivity. Consequently, the input variables selected in this study are the most often used input variables in the previous study and will be used for the efficiencies of facility utilization, process efficiency, and labor productivity of 3PL providers' operation.

As the input variables are chosen for the objective of performance implication in logistics management, the output variables are also selected for 3PL providers' management performance analysis. The output variables which are selected in this part are operating income and revenue. They are widely used in 3PLs DEA analysis, for example, operating income in Min and Jo (2006), Zhou et al. (2008), Wong et al. (2013), Wong et al. (2016); and revenue in Min and Jo (2009), Min et al. (2013), Lee and Lee (2011), Park and Lee (2015), Hong and Xu (2015), Ja et al. (2017). Operating income is the best reflects the operational efficiency of 3PLs. Operating income measures the amount of profit realized from 3PL's operations; this excludes operating expenses and depreciation from gross income (Zhou et al., 2008). Revenue is selected to obtain financial health and resilience of 3PLs and proportional to the extent of 3PL providers' business activities. The details of variable selection are organized in <Table 1>.

Table 1. Selection of Input and Output Variables

Category	Variable	Description	Researcher
Input	CAPEX	The cost related to principal sources to develop 3PL providers' services to customers.	Park and Lee (2015), Ja et al. (2017), Tan et al. (2017)
	Operating Expenses	A key resource for maintaining equipment and keeping 3PL providers operations.	Min and Jo (2006), Zhou et al. (2008), Wong et al. (2013), Marchet et al. (2017)
	Employees	The efficiency of direct investment in human resources.	Min et al. (2013), Hong and Xu (2015), Park and Lee (2015), Ja et al. (2017)
Output	Operating Income	The amount of profit realized from a 3PL's operation	Min and Jo (2006), Zhou et al (2008), Wong et al. (2013), Wong et al. (2016)
	Revenue	A financial indicator of financial health and resilience of 3PL providers and it is proportional to the 3PL provider's business activities.	Min and Jo (2009), Min et al. (2013), Lee and Lee (2011), Park and Lee (2015), Hong and Xu (2015), Ja et al. (2017)

2.3. Data Collection and Descriptive Statistics

The classification 3PLs for this paper can be found on the Industry Classification Benchmark (ICB) (2017). All ICB of categorizing companies are described on the New York Stock Exchange that also related to 3PLs industry and sector classification companies in the Wall Street Journal. They categorize companies across six levels the classification of industrial transportations such as transportation services, marine transportation, railroads, delivery services, commercial vehicle parts, and commercial vehicle - equipment leasing. This paper focuses on transportation services 3PLs that provide services to manage providers of logistic services and ports to shippers of goods for the industrial transportation sector. Based on this definition, 110 of 3PLs are collected from a

consolidated financial report posted annually on company web sites. All the selected 3PLs have been listed in the Stock Market and Wall Street Journal for more than five years and considerably large in scale (annual revenue of approximately $205 million to $ 22 billion). The selected 3PLs are shown in <Table 2>.

Table 2. The Selection 3PLs

Country	Company Code	Company
Japan	MH	Mitsui-soko Holdings
	ML	Mitsubishi Logistics
	TH	Tonami Holdings
	JT	Japan Transcity
	YH	Yamato Holdings
	UC	Utoc
Country	Company Code	Company
Japan	UC	Utoc
	KR	K.R.S
	YL	Yusen Logistics
	KW	Kintetsu World Express
	MS	Maruzen Showa Unyu
	SK	Sankyu Inc.
	NC	Nissin Corporation
Taiwan	TG	T3EX Global Holdings
	KT	Kerry TJ logistics
	EI	Evergreen International
South Korea	SB	Sebang
	HE	Han Express
	HL	Hansol Logistics
	KC	KCTC
	CJ	CJ Korea Express
	HT	Hanjin Transportation
	HG	Hyundai Glovis

The five-year annual report data from 2013 to 2017 is used for this calculation. The descriptive statistic for five-year annual input and output variables applied for DEA analysis is shown in <Table 3>. An average change of input and output variables showed that all input and output variables have constantly increased. Furthermore, the correlation analysis is conducted between the input and output variables, which is described in <Table 4>. The results show all input variables are a significant positive correlated with the output variable. The isotonicity relationship between input and output variables is examined for validation of the DEA model.

Finally, we examined the number of variables and the number of DMUs. In DEA application, Cooper et al. (2000) have a rule of thumb for DEA analysis which $n \geq \max(m \times s, 3(m + s))$, where n is the number of DMU, m is the number of inputs, and s is the number of outputs. In this analysis, twenty-two of 3PLs data is analyzed and the number is larger than triple times of the total number of inputs (3) and output (2). That is, $110 > 3\ (3 + 2) = 15$.

Table 3. Descriptive Statistics of Input and Output Variables

	CAPEX (in million)	Op. Expense (in million)	Employee (people)	Op. Income (in million)	Revenue (in million)
Minimum	1	130	297	4	206
Maximum	2,114	21,516	22,921	3,113	21,697
Mean	162	3,038	5,810	222	3,259
Standard Deviation	357	4,870	6,455	447	5,125

(Monetary unit are in USD)

Table 4. Correlation Coefficient between the Variables

	CAPEX (million)	Op. Expense (million)	Employee (people)	Op. Income (million)	Revenue (million)
CAPEX (million)	1.000				
Op. Expense (million)	0.866	1.000			
Employee (people)	0.588	0.647	1.000		
Op. Income (million)	0.973	0.857	0.581	1.000	
Revenue (million)	0.874	0.997	0.641	0.872	1.000

(Monetary unit are in USD)

3. Computational testing results

The DEA model runs with DEAP 2.1 program (Coelli, 1996). Input oriented CCR and BCC are used to investigate the efficiency and inefficiency change resulted by changing the input value with a fixed output value (Kim et al., 2014). The computational testing results arranged across all of the years are presented in <Table 5>. Among the 110 of 3PL providers, the total number of efficient 3PLs provider was 16 (14.54%) when the CCR model was used (TE=1). While the total number of efficient 3PLs providers when the BCC model was applied, was 27 (24.55%).

Table 5. Country-based 3PLs Efficiency Analysis

Country	Number of 3PL Providers						Mean Score		
	Total	CCR_{eff}	BCC_{eff}	CRS	DRS	IRS	TE_{CRS}	PTE_{VRS}	SE
Japan	60	6	14	6	50	4	0.652	0.829	0.781
South Korea	35	7	8	7	9	19	0.775	0.877	0.883
Taiwan	15	3	5	3	1	11	0.783	0.856	0.906
Total / Avg	110	16	27	16	60	34	0.698	0.834	0.830

As indicated in <Table 5>, South Korea showed the highest efficiency score of TE = 0.775 and PTE = 0.877. The value was far above than average PTE score. While the number of efficient 3PLs in South Korea was 7 out of 35 (20.00%) when the BCC model was applied, the number of efficient 3PLs in Taiwan was 3 out of 15 (20.00%). The reason why both countries run relatively inefficient status could be explained by the IRS (Increasing Return to Scale) operating level. Among 19 out of 35 (54.29%) inefficient 3PLs of South Korea and 11 out of 15 (73.33%) inefficient 3PLs of Taiwan were operating at IRS. These 3PL providers could be increased in size to achieve better scale efficiency which means these companies have relatively small production levels compared to the optimal scale level. The 3PLs providers' capacity for both countries could be less capacitated to run at the optimal return of scale.

In comparison, the mean PTE value of Japan was shown to be 0.829 that the value was far below than average PTE score of 0.834. The 50 out of 60 (83.33%) inefficient 3PLs of Japan run at DRS. It means that these 3PLs provider's capacity could be decreased in size to achieve better scale efficiency on a national basis which means these companies have relatively high production levels compared to the optimal scale

level. Japan 3PLs' capacity could be over capacitated to run at the optimal return of scale. Moreover, the overall mean TE score of 0.698 and mean SE score of 0.834 indicated that the 3PLs inefficient in Japan, South Korea, and Taiwan were related to both the pure technical and scale inefficiencies.

Table 6. Frequency Distribution 3PLs

Country	Company	CRS		DRS		IRS	
		No. of Freq each year	No. of 3PL	No. of Freq each year	No. of 3PL	No. of Freq each year	No. of 3PL
Japan	Mitsui-soko Holdings	2014 (34)	1	2013 (0), 2015 - 2017 (0)	4		
	Mitsubishi Logistics	2013 (4)	1	2014 - 2017 (0)	4		
	Tonami Holdings			2013 - 2017 (0)	5		
	Japan Transcity	2017 (4)	1	2013 - 2016 (0)	4		
	Yamato Holdings			2013 - 2017 (0)	5		
	Utoc	2015 (25)	1			2013, 2014, 2016, 2017	4
	K.R.S			2013 - 2017 (0)	5		
	Yusen Logistics	2013 (14)	1	2014 - 2017 (0)	4		
	Kintetsu World Express	2013 (39)	1	2014 - 2017 (0)	4		
	Maruzen Showa Unyu			2013 - 2017 (0)	5		
	Sankyu Inc.			2013 - 2017 (0)	5		
	Nissin Corporation			2013 - 2017 (0)	5		
Taiwan	T3EX Global Holdings	2014 (0), 2016 (0)	2			2013 (4), 2015 (0), 2017 (5)	3
	Kerry TJ logistics					2013 - 2017 (0)	5
	Evergreen International	2015 (4)	1	2017 (0)	1	2013 (0), 2014 (0), 2016 (0)	3
South Korea	Sebang	2015 (10)	1	2014 (0)	1	2013 (0), 2016 (0), 2017 (0)	3
	Han Express					2013 - 2017 (0)	5
	Hansol Logistics	2013 (60), 2015 (6)	2			2014 (0), 2016 (0), 2017 (0)	3
	KCTC					2013 - 2017 (0)	5
	CJ Korea Express			2013 - 2017 (0)	5		
	Hanjin Transportation	2013 (11)	1	2014 (0), 2016 (0), 2017 (0)	3	2015 (0)	1
	Hyundai Glovis	2014 (57), 2016 (0), 2017 (0)	3	2013 (0), 2015 (0)	2		

Some interesting result is that Korean 3PLs for Hansol Logistics (2013) and Hyundai Glovis (2014) and Japan 3PLs for Kintetsu World Express (2013) and Mitsui-soko Holdings (2014) were indicated to be highly qualified in terms of frequency shown in <Table 6>. These companies were suggested to become an important benchmark of 3PLs. The high frequency of efficient DMU indicates the number of counts referred to by other inefficient DMUs (Smith and Mayston, 1987).

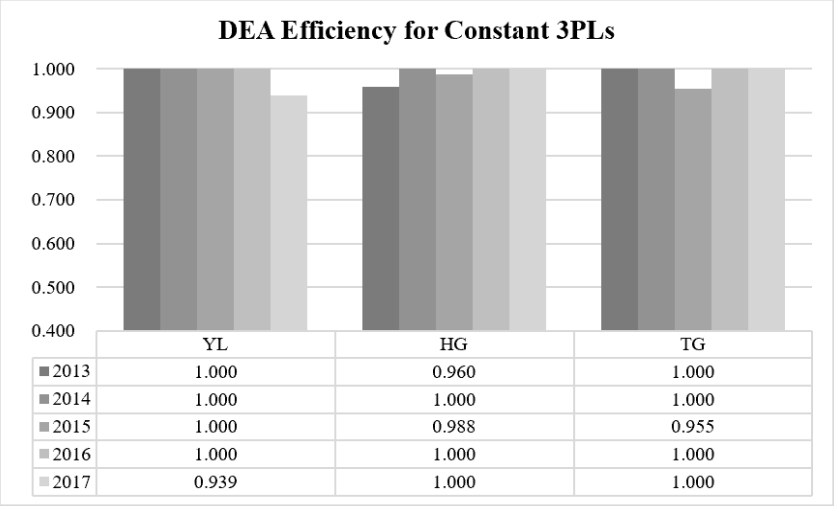
4. Longitudinal analysis and discussions

We classified 3PLs into four specific categories based on PTE score for each company: constant, gradually increase, gradually decrease, and inconstant 3PLs across the years. Also, potential improvement for input − decreasing and output -increasing is calculated in percent terms by dividing each slack value by the target value input or output variable.

The *constant 3PLs* showed the same level of PTE score during the evaluation period (2013 − 2017) as detailed in <Fig. 1> and <Fig. 2>. Yusen Logistics (YL), T3EX Global Holdings (TG), and Hyundai Glovis (HG) consistently indicate a PTE score of 1.000. However, Yusen Logistics efficiency stable during period from 2013 to 2016 (PTE = 1.000) then decrease in 2017 (PTE = 0.939). The decreased efficiency due to revenue decreased by 6.53% to USD19.186 million in 2017 (2016: USD20.527 million). In Japan's Contract Logistics and Transport Business, the revenue lacked dynamism due to the impact of a slowdown

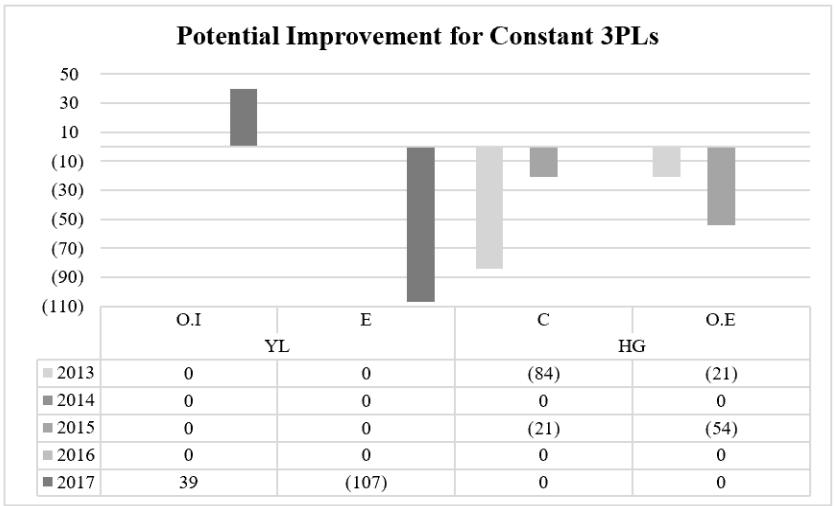
in economic growth in certain emerging countries in Asia.

Hyundai Glovis showed constant efficiency (PTE = 1.000) during the period, despite a small decrease in 2015 (PTE = 0.988). T3EX Global Holdings shows declining efficiency similar to Hyundai Glovis. The possible cause could be attributable to China's 2015 total import/export trade volume down to 7.00%.



	YL	HG	TG
2013	1.000	0.960	1.000
2014	1.000	1.000	1.000
2015	1.000	0.988	0.955
2016	1.000	1.000	1.000
2017	0.939	1.000	1.000

Fig. 1. DEA efficiency for Constant 3PLs



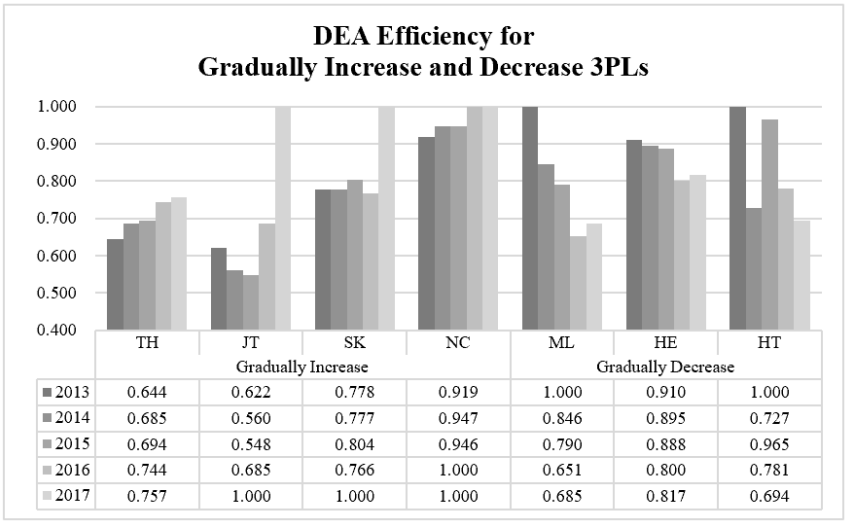
	YL		HG	
	O.I	E	C	O.E
2013	0	0	(84)	(21)
2014	0	0	0	0
2015	0	0	(21)	(54)
2016	0	0	0	0
2017	39	(107)	0	0

Fig. 2. DEA efficiency and Potential Improvement for Constant 3PLs

Note: O.I = Operating Income, E = Employee, C = CAPEX, O.E = Operating Expenses

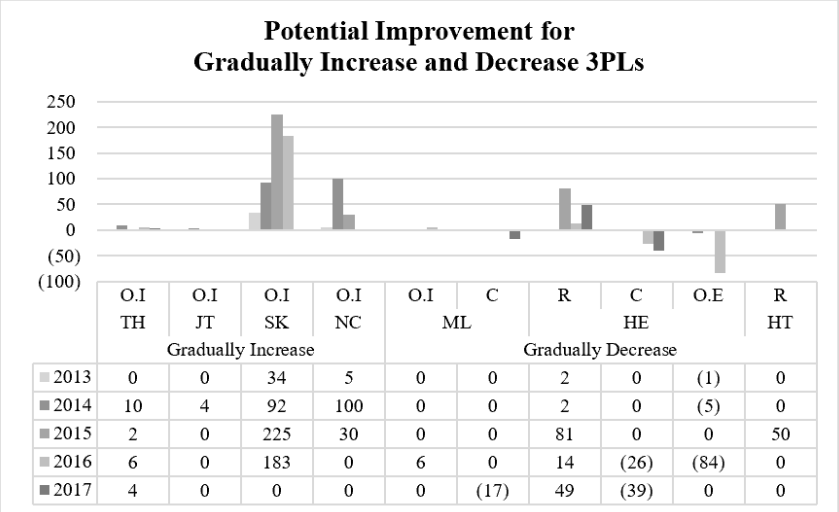
The *gradually increasing 3PLs* indicated the PTE score gradually increases throughout the evaluation period as detailed in <Fig. 3>. The 3PLs companies are Tonami Holding (TG), Japan Transcity (JT), Sankyu (SK), and Nissin Corporation (NC). Japan Transcity and Sankyu achieved an efficiency score of 1.000 in 2017 and Nissin Corporation achieved an efficiency score of 1.000 in both 2016 and 2017. In fact, for the previous year, these Japan 3PLs attempted to improve the efficiency in the freight handling, so that facility utilization rates enhanced 30.9% on average to offset operating income decrease in the average amount of 21.40%. In particular, the outputs of operating income variable showed the potential improvement with an average value of 53.49 as shown in <Fig. 4>.

The *gradually decreasing 3PLs*, such as Mitsubishi Logistics (ML), Han Express (HE), and Hanjin Transportation (HT) as illustrated in <Fig. 4>, showed similar patterns for declining efficiency. During the period 2013-2017, Han Express's operating income decreased by 45.23% to USD 16.28 million in 2016 (2015: USD 29.72 million). In 2016, the business environment in the logistics industry continued to extend the global economic recession and slow domestic demand, which presumably led to a decrease in overall imports and exports. Hanjin Transportation also showed the efficiency decline during the year 2015 – 2017. The company's operating income decreased by 46.42% in 2016 relative to 2015.



	TH	JT	SK	NC	ML	HE	HT
	Gradually Increase				Gradually Decrease		
2013	0.644	0.622	0.778	0.919	1.000	0.910	1.000
2014	0.685	0.560	0.777	0.947	0.846	0.895	0.727
2015	0.694	0.548	0.804	0.946	0.790	0.888	0.965
2016	0.744	0.685	0.766	1.000	0.651	0.800	0.781
2017	0.757	1.000	1.000	1.000	0.685	0.817	0.694

Fig. 3. DEA efficiency for Gradually Increase and Decrease 3PLs



	O.I TH	O.I JT	O.I SK	O.I NC	O.I ML	C ML	R HE	C HE	O.E HE	R HT
	Gradually Increase				Gradually Decrease					
2013	0	0	34	5	0	0	2	0	(1)	0
2014	10	4	92	100	0	0	2	0	(5)	0
2015	2	0	225	30	0	0	81	0	0	50
2016	6	0	183	0	6	0	14	(26)	(84)	0
2017	4	0	0	0	0	(17)	49	(39)	0	0

Fig. 4. Potential Improvement for Gradually Increase and Decrease 3PLs
Note: O.I = Operating Income, R = Revenue, C = CAPEX, O.E = Operating Expenses

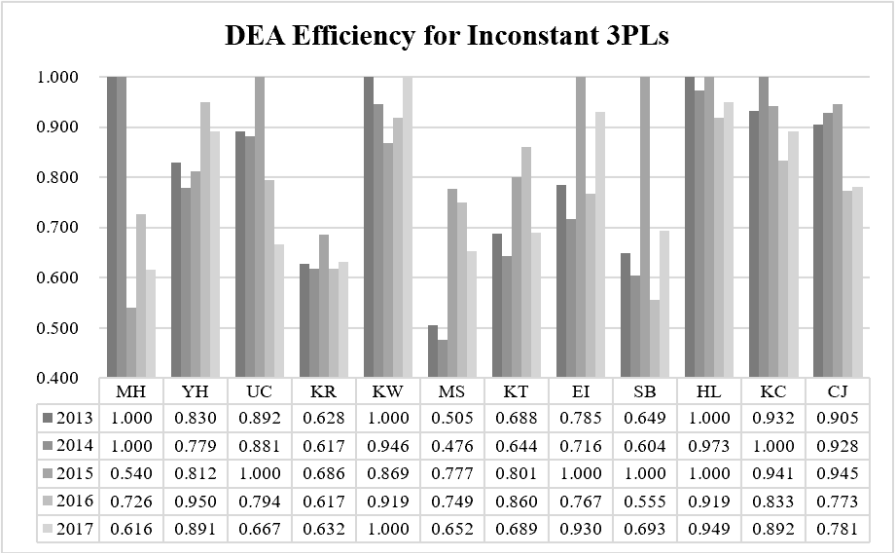
The *inconstant 3PLs* are firms showing unstable PTE scores from year to year as illustrated in <Fig. 5>. This category of 3PLs companies includes Mitsui-soko Holdings (MH), Yamato Holdings (YH), Utoc (UC), K.R.S (KR), Kintetsu World Express (KW), Maruzen Showa Unyu (MS), Kerry TJ Logistics (KT), Evergreen International (EI), Sebang (SB), Hansol Logistics (HL), KCTC (KC), and CJ Korea Express (CJ). Overall, the year 2015 was the worst year for these 3PLs companies due to the global economic recession. The global trade volume was declined due to the slowdown in the manufacturing industry and reduced consumer sentiment, and sluggish exports that had a significant impact on the logistics industry.

For Japan 3PLs, UTOC decreased its efficiency in three years period (2015 – 2017) due to declining growth rate (11.02%) in the handling cargo volume for Asian countries. The output of revenue variable shows the potential improvement with an average value of 1.16% as detailed in <Fig. 6> to achieve the scale efficiency. Similar performance improvement opportunities were available for Mitsui-soko Holdings and K.R.S. Both of 3PLs need to increase their operating income for potential improvement with the amount of 43.70% for Mitsui-soko and the average amount of 35.34% for K.RS as shown in <Fig. 6>.

Although Hansol Logistics showed efficiency score of 1.000 both in 2013 and 2015, the firm's efficiency score declined in both 2016 and 2017. The firm presumably needs to increase its revenue and reduce operating expense as shown in <Fig. 6> for the potential improvement. Besides that, KCTC has a declined efficiency during three years (2015-2017) due to an increase in capital expenditure by 4.10% for investing in bulk transportation services and integrating logistics centers in the metropolitan area. As a result, its operating expense increased by 3.08% and growth revenue declined by 2.03% in 2015. For the

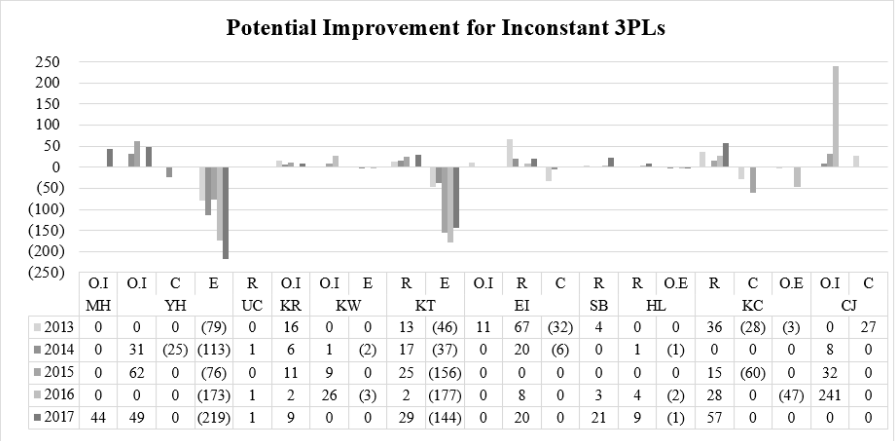
improved efficiency, the company may need to increase revenue, reduce CAPEX, and reduce operating expense in achieving scale efficiency.

In addition, Taiwan 3PL Evergreen International achieved an efficiency score of 1.000 in 2015. However, the firm lost its efficiency for the two years of 2016 and 2017). The company may have suffered from double pressure from market decline and upstream industries' demands for price reductions due to the international situation. The company may have to try to improve its cost structure and enhance the performance to achieve scale efficiency.



	MH	YH	UC	KR	KW	MS	KT	EI	SB	HL	KC	CJ
2013	1.000	0.830	0.892	0.628	1.000	0.505	0.688	0.785	0.649	1.000	0.932	0.905
2014	1.000	0.779	0.881	0.617	0.946	0.476	0.644	0.716	0.604	0.973	1.000	0.928
2015	0.540	0.812	1.000	0.686	0.869	0.777	0.801	1.000	1.000	1.000	0.941	0.945
2016	0.726	0.950	0.794	0.617	0.919	0.749	0.860	0.767	0.555	0.919	0.833	0.773
2017	0.616	0.891	0.667	0.632	1.000	0.652	0.689	0.930	0.693	0.949	0.892	0.781

Fig. 5. DEA efficiency for Inconstant 3PLs



	O.I	O.I	C	E	R	O.I	O.I	E	R	E	O.I	R	C	R	R	O.E	R	C	O.E	O.I	C
	MH		YH		UC	KR	KW		KT			EI		SB	HL		KC			CJ	
2013	0	0	0	(79)	0	16	0	0	13	(46)	11	67	(32)	4	0	0	36	(28)	(3)	0	27
2014	0	31	(25)	(113)	1	6	1	(2)	17	(37)	0	20	(6)	0	1	(1)	0	0	0	8	0
2015	0	62	0	(76)	0	11	9	0	25	(156)	0	0	0	0	0	0	15	(60)	0	32	0
2016	0	0	0	(173)	1	2	26	(3)	2	(177)	0	8	0	3	4	(2)	28	0	(47)	241	0
2017	44	49	0	(219)	1	9	0	0	29	(144)	0	20	0	21	9	(1)	57	0	0	0	0

Fig. 6. Potential Improvement for Inconstant 3PLs

Note: O.I = Operating Income, R = Revenue, E = Employee, C = CAPEX, O.E = Operating Expenses

5. Conclusion

This paper presents the DEA computational testing analysis for twenty-two 3PL providers in Japan, South Korea, and Taiwan for the five years from 2013 to 2017. The selection of the firms are drawn from the list in Industry Classification Benchmark (ICB) (2017) and variables data are gathered from the from each firm's annual report.

This paper underlined the longitudinal changes in DEA efficiency scores, and classified the pattern into the four categories, based on PTE scores, such as *constant 3PLs, gradually increasing 3PLs, gradually decreasing 3PLs, and inconstant 3PLs.* Potential operational improvement insights are discussed for the firms pertained to each category, respectively.

We think that this research might extend DEA methods in capturing operational improvement insights via performance changing trend on both the firm level and inter-national level. Based on this research, a more sophisticated managerial implications pursuing research could be extendible.

REFERENCES

[1] Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984), Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science,* Vol. 30(9), pp. 1078-1092.

[2] Bogetoft, P. and Otto, L. (2010), *Benchmarking with Dea, Sfa, and R* (Vol. 157), Springer Science & Business Media.

[3] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978), Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research,* Vol. 2(6), pp. 429-444.

[4] Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., and Seiford, L. M. (1994), *Data envelopment analysis: Theory, methodology and applications,* Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers.

[5] Coelli, T. (1996), *A guide to DEAP version 2.1: A data envelopment analysis (computer) program,* Australia: Centre for Efficiency and Productivity Analysis. University of New England.

[6] Cook, W. D. and Bala, K. (2007), Performance measurement and classification data in DEA: Input-oriented model, *Omega,* Vol. 35(1), pp. 39-52.

[7] Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K. (2000), *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications,* Boston, MA: Kluwer Academic Publisher.

[8] Hong, J., Chin, A. T., and Liu, B. (2004), Logistics outsourcing by manufacturers in China: A survey of the Industry, *Transportation Journal,* Vol. 43(1), pp. 17-25.

[9] Hong, H. and Xu, D. (2015), Performance evaluation of logistics firms based on DEA model, *International Journal of Services Technology and Management,* Vol. 21(4-6), pp. 199-213.

[10] ICB (Industry Classification Benchmark) version 2.4 August 2017. Accessed on April, 2018.

http://www.ftserussell.com/financial-data/industry-classification-benchmark-icb

[11] Ja, Y. H., Ma, J. H., and Ahn, Y. H. (2017), Analysis of management efficiency of Korea, Japan, global logistics companies using DEA and Malmquist Productivity Index, *The Pan-Pacific Journal of Supply Chain Management,* Vol. 1(1), pp. 1-20.

[12] Kim, H. J., Kim, S. W., and Shin, J. S. (2014), Efficiency analysis of privatization using DEA and MPI, *Public Performance & Management Review,* Vol. 38(1), pp. 48-75.

[13] Korpela, J., Lehmusvaara, A., and Nisonen, J. (2007), Warehouse operator selection by combining AHP and DEA methodologies, *International Journal of Production Economics,* Vol. 108(1-2), pp. 135-142.

[14] Colin, J., Estampe, D., Large R.O., Kramer, N., and Hartmann, R.K. (2011), Customer-specific adaptation by providers and their perception of 3PL-relationship success, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* Vol. 41(9), pp. 822-838.

[15] Lee, J. Y. and Lee, M. H. (2011), Comparative competitive analysis of logistics companies in Korea, Japan and China, *Journal of International Logistics and Trade,* Vol. 9(1), pp. 27-42.

[16] Lieb, R. and Bentz, B. A. (2005), The North American third party logistics industry in 2004: The provider CEO perspective, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* Vol. 35(8), pp. 595-611.

[17] Lieb, R. C. and Randall, H. L. (1999), 1997 CEO perspectives on the current status and future prospects of the third-party logistics industry in the United States, *Transportation Journal,* Vol. 38(3), pp. 28-41.

[18] Marchet, G., Melacini, M., Sassi, C., and Tappia, E. (2017), Assessing efficiency and innovation in the 3PL industry: An empirical analysis, *International Journal of Logistics Research and Applications,* Vol. 20(1), pp. 53-72.

[19] Menon, M. K., McGinnis, M. A., and Ackerman, K. B. (1998), Selection criteria for providers of third-party logistics services: An exploratory study, *Journal of Business Logistics,* Vol. 19(1), pp. 121-137.

[20] Min, H. & Joo, S. J. (2006), Benchmarking the operational efficiency of third party logistics providers using data envelopment analysis, *Supply Chain Management: An International Journal,* Vol. 11(3), pp. 259-265.

[21] Min, H. and Joo, S. J, (2009), Benchmarking third-party logistics providers using data envelopment analysis: An update, *Benchmarking: An International Journal,* Vol. 16(5), pp. 572-587.

[22] Min, H., DeMond, S., and Joo, S. J. (2013), Evaluating the comparative managerial efficiency of leading third-party logistics providers in North America, *Benchmarking: An International Journal,* Vol. 20(1), pp. 62-78.

[23] Nigam, V., Thakur, T., Sethi, V. K., and Singh, R. P. (2012), Benchmarking of Indian mobile telecom operators using DEA with sensitivity analysis, *Benchmarking: An International Journal,* Vol. 19(2), pp. 219-238.

[24] Park, H. G. and Lee, Y. J. (2015), The efficiency and productivity analysis of large logistics providers services in Korea, *The Asian Journal of Shipping and Logistics,* Vol. 31(4), pp. 469-476.

[25] Samoilenko, S. and Osei-Bryson, K. M. (2013), Using Data Envelopment Analysis (DEA) for monitoring efficiency-based performance of productivity-driven organizations: Design and implementation of a decision support system, *Omega,* Vol. 41(1), pp. 131-142.

[26] Smith, P. and Mayston, D. (1987), Measuring efficiency in the public sector, *Omega,* Vol. 15(3), pp. 181-189.

[27] Tan, K. M., Kamarudin, F., Noordin, B. A. A.,

and Rahim, N. A. (2017), Firm efficiency in selected developed and developing Asia-pacific countries: Using data envelopment analysis, *Global Conference on Business and Economics Research,* pp. 245-257.

[28] Wong, W. P., Soh, K. L., Chong, C. L., and Karia, N. (2013), Logistics firms performance: Efficiency and effectiveness perspectives. *International Journal of Productivity and Performance Management,* Vol. 64(5), pp. 686-701.

[29] Wong, W. P., Soh, K. L., and Goh, M. (2016), Innovation and productivity: Insights from Malaysia's logistics industry, *International Journal of Logistics Research and Applications,* Vol. 19(4), pp. 318-331.

[30] Zhou, G., Min, H., Xu, C., and Cao, Z. (2008), Evaluating the comparative efficiency of Chinese third-party logistics providers using data envelopment analysis, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* Vol. 38(4), pp. 262-279.

Ancilla Katherina Kustedjo

B.S. Parahyangan University, Indonesia
MBA Institute Technology Bandung, Indonesia
PhD Candidate in Hanyang University
관심 분야: Operation management, SCM

한 현 수

UMASS Amherst 경영학 박사
현재: 한양대학교 경영대학 교수
관심 분야: 오퍼레이션 혁신, SCM 모델링

김 대 식

UMASS Amherst 경영학 박사
현재: 한동대학교 경제경영학부 교수

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management
Vol. 20, No. 2, pp.15 ~ 26, October 2020

ISSN 1598-382X
https://doi.org/10.25052/KSCM.2020.10.20.2.15

AHP분석과 확률분포를 이용한 공군 군수예산 집행 우수자 선발 기준 개선에 관한 연구*

최명진*.박건웅**.고덕우***.정병호****†

*공군 제11전투비행단 중령 . **공군 제19비행단 소령 . ***공군 제17전투비행단 대위 .
****공군사관학교 시스템공학과 중령

Study on the Selection of Excellent Air Force Budget Managers Using AHP and Probability Distribution

Myung-Jin Choi* · Geon-Ung Park** · Duck-Woo Koh*** · Byungho Jung****†

*Lieutenant-colonel, The 11th Fighter Wing ROKAF · **Major, The 19th Fighter Wing ROKAF
***Captain, The 17th Fighter Wing ROKAF
****Lieutenant-colonel, Department of System Engineering Republic of Korea Air Force Academy

The Air Force has been operating the system since 2014 to encourage proper budgeting and timely execution, and is giving rewards and incentives to those who are excellent. The purpose of this study is to analyze the problems of the selection criteria for excellent people and to present improvement measures. In particular, the evaluation criteria were improved by applying AHP analysis, one of the quantitative decision-making techniques, to compensate for the lack of objectivity, equity, and discrimination, which had been pointed out as a problem with the current system, and the evaluation formula was improved using probability distribution. It is believed that objectivity and fairness of assessment items and scores will be guaranteed through the application of the results of this study, and that it can be used to improve evaluation standards operated by various institutions.

Keyword : AHP Analysis, Probability distribution, Evaluation criteria, Evaluation formula

---

† **Corresponding Author** : 335-2, 635 Danjae-ro, Namil-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungbuk, 28187, Korea,
Tel: +82-43-290-6591, E-mail: captjbh@naver.com
Received: 27 July 2020, **Accepted**: 1 September 2020

1. 서론

2020년 기준 국방예산은 정부 총 예산 514조원의 10% 수준인 50조 1,527억원 규모이다. 이 중 공군예산은 국방예산의 20% 수준인 10조 3,254억원이며, 공군예산의 17%인 1조 7,683억원이 공군 군수예산이다. 군수예산은 급식, 피복, 연료 확보, 장비 유지 등으로 구성되며, 인력 운영과 장비의 확보 및 유지를 위해 사용된다. 특히, 군수예산은 안정적 후속 군수 지원과 경기 활성화 측면에서 적정 예산 편성과 적기 집행이 중요하다고 할 수 있다.

공군은 적정 예산 편성과 적기 집행을 독려하기 위해 2014년부터 군수예산 집행 우수자 제도를 운영 중이다. 평가요소는 개인, 부서, 관리자 평가 3개 분야로 구분되며, Table 1과 같이 2~3개 항목을 평가하여 우수자에 대한 포상과 인센티브를 부여하고 있다.

Table 1. Evaluation Criteria of Outstanding for Execution of the Budget

Sort		Allotment
Individual evaluation(60)	Carryover	20
	Disuse	25
	Business scale	15
Department evaluation(30)	FMS execution	10
	Department execution	10
	Procurement plan accuracy	10
Manager evaluation(20)	Department head	10
	Committee	±10
Sum		100~110

본 연구는 우수자 선발 기준에 대한 문제점을 분석하고 개선방안을 제시하는 것이 목적이다. 특히, 현행 제도의 문제로 지적되어 왔던 객관성 부족, 형평성 및 변별력 보완을 위해 계량적 의사결정 기법 중 하나인 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석을 적용하였으며, 확률분포를 이용하여 세부 평가 항목 산출 공식을 개선하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 효과적인 성과평가 기준

효과적인 성과평가를 위해서는 크게 다섯 가지 기준에 의해 평가되는 것이 권장된다(권석균, 이병철, 양재완, 2017).

첫째, 전략과의 연계성이 고려되어야 한다. 이는 성과평가 방법이 조직의 중장기 전략, 사업 목표, 그리고 문화와 일치하는 정도를 말한다. 즉, 개인의 성과를 평가하는 기준은 해당 조직보다 상위 조직의 성과평가 기준과 연계성이 높아야 한다.

둘째, 신뢰성이 높아야 한다. 이는 똑같은 수준의 성과에 대해 평가를 반복적으로 수행했을 때, 일관된 평가 결과가 나올 경우 확립될 수 있다. 실제로도 똑같은 수준의 성과에 대해 평가가 수행될 때마다 다른 평가등급이 부여되는 결과를 보인다면 이러한 평가방법은 신뢰성이 낮은 것으로 간주된다.

셋째, 타당성이 높아야 한다. 이러한 평가방법을 찾기 위해서는 개인 수준에서의 직무와 단위 부서 수준에서의 사업이나 프로젝트 본질에 대한 깊은 이해가 필요하다. 그렇지 못할 경우 성과평가에서 높은 점수를 받아도 실질적인 직무나 사업 수행의 결과는 매우 저조하게 나타나게 될 가능성이 크다.

넷째, 수용성이 높아야 한다. 이는 평가 대상이 되는 구성원들이 적용될 평가 항목과 방법이 적절하다고 여기고 인정하는 정도를 지칭한다. 만약 구성원들에게 적용될 성과평가 기준이 적절치 못하다면 업무 수행에 대한 동기 부여의 수준도 매우 낮게 나타날 것이다.

마지막으로, 구체성을 들 수 있다. 이는 조직에서 구성원들에게 어떠한 것들을 기대하고 있으며, 그 기대를 충족하기 위해서는 어떻게 해야 하는지에 대해 평가방법이 자세한 지침을 주는 정도를 말한다. 구체성이 높은 경우 성과평가 실시 후에 구체적이고 유용한 피드백을 제공하는 것이 가능해진다.

2.2. AHP분석

AHP 분석은 미국의 Thomas L. Saaty 교수에 의해 1970년대에 고안되었으며, 의사결정과정의 능률을 개선하기 위한 목적으로 개발된 방법이다. AHP 분석은 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 분석하여 관련 요소들을 파악하고, 요소별 평가를 종합하여 대안의 가중치(중요도 또는 우선순위)를 결정한다. 하위 계층에 있는 요소들의 가중치는 바로 상위 계층에 있는 요소에 미치는 영향만으로 평가되며, 가중치는 사전에 결정되지 않고, 분석과정에서 평가요소 간 쌍대비교를 통해 결정된다(강진규, 2008; 이성근, 1994).

AHP 분석은 계량적 수치에 의한 의사결정이 상대적으로 어려운 상황에서 다수 전문가의 의견을 종합하여 계량화하며, 정량적 자료와 정성적 자료도 함께 고려할 수 있다는 특징이 있다. 정치, 행정, 경제, 공학, 사회 등 다양한 분야에서 널리 활용되고 있으며, 특히 국가 또는 공공기관에서의 실행계획의 수립, 자원 배분, 정책 결정, 공공정책 이해관계자의 갈등 해소 등에 활용되고 있다.

AHP 분석과정은 의사결정 문제의 이해, AHP 모형 구축, 계층별 요소의 중요도 평가, 계층별 요소의 가중치 계산, 계층별 평가 종합의 5단계로 정리할 수 있다. 먼저 1단계에서는 의사결정 문제를 이해하고, 의사결정의 목표를 선정, 평가요소 및 선택 가능한 대안을 개발하게 된다. 2단계에서는 최상위 수준에 의사결정 목표를 두고 목표 달성에 영향을 주는 평가요소들을 계층적으로 구성하며, 최하위 수준에 평가 대상인 대안을 배치한다. 3단계에서는 하나의 계층을 구성하는 요소들을 둘씩 짝지어 상위 요소의 관점에서 상대적 중요도를 평가한다. 4단계에서는 계층별 요소의 가중치를 계산하고, 마지막으로 각 가중치를 종합하여 최종 가중치를 산정한다(김형도, 2017; 박용성, 2009; 권재현, 2012).

3. 공군 군수예산 집행 우수자 선발제도

3.1. 시행 배경 및 산정방법

2013년 5월 국방부는 지속되는 국방예산의 이월·불용을 막고자 “예산편성/집행 책임과 원인규명, 대책마련”을 지시하였다. 이에 공군은 여러 가지 대책을 강구하였고, 각 예산 사용 실무자의 적기 집행을 위한 동기 부여의 일환으로 “군수예산 집행 책임 운영제”를 계획하여 14년부터 시행해 오고 있으며, 그 중 한 가지가 “군수예산 집행 우수자 선발 제도”이다.

평가항목은 Table 1에서 언급한 바와 같이 3개 분야, 8개 항목으로 구성되어 있으며, 최대 점수는 110점이다. 평가항목은 본 제도의 최초 기안자에 의해 선정된 것으로 당시 FMS(Foreign Military Sales) 예치금 과다문제가 불거진 시기적 특성으로 인해 여러 조달원 중 유독 FMS만 별도 평가항목으로 선정되었다. 개인평가와 관리자평가는 각 개인별로 부여되며, 부서평가는 해당 부서 점수를 산정 후 소속 부서원에게 일괄 적용된다.

개인평가는 Table 2와 같이 이월률, 불용률 사업규모의 3개 항목으로 점수를 산정하며, 공식은 마이너스 점수나 획득 가능한 최대 배점을 넘어서지 않는 범위 내에서 점수가 산정되도록 만들어졌다. 이는 해당 시점의 실적치를 기준으로 배점 내에서 점수가 분포하도록 만들어진 것으로 추정되며, 공식 도출 논리를 설명할 수 없고, 최저나 최고점수에 편중되는 경향을 보이는 등의 문제점을 보이고 있다.

Table 2. Individual Evaluation Formula

Standard	Evaluation formula
Carryover	MAX[20 − (Carryover rate)$^{1.8613}$, 0]
Disuse	MAX[25 − (Disuse rate)^{2}, 0]
Business scale	$(\sqrt[4]{(no.of\,project\times\frac{ave\ amount}{100{,}000{,}000})}+\sqrt{no.of\,project})\times 1.67$

부서평가는 Table 3과 같이 FMS 집행률, 배정예산 집행률, 조달계획 정확도의 3개 항목으로 점수를 산정하며, 예산 편성부터 집행까지의 업무 집중도를

평가한다. 특히, FMS 집행률의 경우에는 제도 착수 시기 예치금 과다로 인한 국회의 문제 제기 등의 상황을 고려하여 조달원 중 유일하게 별도 평가항목으로 선정된 것으로 현 시점에서는 현재 조달원 미해당 부서에 불이익을 주는 대표적인 불공평한 사례로 언급되고 있다.

Table 3. Formula Evaluation of Department

Standard	Evaluation formula
FMS execution	$10-[(ranking-1)\div no.of\,department\times 10]$
Department execution	$10-5\times(ranking-1)\div(no.of\,department-1)$
Procurement plan accuracy	$10-5\times(ranking-1)\div(no.of\,department-1)$

관리자평가는 Table 4와 같이 부서장 평가와 위원회 평가 2개 항목으로 산정하며, 업무의 난이도나 성실도 등을 정성적으로 판단하여 부여한다.

Table 4. Formula Evaluation of Manager

Standard	Evaluation formula
Department head	Business characteristics, Qualitative evaluation of work activity and integrity
Committee	Carryover/disuse minimization activity and improvement effort(Addition and deduction)

3.2. 현행 평가방법의 문제점

현행 평가방법은 2014년 최초 시행 시부터 여러 가지 문제와 제한사항이 식별되었으며, 대표적인 문제점은 평가항목의 보편성 부족, 점수 산정공식의 변별력 미흡, 고득점의 특정 보직 편중, 피평가자들의 수용성 미흡이다.

첫째, 평가항목의 보편성 부족은 매년 반복하여 지적되던 문제점이다. 군수예산은 국내 조달과 국외 조달로 나눌 수 있으며, 국내 조달은 중앙 조달과 부대 조달로, 국외 조달은 FMS(Foreign Military Sales), 상업, BOA(Basic Ordering Agreement), PBL(Performance Based Logistics)로 나눌 수 있다. 그러나 현재 평가항목은 FMS 집행률만 별도 항목으로 선정되어 있어 FMS 미해당 부서는 부서평가에서 매년 불이익을 받아왔다.

둘째, 개인 평가점수 산정 공식의 변별력 미흡이다. 이는 최근 식별된 문제점으로 ' 18년 개인 불용률 평가 결과 만점자가 42명으로 총 평가 대상의 35%를 차지하였다. 불용률 평가 결과는 전체를 놓고 보면 문제가 더욱 심각해진다. Table 5와 같이 최저 및 최고점의 합계 비율이 97%로 극심한 편향성을 보이며, 이로 인해 변별력이 거의 없는 수준이다.

Table 5. Evaluation Result of Rate of Disuse(2018)

Sect.	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	Sum
Personnel	109	0	0	5	60	174
Percent(%)	62.6	-	-	2.9	34.5	100

셋째, 고득점자가 특정 보직에 편중되는 문제이다. 그 동안의 우수 선발자의 경우, 특정 보직에서 연속 배출되는 경향이 있어 왔다. 실례로 T/A-50 체계과의 PBL 담당은 2016년부터 지속 수상권을 유지해 왔다. 이는 계약 후 연부액이 100% 집행되는 제도적 이점에 기인한 것으로 대부분의 PBL사업은 대규모 예산, 광범위한 사업 범위, 장기 계약의 특성을 가지며, 따라서 사업 초기 계약시점을 제외하고는 비교적 수월한 예산 집행이 가능하기 때문이다.

마지막으로, 선발기준 전반에 대한 피평가자들의 수용성 미흡이다. 이는 우수자 선발제도의 실효성에 대한 끊임없는 의구심을 유발하며 존폐에 대한 논의 등 불필요한 행정력 낭비를 유발한다. 이는 구성원의 전체의 공감대가 부족한 상태에서 해당 실무자와 일부 관리자 등 소수의 의견만으로 선발기준을 결정하였기 때문이다.

4. 연구방법 및 수행 절차

본 연구는 공군 군수예산 집행 우수자 선발제도 관련 평가항목 및 관련 공식 개선이 그 목표이다. 본 연구에서는 개선방안 수립을 위해 다음 세 가지 단계를 적용하였다.

첫 번째 단계는 실무자부터 관리자까지 평가와 관련된 대부분의 인원(271명)이 참여한 인터뷰를 통한 평가항목 개선이다. 관련 인원 271명은 전문성 측면에서 5년 이상 실무경력을 가진 군인(대령~중사) 및 군무원(5급~8급)을 대상으로 선정하였다. 또한 심도 있는 의견 수렴을 위해 부서별로 그룹을 구분하여 시행하였으며, 그 결과 평가항목 개선에 대한 다양한 계층의 의견을 수렴할 수 있었고, 불합리한 점들을 발굴할 수 있었다.

두 번째 단계는 인터뷰를 기반으로 조정된 평가항목별로 객관적 배점 부여를 위한 AHP 분석 시행이다. 일반적인 AHP 설문은 일관성 확보를 위해 소수의 전문가를 대상으로 실시하는 것이 원칙이나 본 연구에서는 다수의 의견을 반영하여 최대한의 객관성 확보를 위해 전 인원(271명)을 대상으로 실시하였다. 설문 결과의 일관성 확보를 위해 설문대상자들에 대한 사전 교육을 실시하였으며, 설문 참여 시 유의사항 등을 세밀하게 학습시켰다.

마지막 단계는 앞서 실시한 두 단계에서 정리된 평가항목별 점수 산정 공식을 개선하였다. 이 때 배점 내에서 고른 분포가 이루어져 변별력이 확보하는데 중점을 두었으며, 이를 위해 최근 3개년 평가항목별 실적 데이터 분포를 기반으로 적정 확률분포를 추정하여 과거 예산 집행 실적치를 가장 잘 묘사하는 수식모형(공식)을 정립하였다. 연구 수행 절차는 Fig. 1과 같다.

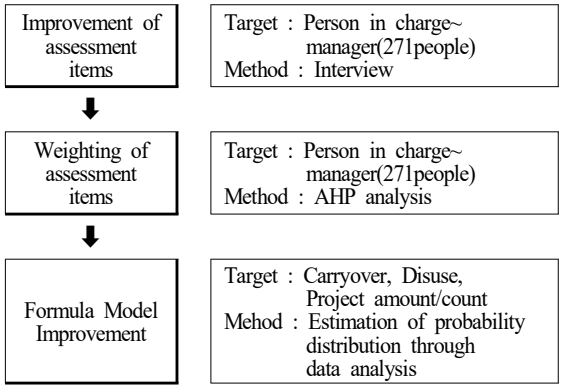


Fig. 1. Study Flow Chart

5. 평가항목 개선

평가항목 개선을 위해 실무자부터 관리자를 망라하는 총 271명의 인원을 대상으로 인터뷰를 실시하였다. 현재 평가항목의 문제점을 보다 명확하게 확인하기 위해 각 부서별로 방문하여 인터뷰를 진행하였으며, 현 평가방식의 불합리한 점들을 발굴할 수 있었으며, 대표적인 사례가 이미 언급한 바 있는 FMS 집행률 항목이다. 2.1절에서 제시한 효과적인 성과평가 기준에서 본다면 기존 평가방식은 타당성과 수용성 부분에서 구성원들의 인정을 받기 어려운 측면이 있었으나, 개선된 평가항목은 구성원들의 의견을 종합하여 합리적인 결과를 도출하였다. 기존 평가항목을 보완하고 보다 세분화하는 방향으로 의견이 종합되었으며, 그 결과는 Table 6과 같다. Table에서 '*' 표시된 10개 항목이 신규 반영 또는 세분화한 항목이다.

Table 6. Improvement Result for Evaluation Criteria

Field	Improvement (15 items)
Individual evaluation	① Carryover rate ② Disuse rate ③ Project amount* ④ Number of business cases*
Department evaluation	⑤ FMS execution rate(ER) ⑥ BOA execution rate* ⑦ General execution rate* ⑧ PBL execution rate* ⑨ Central procurement execution rate* ⑩ Unit procurement execution rate* ⑪ Procurement Plan Accuracy(No.)* ⑫ Procurement Plan Accuracy(amount)
Evaluation of manager	⑬ Section chief* ⑭ Chief of a department* ⑮ Committee

평가항목 세분화에 따라 개인평가에서는 사업 건수 항목이 추가되어 기존 단일 및 대형사업 담당자의 고득점 편중 문제가 해소될 것으로 기대되며, 부서평가에서는 조달원별 세분화로 특정 조달원에 해당되지 않는 불이익이 최소화 될 것으로 판단하였다. 또한 부서평가 항목 중 조달계획 정확도(건수)를 추가하여 다빈도 사업 조정 및 집행계획 변경 인원에 불이익을 부여하여 예산 사용 기본 취지인 계획대 집행 일치화에도 부합할 것으로 기대된다. 마지

막으로 관리자평가는 기존 처장 위주로 진행되던 평가를 과장까지 세분화하여 실무자의 업무수행능력 평가의 변별력을 제고하였다.

6. 평가항목의 가중치 부여

인터뷰 결과를 반영한 개선된 평가항목을 기반으로 AHP 분석을 통해 가중치를 부여하여 각 항목별 배점 기준을 조정하였다. 일반적인 AHP 설문은 일관성 확보를 위해 소수의 전문가를 대상으로 시행하지만, 본 연구에서는 최대한의 객관성 제고를 위해 인터뷰에 참가했던 전 인원 271명에 대한 AHP 설문을 실시하였다. 대신 일관성 확보를 위해 설문방법에 대한 사전 교육을 실시하고, 일관성 비율이 떨어지는 설문은 설문방법에 대한 추가 설명 및 재설문을 통해 보완하였다. 설문은 9점 척도법을 사용하였으며, 항목별 쌍대비교를 통한 중요도를 묻는 문항으로 구성하였다(김병윤, 2013; 김기태, 2007). AHP 설문을 위한 계층도는 Fig. 2와 같다.

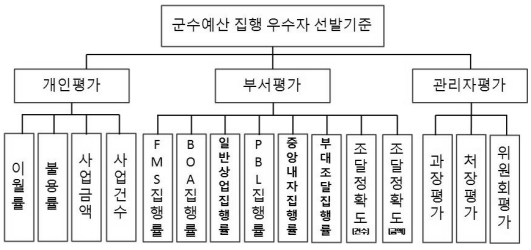


Fig. 2. AHP Hierarchy Diagram

AHP 설문은 Excel을 활용하여 분석하였으며, 각각의 설문의 CR ratio는 0.1을 넘지 않아서 모든 설문의 일관성은 문제가 없는 것으로 판단하였다. 설문 분석을 통한 가중치 계산 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Weight of Evaluation Criteria

Field	Evaluation criteria	weight
Individual evaluation = 0.42	Carryover rate = 0.15	0.063
	Disuse rate = 0.25	0.105
	Project amount = 0.28	0.118
	Business cases = 0.32	0.134
Department evaluation = 0.30	FMS ER = 0.07	0.021
	BOA ER = 0.16	0.048
	General ER = 0.13	0.039
	PBL ER = 0.10	0.030
	Central procurement ER = 0.16	0.048
	Unit procurement ER = 0.14	0.042
	Accuracy(No.) = 0.12	0.036
	Accuracy(amount) = 0.12	0.036
Evaluation of manager = 0.28	Section chief = 0.54	0.151
	Chief of a department = 0.23	0.064
	Committee = 0.23	0.064

분석 결과 분야별로는 개인평가가 상대적으로 중요한 것으로 식별되었으며, 개인평가 항목에서는 불용률과 사업 규모, 부서평가 항목에서는 BOA, 중앙내자 등 신규로 포함된 항목이 더 중요한 것으로 평가되었다. 관리자평가 항목에서는 직속 상관인 과장평가를 중요하게 생각하고 있었다. 가중치 계산 결과에서 각 분야는 10점 단위로 구분하였으며, 각 평가항목은 해당 분야의 배점에서 일부 조정 소요를 반영하였다. 결과는 Table 8과 같다.

Table 8. Distribution of Marks of Evaluation Criteria

Field	Evaluation criteria	Allotment
Individual evaluation (40)	Carryover rate	6
	Disuse rate	10
	Project amount	11
	Business cases	13
Department evaluation (30)	FMS ER	3
	BOA ER	4
	General ER	4
	PBL ER	3
	Central procurement ER	4
	Unit procurement ER	4
	Accuracy(No.)	4
	Accuracy(amount)	4
Evaluation of manager (30)	Section chief	16
	Chief of a department	7
	Committee	7

7. 수식모형 개선

수식모형은 기존의 평가방법을 대신하여 최근 3년(2016~2018)간 품목관리관별 이월률, 불용률, 사업금액, 사업 건수 각각 522개의 실제 데이터를 기반으로 수학적 모델링을 통한 평가점수 산정방법을 도출하고 이에 따른 효과를 확인하는 방법으로 진행하였다.

7.1. 이월률 및 불용률

최근 3년 동안 품목관리관 522명의 예산 운영 데이터를 통해 기초통계량을 분석한 결과는 Table 9와 같다.

Table 9. Basic Statics(carryover, disuse)

(단위: %)

Sort.	Min.	first quartile	medi	Avg.	third quartile	Max.
Carry over	0.00	0.00	0.00	9.49	9.20	100
Disuse	0.00	0.00	0.30	7.81	6.68	100

기초 통계량을 통해 전체 품목관리관의 25%는 이월률/불용률 0%를 유지하고 있고, 75%는 이월률 9.2% 이내에 불용률은 6.68% 이내에 위치하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 Fig 3의 도수분포표를 통해 이월률, 불용률은 '0'에 치우진 데이터임을 확인할 수 있었으며, 지수분포 또는 감마분포와 유사한 형태를 보일 것으로 예측되었다.

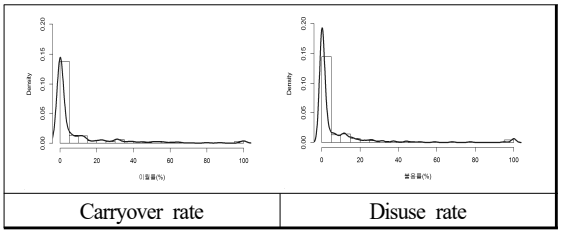


Fig. 3. Histogram(carryover, disuse)

통계적으로 예측 결과를 확인하기 위해 유사 분포형태 추정방법인 C&F(Cullen and Frey Graph) 분석을 시행하였다. C&F 분석은 왜도와 첨도를 기준으로 관측 데이터를 가장 잘 묘사하는 확률분포를 그래프로 나타내는 방법(Cullen and Frey, 1999; Delignette-Miller et al, 2014)이며, 적용 결과는 Fig. 4와 같다. C&F 분석 결과 이월률의 왜도는 2.8, 첨도는 11.1이고, 불용률의 왜도는 3.6, 첨도는 16.9로 유사한 분포는 와이블, 로그정규, 지수분포 순으로 나타났다.

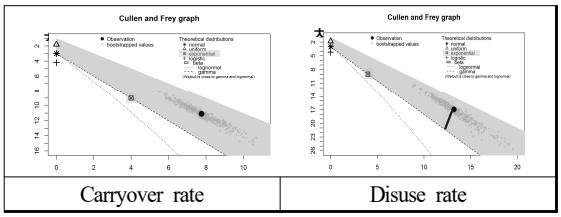


Fig. 4. C&F Graph(carryover, disuse)

C&F 분석을 통해 유사한 분포를 확인할 수 있었으나, 실제 데이터 분포 함수를 생성하기 위해서는 모수 추정 과정이 필요하다. 모수추정은 522개 실측 자료를 기반으로 최대우도추정법(MLE : Maximum Likelihood Estimation)을 통해 추정하였다. C&F 분석 결과 유사한 분포였던 와이블, 로그정규분포는 데이터 특성상 모수 추정 과정에서 무한대 값 및 결측치 발생으로 추정이 불가하며, 지수분포는 추정이 가능하다. 추정 결과는 Fig. 5와 같다.

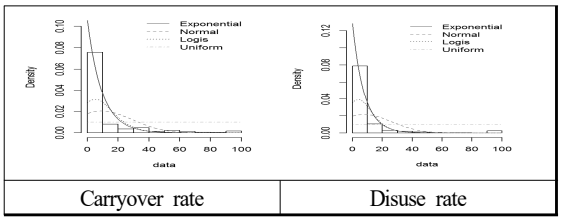


Fig. 5. Result of Maximum Likelihood Estimation

확인된 지수분포를 가정하여 모수를 추정한 결과는 Table 10과 같으며, 추정에는 상용 프로그램인 'R'을 사용하였다.

Table 10. Result of Parameter Estimation

Sort.	Carryover	Disuse
Parameter estimation(λ)	0.1053	0.1281

Table 10에서 결정된 모수는 지수분포의 확률분포 함수와 누적분포 함수로 나타낼 수 있다. 식 (1)과 (2)는 각각 이월률의 확률분포 함수와 누적분포 함수이며, 식 (3)과 (4)는 불용률의 확률분포 함수와 누적분포 함수이다.

$$f(x) = 0.1053e^{-0.1053x},\ \ x : \text{이월률} \geq 0 \quad (1)$$

$$F(x) = 1 - e^{-0.1053x},\ \ x : \text{이월률} \geq 0 \quad (2)$$

$$f(x) = 0.1281e^{-0.1281x},\ \ x : \text{불용률} \geq 0 \quad (3)$$

$$F(x) = 1 - e^{-0.1281x},\ \ x : \text{불용률} \geq 0 \quad (4)$$

본 연구에서는 특정 구간에 대상이 얼마나 분포해 있는지 측정이 가능한 누적분포함수를 이용해 평가점수 산정을 위한 공식에 적용하였다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 이월률과 불용률이 높아질수록 누적확률이 높아지며, 최대 100%의 값을 갖기 때문에 $(1 - F(x))$를 적용하여 식 (5)를 도출하였다.

$$\begin{aligned} \text{평가점수} &= (\text{평가 배점}) \times (1 - F(x)) \\ &= (\text{평가 배점}) \times \{1 - (1 - e^{-\lambda x})\} \end{aligned} \quad (5)$$

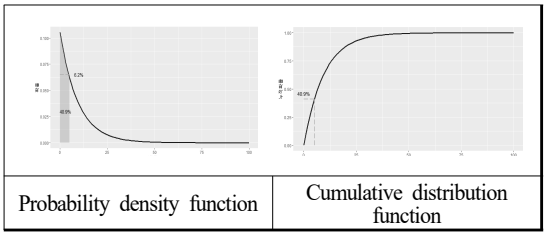


Fig. 6. Example of PDF and CDF

(5)의 공식에 AHP 분석을 통해 조정된 배점과 조합하여 적용한 결과는 식 (6), (7)과 같다.

$$\text{이월률} = 6 \times e^{-0.1053x},\ x : \text{이월률} \geq 0 \quad (6)$$

$$\text{불용률} = 10 \times e^{-0.1281x},\ x : \text{불용률} \geq 0 \quad (7)$$

식 (6)과 (7)을 활용한 이월률과 불용률 평가점수 산정 예시는 Table 11과 같다. Table 11에서 볼 수 있듯이 기존 공식에서는 이월률과 불용률의 변별력이 부족하던 단점을 보완하여 이월률과 불용률에 따른 변별력을 확보할 수 있을 것으로 예상되며, Fig. 7은 분포를 그래프로 나타낸 것이다.

Table 11. Evaluation Grade of Carryover and Disuse

Carryover/ Disuse rate (%)	Evaluation score			
	Carryover rate		Disuse rate	
	기존	개선	기존	개선
0	6	6.0	10	10.0
1	5	5.4	9	8.8
2	2.4	4.9	6.4	7.7
3	0	4.4	2.3	6.8
4	0	3.9	0	6.0
5	0	3.5	0	5.3
10	0	2.1	0	2.8
15	0	1.2	0	1.5
20	0	0.7	0	0.8

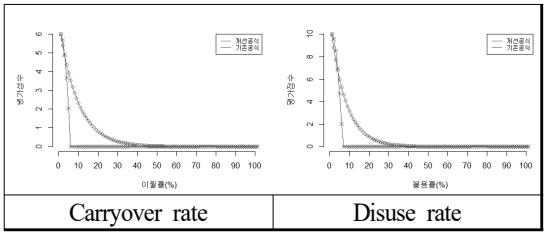


Fig. 7. Distribution Graph of Evaluation Grade

7.2. 사업 금액 및 건수

최근 3년 동안 품목관리관 522명의 예산 운영 데이터를 통해 기초통계량을 분석한 결과는 Table 12와 같다.

Table 12. Basic Statics(amount, number of cases)

Sort.	Min.	First quarti-le	Medi	Avg.	third quartile	Max.
amount (hundred million)	0.00	2.52	10.34	56.41	31.76	2671
Cases (case)	1.00	2.00	5.00	9.17	10.75	139

기초 통계량을 통해 사업금액 및 건수는 3분위수 대비 최댓값과의 격차가 크며 3분위 기준 금액은 31.8억 이하, 건수는 10.8건 이하에 대부분의 데이터가 분포해 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 8에서 확인할 수 있듯이 도수분포표는 이·불용률과 동일하게 치우친 형태임을 알 수 있었다.

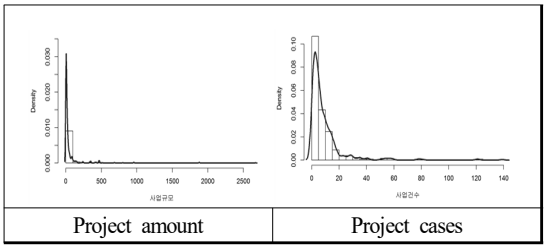


Fig. 8. Histogram(money, number of cases)

사업 금액과 건수에 대한 C&F그래프는 Fig. 9와 같다.

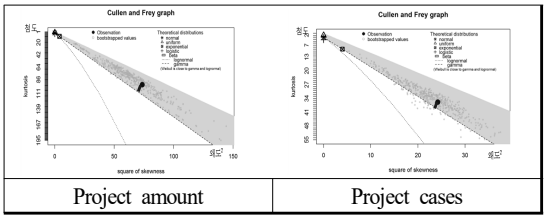


Fig. 9. C&F Graph(money, number of cases)

Fig. 9에서 왜도, 첨도를 기준으로 사업 금액 및 건수와 가장 근접한 분포 형태를 추정하였으며, 와이블, 감마, 로그정규, 지수분포 순으로 나타났다. 최대우도추정법(MLE)을 활용한 모수 추정 결과는 Fig. 10과 같다.

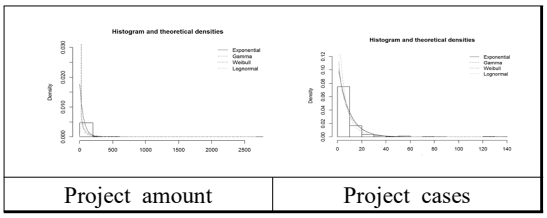


Fig. 10. Result of Maximum Likelihood Estimation

Fig. 10에서 식별된 감마, 와이블, 로그정규, 지수 분포는 모두 유사한 분포 형태를 보여 추가적으로 P-Plot을 활용하여 최적 분포 선정을 검토하였다. 결과는 Fig. 11과 같다.

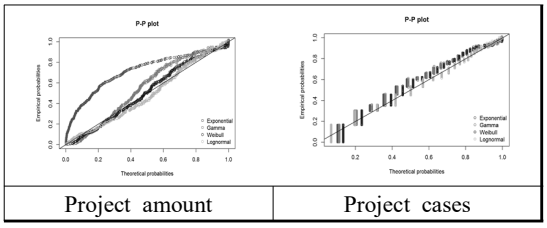


Fig. 11. Result of P-Plot

P-Plot을 통해 직선에 가까운 형태를 보인 와이블과 로그정규 분포를 가장 유사한 분포로 범위를 좁혔으며, 두 분포 중 실측치와 가장 유사한 분포 선정을 위해 KS-검정을 활용하였다. KS-검정은 데이터가 특정 분포를 따르는지 확인하기 위해 사용하며, 검정 결과 유의확률(P-value)이 0.05 이상일 경우 해당 분포를 따르고 0.05 미만일 경우 따르지 않는다고 판단할 수 있다. 두 분포에 대한 KS-검정 결과는 Table 13과 같다.

Table 13. Result of KS-certification

Sort.	Weibull Dist.	Lognomial Dist.
Amount	1.293×10^{-2}	3.695×10^{-3}
Cases	3.247×10^{-5}	1.675×10^{-8}

사업 금액과 건수 모두 유의확률이 0.05 이하로 특정 분포를 따른다고 볼 수는 없으나, 와이블 분포가 로그정규 분포에 비해 유의확률이 더 높음을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 와이블 분포를 따른다고 가정하였으며, 모수 추정 결과는 Table 14와 같다.

Table 14. Result of Parameter Estimation

Sort.	Shape determination factor(κ)	scale determination factor(λ)
Amount	0.500	23.239
Cases	0.902	8.623

와이블 분포에서 k는 그래프 모양 결정계수로 k의 값이 0~1 사이, 1, 1 초과에 따라 다른 모양을 나타낸다. λ는 그래프의 규모 결정계수로 λ값이 커질수록 그래프가 x축 방향으로 늘어지며 최고점이 낮아지는 형태를 보인다. 추정된 모수를 공식에 적용한 결과는 식 (8) 및 (9)와 같다.

$$F(x) = 1 - e^{-(x/23.239)^{0.5}},\ x : \text{사업금액} \geq 0 \quad (8)$$

$$F(x) = 1 - e^{-(x/8.623)^{0.902}},\ x : \text{사업건수} \geq 0 \quad (9)$$

이월률과 불용률과는 반대로 사업 금액 및 건수가 높을수록 더 높은 점수를 부여하기 위해 평가배점에 누적분포함수를 곱하여 식 (10)과 (11)을 도출하였다.

$$\text{사업금액} = 11 \times (1 - e^{-(x/23.239)^{0.5}}),\quad x : \text{사업금액} \geq 0 \quad (10)$$

$$\text{사업건수} = 13 \times (1 - e^{-(x/8.623)^{0.9}}),\quad x : \text{사업건수} \geq 0 \quad (11)$$

식 (10)과 (11)을 사업 금액, 사업 건수 평가점수에 적용한 결과는 Table 15와 16으로 정리하였다. 기존 하나의 항목이던 사업 금액과 건수를 분리하여 평가함에 따라 기존 단일 대형사업에 대한 담당자의 고득점 편중 문제가 해소되고, 여러 개의 소형사업 담당자도 좋은 평가를 받을 수 있는 기회가 보장되어 형평성이 향상될 것으로 기대된다.

Table 15. Evaluation Grade of Money

Amount	Score	Amount	Score	Amount	Score
0	0.0	15	6.1	90	9.5
1	2.1	20	6.7	100	9.6
2	2.8	25	7.1	150	10.1
3	3.3	30	7.5	200	10.4
4	3.7	35	7.8	250	10.6
5	4.1	40	8.0	300	10.7
6	4.4	45	8.3	400	10.8
7	4.7	50	8.5	500	10.9
8	4.9	60	8.79	600	10.9
9	5.1	70	9.06	800	11.0
10	5.3	80	9.28	1000	11.0

※ Amount unit : hundred million

Table 16. Evaluation Grade of Number of Cases

Cases	Score	Cases	Score	Cases	Score
0	0.0	15	10.5	70	13.0
1	1.7	20	11.46	80	13.0
2	3.1	25	12.05	90	13.0
3	4.2	30	12.4	100	13.0
4	5.1	35	12.62	120	13.0
5	6.0	40	12.76	140	13.0
6	6.7	45	12.85	160	13.0
7	7.3	50	12.9	180	13.0
8	7.9	55	12.94	200	13.0
9	8.4	60	12.96	250	13.0
10	8.9	65	12.97	300	13.0

8. 결론

우리나라 군은 구성원의 동기 부여를 통해 예산의 활용성을 높이기 위해 다양한 방법을 적용 중이다. 그 중 하나가 바로 공군 군수예산 집행 우수자 선발 및 포상이다. 이러한 평가는 모든 구성원들이 고르게 평가를 받을 수 있도록 공정성과 객관성 및 구성원의 동의가 필요하지만, 모든 사람이 만족하는 평가기준을 선정하기는 쉽지 않다.

본 연구는 이러한 문제점을 개선하기 위해 평가와 관련된 모든 구성원들이 참여하는 인터뷰와 설문을 통해 공감대를 형성하였으며, 다양한 의견을 수렴하여 필수 평가항목의 누락이나 불필요한 항목의 포함을 배제하였다. 의견 수렴을 통해 평가항목을 새롭게 조정하였으며, AHP분석을 통해 항목별 배점에 대한 기준을 제시하였다. 또한 평가의 중요 요소인 변별력 확보를 위해 과거 데이터 분포를 기반으로 과거 실적치를 가장 잘 묘사하는 모형을 정립하여 점수 산정에 활용하였다.

본 연구 결과를 실제로 적용한다면 구성원들의 공감대가 형성되고, 평가항목 및 배점의 객관성과 공정성이 보장될 것으로 판단되며, 이러한 형태의 문제접근 및 활용은 군뿐만 아니라 각종 기관에서 운영하고 있는 평가기준 개선에 활용이 가능할 것으로 생각된다. 또한 개선된 평가기준 적용에 따른 추가적인 보완(평가항목・수식모형 개선)은 정성적・정량적 기준에 의해 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

REFERENCES

[1] Cullen, A. & Frey, H. (1999). *Probabilistic techniques in exposure assessment.* Plenum Publishing Co, New York, 1999.

[2] Delignette-Muller, M., Pouilot, R., Denis, J., & Dutang, C. (2014). *Fitdistrplus: Help to fit of a parametric distribution to non-censored data R package version 1.0-2.* New York.

[3] Kang, J. (2008). *Theory and practice of AHP,* 12-13. Inter-Vision Inc, Seoul.

[4] Kim, B. (2013). *Evaluation item weighting study on high-altitude unmanned aircraft model.* Joint Military University, Seoul.

[5] Kim, H. (2017). *Rational management and decision making.* Han-Ti Media Inc, Seoul.

[6] Kim, K. *Combat Ship Efficiency Evaluation Using AHP, DEA Model.* Korea National Defence University.

[7] Kuan, S., Lee, B., & Yang, J. (2017). *Human resource management.* The Value of the Times Inc, Seoul.

[8] Kuan, J. (2012). *Strategic decision making technique: AHP.* Chung-Ram Inc, Seoul.

[9] Lee, S. (1994). *Marketing decision making using AHP technique,* 132-134. Suck-Jung Inc. Seoul.

[10] Park, Y. (2009). *Decision making by AHP.* Kyo-Woo Inc. Seoul.

최 명 진

국방대학교 운영분석 박사
현재: 공군 제11전투비행단
작전지원과장
관심 분야: 최적화, 물류, 다변량 통계

박 건 웅

경희대학교 경영학 석사
현재: 공군 제19전투비행단
보급대대장
관심 분야: 빅데이터, 물류, 의사결정

고 덕 우

한국항공대학교 물류관리 학사
현재: 공군 제17전투비행단
수리부속관리중대장
관심 분야: 물류, 확률모형, 시계열

정 병 호

한양대학교 교통공학 박사
현재: 공군사관학교 시스템공학과
강사
관심 분야: 물류, 최적화, 의사결정

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management
Vol. 20, No. 2, pp.27~47, October 2020

ISSN 1598-382X
https://doi.org/10.25052/KSCM.2020.10.20.2.27

반응적 공급사슬 구성 기업들의 스마트 팩토리 관련 기술 사용의도에 대한 연구: 확장된 UTAUT 모형을 중심으로

서영복*.박찬권**†

*김천대학교 교양학과 조교수 · **경북대학교 건설환경에너지융합기술원 연구초빙교수

A Study on the Intention to Use Technologies Related to Smart Factories of Companies that Construct Responsive Supply: Focused on Extended UTAUT Model

Yeong Bok Seo* · Chan Kwon Park**†

*Department of General Education, Gimcheon University
**Construction Environment Energy Convergence Technology Institute, Kyungpook National University

This study is aimed at small and medium-sized enterprises related to fashion clothing, electronics and electricity as companies in Korea's innovative products and responsive supply chain industries. In the acceptance of smart factory-related technologies, the main goal is to determine what factors the company's management practitioners will accept and accept. To this end, a questionnaire was conducted for domestic companies and the research hypothesis was tested using the collected questionnaire. As a result of the test of the research hypothesis, performance expectation, effort expectation, and social impact were tested to have a significant effect on the use intention (+), and the level of impact intensity was social impact> performance expectation> effort expectation. In addition, it was tested that the promotion conditions and network effect had a positive effect on the intention to use, but were not significant. In addition, innovation resistance was tested as having a negative effect on the intention to use. Finally, the intention to use was tested to have a positive (+) effect on usage behavior. In addition, in the difference analysis according to the size of the company, it was tested that there was a difference in all other research items except innovation resistance.

Keyword : 4th Industrial revolution, Smart factory, UTAUT, Technology acceptance intention

---

† **Corresponding Author** : Construction Environment Energy Convergence Technology Institute, Kyungpook National University, 80, Daehakro, Bukgu, Daegu South Korea, Tel: +82-52-950-6323, E-mail: rommel11413@empal.com
Received: 4 August 2020, **Accepted**: 7 September 2020

1. 서론

4차 산업혁명의 도래에 따라서 제조업 부문에서 나타난 대표적인 변화는 스마트 팩토리(Smart Factory)의 도입과 확산이라고 할 수 있다. 주요 국가별 국내총생산(Gross Domestic Product: GDP) 대비 제조업 비중을 살펴보면, 우리나라의 경우 27.8%를 점유하고 있는 상황이며, 다른 나라들과 비교 시 비교적 높은 비중을 차지한다. 따라서 제조 산업의 뿌리라고 할 수 있는 중소제조기업들의 스마트 팩토리로의 전환은 4차 산업혁명에 대한 대응의 일환으로써도 빠르게 진행될 필요성이 있다.

우리나라의 경우 중소기업들의 스마트 팩토리로의 전환을 위해 스마트제조혁신추진단(2020)의 '스마트공장 사업관리시스템'을 통하여 스마트공장 3만개 보급, 스마트공장 고도화 수준으로 Level Ⅲ 이상 25% 달성, 인공지능(Artificial Intelligence: AI) 데이터 허브 구축을 목표로 스마트 팩토리의 보급을 적극적으로 지원하고 있는 상황이다. 또한 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 통하여 경영개선성과로서 고용 증가 +3(명), 매출액 증가 +7.7%, 산업재해감소율 -18.3%, 공정개선성과로서 생산성 증가 +30.0%, 품질 향상 +43.5%, 원가 감소 -15.9%, 납기준수 +15.5%의 효과가 있었다는 내용을 제시한다.

그러나 중소벤처기업부(2020)의 조사 자료에 의하면 우리나라 중소기업들 중 스마트 팩토리의 도입이 완료되었다고 조사된 기업은 2018년도를 기준으로 전체 중소기업 132,593개 중 6%에 지나지 않으며, 도입 계획이 없다고 조사된 기업은 88.6%로 조사되었다. 이러한 내용은 스마트 팩토리 관련 기술이 우리나라에 도입 및 소개된 시간이 비교적 짧은 측면도 있지만 전반적으로 저조한 상황으로 볼 수 있다. 부가적으로 Fisher(1997)의 연구에서 제시된 것처럼 기능적 제품으로서 효율적 공급사슬 구성 산업인 식료품 산업의 경우 도입 완료 비율은 5.6%이며, 고객의 욕구와 수요의 변동이 보다 빠르게 급변하는 혁신적 제품으로서 반응적 공급사슬 구성 산업인 전자 및 컴퓨터 산업의 경우 도입 완료 비율은 8.5%이다. 조금 더 세부적으로 살펴보면 해당 산업의 경우 소기업의 도입 완료 비율은 6.5%, 중기업은 29.6%로서 기업의 규모가 상대적으로 큰 기업들의 스마트 팩토리 도입 수준이 비교적 높은 상황이다.

이제까지 개별 기업의 스마트 팩토리 도입의 필요성 및 전략, 적용 방법론 등 스마트 팩토리와 관련된 선행연구들은 역시 일일이 거론하기 어려울 정도로 많이 진행되었지만, 국가의 핵심적 성장 동력이 될 수 있는 중요한 기술들이 사회와 기업에 보급되어 제대로 정착되기 위해서는 기술 자체에 대한 연구, 기술과 관련된 정책 및 제도에 대한 연구뿐만이 아니라 해당 기술을 실제로 사용하여야 하는 사용자들에게 수용될 경우 어떠한 요인들에 의하여 영향을 받는가 또한 어떠한 요인들에 의하여 거부되고 있는가 등에 대한 다양하고 폭넓은 연구가 이루어질 필요성이 있다(김정래·이상직, 2020).

새로운 혁신적 기술 및 제품의 도입과 관련하여 이를 설명하기 위한 연구모델은 Davis(1989)에 의하여 제시된 기술수용모형(Technology Acceptance Model : TAM)이라고 할 수 있다. 그러나 현재는 기술 수용 및 도입과 관련하여 활용되고 있는 대표적인 모형은 통합기술수용모형(Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: UTAUT, 이하 UTAUT)이라고 할 수 있으며, UTAUT를 활용하여 혁신적 기술과 제품들의 수용에 대하여 연구한 선행연구는 일일이 거론할 수 없을 정도로 많이 진행되었다.

세부적으로 4차 산업혁명과 관련한 혁신적 기술의 수용과 관련하여 UTAUT 모델을 이용한 선행연구들을 살펴보면 드론기술 사용의도에 대한 연구로서 김기봉·전인오(2018), 중소기업의 IoT 수용에 대한 연구로서 김기웅(2017), 빅데이터 시스템 도입과 관련한 연구인 이선우·이희상(2014), 클라우드 컴퓨팅 서비스 사용의도에 대하여 연구한 정철호·남수현(2014), 전새하 외(2011), 증강현실(Augmented Reality:AR) 기술 수용에 대한 연구로서 정병규·동학림(2019), 사물인터넷(IoT) 기술특성이 SCM 기대성과 및 도입의도에 미치는 영향에 관한 연구로서 상맹 외(2017), 종업원 기술수용태도와 기술 사용용이성이 스마트 공장 기술 도입 수준과 제조 성과에 미치는

영향에 대하여 연구한 오주환 외(2019) 등의 연구가 있다. 하지만 UTAUT 모델을 활용하여 스마트 팩토리 관련 기술의 수용요인에 대하여 공급사슬 관점 및 나아가 Fisher(1997)의 연구에서 제시된 제품 및 공급사슬 특성 관점에서 연구를 진행한 선행연구는 제한적인 상황이다.

스마트 팩토리 도입 요인 및 기술 수용에 대한 선행연구로는 김정래·이상직(2020), 김한주 외(2019), 오주환 외(2019)의 연구가 있으나 김한주 외(2019)의 연구는 스마트 팩토리 도입 요인을 생산성 제고(Productivity Increase), 브랜드 이미지 제고(Brand Image Improve), 마케팅 제고(Marketing Improve), 비용감소(Cost Reduction)의 항목을 제시하고 이들 요인을 AHP를 적용하여 연구를 진행하였다는 제한사항이 있다. 또한 오주환 외(2019)의 연구는 스마트 팩토리 도입 수준에 대한 연구를 종업원의 관점에서 연구를 진행한 것이며, 기업 전체의 스마트 팩토리 관련 기술의 수용에 대한 연구 부분에서는 제한사항이 존재한다.

그리고 김정래·이상직(2020)의 연구는 본 연구에서 활용하고자 하는 UTAUT모델을 활용한 연구이지만 UTAUT 모델에서 제시하는 영향요인 이외의 확장요인의 사용과 제시에서 일부 제한적인 상황이다. 특히 확장요인으로서 신뢰와 인지된 위험을 제시하고 있으나 아직까지 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용의 기간이 비교적 짧은 상황에서 스마트 팩토리 관련 기술의 신뢰를 측정하는 것은 제한적일 수 있다. 또한 연구 조사의 대상에서 스마트 팩토리 관련 기술을 경험하지 못한 사람들을 대상(전체 조사 대상의 78.7% 점유)으로 스마트 팩토리에 대한 인지된 위험과 수용의도를 조사하였다는 제한사항이 있다. 따라서 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 관련하여 어떠한 요인들이 스마트 팩토리 관련 기술의 사용의도에 긍정적 혹은 부정적 영향을 미치고 있는가에 대한 실증적 연구를 스마트 팩토리 관련 기술을 도입하고 사용하고 있는 기업체들을 대상으로 진행할 필요성이 있다.

그러므로 본 연구에서는 기본적으로 UTAUT 모델에서 제시된 요인들을 바탕으로 하고, 앞서 제시한 것처럼 공급사슬 관점에서 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 설명하기 위한 추가적인 요인으로 네트워크 효과를 선정하였고, 관련 기술의 도입을 저해하며, 받아들이려고 하지 않는 이유를 연구하기 위하여 혁신저항 요인을 선정하였으며, 이를 이용하여 확장된 UTAUT 모델을 구성하고 이를 연구에 적용한다. 또한 앞서 간단히 제시한 것처럼 Fisher(1997)의 연구에 의하면 공급사슬에서 나타나는 최종적인 고객의 수요에 따라서 기능적 제품과 혁신적 제품으로 구분하고, 이들 제품의 특성에 따라서 해당 공급사슬을 구성할 것을 제시하는데, 고객의 수요가 잘 변동되지 않는 기능적 제품의 경우 효율적 공급사슬을 구성하고, 고객의 수요가 급격하게 변동되는 혁신적 제품의 경우에는 반응적 공급사슬을 구성할 것을 제시한다.

그러므로 이러한 제품 및 공급사슬 특성 즉 산업별 특성을 Fisher(1997)의 연구에서 제시된 내용을 기준으로 구분하여 보면 고객의 수요 변동에 따르는 대응을 위하여 우선적으로 스마트 팩토리 관련 기술을 도입하고 적용하여야 하는 산업 및 기업은 기능적 제품, 효율적 공급사슬 구성 산업 및 기업이라기보다는 혁신적 제품, 반응적 공급사슬 구성 산업 및 기업이라고 할 수 있으므로, 해당 산업에 속하는 기업들을 대상으로 스마트 팩토리 관련 기술의 수용의도에 미치는 영향 요인을 우선적으로 연구하는 것이 필요하다.

비록 현재는 더 높은 수준으로 조사되겠지만 앞서 제시한 것처럼 전체 중소기업의 스마트 팩토리 도입 현황은 6%이고, 전자 및 컴퓨터 산업은 8.5%에 불과한 상황이다. 따라서 스마트 팩토리 관련 기술의 수용이 제한적인 상황에서 혁신적 제품 및 반응적 공급사슬 구성 산업의 기업 경영자 및 실무자들이 어떠한 이유로 스마트 팩토리 관련 기술을 수용하고 받아들이며, 적극적으로 사용하는지를 확인할 필요성이 있으며, 이러한 연구를 통해 스마트 팩토리 관련 기술의 적극적인 수용을 위한 정책 방안의 수립에 도움이 되는 것이다.

본 연구를 통하여 해당 산업의 기업들이 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 통하여 기대하고, 요구하는 사항을 실증하여 봄으로써, 정부가 재정적인 지원을 통하여 추구하고 있는 스마트 팩토리 보급

활동에 대한 사용자 기대를 체계적으로 반영하여 우리나라의 중소기업들이 성공적으로 스마트 팩토리 관련 기술을 도입함으로써 실제 경영성과를 제고하며, 중소기업들 특히 혁신적 제품 및 반응적 공급사슬 구성 산업의 기업들이 스마트 팩토리를 적극적으로 수용할 수 있도록 도움을 제공하는 것이다.

2. 이론적 배경 및 연구가설의 수립

2.1. 스마트 팩토리 및 관련 기술

스마트 팩토리란 용어는 2006년 6월 카이저슬라우테른(Kaiserslautern)에서 바스프(BASF), 독일인공지능연구센터(DFKI), KSB, 지멘스(SIEMENS) 등의 창립 멤버들에 의하여 Smart Factory라는 기술계획이 수립되면서 소개되었으며, 2011년 독일 정부가 이를 근간으로 하는 Industry 4.0을 주창하면서 본격적으로 사용되기 시작하였다(오재준·최성주, 2017).

Industry 4.0이 선진국을 중심으로 추진되고 있는 배경에는 고령화와 저출산에 따른 기능공 및 숙련공의 부족과 생산 가능 인구 비중의 감소에 있으며, 도시화의 진전으로 인하여 젊은 계층에서도 제조업에 대한 기피 현상이 나타나고 있기 때문이고, 이러한 문제점을 해결하는 방법은 스마트 팩토리를 통한 공장의 자동화라고 할 수 있기 때문이다(변대호, 2016).

이러한 스마트 팩토리는 제품의 기획에서부터 설계, 생산 및 제조, 유통 및 판매에 이르기까지 전체 프로세스를 정보통신기술(Information and Communication Technology: ICT)로 통합하여 스스로 데이터를 수집하고 작업에 대한 명령을 내릴 수 있도록 설계되어진 '지능화된 공장'을 의미하는 것으로 차세대 디지털 신기술과 기존의 제조 설비 및 기술들이 접목되는 것을 의미하며, 이전의 공장자동화(Factory Automation: FA)와는 다른 의미이다(김정래·이상직, 2020). 스마트 팩토리가 구축되기 위해서는 4차 산업혁명의 기반이 되는 여러 디지털 신기술들이 복합적이고 다양하게 활용되어야 하는데, 사이버물리시스템(Cyber: CPS), 로보틱스(Robotics), 3D 프린팅(Pronting), 증강 및 가상 현실(Augmented Reality/Virtual Reality: AR/VR), 사물인터넷(IoT), 빅데이터(Big Data), 인공지능(AI), 클라우드(Cloud) 컴퓨팅, 시뮬레이션, 이동통신(모바일), 블록 체인(Block Chain), 무인운송(자율주행), 드론, 사이버 보안(Cyber Security) 등의 다양한 혁신적 기술들이 해당 기업 및 제조 프로세스 내에서 적용되어야 한다.

2.2. 확장된 UTAUT 모형과 연구가설

앞서 간단히 제시하였지만 기술수용요인을 설명하기 위한 기본적인 모델은 앞서 제시한 것처럼 Davis(1989)의 TAM을 시작으로 하여 다양한 수용모델이 제시되었다. 현재는 기술 수용과 관련된 이론을 통합적인 관점에서 Venkatesh 등(2003)이 제시한 UTAUT 모델이 대표적인 기술수용모델이라고 할 수 있다. UTAUT 모델은 4가지 독립변수로서 성과기대(Performance Expectancy), 노력기대(Effort Expectancy), 사회적 영향(Social Influence), 촉진조건(Facilitating Conditions)과 4가지 조절변수인 성별(Gender), 나이(Age), 경험(Experience), 자발적 사용(Voluntariness of Use), 매개변수 및 종속변수로서 행동의도(Behavioral Intention), 사용행동(Use Behavior)으로 구성되어 있다.

이후 Venkatesh 등(2012)은 새로운 요인으로 쾌락적 동기(Hedonic Motivation), 가격효용(Price Value), 습관(Habit)을 추가한 UTAUT2를 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 개별 소비자가 아닌 기업 조직의 관점에서 연구를 진행하므로 앞서의 조절변수 4가지와 UTAUT2에서 제시된 쾌락적 동기, 가격효용, 습관은 스마트 팩토리 관련 기술의 수용과 관련된 설명에서는 제한적일 수 있다고 판단하여 연구에서 제외하였다. 그러나 앞서 제시한 것처럼 본 연구에서는 공급사슬 관점에서의 개별 기업 조직에 대한 연구이므로 스마트 팩토리 수용의도에 추가적으로 영향을 미칠 수 있는 요인들을 선행연구를 통하여 검토하였다. 선정된 연구항목들은 이제는 사회의 전반적인 경제현상이 되어버린 네트워크 효과(Network

Effects)와 혁신저항(Innovation Resistance)이며 이들 요인을 추가로 선정하여, 확장된 UTAUT 모델을 이용하여 연구를 진행한다. 세부적인 내용을 살펴보면 아래와 같다.

2.2.1. 성과기대와 사용의도 간의 관계

성과기대는 새로운 혁신적 기술이나 제품의 사용이 자신의 업무 수행에 도움이 될 것이라고 믿는 정도를 의미하며, TAM의 인지된 유용성과 유사한 의미로서 수용의도를 설명하는 데 있어서 중요한 변수라고 제시되었다(Venkatesh et al., 2012). 또한 일반적으로 성과기대는 이용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미친다(김기봉·전인오, 2018; 김정래·이상직, 2020; 김현규, 2019; 상맹 외, 2017; 이동만 외, 2010; 이영희·류미현, 2019; 장예민·문태수, 2013; 정병규·동학림, 2019; 정철호·남수현, 2014).

그러므로 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용에 있어서도 개별 기업의 관점에서 스마트 팩토리 관련 기술의 도입으로 인해 제조 품질, 납기 유연성 제고, 기업 경영성과 등의 제고가 이루어지는 경우 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용의도는 증가할 것으로 예측하였으며, 아래의 가설을 수립하였다.

가설 H1: 성과기대는 사용의도에 정(+)의 영향을 미친다.

2.2.2. 노력기대와 사용의도 간의 관계

노력기대는 혁신적 기술이나 제품을 손쉽게 사용할 수 있는 정도를 의미한다. 배우는 데 시간과 노력이 적게 사용되는 것, 즉 쉽게 배우거나 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 TAM의 인지된 용이성과 유사한 개념으로서 성과기대와 마찬가지로 수용의도를 설명하는 데 있어서 중요한 변수라고 제시되었다(Venkatesh et al., 2012). 일반적으로 노력기대는 이용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미치는 것으로 제시되었다(김현규, 2019; 장예민·문태수, 2013; 정병규·동학림, 2019; 정철호·남수현, 2014).

따라서 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용에 있어서도 개별 기업의 관점에서 스마트 팩토리 관련 기술을 배우고 이해하기 쉬우며, 사용하기 편리하다고 지각되는 경우 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용의도는 증가할 것으로 예측하였으며, 아래의 가설을 수립하였다.

가설 H2: 노력기대는 사용의도에 정(+)의 영향을 미친다.

2.2.3. 사회적 영향과 사용의도 간의 관계

사회적 영향이란 나의 주변에서 나에게 소중한 사람들이 혁신적인 기술이나 제품을 내가 사용하여야 한다고 믿는 정도를 의미한다(Venkatesh et al., 2012). 일반적으로 사회적 영향은 이용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미친다(김기봉·전인오, 2018; 김정래·이상직, 2020; 이동만 외, 2010; 이영희·류미현, 2019; 장예민·문태수, 2013; 정철호·남수현, 2014).

개별 기업에게 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 조직은 해당 기업의 부품 및 완제품을 구매하는 구매기업이며, 어떤 부품과 제품의 독점적 공급기업이 아니라면 해당 기업은 구매기업의 거래 관련 요구사항을 거절하는 경우는 제한적일 수 있다. 그러므로 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용에 있어서도 개별 기업의 관점에서 공급사슬상의 거래기업들이 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 통하여 제조 품질, 납기 유연성 등의 제고를 요구하거나 요구받는 경우 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용의도는 증가할 것으로 예측하였으며, 아래의 가설을 수립하였다.

가설 H3: 사회적 영향은 사용의도에 정(+)의 영향을 미친다.

2.2.4. 촉진조건과 사용의도 간의 관계

촉진조건이란 혁신적 기술을 사용하는 것을 지원하기 위한 기술적 조직적 인프라의 구축 정도를 의미한다(Venkatesh et al., 2012). 또한 일반적으로 사회적 영향은 이용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미친다(김기봉·전인오, 2018; 김정래·이상직, 2020; 이영희·류미현, 2019; 정병규·동학림, 2019; 정철호·남수현, 2014).

따라서 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용에 있어서도 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용을 위한 조직 내의 교육이나 소개, 도입 관련 조직의 구성, 최고 경영자의 적극적인 지원 등이 이루어진다면 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용의도는 증가할 것으로 예측하였으며, 아래의 가설을 수립하였다.

가설 H4: 촉진조건은 사용의도에 정(+)의 영향을 미친다.

2.2.5. 네트워크 효과와 사용의도 간의 관계

네트워크 효과란 제품의 사용자 수가 증가할수록 제품을 사용하는 경우 획득하는 혜택과 효용이 증가하는 것을 의미한다. 또한 사용자 수의 증가가 제품의 효용에 직접적인 영향을 미치는 직접 네트워크 효과와 보완 제품의 수가 증가함으로써 본 제품의 효용이 증가하는 간접 네트워크 효과로 구분할 수 있다(Katz & Shapiro, 1994). 모바일 간편결제의 지속사용의도에 대하여 연구한 최수정·강영선(2016)에 의하면 네트워크 효과는 지속사용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미친다고 제시하였다.

따라서 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용에 있어서도 공급사슬상의 거래기업들 및 경쟁관계에 있는 기업들의 스마트 팩토리 관련 기술의 도입 및 사용이 증가하고 있다면 네트워크 효과를 제고하기 위해서라도 거래관계에 있는 기업들에게 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용을 권유하거나 요구받을 수 있을 것이므로 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용의도 역시 증가할 것으로 예측하였으며, 아래의 가설을 수립하였다.

가설 H5: 네트워크 효과는 사용의도에 정(+)의 영향을 미친다.

2.2.6. 혁신저항과 사용의도 간의 관계

Rogers(2002)에 의하면 혁신은 어떠한 형태로든 새로운 변화를 소비자에게 강요하는 것이므로 소비자들은 변화를 환영할 수도 있겠지만, 새로운 것에 대한 두려움, 불확실성, 의구심 등의 요인으로 인하여 새로운 혁신에 대하여 저항할 수도 있다고 제시한다. 또한 혁신저항은 현재의 상태를 변화시키려는 내부적 외부적 압력에 직면해 있는 소비자가 기존의 상태를 변화시키지 않고 그대로 유지하려는 것을 의미한다(Zaltman & Wallendorf, 1983). 또한 Sheth(1981)는 혁신을 받아들이려 하지 않는 태도로 혁신저항을 정의한다. 그러므로 혁신저항은 혁신에 수반하는 변화나 새로운 업무수행의 방식을 받아들이려 하지 않는 성향으로 해석할 수 있다.

윤승욱(2013)은 소셜네트워크서비스(SNS) 혁신저항에 관한 연구에서 혁신저항은 이용의사에 부(-)의 유의한 영향을 미친다는 내용을 제시하는데, 새로운 혹은 혁신적 기술의 수용과 관련하여 혁신저항과 관련된 대부분의 선행연구들은 이용의도 혹은 수용의도에 부(-)의 영향을 미친다는 연구 결과를 제시한다(박진우, 2016; 이병혜, 2017; 이진명 외, 2017). 따라서 개별 기업들이 지각하는 혁신저항의 수준이 높을수록 스마트 팩토리 관련 기술의 이용의도는 감소할 것으로 예측하였으며, 아래의 가설을 수립하였다.

가설 H6: 혁신저항은 사용의도에 부(-)의 영향을 미친다.

2.2.7. 사용의도와 사용행동 간의 관계

사용의도란 특정한 행위를 수행하려는 의도의 수준으로 정의한다(Davis et al., 1989). 많은 선행연구들에서 사용의도는 실제 사용행동에 정(+)의 유의한 영향을 미친다고 제시한다(정병규·동학림, 2019 ; 정철호·남수현, 2014). 따라서 본 연구에서도 개별 기업의 스마트 팩토리 관련 기술 사용의도의 수준이 높다면 사용행동으로 연결될 가능성이 높을 것으로 예측하였으며, 아래의 가설을 수립하였다.

가설 H7: 사용의도는 사용행동에 정(+)의 영향을 미친다.

2.2.8. 기업규모에 따른 사용의도 선행요인과 사용의도 및 사용행동 간의 차이 비교

부가적인 연구로서 정남기·김동섭(2018)의 연구에

의하면 기업 규모에 따르는 제품·공정·조직·마케팅을 통합하는 4대 혁신율을 비교하여 보면 규모가 큰 기업들일수록 혁신율의 수준이 높으며, 규모가 작을수록 혁신율의 수준이 낮다고 제시한다. 또한 앞서 간단히 제시하였지만 스마트 팩토리의 도입 수준에서 전자 및 컴퓨터 산업의 경우 도입 완료 비율은 8.5%이지만 해당 산업에서 소기업은 6.5%, 중기업은 29.6%의 완료 비율을 보인다. 따라서 기업의 규모가 상대적으로 큰 중기업들의 스마트 팩토리 도입 수준이 비교적 높은 상황이다. 그러므로 기업의 규모 크기에 따라서 스마트 팩토리 관련 기술의 사용의도 선행요인들과 사용의도, 사용행동에서 차이가 있을 것으로 예측할 수 있으므로, 아래의 가설을 수립하였다.

가설 H8: 기업규모에 따라서 스마트 팩토리 관련 기술의 사용의도 선행요인, 사용의도, 사용행동에는 차이가 있을 것이다.

이제까지 본 연구의 연구항목들에 대한 정의와 선행연구 및 연구가설의 내용을 제시하였는데, 본 연구에서 사용하고자 하는 연구항목별 세부 측정 내용과 참조 선행연구들을 정리하면 다음의 <Table 1>과 같다.

Table 1. Detailed Measurement Items and Reference Precedents for Each Research Item

Item	Number	Detailed Measurement	Reference
Performance	1	Effectiveness has been improved through the introduction of related technologies.	Jeon & Namn(2014)
Expectancy	2	Efficiency has been improved by the introduction of related technologies.	Kim & Jeon(2018)
	3	Overall performance has been improved through the introduction of related technologies.	Kim & Lee(2020)
	4	The ability to perform work has been enhanced by the introduction of related technologies.	Lee & Ryu(2019)
	5	With the introduction of related technologies, it is easy to perform business.	Venkateshet al.(2003,2012)
Effort	1	Related technologies are easy to use.	Chung & Dong(2019)
Expectancy	2	Anyone can use the related technology.	Jeon & Namn(2014)
	3	The related technology is easy to control inside the enterprise.	Kim(2019)
	4	You can quickly acquire related skills.	Venkateshet al.(2003,2012)
	5	Related technologies can be used conveniently.	Zhang & Moon(2013)
Social	1	People who are important to me recommend using it.	Jeon & Namn(2014)
Influence	2	The people you invite are important to your business.	Kim & Jeon(2018)
	3	People who invite me have a better reputation than those around me.	Kim & Lee(2020)
	4	There are many people who speak friendly about the related technology.	Lee & Ryu(2019)
	5	There is a recommendation from the trading partner.	Venkateshet al.(2003,2012)
Facilitating	1	Training of related technologies takes place internally.	Jeon & Namn(2014)
Conditions	2	Introduction of related technologies is made from the inside.	Kim & Jeon(2018)
	3	Propagation of related technologies takes place inside.	Kim & Lee(2020)
	4	Technology-related infrastructure is being built inside.	Lee & Ryu(2019)
	5	An organization is being built for the introduction of technology inside.	Venkateshet al.(2003,2012)
Network	1	As the use of technology increases, the utility increases.	
Effects	2	Experience the usability as the use of technology increases.	Choi & Kang(2016)
	3	The number of trading companies increased due to the use of related technologies.	
	4	The use of related technologies is spreading throughout the supply chain.	Katz & Shapiro(1994)
	5	The use of related technologies is also expanding in competitors.	
Innovation	1	I am reluctant to learn related skills.	Yun(2013)
Resistance	2	I am afraid to learn related skills.	Rogers(2002)
	3	Closed to the acceptance of related technologies.	Sheth(1981)
	4	There is a tendency to reject (delay) related technologies.	Zaltman &
	5	Challenge the acceptance of related technologies.	Wallendorf(1983)
Behavioral	1	It is intended to use related technologies.	Chung & Dong(2019)
Intention	2	Interest in related technologies is high.	Davis et al.(1989)
	3	I will actively embrace related technologies.	Jung & Namn(2014)
	4	The use of related technologies is being considered.	Venkateshet al.(2003,
	5	We plan to use related technologies in the future.	2012, 2016)
Use	1	Use related technologies normally.	Chung & Dong(2019)
Behavior	2	The use time of related technologies has increased.	Davis et al.(1989)
	3	The frequency of use of related technologies has increased.	Jung & Namn(2014)
	4	We will actively utilize related technologies.	Venkateshet al.(2003,
	5	We actively encourage other companies to use related technologies.	2012, 2016)

3. 연구모형 및 연구방법

3.1. 연구모형의 수립

본 연구는 우리나라 중소기업들 중 혁신적 제품 제조, 반응적 공급사슬을 구성하여야 하는 산업의 기업들을 대상으로 스마트 팩토리 관련 기술의 수용에서 기업 경영 실무자들이 어떠한 이유로 스마트 팩토리 관련 기술을 수용하고 받아들이게 되는지를 확인하는 것이 본 연구의 주요한 목표이다. 본 연구에서 검정하고자 하는 연구가설은 앞서 모두 제시하였으며, 이를 종합하면 아래의 <Fig. 1>과 같다.

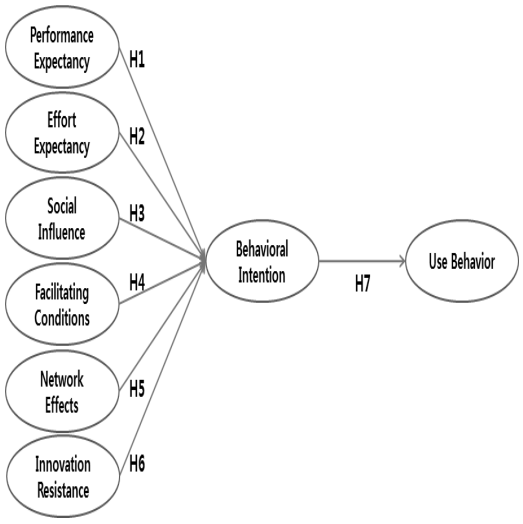


Fig. 1. Model of Research

3.2. 표본설계 및 연구방법론

연구를 위한 표본 설계는 다음과 같다. 기본적으로 국내의 혁신적 제품 및 반응적 공급사슬 구성 산업으로 분류할 수 있는 패션의류, 전자, 전기 관련 기업들을 대상으로 설문조사를 시행하였다. 설문의 내용은 앞서의 <Table 1>에서 제시된 측정항목을 중심으로 리커트 7점 척도로 구성된 설문 항목과 인구통계학적 내용 및 해당 기업의 스마트 팩토리 관련 현황을 조사하기 위한 내용을 포함하여 작성하였다. 그리고 기업연감의 확인을 통해 기업 규모에서 종업원 수 50명 미만, 매출액 50억 원 미만의 기업으로 분류되는 기업들은 설문 조사의 대상에서 제외하고자 하였다.

설문조사는 주로 해당 기업의 생산 및 제조를 담당하고 있는 직원 및 전자적 자원관리(Enterprise Resource Planning: ERP), 공급사슬관리(Supply Chain Management: SCM) 등 IT 시스템을 담당하고 직원들로서 되도록 상위 직책에 근무하는 직원들이 응답하여 줄 것을 부탁하였다. 기업체 당 1부를 조사하는 것을 원칙으로 하였지만 독립적인 사업 부문으로 운영되는 경우에는 사업부별로 조사를 시행하였다.

설문지는 총 850부를 배포하였으며, 주로 우편조사를 통하여 시행하였지만, 일부 e-mail을 활용하기도 하였다. 또한 조사자들의 방문조사를 허용한 기업체들은 직접 방문하여 조사를 진행하였으며, 스마트 팩토리 도입 및 사용과 관련한 현장의 의견을 듣고, 실제 기업의 애로사항을 수집하기도 하였다. 회수한 설문지는 총 108부이며, 응답 상태가 비교적 불량하다고 판단된 설문지, 스마트 팩토리 도입 단계에 대한 조사로서 ICT 미적용(미도입)으로 관련 기술을 도입하지 않았다고 답변한 기업체의 설문지 역시 본 연구에서 활용하지 않았다. 이들 기업체의 경우 스마트 팩토리 관련 기술의 도입과 사용에 있어서 제한성이 있을 것으로 예측하여 전부 제거한 것이다. 통계처리에 사용된 설문지는 총 86부이며, 설문 응답 대상자와 기업의 일반 현황은 다음의 <Table 2>와 같다.

Table 2. Characteristics of Surveyed Companies

Item	Division	Frequency	%
Age	20～29	3	3.5
	30～39	24	27.9
	40～49	28	32.6
	50 over	31	36.0
Education	High School	17	19.8
	University	55	64.0
	Graduate	6	7.0
	No Comment	8	9.3
Company	Assistant Manager	24	27.9
Position	Exaggeration	22	25.6
	Director	25	29.1
	Executives	9	10.5
	Etc	6	7.0
Years of	3 Below	4	4.7
Service	3～5	19	22.1
	6～10	20	23.3
	11～20	26	30.2
	21 Over	17	19.8
Sales	51～100	32	37.2
Unit :	101～200	15	17.4
Billion	201～300	15	17.4
	301～500	9	10.5
	501～1000	10	11.6
	1001 Over	5	5.8
Employee	51～100	40	46.5
Unit :	101～200	14	16.3
Person	201～300	12	14.0
	301～500	14	16.3
	501 Over	6	7.0
Industry	Fashion Clothing	9	10.5
	Electronic	50	58.1
	Electricity	27	31.4
Smart	Level Ⅰ	15	17.4
Factory	Level Ⅱ	53	61.6
Level	Level Ⅲ	7	8.1
	Level Ⅳ	5	5.8
	No Comment	6	7.0
Smart	Company itself	10	11.6
Factory	National institution	5	5.8
Introduction	Industrial groups	5	5.8
Path	Professional company	51	59.3
	Trading partner	7	8.1
	No Comment	8	9.3

세부적인 내용을 살펴보면 연령은 40대 이상이 68.6%, 학력은 대졸 이상이 70.9%, 직급은 과장/부장/임원 이상이 72.1%, 근속년수는 6년 이상이 73.3%로 조사되었다. 따라서 비교적 해당 기업의 상황을 정확하게 파악하고 있고, 기업 내에서 중추적인 역할을 하는 직급과 사람들에서의 응답 비율이 높다.

매출액은 300억 원 미만이 72.1%, 종업원 수 300명 미만이 76.7%로 조사되어 중소기업에서의 응답 비율이 비교적 높다. 산업으로는 전자 관련 기업체의 응답비율이 58.1%, 전기 관련 기업체는 31.4%, 패션의류 기업체에서의 응답은 10.5%이다. 또한 도입단계(수준)는 대부분의 기업들이 Level Ⅱ(중간수준1) 이하로서 79.1%이며, Level Ⅳ(고도화)는 5.8%로 조사되어 조사 대상 기업들의 스마트 팩토리 도입 수준은 비교적 미흡한 상태로 조사되었다. 스마트 팩토리 도입경로는 전문 업체를 통한 도입이 59.3%로서 비교적 많은 기업들이 전문 업체를 통하여 도입하는 것으로 조사되었고, 기업 자체적으로 도입한 경우는 11.6%로 조사되었으며, 비교적 규모가 큰 기업들의 경우 자체적으로 도입하였다고 응답하였다.

앞서 <Table 1>에서 제시한 연구항목별 세부 측정내용은 기존 선행연구들에서 사전에 검증이 완료된 것이지만 선행연구들과는 다르게 본 연구는 일반 소비자들이 아닌 기업체의 경영자 및 실무자를 대상으로 설문조사를 진행한 것이므로 조사 대상에서 차이가 있다. 따라서 연구항목별 신뢰성 및 타당성을 다시 한 번 확인할 필요성이 존재한다. 신뢰성과 타당성을 확인하기 위하여 1차적으로 SPSS 25를 활용하여 탐색적 요인분석을 시행하였으며, 이를 바탕으로 다시 Smart PLS 2.0을 활용하여 확인적 요인분석을 수행하고, 이를 만족하는 연구항목들을 이용하여 경로분석을 시행하는 방식으로 연구가설을 검정하였다.

4. 실증분석

4.1. 신뢰성 및 타당성 분석

4.1.1. 탐색적 요인분석 및 결과

탐색적 요인분석의 시행에 앞서 연구항목들 간의 상관관계를 SPSS 25를 활용하여 시행하였다. 상관관계 분석에서 상관계수가 ±0.3 이상으로 나타나지 않으면 해당 데이터는 요인분석에 부적합하기 때문이다(이학식·임지훈, 2019). 상관계수의 분석 결과 가장 낮은 상관계수를 보이는 연구항목은 네트워크 효과와 혁신저항 간의 관계로써 해당 연구항목들 간의 상관계수는 -0.225(p=0.037)로 검정되어 비교적 낮은 상관계수이지만 유의하게 검정되고, 다른 연구항목들 사이에서는 대부분 기준 값인 ±0.3 이상으로 나타나며 유의하게 검정되므로 탐색적 요인분석이 가능하다고 판단하였다.

탐색적 요인분석은 연구항목들 사이의 독립성을 가정한 Varimax 직각회전 방식을 적용하였다. 탐색적 요인분석의 결과는 다음의 <Table 3>과 같다. 탐색적 요인분석의 결과 KMO 측도 값은 0.863으로 나타나며, Bartlerr의 구형성 검정의 유의확률(p)은 0.000으로 나타난다. 그러나 사회적 영향 4번 항목과 네트워크 효과 1, 2번 항목의 요인적재량은 0.5 이상으로 검정되지 않거나 교차 적재의 현상이 나타나 제거하였으며, 나머지 연구항목들은 모두 기준치를 충족하는 것으로 검정되었다. 최종적으로 누적설명력은 88.165%로 검정되었다. 탐색적 요인분석의 결과 본 연구의 연구항목들이 8개로 구분되었다.

Table 3. Exploratory Factor Analysis Results

Item	Number	요 인							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Performance	1	.335	.131	**.695**	-.001	.377	.206	.229	.092
Expectancy	2	.268	.130	**.798**	-.066	.209	.265	.130	.073
	3	.364	.191	**.794**	-.188	.134	.142	-.073	.103
	4	.301	.251	**.802**	-.115	.143	.081	.186	.081
	5	.088	.246	**.796**	-.065	.197	.098	.185	.214
Effort	1	.024	**.840**	.136	-.026	.159	.186	.163	-.114
Expectancy	2	.037	**.891**	.084	-.097	.196	.196	.147	.012
	3	.116	**.913**	.084	-.021	.159	.099	-.082	.096
	4	.097	**.864**	.209	.028	.061	.035	.196	.085
	5	.047	**.925**	.186	.076	.011	.116	.115	.089
Social	1	.334	.299	.267	.045	.288	**.627**	.216	.219
Influence	2	.266	.334	.325	-.067	.247	**.646**	.096	.336
	3	.241	.164	.113	-.054	.290	**.837**	.109	.085
	4	-							
	5	.171	.340	.414	-.052	.199	**.622**	.136	.115
Facilitating	1	.163	.309	.220	-.145	.229	.491	**.644**	-.076
Conditions	2	.409	.386	.335	-.214	.299	.216	**.520**	.139
	3	.413	.377	.279	-.249	.259	.189	**.522**	.244
	4	.269	.311	.262	-.305	.274	.118	**.531**	.417
	5	.332	.305	.259	-.301	.217	.134	**.663**	.230
Network	1	-							
Effects	2	-							
	3	.267	.074	.445	-.081	.340	.294	.106	**.629**
	4	.207	-.002	.448	-.125	.357	.339	.149	**.566**
	5	.056	.131	.456	-.206	.342	.349	.315	**.518**
Innovation	1	-.114	-.069	-.114	**.810**	-.200	-.057	-.355	.036
Resistance	2	-.102	-.007	-.119	**.891**	-.043	-.020	-.101	-.119
	3	-.202	.006	-.061	**.924**	-.127	.004	.009	-.041
	4	-.172	.023	-.020	**.928**	-.102	-.045	-.032	.066
	5	-.227	-.017	-.054	**.891**	-.111	-.058	-.037	-.149
Behavioral	1	.282	.235	.184	-.219	**.690**	.283	.263	.161
Intention	2	.323	.254	.291	-.118	**.709**	.268	.168	.084
	3	.322	.179	.287	-.195	**.698**	.186	.218	.137
	4	.364	.108	.261	-.299	**.709**	.241	.079	.100
	5	.304	.208	.238	-.154	**.752**	.183	.062	.194
Use	1	**.805**	.100	.243	-.227	.292	.219	.045	.018
Behavior	2	**.847**	.066	.289	-.217	.170	.191	.151	.024
	3	**.837**	.024	.269	-.241	.247	.147	.114	.034
	4	**.770**	.176	.203	-.282	.262	.121	.227	.114
	5	**.869**	.037	.189	-.169	.218	.131	.109	.212
아이겐 값		5.448	5.333	5.135	4.898	4.220	3.248	2.543	1.795
% 분산		14.725	14.414	13.877	13.239	11.405	8.779	6.874	4.852

4.1.2. 확인적 요인분석 및 결과

앞서의 탐색적 요인분석의 결과를 바탕으로 Smart PLS 2.0을 활용하여 확인적 요인분석을 시행한 결과는 다음의 <Table 4>에 정리하여 나타내었으며, 세부적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

확인적 요인분석은 집중타당성 및 내적 일관성 신뢰도를 검증하는 것이다. 집중타당성 검정을 위한 Outer Loading 값은 0.7 이상, Average Variance Extracted(AVE) 값은 0.5 이상으로 검정되어야 한다. 또한 내적 일관성 신뢰도를 위한 Cronbach's α 값은 0.7 이상, Composite Reliability(C. R.)값은 0과 1 사이의 값을 가지며, 높을수록 높은 신뢰도를 의미한다(Hair et al., 2014).

집중타당성의 분석 결과 Outer Loading 값의 최솟값은 노력기대 1번 항목으로 0.868로 검정 되었으며, AVE의 최솟값 역시 노력기대로서 0.832로 나타나며, Cronbach's α 값의 최솟값 역시 노력기대로서 0.899로 검정되었다. C. R.값 역시 노력기대로서 0.937로 검정되어 모두 기준치를 충족하는 것으로 검정되었다. 또한 내생변수를 얼마나 잘 예측할 수 있는가에 대한 분석 기준으로 R^2값을 활용하는데, R^2값은 0.19 이상이면 모형의 적합성이 존재하며, 0.67 이상으로 나타나면 강한 설명력을 의미한다(Henseler et al., 2009). R^2값의 최솟값은 앞서의 <Table 4>에서 제시한 것처럼 사용행동으로서 0.784로 검정되어 연구모형의 적합성이 높은 것으로 검정되었다.

판별타당성은 Fornell과 Larcker(1981)의 방식을 적용하여 검정하였으며, 판별타당성 검정은 개별 연구항목들의 AVE의 제곱근 값을 활용하여 분석하였다. AVE의 제곱근 값은 0.7 이상으로 검정되어야 하며, 경로모형의 다른 연구항목들의 상관계수 값들보다 높게 나타나야 한다. 분석 결과 AVE의 제곱근 값의 최솟값은 노력기대로서 0.912로 검정되었으며, 다른 연구항목들의 상관계수 값들보다 높게 나타나므로 기준치를 충족하였다. 판별타당성의 분석 결과는 다음의 <Table 5>와 같다.

Table 4. Result of Confirmatory Factor Analysis

Item	Number	Outer Loading	AVE	Cronbach's α	C. R.	R^2
Performance Expectancy	1	0.979	0.932	0.963	0.976	-
	2	0.976				
	3	0.941				
	4	0.961				
	5	0.963				
Effort Expectancy	1	0.868	0.832	0.899	0.937	-
	2	0.931				
	3	0.903				
	4	0.963				
	5	0.968				
Social Influence	1	0.948	0.874	0.928	0.954	-
	2	0.911				
	3	0.962				
	4	-				
	5	0.945				
Facilitating Conditions	1	0.949	0.904	0.947	0.966	-
	2	0.947				
	3	0.957				
	4	0.968				
	5	0.963				
Network Effects	1	-	0.875	0.929	0.955	-
	2	-				
	3	0.915				
	4	0.954				
	5	0.938				
Innovation Resistance	1	0.885	0.909	0.950	0.968	-
	2	0.963				
	3	0.945				
	4	0.965				
	5	0.950				
Behavioral Intention	1	0.965	0.917	0.970	0.978	0.909
	2	0.947				
	3	0.963				
	4	0.962				
	5	0.959				
Use Behavior	1	0.961	0.943	0.970	0.980	0.784
	2	0.963				
	3	0.964				
	4	0.971				
	5	0.978				

Table 5. Discriminant Validity Analysis Result

Item	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Performance Expectancy	***0.965***							
2. Effort Expectancy	0.590	***0.912***						
3. Social Influence	0.783	0.656	***0.935***					
4. Facilitating Conditions	0.738	0.692	0.832	***0.951***				
5. Network Effects	0.790	0.566	0.804	0.777	***0.936***			
6. Innovation Resistance	-0.224	-0.187	-0.435	-0.343	-0.191	***0.954***		
7. Behavioral Intention	0.829	0.732	0.898	0.865	0.813	-0.429	***0.958***	
8. Behavior Use	0.755	0.663	0.818	0.856	0.700	-0.402	0.886	***0.971***

- 굵은 이탤릭체 글씨는 AVE의 제곱근 값

Table 6. Test Results of Hypothesis H1~H7

H	P a t h	Original Sample	Simple Mean	STDEV	STERR	t-val	p-val	채 택 여 부
H1	Performance Expectancy → Behavioral Intention	0.217	0.218	0.070	0.070	3.111	0.003	채 택
H2	Effort Expectancy → Behavioral Intention	0.140	0.141	0.062	0.062	2.269	0.026	채 택
H3	Social Influence → Behavioral Intention	0.260	0.260	0.075	0.075	3.472	0.001	채 택
H4	Facilitating Conditions → Behavioral Intention	0.123	0.122	0.076	0.076	1.619	0.109	기 각
H5	Network Effect → Behavioral Intention	0.100	0.099	0.064	0.064	1.558	0.123	기 각
H6	Innovation Resistance → Behavioral Intention	-0.120	-0.122	0.040	0.040	3.040	0.003	채 택
H7	Behavioral Intention → Behavior Use	0.886	0.886	0.022	0.022	40.738	0.000	채 택

4.2. 연구가설의 검정 결과

연구항목별 신뢰성 및 타당성을 검정한 결과 모두 기준치를 충족하므로 경로분석의 방식으로 연구가설을 검정하였다. 연구가설의 세부적인 검정 결과는 위의 <Table 6>과 같다.

세부적인 가설검정 결과를 살펴보면 먼저 가설 H1의 검정으로서 성과기대는 사용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미친다(β=0.217, p=0.003). 둘째, 가설 H2의 검정으로서 노력기대는 사용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미친다(β=0.140, p=0.026). 셋째, 가설 H3의 검정으로서 사회적 영향은 사용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미친다(β=0.260, p=0.001). 넷째, 가설 H4의 검정으로서 촉진조건은 사용의도에 정(+)의 영향을 미치지만 유의하지 않은 것으로 검정되었으며(β=0.123, p=0.109), 다섯째, 가설 H5의 검정으로서 네트워크 효과 역시 사용의도에 정(+)의 영향을 미치지만 유의하지 않은 것으로 검정되었다(β=0.100, p=0.123). 여섯째, 가설 H6의 검정으로서 혁신저항은 사용의도에 부(-)의 유의한 영향을 미친다(β=-0.120, p=0.003). 마지막으로 가설 H7의 검정으로서 사용의도는 사용행동에 정(+)의 유의한 영향을 미치는 것으로 검정되었다(β=0.886, p=0.000).

그리고 기업의 규모로서 매출액 300억 원을 기준으로 하여 소기업과 대기업으로 구분하였으며, 이에 따른 사용의도 선행요인, 사용의도, 사용행동의 차이를 분석한 결과는 다음의 <Table 7>에 정리하여 나타내었다. 세부적인 내용을 살펴보면 혁신저항을 제외한 전체 연구항목에서 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었으며, 기업의 규모가 클수록 본 연구에서 제시하는 연구항목들 중 성과기대, 노력기대, 사회적 영향, 촉진조건, 네트워크 효과, 사용의도, 사용행동의 지각 수준이 높고, 혁신저항의 수준은 낮은 것으로 검정되었다.

Table 7. H8 Analysis of Differences According to Company Size

H	Item	Group	Average	Equally distributed assumptions	F	p-val	t	p-val(양측)
H8-1	Performance Expectancy	1	5.360	Assuming equal variance	10.019	.002	-3.122	.002
		2	6.255	Does not assume equal variance			-3.708	.001
H8-2	Effort Expectancy	1	4.425	Assuming equal variance	9.368	.003	-1.976	.051
		2	4.946	Does not assume equal variance			-2.291	.026
H8-3	Social Influence	1	5.230	Assuming equal variance	4.681	.033	-2.146	.035
		2	5.841	Does not assume equal variance			-2.337	.024
H8-4	Facilitating Conditions	1	4.813	Assuming equal variance	1.860	.176	-2.511	.014
		2	5.555	Does not assume equal variance			-2.715	.009
H8-5	Network Influence	1	5.265	Assuming equal variance	10.782	.001	-4.070	.000
		2	6.327	Does not assume equal variance			-4.831	.000
H8-6	Innovation Resistance	1	3.602	Assuming equal variance	.085	.772	.241	.810
		2	3.523	Does not assume equal variance			.234	.816
H8-7	Use of Intention	1	5.019	Assuming equal variance	7.443	.008	-2.809	.006
		2	5.891	Does not assume equal variance			-3.149	.003
H8-8	Behavior Use	1	4.778	Assuming equal variance	2.601	.111	-3.178	.002
		2	5.718	Does not assume equal variance			-3.425	.001

- Group 1 : Sales 300billion below, 2 : Sales 300billion over

5. 결론 및 향후 연구방향

5.1. 연구 결과의 요약 및 시사점

본 연구는 우리나라의 혁신적 제품, 반응적 공급사슬 구성하고 있는 산업의 기업들로서 패션의류, 전자 및 전기 관련 중소기업을 대상으로 하여 스마트 팩토리 관련 기술의 수용에서 기업의 경영 실무자들이 어떠한 요인으로 인하여 스마트 팩토리 관련 기술을 수용하고 받아들이게 되는지 혹은 받아들이지 않는지를 확인하는 것이 주요한 목표이다. 이를 위하여 국내의 관련 기업체들을 대상으로 설문조사를 시행하였으며, 수집된 설문지를 활용하여 연구가설을 검정하였다.

연구가설의 검정 결과 성과기대, 노력기대, 사회적 영향은 사용의도에 정(+)의 유의한 영향을 미치는 것으로 검정되었으며, 영향 강도의 수준은 사회적 영향 > 성과기대 > 노력기대의 순이다. 그리고 촉진조건과 네트워크 효과는 사용의도에 정(+)의 영향을 미치지만 유의하지 않은 것으로 검정되었다. 또한 혁신저항은 사용의도에 부(-)의 유의한 영향을 미치는 것으로 검정되었다. 마지막으로 사용의도는 사용행동에 정(+)의 유의한 영향을 미치는 것으로 검정되었다. 연구항목별 기업의 규모에 따른 차이 분석에서 혁신저항을 제외한 다른 모든 연구항목에서 유의한 차이가 있는 것으로 검정되었다.

이러한 연구가설의 결과를 바탕으로 본 연구의 학문적·실무적 시사점을 정리하면 아래와 같다.

먼저 스마트 팩토리 관련 기술의 사용의도에 미치는 영향요인에서 가장 높은 영향을 미치는 요인은 사회적 영향으로 검정되었다. 앞서 사회적 영향의 측정 내용으로 스마트 팩토리 관련 기술의 수용에 있어서 개별 기업의 관점에서 중요한 영향을 미칠 수 있는 사람이나 혹은 기업에 중요한 사람, 우수한 평판을 보유한 사람이나 거래기업들의 사용 권유를 제시하였는데, 이들이 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 요구하는 경우 이를 긍정적으로 받아들이고 있다

는 의미로 볼 수 있다. 따라서 현재 정부에서 주도적으로 추진하고 있는 '스마트제조혁신추진단'의 역할을 조금 더 강화할 필요성이 존재한다.

또한 스마트 팩토리로의 전환을 위한 방법론으로써 박종필(2017)은 스마트 팩토리의 성공적인 도입을 위하여 대기업의 경우 일부 공장을 시범적으로 스마트 팩토리로 구축 및 변환을 시행한 후 운영하여 성공적으로 평가되는 경우 확대를 시행하고, 중소기업의 경우, 낮은 수준의 스마트 팩토리 구축 수준에서 높은 수준으로 구축의 수준을 제고할 것을 제시하고 있다. 그러나 본 연구의 결과를 바탕으로 하여 공급사슬 관점을 적용할 필요성이 있을 것이다. 먼저 완성품을 제조하는 대기업이 중심이 되고, 이를 지원하고 있는 1차 부품 공급 업체로서 중소 및 중견 기업을 대상으로 스마트 팩토리를 구축하며, 이를 확장하는 방식으로 2차 부품 공급업체 및 나아가 n차 부품 공급업체로 점차적으로 확대시켜 나가는 방식을 제안하는 것이다.

이러한 이유는 앞서 제시한 것처럼 공급사슬 구조상 공급업체인 원재료 공급업체의 구매기업은 부품 공급업체이며, 부품 공급업체의 구매기업은 완성품 제조업체라고 할 수 있다. 공급업체와 구매업체의 관계에서 공급업체가 독점적 공급기업이 아닌 상황이라면 통상적으로 구매업체의 영향력이 공급업체보다 높고, 거래가격 역시 공급업체가 결정하기 보다는 구매업체가 결정하는 것이 일반적인 현상일 것이다. 따라서 공급업체에게 가장 높은 사회적 영향을 미칠 수 있는 구매기업의 역할로써 공급사슬상의 거래관계 구조의 특성을 활용하여 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 제고할 수 있도록 지원할 필요성이 있다.

또한 앞서 제시한 것처럼 사회적 영향력 발휘에서 구매기업이 공급기업에게 중요한 기업이고, 공급사슬 구성기업들 사이에서 좋은 평판을 확보하고 있다면 더 높은 수준의 영향력을 발휘할 수 있을 것이다. 부가적으로 사회적 영향력이 가장 높은 영향을 미치는 이유는 본 연구의 조사 대상 기업들이 혁신적 제품 제조와 반응적 공급사슬 구성 산업의 기업들인 것에서도 찾을 수 있다. 혁신적 제품 제조와 반응적 공급사슬 구성기업들의 경우 고객 수요 변동에 빠르게 대응하는 것이 가장 필요로 하고 수요 변동에 빠르게 대응하기 위해서는 거래 협력기업체들의 빠른 대응과 유연성이 요구되므로 이를 달성하기 위해서라도 거래 협력기업체들에게 사회적 영향력을 발휘할 필요성이 있기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

그리고 가설 H8의 검정에서 나타난 것처럼 규모가 비교적 큰 기업부터 진행할 필요성이 있다. 가설 H8의 검정 결과 연구항목별 지각 수준에서 규모가 큰 기업들의 성과기대, 노력기대, 사회적 영향, 촉진조건, 네트워크 효과, 사용의도 및 사용행동의 수준이 높고, 유의하지는 않지만 혁신저항의 수준이 낮기 때문에 규모가 큰 기업부터 스마트 팩토리 관련 기술을 수용할 수 있도록 하는 방안을 제시하는 것이다.

둘째, 스마트 팩토리 관련 기술의 사용이 해당 기업의 경영성과를 제고할 수 있어야 하는 성과기대와 관련 기술의 사용이 비교적 쉬워야 한다는 노력기대는 사용의도에 정(+)의 영향을 미친다. 이러한 결과는 독립적 영리조직으로서 개별 기업은 스마트 팩토리 관련 기술의 도입에 있어서 경영성과의 제고가 발생하지 않는 경우 또한 관련 기술의 사용이 어려운 경우 스마트 팩토리 관련 기술의 수용에 있어서 제한사항이 발생할 수 있다는 것이다.

일반적으로 스마트 팩토리 관련 기술의 수용은 개별 기업에게 업무 방식 및 제조 프로세스 혁신을 유발하게 되므로 업무 프로세스의 전반적인 변화가 발생할 수 있다. 또한 스마트 팩토리 관련 기술의 도입에는 많은 투자비용이 발생할 수 있기 때문이다. 또한 앞서 <Table 2>에서 제시한 것처럼 스마트 팩토리 관련 기술의 도입에서 외부 전문 업체를 통하여 도입하는 경우가 59.3%로 나타난다. 조사 대상 업체의 대부분이 전자 및 전기 관련 업체임에도 불구하고 이러한 현상이 나타난 것이다. 그러므로 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 시행하는 경우 개별 기업의 경영성과가 제고될 수 있어야 하며, 사용하기에도 쉬워야만 스마트 팩토리 관련 기술의 도입이 쉽게 이루어 질 수 있다는 것을 의미한다.

셋째, 가설 H4의 검정으로서 촉진조건과 H5의 검정으로서 네트워크 효과는 유의하지는 않지만 사용의도에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 검정되었다. 따라서 개별 기업의 관점에서 스마트 팩토리 관련 기

술의 도입을 위해서는 기업 내부적으로 관련 기술에 대한 교육 및 소개와 전담조직을 구성하는 등 촉진 조건의 수준을 제고하는 것이 필요로 한다. 또한 공급사슬 내부에서 다른 거래업체들이 스마트 팩토리 관련 기술의 사용이 증가하고, 경쟁기업들 역시 스마트 팩토리 관련 기술의 사용이 증가하는 경우 스마트 팩토리 관련 기술의 도입이 보다 더 제고될 수 있다는 내용을 제시하는 것이다.

마지막으로, 가설 H6의 검정에서 혁신저항의 수준이 높을수록 스마트 팩토리 관련 기술의 사용의도는 감소하는 것으로 검정되었다. 따라서 개별 기업 내의 혁신저항의 수준을 빠르게 감소시키는 것이 요구된다는 것을 확인할 수 있다.

김정래·이상직(2020)의 연구와 문화체육관광부(2016)의 스마트 팩토리를 도입하지 않는 기업 600개를 대상으로 한 조사보고서에 따르면 스마트 팩토리의 도입을 주저하는 세부적인 이유로써 성과에 대한 확신 부족(19.7%), 직원들의 낮은 수용성 및 전문 전담인력 확보 어려움(19.3%), 비용부담(16.7%)의 순서로 조사되었다. 해당 조사에서 스마트 팩토리 구축에 대한 정부지원이 없다면 자발적으로 구축할 의향이 있느냐는 질문 항목에 37.7%는 긍정적인 답변이, 부정적인 응답은 62.8%로 조사되었다. 이는 개별 기업체의 관점에서 정부의 재정적인 지원이 스마트 팩토리 도입을 결정하는 중요한 요인이라는 점을 의미한다. 또한 현재의 스마트 팩토리 도입의 증가는 상당부분 정부지원에 의한 것이라는 것이며, 자발적인 도입과 수입은 제한적이라는 것을 의미한다.

이외에도 도입 실패에 따르는 위험, 직원들의 관점에서 스마트 팩토리 도입에 따르는 업무 및 일자리 고민, 전문 인력의 확보 지원 등 추가적으로 고려하여야 할 다양한 요인이 있음을 의미하는 것이다. 따라서 개별 기업 조직 내에서 혁신저항의 수준을 감소시키는 것이 요구되고, 앞서 제시한 것처럼 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 통하여 경영성과가 제고되는 것을 제시할 수 있어야만 하고, 관련 기술의 사용이 쉬운 경우 혁신저항의 수준은 감소될 수 있으므로 이를 적절하게 활용하는 것이 요구된다.

5.2. 연구 제한사항 및 차후 연구방향

연구에 따르는 제한사항 및 차후 연구방향을 정리하면 아래와 같다.

먼저 UTATU의 조절변수들 중 자발적 사용에 대한 부분에서 연구의 제한사항이 있다. 권준화·이성봉(2016)의 연구에 의하면 우리나라 중소기업들의 스마트 팩토리 도입에 있어서 정부가 중소 및 중견 기업의 스마트 팩토리 도입 수준을 제고하는 방안에 있어서 숫자에 매몰되지 않을 것을 제시하며, 독일의 중소기업들이 자신들에게 가장 적합한 스마트 팩토리 등 생산 혁신 기술과 시스템을 자기 주도적으로 개발하고 적용한 것처럼 우리나라의 중소기업들 역시 개별 기업의 특성에 맞추어 자기 주도적으로 스마트 팩토리를 도입할 것을 제시하고 있다. 즉, 정부나 대기업에 의존하지 않고 자기 주도적으로 해당 분야의 스마트 팩토리 관련 기술 및 시스템의 개발에 나설 것을 제시한다.

그러나 본 연구의 스마트 팩토리 도입 경로에 대한 부분을 조사한 결과에 의하면 기업 자체적으로 스마트 팩토리 관련 기술을 도입한 경우는 앞서 제시한 것처럼 10개사 11.6%에 자나지 않는다. 또한 외부 전문기업에 의존한 경우는 51개사 59.3%에 이른다. 따라서 개별 기업이 자발적으로 스마트 팩토리를 도입한 경우와 외부 업체에 의한 도입의 경우 나타나는 성과기대, 노력기대, 사회적 영향, 촉진조건, 네트워크 효과, 혁신저항, 사용의도의 수준에서 차이가 있을 것이라고 예측할 수 있고, 이를 비교할 필요성이 존재한다. 따라서 이러한 집단 간 차이를 비교 분석하는 것이 요구되지만 앞서 <Table 2>와 위에서 제시한 것처럼 표본 데이터 수가 충분하지 않음으로 인해 연구를 진행하지 못하였으며, 차후 추가적인 데이터를 수집하고 다시 연구를 진행할 필요성이 존재한다.

둘째, 전체적으로 데이터 분석에 사용된 데이터 개수가 제한적인 상황이다. 구조방정식 모형을 사용하는 연구에서는 데이터의 안정성을 확보하기 위하여 200개 이상의 데이터 확보를 필요로 하지만 본 연구에서 사용된 데이터의 개수는 86개이며 제한적인 상황이다.

데이터의 개수가 제한적인 이유는 앞서 제시한 것처럼 혁신적 제품과 반응적 공급사슬을 구성하여야 하는 산업으로서 패션 의류, 전자 및 전기 관련 기업으로 조사 대상을 제한하였으며, 부가적으로 기업의 규모로서 종업원 수 기준 50인 미만 및 매출액 기준 50억 원 미만의 기업체들에서 조사된 데이터 역시 본 연구에서 조사하고자 한 연구항목들에 대한 답변에서 제한사항이 있을 수 있으므로 연구 활용에서 모두 제거한 측면도 존재한다. 따라서 향후에는 더 많은 데이터를 확보하고 다시 연구를 진행할 필요성이 존재한다.

셋째, 본 연구는 Fisher(1997)의 연구에서 제시된 제품 및 공급사슬 분류 중 혁신적 제품과 반응적 공급사슬 구성 산업으로 분류할 수 있는 패션의류, 전자, 전기 관련 기업체들만을 대상으로 하여 연구를 진행하였으며, 기능적 제품 및 효율적 공급사슬 구성 산업으로 분류할 수 있는 기업체들에 대한 연구를 진행하지 않았다. 이러한 이유는 스마트 팩토리 관련 기술의 도입을 우선적으로 시행하여야 하는 산업 및 기업들은 혁신적 제품과 반응적 공급사슬 구성 산업으로 판단하였으며, 이들 기업체들을 대상으로 연구를 진행하였기 때문이다.

또한 부가적으로 조사 대상 산업의 선정과정에서 일부 연구자들의 자의성이 존재한다. 패션의류, 전자, 전기 관련 산업의 기업체라고 하더라도 실제 수요의 변동성이 높은 기업이 있을 수 있고, 변동성이 낮은 산업이 있을 수 있으므로 이를 엄격하게 구분하여 조사를 시행하여야 하였지만 이러한 부분까지 엄격하게 조사를 진행하는 것에는 일부 제한사항이 존재한다. 따라서 차후에는 고객 수요의 변동성을 보다 엄격하게 조사하고 조사 대상 기업을 선정하여 연구를 진행하여야 하며, 기능적 제품 및 효율적 공급사슬을 구성하여야 하는 산업의 기업체들을 대상으로 하여 자료를 수집하고, 본 연구의 결과와 비교하는 연구 역시 필요로 할 것이다. 따라서 이러한 연구들은 차후 연구에서 더 많은 자료를 확보하고 다시 진행될 필요성이 존재한다.

REFERENCES

[1] Byun, D. H. (2016). Trend of smart factory and model factory cases. *The e-Business Studies,* 17(4), 211-228.

[2] Choi, S. J. & Kang, Y. S. (2016). Consumers' intentions for the usage of mobile payments: Extending UTAUT with innovativeness, trust and network effect. *Korean Telecommunications Policy Review,* 23(4), 29-52.

[3] Chung, B. G. & Dong, H. L. (2019). Influential factors on technology acceptance of Augmented Reality(AR). *Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship,* 14(3), 153-168.

[4] Chung, N. K. & Kim, D. S. (2018). Strategic response of small and medium-sized automobile part industry for the 4th industrial revolution era. *Ordo Economics Journal,* 21(1), 45-63.

[5] Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly,* 13(3), 319-340.

[6] Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science,* 35(8), 982-1003.

[7] Fisher, M. L. (1997). What is the right supply chain for your product?. *Harvard Business Review,* 75(2), 105-116.

[8] Fornell, C. & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variable and measurement error. *Journal of Marketing Research,* 18(1), 39-50.

[9] Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2014). *A primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling(PLS-SEM),* Sage Publication.

[10] Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). *The use of Partial Least Squares Path Modeling in international marketing.* In R. R.

Sinkovics and P. N. Ghauri(eds). *New challenges to international marketing.* Emerald Group Publishing Limited: 277-319.

[11] Jeon, S. H., Park, N. R., & Lee, C. C. (2011). Study on the factors affecting the intention to adopt public cloud computing service. *Entrue Journal of Information Technlogy,* 10(2), 97-112.

[12] Jung, C. H. & Namn, S. H. (2014). Cloud computing acceptance at individual level based on extended UTAUT. *Journal of Digital Convergence,* 12(1), 287-294.

[13] Katz, M. L. & Shapiro, C. (1994). Systems competition and network effects. *Journal of Economic Perspectives,* 8(2), 93-115.

[14] Kim, H. G. (2019). An empirical study on continuous use intention and switching intention of smart factory. *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research,* 24(2), 65-80.

[15] Kim, H. J., Huh, H., Kang, J. W., & Boo, J. (2019). A study on factors influencing the introduction of smart factory: Focusing on small and medium-size enterprises in Korea. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering,* 42(3), 252-261.

[16] Kim, J. R. & Lee, S. J. (2020). Factors affecting technology acceptance of smart factory. *Journal of Information Technology Applications & Management,* 27(1), 75-95.

[17] Kim, K. B. & Jeon, I. O. (2018). Influential factors of intention to use drone technology: An application of extended UTAUT model. *Journal of Distribution and Management Research,* 21(3), 161-173.

[18] Kim, K. W. (2017). Factors influencing the IoT technology acceptance and policy implication of SMEs. *Legislation and Policy Studies,* 9(3), 341-362.

[19] Korea smart manufacturing office (2020). *Smart Factory in Korea.* https://smart-factory.kr.

[20] Kwon, J. H. & Lee S. B. (2016). A case study of German small and medium enterprises' introduction of 'Industry 4.0' and It's implication to Korea. *Koreanische Zeitschrift fuer Wirschaftswissenschaften,* 34(3), 37-55.

[21] Lee, B. H. (2017). A study on factors affecting innovation resistance and intention of use of social TV non-user: Focused on innovation diffusion theory and innovation resistance model. *Journal of Internet Computing and Services,* 18(6), 101-112.

[22] Lee, D. M., Lim, G. H., & Jang, S. H. (2010). Comparative analysis on the usage of internet banking users in Korea and China: Based on the UTAUT theory. *Journal of Information Systems,* 19(4), 111-136.

[23] Lee, H. S. & Lim, J. H. (2019). *SPSS UI Manual, JYPHYUNJAE.*

[23] Lee, J. M., Park S., & Rha, J. Y. (2017). Consumers' resistance and intention to adop smartwatch: Focusing on benefit-cost perception. *Journal of Consumer Studies,* 28(2), 111-132.

[25] Lee, S. W. & Lee, H. S. (2014). A study on an integrative model for big data system adoption: Based on TOE. DOI and UTAUT. *Journal of Information Technology Applications & Management,* 21(4), 463-483.

[26] Lee, Y. H. & Ryu, M. H. (2019). Study on use intention of Chinese unmanned convenience stores by applying UTAUT and theory of experience economy: Verifying the moderating effect of reliability. *Journal of Distribution and Management Research,* 22(2), 5-15.

[27] Ministry of Culture, Sports and Tourism (2016). *Awareness and satisfaction survey of smart factory support project.*

[28] Ministry of SMEs and Startups (2020). *Statics.* http://211.253.148.159:8083/statHtml.

[29] Oh, J. H., Seo, J. H., & Kim, J. D. (2019). The effect of both employees' attitude toward technology acceptance and ease of technology use on smart factory technology introduction level and

manufacturing performance. *Journal of Information Technology Applications & Management,* 26(2), 13-26.

[30] Oh, J. J. & Choi, S. J. (2017). Development of PLC-based fieldbus educational equipment and curriculum for building smart factory. *Journal of Practical Engineering Education,* 9(1), 49-56.

[31] Park, J. P. (2017). Analysis on success cases of smart factory in Korea: Leveraging from large, medium, and small size enterprises. *Journal of Digital Convergence,* 15(5), 107-115.

[32] Park, J. W. (2016). Relationship between the determinant factors of social TV resistance to innovation and intention to use. *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science,* 11(8), 801-806.

[33] Rogers, E. M. (2002). Diffusion of preventive innovations. *Addictive Behaviors,* 27, 989-993.

[34] Sang, M., Shin, Y. H., Lee, C. W., & Mun, J. H. (2017). The influence of IoT technological characteristics on expected achievement and adoption intention of SCM: On the perspectives of Chinese physical supply chain and distribution industry. *Information Systems Review,* 19(3), 1-21.

[35] Sheth (1981). Psychology of innovation tesistance: The Less Developed Concept (LCD) in diffusion research. *Research in Marketing,* 4, 273-282.

[36] Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly,* 27(3), 425-478.

[37] Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: Extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Quarterly,* 36(1), 157-178.

[38] Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2016). Unified theory of acceptance and use of technology: A synthesis and the road ahead. *Journal of the Association for Information Systems,* 17(5), 328-376.

[39] Yun, S. U. (2013). A study on the innovation resistance on social network service. *Journal of Communication Science,* 13(3), 331-360.

[40] Zaltman, G. & Wallendorf, M. (1983). *Consumer behavior: Basic findings and management implications.* Wiley.

[41] Zhang, R. & Moon, T. S. (2013). An empirical study on user acceptance of mobile payment in China: Based on UTAUT model. *The Journal of Internet Electronic Commerce Research,* 13(2), 187-215.

서 영 복

금오공과대학교 컨설팅학과 박사
현재: 김천대학교 교양학과 조교수
관심 분야: POM, 물류관리, 공급사슬관리

박 찬 권

경북대학교 경영학부 비즈니스 운영관리 박사
현재: 경북대학교 건설환경에너지융합기술원 연구초빙교수
관심 분야: SCM, 생산운영관리, 물류 유통

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management
Vol. 20, No. 2, pp.49 ~ 64, October 2020

ISSN 1598-382X
https://doi.org/10.25052/KSCM.2020.10.20.2.49

수요의 불확실성과 현금 흐름을 고려한 공급망 관리의 민감도 분석에 관한 연구*

양근호*.안시후**.정병도***†

* . ** . ***연세대학교 산업공학과

Research on Supply Chain Management Considering Cash flow and Demand Uncertainty Based on Sensitivity Analysis

Geun Ho Yang* · Si Hu An** · Byung Do Chung***†

* · ** · ***Department of Industrial Engineering, Yonsei University

Supply chains faces various uncertainties such as demand, manufacturing and supply uncertainties. In this study, we consider both normal demand variation and sudden change in demand as risk factors in a supply chain. Capacity is adjusted by hiring and firing workforce to mitigate the impact of demand uncertainty in consideration of cash flow. A mixed-integer linear programming model is developed and numerical experiments are conducted to investigate the impact of uncertain demand in terms of inventory level, cash flow, debt ratio, and bankruptcy. The results show that safety stock of a focal company has less effect on cash flow of suppliers in the case of normal demand variation. Also, it is observed that the sudden change in demand worsens cash flow and causes bankruptcy and high inventory level in a supply chain. The ratio of production and fixed cost has a significant impact on the performance of a supply chain.

Keyword : Risk management, Demand uncertainty, Cash flow, Firing and hiring

---

※ 이 논문은 중소기업청 및 한국산업기술진흥원의 World Class 300 기술지원사업의 일환으로 수행한 연구임(S2482274, 미래형 스마트 차체 공장을 위한 다차종 유연 생산 플랫폼 기술 개발).

† **Corresponding Author** : Yonsei University, 50 Yonsei-ro Seodaemun-gu, Seoul 03722, Korea
Tel: +82-2-2123-3875, E-mail: bd.chung@yonsei.ac.kr

Received: 8 September 2020, **Revised**: 5 October 2020, **Accepted**: 20 October 2020

1. 서론

공급망의 운영이 글로벌화되고 복잡도가 증가함에 따라, 공급망의 위험 노출 확률도 커지고 있다. 특히, 최근에는 지진, 홍수 등의 자연재해와 더불어 무역 분쟁, 전쟁 등 사람에 의한 공급망의 위험요소가 증가하고 있다. 2017년 어마허리케인, 2019년 일본의 수출 제한으로 인한 공급망 위험의 사례가 있으며, 예측하기 어려운 위험으로 인한 2019년 글로벌 손실은 1,500억 달러에 달한다(McKinsey, 2020). 이에 따라 공급망 위험관리에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있다. 공급망 위험에 대비하기 위한 연구는 위험을 사전에 예측하는 연구와 위험요인의 영향을 최소화하는 연구로 구분할 수 있다. 특히, 예측하기 힘든 위험에 대해서는 예측적 위험관리보다는 대응적 위험관리 분야가 더 중요하다.

대응적 위험관리는 위험의 요인에 따라 다르다. 공급망의 위험요인은 공급상의 위험, 수요상의 위험, 제조상의 위험, 시설상의 위험으로 구분할 수 있다(Ho et al., 2015). 공급상의 위험은 공급자의 문제 발생과 관련되며, 다른 공급자로부터 동일한 제품을 공급받을 수 있도록 대응한다(양재훈 외, 2011). 수요상의 위험은 예측하기 어려운 수요의 변동을 의미하며, 이에 대비하기 위하여 공급망의 유연성과 민첩성 높이는 방식으로 대응한다. 유연성은 시스템 및 설비의 변동으로 적응하는 능력으로 정의되며(Das, 1996), 민첩성은 유연성에 시간이 추가된 개념이다(김진희 외, 2003). 제조상의 위험은 배송 우선순위 문제나 장비 운영문제를 해결하는 운영위험관리의 관점으로 다뤄진다(Cigolini & Rossi, 2010). 시설상의 위험은 시설 안전과 관련된 방법을 사용한다(Manuj & Mentzer, 2008).

본 연구에서는 일반적인 상황에서의 수요 변동 및 급격한 수요 패턴의 변화로 발생되는 수요상의 위험을 다룬다. 이에 대한 대응적 관리의 방법으로 작업자 고용 및 해고를 통한 공급업체의 생산 용량 변화를 이용하며, 공급망 운영과 관련된 현금 흐름, 대출 및 파산 등의 재정적 이슈를 함께 고려하고자 한다. 공급망의 한 기업이 파산하게 되면, 동일한 제품을 만들 수 있는 다른 기업의 용량을 탄력적으로 변화시켜 공급망의 안정성을 유지할 수 있다(Pinker, 1996). 생산 용량의 변화와 이에 따른 재고 수준의 변화는 기업의 재정 상황과 연결되기 때문에, 기업의 재정적 상황을 함께 고려하는 것은 매우 중요하다(Buzacott & Zhang. 2004; Martins & Quelhas, 2016).

본 논문의 구성은 다음과 같다. 논문의 제2장에서는 공급망 관리 분야에서의 수요의 불확실성과 대응에 관련된 선행연구를 살펴본다. 제3장에서는 본 연구에서 다루고자 하는 공급망 관리 문제를 정의하고, 제4장에서 최적화 수리 모델을 제시한다. 제5장에서는 수치실험을 통한 분석 결과를 논하고, 제6장에서는 연구의 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 선행 연구

2.1. 공급망 수요의 불확실성

수요의 불확실성은 공급망 내외부에서 발생하는 다양한 불확실성의 요인 중 가장 활발하게 연구되는 분야이다. 공급망 내부에서 발생하는 수요의 불확실성은 최종 소비자의 불규칙적인 주문에 의하여 발생하는 불확실성과 황소채찍효과로 인해 공급망의 주문 정보가 왜곡되어 발생하는 불확실성으로 구분할 수 있다(Simangunsong et al, 2012). 수요의 불확실성은 재난, 전쟁과 같은 공급망의 외부 요인으로 발생하기도 한다. 특히, 공급망 외부 요인으로 인해 발생되는 수요의 불확실성은 예측하기 어려우며, 수요의 변동 폭도 매우 큰 특징이 있다. 공급망 수요의 불확실성에 대한 연구는 매우 활발하며 범위가 넓기 때문에, 본 섹션에서는 접근 방법론적인 관점에서의 연구 흐름을 설명하며, 보다 자세한 내용은 Simangunsong 등(2012), Ho 등(2015), Shekarian과 Parast(2020)에서 확인할 수 있다.

수요의 불확실성이 공급망 모델에 적용되는 연구는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 불확실한 수요는 다양한 형태의 시나리오 표현되며, 민감도 분석이나 시뮬레이션 실험 등을 통하여 불확실성의 영

향도와 공급망의 성과 관계 등을 살펴본다. 예를 들어, Qi 등(2004)은 소매업체의 중단에 따른 수요의 불확실성에 대응하기 위하여, 다양한 시나리오를 가정하고 실험을 진행하였으며, Jung 등(2004)은 제안한 안전재고 수준의 성능 입증을 위해 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 적용하였다. 박양병과 윤성준(2011)은 공급망 리스크 분석을 위하여 수요의 불확실성을 포함한 총 7가지의 불확실성 변수를 고려하여 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 둘째, 불확실성에 관련된 정보를 최적화 수리 모델에 직접 반영하여 불확실성을 고려한 의사결정을 한다. 불확실성을 어떻게 정의하고 적용하는가에 따라 퍼지 최적화, 확률적 최적화, 강건 최적화의 방식으로 구분할 수 있다(Kim et al. 2018). 황성민과 송상화(2015)는 불확실한 수요를 다양한 시나리오와 발생 확률로 정의한 뒤, 확률적 최적화 모형을 이용하여 판매 생산 계획 수립 문제를 해결하였으며, Govindan와 Fattahi(2015)는 후속 고객단에서의 불확실한 수요를 해결하기 위해, 2단계 확률 모형을 개발하여 공급망의 설계와 계획을 위한 수학적 모형을 제시하였다. You와 Grossmann(2008)은 공급망 설계 단계에서 수요의 불확실성을 확률적으로 고려하여, 공급망의 리드타임과, 경제성 지표를 동시에 고려한 최적화 모형을 제시하였으며, 안전재고의 유무에 따라 목적함수의 기댓값을 비교하는 방식으로 실험을 진행하였다. Jang과 Chung(2020)은 예측하기 어려운 수요의 불확실성을 구간으로 정의한 뒤, 강건최적화 방법을 이용하여 총괄 생산 계획을 수립하였다.

본 연구에서는 공급망 내부 요인으로 인한 일반수요와 공급망 외부 요인으로 인해 급격하게 수요 패턴이 변화하는 위기수요를 모두 고려한다. 수요의 불확실성이 공급망 운영에 미치는 영향을 파악하기 위해, 민감도 분석을 진행하였다.

2.2. 작업자 변동과 현금 흐름 기반의 수요 불확실성 대응

공급망 관리 연구에서 수요의 불확실성에 대응하기 위하여 다양한 전략과 방법을 이용한다. 생산지연 전략, 생산과 운송의 유연성, 전략적 재고 운영, ICT 시스템, 리드타임 관리 등이 대표적이다(Simangunsong et al, 2012). 본 섹션에서는 수요의 불확실성에 대응하기 위하여 작업자 수의 변동을 통한 생산의 유연성과 더불어 기업의 현금 흐름에 관련된 연구를 살펴보고자 한다.

작업자 관리는 비용을 최소화하기 위하여 필요한 시점에 필요한 작업자를 유지하고 관리하는 것을 의미한다(Kim et al. 2013). 특히, 작업자 관리는 기업의 생산 능력과 직결되기 때문에, 총괄 생산 계획 수준에서는 수요의 변동에 맞춰 작업자를 유연하게 관리하는 것이 중요하다. 권령민(2008)은 제조기업이 외부 불확실성에 대응하기 위한 민첩성을 강조하고 있으며, 계층분석적 의사결정방법(AHP, Analytic hierarchy process)을 적용하여 민첩성을 높이기 위해서는 작업자의 기술 숙련 수준이 가장 중요하다는 것을 보였다. Ng와 Sy(2014)는 수요의 변동에 대응하기 위하여 작업자와 재고를 동적으로 조정할 수 있는 피드백 컨트롤 모델을 제시하였다. Jang과 Chung(2020)은 불확실한 수요 환경에서 작업자의 고용과 해고를 반영한 총괄 생산 계획을 수립하기 위한 최적화 수리모델을 제시하였다. 특히, 작업자의 고용과 해고 역시 실행 관점에서 최적의 계획대로 실행되지 않을 수 있는 상황을 반영하여, 실행의 불확실성에도 강건한 모델을 제시하였다.

최근 들어, 재무적 상황과 공급망 관리를 통합하는 연구에 대한 관심이 증가하고 있다. 하지만 수요가 불확실한 환경에서 재무적 상황을 고려하여 공급망의 설계와 운영을 최적화하는 연구는 많지 않다. Longinidis와 Georgiadis(2011)는 수요가 불확실한 환경에서 네 단계로 구성된 공급망을 설계하기 위한 최적화 모델을 제시하였다. 시나리오 방식의 불확실성을 고려하였으며, 손익계산서와 대차대조표를 고려하여 공급망의 운영과 재정적 상황을 통합하여 모델링하였다. Cardoso 등(2013)은 수요의 불확실성이 존재하는 환경에서 폐공급망을 설계하고 운영하기 위한 최적화 수리 모델을 제시하였다. 시나리오 트리를 이용하여 네 가지 수요 변동의 시나리오를 생성하였으며, 설비 확장을 위한 투자와 현금 흐름을 고려하였다.

문헌 연구를 통해 살펴본 기존의 연구들은 수요의

변동성과 불확실성에 대응하기 위하여 다양한 전략을 사용하고 있다. 하지만 아직까지 중기적인 관점에서 작업자 고용과 해고를 통한 생산 능력의 조절과 재무 상황을 동시에 반영한 연구는 찾아보기 힘들다. 본 연구에서는 공급망 위험관리 분야의 연구 영역을 확장하고, 제안된 최적화 모델과 수치 실험을 통해 공급망 관리 분야의 새로운 의미들을 찾아보고자 한다.

3. 문제 정의

본 연구에서 고려하는 공급망은 <Fig. 1>과 같이 소비자의 수요를 바탕으로 완제품을 생산하는 중심기업과 필요한 부품을 조달해주는 1차 협력사, 2차 협력사로 구성된다. 부품을 조달하는 협력사는 복수의 업체가 존재하며, 전체 공급망을 최적화하는 관점에서 필요한 협력사를 선정하여 공급망을 운영한다.

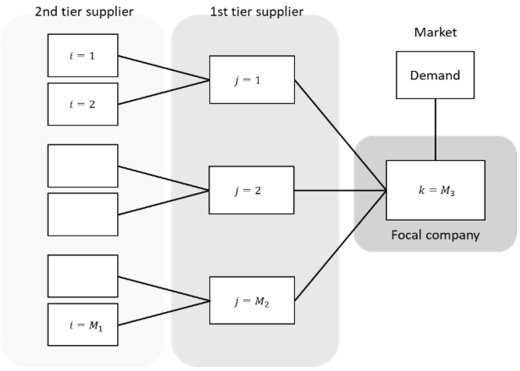


Fig. 1. Supply Chain Structure

본 연구에서 고려되는 비용은 크게 고정비, 생산비, 재고비, 작업자 관련 비용으로 구분한다. 고정비는 생산량과 관계없이 발생하며, 생산비는 작업자 관련 비용을 제외한 생산에 관련된 모든 비용을 포함한다. 작업자 관련 비용은 생산비에 포함되어 반영될 수 있지만, 본 연구에서는 작업자 수의 변화를 통한 공급망 위험 대응을 반영하기 위하여 작업자에 대한 비용은 별도로 구분하였다. 작업자 관련 비용으로 인건비와 해고에 따른 해고 비용을 고려한다. 해고 비용은 기존 작업자와 신규 작업자를 다른 수준으로 설정하였다. 기존 작업자의 퇴직금을 고려하여 신규 작업자에 대한 해고비용은 기존 작업자의 10% 수준으로 설정하였다. 모든 작업자는 임금 수준은 동일하다고 가정하였다.

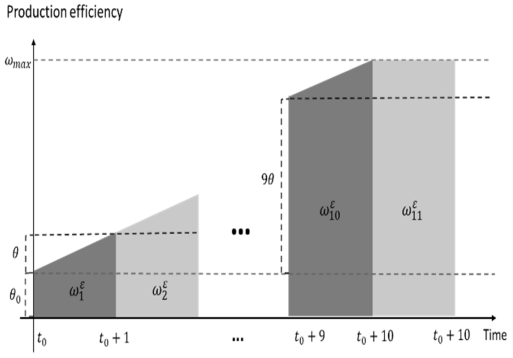


Fig. 2. Time Dependent Linear Learning Rate

각 기업에서 제품을 생산하는 작업자는 작업 효율을 갖고 있으며, 다음과 같은 가정 사항을 갖는다. 새롭게 고용되는 작업자들은 동일한 작업 효율(θ_0)을 갖고 있으며, 매 시점마다 θ만큼 증가한다. 이후, 특정 시점이 지나면 기존에 근무하고 있던 작업자와 동일한 작업 효율을 갖게 되며, 더 이상 숙련도 증가를 기대할 수 없다. 따라서 <Fig. 2>와 같이 작업 효율을 표현할 수 있다. 본 연구에서는 이산적인 시간 단위를 고려하며, 고용 후 1 기간까지를 작업 등급 1로 정의하고, 10 기간 동안 작업 등급이 10까지 증가한다. 작업 효율이 증가하는 시점에는 <Fig. 2>와 같이 사다리꼴의 넓이를 계산하여 각 작업자의 작업효율을 계산할 수 있다. 11 시점이 되면 기존 작업자 그룹과 같은 작업효율을 갖는 작업 등급 11로 정의하였다. 또한 기존 작업자와의 해고비용 차이를 위하여 기존 작업자는 작업 등급 0으로 정의하였다.

중심기업의 재고 정책에 따른 공급망 성과의 차이를 살펴보기 위하여 필수 안전재고 정책과 자유 생산 정책을 고려하고, 이를 각각의 최적화 수리 모델로 개발한다. 필수 안전재고 정책은 중심기업이 의무적으로 일정 수준의 안전재고를 보유하는 방식이며, 자유 생산 정책은 공급망 비용을 최소화하는 방향으

로 기업이 자유롭게 재고 수준을 결정하는 방식이다.

각 기업이 재정적으로 어려운 상황이 되면 파산을 할 것인지, 대출을 받아 이익을 창출해 낼 것인지 의사결정하며, 대출금 상환 방식은 원리금 균등분할상환 방식을 사용한다. 기업의 초기 현금잔고는 기업의 규모에 따라 다르다고 가정하였다.

4. 수학적 모형

본 섹션은 두 가지 재고 정책에 따라 공급망의 총 비용을 최소화할 수 있는 혼합 정수 계획 모델을 제시한다. 수리 모형에 사용된 기호와 변수들에 대한 자세한 설명은 부록에 정리하였다.

제안된 수리 모형에서 공급망 ε 단계에 포함된 e 기업은 각 t 시점별로 생산량 ($p^{\varepsilon}_{e,t}$), 신규 작업자의 고용 ($h^{\varepsilon}_{e,t}$), g 등급 작업자의 해고 ($f^{\varepsilon}_{e,g,t}$)를 의사결정하며, 이를 바탕으로 기업의 재고량 ($s^{\varepsilon}_{e,t}$), 판매량 ($x^{\varepsilon}_{e,t}$), 수요 미납량 ($\xi^{\alpha}_{j,t}$, $\xi^{\beta}_{k,t}$, ξ^{γ}_{t}, ξ^{safe}_{t}), 작업자 수 ($w^{\varepsilon}_{e,g,t}$) 등이 상태 변수로 계산된다. 이와 같은 의사결정은 목적함수에 제품 생산비, 재고비, 작업자의 고용과 해고에 관련된 비용, 제품 판매 수익 및 제품 미납으로 인한 패널티로 반영된다.

또한 각 기업들은 현금 흐름과 관련하여 대출금 ($l^{\varepsilon}_{e,t}$)을 의사결정하며, 이를 통해 현금잔고 ($\Omega^{\varepsilon}_{e,t}$), 상환금 ($r^{\varepsilon}_{e,t}$), 잔여 상환금 ($L^{\varepsilon}_{e,t}$), 파산($b^{\varepsilon}_{e,t}$) 및 운영 ($o^{\varepsilon}_{e,t}$) 여부 등이 상태 변수로 계산된다. 이와 같은 의사결정은 대출금에 대한 이자비용을 통해 직접적으로 목적함수에 영향을 주며, 기업의 파산 및 운영 여부를 통해 간접적으로 생산 및 재고 비용 등에 간접적으로 영향을 주게 된다.

우선, 필수 안전재고가 필요하지 않은 자유 생산 정책의 최적화 수리 모형에 사용된 목적함수는 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
Z_1 = \\
&\sum_e \sum_{t=1}^{T} (pc^{\epsilon}_{e,t} \cdot \ p^{\epsilon}_{e,t} + sc^{\epsilon}_{e,t} \cdot \ s^{\epsilon}_{e,t} + \zeta^{\epsilon} \cdot \ o^{\epsilon}_{e,t}) + \\
&\sum_e \sum_{g=1}^{11} \sum_{t=1}^{T} (wc^{\varepsilon}_{e,t} \cdot \ w^{\varepsilon}_{e,g,t} + 0.1 fc^{\varepsilon} \cdot \ f^{\varepsilon}_{e,g,t}) + \\
&\sum_e \sum_{t=1}^{T} (wc^{\varepsilon}_{e,t} \cdot \ w^{\varepsilon}_{e,0,t} + fc^{\varepsilon} \cdot \ f^{\varepsilon}_{e,0,t}) + \\
&\sum_e \sum_{t=1}^{T} \tau \cdot \ l^{\varepsilon}_{e,t} + \sum_e \sum_{t=1}^{T} (\rho^{\varepsilon} \cdot \ \xi^{\varepsilon}_{t} - \pi^{\varepsilon} \cdot \ x^{\varepsilon}_{e,t})
\end{aligned}
\tag{1}
$$

수식 (1)은 공급망 내의 총 비용에 대한 함수이다. 첫 번째 줄은 제품의 생산비, 재고비, 고정비를 나타내며, 두 번째와 세 번째 줄은 각각 신규 작업자 비용과 기존 작업자 비용을 나타낸다. 네 번째 줄은 대출금에 대한 이자 비용, 미납 패널티, 제품 판매 수익을 나타낸다. 이를 바탕으로 다음과 같은 최적화 모델을 제시한다.

$$min \ Z_1 \tag{2}$$

$$s.t.$$

$$d_t = \sum_{k=1}^{1} x^{\gamma}_{k,t} + \xi^{\gamma}_{t}, \forall \ t \tag{3}$$

$$p^{\gamma}_{k,t} = \sum_{j=1}^{3} x^{\beta}_{k,j,t} + \xi^{\beta}_{k,t}, \forall \ k,t \tag{4}$$

$$p^{\beta}_{k,j,t} = \sum_{i=1}^{3} x^{\alpha}_{k,j,i,t} + \xi^{\alpha}_{k,j,t}, \forall \ j,t \tag{5}$$

$$s^{\varepsilon}_{e,t} = s^{\varepsilon}_{e,t-1} + p^{\varepsilon}_{e,t} - x^{\varepsilon}_{e,t}, \forall \ \varepsilon, e, t = 1, ..., T \tag{6}$$

$$s^{\varepsilon}_{e,t} \leq \ c^{e}_{2} \forall \ \varepsilon, e, t \tag{7}$$

$$p^{\varepsilon}_{e,t} \leq \ c^{e}_{1}, \forall \ \varepsilon, e, t \tag{8}$$

$$p^{\varepsilon}_{e,t} \leq \ \sum_{g=1}^{11} \omega^{\varepsilon}_{g} \cdot \ w^{\varepsilon}_{e,g,t}, \forall \ \varepsilon, e, t \tag{9}$$

$$x^{\varepsilon}_{e,t} \leq \ M \cdot \ o^{\varepsilon}_{e,t}, \forall \ \varepsilon, e, t \tag{10}$$

$$w^{\varepsilon}_{e,0,t} = w^{\varepsilon}_{e,0,t-1} - f^{\varepsilon}_{e,0,t}, \forall \ \varepsilon, e, t = 1, ..., T \tag{11}$$

$$w^{\varepsilon}_{e,1,t} = h^{\varepsilon}_{e,t}, \forall \ \varepsilon, e, t \tag{12}$$

$$w^{\varepsilon}_{e,g,t} = w^{\varepsilon}_{e,g-1,t-1} - f^{\varepsilon}_{e,g,t}$$
$$, \forall \ \varepsilon, e, t = 1, ..., T, g = 2, ..., 10 \tag{13}$$

$$w^{\varepsilon}_{e,11,t} = w^{\varepsilon}_{e,11,t-1} + w^{\varepsilon}_{e,10,t-1} - f^{\varepsilon}_{e,11,t}$$
$$, \forall \ \varepsilon, e, t = 1, ..., T \tag{14}$$

$$r^{\varepsilon}_{e,t} = r^{\varepsilon}_{e,t-1} + \frac{(1+\tau) l^{\varepsilon}_{e,t-1}}{12}, \forall \ \varepsilon, e, t = 1, ..., 12 \tag{15}$$

$$
\begin{aligned}
r^{\varepsilon}_{e,t} = (1+\tau)(&l^{\varepsilon}_{e,t-1} + l^{\varepsilon}_{e,t-2} + l^{\varepsilon}_{e,t-3} + l^{\varepsilon}_{e,t-4} + l^{\varepsilon}_{e,t-5} + \\
&l^{\varepsilon}_{e,t-6} + l^{\varepsilon}_{e,t-7} + l^{\varepsilon}_{e,t-8} + l^{\varepsilon}_{e,t-9} + l^{\varepsilon}_{e,t-10} + l^{\varepsilon}_{e,t-11} + \\
&l^{\varepsilon}_{e,t-12})/12 \ , \forall \ \varepsilon, e, t = 13, ..., T
\end{aligned}
\tag{16}
$$

$$L^{\varepsilon}_{e,t} = L^{\varepsilon}_{e,t-1} + (1+\tau) l^{\varepsilon}_{e,t} - r^{\varepsilon}_{e,t}, \forall \ \varepsilon, e, t = 1, ..., T \tag{17}$$

$$L_{e,t}^{\varepsilon} \le (1+\tau)\delta^{\varepsilon}, \forall\ \varepsilon,e,t \tag{18}$$

$$\Omega_{e,t}^{\varepsilon} = \Omega_{e,t-1}^{\varepsilon} - pc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot p_{e,t}^{\varepsilon} - sc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot s_{e,t}^{\varepsilon} - \zeta^{\varepsilon} \cdot o_{e,t}^{\varepsilon} - \sum_{g=0}^{11} wc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot w_{e,g,t}^{\varepsilon} - 0.1\sum_{g=1}^{11} fc^{\varepsilon} \cdot f_{e,g,t}^{\varepsilon} - fc^{\varepsilon} \cdot f_{e,g,t}^{\varepsilon} - r_{e,t}^{\varepsilon} + l_{e,t}^{\varepsilon} + \pi^{\varepsilon} \cdot x_{e,t}^{\varepsilon}, \forall\ \varepsilon,e,t \tag{19}$$

$$0 \le \Omega_{e,t}^{\varepsilon} + M \cdot b_{e,t}^{\varepsilon}, \forall\ \varepsilon,e,t \tag{20}$$

$$0 \le M \cdot o_{e,t}^{\varepsilon} - \Omega_{e,t}^{\varepsilon}, \forall\ \varepsilon,e,t \tag{21}$$

$$o_{e,t}^{\varepsilon} + b_{e,t}^{\varepsilon} = 1, \forall\ \varepsilon,e,t \tag{22}$$

$$\begin{aligned} &\Omega_{k,0}^{\tau} = 6000, \forall\ k \\ &\Omega_{k,j,0}^{\beta} = 600, \forall\ j,k \\ &\Omega_{kj,i,0}^{\alpha} = 180, \forall\ i,j,k \\ &w_{k,0,0}^{\tau} = 100, \forall\ k \\ &w_{k,j,0,0}^{\beta} = 30, \forall\ j,k \\ &w_{k,j,i,0,0}^{\alpha} = 20, \forall\ i,j,k \end{aligned} \tag{23}$$

$$w_{e,g,0}^{\varepsilon} = 0, \forall\ \varepsilon,e,g = 1,\ldots,11 \tag{24}$$

$$o_{e,t}^{\varepsilon} = 1, \forall\ \varepsilon,e,t \tag{25}$$

$$x_{e,t}^{\varepsilon}, s_{e,t}^{\varepsilon}, p_{e,t}^{\varepsilon}, \xi_{e,t}^{\varepsilon}, h_{e,t}^{\varepsilon}, l_{e,t}^{\varepsilon}, r_{e,t}^{\varepsilon} \ge 0, \forall\ \varepsilon,e,t$$

$$f_{e,g,t}^{\varepsilon}, w_{e,g,t}^{\varepsilon} \ge 0, \forall\ \varepsilon,e,t,g \tag{26}$$

$$o_{e,t}^{\varepsilon}, b_{e,t}^{\varepsilon} = 0 \text{ 또는 } 1 \tag{27}$$

수식(2)는 공급망의 비용을 최소화한다. 수식 (3)~(5)는 수요와 공급 관련 제약식이며, 중심기업의 수요가 협력사의 납품으로 이어진다. 수식 (6)은 재고 균형 관련 제약식이며, 수식 (7)은 최대 재고량에 관련된 제약식이다. 식 (8)과 (9)는 최대 생산수량에 대한 제약이다. 수식 (10)는 기업이 파산이 발생할 경우 납품을 방지하는 제약식이다. 기존 작업자와 신규 작업자의 고용과 해고와 관련된 제약식은 각각 수식 (11)과 수식 (12)~(14)에 정리되어 있다. 신규작업자는 숙련도 그룹 1에 해당되며, 11단계까지 올라간다. 매 시점 작업자의 숙련도는 한 단계씩 증가한다고 가정한다. 수식 (15)~(18)은 대출과 상환금에 관련된 제약식이다. 본 모델에서는 12시점 동안 원리금을 균등분할 상환하는 방식을 고려한다. 계획 구간에서 12시점까지 대출된 상환금은 수식 (15)를 통해 계산하고, 그 이후의 시점에는 상환이 완료된 대출을 제외하기 위하여 수식 (16)을 통해 상환금을 계산한다. 수식 (17)은 잔여 대출 상환금에 관한 제약이고, 수식 (18)은 최대 대출금에 대한 제약식이다. 수식 (19)는 매 시점 기업의 현금 흐름에 대한 수식이다. 이전 시점의 현금잔고 ($\Omega_{e,t-1}^{\varepsilon}$)에서 현 시점에서 발생되는 모든 비용 ($pc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot p_{e,t}^{\varepsilon} + sc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot s_{e,t}^{\varepsilon} + \zeta^{\varepsilon} \cdot o_{e,t}^{\varepsilon} - \sum_{g=0}^{11} wc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot w_{e,g,t}^{\varepsilon} - 0.1\sum_{g=1}^{11} fc^{\varepsilon} \cdot f_{e,g,t}^{\varepsilon} - fc^{\varepsilon} \cdot f_{e,g,t}^{\varepsilon} - r_{e,t}^{\varepsilon}$)을 빼고, 추가적인 대출금($l_{e,t}^{\epsilon}$)과 판매 수익($\pi^{\epsilon} \cdot x_{e,t}^{\epsilon}$)을 더하는 방식으로 계산된다. 각 시점에 발생되는 비용으로 생산비($pc_{e,t}^{\epsilon} \cdot p_{e,t}^{\epsilon}$), 재고비 ($sc_{e,t}^{\epsilon} \cdot s_{e,t}^{\epsilon}$), 공정 운영에 따른 고정비용 ($\zeta^{\epsilon} \cdot o_{e,t}^{\epsilon}$), 인건비($\sum_{g=0}^{11} wc_{e,t}^{\epsilon} \cdot w_{e,g,t}^{\epsilon}$), 신규 작업자 해고비($0.1\sum_{g=1}^{11} fc^{\epsilon} \cdot f_{e,g,t}^{\epsilon}$), 기존 작업자 해고비 ($fc^{\epsilon} \cdot f_{e,g,t}^{\epsilon}$), 이전 대출금에 따른 상환비용 ($r_{e,t}^{\epsilon}$)을 고려하였다. 계산된 현금 잔고는 수식 (20)과 (21)에 의해 현금잔고가 0 이하일 때만 파산한다. 수식 (22)는 파산과 운영이 동시에 일어날 수 없음을 표현한다. 수식 (23), (24), (25)는 각각 초기 현금잔고, 초기 작업자 수, 초기 운영 상태에 대한 제약이며, 수식 (26)는 비음 제약식, 수식 (27)은 이진 변수에 대한 제약식이다.

필수 안전재고 정책 환경에서는 기업이 유지해야 하는 재고 수준이 존재하기 때문에, 안전재고 부족으로 인한 페널티 비용 반영이 필요하다. 안전재고 부족으로 인한 패널티는 미납에 의한 패널티의 50% 수준으로 반영하였다. 따라서 안전재고 정책 환경에서의 목적함수는 수식 (1)에 안전재고 부족으로 인한 패널티 비용($\frac{\rho^{\varepsilon}}{2} \cdot \xi_t^{safe}$)을 추가하여 수식 (28)로 수정되며, 제약식 (29)가 추가된다.

$$\begin{aligned} Z_2 = &\sum_e \sum_{t=1}^{T} (pc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot p_{e,t}^{\varepsilon} + sc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot s_{e,t}^{\varepsilon} + \zeta^{\varepsilon} \cdot o_{e,t}^{\varepsilon}) + \\ &\sum_e \sum_{g=1}^{11} \sum_{t=1}^{T} (wc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot w_{e,g,t}^{\varepsilon} + 0.1 fc^{\varepsilon} \cdot f_{e,g,t}^{\varepsilon}) + \\ &\sum_e \sum_{t=1}^{T} (wc_{e,t}^{\varepsilon} \cdot w_{e,0,t}^{\varepsilon} + fc^{\varepsilon} \cdot f_{e,0,t}^{\varepsilon}) + \\ &\sum_e \sum_{t=1}^{T} \tau \cdot l_{e,t}^{\varepsilon} + \sum_e \sum_{t=1}^{T} (\rho^{\varepsilon} \cdot \xi_t^{\varepsilon} + \frac{\rho^{\varepsilon}}{2} \cdot \\ &\xi_t^{safe} - \pi^{\varepsilon} \cdot x_{e,t}^{\varepsilon}) \end{aligned} \tag{28}$$

σ· $d_t = \sum_{k=1}^{1} x_{k,t}^{\gamma} + \xi_t^{\gamma} + \xi_t^{safe}, \forall\ t$ (29)

5. 수치 실험 결과

5.1. 실험 데이터 생성

본 논문에서 제안한 최적화 수리 모델을 바탕으로 수요의 변화, 생산비와 고정비 비율의 변화를 고려한 다양한 공급망 환경에서의 실험을 수행하였다.

수요는 일반수요와 위기수요 두 가지 상황을 고려하였다. 일반수요는 수요의 변화가 크지 않고 일정한 수준을 유지하는 상황이며, 위기수요는 수요가 급감하고 다시 회복되는 상황을 고려하였다. <Fig. 3>은 실험에 사용된 일반수요 데이터를 나타낸다. 일반수요의 경우, 평균 6,000을 중심으로 서로 다른 변동을 주어 세 가지 수요 데이터를 생성하였다. <Fig. 4>는 위기수요 상황의 데이터이며, 위기구간, 회복구간, 유지구간 총 3가지 구간을 갖는다. 위기구간은 위기 발생 후 수요가 감소하는 구간이고, 회복구간은 위기로 인해 감소했던 수요량이 다시 정상 수요로 회복해 가는 구간이며, 유지구간은 수요가 정상적으로 회복된 이후 일반적인 수요상황으로 돌아온 구간을 의미한다. 위기구간은 6 단위시간 동안 단위시간당 평균 600씩 수요량이 감소하며, 회복 구간은 3 단위시간 동안 단위시간당 평균 1200씩 수요량이 회복된다. 위기수요 상황도 일반수요와 마찬가지로 수요의 변동을 통해 세 가지 수요 데이터를 생성하였다. 변동은 평균(μ)을 기준으로 표준 편차가 0, μ/30, μ/6인 정규 분포를 통해 난수를 생성한 뒤, 총 수요가 동일해지도록 조정하였다.

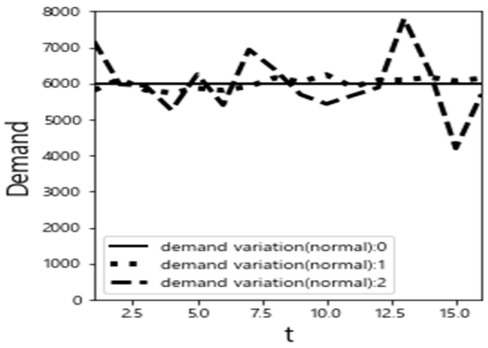


Fig. 3. The Cases of Normal Demand

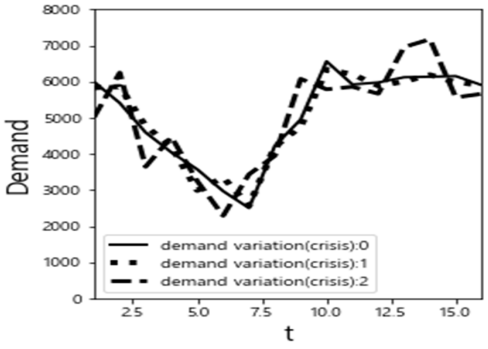


Fig. 4. The Cases of Crisis Demand

최적화 모델에서 사용된 비용 관련 데이터는 일반수요의 평균을 기준으로 다음과 같은 과정으로 생성하였다. 첫째, 기업의 평균 매출 대비 고정비, 생산비, 인건비 비율의 합을 중심기업 85%, 1차 협력사 90%, 2차 협력사 95%로 설정하였다. 둘째, 중심기업의 인건비를 매출 대비 5%로 설정하여 총 인건비를 계산하였다. 인당 인건비(wc^{ε})는 협력사로 갈수록 낮아지는 현상을 반영하기 위하여 5:4:3(중심기업 : 1차 협력사 : 2차 협력사) 비율로 기업별 인당 인건비를 계산하였으며, 초기 작업자의 수는 10:3:2(중심기업 : 1차 협력사 : 2차 협력사)로 정하였다. 셋째, 중심기업의 생산비에는 협력사의 제품 구매 가격이 포함되기 때문에 이를 반영하여 제품의 가격을 결정하였다. 중심기업의 제품 가격을 기준으로 1:0.3:0.12(중심기업 : 1차 협력사 : 2차 협력사)로 설정하였다. 마지막으로, 총 비용에서 인건비를 제외한 생산비와 고정비 비율을 달리하여 총 3가지 시나리오를 가정하였다.

생산비와 고정비 비율의 합은 중심기업의 경우 80%, 1차 협력사와 2차 협력사는 각각 78%와 65%에 해당된다. 시나리오별 생산비와 고정비의 자세한 비율은 <Table 1>에 정리되어 있다.

Table 1. Ratio of Fixed Cost and Production Cost

Scenario	2nd tiersupplier	1st tiersupplier	Focal Company
S1	30% (35%)	38% (40%)	40% (40%)
S2	19% (46%)	23% (55%)	25% (55%)
S3	7.5% (35%)	8% (70%)	10% (70%)

* Ratio of fixed cost (production cost)

실험 환경은 앞서 설명한 바와 같이 두 가지 수요 (일반수요, 위기수요), 세 가지 수요 변동 (표준편차 0, $\mu/30$, $\mu/6$), 세 가지 고정비와 생산비 비율 (S1, S2, S3), 세 가지 재고 정책(자유 생산 정책, 안전재고 수준 10%, 안전재고 수준 25%)로 구분된다. 따라서 일반수요 환경의 실험은 총 27가지(3*3*3)이며, 위기수요 환경의 실험 역시 총 27가지가 진행되었다.

5.2. 일반수요 상황의 결과 분석

일반수요 상황에서는 두 가지 분석을 진행하였다. 첫째, 필수 안전재고가 필요하지 않은 자유 생산 정책하에서 수요의 변동, 고정비와 생산비의 변동이 공급망에 미치는 영향을 살펴보았다. 둘째, 자유 생산 정책과 안전 재고 정책으로 인한 공급망의 성과의 차이를 비교하였다.

첫 번째 분석 결과, 일반수요 상황에서 공급망 내의 모든 기업들은 주로 재고와 인력 수준 조정을 통해 수요 변동에 대처하는 것을 확인하였다. <Fig. 5>를 보면 공급망 내의 모든 기업들은 수요 변동이 증가할수록 작업자 고용 및 해고 빈도와 재고 수가 증가하는 경향을 보인다. 본 연구에서는 작업자의 해고와 고용에 관련된 제약이 크지 않기 때문에 수요 변동이 큰 경우 고용과 해고의 수준이 높아지는 현상이 나타났다. 또한 수요 변동이 증가할수록 협력사의 재고 변동이 증가하는 황소채찍효과가 나타났다.

수요의 변동이 없거나 적은 경우, 생산비와 고정비 비율은 모든 기업의 의사결정에 영향을 주지 않았다. <Fig. 5>와 같이 재고 수준, 해고 및 고용 횟수는 모두 동일하게 나타났다. 하지만 수요의 변동 수준이 높은 환경에서 고정비 비율이 높은 시나리오 S1의 경우, 2차 협력사의 재고와 해고의 수준이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 다음에 설명할 기업의 파산과 연결된다.

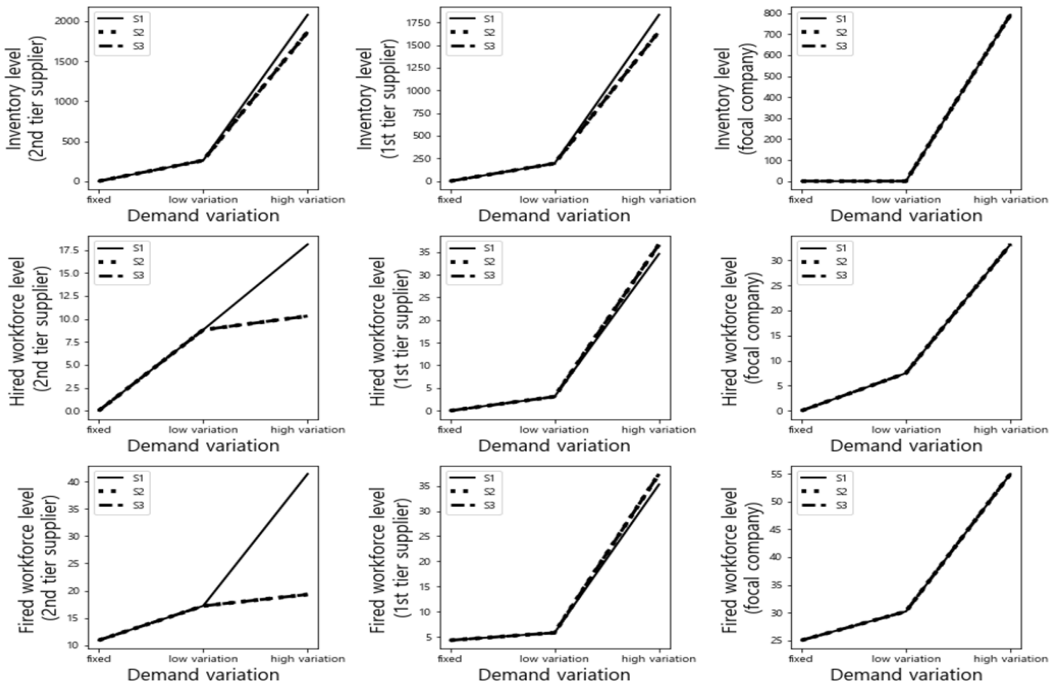


Fig. 5. Comparison of Inventory Level, Hired and Fired Workforce Level (Without Safety Stock)

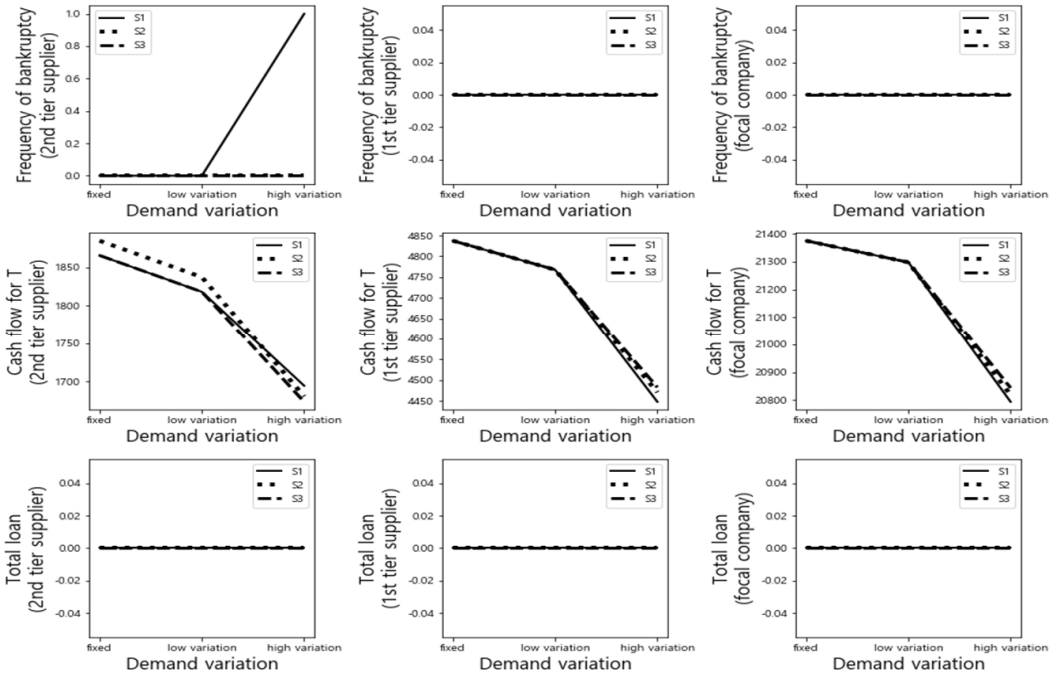


Fig. 6. Comparison of Bankruptcy, Cash Flow and Loan (Without Safety Stock)

<Fig. 6>은 수요의 변동 수준, 고정비와 생산비 비율 변화에 따른 파산 기업의 수, 종료 시점의 현금 잔고, 대출금을 보여준다. 수요의 변동 수준이 높은 환경에서 고정비 비율이 높은 S1의 경우, 파산한 2차 협력사가 있음을 확인할 수 있다. 대출이 발생하지도 않았으며, 일정 수준의 현금을 보유한 상황임에도 공급망에서는 파산이라는 결정을 내린 것은, 불필요한 고정비용을 최소화하는 방향으로 공급망을 운영한 결과로 해석할 수 있다. 파산의 결정이 현금이 부족한 불가피한 상황에서 발생한 것이 아닌 고정비를 줄이기 위해 유도된 파산인 것이다.

안전재고 정책을 반영한 두 번째 분석의 결과는 생산비와 고정비 비율에 따른 기업별 재고, 고용, 대출 정책이 일정한 패턴을 보였기 때문에, 시나리오 S1을 기준으로 재고 수준과 종료 시점의 현금잔고의 변화를 비교하였다. <Fig. 7>을 보면 중심기업의 안전재고 수준이 높아질수록 총 재고가 증가하고, 재고 비용으로 인해 보유 현금이 큰 폭으로 떨어지는 현상을 보인다. 중심기업의 높아진 안전재고 수준에 맞춰 협력사들은 충분한 수요를 보유할 수 있었지만, 협력사들의 현금잔고의 증가폭은 중심기업의 현금잔고의 감소 폭에 비하여 작았다. 따라서 일반수요 환경에서 수요에 대한 정확한 예측이 가능하다면, 공급망 전체 관점에서 안전재고 수준을 낮게 유지하는 것이 적절하다.

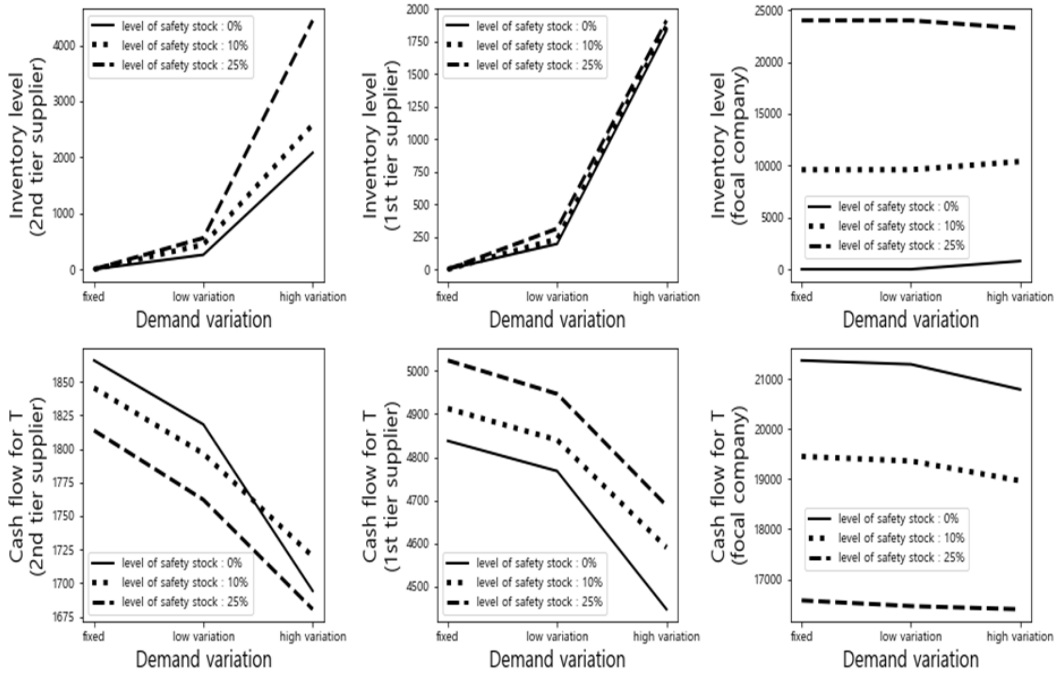


Fig. 7. Comparison of Inventory and Cash Flow According to Safety Stock Level (Scenario S1)

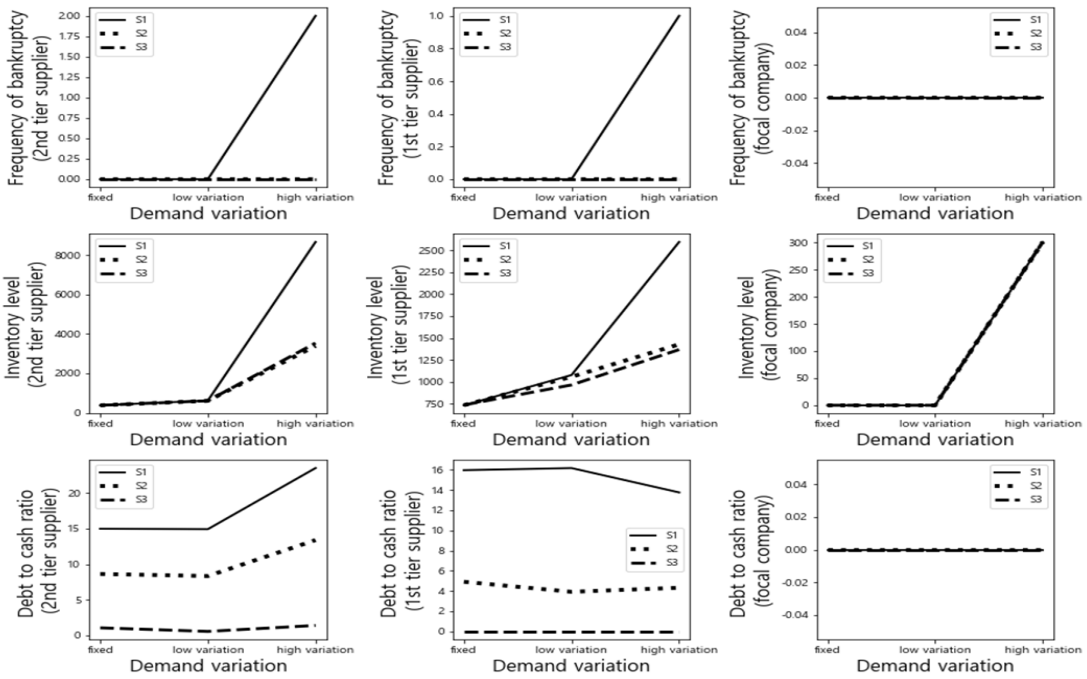


Fig. 8. Comparison of Bankruptcy, Inventory and Debt Ratio Under Demand Crisis

5.3. 위기수요 상황의 결과 분석

위기수요 상황에서는 일반수요 상황과 달리 생산비와 고정비의 비율에 따라 공급망의 의사결정이 달라진다. <Fig. 8> 위기수요 상황에서의 파산기업 수, 재고량, 부채비율을 나타낸다. 일반수요에서는 대출이 발생하지 않았지만, 위기수요에서는 기업 대출이 발생하여 부채비율을 평가할 수 있다. 수요 변동이 크고, 고정비 비율이 높을수록 협력사의 재고량과 부채비율이 증가하는 현상을 보인다. 하지만, 중심기업은 일반수요 상황과 차이 없이 생산비와 고정비 비율에 영향을 받지 않는다.

수요 변동이 높은 경우, 협력사의 파산이 발생하였으며, 부채비율이 급격히 증가하는 현상을 보인다. 위기수요 패턴 중에서 수요가 급감한 시점에 협력사의 비용구조 중 고정비의 영향력을 증가시켰고, 높은 고정비의 영향에 의하여 파산이 발생하였다. 한 기업의 파산은 동일한 제품을 공급하는 다른 기업의 생산량을 높여주는 결과로 이어지며, 이를 통해 고정비의 영향력을 낮추게 된다. 기업 파산이 발생하지 않는 환경에서는 고정비와 변동비 차이에 따른 시나리오 별 재고 수준의 차이가 작다는 점을 보면, 해당 현상은 기업의 파산으로 인하여 재고가 급격히 증가한 것으로 해석할 수 있다. 따라서 이상 수요 상황에서는 상대적으로 고정비 비율이 높은 특성을 갖는 산업 내 협력사 파산에 대한 관리가 필요하다.

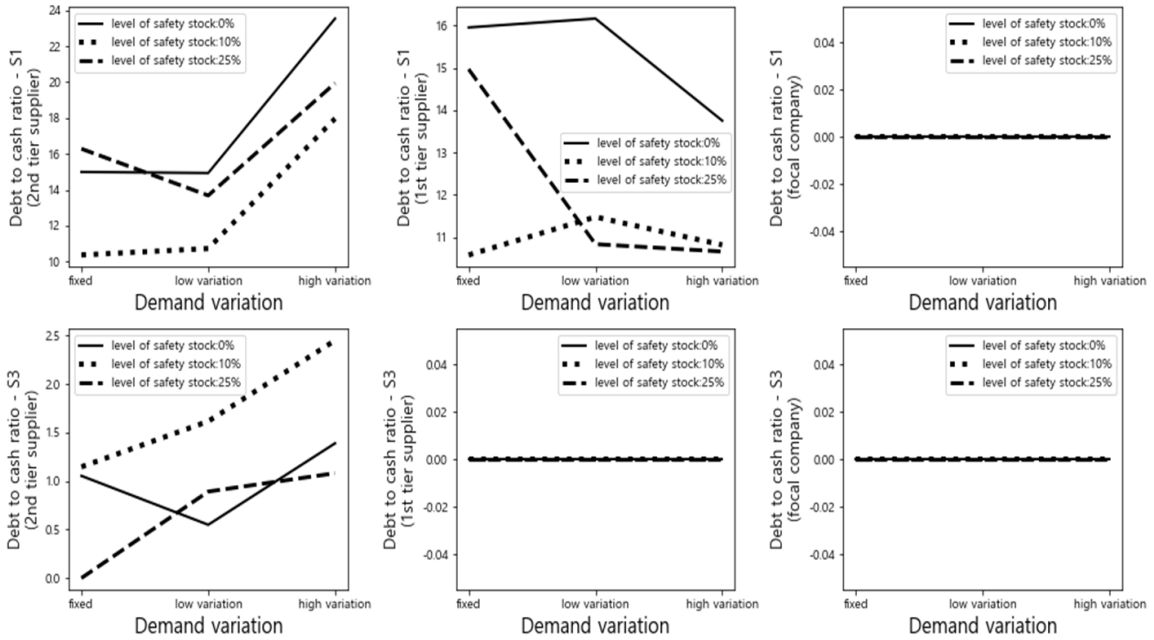


Fig. 9. Comparison of Debt Ratio According to Safety Stock Level Under Demand Crisis

<Fig. 9>는 고정비가 높은 시나리오 S1과 생산비가 높은 시나리오 S3을 대상으로 서로 다른 안전재고 정책에 따라 발생한 부채비율을 보여준다. 필수안전재고 정책은 고정비가 높은 경우, 수요가 급감하는 위기수요 상황에서 협력사의 기업 부채 부담을 줄여주는데 효과를 보인다. <Fig. 8>을 보면, 적정 안전재고 수준의 정도는 고정비와 생산비 비율, 수요 변동 등에 따라 다르게 나타났다. 수요 변동이 낮은 경우와 높은 경우 모두, 2차 협력사는 안전재고 수준 10%가 부채비율 측면에서 가장 좋게 나타났고, 1차 협력사의 경우 안전재고 수준 25%가 가장 좋게 나타났다. 따라서 적정한 수준의 안전재고를 유지하는 것은 공급망 관리 측면에서 필요한 전략이 된다. 하지만, 생산비가 높은 환경의 경우, 부채 비율이 0~2% 수준으로 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 안전재고 정책은 큰 효과를 보이지 않았다.

6. 결과 및 토의

본 논문은 수요의 변동 및 이상 패턴이 공급망의 각 단계별 기업들의 파산 및 의사결정에 미치는 영향을 분석하였다. 다양한 수요 상황과 재고 정책 등을 고려하여, 기업의 현금 흐름, 인력, 재고, 대출 등과 관련된 의사결정의 변화를 탐색하고, 공급망 경영의 관점에서 중요한 의미를 도출하였다. 첫째, 기업의 현금 흐름은 수요의 급격한 변동과 밀접한 연관이 있다. 일반수요의 경우, 기업의 현금 흐름 수준은 생산 및 재고 수준에 크게 영향을 주지 않았다. 하지만, 위기수요의 환경에서는 협력사의 현금잔고 상태가 악화되거나 파산하는 상황이 발생하였고, 이에 따라 공급망의 생산 및 재고 수준이 크게 변화하였다. 수요 변동을 반영한 경우, 모든 기업들은 변동의 영향을 줄이기 위해, 주로 인력과 재고 수준을 조정하였다. 둘째, 일반수요 상황에서 수요 변동이 높은 수준이더라도, 정확한 예측이 가능하다면 안전재고 정책이 큰 효과를 보이지 않는다. 안전재고 정책에 따

른 중심기업의 현금잔고의 차이는 협력사의 재정적 이익으로 연결되지 못했다. 셋째, 기업의 생산비와 고정비 비율의 차이는 일반수요 상황에서의 기업 의사결정에 거의 영향을 주지 못했다. 하지만, 위기수요 상황이 발생하였을 때, 고정비 비율이 높은 상황일수록 현금 흐름이 부실한 협력사의 파산으로 이어지기 쉽다는 결과를 확인하였다. 마지막으로, 고정비가 높은 특성을 갖는 공급망의 경우, 위기수요 상황에서 적정한 수준의 안전재고 정책은 공급망의 부채 비율을 낮춰주는 측면에 도움이 된다.

본 연구를 확장한 추후 연구 방향은 다음과 같다. 첫째, 위기 상황의 수요를 급격히 감소하다 회복되는 한 가지 패턴으로 가정하였다. 위기 상황의 수요 패턴에 따라 다른 의미를 도출할 수 있기 때문에 다양한 위기수요 패턴에 대한 연구가 필요하다. 둘째, 계획 시점의 수요와 실제로 발생되는 수요는 다르다. 따라서 공급망 계획에 반영되는 예측된 값의 정확도가 공급망의 성과에 어떠한 영향을 미치는지 분석하는 연구가 필요하다. 셋째, 특정 값으로 수요를 예측하기 어려운 경우, 강건최적화 모델을 적용하여 보다 강건한 공급망 설계 및 운영 의사결정을 할 수 있으며, 불확실성과 재고 정책과의 관계를 살펴볼 수 있다. 마지막으로, 본 연구는 선형 모델을 바탕으로 수요의 불확실성과 현금 흐름이 공급망 관리에 미치는 영향을 살펴보았다. 하지만 실제 산업 현장의 다양한 현상들을 비선형 관계로 모델링 될 수 있다. 예를 들어, 작업자 작업 효율 함수를 비선형 모델로 반영될 수 있으나, 동일한 작업 숙련도를 가정하여 선형 함수로 근사하였다. 비선형 함수를 반영한 최적화 모델을 통해 분석을 한다면 보다 현실적인 결과를 도출할 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] Buzacott, J. A. & Zhang, R. Q. (2004). Inventory management with asset-based financing. *Management Science,* 50(9), 1274-1292.

[2] Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoa, A. P. F., & Relvas, S. (2013). Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty. *European journal of operational research,* 226(3), 436-451.

[3] Cigolini, R. & Rossi, T. (2010). Managing operational risks along the oil supply chain. *Production Planning and Control,* 21(5), 452-467.

[4] Das, S. K. (1996). The measurement of flexibility in manufacturing systems. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems,* 8(1), 67-93.

[5] Govindan, K. & Fattahi, M. (2017). Investigating risk and robustness measures for supply chain network design under demand uncertainty: A case study of glass supply chain. *International Journal of Production Economics,* 183, 680-699.

[6] Hwang, S. M. & Song, S. H. (2015). Stochastic sales and operation planning by recourse model under demand uncertainty-A case study in automobile industry. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management,* 15(1), 9-20.

[7] Ho, W., Zheng, T., Yildiz, H., & Talluri, S. (2015). Supply chain risk management: A literature review. *International Journal of Production Research,* 53(16), 5031-5069.

[8] Jang, J. & Do Chung, B. (2020). Aggregate production planning considering implementation error: A robust optimization approach using bi-level particle swarm optimization. *Computers & Industrial Engineering,* 142, 1-120, 636-7.

[9] Jung, J. Y., Blau, G., Pekny, J. F., Reklaitis, G. V., & Eversdyk, D. (2004). A simulation-based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty. *Computers & Chemical*

Engineering, 28(10), 2087-2106.

[10] Kim, J., Do Chung, B., Kang, Y., & Jeong, B. (2018). Robust optimization model for closed-loop supply chain planning under reverse logistics flow and demand uncertainty. *Journal of cleaner production,* 196, 1314-1328.

[11] Kim, J. H., Lee, Y. H., & Jung, J. W. (2003). On supply chain agility considering response capability. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management,* 3(1), 147-154.

[12] Kim, K., Kim, T. S., Lim, D. E., & Park, H. M. (2013). Managing the supply and demand uncertainty in workforce recruitment: Planned or just-in-time acquisition. *Journal of the Operational Research Society,* 64(11), 1654-1663.

[13] Kwon, L. M. (2008). Application of analytic hierarchy process to improve agility of manufacturing enterprise. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management,* 8(1), 93-101.

[14] Longinidis, P. & Georgiadis, M. C. (2011). Integration of financial statement analysis in the optimal design of supply chain networks under demand uncertainty. *International journal of production economics,* 129(2), 262-276.

[15] Manuj, I. & Mentzer, J. T. (2008). Global supply chain risk management. *Journal of business logistics,* 29(1), 133-155.

[16] Martins, P. & Quelhas, A. P. (2016). Workforce planning and financing on a production/capital discrete¯time model. *International Transactions in Operational Research,* 23(3), 507-538.

[17] McKinsey (2020). *Supply chain risk management is back.*https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/supply-chain-risk-management-is-back

[18] Ng, T. S. & Sy, C. L. (2014). A resilience optimization approach for workforce-inventory control dynamics under uncertainty. *Journal of Scheduling,* 17(5), 427-444.

[19] Park, Y. B. & Yoon, S. J. (2011). Risk analysis for the retail supply chain of a multi-period inventory product under uncertainty using a computer simulation. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management,* 11(1), 95-104.

[20] Pinker, E. J. (1996). *Model of flexible workforce management in uncertain environments* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

[21] Qi, X., Bard, J. F., & Yu, G. (2004). Supply chain coordination with demand disruptions. *Omega,* 32(4), 301-312.

[22] Shekarian, M. & Mellat Parast, M. (2020). An integrative approach to supply chain disruption risk and resilience management: A literature review. *International Journal of Logistics Research and Applications,* 1-29.

[23] Simangunsong, E., Hendry, L. C., & Stevenson, M. (2012). Supply-chain uncertainty: A review and theoretical foundation for future research. *International Journal of Production Research,* 50(16), 4493-4523.

[24] Yang, J. H., Jung, S. M., Kim, J. H. & Kim, M. K. (2011). A study on risk factor for global supply chain and management strategy. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management,* 12(1), 459-486.

[25] You, F. & Grossmann, I. E. (2008). Design of responsive supply chains under demand uncertainty. *Computers & Chemical Engineering,* 32(12), 3090-3111.

부록

인덱스

기호	설명
t	각 시점 {t=0,1,⋯,T}
ε	공급망의 각 단계 { $\varepsilon = \alpha, \beta, \gamma$}
i	α-단계 2차 협력사 {i=1,2}
j	β-단계 1차 협력사 {j=1,2,3}
k	γ-단계 중심기업 {k=1}
e	정의된 공급망 구조에 따라 실험에 사용된 모든 조합 {(k,j,i)=(1),(1,1),⋯,(1,3,2)}
g	숙련도에 따른 작업자 등급 {g=0,1,⋯,11}

모수

기호	설명
d_t	t 시점의 시장 수요
c_1^{ε}	공급망 ε 단계 기업의 생산용량
c_2^{ε}	공급망 ε 단계 기업의 재고용량
ρ^{ε}	공급망 ε 단계 미납 패널티
τ	이자율
σ	필수 안전재고 수준
$sc_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 재고 비용
δ^{ε}	공급망 ε 단계 총 대출금 한도
fc^{ε}	공급망 ε 단계 작업자 해고비용
θ_0	신규 작업자 초기 생산 효율
θ	작업자 생산 효율 증가율
wc^{ε}	공급망 ε 단계 작업자 인건비
ω_g^{ε}	공급망 ε 단계 g 등급 작업자 단위시간당 생산 효율
M	큰 수
π^{ε}	공급망 ε 단계 상품 단위당 판매가
$pc_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 생산비용
ξ^{ε}	공급망 ε 단계 고정비용
Ψ^{ε}	공급망 ε 단계 초기 현금 잔고
Φ^{ε}	공급망 ε 단계 대출금 한도

결정 변수

기호	설명
$p_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 생산량
$h_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 고용 인원
$f_{e,g,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 g 등급 작업자 해고 인원
$l_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 대출금

상태 변수

기호	설명
$x_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 납품 및 판매량
$s_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 보유 재고량
$\xi_{j,t}^{\alpha}$	α단계 기업들의 j 기업에 대한 t시점 미납량
$\xi_{k,t}^{\beta}$	β단계 기업들의 k 기업에 대한 t시점 미납량
ξ_t^{γ}	γ단계 기업들의 t시점 미납량
ξ_t^{safe}	t시점 필수 안전재고 미납량
$w_{e,g,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 g 등급 작업자 보유 인원
$\Omega_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 현금 흐름
$b_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 파산 여부
$o_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 운영 여부
$r_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 상환금
$L_{e,t}^{\varepsilon}$	공급망 ε 단계 e 기업 t시점 잔여 상환금

양 근 호

연세대학교 산업공학과 박사과정
관심 분야: Logistics,
Smart factory,
SCM,
Optimization under
uncertainty

안 시 후

연세대학교 산업공학과 석사과정
관심 분야: Logistics,
Cyber physical system,
Warehouse management
system

정 병 도

연세대학교 산업공학과 교수
관심 분야: Smart factory,
Sustainable supply
chain, SCM,
Optimization under
uncertainty

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management
Vol. 20, No. 2, pp.65 ~ 75, October 2020

ISSN 1598-382X
https://doi.org/10.25052/KSCM.2020.10.20.2.65

혼합정수계획법을 활용한 전시상황에서의 효율적인 급수분배계획*

신원섭*.김준락**.정봉주***†

*대한민국 육군 · **SK하이닉스 · ***연세대학교 산업공학과

Mixed-Integer Linear Programming Model for Efficient Water Distribution Planning in Wartime

Wonsub Shin* · Joonrak Kim** · Bongju Jeong***†

*Republic of Korea Army
**SK hynix
***Department of Industrial Engineering, Yonsei University

In wartime situations securing water resources is one of the most important factors for operational success and the military establishes a plan to supply high-quality drinking water over and above the standard requirement in a wartime distribution system. The distribution of water supply is made in accordance with the water quality regulations for the supplied drinking water and the water quality test is tested periodically to ensure consistency. Nevertheless, the possibility of contamination of drinking water always exists and the drinking water pollution in wartime is a very important issue that has a serious impact on sustaining combat capability. In this study, an integrated optimization model of water purification equipment location and water supply distribution is proposed in order to efficiently supply drinking water to combat units. Through the numerical analysis using examples we show the validity and applicability of the proposed models.

Keyword : Water supply distribution, Vehicle routing problem, Location problem

---

† **Corresponding Author** : Department of Industrial Engineering, Yonsei University, 50 Yonsei-ro Seodaemun-gu, Seoul, 03722, Republic of Korea, E-mail: bongju@yonsei.ac.kr
Received: 28 September 2020, **Revised**: 19 October 2020, **Accepted**: 19 October 2020

1. 서론

물은 지구상에서 가장 중요한 물질의 하나로서 인류를 포함한 생물이 생존하는 데 있어 없어서는 안 될 매우 중요한 요소이다. 종종 발생하는 식수 오염 사건들을 통해서 양질의 물은 일상생활에서 가장 영향력이 큰 자원임을 알 수 있다.

특히, 전시에는 이러한 물의 중요성은 더욱 커지게 된다. 현재 우리나라는 휴전 상태로 북한의 화학무기 보유 추정치는 서울 면적 4배를 초토화할 수 있으며, 이러한 무기를 원하는 장소에 투발할 수 있는 탄도미사일도 보유 중이다. 또한 북한의 특수전 부대는 유사시 다양한 침투 수단과 방법으로 후방지역에 침투하여 주요 정수 및 급수시설을 파괴, 오염시킬 그것으로 예상한다. 따라서 전시에 우리 군의 식수원은 심각한 피해를 볼 위기에 놓기에 되고 전시 급수 지원에 대한 계획 수립이 필요하다.

아울러 우리나라도 무차별적 대량 살상과 대량 파괴를 목표로 한 다양한 테러가 발생할 수 있으며, 특히 화학, 생물학 무기를 이용한 테러는 인체, 장비 제독 등 다양한 급수 지원 소요가 발생한다. 더불어 최근 환경오염으로 인해 더 심각해진 먹는 물에 의해 전염되는 각종 수인성 질병 발생 시에도 급수원 관리, 안전한 식수 지원 등을 위한 급수 지원 소요는 지속해서 발생할 것으로 예상한다.

제한된 여건에서 제한된 자원으로 이루어져야 하는 작전임에도 불구하고 군에서 급수 지원을 효율적으로 운용하려는 방안에 관한 연구는 전혀 없다. 재난, 재해 상황 시 수량 조절을 위한 민간 연구는 활발히 이루어지고 있는 편이나, 군의 특수한 환경으로 인해 기존 연구들과는 완전히 다른 문제로 그대로 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구는 전시 필요한 급수 분배를 보다 효과적으로 운용하려는 방안을 고찰하는 데 목적이 있다.

본 연구는 전시상황을 가정하여 군 차원에서 효율적인 대응을 위한 연구이므로, 평시 활용 가능한 모든 급수장비, 정수처리시설 등은 사용이 불가한 상태라 가정한다.

현재 상용화되어 운용 중인 군용 정수 장비(KRO-1500GPH)의 보유 대수와 정수 능력, 급수차 및 급수 트레일러의 보유 대수는 매우 한정적이기 때문에 가용 능력 하 최단 시간 내에 최소 요구량(전투부대 기준)을 충족하는 것을 목표로 한다.

본 연구에서는 급수 지원의 두 가지 문제를 통합하여 한 번에 해결하는 해법을 제안하고자 한다. 첫 번째 문제는 급수장의 위치 결정 문제로 모든 수요지로의 최적화된 경로가 반영된 시간과 군 특수성을 반영한 비용 요소들의 합을 최소화하는 위치를 결정하는 p-median 방법을 변형하여 사용한다. 이때, 후보지들은 적의 위협이 적고, 급수장 위치 선정 조건에 부합하는 사전 제공된 후보지로 하며, 그중 적으로부터의 위협을 고려한 가중치를 부여한다. 두 번째 문제는 각 후보 급수장의 위치를 토대로 각 node로 차들이 지정된 구역 내에 최적의 배송 경로를 결정하는 문제이며, 고전적인 차량 경로 문제(Vehicle Routing Problem)에 차량의 용량(Capacity)을 고려하고, 분할 배송(Split delivery)과 시간 제약(Time windows), 급수장(depot)에서 물이 정수되어 차량에 적재하는 시간과 각 수요지에서 하역하는 시간까지 반영된 CVRPTWSD (Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Delivery) 문제이다. 본 연구에 관련된 차량 경로 문제의 특성은 <Table 1>과 같이 분류할 수 있다.

Table 1. Characteristic factors of vehicle routing problems

특성요인	문제 형태		
차고 수	*단일	복수	
차량 수	단일	*복수	
차량 종류	*동일	상이	
적재용량	*동일	상이	무제한
수요형태	*확정적	확률적	
고객 도착시각	*상한과 하한 (Time Windows)	지정 없음	
작업내용	상하차 (Pickup and Delivery)	*분할 배송 (Split Delivery)	

* The problem in this study

본 논문은 다음과 같은 구성을 따른다. 제2장에서는 기존 문헌 연구를 살펴보고, 제3, 4장에서는 급수지원 문제 정의를 통해 군 정수 차량의 특성에 대해 자세히 알아보고 전시에 필요한 식수를 전투부대에 효율적으로 공급하기 위해 정수 장비 위치 결정과 급수분배계획의 통합 최적화 모델을 제안한다. 제5장에서는 데이터와 연구 모형의 적용 결과를 기반으로 수치 예제를 이용한 실험 분석을 통하여 제안한 모델의 타당성 및 유용성을 검증한다. 제6장에서는 본 연구의 결론과 본 연구의 추후 연구 방향에 대해 제시하였다.

2. 기존 문헌 연구

본 연구에서 제안하는 모델과 관련된 기존 연구들은 다음과 같이 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

첫 번째는 주요 시설의 위치 결정에 관한 연구이다. 이 분야의 연구는 민간 기업의 이익과 직결되는 물류센터 위치 선정 문제를 비롯하여 여러 분야의 제약사항을 고려하여 진행되고 있으며, 요청 node와 가장 가까운 시설 사이의 가중거리를 최소화하는 p-median 모델을 활용한다(Daskin, 2008). 전 세계적으로 재난 상황과 같은 극한 상황에서 다양한 제약사항을 고려하여 원활한 구호 활동을 위한 연구가 진행되고 있다. 우선, Balcik(2008)의 연구는 사전 시설 위치를 결정하는 모델을 제안하여 시설 위치 및 재고 의사결정에 대한 구조를 제시하였다. 통합된 위치 및 재고 계획모델을 통해 모든 요구 사항에 대한 예상 평균 응답 시간을 최소화하는 연구(Duran et al, 2001)도 진행되었다. 군 차원에서 전 세계적인 인도주의적 재난구호활동을 위한 구호품 센터 결정문제와 같이 군 특성의 제약사항을 고려하는 연구도 이루어지고 있다. 또한 예상 사망자 비용과 전체적인 예산 사용 절감을 최적화하는 구호센터의 위치를 결정하는 문제(Snezana, Mitrovic, & Minic, 2017), 양적 및 불확실한 수요의 위치를 고려한 피난 장소에서의 비상 공급을 위한 사전 계획 시설 위치 모델(Rawls & Turnquist, 2012), 예측된 사상자 수 최소화를 위한 예산 배분을 포함한 포괄적인 2단계 확률적 최적화 모델(Salmerón & Apte, 2010), 실제 재난으로 인한 피해 데이터를 분석하여 시설 피해, 사상자 수와 심각성 및 생존력 시간 등 위험 요인을 고려한 위치 결정 연구(Tofighi, 2016), 예상치 못한 재난 상황에서 경제 및 사회적 손실을 최소화하고 대응할 수 있는 물류센터의 위치와 용량을 결정하는 확률적 최적화 모델 제안(Jomon, Aliyas, & Paul, 2016)과 같이 현실적인 제약사항들을 반영한 연구들이 진행되고 있다.

다음으로 차량 경로 문제(VRP)는 고객을 대상으로 운행 거리, 시간 또는 비용 등을 최소화하기 위한 여러 대의 차량의 경로를 계획하는 문제(Dantzig & Ramser, 1959)로써 연구되기 시작하여, 현재는 일반적인 VRP에서 현실적인 제약 조건들이 반영된 연구들이 이루어지고 있다. 차량이 적재용량을 가진 CVRP 문제는 NP-hard 문제로 규모가 큰 문제의 경우 휴리스틱을 이용한 해를 찾는 것이 필수적이며 이에 관해 Tabu Search(Cordeau et al., 2001, Toth & Vigo, 2003, Derigs & Kaiser, 2007), Simulated Annealing(Osman, 1993; Lin et al., 2009), Ant Colony Optimization(Reimann et al., 2004) 등 다양한 휴리스틱이 기법이 널리 사용되고 있다. Time windows 문제는 soft와 hard 상황으로 나뉘며, 본 연구에서 다루는 soft 상황의 경우 고객이 원하는 서비스 시간대를 지키지 못하면 고객에게 페널티를 부과하는 개념이다. Joannou 등(2002)은 같은 차량으로 최대한 많은 고객을 서비스 가능 시간대에 서비스하는 해법을 제시하였으며, Katja Buhrkal 등(2012)은 고객에 대한 time windows를 고려, 단일 차고지 VRP에서 비용을 최소화하기 위한 혼합정수계획 모델을 제시하였다. 또한, 추가적인 상황을 고려한 연구로써 Split delivery를 반영하여 고객은 복수의 차량에 의해 충족되며 총비용은 차량 수와 주행거리에 영향을 받는 모델(Dror et al., 1994), time window와 split delivery를 결합한 문제 해결을 위한 Tabu Search 알고리즘 개발, node interchange를 통해 VRP 솔루션 도구를 구성하고 eliminating split을 통해 해를 개선한 연구(Ho & Haugland, 2004), Scatter search algorithm을 활용하여 브라질 소매 그룹의 유통 문제를 총비용, 소요 시간 등을 최소화하여 해결한 연구(Yoshizaki,

2009) 등이 이루어졌다.

그러나 앞서 언급한 연구들은 민간 물류 중심의 비용 최소화에 초점이 맞춰진 경우가 대부분이어서, 군의 특수성을 고려한 본 연구 환경에 적용하기에는 매우 제한적이다. 특히 군의 주요 장비를 효율적으로 사용하기 위한 급수 분배에 관한 연구는 거의 이뤄진 바가 없다.

이에 본 연구는 군 의사결정권자들이 전시상황에서 가장 중요한 요소 중 하나인 양질의 물을 공급하는 급수 지원 작전에 있어 원활한 의사결정을 지원할 수 있도록, 최적의 급수장 위치 결정, 예하 부대 요구량의 물을 분배 완료하는 시간의 최소화를 위한 육군 특성을 고려한 급수분배계획모델을 제안한다.

3. 급수 지원 개념 및 급수장 위치와 차량 경로 결정 모형

급수 지원은 급수원을 개발하고, 오염된 물을 정수처리하여 이를 보급계통으로 지원하는 활동으로, 이러한 급수는 군의 전투력 유지와 군인의 건강, 사기 및 복지에 직접적인 영향을 주는 중요한 군 활동 중의 하나이다. 특히 전시에 원활한 급수 지원을 위해서는 양질의 물을 기준량 이상으로 지속적인 지원이 가능하도록 급수원과 정수 및 보급능력을 확보해야 하며 최단 시간 내 수요 부대 요구량만큼 분배해주는 것이 중요하다.

급수원 위치선정 시에는 신형 정수 장비 능력에 따라 수질 영향 요소와 장비 설치 조건, 적으로부터의 위협 등 다양한 요소들이 고려되어야 한다.

또한, 급수 분배를 위한 차량운반계획의 경우 관련 설비에 대한 조건들을 잘 반영하여 수립되어야 한다. 예를 들어, KRO-1500GPH 모델과 같은 정수 장비는 국내에서 개발된 역삼투 원리를 이용한 정수 장비로, 시간당 5,700ℓ를 정수 처리할 수 있는 능력을 갖춘 장비이다. 통상 1대의 정수 장비가 책임져야 하는 제대의 일일 수요량은 직접 소요만 가정했을 때 37,540ℓ이며, 간접 소요량까지 고려 시 60,000ℓ 이상 필요하다. 하루 7시간 이상 가동해야 직접 소요량만큼의 생산이 가능하며, 운반은 2,500ℓ 용량의 차량이 7대 편제되어 있어 적절한 차량 운반 계획이 수립되지 않는다면, 일일 요구량을 충족해주는 것조차 매우 어려운 실정이다. 물의 적재/하역에 매번 30분의 시간이 소요됨을 고려했을 때, 기존 군에서 사용하는 급수분배표만으로는 예하 부대에 제한된 시간 내 작전 지속 지원을 해주는 것은 사실상 불가능하다. 본 연구의 실험에서는 모델의 결과와 급수분배표 기반의 결과를 비교할 예정이다.

본 연구에서 사용되는 기호들은 다음과 같다.

Set

C	a set of nodes that can be selected as a water supply stations
A	a set of nodes including the selected water supply station (i = 0, depot)
N	a set of nodes with demand not include water supply station
L	a set of departure orders

Parameter

C_k	maximum capacity of vehicle k
D_i	demand of node i
t_{ij}	travel time move i to j
ρ_i	service time in node i
p_c	penalty time when using natural water supply
P	estimated time to restore
α_c	probability that area c will be attacked

Decision Variable

y_c	binary, 1 if If node c is selected
x_{ijkl}	binary, 1 if vehicle type of k lth travels from i to j
q_{ijkl}	quantity of water delivered lth vehicle type of k from i to j
w_{ikl}	The time when vehicle type of k lth starts service on node i

급수장 후보 지역과 각 수요 부대의 위치에 대한 예는 아래의 <Fig. 1>과 같으며, 급수장 운용을 위한 설치시간은 두 가지 때에 따라 시간 차이가 있다. 즉, ① 기존에 개발된 심정: 0.5시간, ② 자연적인 수전(하천, 저수지 등): 1.5시간 정도의 설치시간이 요구된다. <Fig. 1> 사례에서 급수 분배를 해야 할 예하 부대는 총 15개 부대이며, 일일 요구량은 최소요구량 4,600ℓ(1개), 3,450ℓ(3개), 1,890ℓ(11개), 운반 차량 용량은 2,500ℓ, 총 7대이며 각 차량은 해당 제대의 수요만 충족시킨다. 차량 이동 시간은 지형 데이터를 고려하여 현실적인 데이터를 활용한다. 정수 차량의 일일 작업시간은 12시간으로 하루 68,400ℓ 생산할 수 있으며, 12시간 이내에 분배까지 완료하는 것을 목표로 한다. 급수원 위치 선정 조건에 따라 사전 선정된 5개의 후보지에 대해 예하 부대의 수요 가중치의 합과 적에 의한 공격 위협 확률(10%~30%)의 페널티를 <Table 2>와 같이 반영할 수 있다.

Table 2. Penalty level(α_c) for each candidate

후보지 / level	1	2	3	4	5
High (30%)		○			○
Medium (20%)	○				
Low (10%)			○	○	

본 문제는 가용한 운반 차량으로 최단 시간 내에 각 예하 부대의 수요량을 충족시킬 수 있는 차량 이동 경로를 계획을 토대로 군에서 고려하는 특수한 시간 요소를 반영한 위치를 동시에 결정하는 것이 목표이다. 이때, 급수장(depot)에서의 물이 차량 용량 이상으로 생산이 되어야 적재를 시작할 수 있으며, 적재/하역에는 각 30분이 소요되며 이는 각 node에서 서비스 타임으로 반영된다. 운반 시간 최소화를 위해 Split Delivery를 고려하여 일정량을 node에 운반한 차량이 다른 node에 운반 후에 급수장(depot)으로 복귀할 수 있다. 급수장의 공간 제약으로 동시에 여러 대의 차량에 적재할 수 없으며, 원활한 작전을 위해 첫 번째 차량의 적재 시작 2시간 전부터 급수 생산을 시작한다.

이상의 상황을 반영한 수리모형은 다음과 같다.

$$\underset{c}{Min}\sum_{i\in N}\sum_{j\in N}(t_{ij}+\rho_j)x_{ijkl}+(p_c+P\alpha_c)y_c,\ k\in K, c\in C \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{j\in A}x_{0jkl}\geq 1,\ \forall\ k\in K, l\in L \quad (2)$$

$$\sum_{i\in A}\sum_{l\in L}x_{i0kl}\geq 1,\forall\ k\in K \quad (3)$$

$$\sum_{i\in A}\sum_{k\in K}\sum_{l\in L}x_{ijkl}\geq 1,\forall\ j\in N \quad (4)$$

$$\sum_{i\in A}\sum_{j\in N}q_{ijkl}\leq C_k,\ \forall\ k\in K, l\in L \quad (5)$$

$$w_{ikl}+\rho_i+t_{ij}-w_{jkl}\leq (1-x_{ijkl})M,\ \forall\ i\in A, j\in N, k\in K, \forall\ l\in L \quad (6)$$

$$\sum_{i\in A}x_{ijkl}-\sum_{u\in N}x_{jukl}=0,\ \forall\ j\in A, k\in K, l\in L \quad (7)$$

$$\sum_{i\in A}\sum_{k\in K}\sum_{l\in L}q_{ijkl}=D_j,\forall\ j\in N \quad (8)$$

$$Q(w_{0kl}-w_{0k(l-1)})\geq C_k,\forall\ k\in K, l\in L \quad (9)$$

$$x_{0jkl}\geq x_{0jk(l+1)},\forall\ j\in A, k\in K, l\in L \quad (10)$$

$$w_{0kl}\geq w_{0k(l+1)},\forall\ k\in K, l\in L \quad (11)$$

$$q_{ijkl}\leq C_k,\forall\ i\in A, j\in N, k\in K, \forall\ l\in L \quad (12)$$

$$q_{ijkl}\leq x_{ijkl}M,\ \forall\ i\in A, j\in N, k\in K, l\in L \quad (13)$$

$$U_i-U_j+nx_{ijkl}\leq n-1,\quad i,j=2,...,n \quad (14)$$

$$1\leq U_i\leq n-1,\quad i=2,...n \quad (15)$$

$$x_{ijkl}=0,1 \quad (16)$$

$$q_{ijkl},\ w_{ikl}\geq 0 \quad (17)$$

$$\sum_{c\in C}y_c=1 \quad (18)$$

$$a\leq w_{ikl}\leq b,\forall\ i\in A, k\in K, l\in L \quad (19)$$

목적함수인 (1)번 식은 모든 예하 부대의 수요량을 충족시켜주는 시간을 최소화하는 식이며 이때 node 사이의 직선거리를 사용하였다. 제약식 (2)번은 모든 차량이 급수장(depot)에서 출발하도록 한다. 제약식 (3)번은 임무를 마친 운반 차량이 다시 급수장(depot)

으로 복귀하게 하는 식이다. 제약식 (4)번은 모든 예하 부대에 차량이 반드시 1회 이상 방문하는 것을 보장한다. 제약식 (5)번은 각 차량의 용량 제한에 관한 조건이다. 제약식 (6)번은 임의의 node j에서의 하역(service)의 시작 시각을 나타낸다. 제약식 (7)번은 각 node에서의 차량 방문 균형식을 나타낸다. 제약식 (8)번은 node j의 수요량을 모두 충족시켜주는 식이다. 제약식 (9)번은 급수장(depot)에서 차량 용량 이상의 물이 확보되었을 때 적재를 시작하게 하는 식이다. 제약식 (10), (11)번은 같은 차량이 여러 번 출발할 때 출발/적재(service) 순서 제약이다. 제약식 (12)번은 한 번에 운반하는 양이 차량의 최대 용량을 초과할 수 없게 하는 조건을 만족하게 한다. 제약식 (13)번은 이동 경로가 설정되어야 차량의 운반량을 가질 수 있게 하는 제약식이다. (14), (15)번 제약식은 서브 투어 제거를 위한 조건식이다. (18)번 제약식은 1개의 후보지만 결정되도록 하는 제약식이다. (19)번 제약식은 분배 우선순위를 반영하기 위한 시간 제약이다.

4. 실험 및 결과 분석

4.1. 급수장 위치 결정

첫 실험에서는 급수장의 위치를 결정한다. 기존 군에서 급수장 위치를 결정하는 방법은 급수장 선정 시 고려요소인 수질에 영향을 미칠 수 있는 요소와 장비 설치에게 영향을 주는 두 가지 조건을 충족한 후보 지역 중 수량이 충분하며, 접근성이 좋고 지반이 튼튼하고 배수가 양호하며 은엄폐가 쉬운 곳을 참모들의 조언에 따라 의사결정권자가 결정한다. 군 특성상 체계적인 절차에 의해 이루어지지만 '효율' 적인 측면에서는 추가로 고려해야 할 사항이 반영되지 않고 있다. 따라서 이러한 점을 보완하기 위해 본 실험에서는 후보지별로 예하 부대와의 거리에 요구량을 가중하여 최솟값을 찾으며, 적으로부터 공격받을 확률로 인한 페널티와 이미 수전 종류(기개발 또는 자연적)에 대한 페널티를 함께 고려한다. 이때 적 공격 확률에 대한 가중치인 복구 예상시간인 P값은 의사결정권자의 판단에 따라 조절할 수 있으므로, P값에 따라 선정되는 최종 선택지가 바뀔 수 있음을 의미한다.

본 실험에서 수요를 가진 각 부대와 급수장 후보지역의 위치는 <Fig. 1>과 같으며, 후보지별 페널티 레벨은 <Table 1>과 같다. <Fig. 1>을 토대로 한 급수장 후보지와 예하 부대 간의 이동 시간은 아래의 <Table 3>과 같다. ILOG OPL CPLEX Optimization Studio를 이용해 실험한 최종 결괏값은 <Table 4>에 나타난 바와 같다. 위에서 언급했듯이 파라미터인 P값에 따라 최종 선정되는 후보지가 바뀔 수 있으며 이번 실험에서는 복구 예상시간인 P = 3 hr일 때 최적의 차량 경로를 고려한 소요 시간의 합이 더 큼에도 불구하고 후보4가 선택되는 결과를 도출할 수 있었다. 군에서 실시하는 작전의 특성을 고려하여, 차량 경로 결정 모델에 따라 계산된 시간에 피격받을 확률과 복구 예상시간 등 고려해야 할 사항들이 잘 반영된 결과이다.

Table 3. Travel time of vehicle

(단위: 시간)

수요 부대	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5
1	0.27	0.27	0.36	0.35	0.37
2	0.3	0.21	0.32	0.28	0.27
3	0.2	0.14	0.24	0.22	0.24
4	0.19	0.08	0.19	0.17	0.18
5	0.13	0.12	0.19	0.2	0.24
6	0.37	0.21	0.32	0.25	0.21
7	0.42	0.24	0.33	0.24	0.17
8	0.34	0.17	0.27	0.19	0.13
9	0.27	0.1	0.21	0.13	0.11
10	0.37	0.19	0.26	0.17	0.1
11	0.16	0.02	0.1	0.09	0.13
12	0.05	0.14	0.15	0.2	0.26
13	0.13	0.11	0.04	0.11	0.18
14	0.23	0.11	0.07	0.03	0.1
15	0.35	0.19	0.2	0.12	0.08

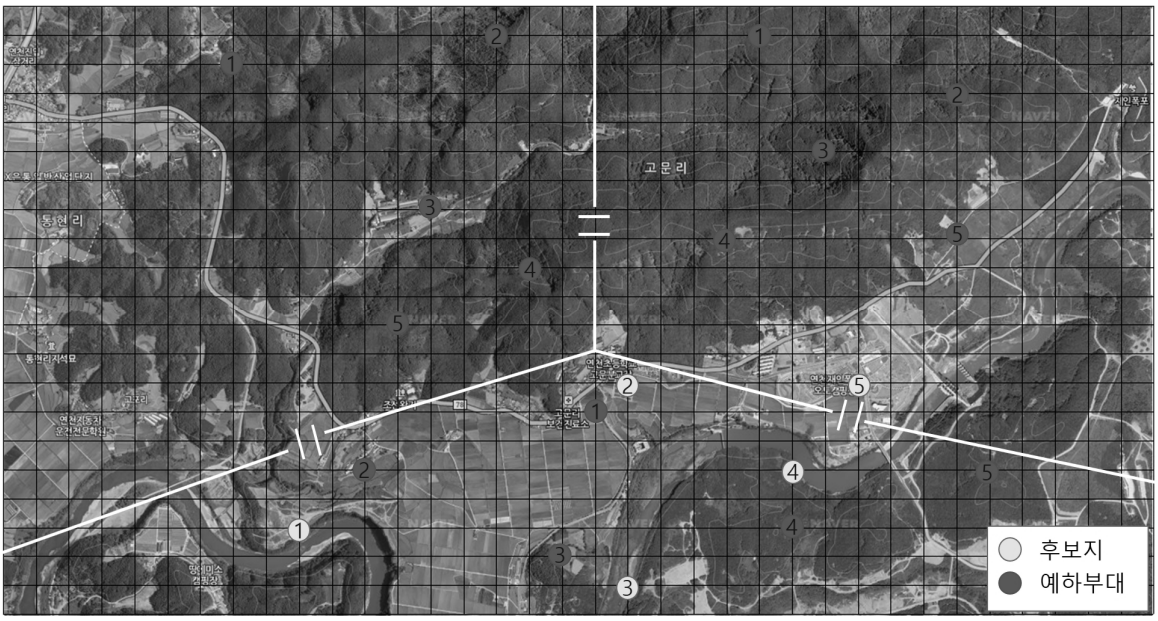


Fig. 1. Examples of water supply and demand units

Table 4. Evaluation Results of Candidates

	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5
최종선정				O	
차량경고 모델 값	11.94 hr	10.52 hr	11.4 hr	11.24 hr	11.36 hr
목적 함숫값	14.64 hr	12.32 hr	13.5 hr	11.84 hr	14.66 hr
α_c	0.2	0.3	0.1	0.1	0.3
p_c	1.5hr	0	1.5hr	0	1.5hr

4.2. 예하 부대 중심의 차량 경로 결정

현재 군에서 활용 중인 급수분배표의 작성 방법은 15개 수요 부대를 분배 우선순위에 따라 3개 그룹으로 나누어 1순위(1, 2, 6, 7), 2순위(3, 4, 5, 8, 9, 10, 15), 3순위(11, 12, 13, 14)로 구분하고 그룹 안에서 수요 부대의 요구량과 이동 시간을 고려하여 순서를 정하는 방식을 따른다. 분배 순서를 정한 후에는 물의 적재/하역 시간과 이동 시간을 고려하여 분배 표를 작성한다. 이때, 차량의 분할 배송(Split Delivery)은 고려하지 않는다.

급수분배표 작성 방법으로 <Table 2>에 제시된 데이터를 활용하여 계산하면 총 15.32시간이 소요되며 세부 내용은 아래의 <Fig. 2>와 같으며, 부대의 우선순위만을 고려한 급수 지원 일정이다.

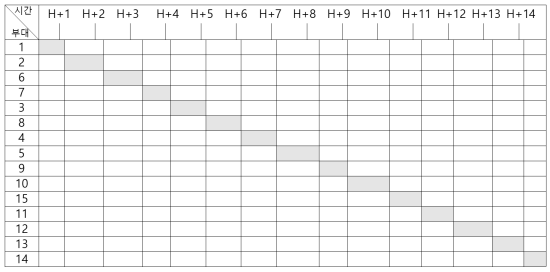


Fig. 2. Water supply distribution table in military

4장에서 제시한 수리 모델을 통해 ILOG OPL CPLEX Optimization Studio를 이용해 실험한 이동 경로와 운반량 결과는 아래의 <Table 5> 및 <Fig. 3>과 같다.

제안 모델을 통해 실험한 결과 총 소요 시간은 총 11.16시간이며, 급수분배표와 비교했을 때 4.16시간

단축되었다. 이는 분할배송(Split Delivery)을 고려하지 않은 기존의 방식을 개선하여 차량의 이동에 걸리는 시간을 획기적으로 감소시켰기 때문에 가능한 결괏값이라 볼 수 있다. 적시에 원활한 작전 지속 지원을 통해 예하 부대의 작전 반응시간을 단축해 원활한 작전에 이바지할 수 있으며, 4.16시간의 의미는 매우 크다고 할 수 있다. 이 결과는 12시간 이내에 분배를 완료하는 최초 목표에도 부합한 값이다.

Table 5. Travel Path and Delivery Quantity

1번 차량	0 - 1(1,890 ℓ) - 0 - 3(340 ℓ) - 5(1,890 ℓ) - 0 - 3(2,500 ℓ)
2번 차량	0 - 2(1,890 ℓ)- 3(610 ℓ) - 0 - 4(1,890 ℓ)
3번 차량	0 - 7(1,890 ℓ) - 10(1,890 ℓ) - 0 - 8(2,500 ℓ) - 0 - 8(340 ℓ)
4번 차량	0 - 6(1,890 ℓ) - 9(1,890 ℓ) - 0 - 8(610 ℓ)
5번 차량	0 - 13(2,440 ℓ) - 0 - 12(1,890 ℓ)
6번 차량	0 - 11(610 ℓ) - 14(1,890 ℓ) - 0 - 15(1,890 ℓ)
7번 차량	0 - 11(2,500 ℓ) - 0 - 11(1,490 ℓ) - 13(1,010 ℓ)

( ) : Delivery Quantity

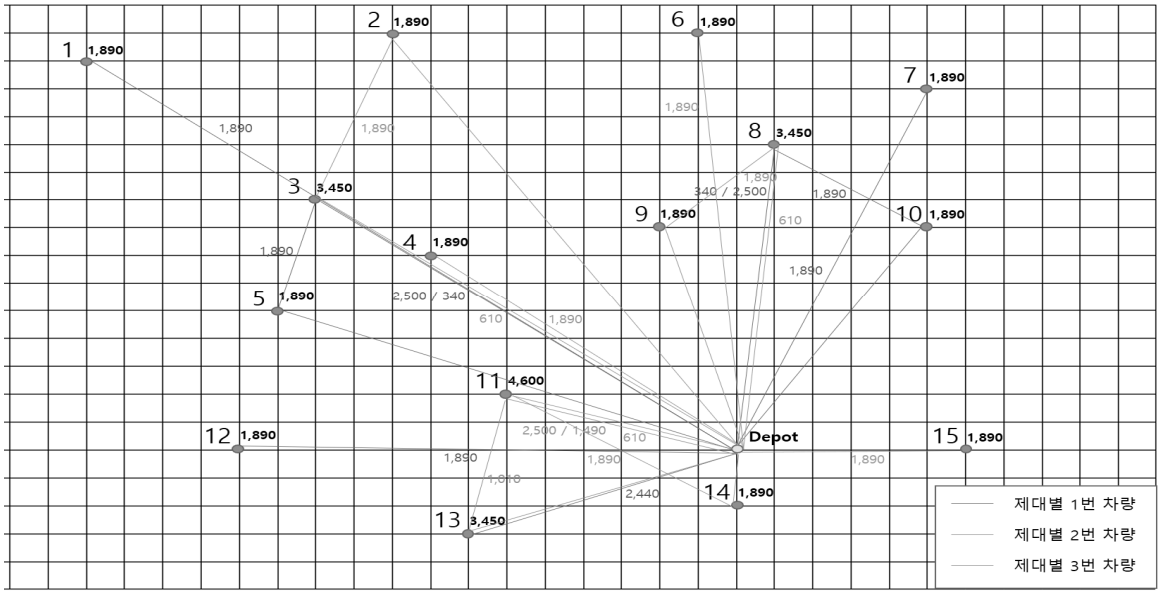


Fig. 3. Schematic presentation of the result

4.3. 예하 부대 수요량 변화 실험

앞서 시행한 실험을 통해 본 논문에서 제시한 모델의 유효성을 알아보았다. 예하 부대의 최소요구량을 충족시켜주기 위한 데이터를 이용한 앞선 실험과는 달리, 간접소요를 포함한 정상요구량의 충족이 제안한 모델에서 가능한지도 검증해 볼 필요가 있다. 이를 위해 기존 데이터에 각 예하 부대의 요구량을 2배로 증가시키고 이를 기본 요구량으로 정의하여 실험을 진행하였다. 결과는 아래 <Table 6>과 같다.

Table 6. Total time for two demand cases

(단위 : 시간)

구분	1제대	2제대	3제대	계
소요 시간 (최소 요구량)	3.66	3.57	3.44	11.16
소요 시간 (기본 요구량)	5.24	5.12	5.08	15.44
증감	+1.58	+1.55	+1.64	+4.28

전체적인 시간은 4.28시간 증가하였으며 총 시간이 15.44시간 소요됨에 따라 최초 목표했던 12시간보다 초과하여 분배가 완료될 수 있음을 알 수 있다.

4.4. 가용 차량 대수 변화 실험

4.3절에서 실험했던 결과를 개선하는 방안을 고려해 보고자 한다. 예하 부대의 수요량이 증가했을 때 목표한 시간 내에 분배를 완료하기 위한 하나의 방안으로 가용 차량 대수를 증가시키는 방법이 있다. 현재 보유 중인 장비로 여건이 제한될 때 상급부대에 요청하여 지원을 받는 절차이며 이 결과는 요청 근거가 될 수 있으므로 유의미한 실험이다. 기존 편제된 총 차량의 수는 7대이므로 총 10대까지 증가시키며 실험을 진행하였다. 결과는 아래 <Fig. 4>와 같다.

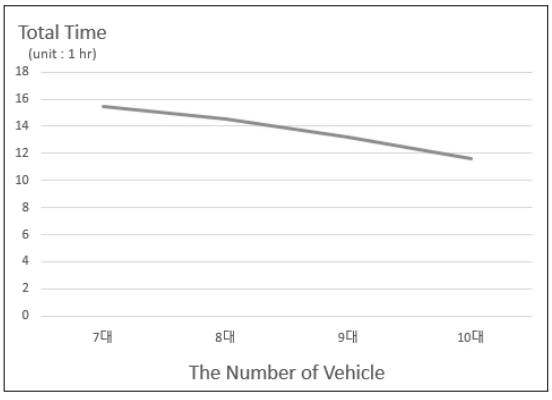


Fig. 4. Relationship between total time and the number of vehicles

실험 결과 8대(14.58hr), 9대(13.22hr), 10대(11.58hr)로 차량 대수가 한 대씩 증가할 때마다 전체적인 분배 완료 시간이 감소하였으며, 제대별 각 1대씩 총 3대의 차량을 지원받았을 때 목표했던 12시간 이내에 임무 완수가 가능함을 확인할 수 있다. 이는 차후 편제 차량 증가에 대한 소요 제기 시에, 논리적인 근거로 활용할 수 있을 것이다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

다양한 기술의 개발과 현대화된 무기체계의 발전 등으로 군은 계속해서 발전하고 있으며 기존에 사용되던 고전적인 문제 해결 방법들 또한 더 효율적인 방법으로 개선이 요구되고 있다. 특히, 본 연구에서 다룬 예하 부대에 대한 원활한 작전 지속 지원을 통한 작전 반응시간 단축은 군이 계속해서 추구하고 발전시켜야 할 중요한 분야로서 의사결정권자의 경험적인 요소와 직관적인 판단에 의존하던 과거에서 벗어나 새로운 변화가 필요한 이유이다.

본 연구에서는 실제 데이터 기반의 예제 분석을 통해 제안하는 수리모형의 타당성을 검증하고, 현실적으로 유의미한 실험을 통해 의사결정 시 고려해야 할 요소들을 도출하였다. 실험 결과 4.16시간 단축이라는 결과를 도출하였으며, 부대별 요구량이 최소요구량보다 2배 이상 증가하게 되는 상황에서도 상급부대의 지원을 통해 목표한 시간 내에 임무를 완수할 수 있게 계획할 수 있음을 검증하였다. 실험했던 상황보다 예하 부대의 수요량이 더 증가하게 되는 상황에서도 제대별 지원 차량의 증가, 외부업체의 외부용역 생수 할당 등을 통해 충분히 제한된 시간 내 원활한 작전 지속 지원이 가능하게 할 수 있도록 계획이 가능하다는 점을 확인하였다.

그러나 본 연구의 한계점에 따른 향후 연구 방향은 다음과 같다. 우선 본 연구가 다루는 문제는 NP-Hard 문제이기 때문에 실험 가능한 실험 규모 크기의 제한이 있었다. 이에 작전 개념에는 본 논문에서 실험한 내용이 부합하지만, 더 큰 규모의 제대를 기준으로 하거나, 차량에 제대별 제약을 주지 않는

가정하에서는 본 연구를 적용하는 것은 어려움이 있다. 그리고 각 제대별 편제된 차량의 용량이 다를 수 있으나, 본 연구에서는 같다고 가정하였고, 저장 용기에 따라 물을 하역하는 시간에 차이가 있음에도 같은 시간 내에 이루어진다고 가정하였다. 또한 본 연구에서는 차량의 이동 속도를 상수로 고정하였기에 실제 상황과 거리가 있을 수 있다. 따라서 향후 연구로는 단일 차종이 아닌 이기종 차종을 적용한 확장된 모델을 고려하고, 제대별 수요량을 충족시켜야 하는 시간을 준수하면서 더 큰 규모의 문제에서도 활용 가능한 알고리즘에 관한 연구가 필요하다. 이를 통해 기존의 작전 개념의 한계를 극복할 수 있는 차량 경로의 설정을 제안하여, 의사결정권자의 판단 폭을 넓게 할 수 있을 것이다.

6. Acknowledgments

본 논문은 2016년 한국연구재단의 지원(NRF-2016R1 D1A1B03933014)을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] Balcik, B. & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics: Research and Applications,* 11, 101-121.

[2] Buhrkal, K., Larsen, A., & Ropke, S. (2012). The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context. *Procedia: Social and Behavioral Sciences,* 39, 241-254.

[3] Cordeau, J. F., Laporte, L., & Mercier, A. (2001). A unified tabu search for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operational Research Society,* 52, 928-936.

[4] Dantzig, G. B. & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science,* 6(1), 80-91.

[5] Daskin, M. S. (2008). What you should know about location modeling. *Naval Research Logistics,* 55, 283-294.

[6] Derigs, A. & Kaiser, R. (2007). Applying the attribute based hill climber heuristic to the vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research,* 2, 719-732.

[7] Dror, M., Laporte, G., & Trudeau, T. (1994). Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics,* 50, 229-254.

[8] Duran, S., Gutierrez, M. A., & Keskinocak, P. (2011). Pre-positioning of emergency items for CARE international, *Interfaces,* 41, 223-237.

[9] Ho, S. C. & Haugland, D. (2004). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries. *Computers & Operations Research,* 31, 1947-1964.

[10] Lin, T. Y., Huang, C. H., Kao, H. H., Liou, G. G., Yeh, S. R., Cheng, C. M., Chen, M. H., Pan, R. L., & Juang, J. L. (2009). Abi plays an opposing role to Abl in Drosophila axonogenesis and synaptogenesis. *Research paper,* 136,

3099-3107.

[11] Minic, S. M., Gendreau, M., Potvin, J., Berger, J., Boukhtouta, A., & Thomson, D. (2017). Military three-echelon disaster relief supply chain management. *2017 4th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM).*

[12] Osman, M. Z. & Selman, B. J. (1993). Storage of Chrysoperla carnea Steph. (Neuroptera, Chrysopidae) eggs and pupae. *Journal of applied entomology,* 115, 420-424.

[13] Paul, J. A. & MacDonald, L. (2016). Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters. *European Journal of Operational Research,* 251, 252-263.

[14] Rawls, C. G. & Turnquist, M. A. (2012). Pre-positioning and dynamic delivery planning for short-term response following a natural disaster. *Socio-Economic Planning Sciences,* 46, 46-54.

[15] Reimann, M., Doerner, K., & Hartl, R. F. (2004). D-ants: Savingsbased ants divide and conquer the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research,* 31(4), 563−591.

[16] Republic of Korea Army. *Field manual 0 army basic doctrine.*

[17] Republic of Korea Army. *Drilling reference 8-34-11 water supply support.*

[18] Republic of Korea Army. *Drilling reference 8-34-7 operational continuing support.*[9] Salmerón, J. & Apte, A. (2010). Stochastic Optimization for natural disaster asset prepositioning. *Production and Operations Management,* 19, 561-574.

[19] Tofighi, S. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research,* 250, 239-250.

[20] Toth, P. & Vigo, D. (2003). The granular tabu search and its application to the vehicle-routing problem. *Informs Journal on Computing,* 15(4), 333-346.

[21] Yoshizaki, H. T. Y. (2009). Scatter search for a real-life heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries in Brazil, *European Journal of Operational Research,* 199(3), 750-758.

신 원 섭

대한민국 육군
관심 분야: Military operation research, Military logistics system modeling, Production system modeling

김 준 락

SK하이닉스
관심 분야: Production system management, Robust optimization, Supply chain management, Decision making under uncertainty

정 봉 주

연세대학교 산업공학과 교수
관심 분야: Smart Factory, Intelligent manufacturing system, Sustainable supply chain management, Production management

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management
Vol. 20, No. 2, pp.77 ~ 93, October 2020

ISSN 1598-382X
https://doi.org/10.25052/KSCM.2020.10.20.2.77

모바일 사물인터넷 기반 자동심장충격기 효과 측정을 위한 시뮬레이션 분석

한현수*.서경수**.강태욱***†

*한양대학교 경영학과 교수 · **서울교통공사 도시철도연구원 차장 · ***한양대학교 대학원 경영학 박사수료

Analyzing the Benefit of Mobile IoT Based AED Using Simulation

Hyun-Soo Han* · Kyoung-Soo Seo** · Tea-Wook Kang***†

*Hanyang University Business School, Seoul, Korea
**Seoul Metro Research Institute, Seoul, Korea
***Hanyang University Graduate Business School, Seoul, Korea

In this paper, we report the process changes and quantitative benefit analysis result when mobile IoT technology is embedded into AED(Automated External Defibrillator) for the emergency heart attack patients. To-be process change versus as-is stand-alone AED is illustrated based on BPMN(Business Process Model and Notation) standard, and ARENA simulation tool is adopted to assess the benefit as for the possible multiple to-be process scenarios. We reference the actual data collected from Centers for Disease Control and Public Data Portal to develop to-be scenarios and simulation modeling. The lead time to dispatch the emergent patients to the hospital, CPR(cardiopulmonary resuscitation) treatment percentage, and survival rate are revealed to be radically improved, which are the benefit accrued by the implementation of mobile IoT based AED. The research result offers useful insight for the recently propagating mobile IoT based business model design and expected benefit analysis.

Keyword : Mobile IoT, AED, Emergent medial treatment, BPM: Business Process Modeling, Simulation, ARENA

※ 이 논문은 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A5A2A03068426)
† **Corresponding Author** : Hanyang University Graduate Business School, E-Mail: kang-tw@naver.com
Received: 16 October 2020, **Accepted**: 21 October 2020

1. 서론

사물인터넷(IoT)은 미래 시대를 열게 될 핵심 기술로 파악되고 있으며 그 응용 및 영향 분야는 4차 산업혁명 기술 발전 추세를 고려할 때 거의 모든 산업 및 경제, 사회 분야가 될 것으로 기대되며, 다양한 분야에서 광범위하게 변혁이 일어날 것이다(Joo et al., 2017). IoT는 이동성을 중심으로 고정형(fixed)과 이동형(mobile) 사물인터넷(Mobile IoT)의 두 가지 측면으로 구분할 수 있다(Gubbi et al., 2013).

고정형 IoT는 가정, 사무실, 공장 등 물리적으로 고정된 특성을 기반으로 하지만 모바일 IoT는 이동성(Mobility), 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing)의 세 가지 개념을 결합한 것으로 물리적으로 서로 다른 위치에 있는 것들이 유·무선 네트워크를 통해 상호 연결된 형태를 의미하며 '모바일 사물인터넷 클라우드(Mobile IoT Cloud)'와 동일한 개념으로 간주된다(Chang et al., 2011).

고정형 IoT 대비 모바일 IoT의 산업융합 특성은 Nahrstedt et al.(2016)이 제시한 바와 같이 더 많은 센서가 모바일 기기에 장착되어 향상된 상호연결성을 통하여 일상생활과 산업의 스마트화를 촉진하는 데 있다. GSMA(국제 모바일 통신 시스템 협회)가 제시하는 모바일 IoT 기반 네트워크 산업융합 모델은 저전력 광대역 표준의 안전한 인가 주파수대를 기반으로 하는 낮은 비용, 낮은 데이터 사용량, 긴 배터리 수명, 원격으로 조정되는 애플리케이션 등 요인으로 구성된다. 고정형 IoT 대비 모바일 IoT 응용은 물리적 환경에 구애받지 않고 이동성이 자유롭게 활용될 수 있으므로, 스마트폰, 웨어러블 디바이스, 헬스케어 도구 등과 융합되어 단순 센서 기반 기술 활용을 초월하여 ICBMA(IoT · Cloud · Big data · Mobile · AI)기술과 융합됨으로써 관련 산업 분야의 성장이 기대되고 있다(Tyagi et al., 2016; Doukas & Maglogiannis, 2012; Mora et al., 2017).

그러나 이와 같은 산업융합을 통한 높은 성장 잠재력이 있는 클라우드 기반 모바일 IoT 응용의 비즈니스 모델에 기반이 될 수 있는 IoT 융합 기대 효과 분석 연구는 매우 제한적이다(Bilgeri & Wortmann, 2017). 또한 이론적인 측면에서의 사물인터넷 도입에 따른 효과에 대한 분석을 위해 본 연구에서는 이러한 모바일 IoT 융합 산업응용에 대한 기존 연구의 갭을 보완하고 비즈니스 모델 설계와 실제적인 효과 분석의 이론적 기반 조성에 기여하고자 한다.

본 연구의 목적은 우선 심장정지 발생 환자의 소생을 위한 AED(Automated External Defibrillator, 자동심장충격기)에 모바일 IoT 기술을 적용한 "모바일 IoT AED"를 제안하는 것이며 모바일 IoT 기반 AED가 보급되었을 경우 보급률에 따른 효과를 이산사건 시뮬레이션(DES, Discrete-event simulation)을 통해 계량적으로 분석하여 제시하는 것이다.

이를 위해 우선, 모바일 IoT 기반 AED 보급 전·후의 BPM(Business Process Modeling)을 통해 구체적인 응급의료 프로세스 변화를 파악하고 효과의 계량적 분석을 위한 시뮬레이션 모형의 유효성과 타당성을 확인하였으며, 연구를 통해 일반 기기에 모바일 IoT와 같은 4차 산업혁명 관련 기술이 결합되었을 경우 나타나는 프로세스의 개선과 서비스 제공 속도 향상, 운영 목적 달성도 증대 등 긍정적 영향 및 효과에 대해 제시하고자 하였다.

2. 모바일 IoT 기반 AED

우리나라에서는 연간 약 3만 명의 심장정지 환자가 발생하고 있으며, 약 50% 이상이 주거공간에서 발생하고 있다. 심장정지 환자 발생 시 4분 이내(골든타임) 심폐소생술을 시행하고 AED를 동시에 사용해야 생존율을 높일 수 있다(Korea Consumer Agency, 2018). AED는 환자의 피부에 부착된 전극을 통하여 전기 충격을 심장에 보내 심방이나 심실의 세동(비정상적으로 빠르게 떨려 제대로 된 심장 기능을 하지 못하는 상태)을 제거하는 제세동기를 자동화하여 만든 의료기기로 환자의 심장 박동을 자동으로 측정하고 제세동이 필요한 상황을 확인하는 것이 가능하며 이를 음성, 문자, 점멸 등의 방법으로 사용자에게 안내할 수 있는 기기를 말한다(Ministry of Health and Welfare, 2018).

응급환자의 생존율을 높이기 위하여 보건복지부는 AED 설치를 확대하기 위해 응급의료에 관한 법률에 따라 공공보건 의료기관과 공항, 항공, 철도, 선박, 500가구 이상의 공동주택 등에 AED 설치와 신고를 의무화하였다. 그러나 AED 활용에 대한 효과는 연구 문헌의 조사 결과 기대 대비 상대적으로 미흡하게 나타났다(Park, 2013; Kim et al., 2016; Kim & lee, 2017).

선행연구에서 나타난 AED 활용 제약성은 모바일 IoT의 유·무선 네트워크 인프라, 클라우드라는 특성과 융합될 경우 119 구급상황관리센터, 119 구급대, 의료기관과 유기적으로 결합되어 응급의료의 프로세스 변화를 통하여 개선될 수 있을 것으로 전망된다. 이에 따라 실제 IoT 기술이 적용된 사례를 바탕으로 하여 모바일 IoT 기술이 적용된 AED 기기에 기술의 적용에 대하여 문헌 및 기존 연구를 통해 파악하였다. 우선 적용 가능한 기술로써 먼저, 기존 IoT 기술이 적용된 웨어러블 기기에서 사용되는 센서(Jeon et al., 2014; Lim, 2014)와 같이 AED에 장착된 센서를 통해 신체의 바이탈 및 심박 수를 측정 가능하게 할 수 있으며, 모바일 IoT 기기를 통해 얻어진 영상 및 정보가 클라우드를 통해 구급대원 및 의사와 실시간으로 공유되며 증강현실 및 가상현실을 바탕으로 구조자가 올바른 방법으로 빠른 시간 내 심폐소생을 실시할 수 있게 하는 플랫폼(Choi et al., 2019)등이 모바일 IoT 기반 AED에 적용되어 활용될 수 있다.

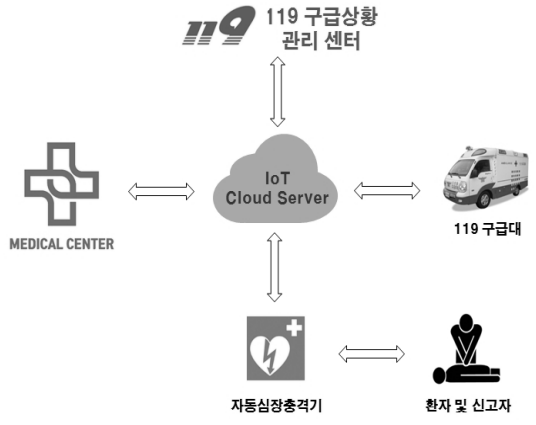


Fig. 1. Mobile IoT-based AED Operation Map

이에 본 연구에서 제시하는 모바일 IoT 기반 AED는 <Fig. 1>과 같이 IoT 클라우드 서버가 중심이 되어 AED, 환자 및 신고자, 119 구급상황관리센터, 의료기관, 119구급대가 상호작용을 하는 것으로, 모바일 IoT 기반 AED가 개발 및 보급될 경우 환자 발견에 따라 주변인에 의해 AED가 설치장소에서 이탈되면 즉시 활성화되어 무선 네트워크 및 IoT 클라우드 서버를 통해 119 구급상황관리센터, 119 구급대, 의료기관에 연결되어 신고가 접수되고 위치 정보 전송, 내장 카메라에 의한 실시간 영상 촬영 및 전송, 응급의료 전문가와의 양방향 통신에 의한 상호작용, 환자 원격 진단 및 진단 정보 전송 등 단순 기기가 아닌 능동형 기기로 응급환자의 회생을 위해 적극적인 역할을 하게 된다. 모바일 IoT 기반 AED의 주요 기능은 자동 신고, 환자 체외 진단 및 의료진과의 양방향 실시간 통신으로 주요 기능은 다음과 같다.

- 설치 위치 이탈 시 자동 신고: 급성 심장정지 환자를 발견한 신고자에 의해 AED가 설치장소 이탈 시 위치 센서가 감지되고 이에 의해 AED 및 IoT 기능이 활성화 및 자동으로 119 구급상황관리센터와 사전에 설정된 응급의료기관에 신고가 이루어짐
- 위치 정보 자동 전송: AED가 활성화된 후 119 구급상황관리센터에서 위치 정보를 실시간으로 전송하여 119 구급대가 정확한 환자의 위치를 찾을 수 있게 함
- 영상 정보 실시간 송출: AED에 내장된 카메라로 주변 영상을 촬영하여 실시간으로 119 구급상황관리센터 및 응급의료기관에 송출하여 현장의 정확한 상황 파악과 의료기관의 대응도를 높임
- 양방향 실시간 통신 및 체외 진단 기능: AED 양방향 통신이 활성화되어 119 및 응급의료 전문가의 지시에 의해 신고자 협조로 환자에 가슴 부착형 패치 및 손목 밴드 등을 부착하여 심장 상태(심장정지, 심장세동, 정상박동 등), 호흡 상태(무호흡, 비정상 호흡 등), 혈압 등 체외 진단을 하고 진단 정보를 전송하여 응급의료 전문가의 원격진료 및 현장 신고자의 적극적 응급조치를 가능하게 함

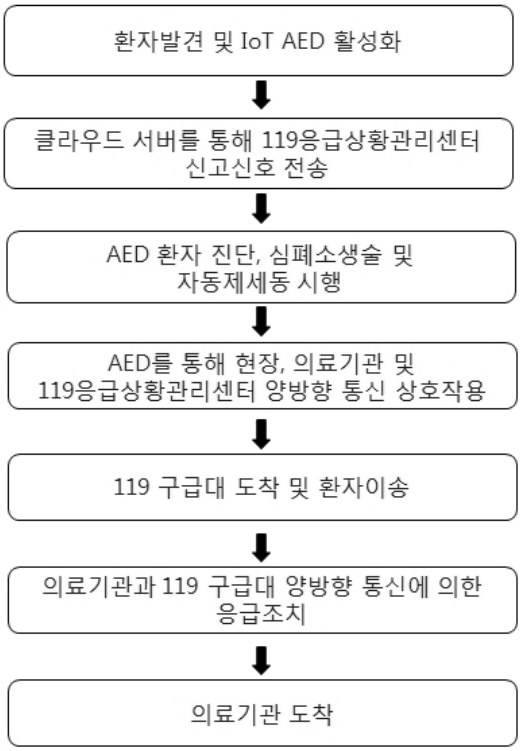


Fig. 2. IoT based AED utilization scenarios

① 모바일 IoT 기반 AED가 보급될 경우 심장정지 환자 발생에 따른 활용 시나리오는 <Fig. 2>와 같으며 세부 절차는 다음과 같음

② 심장정지 환자가 주변인에 의해 발견되고 신고인 또는 신고인의 지시에 의해 AED 설치함 개방 및 이동

③ AED가 설치 위치에서 이탈로 IoT 기능이 활성화되어 자동으로 119 구급상황관리센터에 신고 및 정보(위치, 시간, 영상 정보, 주변 상황 등) 전송을 시작함

④ AED 발신 정보 수신 및 119 구급상황관리센터 지시에 따라 119 구급대 출동

⑤ AED와 119 구급상황관리센터가 자동 연결되어 센터의 응급의료 전문가가 AED의 내장 카메라를 통해 환자 상태 및 주변 상황을 파악함

⑥ 응급의료 전문가는 AED와 상호작용기능을 통해 신고자에게 음성으로 진단에 필요한 조치를 지시함(환자 의식상태 및 주변 상황 체크, 체외 진단을 위한 진단 패치 및 밴드 설치 등)

⑦ AED에 의한 자동 환자 진단(맥박 및 심장정지 상태, 호흡, 혈압 등) 및 진단된 환자 상태 정보에 따라 AED가 자동으로 제세동을 시행하고, 진단된 환자 상태 정보는 119 구급상황관리센터와 의료센터에 실시간 전송됨

⑧ 전송된 정보에 따라 응급의료 전문가는 환자의 상태를 파악하며 119구급대 도착 시까지 AED 내장 카메라로 필요한 조치 및 환자 상태 감시를 계속 지시함

⑨ 119 구급대 도착 후 응급조치 및 환자를 병원으로 이송함

⑩ 전송된 진단 및 영상 정보를 기반으로 이송병원 의료진은 119 구급대 응급구조사와의 양방향 통신으로 필요한 조치를 지시하고 이송병원은 환자에 대한 조치를 사전 준비함

3. 비즈니스 프로세스 모델링

비즈니스 프로세스 모델링(BPM)은 비즈니스 프로세스와 그 일부를 대상으로 문제점을 찾아내고 이를 개선하여 실제 업무에 적용함으로써 장기적으로 조직이나 기업이 추구하는 비전과 미션 그리고 목표를 효과적으로 달성하기 위한 체계적인 절차와 업무의 효율성을 높이는 방법이다(Son, 2011; Wang & Bae, 2009). BPM은 순서화된 태스크의 연계구조와 정보를 그래픽적인 요소들로 표현하며(OMG, 2018) 전체 프로세스 최적화를 위한 표준화된 방법으로 정착되었다(Seo et al., 2009).

BPM 과정에서 그래픽 표기법을 사용하면 조직 간의 공동 작업 및 비즈니스 트랜잭션에 대한 이해를 촉진할 수 있다. 이를 통해 조직이나 기업은 자신과 비즈니스 참가자를 이해하고 조직이 새로운 내부 및 B2B 비즈니스 상황에 신속하게 적응할 수 있다(OMG, 2018). 따라서 시뮬레이션 모형 설계에 앞서 심장정지 환자 발생에 따른 119 구급활동의 프로세스 모델링을 수행하여 모바일 IoT 기반 AED가 기존 구급활동의 Process를 어떻게 변화, 개선되는지 파악하고자

하였으며, 시뮬레이션 모형의 타당성을 위해 BPM 결과를 바탕으로 시뮬레이션 모형을 만들었다. BPM의 기초가 되는 119 구급활동의 Process 정보는 행정안전부 재난 안전 데이터, 119 소방교재, 각 지역 소방본부 홈페이지 등 각종 자료를 기반으로 하였다.

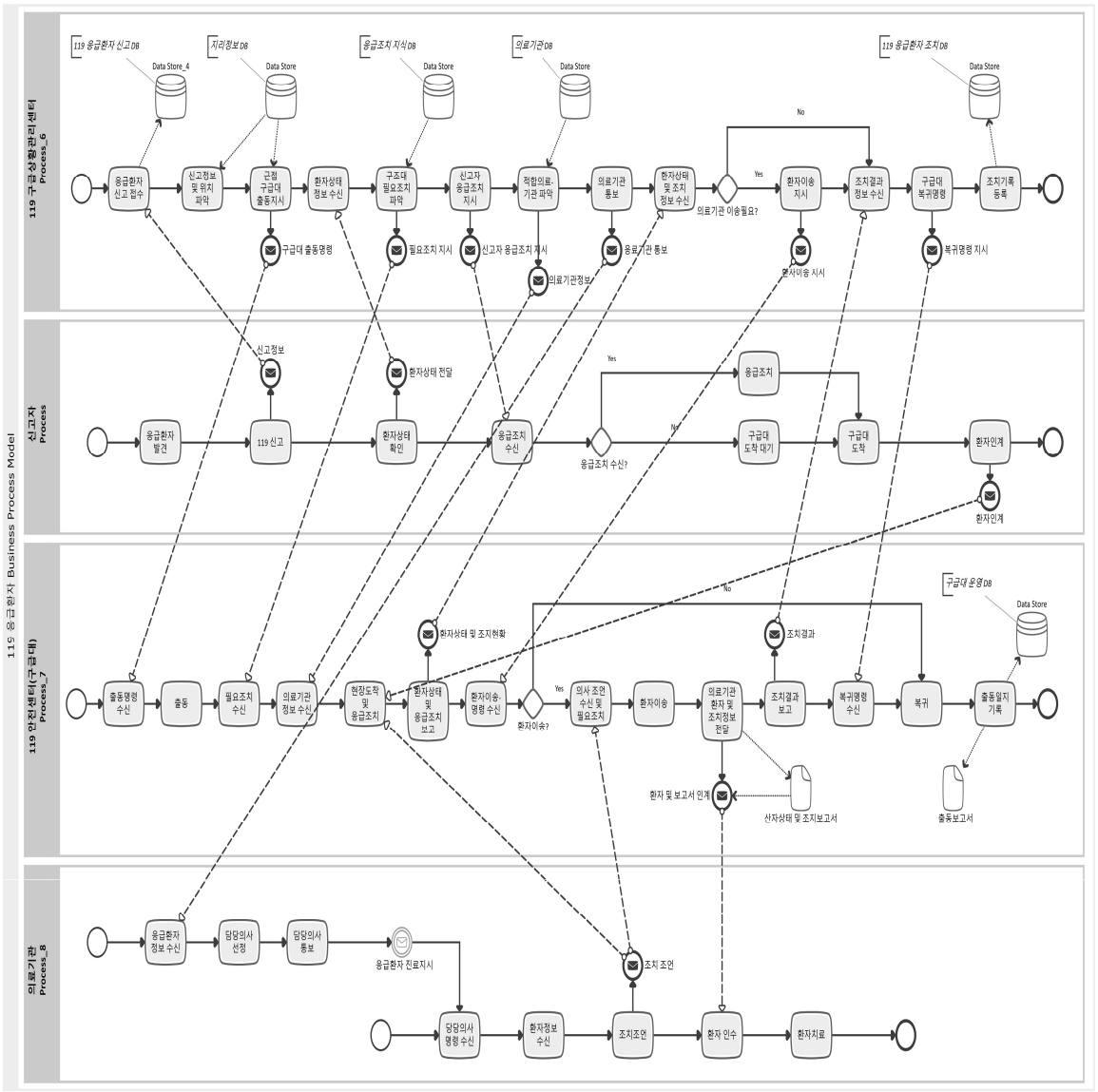


Fig. 3. Existing AED Operational Emergency Medical Process

3.1. 기존 AED 응급 프로세스 (AS-IS)

<Fig. 3>은 심장정지 환자 발생에 따른 현행 119 구급활동의 BPM(Business Process Modeling)이다. 현행 AED 응급 BPM은 신고자의 신고 시부터 응급환자의 병원 이송까지의 Process 및 각 활동 주체들의 상

호작용을 보여주는 것으로, 시뮬레이션 모형을 디자인하기 전 기존체계에서의 심장정지 환자 대응 프로세스를 분석하기 위함이다. BPM에서 참여자는 환자를 발견한 신고자, 119 구급상황관리센터와 구급대, 의료기관으로 구성되어 있으며 프로세스는 신고자의 응급환자 발견으로부터 시작되며 119 신고에 따른 신고 접수와 구급대 출동, 현장 도착 및 응급조치, 병원 이송의 순으로 진행되며 출동일지 기록을 끝으로 종료된다.

BPM에서 신고자는 환자를 발견하고 신고하며 만일 심장정지 환자일 경우 즉시 심폐소생술을 시행하고 AED를 사용하여 제세동 시행과 구급대가 도착할 때까지 현장을 이탈하지 않고 기다린다는 것을 가정하였다. 또한 119 구급상황관리센터를 통해 응급환자가 신고 접수된 후 119 구급대는 즉시 현장으로 출동하여 환자 구조 및 응급조치를 수행하게 되며, 구급대는 119 구급상황관리센터 및 의료기관으로부터 환자의 상태에 따른 응급조치를 지시받으며 현장 도착 즉시 환자에 대한 응급조치와 지시에 따라 의료기관으로 환자를 이송한다(Korea Fire Department, 2019).

3.2. 모바일 IoT 기반 AED 응급 프로세스 (TO-BE)

<Fig. 4>는 모바일 IoT 기반 AED가 보급되었을 경우를 가정한 BPM이다. 이 경우 AED는 BPM의 새로운 참여자가 되어 119 자동 신고, 환자 진단 및 제세동 실시, 영상 및 진단 정보 전송, 의료진과 신고자의 양방향 통신 등 응급환자에 능동적으로 대응하게 된다.

신고자에 의한 119 신고뿐만 아니라 AED의 설치 위치 이탈에 따라 즉시 자동으로 응급환자 발생 신고가 119 구급상황관리센터로 전달되며 동시에 구조대 출동을 위한 위치, 발생시간, 영상 정보 등 주변 상황 정보가 자동으로 전송된다. AED에 내장된 GPS 수신기에 의해 전송된 위치 정보에 따라 119 구급대는 빠르게 현장에 도달할 수 있으며 또한 최적 출동 경로를 찾을 수 있다.

AED는 응급환자 발생 정보 및 주변 영상을 촬영 및 의료기관에 전달하여 의료진이 환자 상태를 실시간으로 확인할 수 있도록 한다. 또한 음성으로 신고자에게 지시하여 환자의 상태 진단을 위한 센서가 장착된 AED 패치, 밴드 등을 부착하게 하고 자동 진단을 통해 환자 상태(심정지, 호흡, 혈압 등) 정보를 의료진에게 전달하여 의료진이 원격으로 진료를 할 수 있게 한다. 그리고 사전에 등록된 의료기관으로 응급환자 발생 정보를 전송하고 신고자와 의료진이 양방향으로 통신할 수 있게 하여 신고자의 응급조치를 돕는다. 의료기관의 응급의료진은 전송된 정보와 환자 영상, 체외 진단 정보를 바탕으로 구급대가 도착하기 전까지 신고자가 응급조치를 취할 수 있게 하여 골든타임을 낭비하지 않고 환자의 생존율을 높이게 한다.

119 구급상황관리센터는 AED에 의한 신고 접수 시 전송받은 위치 정보를 바탕으로 즉시 구급대를 출동시킨다. AED는 활성화된 순간부터 현장 상황이 담긴 영상을 실시간으로 119 구급상황관리센터 및 사전에 설정된 의료기관으로 전송하여 119 구급상황관리센터가 구급대에 상황에 따른 적절한 조치를 지시할 수 있도록 하며, AED의 신고에 의해 즉시 현장으로 출동하여 환자를 구조 및 응급조치한다. 119 구급대는 구급상황관리센터 및 의료기관으로부터 필요조치를 실시간으로 지시받으며 현장 도착 즉시 환자에 대한 응급조치와 지시에 따라 의료기관으로 환자를 이송한다.

반면, 신고자는 AED를 설치 위치에서 이탈시키는 것만으로도 119 신고가 가능하며 정확한 위치를 설명할 수 없어도 AED의 자동 위치 정보 전송에 의해 구급대가 정확한 위치로 도착하게 할 수 있다. 신고자는 또한 활성화된 AED의 지시에 따라 환자에게 센서가 부착된 심장 전기 충격 패치 및 밴드를 부착시키는 것만으로도 환자의 주요 상태를 진단할 수 있다. 또한 신고자는 구급대가 현장에 도착할 때까지 AED의 실시간 양방향 통신을 통해 의료진과 상호작용을 하며 의료진의 조언에 따라 긴급한 응급조치를 할 수 있다.

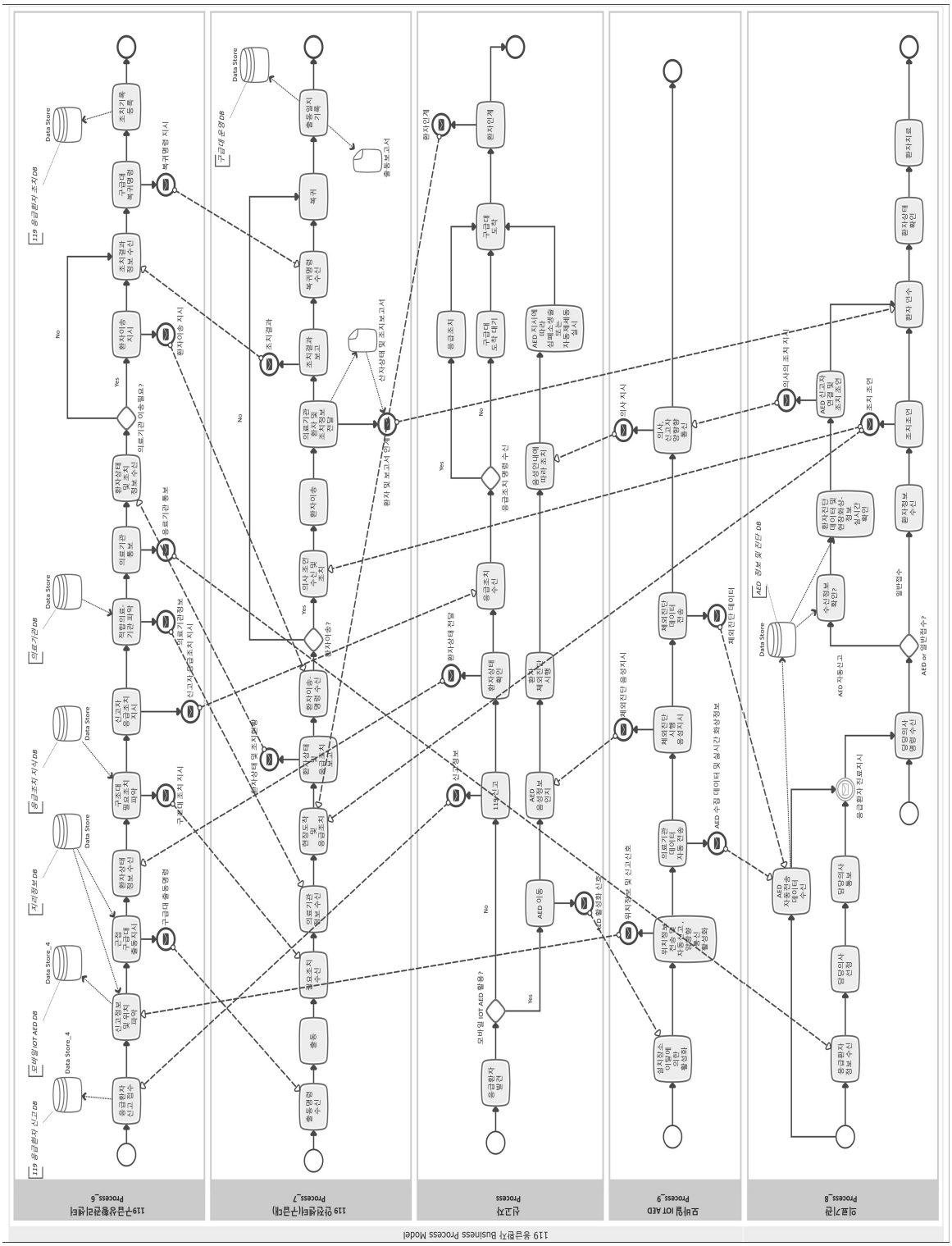


Fig. 4. Emergency Medical Process for Applying AED Based on Mobile IoT

4. 시뮬레이션 분석

4.1. 자료수집 및 연구방법

본 연구의 시뮬레이션 분석은 질병관리본부가 발표하는 '2006-2017년 급성 심장정지 조사 통계' 자료와 행정안전본부 '2015년 119 구급서비스 통계연보' 로부터 수집된 자료를 사용하였으며, 시뮬레이션 분석에서 자료를 확보할 수 없는 일부 설정 값은 연구자의 가정을 통해 분석을 수행하였다. 시뮬레이션 모형 설정에 앞서 심장정지 환자 발생에 따른 119 구급활동의 BPM(Business Process Modeling)을 통해 기존 응급의료 프로세스를 파악하고 모바일 IoT 기술이 적용된 AED 보급 시의 BPM을 분석 결과를 기반으로 시뮬레이션 모형을 도출하여 모형의 타당성을 확보하고자 하였다.

즉, 본 시뮬레이션을 통해 측정된 결과 추정치를 기존 실제 데이터와 비교함으로써 시뮬레이션을 통해 얻어진 연구 데이터를 한 번 더 검증(Validation)하여 연구의 신뢰성을 확보하였으며, 이에 비교적 신뢰할 만한 수준의 시뮬레이션 결과를 도출하였다. 또한 연구를 위해 작성된 BPM(Business Process Management)를 기반으로 최대한 실제와 가까운 프로세스를 도식화하고 이를 제시함으로써, 연구와 검증(Verification)을 하고자 하였다(<Table 1>).

Table 1. Settings for simulation modeling

Items	Settings	References
Cardiac arrest patient occurrence (case)	- 2017년도 17개 각 시도별 발생 건수	2006-2017 급성심장정치조사 통계집 (Korea Centers for Disease Control and Prevention , 2018)
119 Time (minutes) required for ambulance arrival	- 일반 신고 : 2014년도 17개 각 시도별 구급대 평균 도착시간(지수분포) - IoT AED 자동 신고: 2014년도 17개 시도별 구급대 평균 도착시간-1분(지수분포)	2015년 119구급서비스 통계연보 (Ministry of Public Administration and Security, 2018)
Time (minutes) required for hospital transport	- 2014년도 17개 각 시도별 구급대 평균 병원 이송시간(지수분포)	2015년 119구급서비스 통계연보 (Ministry of Public Administration and Security , 2018)
Common cardio-pulmonary system Resuscitation rate (%)	- 일반 AED 사용 시: 2017년도 17개 각 시도별 일반인 심폐소생술 시행률 - IoT AED 사용 시: 기존 지역별 심폐소생술 및 AED 사용율의 50%를 반영하여 산정	2006-2017 급성심장정치조사 통계집 (Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2018)
pre-hospital phase De-sewing enforcement rate (%)	- 일반 AED 사용 시: 2017년도 17개 각 시도별 병원전 단계 제세동 시행률 - IoT AED 사용 시 : 기존 지역별 심폐소생술 및 AED 사용율의 50%를 반영하여 산정	2006-2017 급성심장정치조사 통계집 (Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2018)
witnessed acute heart Stop percentage (%)	- 2017년도 17개 각 시도별 목격된 급성심장정비 비율	2006-2017 급성심장정치조사 통계집 (Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2018)
Patient Survival Rate (%)	- 급성심장정지 미 목격 시 생존율: 3.2% - AED 사용 시 생존율: 45.7% - AED 미사용 시 생존율: 16.3%	2006-2017 급성심장정치조사 통계집 (Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2018)

BPM의 기초가 되는 119 구급활동 Process 정보는 119 소방교재(Fire Education and Training Development Committee, 2015), 각 지역 소방본부 홈페이지(Gyeongbuk Fire Service Headquarters, 2018; 119 Busan Fire and Disaster Headquarters, 2018), 행정안전부 재난안전 데이터(Ministry of Public Administration and Security , 2018) 등 각종 자료를 바탕으로 하였다.

시뮬레이션 모형은 질병관리본부가 작성한 통계를 기준으로 전국의 17개 시도별로 구분하여 모바일 IoT 기반 AED가 기존 AED만 운영되는 현재 상황부터 9차 연도까지 지역별 환자 1명 발생 당 인구수를 기준으로 지역별 연차별 차등 보급됨에 따른 개별 모형을 17개 시도별로 총 170개를 만들었다. 분석결과는 각 모형별로 1년 주기 10회씩 시뮬레이션 한 결과 값을 평균하여 도출하였다.

시뮬레이션 도구는 Rockwell Automation Technologies 사의 ARENA 15 버전을 사용하였다.

4.2. 시뮬레이션 모델링을 위한 가정

각 지역별 시뮬레이션 모델링을 위해서는 시뮬레이션 설정 값에 대한 기본 정보가 필요하다. 본 연구에서는 질병관리본부 통계(2006~2017)와 행정안전본부 119 구급서비스 통계연보(2015) 자료를 바탕으로 하였다. 그러나 아직 개발되지 않은 모바일 IoT 기반의 AED 보급을 가정하고 시뮬레이션 분석을 하는 연구의 특성상 자료를 확보할 수 없는 일부 설정 값은 연구자의 가정을 통해 분석을 수행하였다.

4.2.1. 심장정지 환자의 발생, 환자발견 및 119 신고

본 연구에서 사용된 17개 각 시도별 시뮬레이션 모형에서의 환자 발생은 2017년 지역별 급성심장정지조사 통계자료(Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2018)로 하였으며 환자 발견 역시 같은 자료의 지역별 비율을 근거로 모형을 수립하였다.

119의 신고는 미발견 환자를 제외하고 모든 환자가 신고 되는 것으로 하였다.

4.2.2. 일반인의 심폐소생술 시행 및 병원 전 AED 사용

발견 환자의 일반인 심폐소생술 시행은 2017년 지역별 급성심장정지조사 통계자료의 각 지역별 실시율로 하였으며 IoT AED를 통한 신고의 경우 기본적으로 일반 신고보다 높게 설정하였는데 각 시도별 심폐소생술 및 AED 사용 비율을 기반으로 한 대응비율을 50% 반영하여 각 지역에 따라 편차가 있게 증가하도록 하였다.

$$\text{대응비율} = \frac{\text{심폐소생술시행건수} + \text{제세동기사용건수}}{\text{지역별급성심정지환자발생건수}}$$

이는 IoT AED의 보급에 따라 AED의 119 구급상황관리센터 연결 후 신고자가 의료진과의 상호작용을 통해 응급조치 협조가 증가한다는 것을 가정한 것이다.

그러나 지역별 심폐소생술 및 AED 사용 비율을 50% 반영한 이유는 지역별 인구 및 연령구성, 도시와 농촌 차이, 심폐소생술 교육 정도에 따라 차이가 있을 것이라는 가정을 기반으로 하여 기존의 환자에 대한 대응비율을 50%로 반영한 것이다.

4.2.3. 119 구급대 출동, 현장 도착 및 병원이송 소요시간

발견자에 의한 심장정지 환자 발생 신고 시 소요시간은 최소 0.5분, 평균 1분, 최대 2분의 삼각분포(Triangular)로 가정하였다. 119 구급대의 출동 후 현장 도착 및 병원이송 소요시간은 행정안전부 재난안전 데이터 포탈 '2015 119 구급서비스 통계연보' 의 각 지역별 119 구급대 현장 도착시간으로 모형을 수립하였다.

AED 자동신고에 의한 출동은 신고자가 심장정지 환자를 구급하기 위하여 AED 장치를 설치장치에서 이탈 시 자동으로 활성화되며 IoT 클라우드 서버를 통해 119 구급상황관리센터와 연결되어 환자 발생 신고가 접수되고 119 구급상황관리센터의 지시에 의해 출동 명령이 내려지며 각종 정보(위치, 시간, 영상정보 등)를 전송한다.

IoT AED에 의한 자동신고 시 구급대의 현장 도착 소요시간은 일반 신고보다 1분 빠르게 모형을 수립

하였는데 이는 119 구급대가 현장 위치 정보의 사전 검색 없이 AED로부터 수신된 위치 정보에 의해 바로 이동하기 때문에 일반 신고보다 시간이 단축된다는 가정에 따른 것이다.

Table 2. Differentiated Distribution of IoT AED by Population per Patient Occurrence by Region

Population per occurrence (persons)	Annual penetration rate of IoT AED	Region (Population per occurrence, persons)
More than 2,000	10%	서울(2,156), 광주(2,338), 대전(2,308), 울산(2,326), 세종(2,501), 경기(2,152)
More than 1,500 to less than 2,000	20%	부산(1,857), 대구(1,905), 인천(1,966), 경남(1,664)
Less than 1,500	30%	강원(1,052), 충북(1,268), 충남(1,333), 전북(1,360), 전남(1,196), 경북(1,224), 제주(1,011)

4.3. 시뮬레이션 모형 구성

IoT AED의 보급에 따른 효과 분석을 위한 시뮬레이션 모형을 구성하기 위해 <Table 2>와 같이 17개 시·도 각 지역별 2017년 발생 건수(Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2018) 1건당 인구를 기준으로 하여 차등 보급하는 모형을 구성하였다. 또한 모형의 총수는 현행 체계 및 IoT AED 보급 9년차까지 10년 동안을 연차별 보급하는 170개 모형으로 하였다. 이는 환자 발생이 많은 지역을 높은 비율로 보급하여 효과를 높이기 위함이다.

Table 3. Assumptions for the Optimal Level of AED Based on Mobile IoT

	Supposition of Mobile IoT-based AED	Level and Ratio
Sup. 1.	대응도	(기존비율) X 대응도/2
Sup. 2.	연차 별 AED 보급 수준	심정지 1건 발생 당 인구
		• 매년 2000 이상 10% • 1500 ~ 2000 미만 20% • 1500 미만 30%
Sup. 3.	기존 대응도	CPR + AED건수/발생건수
Sup. 4.	모바일 IoT AED 적용시 CPR 증대 효과 & AED 사용 효과	(기존비율) X 대응도/2
Sup. 5.	모바일 IoT AED 기기의 대당 예상비용	약 300만원

4.4. 시뮬레이션 모델링

BPM 및 시뮬레이션 가정을 바탕으로 각각의 지역별 연차별로 170개 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 각 시나리오에 따른 시뮬레이션 모형은 환자 발생, 환자의 발견, 신고 접수, 신고 종류, 신고자의 심폐소생술 시행, AED 사용, 환자 생존 또는 미생존 분류 등 공통 모듈을 사용하며 시나리오에 따른 설정 값에 따라 개발하였다.

ARENA 시뮬레이션을 통해 모바일 IoT 기반 AED 보급에 시뮬레이션 모형을 구성하고, 개발된 시뮬레이션 모형을 통해 일반인 119 신고 또는 AED에 의한 자동신고로 구분하여 119 구급대 병원 이송 소요시간, 신고자의 심폐소생술 시행 여부 및 생존율에 따

른 환자의 회복 여부를 시뮬레이션하여 결과를 출력하였다.

5. 모바일 IoT 기반 AED 보급 시 기대효과

본 연구에서는 크게 모바일 IoT 기반 AED의 보급 비용 대비 적정 수준을 예측하였고, 지역별 차이에 따른 생존율에 대한 변화를 예측함으로써 대당 비용이 상대적으로 높은 IoT 기반 AED를 시뮬레이션 기반 최적의 비용 대비 최대의 보급효과에 대해 예측하고자 하였다. 이는 위급상황 시 사용하게 되는 AED의 경우 비용에 따른 효과를 정확히 예측함으로써 예산을 절감하고 더 많은 생존자를 살리기 위한 정책 수립에 도움이 되고자 함이다.

5.1. 모바일 IoT 기반 AED 대한 보급비용대비 적정 수준 예측

먼저 비용에 따른 모바일 IoT 기반 AED 보급에 대한 적정수준을 예측하고자 하였다. 이를 위해서 다음과 같은 상황을 가정하고 <Table 3>에 따라 본 연구를 수행하였다. 본 연구를 위해 적용한 대응도는 CPR 시행 환자와 AED를 시행한 환자를 발생 건수로 나눈 비율로 가정하였으며, 이러한 새로운 가정하의 모바일 IoT를 적용한 AED의 사용 효과를 추정하기 위해서 대응도의 경우 기존 발생비율에 대한 대응도를 1/2로 새롭게 가정하였다.

<Table 4>와 같이 모바일 IoT 보급 수준의 변화를 추정하였다. 기존 사용되고 있는 AED의 사용연한에 따른 폐기 수준을 고려한 일반 AED의 점진적인 축소와 모바일 IoT가 적용된 AED의 추가적인 보급에 따라 도입 수준을 단계별로 예측하였으며, 이에 대한 대 당 보급비용을 300만원으로 산정하였다. 이는 현재 AED가 150~200만 원 선으로 책정된 것에 따른 비용으로 통신기능 및 화상으로 환자의 상태를 볼 수 있는 디지털 디스플레이의 추가적인 비용에 의한 것이다.

Table 4. Prediction of the level of penetration of AED (General AED + Mobile IoT AED) by year

Annual Total AED Level Forecast							
	총 AED	전년 AED	일반 AED	IoT AED	추가 AED	AED 폐기	비용(백만)
Existing	32,563	32,563	32,563	0	0	0	0
Year 1	36,538	32,563	30,935	5,603	5,603	1,628	16,808
Year 2	41,522	36,538	29,388	12,133	6,531	1,547	19,592
Year 3	47,768	41,522	27,919	19,850	7,716	1,469	23,148
Year 4	55,601	47,768	26,523	29,079	9,229	1,396	27,687
Year 5	65,435	55,601	25,197	40,239	11,160	1,326	33,480
Year 6	77,801	65,435	23,937	53,864	13,626	1,260	40,877
Year 7	93,380	77,801	22,740	70,640	16,775	1,197	50,326
Year 8	113,046	93,380	21,603	91,443	20,803	1,137	62,409
Year 9	137,924	113,046	20,523	117,401	25,958	1,080	77,875

이에 따라 연차별 AED의 적정 수준 및 비용에 대해서 추정한 결과를 <Table 5>와 같이 도출하였다. 도출된 연차 별 AED의 적정 수준 및 비용에 대해 산출하였으며, 총 비용이 높게 증가하는 대략적으로 4차 연도에서 가장 큰 효율을 보여주는 것으로 기대된다. 초기 도입 비용을 제외한 매년 증가 폭은 5차 연도부터 크게 증가되는 것을 보여줌에 따라 이를 가정할 때 비용 대비 가장 많은 효과를 보여주는 연도는 4차라고 볼 수 있다.

보급 수준에 따라 생존율을 산출한 <Table 5>는 본 연구를 위해 추정된 대응도에 의한 결과로 모바일 IoT가 적용된 AED의 보급에 따른 생존자를 가장

최소화하여 추정한 결과이다. 이는 투입비용 수준에 따라 생존율이 증대되는 효과를 보이며, 4차에서 5차 연도에서 가장 투입비용에 대비하여 가장 많은 생존 확률을 기대할 수 있는 것으로 나타났으며, 향후 모바일 IoT가 적용된 AED의 적용을 통해 AED 기기의 사용법이 적극적으로 제공됨에 따라 더 많은 생존자의 증가와 비용대비 효용을 예상할 수 있다(<Fig. 5>).

Table 5. Local Survivors by Supply Level

	Total number of surviving cases (excluding undiscovered survival)									
	Existing	**Year 1**	**Year 2**	**Year 3**	**Year 4**	**Year 5**	**Year 6**	**Year 7**	**Year 8**	**Year 9**
서울	557	560	563	565	568	570	572	574	576	577
부산	195	197	198	198	199	200	200	201	201	201
대구	148	149	150	151	152	152	153	153	154	154
인천	168	169	170	171	171	172	172	172	173	173
광주	62	62	62	62	63	63	63	63	63	63
대전	67	67	68	68	68	68	68	68	69	69
울산	51	51	52	52	52	52	52	52	52	53
세종	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
경기	697	700	702	704	706	708	710	711	713	714
강원	142	142	143	143	144	144	144	144	144	144
충북	122	122	122	123	123	123	123	123	123	123
충남	144	144	145	145	146	146	146	146	146	146
전북	129	130	131	131	131	132	132	132	132	132
전남	130	130	131	131	131	131	131	131	131	131
경북	187	187	187	188	188	188	188	188	188	188
경남	193	193	194	194	195	195	196	196	196	196
제주	58	58	58	59	59	59	59	59	59	59
합계	3,062	3,076	3,088	3,098	3,107	3,115	3,122	3,128	3,133	3,137

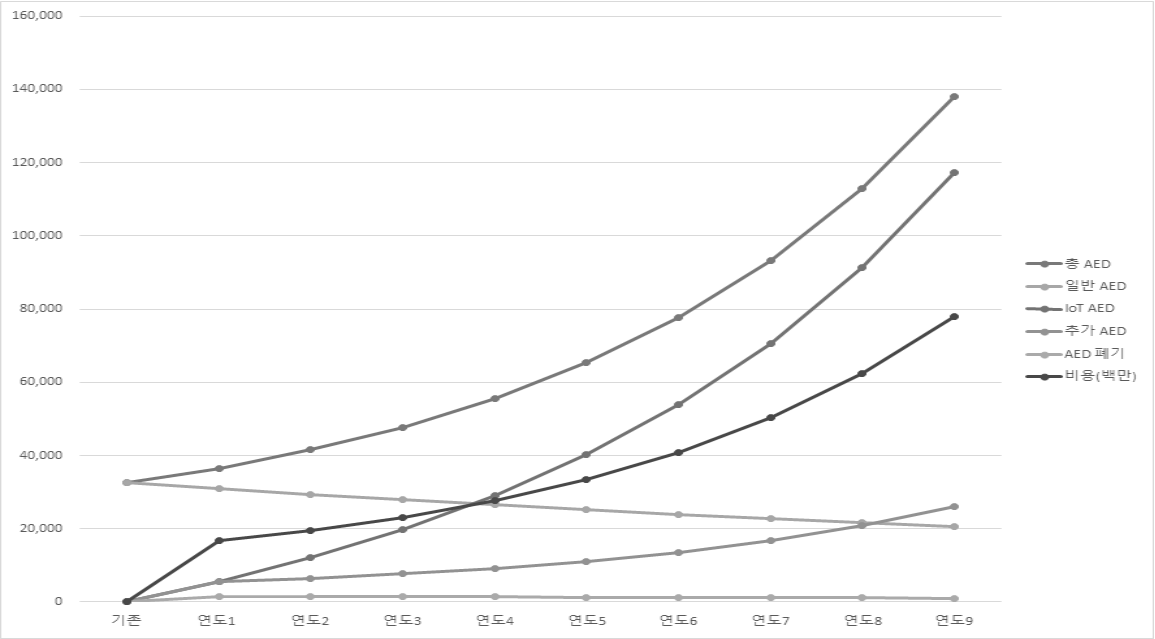


Fig. 5. Annual AED Quantity Changes and Costs

Table 6. Regional CPR and AED Implementation Level

	지역	AED 설치	발생 건수	생존 건수	생존	발생 건수	CPR 시행	CPR 시행	AED 사용	AED 사용	대응	CPR 대응도 적용비율		IoT AED 적용비율	
		(대)	(건수)	(건)	(%)	(명)	(%)	(건)	(%)	(건)		차이		차이	
1	서울	8,263	4,573	567	12.40	2,156	0.36	1,442	0.171	765	0.48	0.444	0.086	0.212	0.041
2	부산	1,054	1,869	184	9.84	1,857	0.17	276	0.161	299	0.31	0.190	0.025	0.186	0.025
3	대구	929	1,299	103	7.93	1,905	0.33	377	0.165	211	0.45	0.410	0.076	0.202	0.037
4	인천	1,839	1,500	164	10.93	1,966	0.15	195	0.162	236	0.29	0.168	0.021	0.185	0.023
5	광주	893	626	64	10.22	2,338	0.11	66	0.134	83	0.24	0.128	0.014	0.150	0.016
6	대전	892	651	63	9.68	2,308	0.24	137	0.132	85	0.34	0.279	0.041	0.155	0.023
7	울산	362	501	57	11.38	2,326	0.19	87	0.162	81	0.34	0.218	0.031	0.189	0.027
8	세종	162	112	10	8.93	2,501	0.14	13	0.144	16	0.26	0.155	0.018	0.163	0.019
9	경기	7,448	5,982	591	9.88	2,152	0.25	1,325	0.147	859	0.37	0.299	0.046	0.174	0.027
10	강원	1,113	1,473	86	5.84	1,052	0.19	234	0.094	130	0.25	0.208	0.023	0.106	0.012
11	충북	941	1,257	76	6.05	1,268	0.13	147	0.102	125	0.22	0.145	0.014	0.113	0.011
12	충남	1,210	1,588	105	6.61	1,333	0.18	254	0.098	153	0.26	0.204	0.023	0.111	0.013
13	전북	1,109	1,364	88	6.45	1,360	0.16	204	0.111	149	0.26	0.184	0.021	0.125	0.014
14	전남	1,858	1,586	80	5.04	1,196	0.09	130	0.069	108	0.15	0.096	0.007	0.074	0.005
15	경북	1,560	2,199	89	4.05	1,224	0.10	202	0.076	163	0.17	0.108	0.008	0.082	0.006
16	경남	1,799	2,082	133	6.55	1,664	0.15	280	0.112	222	0.25	0.170	0.019	0.126	0.014
17	제주	1,131	650	37	5.69	1,011	0.17	98	0.087	55	0.24	0.186	0.020	0.097	0.010

※ 대응도 = ((CPR+AED)/발생건수

5.2. 지역별 보급 효과

다음으로는 급성심장정지 환자의 발생에 따라 모바일 IoT 기반 AED 사용의 비중은 지역별로 큰 차이(격차)를 보인다. 이는 기존 AED 사용 및 CPR 시행에 비율에 따라 지역별 편차를 보이는 것에 기인한 것으로(<Table 6>), 앞으로 도입될 모바일 IoT 기반 AED의 사용비율에 대한 차이가 발생할 것으로 예측할 수 있다(Ministry of Public Administration and Security, 2018).

두 번째로 지역별 AED 사용 수준에 따른 보급은 생존자를 결정하는데 중요한 요인으로서, 사용비율이 높은 지역에 대한 우선 보급을 통해 비용대비 많은 인명을 구조할 수 있다는 점에 착안하여, 기존 지역별 AED 사용 및 CPR 시행에 따라 모바일 IoT기반 AED의 사용으로 인한 생존자의 차이를 확인하였다. 이에 따라 지역별 차이에 따라 더 많은 모바일 IoT기반의 AED를 보급하거나 사용법에 대한 교육이 필수적일 것이다.

사용비율에 대한 예측은 기존 지역에서 응급상황 시 심폐소생술(CPR)에 대한 시행과 기존 AED 시행의 비율에 따른 것으로 향후 보급될 모바일 IoT의 사용비율에 대해 기존 위급상황 시 환자에게 응급구조 활동의 수준을 기반으로 예측하였다.

이에 시뮬레이션을 통해 파악한 모바일 IoT에 따른 지역별 생존자의 차이는 <Table 7>과 같다. 지역별 시행에 따른 생존 증가율은 기존 비용 대비 높은 증가율을 보이는 지역은 서울(4.5%), 부산(3.1%), 대구(3.1%), 강원(2.9%), 경기(2.5%), 인천(2.3%) 순으로 나타났다(소수점 2번째 자리 반올림). 이는 선별적 보급 시 더 큰 효과를 기대할 수 있는 곳으로서, 상대적으로 경남(1.1%), 대전, 충북(1.2%)의 경우 더 많은 모바일 IoT 기반의 AED 보급이 제안되어야 생존율에 증가를 기대할 수 있는 곳으로 제시된다.

Table 7. Changes in Survivors by Regional Distribution

	01 서울	02 부산	03 대구	04 인천	05 광주	06 대전	07 울산	08 세종	09 경기	10 강원	11 충북	12 충남	13 전북	14 전남	15 경북	16 경남	17 제주	총계
기존	548.6	199.8	156.9	177.1	54.3	73.9	56.1	15.3	688.8	146.5	130.9	148.3	135.2	130.9	188.2	195.7	64.2	2,662.6
1st	552.5	200.3	158.4	177.5	54.5	74.2	56.4	15.3	691.6	147.2	131.2	148.9	136.2	131.3	189.6	195.5	64.6	2,675.5
nd	555.5	200.7	159.8	178.9	54.5	74.2	56.5	15.2	692.7	148.0	132.0	149.4	137.1	131.5	189.3	195.6	64.6	2,686.0
3rd	559.1	201.9	159.8	179.3	54.5	74.3	56.5	15.2	693.1	148.9	131.6	150.0	137.1	132.0	189.5	197.6	64.7	2,693.3
4th	561.4	202.7	160.2	179.7	54.6	74.4	56.8	15.2	696.8	149.2	131.8	150.3	137.0	132.6	189.2	197.8	64.7	2,702.7
5th	564.3	203.9	160.1	179.8	54.7	74.6	56.9	15.2	698.1	149.5	131.6	151.0	137.3	132.6	189.4	197.6	64.8	2,709.6
6th	566.5	204.5	160.6	180.7	54.6	74.4	57.2	15.2	699.7	150.2	131.7	150.9	137.9	132.3	189.5	197.8	64.8	2,716.4
7th	569.5	204.9	160.7	180.9	54.7	74.6	57.2	15.3	700.2	150.3	132.1	151.0	137.8	132.5	189.7	197.8	64.9	2,721.7
8th	570.6	205.2	161.3	180.9	54.8	74.6	57.2	15.3	702.7	150.4	132.5	151.0	137.7	132.4	190.1	197.9	64.9	2,726.6
9th	573.4	205.9	161.7	181.1	54.9	74.8	57.3	15.3	706.1	150.7	132.5	151.1	137.7	132.3	190.3	198.2	64.9	2,734.8
증가율(%)	4.521	3.053	3.059	2.259	1.105	1.218	2.139	0.000	2.512	2.867	1.222	1.888	1.849	1.069	1.116	1.278	1.090	2.7116

6. 결언

본 연구에서는 모바일 IoT 기반의 AED를 제안하며 제안된 AED가 보급될 경우 기대되는 보급비용 대비 적정 보급 수준과 지역별 보급 수준에 따른 변화 효과를 예측하기 위해 시뮬레이션 소프트웨어인 ARENA를 이용하여 시뮬레이션 모형을 시나리오별로 개발하였으며, 개발된 모형으로 시뮬레이션 분석한 결과 모바일 IoT 기반 AED의 비용 대비 적정 수준을 가정하고 지역별 수준의 변화를 예측하는 계량적 수치 결과를 제시하였다.

먼저 본 연구를 수행하기 위해 BPM을 통해 모바일 IoT 기술이 융합된 AED의 프로세스를 새롭게 파악하였다. 이는 기존 이론에서 머물러 있던 IoT 기술의 도입 효과에 관하여 기술한 기존 연구에서 벗어나 실제 IoT 기술이 적용된 AED의 활용으로 인하여 실제 상황에 따라 변화되는 프로세스를 제시하고 이를 통해 모형의 유효성과 증명하고, 시뮬레이션을 수행하는 방법론을 제시하였다. 즉, BPM을 바탕으로, 실제 모바일 IoT 기술이 적용되어 보급됨에 따른 효과를 계량적으로 실시하여 측정함으로써, 향후 새로운 기술의 적용에 따른 변화를 예측하는 방법론의 제시하고 계량적 추정에 대한 방법론을 제시했다는 점에서 본 연구가 가지는 학술적 공헌을 찾을 수 있다.

또한 본 연구의 실무적 차원에서의 공헌점은 다음과 같다. 첫 번째, 최근 ICT 기술의 발전에 따른 모바일 IoT의 제품과의 융합이 다양한 분야에서 이루어지고 있는 상황에서 그 응용 영역이 응급의료 분야에 적용될 때 나타날 효과를 구체적 사례로 제시한 점, 두 번째, 모바일 IoT 기술이 AED에 접목됨에 따라 단순 기능의 AED가 능동형(proactive) 기기로 탈바꿈되어 매년 증가하는 급성심장정지 환자의 생명을 구하는데 더욱 효과적으로 기여할 수 있다는 것을 보여준 점, 세 번째, 모바일 IoT 기반 AED 보급 확대에 따라 지역별 생존 수준과 함께 보급비용 수준을 제시함으로써 향후 새롭게 도입될 모바일 IoT AED의 보급에 대한 정책적 시사점에 대해 시뮬레이션을 통해 제시한 점이다.

본 연구의 한계점으로는 우선 아직 개발되지 않은 IoT 기반 클라우드 서비스 효과 분석을 위하여 사용된 시뮬레이션 모형의 설정 값에 연구자의 가정이 사용되었다는 점과 AED를 통한 의료진과 신고자 간의 상호작용에 따른 신고자의 협조가 어느 수준에서 이루어질 수 있을지에 대한 설정 등 여러 변수와 상황을 기존 데이터를 통해 정밀하게 고려하여 모형을 설계하지 못했다는 점이다.

본 연구에서 제시된 방법론과 분석결과를 통해 일반 기기에 모바일 IoT 접목을 통한 다양한 비즈니스 모델 설계와 이론적 발전에 유용한 시사점을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

[1] 119 Busan Fire and Disaster Headquarters (2018). *Fire data (Video)* http://119.busan.go.kr/firedata10.

[2] Bilgeri, D. & Wortmann, F. (2017). *Barriers to IoT Business Model Innovation,* 987-900.

[3] Chang, K. D., Chen, C. Y., Chen, J. L., & Chao, H. C. (2011). *IoT and cloud computing for future internet.* In International Conference on Security-Enriched Urban Computing and Smart Grid, 1-10. Springer, Berlin, Heidelberg.

[4] Cho, K. J. For information signs of automatic defibrillator(Automatic Cardiac Arrestor). Newsletter of the Korea CPR Association, 9(1), 19.

[5] Choi, K. K., Kang, J. S., & Noh, B. H. (2019). Mixed Reality(MR)-Internet of Things(IoT) converged disaster response artificial intelligence application technology. *Journal of the Korea Telecommunications Association(Information and Communication),* 36(5), 31-38.

[6] Choi, K. & Kim, M. H. (2016). A study on the convergence of IoT and cloud computing. *Journal of the Korea Creative Content Association,* 16(5), 1-12.

[7] Doukas, C. & Maglogiannis, I. (2012). *Bringing IoT and cloud computing towards pervasive healthcare.* In 2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, 922-926.

[8] Fire Education and Training Development Committee (2015). *2016 New Curriculum Firefighting Tactical III.* Kumpoong Publishing House, Seoul.

[9] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems,* 29(7), 1645-1660.

[10] Gyeongbuk Fire Service Headquarters (2018). First Aid(Psychopathic). http://gb119.go.kr/gb/goMenu.do?menuId=gb_008_003

[11] Jeon, J. A., Kim, N. S., Ko, J. G., Park, T. J., Kang, H. Y., & Pyo, C. S. (2014). IoT device products and technology trends. *Information & communications magazine,* 31(4), 44-52.

[12] Ju, K. J., Lee, M. H., Yang, H. J., & Ryu, D. J. (2017). The 4th industrial revolution and artificial intelligence: An introductory review. *Korean Operations Research And Management Society,* 42(4), 1-14.

[13] Jung, E. K. & Jung, J. Y. (2013). Analysis of predicted instructions about shockable cardiac arrest patients by dispatcher at 119 emergency situation management center. *Fire Science and Engineering,* 27(6), 122-128.

[14] Kim, M. H., Lee, E. S., & Jun, S. E. (2016). Knowledge, attitude and performance ability of automated external defibrillator and cardiopulmonary resuscitation among Korean university students. *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society,* 17(2), 156-163.

[15] Kim, M. N. & Lee, H. J. (2017). A study on awareness of automated external defibrillator, usage intention and related educational experience in workers at public institutions. *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society,* 18(11), 416-424.

[16] Korea Centers for Disease Control and Prevention (2017). *2006-2016 Acute cardiac arrest survey statistics*, 1. Department of chronic disease management at the Centers for Disease Control and Prevention.

[17] Korea Consumer Agency (2018). *Need to expand mandatory training and installation of automatic cardiac shock devices.*

[18] Korea Fire Department (2019). N*ational action guidelines for fire, cardiopulmonary resuscitation, First Aid, etc.*

[19] Kronick, S. L., Kurz, M. C., Lin, S., Edelson, D. P., Berg, R. A., Billi, J. E., & Meeks, R. A. (2015). Systems of care and continuous quality

improvement: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation,* 132(2), S397-S413.

[20] Lee, H. B. (2016). *A study on the application methods of automated external defibrillator in Daejeon.* Daejeon, Daejeon Development Institute.

[21] Lee, J. W., Son, S. W., & Chung, D. S. (2015). A study on usability of Automated External Defibrillator(AED) for public area. *Journal of Integrated Design Research,* 14(1), 19-32.

[22] Lim, C. S. (2014). Technology trends on big data analysis tools. *The Journal of Korean Institute of Next Generation Computing,* 10(5), 77-84.

[23] Ministry of Health and Welfare (2018). *Guidelines for the installation and management of automatic heart shockers in public works and multi-use facilities.* 3rd Edition, Ministry of Health and Welfare.

[24] Ministry of Public Administration and Security (2018). *Information disclosure by the ministry of public administration and security and the opening of public data.* Disaster and safety data portal, https://www.data.go.kr/search/index.do?index=ALL&brmFF=OC0010&currentPage=1&countPerPage=3.

[25] Mora, H., Gil, D., Terol, R. M., Azorín, J., & Szymanski, J. (2017). An IoT-based computational framework for healthcare monitoring in mobile environments. *Sensors,* 17(10), 1-25.

[26] Nahrstedt, K., Li, H., Nguyen, P., Chang, S., & Vu, L. (2016). *Internet of mobile things: Mobility-driven challenges, designs and implementations.* In 2016 IEEE First International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI), 25-36.

[27] OMG (2018). *BPMN specification business process model and notation.* www.bpmn.org.

[28] Reddy, M. C., Paul, S. A., Abraham, J., McNeese, M., DeFlitch, C., & Yen, J. (2009). Challenges to effective crisis management: Using information and communication technologies to coordinate emergency medical services and emergency department teams. *International Journal of Medical Informatics,* 78(4), 259-269.

[29] Seo, C. Y., Kim, D. W., & Kim, Y. C. (2009). Business process framework based on the closed architecture. *The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 10(8), 1939-1946.

[30] Seo, H. J., Yoon, S. S., & Kim, H. S. (2018). A survey on installation and management of automated external defibrillators. *The Korea Academia-Industrial cooperation Society,* 9(7), 245-251.

[31] Son, S. h. (2011). *Business process management,* Booknet, Seoul.

[32] Tyagi, S., Agarwal, A., & Maheshwari, P. (2016). *A conceptual framework for IoT-based healthcare system using cloud computing.* In 2016 6th International Conference-Cloud System and Big Data Engineering (Confluence) (pp. 503-507). IEEE.

[33] Wang, Z. and Bae, H. R. (2008). Analysis of business process efficiency based on task assignments. *Korean Management Science Review,* 26(1), 127-136.

한 현 수

미국 매사추세츠 대학 경영학 박사
현재: 한양대학교 경영대학 교수
관심분야: 오퍼레이션 혁신,
ICT 기반 산업융합,
공급사슬,
계량분석,
중소기업 정보화

서 경 수

한양대학교 경영학 박사
현재: 서울교통공사 도시철도연구원
관심분야: 유지보수 시스템 및 관리,
ICT 기반 운영혁신,
도시철도 차량 운영

강 태 욱

한양대학교 경영학 석사
현재: 한양대학교 경영학 박사과정
관심분야: IoT 기술,
옴니채널,
실버 ICT

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management
Vol. 20, No. 2, pp.95 ~ 105, October 2020

ISSN 1598-382X
https://doi.org/10.25052/KSCM.2020.10.20.2.95

중국 시장의 공급업체 개발 역량과 성과 간 관계에 대한 환경경영 실행 요인의 조절효과 연구

김영길*.박정수**†

*신한대학교 글로벌통상경영학과 · **중앙대학교 다빈치 교양대학

Moderating Effect of Environmental Management Practice Factors on Relationship between Supplier Development Capability and Performance in Chinese Market

Yeong-Gil Kim* · Jeong-Soo Park**†

*Dept. of Global Trade and Management, Shinhan University
**Da Vinci College of General Education, Chung-Ang University

This study verifies whether supplier development capacity of Chinese companies affects positively on performances of them by conducting surveys on a sample consisting of many types of Chinese companies. In the second stage of the study, we tried to confirm whether human environmental management factor and system environmental management factor, as the two important factors in environmental management practice factors, have positive moderating effect on the relationship between supplier development capacity and performances respectively. To verify these research goals, we conducted empirical surveys on 259 companies in Chinese market. As the results, in the first stage of this empirical study, we found that the independent variable of supplier development capacity affects positively in statistical significance on the dependent variable of performances of companies. Secondly, in environmental management practice factors, only system environmental management factor shows positive moderating effect on the relationship between quality management practices and performances, while human environmental management practice factor does not.

Keyword : Supplier development capability, Environmental management practice, Performance, Moderate regression

---

† **Corresponding Author** : 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, Korea, Tel.: 82-2-820-6798, Email: poshboy@cau.ac.kr
Received: 6 October 2020, **Accepted**: 27 October 2020

1. 서론

폐기물 증가에 의한 공기, 토양, 해양 오염과 온실가스 배출에 의한 지구온난화로 연결되는 환경 파괴와 오염은 경제 개발과 산업화를 위한 피할 수 없는 부산물로 간주되어 왔으나 이제는 이러한 환경 문제가 범세계적 차원의 문제로 그리고 인류 전체에 피해를 주는 심각한 단계에 접어들고 있다.

이러한 환경문제의 해결 혹은 완화를 위하여 교토의정서로 시작된 다양한 국제협약 및 활동들이 진행되고 있으며 경영 분야에서 이러한 방향에 발맞추어 제시된 개념이 바로 환경경영(Environmental Management)이라고 볼 수 있다. 다양하게 정의가 내려지는 환경경영은 요약하면 여러 가지 환경과 관련 문제들의 해결을 시도하면서도 그로 인해 수익성을 포기하지 않는 방향으로 정의될 수 있다. 즉, 기업들이 환경적 지속가능성과 경제적 수익성 중 하나를 포기하는 것이 아니라 동시에 달성하려는 기업의 다양한 활동과 전략을 의미한다(이병욱 외, 2005).

한편 경영환경의 급속한 변화로 인하여 과거의 개별 기업 단위의 최적화를 넘어서 공급업체-제조업체-유통업체로 이루어지는 전체 공급사슬 차원의 비용 감소와 고객만족을 추구하는 공급사슬관리(SCM)는 공급사슬 구성 기업들 간의 협력과 협업을 강조하는 접근으로서, 최근의 경쟁은 기업 간 경쟁이라기보다는 공급사슬관리 간의 경쟁으로 변화하고 있다.

SCM의 다양한 전략과 방향 중 '공급업체 개발' (supplier development)은, 한 기업 단위의 능력과 성과의 향상이라는 협소한 관점을 탈피하여 부품 또는 원재료 등을 제공하는 공급업체의 능력 및 성과를 향상시킴으로써 넓게는 공급사슬 전반의 능력 및 성과를 개선하고 공급사슬 구성원 기업 모두의 품질 향상을 달성함으로써 공급사슬 차원의 경쟁력 강화와 수익 극대화를 추구하는 방향으로 정의될 수 있다.

위에서 언급된 환경경영과 공급사슬관리에 대한 기존의 연구는 매우 많으나 공급사슬관리의 한 방향으로서 공급업체 개발 역량과 환경경영의 실행방식을 연계시킨 연구는 찾아보기 어려운 상황이다. 본 연구는 이러한 상황에 착안하여 공급업체 개발 역량과 성과와의 영향 관계를 먼저 검증한 후 환경경영 실행방식을 인적 요인 및 시스템적 요인으로 구분하여 그 각각이 공급업체 개발 역량과 성과 사이의 관계에 대해 조절적 효과를 갖는지 갖는다면 어느 요인이 갖는지를 검증하는 것을 연구 과제로 설정하였다. 이러한 연구모형의 설정 과정에서 활용된 성과 개념은 일반적 관점에서 정의되어 매출액 증대, 영업이익 증대, 시장 점유율 증대, 투자 수익률 증대, 자산 수익률 증대 정도 등이 포함되었다.

보다 구체적으로 살펴보면 본 연구는 중국시장에서 활동하는 업체들을 연구대상 표본으로 하여 공급업체 개발 역량이 성과에 긍정적 영향을 미치는가를 검증하는 것을 첫 번째 연구목표로 설정하였다. 그 다음 단계의 연구로서, 공급업체 개발 역량과 성과 사이의 관계에 대하여 환경경영 실행 방식 중 인적 환경경영 실행 요인과 시스템적 환경경영 실행 요인이 각각 긍정적인 조절적 효과를 갖는가를 검증하는 것을 두 번째 단계의 연구목표로 설정하였다.

본 연구는 다음의 순서로 진행하려 한다. 다음에 오는 두 번째 장에서 연구 주제와 연결되는 기존의 문헌 및 연구들을 검토한다. 세 번째 장에서는 본 연구에서 검증하고자 하는 모형과 가설을 제시한다. 네 번째 장에서는 세 번째 장에서 설정된 연구의 모형과 가설들이 실증적 분석을 통하여 검증된다. 다섯 번째 장에서는 본 연구의 연구결과가 요약되고 그것의 의미와 공헌이 제시된다.

2. 기존 관련 문헌 연구

2.1. 공급업체 개발 역량

Hahn 등(1990)의 연구는 공급업체 개발 역량을 경쟁력을 지닌 공급업체 네트워크를 창출 및 유지하려는 조직 차원의 모든 체계적인 활동과 노력으로 정의하고 있는데, 이것은 공급업체 개발 역량의 개념을 제시한 최초의 연구들 중의 하나로 인정되어 왔다.

Krause 등(1998)은 공급업체의 성과를 측정하고 개

선하기 위해 요구되는 활동, 구매업체에 공급하는 제품 및 서비스의 가치 개선을 가능하게 하는 활동으로 공급업체 개발 역량을 정의하고 있다. 즉, 그것은 구매 업체로 공급되는 제품 및 서비스의 가치를 향상시키며 공급업체의 성과 측정 및 향상을 위한 구매업체의 모든 노력과 활동을 뜻한다. 후속 연구인 Krause 등(2000)의 연구에서는 공급업체 개발 역량을 공급업체의 성과와 역량을 향상시키려는 노력과 구매업체의 장단기 공급 요구를 만족시키려는 모든 노력으로 정의하고 있다.

De Toni와 Nassimbeni(2000)에서는 공급업체 개발 역량으로서 공급업체의 선택과 모니터링, 공급업체에 대한 지원과 훈련, 공급업체에 대한 인센티브의 제공, 공급업체의 조직을 통합시키는 것을 들었다.

Sanchez-Rodriguez 등(2005)의 연구는 공급업체 개발 역량을 새로운 관점에서 기본적(basic) 레벨, 중간(moderate) 레벨, 고급(Advanced) 레벨로 분류하였다. 기본적 레벨에서의 공급업체 개발 역량은 공급업체의 성과 평가 및 피드백, 부품의 표준화, 공급업체에 대한 인증을 포함한다. 중간 레벨의 공급업체 개발에는 공급업체에 대한 보상과 인정, 공급업체와의 교류, 공급업체에 대한 훈련이 포함된다. 고급 레벨에는 공급업체에 대한 정보의 교환, 제품 개선과 신제품 개발에서 공급업체와 협력, 신제품 개발 과정에의 공급업체 참여가 포함된다.

Modi와 Mabert(2007)의 연구는 기존의 연구들을 정리하여 공급업체 개발 역량을 네 가지로 분류하였다. 첫 번째는 '경쟁의 압력' 인데, 다수 공급업체와의 거래를 통해 그들에게 시장의 경쟁에 의한 압력을 받도록 해야 한다는 것이다. 둘째, '시스템적 평가 및 인증' 역량은 공급업체들이 기대하는 성과를 인식하는 것이 공급사슬 차원의 성과에 영향을 끼친다는 것이다. 셋째로 '동기부여' 는 구매업체 및 공급업체 사이의 비용 절감의 공유 및 보상을 포함하는 활동들을 뜻한다. 넷째의 '직접적인 개입' 은 구매업체가 공급업체 측에게 설비와 자본 측면의 지원을 제공하는 것을 의미한다.

Li 등(2007)의 연구는 공급업체 개발 역량을 새로운 관점에서 정의하였다. 그들은 기업이 발생하는 원인을 외부 거래에서 발생하는 비용을 감소시키는 것이라고 보는 '내부화의 이익' 관점에서 그것을 정의한다. 이것은 경제학에서는 '거래 비용 경제학' (Transaction Cost Economics)으로 불린다. 이러한 새로운 관점에서 그들은 공급업체 개발 역량을 네 가지로 분류하였는데, 그 첫째는 '자산 측면의 특유성' 의 크기로서, 특정한 구매업체와의 거래를 위하여 공급업체가 보유하는 설비와 투자의 규모 및 크기를 뜻하며 이것이 크고 많을수록 거래관계는 더욱 심화되는 것으로 보았다. 둘째는 '공동의 행동' 이며 이는 공급업체와 구매업체 모두에서의 성과 측면의 개선을 위해 요구되는 실제적인 활동과 노력을 뜻한다. 셋째로는 '기대된 성과' 인데 이것은 구매업체가 기대하는 공급업체의 성과 측면의 개선을 의미하며 이것은 공급업체가 성과를 개선하게 하는 동기부여적인 기능을 수행한다. 넷째의 '신뢰의 정도' 는 구매업체와 공급업체 간에 접촉과 교류가 활발하게 수행되는 경우에는 이기주의적 행동의 위험을 줄일 수 있음을 뜻한다.

Wagner와 Krause(2009)의 연구는 공급업체 개발 역량으로서 공급업체 평가 및 피드백, 공급업체에 대한 훈련, 종업원의 교류와 접촉, 다양한 종류의 커뮤니케이션 통합을 들고 있다.

Ghijsen 등(2010)의 연구는 독특하게 공급업체 개발 역량을 인적인 것과 자본적인 것으로 분류하였다. 인적인 공급업체 개발 역량으로는 기술적 측면의 지원, 업체 간 교류, 제품 설계 과정에의 참여를 들고 있고, 자본적인 공급업체 개발 역량으로는 특정한 기업 간 거래에서만 활용되는 공통적인 설비 및 도구, 특정한 기업들 사이의 거래만을 위해 투자된 자본, 특정한 기업들 간의 거래에서만 사용되는 공통적인 원료와 부품을 들었는데 이는 앞서 언급된 자산 측면의 특유성과 유사한 관점이다.

Mahapatra 등(2012)의 연구는 공급업체 개발 역량을 구매업체가 공급업체의 운영능력을 향상시키기 위하여 공급업체에 투자하는 능력으로 정의하였는데, 직접적 재무 측면의 지원, 기술적 측면의 지원, 품질 개선을 위한훈련 측면에서의 지원을 포함시키고 있다.

Wu(2017)는 최근 관심이 집중되고 있는 개념인 기업의 사회적인 책임의 틀 내에서의 공급업체 개발

역량과 혁신 역량이 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 측면의 성과에 영향을 미치는가를 주제 하에 연구를 수행하였다. 그는 '사회적 책임을 지향하는 공급업체 개발' 개념을 제안하였는데 그것에는 사회 지향적인 정보의 공유, 사회 지향적 측면에서의 공급업체에 대한 평가, 사회 지향적인 관계에 대한 관리(involvement)로 구분되었다. 이 중 셋째의 사회 지향적인 관계에 대한 관리에는 인력의 할당, 재무적 측면의 지원, 교육과 훈련 및 보상 등의 기존에 자주 언급된 공급업체 개발 역량 요소들을 포함시켰다.

Lo 등(2018)은 환경 친화적인 공급사슬의 통합이 기업 성과에 미치는 영향에 있어서 관계에서의 품질 변수와 공급업체 개발 역량의 조절적 영향을 미치는가를 확인하는 연구를 수행하였다. 이 연구에서 이들은 공급업체 개발 역량을 기술적 측면의 지원, 생산 프로세스의 개선 촉진, 공급업체에 대한 훈련의 지원, 공급업체의 프로세스 개선에 대한 지원으로 구성하였다.

Manzoor 등(2019)은 공급업체 개발 역량과 운영 성과, 시장 반응성과의 관련성을 검토하는 연구에서 공급업체 개발 역량에 자산적 특유성, 공동행동, 성과에 대한 기대, 신뢰의 네 가지 구성요소를 포함시켰다.

2.2. 환경경영 실행 요인

환경경영(Environmental Management)이란 산성비, 사막화, 대기 오염, 토양 오염, 해양 오염, 온실가스의 발생, 지구온난화 등 사람들에게 피해를 입히는 여러 가지 환경 문제를 해결 혹은 감소시키면서도 경제적인 수익성을 희생하지 않는 것을 목표로 하는 경영에서의 다양한 접근방향을 의미한다(Porter & Van der Linde, 1995). 초기의 환경경영 관련 연구들은 생태학적(ecological) 관점에서 시작하여 기업의 환경측면에서의 성과 개선을 위한 여러 가지 활동을 포괄하였다. Wolters 등(1995)에 의하면 환경경영은 환경과 관련된 기업 활동의 유해한 영향들을 통제하거나 감소시키려는 여러 활동으로 정의하였다.

Hart(1995)에 따르면 환경경영이란 기업이 경제적인 그리고 생태적인 성과들 모두에서 최선의 상태를 담보하기 위한 기업의 여러 활동으로 정의되며, Orsato(2006)에 의하면 환경경영은 환경 측면에서 기업의 성과를 개선시키기 위한 전략과 시스템으로 파악된다. 이와 같이 환경경영은 최초에는 기업의 환경적 측면에서 대한 부정적인 영향력을 통제하는 소극적인 관점과 다른 한편으로 환경경영을 기업의 다양한 기능 및 전략에 통합시켜 성과를 개선하려는 적극적인 관점의 두 가지 방향으로 분류될 수 있었다.

Fiksel(1996)의 연구는 환경개선 지향적 설계(Design for Environment)를 신제품 개발의 첫 단계로부터 환경적 성과 개선을 추구하는 설계상의 접근으로서 정의하였으며 이에 입각하여 환경경영에서의 차별화된 실행 방식을 제안하였다. 즉, DFE는 환경개선 지향적인 생산 프로세스를 채택하여 보다 안전하면서도 환경 효율성이 높은(eco-efficient) 설계를 실시함으로써 더욱 청정(clean)하고, 즉 폐기물을 줄이고 지속가능성이 높은(maintainable) 신제품의 생산을 지향한다. 이를 응용한 청정생산 프로세스(cleaner production process)는 오염물의 예방, 원재료 교체, 생산 프로세스 변경을 통해 생산 측면에서 환경친화성을 높이려는 접근을 의미한다. 이에 의하여 DFE를 통해 제조되는 청정하면서도 지속가능성이 높은 제품들은 오염 및 폐기물을 줄이면서도 비용을 늘리지 않고 생산된 제품의 기능은 계속 유지하는 혁신이 필요하게 된다. 보다 넓은 관점에서 DFE의 접근은 원재료 변경, 원천적으로 폐기물 감축, 에너지 절약, 제품 수명의 연장과 같은 실행 방식을 포함한다.

Van Berkel(2007)의 연구는 환경의 보호 및 재활용을 위한 환경개선 지향적 공학의 원칙들을 제시하였다. 그러한 원칙에는 무독성 원재료와 에너지 사용, 폐기물의 원천 방지 설계, 공간·시간·에너지의 효율성을 높이는 설계, 환경개선 지향 설계, 지속가능성 향상을 지향하는 설계, 환경적인 요구를 충족시키는 설계, 자원의 다양성을 감소시키는 설계, 프로세스 통합을 지향하는 설계, 원재료 및 에너지의 재활용 지향 설계 등이 포함되고 있다.

Feng 등(2014)은 중국 제조업체들을 대상으로 환경경영의 시스템 및 환경 친화적 조직학습을 지향하는 노력의 적합성이 성과에 미치는 영향을 검토하는 연구에서 환경 경영 실행과 환경 측면의 조직학습 지

향 노력이 성과에 긍정적인 영향을 제공한다는 결과를 제시하였다.

Aslam 등(2020)은 환경경영 실행이 환경 성과에 미치는 영향에 대한 환경 감사의 조절효과를 검증하는 연구에서 환경경영 실행 구성 요소로서 환경경영 전략 수립, 환경경영 목표의 설정, 환경 친화적 프로세스의 설계와 운영, 환경경영 실행과 교육훈련 조직의 운영, 환경 친화적 모니터링의 실행을 들고 있다.

본 연구는 공급업체 개발 역량을 인적인 것과 자본적인 것으로 분류한 Ghijsen 등(2010)의 연구를 환경경영에 적용하여 인적 환경경영 실행 요인과 시스템적 환경경영 실행 요인으로 구분하여 연구에 활용하고자 한다. 즉, 인적 역량, 기술 측면, 교류, 설계에의 참여와 관련된 것은 인적 환경경영 실행 요인으로, 그리고 자본적 역량을 적용하여 설비, 도구, 투자자본, 원료 및 부품 등은 시스템적 환경경영요인으로 구분하였다.

3. 연구모형과 가설

본 연구는 중국 시장에 소재한 기업들을 연구 대상 표본으로 하여 공급업체 개발 역량, 성과, 인적 환경경영 실행 요인, 시스템적 환경경영 실행 요인들이 개념으로서의 적합성을 갖는가를 타당성 및 신뢰성 분석을 통하여 검증하고 공급업체 개발 역량이 독립변수로서 종속변수인 성과에 대하여 긍정적 영향력을 갖는지를 검증하고자 하는 것을 첫 번째 연구 주제로 설정하였다. 나아가 추가적 분석으로써 공급업체 개발 역량과 성과 사이의 관계에 대해 인적 환경경영 실행 요인과 시스템적 환경경영 실행 요인이 각기 조절효과를 갖는지를 검증하고자 하였다. 이와 같은 2단계에 걸친 연구 설계는 아래의 <Fig. 1>과 같이 개념적 연구 모형으로서 표현된다.

환경경영 실행 방식을 인적 요인과 시스템적 요인으로 구분하는 것은 Ghijsen 등(2010)을 참고하였으며, 연구가설 1의 설정은 Klassen과 McLaughlin(1996)을 참고하였으며, 연구가설 2와 3은 기존의 연구들과 차별화되는 새로운 가설로서 설정되었다.

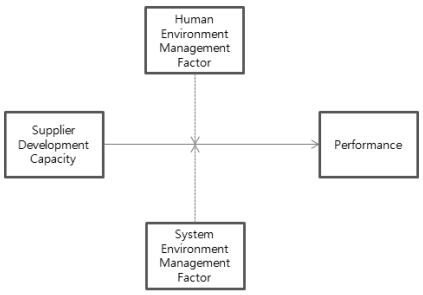


Fig. 1. Conceptual research model

이러한 연구 설계 및 모형에 따라 설정된 본 연구에서 검증될 가설들을 살펴보면 아래와 같다.

연구가설 1: 중국 시장에서 공급업체 개발 역량은 성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

연구가설 2: 중국 시장에서 인적 환경경영 실행 요인의 적극적 수행은 공급업체 개발 역량과 성과 간 관계에 대하여 정(+)의 조절효과를 나타낼 것이다.

연구가설 3: 중국 시장에서 시스템적 환경경영 실행 요인의 적극적 수행은 공급업체 개발 역량과 성과 간 관계에 대하여 정(+)의 조절효과를 나타낼 것이다.

4. 실증 분석 결과와 해석

4.1. 조사 대상 기업의 특성

본 연구는 중국에 소재한 292개 기업들을 대상으로 하여 설문 조사가 이루어졌으며 응답이 부실하거나 결측치가 있는 32개를 제외하고 총 259개 기업의 설문지를 대상으로 하여 실증적 분석이 수행되었다. 설문은 해당 기업의 중간관리자 이상을 대상으로 하여 실시되었으며 응답자들의 근무 연수는 1년 이하가 66명, 1년에서 3년 미만이 64명, 3년에서 5년 미만이 44명, 5년에서 10년 미만이 85명이었다. 본 연

구는 중국의 대도시에 소재한 기업들의 중간관리자 이상을 대상으로 온라인 및 오프라인 모두를 통하여 설문이 이루어졌다.

아래의 <Table 1>에 나타난 바와 같이 조사 대상 기업들을 업종에 따라 분류하면 기계 업종이 153개 업체, 자동차 업종이 13개 업체, 전기/전자 업종이 8개 업체, 화학 업종이 44개 업체, 식품가공이 30개 업체, 기타 업종이 11개 업체였다.

한편 <Table 2>와 같이 조사 대상 업체들을 인원수에 따라 분류해 보면, 30명에서 50명 미만이 3개 업체, 50명에서 100명 미만이 83개 업체, 100명 이상에서 150명 미만이 58개 업체, 150명에서 200명 미만이 59개 업체, 200명 이상이 56개 업체였다.

Table 1. Classification of sample companies for industry standard

Item		No.	Ratio
Industry Standard	Machinery	153	59.1%
	Automobile	13	5.0%
	Electric/electronics	8	3.1%
	Chemical	44	17.0%
	Food production	30	11.66%
	Etc.	11	4.2%
	Total	259	100%

Table 2. Classification of sample companies for the number of employees

Item		No.	Ratio
Number of Employees	30 ~ less than 50	3	1.2%
	50 ~ less than 100	83	32%
	100 ~ less than 150	58	22.4%
	150 ~ less than 200	59	22.8%
	over 200	56	21.6%
	Total	259	100%

4.2. 변수의 조작적 정의와 타당성 및 신뢰성 검증

본 연구에 활용된 독립변수, 종속변수, 조절 변수로서의 개념(construct)들에 대해 설문지에서 사용된 문항들이 타당성을 갖는가를 검증하기 위해 공급업체 개발 역량 개념, 성과 개념, 인적 환경경영 실행 요인, 시스템적 환경경영 실행 요인에 대하여 탐색적 요인분석이 실행되었고 아래 <Table 3>에 각 개념에 대한 설문 문항들과 탐색적 요인분석의 결과가 제시되어 있다. 네 가지 개념 혹은 변수 모두가 적재(loading) 값으로써 0.6 이상을 나타내었고 KMO 값은 0.899를 기록하여 네 가지 개념 모두의 타당성을 검증하였다.

다음에는 네 가지 변수 혹은 개념들에 대하여 각 측정문항들에 대한 신뢰도를 측정하기 위해 일반적으로 많이 활용되는 크론바하의 알파 값에 의한 검증을 수행하였다. <Table 3>의 맨 오른쪽 열의 결과와 같이 네 가지 변수 혹은 개념 모두 0.8 이상을 기록하여 일반적 기준을 상회하는 결과를 보였고 이러한 결과는 네 가지 변수 혹은 개념의 신뢰성이 확보되었음을 나타낸다.

Table 3. Operational definition of survey items and results of confirmatory factor analysis

Construct	Survey Question	Facr 1	Fac 2	Fac 3	Fac 4	Cronbach's α
Supplier Development Capacity	SD1: Degree of utilizing SCM program actively	.834	.194	.123	.242	.867
	SD2: Degree of standardizing logistics procedures	.790	.277	.140	.213	
	SD3: Degree of exchanging demand info. with supplier	.785	.278	.126	.217	
	SD4: Degree of technological support and communication	.779	.276	.201	.160	
	SD5: Degree of having meetings to respond to changes	.772	.241	.183	.265	
Performance	PER1: Sales increase over last 2 years	.154	.834	.118	.140	.924
	PER2: Operating profit increase over last 2 years	.167	.829	.116	.206	
	PER3: Market share increase over last 2 years	.266	.767	.043	.151	
	PER4: Return on investment increase over last 2 years	.340	.681	.206	.160	
	PER5: Return on asset increase over last 2 years	.368	.658	.228	.099	
Human Env. Mgt. Factor	HEM1: Including EM in vision and strategy of company	.172	.131	.908	.092	.812
	HEM2: Making and using indicator and manual for EM	.155	.180	.866	.154	
	HEM3: Making human effort to reduce greenhouse gas	.158	.129	.850	.094	
System Env. Mgt. Factor	SEM1: Using eco-friendly resource/packaging material	.225	.137	.042	.850	.838
	SEM2: Redesigning into eco-friendly production process	.245	.220	.242	.739	
	SEM3: Disposing wastes in eco-friendly ways	.363	.246	.122	.671	
Measures	Kaiser-Meyer-Olkin measure	.899				
	Bartlett's Test	2797.065				

4.3. 실증적 분석 결과

본 연구의 3장(연구모형과 가설)에서 설정된 가설들을 검증하기 위해 회귀분석의 모형과 조절적(위계적) 회귀분석 모형에 의한 실증적 분석을 실행하였다. 3장에서 설명된 바와 같이 연구가설 1은 공급업체 개발 역량이 독립변수로서 성과의 종속변수에 정(+)의 영향을 미칠 것이라는 내용이었으며 이를 검증하기 위하여 회귀분석 모형으로 실증분석을 수행하였다. 아래 <Table 4>의 Step 1의 결과와 같이 연구가설 1은 채택되었다. 이 회귀모형 전체의 유의도를 의미하는 F값은 161.8 로서 충분히 큰 값이기 때문에 1% 유의수준에 유의한 결과를 보였으며, 회귀모형의 상수항과 환경경영 역량 변수의 계수도 0.974와 0.685를 기록하면서 유의수준 1%에서 역시 유의한 결과이며 이는 해당 항목의 t 통계량 값이 큰 값을 나타내는 것으로도 알 수 있다. 연구모형의 설명력을 나타내는 조정된 결정계수는 0.384를 기록하였다. 이러한 결과는 조사 대상 기업들에 있어서 공급업체 개발 역량의 향상은 성과에 긍정적인 영향력을 제공한다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 환경경영의 고전적 연구인 Klassen과 McLaughlin(1996)의 연구 결과와 일치한다.

본 연구의 두 번째 연구가설은 공급업체 개발 역량과 성과 간의 관계에 대하여 환경경영 실행 요인 중 인적 환경경영 실행 요인이 긍정적인 조절 효과를 갖는가를 검증하는 것이었다. 이를 위하여 조절적(위계적) 회귀분석 모형에 의한 실증 분석이 수행되었고 그 결과는 아래 <Table 4>의 Step 2에 제시되어 나타나 있다.

Table 4. Relationship between supplier development capacity and performance, and moderating effect of human environment management factor

Variable	Step 1			Step 2		
	B	Standard deviation	t value	B	Standard deviation	t value
Constant	0.974**	0.206	4.734	0076	0.906	0.084
Supplier Development Capacity	0.685**	0.054	12.722	0.750**	0.236	3.183
SDC * Human Environment Management Factor	-	-	-	0.347	0.258	1.345
adj-R^2	0.384			0.414		
ΔR^2	-			0.030		
F	161.8**			13.969**		

**: $p < 0.01$

<Table 3>의 Step 2의 결과와 같이 모형 전체의 유의성을 나타내는 F 통계량은 13.969로서 1% 유의수준에서 유의한 결과를 나타내었지만 0.076을 나타낸 상수항 그리고 0.347을 기록한 공급업체 개발 역량과 인적 환경경영 실행 요인의 곱한 값에 해당하는 항의 계수는 유의하지 않은 결과를 보였다. 한편 모형의 설명력을 의미하는 결정계수는 0.414로서 Step 1의 회귀모형보다 0.03만큼 증가하는데 그쳤다. 이러한 결과를 종합하면 연구가설 2는 기각되었음을 알 수 있다.

다음으로 가설 1에 해당하는 모형, 즉 공급업체 개발 역량과 성과와의 관계에 대하여 환경경영 실행 요인 중 시스템적 환경경영 실행 요인이 조절효과를 갖는가를 검증하는 것이 3장에서 설정되었던 연구가설 3이며, 이를 조절 회귀분석 모형에 의해 검증한 결과는 <Table 5>의 Step 3에 제시되어 있다. 모형의 유의성을 나타내는 F 통계량은 61.450으로서 1% 유의수준에서 유의한 결과를 보였으며 0.158의 상수항을 제외한 공급업체 개발 역량 변수의 계수(0.420) 그리고 공급업체 개발 역량 변수와 시스템적 환경경영 실행 요인 변수를 곱한 변수의 계수(0.385)도 모두 1% 유의수준에서 유의한 결과를 나타내었다. 설명력 측면에서도 조정된 결정계수가 0.501을 기록하여 Step 1의 모형보다 0.117이나 증가하였음을 알 수 있다. 이러한 결과들을 종합하면 연구가설 3은 채택되었음을 알 수 있다. 이러한 결과가 시사하는 것은 중국 시장의 조사 대상 업체들에 있어서 공급업체 개발 역량의 향상과 시스템적 환경경영 요인 향상을 동시에 시도하는 것은 성과 개선에 대하여 적합성을 지니게 되기 때문에 양자를 동시에 실시하고 향상시키도록 노력하는 방향이 성과를 더욱 향상시키는 것을 기대할 수 있다는 것이다.

이러한 결과에 대해서는 환경경영의 실행에 있어서 시스템적인 요소들의 향상을 위한 노력과 투자는 공급업체 개발 역량의 향상과 시너지적 효과를 가지면서 단기적인 성과 개선에 도움을 제공하지만, 인적 환경경영 요소들은 단기적 성과 개선에는 공급업체 개발 역량과 결합한 성과 개선 효과를 갖지 않는다는 설명이 가능하다. 즉, 인적 환경경영 실행 요소들이 성과 개선에 긍정적 영향을 미치려면 어느 정도의 시간이 지나야 한다는 시사점을 제공하는데, 이러한 결과는 생산관리 혹은 정보기술에 있어서 기업의 투자 및 노력은 시간이 경과되어야 성과 개선의 효과가 나타난다는 '생산성 역설'의 논리와 연결되는 것이라고 설명할 수 있다(Skinner, 1986; Brynjolfsson, 1993).

Table 5. Relationship between supplier development capacity and performance, and moderating effect of system environment management factor

Variable	Step 1			Step 3		
	B	Standard deviation	t value	B	Standard deviation	t value
Constant	0.974**	0.206	4.734	0.158	0.211	0.748
Supplier Development Capacity	0.685**	0.054	12.722	0.420**	0.058	7.262
SDC * System Environment Management Factor	-	-	-	0.385**	0.053	7.246
adj-R^2	0.384			0.501		
ΔR^2	-			0.117		
F	161.8**			61.450**		

**: $p < 0.01$

5. 결론

본 연구는 중국 시장의 기업들을 연구 대상 표본으로 하여 공급사슬관리의 한 방향으로서 공급업체 개발 역량이 성과에 긍정적 영향을 주고 있는지를 검증하는 것을 목표로 하였다. 그 다음 단계의 연구로서 공급업체 개발 역량과 성과 사이의 관계에 대하여 최근 중요시되는 기업의 활동 방향인 환경경영 실행 방식을 두 가지 방향으로 분류하여, 그 두 가지로서 인적 환경경영 실행 요인과 시스템적 환경경영 실행 요인이 각각 긍정적 조절효과를 갖는지를 검증하는 것을 두 번째 연구 목표로 설정하였다.

중국에 소재한 259개 업체들을 대상으로 하여 회귀분석 모형과 조절적 회귀분석 모형에 의한 실증적 검증을 실행한 결과, 첫째 중국 시장의 기업들의 공급업체 개발 역량은 성과에 긍정적 영향을 미친다는 가설은 채택되었다. 이러한 결과는 환경경영의 고전적 연구인 Klassen과 McLaughlin(1996)의 연구 결과와 일치하는 결과이다.

다음 단계의 실증적 연구로서 인적 환경경영 실행 요인과 시스템적 환경경영 실행 요인을 조절변수로 하여 실증분석을 실시한 결과, 두 조절 변수 중 후자의 시스템적 환경경영 실행 요인만 유의한 긍정적 조절효과를 갖는 것으로 나타났다. 이는 연구 대상인 중국시장의 기업들의 경우 공급업체 개발 역량과 시스템적 환경경영 요인은 상호간에 적합성을 가지면서 성과의 개선을 더욱 향상시키지만, 인적 환경경영 실행 요인의 경우에는 그와 같은 적합성을 갖지 않음을 뜻한다. 이와 같은 결과는 인적 환경경영 실행 요인의 경우 공급업체 개발 역량과 결합되어 성과 향상에 공헌하기 위해서는 어느 정도의 시간의 흐름이 필요함을 함축하는데 이는 생산운영관리 및 정보기술의 '생산성 역설'(Skinner, 1986; Brynjolfsson, 1993)의 논리와 연결되는 결과로 볼 수 있다.

본 연구의 공헌으로는 이론적 측면에서는 먼저 환경경영 실행 방식을 인적인 요인과 시스템적인 요인으로 구분하여 실증적으로 분석하는 새로운 방향을 제시한 점과 공급사슬관리보다 세부적으로 공급업체 개발 역량과 환경경영 실행 요인을 연결하는 연구를 시도 및 수행하였다는 점을 들 수 있다. 실무적 측면에서는 공급업체 개발과 환경경영의 동시 실행이 더 개선된 성과를 기대할 수 있게 한다는 시사점과, 인적인 요인은 성과 개선을 위해서는 시간의 경과가 요구될 수 있다는 시사점을 제공하였다는 점이다.

REFERENCES

[1] Aslam, S., Rehman, R., & Asad, M. (2020). Linking environmental management practices to environmental performance: The interactive role of environmental audit. *Parkistan Journal of commerce and Social Science,* 14(1), 99-119.

[2] Brynjolfsson, E. (1993). The productivity paradox of information technology. *Communication of the ACM,* 36(12), 67-77.

[3] De Toni, A. & Nassimbeni, G. (2000). Just-in-time purchasing: An empirical study of operational practices, supplier development and performance. *Omega,* 28, 631-651.

[4] Feng, T., Zhao, G., & Su, K. (2014). The fit between environmental management systems and organizational learning orientation. *International Journal of Production Research,* 52(10), 2901－2914.

[5] Fiksel, J. (1996). Achieving eco: Efficiency through design for environment, total quality environment management, 20, 47-54.

[6] Ghijsen, P. W., Semeijn J., & Ernstson, S. (2010). Supplier satisfaction and commitment: The role of influence strategies and supplier development. *Journal of Purchasing & Supply Management,* 16, 17-26.

[7] Hahn, C. K., Watts, C. A., & Kim, K. Y. (1990). The supplier development program: A conceptual model. *International Journal of Purchasing Material Management,* 26(2), 2-7.

[8] Hart, S. L. (1995). A natural resource based view of the firm. *Academy of Management Review,* 20(4), 986-1014.

[9] Klassen, R. & McLaughlin, C. (1996). The impact of environmental management on firm performance, management science, 42(8), 1199-1214.

[10] Krause, D. R., Handfield, R. B., & Scannell, T. V. (1998). An empirical investigation of supplier development: Reactive and strategic processes. *Journal of Operations Management,* 17, 39－58.

[11] Krause, D. R., Scannell, T. V., & Calantone, R. J. (2000). A structural analysis of the effectiveness of buying firm's strategy to improve supplier performance. *Decision Sciences,* 31(1), 33-55.

[12] Lee, B., Whang, K., & Kim, N. (2005). *Environmental management: A new paradigm in management*. Eco Libro.

[13] Li, W., Humpreys P. K., Yeung, A. C. L., & Cheng, T. C. E. (2007). The impacts of specific supplier development efforts on buyer competitive advantage: And empirical model. *International Journal of Production Economics,* 106, 230-247.

[14] Lo, S. M., Zhang, S., Wang Z., & Zhao, X. (2018). The impact of relationship quality and supplier development on green supply chain integration: A mediation and moderation analysis. *Journal of Cleaner Production,* 202, 524-535.

[15] Mahapatra, S. K., Das, A., & Narasimhan, R. (2012). A contingent theory of supplier management initiatives: Effects of competitive intensity and product life cycle. *Journal of Operations Management,* 30, 406-422.

[16] Manzoor, A., Khan, N., & Adeel, K. (2019). An empirical analysis of the buyer's perspective of gaining competitive advantage through supplier development. *South Asian Journal of Management Science,* 13(1), 56-73.

[17] Modi S. B. & Mabert, V. A. (2007). Supplier development: Improving supplier performance through knowledge transfer. *Journal of Operations Management,* 25, 42-64.

[18] Orsato, R. J. (2006). Competitive environmental strategies: When does it pay to be green? *California Management Review,* 48(2), 127-143.

[19] Porter, M. E. & van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment: Competitiveness. *Journal of Economic Perspective,* 9(4), 97-118.

[20] Sanchez-Rodriguez, C., Hemsworth, D., & Martinez-Lorenz, A. (2005). The effect of supplier development initiatives on purchasing performance: A structural model. *Supply Chain Management: An International Journal,* 10(4), 289-301.

[21] Skinner, W. (1986). The productivity paradox. *Management Review,* 75, 41-46.

[22] Wagner, S. M. & Krause, D. R. (2009). Supplier development: Communication approaches, activities and goals. *International Journal of Production Research,* 47(12), 3161-3177.

[23] Wolters, T., Bouman M., & Peeters, M. (1995). Environmental management and employment: Pollution prevention requires significant employee participation. *Greener Management International,* 11, 63-72.

[24] Wu, G. C. (2017). Effect of socially responsible supplier development and sustainability-oriented innovation on sustainable development: Empirical evidence form SMEs. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management,* 24, 661-675.

[25] van Berkel R. (2007). Eco-efficiency in primary metals production: Context, perspectives and methods. *Resource, Conservation and Recycling,* 51, 511-540.

김 영 길

서울대학교 경영학 박사
현재: 신한대학교 글로벌통상경영학과 조교수
관심 분야: SCM, 서비스 경영, 중국 경영

박 정 수

서울대학교 경영학 박사
현재: 중앙대학교 다빈치 교양대학 조교수
관심 분야: SCM, 서비스 경영, QR응용

한국SCM학회 연구 윤리 규정

제1조 (목적)

본 규정은 ‘한국SCM학회 연구 윤리 규정’이라 부르며 한국SCM학회(이하 “학회”라 한다)와 관련된 연구 행위가 연구 목적을 달성하기 위해 수행되는 과정에서 인간의 기본적, 사회 공동 윤리를 손상하지 않도록 윤리 규정과 기준을 정함을 목적으로 한다. 여기서 연구 행위라는 것은 학회가 주관 공동 주관하는 학술대회와 학회 학술지와 관련된 연구 수행, 결과, 발표 및 게재 등을 포함한다.

제2조 (적용 대상)

학회가 주관 또는 공동 주관하는 학술대회 발표와 학회 학술지 투고에 참여하는 학회의 회원들 외에 비회원들(이하 “저자”라 한다)에게도 준용된다.

제3조 (저자의 연구 윤리)

1. 저자는 아이디어의 도출, 실험 방법의 설계, 결과의 분석, 연구 결과의 발표, 연구 심사 등의 연구 행위에 있어 정직하여야 한다.
2. 저자는 타인의 연구나 주장의 전체 또는 일부분을 인용할 수 있다. 그러나 자신의 연구처럼 기술해서는 안 되며 반드시 정확하게 출처 표시와 참고문헌 목록을 작성하여야 한다.
3. 저자는 연구 수행과 결과에서 획득한 정보를 이용하여 부당한 이익을 추구하지 않는다.

제4조 (연구 내용의 기록, 보존 및 공개)

1. 저자의 연구 내용은 타 연구자가 해석 및 확인이 용이하도록 정확하게 기록하여야 하며, 연구 수행 시 활용된 주요 사실 및 증거는 보존해야 한다.
2. 연구 결과가 출판된 후 타 연구자의 요청이 있을 경우 보안이 보장되는 범위 내에서 연구 결과물이 타 연구자의 연구 수행에 도움이 되도록 최대한 노력한다.

제5조 (저저의 책임과 보상)

1. 연구 결과에 기재된 모든 저자들은 발표된 사실에 책임을 다하도록 한다.
2. 저자는 공식적인 공동 연구자 또는 연구에 직간접적으로 기여한 사람들로만 구성되며 상대적 지위와 무관하게 학술적 기여도에 따라 저자 표기 순서가 결정된다.
3. 학회지 및 학술대회 발표논문집에 게재된 논문은 저자가 저작권을 가지나 공동의 목적으로 사용될 때는 학회가 사용권을 가진다.

제6조 (연구 부정행위)

연구 수행 중에 발생하는 부정행위는 다음과 같다.

1. 위조: 존재하지 않는 데이터나 연구 결과를 허위로 만들어 내는 행위를 말한다.
2. 변조: 데이터의 변형이나 연구과정을 조작하여 연구 결과를 왜곡하는 행위를 말한다.
3. 표절: 정당한 인용 없이 타 연구자의 연구 결과를 저자의 연구 결과에 사용하는 행위를 말한다.
4. 중복게재: 타 학술지에 게재 또는 투고 중인 원고를 본 학회지에 투고하는 행위를 말한다.
5. 부당한 논문 저자 표시: 연구 수행 중에 학술적 기여도가 없는 자에게 연구 결과의 저자 자격을 부여하는 행위를 말한다.

제7조 (윤리위원회 구성)

1. 학회는 연구 윤리와 관련된 사항을 검토·심의·의결하기 위해 학회 내에 윤리위원회를 운영한다.
2. 윤리위원회 구성은 위원장 1인과 부위원장 1인을 포함하여 5인으로 구성한다.
3. 윤리위원장은 학회 공동회장 중 한 분이 담당하며, 윤리위원회 부위원장은 학회지 공동 편집위원장 중 한 분을 윤리위원장이 임명하며, 나머지 3인의 위원회 회원은 윤리위원장과 부위원장의 합의로 임명한다.

제8조 (연구 부정행위 제재)

연구 부정행위가 적발된 연구 및 저자에 대해서는 윤리위원회의 검토를 거쳐 정도에 따라 다음과 같이 제재를 가할 수 있다.

1. 학회 징계 서한 발송
2. 학회의 해당 학회지에서 해당 연구 결과 삭제 또는 수정 요구
3. 연구 관련자의 적정 기간 동안 논문 투고 금지
4. 연구 관련자의 적정 기간 동안 회원자격 상실 및 연구 관련자 소속기관 세부사항 통보
5. 학회에서 제명

제9조 (윤리위원회 운영)

1. 필요한 연구 윤리 제정 및 개정을 담당한다.
2. 제소된 회원 및 연구에 대해 윤리 규정 위반 여부 심의 및 위반에 대한 제재를 의결한다.
3. 제소된 사안에 대해 접수된 날로부터 60일 이내에 심의·의결한다.
4. 위원회는 위원회의 조사 기간 동안 조사 내용 및 과정에 대해 일체의 보안을 유지하고, 관련자들의 신상 정보를 보호한다.
5. 윤리위원회는 조사 결과 제소된 내용이 무혐의이거나 충분한 소명으로 혐의 사실이 해소될 경우 피고발자 혹은 혐의자의 명예를 회복하기 위해 적절한 후속 조치를 취할 수 있다.

제10조 (윤리위원회 제소 및 혐의자 의무)

1. 윤리위원회 제소는 회원 5인 이상의 서명을 받아야 한다.
2. 윤리위원회에 제소된 회원은 윤리위원회의 조사에 협조해야 한다.

제11조 (윤리위원회 의무)

1. 윤리위원회는 제소된 자에 대해 심의 결과가 확정되기 전까지는 회원으로 권리를 보장한다.
2. 윤리위원회에 제소된 자는 위원회에 충분히 소명할 권리를 갖으며, 위원회는 소명 및 반론 기회를 부여해야 한다.

제12조 기타 본 규정에 포함되지 않은 사항은 관계 법령과 사회적 규범에 의거 판단한다.

부 칙

제1조 (시행일)

본 규정은 이사회에서 의결된 날부터 시행한다.

2013. 1. 16. 이사회 제정

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management
Copyright Transfer Agreement

To: Editor of Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

Title of submitted manuscript: _____

Author(s)(Full Names): _____

I hereby certify that I agreed to submit the manuscript entitled as above to Journal of the Korean Society of Supply Chain Management with the following statements:

- This manuscript is author's original work and has not been published before. It will not be submitted again to other journals without permission from Editor of Journal of the Korean Society of Supply Chain Management if it is accepted for publication.
- This manuscript should not contain any libelous statements, defamation and privacy intrusion. Any legal or ethical damage should not be directed to the Korean Society of Supply Chain Management due to this manuscript.
- All authors contributed to this manuscript have equal responsibility with respect to the copyright problem.
- Copyright of the manuscript to be published in the Journal of Korean Society of Supply Chain Management is transferred to the Korean Society of Supply Chain Management.

I agreed Declaration of Ethical Conduct in Research & Statement of Copyright Transfer.

Date:

Author(s) Name and Signature:

한국SCM학회지 20권 2호 심사자 명단(가나다 순)

김경민(명지대학교), 김기태(한밭대학교), 김보성(부산대학교), 김상국(한국과학기술정보연구원), 문용마(서울시립대학교), 민대기(이화여자대학교) ,박건수(서울대학교) ,배혜림(부산대학교) ,서용원(중앙대학교) ,이근철(건국대학교), 이현수(금오공과대학교), 임성묵(동국대학교), 정영선(전남대학교), 정지복(공주대학교), 정호상(인하대학교), 최동현(한국항공대학교), 허원창(인하대학교)

학회지 심사를 위해 노고를 아끼지 않은 심사자 여러분들께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

한국 SCM 학회지 제20권, 제2호

인 쇄 / 2020년 10월 31일
발 행 / 2020년 10월 31일

발행인 / 고창성
편집인 / 임성묵 · 박건수

발행처 / 사단법인 **한국SCM학회**

경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 아주대학교
팔달관 812호
전화 031-211-5269 전송 031-214-5269
http://www.kscm.org

등록번호 ISSN 1598-382X