

한국 SCM 학회지

*Journal of the Korean Society of
Supply Chain Management*

Volume 21 Number 2

2021 October

 사단
법인 한국SCM학회

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

1. Double Covering 모형을

활용한 인천광역시 소방시설
최적위치 선정에 관한 연구

백승관 · 황태성

The purpose of this study is to find the optimal locations of fire fighting facilities in Incheon to prevent the spread of accidental fires and efficiently extinguish them. In the event of a large fire difficult to cope with in one fire fighting facility, additional support from nearby facilities will be necessary. The model proposed in this study firstly ensures that all demand nodes in a network will be able to be reached from the minimum number of facilities in a given time. At the same time, we locate the given number of facilities so that they can cover as many demand nodes as possible multiple times. This problem can be considered as a facility location problem which aims at maximizing the number of demand nodes that are covered at least twice while minimizing the number of facilities needed. The proposed model is applied to conduct a case study using road network information and administrative district data in Incheon.

11. 입출차 택배 차량의 허브 터미널 할당문제

고창성 · 정기호

Due to the increasing demand for parcel delivery, the amount of parcel delivery that couriers have to handle exceeds the current terminal capacity. To solve this problem, a new terminal will be built in addition to the existing terminal, or the terminal will be jointly used through alliances with competing courier companies. In this case, a hub terminal that can be used by courier companies is physically composed of several terminals. At this time, when a vehicle departing from a sub terminal arrives at the hub terminal, the decision to which terminal in the hub to allocate becomes a very important issue

for parcel delivery companies for efficient terminal operation. In a situation where the capacity that can be handled per day in the hub terminal is limited, minimizing the travel distance of vehicles between terminals in the hub plays a decisive role in increasing the efficiency of hub terminal operation. This study presented a mathematical model for determining which terminal in the hub should be allocated to vehicles arriving at the hub from each sub terminal, and from which terminal the vehicle going to the destination sub terminal should be released. A solution method using Excel is presented and in order to find out the possibility of practical application, 12 example problems are solved, and the results are analyzed and presented.

21. 불확실한 사플리밸류를 고려한 공동물류센터 건설비용 산정에 관한 연구

김재민 · 이준섭 · 정병도 · 조규성

The participation of logistics companies from the beginning assures the efficient design and operations of a joint logistics center. However, logistics firms find it difficult to provide reasonable construction cost estimates because since construction costs vary based on the development duration and unpredictable environments. Therefore, this study examines the construction process of a joint logistics center by considering the indefinite construction costs that may occur and the decision-making of the participating logistics firms under uncertainty. We develop two scenarios to reflect unpredictable environments and propose appropriate solutions using the Uncertain Shapley value. Using data of joint logistics centers by size, we explain the results from the deterministic and proposed models. The research methodology and findings offer fundamental results for carrying out sustainable cooperative logistics services among recently active logistics companies that want to participate in the construction of joint logistics centers.

31. AHP를 활용한 식품기업의 공급망 품질경영 실행 요인의 우선순위에 관한 연구

한태열 · 김승철 · 이태원

In this study, it was intended to present activities of high relative importance by deriving the priority of implementing SCQM activities. It was analyzed through the AHP technique by consisting of three factors in the first layer and nine factors in the second layer of SCQM activities. As a result of the analysis, it was found that internal quality management is a priority over quality management of suppliers and customer quality management in the front and rear of the supply chain in food companies, including food safety. Academic implications were presented in empirical studies, revealing the results of the importance of quality management within an enterprise as the implications of this study. It also provides practical implications by providing a basis for determining which factors should be paid more attention to in order for domestic food companies to derive quality performance.

43. 머신러닝을 활용한 공군 수리부속 수요예측 정확도 개선에 관한 연구

최명진 · 성대경 · 전동규 · 정병호

The following research is conducted to study how much demand prediction accuracy is improved when machine learning is implemented on ROKAF spare parts demand prediction calculations. Based on the data from the last three years of ROKAF's three major aircraft models, the study compares the demand prediction accuracy values computed through the time series technique and machine learning models. Generally utilized machine learning

models, such as Decision Tree(DT), Linear Discriminant Analysis (LDA), Logistic Regression(LR), K-Nearest Neighbor (K-NN) and Support Vector Machines (SVM), were implemented. Experiment results show that all machine learning models yield higher accuracy of the demand prediction than the time series technique. SVM, DT, K-NN and LR machine learning models yield excellent results, with accuracy values higher than 85%, while the LDA model shows relatively poor performance.

53. 인공지능 기반 콜드체인 제품 환경 분석 및 예측

박영태 · 김시구 · 이화섭 · 류광열

With the 4th industrial revolution, the 'Logistics 4.0' is gaining attention, which is based on the core technologies such as artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), big data and so on. As global logistics develops gradually in a competitive environment, enhancing the competitiveness of the logistics system has become essential. In the case of Korea, the existing distribution centers are limited to storage-oriented warehouse functions, it is necessary to switch to a smart logistics management system that incorporates Information and Communications Technologies (ICT). This paper proposes an AI-based method with a framework to analyze data of cold-chain products environment to extract and utilize meaningful information for facilitating smart logistics centers. By using data on cold-chain products environment, the AI-based model helps finding suitable logistics strategies while keeping product quality. In specific, outside temperatures and humidity of the delivery vehicle have

been used to predict the condition or temperature of inside the delivery vehicle as well as to draw the strategy of managing logistics condition. This study is expected to contribute to accelerating the implementation of smart logistics centers and enabling innovation in the smart logistics industry by creating new values in cold-chain products and logistics environment.

63. 머신러닝을 활용한 국고잔액 예측 모형 개발

송석현

The Government are always making various efforts to establish sound financial management and stable budget policies.. In particular, the work related to the fund plan and the operation plan of the treasury through manual work is subject to improvement, and a financial estimation system is needed to achieve it.. In this study, we wanted to analyze whether it is possible to predict the balance of the treasury by utilizing machine learning. First of all, we developed a forecasting model for treasury balances. In addition, to verify the applicability, the government balance predictability of machine learning techniques, performance verification, and major variable verification were performed. In detail, data collection and refinement, exploratory analysis, analytical model design and development, and analysis result review were studied. The analysis target data is 120 months of total data from 2010 to 2019, limited to income tax and value-added tax revenue forecasts, with monthly revenue volume and major taxes. This was predicted for 2019 tax revenue respectively. The application algo-

rithms are Linear Regression, Random Forest, and Gradient Boosting. According to the analysis, Linear Regression was the best in revenue and income taxes, while Gradient Boosting was the best in VAT. In conclusion, it was analyzed that machine learning was applicable to treasury predictions. This will allow quick results, scientific analysis through the introduction of big data-based models, and the person in charge will be able to improve predictive power through new model tests. It is also expected that the government's confidence in fiscal management will be improved.

73. 공급자 선택 프로세스: 4단계 개념적 프레임워크를 중심으로

추치아치아 · 김성수

A successful supply chain is highly depended on how to manage selection process for selecting qualified good supplier. With the development of the pandemic so far, it is spreading to more than 120 countries and regions around the world, and supply chains in various industries are being affected. Most companies talk about how to respond the immediate impact of the epidemic, such as supply chain disconnection, lack of workers, traffic disruption, black swan events, and the policy changes. In response to those disruptions, companies must start by building an efficient supplier selection process to select the right suppliers at the right time and right position. This survey paper is summarized several supplier selection frameworks and the methodologies which can be applied to each phase of supplier selection.

한국 SCM 학회지

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

투고논문 작성 요령

1. 제출방법

투고자는 논문을 한글 또는 MS워드 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 한국 SCM학회 연회비 납부회원이어야 투고할 수 있다).

2. 제출 철회

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

3. 표지 및 본문의 내용

논문 표지에는 국문으로 논문 제목, 저자명, 소속을 기입하고 영문으로 다시 논문 제목, 저자명, 소속을 기입한 후 영문 요약, 키워드를 차례로 기입한다. 표지 각주에는 사사표기, 교신저자 정보(영문 주소, 전화번호, e-mail 주소)를 기입한다. 표지의 다음 쪽부터 본문, 참고문헌, 부록 순으로 작성한다. 원고 작성 시 본문과 그림(그래프) 등은 모두 흑백으로 작성한다(컬러 그림(그래프) 사용 자제).

4. 영문 작성

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

5. Abstract 및 키워드

영문으로 기입된 저자 소속 아래 150단어 이내의 영문 요약(Abstract)을 기입하고, 그 아래 키워드를 5개 내외로 정해 영문으로 기입한다.

6. 각주(footnote)

- 연구비의 지원을 받아 연구가 이루어진 논문을 알릴 경우
- 교신저자의 연락처를 기재하는 경우
상기 2개 사항을 제외하고, 각주는 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다.

7. 저자 구분

논문의 저자 기재 시 제1저자, 제2저자 순으로 기재하며, 교신저자의 경우 “+” 표시를 이름 옆에 표기한다.

8. 본문 제목 일련번호 표기방법

장, 절, 항은 아라비아 숫자로 1., 1.1., 1.1.1., 등으로 표기한다.

9. 그림과 표

그림과 표는 제목과 내용을 모두 영문으로 작성한다. 그림 제목은 “Fig.”로 표기한 후 일련번호를 매기고, 그림 아래 가운데 정렬한다. 표의 제목은 “Table”로 표기한 후 일련번호를 매기고, 표 위 왼쪽 정렬한다. 모든 그림과 표는 본문의 적당한 위치에 삽입하고, 삽입이 어려운 경우에는 논문의 맨 뒤에 첨부한다.

10. 수식 표현

수식은 필요한 경우 아래 예시와 같이 오른쪽에 (1), (2), (3), ... 등으로 일련번호를 부여해 표기한다.

예시) $y = a_1x^2 + a_2x + a_3$ (1)

11. 참고문헌

참고문헌의 표제는 “REFERENCES”로 표기하고, 이하의 모든 내용은 영문으로 작성한다. 참고문헌은 [1], [2], ... 등의 일련번호를 붙여 알파벳순으로 나열한다. 인용된 문헌의 종류별 세부 작성 방식은 다음과 같다.

예시)

- 학술지

[1] Hayes, R. & Pisano, G. P.(2000). SCM Strategy in Korea. *SCM Journal*, 11(4), 25-41.

- 단행본

[2] Hayes, R.(2000). *SCM Strategy in Korea* (2nd ed). New Jersey: Prentice-Hall.

12. 논문 심사료 및 게재료

심사료는 5만원, 게재료는 10페이지(2단으로 편집된 최종 게재본 기준)를 기본으로 20만원이고, 10페이지 초과 시 페이지 당 2만원을 추가로 납부한다. 또한 각주 중 연구비 지원에 대한 사사표기가 있을 경우에는 10만원을 추가로 납부한다(연구비 지원 금액이 1천만 원을 넘지 않을 경우 사무국에 사사표기 금액 면제 요청 가능).

<송금처>

국민은행 031737-00-000482

(예금주: 사단법인 한국SCM학회 / 영수증 발급)

Double Covering 모형을 활용한 인천광역시 소방시설 최적위치 선정에 관한 연구*

백승관** · 황태성***†

인하대학교 물류전문대학원, *인하대학교 아태물류학부

A Study on Optimal Locations of Fire Fighting Facilities in Incheon using Double Covering Model*

Seung-Kwan Baek** · Taesung Hwang***†

Graduate School of Logistics, Inha University, *Asia Pacific School of Logistics, Inha University

The purpose of this study is to find the optimal locations of fire fighting facilities in Incheon to prevent the spread of accidental fires and efficiently extinguish them. In the event of a large fire difficult to cope with in one fire fighting facility, additional support from nearby facilities will be necessary. The model proposed in this study firstly ensures that all demand nodes in a network will be able to be reached from the minimum number of facilities in a given time. At the same time, we locate the given number of facilities so that they can cover as many demand nodes as possible multiple times. This problem can be considered as a facility location problem which aims at maximizing the number of demand nodes that are covered at least twice while minimizing the number of facilities needed. The proposed model is applied to conduct a case study using road network information and administrative district data in Incheon.

Keywords : Fire fighting facilities, Double covering model, Facility location problem

* 본 논문은 2021년도 인하대학교의 지원(INHA-65385)에 의하여 연구되었으며, 제1저자의 인하대학교 물류전문대학원 석사학위 논문을 수정 및 보완한 것임.

† **Corresponding Author** : Asia Pacific School of Logistics, Inha University, 100 Inha-ro, Michuhol-gu, Incheon, 22212, Korea.
Tel: +82-32-860-8230, E-mail: thwang@inha.ac.kr

Received: 5 April 2021, **Revised**: 15 May 2021, **Accepted**: 17 June 2021

1. 서론

최근 들어 인천시에서는 2017년 3월 소래포구 종합어시장 화재, 2018년 4월 가좌동 이례화학공장 화재, 2018년 5월 인천항 중고차수출선박 화재, 그리고 2018년 7월 연안부두 화재 등과 같이 대규모 화재가 자주 발생하여 지역사회에 인적, 물적으로 크고 작은 피해가 발생하였다. 국내에서는 각종 건축물의 고층화 및 심층화, 대규모 문화여가시설의 발달, 경제의 고도성장에 따른 대규모 산업시설 조성 및 전기·유류·화공약품 등 각종 위험물질 취급의 급증으로 인해 대형화재의 발생 빈도가 증가하는 추세를 보이고 있다. 인천광역시 역시 급격한 도시성장과 확대 및 낙후시설의 증가로 말미암아 추후 더 큰 화재 발생 가능성이 높기에 체계적인 소방시설 관련 연구가 필요한 실정이다.

인천광역시 소방관서 기본통계(Incheon Metropolitan City, 2019)에 따르면 2019년 기준 전국에 소방서는 총 215개로 파악되며, 인천광역시의 경우 총 10개의 소방서가 약 300만 명의 수요를 1,063km²의 면적에 걸쳐서 관할하고 있다. 더불어 상기 10개 관서에 대해 소방대상물과 위험물시설의 개수는 각각 58,000개 및 4,500개 이상임이 보고되어 있다. 반면 행정구역상 면적이 인천보다 작은 서울 및 부산의 경우 각각 24개 및 11개의 소방서가 설치되어 있으며, 이와 같은 상황을 고려했을 때 인천광역시 소방서 하나당 평균 관리 면적은 매우 큰 수임을 유추할 수 있다. 따라서 가을철 산불이 잦은 때나 대형화재 발생 시 2차 피해 예방을 위해서는 타지역 관할소방시설의 유기적인 지원은 필수적이라고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 향후 발생할 수 있는 인천광역시 화재에 효율적으로 대비하기 위한 소방시설의 최적위치 분석을 시행하였다. 현재 국내에는 체계적인 소방관리 시스템과 조직이 존재하지만, 소방시설의 입지분석에 대해 정량적 측면에서 상세한 분석을 실행한 연구는 많지 않으며 주로 정성적 기법 위주의 재난재해 관리 연구가 대부분인 것으로 파악된다. 본 연구에서는 다양한 시설 입지분석 모형(Facility Location Models) 중 Covering Problem을 바탕으로 하는 수리적 모델을 제안하였다. 특히 한 관할소방시설에서 대처하기 어려운 대형화재 발생 시 타지역 관할소방시설의 추가 지원을 가정한 Double Covering 모형을 구성하였다.

더불어 본 논문에서는 보다 실제적인 상황을 반영하기 위해 다음과 같은 두 가지 시나리오를 기반으로 연구를 진행하였다. 시나리오 1의 경우 인천광역시에 소재한 기

존의 소방시설이 부재인 상황을 가정하고 본 연구에서 제안하는 모형에 바탕을 둔 최적의 소방시설 입지를 파악한다. 시나리오 2의 경우 기설립되어 있는 인천광역시의 소방시설을 고려하여 본 연구에서 제안된 모형을 적용했을 때 추가 최적 설립지를 제시한다. 결과적으로 시나리오 1의 경우 7개 후보 지역에 소방시설을 설립하는 것으로 분석되었으며, 시나리오 2의 경우 기설립지 10개 지역 외에 추가로 4개 지역에 시설을 설립하는 것으로 결론이 도출되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 선행연구를 분석하고 기존 연구와의 차별점을 기술하며, 제 3장에서는 본 연구를 통해 제시하는 시설입지모형을 자세히 설명한다. 제 4장에서는 데이터 수집 및 분석과정과 모형 적용 결과에 대해 시나리오 별로 기술한다. 마지막 제 5장에서는 결론과 시사점 도출 그리고 연구의 한계점과 추후 연구에 대해 기술한다.

2. 선행연구

2.1 재난재해 구호 관련 선행연구

시설입지문제는 모형에서 규정하는 제약조건에 가장 잘 부합하는 최적 위치에 연구대상시설을 최적 개수만큼 설립하는 분야를 다루며, 다양한 사회기반시설의 입지선택 연구에 활용되어 왔다. Church & ReVelle(1974)에서는 기존의 Maximum Covering Problem에서 필수적으로 고려되었던 모든 수요지역에 대한 서비스 제공 가능 제약조건을 완화하였다. 저자는 각 시설로부터 서비스 제공 가능 범위와 총 시설의 수가 주어져 있을 때 연구지역 내에서 최대한 많은 수요자를 충족시킬 수 있는 모형을 제안하였다. Daskin(1995)에서는 목적함수와 제약조건의 형태에 따라 시설입지문제 관련 다양한 모형을 예제를 통해 분석하였으며, 전통적인 Covering Problem, Center Problem 및 Median Problem 등과 더불어 기본 모형의 확장까지 분석에 포함하였다. 시설입지문제를 활용한 재난재해 구호 관련 연구는 다양한 방법론을 통해 입지분석 및 수송의 최적화 방안을 제시해 왔다. Toregas et al.(1971)은 Set Covering 모형을 통해 분석지역 내 모든 응급수요를 시설로부터 일정거리 내에서 처리할 수 있는 최소의 시설설립 모형을 제안하였으며, Gendreau et al.(1997)에서는 시설로부터의 구급차량 지원가능 거리를 장거리와 단거리 두 가지로 구분하여 입지를 분석하였다. 저자는 장거리 기준에서 모든 응급수요지가 설립 시설로부터 도달 가능하면

서, 단거리 기준에서 최대한 많은 응급수요지가 충족되도록 모형을 구성하여 최적해를 도출하였다. Adesina et al.(2017)에서는 Maximum Covering Location Model을 통해 Minna Metropolis라는 지역에서 최대한의 구호수요를 충족시킬 수 있는 소방시설의 위치를 분석하였다. 저자는 기존의 3개 소방시설로는 해당지역의 수요를 모두 충족시키기가 어려우며, 따라서 5개의 신규 시설을 추가로 설립해야 함을 결론으로 도출하였다.

상기 언급된 선행연구들과는 다르게 Rajagopalan et al.(2008)에서는 응급시설에 대한 구호수요가 지역에 따라 고정된 상수가 아니라 시간에 따라 값이 변하는 가변적 요소로 파악하고 수요의 변화 패턴에 따라 시간구간을 설정하였다. 이를 바탕으로 저자는 최소한의 시설로 가급적 모든 지역의 구호수요를 모든 시간구간에 걸쳐 일정수준 이상 지원할 수 있는 동적 시설입지모형을 제안하였다. 더불어 Li et al.(2011)에서는 응급상황에 대비한 다양한 형태의 정량적 구호시설 설립모형과 풀이알고리즘을 검토하였다. 보다 구체적으로 해당 연구에서는 Location Set Covering Problem, Maximal Covering Location Problem, Double Standard Model, Maximum Expected Covering Location Problem, 그리고 Maximum Availability Location Problem에 대해 각각의 모형과 특징에 대해 연구하였으며, 더불어 이들 모형을 해결하기 위한 다양한 형태의 알고리즘에 대해 분석하였다.

국내의 경우 Kim(2005)에서는 한국의 재해구호 현황을 고찰하고 사회 다방면에서 해결해야 할 문제 사항을 도출하였다. 또한 저자는 해외 선진국의 사례 비교분석을 통해 최종적으로 보다 효율화된 재해구호 정책 방안을 제시하였다. Lee & Kim(2012)에서는 국내 재해구호 물류 체계의 개선방안을 모형구축을 통해 제안하였으며, 태풍 곤파스 사례를 적용하여 그 효율성을 분석하였다. 또한 Ryu & Hwang(2019)은 2007년부터 2016년까지 지난 10년 동안의 국내 이재민 발생 현황을 바탕으로 재해구호 수요를 구성하여, 국내 159개 시·군·구 내 이들 수요를 최대한 충족하도록 재해구호 물류센터를 설립하는 연구를 진행하였다. 특히 저자는 재해구호 물류센터 간 최대 연결가능 거리를 모형에 고려하여 한정된 용량(capacity)을 여러 시설에 최적으로 분배할 수 있는 연결성을 고려한 최대지역 커버문제(Connected Maximum Covering Problem)를 제안하였다.

2.2 기존연구와의 차별성

지금까지의 선행연구를 살펴보았을 때 시설입지문제

관련 연구는 주로 산업 기반시설이나 공공시설에 대한 입지선정을 다루었다. 수리적 모형 측면에서는 Covering Problem, Median Problem 등의 형태로 새로운 시설의 설립개수와 위치를 결정하는 문제를 다루었다. 반면 소방시설 설립과 관련된 연구는 많이 부족한 실정이며, 특히 국내의 경우 재난재해 관리 실태에 대한 정성적 측면에서의 연구가 대부분임을 알 수 있었다. 이에 본 연구는 국내 소방시설 설립과 관련하여 정량적 측면에서 인천광역시의 실제 데이터를 활용하여 연구를 진행하였다. 특히 한 소방시설의 지원만으로는 진화가 어려운 대형화재 발생 시 타지역 관할소방시설의 추가지원이 필수적이며, 이와 같은 상황을 고려한 Double Covering 개념을 모형에 적용하였다.

따라서 본 연구에서 제안하는 모형은 모든 수요지에 대해 t_1 시간 내에 관할소방시설에서 필수적으로 도달이 가능하도록 하며, 추가적으로 t_2 시간($t_2 > t_1$) 내에 가급적 많은 수요지가 타지역 관할소방시설로부터 중복으로 지원 가능한 최소의 소방시설을 설립하도록 한다. 이는 Lim & Song(2018)에서 제시된 백업 공급센터 개념과 유사하다고 볼 수 있다. 그러나 본 연구에서는 시설의 총 설립 개수에는 제한이 없으나 필수 조건을 만족하는 최소한의 시설만을 설립하도록 하며, 동시에 주어진 시설의 개수 내에서 가급적 많은 수요지가 중복으로 서비스를 받을 수 있도록 한다는 점에서 차이가 있다.

상기 언급된 시설입지모형을 이용한 정량적 측면에서의 분석과 더불어 보다 실제적인 상황을 반영하기 위해 본 연구는 두 가지 시나리오를 제시하였다. 먼저 기존의 소방시설이 부재인 가정 하에서 최적입지를 선정하는 시나리오 1과 기설립된 소방시설을 고려하여 인천광역시 내 추가 최적입지를 선정하는 시나리오 2를 구성하였다. 특히 시나리오 2의 경우 GIS데이터에 기반한 도로 네트워크와 현재 인천광역시에 설립된 소방서 정보를 바탕으로 연구를 진행하였기 때문에 실제 시설증설에 관해 현실적인 고려가 가능하다는 점에서 향후 소방시설 설립방안에 도움이 될 것이라 사료 된다.

3. 모형설계

본 연구에서는 화재라는 사고 특성상 재난 발생 시 모든 인천시민들이 지역 관할소방시설로부터 일정 수준의 시간 이내에 서비스를 받을 수 있도록 하였다. 이를 위해 Daskin(1995)에서 제시된 Covering Problem을 기반으로 모형을 구성하였으며, 소방시설 설립에 따르는 비용제약

은 모형에서 고려하지 않았으나 필수적으로 요구되는 최소한의 시설만 설립하도록 하였다. 더불어 특정 한 관할소방시설에서만 대처하기 어려운 대형화재 발생 시 인근의 다른 관할소방시설의 추가지원을 고려하기 위해 본 연구에서는 Double Covering 형태의 모형을 구성하였다. 본 연구에서 제안하는 Double Covering 개념을 활용한 소방시설 최적입지선정 모형의 경우 일차적으로 모든 인천시민은 관할소방시설로부터 일정시간 이내(즉, t_1 시간 내)에 위치하게 한다. 따라서 화재 발생 시 모든 수요지는 최소 시간 t_1 내에 한번은 진화서비스를 보장받도록 하였다. 더불어 이차적으로 비록 관할소방시설 보다는 원거리에 위치하더라도 대형화재 발생 시 t_2 시간 이내($t_2 > t_1$)에 타지역 소방시설로부터의 지원이 가급적 가능하도록 모형을 구성하였다.

모형설계를 위한 파라미터(parameter)는 다음과 같이 구성된다. 일정 지역 내에서 화재 발생 시 진화서비스를 받아야 하는 수요지의 집합, 소방시설 설립 후보지의 집합을 각각 I 와 J 로 정의한다. 임의의 화재발생 가능지역 $i \in I$ 에서 시설 후보지 $j \in J$ 가 t_1 시간 이내에 위치하면 a_{ij} 는 1로 정의되며, 그 외의 경우 0으로 정의한다. 유사한 경우로서 임의의 화재발생 가능지역 $i \in I$ 에서 시설 후보지 $j \in J$ 가 t_2 시간($t_2 > t_1$) 이내에 위치하면 b_{ij} 는 1로 구성되며, 그 외의 경우 0을 부여 받는다.

결정변수(decision variable)는 아래와 같이 정의한다. 이진변수 x_j 는 소방시설 설립후보지 $j \in J$ 에 시설 설립을 결정하는 경우 1로 정의되며, 설립하지 않는 경우 0을 부여 받는다. 더불어 이진변수 d_i 의 경우 화재발생 가능지역 $i \in I$ 에 대해 t_2 시간($t_2 > t_1$) 이내에 다른 추가시설을 통해 지원이 가능하다면 1로 정의되며, t_1 시간 내에 관할소방시설을 통해서만 지원이 가능하다면 0으로 정의된다.

상기 파라미터와 결정변수를 이용하여 본 연구에서 제안하는 Double Covering 모형의 목적함수 및 제약조건을 구성하면 아래와 같이 표현된다.

minimize

$$L \sum_{j \in J} x_j - \sum_{i \in I} d_i \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} b_{ij} x_j - d_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$d_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

식 (1)은 모든 수요지에 대해 t_1 시간 이내 접근 가능한 필수 소방시설 설립을 최소화하면서 동시에 t_2 시간($t_2 > t_1$) 이내에 타 소방시설을 통해 추가지원이 가능한 수요지역을 최대화하는 목적함수이다. 상수 L 은 임의의 큰 수(large number)를 의미하며 일반적으로 $|I|+1$ 의 값을 가진다. 이는 목적함수의 첫 번째 항인 $L \sum_{j \in J} x_j$ 에 가중치를 부여함으

로써, 타지역 소방시설로부터 추가지원을 받을 수 있는 수요지 수를 늘리기 위해 지역 내 시설 건립 수를 증가시키기 보다는 모든 수요지에 t_1 시간 이내 접근 가능한 필수 소방시설 설립을 최소화하도록 한다. 식 (2)는 소방시설 설립의 주목적인 모든 수요지에 대해 t_1 시간 이내 접근 가능한 필수소방시설 설립을 가능케 하는 제약조건이다. 식 (3)은 소방시설을 설립할 때 가급적이면 최대한 많은 수요지역이 t_2 시간($t_2 > t_1$) 이내에 타지역 소방시설을 통해 추가지원을 받을 수 있도록 하는 제약식이다. 식 (4)는 모든 후보지에 대해 소방시설의 건설여부를 이진변수로 정의하며, 식 (5) 또한 모든 잠재적 화재진화수요지에 대해 관할의 타지역의 시설을 통해 t_2 시간($t_2 > t_1$) 이내에 지원가능 여부를 나타내는 이진변수를 의미한다.

4. 분석과정 및 결과

본 장에서는 앞서 구성된 수리적 모델을 실제 인천광역시 도로네트워크와 행정구역 데이터에 적용하여 결과를 분석 하였다. 분석 과정에서는 서론에서 언급된 바와 같이 현재 인천광역시에 기설립된 소방시설을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우의 두 가지 시나리오를 바탕으로 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 Intel(R) Core(TM) i7-7700 3.60GHz CPU와 RAM 16GB가 탑재된 데스크톱 컴퓨터에서 CPLEX Studio IDE 12.7.1을 분석에 사용하였으며 ArcGIS Pro 2.0을 사용하여 지도화 작업을 진행하였다.

4.1 데이터의 수집 및 가공

분석과정에서는 도로로 연결되지 않는 도서지역을 제외한 인천광역시의 모든 동·읍·면 단위의 행정구역과 도로를 통해 연결되는 경기 외곽 권역까지 포함하여 총 141개 지역의 지리적 중심점을 소방시설 설립후보지 및 잠재적 진화서비스 수요지로 고려하였다. 인천광역시 도

로네트워크 데이터는 공공데이터포털(Ministry of the Interior and Safety, 2019)에서 참고하였으며, 행정구역의 경우 국가공간정보포털(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019)의 전국지도 및 행정구역 데이터를 활용하였다. 더불어 행정구역의 지리적 중심지들 간의 표준도로망 상 최단거리를 ArcGIS의 네트워크 분석기능을 사용하여 계산하였으며, 141개의 소방시설 설립후보지 혹은 화재 진화서비스 수요지를 고려하였기에 총 19,881개의 Origin-Destination pair를 구성하였다. 실제 서비스 수요지의 경우 각 행정 구역 당 총 인구수 혹은 인구 밀도 등에 의해 화재진화 수요는 지역마다 달라질 수 있다. 유사하게 소방시설 설립 후보지의 경우 지역마다 실제 설립 규모는 지역의 특성과 예산을 고려하여 서로 다른 용량(capacity)을 배정받을 수 있다. 그러나 본 연구에서는 제안된 모형의 특성상 지역별 화재진화 수요는 동일하며 시설의 용량은 모형에서 고려하지 않는 Uncapacitated Facility Location Problem(Daskin, 1995)으로 가정 후 분석을 진행하였다.

더불어 National Disaster Management Research Institute (2014)에 따르면 화재 현장에 소방차 도착 및 진화 개시시간은 화재 발생으로부터 최대 8분 이내가 가장 바람직한 것으로 파악하기에 본 연구에서 t_1 은 8분으로 가정하였다. 또한 소방차의 평균속도를 2020년 11월 기준 시내 주요도로의 제한속도인 60km/h로 가정할 때 8분에 해당하는 거리는 8km로 치환할 수 있다. 본 연구에서 제안하는 t_2 시간의 경우 t_1 보다 25% 만큼 증가한 10분으로 가정하였으며, 이에 해당하는 거리는 10km로 상정하였다. 본 연구에서는 첨두시간 동안에 발생할 수 있는 교통혼잡 및 기타 사고 혹은 공사로 인한 도로운행상황은 고려하지 않았다.

4.2 분석결과

4.2.1 가상 네트워크에의 적용

본 연구에서 제안된 모형을 실제 인천광역시 네트워크 데이터에 적용하기 전에 가상의 소규모 테스트 네트워크를 이용하여 유효성을 검증하였다. 네트워크는 <Fig. 1>과 같으며 총 6개의 노드와 11개의 링크로 구성되어 있다.

모든 노드는 수요지이면서 동시에 시설 설립 후보지이고, 각 링크의 통행시간은 링크 옆에 숫자로 표시되어 있다. 본 예제에서 t_1 과 t_2 시간은 각각 12와 17로 상정하고 최적해를 도출하였다.

앞서 기술된 바와 같이 본 모형에서는 t_1 시간 내에 필수적으로 모든 수요지에 도달가능하면서 t_2 시간 내에 최대

한 많은 수요지에 중복으로 도달 가능하도록 최소한의 시설을 설립하고자 한다. 결과적으로 <Fig. 1>에서 검은색 사각형으로 표시된 노드 C와 D, 두 후보지에 시설을 설립하는 것으로 분석되었으며, 이 경우 t_1 시간 내에 각 시설로부터 모든 노드에 도달 가능함을 알 수 있다. 또한 <Table 1>에서 알 수 있듯이 t_2 시간 내에 노드 C로 부터는 노드 A, B, C, E, F에 도달 가능하며, 노드 D로 부터는 노드 A, B, D, E, F에 도달 가능함을 결과로 도출할 수 있었다.

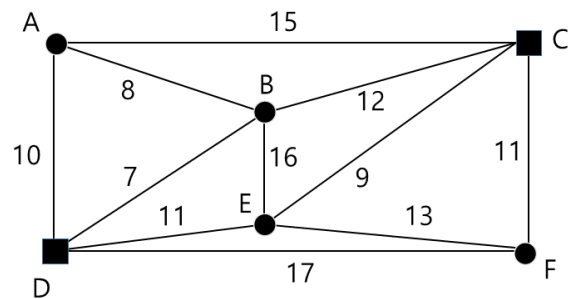


Fig. 1. Test Network

Table 1. Result from Test Network

후보지	t_1 이내 도달 가능 노드	t_2 이내 도달 가능 노드
A	A, B, D	A, B, C, D
B	A, B, C, D	A, B, C, D, E
C	B, C, E, F	A, B, C, E, F
D	A, B, D, E	A, B, D, E, F
E	C, D, E	B, C, D, E, F
F	C, F	C, D, E, F

4.2.2 시나리오 1: 기존 시설의 부재 가정 하에 최적의 소방시설 입지분석

시나리오 1은 인천광역시에 소방시설이 기설립되어 있지 않다는 가정 하에 본 연구에서 제안하는 모형의 제약조건을 만족하는 새로운 소방시설을 설립하는 시나리오이다. 앞서 언급된 바와 같이 총 141개의 시설설립 후보지 및 수요지가 있으며, 설립비용에 대한 제약은 없으나 제안하는 모형은 설립되는 시설의 수를 가급적 최소화하는 방향으로 해를 찾게 된다.

<Fig. 2>는 시나리오 1로 부터의 해를 나타내며, 설립지역은 지도상에 7개의 검은색 원으로 나타나 있다. 각 설립지의 구체적인 지역정보를 표시하기 위해 지도상에 숫자로 구분하였으며 이는 (1) 계양구 독실동, (2) 서구 경서동, (3) 미추홀구 주안동, (4) 연수구 선학동, (5) 중구 운서동, (6) 강화군 송해면, 그리고 (7) 강화군 양도면으로 나타났다.



Fig. 2. Result from Scenario 1

특히 강화도의 경우 북부의 (6) 송해면과 남부의 (7) 양도면에 각각 시설을 설립하는 것으로 결과가 도출되었으며 이는 t_1 시간 내에 강화도의 총 11개 지역에 필수적으로 화재진화 서비스를 공급할 수 있어야하기 때문이다. 더불어 <Fig. 3> 상에 회색으로 표시된 A지역, 즉, 선원면, 강화읍, 내가면의 경우 t_2 시간 내에 타지역 관할소방시설로부터 추가지원을 받을 수 있는 것으로 분석되었다.

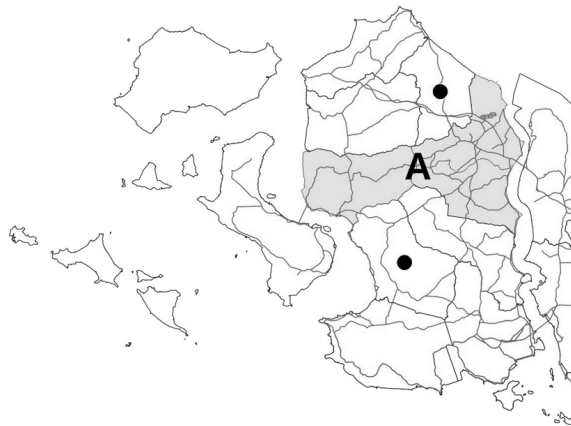


Fig. 3. Solution in Ganghwa-do from Scenario 1

4.2.3 시나리오 2: 기설립된 시설을 고려하여 추가 소방시설의 입지분석

시나리오 2에서는 인천광역시에 기설립되어 있는 소방시설을 고려하여 본 연구에서 제시한 모델을 적용하였고 결과를 도출하였다. 인천광역시에는 총 10개의 소방서가 부평구 갈산동, 남동구 고잔동, 남동구 구월동, 계양구 계산동, 중구 항동6가, 미추홀구 주안동, 원미구 심곡동, 중구 운서동, 연수구 송도동, 강화군 강화읍에 운영되고 있다. 실제 기설립지의 경우 본 연구에서 제안하는 모형의

첫번째 제약조건을 충족하지 못하는 지역이 존재한다. 즉, 인천광역시 내 7개 지역에서 8분 내에 일차적 서비스를 제공받지 못하는 것으로 분석되었다. 따라서 이들 기존시설을 바탕으로 본 연구에서 제시하는 모형의 제약조건을 만족시키는 추가지역을 분석한 결과 총 4개 지역에 추가 설립하는 것으로 결론이 도출되었다.

<Fig. 4>는 시나리오 2로부터 도출된 결과를 보여주고 있다. 인천광역시 내에서 기설립지가 존재하는 10개 지역은 검은색 원으로 표시되어 있으며, 추가로 설립하는 4개 지역은 검은색 정사각형으로 나타나 있고 그 옆의 숫자로 다음과 같이 구체적인 지역을 구분할 수 있다: (1) 서구 백석동, (2) 서구 경서동, (3) 강화군 송해면, (4) 강화군 양도면. 기설치 지역 포함 총 소방시설 개수는 시나리오 1의 7개에 비하면 두 배인 14개로 늘었으며, 이는 t_1 시간 내에 모든 수요지역이 화재진화 서비스를 받을 수 있어야 하는 본 연구의 필수 제약조건에 의한 것이다.

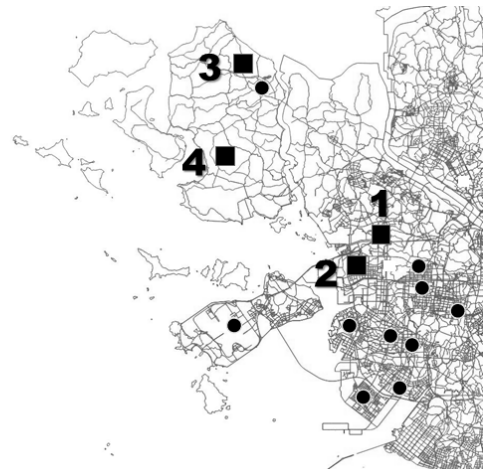


Fig. 4. Result from Scenario 2

특히 강화도의 경우 <Fig. 5>에 나타난 것처럼 기설립지(검은색 원)가 강화읍에 있음에도 이전의 시나리오 1과 같은 두 개의 시설(검은색 정사각형)을 같은 위치에 설립하는 것으로 도출되었다. 이는 강화읍에 기설치된 검은색 원형 노드로 표시된 소방시설로부터 지도상에 B로 표시된 양사면까지 9km의 거리로 t_1 시간 내에 도달하지 못하기 때문이며, 이로 인해 송해면에 소방시설을 설립하는 것으로 나타났다. 강화도 남부 역시 기존의 강화읍 시설로는 t_1 시간 내에 서비스 제공이 불가하기에 양도면에 설립하도록 하고 있다. 더불어 이와 같은 소방시설 위치를 통해 강화도 내에서 최대한 많은 지역이 t_2 시간 내에 추가 지원을 받을 가능성도 높아진다.

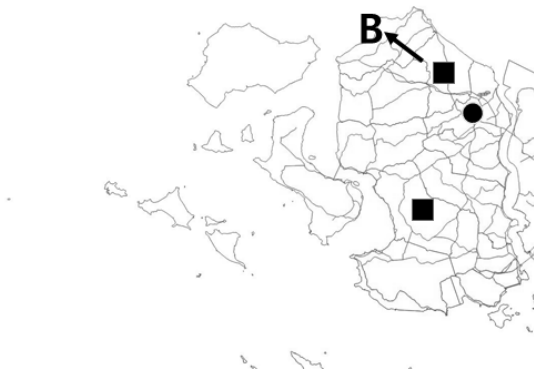


Fig. 5. Solution in Ganghwa-do from Scenario 2

4.2.4 시나리오 1과 2의 비교분석

모든 시나리오 분석에 있어서 최적해를 도출할 때 까지 15분 이하의 시간이 소요되었으며, 두 시나리오 간의 비교 분석은 먼저 소방시설 설립의 근본 목표인 연구대상 지역의 수요지에 대해 t_1 시간 내 소방차 진입 관점에서 진행하였다. 더불어 본 연구에서 제안하는 모형의 특징이라고 할 수 있는 t_2 시간 내에 가급적 많은 지역에 대한 추가지원 관점에서도 분석을 진행하였다. 두 분석에서 모두 시나리오 2가 시나리오 1 대비 나은 결과를 보여주고 있으며, 이는 본 연구에서 고려되지 않은 시설설립비용 혹은 총비용 제약에 기인한 것이라고 사료된다.

실제 화재발생을 가정했을 때 t_1 시간 내 관할소방시설로부터의 소방차 도착 시간을 두 시나리오 간 비교해보기 위해 최근 5년 사이 인천광역시 내에서 가장 화재발생 사건이 많았던 7개 지역을 국가통계포털(Statistics Korea, 2019)을 통해 <Table 2>의 첫 번째 열과 같이 선별하였다.

Table 2. Minimum Time to Reach the Demand Points in Two Scenarios

지역명	관할 시설과 화재발생 지역 간 t_1 내 최소 도달시간(min)	
	시나리오 1	시나리오 2
항동2가	2.8	2.8
굴현동	6.0	6.0
가정동	4.7	1.6
화수동	5.4	1.7
중앙동	0.4	0.4
노오지동	7.9	7.7
오류동	7.3	5.2

<Table 2>에서 두 번째와 세 번째 열은 각 시나리오 별로 7개 지역에서 가장 근접한 소방시설로부터 소방차가

도착 가능한 시간(분 단위)을 나타내고 있고, 모두 t_1 시간으로 설정했던 8분 이내에 진입가능 한 것으로 나타났다. 앞서 분석된 바와 같이 기존의 시설 외에 추가 시설설립을 가능케 했던 시나리오 2의 경우 시나리오 1 대비 두 배의 소방시설을 보유하고 있기에 많은 지역에서 보다 빠른 서비스 제공이 가능함을 유추할 수 있다.

또한 본 연구에서 제안하는 double covering의 관점에서 분석했을 때, 시나리오 1의 경우 총 141개의 수요지 중 약 83%에 해당하는 117개 지역이 t_2 시간 내에 중복지원이 가능한 것으로 나타났다. 시나리오 2의 경우 시나리오 1 대비 두 배 많은 설립지로 인해 총 141개 지역 중 약 93%에 해당하는 131개 지역에서 t_2 시간 내에 중복지원이 가능한 것으로 확인되었다.

5. 결 론

최근 들어 인천시에서는 몇 년간에 걸쳐 대형화재가 연이어 발생하였으며 이로 인해 화재예방에 대한 관심이 부상하였다. 이와 같은 대규모 화재로 인한 인적, 물적 피해를 최대한 줄이기 위해서는 지속적인 소방시설의 확충과 보완 및 체계적인 관리가 필수적이며, 이는 생활 속에서 크고 작은 화재는 항상 존재하며 그 양상을 예측하기가 매우 어렵기 때문이다.

본 연구는 이와 같은 잠재적인 문제를 다루기 위해 소방시설의 최적위치에 대한 분석을 시행하였다. 특히 대형 화재 발생시 2차 피해를 예방하기 위해 타지역 관할소방시설의 유기적인 지원이 필요한 상황을 가정하여 분석을 시행하였다. 현재 국내에는 주로 정성적 기법 위주의 재난재해 관리 연구가 대부분인 것으로 파악되며, 이에 본 연구에서는 소방시설의 새로운 설립 혹은 증설 관련하여 정량적 측면에서 모형을 제안하였다. 모형구성을 위해 본 연구에서는 시설입지 분석모형의 다양한 형태 중 Covering Problem에 기반을 둔 모델을 설계하였으며, 수요지에 필수적으로 배정된 근방의 시설뿐만 아니라 타지역 관할시설로부터의 중복 서비스 제공을 위해 Double Covering 개념을 적용하였다.

모델의 실제 응용을 위해 본 연구에서는 인천광역시의 행정구역 데이터와 도로 네트워크 데이터를 GIS환경 하에서 분석하였으며, 총 141개의 소방시설 설립 후보지 및 잠재적 화재진화 서비스 수요지를 구성하였다. 더불어 본 연구에서는 보다 현실적인 요소를 분석에 포함시키기 위해 서로 다른 두 가지 시나리오를 바탕으로 연구를 진행하였다. 시나리오 1은 기존 인천광역시에 소재한 소방시설

의 부재를 가정하고 본 연구에서 제안하는 모형에 바탕을 둔 최적의 소방시설 입지를 파악하였다. 반면 시나리오 2의 경우 기설립되어 있는 인천광역시의 소방시설을 고려하여 본 연구에서 제안된 모형을 적용했을 때 추가 입지를 제시하였다.

결과적으로 시나리오 1의 경우 계양구 독실동, 서구 경서동, 미추홀구 주안동, 연수구 선학동, 중구 운서동, 강화군 송해면, 그리고 강화군 양도면의 7개 지역에 소방시설을 설립하는 것으로 결론이 도출되었으며, 시나리오 2의 경우 기설립지가 존재하는 10개 지역 외에 추가로 서구 백석동, 서구 경서동, 강화군 송해면, 그리고 강화군 양도면의 4개 지역에 추가 설립하는 것으로 분석되었다.

두 시나리오 간의 비교 분석은 먼저 과거 화재발생 빈도가 높았던 선별된 7개의 수요지에 대해 t_1 시간 내에 관찰 소방시설에서 소방차 진입 가능 관점에서 시행되었다. 또한 본 연구에서 제안하는 서비스의 중복공급 가능성 여부 측면에서 t_2 시간 내에 가급적 많은 수요지에 대한 추가지원 가능 관점에서도 결과를 도출하였다. 이는 기존 소방방재시설 체제의 이전 혹은 시스템 재편에 실무적 시사점을 제공할 수 있으며, 도시개발 계획 단계에서 거시적 관점에서 응급시설 인프라의 위치 선정 등에 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

본 연구에서는 시설 설립비용과 소방차의 운행 대수 및 비용 등은 고려하지 않고 시설 설립개수의 최소화만을 목적함수에 고려하였다. 이는 소방시설이라는 특성 상 공공복지증진 측면에서만 문제를 다루었기 때문이며, 따라서 추후에는 시설 설립에 따르는 고정비 증가와 총 예산 범위를 고려하여 보다 현실적인 모형 구축을 시도할 수 있다. 또한 수요지별 서로 다른 화재 발생 가능성과 화재 발생 시 필요한 지원 규모, 각 시설설립 후보지 별 잠재적인 시설의 용량 등을 모형에 고려하여 확장이 가능하다. 더불어 화재 현장에 소방차의 접근 가능 시간 설정 시 본 연구에서는 침두시간 동안의 교통혼잡 혹은 기타 도로상황으로부터 야기되는 차량지체 등의 요소는 고려하지 못하는 한계점이 존재한다. 향후 실제 도로 주행 가능 속도를 모형에 적용하여 소방차의 접근 가능 범위를 설정하거나 실시간 도로 혼잡도를 모형에 고려한다면 보다 정밀한 입지선정이 가능해지고 현실적인 측면을 강화할 수 있다고 사료된다. 마지막으로 잠재적인 화재진화 수요를 단순히 하나의 지역중심점으로 치환하는 것이 아닌 실제 인구수와 산업체 현황을 고려하여 가중치를 부여할 수 있다면 화재 예방 측면에서 더욱 의미 있는 연구가 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Adesina, E. A., Odumosu, J. O., Morenikeji, O. O., Umoru, E., Ayokanmbi, A. O., & Ogunbode, E. B. (2017). Optimization of fire stations services in Minna Metropolis using maximum covering location model. *Journal of Applied Sciences & Environmental Sustainability*, 3(7), 172-187.
- [2] Church, R. & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32(1), 101-118.
- [3] Daskin, M. S. (1995). *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. John Wiley and Sons, New York.
- [4] Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (1997). Solving an ambulance location model by tabu search. *Location Science*, 5(2), 75-88.
- [5] Incheon Metropolitan City (2019). *Information Disclosure Portal*. Republic of Korea.
- [6] Kim, S. (2005). Disaster relief in Korea: Problems and ways for improvement. *Crisisonomy*, 1(2), 61-77.
- [7] Lee, J. & Kim, D. (2012). The study on improvement of the Korean relief delivery logistics system: A case study of Typhoon KOMPASU. *Korean Journal of Logistics*, 20(2), 75-92.
- [8] Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., & Wyatt, T. (2011). Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: A review. *Mathematical Methods of Operations Research*, 74, 281-310.
- [9] Lim, O. & Song, S. (2018). A study on the disaster response network design using stochastic programming. *Korean Journal of Logistics*, 26(2), 55-70.
- [10] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019). *Korea National Spatial Data Infrastructure Portal*. Republic of Korea.
- [11] Ministry of the Interior and Safety (2019). *Public Data Portal*. Republic of Korea.
- [12] National Disaster Management Research Institute (2014). *A Study on the Introduction of Traffic Signal System for Emergency Vehicle Dispatch Support*. Republic of Korea.
- [13] Rajagopalan, H. K., Saydam, C., & Xiao, J. (2008). A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances. *Computers & Operations Research*, 35(3), 814-826.

- [14] Ryu, K. & Hwang, T. (2019). Optimal locations of disaster relief warehouses based on connected maximum covering problem. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 19(1), 19-30.
- [15] Statistics Korea (2019). *Korean Statistical Information Service*. Republic of Korea.
- [16] Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19(6), 1363-1373.

**백 승 관**

가천대학교 국제통상학과 학사
 인하대학교 물류학 석사
 관심분야: SCM, 물류관리

**황 태 성**

서울대학교 지구환경시스템공학부 학사
 UC Berkeley 토목공학(교통) 석사
 UIUC 토목공학(교통) 박사
 현재: 인하대학교 아태물류학부 부교수
 관심분야: Logistics/SCM, Network Modeling

입출차 택배 차량의 허브 터미널 할당문제*

고창성** · 정기호***†

경성대학교 산업경영공학과 교수, *경성대학교 경영학과 교수

Hub Terminal Assignment Problem of Incoming and Outgoing Courier Vehicles

Chang Seong Ko** · Ki Ho Chung***

**Department of Industrial Management Engineering, Kyung Sung University

***Department of Business Administration, Kyung Sung University

Due to the increasing demand for parcel delivery, the amount of parcel delivery that couriers have to handle exceeds the current terminal capacity. To solve this problem, a new terminal will be built in addition to the existing terminal, or the terminal will be jointly used through alliances with competing courier companies. In this case, a hub terminal that can be used by courier companies is physically composed of several terminals. At this time, when a vehicle departing from a sub terminal arrives at the hub terminal, the decision to which terminal in the hub to allocate becomes a very important issue for parcel delivery companies for efficient terminal operation. In a situation where the capacity that can be handled per day in the hub terminal is limited, minimizing the travel distance of vehicles between terminals in the hub plays a decisive role in increasing the efficiency of hub terminal operation. This study presented a mathematical model for determining which terminal in the hub should be allocated to vehicles arriving at the hub from each sub terminal, and from which terminal the vehicle going to the destination sub terminal should be released. A solution method using Excel is presented and in order to find out the possibility of practical application, 12 example problems are solved, and the results are analyzed and presented.

Keyword : Courier industry, hub terminal, sub-terminal, vehicle assignment

* This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2020S1A5A2A01046318).

† **Corresponding Author** : Department of Business Administration, Kyung Sung University, 309 Suyeong-ro, Nam-gu, Busan 48434, Korea.

Tel: +82-51-663-4451, E-mail: khchung@ks.ac.kr

Received: 9 May 2021, **Revised**: 18 June 2021, **Accepted**: 29 July 2021

1. 서론

점점 늘어나는 택배수요 증가로 국내 택배기업들이 처리해야 하는 택배수송 물량이 기존에 사용하고 있던 허브 터미널의 용량을 초과하는 문제에 직면해 있다. 이를 해결하기 위해 기존의 허브 터미널 외에 추가로 터미널을 새로 신축하거나 아니면, 다른 택배기업들과 제휴를 맺고 타 기업의 허브 터미널을 공동 이용하기도 한다. 이러한 경우 택배기업이 사용하게 되는 허브 터미널이 물리적으로 여러 개의 터미널들로 구성되게 된다. 이때, 지역 거점 터미널인 서브터미널에서 출발한 트럭이 허브 터미널에 도착했을 때, 허브 내 어느 터미널에 할당할 것인가에 대한 결정은 터미널 운영의 효율화를 위해 택배기업들에게는 대단히 중요한 이슈가 된다. 왜냐하면 택배기업 경쟁력의 기본이 비용 절감인데, 비용의 원천은 바로 집하(Consolidation)에 의해 좌우되기 때문이다. 즉, 집하된 물량이 많을수록 배송지가 동일한 물량 또한 비례적으로 증가하게 되는데, 이는 그 배송지로 수송할 차량의 적재율을 높여 수송 효율화를 향상시킬 수 있음을 의미한다. 이는 마치 공급사슬관리 측면에서 많이 활용하는 크로스도크 기능을 허브 터미널에서 수행하는 것과 같다. 즉, 택배시스템에서 포인트-투-포인트(point to point) 방식보다 훨씬 효율적인 허브 앤 스포크(hub and spoke) 방식이 많이 사용되고 있기 때문에, 크로스 도크 전략을 활용함으로써 물류비를 낮추고 집하와 출하를 신속하게 처리할 수 있다. 허브 앤 스포크 방식은 고객들로부터 의뢰받은 택배물량을 지역별 거점 터미널인 서브터미널에 모두 집하한 뒤, 중앙의 거점 터미널인 허브 터미널로 보내지고, 여기서 목적지별로 분류하여 각각의 목적지 서브터미널로 배송되는 방식이다. 그런데 택배수요의 급격한 증가로 인해 택배기업들이 처리해야 할 택배수송물량이 기존의 허브 터미널 용량을 초과하게 되어 국내 주요 택배기업들은 제 2, 제 3의 허브 터미널을 신축하여 운영하고 있다.

허브 터미널과 서브터미널 운영 체계는 택배기업들마다 조금씩 차이가 있으나, 일반적인 택배서비스 네트워크의 운영 상황을 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다. 허브 터미널은 예를 들어, 대전, 옥천, 칠곡과 같이 대체로 지리적으로 중앙에 위치하고 있고, 지역 거점 터미널인 서브터미널은 각 지역별로 위치하고 있는데, 서브터미널에서 집하된 물량은 저녁 6시~10시 사이에 간선수송에 의해 허브 터미널로 보내어진다. 허브 터미널에 입고된 물량들은 자정 전후로 하차-목적지별 분류-상차 과정을 거쳐, 새벽 0시~4시 사이에 목적지 서브터미널로 간선수

송을 시작하여 오전 4시~6시 목적지 서브터미널에 도착한다. 본 연구에서 고려하고 있는 모형에서는 허브 터미널과 서브터미널 사이의 간선수송을 다루는 문제가 아니고, 물리적/구조적 제약으로 중앙의 허브 터미널이 여러 개로 분리되어 운영되는 경우에 분리된 터미널 간의 연계수송 과정에 초점을 맞추어서 입출고 트럭의 허브 터미널 할당 문제만을 다루는 것이다.

<Fig. 1>은 허브터미널 3개, 서브터미널 7개로 구성된 허브 앤 스포크 운영방식을 간단하게 보여주고 있다. 그림에서 보는 것처럼 출발지 서브터미널에서 허브에 도착한 트럭은 반드시 정해진 특정 허브터미널에 입고되어야 하고, 또한 목적지 서브터미널로 가는 트럭 역시 정해진 특정 허브 터미널에서 출고되어야 한다. 즉, 허브 내 각 터미널들에는 다수의 입하 도크와 출하 도크들이 존재하고, 전국의 모든 서브 터미널들에 대해 허브 내 입고 터미널과 출고 터미널이 미리 정해져 있다는 뜻이다. <Fig. 1>의 예는 서브터미널 1로부터 허브에 도착한 트럭은 반드시 허브터미널 2번으로 입고되어야 하고, 목적지가 서브터미널 4인 물량들은 모두 허브터미널 3번에서 출고되어야 함을 의미한다. 따라서 서브터미널 1에서 서브터미널 4로 수송해야 하는 택배 물량은 2번 허브터미널에 입고하여 하차한 뒤, 3번 허브터미널로 옮겨져 출고트럭에 상차하여 서브터미널 4로 수송된다. 이때, 입출고 허브터미널을 어떻게 할당하느냐에 따라 허브터미널 간 물량의 이동 거리에 따른 소요시간이 달라진다.

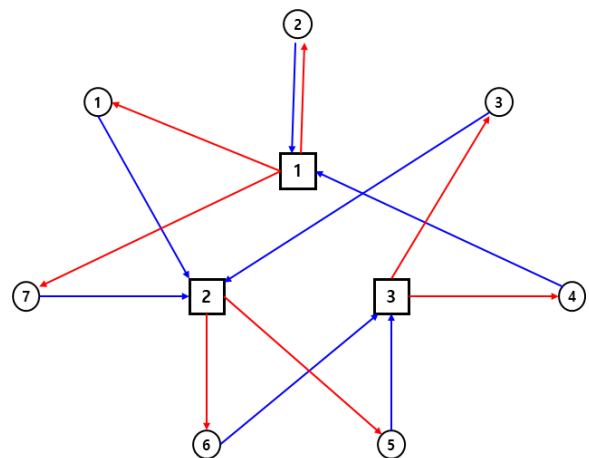


Fig. 1. 허브 앤 스포크 운영방식

따라서 허브 터미널에서 하루에 처리할 수 있는 용량(또는 시간)이 한정되어 있는 상황에서 허브 내 터미널 간 트럭의 이동거리를 최소화함으로써 비용과 시간을 최대한 줄이는 것이 택배터미널 운영의 효율성을 높이는

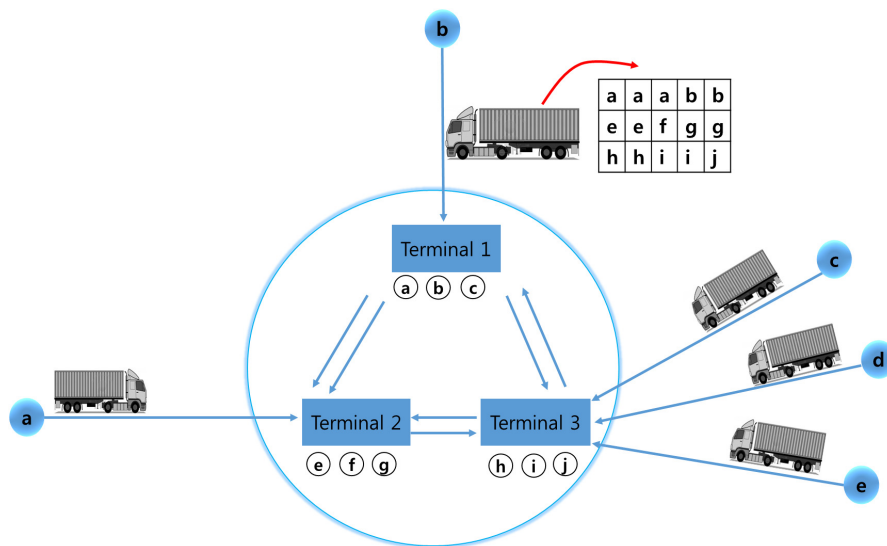


Fig. 2 허브터미널 입출차 처리 예

데 결정적인 역할을 한다. 따라서 각 서브 터미널에서 출발하여 허브에 도착한 트럭들을 허브 내 터미널들 중에 어느 곳으로 입차시켜야 하는지를 결정하는 것이 현실적으로 대단히 중요한 문제가 된다.

예를 들어, 다음 <Fig. 2>에서 보는 바와 같이 허브터미널이 3개의 터미널로 구성되어 있다고 가정하자. 만일 서브터미널 b에서 출발한 트럭이 허브내 터미널 1로 입차 되었다고 가정하자. 이 트럭에는 목적지가 a, b, c인 물량은 터미널 1의 목적지 도크(Dock)에서 출하되지만, 목적지가 e, f, g인 물량들은 해당 도크가 있는 터미널 2로, 목적지가 h, i, j인 물량들은 터미널 3으로 다시 이동되어 출하되어야 한다.

허브 내 터미널들의 개수가 늘어날수록 터미널들간 물량이동이 많아지고 작업량도 늘어나기 때문에 작업시간과 비용이 증대되는 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 서브터미널들의 위치와 개수, 허브 내 터미널들의 위치, 개수, 용량이 주어진 상태에서 허브 터미널 내 전체 물량의 이동거리 최소화를 목적으로 서브로부터 출발한 트럭들을 허브의 터미널에 할당하는 수리모형을 구축하고 해법을 개발하고자 한다. 또한 실제 데이터를 이용하여 모형과 해법을 적용해 봄으로써 허브 터미널의 효율적 운영전략을 도출하고자 한다.

2. 선행 연구

허브 터미널에서 하루에 처리할 수 있는 용량(또는 시간)이 한정되어 있는 상황에서 택배 기업들의 허브 터미

널 운영 효율성을 높이기 위해 허브 내 터미널 간 상하차 트럭들의 이동 거리를 최소화하는 문제를 직접 다룬 연구는 지금까지 진행된 것이 없었다. 다만, 재고보유비용을 줄이기 위해 저장 공간을 갖지 않는 배송센터에서 신속한 환적을 위해 배송센터에 도착하는 트럭을 어느 수신 도크에 할당하며, 또한 환적화물을 싣고 배송센터를 출발하는 트럭을 어느 선적 도크에 할당할 것인가를 결정하는 크로스도크 도어 할당문제(CDAP: cross-dock door assignment problem)가 본 연구에서 다루는 문제와 유사하고 이러한 문제들을 다룬 연구들은 많이 진행되어 왔다.

일반적으로 크로스도크에서는 수신도어(strip door)에 도착한 입차트럭으로부터 하차된 물건들이 목적지별로 분류 집하된 뒤 선적도어(stack door)로 옮겨져 출차트럭에 상차되어 출하된다. 입차트럭에서 하차된 물건들이 목적지별로 할당된 선적도어로 모두 옮겨질 때까지 수신도어와 선적도어들 사이에 지게차들이 왕복 운행하게 되는데, 지게차들의 총 운행 거리의 합을 최소로 하는 것이 바로 CDAP의 목표가 된다.

크로스도크 도어 할당문제를 처음으로 다룬 Peck(1983)은 크로스도크 시스템에서 화물들의 전체 환적시간을 최소화하는 정수계획법 모형을 제시하고 시뮬레이션 기법을 적용하여 풀었는데, 그 이후 많은 연구들이 이 문제를 다루어 오고 있다. Tsui & Chang(1992)은 크로스도킹 시스템 적용을 위한 도크-도어 할당문제에 대한 일반 모형을 제시하고 정수계획법 문제 해법을 위한 Branch and Bound 기반 해법을 제시하였다. Aickelin & Adewunmi (2006)은 Tsui & Chang(1992)이 제시한 모형에 대해 두 가지 해법을 제시하였는데, 보다 더 현실적인 목적함수를

다를 수 있도록 시뮬레이션 기법과 더불어 시뮬레이션 최적화 기법을 개념적으로 제시하였다. Oh et al.(2006)은 크로스도크 도어 할당문제를 우리나라 우체국의 우편물 집배송을 위한 상황에 적용하여 비선형 정수계획법모형을 제시하고 휴리스틱 해법을 제시하였다. Bozer & Carlo (2008)은 입차트럭 수와 수신도어의 수가 같고, 출차트럭 수와 선적도어의 수가 같다는 가정하에 정적모형과 동적 모형의 두 가지 모형을 제시하고, simulated annealing 해법을 적용하였다. Cohen & Keren(2009)은 트럭 용량 제약을 고려하여 동일 목적지를 갖는 물건들이 서로 다른 출하도크에 할당된 여러 트럭에 나누어 적재될 수 있다는 가정하에 비선형 정수계획법모형을 제시하고, 휴리스틱 해법을 사용하여 문제를 풀었다. Miao et al.(2009)은 운영시간을 고려하여 트럭 할당문제를 다루었는데, 트럭 도착 시간 정보가 주어져 있을 때, 특정 시간대에 둘 이상의 트럭이 동일한 도어에 할당될 수 없음을 다룬 정수계획법 수학적 모형을 제시하고 Tabu Search 방법을 이용한 해법을 제시하였다. Guignard et al.(2012)은 우리 연구와 유사하게 입차트럭이 배송센터 내 하나의 도어에만 들어올 수 있고, 출차트럭 역시 하나의 도어로부터 나갈 수 있다는 가정하에 문제를 제시하였다. 그러나 이 연구에서는 우리 연구와 달리 수신도어와 선적도어가 별도로 구분되어 있다는 가정하에 이진 정수계획법 모형을 제시하였다. Nassief et al.(2016)은 라그랑지안 완화기법(Lagrangian Relaxation Method)을 이용하여 최적해에 대한 하한을 구하기 위해 수학적 모형의 구조를 잘 이용할 수 있도록 새로운 형태의 정수계획법 모형을 제시하였다. 이들 연구에서는 상하차 시간과 입고도어에서 출고도어까지 이송시간 가중합을 최소화하는 문제를 다루면서 목적함수를 두 개의 이진변수 곱으로 나타낸 2차식 할당문제모형을 제시하고, 추가적인 변수를 도입하여 이를 다시 선형 형태의 혼합정수계획법 모형으로 변환시킬 수 있음을 보였다. 한편 Kusolpuchong et al.(2019)과 Sayed et al.(2020)은 크로스도킹 터미널에서 입출차 트럭의 스케줄링과 도어 할당 문제를 동시에 다루었다. Kusolpuchong et al.(2019)은 터미널에 제일 먼저 도착한 입차 트럭의 하차 시간부터 마지막 출차 트럭이 상차하여 터미널을 떠나는 시간까지 소요되는 시간 최소화, 화물들의 환적 처리를 위한 이동거리 최소화, 그리고 입차 트럭에서 하차한 화물이 출차 트럭에 즉시 상차하지 못할 경우 일시적 보관을 위한 사용공간의 최소화 등 세 가지 목적함수를 갖는 문제모형을 제시하고 이 문제를 풀기 위해 유전 알고리즘을 사용하였다. Sayed et al.(2020)은 하차시간, 입하도어에서 출하도어가

지 이동시간, 그리고 상차시간을 모두 합한 총처리시간 최소화를 목적함수로 갖는 모형을 제시하고 두 가지 유형의 메타휴리스틱 방법을 개발하였다.

지금까지 살펴본 크로스도크 도어 할당문제들은 차량의 입출차를 위한 도어가 크로스 도크 터미널 내에 존재하는 반면, 본 연구에서 다루는 문제에서는 입출차를 위한 허브 터미널들이 물리적으로 멀리 떨어져 있어 입출하 택배차량의 허브 터미널 할당이 어떻게 이루어지느냐에 따라 상하차를 위한 전체 물동량의 이동거리나 이동시간에 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 본 연구에서 다루고 있는 택배차량의 허브 터미널 할당 문제가 최근들어 택배 기업들 사이에 매우 중요한 문제로 부각되고 있어, 본 연구가 허브터미널의 효율적 운영에 큰 도움이 되리라 여겨진다.

3. 문제 정의 및 수학적 모형

3.1 문제 정의

허브 터미널이 다수의 터미널들로 구성되어 있고, 국내 전역에 있는 수많은 서브 터미널로부터 출발한 입차트럭이 허브 터미널에 도착하여 택배물량을 하차하고, 터미널 내에서 이를 목적지별로 분류한 뒤 출차트럭에 상차시켜 목적지 서브 터미널로 간다. 그런데 입차트럭에는 목적지가 서로 다른 물량들이 혼재되어있고, 각각의 터미널에는 목적지별로 출하 도크가 분류되어 있다.

만일 특정 터미널에 하차한 물량들 중에 해당 터미널에 목적지 출하 도크가 존재하지 않는 경우, 출하 도크가 존재하는 다른 터미널로 물량을 이동시켜야 한다. 또한 허브의 각 터미널에는 하루에 취급할 수 있는 용량 한계가 있기 때문에 입차 트럭들을 어느 터미널에 할당시켜야 하는지, 그리고 출차 트럭을 어느 터미널에서 출하시켜야 하는지가 본 연구에서 다루는 문제가 된다. 허브 내에서 터미널들 간 물량의 이동은 터미널 내에서 분류를 위한 물량이동의 경우보다 비용이 훨씬 많이 들고 상하차 과정을 반복하며 작업시간과 작업량을 증가시키기 때문에, 터미널들 간 물량이동을 최소화 하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 허브 내에서 터미널들 간 물량의 전체 이동거리 합을 최소화하기 위해 입출차 트럭들의 터미널 최적 할당을 다루고자 한다. 입차 트럭과 출차 트럭을 어느 터미널에 할당하느냐에 따라 터미널들 간 물량 이동량이 좌우되기 때문에, 터미널 할당을 결정하는 것은 터미널 생산성 향상에 직접적인

영향을 미치게 된다. 본 연구에서 다루고자 하는 문제를 정의하기 위해 다음과 같이 몇 가지 가정을 한다.

첫째, 서브 터미널 위치와 개수, 허브 터미널의 위치와 개수, 용량, 허브 터미널들 간의 거리가 알려져 있고, 서브 터미널 o-d pair간 1일 수송물량이 알려져 있다. 둘째, 출발지 서브 터미널로부터 허브에 도착한 트럭은 단 하나의 터미널에만 입차할 수 있고, 그리고 목적지 서브 터미널로 가는 트럭 역시 단 하나의 허브 터미널에서만 출차할 수 있다. 즉, 출발지별 입하 도크가 오직 하나의 터미널에만 존재하기 때문에 출발지 서브 터미널에서 온 수송물량은 여러 터미널에 분산되지 않고 하나의 터미널에 입고된다. 또한 목적지별 출하 도크도 오직 하나의 터미널에만 존재하기 때문에 특정 목적지로 가는 물량은 하나의 터미널로부터만 출고될 수 있다.

이러한 가정하에서 본 연구에서 다루고자 하는 문제는 허브터미널 내에서 전체 물동량의 이동거리 합을 최소화 하면서 출발지 서브 터미널로부터 온 트럭의 하차를 위해 어느 허브 터미널에 할당할 것이냐, 그리고 목적지 서브 터미널로 보내는 트럭의 상차를 위해 어느 허브 터미널에 할당할 것이냐를 결정하는 것이다.

3.2 터미널 할당을 위한 수리모형

이 문제에 대한 수학적 모형을 제시하기 위해 먼저 수학적 모형에 필요한 기호와 결정변수를 다음과 같이 정의한다.

- S : 출발지 서브 터미널 집합
- D : 목적지 서브 터미널 집합
- T : 허브 터미널 집합
- Q_i : 허브 터미널 i 의 1일 처리용량 (시간 \times 택배상자 수량)
- a_i : 허브 터미널 i 에서 택배상자 1개 하차하는데 소요되는 시간
- b_i : 허브 터미널 i 에서 택배상자 1개 상차하는데 소요되는 시간
- f_{kl} : 출발지 서브 터미널 k 에서 목적지 서브 터미널 l 로 수송해야 하는 1일 택배물량
- d_{ij} : 허브 터미널 i 와 허브 터미널 j 사이의 거리

(결정변수)

- x_{ki} : 출발지 서브 터미널 k 에서 출발한 차량이 허브 터미널 i 에 입차하면 1, 그렇지 않으면 0

- y_{li} : 목적지 서브 터미널 l 로 향하는 차량이 허브 터미널 i 에서 출차하면 1, 그렇지 않으면 0

위에서 정의한 기호와 결정변수를 사용하여 본 연구에서 다루는 터미널 할당문제에 대한 수학적 모형을 작성하면 (P1)과 같다.

$$(P1) \quad \text{Min} \sum_{i \in T} \sum_{j \in T} \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} d_{ij} f_{kl} x_{ki} y_{lj} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{i \in T} x_{ki} = 1, \quad k \in S \quad (2)$$

$$\sum_{i \in T} y_{li} = 1, \quad l \in D \quad (3)$$

$$a_i \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} f_{kl} x_{ki} + b_i \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} f_{kl} y_{li} \leq Q_i, \quad i \in T \quad (4)$$

$$x_{ki}, y_{li} \in \{0, 1\}, \quad i, j \in T, k \in S, l \in D \quad (5)$$

목적함수식 (1)은 전체 택배수송물량들의 하차/상차를 위한 허브 터미널간 이동거리와 물동량의 곱을 최소화한다는 것을 나타낸다. 즉, 출발지 서브 터미널 k 에서 목적지 서브 터미널 l 로 보내는 1일 택배수송량을 허브터미널 i 에 입고하여 하차한 뒤 허브 터미널 j 에서 상차하여 출고할 때 허브터미널 내에서 이동거리 총합은 $d_{ij} f_{kl}$ 로 주어지기 때문에 목적함수식이 (1)과 같이 구성된다. 제약식 (2)는 출발 서브 터미널로부터 온 트럭은 반드시 하나의 허브 터미널에 할당되어야 함을 의미하고, 제약식 (3)은 목적지 서브 터미널로 가는 트럭 역시 단 하나의 허브 터미널에서 출발해야 함을 뜻한다. 제약식 (4)는 허브 터미널의 용량제약조건을 나타낸다. 제약식 (5)는 결정변수가 이진변수임을 규정하고 있다.

문제 (P1)은 목적함수식이 비선형형태로 표현되어 있다. 이를 선형 형태로 만들기 위해 새로운 이진변수 z_{kijl} 를 추가로 도입하여 목적함수식에 다음과 같이 반영한다.

$$z_{kijl} = x_{ki} y_{lj}$$

그리고 제약조건식에서 다음 두 식을 추가하면 선형 형태의 수학적 모형으로 변환시킬 수 있다.

$$z_{kijl} \geq x_{ki} + y_{lj} - 1$$

$$\sum_{i \in T} \sum_{j \in T} z_{kijl} = 1$$

새로운 결정변수 z_{kijl} 은 출발지 서브 터미널 k 에서 목적지 서브 터미널 l 로 수송할 택배물량 f_{kl} 을 차량에 싣고 허브 터미널 i 에 입차한 뒤, 허브 터미널 j 에서 출차하여 목적지 서브 터미널 l 로 가면 1 그렇지 않으면 0인 이진변수로 정의된다. 새로운 이진변수 z_{kijl} 를 사용하여 비선형 모형 (P1)을 선형모형으로 변환시키면 0-1 정수계획법문제 (P2)와 같게 된다.

(P2)

$$\text{Min} \sum_{i \in T} \sum_{j \in T} \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} d_{ij} f_{kl} z_{kijl} \quad (6)$$

s.t.

$$\sum_{i \in T} x_{ki} = 1, \quad k \in S \quad (2)$$

$$\sum_{i \in T} y_{li} = 1, \quad l \in D \quad (3)$$

$$a_i \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} f_{kl} x_{ki} + b_i \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} f_{kl} y_{li} \leq Q_i, \quad i \in T \quad (4)$$

$$z_{kijl} \geq x_{ki} + y_{lj} - 1, \quad i, j \in T, k \in S, l \in D \quad (7)$$

$$\sum_{i \in T} \sum_{j \in T} z_{kijl} = 1, \quad k \in S, l \in D \quad (8)$$

$$x_{ki}, y_{li}, z_{kijl} \in \{0, 1\}, \quad i, j \in T, k \in S, l \in D \quad (9)$$

제약식 (7)은 x_{ki} 와 y_{lj} 둘 다 1일 때만 z_{kijl} 이 1의 값을 가질 수 있음을 나타내며, 제약식 (8)은 제약식 (7)과 함께 모든 출발지-목적지 서브터미널들간 택배수송물량은 반드시 하나의 허브 터미널에 입차한 뒤 하나의 허브 터미널에서 출차해야 함을 보장하는 식이다.

만일 z_{kijl} 를 이진변수가 아닌 일반변수로 간주하여 $z_{kijl} = f_{kl} x_{ki} y_{lj}$ 로 하고, 제약조건식 (7)-(8) 대신에 식 (11)을 제약조건식에 추가하면, 선형 형태의 혼합정수계획법 모형 (P3)를 만들 수 있다.

(P3)

$$\text{Min} \sum_{i \in T} \sum_{j \in T} \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} d_{ij} z_{kijl} \quad (10)$$

s.t.

$$\sum_{i \in T} x_{ki} = 1, \quad k \in S \quad (2)$$

$$\sum_{i \in T} y_{li} = 1, \quad l \in D \quad (3)$$

$$a_i \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} f_{kl} x_{ki} + b_i \sum_{k \in S} \sum_{l \in D} f_{kl} y_{li} \leq Q_i, \quad i \in T \quad (4)$$

$$M(1 - x_{ki}) + M(1 - y_{lj}) + z_{kijl} \geq f_{kl}, \quad i, j \in T, k \in S, l \in D \quad (11)$$

$$x_{ki}, y_{li} \in \{0, 1\}, \quad z_{kijl} \geq 0, \quad i, j \in T, k \in S, l \in D \quad (12)$$

4. 모형 적용 및 해석

4.1 수치 예

출발지/목적지 서브 터미널 개수는 각각 10개씩으로 하고, 허브 터미널 개수는 3개로 한다. 허브 터미널의 용량은 모두 동일하게 설정하고, Guignard et al.(2012)과 같은 방법으로 허브 터미널 용량을 결정한다. 전체 서브 터미널 택배수송량 총합을 허브 터미널 개수로 나누어 여기에 택배물량 상하차시간을 고려하여 계산된 값에 여유용량을 10%, 15%, 20% 등 추가하여 세 가지 유형으로 설정한다. 예를 들어 택배수송량 총합이 1000, 허브터미널이 3개이며, 택배물량 상하차시간 합이 4라 가정하고 용량여유분을 20%로 설정할 때, 각각의 허브 터미널 용량은 $1000/3 \times 4 \times 1.2 = 1600$ 으로 설정한다.

Table 1. 허브 터미널간 거리

허브	좌표	허브터미널 간 거리		
		1	2	3
1	(87,52)	0	39	30
2	(65,85)	39	0	26
3	(91,82)	30	26	0

허브 터미널간 거리는 먼저 각 허브 터미널 위치를 [50,100] 범위 내의 정수값으로 x, y 좌표값을 임의로 생성하여 유클리드 거리로 구하였다(Table 1). 편의상 출발지 서브 터미널 개수와 목적지 서브 터미널 개수를 동일하게 설정하고, 다만 출발지 서브 터미널과 목적지 서브 터미널은 서로 다르다고 가정한다. 그리고 서브터미널들 간에 매일 택배수송물량이 발생하는 것으로 가정하고, [0,100] 사이 임의의 정수를 생성하여 택배수송량을 발생시킨다(Table 2). 허브 터미널에서의 택배 물량 상하차 시간 데이터는 현실 상황을 반영하여 상하차시간이 하차시간의 1배, 2배, 3배, 4배 등으로 구분하여 설정하고 모두 12가지 유형의 문제들을 풀어보고자 한다.

4.2 해법 개발 및 적용

예제문제들을 풀기 위한 해법으로 본 연구에서는 엑셀 추가기능 프로그램인 Analytic Solver 프로그램을 이용하였다. 이를 위해 먼저 정수계획법 수학적 모형인 (P2)를 엑셀 워크시트에 엑셀 입력 모형으로 설계한 뒤 데이터를

Table 2. 서브 터미널간 택배수송물량

목적 터미널 출발 터미널	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	100	15	65	80	99	77	1	87	18
2	20	79	87	90	74	23	74	7	81	94
3	87	28	56	94	7	62	72	1	72	92
4	2	58	9	23	72	94	82	51	0	44
5	24	0	79	45	29	31	18	82	6	29
6	60	45	12	97	43	86	44	52	83	39
7	12	57	70	54	46	22	19	38	51	70
8	9	88	74	92	36	80	69	68	64	33
9	45	22	45	91	71	50	79	34	96	51
10	8	60	86	97	0	33	7	32	61	5

Table 3. 여유용량, 상하차시간 비율에 따른 결과

비율	여유 용량	10%		15%		20%	
		허브터미널 용량	목적 함수값	허브터미널 용량	목적 함수값	허브터미널 용량	목적 함수값
	동일	3760	85179	3932	85179	4102	82742
	2배	5640	85427	5898	84429	6153	81839
	3배	7520	85427	7864	84614	8204	81797
	4배	9400	85929	9830	84614	10255	79994

입력하여 엑셀에서 Analytic Solver 프로그램을 구동하여 최적해를 구하였다. 허브터미널 여유 용량 3가지 유형과 상하차 시간 비율 4가지 유형의 조합에 따라 모두 12개 유형의 문제를 풀어 본 결과, 허브터미널 내에서 상하차를 위한 (물량×이동거리) 총합을 나타내는 최적 목적함수 값이 <Table 3>과 같이 나왔다.

<Table 3>을 보면 허브터미널의 여유용량이 증대될수록 허브터미널 내 이동거리의 합이 더 적어져 허브터미널의 효율적 운영이 가능함을 알 수 있다. 이는 택배 산업 현실에서 경쟁 기업들간 제휴에 의해 허브터미널을 공동 이용할 경우 허브터미널 운영 효율성을 높일 수 있음을 시사한다.

전체 12가지 유형의 문제들 중에서 상차시간이 하차시간의 3배일 때, 허브터미널 여유용량이 10%, 15%, 20%일 경우 각각의 입출고 터미널 최적 할당 결과를 보면 <Table 4>~<Table 6>과 같다.

Table 4. 여유용량 10% 일 때 입출고 허브 터미널 할당

서브터미널 허브	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
입고 터미널	1	2	2	1	3	3	3	3	2	3
출고 터미널	2	1	3	3	1	1	2	3	2	2

Table 5. 여유용량 15% 일 때 입출고 허브 터미널 할당

서브터미널 허브	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
입고 터미널	2	3	2	2	1	3	1	3	2	3
출고 터미널	2	3	1	3	2	2	2	1	3	1

Table 6. 여유용량 20% 일 때 허브 입출고 터미널 할당

서브터미널 허브	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
입고 터미널	2	3	3	2	1	3	3	2	3	3
출고 터미널	3	2	1	3	2	2	2	1	3	1

<Table 6>을 보면, 서브터미널 1에서 출발하여 허브터미널에 도착한 트럭은 반드시 터미널 2에 입고해야 하고, 한편 목적지 서브터미널 1로 보내는 수송물량은 모두 반드시 허브터미널 3에서 출고해야 한다. 즉, 서브터미널 1에서 출발하는 물량은 목적지와 상관없이 항상 허브터미널 2에 입차해야 하며, 서브터미널 1에 도착해야 하는 물량은 출발지와 상관없이 반드시 허브터미널 3에서 출고해야 한다는 뜻이다. 마찬가지로 서브터미널 5에서 출발한 물량은 반드시 허브터미널 1에 입고해야 하며, 목적지가 서브터미널 5인 물량들은 허브터미널 2에서 출고해야 한다는 뜻이다.

Table 7. 여유용량 10%일 때 용량확장 효과 비교(상하차 시간 비율: 3배인 경우)

목적함수값	현재 시스템		Hub 1 확장		Hub 2 확장		Hub 3 확장	
	85427		85427		84429		82810	
	사용량	가용량	사용량	가용량	사용량	가용량	사용량	가용량
Hub 1	5725	7520	5725	8204	5293	7520	5725	7520
Hub 2	7505	7520	7505	7520	7961	8204	6725	7520
Hub 3	7286	7520	7286	7520	7262	7520	8066	8204
	20516		20516		20516		20516	

Table 8. 여유용량 10%일 때 용량확장 효과 비교 (상하차 시간 비율 : 4배인 경우)

목적함수값	현재 시스템		Hub 1 확장		Hub 2 확장		Hub 3 확장	
	85929		83595		81839		82810	
	사용량	가용량	사용량	가용량	사용량	가용량	사용량	가용량
Hub 1	7300	9400	10077	10255	6278	9400	7300	9400
Hub 2	9344	9400	6278	9400	10077	10255	8372	9400
Hub 3	9001	9400	9290	9400	9290	9400	9973	10255
사용량 계	25645		25645		25645		25645	

한편 택배 물량의 증대로 기존 허브 터미널 용량이 부족할 경우 허브 터미널을 추가 신축하거나 기존 터미널 용량을 확장하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 만일 기존 허브 터미널 용량을 확장하고자 한다면, 어느 허브 터미널의 용량을 확장하는 게 가장 효율적인지 알아보려고 하였다. 기존 허브 터미널들의 용량 확장 비용이 동일하다고 가정하고, 12가지 유형 각각에 대해 현재 용량보다 10% 더 증대시키는 문제들을 풀어보았다. 12가지 유형 중 허브 터미널 여유용량이 10%이고, 상하차 시간 비율이 3배인 경우와 4배인 경우의 결과가 <Table 7>과 <Table 8>에 각각 나타나 있다.

<Table 7>을 보면, 여유용량을 10% 추가 확장하는 비용이 모든 허브터미널 간에 동일하다고 가정할 때, 허브터미널 1의 경우 추가용량을 확장하더라도 현재 시스템에 비해 개선되는 효과가 전혀 없다. 반면 터미널 2와 3의 여유용량을 각각 증대시킬 때 현재보다 허브터미널 내 이동거리의 합이 더 적어져 개선효과가 나타남을 알 수 있다. 특히 허브터미널 3의 여유용량을 증대시키는 것이 효과가 가장 크게 나타나기 때문에, 제한된 예산하에서 용량 확장을 고려하고자 할 때 허브터미널 3의 용량을 추가 확장하는 게 가장 효율적임을 알 수 있다.

한편 <Table 8>은 상차시간이 하차시간의 4배이고, 허브 터미널 여유용량이 10%인 문제에 대해 허브터미널 1, 2, 3의 여유용량을 현재보다 각각 10% 더 증대시키는 경우에 대해 각각의 문제를 풀어본 결과이다. 용량확장에 따른 투입비용이 터미널들간에 동일하다고 가정할 때, 허브터

미널 2의 용량을 확장하는 것이 가장 효율적임을 보여주고 있다. 여기서 목적함수값이 의미하는 것은 허브터미널 내에서 상하차를 위한 (물량×이동거리) 총합을 나타낸다.

5. 결 론

본 연구에서는 택배기업들이 서브 터미널들간 택배물량 수송을 위해 허브터미널 내에서 전체 물동량의 이동거리 합을 최소로 하면서 출발지 서브 터미널로부터 온 트럭을 어느 허브 터미널에 입차시키고 또한 목적지 서브 터미널로 보내는 트럭을 어느 허브 터미널로부터 출차시켜야 하는지 결정하는 터미널 할당문제를 다루었다. 먼저 비선형 형태로 표현되는 수학적 모형을 선형 모형으로 변환시켜 제시하였고, 엑셀을 이용한 해법을 개발하였다. 본 연구에서 제시한 모형의 현실 적용 가능성을 알아보기 위해 허브터미널 여유 용량 3가지 유형과 상하차 시간 비율 4가지 유형의 조합에 따라 모두 12개 유형의 예제 문제를 만들어 적용하여 분석해 보았다. 분석 결과, 현재 시스템에서 네트워크 확장을 고려하는 경우 허브터미널 각각에 대해 용량 확장 비용이 동일하다고 가정하고 허브터미널 중 한 곳의 용량을 확장하고자 할 때 어느 허브 터미널의 용량을 확장하는게 가장 효율적인지 파악할 수 있었다. 그리고 허브터미널의 여유용량이 늘어날수록 허브터미널 내 택배물량의 이동거리 합이 더 작아져 허브터미널의 효율적 운영이 가능함을 알 수 있었다. 이는 택배 산업

현실에서 경쟁 기업들간 제휴에 의해 허브터미널을 공동 이용한다고 할 경우 허브터미널의 운영 효율성을 높일 수 있음을 시사하는 것으로서 본 연구가 현실 적용 측면에서 의미있는 결과를 제시한다고 볼 수 있다.

한편 본 연구에서 다루는 문제 모형은 출발지 서브 터미널로부터 허브에 도착한 트럭은 단 하나의 터미널에만 입차할 수 있고, 목적지 서브 터미널로 가는 트럭 역시 단 하나의 허브 터미널에서만 출차할 수 있다는 가정하에 제시하고 있다. 그러나 현실적인 적용가능성을 좀더 향상시키기 위해 본 연구를 확장한 모형을 다루는 것이 필요할 것 같다. 이를 위해 추후 연구할 내용은 출발지별 입하 도크와 목적지별 출하 도크가 복수의 터미널에 존재하는 경우이다. 즉, 출발지 서브 터미널로부터 허브에 도착한 트럭은 여러 터미널에 입차할 수 있고, 목적지 서브 터미널로 가는 트럭 역시 여러 허브 터미널에서 출차가 가능한 문제 유형으로서, 본 연구에서 제시한 문제보다 문제의 복잡성이 많이 커지게 된다. 앞으로 이 연구 과제를 진행하여 분석 결과를 제시하는 것이 의미있는 작업이 되리라 생각된다.

REFERENCES

- [1] Aickelin & Adewunmi (2006). Simulation optimization of the crossdock door assignment problem. *Proceedings of the 2006 OR Society Simulation Workshop*.
- [2] Bozer, Y. A. & Carlo, H. J. (2008). Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than truck load crossdocks. *IIE Transactions*, 40(11), 1007-1018.
- [3] Cohen, Y. & Keren, B. (2009). Trailer to door assignment in a synchronous cross-dock operation. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 5(5), 574-590.
- [4] Guignard, M., Hahn, P. M., & Pessoa, A. A. (2012). Algorithm for the cross-dock door assignment problem. *Proceedings of the Fourth International Workshop on Model-Based Metaheuristics*, Brazil.
- [5] Kusolpuchong, S., Chusap, K., Alhawari, M., & Suer, G. (2019). A genetic algorithm approach for multi objective cross dock scheduling in supply chains. *Procedia Manufacturing*, 39, 1139-1148.
- [6] Miao, Z., Lim, A., & Ma, H. (2009). Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks. *European Journal of Operational Research*, 192, 105-115.
- [7] Nassief, W., Contreras, I., & As'ad, R. (2016). A mixed-integer programming formulation and lagrangean relaxation for the cross-dock door assignment problem. *International Journal of Production Research*, 54(2), 494-508.
- [8] Nassief, W., Contreras, I., & Jaumard, B. (2018). A comparison of formulations and relaxations for cross-dock door assignment problems. *Computers and Operations Research*, 94, 76-88.
- [9] Oh, Y., Hwang, H., Cha, C. N., & Lee, S. (2006). A dock-door assignment problem for the Korean mail distribution center. *Computers & Industrial Engineering*, 51(2), 288-296.
- [10] Peck, K. E. (1983). Operational analysis of freight terminals handling less than container load shipments, PhD Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801.
- [11] Sayed, S. I., Contreras, I., Diaz, J. A., & Luna, D. E. (2020). Integrated cross-dock door assignment and truck scheduling with handling times. *TOP*, 28, 705-727.
- [12] Tsui, L. Y. & Chang, C. H. (1992). An optimal solution to a dock door assignment problem. *Computers and Industrial Engineering*, 23(1-4), 283-286.



고 창 성

KAIST 산업공학 박사
현재: 경성대학교 산업경영공학과
교수
관심분야: 물류시스템, SCM



정 기 호

KAIST 경영과학 박사
현재: 경성대학교 경영학과 교수
관심분야: SCM, 네트워크 최적화

불확실한 샤플리밸류를 고려한 공동물류센터 건설비용 산정에 관한 연구*

김재민** · 이준섭*** · 정병도**** · 조규성*****†

** (주)키엔스코리아, *** (주)코에버 정보기술, **** 연세대학교 산업공학과, ***** 동명대학교 항만물류시스템학과

Estimation of Construction Cost for Joint Logistics Center Considering Uncertain Shapley Value*

Jae Min Kim** · Jun Seop Lee*** · Byung Do Chung**** · Gyu Sung Cho*****†

** Korea Keyence Co., Ltd., *** Korea Coever I&T Co., Ltd., **** Department of Industrial Engineering, Yonsei University
***** Department of Port Logistics System, TongMyong University

The participation of logistics companies from the beginning assures the efficient design and operations of a joint logistics center. However, logistics firms find it difficult to provide reasonable construction cost estimates because since construction costs vary based on the development duration and unpredictable environments. Therefore, this study examines the construction process of a joint logistics center by considering the indefinite construction costs that may occur and the decision-making of the participating logistics firms under uncertainty. We develop two scenarios to reflect unpredictable environments and propose appropriate solutions using the Uncertain Shapley value. Using data of joint logistics centers by size, we explain the results from the deterministic and proposed models. The research methodology and findings offer fundamental results for carrying out sustainable cooperative logistics services among recently active logistics companies that want to participate in the construction of joint logistics centers.

Keyword : Joint logistics center, Uncertainty, Cost allocation, Uncertain shapley value

* This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. NRF-2018R1D1A1B07044856).

† **Corresponding Author** : TongMyong University, 50 Sinseon-ro, Nam-gu, Busan 48520, Korea.

Tel: 051-629-1466, E-mail: gscho@tu.ac.kr

Received: 27 July 2021, **Revised**: 20 August 2021, **Accepted**: 24 August 2021

1. 서론

물류공동화는 동일 지역, 동일 업종을 중심으로 수배송의 효율을 높이고 비용을 절감하기 위해 둘 이상의 기업이 공동으로 수행하는 물류활동을 말한다(Jeong, Cho, & Yoon, 2020; Lim, 2013; Oh, Park, Min, Cho, Hong, Bae, & Kim, 2016).

최근의 많은 물류기업들이 물류공동화를 추진하는 이유는 물류기업체의 물류비 절감, 화물자동차 적재율 향상, 공차율감소 등을 통한 물류생산성이 향상되기 때문이다. 뿐만 아니라 물류공동화를 통해서 근무인원 감소, 공동설비 이용에 따른 설비투자 감소 등의 효과로 많은 물류기업들이 물류공동화를 추진하고 있는 상황이다(Park et al., 2020).

많은 물류기업들이 물류공동화를 추진하고 있는 가운데, 물류공동화를 통한 물류생산성을 높이기 위한 연구도 병행하여 수행되고 있다. 물류공동화를 기반으로 수행되는 연구분야를 정리하면 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 냉동냉장업, 의료기관, 의류업, 자동차산업 및 전자제품 등의 관련 산업의 운영특성을 고려한 물류공동화 운영 효율화 향상 방안 연구가 있다(Kim & Cho, 2018; Kim and Kim, 2020; Ok et al., 2001; Ok et al., 2017; Part et al., 2014; Part et al., 2018). 두 번째는 특정 산업 중심의 물류공동화 운영에서 다양한 산업군을 포함한 공유 기반의 물류공동 서비스 확산 방안에 관한 연구가 있다(Ferdinand et al., 2014; Kyung and Zhang, 2018). 마지막으로 물류공동 서비스 확산에 따라 물류공동화 운영에 참여하는 물류기업에게 제공되는 경제적 이익 배분에 관한 연구로 구분할 수 있다(Hong, 2017; Kim & Lee, 2015; Lee, 2012; Park et al., 2019).

물류활동에서 발생하는 순방향 물류 흐름은 생산지에서 소비지로 움직이는 흐름으로, 소비지로 가까이 갈수록 물품의 소량화 및 계절적 영향 등으로 인한 처리 물동량 규모의 다변화로 인해 물류기업들은 물류흐름을 쉽게 예측하기 어려워 졌다(Kim & Lim, 2015). 이러한 물류흐름을 예측하는데 발생하는 한계로 인해 물동량 처리가 많은 큰 물류기업에서도 단독으로 물류센터를 건설하여 운영하기에는 많은 건설비용 부담과 단독운영에 따른 효율성 저하가 발생될 수 있다. 이로 인해 물류기업들은 물류 효율성 증대, 물류 서비스 향상 및 물류비 절감을 위해 공동 물류센터 건설 초기부터 공동으로 참여하고 있다(Chung, 2018; Chung, Ko, & Roh, 2009).

Kim & Cho(2018)는 부산 지역의 스마트 냉장창고 운영

사례를 기반으로 운영 활성화 방안을 제시하였다. Ferdinand et al.(2014)는 고속 배달 서비스의 협업 시스템을 설계하여 협업을 통해 서비스를 향상시키기 위한 공유의 중요성을 제시하였다. Hong(2017)은 물류공급망에 게임이론을 적용한 공유 모델을 제시하였다. Park et al.(2019)은 개인이나 기업에서 사용가능한 자원이나 서비스를 공유함으로써 경제적 이익의 가능성이 있음을 제시하였다. 불확실한 상황을 고려한 연구로, Kim & Lee (2015)는 물류 자원과 이익을 공유해 기업간 경쟁력이 강화됨을 설명하였으며, 다양한 이해관계자의 참여를 토대로 기업운영에서 발생하는 이익의 명확한 배분 방법을 연구하였다.

공동물류센터를 건설하기 위해 여러 물류업체가 컨소시엄을 구성하여 건설에 참여하는 경우, 참여물류기업의 참여율 등의 변화에 따라 각각 부담해야 할 건설비용이 달라질 수 있다. 즉 참여물류기업체의 참여율 등의 변화에 따라 건설비용이 변동 될 수 있는 불확실성을 내포하고 있는 것이다. 하지만 지금까지 불확실성이 존재하는 환경에서의 공동물류센터 비용 분배와 관련된 연구 수행은 미비하며, 기존 연구는 주로 물류센터 운영 활성화, 물류시설의 공유 등을 통한 시설 활성화 및 물류센터 협업 방안 등에 관한 연구를 중심으로 수행되었다. 이에 본 연구는 정부에서 제시한 규모별 공동물류센터 건설 및 운영 현황 데이터를 기반으로, 참여물류기업체의 참여율이 달라질 수 있는 두 가지 불확실한 시나리오를 제시한다. 첫 번째 시나리오에서는 집계한 건설비용 데이터가 불확실한 환경에서 건설 비용의 불확실성에 대한 신뢰구간을 바탕으로 비용을 책정했을 때, 달라질 참여율을 살펴본다. 두 번째 시나리오에서는 확정적인 건설비용을 바탕으로 연합을 구성할 때, 불확실한 연합을 고려한 불확실한 샵리밸류를 계산한다. 두 가지 시나리오를 통해 도출되는 참여율을 분석하고 그 의미를 살펴본다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 우선, 제2장에서 국내 물류산업의 주요 현황을 정리한다. 제3장에서는 확정적인 환경에서 적용할 수 있는 공동물류센터 건설비용 산정 방식과 비용 배분 모형을 설명한다. 또한, 불확실한 환경을 고려하기 위하여 두 가지 발생 가능한 시나리오를 제안하고 각 시나리오별로 기업들이 비용이나 기여도를 책정했을 경우 적용 가능한 새로운 배분 모형을 제시한다. 제4장에서는 확정적인 경우의 공동물류센터 건설비용 배분 결과를 도출하고, 두 가지 시나리오로부터 도출된 배분 비율을 분석하며, 제5장에서는 연구 결과를 정리하고, 추후 연구 방향을 제시한다.

2. 국내 물류산업 운영 현황

국내 운수업 기업체 수는 2019년 기준 39만 3천 개, 종사자수는 115만 4천 명으로 매출액은 \$16,720 billions, 영업비용은 \$153,450 billions 이다. 택배 등 생활 물류 배송 차량(용달 및 개별 화물) 증가 등으로 인하여 물류기업체 수는 2018년 대비 2.3% 증가했으며, 근로시간 단축에 따른 영향과 택배 및 배달 대행 등 생활 물류의 증가로 종사자 수는 2018년 대비 1.7% 증가하였다. 2019년 기준 국내 물류산업 기업체수는 21만 7천 개, 종사자수는 59만 6천 명, 매출액은 \$101,640 billions, 영업비용은 \$92,840 billions이다. 그 중 물류센터 운영 기업체수는 1,443개이며 종사자 수는 15,930명이며 물류센터 운영을 통한매출액은 4.5조 원이다(Statistics, 2019).

국내에서 물류산업이 차지하는 비중은 매년 지속적으로 증가되고 있다. 특히 물류산업 중에서 물류창고업은 백화점, 아울렛, 대형할인점 등과 같은 대형소매업체의 성장에 따른 물류량 증가와 특히 무점포 소매업인 인터넷 쇼핑물의 급격한 증가로 인한 택배거래의 급증도 물류산업 특히 물류센터 관련 산업의 확대 및 활성화의 주요 원인이 되고 있다. 이에 정부차원에서 물류센터 설계에서부터 운영에 이르는 일련의 과정을 체계적으로 지원하고 있다.

2019년 기준 정부에서 공시한 공동물류센터의 규모에 따라 4가지로 구분(소형규모, 중형규모, 대형규모 및 허브규모)하고 있으며 규모별 현황은 <Table 1>과 같다. 연간 물동량을 중심으로 소형규모는 15,000톤 이하, 중형규모는 15,001톤에서 30,000톤 이하, 대형규모는 30,001톤에서 60,000톤 이하 및 허브규모는 60,000톤 이상으로 정하고 있다. 특히 2019년 기준 소형규모는 272곳, 중형규모는 481곳, 대형규모는 307곳 및 허브규모는 383곳이 있다.

3. 불확실한 샤플리밸류를 고려한 공동물류센터 건설비용 배분모형

3.1 공동물류센터 건설비용 책정과 불확실한 샤플리밸류

공동물류센터 건설비용을 배분할 경우에는 참여물류기업체의 참여율에 따라 배분하는 것이 효율적이다. 적절한 건설비용 배분을 통한 참여물류기업체의 형평성 유지가 중요하기 때문이다. 본 장에서는 공동물류센터 건설비용의 책정 방식을 소개하고, 샤플리밸류(Shapley Value) 방법론을 바탕으로 참여율을 배분한다. 각 기업별로 배분된 참여율은 공동물류센터가 실제로 구축되고 총 비용이 산출됐을 때, 참여기업들의 비용배분에 활용된다. 샤플리밸류는 샤플리에 의해 도출된 협조적 게임 해로서 샤플리밸류는 협조적 게임에 참여하는 게임 참여자들이 자발적으로 연합을 형성하여 공동의 이익을 추구한다는 가정을 두고 있다(Shapley & Roth, 1988). 샤플리밸류는 협조적 게임에 참여하는 게임 참여자들의 참여 순서를 고려하여 게임 참여자들의 연합을 구성하고, 연합을 통해서 도출된 이익을 통해 각 연합에 대한 한계 공헌도를 산정하여 게임의 해를 도출하고 있다. 샤플리밸류는 크게 일반 샤플리밸류(Shapley Value)와 불확실한 샤플리 밸류(Uncertain Shapley Value)로 구분되며, 샤플리 밸류가 불확실하다고 판단될 경우에 적용되는 것이 불확실한 샤플리 밸류이다(Kargin, 2005). 본 연구에서는 샤플리 밸류가 불확실하다고 판단되어 불확실한 샤플리 밸류를 적용하여 비용배분 문제를 수행하였다.

<Fig. 1>은 규모별 공동물류센터 소요 건설비용을 나타내고 있다. 소형규모 건설비용은 \$1,185,378이지만 허브규모 건설비용은 \$23,082,545로서 허브규모는 소형규모

Table 1. Throughput and number of companies by size of distribution centers

Size	Area (unit: m ²)	Annual Throughputs (unit: ton)	Number of companies
Small	1,000 ~ 2,000	15,000 or less	272
Medium	2,000 ~ 5,000	15,001 ~ 29,999	481
large	5,000 ~ 10,000	30,000 ~ 59,999	307
Hub	Over 10,000	Over 60,000	383
Total			1,443

보다 19배 이상 건설비용이 소요되는 것을 알 수 있다. 그 이유는 규모가 커짐에 따라 소요 장비 및 복층 구조 등의 건축물의 구조가 복잡해지기 때문이다.

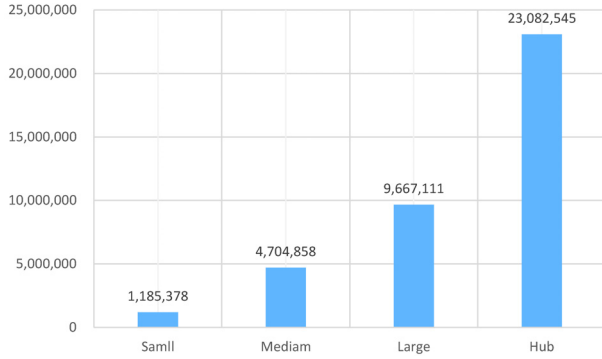


Fig. 1. Construction costs by size (unit : \$)

공동물류센터를 구성할 때, 각 규모별 기업의 기여도를 산정하기 위해 적용되는 불확실한 샤프리밸류는 공동물류센터 건설에 참여하는 모든 기업이 일정한 순서에 따라 참여한다고 할 때, 연합에 참여하는 기업 i 가 마지막으로 참여한다면 전체 연합 S 에 대한 기업 i 의 한계공헌(기여도)은 $C(S) - C(S \setminus i)$ 로 계산된다. 이때, $C(S)$ 는 연합 S 에 의해 지불되는 건설 비용을 의미하며, 구체적인 계산법은 Seong(2008)에서 참조할 수 있다. 모든 참여기업 i 에 대한 불확실한 샤프리밸류는 식(1)을 통해서 산정할 수 있다.

$$\phi(C) = \sum_{S \subseteq N, i \in S} \frac{(|S|-1)! (|N|-|S|)!}{|N|!} [C(S) - C(S \setminus i)] \quad (1)$$

$|S|$: 연합 S 를 구성하는 참여 기업의 수

$|N|$: 대연합을 구성하는 참여 기업의 수

3.2 불확실성을 고려한 공동물류센터 건설비용 배분모형

제1장에서 언급한바와 같이, 본 연구에서는 2가지 시나리오의 불확실성을 고려하여, 각 기업들의 달라질 참여율을 살펴본다. 그림2는 참여율을 계산하기까지의 과정을 4단계로 구분한 그림이다. 시나리오1은 첫 번째 단계에서 건설비용이 불확실하다는 가정하에, 기업들의 참여율 변화를 살펴보고, 시나리오2는 어떠한 연합이 이루어질지 모르는 불확실한 가정하에 기업들의 참여율 변화를 살펴본다.

시나리오1에서는 공동물류센터의 규모별 건설비용이 불확실하다. 불확실한 건설비용의 분포는 알 수 없지만, 아래의 두 가정을 만족한다.

1. 각 규모별 N 개의 기업들의 비용은 모두 편차가 σ 이다.
2. 기업들의 비용에 대한 분포의 모평균과 모표준편차는 표본으로 추정된 표본 평균과 표본 편차와 같다.

시나리오1에서는 두 가지 가정을 바탕으로 식 (7)과 같은 체비셰프 부등식을 활용한다. 식 (7)은 랜덤변수 X 와 모평균 u 의 거리를 모표준편차 σ 와 0보다 큰 상수 k 를 바탕으로 한 절대부등식이다.

$$P(|X-u| \geq k\sigma) \leq \frac{1}{1+k^2} \quad (2)$$

식 (2)의 체비셰프 부등식에서 구하고자 하는 건설비용을 고려할 경우의 임계확률 θ 를 $\frac{1}{1+k^2}$ 와 동일할 경우로 설정하고 k 를 구하면 식 (3)과 같은 식을 도출할 수 있다

$$|X-u| \geq \sqrt{\frac{(1-\theta)}{\theta}} \sigma \quad (3)$$

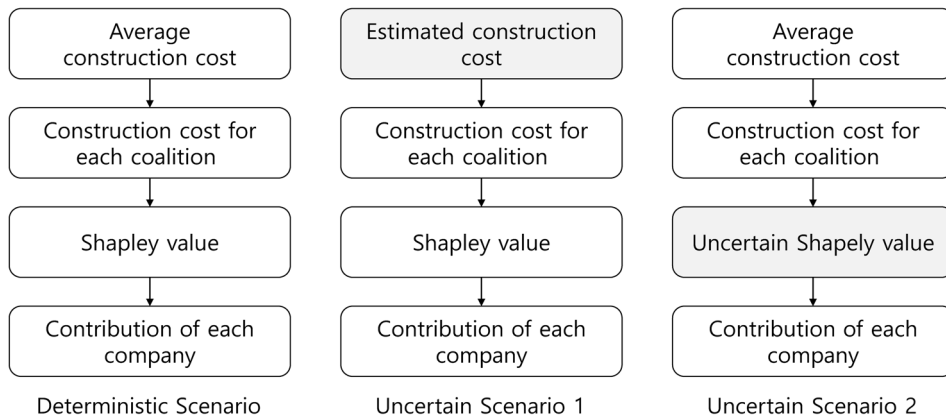


Fig. 2. Comparison of deterministic and uncertain scenarios

따라서 식 (3)을 바탕으로, 어떤 확률분포의 불확실성이 발생하더라도 최소 $\sqrt{\frac{(1-\theta)}{\theta}} \sigma$ 이상의 건설비용을 산정하면 임계확률 θ 를 항상 만족시킬 수 있음을 보여준다. 식 (3)에 의해 새롭게 추정되는 건설비용을 식 (1)에 대입하여 불확실한 샤프리벨류를 계산하고 참여율을 산정한다.

시나리오2에서는 확정적인 기업별 건설비용데이터를 바탕으로 기업별 기여도 $[C(S) - C(S \setminus i)]$ 가 불확실할 때, 참여율 변화를 살펴본다. 식 (1)의 모든 발생가능한 연합의 종류에 대해 계산되는 $|M|$ 개의 $[C(S) - C(S \setminus i)]$ 의 평균과 편차를 활용하여 식 (3)에 대입해 기여도의 신뢰구간을 계산한 후 구간의 경계값으로 참여율을 산정한다(Largin, 2005).

기여도에 대한 신뢰구간의 경계값을 계산하는 방식은 다음과 같다. 한계 기여도는 전체 연합의 비용에서 특정 기업 i 가 빠졌을 때의 비용을 차감한 값을 의미하여, 각 기업의 한계 기여도를 $dC(S)$ 라 하면 식(4)과 같다.

$$dC(S) = [C(S) - C(S \setminus i)] \quad (4)$$

따라서 한계 기여도의 기대값 $E[dC(S)]$ 는 식 (1)과 같아진다. 이를 바탕으로 $dC(S)$ 의 편차 $\sigma[dC(S)]$ 는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\sigma[dC(S)] = \sqrt{\left(\frac{\sum_s dC(S)^2}{|S|} \right) - \left(\frac{\sum_s dC(S)}{|S|} \right)^2} \quad (5)$$

한계 기여도에 대한 기대값과 편차를 바탕으로 식(3) 대입하여 한계기여도를 계산하여 참여율을 배분한다.

4. 불확실성을 고려한 공동물류센터 건설비용 배분 결과

4.1 수치적 실험 구성과 데이터

본 연구에서는 <Table 2>의 부산의 규모별 건설비용을 활용한다. 단 각 규모별 기업의 비용 편차는 모두 100으로 가정한다.

Table 2. Average and deviation of construction costs by size (unit : \$)

Size	Small	Medium	Large	Hub
Average costs	64,206	179,626	558,818	949,233
Deviation	100	100	100	100

확정적인 상황의 건설비용 배분 실험에서는, <Table 2>의 평균 비용을 확정적인 비용으로 가정하고 기업들의 참여율 배분을 수행한다. 시나리오1에서는 건설비용의 불확실성을 고려하여 배분을 수행한다. 식 (8)의 평균 u 와 편차 σ 에 <Table 2>의 값들을 각각 대입하여 <Table 3>의 새로운 비용데이터를 추정한다. 새롭게 추정된 <Table 3>의 비용데이터를 바탕으로 기업들의 참여율을 계산한다. 시나리오2에서는 <Table 2>의 평균 비용을 확정적인 비용으로 가정하고, 기업들의 불확실한 연합을 고려한 불확실한 샤프리벨류를 계산하여 참여율을 산정한다.

Table 3. Construction cost estimated by the boundary value of the confidence interval

Size	Small	Medium	large	Hub
0%	64,206	179,626	558,818	949,233
90%	138,732	291,635	640,282	1,448,533
95%	172,490	342,371	679,901	1,674,698
99%	311,381	551,118	842,904	2,605,222

4.2 확정적인 상황의 건설비용 배분 결과

확정적인 상황의 건설비용 배분을 통한 각 기업이 부담해야 할 건설비용을 불확실한 샤프리벨류를 통해서 산정하면 <Table 4>와 같다. <Table 4>는 4곳의 물류기업(A, B, C 및 D)이 공동물류센터 건설에 참여할 경우 기여순서(참여 우선순위)에 따른 규모별 소요 건설비용을 보여주고 있다.

불확실한 샤프리벨류에 의한 기업별 비용 배분을 보면 소형규모는 \$118,537 ~ 474,151, 중형규모는 \$351,948 ~ 1,696,346, 대형규모는 \$496,225 ~ 1,933,422, 허브규모는 \$1,341,543 ~ 2,830,219로 기업 간의 공동물류센터건설비용이 산정되었다. 허브규모는 소형규모보다 적게는 6배에서 11배까지 차이가 발생하였다. 또한 공동물류센터 건설비용의 평균값을 산정한 결과 소형규모가 제일 적고, 허브규모가 가장 많음을 알 수 있다. 하지만 중형규모와 대형규모에서는 크게 차이가 나지 않기 때문에 공동물류센터 건설에 참여하는 물류기업체는 <Table 1>과 같이 공동물류센터의 면적과 연간 처리 물동량을 고려하여 공동물류센터 규모를 선택하는 것이 필요하다.

<Table 5>는 공동물류센터 건설비용 배분 비교표이다. 소형과중형규모에서는 정부공사에서 제시한 건설비용보다 참여도를 고려한 건설비용이 2배에서 3배정도 높은 것을 알 수 있다. 즉 소형/중형규모에서는 기존 정부공시 기준으로 공동물류센터를 건설하는 것이 참여물류기업

체의 건설비용을 줄일 수 있음을 알 수 있다. 반면에 대형 및 허브에서는 참여도를 고려한 건설비용이 정부공시 건설비용보다도 \$1,000,000에서 \$4,800,000로 적음을 알 수 있다. 즉 공동물류센터 건설비용은 공동물류센터의 규모가 클수록 참여물류기업체의 건설비용의 비율이 적어서 최근의 대규모 공동물류센터 건설에는 적극적으로 물류기업체가 건설에서부터 참여하는 것이 건설비용을 줄일 수 있는 바람직한 의사결정임을 알 수 있다.

4.3 시나리오1: 건설비용의 불확실성을 고려한 배분 비율 결과

본 연구에서는 제3.2절에서 제시한 불확실성을 고려한 건설비용 배분에서 시나리오불확실성을 고려한 건설비용을 추정하였다.

<Fig. 2>와 <Fig. 3>은 신뢰구간을 0%(확정적인 상황), 90%, 95%, 99%로 설정하여 계산된 결과를 비교하고 있다.

Table 4. Result of construction cost of the joint logistics center by Uncertain Shapley Value (unit: \$)

Contribution	Small	Medium	Large	Hub
c(ABCD)	474,151	1,055,844	992,450	1,341,543
c(ABDC)	474,151	1,055,844	496,225	2,830,219
c(ACDB)	474,151	351,948	1,696,346	1,341,543
c(ACBD)	474,151	351,948	1,696,346	1,341,543
c(ADCB)	474,151	351,948	848,173	2,189,716
c(ADBC)	474,151	1,696,346	496,225	2,189,716
c(BACD)	118,537	1,411,457	992,450	1,341,543
c(BADC)	118,537	1,411,457	496,225	2,830,219
c(BCDA)	118,537	1,411,457	992,450	1,341,543
c(BCAD)	118,537	1,411,457	992,450	1,341,543
c(BDCA)	118,537	1,411,457	496,225	1,837,768
c(BDAC)	118,537	1,411,457	496,225	1,837,768
c(CBAD)	118,537	470,485	1,933,422	1,341,543
c(CBDA)	118,537	470,485	1,933,422	1,341,543
c(CADB)	237,075	351,948	1,933,422	1,341,543
c(CABD)	237,075	351,948	1,933,422	1,341,543
c(CDAB)	237,075	351,948	1,933,422	1,341,543
c(CDBA)	118,537	470,485	1,933,422	1,341,543
c(DBCA)	118,537	940,971	496,225	2,308,254
c(DBAC)	118,537	940,971	496,225	2,308,254
c(DCAB)	237,075	351,948	966,711	2,308,254
c(DCBA)	118,537	470,485	966,711	2,308,254
c(DACB)	355,613	351,948	848,173	2,308,254
c(DABC)	355,613	1,696,346	496,225	2,308,254
Total	5,452,725	20,552,588	26,562,592	43,663,446
Average	227,197	856,358	1,106,775	1,819,310

Table 5. Comparison of construction cost of joint logistics center

Size	Government-disclosed construction cost (unit: \$)	Construction cost considering contribution (unit : \$)	Difference (unit : \$)
Small(1,000 ~ 2,000)	1,185,378	3,296,580	2,111,202
Medium(2,000 ~ 5,000)	4,704,858	8,563,581	3,858,723
Large(5,000 ~ 10,000)	9,667,110	8,586,623	-1,080,487
Hub(over 10,000)	23,082,545	18,193,107	-4,889,438

우선, 신뢰 구간이 큰 경우, 공동물류센터 규모가 클수록 건설비용의 비율이 높아지는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 신뢰 구간이 99%인 경우, 대형 허브의 건설비용은 \$165,253으로 계산되었고, 신뢰구간 99%인 상황에서 발생하는 건설 비용의 48.5%에 해당된다. 반면, 불확실성이 없는 확정적 상황에서의 대형 허브의 건설 비용은 \$63,612으로 계산되었다.

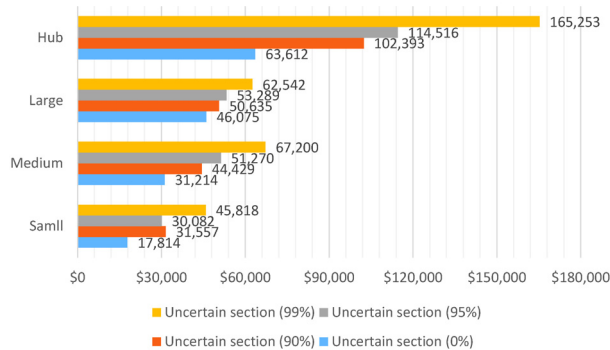


Fig. 3. Scenario 1 (expected values unit : \$)

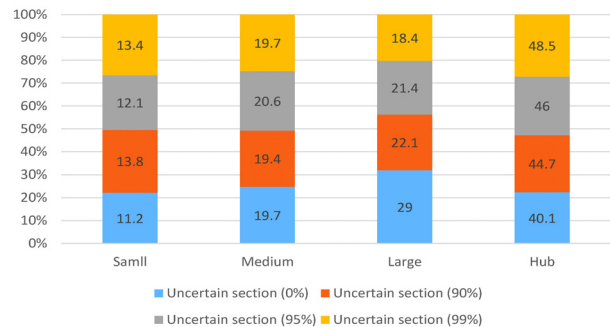


Fig. 4. Scenario 1 (ratio by confidence interval by size) (unit : %)

반면에 불확실성 수준에 따른 소형규모 및 중형규모의 차고 건설비용의 차이는 상대적으로 크지 않으며, 대형규모는 오히려 감소하는 것을 알 수 있다. 그 이유는 대형규모의 컨소시엄 구성 후 발생하는 기대이익이 허브규모보다 적게 발생됨으로 잠재된 불확실성에 의한 건설비용 기여도가 증가됨을 알 수 있다.

4.4 시나리오2: 불확실한 사플리밸류를 고려한 배분 비율 결과

제3.2절에서 제시한 시나리오2를 토대로, 확정적인 기업별 건설비용데이터를 바탕으로 불확실한 사플리밸류를 이용하여 기업별 기여도를 산출한 후 참여율을 배분한다.

시나리오 2에서도 신뢰구간이 커질 수록 계산되는 건설비용의 값이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 불확실성에 대한 대응을 위해 보수적인 상황을 반영하기 때문이다. 하지만, <Fig. 4>와 <Fig. 5>와 같이 시나리오 2의 상황에서는 시나리오 1과는 다르게 대형 규모의 건설비용이 크게 계산되었다. 신뢰구간이 커질수록 물류센터 건설 규모가 대형규모인 경우에는 참여물류기업체의 연합 비중이 커지는 반면 허브규모 연합의 비중이 작아지는 것을 알 수 있었다. 따라서 참여물류기업체를 결정할 경우에 대형규모의 컨소시엄이 허브규모의 컨소시엄보다 기대이익이 적게 발생하지만, 잠재된 불확실성에 의한 건설비용 기여도가 증가됨을 알 수 있다.

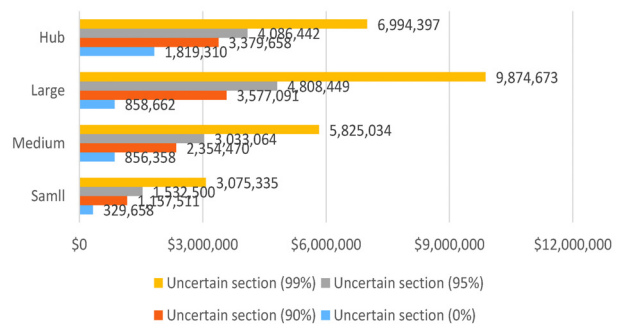


Fig. 5. Scenario 2 (expected values unit : \$)

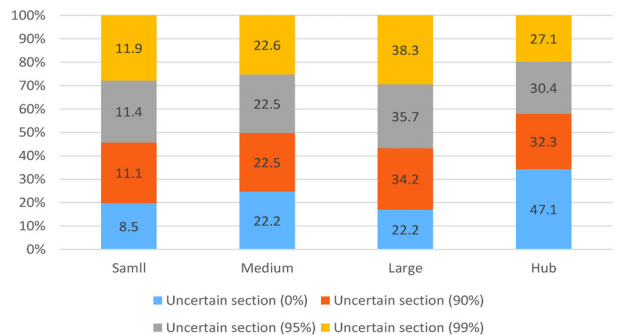


Fig. 6. Scenario 2 (ratio by confidence interval by size) (unit : %)

5. 결 론

물류 효율성 증대, 물류 서비스 향상 및 물류비용 절감 등을 위해 많은 기업들이 공동물류센터 구축에 주목하고 있다. 하지만 공동물류센터 건설비용은 건설에 참여하는 물류기업체별 참여비율 및 참여 우선 순위 등에 따라 달라질 수밖에 없다. 즉 건설에 참여하는 물류기업체별 의사결정에 따라 건설비용이 달라지게 된다. 따라서 공동물류센터 건설에 소요되는 건설비용의 참여물류기업체별 배분

산정 연구가 필요하다.

본 연구는 공동물류센터를 건설하고 지속적 운영을 수행하기 위한 목적으로 참여물류기업체에게 비용을 효율적으로 배분할 수 있는 모델을 제시하였다. 정부에서 공시한 2019년 기준 물류센터 규모에 따라 4가지로 구분(소형 규모, 중형규모, 대형규모 및 허브규모)하고 규모별 공동물류센터 건설 및 운영 데이터를 기반으로 공동물류센터 건설비용에 대해 불확실한 샤플리밸류를 적용하였다. 본 연구에서는 불확실한 샤플리밸류를 적용한 건설비용과 정부공시 건설비용을 비교한 결과 공동물류센터의 규모가 클수록 불확실한 샤플리밸류를 적용한 건설비용이 더 적음을 보였으며, 이로 인해 대규모 공동물류센터 건설에는 불확실한 샤플리밸류를 고려한 물류기업체의 참여가 적절하다는 것을 제시하였다

또한 본 연구에서는 발생가능한 불확실한 두 가지 시나리오를 설명하고, 각 시나리오별로 기업들이 세 가지 신뢰구간을 기준으로 대응했을 시, 달라지는 배분비율을 계산했다. 시나리오1과 2 모두 참여물류기업체를 결정할 경우에 대형규모의 컨소시엄이 허브규모의 컨소시엄보다 기대이익이 적게 발생하지만, 잠재된 불확실성에 의한 기여도가 증가됨을 알 수 있다. 즉 비용의 배분비율이 증가했다.

본 연구는 참여물류기업체의 건설비용의 편차가 동일하다는 가정하에, 임의의 편차인 100을 가정하고 실험을 진행했다는 한계점이 있다. 따라서, 규모별 기업들의 편차가 상이한 경우 결과는 달라질 수 있으며, 향후 연구에서는 참여물류기업체별 건설비용 데이터들을 추가적으로 확보한 후, 보다 상세한 연구를 수행하고자 한다. 또한, 본 연구에서 제시한 시나리오 1과 시나리오 2를 모두 고려한 새로운 시나리오에 대한 실험을 진행해 볼 수 있다. 하지만, 불확실성이 과도하게 고려되면 지나치게 보수적인 결과가 나올 수 있기 때문에 해의 보수성 이슈를 해결할 수 있는 방법이 함께 고려되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] Chung, K. H. (2018). Slot Exchange Model for Strategic Collaboration of Liner Shipping Industry. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 18(2), 163-171.
- [2] Chung, K. H., Ko, S. Y., & Roh, J. J. (2009). A Strategic Alliance Model with a Regional Monopoly of Service Centers in Express Courier Services. *International Journal of Services and Operations Management*, 5(6), 787-798.
- [3] Ferdinand, F. N., Chung, K. H., Lee, E. G., & Ko, C. S. (2014). Collaborative System Design in Express Delivery Services: Formulation and Solution Heuristic. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 5(1), 1-8.
- [4] Hong, W. S. (2017). Game Theoretical Competition Model of Mixed Online and Office Supply Chains. *Korea Logistics Review*, 27(2), 49-57.
- [5] Jeong, J. Y., Cho, G. S., & Yoon, J. E. (2020). Trend Analysis on Korea's National R&D in Logistics. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 34(6), 461-468.
- [6] Kargin, V. (2005). Uncertainty of the Shapley Value. *International Game Theory Review*, 7(4), 517-529.
- [7] Kim, D. H. & Lee, G. B. (2015). A Method of Profit Allocation for Sharing Economy Among Companies Considering the Transaction Costs. *Journal of the Korean Industrial Information Society*, 20(4), 111-126.
- [8] Kim, H. S. & Cho, G. S. (2018). Case Study on the Operation of Smart Refrigerated Warehouse in Busan. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 9(4), 369-374.
- [9] Kim, S. J. & Kim, J. K. (2020). How to Increase an Operational Efficiency by Joint Logistics: A Case Study of Small Bookstores. *Journal of Product Research*, 38(5), 101-109.
- [10] Kim, S. R. & Lim, W. K. (2015). The Effect of Logistics Information Sharing on Logistics Performance. *Korea Logistics Review*, 25(2), 13-22.
- [11] Kyung, Y. B. & Zhang, Y. Q. (2018). An Assessment of Joint Logistics Models in China. *Journal of International Trade & Commerce*, 14(6), 609-627.
- [12] Lee, J. H. (2012). *A Study on the construction of Logistics Collaboration System in Agricultural Products Wholesale Market*. Master Degree, Konkuk University.
- [13] Lim, M. J. (2013). *A Study on Improvement Through Analysis of Logistics Center Development Cases*. Master Degree, Konkuk University.
- [14] Oh, J. W., Park, S. H., Min, C. H., Cho, S. G., Hong, S., Bae, D. S., & Kim, H. W. (2016). A Study on the Simulation-based Design for Optimum Arrangement of Buoyancy Modules in Marine Riser System. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 30(1), 10-17.
- [15] Oh, S. C., Ma, J. H., & Ahn, Y. H. (2017). Developing the Collaborative Logistics System for Small and Medium Sized Door-to-Door Service Providers. *Korea Logistics Review*, 27(4), 65-74.

- [16] Ok, S. J., Lee, K. W., & Yun, D. H. (2001). A Study on the Physical Distribution Cooperation of the Electronic Products. *Korea Logistics Review*, 11(2), 1-23.
- [17] Park, J. S., Kim, H. S., Lee, J. G., Choi, H. Y., & Kang, K. S. (2014). A Study on the Development of Integrated Logistics System for Hospital Logistics Cooperation. *Journal of the Korea Safety Management & Science*, 16(2), 139-146.
- [18] Park, K. O., Jung, D. H., & Kwon, S. M. (2020). Necessity of the Physical Distribution Cooperation to Enhance Competitive Capabilities of Healthcare SCM. *Management & Information Systems Review*, 39(3), 17-35.
- [19] Park, Y. T., Kim, H. S., & Cho, G. S. (2019). Study on the System Development for Port Logistics System Diagnostics. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 10(7), 605-612.
- [20] Shapley, L. S. & Roth, A. E. (1988). *The Shapley Value*. Cambridge University Press.
- [21] Seong, S. K. (2008). Cost Allocation of Busan Container Quay. *Journal of the Korean Port Economics Association*, 24(1), 41-60.
- [22] Statistics Korea (2019). Preliminary Results of the 2019 Transportation Survey (Including Logistics Industry Statistics).



김재민

동명대학교 공학사
동명대학교 공학석사
현재: (주)키엔스코리아
관심분야: 물류/SCM, 생산관리



이준섭

연세대학교 공학사
연세대학교 산업공학과 석박사통합과정
현재: (주)코에버정보기술
관심분야: 물류/SCM, 최적화



정병도

연세대학교 공학사
연세대학교 공학석사
Pennsylvania State University 공학박사
현재: 연세대학교 산업공학과 교수
관심분야: 물류/SCM, 최적화



조규성

동의대학교 공학사
동의대학교 공학석사
동의대학교 공학박사
현재: 동명대학교 항만물류시스템학과 교수
관심분야: 물류/SCM, 시뮬레이션

AHP를 활용한 식품기업의 공급망 품질경영 실행요인의 우선순위에 관한 연구

한태열* · 김승철** · 이태원**†

*한양대학교 대학원 경영학과, **한양대학교 경영대학

A Study on Priority of the Supply Chain Quality Management Activities Using AHP in Food Industry

Tae-Yeol Han* · Seung-Chul Kim** · TaeWon Lee**†

*Business School, Hanyang University

**School of Business, Hanyang University

In this study, it was intended to present activities of high relative importance by deriving the priority of implementing SCQM activities. It was analyzed through the AHP technique by consisting of three factors in the first layer and nine factors in the second layer of SCQM activities. As a result of the analysis, it was found that internal quality management is a priority over quality management of suppliers and customer quality management in the front and rear of the supply chain in food companies, including food safety. Academic implications were presented in empirical studies, revealing the results of the importance of quality management within an enterprise as the implications of this study. It also provides practical implications by providing a basis for determining which factors should be paid more attention to in order for domestic food companies to derive quality performance.

Keyword : Food industry, SCQM, AHP analysis

† **Corresponding Author** : Business School, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, 04763, Korea.
Tel: +82-2-2220-1069, Fax: +82-2-2220-4171, E-mail: twlee@hanyang.ac.kr

Received: 19 August 2021, **Revised**: 6 September 2021, **Accepted**: 23 September 2021

1. 서 론

1.1 연구의 배경

식품산업은 국민에게 기본식량을 공급하는 산업으로서 세계 식품시장의 규모는 2015년 기준 IT와 자동차 산업을 합한 것보다 크고, 국내 식품기업은 K푸드의 기치로 해외 시장확대에 계속해서 도전하고 있다. 지속적인 식품산업의 발전을 위해서는 식품안전사고 방지는 물론 소비자로서 하여금 제품에 대한 불신을 유발시켜 소비자가 식품을 구입할 때 불안감을 가지게 되어 해당 기업에 대한 부정적인 인식을 최소화 하는 노력이 필요하다(Chae et al., 2008).

2018년 기준 국내 음식료품제조업 매출액은 115.5조(대기업 65.8조, 중소기업 49.7조)이며, 국내 식품시장은 소수 대기업과 다수 중소기업이 병존하는 구조를 보이기 때문에 식품의 원재료 공급자를 포함한 1차 가공업체와 최종 소비자 사이에 위치하는 식품기업의 역할이 중요하다.

식품산업의 공급사슬은 최초 공급자로부터 최종 고객에 이르기까지 수입과 수출을 포함하여 공급사와 구매사, 유통사에 이르기까지 다단계 공급사슬에 크게 의존하고 있다(Lee & Jung, 2011). 식품의 안전관리는 식품의 재료에서부터 제조, 가공, 유통 및 저장을 거쳐 최종 소비되기까지 모든 단계에서 위해요소에 대한 철저한 관리가 필요함에 따라(Park & Park, 2019), 관련 선행연구를 살펴본 결과 식품산업에 대하여 공급사슬 전반에 걸친 기업간 파트너십, 콜드체인, 추적이력관리시스템, HACCP 등의 인증제도와 물류성과를 비롯한 식품안전, SCM성과와의 관계 연구가 진행된 것을 확인할 수 있었다.

공급망 품질경영은 기업내부의 품질활동에서 공급망 품질활동으로 확장된 기업 간 협업활동으로서(Oh et al., 2013), 앞서 밝힌 바와 같이 공급사슬이 복잡하고 식품의 안전 및 품질을 중요시하는 식품산업을 대상으로 실증연구를 할 필요가 있다. 공급망 품질경영에 관한 국내 연구로는 공급사슬 품질관리 관점에서 기업성가에 미치는 영향을 분석하고(Kim et al., 2016), 한국표준협회에서 연구한 공급망 품질경영 평가 모델을 기반으로 공급망 품질경영에 필요한 인프라, 프로세스, 성과간의 인과관계(Park et al., 2011), 국내 방산중소기업의 경영성가에 공급망 품질경영 활동이 성과공유의 조절효과를 중심으로의 관계성을 연구(Choi et al., 2017) 등이 있으며, 산업별 또는 거래특성에 따라 측정항목들이 조정 및 수정되어 온 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 상대적으로 부족한 국내 식품산업에 대한 공급망 품질경영 실행에 대한 연구를 통해 기존의 국내외 공급망 품질경영 관련 연구를 기반으로 식품산업의 주요 공급망 품질경영 실행 요인의 우선순위를 제시하고자 한다. 더불어 지속적인 식품산업의 발전을 위하여 공급자와 협력을 통해 공급자가 제공하는 제품의 품질을 확보함은 물론 기업 내부에서 품질관리 활동을 수행하는 중견기업 이상 규모의 국내 식품기업을 대상으로 효율적인 공급망 품질경영 실행에 관한 발전 방향을 제시할 것으로 기대한다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 첫째, 공급망 품질경영 실행에 대한 선행연구의 요인을 바탕으로 식품산업에 맞게 식품기업에서 공급망 품질경영 실행을 적용하여 연구하려 한다. 이는 공급망 품질경영 실행을 식품산업에 맞게 구성하여 공급망 품질경영 실행 연구의 차별화에 대한 필요성을 학문적 시사점으로 제시한다. 둘째, 식품산업의 공급망 품질경영 실행에 있어 실제 식품기업에서 중요하게 인식하고 있는 공급망 품질 경영 실행의 상대적 중요도 차이를 분석하여 효율적인 기업 운영을 위한 실무적 대안점을 제시하고자 한다.

이를 위해 식품산업의 공급망 품질경영 실행의 척도에 대한 선행연구를 고찰하고 특성 요인을 도출한다. 그리고 도출된 실행 요인을 바탕으로 식품품질관리의 개선에 있어 무엇이 상대적으로 중요한지 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석 방법을 이용하여 우선순위를 산출하였다. 이 결과를 통해, 식품산업에서 공급망 품질경영 실행 요인들에 있어 우선순위가 무엇인지 제시하여 국내 식품산업 발전에 기여하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 식품산업의 특성

식품산업은 인류에게 건강과 생명을 위해 기본식량을 공급하는 산업이며, 국내의 경우 식품산업은 정부가 중점 육성하고 있는 5대 유망소비재 중 하나로, 경기변동에 큰 영향 없이 3%대의 성장률을 유지하고 있는 상황이다. 식품 제조의 경우 경제에서 차지하는 비중이 1%대이나, 식품도소매, 외식 등 전후방산업까지 포함 시 고용의 10%를 차지하여 일자리 창출 기여도도 높은 산업이다.

식품의 특성은 부패하기 쉬우며, 이러한 변질성(perishability)은 식품산업에 있어서 매우 중요한 요소이다(Wilson, 1996). 식품에서의 가치는 품질, 수량, 시기 등과 같은 활용 가능성과 제품의 가격에 달려있는데 식품산업에서는 이러한 품질을 보장하기 위해 통합된 거래의 조정 과정이 중요하다(Harrington & Manchester, 1986). 그러므로 지속적인 식품산업의 발전을 위해서는 식품안전사고 방지를 무엇보다 최우선 목표로 하여야 할 필요가 있다.

소비자들은 식품 생산에서 유통, 최종소비자까지 전 과정의 안전을 엄격하게 요구하고 있으며, 선진국의 경우 식품안전관리의 원칙을 제시하고 있는데 우리나라도 다단계 구조인 전통적인 식품유통구조에서 벗어나기 위한 식품 안전관리 체계확보를 위해 노력하고(Kim & Jung, 2009), 식품기업들은 소비자로부터 신뢰와 만족을 얻기 위해 공공 및 민간에서 제시하는 다양한 식품의 인증 제도들을 준수하며 그 제품의 안전성을 증명하기 위한 노력을 하고 있다.

식품은 여타 특성이 일관적인 공산품과 비교해 본질적으로 제품마다 상이한 품질 특성을 가지고 있으므로 구매자, 공급자의 관계에서 일정 수준 이상의 동일한 품질의 제품을 지속적으로 공급받는 것이 식품 산업의 공급체인에 있어 중요한 요소가 되고 있다(Kim et al., 2009).

본 연구에서는 안전한 식품품질관리를 위해 복잡한 식품산업의 공급망 관리에 있어 공급망 품질경영 실행에 대한 이론을 바탕으로 하여 식품산업에서 공급자와 소비자 전후방의 중간에서 음식료품을 제조하는 중견기업 이상 식품기업의 성과를 향상시킬 수 있는 효율적인 방법론을 찾고자 한다.

2.2 공급망 품질경영 실행

오늘날 시장구조는 식품산업은 물론 모든 산업에 있어 공급자 중심의 시장에서 수요자 중심의 시장으로 전환이 됨에 따라 다수의 기업이 고객의 요구에 따른 수요 중심의 고객만족을 달성하기 위해 각자 최선의 노력을 다하고 있다.

식품의 공급망은 공장 내의 원재료, 재고 및 완제품생산에 이르기 까지 최초 공급자부터 제조업자, 창고보관업자, 유통업자, 소매상으로 구성되고, 최종 식품의 품질은 공급망에 관여하는 모든 업체들의 역량에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 따라서 제품의 품질향상을 위해서는 공급망에 참여하는 모든 기업들의 역량이 향상되어야 하고, 기업 간의 협업이 요구된다(Kuei et al., 2008).

초기의 공급망 품질경영 관련 선행연구들은 공급망 품질경영(SCQM: Supply Chain Quality Management)이라는 용어를 사용하지 않았지만, 전사적 품질경영(TQM: Total Quality Management)과 공급사슬관리(SCM)의 통합에 대한 필요성은 제안하였고, TQM은 기업 내부의 통합, SCM은 기업 외부와의 파트너십에 초점을 맞추기 때문에 기업의 경쟁력을 강화하고 고객 만족을 달성하기 위해서는 TQM과 SCM의 통합이 필요하다(Oh et al., 2013).

공급망 품질경영에 대한 정의는 연구자별로 다음과 같이 다양하게 이루어지고 있다.

Robinson & Malhotra(2005)는 공급망에서 나타나는 기업 간 협력적 품질경영 활동으로 조직 간 비즈니스 프로세스의 통합을 기반으로 공급망 참여 주체들이 가치 증진과 만족을 극대화하기 위한 일련의 과정으로 정의하였다. Foster Jr.(2008)는 공급망의 협력활동이 공급자와 고객을 연결시키고 이로 인해 발생하는 추가적인 비즈니스의 기회들로 인해 공급망에 참여하는 기업들은 성과가 향상되는 통합적인 프로세스 관점에서 성과를 향상시키는 시스템 기반의 접근법으로 정의하였다.

Kaynak & Hartley(2008)는 기업이 경쟁력을 확보하기 위해서는 자사 내부의 품질활동뿐만 아니라 공급사슬 속에서 공급자와 구매자가 적극적으로 품질을 향상시키기 위해 노력할 때에만 협력기업들 간의 성과에 긍정적 영향이 나타나는 것으로 정의하였다.

Kuei et al.(2008)은 SCQM은 품질관리(Quality Management) 실무적용을 통해 기업이 경쟁력 있는 공급망을 구축할 수 있도록 지원하는 SCM의 확장된 형태라고 하였다.

공급망 품질경영 실행의 주요 연구는 <Table 1>에 제시한 바와 같이 연구자에 따라 실행요인을 각각 달리 제시하고 있는데, 기업 내부, 외부, 그리고 고객관점에서 공급망 품질경영 실행을 통한 기업성고를 향상시키는데 초점을 맞추었으며, 이를 공급사슬상에서 상류와 하류의 활동으로 구분지어 기업 내부는 물론 공급사에서 최종 소비자까지의 관점을 포함하여 연구되어지고 있다.

2.3 식품산업에서의 공급망 품질경영 실행

동종의 산업에서 공급사슬의 전방과 후방을 구성하는 구매자와 공급자의 입장이 상이할 수 있기 때문에 SCM의 성공적인 실행을 위해서는 기업간의 협력이 매우 중요하다(Kim & Kim, 2008).

식품산업에서 공급망 품질경영 실행에 관하여 연구된

Table 1. Research on the Supply Chain Quality Management

Researcher	Research Topic	Main Factors
Robinson & Malhotra(2005)	Defining the concept of Supply Chain Quality Management Factors	Top Management & Leadership, Process Integration and Management, Communication and Partnership Activities, SCM Strategy, TQM Best Practices
Lin et al.(2005)	A structural equation model of Supply Chain Quality Management	Quality Management Practice, Supplier Participate, Supplier Selection, Organization Performance
Kaynak & Hartely (2008)	Development and extension of Quality management into the supply chain	Internal Focus, External Focus, Customer Focus
Foster(2008)	Defining Supply Chain Quality Management to operationalize	Customer Focus, Supplier Relationship, Leadership, Human Resource Management
Quang et al.(2016)	Explore the concept of Supply Chain Quality Management and to propose a research model	Upstream QM Activities, Downstream QM Activities, Internal Process Quality & Support Practices
Soares et al.(2017)	Empirical examination of the relationship between SCQM practices and quality performance outcomes.	Customer Focus, Supplier Focus, Supply Chain Integration, Quality Leadership
Hong et al.(2020)	Three dimensions of food SCQM practices, supplier quality management, internal quality management, and customer quality management, have significant positive effects on an enterprise's quality safety performance in Chian food firms.	Supplier Quality Management, Internal Quality Management, Customer Quality Management

사례로는 Hong, Zhou, & Li(2020)이 중국의 식품산업을 대상으로 공급망 품질경영 실행이 식품안전과 매출성장에 영향을 미치는지에 대한 실증 연구를 하였으며, 공급망 품질경영 실행의 주요 요인으로 <Table 2>와 같이 공급자 품질관리(Supplier Quality Management), 내부 품질관리(Internal Quality Management), 고객 품질관리(Customer Quality Management)로 요인을 설정한 바가 있다.

식품기업에서 공급망 품질경영 실행의 선행연구에서 밝힌 요인은 다음과 같다. 첫째, 공급자 품질관리는 품질관리에 있어 매우 중요한 부분이며, 공급망 품질경영에 있어 첫 번째 단계로서(Sila, Ebrahimpour, & Birkholz, 2006), 식품제조업체와 공급 업체 사이에서 좋지 않은 관계가 발생할 경우 각자 기회주의적 행동으로 인한 제품 품질의 소홀로 인해 공급사와 구매사 모두에게 품질 문제를 야기할 수 있다. 둘째, 내부 품질관리는 공급망을 통한 식품 품질 안전을 예방하는 가장 중요한 단계이다(Zhou, Kai, & Liang, 2015). 식품기업은 식품 제조 공정의 모든 단계가 표준화되고 제어 가능하게 하여야 하며, 식품 안전 사고 예방을 위한 관련 사전 조치 및 식품의 위해성에 대한 사전 점검활동이 필수적임에 따라 HACCP, GAP, ISO22000 등의 인증절차를 수행하는 등의 활동을 한다. 셋째, 고객품질관리는 식품기업의 번영 및 소멸과 직결된다는 점에서 식품기업은 고객과의 좋은 관계를 관리하고

유지하며, 이를 더 확대하는 노력이 필요하다(Anker, Sparks, Moutinho, & Gronroos, 2015). 식품기업들은 고객과의 긴밀한 접촉을 유지하기 위해 의사소통 채널을 구축할 필요가 있으며, 고객의 의견에 적극적으로 대응하여 긍정적인 이미지를 구축할 필요가 있다(Sroufe & Curkovic, 2008). 또한 식품 기업은 제품 연구 및 개발 과정에도 고객을 참여시킴으로써 고객의 기대치에 맞춰 제품 기능 및 품질을 더 잘 조정할 수 있도록 노력할 필요가 있다(Costa & Jongen, 2006).

본 연구에서는 식품안전사고가 발생하였을 때 소비자의 신뢰를 잃게 됨으로서 식품기업의 경영에 있어 심각한 문제를 발생시킬 수 있는 문제를 사전에 철저히 관리하여야 하는 이유로 복잡한 공급망 상에서의 변질성 등이 있는 식품의 특성에 따라 품질관리를 철저히 해야하는 식품기업이 품질관리를 위해 중점적으로 관리해야하는 요인은 무엇인지 확인할 필요가 있다.

본 연구는 Hong et al.(2020) 등에 의해 연구된 공급망 품질경영 실행 요인을 가지고 식품 기업의 전문가 의견을 조사하여 확인하였고, 선행연구 고찰을 통해 추출된 공급망 품질 경영 실행요인에 대한 의견을 수렴한 후 현재 대내외 식품 시장과 환경 등 다양한 여건을 고려하여 주요요인을 결정하였고 그 결과 <Table 2>와 같이 계층화하였다.

Table 2. Supply Chain Quality Management Activities Hierarchy and Explanation of Main Factors and Details

Goal	Layer 1	Layer 2	Definition	Prior Research
Supply Chain Quality Management Activities	Supplier Quality Management	Maintaining Relationship	Maintain long-term partnerships with partners	Sila et al.(2006), Soares et al.(2017), Hong et al.(2020)
		Information Sharing	Continuous information sharing with partners	
		Process Execution	Implementation of the partner and product safety assurance process	
	Internal Quality Management	Production Process Maintenance	Maintaining stable production processes within the enterprise	Zhou et al.(2015), Hong et al.(2020)
		Food Certification System	Compliance with and implementation of the Food Quality Certification System	
		Hazard Check	Implementation of internal food risk checks	
	Customer Quality Management	Product Development Participation	Customer engagement in product development	Costa & Jongen(2006), Sroufe & Curkovic(2008), Anker et al.(2015), Hong et al.(2020)
		Quality Recognition Survey	Identify customer awareness of product quality	
		Quality Opinion Collection	Collect customer feedback on product quality	

2.4 AHP 이론

AHP는 Saaty(2003)에 의해 1970년대에 개발된 다기준 의사결정기법 중 하나로 여러 속성들을 파악하고 이를 쌍대비교 하여 계층화된 구조로 체계화 시켜 분석함으로써 최적의 대안을 산출하는 기법이다(Choi et al., 2017). AHP는 근본적으로 문제 해결의 복잡성을 구조화하여 측정과 우선순위 선정에 효과적인 기법을 제공하므로 리스크 발생 가능성 평가, 예산배정, 구매결정, 정책결정 등에 다양한 분야에서 사용하고 있다(Kim et al., 2019). 이 기법은 복잡한 기준을 단순, 직관적 구조로 파악할 수 있고 응답자들의 일관성을 검증할 수 있기 때문에 일관성이 높은 응답만을 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 중요도의 강도는 상호 조건을 충족하기 때문에 A가 B보다 X배 더 선호되는 경우, B는 A보다 1/X 배 더 선호된다고 해석 할 수 있다(Vargas, 1990; Boo et al., 2013; Ahn et al., 2020). 일관성 비율의 경우 낮을수록 합당한 점정이라고 판단하며 AHP 분석기법을 개발한 Saaty교수는 일관성비율 0.2 이내면 수용할 수 있다고 하였다(Ahn et al., 2020).

AHP기법은 식품산업에서 공급망 품질경영 실행 요인에 대한 정성적 지표를 객관화하여 정량화 할 수 있으며, 종합적으로 우선순위를 산출하여 요인을 계층화 할 수 있는 효과적인 방법으로서 본 연구는 AHP기법을 활용해 공급망 품질경영 실행의 정성적인 요인들을 정량적 지표로 제시하고 계층화 하고자 한다.

3. 연구 설계

3.1 요인 선정

본 연구의 요인은 공급망 품질경영에 관한 국내·외 선행 연구를 바탕으로 수립하였다. 제1계층에 사용된 요인은 공급자 품질관리, 내부 품질관리, 고객 품질관리 3가지이다. 최근 식품기업을 대상으로 연구된 공급망 품질경영의 선행연구에서 사용된 공급망 품질경영의 실행요인으로 활용하여 연구를 진행하였고, 그 하부 요인은 국내 식품산업에 맞게 조정하여 재구성하였다.

본 연구의 제1계층의 세부요인에 해당하는 제2계층의 세부 요인은 다음과 같다. 공급자품질관리의 하위 요인은 관계유지, 정보공유, 프로세스 실행으로 분류하였고 내부 품질관리의 세부 요인은 생산공정유지, 식품인증제도의 이행, 위해성 점검으로 구분하였다. 그리고 고객품질관리의 세부 요인으로는 제품개발참여, 품질인식조사, 품질의 견수렴으로 <Fig. 1>과 같이 구성하였다.

3.2 연구 방법

식품산업에서의 식품기업 입장에서 기업의 매출증대나 이익향상에 도움을 주는 공급망 품질경영 실행 선택 요인의 우선순위를 AHP를 통해 도출하기 위해 <Fig. 2>와 같이 연구를 진행하였다. 설문조사는 국내 식품기업에 중

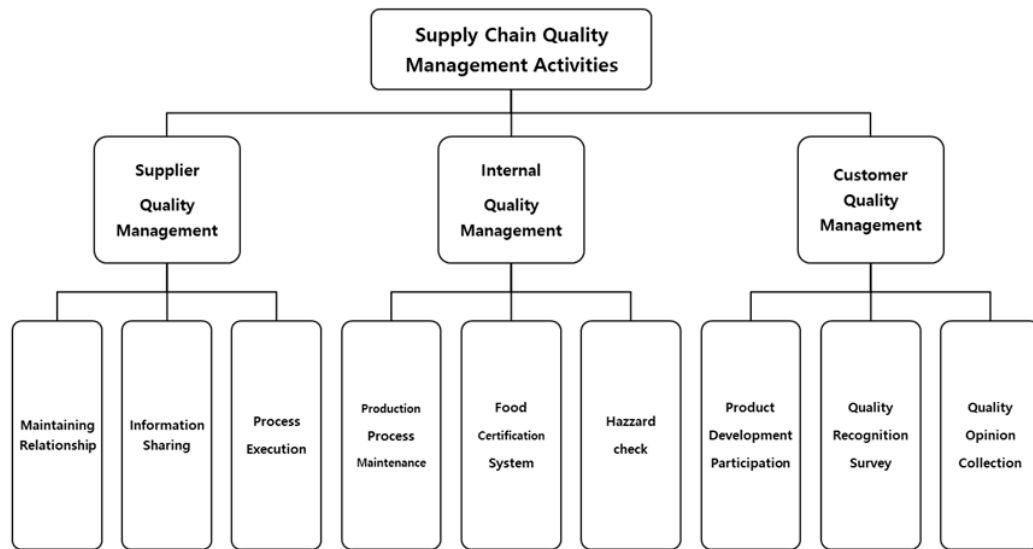


Fig. 1. AHP Hierarchical Model of Supply Chain Quality Management Activities

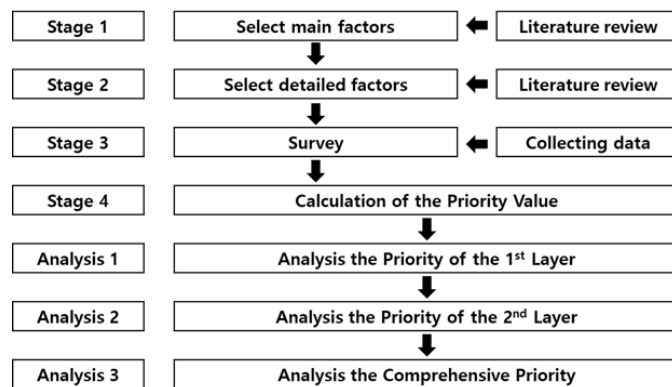


Fig. 2. Flow Chart for Calculating the Priority

사하고 있는 임직원을 대상으로 설문을 진행하였다. 2021년 7월 10일부터 7월 23일까지 조사하였으며 직접대면 설문과 e-mail 응답 방식을 선택하여 사용하였다. 공급망 품질경영 실행의 상대적 중요도 조사를 위해 식품기업에 재직하고 있는 총 35명을 대상으로 쌍대비교 7점 척도로 조사하였다. 총 35부를 배포하여 전량 회수하였으며, 그 중에서 응답 부적합 설문지는 없었으며, 총 35부를 바탕으로 AHP 분석을 실시하였다.

4. 공급망 품질경영 실행 계층별 중요도 분석결과

4.1 인구통계학적 특성

본 연구는 일관성 지표(C.I: Consistency Index)를 무작위

지표(R.I:Random Index)로 나눈 값인 일관성 비율(C.R: Consistency Ratio)의 유효평균($C.R < 0.2$, 기준치) 이내 표본의 수는 ($C.R < 0.0825$, 통과자 평균) 35명으로 확인되었다.

본 연구는 설문자 중에서 일관성 검증을 통과한 응답자를 기준으로 분석을 진행하였으며, 답변의 일관성 지수인 C.R값이 모두 0.1 미만으로 나타내어 답변의 일관성이 매우 양호한 것으로 볼 수 있다. AHP 설문조사에서는 전문가 집단이거나 경험이 풍부한 경우 10명 이내로도 충분히 분석할 수 있고 하였다(Ahn et al., 2020). 조사대상자의 인구통계학적 특성은 <Table 3>과 같다.

조사대상자는 연 매출 5,000억 이상의 중견기업과 대기업에 속하는 식음료를 가공 및 제조하는 8개 업체를 대상으로 그중에서도 가급적 식품산업에서 실무경력이 최소 5년 이상 되는 종사자에게 설문을 시도 하였으며, 5년 미만의 근무자는 5.7%로 식품기업에서의 공급망 품질경영에 있어 중요한 요소를 잘 응답해줄 것으로 기대하는 자들

로 구성하였다. 직급 역시 마찬가지로 사원 2명을 제외하고 대리 직급 이상으로 구성하였으며, 식품기업에서의 해당 직무에 대한 이해도가 높을 것으로 기대되는 중간관리자에 해당하는 과장급 이상이 77%를 차지하고 있다. 근무부서는 본 연구에서 우선순위 및 중요도를 파악하고자 하는 공급망 품질경영 실행에 있어 공급자품질관리, 내부품질관리, 고객품질관리의 요인들이 전체 공급망에서 제품품질의 효과적인 관리를 달성하기 위해 조직이 취할 수 있는 일련의 조치이므로 생산, 마케팅 및 HR등의 지원조직을 포괄하여 설문대상을 구성하였다.

Table 3. Demography of Food Company Group (n = 35)

Position	Frequency	%
Director or Executive	3	8.6
Team Leader	4	11.4
Senior manager	20	57.1
Junior manager	6	17.1
Staff	2	5.7
Total	35	100
Department	Frequency	%
Production	10	28.6
Marketing & Sales	12	34.3
HRM & HRD	5	14.3
R&D etc.	8	22.9
Total	35	100
Working Years	Frequency	%
Less than 4 years	2	5.7
5~9 years	11	31.4
10~14 years	15	42.9
15~19 years	5	14.3
More than 20 years	2	5.7
Total	35	100

4.2 공급망 품질경영 제1계층 주요요인에 대한 우선순위 분석결과

<Table 4>와 같이 식품기업의 공급망 품질경영 실행의 주요요인인 제1계층에 대한 쌍대비교 평가결과 내부품질관리가 0.4629로 가장 높은 중요요인으로 나타났고, 2위는 공급자품질관리(0.3348), 3위는 고객품질관리(0.2023)

로 분석되었다.

본 연구의 조사 대상은 식품산업에서 식품을 가공 및 제조 하는 기업을 대상으로 하였기 때문에 원재료 생산 및 조달에서부터 소비자에게 도달하기까지의 전체 공급망에서 중간에 위치한 기업의 특성이 반영되어 응답자는 자사 내부의 품질관리를 가장 중요하게 생각하는 것을 알 수 있었다. 이는 식품기업은 공급망 품질경영 실행에 있어 자사 내부의 품질관리를 최우선으로 고려하고 있으며, 그 이유로는 원재료 공급자 또는 식품을 위탁 생산하는 OEM 등을 수행하는 협력업체와의 공동의 노력을 통한 식품 품질관리 실행 후에 자사에서 식품을 소비자에게 도달하게 하기 전에 내부에서 위생성 점검 등을 비롯하여 각종 식품 안전에 관련된 법령이 제시하고 있는 식품안전 인증제도 이행 프로세스 상에서 최종 검수를 하게 됨에 따른 것으로 공급자품질관리에 비해 내부품질관리가 높게 나온 것을 알 수 있다.

가장 가중치가 낮은 고객품질관리의 경우 기업이 공급망에서의 활동 중 제품을 생산하는 주체인 식품기업 및 협력업체에 비하여 상대적으로 중요도가 낮은 것을 확인할 수 있었다.

4.3 공급망 품질경영 제2계층 주요요인에 대한 우선순위 분석결과

제1계층 분석에서 2위로 평가받은 공급자품질관리의 상세요인에 대한 상대적 중요도는 <Table 5>와 같이 평가되었다. 공급자품질관리에 있어 프로세스 실행이 0.4277로 1위로 나타났고, 2위는 협력업체와 협력관계 유지(0.2970), 3위는 협력업체와 정보공유(0.2753) 순으로 근소하게 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 식품기업이 협력업체와 장기적인 발전적인 관계를 맺거나 정보공유를 활성화 하는 것보다 실제 식품의 생산에 있어 협력업체와의 품질안전 등을 보증하기 위한 공동의 노력을 통한 실행요소를 가장 중요하게 여기고 있음을 확인했다. 세부적으로 공급자는 구매자의 요구사항에 맞는 식품을 공급하기 위해 공정, 작업의 표준관리를 통한 최적의 재화(설비, 작업공수, 재료)를 활용하여 규격화된 프로세스 등을 구축하는 것이 필요하다.

Table 4. Importance Evaluation and Priority of Supply Chain Quality Management Activities

Evaluation Factor	Supplier Quality Management	Internal Quality Management	Customer Quality Management	Total
Weight	0.3348	0.4629	0.2023	1
Comparative Evaluation Ranking	2	1	3	-

제1계층 분석에서 1위로 평가받은 내부품질관리의 상세요인에 대한 상대적 중요도는 <Table 6>과 같이 평가되었다. 내부품질관리에 있어 식품의 위해성점검(0.4125)이 1위로 나타났고, 2위는 안정된 생산공정 유지(0.3001), 3위는 식품인증제도이행(0.2874) 순으로 나타났다. 일정 규모 이상의 식품기업들은 자사 내부생산 및 협력업체에 위탁 생산으로 식품을 생산하고 있으며, 식품안전사고 발생 시 식품기업이 감당해야 할 비용이 상당하기 때문에 식품의 품질안전을 유지하기 위해서 사전에 식품기업 내부에서 위해요소를 차단하여 위험요소를 줄이는 것을 가장 중요하게 여기고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 식품의 원료별로 입고 전 사전검사 체계 등을 강화하여 잔류농약 및 동물용의약품 등의 유해물질에 대하여 식품기업은 까다로운 기준을 적용하여 식품인증제도 이행 이상으로 식품안전관리를 강화할 필요가 있다.

Table 5. Importance Evaluation and Priority of Supplier Quality Management Activities

Supplier Quality Management			
	Specific Factor	Weight	Ranking
Layer 2	Maintaining Relationship	0.2970	2
	Information Sharing	0.2753	3
	Process Execution	0.4277	1
	Total	1	-

Table 6. Importance Evaluation and Priority of Internal Quality Management Activities

Internal Quality Management			
	Specific Factor	Weight	Ranking
Layer 2	Production Process Maintenance	0.3001	2
	Food Certification System	0.2874	3
	Hazard Check	0.4125	1
	Total	1	-

Table 7. Importance Evaluation and Priority of Customer Quality Management Activities

Customer Quality Management			
	Specific Factor	Weight	Ranking
Layer 2	Product Development Participation	0.1681	3
	Quality recognition survey	0.2804	2
	Quality Opinion Collection	0.5515	1
	Total	1	-

제1계층 분석에서 3위로 평가받은 고객품질관리의 상세요인에 대한 상대적 중요도는 <Table 7>과 같이 평가되었다. 고객품질관리에 있어 고객의 품질의견에 대한 수렴(0.5515)이 1위로 나타났고, 2위는 고객의 품질인식조사(0.2804), 3위는 고객의 제품개발참여(0.1681) 순으로 나타났다. 식품기업은 생산한 식품의 품질에 대한 고객의 인식을 조사하는 것보다 품질에 대한 구체적인 의견을 고객으로부터 수렴하는 것이 더 중요하다고 여기고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 제품을 런칭하기 전에 소비자의 수용도 점검은 물론 출시 후 제품의 품질 점검을 통한 고객의 모니터 패널 등을 통해 상품화 및 품질관리 단계에서 지속적으로 소비자의 의견을 반영하는 것이 중요하다고 하겠다. 상대적으로 고객이 제품에 대해 아이디어를 제공하거나 개발 과정에 참여를 시키는 부분은 앞선 고객 인식조사 및 고객의 품질에 대한 의견을 반영하는 것에 비하여 중요하지 않게 여기고 있음을 확인하였다.

4.4 공급망 품질경영 제1, 2계층 전체요인에 대한 우선순위 분석결과

<Table 8>은 식품산업에서 공급망 품질경영 실행의 제1계층 주요요인 가중치와 제2계층 상세요인 가중치를 곱하여 산출한 우선순위의 종합순위 평가결과이다. 이를 통하여 분석한 종합순위 결과를 살펴보면 식품의 위해요소 점검이 가장 높게 나타났다. 2순위는 협력기업과 품질관리를 위한 공동의 프로세스 실행, 3순위는 안정적인 생산 공정유지, 4순위는 식품인증제도 이행, 5순위는 고객의 품질에 대한 의견 수렴으로 평가되었다. 9개의 전체 선택 기준에서 상위 5개의 의사결정 요인으로 내부품질관리에 해당하는 항목이 모두 1, 3, 4위에 포함되어 있어 식품기업은 식품산업의 특성상 복잡한 공급망에서 품질관리를 전후방의 중심에서 식품의 안전품질을 우선으로 고려하여야 하기 이유로 공급협력사와 자사가 생산하는 품질관리를 내부에서 철저히 이행함을 중요하게 여기고 있으며, 이를 위해 협력업체와 식품 품질관리를 위한 공동노력을 함과 동시에 고객의 품질에 대한 의견 수렴을 중요하게 여기는 것으로 확인되었다.

6위는 협력업체와의 장기적인 관계 유지, 7위 협력업체와의 정보공유, 8위 품질에 대한 고객의 인식조사, 마지막으로 9위는 제품 개발에 고객의 참여를 유도하는 순으로 상대적으로 낮게 조사되어 중요도가 크지 않은 것을 확인할 수 있었다.

이는 식품기업이 공급망 상에서 품질관리를 할 때 식품

Table 8. Overall Results of Relative Importance and Priority on Supply Chain Quality Management

Ranking	Overall Weight	Detailed Factors	Main Factors
1	0.1910	Hazard check	Internal Quality Management
2	0.1432	Process Execution	Supplier Quality Management
3	0.1389	Production Process Maintenance	Internal Quality Management
4	0.1331	Food Certification System	Internal Quality Management
5	0.1115	Quality Opinion Collection	Customer Quality Management
6	0.0994	Maintaining Relationship	Supplier Quality Management
7	0.0922	Information Sharing	Supplier Quality Management
8	0.0567	Quality Recognition Survey	Customer Quality Management
9	0.0340	Product Development Participation	Customer Quality Management

위해요소 점검을 비롯하여 공동의 프로세스 실행과 이행 및 품질에 대한 고객 의견을 수렴하는 등 자사 내부는 물론 협력업체와 식품의 안전에 대해 직접적인 실행 사항을 중요하게 여기고 있음이 확인되었다.

1, 2계층 전체요인에 대한 분석결과를 종합하여 업체가 어떠한 결정을 해야 할 지 우선순위를 제시하자면, 고객에게 제품이 전달되는 유통과정의 전방에 위치한 식품을 제조 및 가공하는 기업 내부에서의 품질관리활동 중 식품 위해성 점검이 특히 중요하다 할 수 있다. 이는 식품기업의 주요 성과 지표 중 하나인 품질안전성과를 달성하는데 있어 내부품질관리 활동을 중심으로 공급자와 유기적인 협력관계를 통해 제품의 품질을 유지하는데 노력을 기울일 필요가 있으며, 고객의 의견 또한 꾸준히 기업 내부 의사결정에 반영할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 식품산업을 대상으로 공급망 품질경영의 실행에 주목하여, 식품기업이 공급망 품질경영의 실행에 있어 어떠한 요인을 중점적으로 관리하고 있고, 중요하게 여기는지 파악하고자 하였다. 그리고 이와 같은 연구목적 달성을 위해 선행연구에 대한 문헌조사를 바탕으로 공급망 품질경영 실행의 선택 요인을 도출하여 각 요소들에 대한 중요성 인식의 우선순위를 파악하였다. 공급망 품질경영 실행의 선택요인을 해당 요소가 가지고 있는 특징을 기반으로 요인화 하여 두 계층으로 구성된 모형으로 구성하였고, 최종 구성된 계층 모형은 세부 요소가 가지고 있는 특징에 따라 제 1계층으로 공급자품질관리, 내부품질관리, 고객품질관리로 설정하였으며, 이에 해당하는 각각의 하위 계층으로는 3가지씩 설정하여 총 12가지 선택 기준으로 모형을 구성하였다. 구성된 모형을 AHP

기법을 활용하여 각 계층별, 구성요소별 가중치를 산출하여 종합적인 순위를 매기는 것을 목표로 연구를 진행하였으며, 분석에 필요한 설문은 식품기업에 종사하고 이해도가 높은 집단을 대상으로 직접 대면설문과 e-mail을 받아 수집하였다. 이들을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 1계층에 대한 우선순위로 내부품질관리, 공급자품질관리, 고객품질관리 순으로 중요하게 평가하였는데, 이러한 현상은 식품기업이 식품산업의 전후방의 중간에서 품질관리에 대한 핵심적인 역할을 맡고 있음을 보여준다. 그래서 식품기업은 협력업체에서 납품한 식품의 품질에 대한 위해요소 검증 및 최종 식품인증 제도를 통하여 자사 내부에서 품질관리를 철저히 할 필요가 있음을 나타낸다.

둘째, 상위계층의 하위요인 중에서 상대적 중요도를 평가하였을 때 역시 마찬가지로 협력업체 및 자사에서 식품의 안전 관리에 필요한 위해성 요소를 내부에서 철저히 관리하는 것이 중요하며, 생산이 원활하게 이루어질 수 있도록 안정적인 관리 및 협력업체와 유기적인 협력을 통한 공동의 품질관리의 노력이 필요하다.

셋째, 하위요인 중에서 고객품질관리의 요인인 고객품질인식조사 및 고객의 제품 개발 및 디자인에 참여하는 것이 중요도가 상대적으로 낮게 산출되었는데, 그 이유로는 최종 소비자 모니터링을 통해 인식을 조사하고 제품 개발에 참여하게 하는 것보다 고객의 의견을 수렴하여 생산과정에 있어 반영하는 것이 중요하다 할 수 있다.

본 연구에서는 기존 선행연구를 바탕으로 요인을 구성하였고, 국내 식품산업에 적용하여 공급망 품질경영 실행을 식품산업에 맞게 구성하여 공급망 품질경영 실행 연구에 있어 주요 실행요인의 우선순위를 국내 식품기업을 대상으로 실증조사를 통해 파악하였고, 식품기업의 공급망 품질경영 실행요인에 대한 우선순위에 관한 연구는 없었기 때문에 기존 공급망 품질경영에 관한 연구와의 차별점이 있다.

본 연구의 결과를 통해 얻어지는 학문적 실무적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 학문적 시사점으로 식품산업에 대한 주요 연구는 공급사슬 전반에 걸친 기업간 파트너쉽, 콜드체인, 추적이력관리시스템, HACCP 등의 인증제도와 물류성과를 비롯한 식품안전, SCM성과와의 관계 위주로 연구되어 왔다. 그러나 본 연구에서는 식품산업에서 공급망 품질경영 실행요인을 도출하여 상대적인 우선순위를 AHP분석을 통해 정량적 지표로 확인할 수 있었다. 둘째, 실무적 시사점으로 식품산업은 국가 주요산업으로 국내 식품기업이 지속적으로 소비자의 신뢰를 얻기 위해 품질관리를 함에 있어 상대적으로 중요한 요인이 무엇인지 제시함으로써 기업의 효율성을 높이는 방안을 모색할 수 있게 할 것으로 기대한다.

본 연구의 결과는 식품산업에서 공급망 품질경영 실행요인의 상대적 중요도와 우선순위를 분석하였다는 부분에서 의의가 있지만, 다음과 같은 한계점이 있으며 향후 연구의 방향을 제시하고자 한다. 첫째, 본 연구는 선행연구에서 연구된 공급망 품질경영 실행의 주요요인들을 국내 식품산업에 맞게 조정하여 연구에 활용하였지만, 공급망 품질경영의 실행 요인이 연구자 및 산업의 특성에 따라 상이하게 나타나는 측면이 있으므로 식품산업에서 경력이 많은 집단에게 델파이 기법을 적용하여 요인을 추가로 조사하여 적용하여 본다면 좋은 연구가 될 수 있을 것 같다. 둘째, 본 연구는 연 매출 5,000억 이상의 국내 중견기업과 대기업을 대상으로 조사하였기 때문에 구매사 내지 모기업의 입장이 많이 반영된 결과라 볼 수 있다. 국내 식품산업의 경우 보통 공급사에 속하는 영세한 기업과 대기업을 병존하는 구조를 보이고 있으므로 향후 연구에서 식품기업의 구매사와 공급사간의 공급망 품질경영 우선순위 및 중요도에 관한 연구를 통해 좀 더 개선하고 발전시킬 필요가 있다.

REFERENCES

- [1] Ahn, B., Kim, S. C., & Lee, T. (2020). A Study on Relative Importance and Priority of the Competency of B2B Salesperson Using AHP: Gap in Perception between Suppliers and Buyers. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 43(3), 191-203.
- [2] Anker, T. B., Sparks, L., Moutinho, L., & Gronroos, C. (2015). Consumer dominant value creation: a theoretical response to the recent call for a consumer dominant logic for marketing. *European Journal of Marketing*, 49(3), 532-560.
- [3] Boo, J. M., Lee, T. W., & Kim, K. T. (2013). A Study on the use of New AHP Application for multi-sample processing. *The Korean Society of Project Management*, 3(2), 37-48.
- [4] Chae, O. R., Ko, E. K., & Bahk, G. J. (2010). The Change of Housewives' Purchase Behaviors by Food Safety Incidents; in Relation to the Outbreak of 2008 Melamine Incident in Korea. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 25(2), 180-184.
- [5] Choi, S., Song, G., & Yoo, H. (2017). The Effect of SCQM Activities on the Business Performance of the Defense SMEs-Focused on the Moderating Effects of the Performance Sharing. *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 45(4), 867-888.
- [6] Choi, J. W., Lee, T. W., Kang, D. W., & Boo, J. M. (2017). A Study on the Factors of Choosing Imported Automobiles by Using AHP. *Korean Business Education Review*, 32(6), 45-63.
- [7] Costa, A. I. & Jongen, W. M. F. (2006). New insights into consumer-led food product development. *Trends in Food Science & Technology*, 17(8), 457-465.
- [8] Foster Jr, S. T. (2008). Towards an Understanding of Supply Chain Quality Management. *Journal of Operations Management*, 26(4), 461-467.
- [9] Harrington, D. & Manchester, A. C. (1986). Agricultural production; organization, financial characteristics, and public policy. *The Organization and Performance of the US Food System*, 5-49.
- [10] Hong, J., Zhou, Z., & Li, X. (2020). Supply chain quality management and firm performance in China's food industry-the moderating role of social co-regulation. *International Journal of Logistics Management*, 31(1), 99-122.
- [11] Kaynak, H. & Hartley, J. L. (2008). A replication and extension of quality management into the supply chain. *Journal of Operations Management*, 26(4), 468-489.
- [12] Kim, C. B. & Jung, S. N. (2009). An Empirical Analysis on the establishment of SCM Partnership and Business Productivity in Korean Food Industry. *Productivity Review*, 23(4), 127-149.
- [13] Kim, K. H., Han, S. L., & Kim, J. Y. (2019). A study on relative importance of service convenience in the convenience store using AHP: gap analysis between

- consumers and store owners. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 42(3), 142-156.
- [14] Kim, S. C. & Kim, H. Y.(2008). A Study of the Impacts of Buyer-Supplier Partnership on the SCM Performance in Electronics Industry. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 8(1), 1-14.
- [15] Kim, Y. J., Kim, S. W., & Kim, Y. G. (2016). A Study on the Effects of a Supplier's Organizational Capability and Collaboration Process on Supply Chain Quality Performance: An Empirical Approach based on the Experiences of Small and Medium Enterprises in Korea. *Journal of the Korean Production and Operations Management Society*, 27(2), 225-248.
- [16] Kuei, C. H., Madu, C. N., & Lin, C. (2008). Implementing supply chain quality management. *Total Quality Management*, 19(11), 1127-1141.
- [17] Kuei, C. H., Madu, C. N., & Lin, C. (2001). The relationship between supply chain quality management practices and organizational performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(8), 864-872.
- [18] Lee, C. B. & Jung, S. M. (2011). Risk management strategies for global food supply chain. *Korean Journal of Logistics*, 19(3), 105-124.
- [19] Lin, C., Chow, W. S., Madu, C. N., Kuei, C. H., & Yu, P. P. (2005). A structural equation model of supply chain quality management and organizational performance. *International Journal of Production Economics*, 96(3), 355-365.
- [20] Oh, S. J., Kim, H. J., & Kim, S. W. (2013). Analysis of the SCQM Efficiency of a Parent Company and Its Partner Companies Using DEA. *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, 30(2), 43-61.
- [21] Park, J. Y., Oh, S. J., & Kim, S. W. (2011). Causal Relationship of Infra, Process and Firm Performance on Supply Chain Quality Management. *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 39(4), 464-479.
- [22] Park, Y. H. & Park, M. S. (2019). A Study on Effects of SCM and CSR of Food Export Corporation on Food Safety. *Korea Trade Review*, 44(2), 63-82.
- [23] Quang, H. T., Sampaio, P., Carvalho, M. S., Fernandes, A. C., An, D. T. B., & Vilhenac, E. (2016). An extensive structural model of supply chain quality management and firm performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 33(4), 444-464.
- [24] Robinson, C. J. & Malhotra, M. K. (2005). Defining the Concept of Supply Chain Quality Management and its Relevance to Academic and Industrial Practice. *International Journal of Production Economics*, 96(3), 315-337.
- [25] Saaty, T. L.(2003). Decision-making with the AHP : why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 85-91.
- [26] Sila, I., Ebrahimpour, M., & Birkholz, C. (2006). Quality in supply chains: an empirical analysis, Supply Chain Management. *An International Journal*, 11(6), 491-502.
- [27] Soares, A., Soltani, E., & Liao, Y. Y. (2017). The influence of supply chain quality management practices on quality performance: An empirical investigation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 22(2), 122-144.
- [28] Sroufe, R. & Curkovic, S. (2008). An examination of ISO 9000: 2000 and supply chain quality assurance. *Journal of Operations Management*, 26(4), 503-520.
- [29] Vargas, L. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 2-8.
- [30] Wilson, N. (1996). The supply chains of perishable products in northern Europe. *British Food Journal*, 87(6), 9-15.
- [31] Zhou, J. H., Kai, L. I., & Liang, Q. (2015). Food safety controls in different governance structures in China's vegetable and fruit industry. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(11), 2189-2202.

**한 태 열**

한양대학교 경영학 박사과정

현재: 한국정보통신자격협회

관심분야: Supply Chain Management,
Quality Management, Project
Management

**김 승 철**

U of Oregon 경영학박사

현재: 한양대학교 경영대학 교수

관심분야: Supply Chain Management,
Operations Strategy, Project
Management

**이 태 원**

한양대학교 경영학박사

현재: 한양대학교 경영대학 Post-Doc.

관심분야: Supply Chain Management,
Operations Strategy, Project
Management

머신러닝을 활용한 공군 수리부속 수요예측 정확도 개선에 관한 연구

최명진* · 성대경* · 전동규* · 정병호**†

*공군 군수사령부, **공군사관학교

A Study on the Improvement of Air Force Spare Parts Demand Prediction Accuracy Using Machine Learning

Myung-Jin Choi* · Dae-Kyung Sung* · Dong-Gyu Jeon* · Byungho Jung**†

*Air Force Logistics Command, **Republic of Korea Air Force Academy

The following research is conducted to study how much demand prediction accuracy is improved when machine learning is implemented on ROKAF spare parts demand prediction calculations. Based on the data from the last three years of ROKAF's three major aircraft models, the study compares the demand prediction accuracy values computed through the time series technique and machine learning models. Generally utilized machine learning models, such as Decision Tree(DT), Linear Discriminant Analysis (LDA), Logistic Regression(LR), K-Nearest Neighbor (K-NN) and Support Vector Machines (SVM), were implemented. Experiment results show that all machine learning models yield higher accuracy of the demand prediction than the time series technique. SVM, DT, K-NN and LR machine learning models yield excellent results, with accuracy values higher than 85%, while the LDA model shows relatively poor performance.

Keyword : Demand prediction accuracy, ROKAF(Republic of Korea Air Force), Spare parts, Machine learning

† **Corresponding Author** : P.O.Box 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: 6 August 2021, **Revised**: 27 September 2021; 30 September 2021, **Accepted**: 7 October 2021

1. 서론

2021년 기준 국방예산은 약 53조 원 규모이고 이중 약 19%에 해당하는 10조 원이 공군 예산이다. 공군 예산 중 군수예산은 약 2조 원 규모로 병력 운영을 위한 급식 및 피복비, 무기체계 확보와 유지를 위한 예산 등으로 구성된다. 이중 공군의 무기체계 유지를 위해 필요한 수리부속 획득에 배정된 예산은 약 1.3조 원 규모로 군수예산의 절반 이상을 차지한다. 고가의 무기체계를 운용하는 공군의 특성을 고려하면, 안정적 수리부속 지원을 통해 무기체계 가동율을 높이는 것은 작전적 측면에서 매우 중요하다.

현재 공군에서 무기체계 정비를 위해 관리하는 수리부속은 약 39만 종에 달한다. 이러한 규모의 수리부속 전 종을 확보하여 보유할 경우, 전투기 등 무기체계의 결합 발생 시, 신속한 정비가 가능하여 가동율을 유지하고 작전적 능력을 향상 시킨다는 측면에서 긍정적이지만, 경제적 측면을 고려한다면 언제 수요가 발생할지 모르는 수리부속을 다량 확보하고 저장하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 수요가 발생할 것으로 예측되는 품목만을 선정하여 재고를 유지하는 것이 비용 대 효과뿐만 아니라 한정된 군수 예산의 활용도를 높인다는 측면에서 효율적이다.

군에서는 수리부속 수요에 대한 예측정확도를 높이고 안정적으로 관리하기 위해 식 (1)과 같이 수리부속 수요 예측 정확도를 정의하고, 기준을 75%로 설정하여 운영하고 있다(Ministry of National Defense, 2020).

$$\text{수요예측 정확도} = \left(\frac{\text{발생 예측후 발생품목수}}{\text{수요예측대상 품목수}} + \left(\frac{\text{미발생 예측후 미발생 품목수}}{\text{수요예측대상 품목수}} \right) \right) \times 100 \quad (1)$$

육·해·공군은 품목별 과거 소모 데이터를 기반으로 시계열(Time Series) 기법을 적용하여 연간수요를 예측한다. 품목별 5개년(20개 분기) 소모실적을 수집하고 시계열 기법을 적용하여 최근 3개 분기 예측값을 산출한다. 산출된 예측값과 실제 소모량을 비교하여 오차를 가장 적게 산출한 기법을 선택한다. 각 품목별로 선택된 시계열 기법을 활용하여 20개 분기 소모실적을 기반으로 미래 1년(4개 분기) 수요를 예측한다. 각 군별로 활용하는 시계열 기법은 다소 상이하나 절차는 유사하게 품목별 수요를 예측한다. 이때 공군은 가중이동평균법, 선형이동평균법, 최소자승법, 지수평활법, 선형지수평활법 등 5개 시계열 기법을 활용한다.

최근 군의 수요예측 정확도는 국방부 훈령 상의 기준에 미치지 못하고 있는 실정이다(Moon et al., 2020). <Table 1>은 최근 5년간 군의 수요예측 정확도이다.

Table 1. Demand Prediction Accuracy(Unit : %)

2015	2016	2017	2018	2019	Average
71.8	71.5	71.2	72.5	72.4	71.9

항공작전의 주요 무기체계인 항공기의 경우, 수많은 부품으로 구성되어 있고, 다품종·소수의 재고관리가 중점적으로 이루어지고 있어서 수요량 변동에 즉각적으로 대처하기 어렵다. 만약, 수요예측이 부정확하여 필요 이상의 재고를 보유하게 된다면, 군수예산의 활용도가 낮아질 것이고, 만약, 재고 부족으로 인한 항공기 정비 소요시간이 길어진다면 항공작전에 차질을 초래할 수 있다. 이러한 문제해결을 위해 항공기 수리부속 수요예측 정확도 향상을 위한 다양한 연구들이 수행된 바 있다(Regatteri et al., 2005).

본 연구는 머신러닝(Machine Learning) 활용 시 공군의 항공기 수리부속 수요예측 정확도 개선 여부 및 개선 정도를 확인함을 목적으로 한다. 머신러닝 모델로는 일반적으로 잘 알려진 의사결정나무(Decision Tree), 선형판별분석(Linear Discriminant Analysis), 로지스틱 회귀(Logistic Regression), 최근접 이웃법(K-Nearest Neighbor) 그리고 서포트 벡터 머신(Support Vector Machines) 등 5개 모델을 활용한다.

2. 이론적 배경 및 기존연구

2.1 이론적 배경

머신러닝(Machine Learning)은 ‘기계학습’이라 불리는 인공지능의 한 분야로 인간의 학습능력과 같은 기능을 컴퓨터와 같은 기계를 통해 실현하려는 기법과 분야이다(Kim, 2020; Keller et al., 2015). 머신러닝이라는 용어는 Arther Samuel이 1959년 처음으로 사용했다. 그는 “컴퓨터에 명시적으로 프로그래밍하지 않아도 학습을 통해 어떤 일을 할 수 있도록 하는 기술을 기계학습”이라고 정의했다. Tom Michell은 머신러닝을 “경험을 통해 나중에 유사하거나 같은 일을 더 효율적으로 처리할 수 있도록 시스템의 구조나 파라미터를 바꾸는 것”이라고 정의한 바 있다. 쉽게 말하면, 기계학습은 컴퓨터가 데이터로부터 특정 문제해결을 위한 지식을 자동으로 추출해서 사용할

수 있게 하는 기술이라 할 수 있다(Lee, 2019). 본 연구에서는 입력된 변수들로부터 인간이 발견하기 어려운 패턴이나 규칙을 찾아내는 보편적 머신러닝 알고리즘을 적용한다.

특히, 항공기 수리부속은 간헐적이면서 불규칙적인 수요 특성을 보이는데(Kim et al., 2019), 이러한 패턴을 기존의 시계열 기법으로 예측하는 것은 한계가 있다. 불규칙 수요의 경우, 수요가 0인 구간이 많아 선형 모델보다는 비선형 모델이 더 적합하기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 수요패턴 예측이 가능한 대표적인 기법으로 로지스틱스 회귀(Logistics Regression: LR), 수요 영향의 요인과 거리를 비교하여 가장 이웃한 K개 점을 통해 수요발생 여부를 분류하는 최근접 이웃법(K-Nearest Neighbor: K-NN), 의사결정 초평면을 사용하여 유사한 클래스 값들을 그룹으로 분할하는 서포트 벡터머신(Support Vector Machines: SVM) 등 비선형 모델에 적합한 머신러닝 기법을 선정하여 실험하였으며, 적용된 5개 머신러닝 기법은 다음과 같다.

의사결정 나무(Decision Tree: DT)는 1986년 R. Quinlan이 ID3라는 의사결정 트리 알고리즘을 발표하면서 알려졌는데 그 후 ID4, CART, CHAID 등의 다양한 기법들이 제안되었다(Kim, 2020). 의사결정 나무는 정보를 최대한 획득 가능한 변수를 뿌리 노드로 선택한 후 줄기 노드를 선택하여 하위 노드로 가지치기를 하고, 획득한 정보를 통해 최종 결정이 이루어지면 잎 노드에서 종료된다. 표본 내 데이터가 집단 내에서는 동질적이고 집단 간에는 이질적이 되도록 데이터의 속성(독립변수)을 우선순위에 따라 단계적으로 선정한다.

선형판별분석(Linear Discriminant Analysis: LDA)은 선형으로 데이터를 분할하는 방법이다. 선형으로 분할한다는 의미는 직선을 이용해서 데이터를 분할하는 것으로 지도학습의 영역에 포함되며, 기본적으로 베이지 정리를 이용하여 판별함수를 구한다(Christopher, 2018). 판별함수가 독립변수의 선형결합으로 이루어져 판별을 수행하며, 두 집단 간의 평균 차는 명확하게 하고 집단 내에서의 분산은 최소로 하는 판별함수를 생성한다.

로지스틱 회귀(Logistic Regression: LR)는 독립변수의 선형결합을 이용하여 사건의 발생 가능성 예측에 사용하는 통계 기법이다. 로지스틱 회귀는 선형 회귀분석과는 다르게 종속변수가 범주형인 데이터를 대상으로 하며, 입력데이터가 주어졌을 때, 해당 데이터의 결과가 특정분류로 나뉘기 때문에 일종의 분류 기법으로 볼 수 있다. 로지스틱 회귀에서는 최소자승법에 의해 계산되는 선형회귀 모형에서 종속변수를 단일 수치가 아니라 범주화되도록 한다(Christopher, 2018).

최근접 이웃법(K-Nearest Neighbor: K-NN)은 1950년대에 개발된 지도학습 모델의 분류 기법으로 ‘최근접 이웃 분류’라고 불리는데, 각 학습데이터는 자기가 속하는 레이블을 가지는 분류기 역할을 한다. 입력과 출력으로 구성된 학습데이터들이 주어진 상황에서 새로운 입력이 들어오면, 입력에 가장 근접한 K개의 데이터를 찾고 이들 데이터의 출력 정보를 이용하여 출력을 추정한다(Kim, 2020; Lee, 2019; Lantz, 2015). 본 연구에서는 수요 영향요인과의 거리를 비교하여 가장 근접한 K개 점의 수요 정보를 활용하여 수요 발생 여부를 분류하게 된다.

서포트 벡터 머신(Support Vector Machines: SVM)은 1996년 Vapnik이 제안한 분류 모델로, 오차를 줄이면서 동시에 여백을 최대화 하는 결정 경계를 찾는 학습을 수행한다. 이때 결정 경계로부터 가장 가까이에 있는 학습 데이터들을 서포트 벡터(Support Vector)라고 한다(Lee, 2019; Wang, 2005). 서포트 벡터 머신은 서포트 벡터를 통해 다차원 공간상 점들의 의사결정을 위한 초평면(Hyper-Plane)을 계산하여 종속변수 결과 값에 따라 데이터를 분류 한다.

2.2 기존연구

머신러닝 기법을 수요예측에 적용한 사례는 Gutierrez & Mukhopadhyay(2008), Hua & Zhang(2006), Kourntzes(2013) 등의 연구가 있다. 머신러닝 모델을 통해 한국 공군의 수리부속 수요예측을 다룬 사례로 Chung et al.(2018)은 T-50 기종의 2,991개 품목 데이터를 기반으로 군집화를 진행하여 수요패턴을 파악한 바 있다.

Kim et al.(2019)은 공군 A 항공기 수리부속 14,717종을 대상으로 머신러닝 기반의 분류예측을 시행하였다. Kim et al.(2019)은 먼저 불규칙한 수요패턴을 갖는 수리부속 수요발생 예측을 위해 평균 수요발생 구간과 수요변동계수를 이용하여 수요패턴을 범주화하였고, 이렇게 범주화된 데이터에 각종 머신러닝 기법을 적용하여 수리부속 수요예측 정확도 개선을 도모하였다

또한, Kim et al.(2020)은 공군의 B 항공기 수리부속 4,392종을 대상으로 딥러닝 모델 중 Long Short Term Memory(LSTM)를 적용하여 한국 공군 수리부속 체계개선을 제안한 바 있다. LSTM은 Hochreiter(1997)에 의해 제안된 순환신경망(Recurrent Neural Network: RNN) 기법의 한 종류로 순차적 시계열 패턴 학습과 예측에 많이 사용한다. Kim et al.(2020)은 LSTM 기법 적용을 통해 전통적 통계 기법보다는 우수한 결과를 도출해 냈으며, 비선형적인 시

계열 자료에서 예측정확도가 우수하다는 결과를 제시하였다.

공군의 수리부속은 약 39만 종으로 5종의 시계열 기법을 활용하여 수요를 예측하고 특정 기간의 실제 소모실적과 비교하여 수요예측 정확도를 산출한다. 공군은 천문학적 규모의 수리부속 예산을 항공기 가동률을 보장하는 가운데 경제적으로 활용하기 위해 노력해 왔고, 이러한 측면에서 수요예측 정확도의 개선이 요구된다. 본 연구는 39만 종에 달하는 수리부속 전체의 수요예측 정확도 개선을 위한 사전연구로 머신러닝의 수요예측 정확도 개선에 미치는 영향을 분석하되 기존 연구(Chung et al., 2018; Kim et al., 2019, 2020)가 1개 기종에 대해 비교적 작은 표본에서 수행된 한계에 주목하여 항공기 3개 기종 34,840 종의 수리부속 데이터를 활용하여 연구의 적용 가능성을 높였다는데 의의가 있다. 본 연구에서는 군사목적 상 대상 항공기의 구체적인 기종은 밝히지 않는다.

3. 연구수행 절차

5가지 머신러닝 모델을 활용한 실험에서는 공군의 주요 항공기 3개 기종의 3개년(2017년~2019년) 품목관리 자료 34,840건을 활용한다. 공군은 최근 5개년의 20개 분기별 소모실적을 기반으로 미래의 4개 분기 예측치를 5가지 시계열(Time Series) 기법으로 산출하고 이를 합산하여 연간수요를 도출한다.

품목별 연간수요 도출 후 1년 간 실제소모량과 비교하여 수요예측정확도를 계산한다. 기존에는 과거의 소모실적이 미래에도 유사하게 발생할 것이라는 가정을 바탕으로 소모실적만을 활용하여 수요예측을 시행하였으나, 본 연구에서는 소모, 수요예측과 관련 있는 데이터를 추가로 반영하여 머신러닝을 통해 수요예측에 활용한다.

따라서 품목자료 데이터베이스(Data Base: DB)의 컬럼(Column)에 해당하는 속성값(독립변수)으로 최근 20개 분기별 소모량, 연간수요, 수요횟수, 품목관리관 보정 전의 재고보유 목표(Demand Level: DL), 품목관리관 보정 후의 재고보유 목표(Requirement Objective: RO) 등 40종을 활용하여 종속변수인 수요발생 여부를 도출하고 이를 품목별 실제 소모발생 여부와 비교하여 수요예측 정확도를 산출한다.

머신러닝 모델의 과적합(Over-Fitting) 또는 과소 적합(Under-Fitting)을 방지하기 위해 표본집단 크기를 고려하여 5-fold 교차검증(Cross-Validation)을 적용한다. 연도별 품목자료를 5개로 임의 분할하고 각각의 분할된 실험자료

는 다시 훈련용(Training)과 검증용(Validation)을 일반적 인 80 : 20 비율로 임의 분할하여 실험한다. 연도별 5개 실험자료의 머신러닝 모델별 정확도 평균을 해당연도의 모델 정확도로 간주하고, 3개 연도별 정확도를 다시 평균하여 해당 모델의 최종 정확도로 적용한다.

실험의 최종 목표는 5개 머신러닝 모델을 통해 3개 연도별 수리부속 수요예측 정확도를 산출하는 것이다. 전체적인 실험절차는 <Fig. 1>과 같다.

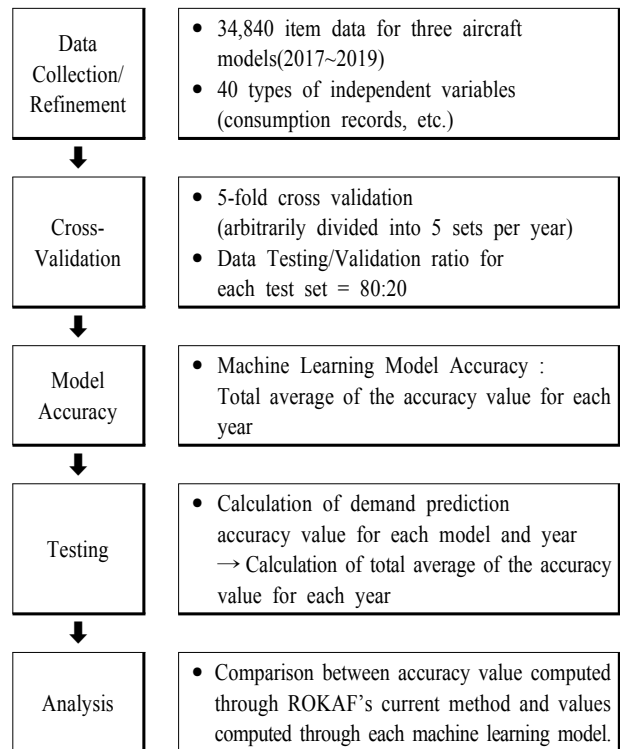


Fig. 1. Experimental Process

4. 실험

실험은 제3장 연구수행 절차에서 언급한 바와 같이 독립 변수 40종에 대한 교차검증은 표본크기를 고려하여 5-fold 교차검증을 시행하였으며, 각 실험셋별로 훈련용 대 검증용 비율은 80 : 20을 적용한다. 모델 정확도를 산출한 후 수요예측 정확도를 계산하여 개선의 정도를 비교한다.

4.1 데이터 수집/정제

공군은 약 20종의 항공기를 운영하고 있으며 임무 특성에 따라 기종별 운영대수 및 운영시간 편차가 크다. 머신러닝을 활용한 수요예측 결과의 대표성을 확보하기 위해 본

연구에서는 공군에서 운영중인 항공기 기종의 임무 중요도, 운영대수 및 대표성 등을 고려하여 3개 기종(공군 주력 2개 기종, 국산 개발기 1개 기종)을 선정하고 최근 3년간 품목자료를 추출하였다. 단, 군사보안 상 이유로 항공기 3개 기종의 종류는 구체적으로 밝히지 않는다. 공군은 수리부속 재고관리를 위해 장비정보체계(DELIIS/F)를 2009년부터 운영하고 있으며, 체계 내에서 수요예측, 소요산정, 재고관리, 청구, 불출, 소모처리가 이루어지기 때문에 축적되는 데이터를 활용한 분석이 용이하다.

본 연구에서는 최근 3개년 품목자료를 활용한다. 이때 연간수요(AD), 공식에 의해 계산된 재고보유 목표(DL), 품목관리관이 최근 결함정보, 단종정보 등을 고려하여 정성적으로 보정한 재고보유 목표(RO)는 상호 연관성을 가지는 변수이며 결측치, 이상치 등을 제거 및 보정하는 정제 과정을 거쳐 최종 표본집단을 선정하였다. 표본의 크기는 34,840건이다.

표본의 속성을 20개 분기(5개년)로 설정한 것은 국방부 훈련 상 수요예측 정확도를 산출하는 기준이 5개년도 소모실적이기 때문이다. 이는 전 군이 동일하게 적용하고 있으며, 연간단위로 유사한 패턴으로 각종 훈련 및 작전을 수행하는 군 운영 특성을 고려할 때 과거의 데이터가 현재와 미래에도 유사하게 발생한다는 점에서 20개 분기 데이터 활용은 군의 특수성에 적합한 표본수집 기준이라 판단된다.

표본의 속성(독립변수)은 5년간 축적된 데이터로 최근 분기별 소모실적(20개), 연간 수요예측값(AD, 5개), 공식에 의해 계산된 연간 재고보유 목표(DL, 5개), 품목관리관의 정성적 보정을 통해 산정한 연간 재고보유 목표(RO, 5개), 비행부대에서 군수사령부로 연간 청구한 횟수(OD, 5개)이다.

기존 공군 수요예측 절차는 5년간 축적된 20개 분기 소모실적을 기반으로 시계열 기법을 적용하여 최적 기법을 선정하고 선정된 기법에 20개 분기 실적을 입력하여 미래 4개 분기(1년) 연간수요(AD)를 예측한다. 예측된 연간수요를 일일 수요량(DDR : Daily Demand Rate)으로 변환하여 계산공식을 통해 재고보유 목표(DL)을 산출하고 품목관리관의 정성적 판단으로 보정작업을 거쳐 재고보유 목표(RO)를 최종 산정한다. 각 비행부대에서는 소요발생 또는 소요발생 예상되는 수리부속을 군수사령부로 청구하여 무기체계를 운영한다.

분기별 소모실적(20개)은 기존 공군 수요예측 절차에 활용되는 변수이며 본 연구에서는 기존 20개 변수를 기반으로 수요예측과 관련된 변수 4종 20개를 추가함으로써 과거의 소모실적이 미래 예측에 활용되는 수요예측 절차

특성을 최대한 반영하고자 하였다. <Table 2>는 표본의 속성에 대한 부호와 정의다.

Table 2. Independent Variables

No.	Code	Definition
1	Q1	Total consumption for quarter 1
:	:	:
20	Q20	Total consumption for quarter 20
21	AD1	Annual Demand for year 1
:	:	:
25	AD5	Annual Demand for year 5
26	OD1	Total number of demands for year 1
:	:	:
30	OD5	Total number of demands for year 5
31	DL1	Demand Level for year 1
:	:	:
35	DL5	Demand Level for year 5
36	RO1	Total Requirement Objective for year 1
:	:	:
40	RO5	Total Requirement Objective for year 5

Kim et al.(2019)에 의하면 공군 항공기 수리부속은 불규칙적 수요특성을 갖는 Lumpy, Erratic 품목의 비중이 높고, 상대적으로 수요 발생 구간이 짧고 수요 변동 폭이 작은 Smooth 품목 비중이 낮다. Lumpy 수요는 많은 수요 구간에서 0인 수요가 무작위로 나타나며 수요 변동의 크기도 큰 형태의 수요를 말하는 것으로 항공기의 경우, 계절적 특성에 의해 일시적으로 결함이 급증하는 경우가 이에 해당한다. 또한, 주요 부품의 결함 발생 시 전체 항공기에 대해 예방정비 차원의 교체를 시행하게 되는데 이러한 경우 수요가 없다가 특정품목에 대한 수요가 급증하여 Lumpy한 수요 특성을 보이게 된다. 시한성 교환주기에 의해 교체기간 중 수요가 발생하다가 교체 완료 후 장기간 수요가 없는 사례도 이러한 수요 특성에 기여하게 된다.

따라서 불규칙한 수요특성에 영향을 미치는 변수를 반영한 모형개발이 필요하며 머신러닝 등 최신 정보기술을 수요예측 분야에 적용하는 연구가 필요하다.

4.2 교차검증(Cross Validation)

과적합 또는 과소 적합 방지를 위해 교차검증을 시행하되 표본크기를 고려하여 5-fold 교차검증을 적용한다. 3개 연도별로 5개씩 실험셋을 임의 분할하여 연도별 평균 정확도를 산출하고 3개 연도 모델 정확도를 평균하여 모델의 최종 정확도를 산출한다. 각 실험셋별 훈련용 대 검증

용 데이터 비율은 일반적인 80 : 20 비율을 적용한다.
계산에는 Intel Core i3-9100, CPU@ 3.6GHz, RAM 8GB PC 환경에서 빅데이터 분석 등에 널리 활용되는 오픈소스 프로그램 'R' ver. 3.4.3을 사용한다.

4.3 모델 정확도(Model Accuracy)

교차검증을 통해 산출한 모델 정확도는 <Table 3>과 같다.

Table 3. Machine Learning Model Accuracy(unit : %)

Year	DT	LDA	LR	K-NN	SVM
2017	87.6	67.7	86.4	87.4	88.3
2018	88.5	70.6	86.9	-	89.5
2019	88.5	69.1	87.9	-	89.8
Ave.	88.2	69.1	87.1	87.4	89.2

<Table 3>에서 제시하는 바와 같이 선형판별분석(LDA)를 제외한 4가지 모델의 정확도가 87% 이상으로 산출된다. 선형판별분석(LDA)이 낮은 정확도(69.1%)를 보이는 이유는 독립변수의 선형결합으로는 종속변수(수요발생 여부)를 설명하는데 부족하기 때문인 것으로 판단된다. 최근접 이웃법(K-NN)의 경우, 2018, 2019년 결과는 산출되지 않았는데 이는 변수에 대한 학습이 적절히 수행되지 못했기 때문으로 판단된다. 이러한 결과를 연도별/모델별로 도식화하면 <Fig. 2>와 같다.

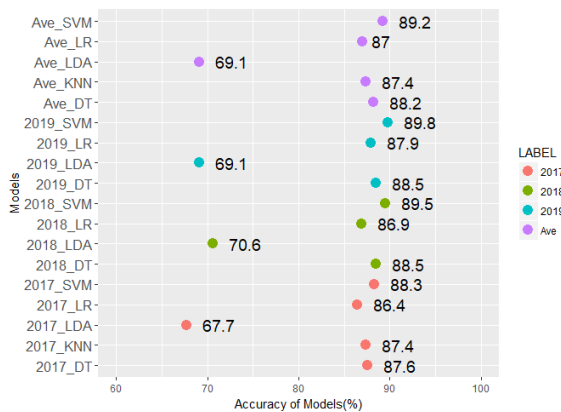


Fig. 2. Model Accuracy

4.4 실험결과 및 분석

수요예측 정확도는 서론에서 제시한 식 (1)에서 언급한 바와 같이 수요가 발생할 것으로 예측했는데 실제 발생한

품목 수와 수요가 미발생할 것으로 예측했는데 실제 미발생한 품목 수의 합의 비율이다. 이를 일반화하면 식 (2)와 같이 표현 가능하다(Provost, 2013).

$$Accuracy(\%) = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad (2)$$

(TP: True Positive, TN: True Negative,
FP: False Positive, FN: False Negative)

즉, 식 (2)에서와 같이 수리부속 수요예측 정확도는 수요발생 예측 후 수요가 발생한 품목수(TP)와 수요발생 미예측 후 수요가 미발생한 품목수(TN)의 합을 전체 예측대상 품목수로 나눈 비율이다.

현재 공군에서 적용하고 있는 시계열을 활용한 수요예측 방식과 5가지 머신러닝 모델을 적용하여 산출한 수요예측 정확도에 대한 실험결과는 <Table 4>와 같다.

Table 4. Prediction Accuracy(Unit : Number of Spare Parts)

Type		Time Series	DT	LDA	LR	K-NN	SVM
'17	TP	3,421	2,759	741	2,430	2,525	2,861
	FP	2,770	379	3	193	240	351
	FN	126	554	2,572	883	788	452
	TN	810	3,435	3,811	3,621	3,574	3,463
Acc.(%)		59.4	86.9	63.9	84.9	85.6	88.7
'18	TP	3,664	2,981	629	2,546	-	3,159
	FP	3,691	399	4	268	-	416
	FN	185	719	3,071	1,154	-	541
	TN	1,916	5,657	5,752	5,488	-	5,340
Acc.(%)		59.0	88.2	67.5	85.0	-	89.9
'19	TP	7,739	6,025	1,233	5,225	-	6,406
	FP	6,257	649	9	301	-	640
	FN	350	1,603	6,395	2,403	-	1,222
	TN	3,911	9,980	10,620	10,328	-	9,989
Acc.(%)		63.8	87.7	64.9	85.2	-	89.8
Ave.	TP	4,941	3,922	868	3,400	2,525	4,142
	FP	4,239	476	5	254	240	469
	FN	220	959	4,013	1,480	788	738
	TN	2,212	6,357	6,728	6,479	3,574	6,264
Acc.(%)		60.7	87.6	65.4	85.1	85.6	89.8

<Table 4>에서 제시하는 바와 같이 수요예측정확도는 ① 서포트 벡터 머신(SVM): 89.8%, ② 의사결정나무(DT): 87.6%, ③ 최근접 이웃법(K-NN): 85.6%, ④ 로지스틱 회귀(LR): 85.1%, ⑤ 선형판별분석(LDA): 65.4%, ⑥ 시계열분석(Time Series): 60.7% 순으로 산출되었다. 실험에서 K-NN

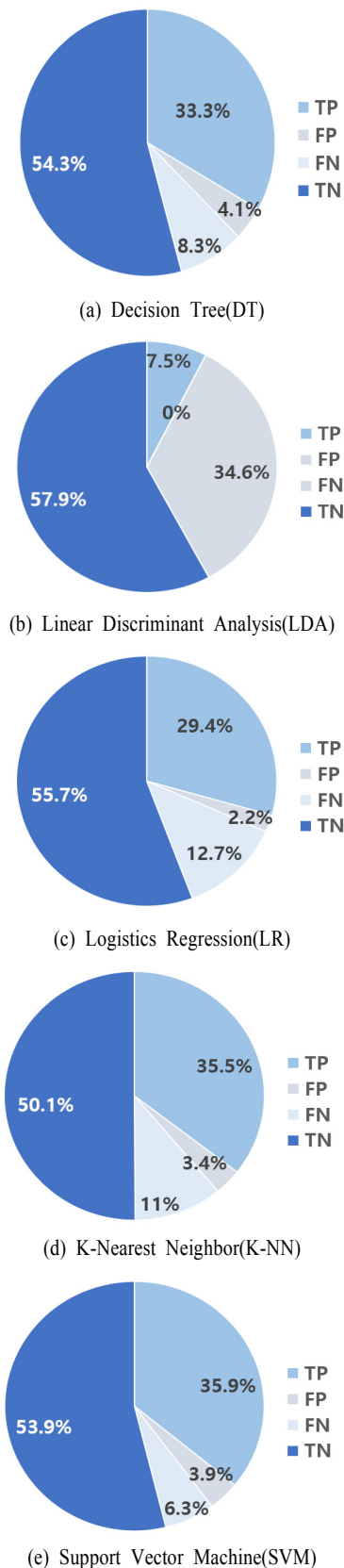


Fig. 3. Prediction Accuracy

의 2018, 2019년 결과는 변수에 대한 학습이 적절히 수행되지 못하여 미산출되었다.

머신러닝 5개 모델 모두 현행 공군의 시계열 기법 결과인 60.7%보다 수요예측 정확도가 높게 산출된다. 그러나, 선형판별분석(LDA)의 경우 65.4%로 개선의 정도가 높지 못하다. 이는 4.3절 모델 정확도에서 언급한 바와 같이 독립변수의 선형결합으로는 수요발생 여부에 대한 설명력이 부족하기 때문인 것으로 볼 수 있으며, 향후 공군의 전체 수리부속 수요예측 절차 개선 시 배제해야 할 모델로 판단된다. 선형판별분석(LDA)을 제외하고, 나머지 머신러닝 4개 기법(의사결정 나무, 로지스틱 회귀, 최근접 이웃법, 서포트 벡터 머신)을 이용하면, 현재 공군에서 적용하고 있는 시계열에 의한 수리부속 수요예측보다 정확도를 24.3~29.1% 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

〈Fig. 3〉은 머신러닝 각 모델별 예측에 대한 정확도를 파이 그래프로 시각화한 것이다. TP(True Positive), FP(False Positive), TN(True Negative), FN(False Negative)의 비율로 표현하였으며, TP와 TN의 면적이 클수록 수요예측 정확도가 높다고 할 수 있다.

〈Table 4〉와 〈Fig. 3〉의 결과에서 알 수 있듯이 의사결정나무(DT) 모델은 TP 33.3%, TN 54.3%로 정확도 87.6%, 선형판별분석(LDA) 모델은 TP 7.5%, TN 57.9%로 정확도 65.4%, 로지스틱 회귀(LR) 모델은 TP 29.4%, TN 55.7%로 정확도 85%, 최근접 이웃법(K-NN) 모델은 TP 35.5%, TN 50.1%로 정확도 85.6%, 서포트 벡터 머신(SVM) 모델은 TP 35.9%, TN 53.9%로 정확도 89.8%이다.

5. 결 론

본 연구는 공군의 주요 항공기 가동률을 보장하는 가운데 경제성을 최대화하기 위해 수리부속 수요예측 정확도를 향상시키기 위한 목적으로 수행하였다. 이를 위해 최근 기술적으로 눈부시게 발전하고 있는 머신러닝 5개 모델을 적용하여 수요예측 정확도 향상 여부를 확인하였다. 공군에서 관리하고 있는 약 39만 종에 달하는 수리부속 중, 중요도를 고려하여 주요 항공기 3개 기종을 선정하여 표본집단을 34,840개 품목 데이터로 구성하였다. 실험결과, LDA를 제외한 4가지 머신러닝 모델이 기존 공군의 수요예측 방식인 시계열 기법보다 수요예측 정확도를 24% 이상 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 기존 공군 수리부속 수요예측 관련 연구(Chung et al., 2018; Kim et al., 2019, 2020)들이 하나의 항공기 기종에 한정하여 작은 표본을 대상으로 실험한

한계 즉, 실험결과가 수리부속 전체 모집단을 대표하기에 부족하다는 한계를 일부 극복했다는데 의의가 있다.

향후에는 본 연구에서 제시한 일반적인 머신러닝 모델 외에 Long Short Term Memory(LSTM), Random Forest (RF), Gradient Boosting(GB) 등을 활용할 경우, 개선의 정도가 얼마나 되는지에 대한 추가적 연구가 요구된다. 또한, 본 연구에서 대상으로 한 항공기 3개 기종 뿐만 아니라 표본집단의 크기를 더욱 확장하여 수요예측 정확도 개선 방안을 연구할 필요성도 있다. 이러한 노력을 통해 천문학적 규모의 예산이 투입되는 공군 수리부속 관리의 경제성을 증대시키고, 이는 궁극적으로 국가 예산의 효율적 활용으로 귀결될 것이다.

REFERENCES

- [1] Christoper, M. B. (2018). Pattern Recognition and Machine Learning, 201-246. Jpub.
- [2] Chung, W. H., Jeong, D. W., Gu, Y H., & Yoo, S. J. (2018). Machine Learning-based System for Predicting the Demand for Spare parts and Maintenance of Air Force Equipment. *The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 36(8), 21-26.
- [3] Gutierrez, R. S., Solis, A. O., & Mukhopadhyay, S. (2008), Lumpy demand forecasting using neural networks, *Int. J. Production Economics*, 111, 409-420.
- [4] Hochreiter, S. (1997). Long term and short memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780.
- [5] Hua, J. & Zhang, B. A. (2006). Hybrid support vector machines and logistic regression approach for forecasting intermittent demand for spare parts. *Applied Mathematic and Computation*, 181, 1035-1048.
- [6] Keller, J. D., Namee, B. M., & Darcy, A.(2015). *Fundamentals of machine learning for predictive data analysis*, The MIT Press Cambridge.
- [7] Kim, D. S. (2020). *Welcome to the A. I. World*, pp. 306 ~334, Life and Power Press.
- [8] Kim, J., Koh, D., & Chung, J. (2019). Accuracy Improvement Research for Lumpy Aircraft Spare Parts Demand Forecast Based on Machine Learning. *Korean Management Science Review*, 36(3), 1-11.
- [9] Kim, J., Hwang, J., & Chung, J. (2020). A New LSTM Method Using Data Decomposition of Time Series for Forecasting the Demand of Aircraft Spare Parts. *Korean Management Science Review*, 37(2), 1-18.
- [10] Kourentzes, N. (2013). Intermittent demand forecasts with neural networks. *Int. J. Production Economics*, 143, 198-206.
- [11] Lantz, B. (2015). *Machine Learning with R* (2nd Ed.), Packt Publishing.
- [12] Lee, G. M. (2019). *Artificial Intelligence*, pp. 150~225. Life and Power Press.
- [13] Ministry of National Defense (2020). Department of Defense Instruction 2269 issue Logistics Support Performance Management.
- [14] Moon, H. G. et al. (2020). Spare Parts Required calculation Model Development Research. *Korea Institute for Defense Analyses Research Report Resources*, 2020-4508.
- [15] Provost, F. & Fawcett, T. (2013). *Data Science for Business*. pp. 189-199, O'Reilly Media.
- [16] Regatteri, A., Gamberi, M., Gamberini, R., & Manzini, R. (2005). Managing lumpy demand for aircraft spare parts. *Journal of Air Transport Management*, 11, 426-431.
- [17] Wang, L. (2005). *Support Vector Machine : Theory and Application*, Springer.



최 명 진

국방대학교 운영분석 박사
 현재: 공군 군수사령부
 운영분석과장(공군 중령)
 관심 분야: 최적화, 물류, 데이터 마이닝



성 대 경

국방대학교 무기체계관리 석사
 현재: 공군 군수사령부
 군수운영담당(공군 소령)
 관심 분야: 빅데이터, 통계



전 동 규

공군사관학교 군사전략 학사
현재: 공군 군수사령부, 군수기법연구
담당(공군 대위)
관심 분야: 데이터마이닝, 빅데이터



정 병 호

한양대학교 교통공학 박사
현재: 공군사관학교 시스템공학과
조교수(공군 중령)
관심 분야: 물류, 최적화, 의사결정

인공지능 기반 콜드체인 제품 환경 분석 및 예측*

박영태** · 김시구*** · 이화섭**** · 류광열***†

동의대학교 무역 · 유통학부, 무역학 전공, *부산대학교 산업공학과, ****한국해양수산개발원 항만수요예측센터

AI-based Analysis and Prediction of Cold-chain Products Environment*

Youngtae Park** · Siku Kim*** · Hwaseop Lee**** · Kwangyeol Ryu***†

**Department of International Trade, Dong-Eui University

***Department of Industrial Engineering, Pusan National University

****Port Demand Analysis Center, Korea Maritime Institutes

With the 4th industrial revolution, the 'Logistics 4.0' is gaining attention, which is based on the core technologies such as artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), big data and so on. As global logistics develops gradually in a competitive environment, enhancing the competitiveness of the logistics system has become essential. In the case of Korea, the existing distribution centers are limited to storage-oriented warehouse functions, it is necessary to switch to a smart logistics management system that incorporates Information and Communications Technologies (ICT). This paper proposes an AI-based method with a framework to analyze data of cold-chain products environment to extract and utilize meaningful information for facilitating smart logistics centers. By using data on cold-chain products environment, the AI-based model helps finding suitable logistics strategies while keeping product quality. In specific, outside temperatures and humidity of the delivery vehicle have been used to predict the condition or temperature of inside the delivery vehicle as well as to draw the strategy of managing logistics condition. This study is expected to contribute to accelerating the implementation of smart logistics centers and enabling innovation in the smart logistics industry by creating new values in cold-chain products and logistics environment.

Keyword : Cold-chain, AI, IoT, ICT, Logistics 4.0

* 이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5A2A03052217).

† **Corresponding Author** : Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 46241, Korea.
Tel: +82-51-510-2473, E-mail: kyryu@pusan.ac.kr

Received: 7 May 2021, **Revised**: 15 September 2021, **Accepted**: 8 October 2021

1. 서론

최근 유통시장 개방 및 수출입 시장의 자유화가 확대됨에 따라 글로벌 콜드체인 기업들의 온도관리 제품에 대한 고품질의 물류 서비스에 대한 니즈가 지속적으로 높아지고 있다. 소비자는 저렴한 가격 및 우수한 품질의 제품을 요구하고 있으며 이러한 소비자의 요구에 발맞춰 다양한 서비스를 제공해야만 상품의 경쟁력을 확보할 수 있다. 보다 우수한 품질의 제품에 대한 고객의 요구를 충족시키기 위해서는 신선식품의 물류 시스템을 개선할 필요가 있다. 특히 최근 코로나-19(COVID-19)와 독감 백신의 중요성이 강조되면서 바이오 의약품의 콜드체인 또한 중요성이 대두되고 있다(Song & Shin, 2020). 예기치 않은 시장 환경에 적응하기 위해서는 냉동·냉장창고의 전통적인 물류 및 제어 시스템을 보다 통합된 물류 시스템과 보다 경쟁력 있는 관리 시스템으로 전환할 필요가 있다.

그동안 건화물을 보관하는 일반창고에 대해서는 다양한 연구가 진행되어져 왔고, 다양한 업체에서는 사물인터넷(IoT; Internet-of-Things), 빅데이터, 위치기반 기술 등 최신 시설 도입과 운영 시스템 구축을 통한 운영 효율 개선과 차별화된 고객 서비스 제공을 통해 경쟁력을 높여왔다(Tejesh & Neeraja, 2018; Tripathy, Mishra, & Dash, 2020; Park, 2015). 하지만 냉동·냉장창고는 그 중요성 및 운영에 대한 관심이 부족한 현실이다. 특히 냉동·냉장창고는 열악한 작업환경, 보관품의 잦은 파손, 신선도 저하, 선입선출의 어려움으로 인한 장기 저장품 발생 등 일반 상온창고에 비해 다른 특징이 있기 때문에 차별화된 연구가 요구된다(Sun, 2008).

물류 시스템 혁신은 비즈니스 모델의 개발에 멈추어서는 실효성이 없으며, 물류 관련 IT, H/W, S/W 기술의 접목을 모두 요구하고 있다. 콜드체인 제품 환경은 온도민감성 제품의 수송과 보관을 위한 포장, 가공, 보관(창고) 환경을 의미한다. 본 연구에서는 콜드체인 물류 현장에서 실시간으로 수집되는 IoT 플랫폼과의 연계를 기반으로 물류센터 내에서 추출 가능한 데이터 및 제품 유통과정에서 발생하는 데이터를 수집·분석하여 의미 있는 정보를 추출·활용하기 위한 AI 기반 콜드체인 제품환경 예측기술을 개발하고 아울러 이를 활용할 수 있는 스마트 콜드체인 관리시스템을 제안하고자 한다. 이를 콜드체인 제품의 환경예측 기술은 스마트 물류센터 제품에 대한 최적 취급·유통 전략 도출 및 물류 환경조건 예측 등 제품의 품질 유지와 함께 효과적 제품 유통을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 관련 연구

2.1 콜드체인시스템

냉동·냉장창고는 일반적으로 수산물이나 육류 제품을 신선하게 보관하기 위한 목적으로 냉동 및 냉장설비를 갖춘 창고로서 냉동창고는 -18°C , 냉장창고는 10°C 이하의 저온을 유지하는 창고를 의미한다(Sun, 2008). 신선식품의 유통 중 많은 부분을 차지하는 저장·보관이라는 역할을 담당하기 때문에 냉동·냉장창고의 관리 및 수요에 대한 관심이 날로 커지고 있다(Kim, Bae, Lee, & Jung, 2007; Sun, 2012; Kim & Jeong, 2013).

콜드체인(Cold-chain)은 저온 유지 상태에서 공급사슬 내 부패하기 쉬운 농수산물 등 온도에 민감한 상품의 생산, 보관, 유통, 판매, 소비의 모든 과정을 포괄한다(Kim & Jeong, 2013). 즉, 콜드체인을 통한 과정은 생산지에서 소비자까지 원재료 획득 및 동결·예냉, 저온보관, 저온가공, 저온운송, 저온판매의 순서로 수행된다. 이때 저온이라 함은 일반적으로 냉장·냉동을 포함한 넓은 의미를 말한다. 특히 국내 콜드체인 물류기업에는 온도 및 습도 관리, 물류서비스의 품질 향상, 물류비 절감, 서비스 차별화 등이 필요한 시점이다. 일반적인 제품과 달리 콜드체인 물류가 필요한 제품(농·수·축산물 및 의약품 등)은 온도와 습도에 대한 지속적인 관리가 필요하다는 제품특성을 갖는다(Ko & Song, 2016). 또한 식품을 포함한 콜드체인 제품의 경우 일반 제품과는 달리 비교적 짧은 유통기한이 존재하며 일정 기간이 지난 후에는 그 상품의 가치가 완전히 소멸해 버리는 문제점이 있다. 이러한 콜드체인의 특성으로 인해 냉동·냉장창고의 운영 현황 및 개선 방안에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다(Cho & Kim, 2009; Lee, 2009).

오늘날 무역의 확대와 홈쇼핑, 인터넷, 모바일 쇼핑의 급성장과 함께 물류 산업 분야는 폭발적인 성장세를 보이고 있으며, 아울러 AI, 사이버물리 시스템(CPS; Cyber-Physical System)과 같은 4차 산업혁명의 신기술을 기반으로 한 새로운 비즈니스 모델이 창출되거나 기존 사업영역의 확장이 급격하게 이루어지고 있다(Jung & Jung, 2018). 4차 산업혁명에는 AI, 빅데이터, IoT, 블록체인, 로봇 등 ICT를 활용해 여러 객체 간 연결성을 확보하고, 이들 간 상호작용으로 가치 창출을 극대화 한다(Hyundai Research Institute, 2020). 이를 통해 독자적으로 운영되던 각종 기기가 첨단 ICT를 통해 상호작용하고, 고도화된 기기 간 정보전달과 분석을 통해 전체 공급사슬의 최적화된 운영

을 가능하게 한다.

물류 4.0은 기존 물류기술과 IoT 등과 같은 ICT 첨단기술과의 융합을 통한 물리적 자동화뿐 아니라 빅데이터 분석에 기반한 의사결정 자동화를 이루는 물류산업 패러다임의 전환을 의미한다(Lee & Jung, 2018). 물류 4.0 시대 핵심 물류기술을 구현하여 운영하기 위해서는 다수의 세부 기술이 개발되어 종합적으로 운용되어야 한다. 물류 4.0 체제에서는 수요자 중심의 모든 공급사슬이 디지털 기반으로 연결되고 참여주체 간 정보 공유를 통한 실시간 의사결정 체제로의 변혁이 진행되고 있다(The Korea Transport Institute, 2017). 특히, 물류기술의 발전을 위해서는 기초 기술인 공학 분야의 기술적 발전이 수반되어야 하는데 4차 산업혁명 관련 기술의 발전을 통해 그 개발 가능성이 크게 높아지고 있다.

IoT 기반 콜드체인 관리기술은 공급망 내 화물 정보를 수집·저장·분석하고 이를 관리 시스템으로 전송할 수 있는 말단 인식장비(센서) 기술을 기반으로 한다. 수집된 데이터는 다양한 방식으로 분석되어 공급망의 운영에 활용된다(Woschank, Rauch, & Zsifkovits, 2020). 콜드체인의 실질적 운용을 위해서는 다양한 응용 서비스가 개발되어야 한다. 예를 들어, 공급망 내 이해관계자들은 손쉽게 상품 운송 및 보관 상태를 파악할 수 있어야 하며 획득한 정보를 기반으로 공급망의 운영에 영향을 미칠 수 있어야 한다. 냉동·냉장창고는 상온창고에 비하여 그 중요성 및 운영에 대한 관심이 부족하며 온도 및 습도 유지와 같은 여러 중요한 특징이 있기 때문에 차별화된 연구가 필요하다. 특히 냉동·냉장창고의 효과적인 운영을 위해서는 실시간으로 수집되는 의미 있는 데이터의 신속한 추출 및 활용 방안 개발이 반드시 필요하다.

2.2 물류와 AI

AI는 데이터를 바탕으로 컴퓨터가 스스로 학습할 수 있도록 기술과 알고리즘을 개발하는 것으로, 이미지 처리, 영상 인식, 음성 인식 등 다양한 분야에서 핵심 기술로서 미래의 데이터 예측에 매우 탁월한 성능을 보이고 있다(Choi & Jun, 2018). AI가 가지고 있는 강력한 예측기능은 다양한 분야에 적용될 수 있으며, 물류 분야 또한 AI 적용을 통해 콜드체인 내 문제점의 신속한 인지 및 조치를 통해 더욱 효율적인 관리가 가능하게 할 수 있다.

AI의 학습 방법은 크게 지도학습(Supervised Learning)과 비지도학습(Unsupervised Learning), 강화학습(Reinforcement Learning)으로 나눌 수 있다(Love, 2002). 이

중 지도학습은 머신러닝에서도 주로 분류와 예측이 필요한 곳에 사용되며, 트레이닝 데이터에 레이블(Label)이 있는 경우를 말한다(Son & Yun, 2011). 주로 사용되는 방식은 분류와 회귀분석이다. 분류 기법은 입력 값을 범주로 분류하여 응답을 예측하고, 회귀분석은 데이터의 특징을 토대로 값을 예측하는 기법이다. 이러한 지도학습 방법은 훈련시 출력에 대한 정답을 알고 있어야 한다는 한계를 가지고 있다. 비지도 학습은 데이터에 레이블이 없으며, 데이터가 어떻게 구성되어 있는지를 확인하고 구별하는 문제의 범주에 속한다. 입력 값에 대한 목표치가 주어지지 않으며, 데이터의 주요 특징을 요약하고 설명하는데 활용된다(Casolla, Cuomo, Di Cola, & Piccialli, 2019).

본 연구는 상관관계분석(Correlation Analysis)을 통해 변수 간에 어떤 선형적 또는 비선형적 관계를 갖고 있는지를 분석한다. 여기서 상관관계분석이란 변수 간의 관계의 밀접한 정도, 즉 상관관계를 분석하는 통계적 분석방법을 말한다. 인공지능 분야에서는 두 가지 개체의 속성 값이 여러 개일 경우 이들 속성 값들에 의한 두 개체 사이의 유사도를 구할 때 상관관계분석을 자주 사용한다(Choi, 2019). 또한 선형 관계의 두 변수의 강도와 방향을 측정하기 위해 상관 계수를 사용한다. 본 연구에서는 상관관계분석을 통해 높은 상관계수를 갖는 변수들을 추출하고 예측 모델에 학습시킨다. 또한 전체 데이터를 활용한 학습모델과의 비교를 실시하여 어떤 모델이 더 높은 정확도를 보이는지 비교·분석한다. 예측모델은 인공신경망을 활용한 회귀분석을 실시한다.

3. 냉동·냉장 물류데이터 분석체계 설계

3.1 스마트 물류센터 통합관리시스템 구조

본 연구에서는 콜드체인 물류 내에서 취급되는 제품에 대한 스마트 물류센터 최적 운영을 위해 <Fig. 1>과 같이 통합관리시스템의 구조를 정의하였다. 본 연구에서 제안한 스마트 물류센터 통합관리시스템은 냉동·냉장창고를 비롯한 콜드체인의 주요 단계인 생산, 포장, 저장, 운송, 도소매 단계 등 콜드체인 전주기에 대한 실시간 감시(Monitoring)와 관리(Management) 시스템을 의미한다.

제안된 시스템은 우선 콜드체인 물류망 내에서 취급되는 제품에 대해 관리 온도에 따른 대표 제품을 선정하고, 현재 물류센터 및 유통 과정에서의 취급/재취급에 대해 IoT 센서를 통해 추가적인 데이터를 획득한다. 또한, AI 기술 중 콜드체인 제품에 대해 최적 분석이 가능한 세부

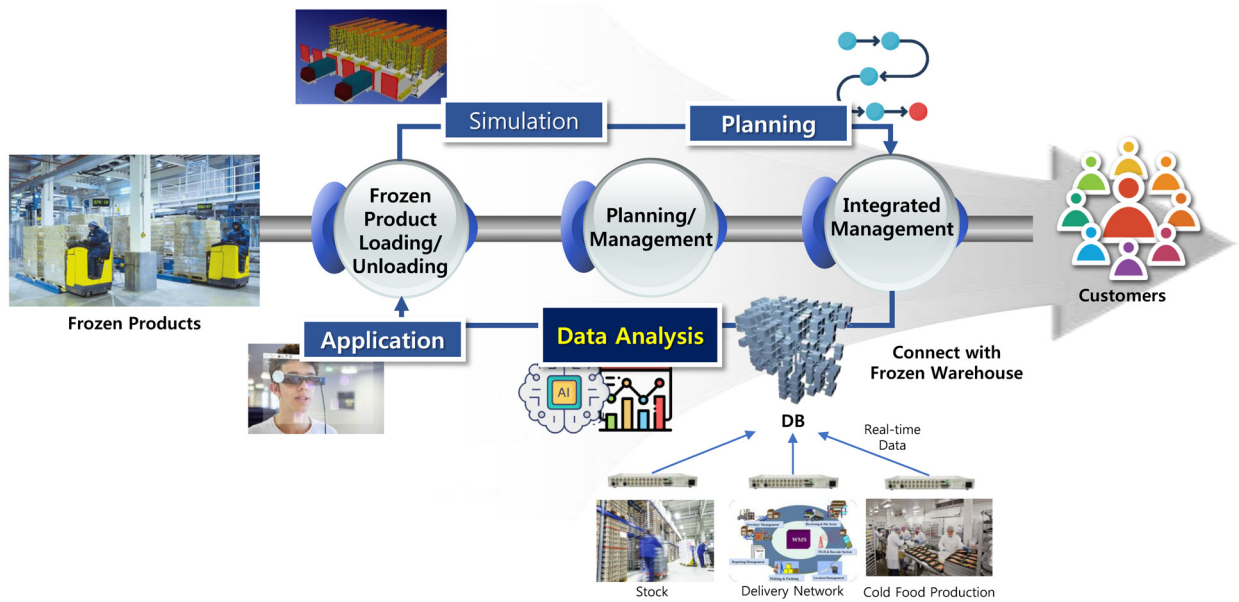


Fig. 1. Structure of an AI-based integrated management system for cold-chain smart logistics centers

기술을 선정하여 그에 대한 딥러닝(Deep Learning) 등 학습 모델을 통해 콜드체인 내 제품 환경을 예측한다. 이후 콜드체인 상의 모든 단계에 대하여 실시간으로 파악된 물류 현황과 시뮬레이션 결과를 입·출고 계획과 비교한다. 이러한 시뮬레이션 결과를 토대로 최적 운영계획 수립 등의 효과를 기대할 수 있고, 변경된 설비 제어를 시뮬레이션에 적용시켜 예측 결과를 현장에서 즉시 검토할 수 있다. 아울러 실시간 모니터링을 통해 작업자 및 관리자가 원하는 정보를 제공함으로써 콜드체인 내 제품의 품질 유지를 위한 시간과 자원의 손실을 줄일 수 있도록 지원한다.

3.2 AI 기반 예측 기술

콜드체인 제품은 신선도 및 부패에 매우 민감한 제품이다. 콜드체인 제품은 창고 보관, 배송, 매장 전시 등 다양한 콜드체인 환경을 거쳐 고객에게 전달된다. 그 과정에서 발생하는 제품의 환경변화는 품질에 큰 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 우유 및 유제품의 경우 항상 4℃ 이하를 유지해야 하지만 배송이나 매장 전시 상황 및 공정 간 실제 온도는 <Fig. 2>와 같이 분포된다(Frisbee Project, 2020). 즉, 대부분 3℃ ~ 4℃ 이하로 유지되지만 4℃ ~ 6℃ 사이에서도 다수 관찰된다. 이는 콜드체인 제품의 부패 및 불량 위험성이 발생할 수 있다는 것을 나타낸다. 따라서 콜드체인 상에서 제품의 환경 변화를 분석하고 예측할 수 있다면 고객에게 전달되는 콜드체인 제품의 품질 유지 및 고객 만족도 향상이 가능하다.

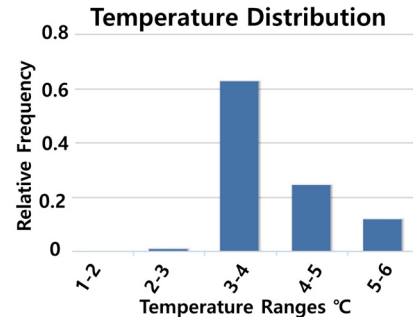


Fig. 2. Temperature distribution during dairy management (Frisbee Project, 2020)

콜드체인에서 고려해야 하는 환경요인은 창고, 배송차량, 매장 전시대의 온도, 습도와 공정 간 발생하는 상하차 시간, 주변 기후 등을 포함한다(Chaudhuri, Dukovska, Subramanian, Chan, & Bai, 2018). 이러한 데이터의 충분한 확보가 가능하다면 인공지능경망, 메타휴리스틱 및 기계 학습 방법론 등을 활용한 콜드체인 제품환경 예측 기반의 물류 방식 변화뿐 아니라, 유통기한 선정, 배송 규칙 및 저장량 등에 대한 의사결정 지원이 가능하다. 이러한 제품 환경 데이터를 활용한 분석 및 예측을 위한 개념도는 <Fig. 3>과 같이 나타낼 수 있다.

다양한 제품환경 데이터 중 관리 온도·습도 및 주변기후 데이터는 연속형 데이터로 발생하기 때문에 RNN 혹은 LSTM 네트워크와 같은 순환형 인공지능경망으로 학습하는 것이 유리하다. 하지만 보관기관이나 상하차 시간 등은 이산형 데이터로 기본적인 Support Vector Machine(SVM)

또는 다층신경망(MLP; Multi-Layered Perceptron)으로 학습하는 것이 좋다. 따라서 콜드체인 환경데이터의 연속형, 이산형 특성을 학습한 두 모델의 결과를 상위 학습모델(High-level Learner)에 활용한다면 콜드체인 제품의 유통기한 설정, 배송 규칙 개발, 공정별 저장량 설정 등에 대한 효과적인 의사결정이 가능할 것으로 예상된다. 하지만 본 연구에서는 데이터 확보의 한계로 인해 콜드체인 제품 배송차량의 환경데이터(외부온도 및 습도)를 활용하여 배송규칙 중 배송차량의 내부온도의 관리를 위한 전략 도출 부분으로 한정하여 다루고자 한다. 또한 연속형 데이터인 온습도 데이터 자체에 대한 수급의 한계로 인해 기준 시간마다 측정·수집된 이산화된 온습도 데이터를 활용하여 MLP 기반 다중회귀분석 모델을 개발하고 이를 통한 내부 온도 예측을 수행하고자 한다.

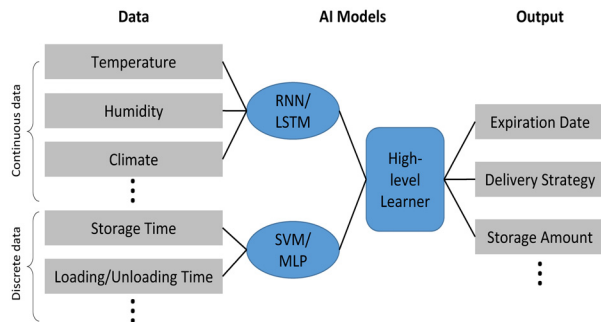


Fig. 3. Conceptual AI-based analysis and prediction structure of cold-chain products environment

3.3 데이터 분석 및 활용 체계 구축

본 연구에서 제안하는 통계적 분석 및 AI 분석 모듈과 콜드체인 통합관리 시스템의 연계 구조는 <Fig. 4>와 같다. 콜드체인 각 단계별 센서에서 데이터 수집이 완료되면 물류와 매칭되어 있는 데이터를 추출하여야 한다. 데이터를 추출하기 위해서는 설비마다 정의된 기본키(Primary Key)를 활용해 데이터베이스(DB)에 접속한다. 여기서 기본키란 각각의 데이터를 식별할 수 있는 가장 대표적인 속성으로, 데이터 설계자에 의해 사전에 정의되어 활용된다. 예를 들어, 고객 데이터의 기본키는 각 고객별 고유 식별이 가능한 고객아이디가 될 수 있다. 기본키의 활용은 데이터의 중복을 방지하고, 데이터를 쉽고 빠르게 찾을 수 있도록 지원한다.

콜드체인 통합관리 시스템에서는 인터넷과 웹 브라우저의 웹 사용자 인터페이스(WUI; Web User Interface)를 통해 분석 결과에 대한 리포트를 제공 받을 수 있다. DB에

있는 정보를 분석모듈로 불러들일 때는 개방형 표준 포맷인 Java Script Object Notation(JSON) 형태로 파싱(Parsing)하여 데이터 교환형식을 변경한 후 사용한다. 분석결과는 Text, 그래프, 또는 이미지(png, jpg 등) 다양한 형태로 제공된다. <Fig. 5>의 그래프는 유통품질 평균을 기준으로 각각의 유통 프로세스의 품질상태를 모니터링하여 품질문제에 대한 근본 원인을 분석하는 모니터링 화면의 예시를 보여준다.

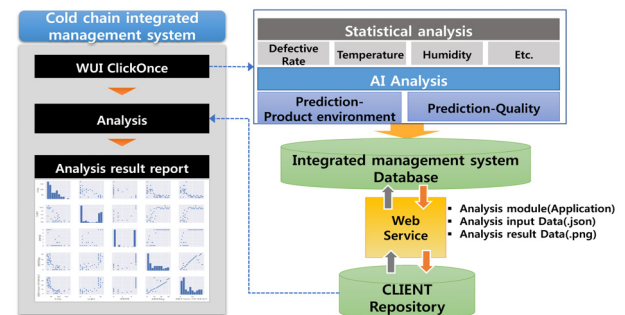


Fig. 4. Linkage structure between analysis module and integrated management system

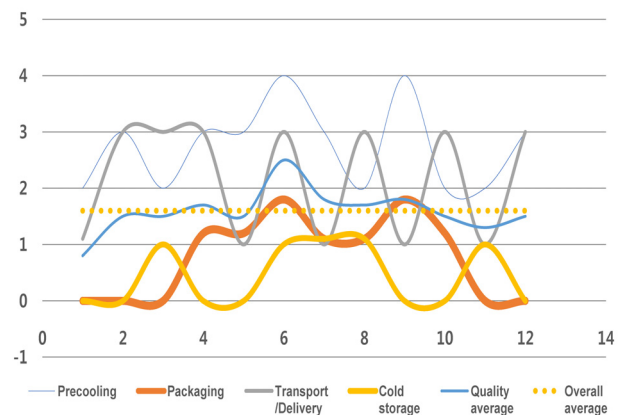


Fig. 5. Monitoring for quality analysis of logistics processes

4. AI 기반 콜드체인 제품환경 예측 사례

본 연구에서는 유제품을 대상으로 한 AI 기반 콜드체인 제품 환경 예측 과정, 방법 및 결과를 사례 연구로 제시한다. 먼저 사례 연구를 위한 실험 환경을 다음과 같이 정의한다.

- 유제품 배송 환경으로 한정하며 총 5대의 배송 차량을 대상으로 한다고 가정
- 각 배송차량은 5분 단위로 차량 내부의 온도와 차량

- 외부 온도 및 습도 데이터를 센서로 취득
- 실제 취득한 내부온도 데이터를 활용하여 시물레이션 데이터 생성
- 모든 배송차량의 총 배송시간인 19,445분에서 5분 단위로 취득한 3,889개의 데이터 활용

<Table 1>은 사례연구에서 사용한 평균 2,530분 간 배송되어진 유제품의 환경 데이터를 평균, 표준편차, 최소값, 최대값으로 구분하여 나타낸 표이다.

Table 1. Summary of datasets

Category	Average	Standard deviation	Min	Max
Time(min)	3889.0	2120.7	1225.0	6970.0
Outside Temp (°C)	26.3	2.1	21.0	32.0
Outside humidity (%)	42.2	17.6	5.0	75.0
Internal Temp (°C)	3.6	0.6	2.5	5.5

본 사례 연구에서는 유제품 유통 과정에서 발생한 환경 정보(외부온도, 외부습도) 및 시간을 고려하며 배송차량의 내부온도를 최적화하고자 한다. 따라서 다수의 독립변수들 간의 상관관계를 분석하기 위해서 다중상관분석(Multiple Correlation Analysis)을 사용하였으며 상관계수는 피어슨 상관 계수(Pearson Correlation Coefficient)를 사용하였다. 또한 상관관계가 높은 변수들의 데이터를 학습하여 내부온도를 예측하기 위한 MLP를 활용하여 다중회귀분석(Multiple Linear Regression)을 실시하였다. 또한 다중회귀분석 모델로 예측된 내부온도를 관리상한선 이하로 유지하기 위한 내부온도 제어시나리오를 구성하였다. 상관분석 및 학습모델은 파이썬(Python) 환경에서 개발되었다.

유제품의 콜드체인 배송에서 가장 중요하게 관리되어야 하는 환경 요인은 당연히 내부온도이다. 유제품의 콜드체인 배송 중 내부온도는 4°C 이하로 균일하게 유지되어야 한다. 유제품을 4°C 이상에서 관리할 경우 부패가능성이 높아지며 낮은 품질의 제품을 고객에게 전달할 수 있는 위험이 생긴다. 따라서 본 사례 연구에서는 내부온도의 변화와 연관이 깊은 변수들을 우선적으로 찾고자 하였다.

변수들 간의 상관관계를 나타내는 히트맵(Heatmap)은 <Fig. 6>에 나타나 있다. <Fig. 6>의 Time은 측정시간(5분 단위), Temp_o는 외부온도, Hum은 외부습도, 그리고

Temp_i는 내부온도를 나타낸다. 분석 결과에 따르면 내부온도와 가장 연관관계가 깊은 것은 시간(-0.83)으로 음의 상관관계를 갖는다.

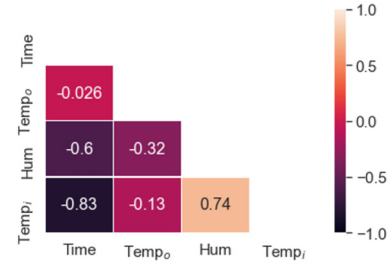


Fig. 6. Summary of correlation between variables

이는 시간 값이 작을수록 내부온도가 높다는 것을 의미하는데, 데이터의 특성을 고려하면 배송초기 차량 내부의 온도가 높다는 것으로 해석할 수 있다.

<Fig. 7>은 각 배송차량 별 내부 온도의 변화를 시간에 따른 꺾은 선형 차트로 표현한 것이다. 배송차량 다섯 대의 내부온도 변화는 실선으로, 각 차량에서의 유제품 관리 상한선은 4°C로서 점선으로 표시하였다. 다중상관분석 결과와 유사하게 차량 4를 제외한 모든 차량에서 배송초기 내부온도가 관리상한선을 초과하고 있음을 알 수 있다. 이후 중기에는 내부온도가 유지되거나 내려가는 형태로 보이며, 차량 5의 경우 측정 말미에 다시 온도가 상승하는 것으로 관찰된다. 이는 배송차량 5의 배송시간이 다른 차량과 비교하여 다소 길기 때문에 발생하는 문제일 수도 있으며, 그 밖의 다른 요인에 따른 결과일 수도 있다. 따라서 정확한 내부온도 관리를 위해서는 배송 과정 중 작업자의 시간에 따른 작업정보, 배송차량의 문 열림 정도 등 다양한 배송환경 데이터를 추가 확보·활용하여야 할 것으로 보인다.

<Fig. 6>에서 밝힌 상관분석 결과 중 두 번째로 내부온도와 연관이 깊은 변수는 차량 외부의 습도이다. <Fig. 8>은 외부습도 분포에 따른 내부온도 변화를 나타내는 그래프로서 짙은 색깔로 표시될수록 데이터의 빈도가 높다는 것을 나타낸다. 데이터 및 그래프를 통한 분석 결과에 따르면, 외부습도가 30% 이하에서는 관리상한선을 넘는 사례가 없었으며 30% 이상일 때 관리상한선인 4°C를 넘을 수 있는 가능성이 발생하는 것으로 분석된다. 따라서 외부습도가 30% 이상일 경우 내부온도를 제어하는 데에 추가적인 고려 및 조치가 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 본 사례연구에서는 다중퍼셉트론 인공신경망을 활용하여 시간 및 외부 온습도에 따른 실제 내부온도의 예측하고 다중회귀분석을 실시하였다. <Table 2>는

다중회귀분석 모형과의 적합도인 결정계수 값 (R^2)을 정리해 놓은 표이다. 상관분석 결과에 따라 시간, 외부습도 및 외부온도를 모두 고려하였을 때와 시간과 외부 습도만을 고려하였을 때를 비교하였다.

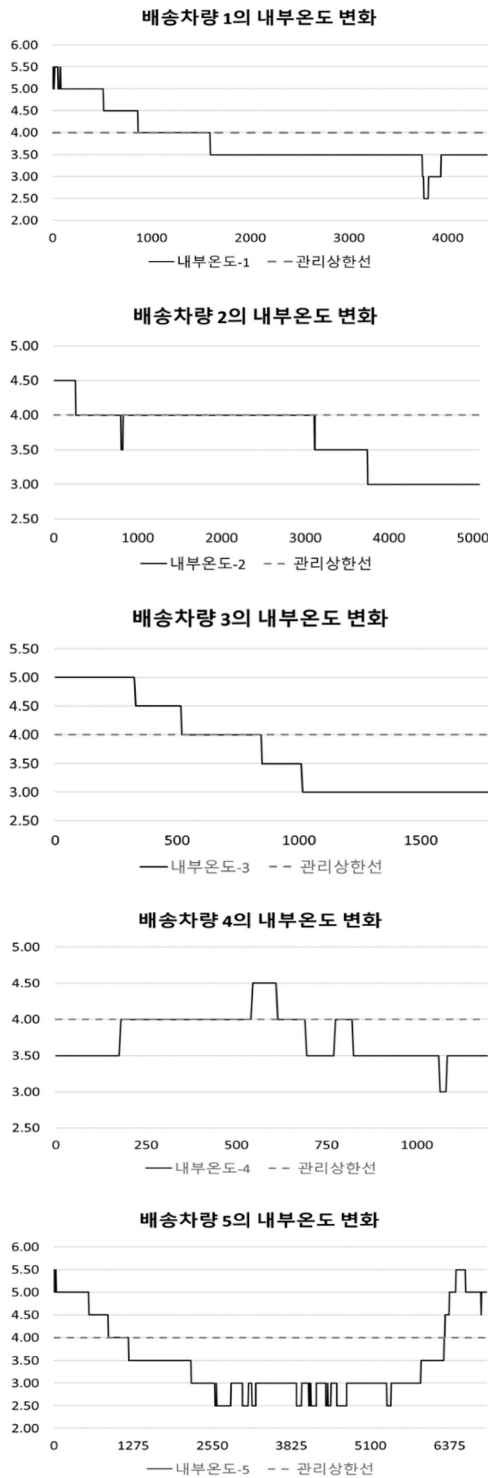


Fig. 7. Changes in internal temperature of vehicle over time

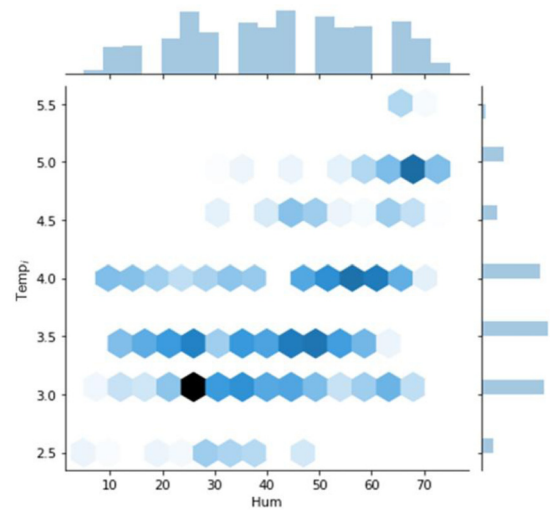


Fig. 8. Changes of internal temperature according to external humidity

〈Table 2〉에 나타나 있듯이 배송차량 1, 2, 3, 5는 외부 온도에 큰 영향을 받지 않았지만 배송차량 4의 경우는 외부온도의 고려 유무에 따른 결정계수 값이 크게 차이가 났다. 가장 적합도가 높은 모형은 배송차량 3의 경우였으며 배송차량 4와 5는 다소 낮게 나타났다. 배송차량 1과 2는 외부온도를 고려하지 않았을 때 결정계수가 소폭 상승하였지만 배송차량 3과 5는 소폭 하락, 배송차량 4는 큰 폭으로 하락하였다. 따라서 배송차량 별 배송시간의 구간별 상관분석 등 다양한 관점의 상관분석이 추가적으로 필요한 것으로 보인다.

Table 2. Summary of multiple regression results

Category	Vehicle 1	Vehicle 2	Vehicle 3	Vehicle 4	Vehicle 5
R^2 (Time, Hum, Temp _o)	0.7877	0.8216	0.9643	0.5232	0.5902
R^2 (Time, Hum)	0.7904	0.8231	0.9101	0.1596	0.5453

$$Temp_i = -0.0016 \times Time - 0.09551 \times Temp_o - 0.01490 \times Hum + \alpha \quad (1)$$

배송차량 3의 외부온도 고려 모형을 활용할 경우 시간 300분 경과, 외부온도 25℃, 외부습도 70%일 경우 내부온도는 4.85℃로 예측된다. 이는 4℃ 이하로 유지해야 하는 목적값을 만족시킬 수 없으므로 내부온도 설정을 더 낮게 설정하는 의사결정 및 전략을 수립할 필요가 있다. 식 (1)은 다중퍼셉트론 모델에서 추출한 i번째 측정된 반응변수

Temp_i를 구하기 위한 다중회귀 분석식의 예이다. 이처럼 추출한 다중회귀 분석식을 이용하여 배송차량의 내부 온도를 예측해 볼 수 있으며, 이를 활용한 효율적인 배송차량 환경설정 및 물류 운영 전략을 도출할 수 있다.

5. 결 론

콜드체인 물류의 경쟁력 제고와 효율적인 운영을 위해서는 콜드체인 전주기에 걸친 데이터를 수집·분석하여 의미 있는 정보를 추출·활용하기 위한 데이터 분석체계 개발이 요구된다. 또한 온도에 민감한 콜드체인 제품의 특징으로 인해 실시간 환경변화에 따른 유통품질 관리기술 및 제품환경 예측기술이 필요하다. 하지만 현재 국내 냉동·냉장 창고의 경우 관련 특정 데이터의 확보는 점차 가능한 상황으로 변화하고 있으나 종합적 데이터 분석 및 학습을 위한 데이터 간 연동 부재로 인해 시간과 자원의 낭비가 지속되고 있는 상황이다.

본 연구는 스마트 콜드체인 물류센터 통합 관리 시스템 구조를 제안하고, 실시간으로 수집되는 제품환경 데이터를 활용하기 위한 방안을 제안하였다. 따라서 본 연구는 AI기반 데이터 학습을 통한 콜드체인 제품환경 예측 및 활용 가능성을 확인했다는 점에서 연구의 의의가 있다고 할 수 있다. 이처럼 콜드체인 제품환경 데이터의 활용은 신선식품 및 부패가능성이 높은 제품의 품질 향상을 위한 다양한 운영 전략을 도출 및 활용할 수 있게 함으로써 물류 경쟁력 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서 수행한 사례분석 결과에 따르면 냉동·냉장 제품의 배송초기의 온도관리, 배송시간 및 외부습도 등이 제품 품질 유지에 가장 중요한 배송차량 내부의 온도에 영향을 미치는 중요한 환경 변수인 것으로 밝혀졌다. 따라서 배송초기 및 말미에 발생할 수 있는 차량 내 온도 상승을 막기 위한 새로운 운영 전략의 수립이 필요하다. 차량 외부의 습도가 30% 이상일 경우에는 제품 품질 유지를 위해 차량 내부의 온도를 더 낮추어야 한다는 운영 전략 또한 필요하다. 본 연구의 결과로 도출된 다중회귀분석(식(1) 참고)을 활용한다면 운송 시간, 외부온도 및 습도 등을 측정하여 내부온도 설정을 가변적으로 제어할 수 있는 시스템의 구축이 가능하다. 하지만 이를 위해서는 배송시간 중 작업특성 및 차량 문열림 횟수 및 시간 등에 대한 추가적인 데이터 확보가 필요할 수 있다.

본 연구에서 활용한 데이터는 그 종류 및 양에 대해 한계가 있어 향후 추가적인 데이터 확보를 통한 학습모델 보완이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 제품환경 데이터

를 기반으로 예측한 결과에 따라 자율적인 제품환경 제어가 가능한 시스템의 설계 및 개발 또한 향후 연구주제로 파악된다. 본 연구는 추후 다양한 물류관리 시스템과의 연동 및 스마트 물류센터와의 연계를 통해 환경 정보와 의사결정 결과를 현장에서 확인 할 수 있는 환경을 지원하는 연구로 확장이 가능할 것으로 예상된다.

REFERENCES

- [1] Song, S. & Shin, C. (2020). Improvements on the inland transportation of cold chain pharmaceuticals in Korea: Focused on the Qualification and Institutional Improvements for Temperature Controlled Packaging. *Korea Logistics Review*, 30(3), 7-87.
- [2] Tejesh, B. S. S. & Neeraja, S. J. A. E. J. (2018). Warehouse inventory management system using IoT and open source framework. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3817-3823.
- [3] Tripathy, R. P., Mishra, M. R., & Dash, S. R. (2020). Next Generation Warehouse through disruptive IoT Blockchain. In 2020 International Conference on Computer Science. *Engineering and Applications (ICCSEA)*, IEEE, 1-6.
- [4] Park, Y. (2015). A study on logistics distribution industry's IoT situation and development direction. *Management Information Systems Review*, 34(3), 141-160.
- [5] Sun, I. (2008). Investigation of domestic refrigeration and freezing warehouses. *Journal of Distribution Science*, 6(2), 5-21.
- [6] Kim, H., Bae, C., Lee, C., & Jung, H. (2007). Structural enhancement plan of refrigerated warehouses in Busan. *Journal of the Korea Institute of Industrial Engineers Fall Conference*, 1286-1290.
- [7] Sun, I. (2012). Analysis of change of the national cold and frozen storage warehouse with the size and number. *Korea Logistics Review*, 22(2), 133-154.
- [8] Kim, H. & Jeong, H. (2013). The traceability management model of cold chain supply chain: Focus on school meal supply chain. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 13(2), 87-97.
- [9] Ko, D. & Song, S. (2016). Design of the components for cold chain framework. *Proceedings of KIIT Conference*, 39-43.

- [10] Cho, G. & Kim, H. (2009). A Study on the improvement of operation of refrigerated warehouses in Busan. *Journal of Korea Academy of International Commerce*, 24(4), 51-72.
- [11] Lee, J. (2009). A study on the determinate factors of competitive superiority on the freezing and refrigerating warehouse in Gyeonggi-do. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 9(2), 135-145.
- [12] Jung, S. & Jung, B. (2018). Types of business models in the 4th industrial revolution Era. *Journal of Venture Innovation*, 1(1), 1-14.
- [13] Hyundai Research Institute (2020), Features and implications of the logistics 4.0 era. *VIP Report*, 733, 1-14.
- [14] Lee, S. & Jung, T. (2016). Smart logistics in the big data era. *Industrial Engineering Magazine*, 23(4), 13-20.
- [15] The Korea Transport Institute. (2017). Logistics 4.0 strategy and policy for emerging business model and technology in Korea. *2017 Logistics Technology Industry and Technology Trend Analysis Report*, 1-151.
- [16] Woschank, M., Rauch, E., & Zsifkovits, H. (2020). A review of further directions for artificial intelligence: machine learning, and deep learning in smart logistics. *Sustainability*, 12(9), 3760.
- [17] Choi, J. & Jun, S. (2018). Bayesian inference for technology analysis of artificial intelligence. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 28(4), 411-416.
- [18] Love, B. C. (2002). Comparing supervised and unsupervised category learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 829-835.
- [19] Son, Y. & Yun, D. (2011). Abnormality detection to non-linear multivariate process using supervised learning methods. *IE Interfaces*, 24(1), 8-14.
- [20] Casolla, G., Cuomo, S., Di Cola, V. S., & Piccialli, F. (2019), Exploring unsupervised learning techniques for the Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(4), 2621-2628.
- [21] Choi, S. (2019). Beta-wave correlation analysis model based on unsupervised machine learning. *Journal of Digital Convergence*, 17(3), 221-226.
- [22] Frisbee Project (2020). European food cold chain database, Available online: <http://www.frisbee-project.eu/coldchaindb.html>.
- [23] Chaudhuri, A., Dukovska, P. I., Subramanian, N., Chan, H. K., & Bai, R. (2018). Decision-making in cold chain logistics using data analytics: A literature review. *The International Journal of Logistics Management*, 29(3), 839-861.



박 영 태

중앙대학교 무역학과 경영학박사
현재: 동의대학교 무역·유통학부 교수
관심 분야: 국제운송, 국제물류, SCM



김 시 구

부산대학교 산업공학과 공학석사
현재: 부산대학교 산업공학과 박사과정
관심 분야: Intelligent Manufacturing,
Manufacturing Data
Analytics, SCM



이 화 섭

부산대학교 산업공학과 공학박사
현재: 한국해양수산개발원 항만수요예측센터 전문연구원
관심 분야: 항만데이터 분석, 제조데이터 분석 및 예측



류 광 열

POSTECH 산업공학과 공학박사
현재: 부산대학교 산업공학과 교수
관심 분야: Smart Factory & Technology,
Manufacturing Data
Analytics, Fractal
Manufacturing System, SCM

머신러닝을 활용한 국고잔액 예측 모형 개발

송석현[†]

감사원 감사연구원

Development of a Forecasting Model for Treasury Balance Using Machine Learning

Seokhyun Song[†]

BAI Audit and Inspection Research Institute

The Government are always making various efforts to establish sound financial management and stable budget policies.. In particular, the work related to the fund plan and the operation plan of the treasury through manual work is subject to improvement, and a financial estimation system is needed to achieve it.. In this study, we wanted to analyze whether it is possible to predict the balance of the treasury by utilizing machine learning. First of all, we developed a forecasting model for treasury balances. In addition, to verify the applicability, the government balance predictability of machine learning techniques, performance verification, and major variable verification were performed. In detail, data collection and refinement, exploratory analysis, analytical model design and development, and analysis result review were studied. The analysis target data is 120 months of total data from 2010 to 2019, limited to income tax and value-added tax revenue forecasts, with monthly revenue volume and major taxes. This was predicted for 2019 tax revenue respectively. The application algorithms are Linear Regression, Random Forest, and Gradient Boosting. According to the analysis, Linear Regression was the best in revenue and income taxes, while Gradient Boosting was the best in VAT. In conclusion, it was analyzed that machine learning was applicable to treasury predictions. This will allow quick results, scientific analysis through the introduction of big data-based models, and the person in charge will be able to improve predictive power through new model tests. It is also expected that the government's confidence in fiscal management will be improved.

Keyword : Machine Learning, Financial Estimation, Financial soundness, Treasury balance, Prediction, Algorithm

[†] **Corresponding Author** : BAI Audit and Inspection Research Institute, 112 Bukchon-ro, Jongno-gu, Seoul, 03050, Korea.
Tel: +82-2-2011-3028, E-mail: ssh0423@korea.kr

Received: 31 August 2021, **Revised**: 26 September 2021, **Accepted**: 13 October 2021

1. 서론

1.1 연구의 필요성 및 목적

4차 산업혁명 시대가 도래하였다. 전 세계적으로 데이터 개방, 공유 및 분석 등 정책이 마구 쏟아지고 있다. 또한, 새로운 비즈니스도 생겨나고 있다. AI의 발달은 이런 데이터를 활용해서 더욱 시너지를 내고 있다. National Law Information Center(2020)에 따르면 한국은 데이터 기반 행정활성화에 관한 법률을 작년에 시행하였다. 이를 통해 정부는 정부가 보유한 데이터를 활용해서 행정업무를 통해 정책을 마련 시 과학적 행정이 가능하도록 도와주는 근거가 되고 있다. 아울러 이 법을 근거로 부처, 청, 지자체, 공공기관들은 데이터를 분석하기 위해서 각각이 보유한 데이터를 활용하여 정책 의사결정을 지원하는 센터도 운영하고 있다. Ahn(2017)과 Choi & Yoon(2018)은 서울시는 빅데이터 캠퍼스를 만들어서 데이터 교육, 데이터 분석 및 활용을 국민에게 과감하게 할 수 있도록 하고 있다. 또 Jung(2020)과 Statistical Office(2021)에 의하면 통계청은 통계빅데이터 센터를 전국에 주요거점에 만들어서 통계데이터를 국민이나 연구자, 기업이 잘 활용할 수 있도록 운영하고 있다. 국세청도 내부 국세 업무에 활용하고자 빅데이터 센터를 운영하고 있다. 이렇게 정부는 데이터 시대에 맞추어 많은 예산과 정책을 추진하고는 있지만, 부정적인 시각도 많은 게 현실이다. Jang & Kim(2017)은 활용데이터의 부족, 센터의 접근성의 불편함, 아직도 데이터 활용에 대한 부정적인 시각, 정부데이터의 낮은 품질과 표준화는 이런 부정적인 시각을 대변하고 있다. 그렇지만, 21세기는 데이터 시대인 만큼 우리나라 뿐만 아니라 세계적으로 국가의 경쟁력으로 보고 있기에 지속 발전할 분야임에는 틀림없고 지속적인 연구가 필요한 분야이다.

작년부터 시작된 코로나19 팬데믹은 전 세계를 경제 위기로 몰아갔다. 선진국이든 후진국이든 모두가 경제적으로 어려워졌으며, 국가간의 통행은 통제되고 감시되며, 수입과 수출이 어렵고, 내수의 어려움으로 국가경제가 잘 돌아가지 않고 있는 상황이다.

우리나라도 마찬가지로 코로나19 위기는 경제를 어렵게 만들었고, 사회적 거리두기, 변이출현은 K-방역을 하고 있지만, 경제의 위기를 아직은 벗어나기에는 힘든 상황이다. 이런 상황에서 국민은 경제에 대해 큰 관심을 가지게 되었고 정부는 경제 상황을 좀 더 국민에게 신속

하고 정확하게 알려줄 의무가 생겼다.

미국은 WEI(Weekly Economic Index)라고 해서 연방은행에서는 코로나19 위기에 국민과 기업에게 경제 상황을 주간 단위로 경기동향을 알려주고 있다. 또한 나우캐스팅이라고 해서 데이터를 분석하여 경제를 예측하는 시스템도 개발하여 운영하고 있는 상황이다.

더 나아가 영국은 RAHS(Risk Assessment & Horizon Scanning)을 개발하여 정책의 상황을 분석하고 나아가 미래를 예측하며 처방까지 하는 시스템을 운영하고 있다. 싱가포르도 마찬가지로 RAHS 개념을 정부의 정책에 도입하고 있다. Lee(2020)에 따르면 우리나라에서도 때마침 차세대 디브레인 시스템이 구축 중에 있으며, Korea Legal Research Institute(2020)은 비전으로 데이터를 기반으로 정책의사결정시스템을 지향하고 있다. 2022년 1월에 전면 개통된다. 이런 상황에서 경제에 대한 머신러닝 등 신기술 적용이 가능한지를 분석하는 연구는 매우 시기 적절하다고 볼 수 있다.

Lee et al.(2019)은 현재 최신의 계량 경제 기법, 인공지능 등 과학적 방법론이 재정분야에서는 사용이 미진하다고 한다. 또, 과거의 패턴, 추이 등을 경험적인 방법으로 터득하고 있는 내용을 기계학습을 통하여 접근하고자 하였다.

본 연구에서는 국고잔액을 예측하는 데 머신 러닝을 처음으로 적용해 보고자 한다. 이미 다양한 분야에 머신 러닝을 적용하고 있지만, 이렇게 경제 분야 특히 국고잔액을 관리하는데 적용하는 것은 처음이다. 그래서 그 의미가 무엇보다도 크다고 할 수 있다.

1.2 연구의 내용 및 범위

연구는 국고잔액을 예측하는 데 있어 머신 러닝이 적용 가능한지에 대해 분석하고자 한다. 그래서 국고잔액 예측 모형 및 분석 프로세스를 개발하였다. 데이터 수집 및 정제, 탐색적 분석, 분석모형 설계 및 개발, 분석 결과 검토 등이 분석 프로세스이다.

본 연구는 크게 4개의 장으로 구성하였다. 제1장은 연구의 필요성 및 목적, 연구내용 및 범위를 제시하고, 선행 연구를 통해 머신러닝 개념, 국고의 개념, 국고 잔액 관리에 대해 간단히 개념을 고찰하였다. 제2장은 국고잔액 예측 분석 프로세스를 정의하고 개발하였다. 제3장에서는 분석결과를 정리하였다. 특히, 국고잔액 중 세입, 소득세, 부가가치세 등 3개 분야를 대상으로 분석하였다. 제4장은 결론 및 향후연구에 대해서 기술하였다.

1.3 이론적 고찰

본 연구에서는 다양한 머신 러닝 알고리즘을 적용하여 국고잔액 예측의 최적 및 고신뢰도의 학습모델을 제시하는 것이 최종 목표이다. 따라서 머신러닝은 선형회귀 분석 알고리즘, 트리 기반 앙상블 알고리즘, 경사하강법 적용한 트리 기반 알고리즘을 적용하였다.

선형회귀 분석 알고리즘은 가장 기본적인 머신러닝의 기법 중 하나로, 데이터를 선형 상관관계로 모델링해 값을 예측하는 방식이다. 트리 기반 앙상블 알고리즘은 결정 트리를 사용하는 랜덤 포레스트와 그래디언트 부스팅 두 앙상블 모델이 분류와 회귀 문제의 다양한 분석에 효과적이다. 경사하강법 적용한 트리 기반 알고리즘은 신경망 학습에 많이 사용되며, 경사 하강법의 안정적인 적용과 학습의 안정성 및 속도를 높이기 위해 학습 전에 데이터를 처리해 주는 것이 필요하다.

국고, 국고금이란 Korea Financial Information Service (2019)에 의하면 국민경제 활동의 3대 주체(가계, 기업, 정부) 중 하나인 정부의 경제활동, 즉 재정활동에 수반하는 일체의 현금을 말한다. 국고금 관리법 제2조에는 국고금을 법령 또는 계약 등에 따라 국가의 세입으로 납입되거나 기금에 납입된 모든 현금 및 현금과 같은 가치를 가지는 것으로서 대통령령으로 정한 것, 지방세법에 따라 국가가 징수한 지방소비세를 지방세입으로 납입하기 전까지 일시적으로 보유한 현금 등, 재정증권의 발행 또는 한국은행으로부터의 일시차입에 의하여 조달된 현금 등, 국고금의 운용목적으로 취득한 금융자산으로 정의하고 있다.

2. 국고잔액 예측 분석 프로세스

국고잔액 예측 분석은 아래 <Fig. 1>과 같이 진행한다. 데이터 수집 및 정제, 탐색적 분석, 분석 모형 설계 및 개발, 분석 결과 검토 등이다.

2.1 데이터 수집 및 정제

데이터는 내부 데이터를 수집한다. 그리고 추가 데이터 등 외부 환경변수를 수집한 후 데이터 정제 및 전처리를 진행한다. 내부 변수는 국고 수입 및 지출이 해당되며, dBrain 내 EBPP를 이용하여 추출 처리한다. 외부 환경 변수는 한국은행, e-나라지표, KOSIS(통계청) 등을 통하여 수집한다. 경제, 금융, 고용, 산업을 외부 환경변수 대상으로 해서 ① 총 35개 분야 1,288개 지표를 수집 대상 데이터로 선정 및 목록을 작성한다. ② 693개 지표를 수집 대상으로 지표명 기준을 필터링한다. ③ 1,858개 변수를 수집 및 통합한다. ④ 1,258개 불량 데이터는 제외한다. ⑤ 최종 346개 변수로 정리한다.

데이터 중 세입은 세수와 세외수입의 총합이며, 일반회계 및 특별회계를 모두 포함한다. 세입(월별)은 일반회계 국세와 일반회계 세외수입, 특별회계 국세와 특별회계 세외 수입으로 구성된다.

세부적으로는 일반회계 국세는 일반회계 세입 + 일반회계미집중 + 국세수납 - 적자국세 - 일반회계 세외수입으로 구성된다. 일반회계 세외수입은 (월말 D-2 영업일 기준) 일자로 추출한 광의의 세외수입(일반회계) 데이터 중, 수납기준으로 기타 및 기금예수금을 제외한 나머지

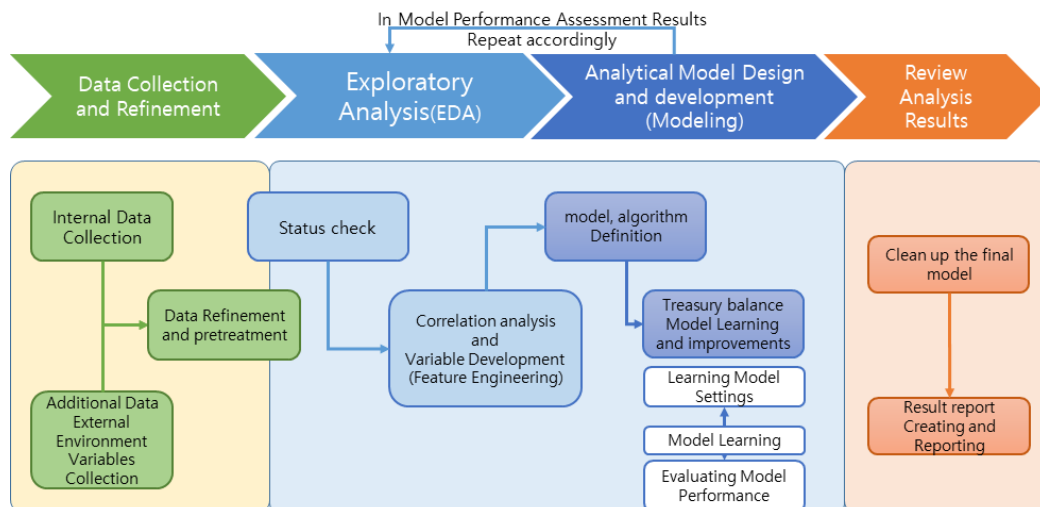


Fig. 1. Treasury Balance Forecast Analysis Process

금액이다. 특별회계 국세는 (월말 D-2 영업일 기준) 일자로 추출한 수입금종류별 실적(특별회계) 데이터 중, 목에서 주세 및 농특세 금액만 해당된다. 특별회계 세외수입은 특별회계세입 + 특별회계미집중 - 특별회계 국세로 구성되며, 특별회계 세입은 월 말 기준 대차대조표의 계정과목 특별회계의 세입 금액이다. 특별회계미집중은 월 말 기준 대차대조표의 계정과목 특별회계의 세입과 세입의 금액의 합계에 해당된다.

데이터 중 세수(월별)는 월 말 기준 국가수입 데이터의 영수내역 기준 세목별 세수로서 해당월 말 영업일의 세목별 세수를 빼고 해당월 말 D-1 영업일의 세목별 세수를 빼 후 전월 말 영업일의 세목별 세수를 더하고 전월 말 D-1 영업일의 세목별 세수를 더하면 된다. 내국세 내에는 소득세, 법인세, 부당이득세, 상속세, 재평가세, 부가가치세, 개별소비세, 주세, 전화세, 증권거래세, 인지세, 기타 내국세 등 총 12개 항이 있다.

불량데이터가 아니라 시계열 기간이 짧아 학습이 곤란한 변수는 제외하였다.

2.2 데이터 탐색적 분석(EDA: Exploratory Data Analysis)

2.2.1 현황 파악

사용 데이터는 2010년 1월부터 2019년 12월 총 120개월 데이터를 사용한다. EDA 작업은 데이터 현황, 특징 파악, 상관 분석으로 진행한다. 12개 항목에 대해 세목별 세수 현황을 분석해 본 결과, 부가가치세가 전체 중 28.3%, 소득세가 27.4%, 법인세가 24.0%를 차지했다. 3개 주요 세금의 월별 추이는 아래 그림과 같이 분석되었다.

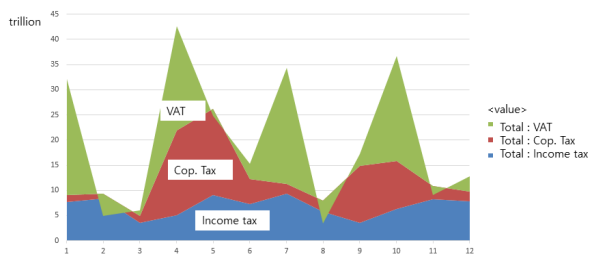


Fig. 2. Major Tax Monthly Trends

세부적으로는 소득세(원천징수분)는 매월(2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12월)을 걷고 1월과 7월은 반기납, 2월은 연말정산을 한다. 일반적인 소득세는 5월(1~12월)과 11월(중간예납, 1~6월)을 거둔다.

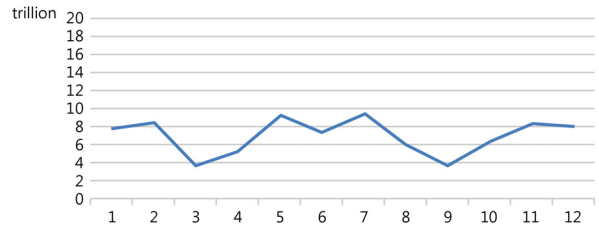


Fig. 3. Income tax

부가가치세는 4월, 7월, 10월, 1월 예정 및 확정을 한다.

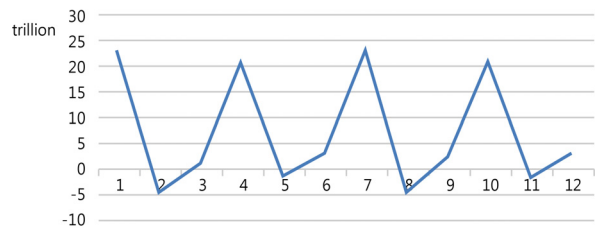


Fig. 4. Value added tax

법인세는 2월(6월 말 결산법인 중간예납: 7~12월), 3월(12월 말 결산법인: 1~12월), 5월(9월 말 결산법인 중간예납: 10월~3월), 6월(3월 말 결산법인: 4~3월), 8월(12월 말 결산법인 중간예납: 1~6월), 9월(6월 말 결산법인: 7~6월), 11월(3월 말 결산법인 중간예납: 4~9월), 12월(9월 말 결산법인: 10~9월)로 거둔다.

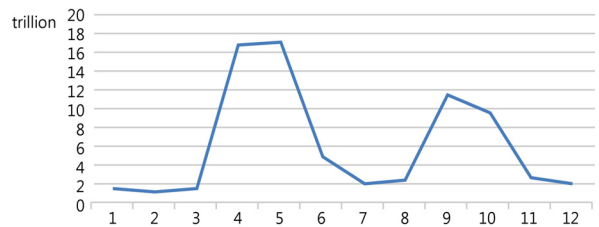


Fig. 5. Corporate tax

2.2.2 다양한 변수 개발

변수의 개발은 첫째, 시계열 데이터의 자기 상관 특성을 반영하였다. 값(y)에 영향을 미치는 과거값을 반영(특정 시점의 y 값은 과거 값과 높은 상관)하고 1개월 전, 2개월 전, ..., 12개월 전의 값을 요인 변수로 사용하였다. 과거 n 개월간 값의 평균, 표준편차, 최대/최소 등 특성치를 고려하였다.

둘째, 예측을 고려한 변수를 개발하였다. 예측 시점에 사용가능한 변수를 사용하여 data leakage를 방지하였다. 예를 들면, 2019년 12월 소득세 세수 예측을 위하여 사용할 수 있는 값은 예측 시점에 수집이 완료된 외부 변수만을 사용가능하다. 또, 내부 변수 사용시 발생 시점도 고려하였다.

셋째, 범주형/정성적 변수 반응을 위한 더미 변수(dummy variables)를 사용하였다. 범주형 변수를 0 또는 1 값을 갖는 하나 이상의 변수로 표현하는 방법(one-hot-encoding)을 썼다. 예로서 월 특성은 12개의 더미 변수로 반영한다. 1월이면 1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0이고 2월이면 0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0이 된다.

2.3 분석모델 설계 및 개발

2.3.1 학습용 변수 구성

변수 구성은 분석 대상은 y로서 예를 들면 세입이다. Features는 X로 내부는 내부 수입 관련 데이터(2개월 전 데이터), 과거값,이고, 외부는 상관관계가 높은 외부 변수가 된다. 그리고 더미 변수가 해당된다.

더미 변수로는 주요 변수들의 과거 패턴 학습을 위하여 전월값, 3개월 전값, 6개월 전값, 12개월 전값 등으로 전개하여 사용하였다.

2.3.2 모형 개발(학습)

데이터를 학습하는 과정 즉 모형을 적합시키는 과정으로서 숫자 예측형 알고리즘 3가지를 이용하였다.

첫째, Linear Regression 즉 선형회귀 분석 알고리즘이다. 선형 모형은 주어진 데이터들의 선형 결합을 이용하여 값을 추정하는 방법이다. 회귀 계수를 이용하여 변수의 영향을 파악할 수 있으며, 국회예산처의 중기 세수 추계 개발에 가장 많이 사용되는 모델이다.

둘째, Random Forest 즉 트리 기반 앙상블 알고리즘이다. 랜덤 포레스트는 의사결정 트리 모형 즉 변수별 특성에

의한 분기 방법을 이용한 모형으로 이를 개선한 모형이라 할 수 있다.

셋째, Gradient Boosting 즉 경사하강법 적용한 트리 기반 알고리즘이다. GBM, XGBoost, LightGBM 등 GBM 기반 다양한 패키지를 제공한다. 기계 학습에서 좋은 성능을 내는 모형이다.

또한, 2010년부터 2018년 데이터를 먼저 학습 한 후, 2019년을 검증하며 시계열 순서로 분리하였다.

2.3.3 모형 평가(예측 및 성능평가)

모형을 이용한 예측을 한다. 2019년 세입/세수를 예측하며, 예측 결과를 이용한 평가를 실시하였다. 평가지표로 RMSE, MAE, MAPE, R^2 가 있다.

R^2 는 결정계수, 실제 관측치와 모형에 의한 예측치의 상관관계를 나타내는 수치로서 0~1 사이이며, 1에 가까울수록 좋다고 할 수 있다.

RMSE는 Root Mean Square Error 즉 평균 제곱근 오차로서 오차의 평균개념을 뜻하며 낮을수록 좋다고 볼 수 있다.

MAE는 Mean Absolute Error로서 평균 절대값 오차이며, 즉 오차의 절대값들의 평균을 말한다. 낮을수록 좋다고 볼 수 있다.

MAPE는 Mean Absolute Percentage Error로서 오차의 백분율의 절대값 평균이며, 낮을수록 좋다고 할 수 있다.

그리고, 용도에 맞는 지표를 개발하고자 하였다. 즉, 모든 예측치와 실제값과 차이가 적으면 좋겠다고 할 수 있으며, 전체적인 정확도도 중요하지만, 전체적으로 오차폭이 크지 않았으면 좋겠으며, 최대 오차의 크기를 비교 평가하는 것으로 하였다.

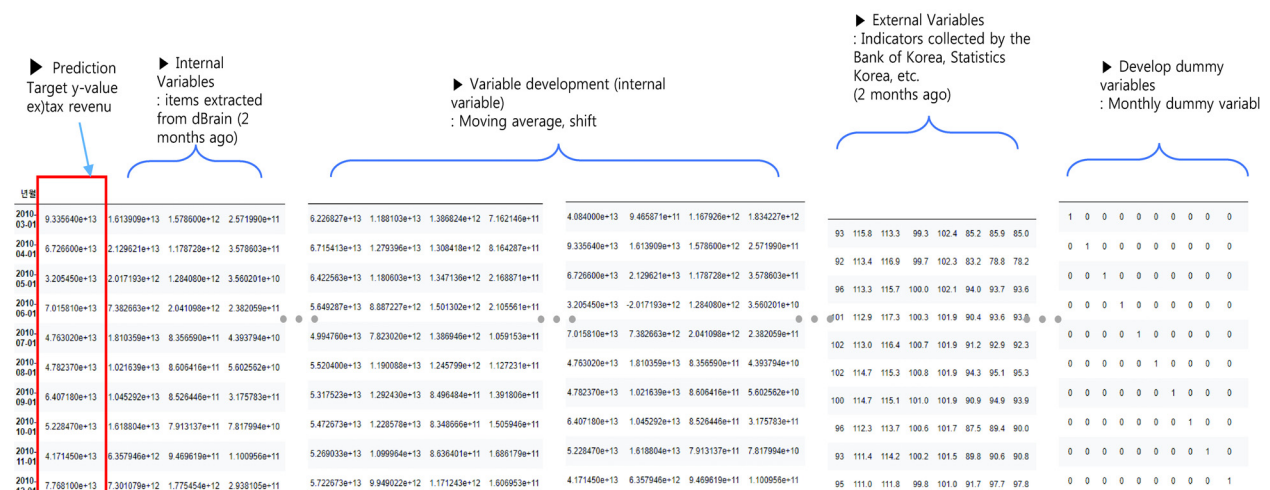


Fig. 6. Configure Learning Variables

3. 분석결과 및 주요 특성

3.1 국고잔액 머신러닝 적용 결과

국고잔액 머신러닝을 적용한 결과 세입은 알고리즘으로는 Linear Regression이 우수하다고 나왔다. 소득세도 똑같이 Linear Regression이 우수하다고 나왔으며, 부가가치세는 Random Forest가 더 우수하다고 나왔다.

성능은 R^2 는 세입은 0.9399, 소득세는 0.7899, 부가가치세는 0.9899가 나왔다. MAPE는 세입은 9.39%, 소득세는 13.50%, 부가가치세는 17.35%가 나왔다. MAE는 세입은 2,507,910,702,882원이, 소득세는 771,166,768,498원이 나왔으며, 부가가치세는 883,697,562,924원이 나왔다. 마

지막으로 RMSE는 세입은 3,331,576,957,263원이 나왔으며, 소득세는 878,859,688,002원이 나왔고, 부가가치세는 1,081,099,754,197원이 나왔다.

결론적으로 최초로 진행한 재정데이터에 머신 러닝을 적용하였을 때 예측이 가능하다는 결론을 도출하였다.

좀 더 세부적으로 각각 분야별로 예측한 값 및 결과를 분석해 보았다.

3.2 세입 예측 프로세스 비교

3.2.1 프로세스 및 알고리즘별 성능 비교

성능 분석은 기본분석, 기본분석 + 증감변수, 연도별 학습데이터량 가중 적용, 연도별 학습데이터량 가중 적

Table 1. Results of application of treasury balance machine learning

		tax revenue	income tax	vat
Excellent algorithm (R^2)		Linear Regression	Linear Regression	Random Forest
performance	R^2	0.9399	0.7899	0.9899
	MAPE	9.39%	13.50%	17.35%
	MAE	2,507,910,702,882(won)	771,166,768,498(won)	883,697,562,924(won)
	RMSE	3,331,576,957,263(won)	878,859,688,002(won)	1,081,099,754,197(won)
2019 Performance Statistics				
- Mean		29,900,286,873,148(won)	6,851,851,063,714(won)	7,074,897,631,419(won)
- Standard deviation		13,593,857,327,055(won)	1,917,175,731,495(won)	10,796,123,497,891(won)
Major variables		revenue_shift_12, vat_shift_3, vat_shift_12	income_shift_12, Individual consumption tax _shift_12, Comprehensive real estate tax_shift_3	VAT_Difference amount 2 or 3 months ago, vat_shift_3, vat_shift_6

Table 2. Performance Comparison by Process and Algorithm

		R^2	MAPE (%)	MAE (won)	RMSE (won)
Basic Analysis	RandomForest	0.8962	0.14	3,305,693,152,541	4,380,618,953,756
	XGBoost	0.9157	0.16	3,460,154,792,330	3,946,831,542,664
	LinearRegression	0.9399	0.09	2,507,910,702,882	3,331,576,957,263
Basic Analysis + Increasing and Decreasing Variables	RandomForest	0.8780	0.15	3,686,488,403,797	4,748,524,741,383
	XGBoost	0.8613	0.13	3,577,182,967,041	5,062,559,038,151
	LinearRegression	0.9128	0.08	2,714,600,866,971	4,013,118,767,165
Apply annual learning data weighting	RandomForest	0.8715	0.17	4,103,830,258,963	4,873,436,303,279
	XGBoost	0.8818	0.17	4,050,922,664,266	4,673,371,792,328
	LinearRegression	0.9117	0.09	2,801,067,944,879	4,038,806,846,713
Apply annual learning data weighting	RandomForest	0.8890	0.16	3,794,509,050,277	4,529,265,381,641
	XGBoost	0.8789	0.16	3,935,004,901,538	4,729,608,849,446
Increasing or decreasing variable	LinearRegression	0.9039	0.08	2,889,552,706,971	4,214,026,024,604

용 + 증감변수 등 총 4가지로 구분하였다.

각각 Random Forest, XGBoost, Linear Regression 알고리즘을 적용하였다. 그리고 $RMSE$, MAE , $MAPE$, R^2 를 각각 분석하였다.

3.2.2 세입 예측 결과(2019년)

학습 데이터량을 최근 연도별로 가장 적용하고, 월별 증감액 변수 등을 추가하여 성능을 비교하였다. 학습량 증가나 변수 추가 시 성능이 다소 떨어지는 것으로 나타났으며, 기본 분석 프로세스의 Linear Regression 모형의 성능이 가장 우수한 것으로 나왔다.

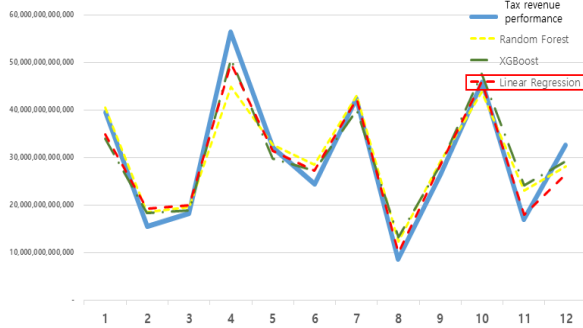


Fig. 7. tax revenue forecast for 2019

3.3 소득세 예측 프로세스 비교

3.3.1 프로세스 및 알고리즘별 성능 비교

소득세도 역시 세입과 마찬가지로 기본분석, 기본분석+증감변수, 연도별 학습데이터량 가장 적용, 연도별 학습데이터량 가장 적용 + 증감변수 이상 4가지로 구분하여, 3개 알고리즘을 적용하였다. 역시, $RMSE$, MAE , $MAPE$, R^2 를 각각 분석하였다.

3.3.2 소득세 예측 결과(2019년)

학습 데이터량 가장 적용 및 변수 추가에 의해 성능이 다소 개선된 것으로 나타났다. 모든 성능 지표에서는 Linear Regression 모형의 성능이 상대적으로 우수한 것으로 분석되었다.

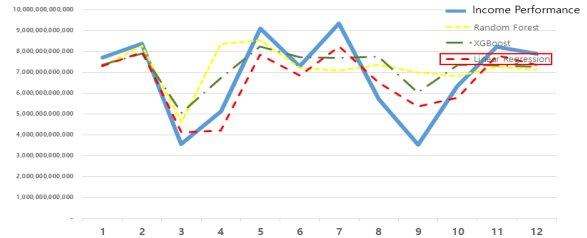


Fig. 8. Income tax forecast for 2019

Table 3. Results by algorithm compared to performance

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tax revenue performance	39.43	15.57	18.25	56.43	31.98	24.37	42.38	8.65	26.43	45.82	16.97	32.53
Random Forest	40.52	18.55	19.49	44.75	32.69	28.56	42.94	12.36	28.95	43.70	23.00	28.17
XGBoost	34.00	18.29	18.79	50.57	29.79	27.14	39.98	13.20	28.27	47.49	24.19	29.23
Linear Regression	34.91	19.22	19.97	49.76	31.39	27.19	42.29	9.91	28.25	46.02	18.00	26.51

Table 4. Performance Comparison by Process and Algorithm

		R^2	MAPE (%)	MAE (won)	RMSE (won)
Basic Analysis	RandomForest	0.8962	0.14	3,305,693,152,541	4,380,618,953,756
	XGBoost	0.9157	0.16	3,460,154,792,330	3,946,831,542,664
	LinearRegression	0.9399	0.09	2,507,910,702,882	3,331,576,957,263
Basic Analysis + Increasing and Decreasing Variables	RandomForest	0.8780	0.15	3,686,488,403,797	4,748,524,741,383
	XGBoost	0.8613	0.13	3,577,182,967,041	5,062,559,038,151
	LinearRegression	0.9128	0.08	2,714,600,866,971	4,013,118,767,165
Apply annual learning data weighting	RandomForest	0.8715	0.17	4,103,830,258,963	4,873,436,303,279
	XGBoost	0.8818	0.17	4,050,922,664,266	4,673,371,792,328
	LinearRegression	0.9117	0.09	2,801,067,944,879	4,038,806,846,713
Apply annual learning data weighting	RandomForest	0.8890	0.16	3,794,509,050,277	4,529,265,381,641
	XGBoost	0.8789	0.16	3,935,004,901,538	4,729,608,849,446
Increasing or decreasing variable	LinearRegression	0.9039	0.08	2,889,552,706,971	4,214,026,024,604

Table 5. Results by algorithm compared to performance

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Incomeperformance	7.71	8.39	3.55	5.12	9.11	7.29	9.34	5.72	3.52	6.34	8.23	7.89
Random Forest	7.30	8.27	4.59	8.36	8.54	7.21	7.09	7.34	6.98	6.81	7.27	7.12
XGBoost	7.35	7.89	5.05	6.72	8.24	7.73	7.70	7.74	6.02	7.35	7.32	7.25
Linear Regression	7.31	7.95	4.10	4.21	7.84	6.85	8.24	6.51	5.35	5.77	7.82	7.36

Table 6. Performance Comparison by Process and Algorithm

		R ²	MAPE (%)	MAE (won)	RMSE (won)
Basic Analysis	RandomForest	0.8962	0.14	3,305,693,152,541	4,380,618,953,756
	XGBoost	0.9157	0.16	3,460,154,792,330	3,946,831,542,664
	LinearRegression	0.9399	0.09	2,507,910,702,882	3,331,576,957,263
Basic Analysis + Increasing and Decreasing Variables	RandomForest	0.8780	0.15	3,686,488,403,797	4,748,524,741,383
	XGBoost	0.8613	0.13	3,577,182,967,041	5,062,559,038,151
	LinearRegression	0.9128	0.08	2,714,600,866,971	4,013,118,767,165
Apply annual learning data weighting	RandomForest	0.8715	0.17	4,103,830,258,963	4,873,436,303,279
	XGBoost	0.8818	0.17	4,050,922,664,266	4,673,371,792,328
	LinearRegression	0.9117	0.09	2,801,067,944,879	4,038,806,846,713
Apply annual learning data weighting Increasing or decreasing variable	RandomForest	0.8890	0.16	3,794,509,050,277	4,529,265,381,641
	XGBoost	0.8789	0.16	3,935,004,901,538	4,729,608,849,446
	LinearRegression	0.9039	0.08	2,889,552,706,971	4,214,026,024,604

3.4 부가가치세 예측 프로세스 비교

3.4.1 프로세스 및 알고리즘별 성능 비교

부가가치세 예측도 세입과 소득세와 같은 방법으로 성능을 분석하였다. 기본분석, 기본분석+증감변수, 연도별 학습데이터량 가중 적용, 연도별 학습데이터량 가중 적용 + 증감변수 이상 4가지로 구분하여, 3개 알고리즘을 적용하였다. 역시, RMSE, MAE, MAPE, R²를 각각 분석하였다.

3.4.2 가가치세 예측 결과(2019년)

학습 데이터량 가중 적용 및 변수 추가 시 tree계열

모형에서 개선효과가 뚜렷하게 나타났다. Random Forest 모형이 모든 성능 지표에서 우수한 것으로 분석되었다.

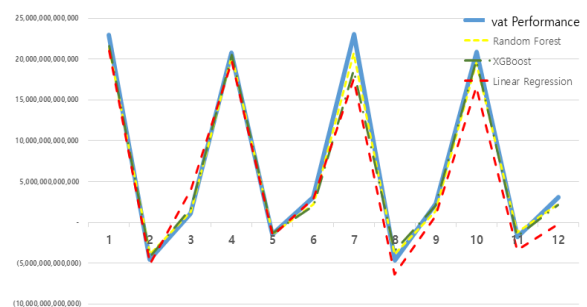


Fig. 9. value added tax forecast for 2019

Table 7. Results by algorithm compared to performance

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valueadded tax	22.94	-4.51	1.11	20.81	-1.43	3.09	23.09	-4.64	2.30	20.85	-1.77	3.08
Random Forest	21.34	-3.94	1.38	20.37	-1.43	2.21	20.67	-3.92	1.33	19.51	-1.22	2.23
XGBoost	21.65	-4.19	1.74	20.53	-1.37	2.04	18.59	-3.54	2.04	19.78	-1.67	2.18
Linear Regression	21.03	-5.13	3.97	19.73	-1.64	2.90	17.59	-6.39	0.75	16.59	-3.40	-0.22

4. 결론 및 향후 연구

4.1 결론

본 연구를 통해 머신 러닝을 국고잔액 예측을 하는데 적용가능 하는 걸 검증하였다. 세부적으로는 세입을 예측할 때에는 Linear Regression 알고리즘이 우수한 것으로 분석되었다. 소득세를 예측할 때에도 Linear Regression 알고리즘이 우수하게 나왔다. 부가가치세를 예측할 때에는 Random Forest 알고리즘이 우수한 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 기대할 수 있는 것으로 첫째, 신속한 결과를 제시할 수 있다는 것이다. 데이터를 입수하면 세입 및 개별 세수 모형을 통한 결과를 제시하고 즉시 담당자가 확인할 수 있다. 기존의 업무 방식은 엑셀을 통해 엄청난 숫자를 담당자가 일일이 기입하여 결과를 도출하는 데 비해 머신 러닝을 통해 예측을 하면 30분 내에 신속하게 예상할 수 있다는 것이다.

둘째, 과학적 결과를 제시할 수 있다는 것이다. 기존 통계적인 담당자의 노하우를 통해 결과를 도출하는 방법에 비해 빅데이터 기반의 모형을 도입함으로써 객관적이고 데이터 기반의 과학적 결과 및 행정이 가능하다는 것이다.

셋째, 새로운 모형 개발을 통해 예측력 향상할 수 있다는 것이다. 유연한 분석 도구를 이용하여 담당자가 새로운 모형을 테스트하고 또 개발할 수 있게 된다는 것이다. 사용 변수의 변경, 데이터의 변경 및 조작, 분석 알고리즘 선택 등 담당자가 다양하게 바뀌가며 예측력을 높일 수 있다는 것이다.

넷째, 이런 빅데이터 시대에 맞게 자연스레 국가 재정 관리 기관으로서 국민에 대한 또는 경제기구에 대한 정부기관의 신뢰도는 높아지게 된다. 공신력있는 데이터를 기반으로 하기 때문에 외부나 타국의 증거 요청에 실 데이터를 제시할 수 있으며, 활용된 공식화된 알고리즘도 제시할 수 있기 때문이다.

4.2 향후 연구

이번 연구는 국고잔액 예측을 위해 최초로 머신 러닝이 적용가능한 지에 첫째 목적이 있었다. 그리고 그 중 어떤 알고리즘이 잘 맞는지도 연구하고자 하였다. 아직은 국세의 일부인 세입, 그리고 그중 대표 세입항목으로 소득세와 부가가치세만 적용해 보았다.

논문의 한계로 비교 연구를 찾으려고 했지만, 우리나라에서는 재정데이터를 이용한 적용한 사례를 찾질 못하였다. 특히, 월단위 세입관련 데이터의 경우는 해당 연구 자체가 없는 것으로 보였다.

앞으로는 그 외 나머지 세부항목인 법인세, 개별소비세, 상속세 등 9개 항목으로도 개발 모형을 개발할 예정이다. 또, 이번에는 월별 예측으로 하였지만, 일별, 연별로 확대 연구할 예정이다. 아울러 3년 또는 5년 이상 재정의 추계를 예측하고자 중기재정추계 예측 모형도 개발하려고 한다. 관련 결과는 사업이 끝나는 내년이후에 다시 제시하고자 한다. 코로나19로 국가 경기는 어려워지고 있다. 또 사회적 거리두기 등으로 경기는 불안정한 상황이다. 이런 시기에 데이터를 기반으로 국가재정을 분석할 수 있다면 데이터의 특성을 살려 좀 더 신속하고 더 정확하게 결과를 파악할 수 있을 것이며, 이를 통해 국가 정부는 정책의사결정에 도움이 될 것으로 기대해 본다.

REFERENCES

- [1] Ahn, J. J. (2017). Examples of Seoul's Administrative Services Using Big Data.
- [2] Choi, B. & Yoon, J. J. (2018). Seoul Public Big Data Revitalization Plan, Policy Task. *Research Report*.
- [3] Lee, H. (2020). Composition and operation status of digital budget accounting system. *Monthly Nara Finance*, 39, 12-19.
- [4] Jang, H. & Kim, J. (2017). A Machine Learning Approach for Mechanical Motor Fault Diagnosis. *J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng.*, 40(1), 57-64.
- [5] Jung, j. H. (2020). Big Data Platform Operational Status and Improvement Tasks. *National Assembly Legislative Investigation Office, Legislative Policy Report*, 55.
- [6] Korea Financial Information Service, (2019), *Understanding Financial Loan Business*, 2019. 10.
- [7] Korea Legal Research Institute (2020). A study on the improvement of the legal system for the establishment of the next-generation budget accounting system. *Monthly Nara Finance*, 39, 12-19
- [8] Lee, J., Choi, M., Joo, Y., & Yang, J. (2019). Ensemble Method for Predicting Particulate Matter and Odor Intensity. *J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng.* 42(4), 203-210.
- [9] National Law Information Center (2020). Act on Revitalization of Data-Based Administration, law No.

17370, 2020.6.9.
[10] Statistical Office (2021). Regulations on the operation

and use of statistical data centers, (Partial revision,
Statistical Office Order, No. 573, 2021.3.30.



송 석 현

연세대학교 공학박사
한국정보화진흥원 정보자원기획부장,
공공데이터기획팀장 등, 국가전략위
전자정부특위 위원, 공공데이터 전략
위 위원, 정부혁신위원, 디지털공공서
비스혁신 위원 등 역임
소속: 감사원 감사연구원 재직 중
관심분야: 전자정부, 국가정보화,
공공(빅)데이터, 인공지능
(AI), 디지털 감사 등

공급자 선택 프로세스: 4단계 개념적 프레임워크를 중심으로

추치아치아 · 김성수[†]

경북대학교 경영학부

Supplier Selection Process: Focus on a Four-stage Conceptual Framework

Chia Chia Chu · Sungsu Kim[†]

School of Business Administration, Kyungpook National University, South Korea

A successful supply chain is highly depended on how to manage selection process for selecting qualified good supplier. With the development of the pandemic so far, it is spreading to more than 120 countries and regions around the world, and supply chains in various industries are being affected. Most companies talk about how to respond the immediate impact of the epidemic, such as supply chain disconnection, lack of workers, traffic disruption, black swan events, and the policy changes. In response to those disruptions, companies must start by building an efficient supplier selection process to select the right suppliers at the right time and right position. This survey paper is summarized several supplier selection frameworks and the methodologies which can be applied to each phase of supplier selection.

Keyword : Supplier selection framework, supplier selection, supplier evaluation, supplier evaluation criteria, partner selection

* 본 논문은 정석물류학술재단 지원에 의하여 연구되었음.

† **Corresponding Author** : School of Business Administration, Kyungpook National University, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, 41566, South Korea.
Tel: +82-53-950-5422, E-mail: sungsukim@knu.ac.kr

Received: 9 September 2021, **Revised**: 12 October 2021, **Accepted**: 27 October 2021

1. Introduction

1.1 Research Background and Motivation

Since the outbreak of the epidemic, most companies have been talking about how to respond the immediate impact of the epidemic, including the impact of supply chain disconnection, lack of work, and traffic disruption. With the development of the epidemic so far, it had spread to more than 120 countries and regions around the world, and its impact had expanded to the decline of overall consumption and the economy. When the epidemic subsided faster than expected, although it returned to normal conditions, the industries were different from before. More and more businesses and social activities are transferred to online and become an irreversible trend. Under the concept of “At Home”, it brings unexpected demands to certain industries such as automobile, fitness, home working electronic devices. These demands have driven related industries to emerge from the epidemic.

Meanwhile, companies are facing the issue of global supply chain reorganization due to the decision to reduce production at the very beginning of the epidemic and the lockdown policies for the local facilities. As well as the reduction of air freight and the problem of seaport congestion, which caused the price increase of sea and air transportation. Covid-19 continues to wreak havoc in some countries, and these completely change the way for companies to deal with global supply chains. This black swan incident promotes many multinational companies and even the entire industry to change their global supply chain model. The companies must be able to quickly reconstruct and adjust the supply chain under disruption according to the formation and disintegration of the dynamic alliance and operation. A successful supply chain is highly depended on how to manage their selection process for selecting qualified good supplier (Ng, 2008). Upstream performance had been considered as the fundamental factor to affect the supply chain performance. Besides, a good performing first-tier suppliers not only provide good quality products and stable delivery but also bring a positive strategic impact on the second-tier and third-tier suppliers (Scannell, Vickery, & Droge, 2000). The company will be benefited from a well-managed supplier selection process.

The previous literature reviews in supplier selection, are

usually addressing on a single selection stage or designing a conceptual model for supplier selection (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001; Huang, Wong, & Wang, 2004; Hong et al., 2005; Chen, 2011; Wu & Barnes, 2012; Rezaei, Fahim, & Tavasszy, 2014; Wang et al., 2017). However, there are lack of studies to integrate all the conceptual models, practical methods, and issues together. Therefore, this survey paper is purposed for presenting a comprehensive picture on constructing a complete supplier selection and clarifying what actions that the decision makers need to take and be aware in different supplier selection stages. The content will be focused on three questions of the supplier selection. (1) First, what kind of supplier selection process framework are presented before, and how can it be adopted as an elaborate construction to handle the requirements from different aspects of supply chain. (2) Second, what methods can be used when the decision makers need to rank the best supplier among of complex evaluation standards. (3) Finally, what biased issues need to be paid close attention.

The paper will be organized as follow: Section 2 is gathered the previous literatures on supplier selection framework, and a summarized supplier selection process will be presented. Section 3 is continued the summarized process from section 2 to be more specific and detailed to introduce the methods that can be used in each stage of supplier selection. In this section, the potential challenges and biased issues for supplier selection will be mentioned as well. The conclusion for this paper will be given in section 4. In the section 5, the research gap of exist literatures and future research planning will be addressed.

2. Literature Review of Supplier Selection

Supplier selection is considered as a key for the supply chain management (Kraljic, 1983; Choi & Hartley, 1996; De Boer et al., 2001). It is also frequently named as the term of partner selection, which is recognized as the dependency of a supply chain members (Wu & Barnes, 2012). The name of the partnership involves the willingness to commit the openness, productivity, quality of service for the end-customer, agree to share the proprietary information, risk, and rewards (Sarkis & Sundarraj, 2002). In Novack & Simco (1991)’s research, they identified supplier selection as one of the supply

chain procurement activities by the stages of identifying all potential suppliers, prescreening possible sources, evaluating the remaining supplier base, and finally choosing the supplier. The value for the supply chain will be maximized when those procurement activities are effectively working together. Companies cooperate with the suppliers to improve their effectiveness on management and market competitiveness, and the modernized supply management is chasing the sustainable, reliable, and trustable long-term alliance (Bell, Oppenheimer, & Bastien, 2002; Dursun & Ogunclu, 2021; Carmeli et al., 2021). <Table 1> is summarized the previous researcher's supplier selection framework stages. Finding the most suitable suppliers is beneficial for constructing robust supply network for the buying companies.

De Boer, Labro, & Morlacchi (2001)'s framework for supplier selection is accommodated four types of purchasing situations and four steps of selection process. They refined the idea of Robinson, Faris & Wind (1967)'s classification of purchasing situations (new task situation, modified rebuy, and straight rebuy) and Kraljic (1983)'s purchasing portfolio matrix (routine items, bottleneck items, leverage items, and strategic items) to present a four stages of supplier selection framework for problem definition, formulation of criteria, qualification, and final choice, including varied situational factors. Huang, Wong, & Wang (2004)'s two-stage manufacturing supplier selection framework proposed that supplier selection task flow should go through the hard decision stage and soft decision stage for selecting the most compatible and effective suppliers. Hard decision refers to the supplier's ability to offer qualified products and to fulfill the timely demand with acceptable price. Soft decision stage refers to the long-term corporation with potential suppliers. The two stages are respectively proceeded with the steps of defining criteria, gathering related data, evalu-

ating the data and choosing suitable group of partners. The task flow of the framework is started with a new demand of part or service, and the demand would be evaluated initially by the hard decision to generate an initial retrieval list, and then, the decision-makers gather the data to evaluate the retrieval list and finally determine their final preferred potential suppliers.

Hong et al. (2005) presented a three-step system framework of supplier selection, consisting with preparation step, pre-qualification step, and final selection step. The framework not only subject to maximize the revenue but also maintain a continuous supply-relationship to satisfy customer requirements. The author defined the main criteria by two dimensions of supply risk and supply profit. In the pre-qualification step, total analyzing periods are divided into several meaningful period units (MPUs) to identify the customer need with recency (last period of purchase), frequency (number of purchase), monetary (amount of spending) information in each MPU, which extracted from the sales data. In the final selection step, mixed integer model is used to select the supplier who can maximize revenue and perform well with procurement conditions satisfied.

Chen (2011) developed a selection framework by three phases, including five methods. In the first phase, the company needs to go through a SWOT analysis to identify the competitive strategy and decide the evaluation criteria and indicators. The second phase is to evaluate the candidate suppliers by DEA with weighted indicators which are decided by fuzzy weight methodology and to rank the potential suppliers by TOPSIS for order allocating. Finally, the third phase is used Delphi Method (Chou, 2002) to examine the satisfaction of supplier selection results.

Wu & Barnes (2012) presented a four-phase dynamic feedback model, adapting Luo et al. (2009)'s information process-

Table 1. A Summary of Representative Supplier Selection Framework

Authors	Supplier selection process framework
De Boer, Labro, & Morlacchi (2001)	Problem definition → Formulation of criteria → Qualification → Choice
Huang, Wong, & Wang (2004)	New demand → Hard decision → Retrieval list → Soft decision → Preferred
Hong et al. (2005)	Preparation step → Pre-qualification step → Final selection step
Chen (2011)	Requirement and strategy analysis → Supplier evaluation → Assessment of supplier performance
Wu & Barnes (2012)	Supplier selection preparation → Pre-classification → Final selection → Application feedback
Rezaei, Fahim & Tavasszy (2014)	Qualification → Final choice
Wang et al. (2017)	Design-decision Stage → Preliminary supplier selection stage → Logistics stage → Construction stage → Delivery stage

ing model of potential combinations and available information for purchasing enterprises, to develop a two-dimensional framework. Four-phase dynamic feedback is comprised of four phases for supplier selection (1) Supplier selection preparation, (2) pre-classification, (3) final selection, and (4) application feedback, and the model is addressed the information availability would become more detailed when supplier selection process moving from phase 1 to phase 4. In phase one, the authors sourced Wu & Barnes (2010)'s three-stage model for developing a set of criteria based on company's requirement. Phase 2 was adapted Kraljic (1983)'s supplier position matrix and Luo et al. (2009)'s degree of supply risk and supplier impact on financial results, to reduce the potential supplier number and classify them into four categories of strategic suppliers, preference supplier, leverage suppliers, and routine supplier. In phase 3, the authors combined ANP and MIMOP methodologies to help the decision-makers to calculate the priorities of evaluation criteria and to optimize the allocation of order quantities. Final phase was based on Deming (2000)'s plan-do-check-act (PDCA) model to integrate all the feedback from each phase while applying the model time by time to achieve the continuous improvement by the concept of organizational self-learning and to provide sufficient relevant information to optimize the decision-making and model practice.

Rezaei, Fahim, & Tavasszy (2014) proposed a funnel methodology for supplier selection airline retail sector, which included mainly two phases: (1) In the qualification phase, it is purposed for reducing the total number of potential suppliers to get the list of qualified suppliers by conjunctive screening method. (2) Final choice phase is used a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) to rank suppliers by considering both quantitative and qualitative criteria and dealing with the uncertainty and vagueness of human judgment.

Wang et al. (2017) proposed a resilient construction supply chain base by integrating building information modeling (BIM) and geographic information system (GIS) to providing timely and highly transparent information of material, supply status, and workable access information during the supplier selection process. They described their five stages of supplier selection framework: (1) In the design-decision stage, BIM tool is used to present all the material requirements and detailed take-off of a project. (2) Preliminary supplier selection stage is evaluated available material supplier and their impact of location

on schedules. GIS provides the usable information to support the selection process and the methods of analytic hierarchy process (AHP). The grey relational analysis (GRA) is used for determining the evaluation criteria weights and rank the alternative suppliers. (3) Logistic stage is managing all the material flows between different suppliers to meet the requirement and dateline of a given project. (4) Construction stage is used to defend a complex network of risk and disruptions. When the preliminarily selected suppliers are not able to fulfill the original project schedule, the status will be updated in BIM, and activate the reselection process. (5) In the final stage, the delivery stage confirms the acceptance of this supplier selection construction and start to go into service.

Based on the supplier selection framework above, the supplier selection stages can be generally summarized into four stages (See <Fig. 1>). The first stage is about developing a set of selection criteria based on industrial and organizational requirement for accessing the potential supplier who may qualified on evaluation criteria. The second stage is applying the selection criteria from stage 1 and adopting evaluation method to classify the supplier into different categories, based on expert's opinion, financial statement, supply risk or other performance (Kraljic, 1893; Huang, Wong, & Wang, 2004; Sarkar & Mohapatra, 2006; Luo et al., 2009) to limit the potential supplier. The third stage is to rank the suppliers by mathematical model to fine out the most preferable suppliers on each of category and to allocate the optimized order quantities. The fourth stage is building with a feedback return system among all the stages in supplier selection process. This concept is mainly captured from Wu & Barnes (2012), which is the pioneer on emphasizing that supplier selection process should provide feedback to the decision makers about their improvement and effort to optimize the performance on supplier selection process.

3. Method for Supplier Selection

Many Previous studies on supplier selection framework are provided various combination of methods for identifying the indicators for evaluating, and weighting the potential suppliers, but also, the scholars presented the direction to optimize the works for allocating the order and achieving the improvement on the supplier selection process. Thus, the following section

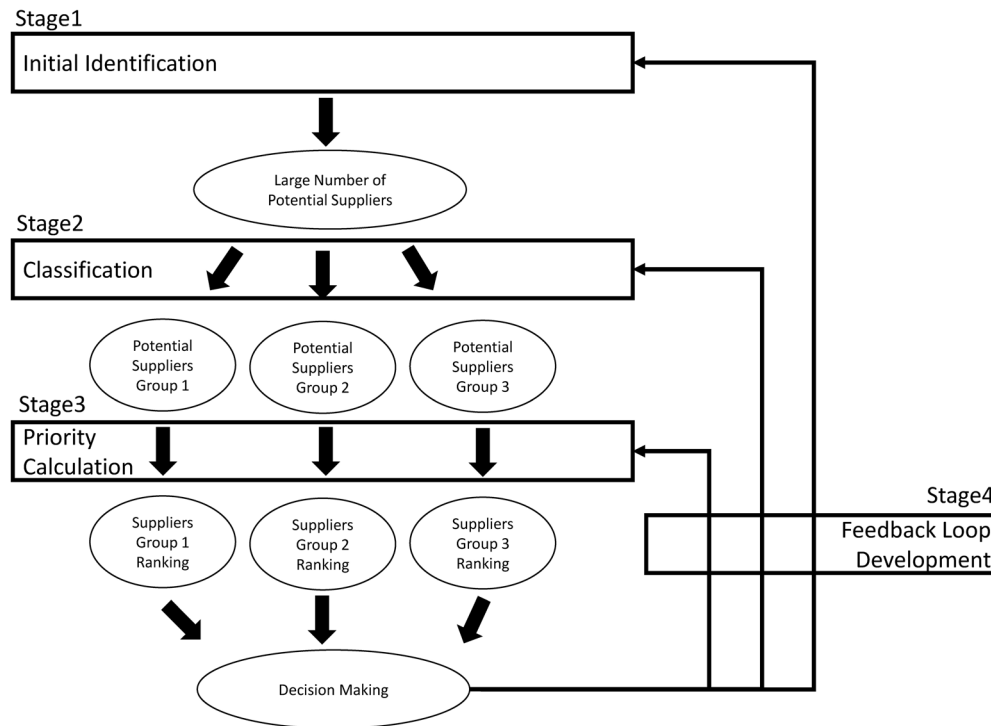


Fig. 1. Summarized Supplier Selection Stage

will be based on <Fig. 1>'s supplier selection stage to give the general review on selection methods and issues.

3.1 Initial Identification

Initial identification stage means to develop a set of selection criteria based on industrial and organizational requirements and prepare to access the potential supplier who may be qualified on their requirements.

Lin & Chen (2004) firstly presented the application of fuzzy decision-making procedures for supplier selection to select the most favorable suppliers. The framework identified generic configuration hierarchy (GCH), customized configuration hierarchy (CCH) from GCH to meet the specific selection requirement and added evaluation resource constraints to generate optimal configuration hierarchy (GOC).

Wu & Barnes (2010) extended Lin & Chen (2004)'s framework (<Fig. 2>) of supplier selection criteria formulation to make the framework more practicable and accessible by including a more in-depth consideration of selection criteria, incorporating sensitivity analysis, and considering more resource constraints. The authors generated 116 generic supplier evaluation attributes from the relevant literature as general hierarchy

criteria (GHC) and classified them into seven categories (production and logistics management, partnership management, financial capability, technology and knowledge management, marketing capability, industrial and organizational competitiveness, and human resource management) which has their own sub-categories to build up a hierarchy level for this stage. Industry-oriented hierarchy criteria (IHC) is extracted from GHC, and the attributes to this stage only include the certain requirement and characteristic on a certain industry based the judgment of decision-maker from the organizational managers or experts. Finally, optimal hierarchy criteria formulation is

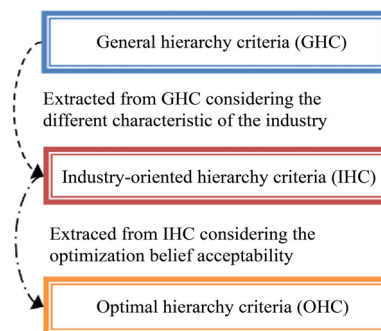


Fig. 2. Three-stage Model for Partner Selection Criteria Formulation in ASC (Wu & Barnes, 2010)

the last stage, which is extracted from IHC to calculate the maximum total belief acceptability and ensure the collected information is complete and accurate with the consideration of time and resource constraints. These three stages in the phase of supplier selection preparation are developed with Dempster-Shafer and optimization theory to include the consideration of uncertainties and ignorance when information is incomplete and imprecise.

In their research, sensitivity analysis is used to help the decision-maker to understand the most effective use of resources, and a 0-1 non-linear programming is used to generate the maximum total belief acceptability of OHC under limited evaluation resources.

Huang, Wong, & Wang (2004) proposed two types of selection criteria for supplier selection: (1) hard criteria include the factors such as time, product, and quality. Those factors are evaluated with a specific standard and requirement, and the data could be subjected to a certain value such as high pass, low pass, band pass, and Boolean type. Four membership functions from Asai (1995) are adopted to generate a retrieval list of potential suppliers. (2) soft criteria focus on the long-term relationship with potential suppliers on qualitative or quantitative factors.

Hong et al. (2005) emphasized two aspects (cost efficiency and supply-relationship) of supplier selection need to be concerned. Companies need to maintain cost efficiency and continuous supply-relationship while satisfying various customer demands and strengthening core competencies. They also focused on considering the changes in supply capabilities and procurement over a period and formulated the three considerations which must be evaluated within the selection process. First, the consistency of supplier capabilities should be maintained the same during all the supply periods, seasonal demand, and fluctuation. Multi-criteria should be applied into supplier selection with different aspects, such as profit impact, supply risk, maximizing revenue, and customer satisfaction. Third, identifying changing supply conditions of selected suppliers is necessary. Potential suppliers performed differently on different attributes of criteria, and the trade-off relationship within those performances on selection criteria lead to more complicated decisions for the organizations (Chen et al., 2006; Xia & Wu, 2007).

Sarkar & Mohapatra (2006) suggested supplier evaluation

can be divided into short-term performance and long-term capability, two-dimensional categorization of supplier's influence on the goal of supply chain. Performance is demonstrated by the supplier's ability to meet the short-term requirement from buyers, and the indicators, such as cost, quality, lead time, and support, which can be observed obviously and in timely. Capability is indicated the potential ability of suppliers, such as reputation, innovation, and profitability, which can lead a long-term value and advantages for the buyers.

Luthra et al., (2017) identified 22 sustainable supplier selection criteria on economic, environmental, and social dimensions throughout literature and expert opinions, and integrated AHP and Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) methodologies to select the most efficient sustainable supplier.

The criteria for supplier selection are typically surrounding the topic of cost, price, quality, efficiency, volume flexibility, and customer service (Abratt, 1986); however, there is not much research had linked the supplier selection intending to build an agile supply chain. To survive in an unstable environment and changing customer demand, the supplier selection process is required a broader and wider range of selection criteria to search the agile partners. (Yusuf et al., 1999; Sarkis, 2001; Cagliano et al., 2004; Luo et al., 2009). Agile quantitative and qualitative attributes needed to be included in the supplier selection model simultaneously.

In this stage, it is important for a company to set up a specific goal and do the positioning on what they wish the supplier network to be like. Based on those requirements, the company furtherly develop their selection criteria and the attributes by previous experience, industrial standards, or expert's opinions.

3.2 Classification Stage

Classification stage means applying the selection criteria from stage 1 and adopting an evaluation method to classify the supplier to limit the number of potential suppliers and turn into a smaller set of acceptable numbers because of the financial and timely constraints during the supplier selection process (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001; Rezaei, Fahim, & Tavasszy, 2014). Besides, the quality of final decision-making for supplier selection is very depended on the early stage of

the selection process which is about how to filter the qualified potential suppliers among of large number supplier list (De Boier & Van der Wegen, 2003; Wu & Barnes, 2012).

Luo et al. (2009) argued the use of Kraljic (1893)'s purchasing portfolio matrix, they divided the potential supplier into four categories, strategic suppliers, preference supplier, leverage suppliers, and routine suppliers based on their impact on financial results and degree of supply risk. Wu & Barnes (2012) replace De Boer, Labro, & Morlacchi (2001)'s "qualification stage" as "pre-classification" into their supplier selection framework and defined the purpose of this stage is to "avoid excluding any potential partners without careful assessment" (Wu & Barnes, 2012; Van Weele, 2001).

Luo et al. (2009) presented an information-processing model (<Fig. 3>) based on radial basis function artificial neural network (RBF-ANN), which is adopted computer programming techniques to overcome the difficulty on dealing with a large number of potential suppliers on early stage. An artificial neural network is described as a human brain that is equipped with the ability to "learn" from the historic data and sample data selected by experts. Users only need to focus on designing their training and constructing processes and optimize their input data for how they want to mature their own ANN.

Huang, Wong, & Wang (2004)'s hierarchical tree model is used to describe the lead node and branch node of soft

factors, and a recursive algorithm is deployed to calculate the overall score of the factors to know the most preferable suppliers. Sarkar & Mohapatra (2006) developed the capability-performance matrix, which helps to rank the suppliers based on the expert's opinion to know how far away from the diagonal line on the matrix and divided the result into (1) balanced suppliers, (2) motivated suppliers, and (3) de-motivated suppliers, three classes. Not only just the traditional aspects of cost, quality, lead-time, innovation, and technologies, sustainable perspective also became a subject on supplier selection.

The main purpose for classification stage is to reduce the large number of potential supplier and classified into efficient number for smaller groups. Classification not only saves the cost and time incurred by reviewing the potential suppliers, but also allows the decision makers to know which suppliers can have the potential on being a priority supplier. This provides clues to company to accurately identify the slightly insufficient suppliers and provide more motivation to encourage them to optimize their products or services.

3.3 Priority Calculation

In this stage, the decision maker calculates the priorities of the different evaluation to choose the most appropriate sup-

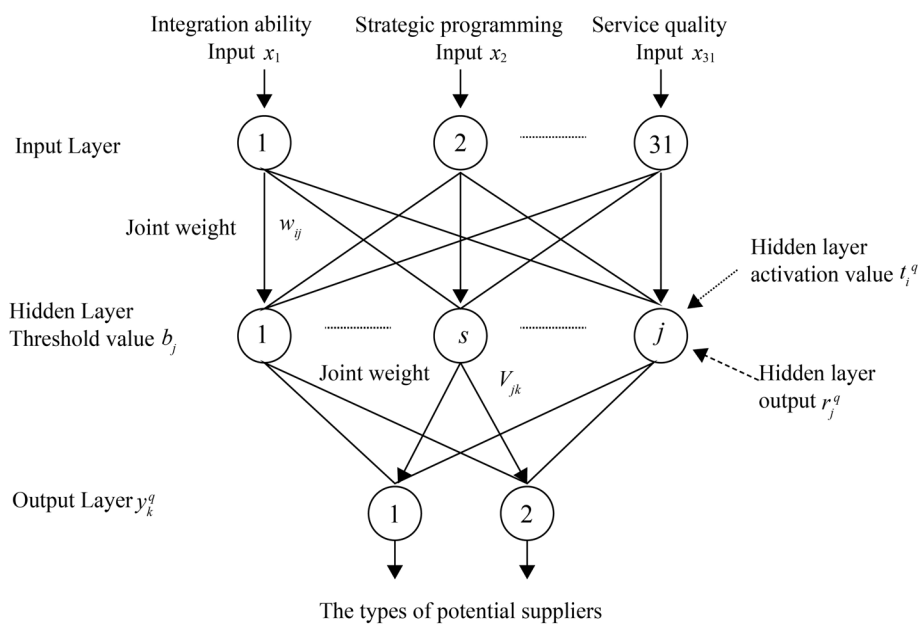


Fig. 3. RBF-ANN Supplier Selection Information-Processing Model (Luo et al., 2009)

Table 2. A summary of Paper Review Based on final Decision Phase for Supplier Selection

Categories	Key Concept	Researchers
Total cost of ownership approaches	TCO refers all the cost associated entire purchasing activities within the value chain, and the cost covered entire lifetime of a product or service. The decision makers take the total cost of priority for supplier selection.	Degraeve, Labro, & Roodhooft, (2000), Bhutta & Huq (2002)
Analytic hierarchy/network process	AHP is used to rank supplier by considering both quantitative and qualitative criteria and dealing with the uncertainty and vagueness of human judgement. ANP covers AHP's the disadvantage by considering potential relationships between factors and clusters for supplier selection final evaluation.	Rezaei, Fahim, & Tavasszy (2014), Bhutta & Huq (2002), Xia & Xu (2007), Sarkis, Talluri, & Gunasekaran (2007), Wu et al. (2009)
Other mathematical programming models/linear weighting models	Throughout a mathematical programming, decision makers can calculate for the superior supplier by setting up a series of specific goal for the supplier selection evaluation. Goal programming and DEA is widely used in making final decision.	Narasimhan, Talluri, & Mendez (2001), Hajidimitriou & Georgiou (2002), Talluri & Baker (2002), Dulmin & Mininno (2003), Hong et al. (2005), Sarkar & Mohapatra (2006), Humphreys et al. (2007), Wu et al. (2009)

pliers and allocating the optimized order quantity. Below <Table 2> is summarized the methods of analyzing supplier rankings that had been mentioned in previous literature. (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001; Luo et al., 2009; Wu et al., 2009; Wu & Barnes, 2012; Rezaei, Fahim, & Tavasszy, 2014).

3.3.1 Total Cost of Ownership Approaches

Degraeve, Labro, & Roodhooft (2000) presented a total cost of ownership (TCO) perspective to evaluate the solutions, resulting by several supplier selection models. TCO refers to all the costs associated with entire purchasing activities within the value chain, and the cost covered an entire lifetime of a product or service, including quality, delivery, maintenance, failure etc. (Ellram 1994, 1995; Degraeve, Labro, & Roodhooft, 2000). Bhutta & Huq (2002) generated the features for TCO. They defined TCO as a method that looks beyond the purchase price to include all the possible related costs among the entire product lifetime (Pal, Gupta, & Garg 2013). TCO provides a clear view of quantitative evaluation and selection rules for decision-makers and helps to identify the hidden costs when the companies initially only focus on the purchase cost. However, TCO is focused on the value-saving during the purchasing process, and the method hasn't quantified the uncertainty among those value chain activities, and the intangible factors, such as environment, society, and economic (Ellram, 1995). TCO method requires extensive tracking and updating

to ensure the cost data

is reflecting the real situation. Therefore, TCO method for supplier selection is more suitable for the companies who put the cost on high priority (Bhutta & Huq, 2002).

3.3.2 Analytic Hierarchy/Network Process

Rezaei, Fahim, & Tavasszy (2014) proposed a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) to rank supplier by considering both quantitative and qualitative criteria and dealing with the uncertainty and vagueness of human judgment. A new approach of AHP improved by rough sets theory and multi-objective mixed integer programming is introduced by Xia & Xu (2007) to determine the number of suppliers and order allocation for each of these suppliers under a multiple sourcing condition. In Bhutta & Huq (2002)'s comparison research of AHP and TCO methods for supplier selection, AHP can accommodate uncertain and subjective information, and cope with tangible and intangible factors. The other advantage is that the hierarchy is developed by decision-makers which improve the consideration on criteria trade-off and justification. However, Wu et al. (2009) argued AHP is only considered one-way relationships between the factors, and it is eliminated the potential possible relationships and interaction among all the clusters. Therefore, the later researchers had suggested analytic network process (ANP) method to cope with this disadvantage. In Wu et al. (2009)'s paper, they applied ANP

method to calculate the priorities for different criteria and used mixed integer multi-objective programming model (MIMOP) to decide the selected suppliers and to allocate appropriate order quantities. Sarkis, Talluri, & Gunasekaran (2007) developed a framework of selecting a partner for an agile virtual enterprise by ANP for evaluating the competitive and compatible partners among of potential suppliers. The model has included the factors with strategic and operational analysis, and considerate tangible and intangible measurements.

3.3.3 Other Mathematical Programming Models/ Linear Weighting Models

Hajidimitriou & Georgiou (2002) presented a goal programming for supplier selection on international joint ventures, addressing the issues on multiple objects. The evaluation criteria include the qualitative and quantitative information on barrier when entering a new market, quality concern, management difficulty, etc., and these criteria were used to identify most appropriate suppliers by goal programming model. Hong et al. (2005) used mixed integer model to subject the supplier who can maximize revenue with the procurement condition satisfied and find the optimal order quantity allocation. Talluri & Baker (2002) proposed a three-phase mathematical programming approach for effective supply chain network design. Phase 1 and Phase 2 is emphasized which potential suppliers need to be selected based on the subjects for constructing an effective supply chain network. Phase 3 is purposed for the identification of optimal transshipment with minimum cost. The mathematical programming approach is the combination of multi-criteria efficiency models, based on game theory formulation, and linear and integer programming methods. Humphreys et al. (2007)'s mechanism for evaluating supplier involvement during product development, and four type indices (satisfaction index, flexibility index, risk index, and confidence index) are included during the design process. These indices are reflected the matching degree of supplier's capabilities and the customer requirements, and measure the potential risk involved in a project.

The companies usually only take the outcome of supplier performance as their evaluation criteria; however, it is necessary to review the input resources from suppliers to know the suppliers with highest efficiency. Narasimhan, Talluri, & Mendez (2001) proposed a supplier selection methodology

based on data envelopment analysis (DEA) and categorized the four types of suppliers by the scores on performance and efficiency. Dulmin & Mininno (2003)'s selection method is adopted PROMETHEE outranking methods with sensitivity analysis approach to resolve problems under multi-criteria decision and to manage the preference and compensation effects among all the criteria.

The reason to name the stage as priority calculation is because that the main job for decision makers is to find out the most preferable suppliers and contact them as priority to consult for further product or service's availability. To conclude above calculation methods, decision makers can calculate which supplier best meets their requirements and goals based on two aspects. First, if a company needs to consider multiple side's opinions for finding the most balanced supplier among of multiple evaluation criteria, it is best to adopt AHP/ANP methods. In the other hand, if the company targets a specific goal, such as lowest cost supplier, highest carbon emission performance, fastest delivery service etc., it can use goal programming, mixed integer model, DEA to calculate the supplier performance index about attaining the goals.

3.4 Feedback Loop Development

Wu & Barnes designed application feedback and continuous improvement model (<Fig. 4>), which is adapted the concept of Deming (2000)'s PDCA to integrate into the model as a cycle to receive the feedback from each phase of supplier selection. "Plan" refers to the four-phase supplier selection, "Do" refers to effort on implementing 1 to phase 3, "Check" refers to continuously validate the structure and performance of supply chain, "Act" refers to being active on responding any detecting problem. The authors presented the evaluation process is composed with pre-test, test, and post-test, three stages are collecting the data throughout a structured questionnaire with complexity-fit and costs-benefits, two major criteria to compare the performance before and after selection model. After a supplier selection process, company gains the results so called purchasing performance to evaluate suppliers with two dimensions, including supplier performance improvement and supplier's contribution for its competitive advantage (Giunipero, 1990). In the previous studies, many scholars had presented the methods to measure purchasing performance and

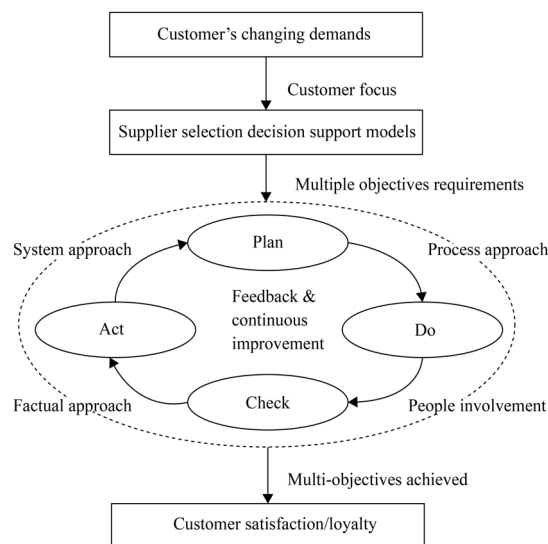


Fig. 4. Application Feedback and Continuous Improvement Model (Wu & Barnes, 2009)

consider it as a key element of corporate performance, purchasing competence, supplier development practices and quality management practices in purchasing (Easton, Murphy, & Pearson, 2002; Sánchez-Rodríguez, Hemsworth, & Martínez-Lorente, 2005; Hemsworth, Sánchez-Rodríguez, & Bidgood, 2005; Pohl & Förstl, 2011). However, the research to include purchasing performance to construct feedback loop system, is still very limit. The company brings the feedback back to the other supplier selection process in order to attain the improvement on each section of supplier selection.

3.5 Challenges in Supplier Selection

As the nature of multi-dimensions, and vagueness on supplier selection process, decision maker may confront ambiguous situations and unsatisfied results. There can be concluded into four main challenges for the supplier selection process: (1) Deciding right positioning and clear goal for supplier network to identify what selection criteria need to be evaluated. In De Boer (1998)'s supplier selection framework, the author presented a problem definition stage to help the decision maker identify the problem in different purchasing situations, including new task, modified rebuy and straight rebuy. Monczka et al. (2020) introduced a supplier selection process should be started from recognizing the need for supplier selection, identifying the key sourcing requirements and determining the sourcing strategy. As supplier selection is an important deci-

sion in the supply chain management, it is getting complex when more factors and people involved to influence the importance of purchasing decision. (2) Processing quantitative and qualitative data to make the data understandable and calculable. Supplier selection is required more systematic and transparent approach to purchasing decision when varied reasons and considerations are lead the increased complexity and the importance of purchasing decisions such as the changes of market preference, government regulation, global sourcing decision, spreading supply base etc. It is an extremely complex topic as it has multi-dimensional in nature and consists with the quantitative information, the vagueness of qualitative evaluation with linguistic assessment and human judgment (De Boer, 1998; Zhang et al., 2009; Sevklı et al., 2010). (3) Using proper weight scoring on different criteria to rank the potential suppliers. The perspective of critical issues in supplier selection from Narasimhan, Talluri, & Mendez (2001), mentioned that supplier evaluation is very depending on the weighted scoring method, human subjective judgment. The final ranking of supplier is heavily influenced by the weights of evaluation criteria results. Thus, finding a proper weight scoring between managerial judgments and objects is important to improve the outcomes from supplier selection decisions. In order to deal with the vagueness of some evaluation criteria, and the proper weight scoring, some of the scholars had adopted the methodologies which combined fuzzy set theory and AHP, to efficiently tackle both quantitative and

qualitative decision factors (Kahraman, Cebeci, & Ulukan, 2003; Shaw et al., 2012; Rezaei, Fahim, & Tavasszy, 2014). Expect above three challenges in supplier selection, a comprehensive and practicable supplier development program should be consistently applied into the supplier selection process to optimize the supply base construction and the quality of selection outcome (Narasimhan, Talluri, & Mendez, 2001).

4. Conclusion

The purpose of this research is tried to provide a comprehensive picture on constructing a complete supplier selection and clarify what actions that the decision makers need to take in different stages. Based on a robust literature review, supplier selection can be generated into four stages. The first stage is “Initial identification” stage, which is about developing a set of selection criteria based on industrial and organizational requirement and accessing the potential supplier who may qualified on evaluation criteria. The second stage is “Classification” stage, which is applying the selection criteria from stage 1 and adopting evaluation method to classify the supplier into different categories. The purpose of second stage is not only saving the cost and time by limiting the number of potential suppliers, but also providing clues to decision makers to identify insufficient suppliers and provide more motivation to encourage for optimizing their products or services. The third stage is “Priority calculation”, and it is to rank the suppliers by mathematical model to fine out the most preferable suppliers on each of category. The decision makers can calculate which supplier best meets their requirements and goals based on two aspects: (1) the company prefers to find the most balanced supplier among of multi evaluation criteria, and (2) the company targets a specific goal for their supplier network. The fourth stage is “Feedback Loop Development” which is building a feedback return system among of all the supplier selection stages.

Except for presenting a clear picture of supplier selection process, the challenges for supplier selection also been mentioned. It is necessary to determine right position and clear goal for supplier network in the complex situation and identify what selection criteria need to be evaluated. Processing quantitative and qualitative data to make the data understandable and calculable, is difficult because it has a complex multi-di-

mensional in nature and crossing the quantitative information and the vagueness of qualitative evaluation with linguistic assessment and human judgment. And then, choosing proper weight scoring on different criteria to rank the potential suppliers and avoid inaccurate results. Finally, a comprehensive and practicable supplier development program should be consistently applied into the supplier selection process to optimize the supply base construction and the quality of selection outcome.

5. Discussion

Since the initial purpose of the survey paper is to focus on the basic and extensive supplier selection process, the content will be limited to the supplier selection process and evaluating method. However, it would be worth on exploring more attention on developing a feedback loop or system in each section of supplier selection and extending supplier selection process with emerging issues. The research on feedback loop development stage is still very limited, and there remains unknown for what methodologies and system design can be applied into this stage and bring it into daily organizational operation. In the other hand, there are more and more researchers are addressing supplier selection with a specific goal, such as green management, agility, sustainability because of raising disruptions in volatility business environment. As previous mentioned the importance of setting a specific goal and position for supplier selection in section 3, if a company would like to increase the agility for their supplier network, the decision maker could start from the very beginning which is initial identification stage and focus the idea of agility to design the evaluation criteria and weight score to find out the qualified suppliers. At this point, it is more potential questions need to be discovered, such as which criteria is effectively contributed to agility, how to deal with uncertainty among supplier's agility performance, or how to develop an agile feedback loop system, the future research paper related to those potential topics can be valuable for the business environment and academia on supplier selection filed.

As follow-up research, we will investigate two aspects of supplier selection for Taiwanese semiconductor and electronics manufacturing companies and later expanding to Korean companies based on the findings of this survey paper.

(1) Semiconductor and electronics manufacturing are some of the most important industries in Taiwan. To be more in-depth on understanding the ecology of the supplier selection process in those categories, it is interesting to formulate questionnaires to investigate what the different supplier selection methods are used, and what are the differences and changes of company's performance between SME or large enterprise. As we mentioned above, how much influence of supply chain agility and sustainable criteria have on supplier selection results, is valuable information for the company that wants to optimize its selection process. In the other hand, (2) the vision can be internationally extended between Taiwan and Korea. Taiwan's industrial environment has similarities and dissimilarities with Korea. For example, as findings in this survey paper, supplier selection is very dependent on human judgment and their own experience. This may also show the key factors to the difference between Taiwan and Korea in the supplier selection process. Thus, observing the similarities and dissimilarities in the same industry but different nations would be an innovative topic on supplier selection.

REFERENCES

- [1] Abratt, R. (1986). Industrial buying in high-tech markets. *Industrial Marketing Management*, 15(4), 293-8.
- [2] Asai, K. (Ed.). (1995). *Fuzzy systems for management*. IOS Press.
- [3] Bell, G. G., Oppenheimer, R. J., & Bastien, A. (2002). Trust deterioration in an international buyer supplier relationship. *Journal of Business Ethics*, 36(1), 65-78.
- [4] Bhutta, K. S. & Huq, F. (2002). Supplier selection problem: a comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(3), 126-135.
- [5] Cagliano, R., Caniato, F., Spina, G. (2004). Lean, agile and traditional supply: How do they impact manufacturing performance? *Journal of Purchasing and Supply Management*, 10, 151-164.
- [6] Carmeli, A., Zivan, I., Gomes, E., & Markman, G. D. (2021). Underlining micro socio-psychological mechanisms of buyer-supplier relationships: Implications for inter-organizational learning agility. *Human Resource Management Review*, 31(3), 100577.
- [7] Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301.
- [8] Chen, Y. J. (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181(9), 1651-1670.
- [9] Choi, T. Y. & Hartley, J. L. (1996). An exploration of supplier selection practices across the supply chain. *Journal of Operations Management*, 14(4), 333-343.
- [10] Chou, C. (2002). Developing the e-Delphi system: A web-based forecasting tool for educational research. *British Journal of Educational Technology*, 33(2), 233-236.
- [11] De Boer, L. (1998). *Operation Research in Support of Purchasing*. Design of a Toolbox for Supplier Selection.
- [12] de Boer, L. & van der Wegen, L. L. (2003). Practice and promise of formal supplier selection: A study of four empirical cases. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(3), 109-118.
- [13] De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2), 75-89.
- [14] Degraeve, Z., Labro, E., & Roodhooft, F. (2000). An evaluation of vendor selection models from a total cost of ownership perspective. *European Journal of Operational Research*, 125(1), 34-58.
- [15] Denning, W. E. (2000). *Out of the Crisis*. MIT Press Books, 1.
- [16] Dulmin, R. & Mininno, V. (2003). Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(4), 177-187.
- [17] Dursun, M. & Oguncu, O. (2021). Agile Supplier Evaluation Using Hierarchical TOPSIS Method. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 18, 12-19.
- [18] Easton, L., Murphy, D. J., & Pearson, J. N. (2002). Purchasing performance evaluation: with data envelopment analysis. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 8(3), 123-134.
- [19] Ellram, L. (1994). A taxonomy of total cost of ownership models. *Journal of Business Logistics*, 15(1), 171.
- [20] Ellram, L. M. (1995). Activity-based costing and total cost of ownership: A critical linkage. *Journal of Cost Management*, 8(4), 22-30.
- [21] Giunipero, L. C. (1990). Motivating and monitoring JIT

- supplier performance. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26(3), 19-24.
- [22] Hajidimitriou, Y. A. & Georgiou, A. C. (2002). A goal programming model for partner selection decisions in international joint ventures. *European Journal of Operational Research*, 138 (3), 649-662.
- [23] Hemsworth, D., Sánchez-Rodríguez, C., & Bidgood, B. (2005). Determining the impact of quality management practices and purchasing-related information systems on purchasing performance: A structural model. *Journal of Enterprise Information Management*, 18(1/2), 169.
- [24] Hong, G. H., Park, S. C., Jang, D. S., & Rho, H. M. (2005). An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship. *Expert Systems with Applications*, 28(4), 629-639.
- [25] Huang, X. G., Wong, Y. S., & Wang, J. G. (2004). A two-stage manufacturing partner selection. framework for virtual enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(4), 294-304.
- [26] Humphreys, P., Huang, G., Cadden, T., & McIvor, R. (2007). Integrating design metrics within the early supplier selection process. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 13(1), 42-52.
- [27] Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Journal of Enterprise Information Management*, 16(6), 382.
- [28] Kraljic, P. (1983). Purchasing must become supply management. *Harvard Business Review*, 61(5), 109-117.
- [29] Lin, C. W. R. & Chen, H. Y. S. (2004). A fuzzy strategic alliance selection framework for supply chain partnering under limited evaluation resources. *Computers in Industry*, 55(2), 159-179.
- [30] Luo, X., Wu, C., Rosenberg, D., & Barnes, D. (2009). Supplier selection in agile supply chains: An information-processing model and an illustration. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 15(4), 249-262.
- [31] Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., & Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1686-1698.
- [32] Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2020). *Purchasing & Supply Chain Management*. Cengage Learning.
- [33] Narasimhan, R., Talluri, S., & Mendez, D. (2001). Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: an empirical examination. *Journal of Supply Chain Management*, 37(2), 28-37.
- [34] Ng, W. L. (2008). An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem. *European Journal of Operational Research*, 186(3), 1059-1067.
- [35] Novack, R. A. & Simco, S. W. (1991). The industrial procurement process: A supply chain perspective. *Journal of Business Logistics*, 12(1), 145.
- [36] Pal, O., Gupta, A. K., & Garg, R. K. (2013). Supplier selection criteria and methods in supply chains: A review. *International Journal of Economics and Management Engineering*, 7(10), 2667-2673.
- [37] Pohl, M. & Förstl, K. (2011). Achieving purchasing competence through purchasing performance measurement system design: A multiple-case study analysis. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 17(4), 231-245.
- [38] Rezaei, J., Fahim, P. B., & Tavasszy, L. (2014). Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8165-8179.
- [39] Robinson, P. J., Faris, C. W., & Wind, Y. (1967). *Industrial buying and creative marketing*. Allyn & Bacon.
- [40] Sánchez-Rodríguez, C., Hemsworth, D., & Martínez-Lorente, Á. R. (2005). The effect of supplier development initiatives on purchasing performance: A structural model. *Supply Chain Management*, 10(3/4), 289.
- [41] Sarkar, A. & Mohapatra, P. K. (2006). Evaluation of supplier capability and performance: A method for supply base reduction. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12(3), 148-163.
- [42] Sarkis, J. & Sundarraj, R. P. (2002). Evolution of brokering paradigms in e-commerce enabled manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 75(1-2), 21-31.
- [43] Sarkis, J. (2001). Benchmarking for agility. *Benchmarking: An International Journal*, 8(2), 88-107.
- [44] Sarkis, J., Talluri, S., & Gunasekaran, A. (2007). A strategic model for agile virtual enterprise partner selection. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(11), 1213-1234.
- [45] Scannell, T. V., Vickery, S. K., & Droge, C. L. (2000). Upstream supply chain management and competitive

- performance in the automotive supply industry. *Journal of Business Logistics*, 21(1), 23
- [46] Sevkli, M., Zaim, S., Turkyilmaz, A., & Satir, M. (2010, July). An application of fuzzy Topsis method for supplier selection. In *International Conference on Fuzzy Systems* (pp. 1-7). IEEE.
- [47] Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S., & Thakur, L. S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 8182-8192.
- [48] Talluri, S. & Baker, R. (2002). A multi-phase mathematical programming approach for effective supply chain design. *European Journal of Operational Research*, 141(3), 544-558.
- [49] Van Weele, A. J. (2001). *Purchasing and supply chain management: Analysis, planning and practice*. Thomson learning.
- [50] Wang, T. K., Zhang, Q., Chong, H. Y., & Wang, X. (2017). Integrated supplier selection framework in a resilient construction supply chain: An approach via analytic hierarchy process (AHP) and grey relational analysis (GRA). *Sustainability*, 9(2), 289.
- [51] Wu, C. & Barnes, D. (2010). Formulating partner selection criteria for agile supply chains: A Dempster-Shafer belief acceptability optimisation approach. *International Journal of Production Economics*, 125(2), 284-293.
- [52] Wu, C. & Barnes, D. (2012). A dynamic feedback model for partner selection in agile supply chains. *International Journal of Operations and Product Management*, 32(1), 79-103.
- [53] Wu, C., Barnes, D., Rosenberg, D., & Luo, X. (2009). An analytic network process-mixed integer multi-objective programming model for partner selection in agile supply chains. *Production Planning and Control*, 20(3), 254-275.
- [54] Xia, W. & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35(5), 494-504.
- [55] Yusuf, Y. Y., Sarhadi, M., & Gunasekaran, A. (1999). Agile manufacturing: the drivers, concepts and attributes. *International Journal of Production Economics*, 62(1/2), 33-43.
- [56] Zhang, D., Zhang, J., Lai, K. K., & Lu, Y. (2009). An novel approach to supplier selection based on vague sets group decision. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9557-9563.



추치아치아

B.A. Shih Chien University, Taiwan
 현재: 경북대학교 경영학부 석사과정
 관심분야: Operation Management, SCM



김 성 수

펜실베이니아주립대학교 경영과학/산업
 공학 박사
 현재: 경북대학교 경영학부 부교수
 관심분야: SCM, Logistics, 인공지능/
 머신러닝, Finance

한국SCM학회 연구 윤리 규정

제1조 (목적)

본 규정은 “한국SCM학회 연구 윤리 규정”이라 부르며 한국SCM학회(이하 “학회”라 한다)와 관련된 연구행위가 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 (적용대상)

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 (저자의 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 연구결과를 허위로 만들어 내는 행위를 말한다.
2. 변조: 데이터의 변형이나 연구과정을 조작하여 연구결과를 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 신상정보를 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 제21권 제2호 심사자 명단(가나다 순)

고현정(군산대학교), 김경민(명지대학교), 김기태(한밭대학교), 김상국(한국과학기술정보연구원)
김창희(인천대학교), 민대기(이화여자대학교), 설현주(충남대학교), 신광섭(인천대학교)
윤영수(조선대학교), 이근철(건국대학교), 이평수(경기대학교), 이현수(금오공과대학교)
정병도(연세대학교), 정영선(전남대학교), 최동현(한국항공대학교), 한창희(한양대학교)
허원창(인하대학교)

학회지 심사를 위해 노고를 아끼지 않은 심사자 여러분들께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

한국SCM학회지 제21권 제2호

인 쇄 / 2021년 10월 31일

발 행 / 2021년 10월 31일

발행인 / 고창성

편집인 / 임성묵 · 박건수

발행처 / **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