

ISSN 2765-2351

# 물류 과학 기술 연구

Journal of Logistics Science & Technology

2023년 12월 4권 2호

THE SOCIETY OF LOGISTICS  
SCIENCE AND TECHNOLOGY

# 물류과학기술연구

Journal of Logistics Science & Technology

제 4권 제 2호

2023년 12월

## 목 차

1. 다중(Multiple) 야드 크레인의 효율적인 운영을 위한 점수기반(Score-based) 작업배정  
(Dispatching) 로직  
김도경, 이기주, 정동진, 채준재 / 1
2. 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 제품 시장성 확장을 위한  
예지정비 플랫폼 구축 연구  
황선우, 박상원, 김명성, 김영민 / 20
3. 공공 스마트 공동물류센터 조성 방안 연구 : 경기도를 중심으로  
공민선, 김병관 / 38
4. 식자재 콜드체인 배송차량 적재 변수별적정온도 도달에 미치는 영향  
류성호, 조상근, 박민영 / 59
5. 산업연관표를 활용한 물류산업의경제적 파급효과 변화분석  
김도훈, 우엔, 하헌구 / 74

# 다중(Multiple) 야드 크레인의 효율적인 운영을 위한 점수기반(Score-based) 작업배정(Dispatching) 로직

김도경<sup>1</sup>, 이기주<sup>2</sup>, 정동진<sup>3</sup>, 채준재<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>한국항공대학교 항공교통물류학과

## An Efficient Score-based Dispatching Logic for Operating Multiple Yard Cranes

Do-kyung Kim<sup>1</sup>, Keyju Lee<sup>2</sup>, Dongjin Jeong<sup>3</sup>, Junjae Chae<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>School of Air Transport, Transportation and Logistics, Korea Aerospace University

The need for automation in ports is growing, and a strategy gaining attention involves automating through retrofitting methods to enhance productivity while maintaining the flexibility of rubber-tired gantry cranes (RTGC) in the port. RTGCs offer greater flexibility than rail mounted gantry cranes (RMGC) as they are not fixed to specific container blocks and can move to adjacent blocks. Therefore, an operational strategy is required that can adapt to situations such as changes in the number of cranes for efficient operation. In this study, a score-based dispatching logic is proposed to efficiently allocate tasks for port yard cranes in real-time. In this logic, scores are calculated as the sum of appropriate weighted values for various factors, and tasks with the best scores are prioritized for execution. Comparing the performance metrics with other dispatching rules through AutoMod simulation, the superiority of the score-based dispatching logic is confirmed. Also, it is found that inter-block movements of RTGCs can improve key performance indicators in port yards, such as turnaround time.

**Keywords:** Container terminal automation, Yard crane dispatching rule, Rubber tyred gantry crane, Multiple yard blocks, Multiple yard cranes

---

논문접수일 : 2023.10.20.    논문수정일 : 2023.12.05.    게재확정일 : 2023.12.15.

1. 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정

2. 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사과정

3. 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정

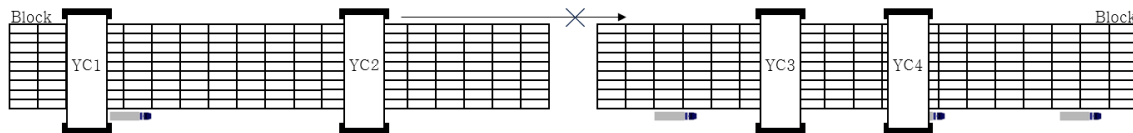
4\*. 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수, Corresponding Author: jchae@kau.ac.kr

## 1. 서론

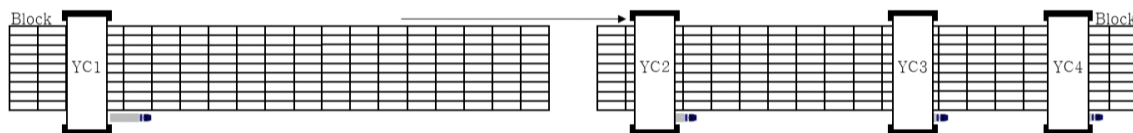
### 1.1 연구 배경

우리나라 전체 무역 증량의 99% 이상이 해운을 통하고 있으며, 이 중 60% 이상이 컨테이너에 의해 운송되고 있다(Y. F. Liu & Lee, 2019). 컨테이너 물동량은 지속적으로 증가하고 있으며(Ministry of Oceans and Fisheries, 2021a), 이에 따라 컨테이너항만 자동화에 대한 수요 또한 증가하고 있다.

항만의 핵심 장비인 야드 크레인에는 크게 RMGC(rail mounted gantry crane)와 RTGC(rubber tired gantry crane)로 구분할 수 있다. 레일을 기반으로 야드 블록 내에서만 운영되는 RMGC는 자동화에 유리하지만 지형적인 제약(지진 등)에 취약하다는 특징을 갖는다. 타이어 기반의 RTGC는 상대적으로 이동속도가 느리지만 야드의 건설비용이 낮고, 블록 간 이동과 같은 유연한 운영을 통해 활용률을 높일 수 있다는 장점이 있다(Sha et al. 2017). 아래 Figure 1은 두 가지 유형 크레인의 운영 특성 차이를 예시로 나타낸다.



(a) Rail mounted gantry cranes generally do not travel through blocks



(b) Rubber tired gantry cranes travel through blocks

Figure 1. Operational difference of rail mounted gantry cranes and rubber tired gantry cranes

### 1.2 연구 필요성 및 목적

주로 오래된 항만시설에는 RTGC가 배치되어 있다. RTGC는 최근 자동화 항만에 설치되는 RMGC에 비해 낮은 생산성 지표를 나타내지만, 크레인을 특정 블록에 고정하지 않는 유연한 운영이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 유연성을 극대화하기 위해서는 RTGC의 자동화가 적극적으로 고려되어야 한다. 우리나라는 경제성장기인 1970~1980년대에 항만시설을 집중적으로 건설하였으며, 2030년에는 30년 이상 사용된 노후 항만시설물 비율이 50%를 넘어서게 된다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2021b). 노후 항만의 RTGC 자동화를 준비하기 위해 하드웨어적 자동화시스템 기술연구가 진행된 바 있으며(Global Logistics Research Institute, 2009), 최근에는 운영 및 소프트웨어 측면까지를 포함한 기술연구가 진행되고 있다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2022).

세계적인 터미널운영시스템 공급사 Navis(2023)가 자동화 터미널의 신규건설보다는 기존시설을 자동화 개조(retrofit)하는 것이 더욱 합리적일 수 있음을 지적한 것(Port Technology International, 2020)을 포함하여, 최근에는 비교적 적은 비용으로 RTGC 등의 기존 장비를 개조하는 자동화 전략이 주목받고 있다(Korea Maritime Institute, 2020). 또한, 중국, 중동지역 등의 해외지역에서도 안전성, 운영 일관성, 생산성 확보를 위한 RTGC 자동화에 관심을 가지면서(Navis Collaboration Center, 2019), 효율적인 자동화 RTGC 운영로직에 대한 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 자동화 RTGC의 특성인 크레인의 블록 간 이동과 블록 당 크레인의 운영 대수의 유연성을 효율적으로 활용하기 위한 점수기반 작업배정 로직(score-based dispatching logic)을 제시한다. RTGC의 운영 특성은 RMGC의 운영에서 일반적으로 두 대의 크레인이 하나의 야드 블록에서 고정적으로 사용되는 방식과 대비된다. 본 연구에서는 점수기반 작업배정 로직의 성능을 확인하기 위해 AutoMod 시뮬레이션을 구성한다. 두 개의 컨테이너 블록에서 최소 한 대, 최대 네 대의 크레인이 동시에 투입된 환경을 검토하며, 타 작업배정 규칙과의 비교를 통해 점수기반 작업배정 로직의 우수성을 확인한다.

## 2. 문헌연구

### 2.1 야드 크레인 스케줄링(scheduling)

야드 크레인 스케줄링은 복잡도가 매우 높은 NP-완전 문제이며(Ng & Mak, 2005), 문제의 크기(작업의 수와 계획기간의 길이)가 커지면 가능해(feasible solution) 조차 합리적인 시간 내에 찾아낼 수 없다. 야드 크레인 스케줄링 최적화(optimization) 문제를 해결하기 위한 연구에서는 일반적으로 혼합정수계획 수리모형을 구성한 뒤, 분기한정법과 같은 최적(exact) 알고리즘, 또는 지역최적해를 찾아낼 수 있는 발견적(heuristic) 해법을 제시한다. 야드 크레인 스케줄링은 두 대의 크레인 즉, 트윈(twin) 야드 크레인의 작업 형태가 가장 일반적으로 연구되고 있다. 그러나 RTGC의 유연한 이동성은 특정 컨테이너 블록의 범위 내에서 두 대 이상의 크레인이 동시에 작업하는 상황을 가능하게 하며(Sha et al., 2017), 크레인 간 상호간섭(충돌)을 고려해야 하는 다중(multiple) 야드 크레인의 환경에서는 스케줄링 문제의 복잡도가 더욱 증가한다(Chu et al., 2019).

Briskorn & Zey(2018)는 트리플 교차(crossover) 크레인(아래 Figure 2 참조)의 작업시간을 최소화하기 위해 혼합정수계획을 구성한 뒤, 크레인 간 상호 간섭을 고려할 수 있는 그래픽모델(graphical model)을 활용한 발견적(heuristic) 해법을 제시하였다. 문제 해결을 위한 제한시간(1시간) 이내에 최대 16개의 작업을 수행하기 위한 최적해를 도출하였으며, 발견적 해법을 적용하여 최대 32개 작업에 대한 지역최적해를 도출하였다. 이어지는 연구(Briskorn & Zey, 2020)에서는 컨테이너 이송작업시간 최소화를 위한 분기한정법 알고리즘을 제안하였으며, 1시간 이내에 최대 10개 작업에 대한 최적해와 최대 25개 작업에 대한 지역최적해를 도출하였다. Chu et al.(2019)은 두 컨테이너 블록에서 교차 불가능한(non-crossing) 세 대의 크레인(아래 Figure 2 참조)에 대하여 충돌을 방지하고 작업 대기시간을 최소화하기 위한 혼합정수계획 모형을 구성한 뒤, 근사해를 도출하기 위한 유전 알고리즘을 제시하였다. 해당 연구에서는 2시간의 문제해결 제한시간 이내에 최대 12개 작업에 대한 최적 작업 스케줄을 도출하였다.

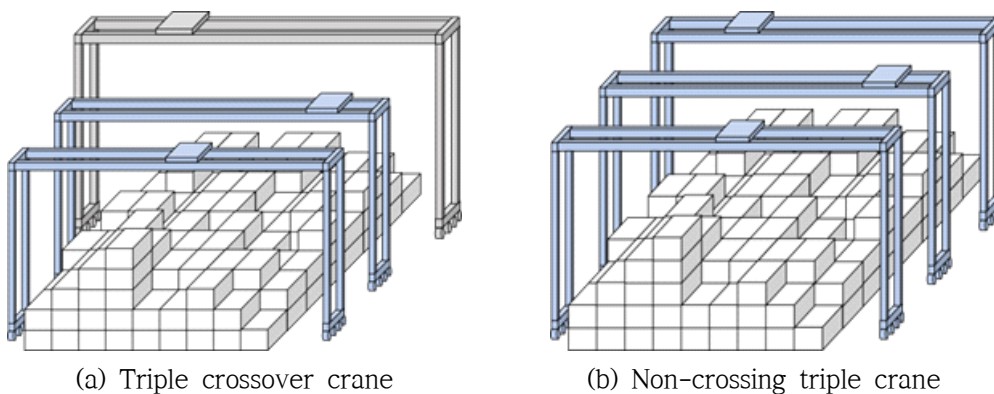


Figure 2. Typical configuration of triple crossover cranes and triple non-crossing cranes

X. Guo et al.(2008)은 한 개의 컨테이너 블록에 한 대의 야드 크레인이 투입된 환경에서 작업 대기시간을 최소화하기 위한 전략을 제시하였다. 해당 연구에서는 전체 작업을 소규모 계획 단위(planning window)

로 분할한 뒤 각 단위 내에서의 최적 작업계획을 결정하고 이를 이어 붙여 전체 작업계획을 완성하였으며, 성능 검증을 위해 선착순(first come first served : FCFS) 및 최근접(nearest first served : NFS) 작업배정 규칙과의 비교를 진행하였다. Huang et al.(2012)의 연구에서도 한 개의 블록 내에 배치된 한 대의 야드 크레인을 가정하였다. 해당 연구에서는 작업 대기시간을 최소화하기 위한 수정된(modified) A\* 알고리즘 제시하였으며, 선착순 및 최근접 작업배정 규칙과 비교하여 알고리즘의 성능을 검증하였다. 이어지는 연구(Huang et al., 2014)에서는 기존 연구의 방법론을 발전시켰으며, 작업의 대기시간 감소 효과 및 이로 인한 선박의 항만 체류시간 감소 효과를 함께 확인하였다.

## 2.2 야드 크레인 작업배정 규칙(dispatching rule)

작업배정 규칙은 서비스 대기 중인 일련의 작업 중에서 다음으로 처리할 작업을 선택하기 위해 사용되며, 최적을 보장하지 않는 실시간 규칙의 특성상 그 성능은 작업장 구성형태와 운영 조건에 따라 달라질 수 있다(Blackstone et al., 1982).

Petering et al.(2009)의 연구에서는 야드 크레인의 작업배정 규칙(선착순, 최근접 등)에 따른 안벽 크레인의 시간당 평균 작업횟수(gross crane rate) 지표 변화를 모의실험을 통해 확인하였다. 해당 연구에서는 블록에 장치되었던 컨테이너를 선박에 적재하는 작업의 우선순위를 높이는 것이 성능지표 개선으로 이어지는 것을 확인하였다. X. Yu et al. (2018)의 연구에서는 야드 크레인의 작업배정 규칙에 따른 터미널의 운영 비용을 성능지표로 사용하였다. 작업배정 규칙으로 각 작업에 배정된 크레인과의 거리, 외부트럭 및 내부트럭의 대기시간 등을 고려하였으며, 모의실험을 통해 크레인으로부터 근접한 작업을 우선적으로 고려하는 전략이 운영비용을 감소시키는 것으로 분석하였다.

P. Guo et al. (2019)의 연구에서는 두 개의 컨테이너 블록이 존재하며 각 블록에 두 대의 트윈 야드 크레인이 배치된 환경에서 야드 크레인의 작업배정을 효율화하고자 하였다. 해당 연구에서는 두 블록 사이에 중계영역(handshake area)을 두어 컨테이너의 블록 간 이동이 가능하도록 하는 특수한 상황을 고려하였다. 중계영역은 동시에 한 대의 크레인만 점유할 수 있어 간섭(충돌)방지를 고려한 작업배정 규칙이 요구된다. 해당 연구에서는 전체 작업의 완료시간 최소화를 목표로 간섭방지 규칙과 작업별 우선순위 규칙을 조합한 다양한 작업배정 규칙의 성능을 검토하였다.

## 2.3 연구 차별점

야드 크레인 스케줄링 문헌연구를 통해 다중 야드 크레인의 스케줄링 접근법은 복잡도가 높아 즉각적으로 해를 도출하는 데에는 무리가 있음을 확인할 수 있다. 또한, 사전에 알려진 작업정보를 기반으로 도출된 최적의 작업계획은 동적(dynamic)으로 변화하고 불확실성(uncertainty)이 존재하는 항만 환경(W. Liu et al., 2021; D. Yu et al., 2019)에서 높은 빈도로 재계획(rescheduling)되어야 한다는 문제가 존재한다. 다중 야드 크레인의 운영을 위한 현실적인 접근법으로 실시간으로 즉각적인 대응이 가능한 작업배정(dispatching) 규칙을 고려해볼 수 있다.

야드 크레인 작업배정 규칙과 관련한 문헌연구에서는 선착순 또는 최근접 규칙과 같이 단순한 방법에 집중하지만, 그 성능이 충분히 현실 적용 가능한 수준인 것으로 검증되었다. 특히, 문헌을 통해 작업 종류에 따른 우선순위나 크레인 간 간섭(충돌) 해결을 위한 여러 규칙을 다양하게 조합하는 것으로 개선된 작업배정 규칙이 제시될 수 있음을 확인할 수 있다.

기존의 야드 크레인 작업배정 규칙 연구에서 선착순, 최근접 등의 규칙을 배타적으로 선별하여 조합했던 것과 달리, 본 연구에서는 각 배정 규칙에 가중치를 적용한 점수기반 작업배정(score-based dispatching) 로직을 제시하였다. 야드 크레인과의 작업(트럭) 사이의 거리, 트럭이 컨테이너 블록에 도착한 시간, 각 작업의 예상 소요시간과 같은 요소들은 모두 효율적인 작업배정이라는 의사결정에 어느 정도 영향력을 갖는다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 각 요소들에 대한 가중치를 결정하여 조합함으로써 현실적인 작업배정 규칙을 제시하였다. 야드 크레인 작업배정을 위한 점수기반 로직은 기존에는 없던 새로운 방향의 연구라고 할 수 있다.

또한, 기존의 연구에서 고정된 개수의 블록과 크레인 대수를 가정했던 것과 달리, 본 연구에서는 컨테이너 블록을 두 개로 고정하지만, 투입 크레인의 대수는 최소 한 대부터 최대 네 대까지의 상황을 검토하였다. 시뮬레이션 실험을 통해 투입 크레인의 대수에 따른 점수기반 작업배정 로직의 각 요소들에 적용될 최적 가중치를 제시하였으며, 이를 통해 점수기반 작업배정 로직이 다양한 환경에서 모수 조정을 통해 일반적으로 적용될 수 있음을 보였다. 본 연구에서는 RTGC 크레인을 사용하여 블록 간 이동이 가능한 상황을 가정하였으나, 블록 간 이동이 가능한 경우와 불가능한 경우의 성능지표를 비교하기 위한 시나리오를 추가적으로 구성하였다.

### 3. 문제 정의 및 가정 사항

#### 3.1 문제 환경

##### 1) 항만의 구조적 특성

컨테이너항만의 구조는 Figure 3에서 확인할 수 있듯 유럽형(European, perpendicular) 레이아웃과 아시아형(Asian, horizontal) 레이아웃으로 구분할 수 있다(Carlo et al., 2014). 본 연구에서는 안벽과 컨테이너 블록이 평행한 아시아형 레이아웃을 사용하였으며, 양측이 아닌 단측 I/O(input and output) 레인을 가정하였다.

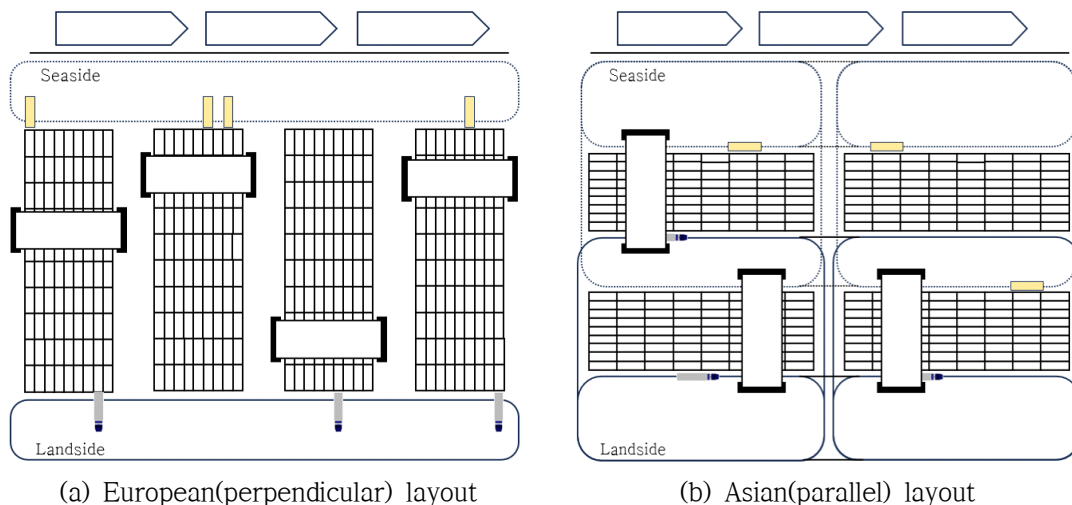


Figure 3. Typical container port terminal layouts

본 연구에서는 아래 Figure 4에 나타난 것과 같이 50-베이(bay), 9-열(row), 5-층(tier) 형태의 컨테이너 블록을 사용하며, 투입된 모든 야드 크레인 작업범위는 두 개의 컨테이너 블록으로 가정하였다. 20ft 컨테이너는 한 개의 베이, 40ft 컨테이너는 두 개의 베이 공간을 차지하도록 하였으며, 서로 다른 크기의 컨테이너가 동일한 베이에 함께 적치될 수 없도록 하였다. 냉동, 위험물 컨테이너 등은 별도의 적치 공간(블록)을 가정하여 본 연구에서는 고려하지 않았다.



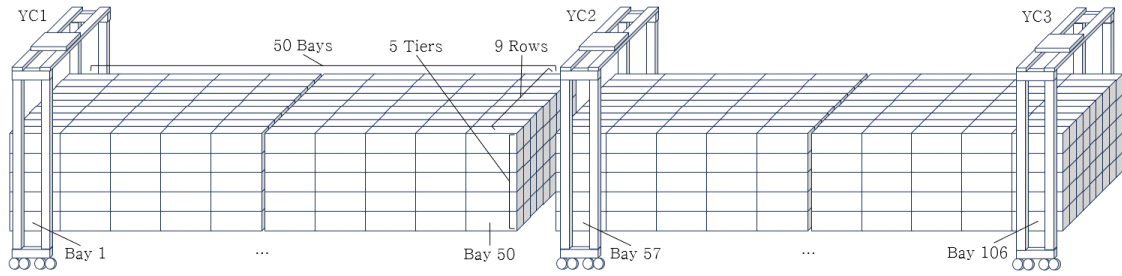


Figure 4. An example of three non-crossing yard cranes and in two container blocks

## 2) 야드 크레인의 특성

본 연구에서는 두 개의 컨테이너 블록 내에 최소 한 대부터 최대 네 대까지의 RTGC 야드 크레인이 투입된 상황을 가정한다. 각 야드 크레인은 서로 교차(cross)할 수 없으며, 충돌방지를 위해 최소 두 개의 베이의 안전거리를 유지해야 한다. 각 야드 크레인은 RTGC의 유연한 이동성을 반영하여 두 컨테이너 블록 간 이동이 가능하도록 하였다. 각 야드 크레인은 한 번에 하나의 작업만을 처리할 수 있으며, 작업을 마친 크레인은 다음 작업배정을 위해 종료위치에서 대기한다. 야드 크레인에 적용된 속도 및 가속속 정보는 Table 1에 정리된 바와 같다. 야드 크레인은 움직임은 베이 이동( $x$ 축의 gantry drive), 로우 이동( $y$ 축의 trolley drive), 층 이동( $z$ 축의 hoist drive)로 구분되며,  $x$ 축과  $y$ 축을 동시에 움직이는 것이 가능하지만,  $z$ 축의 움직임은  $x$ 와  $y$ 축이 정렬된 이후에 개별적으로 실행한다.

Table 1. RTGC specifications on speed, acceleration, and deceleration

		Category	
		Speed(m/min)	Accel.Decel.(m/sec <sup>2</sup> )
Gantry Drive	Rated load	90	0.25
	No load	130	0.24
Trolley Drive		70	0.33
Hoist Drive	Rated load	25	0.28
	No load	50	0.28

## 3) 작업의 특성

본 연구에서 사용한 작업 생성분포 및 작업특성 비율 등은 대한민국 소재의 한 컨테이너 항만에서 수집한 데이터를 근거로 한다. 컨테이너를 블록 내부에 적치하는 반입 작업은 지수분포(exponential distribution)를 따라 생성되며, 반입된 컨테이너의 장치기간(dwell time)이 지난 뒤 반출작업이 생성된다. 컨테이너 터미널의 혼잡 시간대와 비혼잡 시간대를 현실적으로 모사하기 위해 반입 작업 생성 지수분포의 모수(평균)가 시간대에 따라 변경되도록 하였다. 예를 들어, 두 컨테이너 블록 내에 세 대의 야드 크레인 투입된 시나리오에서는 최대 혼잡시 평균적으로 610초, 최소 혼잡시 5,583초에 하나의 반입 작업이 생성된다. 각 컨테이너의 장치기간은 경험적(empirical) 분포(최소 0.25일, 최대 28.66일 수준)를 따른다. 반입 및 반출 작업은 해측작업(우선순위 높음)과 육측작업(우선순위 낮음)으로 한 번 더 구분되며, 해측 대 육측작업의 비율은 (63.5 : 36.5)로 설정하였다.

반출작업 대상 컨테이너 상단에 존재하는 컨테이너들을 이동시키는 재취급(re-handling) 작업은 동일 베이 내에서만 수행되며, 빈 공간이 존재하는 가장 인접한 로우를 이동위치로 선택한다. 각 베이 내에는 4개 이상의 여유공간(buffer)을 두어 동일 베이 내 재취급이 항상 가능하도록 하였다. 반입 또는 반출을 위해 컨테이너 야드에 도착한 차량은 한 번에 하나의 컨테이너만 실을 수 있는 것으로 가정하였다.



### 3.2 목적 함수

본 연구에서 제시하는 점수기반 작업배정 로직은 차량의 평균 턴타임(turn time 또는 turnaround time :  $TT$ )을 최소화하는 것을 목표로 한다. 본 연구에서 사용되는 차량은 해측작업을 위한 야드 차량(yard truck)과 외부차량(road truck)이 있으며, 평균 턴타임 계산 시 두 종류의 차량이 모두 고려된다. 본 연구에서는 턴타임을 아래 Figure 5에 예시된 것과 같이 왼쪽 블록 끝의 시작지점(start)으로부터 오른쪽 블록 끝이 종료지점(end)까지 소요된 시간으로 정의한다. 차량의 턴타임에는 이동에 소요된 시간, 목적지(베이) 도착 후 크레인의 작업을 대기한 시간, 그리고 크레인이 작업한 시간이 포함된다. 평균 턴타임 외에도 추가적인 성능지표로 최대 턴타임을 함께 확인한다.

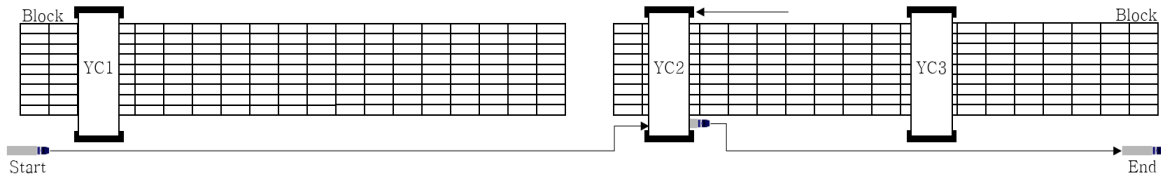


Figure 5. Explanation on how turnaround time is measured

## 4. 점수기반 작업배정 로직

### 4.1 점수의 구성

크레인의 성능에 영향을 미치는 다양한 변수를 추출하여 항만에서의 크레인 성능을 평가하기 위한 실험을 진행했다. 해측과 육측의 우선순위, 현재 크레인과 작업 간의 거리, 초기 크레인 위치와 작업 간의 거리, 작업 소요 시간, 리핸들링 시간, 작업 대기 개수, 대기 시간 등의 변수를 추출하여 목적함수로 설정한 작업 턴타임을 최소화하는 데 어떤 변수가 긍정적인 영향을 미치는지 확인하였다. 실험 결과, 크레인과 작업 간의 거리, 대기 시간, 작업 소요 시간 변수가 작업 턴타임을 유의미하게 줄이는 데 긍정적인 효과를 나타내는 것으로 확인되었으며, 이들을 점수 로직의 구성 요소로 선택했다.

본 연구에서 제시하는 다중 야드 크레인의 점수기반 작업배정 로직에 사용되는 표기법은 아래 Table 2에 제시된 바와 같다. 거리( $D$ )의 단위는 베이의 개수를 사용하며, 이를 제외한 모든 단위는 시간(초)으로 관리한다. 거리( $D$ )는 특정 크레인으로부터 특정 작업까지의 거리(베이 개수)를 의미한다. 대기시간( $WT$ )은 작업이 생성된 시간과 현재시간의 차이로 계산되며, 작업소요시간( $PT$ )은 특정 크레인에 기할당된 작업을 포함하여 새로운 작업이 할당 되었을 때 계산(예상)되는 작업소요시간 즉, 새로 할당된 작업이 종료되기까지의 예상 소요시간을 의미한다. 재취급시간( $RT$ )은 모의실험 데이터를 기반으로 최소값, 최빈값, 최대값을 추출하여 삼각분포로 적용하였다. 본 연구에서는 작업의 턴타임( $TT$ )을 최소화하는 것을 목표로 한다.

Table 2. Notations used for constructing the score-based dispatching logic

Notation		Definition
$D$	Distance	Number of bays from a crane's position to a job
$AT$	Arrival Time	Vehicle arrival time to the system (container blocks)
$WT$	Wait Time	Current time minus a job's $AT$
$ST$	Start Time	Time of job start (crane arriving at the vehicle's bay position)
$RT$	Re-handling Time	Expected time for re-handling for a job $RT \sim tri(40, 90, 458) \times (\text{number of containers stacked on top})$
$PT$	Processing Time	Expected processing time of a job using a crane $PT_{curr} = RT + PT_{prev}$
$CT$	Completion Time	Time of job completion (vehicle leaving the container blocks)
$TT$	Turnaround Time	$CT - AT$

본 연구의 점수기반 작업배정 로직에서 점수(score)는 아래 수식(1)에 나타난 것과 같이 거리( $D$ ), 대기시간( $WT$ ), 작업소요시간( $PT$ ) 변수(factor)에 대한 함수로 정의된다. 각 변수는 정규화(min-max scaling normalization)를 적용하여 0과 1 사이의 값으로 변환한 뒤 점수를 계산하는 데 사용하였다. 수식에 나타난 것과 같이 각 변수에는 가중치( $\alpha, \beta, \gamma$ )가 곱해져 더해지며, 점수가 낮을수록 유리한 작업으로 판단한다. 다양한 환경에서의 최적 가중치 조합 ( $\alpha, \beta, \gamma$ )는 시뮬레이션 실험을 통해 도출한다.

$$Score(D, WT, PT) = \alpha \times D + \beta \times (1 - WT) + \gamma \times PT \quad (1)$$

## 4.2 점수의 계산 및 작업배정

새로운 작업이 생성되거나 야드 크레인의 작업이 완료되었을 때, 각 야드 크레인에 할당할 다음 작업을 결정하기 위해 점수기반의 작업배정 로직을 사용한다. 점수 계산에 의한 작업배정은 크게 두 가지 과정을 통해 실행된다. 첫 번째는 작업을 크레인에 할당하는 과정이며, 두 번째는 크레인에 할당된 작업 중 가장 점수가 좋은(값이 작은) 작업을 선택하는 과정이다.

점수를 계산하는 시점의 크레인 위치를 기반으로 컨테이너 블록의 영역을 아래 Figure 6에 예시된 것과 같이 구분할 수 있다. 예시된 그림에서 1번 영역(Area1)에 존재하는 작업은 1번 야드 크레인(YC1)만 접근할 수 있으며, 4번 영역(Area4)의 작업은 3번 야드 크레인(YC3)만 접근할 수 있다. 본 연구에서는 비교차(non-crossing) 형태의 크레인을 가정하므로, 별도의 점수 계산 없이 1번 영역의 작업은 1번 크레인으로, 4번 영역의 작업은 3번 크레인으로 할당한다. 반면, 두 대의 크레인이 접근할 수 있는 2번 영역(Area2)과 3번 영역(Area3)에 존재하는 작업은, 점수 계산을 통해 일차적으로 야드 크레인에 할당한다.

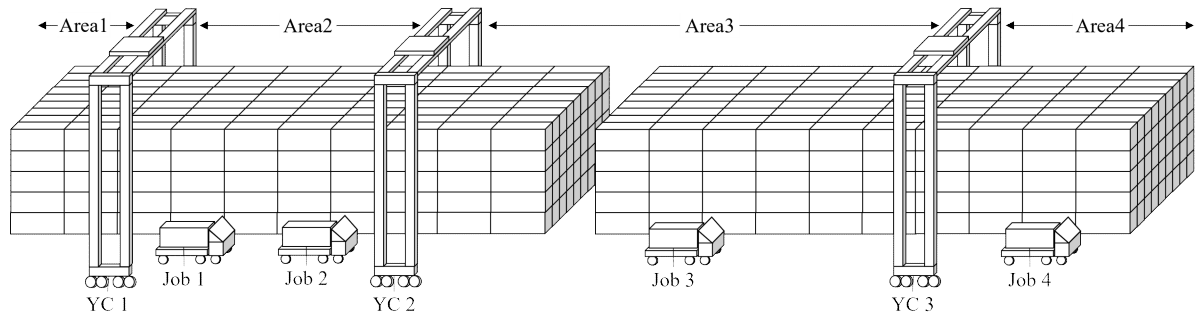


Figure 6. An example state of 2-block 3-crane environment

앞서 크레인에 작업을 할당하는 과정에서는 다수의 작업이 동일한 크레인에 할당되는 것이 허용된다. 이후, 각 크레인에 할당된 여러 작업 중에서 가장 우수한(값이 작은) 점수를 갖는 작업을 선택하도록 한다. 아래 Table 3에 제시된 예시는 Figure 6과 같은 상황에서 세 대의 야드 크레인이 모두 가용상태일 때를 가정한다. 해당 표에서는 각 크레인에 작업이 할당되는 과정과 할당된 작업 중 실행할 작업을 선택하는 과정을 확인할 수 있다. 각 변수( $D$ ,  $PT$ ,  $WT$ )는 각 min-max 정규화가 적용되어 0과 1 사이의 값으로 나타난다. 표에서 확인할 수 있듯, 크레인에 의해 구분된 영역(Area)과 작업의 생성 위치(Bay)에 따라 일부 점수가 계산되지 않는 작업-크레인(Job-YC) 조합이 존재한다. 최종 점수를 기반으로, 1번 야드 크레인(YC1)은 1번 작업(Job1)을, 2번 야드 크레인(YC2)은 2번 작업(Job2)을, 3번 야드 크레인(YC3)은 4번 작업(Job4)을 실행한다. 남아 있는 작업(Job3)은 다음 점수계산 시점(가용 상태의 야드 크레인이 생겨났을 때 등)에 점수기반 로직에 의해 크레인에 배정된다.

Table 3. An example of normalized score calculations with  $(\alpha, \beta, \gamma) = (1, 1, 1)$

Job	Area	Bay	Normalized score calculation												Execute now
			YC1			YC2			YC3			YC assign	WT	Final score	
			D	PT	Score	D	PT	Score	D	PT	Score				
1	2	15	0.052	0.219	0.271	0.513	0.585	1.098	-	-	-	1	0	0.271	TRUE
2	2	35	0.564	0.514	1.055	0.154	0.291	0.446	-	-	-	2	0.235	0.681	TRUE
3	3	65	-	-	-	0.615	0.516	1.131	0.410	1.107	1.517	2	0.601	1.732	False
4	4	95	-	-	-	-	-	-	0.154	0.841	0.995	3	0.002	0.997	TRUE

## 5. 실험

### 5.1 시뮬레이션 구성

본 연구에서는 Figure 7에 제시된 시뮬레이션 흐름도에 따라 AutoMod 시뮬레이션(아래 Figure 8 참조)을 구성하였다. 먼저, 컨테이너 반입 작업은 시간대별로 구분된 지수분포에 의해 생성된다. 반입된 컨테이너에는 임의의 장치기간이 설정되며, 장치기간 이후에는 반출작업이 생성된다. 생성된 반입 및 반출작업은 작업 목록(working list)에 포함되며, 점수기반 작업배정 로직은 작업 목록 내에 존재하는 작업들을 대상으로 실행된다. 점수의 계산 및 작업배정의 실행은 새로운 작업이 작업 목록에 포함된 시점 또는 야드 크레인이 가용상태(idle)인 시점에 수행된다.

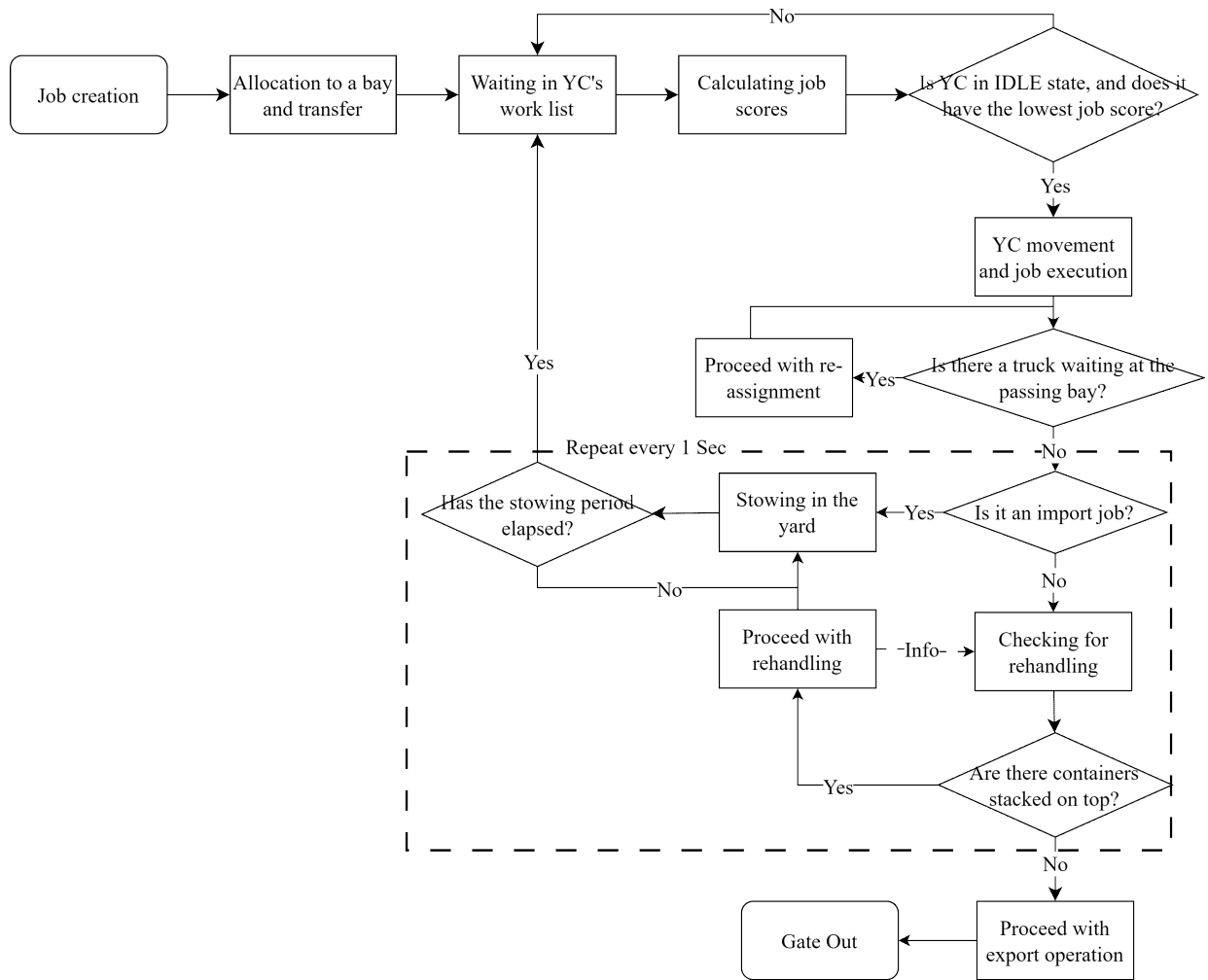
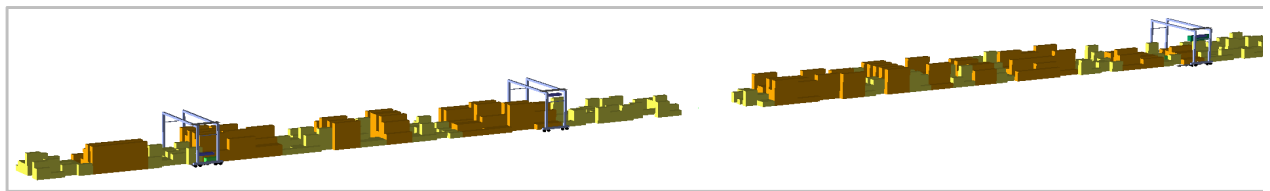


Figure 7. Flow chart for the AutoMod simulation model



(a) Top view of the 2-block 3-crane simulation model



(b) Bird's eye view of the 2-block 3-crane simulation model

Figure 8. AutoMod simulation model constructed for experiments

작업의 재할당(re-assign)은 특수한 조건에서만 실행된다. 첫 번째로, 야드 크레인이 특정 작업을 수행하기 위해 이동 중에 새로운(점수 계산 시 작업 목록에 존재하지 않았던) 작업의 차량이 크레인의 경로 상에 발견된 경우, 새로운 작업을 먼저 수행 후 기존의 목표 작업을 수행한다. 두 번째로, 야드 크레인이 특정 작

업을 수행하기 위해 특정 베이에 도착했으나, 목표 차량이 다른 작업을 대기하는 차량에 의해 가로막힌 경우, 먼저 도착해 있던 차량의 작업을 먼저 수행 후 기존의 목표 작업을 수행한다. 목표 컨테이너 상단에 다른 컨테이너가 쌓여있다면 재취급(re-handle) 작업을 수행한다. 재취급 작업은 동일 베이 내에서만 수행되며, 빈 공간이 존재하는 가장 인접한 로우를 이동위치로 선택한다.

실험을 통해 야드 블록 내에 존재하는 컨테이너 장치량(반입 컨테이너의 최대장치기간은 28.66일 수준)을 분석하여 30일의 워업(warm-up) 기간을 설정하였다. 한 번의 실험 복제(replication)에는 총 60일 기간(워업 30일과 실험 30일)에 대한 시뮬레이션을 실행하였고, 총 5번의 복제를 진행하였다.

본 실험을 진행한 환경은 13th Gen Intel(R) Core(TM) i5-13600K, 3500Mhz, 14 Cores, 20 Logical Processors이고, 32GB 메모리를 사용하였다. AutoMod® x64 14.5을 이용하여 시뮬레이션을 구성하였으며, 총 실험 기간은 평균 125.365초 이다.

Table 4. Experimental environment and time

	Specification
Processor	13th Gen Intel(R) Core(TM) i5-13600K, 3500Mhz, 14 Cores, 20 Logical Processors
Memory	32GB
Simulation	AutoMod® x64 14.5
CPU time	125.365 sec

## 5.2 실험 시나리오

본 연구에서 제시하는 점수기반 작업배정 로직의 효율성을 확인하기 위해 구성한 실험 시나리오는 아래 Table 5에 정리된 바와 같다. 점수기반 작업배정 로직(Score)의 비교 대상으로는 선착순(FCFS), 최근접(NFS), 최단공정시간(shortest processing time : SPT) 작업배정 규칙을 사용하였다. 선착순 작업배정 규칙에서는 처음 작업 목록에 포함된 시간 순서대로 작업을 실행한다. 최근접 작업배정 규칙은 작업 목록에 존재하는 작업 중 야드 크레인으로부터의 거리가 가까운 작업을 우선적으로 실행한다. 최단공정시간 작업배정 규칙은 작업 목록에 존재하는 작업 중 소요시간이 가장 짧은 것으로 예상되는 작업을 먼저 처리한다.

Table 5. Scenarios and subscenarios with different number of cranes within two container blocks

Dispatching rules		Number of cranes		Cranes switch blocks				Cranes do not switch blocks	
		1	2	3	4	(1, 1)	(2, 2)		
FCFS	First come first served	Scenarios are created for each matching combination							
NFS	Nearest first served								
SPT	Shortest processing time								
Score	Score-based dispatching logic to minimize average turnaround time	Scenarios are created for each matching combination Further subscenarios are created to find the best weight combination $\alpha = [0, 0.25, 0.5, 0.75, 1]$ $\beta = [0, 0.25, 0.5, 0.75, 1]$ $\gamma = [0, 0.25, 0.5, 0.75, 1]$							
	Score-based dispatching logic to minimize maximum turnaround time								

모든 실험 시나리오에서 컨테이너 블록의 개수는 두 개로 동일하지만, 사용되는 야드 크레인의 대수는 한 대부터 네 대까지의 시나리오를 생성하였다. RTGC의 운영 특성과 같이 야드 크레인의 블록 간 이동이 허용되는 경우(switch blocks)와 그 반대의 경우(do not switch blocks)를 구분하였으며, 후자의 경우 각 컨테

이너 블록에서 한 대씩의 야드 크레인을 사용하는 경우(1, 1)와 두 대씩의 야드 크레인이 사용하는 경우(2, 2)로 시나리오를 구성하였다.

점수기반 작업배정 로직은 이를 구성하고 있는 각 변수( $D, PT, WT$ )에 대한 가중치( $\alpha, \beta, \gamma$ )에 따라 본 연구에서 최소화하고자 하는 평균 및 최대 턴타임( $TT$ ) 성능지표가 달라진다. 이에 따라, 점수기반 작업배정 로직에 대해서는 크레인의 대수(1대~4대) 및 특성(블록 간 이동 가능 또는 불가능), 그리고 목표 성능지표(평균 또는 최대 턴타임)에 따른 가중치 조합을 탐색한다. 각 점수 변수는 0~1 사이의 숫자로 정규화된 상태이며, 이들에 곱해지는 각 가중치의 설정범위 또한 0~1 사이에서 탐색을 진행하였다.

### 5.3 실험 결과

#### 1) 점수기반 작업할당 로직의 크레인 대수 및 가중치에 따른 턴타임 변화

아래 Table 6~9은 한 대 또는 세 대의 야드 크레인이 투입된 시나리오에서 점수기반 작업배정 로직의 각 변수에 대한 가중치( $\alpha, \beta, \gamma$ )를 달리하여 도출한 평균 턴타임과 최대 턴타임 결과 값을 제시하고 있다. 표에서 녹색은 낮은 턴타임(긍정적 결과), 적색은 높은 턴타임(부정적 결과)을 나타낸다. 거리( $D$ )에 대한 가중치가 전혀 없는 경우( $\alpha = 0$ ), 평균 및 최대 턴타임이 크게 증가하는 것으로 확인되었으며, 이를 최적 가중치 조합을 탐색하는 과정에서 제외하였다.

한 대의 크레인이 투입된 시나리오에서의 평균 턴타임을 최소화하기 위한 최적 가중치는 거리에만 집중한 ( $\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 0$ )임을 확인하였다(Table 6 참조). 최대 턴타임은 대기시간( $WT$ )에 대한 가중치인  $\beta$ 가 0일 때 값이 증가하고 1에 가까울수록 감소하는 경향을 나타냈으며, 최대 턴타임이 최소화되는 최적 가중치는  $\alpha$ 와  $\beta$ 값이 동일하면서  $\gamma = 0$ 인 상황에서 나타난다(Table 7 참조).

세 대 크레인의 시나리오에서는 평균 턴타임을 최소화하는 최적 가중치가 ( $\alpha = 1, \beta = 0.75, \gamma = 0.5$ )로 도출되었으며, 평균 턴타임을 최소화하는 가중치 조합의 1순위부터 3순위까지 0의 가중치를 갖는 변수는 없었다(Table 8 참조). 즉, 해당 시나리오에서 세 개의 변수가 균형적으로 고려되어야만 평균 턴타임을 최소화할 수 있다. 특히, 변수 중 작업소요시간( $PT$ )을 무시했을 때( $\gamma = 0$ ) 평균 턴타임을 크게 증가하는 것으로 확인된다(Table 8 참조). 최대 턴타임을 최소화하는 가중치는 ( $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 0.25$ )로 나타났다. 대기시간( $WT$ )의 가중치  $\beta$ 값이 너무 작거나 작업소요시간( $PT$ )의 가중치  $\gamma$ 값이 너무 큰 경우 최대 턴타임을 최소화하는 목표에 악영향을 주는 것으로 확인된다(Table 9 참조). 세 대의 크레인을 운영하는 시나리오에서는 대기시간 변수가 주요한 영향을 미치며, 거리 및 작업소요시간은 비슷한 수준의 중요도를 갖는다.

참고로, 해당 실험에서는 가중치들을 일정한 비율로 조합했을 때 동일한 결과를 도출하고 있음을 확인할 수 있다. 예를 들어, 크레인이 1대일 때, ( $\alpha, \beta, \gamma$ )가 (0.25, 0.25, 0.25), (0.5, 0.5, 0.5), (0.75, 0.75, 0.75), (1, 1, 1)과 같은 비율을 갖는 경우에는 모두 675로 동일한 평균 턴타임을 나타낸다. 현재처럼 값을 특정하고 구간을 나누는 방식으로 실험을 진행하면 많은 경우 동일한 결과를 얻을 수 있으며, 전통적인 할당 방법과 유사한 결과를 얻을 수 있다. 더불어, 현재의 가중치 조합 탐색 방법은 특정 범위 내의 가중치만을 고려한 것이었지만, 향후 연구에서는 확률 경사하강법(stochastic gradient descent)과 유전 알고리즘(GA)을 도입하여 가중치 탐색 방법을 실험하고, 다양한 가중치 조합에 대한 성능을 평가하며 각 변수의 효과와 영향을 비교하고자 한다.

Table 6. Average turnaround time for different  $(\alpha, \beta, \gamma)$  in 2-block 1-crane scenario (unit: sec)

$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1
0	<b>615</b>	637	722	712	821	0	<b>615</b>	636	637	669	722	0	<b>615</b>	638	632	637	677	0	<b>615</b>	618	636	627	637
0.25	655	675	728	731	733	0.25	656	643	645	670	682	0.25	638	628	650	655	654	0.25	642	634	620	628	645
0.5	757	766	775	764	793	0.5	655	696	675	675	728	0.5	649	647	664	669	675	0.5	656	645	643	648	645
0.75	803	806	831	774	898	0.75	694	713	745	709	783	0.75	655	675	671	675	690	0.75	657	667	649	667	650
1	828	836	823	883	917	1	757	728	766	749	775	1	697	711	716	730	721	1	655	670	696	662	675

(a)  $\alpha = 0.25$  (b)  $\alpha = 0.5$  (c)  $\alpha = 0.75$  (d)  $\alpha = 1$

Table 7. Maximum turnaround time for different  $(\alpha, \beta, \gamma)$  in 2-block 1-crane scenario (unit: sec)

$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1
0	5090	6191	7836	6737	8428	0	5090	5923	6191	7117	7836	0	5090	7396	6509	6191	7140	0	5090	5546	5923	5458	6191
0.25	<b>3345</b>	4254	6548	4708	4564	0.25	3595	<b>3373</b>	4309	4737	5011	0.25	4074	3701	4108	4124	4737	0.25	3973	4456	4528	4124	4875
0.5	4546	4890	4378	4028	5225	0.5	<b>3345</b>	3483	4254	3783	6548	0.5	3679	3973	4441	3537	3960	0.5	3595	3626	<b>3373</b>	3741	4309
0.75	4964	5123	4790	5407	5467	0.75	3498	4509	3914	3882	5257	0.75	<b>3345</b>	3521	3356	4254	4618	0.75	3441	3542	3904	4934	4128
1	4822	5210	4888	6185	5793	1	4546	<b>3444</b>	4890	6843	4378	1	4282	4360	3546	4238	4679	1	<b>3345</b>	3542	3483	3466	4254

(a)  $\alpha = 0.25$  (b)  $\alpha = 0.5$  (c)  $\alpha = 0.75$  (d)  $\alpha = 1$

Table 8. Average turnaround time for different  $(\alpha, \beta, \gamma)$  in 2-block 3-crane scenario (unit: sec)

$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1
0	401	388	388	391	393	0	401	381	388	386	388	0	401	383	386	388	385	0	401	387	381	389	388
0.25	398	384	388	391	393	0.25	403	385	385	386	389	0.25	400	385	390	383	387	0.25	406	383	383	386	383
0.5	402	384	384	389	393	0.5	398	382	384	388	388	0.5	401	384	388	383	386	0.5	403	384	385	387	385
0.75	400	385	386	391	391	0.75	396	382	382	387	388	0.75	398	383	387	384	389	0.75	397	387	<b>379</b>	387	384
1	400	<b>380</b>	388	385	394	1	402	<b>380</b>	384	388	384	1	404	385	383	382	385	1	398	384	382	381	401

(a)  $\alpha = 0.25$  (b)  $\alpha = 0.5$  (c)  $\alpha = 0.75$  (d)  $\alpha = 1$

Table 9. Maximum turnaround time for different  $(\alpha, \beta, \gamma)$  in 2-block 3-crane scenario (unit: sec)

$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1	$\beta \backslash \gamma$	0	0.25	0.5	0.75	1
0	<b>3379</b>	2449	2548	2897	2772	0	<b>3379</b>	2341	2449	2590	2548	0	<b>3379</b>	2581	2289	2449	2502	0	<b>3379</b>	2960	2341	2415	2449
0.25	2089	2119	2703	2916	2772	0.25	2825	2316	2654	2421	2675	0.25	2891	2300	2921	2463	2499	0.25	2949	2471	2393	2657	2837
0.5	2097	2267	2488	2687	2335	0.5	2089	2342	2119	2851	2703	0.5	2516	2301	2351	2140	2487	0.5	2825	2228	2316	2790	2654
0.75	2221	2384	2159	2292	2499	0.75	2331	<b>1994</b>	2352	2324	2344	0.75	2089	2197	2375	2119	2394	0.75	2392	2295	2160	2600	2958
1	2130	2003	2159	2347	2512	1	2097	<b>1980</b>	2267	2272	2488	1	2385	2389	2161	2307	2312	1	2089	<b>1973</b>	2342	2087	2691

(a)  $\alpha = 0.25$  (b)  $\alpha = 0.5$  (c)  $\alpha = 0.75$  (d)  $\alpha = 1$

## 2) 점수기반 작업할당 로직의 크레인 대수에 따른 최적 가중치

본 연구에서 구성한 모든 시나리오에 대한 점수기반 작업배정 로직 가중치를 탐색한 결과는 아래 Table 10에 요약된 바와 같다. 최소화하려는 성능지표(평균 또는 최대 턴타임)에 따라, 그리고 크레인의 대수(1대~4대)에 따라 다른 가중치를 적용하는 것이 유리하다는 것을 표에서 확인할 수 있다. 사용하는 야드 크레인



인 대수가 한 대인 경우, 평균 턴타임을 줄이기 위해 작업과 크레인 사이의 거리( $D$ )에 집중해야며, 최대 턴타임을 최소화하고자 하는 경우 거리( $D$ )와 함께 대기시간( $WT$ )을 같은 비율로 고려하면 된다. 두 대 이상의, 즉 다중 야드 크레인이 사용되는 경우에는 평균 및 최대 턴타임을 최소화하기 위해서는 거리( $D$ ), 대기시간( $WT$ ), 작업소요시간( $PT$ )의 세 가지 변수를 모두 사용하는 것이 유리한 것으로 확인하였다.

Table 10. Best combination of  $(\alpha, \beta, \gamma)$  found for score-based dispatching logic in different scenarios

Objective function	Number of cranes					
	Cranes switch blocks				Cranes do not switch blocks	
	1	2	3	4	(1, 1)	(2, 2)
Minimize average turnaround time	(1, 0, 0)	(1, 0.25, 0.5)	(1, 0.75, 0.5)	(0.25, 0.25, 0.75)	(0.75, 1, 0)	(0.5, 0.75, 0)
Minimize maximum turnaround time	(1, 1, 0)	(0.5, 1, 0.25)	(1, 1, 0.25)	(0.5, 1, 0.25)	(0.75, 0, 0.25)	(1, 0.75, 0.25)

### 3) 점수기반 작업할당 로직과 세 가지 작업배정 규칙 비교

본 연구에서 제시하는 점수기반 야드 크레인 작업배정 로직의 성능을 확인하기 위해 세 가지 작업배정 규칙과의 비교를 진행하였으며, 결과를 Figure 9에 제시하였다. 비교 대상으로는 선착순(FCFS), 최근접(NFS), 최단공정시간(SPT) 작업배정 규칙을 사용하였으며, 점수기반 작업배정 로직에는 앞서 Table 10에 정리된 상황별 최적 가중치를 적용하였다. Figure 9에는 점수기반 작업배정 로직의 두 가지 가중치 조합 즉, 평균 턴타임 최소화 가중치를 사용한 결과( $S_{avg}$ )와 최대 턴타임 최소화 가중치를 사용한 결과( $S_{max}$ )를 함께 표시하였다.

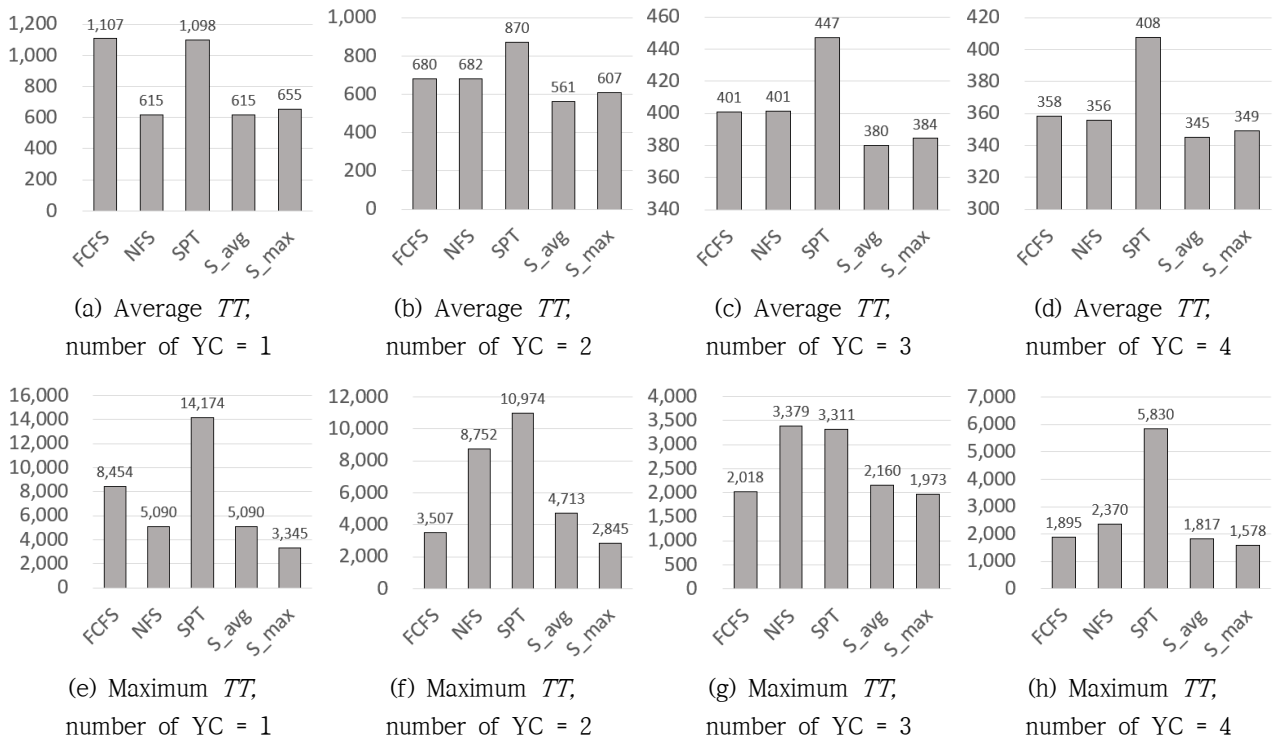


Figure 9. Score-based dispatching logic performance comparison against three dispatching rules

점수기반 작업배정 로직에서 한 대의 야드 크레인을 사용하여 평균 턴타임을 최소화하고자 하는 경우, 거리( $D$ )에 대한 가중치만 사용하게 된다. 이에 따라, 평균 턴타임을 최소화 가중치를 적용한 결과( $S_{avg}$ )는

최근접(NFS)규칙에 의한 결과와 동일하게 나타났다. 그러나 다중 크레인이 사용될 경우(2대~4대), 점수기반 작업배정 로직이 다른 규칙에 비해 낮은 평균 턴타임을 도출하였다. 최대 턴타임을 최소화하는 가중치 조합을 적용한 경우에서도 점수기반 작업배정 로직의 효율성을 확인할 수 있다. 크레인의 대수에 상관없이 점수기반 작업배정 로직이 가장 짧은 최대 턴타임을 기록하였다. 특히, 크레인의 대수가 네 대일 때에는 평균 또는 최대 턴타임 가중치에 상관없이( $S_{avg}$  또는  $S_{max}$ ) 타 배정규칙에 비해 짧은 최대 턴타임을 도출하였다.

최대 턴타임을 최소화하는 가중치 조합을 사용한다면 평균 턴타임 최소화 가중치를 사용했을 때에 비해 증가된 평균 턴타임을 도출할 수 있다. 이러한 차이는 투입된 크레인의 대수가 많아질수록 줄어드는 경향이 확인된다(야드 크레인이 두 대일 때 약 8%, 세 대 또는 네 대일 때에는 약 1%의 차이).

#### 4) 블록 간 이동 허용 여부에 따른 턴타임 변화

동일한 대수의 야드 크레인이 투입되더라도 크레인의 블록 간 이동 허용 여부에 따라 턴타임 성능지표가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 블록 간 이동이 가능한 RTGC의 유연한 이동성의 장점을 정량적으로 확인하기 위한 추가적인 시나리오를 구성하였다. 실험을 위해 각 컨테이너 블록에서 한 대씩의 야드 크레인만을 고정적으로 사용하는 경우(1, 1)와 두 컨테이너 블록을 오갈 수 있는 두 대의 야드 크레인을 사용하는 경우를 비교하였으며, 두 배의 야드 크레인이 사용된 (2, 2)와 네 대의 야드 크레인의 상황을 비교하였다. 실험 결과를 Figure 10에서 확인할 수 있다.

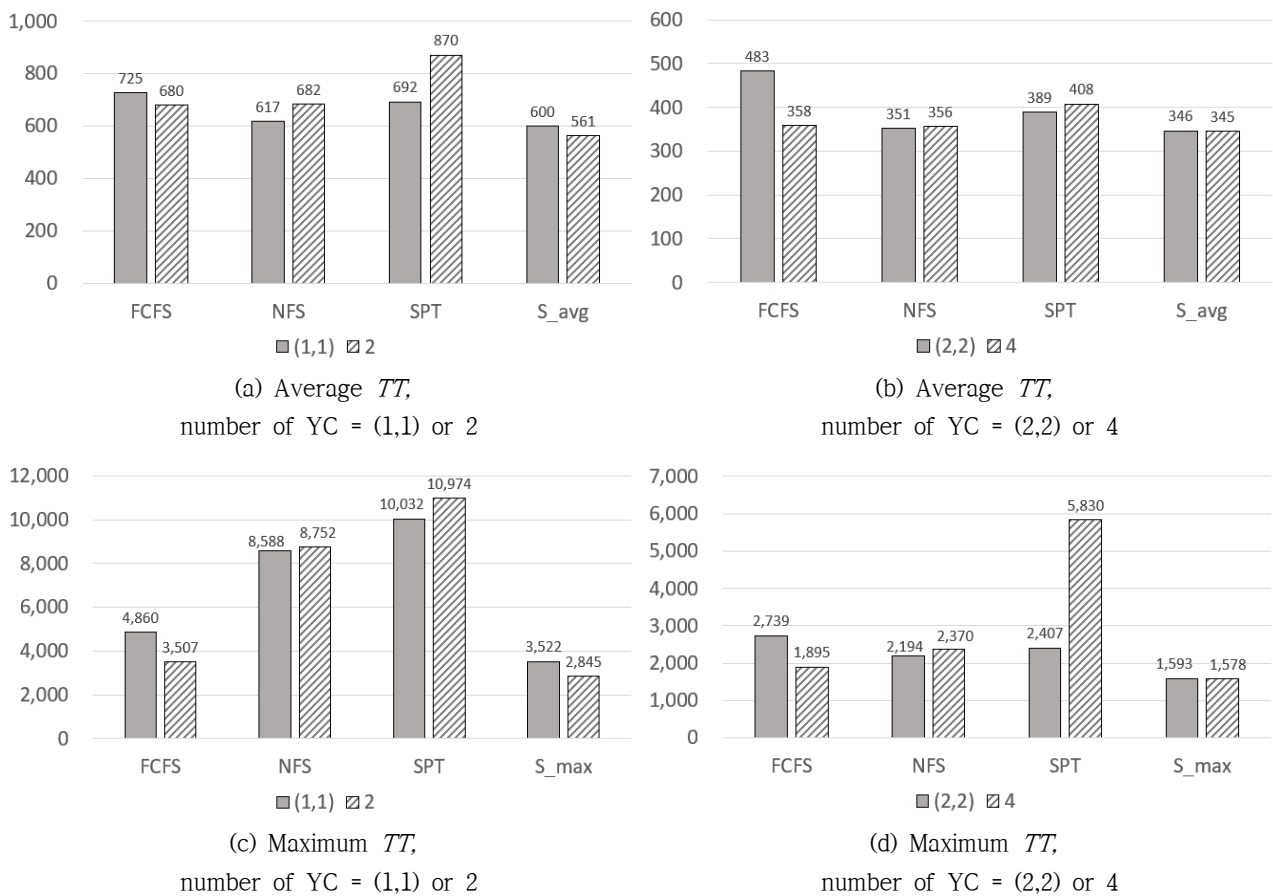


Figure 10. Performance comparison of scenarios, where cranes can switch blocks or cannot switch blocks

선착순(FCFS) 규칙 또는 점수기반 작업배정 로직이 사용되는 상황에서는 야드 크레인의 블록 간 이동이 가능해졌을 때 평균 및 최대 턴타임을 감소시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 총 두 대의 크레인이 존재할 때 블록 간 이동은 선착순 규칙 하에서 평균 턴타임을 6.3%, 최대 턴타임을 27.8% 감소시켰으며, 점수기반 작업배정 로직 하에서는 평균 턴타임 6.4%, 최대 턴타임 8.2% 수준의 감소 효과가 나타났다. 총 네 대의 크레인을 가정했을 때에도 블록 간 이동이 선착순 규칙 및 점수기반 작업배정 로직에서 효과적인 것으로 확인되었다. 크레인이 네 대일 때 선착순 규칙에서는 평균 턴타임을 25.9%, 최대 턴타임을 34.5% 감소하였으며, 점수기반 작업배정 로직은 평균 및 최대 턴타임을 아주 약간(1% 미만) 감소시킬 수 있었다. 한편, 최근접(NFS) 및 최단작업시간(SPT) 규칙에서는 블록 간 이동을 허용하지 않는 편이 더 효율적인 운영 방식인 것으로 확인되었다.

## 6. 논의 및 결론

RTGC는 유연한 이동성(블록 간 이동)을 포함하여 여러 장점을 갖지만, 대부분 디젤 내연기관을 사용하고 있기 때문에 RMGC 대비 에너지 소모량과 유지비용이 높다는 단점이 있다(Sha et al., 2017). 그럼에도, RTGC 시장의 복합연간성장률이 4.7%(2022년에서 2030년)로 조사되는(Global Industry Analysts Inc., 2023) 등, 전 세계 항만에서 RTGC를 계속해서 운영할 것으로 예상된다. 이를 위해 기존 RTGC를 개조하는 자동화 전략(Korea Maritime Institute, 2020)과 함께, 전기 또는 하이브리드 전환을 통해 에너지 소모량과 탄소 배출량 감축 방안이 활발하게 연구되고 있다(Ding et al., 2021; Kusakana, 2021; Lin et al., 2022). RTGC의 특성을 반영한 야드 크레인 작업배정 로직 효율화를 도모하는 본 연구 또한 이러한 추세에 합치하는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 항만 야드 크레인을 효율적으로 실시간 배정하기 위한 점수기반 작업배정(score-based dispatching) 로직을 제시하였다. 문헌연구를 통해 동적으로 변화하고 불확실성이 높은 항만의 환경에서는 최적의 작업계획(scheduling)에 비해 즉각적인 작업배정(dispatching) 방식이 현실적인 접근법임을 확인하였다. 본 연구는 RMGC와 비교되는 RTGC의 유연한 이동성(크레인의 블록 간 이동)을 적극적으로 검토하기 위해 두 개의 컨테이너 블록 내에 투입되는 크레인 대수가 최소 한 대부터 최대 네 대까지인 상황을 고려하였으며, 야드 크레인의 블록 간 이동 가능 여부에 따른 성능지표 차이를 확인하였다.

점수기반 작업배정 로직에서는 각 작업이 각 야드 크레인에 의해 실행되었을 때의 점수를 계산하며, 가장 우수한 점수를 갖는 작업이 선택되어 실행된다. 점수의 계산에는 야드 크레인과 작업 간의 거리, 작업의 대기시간, 예상 작업소요시간의 세 가지 변수(factor)가 사용된다. 각 변수에 개별 가중치를 곱한 합산으로 점수가 계산되며, 가중치는 다양한 시나리오에서 상황에 맞는 최적의 조합을 찾아 사용하게 된다.

각 변수의 Min-Max 정규화에는 실험을 통해 얻은 고정된 변수를 사용하였다. 그러나 항만 환경이 변화함에 따라 정규화 변수가 조정되어야 할 필요가 있다. 향후 연구에서는 민감도 분석 및 대안 정규화 기법에 대한 조사를 통해 데이터 정확도를 향상시키고자 한다.

점수기반 작업배정 로직의 성능을 확인하기 위해 AutoMod 시뮬레이션 실험을 진행하였다. 성능지표로는 평균 턴타임과 최대 턴타임을 사용하였으며, 비교 대상으로는 선착순, 최근접, 최단작업시간 작업배정 규칙을 선정하였다. 시뮬레이션 실험 결과, 다중 크레인(2대~4대)의 모든 시나리오에서는 점수기반 작업배정 로직의 성능이 타 규칙에 비해 우수한 것으로 확인되었다. 추가적인 실험을 통해 크레인의 블록 간 이동(RTGC의 특성)이 가능한 경우, 그렇지 않은 경우에 비해 성능지표를 개선할 수 있다는 사실을 확인하였다. 점수기반 작업배정 로직에서도 블록 간 이동에 의한 개선효과를 확인할 수 있었으며, 크레인의 대수가 증가할수록 개선의 정도는 감소하였다.

본 연구에서는 선착순, 최근접, 최단시간 작업배정 규칙과 함께 점수기반의 작업할당 로직을 비교했다. 그러나 동적인 항만 상황에 더 효과적으로 대응하기 위해 새로운 작업할당 로직들이 도입되고 있다. 향후 연구에서는 플래닝 윈도우 기반의 작업할당 로직과 A\* 검색 알고리즘과 같은 다양한 알고리즘들을 점수기반의 작업배정 방식과 비교하여 성능을 평가해보고자 한다.

## 참고문헌

- Blackstone, J. H., Phillips, D. T., & Hogg, G. L. (1982). A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations. *International Journal of Production Research*, 20(1), 27-45. <https://doi.org/10.1080/00207548208947745>
- Briskorn, D., & Zey, L. (2018). Resolving interferences of triple-crossover-cranes by determining paths in networks. *Naval Research Logistics*, 65(6-7), 477-498. <https://doi.org/10.1002/nav.21819>
- Briskorn, D., & Zey, L. (2020). Interference aware scheduling of triple-crossover-cranes. *Journal of Scheduling*, 23(4), 465-485. <https://doi.org/10.1007/s10951-019-00634-6>
- Carlo, H. J., Vis, I. F. A., & Roodbergen, K. J. (2014). Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 412-430. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.054>
- Chu, F., He, J., Zheng, F., & Liu, M. (2019). Scheduling multiple yard cranes in two adjacent container blocks with position-dependent processing times. *Computers and Industrial Engineering*, 136, 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.013>
- Ding, Y., Yang, Y., Heilig, L., Lalla-Ruiz, E., & Voss, S. (2021). Deployment and retrofit strategy for rubber-tyred gantry cranes considering carbon emissions. *Computers and Industrial Engineering*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107645>
- Global Industry Analysts Inc. (2023). Rubber Tired Gantry (RTG) Cranes - Global Strategic Business Report. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5304200/rubber-tired-gantry-rtg-cranes-global>
- Global Logistics Research Institute. (2009). Development of high-efficiency port cargo handling system technology.
- Guo, P., Wang, L., Xue, C., & Wang, Y. (2020). Dispatching Rules for Scheduling Twin Automated Gantry Cranes in an Automated Railroad Container Terminal. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(3), 2205-2217. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04176-z>
- Guo, X., Huang, S. Y., Hsu, W. J., & Low, M. Y. H. (2008). Yard crane dispatching based on real time data driven simulation for container terminals. 2008 Winter Simulation Conference, 2648-2655. <https://doi.org/10.1109/WSC.2008.4736380>
- Huang, S. Y., Guo, X., Hsu, W. J., & Lim, W. L. (2012). Embedding simulation in yard crane dispatching to minimize job tardiness in container terminals. *Proceedings Title: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*, 1-11. <https://doi.org/10.1109/WSC.2012.6465137>
- Huang, S. Y., Ya Li, & Guo, X. (2014). Yard crane dispatching to minimize vessel turnaround times in container terminals. *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, 1747-1758. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7020024>
- Korea Maritime Institute. (2020). KMI international logistics weekly, volume 530. [https://www.withlogis.co.kr/bbs/board.php?bo\\_table=research\\_weekly&wr\\_id=544](https://www.withlogis.co.kr/bbs/board.php?bo_table=research_weekly&wr_id=544)
- Korea Ministry of Oceans and Fisheries. (2021a). Container cargo volume recovers to pre-COVID levels in 2021. Korea Ministry of Oceans and Fisheries.
- Korea Ministry of Oceans and Fisheries. (2021b). Smart port maintenance and management technology

- developmnet. Korea Ministry of Oceans and Fisheries. [www.kimst.re.kr](http://www.kimst.re.kr)
- Korea Ministry of Oceans and Fisheries. (2022). Initiation of technology development for the introduction of domestic automated ports. Korea Ministry of Oceans and Fisheries.
- Kusakana, K. (2021). Optimal energy management of a retrofitted Rubber Tyred Gantry Crane with energy recovery capabilities. *Journal of Energy Storage*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103050>
- Lin, S., Zhen, L., & Wang, W. (2022). Planning low carbon oriented retrofit of diesel-driven cranes to electric-driven cranes in container yards. *Computers and Industrial Engineering*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108681>
- Liu, W., Zhu, X., Wang, L., Yan, B., & Zhang, X. (2021). Optimization approach for yard crane scheduling problem with uncertain parameters in container terminals. *Journal of Advanced Transportation*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5537114>
- Liu, Y. F., & Lee, C. B. (2019). A study on the structural changes of import & export containers between South Korea and China ports. *Korean Logistics Research Association*, 29(2), 1-12. <https://doi.org/10.17825/klr.2019.29.2.1>
- Navis. (2023). Navis N4 terminal operating system. Navis. <https://dev-navis.azurewebsites.net/en/products/terminal-operations/n4-terminal-operating-system#>
- Navis Collaboration Center. (2019). Container terminal retrofits, what's holding you back? Navis Collaboration Center. <https://collaboration.navis.com/blogDetails?id=9061M000000Qg5UQAS>
- Ng, W. C., & Mak, K. L. (2005). Yard crane scheduling in port container terminals. *Applied Mathematical Modelling*, 29(3), 263-276. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2004.09.009>
- Petering, M. E. H., Wu, Y., Li, W., Goh, M., & de Souza, R. (2009). Development and simulation analysis of real-time yard crane control systems for seaport container transshipment terminals. *OR Spectrum*, 31(4), 801-835. <https://doi.org/10.1007/s00291-008-0142-7>
- Port Technology International. (2020). Automation in 2020 and beyond. Port Technology International. <https://www.porttechnology.org/news/automation-in-2020-and-beyond/>
- Sha, M., Zhang, T., Lan, Y., Zhou, X., Qin, T., Yu, D., & Chen, K. (2017). Scheduling optimization of yard cranes with minimal energy consumption at container terminals. *Computers and Industrial Engineering*, 113, 704-713. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.03.022>
- Yu, D., Li, D., Sha, M., & Zhang, D. (2019). Carbon-efficient deployment of electric rubber-tyred gantry cranes in container terminals with workload uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 275(2), 552-569. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.12.003>
- Yu, X., Tang, G., Guo, Z., Song, X., & Yu, J. (2018). Performance Comparison of Real-Time Yard Crane Dispatching Strategies at Nontransshipment Container Terminals. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2018/5401710>

## 요약문

항만 자동화에 대한 필요성이 증대되고 있는데 항만의 타이어형 야드 크레인(rubber tired gantry crane, RTGC)의 유연성을 유지하면서 생산성을 올릴 수 있도록 개조하는(retrofit) 방법을 통해 자동화를 하는 전략이 주목받고 있다. RTGC는 특정 컨테이너 블록에 고정되지 않고 인접 블록으로의 이동이 가능하여 RMGC(Rail Mounted Gantry Crain)보다 그 유연성이 높다. 따라서 효율적인 운영을 위해서는 크레인 대수 변화와 같은 상황에 대처할 수 있는 작업배정 방법론이 요구된다. 본 연구에서는 항만 야드 크레인을 효율적으로 실시간 배정하기 위한 점수기반 작업배정(score-based dispatching) 로직을 제시하였다. 해당 로직에서 점수는 다양한 변수에 적절한 가중치를 곱한 합산으로 계산되며, 가장 우수한 점수를 갖는 작업을 우선적으로 실행된다. AutoMod 시뮬레이션을 통해 타 작업배정 규칙과의 성능지표를 비교한 결과, 점수기반 작업배정 로직의 우수성을 확인할 수 있었다. 또한, RTGC의 블록 간 이동이 턴타임과 같은 항만 야드의 주요 성능지표를 개선할 수 있다는 사실을 확인하였다.

**주제어:** 컨테이너 터미널 자동화, 야드 크레인 작업배정 규칙, 고무 타이어 갠트리 크레인, 다중 야드 블록, 다중 야드 크레인

# 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 제품 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼 구축 연구

황선우<sup>1</sup>, 박상원<sup>2</sup>, 김명성<sup>1</sup>, 김영민<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 시스템공학과

<sup>2</sup>(주)노바

<sup>3</sup>아주대학교 물류시스템 및 SCM학과

## On the Development of Robot-based Loading System for Small and Medium-sized Sub-terminal Cargo Loading and Establishment of Predictive Maintenance Platform to Expand Product Marketability

Sunwoo Hwang<sup>1</sup>, Sangwon Park<sup>2</sup>, Myungsung Kim<sup>1</sup>, Youngmin Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Systems Engineering, Ajou University

<sup>2</sup>Global Nova

<sup>3</sup>Department of Logistics System and SCM, Ajou University

Recently, there have been changes in social structure, such as the development of information and communication technology, dual incomes, aging, and the increase in single-person households. Accordingly, the logistics industry is changing from a traditional logistics industry to a household logistics industry in the form of small parcels focusing on household goods and early morning delivery. The expansion of the logistics industry can increase people's quality of life, but for those working in the logistics industry, it can lead to excessive workload and a decrease in quality of life. In addition, loading and unloading work during the logistics process is concentrated at dawn and at night, which can result in reduced work productivity and the risk of safety accidents. Therefore, in this study, we developed cargo loading automation robot system technology for the purpose of improving the efficiency of cargo loading work in small and medium-sized sub-terminals, and conducted for research establish a predictive maintenance platform as a way to expand the marketability of the developed technology and products.

**Keywords:** Logistics system, Robot-based loading system, Medium-sized sub-terminal, Cargo loading, Predictive maintenance

---

논문접수일 : 2023.10.20.    논문수정일 : 2023.12.06.    게재확정일 : 2023.12.20.

이 논문은 산업통상자원부의 지원을 받아 수행되었음.(20015047)

1. 아주대학교 시스템공학과 대학원생

2. (주)노바 대표이사

3\*. 아주대학교 물류시스템 및 SCM학과 교수, Corresponding Author: pretty0m@ajou.ac.kr



# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

근래에는 정보통신 기술의 발달 및 맞벌이, 고령화, 1인 가구의 증가 등 사회구조의 변화가 이뤄지고 있다. 이에 따라, 물류 산업은 전통적인 물류 산업에서 생활용품 위주의 소화물, 새벽 배송 등의 형태인 생활물류 산업으로 변화하고 있다. 이렇듯, 생활물류 산업으로의 변화에 따라, 물류 산업은 국민생활에 밀접한 산업으로 다가왔으며, 이에 따라, 급격히 팽창하고 있는 시점이다. “Figure 1”은 통합물류협회에서 2023년을 기준으로 가장 근래에 조사된 2021년 국내 물동량 및 전년대비증감율 등의 연도별 생활물류실적을 보여준다. 2021년 총 택배 물량은 36억 2천만 개로 조사되었으며, 2020년 33억 7천만 개 대비 7.59%로 성장하였다. 물동량 증가율은 전년 대비 2019년 9.7%, 2020년 20.9%, 2021년 7.59%로 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 생활물류 산업의 팽창은 국민 삶의 질을 증가시킬 수 있지만, 물류 산업 종사자 입장에서는 과도한 업무 부하와 삶의 질 저하로 이어질 수 있다. 또한, 물류 프로세스 중 상차 작업은 특성상 새벽과 야간에 집중되기 때문에, 작업 생산성 저하 및 안전사고의 위험으로 초래될 수 있다. 또한, 자동화 설비 및 시스템을 갖추지 못한 중소 규모 물류 기업은 물류 산업 팽창에 따른 부하를 효율적으로 대응하지 못하고 있는 시점이다. 서브터미널을 주로 취급하는 우리나라의 중소 규모 물류 기업은 가용할 수 있는 물류 작업의 공간, 입지 등의 측면에서 대기업과 비교했을 때, 경쟁력이 많이 부족한 실정이다(Lee et al., 2021). 또한, 물류 자동화 설비 및 인프라 등의 운영 측면에서도 경쟁력이 많이 부족하기에, 경쟁력 확보를 위한 방안으로, 물류 자동화 설비 및 인프라 투자와 연구/기술 개발이 필요한 시점이다. 물류 산업 팽창의 결과는 국민 삶의 질 증가 등의 이점이 있지만, 중소 규모 물류 기업의 입장에서는 물류 수요 과부하 및 물류 산업 종사자의 삶의 질 저하 및 안전문제 인한 전사적인 문제로 초래될 수 있다. 따라서 이러한 문제는 물류 산업 종사자들의 파업 등 사회적인 문제로 초래될 수 있으며, 정부 차원에서는 이를 예방 및 해소하기 위한 차원에서 물류 산업의 열악한 환경 개선과 물류 산업 경쟁력 확보를 위하여, 물류 상/하차 자동화 기술 연구 등 물류 산업 관련 연구를 진행하고 있는 시점이다(Kim et al., 2023). 따라서 본 연구에서는 물류 사업 종사자의 업무 효율화 등을 목적으로, 화물상차 로봇 시스템 기술을 개발하고, 시장성 확장을 위한 방안으로, 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다.

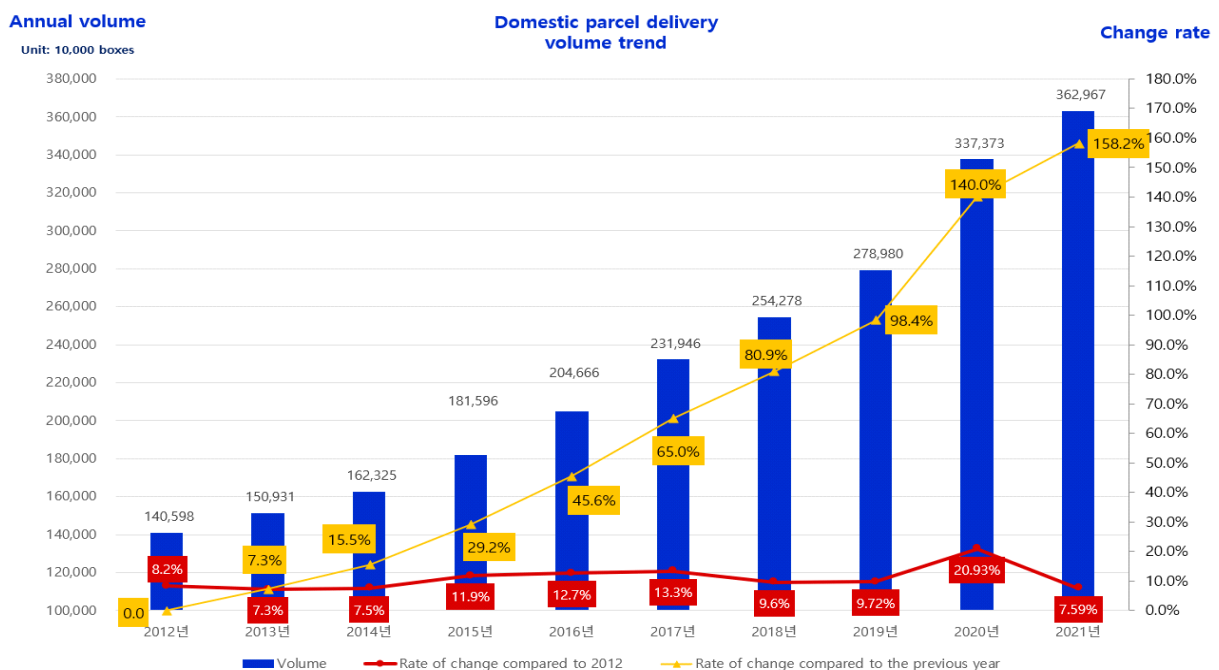


Figure 1. Domestic parcel delivery volume trend

## 1.2 화물 상차 로봇 시스템의 필요성 및 기술 개발 범위

물류 기술 및 로봇 산업은 다양한 분야의 기술이 접목된 융/복합적인 특징을 가지며, 물류 산업의 열악한 환경 개선을 목적으로, 현재도 다양한 연구 기관 등에서 물류 기술 및 로봇 개발 연구가 진행 중인 시점이다. 물류 상차 작업은 배송기사 등의 작업자가 화물차량에 화물을 싣는 작업이다. 이러한 상차 작업은 상차 작업자의 목적지별 화물 배송 요령에 따라 수행되게 된다. 일반적으로, 상차 작업을 수행하는 서브터미널에서 가까운 목적지는 바깥쪽에, 반대로, 먼 목적지는 안쪽에 싣는 경우가 다수이다. 따라서 상차 작업을 수행하는 배송기사 등의 작업자는 화물의 목적지를 육안으로 식별하고, 화물을 상차 및 적재하는 과정을 반복적으로 수행해야 한다. 서브터미널에서 취급되는 화물차량으로 2.5톤 차량의 경우, 작업자가 화물칸 안쪽에서 상차 및 적재 작업을 원활히 수행하기에는 한계가 있으며, 단순/반복되는 상차 작업은 근골격계의 무리 등 업무 과부하로 초래될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 중소 규모 서브터미널의 화물 상차 작업 효율화를 목적으로, 화물 상차 및 적재 자동화 로봇 시스템 기술을 개발하고, 개발된 기술 및 제품의 시장성 확장을 위한 방안으로 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다. 화물 상차 로봇 시스템 기술은 화물 정보 형태의 데이터를 수집하고, 처리하는 운영 시스템이 포함되며, 화물 이송을 위한 컨베이어의 작동 관점에서 기계/전자 등의 기술이 포함된다. 즉, 본 연구의 연구 대상인 화물 상차 로봇 시스템은 일반적으로, 대규모 터미널보다 협소한 중소 규모 서브터미널에서 취급되는 2.5톤 화물차량에 적합하고, 다양한 형태의 화물 상차 처리를 수행할 수 있는 융/복합 시스템이다. 이러한 화물 상차 로봇 시스템은 화물 이송용 텔레스코픽 컨베이어, 회전 컨베이어, 엔드 이펙터, 영상 기반 적재 공간 및 상태 확인 인식기, 화물 순로 구분기 등의 핵심 요소 기술로 구성되며, 시스템의 고장 및 결함 예측 등의 유지관리 및 정상/비정상 운영 상황 모니터링을 위한 예지정비 플랫폼이 연계된다. 기존에 연구되어왔던 화물 상차 시스템은 중소 규모 서브터미널 전용 상차 시스템이 아닌, 로봇 암(Arm) 형태로써, 바닥면의 수직 방향으로 공간을 많이 차지하기 때문에, 2.5톤 차량에 화물을 상차하기에는 적합하지 않은 형태이다(Won et al., 2016). 본 연구의 화물 상차 로봇 시스템은 신축 및 회전 방식의 컨베이어 형태로 화물을 이송하고, 적재 공간을 인식한 다음, 엔드 이펙터를 활용하여 적합한 적재 공간에 화물을 상차하는 방식이다. 즉, 본 연구는 개방된 특정 공간에 화물을 적치하는 로봇 기술이 아닌, 중소 규모 서브터미널에서 취급되는 2.5톤 화물차량의 구조적 특성에 맞는 형태로써, 화물 상차 및 적재를 수행할 수 있는 기술을 개발하였다. “Figure 2”와 같이, 화물 상차 로봇 시스템은 2.5톤 화물차량 내부까지 신축될 수 있는 특징을 가지기에, 로봇 암 형태보다 구조적으로 적합하다. 또한, 본 연구의 화물 상차 및 적재 로봇 시스템은 다양한 기술이 접목된 복합 시스템 형태의 물류 기술인 만큼, 고장을 사전에 예측하는 운영 관점의 신뢰성 확보를 통해, 고객의 신뢰도를 증대시키는 방안으로, 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼을 구축하였다.

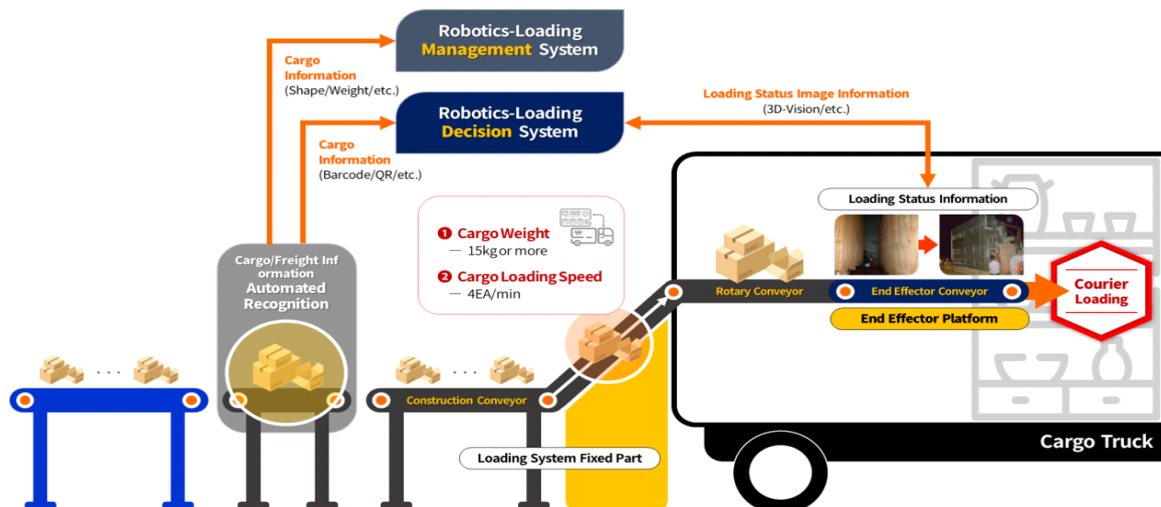


Figure 2. Concept of robot-based loading system technology

## 2. 관련 선행연구 분석 및 문제 정의

### 2.1 물류 산업 분야 기술 및 관련 연구

#### 1) 물류 산업 로봇 도입 관련 선행 연구

본 절에서는 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발을 수행하기에 앞서, 선행적으로 진행된 물류 산업 분야 기술 및 관련 연구 분석을 수행하였다. 원종운 등은 심회되는 택배산업의 인력 부족 문제와 관련하여, 로봇 및 지능화 기반의 개선점을 도출하고자, 로봇을 활용한 택배 산업 인력수급 개선 방안에 대한 연구를 수행한 바 있다(Won et al., 2016). 해당 연구는 상/하차 작업에 대하여, 로봇 팔 기반의 상/하차 보조 시스템을 제안하였다. 한수민 등은 물류 현장의 열악한 노동 환경과 높은 노동 강도로 인하여, 개선이 요구되는 택배 상/하차의 효율성을 위한 검증을 목적으로, 시뮬레이션 기반 택배 물류 터미널에서의 화물하차 로봇 도입의 효율성 분석을 수행한 바 있다(Han et al., 2020). 김영민은 물류기업의 물류 로봇 사용의도 및 물류 성과에 관한 연구를 수행한 바 있다(Kim, 2021). 해당 연구의 결과로써, 중소 물류 기업의 경우, 물류 로봇 도입의 필요성을 충분히 인식하고 있지만, 도입이 쉽지 않기에, 제도적으로 물류 로봇 기술과 기기의 개발 및 지원 필요성을 제시한 바 있다. 김경아 등은 토픽 모델링을 활용한 물류 분야 로봇 활용 관련 연구 이슈와 동향 분석을 수행한 바 있다(Kim et al., 2023). 해당 연구는 물류 분야에 활용되는 로봇 관련 핵심 주제들을 도출하고 핵심 주제들간의 관계를 분류한 결과를 제시하였다. 광경민 등은 4, 5년 전 고정식 설비 중심 형태에서의 물류 솔루션에서, 현재는 확대되는 이커머스로 인하여, 물동량 변동과 다양한 불확실성으로 자동화 로봇 활용의 확대 및 필요성을 제시하였다(Kwak et al., 2022). 이정수 등은 물류센터 내 출고 작업에서의 로봇 기반 혼합적재 자동화 프로세스 설계에 관한 연구를 수행한 바 있다(Lee et al., 2023). 본 연구는 분류 자동화에 어려움을 겪고 있는 물류센터의 인력난 및 생산성 문제에 대한 해소 방안으로써, 혼합적재 설계 방법론을 제시하였지만, 한계점으로써, 혼합적재 자동화의 한 부분만을 분리하여 분석한 한계를 가진다. 또한, 화물차량의 화물칸 내부에 화물을 상차하는 방식이 고려되지 않아, 중소 규모 서브터미널 전용 2.5톤 화물차량 등에 활용하기에는 적합하지 않은 형태이다. 이렇듯, 물류 산업 분야 기술 및 관련 연구 분석을 수행한 바, 다양한 방법론을 통해 물류 산업의 효율화를 위한 자동화 및 로봇 기술의 필요성이 제기되었다. 다만 중소 규모 서브터미널 전용 화물차량 상차 효율성 증가를 목적으로 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발이 수행된 사례는 미미하기에, 본 연구 배송기사 등 상차 작업자의 업무 과부하 해소 목적으로써 의의를 갖는다.

#### 2) 물류 산업 로봇 표준화 동향

물류 산업 분야에 활용되는 로봇 및 자동화 기술의 확대에 따라, 본 절에서는 물류 산업 분야 관련 기술 표준화 분석을 수행하였다. 먼저, ISO TC 299 WG2에서는 서비스 목적의 로봇과 관련된 설계 요구조건을 규정한 ISO 13482를 제정한 바 있다. 그러나 물류 산업 관련 로봇 및 자동화 기술의 시장 확대에 따른 인증 수요로 인하여 ISO 13482의 효용성이 높아지면서 보다 세분화된 형태의 표준 제정이 필요한 시점이다. 이에 따라 2022년 산업통상자원부 국가기술표준원은 추후 물류로봇, 이동형 협동로봇, 신체착용로봇 등과 관련된 국제표준 계획을 제안한 바 있다. 또한 범용적인 협업 로봇과 관련된 표준 ISO 10218에서는 정의된 협업 작업 공간 즉, 로봇과 인간이 동시에 작업을 수행할 수 있는 보호 공간 내의 작업 공간 내에서 인간과 직접 상호 작용하도록 설계된 로봇으로 정의하고 있다. 본 연구의 연구 대상인 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템은 다양한 분야의 요소 기술이 접목된 융/복합 물류 로봇으로써 관련된 특정 표준이 존재하지는 않기에 특정 요소 기술별로 표준화 활용이 필요할 것이라 판단된다. 예를 들어 산업용 로봇에 대한 측면, 컨베이어에 대한 측면 등 범용적인 관점에서 표준화 활용이 필요하다고 판단된다. “Table 1”은 화물 상차 로봇 시스템 관련 기술 표준화 동향 분석 결과를 보여준다.

Table 1. Results of technology standardization analysis in the logistics robot

Type	Contents
ISO 13482	<ul style="list-style-type: none"> <li>Specifies requirements and guidelines for safety design, protective measures, and usage information for personal assistance robots such as mobile companion robots, body assistive robots, and ride-on robots.</li> <li>Describes the hazards associated with the use of the robot and provides requirements for eliminating or reducing the risk due to these hazards to an acceptable level.</li> </ul>
ISO 10218-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Specifies requirements and guidelines for unique safety design, protective measures and information for the use of industrial robots.</li> </ul>
ISO 10218-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Describes the safety requirements for industrial robots and robot system integration and industrial robot cells defined in ISO 10218-1.</li> <li>Describe the primary hazards and hazardous situations identified and provide requirements for eliminating or appropriately reducing the risks associated with these hazards.</li> </ul>
ISO TS 15066	<ul style="list-style-type: none"> <li>Specifies safety requirements for collaborative industrial robot systems and work environments and complements the requirements and guidance for the operation of collaborative industrial robots provided in ISO 10218-1 and ISO 10218-2.</li> <li>ISO/TS 15066:2016 applies to industrial robotic systems described in ISO 10218-1 and ISO 10218-2 and does not apply to non-industrial robots.</li> </ul>

## 2.2 예지정비 플랫폼 구축 관련 연구

본 논문의 연구 대상인 화물 상차 로봇 시스템의 운영 안전성 및 고객과의 신뢰를 확보하여, 제품 시장성을 증대시키기 위한 방안으로, 예지정비 플랫폼을 구축하였다. 운영 안전성을 확보하기 위한 목적으로, 고장 및 결함을 예측하기 위해서는 다양한 방면으로의 노력이 필요하다. 기존에는 신뢰성 분석 연구 분야에서 MTTF(Mean Time To Failure) 방법론을 활용하여, 시스템이나 구성품의 수명주기를 예측하는 연구가 수행되었다. 현재는 기술의 발달로 MTTF와 접목하거나, 인공지능 기반의 예지정비 연구가 진행되고 있는 시점이다. 본 절에서는 물류 상차 시스템의 고장 및 결함 예측을 위하여 예지정비 플랫폼 구축 연구를 분석하였다. 황태민 등은 선박 예지정비 모델 개발을 위한 선박 도크 수리 항목의 텍스트 분석 연구를 수행한 바 있다(Hwang et al., 2021). 해당 연구는 텍스트 분석을 통해 기기들이 서로 다른 파트에 포함되어 따로 작동하고 있지만 동시에 상호연관성을 가질 수 있다는 결과를 도출하였다. 윤익현 등은 선박 운항 특성을 반영한 예지정비 모델 개념을 제안하였으며, MPdM(Maritime Predictive Maintenance)의 개발을 통해 이상 징후를 판단을 기반으로 예지 정비를 수행 기술이 구현되면 선박의 운항 효율성 향상으로 사고 예방 및 비용 절감에 기여할 수 있을 것으로 판단하였다(Youn et al., 2021). 홍창우는 NASA(National Aeronautics and Space Administration) 데이터 셋을 기반으로 인공지능과 빅데이터를 활용한 예지정비 적용 방안에 대한 연구를 수행하였다(Hong, 2022). 해당 연구는 마할라노비스 거리와 주성분 분석을 활용할 경우, 고장 발생 이전에 이상 감지가 가능할 뿐 아니라 고장 전 발생하는 전조증상까지 감지할 수 있다는 결론을 도출하였다. 천강민 등은 설명 가능한 인공지능을 적용한 기계 예지정비 방법을 연구하였으며, 고압압축기의 과거 고장 이력을 수집하여 고장 위험 및 고장 상황을 위한 머신러닝 모델을 제시하였다(Cheon et al., 2021). 이경호 등은 용인 경전철 차량부품 정비 데이터 분석 및 상태기반 예지정비 방안 연구를 수행하였다(Lee et al., 2022). 신뢰성 기반 정비 시스템 구축을 위해 타겟 부품에 설치된 센서들을 통해 수집된 상태의 정보를 분석하여 부품의 결함 여부를 자동으로 판단하고 수명을 예지하는 기술 및 소프트웨어 개발이 필요하다는 결론을 도출하였다. 이제동 등은 머신러닝 기반의 진동 이상신호 분석을 통한 스마트공장 예측정비에 관한 연구를 수행하였다(Lee et al., 2021). 박철순 등은 회전기기 설비에 부착된 진동센서로부터 수집되는 진동신호를 이용하여 회전기기 설비의 이상신호를 탐지하고 결함을 분류하는 모델을 제안하였으며, 대형 항공부품용 5축 가공기의 예측정비를 위하여, 센서 기반 스핀들 모터에 인가되는 전류에 대한 실시간 모니터링을 수행하였다(Park et

al., 2020). 또한, 수집된 전류 신호에 대해 머신러닝 기반의 비정상 탐지 알고리즘을 이용해서 공구에 대한 이상상태를 판단하여 예지정비를 수행할 수 있는 방안을 제시하였다. 이제동 등은 기어박스의 예지정비를 위한 인공지능 기반의 이상탐지 및 결함분류에 관한 연구를 수행하였다(Lee et al., 2019). 설비별 결함에 대한 정보를 잘 나타내는 특정 주파수(결함주파수, 고조파 등)를 따로 추출하여 적지만 유의미한 변수를 이용해 모델을 구축하는 기법에 대한 연구가 필요하다는 결론을 도출하였다. 김정태 등은 머신러닝을 활용한 터보팬 엔진의 잔여 유효 수명 예측 모델을 제안하였다(Kim et al., 2021). 해당 연구의 방법론은 센서만 부착되어 있다면, 머신러닝을 기반으로 터보팬 엔진뿐 아니라 다른 장비들에서도 일반적으로 적용할 수 있으며, 인과관계 파악도 가능하다는 결론을 도출하였다. 김제동 등은 기계학습 기반의 대공장비 수리부속 수요예측모형 연구를 수행하였다(Kim et al., 2019). 해당 연구에서는 지난 5개년의 육군 대공장비 수리부속 수요 데이터를 수집하고 정비내역과 같은 비정형 데이터를 포함한 다양한 정형 데이터 항목을 추출하여 데이터 마이닝 기반의 수요예측 모형을 제안하였다. 이처럼 예지정비 분야는 국방, 항공 등 산업별로 다양한 접근을 통해 수행되고 있는 시점이지만, 물류 산업에 활용되는 로봇 및 시스템을 대상으로 예지정비를 수행한 사례는 미미하였다. 따라서 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템 운영상 발생할 수 있는 고장 및 결함을 식별하여, 안전성 및 고객과의 신뢰를 확보하고, 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 위한 방안으로써 예지정비 플랫폼을 구축하였다.

## 2.3 문제 정의 및 연구 절차

### 1) 선행연구 분석을 통한 문제 정의 및 도출

본 연구의 주 목적인 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 제품 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼 구축과 관련하여, 선제적으로, 관련 선행연구 분석을 수행하였다. 먼저, 물류 산업 팽창으로 인한 배송기사 등 작업자의 업무 과부하 해소의 필요성을 인지하였다. 또한, 중소 규모 서브터미널에서 사업을 영위하는 물류 기업의 물류 로봇 도입 필요성을 인지하였으며, 서브터미널에서 취급하는 화물차량에 적합한 상차 로봇 시스템의 필요성을 인지하였다. 마지막으로, 화물 상차 로봇 시스템은 다양한 기술이 접목된 융/복합 형태의 물류 시스템으로써, 운영 안전성 및 고객과의 신뢰를 확보하여, 제품 시장성 증대를 목적으로, 예지정비 플랫폼 구축 필요성을 인지하였다.

### 2) 연구 절차

따라서 본 연구는 화물 상차 로봇 시스템 기술을 개발하고, 제품 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저, 1장에서 물류 산업의 팽창으로 인한 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 필요성을 기술하였다. 2장에서는 관련 기술 및 선행 연구 분석을 통하여, 문제를 정의하였다. 3장에서는 화물 상차 로봇 시스템의 개발 및 예지정비 플랫폼 구축에 필요한 요소를 식별하고, 이를 기반으로, 개발 수행 과정을 기술하였다. 4장에서는 개발된 결과를 바탕으로, 초기 목적 달성 여부를 판단하기 위한 검증을 수행하였다. 5장에서는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 예지정비 플랫폼 구축에 대한 본 논문의 한계점 및 향후 연구 방향성 등의 결론을 기술하였다. “Figure 3”은 연구 절차를 보여준다.

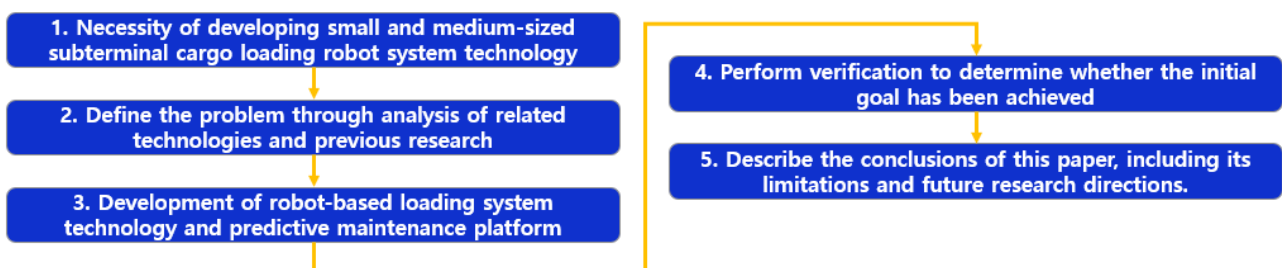


Figure 3. Research procedure

### 3. 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 예지정비 플랫폼 구축

#### 3.1 화물 상차 로봇 시스템 개발

본 절에서는 화물 상차 로봇 시스템 개발을 위한 대상물 및 화물규격 등 운영개념 분석을 수행한 결과를 기술하였으며, 개발 시스템의 핵심 기술 개발 내용을 기술하였다. 화물 상차 로봇 시스템의 핵심 기술은 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술과 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술이 포함된다. 신축 및 회전 컨베이어 기술은 공간적인 제한이 있는 2.5톤 화물차량의 화물칸 내에서 유동적인 화물 적재를 가능하게 하는 기술이며, 엔드 이펙터 기술은 공압식의 기계적 동작을 통해, 화물을 밀어내는 방식으로 다종 비정형 화물을 적재하는 기술이다.

##### 1) 대상물 및 화물규격 등 운영개념 분석

본 논문은 화물 상차 로봇 시스템의 개발을 목적으로 시스템 운영에 필요한 대상물 및 화물규격을 분석하였다. 대상물 및 화물규격 분석은 적용 대상의 형태, 화물 형태, 상차 효율, 운영 모드, 제어 방법, 사용성 검증으로 구분될 수 있다. 적용 대상의 형태는 2.5톤 이하 소규모 탑차 형태의 물류 배송 차량을 대상으로, 서브 터미널의 경우 1톤 트럭 중심이다. 화물 형태는 박스, 자루 등 다양한 형태의 화물로써, 비정형 화물을 포함한다. 필요한 정량적인 상차 효율은 분당 4개로 도출되었다. 운영 모드는 반자율, 자율 모드로 구분될 수 있다. 반자율 모드는 반자율 기반의 차량 화물칸 진입 및 방향 조정 기능이며, 자율 모드는 화물 크기, 형태, 무게 등에 맞추어 효율적인 적재 자동화와 영상기반 환경정보 획득 및 적재 지원 자동화 기능을 포함한다. 제어 방법은 네트워크 기반의 통합제어 시스템으로 이뤄지며, 사용성 검증은 실증을 통한 상용화 가능성 검증으로 구성된다. “Table 2”는 대상물 및 화물규격 분석 결과를 보여 준다.

Table 2. Results of technology standardization analysis in the logistics industry

Type	Contents
Type of system application target	▪ 2.5-ton small truck-type logistics delivery vehicle
Type of cargo	▪ Shape suitable for loading end effector and cargo transfer
Loading efficiency	▪ Load more than 4 cargoes per minute
Operating mode (Semi-autonomous)	▪ Semi-autonomous vehicle cargo bay entry and direction adjustment function
Operating mode (Autonomous)	▪ Efficient loading automation according to cargo size, shape, weight, etc. ▪ Automation of image-based environmental information acquisition and loading support
Control method	▪ Network-based integrated control system
Usability verification	▪ Verification of usability through verification

##### 2) 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술 개발

신축 컨베이어는 투입된 화물을 전달받아, 회전 컨베이어로 전달하는 역할을 수행하며 화물의 목표 적재지점에 맞춰, 길이 조절 및 상/하 각도 조절이 가능하다. 신축 컨베이어는 1미터당 30kg 무게의 화물을 이송할 수 있는 출력을 가진 구동 모터와 컨베이어 및 유압식 실린더, 신축 모듈로 구성되어있다. 신축 컨베이어는 총 3단으로 구성되어있으며 최소 길이 4m에서 최대 4.3m까지 신축이 가능하도록 설계되어 총 8.3m의 컨베이어 이송 기능을 수행할 수 있다. 신축 컨베이어의 측면부에는 상/하 각도 조절 기능을 수행하기 위하여, 유압식 실린더를 부착하였다. 신축 컨베이어는 회전 컨베이어와는 화물의 안전



한 이송을 위하여 물리적인 유격 없이 이어져 있어야 한다. 따라서 신축 컨베이어와 회전 컨베이어가 연결되는 부분에 관절 커버를 설치하였다.

회전 컨베이어는 신축 컨베이어에서 전달된 화물을 말단 컨베이어 및 엔드 이펙터로 전달하는 역할을 수행하며 신축 컨베이어와 마찬가지로 화물의 목표 적재지점에 맞춰 좌/우/상/하 각도 조절이 가능하다. 회전 컨베이어는 구동 모터와 컨베이어, 서보 모터 활용 회전 모듈로 구성되어있다. 회전 컨베이어는 서보 모터를 활용하여 좌/우 방향으로 10°까지 회전 기능을 수행할 수 있으며, 회전축에는 레이저 센서를 장착하여 회전 각도를 모니터링하고 정상 작동 여부를 확인할 수 있다. “Figure 4”는 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술의 개념도를 보여준다.

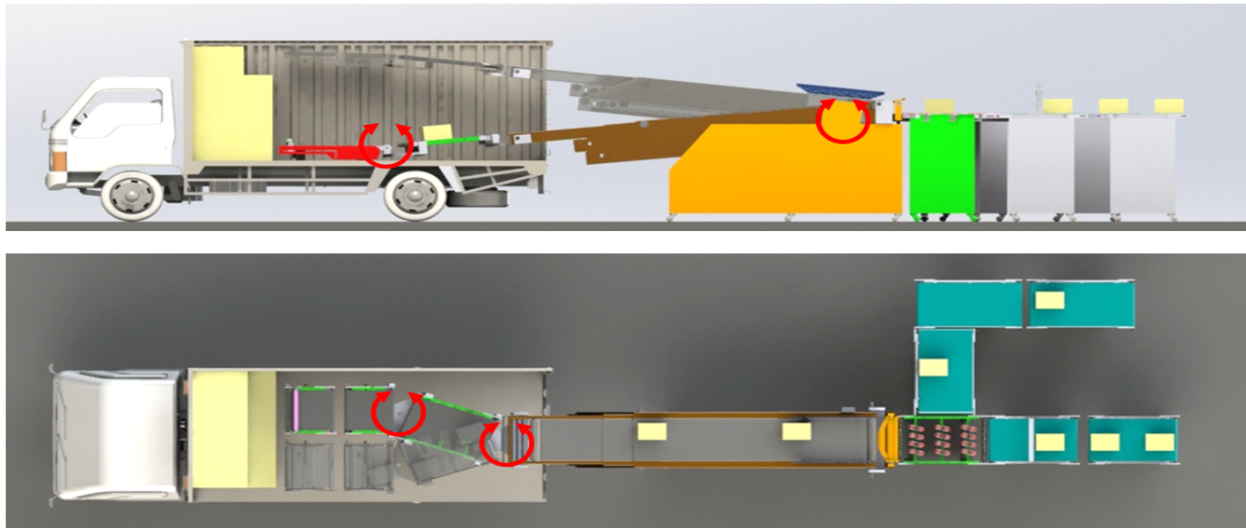


Figure 4. Development of expansion and rotation conveyor for space utilization efficiency

### 3) 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술 개발

엔드 이펙터는 회전 컨베이어 및 말단 컨베이어에서 화물을 전달받아 2.5톤 화물차량의 화물칸 안 목표 적재지점에 직접 적재를 수행하는 최종 단계의 기술이다. 마찬가지로 엔드 이펙터도 서보 모터를 활용하여, 좌/우/상/하 각도 조절이 가능하다. 화물이 비정형 형태일 경우 파지할 수 있는 방식에는 물리적인 한계가 존재한다. 따라서 엔드 이펙터는 공압식의 기계적 동작을 통해 화물을 밀어내는 방식으로 다종 비정형 화물을 적재하는 기능을 수행할 수 있다. 또한 엔드 이펙터는 회전 컨베이어와 마찬가지로 서보 모터를 활용하여, 좌/우 방향으로 10°까지 회전 기능을 수행할 수 있으며 회전축에는 레이저 센서를 장착하여 회전 각도를 모니터링하고 정상 작동 여부를 확인할 수 있다. “Figure 5”는 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술의 개념도를 보여준다.

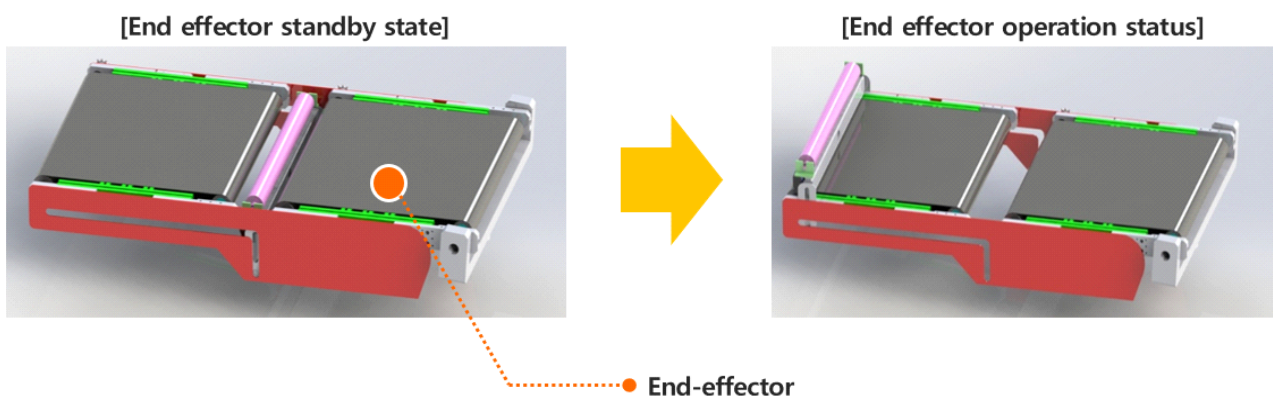


Figure 5. Development of end effector for loading various types of irregular cargo



#### 4) 통합 인터페이스 제어 측면의 기술 개발

화물 상차 로봇 시스템은 앞서 제시한 요소 기술들이 상호적으로 원활히 구동되어야 한다. 따라서 본 연구에는 각각의 요소 기술들의 통합 관리 및 제어를 인터페이스 요소로써 시스템 제어 측면의 기술 개발을 수행하였다. 먼저 화물 상차 로봇 시스템을 구성하고 있는 각각 신축 컨베이어, 회전 컨베이어 등의 관절 간 모니터링을 위한 기능을 구현하였다. 이는 서보 모터 드라이버의 모니터링 기능으로써 모터의 전원 상태 및 작동 현황을 일괄로 모니터링 할 수 있는 기능과 회전 컨베이어와 엔드 이펙터의 회전 기능을 모니터링하기 위하여 회전각을 감지할 수 있는 기능으로 구현된다. 또한, 원활한 화물 적재를 위하여, 2.5톤 화물차량의 내부 화물칸을 모니터링하기 위한 목적으로, 엔드 이펙터 말단에 모니터링용 카메라를 장착하였다. 해당 기능은 환경적 요인으로 인하여 엔드 이펙터가 화물 적재를 실패할 경우, 작업자가 원격으로 조작할 수 있는 기능을 포함한다. 마지막으로 각도 조절용 서보 모터 및 컨베이어 등 화물 상차 로봇 시스템의 상세 제어 기능을 구현하였다.

### 3.2 예지정비 플랫폼 구축

화물 상차 로봇 시스템은 융/복합 시스템으로써 복잡한 구조로 이루어진 자동화 시스템이다. 따라서 작업자의 별도 조작없이 목적된 기능을 수행할 수 있어야 한다. 일반적으로 시스템 및 제품은 본질적인 기술에 대한 개발도 중요하지만 개발된 기술이 운영되는 과정에서 폐기 단계까지의 수명주기 동안 본래의 목적을 원활히 수행하는지의 여부도 중요한 요소이다. 즉 기술 개발이 종료됨에 따라 고객에게 시스템 및 제품이 인도된 후 운영적인 측면에서 고려되어야 하는 안전성 등은 고객과의 신뢰 확보에 중요한 요소이다. 따라서 고객 입장에서 시스템 및 제품이 원활히 운영되고 있는지, 혹은 환경적/운영적 측면의 다양한 요소에 따라 비정상적으로 운영되어 사업에 영향을 끼치지 않는지를 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 목적으로 시스템의 고장 및 결함을 미리 예측하고 운영 데이터를 모니터링할 수 있는 방안으로 예지정비 플랫폼을 구축하였다.

#### 1) 인공지능 딥러닝 기반의 LSTM(Long Short-Term Memory) 모델

특정 시스템의 고장 및 결함은 수명주기의 흐름에 따라 나타나는 시계열 데이터로 관측할 수 있다. 시스템의 고장 및 결함을 예측하는 방안 중 범용적으로 활용되는 시계열 기반의 인공지능 딥러닝 모델은 LSTM 모델이 있다(S. Hochreiter et al., 1997). LSTM은 비교적 오래전에 제시된 개념이지만 4차 산업 혁명 등 하드웨어 기술의 발전에 따라 빅데이터를 활용할 수 있게 되면서 다양한 분야의 시스템 및 제품의 고장 및 결함 예측에 활용되고 있는 시점이다. 기존 시계열 분석 연구에 활용되어왔던 모델인 RNN(Recurrent Neural Network)은 길이가 긴 시계열 데이터를 학습할 경우 신경망의 깊이가 깊어 지게 되어 기울기가 소실되거나 기울기가 무한대로 발산하는 장기 의존성 문제를 갖고 있다. 이러한 문제는 긴 시계열 데이터 예측에 문제를 발생시킬 수 있다. 예측 대상과 경우에 따라 범위가 다를 수는 있지만 일반적으로 예지정비는 최소 수십 여일 이상의 정상/비정상 데이터를 학습해야 한다. 즉, RNN은 기울기 소실 및 발산 문제로 인하여 예지정비 모델에 적합하지 않다. 따라서 본 논문의 예지정비 플랫폼의 분석 모델은 LSTM을 활용하였다. “Figure 6”은 LSTM의 구조를 나타낸다.

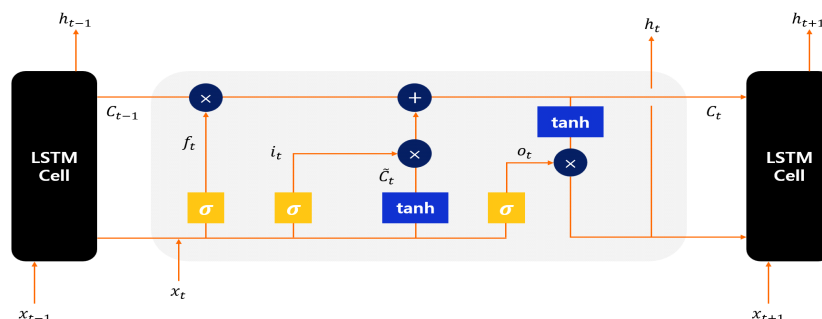


Figure 6. Conceptual diagram of Long Short-Term Memory

## 2) 예지정비 플랫폼 구축 및 LSTM 모델 개발 환경 조성

예지정비 플랫폼은 인공지능 딥러닝 기반의 LSTM 모델을 활용하며 빅데이터를 취급하기 때문에 구축 환경 조성도 중요한 요소이다. 또한 화물 상차 로봇 시스템은 고객의 요구에 따라서 인도 및 설치되어 운영되는 환경이 다르기 때문에 하드웨어 및 통신 성능이 중요한 요소이다. 즉, 사업을 영위함에 있어 고장 및 결함 등의 부정적인 요소 때문에 발생할 수 있는 비정상 상황을 신속히 식별해야 한다. 본 연구에서는 예지정비 플랫폼 구축에 활용한 프로세서는 13th Gen Intel(R) Core(TM) i5-13400F(2.5GHz), RAM은 32.0GB, 운영 시스템은 Windows 11 Pro 64비트 운영 체제를 활용하였다. LSTM 모델 개발 환경은 pycharm Community 버전 및 Anaconda3를 활용하였으며, 개발 언어는 Python 3.8.16 버전과 Tensorflow2를 활용하였다. 모델 개발과 관련된 라이브러리는 pymysql, numpy, tfSlim, pandas, matplotlib 등을 활용하였다.

## 3) 예지정비 플랫폼 메인 SW 및 기능 정의

예지정비 플랫폼을 구현하기 위해서는 각각에 해당하는 기능들을 정의해야 한다. 먼저 기능은 장비 데이터 생성과 알람 데이터 생성으로 분류할 수 있다. 장비 데이터 생성은 배치 스케줄러를 통한 장비 데이터를 생성하는 분당 장비 데이터 요청 기능, Rabbit MQ로 데이터를 송신하는 데이터 송신 기능, 배치 스케줄러를 통한 장비 Snapshot 요청을 수행하는 분당 데이터 저장 기능, DB에 저장된 장비별 분당 데이터를 요청하는 시간당 데이터 통합 기능을 포함한다. 알람 데이터 생성은 알고리즘 서버에서 API(Application Programming Interface)를 통한 알람을 요청하는 알람 데이터 요청 기능, Web socket 을 통한 알람을 수신하는 알람 데이터 수신 기능, 웹 Socket을 통한 알람 메시지를 수신하는 수신된 알람 웹 서비스 기능을 포함한다. “Table 3”은 물류 상차 시스템의 예지정비 플랫폼을 구현하기 위한 메인 기능 식별 결과를 보여준다.

Table 3. Results of technology standardization analysis in the logistics industry

Classification	Function	Contents
Generate equipment data	Data request per minute	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipment data generation through batch scheduler</li> <li>Data request with RabbitMQ</li> </ul>
	Receive Data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Receive data with RabbitMQ SW</li> <li>Storing data in Redis SW (InMemory)</li> </ul>
	Save data per minute	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipment Snapshot request via Batch Scheduler</li> <li>Save requested Snapshot data to DB</li> </ul>
	Data merge per hour	<ul style="list-style-type: none"> <li>Data requests per minute per equipment stored in DB</li> <li>Data per minute → Save to DB after converting hour data</li> </ul>
Generate notice data	Request notice data	<ul style="list-style-type: none"> <li>notice request through API from algorithm server</li> <li>notice request through RabbitMQ SW</li> </ul>
	Receive notice data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Receiving notices via Web Socket</li> <li>After receiving an notice, it is stored in the notice history DB</li> </ul>
	Received notice web service	<ul style="list-style-type: none"> <li>Receive notice message via Web Socket</li> <li>Received notice message displayed on the web main screen</li> </ul>

## 4) 서버간 데이터 흐름 식별 및 예지정비 플랫폼 구축

예지정비 플랫폼 구축의 첫 번째 단계는 정상/비정상 데이터의 수집이다. 먼저 데이터 수집은 데이터를 분석하거나 의사결정을 내리는데 활용하기 위해서 데이터를 모으는 작업이다. 데이터를 수집하기 위해서는 수집할 데이터의 빈도, 저장 형태 등을 고려해야 한다. 예지정비를 수행하기 위해서는 고장 및

결함에 해당하는 Raw 데이터 수집이 필요하다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 핵심 요소인 컨베이어 메인 모터를 대상으로 가속도 3축 및 Gyro 3축 데이터 25만 건을 수집하였다.

MemoryDB(Memory Database)는 관리용 DB로써, RDB(Relational Database)는 분석을 위한 DB로써 활용하였다. 데이터 분석은 앞서 언급한 바와 같이 LSTM 모델을 활용하였다. 본 연구에서 구축된 예지 정비 플랫폼은 1. 수집 및 모니터링 등 데이터 관리를 위한 서버와 2. 데이터 기반 고장 및 결함 분석을 통해 모니터링 서버로 알람을 주는 분석 서버를 별도로 구분하였다. “Figure 7”은 예지정비 플랫폼의 데이터 모니터링 및 관리 서버와 데이터 분석 서버 간 데이터 흐름을 보여준다.

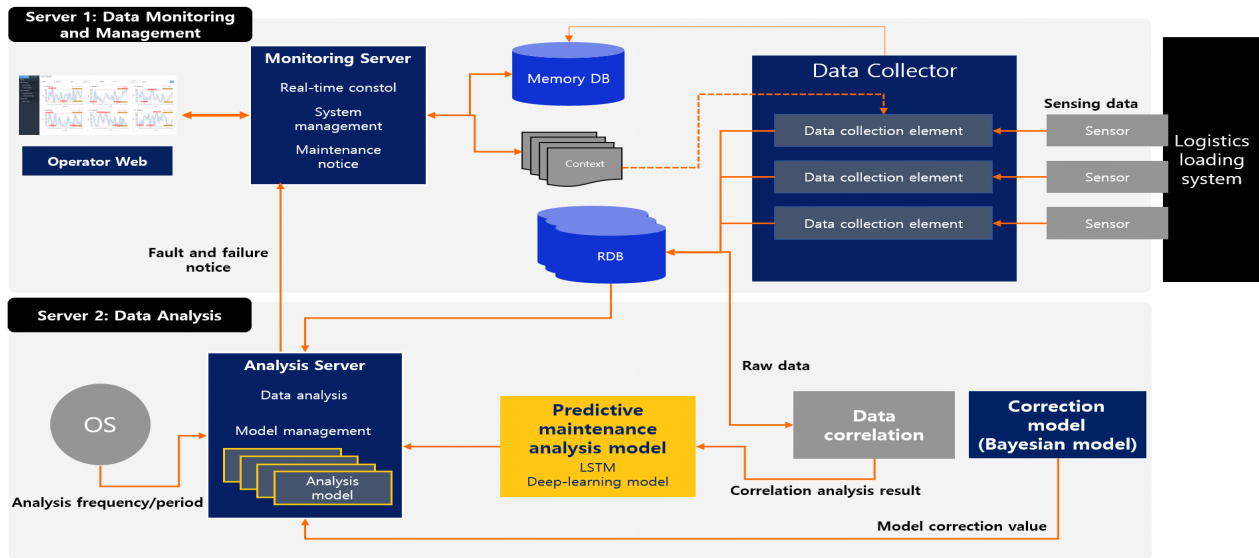


Figure 7. Platform architecture of predictive maintenance

## 4. 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 예지정비 플랫폼 구축 결과 및 검증

### 4.1 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 결과 및 검증

#### 1) 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 결과

화물 상차 로봇 시스템은 신축 및 회전 컨베이어, 엔드 이펙터 등의 다양한 기계적 요소 기술이 접목된 형태의 융/복합 시스템이다. 따라서 각각의 요소 기술이 상호적으로 원활히 구동할 수 있도록, 요소 기술간 인터페이스를 중점적으로 검토하였다. 추후, 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확정을 위한 방안으로, 예지정비 플랫폼과의 연계 요소를 고려하였다. “Figure 8”은 중소 규모 서브터미널 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 결과를 보여준다. 현재까지 개발된 화물 상차 로봇 시스템은 추후, 구조적 안전성을 보다 확보하기 위한 보완 요소가 필요하다고 판단된다.

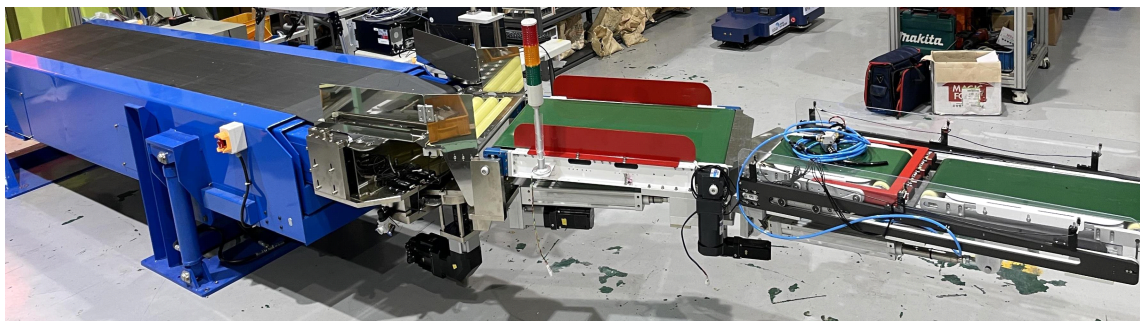


Figure 8. Robot-based Loading System Technology

## 2) 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 결과의 검증

본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 검증을 위하여 신축 컨베이어 운반 하중 시험, 신축 및 회전 컨베이어의 좌/우/상/하 회전 각도 시험, 엔드 이펙터의 화물 상차 속도 및 허용 가능 무게 시험, 엔드 이펙터의 원격 조작 시험 등을 수행하였다. 신축 컨베이어는 신축 상태에서 30kg/m 이상의 운반 하중 기준을 만족하였으며, 신축 및 회전 컨베이어의 상/하 각도  $\pm 5^\circ$  이상의 기준, 회전 컨베이어의 좌/우 각도  $\pm 10^\circ$  이상의 기준을 만족하였다. 엔드 이펙터의 화물 상차 속도는 분당 4개 이상의 기준으로 만족하였으며, 허용 가능 무게도 10kg 이상의 기준으로 만족되었다. 마찬가지로 엔드 이펙터의 좌/우/상/하 각도도 각각  $\pm 10^\circ$  이상의 기준으로 만족되었다. “Table 4”는 검증을 위한 테스트 목록과 그에 따른 성능 및 통과 기준을 보여준다. 마지막으로, 엔드 이펙터의 원격 조작 시험 또한, 성공률 95% 이상의 기준으로 만족되었다. “Figure 9”는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 다양한 검증 요소 중 하나인 예시로서, 신축 컨베이어 운반 하중 시험에 대한 과정을 보여준다.

Table 4. Verification Testing and Performance

Test	Performance contents
▪ Telescopic conveyor transport load test	▪ Carrying load over 30kg/m
▪ Telescopic and rotating conveyors Left/right/up/down rotation angle test	▪ Standard for up/down angles of $\pm 5^\circ$ or more ▪ Left/right angle $\pm 10^\circ$ or higher
▪ End effector loading speed and allowable weight test	▪ Cargo loading speed is 4 or more per minute. ▪ The allowable weight is 10 kg or more.
▪ End effectors Remote operation test	▪ Left/right/up/down angles must be $\pm 10^\circ$ or more each. ▪ Criteria for a success rate of 95% or higher



Figure 9. Conveyor carrying load test (Sample)

## 4.2 예지정비 플랫폼 구축 결과 및 검증

### 1) 예지정비 플랫폼 구축 결과

예지정비 플랫폼은 특정 데이터를 검색일자 기준으로 선택된 장비에 차트 형식으로 표시할 수 있으며 화면 표시 내용 중 이상값이라고 판단될 경우 해당 포인트에 붉은색으로 강조하는 기능을 포함한다. 이상값 표시의 기준은 높은 구간(95% 초과 : 측정값 > 최대값 - (중간값 \* 5%))과 낮은 구간(5% 미만 : 측정값 < 최소값 + (중간값 \* 5%))의 2가지 경우로 설정하였으며 이는 화물 상차 로봇 시스템의 고장 특성에 맞게 조정이 가능하다. “Figure 10”은 이상값 발생 시 데이터 수집 현황 웹을 보여준다. 학습에 활



용된 데이터의 양은 가속도 3축, Gyro 3축을 포함한 총 25만 건이며, Optimizer는 Adam을 활용하였다. Epoch의 경우 100회 이상에서 유의미한 차이가 존재하지 않았기에 100회로 설정하였다. 추후 본 논문의 후속 연구로써 예지정비 플랫폼 최적화를 위한 LSTM 이외의 모델에 대한 비교, Optimizer 등의 Hyperparameter에 대한 비교 연구를 수행할 계획이다.

Figure 10. Predictive maintenance platform web

본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 위한 방안으로, 제시한 예지정비 플랫폼 구축 결과의 검증을 수행하였다. 검증 방안으로는 예지정비 플랫폼의 기능 수행 완료 유무를 확인하였으며, 데이터 수집/저장/처리 관점에서는 1,000건 기준 1초 이내 데이터 수집/저장/처리가 가능한 성능을 만족하였다. 또한, 분석 관점에서는 데이터 상관관계 분석 시 0.5초 이내에 결과를 도출할 수 있는 성능을 만족하였다. “Figure 11”은 예지정비 플랫폼의 수행 결과를 보여준다.

Figure 11. Verification of predictive maintenance (Sample)

앞서 제시한 화물 상차 로봇 시스템 및 예지정비 플랫폼 구축 검증 결과에 추가적으로 전문가 자체 평가를 수행하였다. 본 과정에 투입된 전문가 집단은 물류, 인공지능 분야 3년~10년 경력을 지닌 전문가 총 7명으로 구성되었다. 평가는 체크리스트의 형태로써 기술 개발 초기 단계에 요구되었던 기능들을 식

별하고 목적 달성 여부를 자체적으로 평가하였다. 체크리스트는 “2.5톤 화물차량 내부에 상차 시스템 운영이 가능한가?”, “화물차량 내부에서 화물 적재량 기준을 만족하는가?”, “화물차량 외부에서 내부로 상차 시스템의 접근이 가능한가?(신축 컨베이어 기능 수행 여부)”, “예지정비 플랫폼이 정상적으로 데이터를 수집할 수 있는가?” 등으로 구성된다. “Table 5”는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발 및 예지정비 플랫폼 구축의 평가 결과를 보여준다.

Table 5. Objective achievement checklist assessment

Contents	Yes/No
▪ Is it possible to operate the loading system within the vehicle?	Yes
▪ Is it possible to load cargo within the vehicle and use a gripper?	Yes
▪ Is it easy to load boxes on a pallet in a vehicle?	Yes
▪ Does the amount of box loading in the vehicle reach the standard loading capacity?	Yes
▪ Is it possible to install a conveyor belt from the outside of the vehicle to the inside of the vehicle?	Yes
▪ Is the overall operation of the loading system smooth?	Yes
▪ Does the conveyor transfer speed for each delivery box reach the standard speed?	Yes
▪ Does the loading system perform more smoothly than the existing system?	Yes
▪ Is the use of the loading system more effective in terms of manpower and work time compared to the existing system?	Yes
▪ Is it possible to collect data from the predictive maintenance platform?	Yes

## 5. 결론

근래에는 정보통신 기술의 발달 및 맞벌이, 1인 가구의 증가 등 사회구조의 변화에 따라 소화물 다 품종 위주의 생활물류가 급증하고 있는 시점이다. 이렇듯 생활물류 산업의 팽창은 국민 삶의 질을 증가시킬 수 있지만 물류 산업 종사자 입장에서는 과도한 업무 부하와 삶의 질 저하로 이어질 수 있다. 또한 물류 프로세스 중 상차 작업은 특성상 새벽과 야간에 집중되기 때문에, 작업 생산성 저하 및 안전사고의 위험으로 초래될 수 있다. 중소 규모 서브터미널은 대규모 터미널보다 공간적으로 협소하기에 물류 자동화를 위한 설치가 어려운 실정이다. 기존에 제시된 로봇 암 형태의 화물 적치 및 적재 로봇의 경우 바닥 면의 수직 방향으로 공간을 많이 차지하기 때문에 중소 규모 서브터미널에 설치가 어렵고 화물 상차 작업을 위한 2.5톤 화물차량 내부 접근이 어려운 단점이 있다. 따라서 본 연구는 중소 규모 서브터미널 특성에 적합한 화물 상차 로봇 기술에 대한 연구가 미흡한 상황에서 이를 해소하기 위한 목적으로 화물 상차 로봇 시스템 기술을 개발하고 시장성 확장을 위한 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다.

화물 상차 로봇 시스템 기술 개발과 관련된 사항으로는 1. 대상물 및 화물규격 등 운영개념 분석, 2. 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술 개발, 3. 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술 개발, 4. 통합 인터페이스 제어 측면의 기술 개발로 구성되어있다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 검증에 위하여 신축 컨베이어 운반 하중 시험, 신축 및 회전 컨베이어의 좌/우/상/하 회전 각도 시험, 엔드 이펙터의 화물 상차 속도 및 허용 가능 무게 시험, 엔드 이펙터의 원격 조작 시험 등을 수행하였다. 예지정비 플랫폼 구축과 관련된 사항으로는 1. 인공지능 딥러닝 기반의 LSTM 모델 개발, 2. 예지정비 플랫폼 구축 및 LSTM 모델 개발 환경 조성, 3. 예지정비 플랫폼 메인 SW 및 기능 정의, 4. 서버간 데이터 흐름 식별 및 예지정비 플랫폼 구축으로 구성되어있다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 위한 방안으로, 데이터 수집/저장/처리 성능 등을 활용하여, 제시한 예지정비 플랫폼 구축 결과의 검증을 수행하였다. 마지막으로 앞서 제시한 화물 상차 로봇 시스템

및 예지정비 플랫폼 구축 검증 결과에 추가적으로 전문가 자체 평가를 수행하였다.

현재 개발된 화물 상차 로봇 시스템 기술은 보다 안정성있는 운영을 위하여 구조적인 관점에서 보완이 필요하며 화물 순로 구분기, 적재의사 결정 시스템의 고도화 등 세부 요소 간 인터페이스 관점에서 통합적인 보완이 필요하다. 또한 본 연구는 화물 하차 작업을 위한 진공식 파지 기술에 대한 부분이 부재하기에 화물 상차 작업에만 초점이 맞춰져 있고 추후, 상/하차 기능을 수행할 수 있는 부분에 대한 후속 연구가 필요하다. 예지정비 플랫폼의 경우 본 연구에서는 가속도 및 Gyro 데이터를 활용하였으나 추후 수집 데이터를 확장하여 연관성을 분석할 계획이다. 따라서 전반적인 관점에서 세부 요소를 모두 포함하여 시스템 통합 및 고도화 등의 후속 연구를 수행할 계획이다. 본 연구의 결과로써 제시된 화물 상차 로봇 시스템 기술과 예지정비 플랫폼은 물류 산업의 팽창으로 인한 물류 산업 종사자의 업무 과부하를 해소할 수 있는 방안으로 활용될 수 있다고 판단된다.



## 참고문헌

- Cheon K. M., Yang J. K.(2021), Explainable AI Application for Machine Predictive Maintenance, Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering, 44(4), pp. 227-233
- Han Sumin, Won Jong Un, Lee Suk, Enkhtsetseg Sampil(2020), The Study on the Efficiency of Parcels Unloading Robot at Delivery Logistics Terminal, Korean Journal of Logistics, 28(6), 1-11
- Hong C. W.(2022), A Study on the Application of Predictive Maintenance Using Artificial Intelligence and Big Data, The Quarterly Journal of Defense Policy Studies, 38(2), pp. 197-228
- Hwang T. M., Youn I. H., Oh J. M.(2021), Study on Text Analysis of the Liquefied Natural Gas Carriers Dock Specification for Development of the Ship Predictive Maintenance Model, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 27(1), pp. 60-66
- Jungsoo Lee, Hyangsook Lee(2023), A Study on the Design of Robot based Automation Process of Mixed Palletizing for Shipping Operations in Distribution Centers, Korean Journal of Logistics, 31(4), pp. 1-11
- Kim J. D., Lee H. J.(2019), A study on Predictive Model for Forecasting Anti-Aircraft Missile Spare Parts Demand Based on Machine Learning, Journal of the Korean Data And Information Science Society, 30(3), pp. 587-596
- Kim J. T., Seo Y. W., Lee S. S., Kim S. J., Kim Y. G.(2021), A Proposal of Remaining Useful Life Prediction Model for Turbofan Engine based on k-Nearest Neighbor, Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), 22(4), pp. 611-620
- Kim M. S., Kim Y. M.(2023), On a Study of Reliability-Based MTTF Derivation and Parts Requirement Prediction for Securing Safety of Robot-Based Cargo Loading System, Journal of Korea Safety Management & Science, 25(1), pp. 15-21
- Kyung-A Kim, Hosang Jung(2023), Research Issues and Trends for Robots in Logistics Using Topic Modeling, Korean Journal of Logistics, 31(2), 87-99
- Kyungmin Kwak, Buhm Park, Eunji Go, Chuljoo Yoon, Kyunghoon Kim(2022), Rapidly Spreading Logistics Robot Applications, The Journal of Korea Robotics Society, 17(4), 387-396
- Lee J. D., Kim G. B., Song I. H.(2021), A Study on the Predictive Maintenance of Smart Factory through ML-Based Analysis of Vibration Abnormal Signal, Journal of The Korea Society of Information Technology Policy & Management (ITPM), 13(6), pp. 2723-2728
- Lee J. D., Kim H. S., Kim J. H.(2019), A Study on AI-based Anomaly Detection and Defect Classification for Predictive Maintenance of Gearb, Journal of The Korea Society of Information Technology Policy & Management (ITPM), 11(6), pp. 1497-1502
- Lee K. H., Lee J. Y., Kim Y. M.(2022), A Study on the Maintenance Data Analysis of Vehicle Parts of Yongin Light Rail and Condition-Based Prediction Maintenance, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, 18(1), pp. 1-13
- Lee S. M., Kim Y. M.(2021), On the Development of Robot-based Loading Automation Systems Operation Concepts and Requirements for Logistics Efficiency of Sub-terminal, Journal of Logistics Science & Technology, 2(2), pp. 62-74

- Park C. S., Bae S. M.(2020), A Study on the Predictive Maintenance of 5 Axis CNC Machine Tools for Cutting of Large Aircraft Parts, Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering, 43(4), pp. 161-167
- S. Hochreiter, J. Schmidhuber(1997), Long Short-Term Memory, Neural Computation, 9, pp. 1735-1780
- Won Jong Un, LEE JooAe, YoonSeok Chang(2016), The Study on Improvement of Human Resource Problem in Parcel Industry Using Robot, Korean Journal of Logistics, 24(3), 79-92
- Youn I. H., Park J. K., Oh J. M.(2021), A Study on the Concept of a Ship Predictive Maintenance Model Reflection Ship Operation Characteristics, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 27(1), pp. 53-59
- Young-Min Kim(2021), Usage Intention and Logistics Performance of Logistics Robots in Logistics Copanies, The Journal of International Trade & Commerce, 17(3), 529-545

## 요약문

본 연구에서는 중소 규모 서브터미널의 화물 상차 작업 효율화를 목적으로 화물 상차 및 적재 자동화 로봇 시스템 기술을 개발하고 개발된 기술 및 제품의 시장성 확장을 위한 방안으로 예지정비 플랫폼 구축 연구를 수행하였다. 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발과 관련된 사항으로는 1. 대상물 및 화물규격 등 운영개념 분석, 2. 공간 활용 효율을 위한 신축 및 회전 컨베이어 기술 개발, 3. 다종 비정형 화물 적재를 위한 엔드 이펙터 기술 개발, 4. 통합 인터페이스 제어 측면의 기술 개발로 구성되어있다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템 기술 개발의 검증을 위하여, 신축 컨베이어 운반 하중 시험, 신축 및 회전 컨베이어의 좌/우/상/하 회전 각도 시험, 엔드 이펙터의 화물 상차 속도 및 허용 가능 무게 시험, 엔드 이펙터의 원격 조작 시험 등을 수행하였다. 예지정비 플랫폼 구축과 관련된 사항으로는 1. 인공지능 딥러닝 기반의 LSTM 모델 개발, 2. 예지정비 플랫폼 구축 및 LSTM 모델 개발 환경 조성, 3. 예지정비 플랫폼 메인 SW 및 기능 정의, 4. 서버간 데이터 흐름 식별 및 예지정비 플랫폼 구축으로 구성되어있다. 본 연구에서는 화물 상차 로봇 시스템의 시장성 확장을 위한 방안으로, 데이터 수집/저장/처리 성능 등을 활용하여, 제시한 예지정비 플랫폼 구축 결과의 검증을 수행하였다.

**주제어:** 물류 시스템, 로봇 기반 상차 시스템, 중소 규모 서브터미널, 화물 상차, 예지정비

# 공공 스마트 공동물류센터 조성 방안 연구 : 경기도를 중심으로

공민선<sup>1</sup>, 김병관<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>경기연구원 모빌리티연구실

## A Study on Development of Public Smart Joint Logistics Center : Focused on Gyeonggi-Do

Min Seon Kong<sup>1</sup>, Byung kwan Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Mobility Research Laboratory, Gyeonggi Research Institute

Recently, the smartization and enlargement of logistics centers is accelerating, especially in large enterprises. However, small and medium-sized enterprises face many difficulties in building their own smart logistics centers, so public support such as smart joint logistics centers is needed. Accordingly, this study seeks to propose a plan to create and operate a smart joint logistics center that can be jointly used by small and medium-sized enterprises, focusing on Gyeonggi-do. As a result of the survey targeting small and medium-sized logistics enterprises in Gyeonggi-do, small and medium-sized logistics enterprises in Gyeonggi-Do were found to have a high awareness of the need for automation, but a low awareness of the need for joint logistics. Based on these results, in order to promote the use of smart joint logistics centers, smart joint logistics centers need to provide customized services for enterprises as good as their own logistics centers and to present clear advantages of reducing costs such as rental. The plan presented in this study is expected to reduce the financial burden of Gyeonggi-do and respond flexibly to demand, and can be used as basic data when creating a public smart joint logistics center in other regions.

**Keywords:** Smart Joint Logistics Center, Smart Logistics, Joint Logistics, Small or Medium-sized Enterprises(SMEs)

---

논문접수일 : 2023.10.19.    논문수정일 : 2023.12.05.    게재확정일 : 2023.12.12.

1. 경기연구원 모빌리티연구실 연구원

2\*. 경기연구원 모빌리티연구실 연구위원, Corresponding Author: kimbk0730@gri.re.kr

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 물류산업은 다양한 O2O(Online to Offline), 제조-유통-물류-정보의 융복합 등 혁신 기술의 도입과 디지털 전환으로 경제 활성화의 원동력이 되고 있으며, 기존 분업적 서비스와 노동력 기반의 제조·수출입 지원산업에서 국민 생활 편의 및 내수 지원을 중심으로 하는 첨단 융복합 산업으로 전환되고 있다. 이러한 트렌드 변화에 따라 정부는 스마트 물류센터 인증제 도입 등 물류센터를 중심으로 물류 시설의 스마트화와 동시에 공유·연계형 물류 인프라 구축을 추진 중에 있다. 현재 대기업을 중심으로 물류센터의 고도화 및 대형화에 대한 투자가 확대되고 있으나, 중소기업의 경우 스마트 물류 시설 구축을 위한 투자 및 기술력 확보에 어려움을 겪고 있어 물류 부문의 기업 경쟁력 저하가 우려되는 실정이다. 중소기업의 경쟁력 확보를 위해서는 중소기업에 대한 물류 시설, 물류 장비, 물류 처리 등 스마트화에 대한 공공지원이 필요하며, 공동으로 이용 가능한 스마트 물류센터 조성을 지원함으로써 스마트 물류체계 전환을 도모하고 기업 경쟁력을 확보할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 중소기업의 스마트 물류체계 전환을 지원하기 위한 공공 스마트 공동물류센터 조성 방안을 검토하고자 한다. 경기도를 중심으로 스마트 공동물류센터 조성의 필요성 및 요구사항을 조사하고, 설문조사 결과를 기반으로 경기도 내 스마트 공동물류센터 조성 방안을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 내용

본 연구의 시간적 범위는 각종 최신 공인 통계자료의 수집 가능 기간을 고려하여 2021년으로 설정하였다. 공간적 범위는 전국 물동량의 18% 이상을 차지하고, 총 722개의 물류창고가 입지하고 있어 수도권 물류의 주요 관문 역할을 수행하는 경기도로 설정하였다.

현황 파악을 위해 스마트 공동물류센터의 정의 및 관련 법·제도를 검토하고, 정부, 지자체 등 물류센터 관련 계획 등 정책 동향 및 관련 연구를 검토하였다. 또한, 경기도 남북부의 물류창고 및 택배 시설 현황 분석과 기업물류실태조사 자료를 통한 중소기업 물류비 현황을 분석하였다. 다음으로 경기도 중소 물류창고 기업을 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 이를 통해 스마트 공동물류센터의 필요성 및 요구사항을 분석하였다. 마지막으로 경기도 여건을 고려한 경기도 스마트 공동물류센터의 조성 방안을 제시하였다.

## 2. 정책 및 현황 검토

### 2.1 스마트 공동물류센터 정의 및 법·제도 검토

스마트 공동물류센터는 첨단 물류시설 및 설비, 운영시스템을 도입하여 저비용·고효율·안정성·친환경성 등에서 우수한 성능을 발휘할 수 있는 물류창고로 중소기업이 저렴한 임대료로 장기간 공동으로 이용 가능한 물류센터를 의미한다. 즉, 스마트 물류센터와 공동물류센터가 통합된 물류시설로 로봇, 인공지능(AI)과 같은 첨단 물류 시설, 운영시스템 등을 통해 물류센터 입·출고 및 재고를 자동으로 관리하고 물류 시설의 고장도 감지하여 예방하는 차세대 물류센터이다. 기존 입·출고 및 운송 방식, 적치 작업, 피킹 작업 등을 로봇, AI, IoT, 빅데이터 등을 활용하는 방식으로 전환하게 되면 안전사고 예방, 작업 효율 향상 등을 도모할 수 있는 장점이 있다. 해양한국(2021)에 따르면 기존 물류센터보다 피킹(Picking) 작업시간은 15%, 운영비용은 20% 이상 절감되고, 생산성은 10% 이상 증가하는 효과가 있는 것으로 분석되었다.

스마트 공동물류센터의 경우, 별도의 법적 정의 및 기준 등 근거가 마련되어 있지 않아 포괄적인 물류센터의 범위로 검토하였다. 물류센터는 크게 물류시설에 속하며 「물류시설법」과 「물류시설법 시행규칙」을 따른다. 「물류시설법」에는 물류시설의 정의, 종류 및 유형, 물류창고 등록, 스마트 물류센터의 정의 및 인증, 물류단지 개발 및 운영 관련 내용이 포함되어 있다. 「물류시설법 시행규칙」에는 스마트 물류센터와 관

련하여 인증기준, 인증 절차 및 방법 등의 내용이 포함되어 있다. 이외에 「물류창고업 등록에 관한 규칙」, 「생활물류서비스법」, 「중소유통공동도매물류센터 건립·운영요령」 등에 근거하여 물류센터를 조성하고 운영하여야 한다.

스마트 물류센터 인증제는 물류창고의 노후화 문제를 해소하고, 일부 물류 시설을 혐오시설로 보는 인식을 개선하기 위하여 도입된 제도이다. 첨단 자동화 시설 및 시스템 등을 활용하고 있으며 효율성, 안전성, 친환경성이 우수한 물류 시설은 스마트 물류센터로 인증받을 수 있으며, 행정적·재정적 혜택을 부여받을 수 있다. 스마트 물류센터의 인증기준은 「물류시설법 시행규칙」 제13조의 2와 「스마트 물류센터 인증요령」에 근거하며, 입고·보관·분류 등 물류처리 기능영역의 첨단화·자동화 수준이 우수하거나 시설의 구조적 성능, 창고관리 시스템 등 기반 영역의 효율성·안전성·친환경성 수준이 우수해야 한다. 국내 스마트 물류센터 인증 사례로 파스토, 한진, CJ대한통운, 로지스밸리SLK, 로지스밸리천마, 하나로TNS가 있다. 정부는 스마트 물류센터로 인증받은 기업에 대하여 스마트 물류센터 신·개축 시설자금 및 운영자금을 저금리로 융자받을 수 있도록 재정적인 혜택 등을 지원한다.

## 2.2 스마트 공동물류센터 정책 동향 및 관련 연구 검토

최근 스마트 공동물류센터와 관련된 정책 및 사업이 활발하게 추진되고 있다. 먼저 국토교통부(2021)는 우리나라 물류의 종합적인 발전 방향과 추진 전략을 제시하는 「제5차 국가물류기본계획(2021~2030)」을 수립하였다. 산업 트렌드 변화에 따른 생활물류 수요에 대응하고자 공유·연계형 인프라 및 네트워크 구축 계획을 제시하였다. 구체적으로 주차장 등의 공공용지를 활용하여 물류 시설을 구축하는 방안, 창고 및 주요소 등 물류 시설 공유제도 도입 방안, 고속도로 IC·JCT 인근과 영업소·휴게소 잔여지 등 유휴부지를 활용한 물류 시설 구축을 통한 도심 배송지원 방안 등이 있다. 또한, 중소기업이 공동으로 활용하여 물류비를 절감하고, 함께 성장할 수 있는 기반을 마련할 수 있는 스마트 공동물류센터 확대 조성 계획을 제시하였다. 현재 천안 물류단지, 부산항, 인천항 배후단지 내 스마트 공동물류센터 건립을 추진 중에 있다.

국토교통부(2020)는 생활물류 서비스 수요에 선제적으로 대응하고 생활물류 산업을 체계적으로 육성 및 관리하기 위해 「생활물류 발전방안」을 발표하였다. 추진계획으로 거점 물류 인프라, 도심 배송 지원시설, 콜드체인 인프라 등 첨단 물류·유통 인프라 확충 계획을 제시하였다. 구체적으로 중소 물류기업과 스타트업 등이 시세보다 저렴하게 장기간 안정적으로 사용할 수 있는 기업 공유형 물류센터 확충 방안과 서울 도시철도 차량기지 내 유휴부지를 활용하여 택배업체 등이 공동으로 사용하는 공유형 물류센터 조성 방안, 농·수산물의 신선도와 품질을 유지하기 위해 전국 수산물 콜드체인 시스템 구축 방안, 산지 인근에서 집하-저온·냉동보관-포장 등 One-Stop 처리할 수 있는 공유형 스마트 집하장을 확충할 계획이다.

국토교통부(2020)는 저성장·양극화 심화에 대응하고 글로벌 경제 선도를 위한 국가발전전략으로 「한국판 뉴딜 종합계획」을 발표하였다. 육상물류를 위한 스마트 공동물류센터(11개소)와 해운물류를 위한 항만 배후단지 스마트 공동물류센터(2개소)의 개발계획을 수립하였으며, 도심 공공 유휴부지 등을 활용하여 중소 물류기업이 이용하는 스마트 공동물류센터를 추진 중에 있다. 이 중 천안 물류센터는 한국토지주택공사(LH)가 천안물류단지 내 유포지를 활용하여 중소 물류업체를 위해 시세 대비 저렴한 수준으로 임대할 계획이며, 차량기지 물류센터는 3개의 차량기지(지축·모란·도봉) 내 택배 분류장을 공동물류센터로 시범 조성하고 2025년까지 7개 기지에 추가 구축하여 도심 물류 인프라 부족 문제를 해소할 예정이다. 이러한 스마트 공동물류센터는 정부가 30% 지원하고, 나머지는 각 공사에서 출자(서울교통공사의 경우, 서울시 30%, 공사 40%)하여 개발하는 방식이며, 정부에서 지원하는 금액만큼 임대료 할인을 통해 중소기업, 벤처기업, 스타트업 등에게 해당 공간을 제공할 예정이다.

스마트 공동물류센터와 관련된 사업은 많지만, 관련 연구는 미흡한 실정이다. 이에 공동물류와 관련된 연구를 중심으로 검토하였다. 박영태 외(2022)는 중소기업의 진입장벽을 낮출 수 있는 공동물류 처리공간인 스마트 공동물류센터의 개발과정을 5단계로 구분하여 정의하였다. 가장 기본적인 단계는 물류 현장에서 생성되는 데이터를 표준화, 수집, 관리하는 데이터 인프라 구축 단계로 상품의 이동을 바코드나 RFID를 통해 식별하는 단계를 의미한다. 두 번째는 물류 현장에서 생성되는 물류 정보를 실시간으로 모니터링하는

단계이다. 물류 정보에는 작업자, 장비, 화물 등의 움직임에 대한 정보가 포함된다. 세 번째는 관리 및 통제 단계로 수집된 물류 정보를 분석하여 현장을 체계적으로 관리 및 통제하는 단계를 의미한다. 네 번째는 시뮬레이션을 통해 물류 운영을 예측하고 선제 대응능력을 갖춘 자동화 시스템 구축 단계이다. 마지막으로 자율 운영 단계로 로봇, AR·VR, 디지털트윈 기술 등을 이용하여 물류운영 모니터링부터 작업자, 시설 및 장비, 화물 등을 자동화하는 단계이다. 단계별 개발도 중요하지만 4차 산업혁명 기술을 접목시켜서 해상물류와 육상물류를 연계할 수 있는 시스템 구축이 필요하다고 언급하였다. 또한, 물류 분야의 지원 방안을 마련할 수 있는 전문 운영 기관의 필요성도 제시하였다.

허성호(2022)는 도시 물류 공동 플랫폼의 구축 방안에 대한 연구를 수행하였다. 도시 물류 공동 플랫폼은 택배 정보가 존재하는 온라인상의 정보시스템 계층에서 중심점이 되는 온라인 플랫폼과 화물 이동이 이루어지는 물리적 환경에서 택배 화물 이동의 거점이 되는 오프라인 플랫폼으로 구성된다. 온라인 및 오프라인 도시 물류 공동 플랫폼 도입을 위해서 단계별로 공공과 민간의 역할을 제시하였으며, 오프라인 도시 물류 공동 플랫폼 구축을 위해서 공공의 역할로 중앙정부 및 지자체 공공시설(부지) 내 구축 사업을 추진하는 방안을 제시하였다.

조양일(2023)은 물류 공동화가 물류기업의 경영 성과에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 국내 운송·보관·국제 물류주선·하역 등 물류기업을 대상으로 실증분석을 수행한 결과, 물류의 비용·관계·정보 지향 전략이 물류 공동화를 매개로 기업의 재무·운영·전략 성과지표에 모두 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 해당 연구를 통해 공유 물류시설을 활용함으로써 물류기업의 재무성과를 높일 수 있음을 확인하였다.

문인구(2020)는 포스트 코로나 시대의 온라인 배송 강화를 위한 공동물류센터를 활성화하기 위한 요소를 도출하고 우선순위를 분석하였다. 총 5가지 요소(제도지원적 측면, 기업특성적 측면, 운영 특성적 측면, 의사소통적 측면, 정보시스템 측면)로 구분하고 세부 요인은 전문가의 의견을 종합하여 선정하였다. 우선순위 분석 결과, 공동물류센터 활성화를 위한 요소로 최신 물류시설의 확보, 참여기업이 요구하는 서비스 개발 노력, 상품특성을 고려한 탄력적 운영, 물류공동화에 대한 충분한 이해 순으로 조사되었다. 이는 온라인 배송의 특성상 다품종 소량 품목을 신속하게 분류하고 배송해야 하므로 물류기업이 물류경쟁력을 확보하기 위해서는 최신 물류시설의 확보가 우선되어야 한다는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 대형 유통회사들이 영업 적자를 감수하면서도 물류센터에 많은 투자를 하고 있지만, 대부분의 기업들은 물류센터에 대한 막대한 투자를 하기 어려운 현실이다. 이에 해당 연구에서는 공동물류센터를 통해 포스트 코로나 시대를 대비해야 할 것을 제안하였다.

## 2.3 경기도 물류센터 및 창고 현황

경기도는 수도권 물동량의 상당부분을 처리하거나 경유하면서 경기도 내 물류센터의 중요성은 시간이 지날수록 더욱 커질 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 전국 물동량을 처리하는 경기도를 중심으로 중소 물류기업이 공동으로 이용가능한 스마트 공동물류센터 조성 방안을 제시하였다. 이를 위해 우선 경기도의 물류센터 및 창고 현황을 분석하였다.

경기데이터드림의 「물류 창고업체 현황」 자료에 의하면 2022년 경기도의 물류창고는 총 722개이며, 경기 남부에 636개, 경기 북부에 86개가 등록 및 운영 중에 있다. 이 중, 이천시 145개, 용인시 133개, 안성시 57개, 평택시 56개 순으로 물류창고가 많으며, 모두 경기 남부에 입지하고 있다. 경기 북부의 경우 파주시가 36개, 남양주시가 17개, 포천시 11개 순이다. 2020년 대비 2022년에 경기도에 신규 등록된 물류창고는 총 72개이며, 경기 남부에 61개, 경기 북부에 11개가 등록되었다. 이 중 이천시가 2020년 129개에서 2022년 145개로 증가하여 물류창고가 가장 많이 증가하였으며, 용인시, 안성시, 군포시, 여주시 순으로 신규 물류창고 수가 증가하였다. 경기도 시군별 물류창고 등록 현황은 Figure 1과 같다.



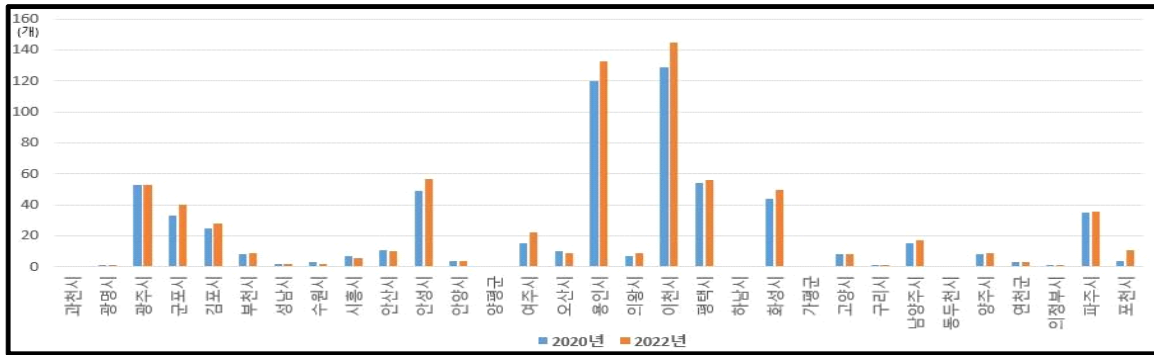


Figure 1. Logistics warehouse registration status in Gyeonggi-do

Source: Gyeonggi Data Dream. Current status of logistics warehouse (searched on November 3, 2022).

경기도 물류창고의 면적은 총 9,389,695㎡이며, 경기 남부가 8,804,599㎡, 경기 북부가 585,096㎡로 이루어져 있다. 이 중 이천시가 일반창고와 냉장·냉동창고, 보관장소 면적을 모두 포함한 물류창고 면적이 2,267,043㎡(54.1%)로 가장 큰 것으로 분석되었다. 다음으로 용인시 1,650,960㎡, 안성시 1,265,745㎡, 화성시 714,241㎡ 순이며, 모두 경기 남부지역에 입지하고 있다. 경기 북부의 경우 파주시가 272,023㎡로 가장 크고, 남양주시 89,790㎡, 고양시 89,305㎡ 순이다. 경기 남부지역의 물류창고 면적은 경기도 전체의 물류창고 면적의 93.8%를 차지하고 있어 경기 남부와 북부지역 간 차이가 큰 것을 알 수 있다. 2020년 대비 2022년에 경기도 물류창고 면적은 1,754,028㎡ 증가하였으며, 이 중 경기 남부가 1,632,430㎡, 경기 북부가 121,598㎡ 증가하였다. 이 중 안성시가 2020년 632,920㎡에서 2022년 1,265,745㎡로 632,825㎡ 증가하였으며, 이천시, 용인시, 여주시 순으로 물류창고 면적이 증가하였다. 경기도 시군별 물류창고 면적 현황은 Figure 2와 같다.

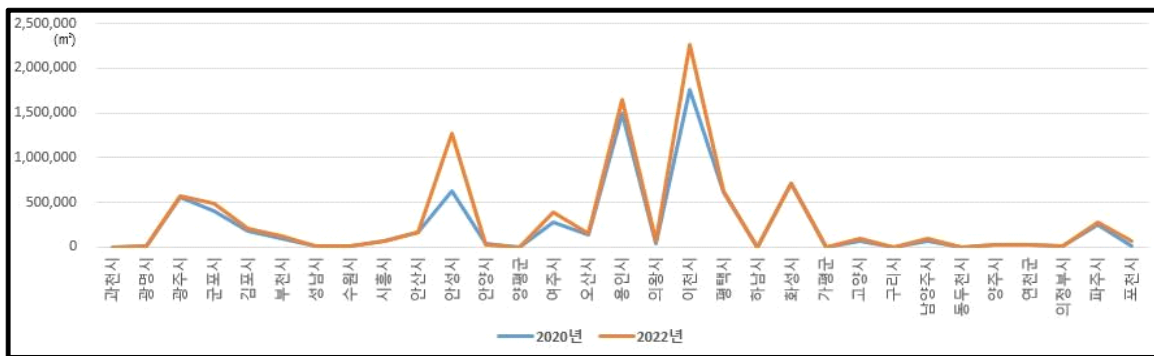


Figure 2. Logistics warehouse area Gyeonggi-do

Source: Gyeonggi Data Dream. Current status of logistics warehouse (searched on November 3, 2022).

경기도 물류창고를 유형별로 살펴보면, 일반창고가 7,678,409㎡로 전체의 81.8% 비중을 차지하고 있다. 냉장·냉동 창고는 915,721㎡, 보관장소는 795,565㎡로 각각 9.8%, 8.5%를 차지하고 있다. 2020년 대비 2022년에 유형별 물류창고 면적은 일반창고가 1,023,029㎡로 가장 많이 증가하였다. 이는 전자상거래 발달과 코로나19의 영향으로 온라인 쇼핑 활성화, 생활 패턴의 변화 및 택배 거래가 증가하면서 물류창고의 수요가 증가한 것에 기인한다. 경기도 유형별 물류창고 면적은 Table 1과 같다.

Table 1. Warehouse area by type in Gyeonggi-do

Unit: m<sup>2</sup>

Category	2020	2022	Increase(2022-2020)
General warehouse	6,655,380	7,678,409	1,023,029
Frozen/Refrigerated warehouse	754,473	915,721	161,248
Storage	225,814	795,565	569,751
Sum	7,635,667	9,389,695	1,754,028

Source: Gyeonggi Data Dream. Current status of logistics warehouse (searched on November 3, 2022).

2022년 경기도 시군별 택배 시설은 총 218개이며, 용인시가 36개로 가장 많은 것으로 나타났다. 용인시의 경우 CJ대한통운 17개, 롯데로지스틱스 6개, 한진택배 2개, 쿠팡 4개, 마켓컬리 1개, 기타 6개의 택배 시설이 입지하고 있다. 다음으로 이천시 30개, 군포시 22개, 안성시 18개 순이다. 전체 218개 중 177개(81.2%)가 경기 남부에 집중되어 있어 남부 대비 경기 북부에 택배 시설이 현저하게 부족한 것으로 나타났다. 경기 남북부 택배 시설 현황은 Table 2와 같다.

Table 2. Status of delivery facilities in the northern and southern of Gyeonggi-do

Unit: Number

Category	CJ Logistics	Lotte Logistics	Hanjin Logistics	Logen Logistics	Coupang	Market Curly	etc	Sum
Southern Gyeonggi-do	61	45	8	5	22	4	32	177
Northern Gyeonggi-do	21	4	4	0	10	1	1	41
Sum	82	49	12	5	32	5	33	218

Source: Gyeonggi Data Dream. Current status of logistics warehouse (searched on November 3, 2022).

건축물 생애이력 관리 시스템의 「건축물 통계」에 의하면 경기도의 시군별 창고시설은 총 17,594개가 입지하고 있으며, 양평군이 3,092개로 가장 많은 것으로 나타났다. 다음으로 남양주시 1,287개, 여주시 1,239개, 평택시 1,073개 순이다. 유형별 창고시설은 기타 창고가 10,001개로 가장 많은 비중을 차지하며, 일반창고가 7,228개, 냉장·냉동 창고가 248개, 집배송 시설이 99개, 물류터미널이 18개로 나타났다. 경기 남부와 북부를 비교하였을 때, 경기 남부가 11,771개로 총 66.9%의 비중을 차지하는데 이는 여주시, 평택시, 이천시 등 창고시설이 많은 시군 대부분이 경기 남부에 위치하고 있기 때문이다. 이에 반해 경기 북부의 창고시설은 총 5,823개로 경기 남부의 절반 수준(33.1%)인 것으로 나타났다. 경기 남북부 창고시설 현황은 Table 3과 같다.

Table 3. Status of warehouse facilities in the northern and southern of Gyeonggi-do

Unit: Number

구분	General warehouse	Frozen/Refrigerated	Logistics terminal	Pick-up and delivery facilities	etc	Sum
Southern Gyeonggi-do	5,044	190	17	51	6,469	11,771
Northern Gyeonggi-do	2,184	58	1	48	3,532	5,823
Sum	7,228	248	18	99	10,001	17,594

Source: Building life history management system. Building statistics (searched on November 3, 2022).

### 3. 스마트 공동물류센터 구축의 필요성

#### 3.1 중소기업 물류 현황

통계청의 「2020년 기업물류비실태조사」 자료를 기반으로 중소기업의 매출액 대비 물류비 등 물류비 현황을 검토하였다. 중소기업은 (「중소기업기본법」상 영리기업(법인기업, 개인사업자) 또는 「사회적기업육성법」에 따라 사회적 기업으로 인증을 받은 사회적기업, 협동조합 제2조에 따른 협동조합(연합회), 중소기업협동조합법 제3조에 따른 (사업)협동조합(연합회)을 대상으로 적용되며, 규모와 독립성 기준을 모두 충족하여야 한다. 중소기업의 매출액 대비 물류비 비중은 Table 4와 같으며, 중소기업의 매출액 대비 물류비 비중은 7.16%로 대기업의 6.63%와 비교하였을 때 물류비가 차지하는 비중이 높은 것을 알 수 있다. 이 중, 도소매업의 매출액 대비 물류비 비중은 7.98%로 제조업에 비하여 높게 나타났는데, 이는 유통과정 중 물류 업무 비중이 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 중소기업 물류 기능별 물류비 분포는 Table 5와 같으며, 중소기업의 물류비는 운송비가 60%로 가장 큰 부분을 차지하지만, 보관·하역·포장·물류정보·물류관리 등 물류센터와 관련한 비용이 40%로 적지 않은 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 대기업에 비해 중소기업의 경우 보관·하역·포장·물류정보·물류관리 비용 비중은 적지만 그만큼의 보관·부가가치물류·정보화 등에 대한 투자가 이루어지지 못하고 있다고 볼 수 있다. 이에 중소기업의 물류 운송비용 절감과 함께 물류센터에서의 물류 처리 및 관리에 대한 투자를 지원할 필요가 있다.

Table 4. Proportion of logistics costs to small or medium-sized enterprises

Unit: %

Category	small or medium-sized enterprises	major enterprises	Total	SMEs/Major
manufacturing	7.10	6.50	7.00	1.1
wholesale and retail	7.98	7.41	7.79	1.1
total	7.16	6.63	7.06	1.1

Source: Statistics Korea (2020), 2020 Corporate Logistics Cost Survey (searched on November 2, 2022).

Table 5. Distribution of logistics costs by small or medium-sized enterprises

Unit: %

Category	small or medium-sized enterprises	major enterprises	Total
delivery cost	59.7	58.2	59.4
storage cost	17.9	22.1	18.7
unloading cost	7.5	5.2	7.0
packaging cost	7.4	6.4	7.2
Logistics information cost	1.8	2.0	1.9
Logistics management cost	5.7	6.1	5.8
Total	100.0	100.0	100.0

Source: Statistics Korea (2020), 2020 Corporate Logistics Cost Survey (searched on November 2, 2022).

중소기업의 물류비 증가의 기업 내부요인과 외부요인을 검토하였다. 먼저 기업 내부요인으로서는 매출 증가가 가장 큰 요인으로 파악되었으며, 중소기업의 경우 매출 증가에 따른 물동량 증가에 더욱 민감한 것으로 나타났다. 다음으로 인건비 상승과 물류시설 및 기기 투자로 인한 물류비 증가가 대기업에 비해 다소

높은 것으로 나타났다. 이를 통해 중소기업의 경우 물동량 증가에 따른 유연한 대응과 인건비 절감, 물류시설 및 기기 투자에 대한 대응이 필요한 것으로 판단된다. 기업 외부요인으로는 운송비 증가가 가장 큰 요인으로 파악되었으며, 다음으로 임차료 및 보관비 증가가 영향을 크게 미치는 요인인 것으로 나타났다. 특히, 중소기업의 경우 대기업과 비교하였을 때 고객 물류서비스 요구 증가와 임차료 및 보관비 증가가 물류비 증가의 주요 원인으로 나타나 물류서비스를 개선하고 임차 및 보관비를 절감할 수 있는 방안을 모색하는 것이 필요하다고 판단된다.

중소기업의 물류비 절감 방안은 Table 6과 같으며, 물류비 산정 및 관리를 가장 중요하게 고려하며 배송빈도 개선, 적재율 향상, 수·배송경로 개선 순이다. 이 중, 스마트 공동물류센터와 관련된 물류비 절감 방안은 물류 정보·자동화, 물류센터 공동화, 보관의 아웃소싱이 해당되며 약 20% 수준이다. 대기업에 비해 중소기업의 경우 물류 자동화, 공동화 등보다 운송과 인력 감축에 대한 절감 방안을 더 많이 고려하는 것으로 나타났다. 이는 인력과 운송에 대한 개선 방안은 보다 쉽게 접근할 수 있지만, 스마트 공동물류에 대해서는 접근이 어렵다는 것을 반증한다고 할 수 있다.

Table 6. Measures to reduce logistics costs for small or medium-sized enterprises

Unit: %

Category	small or medium-sized enterprises	major enterprises	Total
Comprehensive and systematic logistics cost estimation and management	27.8	38.5	30.0
Improved delivery frequency and loading rate	22.7	9.9	20.1
Improvement of delivery and delivery routes	13.8	10.8	13.2
Advancement of logistics informatization, standardization, automation, etc.	12.5	15.5	13.1
Inventory cuts	5.6	3.4	5.1
Joint of storage	4.4	4.7	4.5
Reduction of personnel in the logistics sector	4.7	2.9	4.4
Outsourcing of Transportation and Storage	3.2	7.9	4.2
Joint of transport	3.7	5.9	4.2
etc	1.6	0.5	1.3
Total	100.0	100.0	100.0

Source: Statistics Korea (2020), 2020 Corporate Logistics Cost Survey (searched on November 2, 2022).

지방행정 인허가 데이터 개방 시스템의 「물류창고업 현황」 자료를 기반으로 경기도 소재 중소기업과 대기업의 물류창고업체별 창고면적을 비교한 결과는 Table 7과 같다. 경기도 물류창고업체는 중소기업 372개, 대기업 387개로 비슷한 수준이며, 경기 북부의 경우 중소기업 11%, 대기업 15%가 입지하고 있다. 중소물류창고업체의 평균 창고면적은 8,660m<sup>2</sup>으로 대기업 15,771m<sup>2</sup>의 55% 수준으로 나타났다. 경기 남부와 북부로 구분하여 대기업 대비 중소기업의 창고면적을 비교하면 남부는 53%, 북부는 64% 수준으로 경기 남부에서 대기업의 창고면적과 격차가 큰 것으로 나타났다. 또한, 중소물류창고업체의 경기 북부 창고면적은 남부의 47% 수준이며, 대기업 물류창고업체의 경기 북부 창고면적은 남부의 40% 수준으로 대기업이 남북부 간 규모의 격차가 큰 것으로 나타났다. 결과적으로 경기 남부에서 중소기업과 대기업의 규모 격차가 크고, 대기업일수록 남북부 간 규모의 격차가 크게 나타나서 대기업이 경기 남부에 물류창고를 집중적으로 투자하고 있음을 알 수 있다.

Table 7. Comparison of warehouse space for small or medium-sized enterprises

Category		Number of enterprises		Average warehouse area(m <sup>2</sup> )	North/South(%)	SMEs/Major(%)
		Number	Distribution(%)			
small or medium-sized enterprises	Southern	330	89%	9,213.8	0.47	0.53
	Northern	42	11%	4,362.8		0.64
	Total	372	100%	8,660.2	-	0.55
major enterprises	Southern	329	85%	17,341.8	0.40	-
	Northern	58	15%	6,861.8		
	Total	387	100%	15,771.1	-	
Total	759	-	12,305.1	-	-	

Source: Ministry of Public Administration and Security, local administration licensing data open (searched on August 31, 2022).

### 3.2 스마트 공동물류센터 조성의 필요성

스마트 공동물류센터 조성의 필요성은 크게 4가지로 구분할 수 있다. 첫 번째로 중소기업 물류센터 규모의 한계이다. 현병언(2019)에 따르면 전국 중소 유통업체의 물류센터 평균 면적은 2,680m<sup>2</sup>이며, 경기도 수원 물류센터의 경우 부지 4,621m<sup>2</sup>, 건물 1,144m<sup>2</sup>에 불과하며 수도권 물류시설이 부족한 실정이다. 앞서 검토한 보관 및 창고업, 운송 및 택배업, 도소매업, 제조업의 등록된 물류창고의 창고면적에서 중소기업 창고면적은 8,660m<sup>2</sup>으로 대기업의 15,771m<sup>2</sup>의 55% 수준에 불과하다. 중소기업의 물류시스템 및 관리 수준은 규모 측면에서 큰 차이가 나며, 이러한 차이는 가격과 서비스의 경쟁력 차이를 가져오는 핵심 요소라고 할 수 있다. 이에 중소기업이 공동이용이 가능하고 공동화, 대형화, 정보화된 스마트 공동물류 센터를 조성하여 중소기업 물류센터의 규모의 경제 확보가 필요하다.

두 번째로는 중소기업 물류센터의 부족이다. 최근 물류서비스는 소량 및 다빈도 배송과 당일배송 등 즉시 서비스로 전환되고 있어 배송시간을 빠르게 단축해야만 물류산업에서 경쟁력을 확보할 수 있다. 박찬석(2023)에 의하면 3일 배송의 경우 시간 내 배송률 90% 달성을 위해서는 2개의 물류창고가 필요하며, 1일 배송의 경우 시간 내 배송률 75% 달성을 위해서는 도심지역에 최소 12개의 소규모 물류창고가 필요하다. 중소기업에게 있어서 배송시간을 단축시키기 위한 물류센터 확보는 막대한 비용 발생으로 인해 자체 투자에 한계가 있을 수 밖에 없는 실정이다. 이에 중소기업이 저비용으로 첨단화된 물류 네트워크를 확충하기 위해서는 시설을 갖춘 외부업체에 위탁하거나 물류센터를 임대하는 것이 유일한 대안이지만 위탁 및 임대료 증가가 중소기업의 물류비 증가의 요인이 될 수 있기에 저렴하게 이용 가능한 스마트 공동물류센터의 조성이 필요하다.

세 번째로는 중소기업의 높은 매출액 대비 물류비 비중이다. 국내 기업들은 물류 효율성 향상으로 물류비용이 꾸준히 감소하고 있는 추세이지만, 중소기업의 경우 매출액 대비 물류비 비중은 7.14%로 대기업의 평균 4.96%와 비교하였을 때 2.18% 높은 수준이다. 또한, 매출액 규모별로 물류비 비중을 검토하였을 때, 매출액이 증가할수록 물류비 비중이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 매출액이 적은 중소기업의 경우 물류비용이 기업에게 큰 부담으로 작용하는 것을 알 수 있다. 이에 중소기업의 경쟁력 향상을 위해서 물류비 부담을 줄여주기 위한 방안 검토가 필요하다.

마지막으로 중소기업 및 물류기업의 경쟁력 한계이다. 중소 물류기업은 생산성, 수익성, 혁신성의 3중고를 겪고 있어 기업 자체만의 힘으로 물류기술 혁신은 물론 외부기술 도입을 통한 성장여력도 어려운 실정이다. 비대면 소비와 생활물류 증가로 인해 2021년 물류기업의 전체 영업이익률이 전산업 평균을 상회하는 것으로 나타났다. 한국은행 경제통계시스템의 「수익성 지표」에 의하면 물류기업 중 대기업의 영업이익률은 2021년 급격히 증가한 반면 중소기업의 경우 오히려 감소한 것으로 나타났다. 물류시장의 성장에 따라 과거 수익성이 낮은 물류산업이 신성장 산업으로 발전하고 있음에도 불구하고 중소 물류기업은 대기업과

의 경쟁에서 뒤쳐져 수익성이 낮아지고 있는 실정이다. 이러한 이유로 인해 물류기업의 경우 전산업과 비교하였을 때 연구개발비(R&D) 투자비율 또한 저조한 것으로 나타났다.

종합하면 중소기업은 자체 스마트 물류센터를 구축할 만큼 물동량이 많지 않고, 자금, 기술, 경험 등 모든 면에서 어려움을 겪고 있다. 자체 물류센터를 구축하기에는 막대한 비용이 발생하고, 초기 물류센터를 임차하여 운영할 시에도 높은 임대료가 발생하게 된다. 또한, 중소기업은 부지선정, 설계, 건설, 인허가 등 물류센터 조성 절차 및 방법에 대한 전문성과 자동화 시설 등 각종 시설물 구축에 대한 기술력 및 전문성이 부족한 것으로 나타났다. 하지만 첨단화와 자동화로 효율성과 신속성이 중요해지고 있는 물류산업에서 중소기업도 스마트 물류로의 전환이 필요한 시점이다. 이에 전문성, 기술력, 자금력 등을 보완하고 투자에 따른 위험성을 낮출 수 있는 스마트 공동물류센터를 조성하여 중소기업의 물류 경쟁력과 물류 첨단화를 도모할 필요가 있다.

### 3.3 스마트 공동물류센터 요구사항 조사

스마트 공동물류센터란 첨단물류시설 및 설비, 운영시스템 등을 도입하여 저비용·고효율·안정성·친환경성 등에서 우수한 성능을 발휘할 수 있는 물류창고를 중소기업이 저렴한 임대료로 장기간 공동으로 이용 가능한 물류센터를 의미한다. 이러한 스마트 공동물류센터 조성방안의 기초자료를 구축하고자 경기도 내 중소 물류기업을 대상으로 스마트 공동물류센터의 필요성 및 요구사항에 대한 설문 조사를 수행하였다. 조사 기간은 2022년 10월 24일부터 11월 4일(총 12일) 간 수행하였으며, 조사 방법은 중소 물류기업 전화 섭외 후 Web 기반의 설문조사로 진행하였다. 경기도의 전체 물류창고 기업 중 중소 물류창고 기업 372개 중 100개 업체를 설문조사 대상으로 설정하였다. 이는 전체의 약 27%를 조사하는 것으로 대표성이 있다고 할 수 있겠다. 창고 규모 및 입지를 고려하기 위해 경기 남부와 북부로 구분하여 창고 규모에 따라 표본을 추출하였으며, 표본이 균등하게 분포하는 5,500m<sup>2</sup>를 기준으로 분류하였다. 경기 남부의 경우 총 70개로 5,500m<sup>2</sup> 미만 업체는 35개, 5,500m<sup>2</sup> 이상인 업체는 35개를 목표로 조사를 수행하였다. 경기도 중소 물류창고 기업이 경기 남부에 85% 입지하고 있는 것을 고려하여 경기 북부의 경우 총 30개의 표본으로 설계하였으나, 섭외 불가 및 거절로 인하여 목표 대비 73% 표본을 조사하였다. 경기 북부에서 조사하지 못한 8개의 표본은 경기 남부 창고 규모 5,500m<sup>2</sup> 이상 기업에서 조사를 수행하여 경기 남부는 목표 대비 111% 표본을 조사하였다. 표본 조사 결과는 Table 8과 같다. 설문 조사 항목은 Table 9와 같으며 업체 특성, 스마트 공동물류센터 이용 여부, 스마트 공동물류센터 요구사항에 대하여 조사하였다.

Table 8. survey results

Unit: Number. %

Category	Warehouse size	Number of enterprises (population)	Research enterprises		Target	Survey	
			Accept	Ratio		Investigation completed	Research/Goals
Southern Gyeonggi-do	under 5,500m <sup>2</sup>	143	113	79%	35	35	100%
	more 5,500m <sup>2</sup>	174	129	74%	35	43	123%
	Total	317	242	76%	70	78	111%
Northern Gyeonggi-do	under 5,500m <sup>2</sup>	43	34	79%	18	15	83%
	more 5,500m <sup>2</sup>	12	11	92%	12	7	58%
	Total	55	45	82%	30	22	73%
Total		372	287	77%	100	100	100%

Table 9. Survey details

Category	Details
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>General status (company name, industry, volume, location, logistics center area)</li> <li>Considerations when selecting a logistics center, improvements to logistics activities</li> <li>Logistics center relocation or expansion plan</li> </ul>
Whether to use a smart joint logistics center	<ul style="list-style-type: none"> <li>Whether to use a smart joint logistics center (intention, reason, required area, rental level)</li> <li>Whether to use the smart joint logistics center in northern Gyeonggi Province (intention, reason)</li> </ul>
Smart joint logistics center requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preferred location for smart joint logistics center</li> <li>Smart joint logistics center expected effects and functions</li> <li>Smart joint logistics center main expected cargo items and logistics storage types</li> <li>Smart joint logistics center required logistics facilities and operating system</li> <li>Smart joint logistics center usage cost level</li> </ul>

경기도 중소 물류창고 기업이 물류센터 선택 시 가장 중요하게 고려하는 사항은 Table 10과 같으며, 1순위는 교통 접근성이며, 다음으로 임대료의 적정성, 시설 이용의 편리성, 인력확보 용이성 순으로 조사되었다. 지가 상승에 대한 기대는 다른 사항보다 중요도가 낮았으며, 화주와의 접근성을 수요처와의 접근성보다 중요하게 고려하는 것으로 조사되었다. 또한, 경기 북부가 임대료의 적정성에 대하여 더 중요하게 고려하고, 지가 상승에 대해서는 남부보다 더 중요하게 고려하는 것으로 조사되었다.

Table 10. Important considerations when choosing a logistics center

Unit: 5 point scale

Category	Southern Gyeonggi-do	Northern Gyeonggi-do	Total
① Transportation accessibility	5.0	4.9	5.0
② Approach to shippers (producers)	4.2	4.2	4.2
③ Accessibility to delivery destination and demand (consumer)	4.1	3.5	4.0
④ Rent adequacy	4.8	4.9	4.8
⑤ Convenience in using the facility	4.9	4.4	4.8
⑥ Ease of securing logistics manpower	4.8	4.1	4.7
⑦ Requests from business partners	4.1	3.9	4.1
⑧ Expectation of land price increase	3.5	3.8	3.6

경기도 중소 물류창고 기업이 물류활동 개선을 위해 필요한 사항을 자동화·공동화 등 스마트 공동물류센터와 관련된 항목과 기타 필요 요인 등을 조사하였으며, 이에 대한 조사 결과는 Table 11과 같다. 조사 결과, 운송·보관·하역 등의 자동화가 가장 필요한 것으로 나타났으며, 다음으로 물류정보시스템 구축, 표준화, 전문인력 확보 순으로 조사되었다. 이를 통해 물류활동 개선을 위해서는 스마트화가 필요하지만, 중소 물류창고 기업이 단기간 내에 이러한 시스템을 구축하기에는 한계가 있으므로 정부 차원에서의 지원이 필요하다고 판단된다. 또한, 설문 조사 결과를 통해 자동화 및 정보화 필요성에 비하여 물류센터 및 운송 공동화에 대한 필요성은 상대적으로 낮게 인식하고 있는 것으로 조사되었다. 전반적으로 경기 북부 기업은 남부 기업에 비해 현재 물류활동 개선에 대한 필요성을 낮게 인식하고 있는 것으로 조사되었다.



Table 11. Matters needed to improve logistics activities

Unit: 5 point scale

Category	Southern Gyeonggi-do	Northern Gyeonggi-do	Total
① Expansion of logistics center (warehouse)	3.1	2.9	3.0
② Standardization of logistics-related equipment/containers, etc.	3.2	2.7	3.1
③ Establishment of logistics information system	3.3	2.7	3.2
④ Automation of transportation/storage/unloading, etc.	3.3	3.0	3.2
⑤ Joint of transport	2.8	2.7	2.8
⑥ Joint of storage	2.8	2.6	2.8
⑦ Securing specialized personnel/organization related to logistics	3.3	2.7	3.1
⑧ Reduction of personnel in the logistics sector	3.0	2.6	3.0
⑨ Improvement of delivery and delivery routes	3.0	2.7	3.0

스마트 공동물류센터 사용 여부 및 필요성에 대한 조사 결과는 Table 12와 같으며, 민간보다 저렴한 대  
료로 사용이 가능한 첨단 스마트 공동물류센터가 조성될 경우 중소 물류창고 기업 중 7% 정도만이 사용  
의사가 있는 것으로 나타났다. 사용 의사가 있는 기업들은 모두 임대형식으로 사용하길 희망하고, 물류센  
터 운영업체에 위·수탁으로 사용할 의사는 없는 것으로 조사되었다. 또한, 경기 북부의 조사 기업들은 모  
두 스마트 공동물류센터를 사용할 의사가 없는 것으로 나타났는데, 이는 스마트 물류센터에 대한 의식이  
높지 않고, 새로운 물류기술에 대한 정보 및 홍보가 부족한 것에 기인한다고 판단된다. 이에 경기 북부 중  
소 물류창고 기업을 대상으로 경기 남부에 존재하는 스마트 물류시설을 적극 유치하고, 직·간접적으로 경  
험하도록 하여 인식의 전환을 도모할 필요가 있다.

Table 12. Intention to use smart joint logistics center

Unit: %

Category	Use rental format	Use of consignment by the operator	Not used
Southern Gyeonggi-do	9.0	0.0	91.0
Northern Gyeonggi-do	0.0	0.0	100.0
Total	7.0	0.0	93.0

스마트 공동물류센터 미사용 이유에 대한 조사결과는 Table 13과 같으며, 자사 물류센터 이용을 선호한  
다는 점이 전체의 58.1%로 가장 큰 비중을 차지한다. 다음으로 비용 절감효과가 미비할 것으로 예상되는  
점, 자사 물류네트워크가 이미 구축되어있다는 점 순으로 조사되었다. 결과적으로 스마트 공동물류센터 이  
용 활성화를 위해서는 자사 물류센터만큼 기업 맞춤형의 서비스를 제공하고, 임대료 등의 확실한 비용 절  
감의 장점을 제시할 필요가 있다.

Table 13. Reasons for not using a smart joint logistics center

Unit: %

Category	Southern Gyeonggi-do	Northern Gyeonggi-do	Total
① Preference for owning own logistics center (warehouse)	62.0	45.5	58.1
② Expected lack of cost reduction effect	31.0	63.6	38.7
③ Establishment of own logistics network	33.8	31.8	33.3
④ Burden of costs for using external logistics facilities	15.5	27.3	18.3
⑤ No need for advanced logistics and standardization	8.5	27.3	12.9
⑥ Concerns about limited choice of business partners	2.8	13.6	5.4
⑦ Difficulty securing sufficient space	2.8	4.5	3.2
⑧ Logistics outsourcing in progress	1.4	9.1	3.2
⑨ Expected difficulty in securing manpower	1.4	4.5	2.2

스마트 공동물류센터를 사용할 시 희망 면적과 희망 임대료 조사 결과, 평균 6,001m<sup>2</sup>의 면적과 월 5,143만원으로 조사되었다. 희망 면적 중 상온창고가 3,819m<sup>2</sup>(63.6%)로 가장 큰 비중을 차지하고 냉동/냉장창고 651m<sup>2</sup>(10.8%), 보관장소(야적장) 1,381m<sup>2</sup>(23.0%)로 조사되었다. 희망 월 임대료의 경우 조사 기업이 단위 면적을 고려한 것이 아닌 총임대료 수준으로 응답했을 가능성이 있으며, 경기 남부의 총임대료 수준인 8,203만원과 비교하였을 때 37% 정도 저렴한 금액인 것으로 조사되었다.

스마트 공동물류센터의 요구사항은 모든 기업을 대상으로 사용 의사와 관계없이 조사를 수행하였다. 스마트 공동물류센터의 입지 선호도는 경기 남부는 용인시 20.9%, 이천시 13.7%, 광주시 11.1%, 화성시 11.1%, 평택시 9.4%, 여주시 9.4% 순이며, 경기 북부는 고양시 25.8%, 파주시 24.2%, 김포시 24.2%로 다른 지역에 비해 월등히 높게 나타났다. 기대효과로는 인건비 절감에 대한 기대가 전체 82.0%로 월등히 높았으며, 기대 기능으로는 입출고 기능에 대한 기대가 전체 79.0%로 높은 수준으로 조사되었다. 또한, 스마트 공동물류센터 운영시스템에 대한 요구에서는 경기 남부 기업들은 물류 첨단·자동화 시스템에 대한 요구가 많았으나 북부 기업은 방법 시스템, 주차시스템에 대한 요구가 많은 것으로 조사되었다. 이를 통해 경기 남부 기업이 북부 기업보다는 스마트 공동물류센터에 대한 이해도가 높고, 첨단화 및 자동화에 대한 필요성을 더 갖고 있는 것으로 판단된다.

#### 4. 공공 스마트 공동물류센터 조성 방안

##### 4.1 물류센터 개발 사업방식 검토

물류센터 등 물류시설 개발의 사업방식은 임대방식, 공동투자방식, 민간투자방식을 고려할 수 있다. 임대방식이란 경기도가 직접 물류센터 개발을 수행하고 민간업체에 위탁운영권을 부여하는 방식이며, 공동투자방식은 경기도와 민간이 공동출자한 법인이 개발 및 운영을 수행하는 방식이다. 마지막으로 민간투자방식은 경기도가 부지를 제공하고 민간사업자가 개발 및 운영을 수행하며 운영 종료 후 사용권을 반납하는 방식이다. 경기도에 스마트 공동물류센터를 구축할 시 개발 특성에 따라 탄력적인 사업방식 적용이 필요하며, 추가 연구를 통해 적합한 물류센터 개발방식의 검토가 필요할 것으로 보인다. 물류센터 개발 사업방식을 정리하면 Table 14와 같다.

Table 14. Advantages and disadvantages of development business method

Category	Gyeonggi-do rental method (financial project)	Joint investment method (public-private cooperation new business structure)	Private investment method (private investment method)
Concept	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gyeonggi Province directly develops logistics centers and grants consignment operation rights to private companies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Development and operation are carried out by a corporation jointly invested by Gyeonggi Province and the private sector.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gyeonggi-do provides the land, a private business conducts development and operation, and the right to use is returned after completion of operation.</li> </ul>
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gyeonggi-do strategy can be reflected in a timely manner through operator evaluation in a manner that has the highest possibility of Gyeonggi-do control.</li> <li>Gyeonggi Province can systematically link logistics center planning, design, and construction on its own</li> <li>Reduce the burden of Gyeonggi-do logistics center management work</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capable of leveraging private sector efficiency and expertise</li> <li>Securing dividend profits through equity investment</li> <li>Possibility to participate in the operation of logistics facilities to secure capabilities and expand business areas by acquiring professional logistics know-how</li> <li>Establishment of SPC enables procurement of various financial techniques and financial resources (institutional investors, citizens, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capable of utilizing the efficiency and expertise of the private sector (highest level of autonomy in the private sector)</li> <li>The method with the lowest financial burden in Gyeonggi Province (minimization of risk)</li> <li>By granting long-term operating rights, operators can diversify services from a customer perspective and meet complex customer needs.</li> </ul>
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>Due to the financial burden of Gyeonggi Province, it is difficult to meet customer demand in a timely manner through investment in aging facilities, etc.</li> <li>Limited use of private sector efficiency and expertise</li> <li>Insufficient establishment of a sustainable logistics facility operation strategy due to the short operation period (5 years) of private consignment companies</li> <li>Difficulty securing professional logistics capabilities due to simple rental management role in Gyeonggi-do through a simple rental model (space rental)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>If Gyeonggi Province fails to play a leading role, project delays and failures are possible due to conflicts between the private and public sectors.</li> <li>The advantages of public-private partnerships fade when the public gets too involved.</li> <li>Since the private sector and Gyeonggi Province share risks with each other, the risk of business failure is reduced to a certain extent.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>It is possible to reflect Gyeonggi Province's requirements to some extent at the time of initial public offering, but the possibility of controlling the reflection of Gyeonggi Province's strategy at the operation stage is low.</li> <li>Difficulty in timely reflection of Gyeonggi Province's logistics policy strategy</li> <li>Difficulty securing professional logistics capabilities due to simple rental management role in Gyeonggi-do through simple rental model (land rental)</li> </ul>

## 4.2 경기도 스마트 공동물류센터 개발 방안 검토

경기도 내 스마트 공동물류센터 개발 방안으로는 토지 보유 여부에 따라 네 가지 방안을 검토할 수 있다. 첫 번째는 경기도 소유의 토지가 있는 경우, 해당 토지를 경기도 예산을 투자하여 물류센터를 개발하는 방안이다. 최근 한국형 뉴딜정책의 일환으로 스마트 공동물류센터 4개소가 공공에서 추진 중에 있다. 이 중 서울교통공사의 경우 서울교통공사가 소유하고 있는 지하철 차량기지의 유휴부지를 활용하여 물류센터를 개발할 계획이며, 이는 토지수용비가 발생하지 않아 부담이 다소 적은 개발 방안이라고 할 수 있다. 특히, 공사비 정보광장의 유형별 공사비 자료를 바탕으로 공공기관 및 일반기업의 물류센터 개발비용을 비교하였을 때, 공공기관이 책정하는 관급 공사비 수준은 일반 사기업 공사비 수준의 약 2배 이상이다. 또한, 기본금리 상승에 따른 이자비용 부담과 환율상승 등에 의해 물류센터 등 개발사업에 차질이 생기고 있으며 사업성이 떨어지는 사업들은 대출심사 등을 통과하지 못해 사업을 추진하지 못하는 상황도 발생하고 있다. 결국, 사기업과 같이 토지수용을 전제로 한 개발 방식으로는 사업비를 회수하기가 쉽지 않아 소유하고 있는 부지를 활용하는 것이 가장 적합한 방식일 것으로 판단된다. 이에 경기도가 소유하고 있는 부지를 활용하고 국토부 등 중앙정부의 지원을 받아 경기도와 공공기관 또는 민간이 민관합작투자자로 개발하는 방안을 검토할 수 있을 것이다.

두 번째로 경기도 소유의 토지가 없는 경우, 유관 공공기관과의 협업을 통해 공공기관이 소유하고 있는 토지를 사용하여 물류센터를 개발하는 방안이다. 경기도에서 현재 개발되고 있는 물류센터는 한국토지주택공사의 천안 스마트 공동물류센터가 있다. 공공기관이 개발하는 스마트 공동물류센터 개발에 경기도가 참여하여 매칭펀드로 일부 비용을 지원한다면 개발비 부담을 줄이고, 더욱 저렴한 임대료의 공동물류센터를 조성할 수 있을 것으로 판단된다. 서울교통공사의 경우, 국토교통부 30%, 서울시 30%, 서울교통공사 40%의 매칭펀드를 활용하여 물류센터를 개발할 예정이다. 공공기관에서 개발하는 스마트 공동물류센터는 사업비의 한계로 용적률을 최대한 활용하지 못하는 경우가 있는데, 매칭펀드를 활용하면 용적률을 최대한 활용함과 동시에 개발비 부담을 줄일 수 있을 것이다. 경기도가 부담하는 사업비 비중만큼 경기도 중소기업들을 위한 공간을 확보하여 경기도가 직접 입주기업을 선발할 수 있을 것으로 예상되며, 이는 경기도 내 중소기업들이 지원받을 수 있고 직접 개발하는 방식보다 개발 리스크를 줄일 수 있는 방안이라고 판단된다.

세 번째로 경기도 소유의 토지가 없는 경우, 토지를 공공에서 구입하여 물류센터를 개발하는 방안이다. 경기도의 경우 전국 평균보다 지가가 높은 수준이고, 지속적으로 증가하고 있어 토지 확보 시 높은 수준의 비용을 투자해야 하는 어려움이 있다. 토지매입을 통해 물류센터를 개발할 경우, 충분한 임대료를 책정하여 사업성을 확보하여야 하나 2가지 이유로 인해 사업성이 저하될 수 있다. 먼저 경기 남부지역의 경우, 물류센터가 대거 몰려 있고 난개발되어 있어 공급이 수요를 웃도는 현상도 일어나고 있어 화주 유치와 경쟁력 확보를 위해 상대적으로 저렴한 임대료를 책정할 수 밖에 없어 사업성이 저하될 수 있다. 또한, 경기 북부지역의 경우, 물류센터 등 물류시설이 남부지역에 비해 상대적으로 적고 지가가 낮은 장점이 있지만 동시에 물류센터 임대료가 낮게 형성되어 있어 투자비 회수에 어려움이 있을 수 있다. 하지만 지역 균형발전 측면에서 경기도 내 물류센터 공급 불균형을 해소하고 상대적으로 토지 매입비 등 투자비가 적게 소요되며 낮은 수준의 임대료를 부과할 수 있는 경기 북부지역에 스마트 공동물류센터를 개발하는 것이 적합하다고 판단된다.

마지막으로 산업단지 또는 물류단지로 조성된 부지이지만 현재 활용되지 않고 있는 단지 내 지원시설 용지를 활용하는 방안이 있다. 경기도 내 조성 중이거나 조성 완료된 산업단지는 총 192개이며, 면적은 249,672,203㎡로 국가산업단지 5개, 일반산업단지 179개, 도시첨단산업단지 11개, 노공단지 1개가 있다(출처). 이는 전국 1,257개의 15.3% 수준이며, 전체 면적 1,426,327,681㎡의 17.5%를 차지하는 규모이다. 일부 산업단지 또는 물류단지의 지정된 공간이 기존 목적으로 사용되지 못하고 방치되어 있는 경우가 발생하였다. 안성 원곡물류단지의 경우, 근린생활시설은 4,061㎡이지만, 현재 소방서 1개소만 입주하고 있고, 1,013㎡은 미분양된 상태이다. 또한, 일부 분양된 면적도 미건축되어있는 상태인 것으로 나타났다. 물류단지의

12.8%를 차지하는 87,247㎡의 공원부지가 있고, 9,333㎡의 우수지가 존재하여 부지의 물류센터 활용 가능성을 검토할 필요가 있다. 특히, 사업주체가 경기도 산하기관인 경기도시주택공사로 경기도 스마트 공동물류센터 시범 및 실증 사업으로 추진이 용이할 것으로 판단된다.

경기도 내 중소 물류기업이 물류 활동 개선을 위해서는 운송·보관·하역 등의 자동화, 물류정보시스템 구축, 물류센터(창고) 확충 등이 필요한 것으로 나타났다. 앞서 검토한 네 가지 방안은 물리적인 시설 개발 시 설문조사 결과를 기반으로 자동화, 표준화 등에 초점을 맞춰 개발하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이는 경기도 내 중소 물류기업의 요구사항을 충족시키고, 물류 경쟁력을 확보할 수 있는 방안이라고 판단된다.

#### 4.3 공유물류를 통한 공동물류센터 도입 방안 검토

공유물류를 통한 공동물류센터 도입 방안으로는 물류창고 공유 플랫폼과 물류 네트워크 구축 방안을 검토하였다. 경기도 스마트 공동물류센터의 물리적 시설 개발은 대규모 사업비가 투입되어야 하는 사업으로 경기도에 재정적인 부담이 될 수 있다. 재정적인 부담은 임대료 측면에서 영향을 미칠 수 있으므로 경기도 내 기존 물류시설을 활용하여 공동물류를 실현하는 방안도 고려해 볼 수 있을 것이다. 최근 공유경제를 통한 네트워크 비즈니스 모델로 On-demand 물류창고 보관 서비스가 소개되고 있다. 숙박업계의 Airbnb와 유사하게 기존 물류창고의 유휴공간을 공유하여 수익을 창출하는 방안이다. 즉, 가변적 공간과 기간을 사용하는 대신 사용한 만큼만 비용을 지불하는 구조로 영세한 화주 또는 개인이 사용하기 유리한 방식이다. 대표적인 물류창고 공유모델은 미국의 Flexe와 독일의 DHL Space 서비스가 있다. Flexe의 경우, 화주가 온라인 플랫폼에서 필요한 물류창고 위치와 이용 기간을 검색하면 조건에 부합하는 물류창고 리스트를 제공하며, 물류창고의 최소 적재 단위인 파렛트 수에 따라 요금을 지불하는 구조로 운영 중이다. 이러한 비즈니스 모델을 채택하여 경기도 내 물류센터들과 중소기업을 연결하는 플랫폼을 구축하거나 지원하는 방안을 검토해볼 수 있을 것이다. 경기도 물류창고 공유모델은 공동물류센터를 물리적으로 개발하지 않더라도 저렴한 물류창고를 찾는 중소기업의 니즈를 해결할 수 있는 방안이라고 판단된다.

다음으로 경기도 내 민간기업이 운영하는 물류센터의 일부 공간을 경기도가 임대하고 물류센터를 네트워크로 연결하여 화물의 보관과 배송 서비스를 제공하는 물류 네트워크 구축 사업을 고려해 볼 수 있을 것이다. 운영 방식은 경기도가 공동물류센터를 직접 개발하는 방식이 아닌 물류센터 사업자와의 계약을 통해 일정 물류센터 면적을 계약하고 화물을 유치하는 방식이다. 경기도 중소기업을 유치하여 저렴한 비용으로 계약된 공간을 제공한다면 초기의 높은 물류센터 건설비를 부담하지 않아도 된다는 장점이 있다. 제주특별자치도에 있는 중소 제조·생산업체를 대상으로 운영 중인 제주 공동물류센터의 경우, 제주 공동물류센터 외에 외부 위탁업체의 물류 네트워크를 활용하여 공동물류를 실현하고 있다. 제주의 지리적 특성으로 인한 물류비 부담을 경감하고 제3자 물류를 통한 전문 물류 서비스를 제공함으로써 물류 경쟁력 강화를 도모하고 있다.

경기도 내 중소 물류기업이 물류센터 선택 시 중요하게 고려하는 사항으로 교통 접근성, 임대료 적정성, 시설 이용 편리성 등이 있는 것으로 나타났다. 앞서 검토한 플랫폼 및 네트워크 차원의 공동물류센터는 교통 접근성 문제와 시설 이용 편리성을 동시에 충족시킬 수 있을 것이며, 물리적인 시설 개발이 아닌 기존 시설을 활용함에 따라 보다 저렴한 임대료로 공동물류센터를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 추가적으로, 다수의 중소기업이 공동으로 이용하는 물류센터이므로 최소한의 자동화 시스템을 기반으로 운영될 필요성이 있을 것이다.

## 5. 결론 및 정책 제언

### 5.1 결론

최근 물류산업이 스마트 물류체제로 변화함에 따라 정부는 공유·연계형 인프라 및 네트워크 구축을 계획하고 있다. 전국 17개 시도 중 약 18% 이상의 화물이 집중되는 경기도의 경우, 일부 지역을 중심으로 물류센터 고도화 및 대형화에 대한 투자를 확대하고 있으나, 중소기업의 경우 스마트 물류시설 구축을 위한 투자 및 기술력 확보에 어려움으로 인해 중소기업 물류 경쟁력 저하가 우려되는 실정이다. 이에 본 연구에서는 경기도를 중심으로 중소 물류기업의 스마트 공동물류센터에 대한 요구사항을 조사하여 중소기업이 공동으로 활용할 수 있는 스마트 공동물류센터 조성 방안을 검토하였다.

경기도 내 중소 물류기업을 대상으로 스마트 공동물류센터의 필요성 및 요구사항을 조사한 결과, 민간보다 저렴한 임대료로 사용이 가능한 스마트 공동물류센터에 대한 사용 의사는 전체의 약 7%만 사용 의사가 있으며, 북부 중소기업의 경우 사용 의사가 없는 것으로 조사되었다. 사용 의사가 있는 기업들은 모두 임대형식으로 사용하기를 희망하며, 물류센터 운영업체에 위·수탁으로 사용할 의사는 없는 것으로 조사되었다. 스마트 공동물류센터 사용 의사가 없는 기업의 약 58.1%는 자사 물류센터(창고)를 선호하는 것으로 조사되었으며, 다음으로 약 38.7%는 비용 절감 효과가 미비할 것으로 예상되어 사용 의사가 없는 것으로 나타났다. 이를 통해 우선적으로 대기업 스마트 물류시설을 북부에 유치하여 자동화 및 공동화에 대한 홍보와 이에 대한 필요성을 인식할 필요가 있으며, 스마트 공동물류센터 이용을 도모하기 위해서는 자사 물류센터만큼의 기업 맞춤형 서비스를 제공하고 임대료 등 확실한 비용 절감 혜택을 제시할 필요가 있다.

본 연구에서는 경기도를 중심으로 스마트 공동물류센터 조성을 위한 사업방식과 개발 방안을 검토하였다. 경기도가 직접 물류센터를 운영하기에는 전문인력이 부족하므로 임대방식, 공동투자방식, 민간투자방식을 검토할 수 있지만 스마트 공동물류센터 개발 여건 및 특성에 따라 추가적인 검토가 필요할 것으로 보인다. 스마트 공동물류센터 개발 방안으로는 소유 토지를 활용한 공동 투자 방안, 공공기관 소유 토지를 이용한 매칭펀드 방안, 상대적으로 지가가 낮은 토지매입을 통한 개발 방안, 산업단지 및 물류단지 지원시설 용지를 활용하는 방안을 검토하였다. 또한, 물리적인 개발이 아닌 공동물류 플랫폼 및 네트워크 구축 방안을 검토하였다. 이러한 방안은 경기도의 재정적 부담을 낮추고 수요에 탄력적으로 대응할 수 있을 것으로 기대되며, 타지역에서 공공 스마트 공동물류센터 조성 시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 5.2 정책 제언

첫 번째로 공공 스마트 공동물류센터 조성을 위해서는 유희부지 발굴 및 조성된 물류시설의 효율적 활용을 도모할 필요가 있다. 물류센터 개발 비용은 대규모 비용이 소요되며 토지매입을 통한 개발 시 저렴한 임대료로는 투자비 회수가 불가능하며, 민간이 직접 토지매입과 물류센터 건설을 하여 저렴한 임대료를 받고 중소기업을 위한 스마트 공동물류센터를 운영하는 것은 사실상 쉽지 않다. 이에 유희부지와 기존 산업단지 및 물류단지 등 미활용 용지를 발굴하여 부지를 확보한 후 공동개발 또는 민간투자 방식을 검토할 수 있다. 또한, 물리적인 개발이 아닌 민간이 운영 또는 개발하고 있는 스마트 물류시설을 임대하여 활용하는 방안도 검토할 수 있을 것이다.

두 번째로는 경기도의 경우, 북부에 스마트 공동물류센터 조성을 위한 기반 조성 필요하다는 점이다. 경기 북부의 경우, 물류활동 개선을 위해서는 운송/보관/하역 등의 자동화가 필요한 것으로 나타났으나 스마트 공동물류센터에 대한 사용 의사 설문조사 결과는 사용 의사가 없는 것으로 조사되었다. 스마트 공동물류센터 미사용 의사에 대해 비용 절감 효과가 미비할 것으로 예상, 자사 물류센터(창고)를 선호하는 것으로 나타났다. 이를 통해 경기 북부의 중소기업은 스마트 물류 및 물류 공동화에 대한 필요성이 낮고 스마트 물류센터에 대한 정보 및 경험이 매우 부족한 것으로 나타났다. 경기 북부 스마트 공동물류센터 조성을 위해서는 높은 수준의 교통 인프라 확보가 필요하고 기업 유치를 위한 경제 및 산업 활성화가 기반이 되어야 한다고 판단된다.

마지막으로 경기도의 경우, 남부에 스마트 공동물류센터 시범사업 추진 후 경기 북부로 확대하는 방안 검토이다. 스마트 공동물류센터 이용 수요가 있는 경기 남부를 대상으로 우선 소규모 시범사업을 추진하여 경험 및 노하우를 습득하는 것도 방안이 될 수 있을 것이다. 경기 남부의 경우, 스마트 공동물류센터에 대한 선호 입지에서 거의 모든 시군이 해당되어 유휴부지 및 기존 미활용 용지가 있다면 추진을 검토할 수 있으며, 경기 북부의 경우 어느 정도 물류 수요가 있고 입지 선호도가 있는 파주시와 고양시를 고려할 수 있을 것이다.



## 참고문헌

- Announcement of the Development Plan of Living Logistics, Ministry of Land, Infrastructure and Transport a press release(2020.9.24.).
- Bank of Korea Economic Statistics System, Retrieved November 4, 2022, from <https://ecos.bok.or.kr>
- Building life history management system, Retrieved November 2, 11, from <https://blcm.go.kr>
- Busan Port Authority(2022), Introduction to the logistics business between Busan Port and the Netherlands
- Busan Port New Port Smart Joint Distribution Center.. Who will run it?, HELLOT(2022.10.22.).
- Cho Yang Il(2023), The Effect of Logistics Company Strategies and Logistics Cooperation on Business Performance, Journal of Korea Trade, 2023, Vol.48, No.4, pp.263-283
- Completion of 'Small and Medium Joint Wholesale Logistics Center' in Gimhae City, Gyeong-Nam Ilbo(2022.04.18.).
- Construction cost information plaza, Retrieved October 13, 2022, from <http://pcae.g2b.go.kr>
- Construction of Smart Joint Distribution Center in Songdo District 9 in Incheon begins next year, Yonhap News (2021.03.29.).
- First interest expense support to smart logistics centers that will lead logistics to advanced, Ministry of Land, Infrastructure and Transport a press release(2021.08.18.).
- Gyeonggi data dream, Retrieved November 3, 2022, from <https://data.gg.go.kr>
- Heo Seong-ho (2022), 2022 February Vol. 484, Korea Research Institute for Human Settlements Statistics Korea(2020), Survey on Corporate Logistics Cost in 2020
- Heutger, Matthias(2017). The Sharing Economy: how logistics can contribute and benefit, "linkedin.com".
- Hong, Myung ho, Im, Byunghak(2006), A Study on the Productivity Evaluation Model of Joint Logistics Center
- Hyun, Byung eon(2019), Biz Model and Operation Plan of Smart-Based Small and Medium Joint Logistics Center
- "It went up too high." Construction industry is in a state of emergency...Is it inevitable that the sale price will rise?, Chosun Ilbo(2022.03.10.).
- Jointly related ministries, Korean New Deal Comprehensive Plan
- Kwak, Na kyung(2021), A Study on Digital-based smart logistics technology : Focusing on case analysis
- Korea Trade-Investment Promotion Agency, Introduction to Overseas Joint Logistics Center Business
- Korea Transport Institute(2010), A Study on the Development of Specialized Development of the 2010 KTX Economic Area (External Case of Development of High-Speed Railway Station Area)
- KOREA INDUSTRIAL COMPLEX CORP(2022), Joint Logistics Center Operation Project
- Korea Land and Housing Corporation(LH), Survey on Corporate Demand of Cheonan Smart Joint Logistics Center

Korean New Deal Project Starts in Port Background Complex, Logistics Center Becomes Smart, Ministry of Oceans and Fisheries a press release(2021.1.7.).

Korea Expressway Corporation introduces the Dacharo High Pass and builds logistics facilities on toll collection lanes, Global Economic(2020.07.31.).

Lee, Moo hwan (2014), A Study on the Win-Win Management of Small General Retailers through the Rationalization of Small and Medium Distribution Joint Distribution Center

LH to supply 149,000m<sup>2</sup> of rental industrial complex this year, Korea Land and Housing Corporation a press release(2021.04.12.).

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2017), 6th revision of the transportation facility investment evaluation guidelines

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2021), Smart Logistics Center Certification Processing Regulations

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2021), 5th National Logistics Basic Plan (2021-2030)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2021), 2021 Smart Logistics Center Secondary Conservation Support Project Announcement

Ministry of Public Administration and Security, Retrieved Agust 31, 2022, from <https://www.localdata.go.kr>

Moon In Koo(2020), A Study on the Priority to Activate Joint Logistics Centers for Online Delivery in the Post-corona Era, The Korean Academy for Trade Credit Insurance, Vol.21 No.6, pp.101-119

Morgan Stanley(2014). Amazon annual report.

Namdong Industrial Complex Joint Distribution Center First Published in September, THE KYEONGIN ILBO(2009.7.21.).

Park Chan-seok (2023), Major issues and outlook in the logistics real estate market(2/2), Logistics Magazine

Park Young-tae, Kim Dong-yoon, Go Chang-seong(2022), A Study on the Smart Joint Logistics Center in the - Focusing on the problems and improvement plans of the smart logistics center -, Korea Academy of International Commerce, Korea International Cinnercual Review Volume 37, No. 1, pp.159-175

Ryu, Ji Hoon(2021), Construction of Smart Joint Logistics Center at Busan Port and Incheon Port by 24 years, Maritime Korea(2021.02)

Seoul's subway will have 100 "living logistics support centers.", SEOUL NEWS(2020.06.01.).

Statistical Office, Retrieved November 4, 2022, from <https://kosis.kr>

Summary of distribution center development from legal standards to location conditions, Logistics NEWS(2017.12.4.).

The first smart logistics center certification will lead to high-tech logistics, Ministry of Land, Infrastructure and Transport a press release(2021.08.02.).

Various products 'attach' in one box... CJ Korea Express Smart Logistics Center, CHOSUNBIZ (2022.7.17.).

## 요약문

최근 대기업을 중심으로 물류센터의 스마트화 및 대형화가 가속화되고 있으나, 중소기업의 경우 자체적으로 스마트 물류센터를 구축하기에는 많은 애로사항이 있어 스마트 공동물류센터 등 공공에서의 지원이 필요하다. 이에 본 연구는 중소기업이 공동으로 이용할 수 있는 스마트 공동물류센터 조성 방안 및 운영 방안을 제시하는 데 목적이 있다. 경기도 중소 물류기업을 대상으로 설문조사를 수행한 결과, 경기도 중소 물류기업은 자동화에 대한 필요성은 높게 인식하고 있으나, 공동화에 대한 필요성은 낮게 인식하고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 결과를 기반으로 스마트 공동물류센터 이용 활성화를 위해서는 자사 물류센터만큼 기업 맞춤형 서비스를 제공하고, 임대료 등 확실한 비용 절감의 장점을 제시할 필요가 있다. 본 연구에서 제시하는 방안은 경기도의 재정적 부담을 낮추고 수요에 탄력적으로 대응할 수 있을 것으로 기대되며, 타지역에서 공공 스마트 공동물류센터 조성 시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

**주제어:** 스마트 공동물류센터, 스마트 물류, 공동물류, 중소기업

# 식자재 콜드체인 배송차량 적재 변수별 적정온도 도달에 미치는 영향

류성호<sup>1</sup>, 조상근<sup>2</sup>, 박민영<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>인하대학교 물류전문대학원

## Effects of Food Meterial Cold Chain Delivery Vehicle Loading Variables on Reach of Optimal Temperature

Sung Ho Ryu<sup>1</sup>, Sang Geun Jo<sup>2</sup>, Min Young Park<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Gradute School of Logistics, Inha University

The food material sector is an industry mainly carried out in the B2B area. Food materials are the areas of food consumed outside the home where people live. It is an activity that everyone does outside for one or two meals while social activities. Because it is so close and important to people's lives, the management of the process of supplying food must be systematic. This study analyzed the effect of food cold chain delivery vehicles on reaching an appropriate temperature for each loading variable. The relationship between the legal refrigeration and freezing compliance temperature for each delivery vehicle loading variable was analyzed and the evidence for the effect was presented. As a result of the study, the characteristics of variables by load, weight, and number of loading applause in the delivery vehicle were analyzed, and significant results were derived from each study. The results of this study are intended to provide an important basis for efficient management of the food cold chain logistics system and optimization of the loading of delivery vehicles.

**Keywords:** Cold chain delivery vehicle, Temperature management, Food material logistics, Non parametric statistics

---

논문접수일 : 2023.10.20. 논문수정일 : 2023.12.04. 게재확정일 : 2023.12.13.

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.  
(NO.RS-2022-00155915, 인공지능융합혁신인재양성(인하대학교))

1. 인하대학교 물류전문대학원 박사과정

2. 인하대학교 물류전문대학원 박사과정

3\*. 인하대학교 물류전문대학원 교수, Corresponding Author: mypark@inha.ac.kr

## 1. 서론

우리의 일상생활에서 식품을 섭취하며 느끼는 만족은 인간들에게 가장 기본적이고 중요한 본능 중의 하나가 먹는 기쁨을 만끽하는 것이다. 이 본능을 사람들은 지키기 위해 식품산업과 물류산업은 무수한 노력을 하였다. 저장 기술을 발전시켜 식품 보관 방법을 다양하게 만들어 왔다. 또, 보관된 상품을 나누기 위하여 배송방법 또한 여러 가지 형태로 발전되어왔다. 그만큼 인간들은 먹는 본능을 지키기 위하여 여러 형태로 고민하고 지금까지 발전시켜 왔다. 이러한 식품 특성별 여러 가지 관리 형태를 구분하였다. 이 구분된 형태를 식품에서는 상온, 냉장, 냉동의 형태로 나누어 구분 지었고 이를 통칭하여 식품의 정온관리라 부르기도 한다. 정온관리 중에 냉장, 냉동이 특히 중요한 관리 포인트이며, 식품의 본질적인 기능을 유지하기 위한 가장 중요한 요소라 판단하고, 별도의 관리 기준을 수립하여 관리하기 시작하였다. 이 관리 기준을 요즘에는 콜드체인(Cold Chain)이라는 대명사로 칭하여 부르기도 한다. 이 콜드체인(Cold Chain)을 관리하기 위하여 식품을 취급하는 산지(가공장)에서부터 이를 유통하는 업체의 물류센터, 마지막에 이 식품을 조리 제공하는 단계까지 전 영역을 관리해야 하는 필수적인 행위를 준수해야 하는 상황이다. 모든 영역의 관리 형태를 요즘에는 풀콜드체인(Full Cold Chain)이라 부르고 있다.

Table 1. Control criteria by food temperature range

Criteria	F4	F3	F2	F1	C1	C2	C3	Fixed temperature	High temperature
Frozen	-50℃	-50℃ ~ -40℃	-40℃ ~ -30℃	-30℃ ~ -20℃	-20℃ ~ -10℃	-10℃ ~ 20℃	20℃ ~ 10℃	10℃ ~ 40℃	40℃ ~ 50℃
Refrigeration	types of tuna, frozen fish	frozen meat, frozen fish, frozen food, ice cream		frozen meat, frozen fish	dairy products, seafood, meat, eggs, tea	grain, dairy products, medicines, fruits, seafood		grain, Snacks	edible oil and fat

Sources : <https://various.foodsafetykorea.go.kr/>

콜드체인은 특정 온도 조건은 “Table 1”과 같이 설명하며 보관, 운송 및 관리를 가능하게 하는 중요한 물류의 관리 체계이다. 이러한 관리 체계는 식품의 품질을 보장하고 보관, 운송영역에서 발생하는 문제를 예방하는 역할을 한다. 특히 운송영역에서 콜드체인의 역할은 식품의 유통과정의 성공과 실패를 좌우하는 중요한 요소이다.

이러한 식품 산업의 규모는 약 412조 원 규모로 추산하고 있으며 “Figure 1”과 같이 설명할 수 있다. 그중에 Business To Consumer(B2C) 시장은 268조로 고객 대면 판매 영역이라 할 수 있으며, 직접적으로 대형, 중소형 마트, 온라인 유통 판매망 등의 다양한 형태로 소비자들에게 직접적으로 이뤄지는 영역이다. Business To Business(B2B) 시장은 약 144조 규모로 이는 2가지 형태로 구분지어 볼 수 있다. 첫 번째, 기업형 시장으로 약 77조 원 규모이다. 대기업 식자재 업체들이 주를 이루고 이 시장을 선두하여 이끌어 가고 있고, 지속적으로 성장세가 꾸준하게 나타나고 있다. 두 번째, 비기업 시장으로 약 68조원 규모의 시장으로 아직 미성숙 단계로 소규모, 소매 형태로 이뤄지고 있으며, 위생 및 안전관리 영역에서 허점이 나타나고 있으며, 점차적으로 기업형 시장으로 전환되고 있는 추세라 할 수 있다.

본 연구는 기업형 시장의 식자재 기업들을 대상으로 실제 콜드체인 물류 관리에서 행하여지고 있는 형태를 분석하고, 그에 대한 문제점을 결론 내보고자 한다. 콜드체인 배송 차량들의 식품 적재량이 차량 내부의 온도 분포 및 안정성들을 고려하여 어떠한 영향을 미치는지를 조사하고, 이 영향을 통하여 안정적인 적재량의 기준을 제시하고자 하며, 적정 온도관리를 통하여 상품의 안정성과 유효성을 지속적으로

보장하고 정보를 얻을 수 있을 것이다. 우선 본 연구의 직접적인 식자재 산업을 설명하면, 대기업 식자재 업체들이 선두하여 시장을 이끌어 가고 있다. 고전적인 대기업 집단 조직 내부에 식자재 전문기업을 설립하고, 관리하는 형태로 지금까지 운영되어 오고 있다.

식자재 공급 단계를 설명하면, 아주 짧은 리드타임과 협력사들의 공급체계가 원활히 돌아가는 형태라 설명할 수 있다. 매일 17시경 주문정보가 마감되고 약 6시간 동안 협력사들이 상품을 공급하고, 그 후로 약 8시간 이내에 배송이 완료되어야 하는 영역이다. 아주 고도화된 공급망과 물류망을 통하여 고객의 주문에서 최종 납품 단계까지 약 12시간 이내에 마무리 된다고 보면 된다.

그리고 식자재는 B2C와 달리 고객의 선택적 측면이 아니라 필수 측면에서 아주 위험한 영역이다. 납품과 동시에 소비가 이뤄지기 때문이다. 식자재가 납품되면 바로 조리과정에 들어가서 고객에게 제공되어야 하기 때문에 아주 긴밀한 과정 관리 영역이라 할 수 있다. 또한 높은 위생 수준을 요구하고 있다. 소비자 몇 명의 소비가 아니라 많은 인원에게 제공되는 소비 형태로 위생 등의 문제 발생 시 대형의 제양적 사고가 발생할 수 있기에 아주 높은 관리 체계를 필요로 한다.

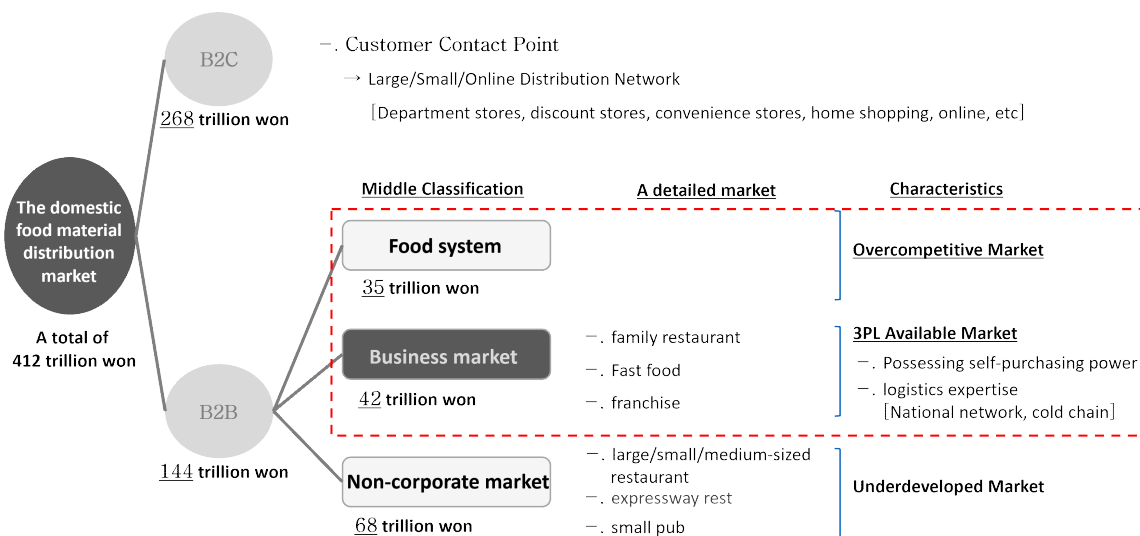


Figure 1. Analysis of Food Industry Composition for 2021

## 2. 이론적 배경 및 기존 연구 고찰

### 2.1 이론적 배경

식자재 기업들의 사업영역은 크게 푸드서비스사업, 식자재 유통사업, 기타사업(제조업)으로 나뉘 볼 수 있고 높은 수준의 물류, IT, 위생, 안전 인프라를 보유하고 있다. 첫 번째, 푸드서비스 사업은 고객 특성에 맞는 형태로 회사 내부의 직원식당, 학교, 관공서의 식당, 그밖에 직접적으로 운영하는 식당들을 포함하여 단체급식 사업이라 한다. 이는 푸드시스템 전 영역의 노하우를 보유하고 있다는 조건에서 할 수 있는 사업영역이다. 다음으로 식자재 유통영업 영역이다. 이는 해당 기업들이 보유하고 있는 구매능력을 통하여 식자재 본연의 상품을 공급하고 그 중간에 이윤을 취하는 형태의 영역을 말한다. 단순히 말하면 식자재 전체를 공급하고, 고객사에게 대기업이 보유하고 있는 식당 운영의 토탈 솔루션 제공을 말한다. 즉, 구매, 위생, 노하우를 함께 판매하는 형태를 말한다. 그 다음은 기타 사업영역(제조업)으로 식자재 기업들의 사업 다각화 측면의 제조, 생산 공급 영역이다. 단체급식과 식자재 공급영역의 구매력을 통하여 직접 식품을 생산 공급하는 영역이다. 부가가치 산업으로 본업인 푸드서비스와 식자재 유통사업을 지원하여 고부가 가치 지원사업으로 활성화시키고 있는 추세이다. 이 사업영역을 뒷받침하기 위해서는 물류센터 및 배송관리의 시스템 구축과 IT시스템, 식품안전관리, 구매능력, 우수한 인적자원 등이 밑바탕 되어야만 한다. 식자재 산업 특성 및 주문 특성에 따라서 일별 주문량의 변화가 높고 그에 따라서 콜드체

인 배송차량의 관리가 아주 어렵고 복잡한 형태로 이뤄진다.

식자재 물류센터는 적은 관리가 핵심으로 냉장, 냉동, 상온의 3온도대의 관리 체계가 구축되어야 하고 위생, 안전관리에 대한 법적 준수항목 기준을 통하여 관리되어야 한다. 그리고 고객사의 변화가 민감하게 나타나는 형태이다. 식품 자체의 저가 공급시장으로 상품가격의 변화가 민감하고, 동종 업체간에 경쟁 심화 구조로 포화시장의 형태를 띠고 있다. 그리고 식자재 업체별 노하우에 따라서 노동집약적 특성을 가지고 있고, 많은 인건비와 물류비를 요구하는 산업이라 할 수 있다.

이 시장은 1960년대부터 현재까지 약 60여년간 유지되어온 사업영역이지만 고도화된 공급망이나 물류 시스템은 아직 미흡한 실정이며, 기업들의 투자 결정도 더딘 수준으로 발전하고 있다. 공급 영역의 고도화보다는 안정적이고 만족도 높은 형태의 발전을 요구하는 산업이다.

구유미(2018)는 신선식품 운송의 핵심인 온도관리와 신선도 유지를 위해 콜드체인 시스템의 운영은 당연시 되어야 하지만, 현재 국내 콜드체인 시장의 수준은 전반적으로 미흡한 실정이다. 따라서 현 콜드체인의 신선식품 운송에 대해 향후 더욱 신속하고 전문적인 체계가 요구되어지며, 이에 대한 발전방안으로 소프트웨어적인 전문인력 양성, 하드웨어적인 냉장창고 및 장비설비 확충, 추적시스템 등과 같은 첨단기술 도입의 확대가 필요하다고 제시하였다. 백진희(2017)는 식품 기업들이 식품 관리 수준 향상을 위한 콜드체인 결정요인(콜드체인 운영역량, 시스템 구축, 파트너십, 식품의 변질성), 식품의 품질 관리 수준, 콜드체인 운영성과 간의 구조적 관계를 규명하였다. 이와 같이 식자재 영역에서 콜드체인 관리는 아주 핵심영역으로 여겨지고 있지만, 시장 상황은 아직 미흡한 수준으로 깊이 있는 연구가 많이 부족한 실정이다.

국내에 식자재를 공급하는 기업은 크게 4개 유형으로 “Table 2”와 같이 분류할 수 있다. 식자재 유통 기업으로 B2B를 기반으로 성장한 기업들이 있고, 공급망 시장을 선두하고 있는 영역이다. 여기 기업에 속하는 업체는 대표적인 기업들이 대기업 집단의 기업들이 주류를 이룬다. 다음으로는 식자재 플랫폼 기업으로 최근 트렌드에 맞게 성장한 형태로 본인들의 자체 판매 플랫폼을 통하여 B2C 고정 고객을 보유하고 있는 시장에서 구매력과 유통공급망을 보유한 기업으로 지속적인 성장을 하는 집단이다. 다음 집단 유형으로는 B2B와 B2C 영역을 포함한 전체 사업영역에서 공급망을 구축하고 이끌어 가는 기업이다. 대표적인 기업들이 대형마트, 쇼퍼몰, 온라인 마켓을 통하여 소비자에게 판매하는 기업들이다. 마지막으로 지역식자재 유통사들이 있다. 오프라인으로 중, 소형 식자재유통마켓을 운영하는 기업들이다. 소비자들을 직접적으로 대면하고 여러 가지 현지 마케팅 기법을 통하여 운영하는 기업들을 말한다.

Table 2. Representative food supply company classification in Korea

B2B	Platform	Distribution of food materials	Local food distributor
CJ Freshway	Marketbom	BGF logis	Su food material distribution center
SPC GFS	Baemin	GS network	Nonghyup food material
Daesang	Daesang Beston	GSShop	distribution center
Dongwon Home Food	Foodspring	SSGShop	National food material
Bonfoodservice	Ewangmart	Green Logistic	distribution center
Samsung Welstory	Askfood	Nonghyupmall	Samhwa food material
Samyang	Orderplus	Dakonet	distribution center
Shinsegaefood	Orderhero	Dongwonloex	Samjin food material
Amojefood	Oniljang	LotteMart	distribution center
Ourhome	Jeongyookgak	Marketcurlly	Gyeongnam food material
Foodmerce	Coupangeats	Exofresh	distribution center
Pulmuone	Teamfresh	Coupang	Distribution of Hansarang
Hyundaigreenfood		Jette	food materials

Sources : <http://www.coldchaininsight.com>

콜드체인에서 중요한 관리 포인트가 운송영역이다. 기본적인 물류센터에서 식품을 취급하는 기술과 관리영역은 과거부터 발전되어오고 경험을 통하여 식품의 안정성이 많이 확보되어 운영되고 있다. 그러나 운송시장은 여러 가지 요소에 의하여 콜드체인 식품 안전관리에 아직 미흡한 수준이라 할 수 있다. 콜드체인 운송시장은 식품산업의 발달과 온라인 시장이 급속도로 발전함에 따라 위생과 안전이 확보되어야 하고, 시장 확대에 콜드체인 차량의 수급 문제가 발생하게 되었다. 기존의 식품 소매유통의 개인사업자 공급시장이 대형유통 기업 시장 구조로 점진적으로 변화하고 있음에 따라 유상운송이 필수적으로 이뤄져야 하는 형태로 변화하였다. 이에 따라서 식품 시장 구조의 변화에 따라서 영업용 화물차량의 수요공급 불균형이 심각한 문제가 되고 있다. 1986년 12월 화물자동차 운송주선 사업을 등록제로 전환하였고, 여객 위주로 운영되던 「자동차운수사업법」의 화물 운수 분야를 분리하여 「화물자동차 운수사업법」을 제정(1997.8.30. 제정, 시행 1998.1.1.)하면서 화물자동차 운송사업을 면허제에서 등록제로 전환하였다. 등록제로 전환되어진 시기에 IMF 경제 위기가 닥치면서 실직자들이 증가하고, 실직자들이 화물 운송시장으로 몰리기 시작하는 현상이 발생하였다. 이는 화물의 물동량 대비 화물차량의 대수가 증가하여 수요공급 불균형으로 인하여 화물 운송시장에서 심각한 문제가 되기 시작하였다. 그리하여 정부에서는 2005년부터 신규 화물자동차 면허를 발급하지 않는 현상까지 발생하였다. 그러나 산업의 발전과 소비자의 소비 트렌드 변화에 따라서 물동량이 급속도로 증가하였고, 유상운송시장의 규모가 화물차량 제한된 공급 대수로는 처리하기 어려운 상황이 되었다.

콜드체인 차량은 일반적인 카고 차량과 달리 냉장, 냉동의 특수한 장비를 갖추도록 콜드체인 배송에 적합한 용도에 맞게 개조된 차량을 기본으로 한다. 이는 일반적인 카고 차량의 구매 비용보다 약 30% 이상의 높은 비용을 투자하여 제작하게 된다. 그리하여 콜드체인 운송원가가 상대적으로 일반적인 카고 차량보다 높게 형성되어진다. 콜드체인 배송은 장거리 배송용 차량보다 근거리 배송을 기본으로 하는 차량이 대다수이다. 그리하여 콜드체인의 특성상 팔레트 단위의 물동량 이동보다는 합포장 상품 또는 혼합 적재 배송을 기본으로 하고 있다. 이는 운송 원가의 결정의 중요 요소이며, 핵심 원가 결정요인으로 작용한다. 콜드체인 차량은 중, 소형 차량이 중심으로 형성되어 있다. 콜드체인에서 말하는 중, 소형 차량은 톤급으로 분류하며 1톤, 2.5톤, 3.5톤, 5.0톤으로 분류할 수 있다. 운송원가는 고정비와 변동비의 합계값으로 운송원가를 산정 할 수 있다. 고정비는 차량 가격(차량 톤급당 출고 가격과 탑재작원가, 냉장/냉동기 가격, 구조변경 인허가비용)과 보험료(자동차 종합보험, 적재물보험, 운전자 보험, 각종제세공과금), 급여(야간근로자 기준 평균임금), 차량유지비(엔진오일, 타이어교체원가, 기타 수선비)로 구분되어질 수 있다. 그밖에 변동비는 차량운행에 필요한 유류비, 도로비, 기타운행수당, 추가성과수당으로 구성되어 있다.

Table 3. Comparison of Cold Chain and General Transportation

Sequence	Cold-Chain mode of transportation	General mode of transportation
Main contents	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ Refrigerating/cooling/room temperature mixed loading method</li> <li>◎ Focus on performing tasks late at night</li> <li>◎ Perform multiple business areas in the form of near field delivery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ General feature/temperature form without restriction of work area → Vehicle scale varies / 1 ton to 25 tons</li> <li>◎ Can be operated day/nightly</li> <li>◎ Transactions per general session are more prevalent than fixed transactions</li> </ul>
Limit	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ Limitations of the Vehicle Supply and Demand Market → Approximately 10% of the overall commercial freight vehicle market (100,000 units)</li> <li>◎ Burden of increasing limited night-time usage → Increased demand due to intensifying competition in early morning delivery hours</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ User-centric supply market → The user's overall management market for freight and transportation</li> <li>◎ The freight market is not good due to medium/long-distance transportation</li> <li>◎ The issue of competitive saturation in the transport market</li> </ul>



이러한 “Table 3”과 같은 운송방식의 구조 속에서 식자재 콜드체인 배송방식은 매우 어렵고 단시간에 집중적으로 행하여져야 하는 문제를 가지고 있다. 식자재 특성상 주문량의 변화가 매일 이뤄지고 배송을 위한 예측은 매우 어려운 실정이다. 식자재 콜드체인 배차단계를 톤급별로 기본적인 적재량과 적재금액을 가지고 있고, 그 기준에 따라서 배송처 수를 구분지어 배차한다. 그리고 납품 사업장의 배송 여건에 따라서 배차단계의 혼잡도를 가지고 있다. 식자재 주문량의 확정은 매일 17시경 이루어지고 그 후 배차단계와 차량 섭외를 거쳐서 배송이 이뤄진다. 식자재 S사의 배차관리 담당자와 인터뷰(2023.8.10)를 통해 배차 변동율을 추정하였다. 기본적인 보유 차량이 주문량의 약 80% 가까이를 고정 분담하지만 약 20% 정도의 물동량은 매일매일 조정 단계를 거쳐야 하고 운송 섭외시장의 경쟁을 거쳐야 한다. 이 과정에 차량 섭외 선점을 위하여 배차 물동량, 거래처 수, 단가 등의 조건이 가장 중요한 포인트다. 그러나 이러한 업무 과정에 대한 기준과 학문적 연구는 부족한 실정으로 본 연구에서는 식자재 배송차량의 적재량이 콜드체인 특성에 맞는 적온에 도달하는 영향에 대하여 분석해보고자 한다.

## 2.2 기존 연구 고찰

콜드체인과 관련된 연구 논문들은 각 영역별 콜드체인의 인과관계 및 콜드체인 본질의 연구적 논문이 주를 이루고 있으며 “Table 4”와 같이 설명하였다. 윤현수(2022)는 콜드체인 배송차량에서 제품을 하차하는 동안에 적재함의 문을 열어놓고 작업함에 따라 내부 온도 상승의 위험이 존재하며, 이를 방지하기 위하여 업체는 다양한 방법을 시도하고 있으나 방법별 온도유지 및 효과는 정확하게 알려진 바가 없다. 류하영(2022)은 소비자가 중요하게 인식하는 식품 콜드체인에 대한 상이 선택요인은 안전성, 신뢰성, 경제성 순으로 나타났는데, 남성은 안전성과 경제성을, 여성은 신뢰성과 안전성을 중시하였다. 이처럼 콜드체인의 중요도 속에는 안전성이라는 영역이 가장 크게 작용을 하고 있다는 선행연구 논문이 있다. 안전성을 확보하는 과정에서 배송차량의 적온 안전성을 확보하기 위한 자료를 분석하고 기준을 마련하고자 한다. 나유진 외(2016)은 프랜차이즈 점포들은 광범위한 도심지역에 산재한 점포들에 대해 단일거점만으로 배송을 시도할 경우, 도심 교통 혼잡으로 인해 점착 시간 미준수, 차량 별 담당 권역의 배송 밀도 차이에 따른 적재율 및 운행시간 편중 등 배송서비스 및 효율성 저하가 초래될 수 있다고 설명하였다. 박명수 외(2017)은 냉동식품 온도관리 현황을 파악하기 위하여 중소기업, 대기업 차량의 실제 온도에 이터를 조사하여 차량 내 위치별 온도차, 냉동기 위치별 온도 차이, 도어 개방 전후의 변화를 분석하여 온도 로거 시스템(Temperature logger system) 기술의 개발이 요구되고 있는 실정을 설명하였다. 박홍규 외(2021)은 콜드체인 물류의 경쟁력 강화요인에 관한 연구로 제품의 생산부터 소비자까지 배송되는 동안 일정한 저온범위를 유지하기 위하여 적용되는 활동과 장비로 정의하며, 적절한 온도관리, 빠른배송 및 정확한 배송, 안전한 보관 및 운송, 효율적인 물류관리, 고객만족도 향상의 요인들을 설명하고 새로운 기술과 장비를 도입하는 등의 노력이 필요하다고 정의하였다. 김시구 외(2022)은 콜드체인 기업역량과 콜드체인 관리 시스템 역량이 높을수록 파트너십이 강화되었다는 주장으로 기업이 보유하는 콜드체인의 기술이 고객사와의 신뢰적인 측면에서 높은 결과를 가진다는 것을 설명하였다. 한관순(2015)은 국내 콜드체인 유통실태와 고비용 구조분석 및 고도화 방안에 대해 고찰하였다. 콜드체인 전 업종별 (운송업, 보관업, 농산물 종합물류업, 유통업체, 컨설팅업체)로 설명하여 그 과제와 개선방안을 도출하였으며, 고도화 방안을 통하여 콜드체인의 관리 기술적 향상을 설명하였다. 이처럼 콜드체인 영역은 아직 높은 수준의 관리 기준이 만들어지지 않았으며, 법규 또한 아주 세밀하게 관리되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구는 콜드체인 중에서 운송영역에서 적온 도달에 미치는 영향에 대하여 분석해보고 차별화를 두고자 한다.

Table 4. Summary of Case studies

Sequence	Summary of research
Kim Si-gu et al.(2022)	Cold Chain Corporate Capabilities and Partnerships (Cold Chain's facilities and systems)
Na Yujin et al.(2016)	Suggestions to Improve Delivery Efficiency and Service Level of Urban Food Materials through Frequent Delivery
Ryu Ha Young(2022)	Cold Chain Important Consumer Perception Factors
Park Hongkyu et al.(2021)	Defined as activities and equipment to maintain a constant range of cold temperatures delivered
Yoon Hyun soo(2022)	A Study on the Red Temperature Management Method for Delivery Vehicles
Chun Young-sun et al.(2017)	Cold Chain Logistics Hub Location Selection Factors
Han Gwan-sun(2015)	Cold Chain Distribution Status, Cost Structure, and Advancement Plan

### 3. 연구 현황 및 연구 방법

#### 3.1 연구 현황

식자재 콜드체인 배송에서 차량 운송 중 적온 관리에 관한 기존 연구들은 거의 없었다. 이에 식자재 S社 콜드체인 배송 차량의 실제 DATA를 활용하여 운송 차량이 적온 도달에 미치는 영향을 분석해보고 연구 결과에 대한 기준을 “Figure 2”와 같이 제시해보고자 한다. 연구에 활용한 데이터는 S社의 일주일 간의 실제 운영 데이터로 배송 차량의 운행 자료 2,687건의 데이터를 분석하고 차량 톤급별(1톤, 2.5톤, 5톤) 차량의 운행기록을 통하여 상품 적재율, 중량, 박스 수 등의 변수별 분석을 해보고 유의미한 결과를 도출하고자 한다. 변수의 구성은 배송차량의 적정온도 도달에 영향을 미치는 요소인 차량 단위당 한 계 체적의 적재율 기준과 실제 상차되어진 상품의 실중량, 적재된 상품의 박스 수를 변수로 선정하여 연구 분석하였다. 그러나 실제 데이터의 양의 한계가 있고, 적정량의 연구 방법을 도출하기 어려운 점을 고려하여 연구 방법적인 통계를 비모수 통계 기법을 통하여 정규분포의 값을 분석하여 결과를 도출한다.

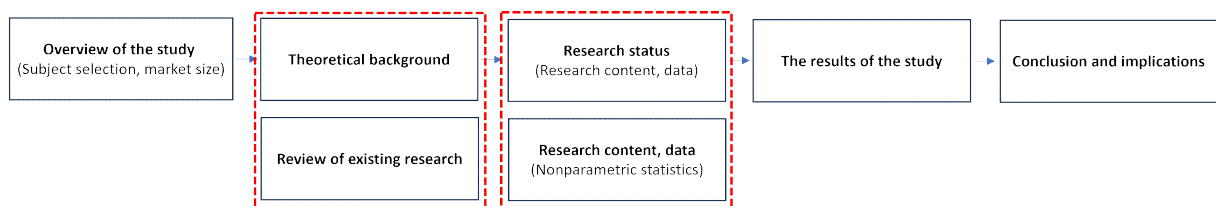


Figure 2. Conceptual diagram of research analysis

#### 3.2 연구 방법

본 연구는 비모수통계(Non-parametric Statistics) 기법을 사용하여 분석한다. 모수의 가정을 전제하지 않고 모집단의 형태나 자료에 관계없이 데이터에서 직접적으로 확률을 계산하여 검정하는 통계 방법을 사용한다. 세부적인 검증방법은 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney U test)과 크루스칼-왈리스 검정(Kruskal-Wallis test)을 사용하여 분석하고자 한다. 크루스칼-왈리스 검정은 분산 분석의 비모수적 기법에 해당한다. 즉, 셋 이상의 독립된 집단의 중앙값의 차이가 있는지 여부에 대한 분석 방법이다. 크루스칼-왈리스 검정에서 원래의 데이터 값에 순서를 매기는 방법은 맨-휘트니 검정에서와 동일하다. 즉, 각 집단의 데이터를 모두 모은 후 점수의 크기 순서에 따라 작은 값부터 순위를 매기고, 동일 점수가 존재

하면 원래 부여되어야 할 순위들의 평균 순위를 사용한다. 이후 각 집단에 속한 자료들의 순위 합을 구하고 다음과 같이 크루스칼-왈리스 검정 통계량(H)을 계산한다.

$$X_{ij} = \mu + \tau + \epsilon \quad (i = 1, 2, \dots, k, j = 1, 2, \dots, n_j) \quad (1)$$

$$\text{Where } \sum_{i=1}^k \tau_i = 0 \quad (2)$$

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k (= 0) \text{ vs } H_1 : H_0 \quad (3)$$

모수적인 방법인 분산분석법(ANOVA)은 오차항 e들이 정규분포를 따른다는 가정하에 진행되고, 이에 따라 처리간 제곱합(SSt)과 전차제곱합(SSE)을 각각의 자유도로 나눈 후의 비가 F분포를 따르게 되어 이를 통해 처리 간 차이가 존재하는지를 파악한다.

$$SS_i = \sum_{i=1}^k n_i \cdot (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \quad (4)$$

$$\frac{\frac{SS_i}{k-1}}{\frac{SSE}{n-k}} = \frac{MSt}{MSE} \sim F_{(k-1, n-k)} \quad (5)$$

크루스칼-왈리스 검증에서는 ANOVA와 계산적인 면에서 거의 동일하나  $X_{ij}$  대신 혼합표본에서의  $X_{ij}$  순위를 이용하여 계산하기 때문에 데이터가 정규분포를 따르는지 여부는 중요하지 않게된다. 모수적 방법에서는 SST가 데이터에 따라 값이 달라졌기 때문에 SST가 SST의 얼마만큼을 차지하는지를 통해 확인해야 했지만, 순위를 사용한 비모수적 방법에서는 SST가 상수가 되기 때문에 SST값 자체만을 살펴봐도 처리간 차이가 유의한지 알아볼 수 있다. 그렇기에 크루스칼-왈리스 검증에서는 SST값을 기반으로 검정통계량(기호 : H)을 구성하고 이를 통해 가설을 검정한다.

$$\begin{aligned} SST &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} (R_{ij} - \bar{R})^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (i - \frac{1+2+\dots+N}{N})^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (i - \frac{N+1}{2})^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (i^2 - (N+1) \cdot i + (\frac{N+1}{2})^2) \\ &= \sum_{i=1}^N i^2 - (N+1) \sum_{i=1}^N i + N \cdot (\frac{N+1}{2})^2 \\ &= \frac{N(N+1)(2N+1)}{6} - (N+1) \cdot \frac{N(N+1)}{2} + N \cdot (\frac{N+1}{2})^2 \\ &= \frac{N(N-1)(N+1)}{12} \end{aligned} \quad (6)$$

결론적으로 크루스칼-왈리스 검정 통계량 H는 영가설에서 통계량 분포를 파악하여 검증을 할 수 있다.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} SS_t \quad (7)$$

H는 SSt를 기반으로 하기 때문에 통계량 H는 항상 0 이상의 값이 되고, 값이 클수록 처리 별 차이가 크다는 것을 의미한다. 그러므로  $\Pr(H > x) (x: \text{계산된 통계치})$ 가 p값 역할을 하고 이 값이 유의수준보다 작으면 영가설을 기각하고 처리 간 유의한 차이가 존재한다는 결론을 내린다.

## 4. 연구 결과

### 4.1 연구 변수의 정규성 검증

본 연구의 주요 연구 변수인 콜드체인 배송차량의 적정온도(냉동: -18℃, 냉장: 5℃) 도달 시간의 분포가 정규분포 가정을 만족하는지 통계적으로 검증하기 위하여 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)을 실시하였으며, 아래 “Table 5”에 요약 제시하였다. 분석 결과, 모든 집단에서 유의확률 p값이 0.05 이하로, 정규분포 가정 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 비모수 통계 검정(Nonparamatic Statistics)을 실시하여 집단 간 비교분석을 수행하였다.

Table 5. Normalization test of the time to reach the appropriate temperature by vehicle type

Sequence	Vehicle type	Shapiro-Wilk	df	p
Frozen	1ton	0.899	75	0.000
	2.5ton	0.973	120	0.016
	5ton	0.894	23	0.019
Refrigeration	1ton	0.923	69	0.000
	2.5ton	0.923	112	0.000
	5ton	0.728	21	0.000

### 4.2 연구 결과

식자재 콜드체인 특성에 따른 집단 간 적정온도 도달 시간의 차이를 비교하기 위하여 맨-윌트니검증(Mann-Whitney U test)과 크루스칼-왈리스검증(Kruskal-Wallis test)을 사용하여 실증 분석하였다. 또한 사후분석 시 본페로니 교정법(Bonferroni correlation method)은 다중비교에서 생기를 오류를 보정방법이며 이를 통해 유의수준을 설정하여 반복분석 시 제1종의 오류(Type 1 Error) 발생 확률이 증가하는 문제를 방지하였다. 그중 대표적인 차량의 적재율, 상품 중량, 적재된 박스 수를 기준으로 연구를 진행하였고, 유의미한 결과를 도출하였다.

#### 1) 적재율

식자재 콜드체인 특성 중 적재율에 따른 집단 간 적정온도 도달 시간의 차이를 비교 분석한 결과는 아래 “Table 6”에 제시하였다. 분석 결과는, 차량 종류가 2.5톤인 경우 적재율에 따른 냉동/냉장 적정온도 도달 시간의 차이가 통계적으로 유의하였으며, 차량이 5톤 장축인 경우 냉장 적정온도 도달 시간의 차이가 유의하였다. 이를 상세하게 보면 다음과 같다. 먼저 2.5톤 차량의 경우를 보면, 첫째 적재율에 따른 냉동 적정온도 도달 시간의 차이가 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하였으며( $\chi^2=12.262$ ,  $p<0.05$ ), 사후분석 결과, 적재율이 ‘100% 이상(M=55.11)’인 경우에 비해 ‘50% 미만(M=41.74)’일 때 냉동 적정온도에 평균적으로 더 빨리 도달하는 것으로 확인되었다. 둘째, 적재율에 따른 냉장 적정온도 도달 시간의 차이가 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하였으며( $\chi^2=10.679$ ,  $p<0.05$ ), 사후분석 결과, 적재율이 ‘100% 이상(M=65.59)’인 경우에 비해 ‘50%~75% 미만(M=46.55)’ 일 때 냉동 적정온도에 평균적으로 더 빨리 도달하는 것으로 확인되었다. 다음으로 5톤 장축 차량의 경우를 보면 적재율에 따른 냉장 적정온도 도달 시간의 차이가 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하였으며( $Z=-2.228$ ,  $p<0.05$ ), 적재율이 ‘50% 미만(M=46.91)’인 경우에 비해 ‘50% 이상(M=34.90)’ 일 때 냉동 적정온도에 평균적으로 더 빨리 도달하는 것으로 확인되었다. 결론적으로 냉장의 온도는 2.5톤과 5톤 장축 모두 50% 이상 적재 시 온도 도달이 적정하고, 냉동은 50% 미만 적재 시 온도에 더 빨리 도달한다는 결과를 알 수 있다.

Table 6. Comparison of the Difference in Time to Reach the Appropriate Temperature according to Load Rate

Sequence	Vehicle type	Loading rate	N	M	SD	Z/ $\chi^2$ (p)	Post-hoc
Frozen	1ton	50% Less than	19	50.16	29.71	3.503 (0.320)	-
		50%~75% Less than	21	52.29	17.19		
		75~100% Less than	18	51.61	34.49		
		100% More than	17	38.94	22.74		
	2.5ton	50% Less than a	31	41.74	23.81	12.262** (0.007)	a<d
		50%~75% Less than b	43	44.60	18.96		
		75~100% Less than c	28	55.11	22.38		
		100% More than d	18	55.11	18.86		
	5ton	50% Less than	11	42.45	8.60	-1.851 (0.064)	-
		50% More than	12	36.58	9.25		
Refrigeration	1ton	50% Less than	18	49.67	26.58	5.017 (0.171)	-
		50%~75% Less than	20	53.45	23.15		
		75~100% Less than	17	50.24	34.64		
		100% More than	14	35.86	18.53		
	2.5ton	50% Less than a	31	51.00	32.96	10.679* (0.014)	b<d
		50%~75% Less than b	40	46.55	22.71		
		75~100% Less than c	24	61.79	29.87		
		100% More than d	17	65.59	34.71		
	5ton	50% Less than	11	46.91	16.07	-2.228* (0.026)	-
		50% More than	10	34.90	6.72		

\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$ , Bonferroni correlation  $p = 0.05/6 = 0.0083$

## 2) 중량

식자재 콜드체인 중량에 따른 집단 간 적정온도 도달 시간의 차이를 비교 분석한 결과는 아래 “Table 7”에 제시하였다. 분석 결과, 차량 종류가 2.5톤인 경우 적재율에 따른 냉동/냉장 적정온도 도달 시간의 차이가 통계적으로 유의하였다. 이를 상세하게 보면 다음과 같다. 먼저 중량에 따른 2.5톤 차량의 냉동 적정온도 도달 시간의 차이가 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하였으며( $\chi^2=12.689$ ,  $p<0.05$ ), 사후분석 결과, 중량이 ‘1t 이상( $M=54.28$ )’인 경우에 비해 ‘750kg 미만( $M=41.15$ )’, ‘750kg~1t 미만( $M=44.28$ )’ 일 때 냉동 적정온도에 평균적으로 더 빨리 도달하는 것으로 확인되었다. 다음으로 중량에 따른 2.5톤 차량의 냉장 적정온도 도달 시간의 차이가 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하였다( $\chi^2=6.273$ ,  $p<0.05$ ). 그러나 사후분석에서는 대응 간 통계적으로 유의한 수준의 차이는 나타나지 않았다.

Table 7. Comparison of the difference in the time to reach the appropriate temperature by weight

Sequence	Vehicle type	Weight	N	M	SD	Z/ $\chi^2$ (p)	Post-hoc
Frozen	1ton	500kg Less than	27	48.74	26.95	-0.044 (0.965)	-
		500kg More than	48	48.46	26.69		
	2.5ton	750kg Less than a	34	41.15	21.99	12.689** (0.002)	a,b<c
		750kg~1t Less than b	32	44.28	21.90		
		1t More than c	54	54.28	19.77		
	5ton	1t Less than	8	42.50	11.98	-0.518 (0.605)	-
		1t More than	15	37.73	7.34		
Refrigeration	1ton	500kg Less than	28	47.36	25.26	-0.043 (0.966)	-
		500kg More than	41	48.61	28.02		
	2.5ton	750kg Less than a	34	51.26	33.29	6.273* (0.043)	n/a
		750kg~1t Less than b	30	48.07	27.19		
		1t More than c	48	59.50	28.42		
	5ton	1t Less than	9	48.11	17.96	-1.820 (0.069)	-
		1t More than	12	36.00	6.11		

\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$ , Bonferroni correlation  $p = 0.05/3 = 0.0166$

### 3) 박스 수

식자재 콜드체인 박스 수에 따른 집단 간 적정온도 도달 시간의 차이를 비교분석한 결과는 아래 “Table 8”에 제시하였다. 분석 결과, 차량 종류와 관계없이 박스 수와 냉동/냉장 적정온도 도달 시간 간에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 콜드체인 배송차량에 적재된 박스 수량이 적은 도달에 영향을 미칠것으로 생각하였으나, 적재된 박스 수량의 차이로는 적온유지와 상관이 없음을 알 수 있게 되었다. 이에 식자재 콜드체인 배송차량 적재 변수 중에 박스의 수는 적정온도 도달에 미치는 영향이 없는 것으로 판단된다.

Table 8. Comparison of the difference in the time to reach the appropriate temperature according to the number of boxes

Sequence	Vehicle type	Number of boxes	N	M	SD	$\chi^2$ (p)	Post-hoc
Frozen	1ton	5boxes Less than	13	47.00	34.65	3.158 (0.368)	-
		5~10boxes Less than	17	50.71	16.88		
		10~30boxes Less than	23	42.39	17.37		
		30boxes More than	22	54.27	34.54		
	2.5ton	5boxes Less than	30	50.67	16.35	3.625 (0.305)	-
		5~10boxes Less than	38	50.53	20.65		
		10~30boxes Less than	33	45.24	22.20		
		30boxes More than	19	42.84	29.06		
	5ton	10boxes Less than	7	44.00	10.44	3.108 (0.211)	-
		10~30boxes Less than	8	34.88	5.79		
		30boxes More than	8	39.88	9.82		
Refrigeration	1ton	5boxes Less than	14	39.21	22.94	3.980 (0.264)	-
		5~10boxes Less than	14	52.71	24.07		
		10~30boxes Less than	21	43.29	20.38		
		30boxes More than	20	56.15	34.63		
	2.5ton	5boxes Less than	30	53.47	21.40	2.468 (0.481)	-
		5~10boxes Less than	35	54.06	23.83		
		10~30boxes Less than	28	49.93	33.55		
		30boxes More than	19	60.37	43.78		
	5ton	10boxes Less than	6	52.67	20.52	5.131 (0.077)	-
		10~30boxes Less than	8	34.88	5.79		
		30boxes More than	7	38.57	6.43		

\*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

## 5. 결론 및 시사점

### 5.1 연구 결과의 요약 및 시사점

오늘날 우리의 삶에는 식품 먹거리가 무한대로 넘쳐나는 현실 속에서 살고 있다. 이러한 식품을 전문적으로 취급하고 법적인 안전망 속에서 유통하는 기업들은 아직까지 많지 않고, 안전망을 지키기 위한 노력도 많이 부족한 현실이다. 그중에 식품을 유통하고 취급하는 전문성을 가지고 있는 S社の 적은 배송 사례를 분석해보았다. S사는 국내 식품 유통 기업을 대표 하는 기업이고, 고도로 집약된 물류센터와 배송차량을 보유하고, 구매 능력과 위생관리 노하우를 보유하고 있는 기업이다. 이 기업의 적은 배송차량의 운송 조건을 분석하고 적은 기준에 도달하는 현상을 분석하였다. 이에 본 연구는 배송차량의 운송 조건들을 고려하고, 해당 조건들이 적은 기준에 도달하는 요인이 무엇이고, 적절한 수준이 어느정도 인지를 밝히고자 하였다. 데이터 실증 분석의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 배송 차량 적재율의 관계를 분석해 보았다. 냉장의 온도관리에서 배송차량 2.5톤 내부의 적재율을 분석하여 유의한 수준의 결과는 50%~75% 미만의 적재율을 보유하고 운행하는 조건일 때 가장 빠른 시간에 냉장의 법적 준수 온도인 5℃ 이하로 달성하는 결과를 도출하였다. 냉동의 온도관리에서 배송차량 2.5톤 내부의 적재율을 분석하여 유의한 수준의 결과는 50% 미만일 때 냉동의 법적 준수온도인 -18℃ 이하로 달성하는 결과를 도출하였다. 배송차량 5톤 장축의 냉장 온도 적재율을 분석에서도 유의한 수치의 결과가 나왔다. 적재율이 50% 이상일 때 법적 기준온도에 도달이 빠르다는 결과를 얻을 수 있었다. 그밖에 배송차량 1톤은 적재율과 상관없이 적은 도달 기준의 유의한 수치를 얻을 수 없었다. 이 분석결과를 종합하여 보면 냉장 온도를 빠른 시간에 도달하기 위해서는 2.5톤과 5톤 장축 모두 50% 이상 75% 미만일 때 가장 적합한 온도에 도달한다는 결과로 냉장의 적재 적정량은 해당 기준을 준수할 때 가장 적온관리가 잘된다는 결론을 얻을 수 있다. 그리고 냉동의 적은 관리는 적재율이 적을수록 법적인 기준온도에 도달하는 시간이 빠르다는 것을 알 수 있었다.

둘째, 적재 중량에 대한 분석결과이다. 3가지 차량별 적재 중량을 분석하였으나, 1톤과 5톤 장축의 결과에서는 유의한 수치를 얻지 못하였다. 2.5톤만 냉장, 냉동의 결과를 얻을 수 있었다. 냉장의 경우 적재 중량이 750kg~1 ton의 경우가 해당 구간의 위, 아래의 값보다 현저히 빠르게 법적 기준 온도에 도달한다는 결과를 볼 수 있었다. 냉동의 경우는 750kg 미만의 적재 중량일 때 기준온도에 도달이 빠르게 이뤄진다는 결과를 볼 수 있다. 이는 앞에 적재율 분석의 데이터와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 냉장은 톤급의 적재 중간값 일때가 가장 적합하고, 냉동은 소량의 적재 중량일 때 적합한 수치로 분석되었다.

셋째, 적재 박스 수와의 관계를 분석해 보았으나, 상품의 박스별 규격과 스펙, 재질 등의 차이로 기준이 모호하고 법적 적온 준수 여부와의 관계를 분석하기에 유의한 수치를 도출하지 못하였다.

이에 본 연구는 실무적 시사점으로 해당 결과를 요약하여 볼 때 실무적으로 콜드체인 배송 차량의 배차업무를 수행할 때 법적 기준온도를 가장 적합하게 유지하고 최상의 조건으로 운송될 수 있는 조건을 제시할 수 있다. 냉장의 경우 차량 톤급별 적재율과 적재 중량은 기준 톤급의 75% 넘지 않는 범위에서 배차를 하는 것이 상품의 품질과 안정성 보장에 확실히 할 수 있다는 방향성을 제시한다. 냉동의 경우 차량 톤급별에 상관없이 50% 미만의 적재조건일 때 가장 효율적인 적은 관리가 된다는 기준으로 배차업무 수행 시 고려해야 한다. 특히 극 하절기에는 해당 제시 조건을 따르는 것이 바람직하다. 식품의 본질적인 상태를 유지하지 못해서 큰 사고가 발생하여 여러 가지 기회손실 비용을 감안한다면 배송 차량의 적은 유지를 위해 제시한 기준을 따르는 것이 더욱 경제적일 것이라는 결론을 내려 볼 수 있다.

## 5.2 한계점 및 향후 연구 방향

본 연구의 한계점과 향후 연구 방향으로는 다음과 같다. 연구에서는 A社の 실제 운송 데이터를 가지고 분석하였으나, 데이터양이 5일치 수준의 아주 짧은 기간의 데이터로 분석하여 자료의 신뢰도가 다소 부족할 수 있다는 한계가 있다. 그러나 본 연구는 차량별로 콜드체인에 적합한 법적 기준온도에 가장 짧은 시간에 도달하고 어느 조건이 가장 최상의 기준인지를 알아보기 위한 연구로 참고할 필요가 있다. 현재 업무에 종사하고 있는 근로자들이 콜드체인 배차를 할 때 어느 기준점을 가지고 업무에 임할 때 최상의 기준을 염두해 두고 하면 콜드체인 준수의 문제가 발생할 수 있고, 콜드체인 미준수 현상을 예측하고 업무 할 수 있다는 조건으로 활용하면 좋을 것이다. 추후 연구에서는 더욱 풍부한 데이터를 가지고 많은 콜드체인 적은 조건을 고려하여 구체적이고 세부적인 분석을 수행하여 좀 더 확실한 기준의 콜드체인 배송 차량의 적은 기준을 마련하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- Ahn Gil-seop et al. (2020), a study on the competitiveness evaluation of cold chain clusters in the metropolitan area, digital convergence research, 18 (10), 181-194.
- Arabelen, G., and Kaya, H. T. (2021), Assessment of logistics service quality dimensions: a qualitative approach. Journal of Shipping and Trade, 6(1), 1-13.
- Chun Young-sun and Park Jeong-seop (2017), a study on the factors for selecting the location of a global cold chain logistics hub using AHP techniques: focusing on fresh food. Journal of Logistics, Vol27, No6.
- Choi Si-young (2018), "Food Told Chain Logistics", 2018 Logistics Industry General, 372-373.
- Chandler, G. N. and Hanks, S. H. (1993), Measuring the performance of emerging businesses: A validation study. Journal of Business venturing, 8(5), 391-408.
- Chen, M. C. et al. (2014), Ensuring the quality of e-shopping specialty foods through efficient logistics service. Trends in Food Science & Technology, 35(1), 69-82.
- Choi, S., Eom, et al. (2020), A self-healing nanofiber-based self-responsive time-temperature indicator for securing a cold-supply chain. Advanced Materials, 32(11), 1907064.
- Gu Yumi and Kim Dongjin (2018), An Analysis of the Importance of the Domestic Cold Chain's Promotion of Fresh Food Transportation. Logistic Research, 26(4), 23-28.
- Han Gwan-sun (2015), a study on ways to advance the cold chain system for logistics efficiency of fresh agricultural products, Journal of Logistics, Vol25, No4.
- Han Gwan-sun (2018), task of advancing fresh logistics and development plan - focusing on the social responsibility of the low-temperature storage and transport industry. Journal of the Korean Society of Logistics, 28(4), 85-105
- Kim Byung-sam (2011), Current Status and Development Direction of Korea's Agricultural Cold Chain System. Facilities Journal, 40(6), 24-33.
- Kim Si-gu et al. (2022), the impact of cold chain corporate capabilities of Korean food companies on partnerships. Korean Society of International Commerce, Vol37, No2.
- Kim Chang-bong et al. (2017), an empirical study on the impact of cold chain corporate capabilities of Korean food companies on partnerships, International Commerce, 32 (1), 107-124.
- Kim Hye-jin and Lee Yeo-tae (2017), a study on the quality of logistics services affecting the performance of agricultural products online direct transactions, logistic research, 25(3), 1-22.
- Park Yi-suk et al. (2009), The Effects of Logistics Service Quality and Relationship Orientation on Supply Chain Performance, Journal of Quality Management, 37(3), 102-122
- Park Hong-gyu and Min Chan-hong (2021), a study on the factors that strengthen the competitiveness of cold chain logistics, Chungnam National University's Institute of Management and Economy, Vol43, No4.
- Ryu Ha-young (2022), a study on food purchase selection factors considering the cold chain, Inha University Graduate School of Logistics, a master's thesis, Incheon.



- Sun Il-seok et al. (2019), research on ways to activate cold chain three-way logistics, distribution and logistics research, 6 (1), 37-49.
- Son Seung-hwan (2023), a study on the impact of food distribution companies' cold chain third-party logistics companies on corporate performance, Dankook University Graduate School of Business, master's thesis, and Gyeonggi.
- Song Se-woong (2021) Study on the Improvement of the Domestic Cold Chain Drug Transportation System: Focusing on Temperature Management, Graduate School of Korea Maritime University, Ph.D. thesis, Busan
- Yang Soo-jung et al. (2019), Study on Super Chilling Distribution Method of Fresh Seafood according to Storage Temperature and Packaging Method, Logistic Study, 27(4), 47-56.

## 요약문

식자재 영역은 주로 Business To Business(B2B) 영역에서 행하여지는 산업이다. 사람이 생활하는 가정 외에서 소비되는 식품영역을 식자재라 말할 수 있다. 사회활동을 하면서 외부에서 한, 두끼의 식품 소비는 누구나 하는 활동이다. 사람들의 생활에 아주 밀접하고 중요하기 때문에 식품을 공급하는 프로세스의 관리가 체계적으로 되어야 한다. 본 연구는 식품 콜드체인 배송차량의 적재 변수별 적정온도 도달에 미치는 영향을 분석하였다. 배송차량 적재 변화 요인별 법적인 냉장, 냉동의 준수온도에 도달하는 시간과의 관계를 분석하고 어떠한 영향을 미치는지에 대한 근거를 제시하였다. 연구 결과 배송 차량에 적재량, 적재중량, 적재 박수 수별 변수의 특성별 분석을 하였고, 연구 별과 유의미한 결과를 도출하였다. 본 연구의 결과는 식품 콜드체인 물류시스템의 효율적인 관리와 배송차량의 적재 최적화를 위한 중요한 근거를 제공하고자 한다.

**주제어:** 콜드체인 배송차량, 온도관리, 식자재 물류, 비모수 통계

# 산업연관표를 활용한 물류산업의 경제적 파급효과 변화분석

김도훈<sup>1</sup>, 우엔<sup>2</sup>, 하헌구<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>인하대학교 물류전문대학원

## An Analysis of Changes in the Economic impacts of the Logistics industry using Input-Output Analysis

Do Hun Kim<sup>1</sup>, Uyen Phani<sup>2</sup>, Hun Koo Ha<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Graduate School of Logistics, Inha University

In this study, the logistics industry, which is gradually increasing in scale, is analyzed using input-output analysis as one of the leading industries driving the development of the national economy. Each transportation service in the input-output table is classified into passenger and freight sectors based on production values, and the Input-Output table is restructured into 20 industries. The analysis covers a period from 2000 to 2019, utilizing five-year interval Input-Output tables over approximately 20 years. The study presents the analysis results on the production-induced effects, value-added effects, forward linkage effects, backward linkage effects, and supply constraints of the logistics industry. This study observed that the production-induced and value-added effects of railway freight transportation services decreased over time while those of parcel services increased. The logistics industry exhibited lower forward linkage effects compared to backward linkage effects. Based on these analytical results, the study provides a foundation for future planning for each logistics industry and offers insights into the development of the logistics industry.

**Keywords:** Input Output Analysis, Logistics Industries, Parcel Service

---

논문접수일 : 2023.12.13.    논문수정일 : 2023.12.20.    게재확정일 : 2023.12.20.

1. 인하대학교 물류전문대학원 석박통합과정

2. 인하대학교 물류전문대학원 박사과정

3\*. 인하대학교 물류전문대학원 교수, Corresponding Author: hkha@inha.ac.kr

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

물류산업은 화주의 수요에 따라 유상으로 물류활동을 영위하는 것으로 도로, 철도, 항공, 해상, 파이프라인 등 운송수단을 활용한 화물운송, 물류터미널 또는 창고 등을 관리하는 물류시설 운영, 화물운송의 주선, 물류건설 등 업무를 하는 물류 서비스업, 종합적으로 영위하는 물류서비스업을 말한다(물류정책기본법, 2023). 이와 같이 물류산업은 특정한 부문에 속하지 않고 재화가 전달되는 모든 과정을 포함하고 있는 특성을 가지고 있는 산업이다.

물류산업은 재화의 전달뿐만 아니라 고용, 고부가가치 창출, 수출입 지원산업의 역할도 수행하고 있다. 우리나라는 무역 의존도가 높기에 중간재 및 완제품의 수출입을 담당하는 물류산업의 역할의 중요도와 비중은 커져가고 있는 상황이다. 2020년 COVID-19로 인해 많은 산업들이 피해를 입었지만 물류산업은 오히려 매출액과 물동량이 증가했다. 2021년 물류산업의 매출액은 약 154조 8000억으로 전년도인 2020년과 비교했을 때 약 42조가 증가한 수치로써 물류산업의 매출액 규모가 급격하게 증가했다(통계청 2021년 운수업 조사 결과, 2022). 또한 물류산업 중의 일부분인 생활물류서비스라고 불리고 있는 소화물 전문운송서비스의 비중이 눈에 띄게 증가하고 있다. 2020년 국내 택배물동량은 약 33억 박스로 전년도 대비 약 20%가 증가하였으며 2021년도에는 약 36억 박스로 물동량은 계속해서 증가할 것으로 보인다(국가물류통합정보센터, 2022). 이렇게 규모와 비중이 증가한 만큼 물류산업이 정상적인 역할을 수행하지 못한다면 국민 경제 전체에 미치는 영향은 매우 클 것으로 판단된다.

본 연구는 20년간 발간된 산업연관표를 활용하여 물류산업이 전체 산업에 미치는 영향을 생산유발효과, 부가가치유발효과, 전후방 연쇄효과, 공급지장효과 측면에서 정량화 및 분석하고 각 효과의 변화를 파악한다. 운송서비스에서는 여객과 화물을 분류하여 화물운송서비스에 대한 파급효과를 보다 정확하게 파악할 수 있으며, 소화물전문운송서비스에 대한 부문만 따로 분류하여 생활물류라고 불리는 택배업에 대해 자세하게 연구한다. 이를 통해 물류산업의 경제적 중요성을 파악하고 물류산업관련 정책 및 전략 수립하는데 기여하고자한다.

## 2. 선행연구

물류산업이 전체 산업에 미치는 경제적 파급효과에 대한 연구는 많이 진행된 상태이며, 물류산업의 특정 부문인 철도운송서비스, 항공운송서비스, 해상운송서비스 만을 연구한 선행연구도 존재한다. 또한 국내뿐만 아니라 다른 나라의 산업연관표를 활용하여 국내와 비교한 선행연구들도 존재한다. 먼저 최영운·하현구(2008)는 물류산업을 6개로 분류한 뒤, 1995, 2000, 2003년 산업연관표를 활용하여 20개의 부문으로 재분류하여 파급효과를 분석하였다. 이민규(2010)는 물류산업의 핵심인 운송부문을 분류하여 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과, 공급지장효과, 물가파급효과, 전후방 연쇄효과를 파악하여 경제적 파급효과를 분석했다. 물류산업의 각 운송 별 선행연구도 진행되어왔는데 먼저 박추환·정영근(2008)은 항공물류산업의 현 위치 파악과 파급효과를 파악하기 위해 2008년 산업연관표를 활용하여 항공운송업, 항공운송지원 서비스업, 항공 및 육상화물 취급업, 복합운송 주선업으로 분류하여 분석했다. 윤재호(2016)는 철도여객운송산업과 철도화물운송산업을 2003년부터 2013년까지 10년 동안의 변화를 분석하였다. 생산유발효과, 부가가치유발효과를 가장 많이 받는 산업이 변화한 것을 확인하면서 산업구조에 큰 변화가 있었음을 밝혀냈다. 오동규·이준(2018)은 지역산업연관표를 활용하여 철도운송산업의 경제적 파급효과를 순이입 측면에서 분석하였다. 분석 결과 생산유발효과는 광주가 가장 큰 것으로 나타났고 부가가치유발계수는 충북이 가장 높은 것으로 나타났으며 부가가치 순이입은 서울이 가장 높은 것으로 나타났다. 이민규·고병욱(2013)은 수송산업의 경제적 파급효과를 세계 30대 해운 국가와 비교 분석한다.

분석 결과 우리나라의 수송운송산업의 생산유발계수는 30개국 중 26위, 부가가치유발계수는 28위로 나타나며, 낮은 경제적 파급효과를 갖는 이유를 낮은 중간재의 국산품 비율을 꼽았다. 이태우·장영태(2008)는 1990년부터 2000년까지 산업연관분석을 활용하여 연안 및 내륙수상운송 부문의 경제적 파급효과를 분석하였다. 분석 결과 내륙수상운송의 파급효과가 외항해운 못지않게 중요하다는 것을 밝혀냈다. Kim et al. (2021)는 WIOD(World Input-Output Database)를 활용하여 한국 물류서비스가 전 산업에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 물류서비스산업이 공급, 제조, 유통활동을 연결해주는 역할을 한 것으로 나타났으며 택배산업의 활용도가 높아지는 것을 파악했다.

최근에는 다품종 소량생산이 이루어지면서 택배업에 관한 연구도 많이 이루어지고 있다. 정기현·정군오(2012)는 택배산업의 규제완화가 어떠한 파급효과를 불러오는지 분석하였고 분석 결과, 택배산업의 규제 완화와 성장이 생산 유발을 가능하게 하고 현재 택배산업이 수요적 원시산업형에 속한다는 것을 파악했다. 박성민·박찬권(2022)은 우편 및 택배업이 전체 산업에 미치는 영향을 분석하고 네트워크 연결성을 분석하였다. 분석 결과, 우편 및 택배업은 낮은 생산계수와 높은 부가가치율을 보이는 것으로 나타났다. 감응도 계수 분석 결과 타 산업 대비 민감하게 반응하지 않고 중간재로 많이 활용되지 않는 산업으로 나타났다.

최근 물류산업의 중요성은 증가하고 있지만 물류산업의 변화에 대한 분석 연구는 활발하지 않은 상황이다. 본 연구에서는 2000년부터 2019년까지 약 20년간의 산업연관표를 활용한 물류산업의 파급효과를 분석함으로써 과거 시점에서 최근 시점까지 각 물류산업들에 대한 파급효과와 효과에 대한 변화를 파악한다. 특히 이커머스의 성장과 디지털 기술의 발달로 성장세가 뚜렷한 소화물전문운송서비스는 일상생활에 가장 관련성이 높은 산업으로 영향력을 파악할 필요성이 있다. 이와 같이 각 물류산업들의 현황과 변화를 파악함으로써 물류산업의 발전을 위한 기초자료를 제공하여 시사점을 제시한다.

### 3. 연구방법론

#### 3.1 산업연관표 구조

산업연관표는 일정 기간 동안 한 지역에서 모든 재화와 서비스를 생산하고 처분하는 과정에서 발생하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 행렬 형태로 기록한 종합적인 통계표이다(권태현, 2020). 산업연관표를 활용하여 산업간 상호의존관계를 수량적으로 분석하는 것을 산업연관분석이라고 한다.

분석에서 활용한 표는 투입산출표이며 투입산출표는 「상품×상품」 행렬 형태로 구성되어있다. 투입산출표는 결과를 일관되게 해석할 수 있다는 장점이 있다. 산업연관표의 구조는 “Figure 1”과 같으며, 세로방향은 중간재의 투입을 나타내는 내생부문, 부가가치의 투입을 나타내는 외생부문으로 구성된다. 중간투입계(내생부문)와 부가가치계(외생부문)의 합을 총투입액이라고 한다. 산업연관표에서 j산업의 투입구조는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.  $r_{ij}$ 는 중간투입액을 총 투입액을 나눈 것으로 산출계수라고 한다. 가로방향은 중간재의 사용내역을 나타내는 중간수요와 산업별 생산물이 부문별로 사용된 내역을 나타내는 최종수요( $Y_n$ ) 부문으로 나눌 수 있다. 중간수요와 최종수요의 합은 총 수요액이 되며 총 수요액에 수입을 공제( $M_n$ )하면 총 산출액( $X_n$ )이 된다. 총 산출액은 총 투입액과 항상 같다. i 부문의 산출구조는 식(2)와 같다.  $a_{ij}$ 는 j 산업에 투자되는 i 재의 투입량이며 이를 투입계수라고 한다.

$$X_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} + V_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} X_j + V_j \quad (1)$$

$$X_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} + V_j = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + V_j \quad (2)$$

		Intermediate demand				Demands	Imports	Outlays
		1	2	· · · · ·	n			
Intermediate Input	1	$X_{11}$	$X_{12}$	· · · · ·	$X_{1n}$	$Y_1$	$M_1$	$X_1$
	2	$X_{21}$	$X_{22}$	· · · · ·	$X_{2n}$	$Y_2$	$M_2$	$X_2$
	·	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·	·
	n	$X_{n1}$	$X_{n2}$	· · · · ·	$X_{nn}$	$Y_n$	$M_n$	$X_n$
Value-added		$V_1$	$V_2$	· · · · ·	$V_n$			
Output		$X_1$	$X_2$	· · · · ·	$X_n$			

Figure 1. Input-Output table

## 1) 생산유발효과

생산유발계수는 어느 한 산업에 대한 최종수요가 1단위 증가할 때 이를 충족시키기 위해 각 산업에서 직·간접으로 유발되는 산출액의 크기를 나타낸다. 본 연구에서는 국산품과 수입품을 구분하지 않는  $(I-A)^{-1}$ 형 경쟁형 투입산출표의 투입계수를 사용한다. 전체적인 산업의 파급효과를 파악하는 것이기에 국산품과 수입품을 구분하지 않는 모형을 활용하는게 적합하다고 판단하였다. 수요유도형 모형은 식 (2)로 정의할 수 있는데 식 (2)의 축약된 행렬식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. I는 단위행렬,  $(I-A)^{-1}$ 을 생산유발계수행렬 즉, 레온티에프 역행렬이라고 한다(권태현, 2020).

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (3)$$

식 (3)에서 특정 물류산업을 외생화하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (4)에서  $\Delta X^e$ 는 분석대상인 K산업을 제외한 타 산업부문의 산출량으로, K부문의 산출에 영향을 받은 타 산업의 산출량을 나타낸다.  $(I-A^e)^{-1}$ 는 투입계수행렬에서 K 산업을 제외한 레온티에프 역행렬이며  $A_K^e$ 는 투입계수행렬 A에서 K 부문을 나타내는 열벡터 중 K산업을 제외한 열벡터이다.  $X_K$ 는 K산업의 산출액을 나타낸다.

$$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1} (A_K^e \Delta X_K) \quad (4)$$

## 2) 부가가치유발효과

부가가치유발효과는 특정 산업에서 생산한 산출품에 대한 최종수요가 1단위 발생하였을 경우 본 산업 및 타 산업에서 직·간접적으로 발생한 부가가치의 크기를 나타낸다.  $(I-A)^{-1}$ 형 생산유발계수를 통해 측정할 수 있으며 부가가치투입계수 벡터를  $\hat{A}_v$ 로 전환하고 산출액 X를 곱하면 식 (5)를 얻을 수 있고 이것을 부가가치계수행렬이라 한다. 식 (5)의 부가가치 유발효과를 구하면 식 (6)이 된다.  $\hat{A}_v(I-A)^{-1}$ 이 부가가치계수행렬이다. 특정 산업의 최종수요가 1단위 발생할 경우 국민경제전체에서 직간접으로 유발되는 부가가치를 나타낸다. 식 (6)에서 순수한 파급효과를 파악하기 위해 특정산업을 외생화 하면 식(7)이 된다.  $\hat{A}_v^e$ 는 대각행렬  $\hat{A}_v$ 에서 K 산업부문의 행과 열을 제외시킨 행렬이다. 식 (7)을 통해 특정 물류 산업의 순수한 부가가치 유발효과를 확인할 수 있다.

$$V = \hat{A}_v X = (I - A)^{-1} Y \quad (5)$$

$$V = \hat{A}_v \Delta X = \hat{A}_v (I - A)^{-1} \Delta Y \quad (6)$$

$$\Delta V^e = \hat{A}_v^e (I - A^e)^{-1} (A_K^e \Delta X_K) \quad (7)$$

### 3) 공급지장효과

일반적인 산업연관분석 모형은 고정투입계수와 투입요소의 완전 탄력적 공급이라는 가정을 따르기 때문에 최종수요로부터 발생하는 충격인 후방연쇄효과와 활동의 산출 결정을 분석하는데 목적을 둔다 (Oosterhaven, J., 1996; 임슬예, 2014; 이승재, 2016). 하지만 일반적인 산업연관분석 모형은 공급에서 발생하는 충격인 전방연쇄효과와 활동의 투입결정을 다루기에는 적절하지 못하다. 공급유도형 모형을 활용하여 특정 산업부문의 공급지장이 생겼을 때 다른 산업에 미치는 파급력을 분석할 수 있다. 공급유도형 모형은 물류산업의 공급지장효과를 분석하는데 유용하게 활용할 수 있다.

여기서  $X$ 는  $n \times 1$  열벡터로 총산출 행렬,  $R$ 은 산출계수  $r_{ij}$ 로 구성된  $n \times n$  산출계수 행렬,  $V$ 는  $n \times 1$  열벡터로 부가가치행렬이다. 식(6)을 정리하여  $X$ 를 중심으로 나타내면 식 (8)이 된다. 여기서  $I$ 는  $n \times n$  정방행렬로 항등행렬이며  $(I - R)$ 은 산출계수 행렬이 포함되어있기에 산출역행렬이라 불린다. 산출역행렬의 각 원소를  $q_{ij}$ 로 정의한다면 식 (8)로부터  $q_{ij}$ 의 관계식이 도출된다. 즉  $q_{ij}$ 는  $I$  부문 부가가치의 변화가 발생할 때 직·간접적으로 소요되는  $j$ 부문 산출의 총 변화량을 의미한다. 식 (5)를 이용하여 원초적 투입요소의 변화가 발생할 경우 생겨나는 산출의 직·간접적 변화량을 측정할 수 있다. 따라서 산출역행렬 행합계는 투입요소의 단위 변화에 따른 경제 전체에서의 총 산출 변화를 나타내는 공급승수가 된다 (Gosh, 1958). 지금까지 부가가치의 변화에 초점을 둔 공급유도형 모형에 대해 설명하였다. 하지만 물류산업이라는 특정 산업부문의 공급 변화가 타 산업에 미치는 순수한 영향을 파악하기 위해서 외생화의 과정을 통해 확인해야 한다. 식 (8)을 물류산업부문을 외생화하여 정리하면 식 (9)와 같다.

$$X' = V'(I - R)^{-1} \quad (8)$$

$$\Delta X^{e'} = R_K^e \Delta X_K (I - R^e)^{-1} \quad (9)$$

### 4) 전후방연쇄효과

산업연관모형에서 연쇄효과를 측정하는 방법은 영향력 계수와 감응도 계수를 이용하는 것이다. 영향력 계수와 감응도 계수는 생산유발효과와 연관이 있는 계수로서 각 산업 간의 의존도를 전 산업의 평균 의존도와 비교한다. 후방연쇄효과는 최종수요의 1단위 변화가 발생할 때 초기 산출량의 변화가 투입방향으로 일으키는 파급효과를 분석하기에 레온티에프 역행렬에 기초하여 분석한다. 따라서 본 연구에서 물류산업 연관구조에서는  $j$ 산업의 산출물에 대한 최종수요가 1단위 증가할 때 물류산업부문에 미치는 영향의 정도를 나타낸 것이다. 영향력 계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$BL_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (10)$$

전방연쇄효과는 최종수요의 1단위 변화가 발생할 때 초기 산출량의 변화가 배분방향으로 일으키는 파급효과를 분석하며 Ghosh 역행렬에 기초하고 있다. 따라서 물류산업의 구조하에서 감응도 계수는 물류산업의 생산물에 대한 최종수요가 1단위씩 발생할 때 특정  $i$  산업이 받는 파급효과이다. 즉 감응도계수

는 i 산업의 전방연쇄효과의 정도 측정하는 계수로 i 산업의 생산유발계수 행 합계를 모든 산업의 평균  
으로 나누어 측정한다. 감응도 계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$FL_i = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (11)$$

### 3.2 자료수집 및 분석방법

본 연구는 한국은행에서 제공하는 산업연관표를 활용하여 자료를 수집하였다. 기간은 2000년부터 2019년까지 약 20년의 산업연관표를 분석하여 물류산업의 변화를 파악한다. 그러나 한국은행이 공표하는 산업연관표에 구성되어 있는 기본부문은 본 연구의 목적인 여객과 화물을 따로 분리하지 않고 결합된 형태로 있어 물류부문만을 파악하기에는 한계가 있다. 이러한 점을 개선하기 위해서 한국은행에서 제공하는 부문별 품목별 공급액표를 기준으로 여객과 화물을 분리하였다. “Table 1”은 항공운송서비스 공급액으로 총 공급액에서 항공여객 운송서비스가 차지하는 부분은 59%이고 그 외의 부분은 화물로 분류하여 31%는 항공화물운송서비스로 분류하였다. 다른 물류산업부문도 이와 같은 방법으로 여객과 화물을 분류하였다. 또한 물류산업부문을 7부문으로 구분하였다. 물류산업은 보관, 하역, 운송, 서비스 등 종합적인 산업이기에 물류산업을 한 부문으로 분석하기보다는 시설별로 나누어 분석하는 것이 실증적 및 계량적 분석이 용이하다고 판단하였다. 하지만 소화물전문운송서비스의 경우 2005년부터 기본부문에 포함되어 있어 2000년 산업연관분석에서는 소화물전문운송서비스가 포함되지 않은 6부문으로 분석하였다. 제조업은 경공업과 중공업 등을 포함시켜 간소화하였다. 물류산업과 깊은 연관이 있는 운송시설과 관련된 도로, 철도, 항만, 항공 등의 시설을 구분하였다. 재구성한 산업연관표는 “Table 2”와 같다.

Table 1. The amount of supply

(Unit: won)

Category	Domestic Output	Imports	The amount of supply
Air transport	15,920,017	2,406,908	18,326,925
Air transport	0	2,406,908	2,406,908
Air passenger transport	10,992,138	0	10,992,138
Air cargo transport	4,927,879	0	4,927,879



Table 2. Input-Output Table reorganized into the logistics sector

Industries	Ratio				
	2000	2005	2010	2015	2019
Agriculture	1	1	1	1	1
Mining	1	1	1	1	1
Manufacturing	1	1	1	1	1
Power Gas Steam and Water	1	1	1	1	1
Road construction	1	1	0.99	0.97	0.97
Rail construction	1	1	0.91	0.7	0.7
Subway	1	1	0.29	0.3	0.3
Port construction	1	1	1	1	1
Air construction	1	1	0.01	0.03	0.03
Construction	1	1	1	1	1
Services	1	1	1	1	1
Passenger	(1+1+0.03+0.66)	(1+1+0.02+0.6)	(1+1+0.03+0.69)	(0.94+1+0.05+0.75)	(0.94+1+0.05+0.75)
Distribution	1	1	1	1	1
Logistics	Land cargo transport	1	1	1	1
	Rail cargo transport	1	1	0.06	0.06
	Water cargo transport	0.97	0.98	0.97	0.95
	Air cargo transport	0.33	0.33	0.31	0.25
	Warehousing Material Handling	1	1	1	1
	Transport service	1	1	1	1
	Parcel service	1	1	1	1

## 4. 연구결과

### 4.1 생산유발효과 분석 결과

물류산업의 재구성한 기본부문별로 각 산업에 영향을 미치는 파급효과의 변화를 분석하기 위해 연도별 생산유발계수를 산출하고 분석하였다. 생산유발계수는 1단위의 최종수요가 각 산업의 생산성에 직간접적으로 미치는 파급효과를 각 산업별 산출액을 나타내는 것으로 해당하는 산업의 경제적 파급효과를 분석하기 위해 자주 활용되는 계수이다.

“Table 3”에서 물류산업의 생산유발효과 평균은 연도별로 2.273, 2.456, 2.775, 2.494, 2.591로 나타났다. 전체 산업의 평균과 비교하였을 때 2000년을 제외하고는 전체산업 평균보다 약간 높은 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 또한 물류산업의 생산유발효과는 증가하는 추세를 보인다. 운송수단별 운송서비스를 비교하였을 때, 가장 높은 생산유발효과를 보이는 것은 수상화물운송서비스로 나타났다. 2000년 대비 2019년에는 2.928에서 3.208로 증가추세를 보이고 높은 생산유발효과를 보인다.

항공화물운송서비스의 경우 생산유발계수는 2000년 2.625에서 2019년 2.845로 증가하였다. 도로화물운송서비스의 경우 2000년 2.213에서 2019년 2.722로 증가하는 수치가 다른 운송별 화물운송서비스 보다 높은 것을 확인할 수 있었다. 하지만 철도화물운송서비스의 경우에는 다른 운송수단 화물운송서비스와 반대되는 상황을 보여주었다. 철도화물운송서비스는 2000년 2.714로 비교적 높은 생산유발효과를 보이고 있었으나 2019년 1.976으로 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이 수치는 전체 산업별과 비교했을 때에도 19위에 해당하는 수치로 철도화물운송서비스의 생산유발효과가 매우 낮다는 것을 나타낸다. 운송서비스의 경우에는 부가적인 형태를 띠는 서비스의 경우로 생산유발효과에서는 높은 계수를 나타내지는 않는 것으로 나타났다. 보관 및 하역 서비스 부문에서도 큰 순위를 차지하지는 않았지만 생산유발효과 증가추이를 봤을 때 2000년 1.673에서 2019년 2.501로 가장 높은 증가율을 보여 보관 및 하역서비스의 영향력이 커진 것을 확인할 수 있다. 소화물전문운송서비스의 경우에는 2005년부터 생겨났지만 2.597로 높은 수치를 나타냈었고 2019년 2.905로 물류산업 부문뿐만 아니라 전체 산업과 비교해도 수상 화물운송서비스 다음으로 가장 높은 수치를 나타냈다.

Table 3. Production inducement effect

Industries		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		1.9215	14	2.1157	15	2.338	16	2.113	16	2.258	16
Mining		1.8167	16	2.0271	16	2.211	17	2.184	15	2.278	15
Manufacturing		2.858	3	3.0651	2	3.209	2	2.684	3	2.876	3
Power Gas Steam and Water		2.173	12	2.318	13	2.757	10	2.3764	12	2.621	6
Road construction		2.297	10	3.0651	9	2.739	11	2.425	7	2.560	8
Rail construction		2.834	4	2.318	4	2.994	5	2.415	9	2.516	11
Subway		2.936	1	2.516	3	2.994	4	2.415	10	2.516	10
Port construction		2.320	9	2.847	11	2.599	15	2.382	11	2.572	7
Air construction		2.404	8	2.878	10	2.739	11	2.425	6	2.560	9
Construction		2.410	7	2.354	8	2.642	13	2.420	8	2.440	14
Services		1.868	15	1.956	18	1.974	20	1.888	19	1.946	20
Distribution		1.809	17	1.869	19	2.106	18	1.955	17	2.038	17
Passenger		2.165	13	2.247	14	2.612	14	2.244	14	2.507	12
Logistics	Rail cargo transport	2.714	5	2.542	7	2.979	6	1.530	20	1.976	19
	Land cargo transport	2.213	11	2.342	12	2.791	8	2.561	5	2.722	5
	Water cargo transport	2.928	2	3.318	1	3.831	1	3.077	1	3.208	1
	Air cargo transport	2.625	6	2.692	5	2.956	7	2.596	4	2.845	4
	Warehousing Material Handling	1.487	19	1.108	20	2.018	19	1.920	18	1.976	18
	Transport service	1.673	18	1.970	17	2.774	9	2.353	13	2.501	13
	Parcel service			2.595	6	3.198	3	2.712	2	2.905	2
Industries average		2.284		2.425		2.695		2.425		2.491	
Logistics average		2.273		2.456		2.775		2.494		2.591	

이제 각 산업들이 미치는 순수한 파급효과를 파악하기 위해서 물류산업부문들을 외생화하여 영향력을 연도별로 파악하였다. 물류 산업은 공통적으로 제조업과 서비스 부문에 많은 영향력을 끼치는 것으로 파악됐다. 시간의 흐름에 따라 변화가 큰 철도화물운송서비스, 도로화물운송서비스, 보관 및 하역, 소화물전문운송서비스를 대상으로 분석을 실시하였다. “Table 4”는 철도화물운송서비스를 외생화를 한 결과이다. 각 산업별에 미치는 영향의 순위는 큰 변화가 나타나지 않았지만 생산유발계수 합계는 1.707, 1.584, 0.895, 0.758, 0.917로 점차 감소하는 추세를 보인다.

Table 4. An Exogenous Analysis of the Production Induction Effect of Rail cargo Transportation

Rail cargo transport		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.043	6	0.0256	6	0.0113	7	0.008	8	0.0102	8
Mining		0.737	4	0.066	4	0.0450	5	0.037	5	0.0542	5
Manufacturing		0.957	1	0.705	1	0.4260	1	0.268	1	0.3599	1
Power Gas Steam and Water		0.102	3	0.089	3	0.0528	4	0.084	4	0.1036	4
Road construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Rail construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Subway		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Port construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Air construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Construction		0.02	8	0.0142	8	0.0041	10	0.003	10	0.0040	10
Services		0.380	2	0.557	2	0.1666	2	0.156	2	0.2110	2
Distribution		0.041	7	0.048	5	0.0350	6	0.023	6	0.0292	6
Passenger		0.009	10	0.008	10	0.0051	9	0.009	7	0.0096	9
Logistics	Rail cargo transport										
	Land cargo transport	0.012	9	0.01737	7	0.0086	8	0.008	9	0.0110	7
	Water cargo transport	0.002	11	0.002	11	0.0023	12	0.001	13	0.0011	13
	Air cargo transport	0.001	13	0.001	13	0.0006	14	0.0008	14	0.0009	14
	Warehousing Material Handling	0.064	5	0.0094	9	0.1338	3	0.155	3	0.1754	3
	Transport service	0.002	12	0.0018	12	0.0029	11	0.002	11	0.0037	11
	Parcel service			0.00068	14	0.0010	13	0.001	12	0.0021	12
Sum		1.711		1.544		0.8959		0.7561		0.9759	

“Table 5”는 도로화물운송서비스 외생화 분석을 나타낸다. 도로화물운송서비스의 생산유발효과는 1.188, 1.327, 1.76, 1.60, 1.65로 증가하는 추세를 보인다. 도로화물운송서비스의 순수한 파급효과는 증가하고 있고 특히 소화물전문운송서비스, 전력가스 증기 및 수도, 보관 및 하역에 미치는 영향력이 커져 순위변동이 있는 것을 확인할 수 있다.

Table 5. An Exogenous Analysis of the Production Induction Effect of Land cargo Transportation

Land cargo transport		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.032	6	0.0271	6	0.0286	7	0.0259	7	0.025	7
Mining		0.043	4	0.0555	4	0.0895	4	0.0592	5	0.071	5
Manufacturing		0.698	1	0.846	1	1.1496	1	0.9505	1	0.953	1
Power Gas Steam and Water		0.020	7	0.0244	7	0.0441	6	0.0435	6	0.043	6
Road construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Rail construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Subway		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Port construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Air construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Construction		0.006	9	0.004	9	0.005316	10	0.0051	10	0.006	10
Services		0.275	2	0.245	2	0.2349	2	0.2934	2	0.316	2
Distribution		0.039	5	0.048	5	0.1067	3	0.0823	4	0.082	4
Passenger		0.008	8	0.0092	8	0.0071	9	0.0114	8	0.012	8
Logistics	Rail cargo transport	0.0002	13	0.000481	14	0.0008	14	0.0002	14	0.000	14
	Land cargo transport										
	Water cargo transport	0.0008	12	0.00224	11	0.0036	11	0.0029	11	0.002	12
	Air cargo transport	0.001	11	0.000878	12	0.0011	13	0.0012	13	0.001	13
	Warehousing	0.063	3	0.0611	3	0.0790	5	0.1220	3	0.133	3
	Material Handling										
	Transport service	0.001	10	0.0024	10	0.0074	8	0.0073	9	0.010	9
Parcel service				0.00071	13	0.0021	12	0.0023	12	0.003	11
Sum		1.188		1.327		1.7604		1.6073		1.657	

“Table 6”은 보관 및 하역의 결과로 2000년 대비 2019년 생산유발계수는 1.475로 상당히 증가하였고 제조업에 대한 파급효과가 상당한 비중을 차지한 것으로 나타났다. 소화물전문운송서비스업은 “Table 7”과 같다. 소화물전문운송서비스업 역시 제조업 부문에 대한 생산유발효과가 가장 높은 것으로 나타났고 다른 화물운송서비스와 달리 도소매 및 상품증가에 대한 생산유발효과가 높은 것으로 나타나 유통과 관련된 산업에 많은 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있다. 또한 운송서비스에 대한 영향력도 증가하는 추세가 나타났다.

Table 6. An Exogenous Analysis of the Production Induction Effect of Warehousing Material Handling

Warehousing Material Handling		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.012	6	0.0142	7	0.02432	7	0.0194	7	0.019	7
Mining		0.02	4	0.039	5	0.10228	4	0.0547	6	0.066	5
Manufacturing		0.228	2	0.375	1	0.87369	1	0.6117	1	0.627	1
Power Gas Steam and Water		0.035	3	0.062	4	0.13905	3	0.0859	3	0.089	3
Road construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0.000	15
Rail construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0.000	15
Subway		0	14	0	15	0	15	0	15	0.000	15
Port construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0.000	15
Air construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0.000	15
Construction		0.009	7	0.009	10	0.00759	10	0.0064	10	0.008	10
Services		0.332	1	0.367	2	0.44322	2	0.4531	2	0.503	2
Distribution		0.015	5	0.028	6	0.09435	5	0.0728	4	0.075	4
Passenger		0.006	8	0.011	9	0.01440	9	0.0133	9	0.013	9
Logistics	Rail cargo transport	0.0002	13	0.000	14	0.00087	14	0.0002	14	0.000	14
	Land cargo transport	0.003	10	0.011	8	0.0178	8	0.0146	8	0.017	8
	Water cargo transport	0.002	11	0.005	11	0.003162	12	0.0035	11	0.003	12
	Air cargo transport	0.001	12	0.001	12	0.00155	13	0.0021	13	0.002	13
	Warehousing Material Handling	0.005	9	0.078	3	0.05140	6	0.0587	5	0.049	6
	Transport service										
	Parcel service			0.001	13	0.00343	11	0.0033	12	0.004	11
Sum		0.670		1.001		1.7771		1.3995		1.475	

Table 7. An Exogenous Analysis of the Production Induction Effect of Parcel service

Parcel service		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.028	7	0.0274	8	0.0248	8	0.024	8
Mining		0.0569	4	0.0825	4	0.0543	4	0.067	4
Manufacturing		0.852	1	1.0305	1	0.8456	1	0.879	1
Power Gas Steam and Water		0.0282	6	0.0464	6	0.0443	7	0.044	6
Road construction		0	15	0	15	0	15	0	15
Rail construction		0	15	0	15	0	15	0	15
Subway		0	15	0	15	0	15	0	15
Port construction		0	15	0	15	0	15	0	15
Air construction		0	15	0	15	0	15	0	15
Construction		0.0062	12	0.0052	12	0.0049	12	0.006	12
Services		0.291	2	0.4185	2	0.4554	2	0.500	2
Distribution		0.082	3	0.0927	3	0.0852	3	0.086	3
Passenger		0.042	5	0.0484	5	0.0445	6	0.038	7
Logistics	Rail cargo transport	0.005	14	0.000759	14	0.0001	14	0.000	14
	Land cargo transport	0.019	9	0.0174	10	0.0170	9	0.020	9
	Water cargo transport	0.002	13	0.00405	13	0.0027	13	0.002	13
	Air cargo transport	0.018	10	0.0192	9	0.0131	10	0.011	10
	Warehousing Material Handling	0.022	8	0.0355	7	0.0507	5	0.045	5
	Transport service	0.007	11	0.0070	11	0.0076	11	0.010	11
	Parcel service								
Sum		1.454		1.836065		1.650		1.731	

“Figure 2”는 외생화한 생산유발효과 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 물류산업과 전체산업의 평균을 비교하였을 때 2000년대에는 보관 및 하역과 운송서비스 산업만이 전체산업평균보다 낮은 것으로 나타났다지만, 보관 및 하역의 생산유발효과는 증가하기 시작했고 2010년부터 평균을 넘기 시작했다. 그에 반해 철도화물운송서비스는 2000년대에는 높은 생산유발효과를 가지고 있었지만, 철도화물운송의 비중이 줄어들게 되면서 평균보다 낮은 생산유발효과를 갖는 것으로 나타났다. 물류산업 중 가장 높은 생산유발효과를 갖는 산업은 항공화물운송서비스로 나타났으며 소화물전문운송서비스, 도로화물운송서비스, 보관 및 하역 순으로 높은 효과를 보인다.

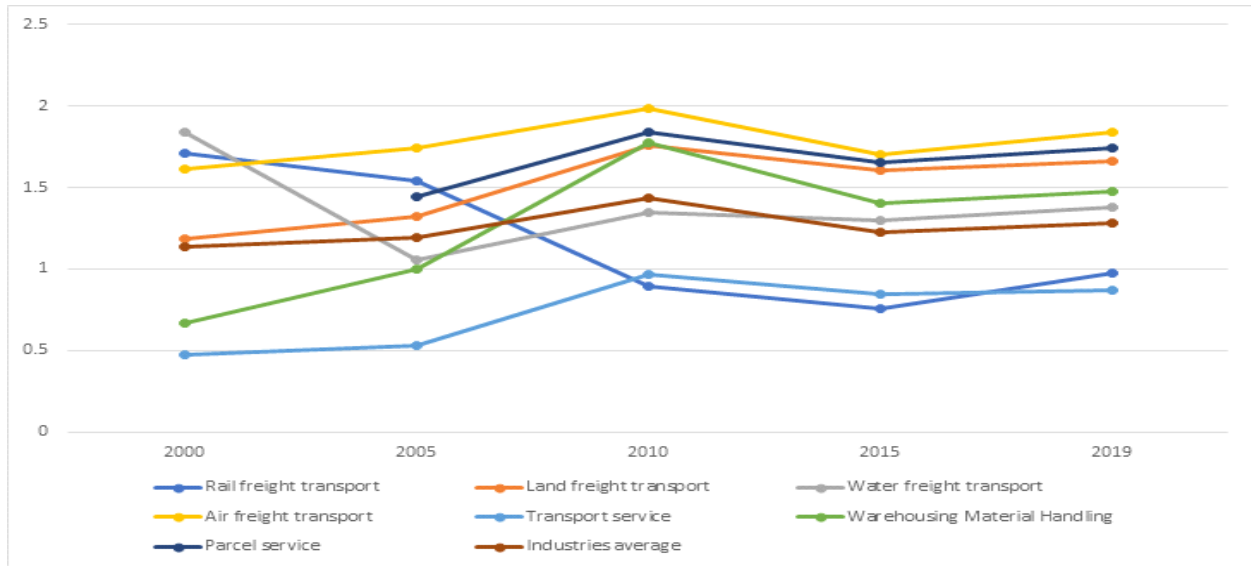


Figure 2. Changes in the Production Induction Effect of Exogenous Logistics Industry

#### 4.2 부가가치유발효과 분석 결과

부가가치유발효과는 각 산업부문에 대하여 최종수요의 변화가 국민경제의 부가가치액에 미치는 효과이다. 물류산업의 부가가치 유발효과를 분석한 결과 “Table 8”과 같이 나타났으며 생산유발효과와는 반대의 결과가 나타났다. 물류산업과 전체산업의 평균을 비교해 보면 부가가치유발효과는 전체산업이 약간 더 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 물류산업이 부가가치를 유발하는 산업으로 보기에 약한 부분이 있다. 하지만 철도화물운송서비스의 경우 2005년까지는 낮은 부가가치유발효과를 나타냈지만 2010년부터 증가하여 높은 부가가치의 영향을 미치는 산업으로 나타났다. 도로화물운송서비스 경우에는 부가가치 유발효과가 낮아지는 것으로 나타났다.

수상화물운송서비스는 물류산업부문 중 가장 낮은 부가가치유발효과를 가지는 것으로 나타났다. 항공화물운송서비스는 경우 부가가치유발효과는 약간 증가하였지만 2000년과 2019년을 비교했을 경우 Rank에는 변동이 없는 것으로 나타났다. 운송서비스는 부가서비스의 성격이 강한 만큼 부가가치유발효과의 계수가 다른 산업에 비해 높은 편으로 나타났다. 보관 및 하역의 경우 2000년도에는 물류산업과 비교하였을 때 높은 부가가치유발효과를 보였으나 부가가치의 2019년 0.892로 부가가치유발효과가 많이 감소한 것으로 나타났다. 소화물전문운송서비스 또한 부가가치유발효과는 감소하는 추세를 보이는 것으로 나타났다.

Table 8. Value added inducement coefficients analysis

Industries		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		1.201	1	1.227	1	1.259	1	1.190	1	1.153	1
Mining		1.151	2	1.186	2	1.238	2	1.124	4	1.076	7
Manufacturing		0.780	16	0.959	18	0.790	18	0.824	18	0.842	17
Power Gas Steam and Water		0.991	13	1.148	14	0.837	17	0.953	14	0.862	16
Road construction		1.107	6	0.938	5	1.100	10	1.057	8	1.026	11
Rail construction		0.791	14	0.924	15	0.9747	13	1.048	12	1.042	9
Subway		0.715	17	1.178	16	0.9747	14	1.048	11	1.042	8
Port construction		1.078	9	1.124	3	1.136	6	1.027	13	0.956	13
Air construction		1.056	12	1.141	10	1.100	9	1.057	9	1.026	10
Construction		1.062	11	1.142	8	1.059	11	1.054	10	1.086	5
Services		1.127	5	1.116	7	1.202	4	1.144	3	1.143	3
Distribution		1.095	7	1.116	11	1.124	7	1.089	7	1.085	6
Passenger		1.077	10	1.136	9	1.112	8	1.101	6	1.019	12
Logistics	Rail cargo transport	0.786	15	0.890	17	1.228	3	1.167	2	1.147	2
	Land cargo transport	1.094	8	1.147	6	1.053	12	0.927	16	0.872	15
	Water cargo transport	0.289	19	0.581	20	0.414	20	0.579	20	0.427	20
	Air cargo transport	0.679	18	0.773	19	0.882	15	0.905	17	0.750	18
	Warehousing	1.138	3	1.158	4	1.169	5	1.111	5	1.109	4
	Material Handling										
	Transport service	1.131	4	1.085	12	0.860	16	0.940	15	0.892	14
Parcel service				1.014	13	0.781	19	0.740	19	0.663	19
Industries average		0.966		1.033		1.015		1.004		0.961	
Logistics average		0.853		0.950		0.913		0.910		0.837	



부가가치유발효과의 순수한 경제적 파급효과를 파악하기 위해서 물류산업부문을 외생화하여 분석을 실행하였다. 철도화물운송서비스의 경우 “Table 9”와 같다. 생산유발효과와 같은 급격하게 감소하는 추세를 보인다. 또한 가장 많은 영향을 끼치는 산업으로는 제조업과 서비스업인 것으로 나타났다. 2015년 철도화물운송서비스의 부가가치유발효과는 0.3353까지 감소하다가 2019년 0.4195로 약간 증가하기는 하였지만 철도화물운송서비스의 파급효과는 많이 감소한 것으로 파악된다.

Table 9. An Exogenous Analysis of the Value added Induction Effect of Rail cargo transport

Rail cargo transport		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.027	6	0.015	6	0.0061	7	0.0044	7	0.0052	7
Mining		0.047	4	0.038	3	0.0251	4	0.0193	5	0.0256	5
Manufacturing		0.262	1	0.179	2	0.1028	1	0.0757	3	0.1053	2
Power Gas Steam and Water		0.047	5	0.036	4	0.0160	6	0.0333	4	0.0341	4
Road construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Rail construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Subway		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Port construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Air construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Construction		0.009	8	0.006	9	0.0016	10	0.0012	10	0.0018	10
Services		0.230	2	0.326	1	0.1008	2	0.0922	1	0.1238	1
Distribution		0.026	7	0.028	5	0.0186	5	0.0125	6	0.0156	6
Passenger		0.004	10	0.004	10	0.0022	9	0.0042	8	0.0039	8
Logistics	Rail cargo transport										
	Land cargo transport	0.006	9	0.008	7	0.0032	8	0.0027	9	0.0035	9
	Water cargo transport	0.0002	13	0.0004	12	0.0003	13	0.0002	14	0.0002	14
	Air cargo transport	0.0003	12	0.0003	13	0.0002	14	0.0003	13	0.0005	12
	Warehousing Material Handling	0.050	3	0.007	8	0.0770	3	0.0882	2	0.0984	3
	Transport service	0.001	11	0.001	11	0.0009	11	0.0008	11	0.0013	11
	Parcel service			0.0002	14	0.0003	12	0.0004	12	0.0005	13
Sum		0.710		0.651		0.3549		0.3353		0.4195	

도로화물운송서비스의 경우 철도화물운송서비스와는 반대로 부가가치유발계수는 점점 높아지는 것으로 분석 결과 “Table 10”과 같다. 부가가치를 가장 많이 유발하는 산업으로는 제조업과 서비스업으로 철도화물운송서비스와 동일하다. 시계열적으로 비교를 해 보았을 때 도소매 및 상품중개업과 운송서비스에 대한 유발효과가 증가한 것으로 나타났다.

Table 10. An Exogenous Analysis of the Value added Induction Effect of Land cargo transport

Land cargo transport		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.020	6	0.016	6	0.0153	6	0.0140	7	0.0126	7
Mining		0.027	4	0.032	4	0.0499	4	0.0307	5	0.0337	5
Manufacturing		0.191	1	0.215	1	0.2773	1	0.2689	1	0.2792	1
Power Gas Steam and Water		0.010	7	0.010	7	0.0133	7	0.0172	6	0.0140	6
Road construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Rail construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Subway		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Port construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Air construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Construction		0.003	9	0.002	9	0.0020	10	0.0021	10	0.0025	10
Services		0.166	2	0.143	2	0.1421	2	0.1737	2	0.1855	2
Distribution		0.024	5	0.028	5	0.0568	3	0.0450	4	0.0438	4
Passenger		0.004	8	0.005	8	0.0030	8	0.0053	8	0.0048	8
Logistics	Rail cargo transport	0.00007	13	0.0001	14	0.0005	12	0.0001	14	0.0001	14
	Land cargo transport										
	Water cargo transport	0.00008	12	0.0003	11	0.0004	13	0.0005	12	0.0003	13
	Air cargo transport	0.0003	11	0.0002	13	0.0003	14	0.0004	13	0.0008	11
	Warehousing Material Handling	0.048	3	0.046	3	0.0455	5	0.0692	3	0.0747	3
	Transport service	0.001	10	0.001	10	0.0023	9	0.0029	9	0.0035	9
	Parcel service			0.0003	12	0.0005	11	0.0006	11	0.0007	12
Sum		0.494		0.499		0.6092		0.6307		0.6562	

보관 및 하역은 부가가치가 증가하는 추세를 보였다. 분석 결과는 “Table 11” 과 같이 나타났다. 2000년 부가가치유발계수는 0.323으로 운송서비스 다음으로 낮은 산업이었지만 2019년 0.633으로 7개의 물류산업 중 4번째로 높은 산업이 된 것으로 확인하였다.

Table 11. An Exogenous Analysis of the Value added Induction Effect of Warehousing Material Handling

Warehousing Material Handling		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.008	6	0.008	7	0.0130	7	0.0105	7	0.0096	7
Mining		0.013	4	0.023	5	0.0570	3	0.0283	6	0.0312	4
Manufacturing		0.062	2	0.095	2	0.2107	2	0.1730	2	0.1836	2
Power Gas Steam and Water		0.016	3	0.025	4	0.0420	5	0.0340	4	0.0294	5
Road construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Rail construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Subway		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Port construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Air construction		0	14	0	15	0	15	0	15	0	15
Construction		0.004	8	0.004	10	0.0028	10	0.0027	10	0.0033	10
Services		0.201	1	0.214	1	0.2680	1	0.2683	1	0.2956	1
Distribution		0.01	5	0.017	6	0.0501	4	0.0398	3	0.0399	3
Passenger		0.003	9	0.005	9	0.0061	9	0.0061	8	0.0052	9
Logistics	Rail cargo transport	0.0006	13	0.0002	14	0.0006	12	0.0001	14	0.0001	14
	Land cargo transport	0.002	10	0.005	8	0.0067	8	0.0051	9	0.0054	8
	Water cargo transport	0.0002	12	0.0008	11	0.0003	14	0.0006	13	0.0004	13
	Air cargo transport	0.0003	11	0.0003	12	0.0005	13	0.0007	12	0.0012	11
	Warehousing Material Handling	0.004	7	0.059	3	0.0296	6	0.0333	5	0.0276	6
	Transport service										
	Parcel service			0.0002	13	0.0009	11	0.0009	11	0.0009	12
Sum		0.323		0.457		0.6882		0.6035		0.6333	

소화물전문운송서비스 부가가치유발효과의 변화는 “Table 12”와 같다. 부가가치유발효과는 빠르게 증가하는 추세를 보인다. 2019년 기준으로 부가가치유발계수는 항공화물운송서비스 다음으로 높은 효과를 가진 것으로 나타났다.

Table 12. An Exogenous Analysis of the Value added Induction Effect of Parcel service

Parcel service		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.016	7	0.0146	7	0.0134	8	0.0124	8
Mining		0.033	4	0.0460	4	0.0281	5	0.0318	4
Manufacturing		0.216	1	0.2485	2	0.2392	2	0.2574	2
Power Gas Steam and Water		0.012	8	0.0140	8	0.0176	7	0.0144	7
Road construction		0	15	0	15	0	15	0	15
Rail construction		0	15	0	15	0	15	0	15
Subway		0	15	0	15	0	15	0	15
Port construction		0	15	0	15	0	15	0	15
Air construction		0	15	0	15	0	15	0	15
Construction		0.003	12	0.0019	12	0.0021	12	0.0025	12
Services		0.169	2	0.2531	1	0.2697	1	0.2935	1
Distribution		0.049	3	0.0493	3	0.0466	3	0.0460	3
Passenger		0.021	5	0.0204	6	0.0206	6	0.0153	6
Logistics	Rail cargo transport	0.0001	14	0.0005	13	0.0001	14	0.0001	14
	Land cargo transport	0.009	9	0.0065	9	0.0059	9	0.0063	10
	Water cargo transport	0.000	13	0.0004	14	0.0005	13	0.0003	13
	Air cargo transport	0.005	10	0.0057	10	0.0044	10	0.0064	9
	Warehousing Material Handling	0.017	6	0.0205	5	0.0287	4	0.0252	5
	Transport service	0.004	11	0.0022	11	0.0030	11	0.0035	11
	Parcel service								
Sum		0.554		0.6837		0.6799		0.7151	

“Figure 3”은 물류산업들을 외생화한 부가가치유발효과의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 전체산업평균과 물류산업을 비교할 때 생산유발효과 변화와 비슷하게 2000년대에는 보관 및 하역과 운송서비스는 전체산업 평균보다는 낮은 효과를 보이는 것으로 나타났다. 수상화물운송서비스의 경우에는 2005년 부가가치유발효과가 급격하게 감소하였지만 회복해나가는 상황으로 보인다. 철도화물운송서비스는 생산유발효과와 마찬가지로 2010년부터 급격하게 감소하여 물류산업 중에서도 낮은 부가가치유발효과를 갖는 것으로 나타났다. 물류산업 중 부가가치 유발효과가 높은 산업으로는 항공화물운송서비스와 소화물전문운송서비스인 것으로 나타났다.

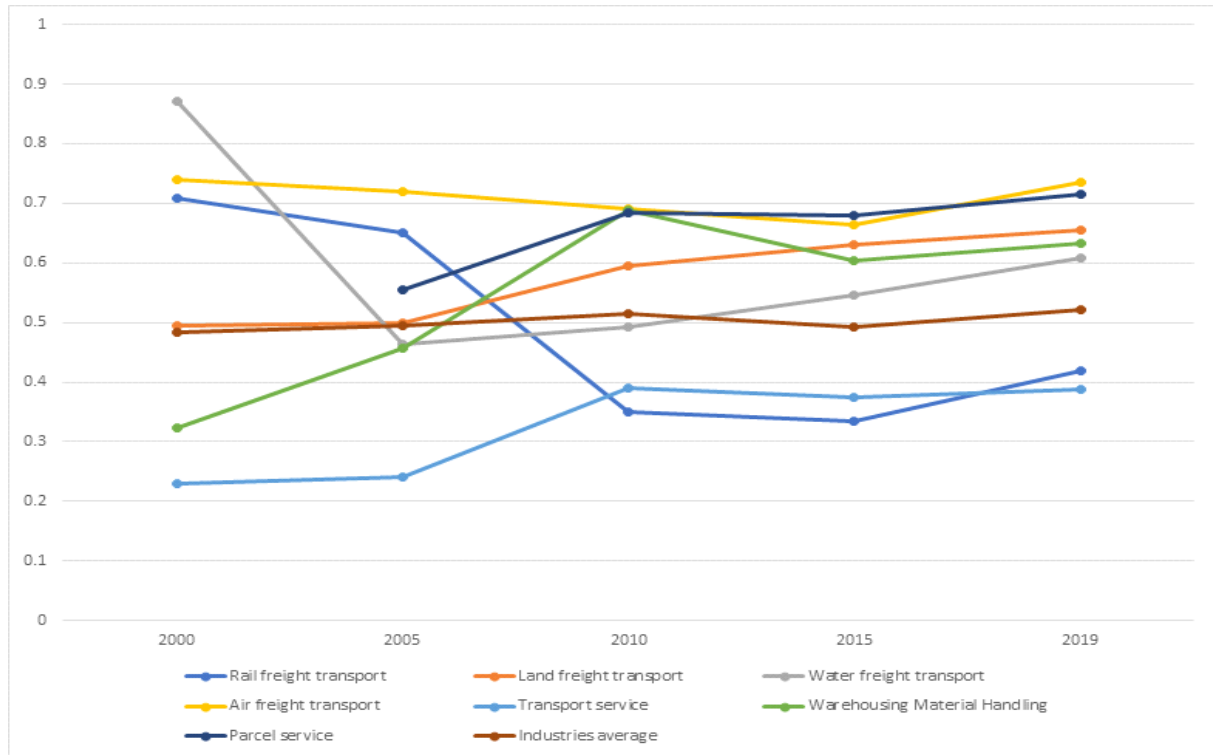


Figure 3. Changes in Value added Induction Effect of Exogenous Logistics Industry

#### 4.3 공급지장효과 분석 결과

공급지장효과는 한 산업이 공급에 지장이 생겼을 경우 다른 산업에 미치는 영향을 파악하는 효과를 뜻한다. 연도별 공급지장효과를 분석한 결과는 “Table 13”과 같다. 공급지장효과가 가장 큰 산업은 광산업으로 나타났다. 광산업은 다른 사업 대비 너무 높은 수치로 인해 광산업을 제외한 전체산업의 평균과 물류산업의 공급지장효과의 평균을 비교해 보았다. 물류산업의 공급지장효과의 평균은 전체 산업의 공급지장효과의 평균보다 높은 것으로 나타났다. 물류산업의 공급지장효과는 3.28, 3.66, 5.34, 6.29, 7.28로 공급지장효과는 점점 높아지고 있는 추세로 물류의 중요성이 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 물류산업의 특성상 제품을 공급하는 성격을 띄고 있는 산업인 만큼 물류산업에 대한 공급에 문제가 생긴다면 그에 따른 피해의 규모는 크다는 것을 의미한다. 물류산업 중 공급지장효과가 가장 큰 산업은 2010년까지 철도화물운송서비스로 나타났다. 하지만 그 이후 공급지장효과는 많이 떨어지면서 중요성이 그만큼 하락했다는 것을 확인할 수 있었다. 반면 도로화물운송서비스는 2000년에 전체 산업 중 8위를 차지하면서 중간 정도의 중요성을 띄고 있었지만 2005년부터 공급지장효과가 급증하면서 2019년에는 2위까지 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 수상화물운송서비스와 항공화물운송서비스의 경우에는 큰 변화 없이 유지하는 수준으로 나타났으며 운송서비스의 경우 순위가 증가하는 추세를 보였고 계수의 변화는 2005년에 3.037로 급증하면서 영향력이 커진 것을 확인할 수 있다. 보관 및 하역의 경우에 큰 순위변동은 일어나지 않았고 공급지장 계수 또한 눈에 띄는 변화는 일어나지 않았지만 영향력은 높은 산업으로 볼 수 있다. 소화물전문운송서비스 경우 2010년에 증가하였지만 다시 감소하는 추세를 보여 2005년과 2019년 영향력은 비슷한 것으로 나타났다. 순위 7위에서 6위로 1단계 올라가 산업의 중요성이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 13. Supply shortage effect analysis

Industries		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		3.134	4	3.281	6	4.059	6	3.310	5	3.322	5
Mining		44.201	1	63.274	1	135.44	1	81.672	1	99.867	1
Manufacturing		2.698	7	2.934	9	3.749	7	2.784	8	2.777	9
Power Gas Steam and Water		2.791	6	3.013	8	3.601	8	3.075	7	3.063	7
Road construction		1	15	1	16	1	16	1	16	1	16
Rail construction		1	15	1	16	1	16	1	16	1	16
Subway		1	15	1	16	1	16	1	16	1	16
Port construction		1	15	1	16	1	16	1	16	1	16
Air construction		1	15	1	16	1	16	1	16	1	16
Construction		1.246	13	1.159	15	1.167	15	1.122	15	1.122	15
Services		1.975	10	1.945	12	2.050	13	1.867	13	1.860	13
Distribution		1.980	9	2.289	10	2.943	10	2.312	11	2.230	11
Passenger		1.637	12	1.834	14	2.010	14	2.156	12	2.190	12
Logistics	Rail cargo transport	7.962	2	6.381	2	14.027	2	2.554	9	2.939	8
	Land cargo transport	2.335	8	4.362	3	5.474	3	4.429	2	4.629	2
	Water cargo transport	1.135	14	1.900	13	2.171	12	1.759	14	1.800	14
	Air cargo transport	1.886	11	2.040	11	2.268	11	2.361	10	2.316	10
	Warehousing Material Handling	2.824	5	4.061	4	5.393	4	4.426	3	4.553	3
	Transport service	3.535	3	3.751	5	4.649	5	3.794	4	3.513	4
	Parcel service			3.161	7	3.448	9	3.282	6	3.183	6
Industries average		2.230		2.479		3.264		2.328		2.342	
Logistics average		3.280		3.665		5.347		3.229		3.276	

공급지장효과를 물류산업별로 순수한 파급효과를 파악하기 위해 외생화하여 분석하였다. 연도별 공급지장효과 분석 결과는 “Table 14.-18”와 같이 나타났다. 모든 연도에서 물류산업은 제조업과 서비스업에 높은 공급지장효과를 주는 것으로 나타났다. 2000년에는 항공화물운송을 제외한 물류산업부문들은 수상화물운송서비스부문에 미치는 공급지장효과가 높은 것으로 나타났다. 하지만 2005년부터는 수상화물운송서비스에 미치는 공급지장효과는 감소하는 추세로 변하였다. 공급지장효과가 가장 낮은 산업으로는 철도화물운송서비스에 낮은 공급지장효과를 보였다.

철도화물운송서비스는 물류산업 중 공급지장효과가 가장 큰 산업으로 보였으나 2010년이후로 감소하는 추세를 보였고 2019년 수상화물운송서비스 다음으로 낮은 공급지장효과를 보이는 것으로 나타났다. 이는 철도화물운송서비스의 영향력이 줄어들어 공급에 지장이 생겼을 때 다른 산업에 미치는 영향력이 감소한 것을 나타낸다.

반면에 도로화물운송서비스에 대한 공급지장효과는 증가하는 추세를 보였고, 2019년 가장 높은 공급지장효과를 보여 도로화물운송서비스 공급에 문제가 생겼을 경우 다른 산업이 받는 피해는 큰 것으로 나타났다. 수상화물운송서비스는 물류산업 중 가장 낮은 공급지장효과를 보여 다른 산업에 미치는 영향력이 가장 낮은 것을 확인했다.

Table 14. An Exogenous Analysis of the Supply shortage effect in 2000

2000		Rail cargo transport		Land cargo transport		Water cargo transport		Air cargo transport		Transport service		Warehousing	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.032455	9	0.027081	5	0.001655	7	0.01002	5	0.021721	9	0.07076	6
Mining		0.001965	18	0.001507	14	0.000161	16	0.000751	15	0.003575	12	0.001269	16
Manufacturing		1.605124	2	0.811094	1	0.070168	1	0.40034	1	0.501456	2	0.999212	1
Power Gas Steam and Water		0.041907	7	0.01591	9	0.002266	5	0.008902	7	0.016873	10	0.026612	7
Road construction		0.042979	6	0.0174	8	0.001609	8	0.005793	9	0.008303	11	0.014163	10
Rail construction		0.005284	12	0.001954	12	0.000261	11	0.001203	12	0.001508	15	0.002239	12
Subway		0.005666	11	0.001995	11	0.000239	12	0.0011	13	0.001311	16	0.002154	13
Port construction		0.003281	14	0.001164	16	0.000139	17	0.000375	17	0.000919	17	0.001016	17
Air construction		0.003767	13	0.001612	13	0.000166	15	0.000584	16	0.000709	18	0.001324	15
Construction		0.168241	4	0.094073	4	0.007421	3	0.03364	4	0.046974	8	0.081166	4
Services		0.280267	3	0.189316	2	0.012797	2	0.270539	2	0.209044	4	0.233178	3
Distribution		0.034043	8	0.020173	7	0.001966	6	0.122651	3	0.058238	7	0.024122	8
Passenger		0.162714	5	0.022227	6	0.002477	4	0.009529	6	0.233459	3	0.075722	5
Logistics	Rail cargo transport			0.0003	18	0.00003	18	0.000117	18	0.002412	13	0.000229	18
	Land cargo transport	0.00978	10			0.000572	9	0.004053	10	0.098606	5	0.0066	11
	Water cargo transport	4.55698	1	0.103292	3			0.008466	8	0.541591	1	0.974612	2
	Air cargo transport	0.00304	15	0.003255	10	0.000194	13			0.061919	6	0.018353	9
	Transport service	0.002271	16	0.001381	15	0.000168	14	0.002925	11			0.001429	14
	Warehousing Material Handling	0.001993	17	0.000667	17	0.000298	10	0.000931	14	0.001851	14		
Sum		6.962		1.314		0.103		0.882		1.810		2.534	

Table 15. An Exogenous Analysis of the Supply shortage effect in 2005

2005		Rail cargo transport		Land cargo transport		Water cargo transport		Air cargo transport		Transport service		Warehousing Material Handling		Parcel service	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.0550	7	0.0383	6	0.0027	6	0.0108	5	0.0322	10	0.0905	6	0.0209	5
Mining		0.0494	8	0.0174	10	0.0002	14	0.0008	15	0.0110	13	0.0017	14	0.0013	15
Manufacturing		3.8423	1	2.2913	1	0.1013	1	0.4691	1	1.4750	1	1.7242	1	0.6752	1
Power Gas Steam and Water		0.2705	4	0.1001	5	0.0025	7	0.0104	6	0.0649	8	0.0334	7	0.0155	7
Road construction		0.0373	10	0.0250	7	0.0013	8	0.0057	10	0.0169	12	0.0153	10	0.0097	10
Rail construction		0.0077	12	0.0046	11	0.0002	13	0.0012	14	0.0033	15	0.0027	13	0.0019	13
Subway		0.0028	17	0.0014	16	0.0001	17	0.0004	17	0.0009	17	0.0009	17	0.0007	17
Port construction		0.0042	14	0.0016	15	0.0001	15	0.0004	16	0.0015	16	0.0011	16	0.0007	16
Air construction		0.0017	19	0.0008	18	0.00003	18	0.0002	18	0.0005	18	0.0005	18	0.0004	18
Construction		0.2768	3	0.1751	4	0.0082	5	0.0462	4	0.1229	7	0.1223	5	0.0726	4
Services		0.5911	2	0.4070	2	0.0209	2	0.2926	2	0.3688	2	0.2785	3	0.4876	3
Distribution		0.0687	6	0.2177	3	0.0091	4	0.1616	3	0.1709	5	0.1395	4	0.6186	2
Passenger		0.0391	9	0.0228	8	0.0098	3	0.0101	7	0.1912	4	0.0248	8	0.0135	9
Logistics	Rail cargo transport			0.0003	19	0.00002	19	0.0001	19	0.0004	19	0.0002	19	0.0002	19
	Land cargo transport	0.0283	11			0.0013	9	0.0049	11	0.1454	6	0.0156	9	0.0096	11
	Water cargo transport	0.0902	5	0.0218	9			0.0083	8	0.3378	3	0.2880	2	0.0145	8
	Air cargo transport	0.0062	13	0.0037	12	0.0004	11			0.0618	9	0.0038	11	0.0027	12
	Transport service	0.0030	15	0.0022	13	0.0002	12	0.0036	12			0.0016	15	0.0172	6
	Warehousing Material Handling	0.0029	16	0.0018	14	0.0005	10	0.0012	13	0.0288	11			0.0016	14
	Parcel service	0.0021	18	0.0014	17	0.0001	16	0.0075	9	0.0037	14	0.0032	12		
Sum		5.3793		3.3344		0.1589		1.0353		3.0378		2.7477		1.9643	



Table 16. An Exogenous Analysis of the Supply shortage effect in 2010

2010	Rail cargo transport		Land cargo transport		Water cargo transport		Air cargo transport		Transport service		Warehousing Material Handling		Parcel service	
	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture	0.1204	6	0.04613	6	0.00437	7	0.01215	8	0.0500	9	0.0616	7	0.02351	6
Mining	0.0806	9	0.01321	10	0.00081	10	0.00073	15	0.0100	14	0.0048	14	0.00116	15
Manufacturing	9.2104	1	3.16285	1	0.21951	1	0.61108	1	2.4943	1	2.3036	1	0.98838	1
Power Gas Steam and Water	0.8818	3	0.18772	4	0.01137	6	0.02036	5	0.1413	7	0.0982	6	0.06083	5
Road construction	0.0623	11	0.02570	9	0.00192	8	0.00488	12	0.0176	12	0.0166	10	0.00815	11
Rail construction	0.0169	14	0.00679	13	0.00045	13	0.00149	14	0.0050	15	0.0048	13	0.00244	13
Subway	0.0069	18	0.00278	17	0.00018	17	0.00061	17	0.0021	18	0.0020	17	0.00100	17
Port construction	0.0108	17	0.00446	16	0.00044	14	0.00068	16	0.0032	16	0.0024	16	0.00111	16
Air construction	0.0006	19	0.00026	18	0.00002	18	0.00005	18	0.0002	19	0.0002	18	0.00008	18
Construction	0.5354	4	0.22166	3	0.01388	5	0.04947	4	0.1595	6	0.1601	4	0.08477	4
Services	1.3555	2	0.48005	2	0.03333	2	0.29026	2	0.4978	2	0.3833	3	0.43134	3
Distribution	0.3892	5	0.17850	5	0.01462	3	0.21399	3	0.2635	4	0.4124	2	0.56624	2
Passenger	0.0930	8	0.03194	8	0.01431	4	0.00927	9	0.1714	5	0.0289	8	0.01457	8
Logistics	Rail cargo transport		0.00016	19	0.00002	19	0.00005	19	0.0025	17	0.0001	19	0.00008	19
	Land cargo transport	0.0642	10		0.00172	9	0.00599	11	0.0985	8	0.0193	9	0.01082	10
	Water cargo transport	0.1137	7	0.04427	7		0.01323	7	0.2654	3	0.1184	5	0.02179	7
	Air cargo transport	0.0158	15	0.00557	14	0.00039	16		0.0356	10	0.0049	12	0.00224	14
	Transport service	0.0242	13	0.00860	12	0.00076	11	0.00775	10		0.0075	11	0.01144	9
	Warehousing Material Handling	0.0307	12	0.01001	11	0.00070	12	0.00365	13	0.0309	11		0.00774	12
	Parcel service	0.0138	16	0.00496	15	0.00043	15	0.01994	6	0.0108	13	0.0043	15	
Sum	13.0264		4.43560		0.31921		1.26562		4.2595		3.6333		2.23768	

Table 17. An Exogenous Analysis of the Supply shortage effect in 2015

2015		Rail cargo transport		Land cargo transport		Water cargo transport		Air cargo transport		Transport service		Warehousing Material Handling		Parcel service	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.0133	8	0.0350	6	0.00405	7	0.0114	8	0.0387	9	0.0416	7	0.0215	8
Mining		0.0044	12	0.0136	9	0.00072	12	0.0007	15	0.0089	13	0.0043	12	0.0011	15
Manufacturing		0.8009	1	2.3209	1	0.18880	1	0.6801	1	1.7129	1	1.3245	1	0.7602	1
Power Gas Steam and Water		0.0542	4	0.1692	3	0.00989	6	0.0200	5	0.1154	7	0.0620	6	0.0639	5
Road construction		0.0040	13	0.0134	10	0.00103	10	0.0034	13	0.0089	14	0.0073	10	0.0045	12
Rail construction		0.0013	16	0.0039	13	0.00031	14	0.0011	14	0.0029	15	0.0023	15	0.0015	14
Subway		0.0006	17	0.0018	16	0.00014	17	0.0005	16	0.0013	18	0.0010	16	0.0007	16
Port construction		0.0005	18	0.0015	17	0.00015	16	0.0004	17	0.0014	17	0.0008	17	0.0005	17
Air construction		0.0001	19	0.0004	18	0.00003	18	0.0001	18	0.0003	19	0.0002	18	0.0001	18
Construction		0.0508	5	0.1610	5	0.01116	5	0.0459	4	0.1079	8	0.0975	5	0.0663	4
Services		0.4828	2	0.4506	2	0.03540	2	0.3593	2	0.4326	2	0.3535	4	0.4878	3
Distribution		0.0866	3	0.1637	4	0.01273	4	0.1770	3	0.2098	3	0.4338	2	0.5875	2
Passenger		0.0103	9	0.0226	7	0.01319	3	0.0121	7	0.1353	6	0.0343	8	0.0142	9
Logistics	Rail cargo transport			0.0001	19	0.00001	19	0.0001	19	0.0028	16	0.0001	19	0.0001	19
	Land cargo transport	0.0137	7		8	0.00215	8	0.0076	11	0.1598	5	0.0161	9	0.0130	10
	Water cargo transport	0.0142	6	0.0178	14			0.0090	10	0.1774	4	0.3857	3	0.0403	6
	Air cargo transport	0.0014	15	0.0032	12	0.00027	15			0.0235	11	0.0032	13	0.0018	13
	Transport service	0.0084	10	0.0061	11	0.00078	11	0.0102	9			0.0061	11	0.0275	7
	Warehousing Material Handling	0.0053	11	0.0068	15	0.00118	9	0.0057	12	0.0352	10			0.0083	11
	Parcel service	0.0016	14	0.0031	14	0.00036	13	0.0144	6	0.0120	12	0.0030	14		
Sum		1.5542		3.3948		0.28234		1.3591		3.1869		2.7774		2.1009	

Table 18. An Exogenous Analysis of the Supply shortage effect in 2019

2019	Rail cargo transport		Land cargo transport		Water cargo transport		Air cargo transport		Transport service		Warehousing Material Handling		Parcel service	
	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture	0.0159	7	0.0356	6	0.00471	7	0.01051	8	0.0407	9	0.0373	7	0.0195	7
Mining	0.0056	12	0.0137	8	0.00088	12	0.00073	15	0.0090	13	0.0044	12	0.0011	15
Manufacturing	0.9756	1	2.3688	1	0.21630	1	0.63579	1	1.7017	1	1.2351	1	0.6946	1
Power Gas Steam and Water	0.0768	4	0.1959	3	0.01355	5	0.02134	5	0.1320	7	0.0706	6	0.0699	4
Road construction	0.0042	13	0.0123	10	0.00104	10	0.00281	13	0.0080	14	0.0060	11	0.0036	12
Rail construction	0.0012	16	0.0033	15	0.00029	15	0.00083	14	0.0024	16	0.0018	15	0.0011	14
Subway	0.0005	18	0.0014	17	0.00012	17	0.00036	17	0.0010	18	0.0008	17	0.0005	17
Port construction	0.0006	17	0.0016	16	0.00018	16	0.00036	16	0.0014	17	0.0008	16	0.0005	16
Air construction	0.0001	19	0.0004	18	0.00003	18	0.00009	18	0.0002	19	0.0002	18	0.0001	19
Construction	0.0688	5	0.1864	4	0.01450	4	0.04788	4	0.1217	8	0.1022	5	0.0680	5
Services	0.6164	2	0.5324	2	0.04720	2	0.36535	2	0.4938	2	0.3827	3	0.5054	3
Distribution	0.1079	3	0.1728	5	0.01541	3	0.17090	3	0.2167	4	0.4599	2	0.5696	2
Passenger	0.0136	8	0.0260	7	0.01319	6	0.01201	7	0.1394	6	0.0244	8	0.0131	8
Logistics	Rail cargo transport		0.0002	19	0.00002	19	0.00008	19	0.0031	15	0.0001	19	0.0001	18
	Land cargo transport	0.0173	6		0.00262	8	0.00756	10	0.1690	5	0.0162	9	0.0126	9
	Water cargo transport	0.0118	9	0.0135	9		0.00581	12	0.2242	3	0.1379	4	0.0105	11
	Air cargo transport	0.0019	15	0.0038	14	0.00034	14		0.0225	11	0.0033	14	0.0018	13
	Transport service	0.0097	10	0.0070	12	0.00091	11	0.00955	9		0.0060	10	0.0244	6
	Warehousing													
	Material Handling	0.0084	11	0.0105	11	0.00182	9	0.00724	11	0.0383	10		0.0106	10
	Parcel service	0.0026	14	0.0046	13	0.00052	13	0.01473	6	0.0133	12	0.0038	13	
Sum	1.9389		3.5903		0.33362		1.31392		3.3386		2.4933		2.0068	

“Figure 4”는 외생화한 물류산업의 공급지장효과의 변화와 광산업을 제외한 전체산업의 공급지장효과 평균을 나타낸 그래프이다. 2000년대에는 철도화물운송서비스의 공급지장효과는 타 산업보다 높은 공급지장효과를 갖는 것으로 나타났으며 2010년에 13이 넘는 수치를 기록했다. 하지만 2015년부터 급격하게 낮아졌고 전체산업 평균과 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 항공화물서비스와 수상화물운송서비스를 제외한 물류산업은 평균 산업보다 공급지장효과가 높은 것으로 나타났다. 도로화물운송서비스의 경우 공급지장효과는 증가하는 추세를 보여 2019년 물류산업 중 가장 높은 공급지장효과를 보인다.

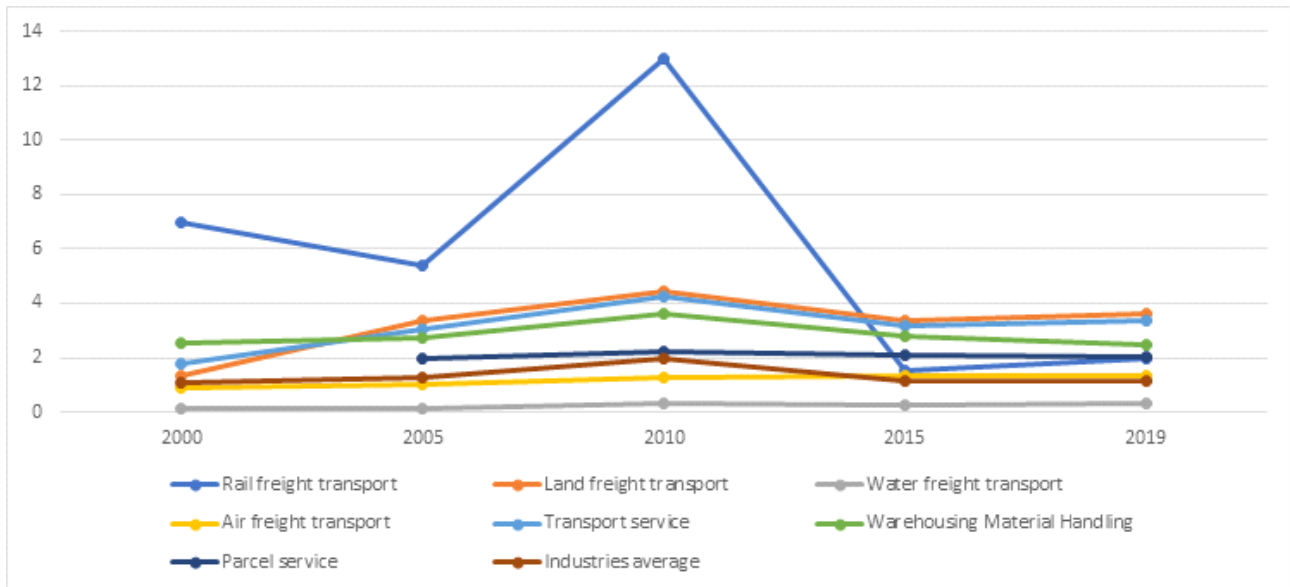


Figure 4. Changes in Supply shortage Effect of Exogenous Logistics Industry

#### 4.4 전후방연쇄효과 분석 결과

각 산업은 생산 과정을 통해 다른 산업과 두 측면에서 관계를 갖는다. 하나는 어떤 산업이 생산하기 위해 다른 산업이 생산한 원 부재료를 구입하면서 맺는 것이고 다른 하나는 생산한 상품을 다른 산업에 판매하면서 맺는 것이다. 전자를 구입하는 산업의 입장에서 후방연쇄효과라고 하며 후자를 판매하는 산업의 입장에서 전방연쇄효과라고 한다. 물류산업의 전후방연쇄효과는 “Table 19, 20”와 같다.

후방연쇄효과에서 가장 큰 변화를 보인 산업은 철도화물운송서비스이다. 2000년도의 철도화물운송서비스의 영향력 계수는 1.187로 상대적으로 높은 계수를 가지고 있었으나 시간이 지날수록 영향력 계수는 감소하여 20개의 산업 중 최하위권에 머무르는 것을 확인할 수 있다. 물류산업부문에서는 수상화물운송서비스가 가장 높은 영향력을 가지는 것을 확인할 수 있다. 물류산업 중 증가하는 추세를 보이는 산업은 도로화물운송서비스와 소화물전문운송서비스이다. 우리나라의 특성상 도로화물이 많은 비중을 차지하고 있다보니 도로화물운송서비스의 영향력이 높아지는 것으로 판단되고 도로화물특성상 소화물이 많다보니 소화물전문운송서비스의 영향력도 증가하는 것으로 판단된다. 물류산업과 물류산업을 제외한 산업 평균을 비교해 봤을 때 2000년도에는 전체산업의 영향력 계수가 더 높았지만 2005년부터는 물류산업의 영향력 계수가 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 제조업형 산업으로 변화하는 것을 확인할 수 있다.

전방연쇄효과의 경우 감응도 계수라고도 불린다. 물류산업의 감응도 계수를 분석했을 때 영향력 수와 달리 상당히 낮은 것을 확인할 수 있다. 물류산업 중 높은 전방연쇄효과를 가진 산업은 운송서비스로 나타났다. 증가하는 추세를 보이기는 하지만 계수가 1을 넘지 않아 낮은 효과를 보이는 것으로 나타났다. 이는 물류산업이 산업 성장에 미치는 영향력이 적다는 것을 의미한다. 즉 물류산업은 최종수요적인 성격을 가지고 있는 산업이라고 할 수 있다.

Table 19. Backward linkage effect analysis

Industries		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.840	14	0.873	15	0.877	15	0.905	15	0.907	16
Mining		0.795	16	0.540	16	0.825	16	0.894	16	0.914	15
Manufacturing		1.250	3	1.264	2	1.216	2	1.201	2	1.154	3
Power Gas Steam and Water		0.950	13	0.969	13	1.030	10	0.991	13	1.052	6
Road construction		1.004	10	1.038	8	1.028	12	1.041	7	1.028	8
Rail construction		1.238	4	1.175	4	1.125	3	1.036	9	1.010	10
Subway		1.282	1	1.188	3	1.125	4	1.036	10	1.010	10
Port construction		1.014	9	0.972	12	0.975	14	1.018	11	1.033	7
Air construction		1.050	8	1.031	10	1.028	11	1.041	6	1.028	8
Construction		1.058	7	1.035	9	1.059	7	1.039	8	0.979	14
Services		0.817	15	0.808	18	0.738	19	0.796	19	0.781	20
Distribution		0.761	17	0.773	19	0.785	17	0.821	17	0.818	17
Passenger		0.968	12	0.945	14	0.980	13	0.981	14	1.006	12
Logistics	Rail cargo transport	1.187	5	1.050	7	0.704	20	0.724	20	0.793	18
	Land cargo transport	0.968	11	0.976	11	1.047	8	1.098	5	1.093	5
	Water cargo transport	1.281	2	1.391	1	1.435	1	1.299	1	1.288	1
	Air cargo transport	1.148	6	1.136	5	1.110	6	1.115	4	1.142	4
	Transport service	0.650	19	0.635	20	0.754	18	0.808	18	0.793	18
	Warehousing Material Handling	0.732	18	0.827	17	1.039	9	0.997	12	1.004	13
	Parcel service			1.074	6	1.122	5	1.158	3	1.166	2
Industries average		1.002		0.970		0.984		0.985		0.978	
Logistics average		0.994		1.013		1.030		1.028		1.040	

Table 20. Forward linkage effect analysis

Industries		2000		2005		2010		2015		2019	
		Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank	Coefficient	Rank
Agriculture		0.762	6	0.675	8	0.601	8	0.625	7	0.6083	8
Mining		0.964	3	1.046	3	1.174	3	0.996	3	1.0691	3
Manufacturing		6.172	1	6.851	1	7.586	1	6.513	1	6.3711	1
Power Gas Steam and Water		0.772	5	0.770	5	0.825	5	0.880	5	0.8638	6
Road construction		0.438	15	0.412	16	0.3711	16	0.412	16	0.4014	16
Rail construction		0.438	15	0.412	16	0.3711	16	0.412	16	0.4014	16
Subway		0.438	15	0.412	16	0.3711	16	0.412	16	0.4014	16
Port construction		0.438	15	0.412	16	0.3711	16	0.412	16	0.4014	16
Air construction		0.438	15	0.412	16	0.3711	16	0.412	16	0.4014	16
Construction		0.529	9	0.471	11	0.414	13	0.452	13	0.4458	13
Services		3.170	2	2.940	2	2.534	2	3.093	2	3.3204	2
Distribution		0.772	4	0.902	4	1.006	4	0.998	4	0.9599	4
Passenger		0.503	11	0.510	10	0.462	10	0.520	11	0.5053	11
Logistics	Rail cargo transport	0.474	12	0.420	15	0.381	15	0.414	15	0.4029	15
	Land cargo transport	0.533	8	0.638	9	0.555	9	0.610	8	0.6171	7
	Water cargo transport	0.460	13	0.700	6	0.651	7	0.591	9	0.5619	9
	Air cargo transport	0.449	14	0.432	14	0.389	14	0.429	14	0.4167	14
	Transport service	0.722	7	0.677	7	0.710	6	0.819	6	0.8650	5
	Warehousing Material Handling	0.525	10	0.452	12	0.442	11	0.548	10	0.5342	10
	Parcel service			0.450	13	0.415	12	0.461	12	0.4514	12
Industries average		1.218		1.248		1.266		1.241		1.239	
Logistics average		0.527		0.538		0.506		0.553		0.555	

## 5. 결론

오늘날 물류산업의 규모와 영향력은 점차 증가하고 있다. 이러한 현상을 통해서 물류산업이 국민경제에 어떠한 파급효과를 미치고 있으며 물류산업의 성장으로 인해 시간적 흐름에 따라 어떠한 변화가 생겨났는지 분석하였다. 분석 결과 철도화물운송서비스업은 철도화물의 비중이 작아지다보니 점점 영향력을 잃어가는 모습을 보이는 반면, 도로화물운송서비스는 소규모 다품종 거래의 증가로 인해 영향력이

커져가는 것을 파악할 수 있었다. 소규모 다품종 현상으로 인해 영향력이 증가하는 추세를 보이는 또 다른 산업은 소화물전문운송서비스이다. 소화물전문운송서비스업은 2005년부터 산업연관표에 새로 등록되어 2019년까지 영향력이 계속해서 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 즉 우리나라에서는 도로운송과 관련된 도로화물운송 및 소화물전문운송서비스업이 물류산업에 막대한 비중을 차지한다고 볼 수 있다. 하지만 도로화물에 집중화현상이 지속된다면 문제점이 생길 수 있다. 예를 들어 도로에 관련된 사건 사고가 발생한다면 도로화물에 대한 공급지장이 나타나게 되고 이 영향력은 전산업에 막대한 피해로 이어질 것이다. 이러한 위험성을 줄이기 위해서는 타 운송수단의 화물서비스로 분산될 필요가 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 몇 가지 시사점을 제시한다.

첫 번째는 철도화물운송서비스업의 활성화다. 앞서 설명했듯 개별 운송부문의 수요유도형 측면으로 철도화물운송서비스업의 중요성이 낮아지는 추세이다. 2000년 1.707, 2005년 1.548, 2010년 0.895, 2015년 0.755, 2019년 0.975의 생산유발효과를 가지고 있어 적극적인 투자 및 정책 개선을 통해 철도화물운송서비스업을 2000년대의 수준만큼 활성화시킬 필요가 있다. 적극적인 투자를 통해 철도화물운송서비스업이 활성화 된다면 도로에 화물이 집중된 현상을 피할 수 있게 되고 국가물류산업 발전에 큰 도움이 될 것이다. 또한 철도화물운송의 특성상 증장거리에 대한 탄소 배출이 다른 화물운송서비스와 비교했을 때 매우 적기 때문에 환경적인 측면에서도 많은 도움이 될 것이다.

두 번째는 물류산업의 고부가가치를 위한 서비스 개선 전략이 필요하다. 물류산업은 타 산업 대비 부가가치유발효과가 낮아 부가가치효과를 끌어낼 수 있는 전략을 수립하여 고부가가치서비스를 제공하여야 한다. 물류산업의 효율적인 업무 활동을 위해 불필요한 요인들을 줄여나가면서 물류산업이 낮은 투입계수와 높은 부가가치를 가질 수 있는 전략을 수립하여야 한다.

세 번째는 타 운송수단의 화물서비스 전환이다. 우리나라의 특성상 도로화물운송서비스에 집중화되어 있기에 도로화물운송서비스의 의존도가 매우 높다. 분석 결과 도로화물운송서비스의 공급지장효과는 2000년 1.314, 2005년 3.334, 2010년 16.56, 2015년 9.76, 2019년 10.43으로 증가하는 추세를 보인다. 도로화물운송서비스의 공급지장효과를 낮추기 위해서는 모달시프트 형태의 운송전환이 필요하다. 열차페리 및 에어레일 등 여러 가지 형태의 운송전환을 시도하려는 모습이 많이 보인다. 이러한 운송전환을 통해 도로화물 집중화 현상 회피 및 고효율 화물수송 수단활용 방안에 큰 도움이 될 것이다. 또한 모달시프트는 친환경 지속가능성을 촉진하고 지역 균형 발전에 도움이 될 것이다.

마지막으로 소화물전문운송서비스의 경제적 파급효과는 계속 증가하는 추세를 보이고 있지만 전방연쇄효과는 타 산업 대비 민감하게 반응을 하지 않고 있고 중간재로도 많은 사용이 이루어지지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 전체적인 산업을 발전시키기 위해서는 소화물전문운송서비스를 발전시킬 필요가 있다. 이러한 현상을 개선하고 소화물전문운송서비스의 발전을 통해서 타 산업을 발전시킬 수 있는 전략을 수립하여야 한다.

본 연구에서의 한계점은 다음과 같다. 본 연구에서는 코로나 이전의 기간의 산업연관표를 토대로 분석한 것이기에 코로나 이후의 분석은 할 수 없어 코로나 이후의 변화를 파악할 수 없었다. 두 번째로는 실측 표는 5년 단위로 나타나기 때문에 2015년까지에 대한 분석은 해당연도의 데이터를 활용하여 분석할 수 있었지만 2019년도의 경우 연장표를 활용하였고 여객과 화물을 분류하는데 2015년 기준의 공급부속액표를 활용하여 정확성이 떨어진다. 하지만 가장 최근 연도의 부속액표를 활용하여 연구의 오차를 최소화하고자 노력하였다.

## 참고문헌

- Ghosh, A. (1958). Input-output approach in an allocation system. *Economica*, 25(97), 58-64.
- Kim, Y. J., Lee, S. G., & Trimi, S. (2021). Industrial linkage and spillover effects of the logistics service industry: An input-output analysis. *Service Business*, 15(2), 231-252.
- Oosterhaven, J. (1996). Leontief versus Ghoshian price and quantity models. *Southern Economic Journal*, 750-759.
- National Logistics Information Center. Parcel Service Logistics performance by year  
<https://nlic.go.kr/nlic/parcelServiceLogistics.action>
- Kwon Tae-hyun. (2020). Input - Output analysis, Book Cheongnam
- FRAMEWORK ACT ON LOGISTICS POLICIES. No 1938. <https://www.law.go.kr/법령/물류정책기본법>
- Park, S. M, & Park, C. K. (2022). A study on Industrial Linkage Analysis and Network Characteristics and Structure of postal and Courier Business. *Korea Logistics Review*, 32(2), 95-115.
- Park, C. H, & Jeong, Y. G. (2011). An Analysis for the Economic Effects of Airfreight Logistics Industry By Using the I/O Table Analysis- the Korean Case-. *Korean Industrial Economic Association*, 24(3), 1885-1908.
- Oh, D. K & Lee, J. (2018). Analysis of Socioeconomic Ripple Effect Based on Input-Output Tables of Categorized Railroad Projects. *International Journal of Railway*, 21(11), 1162-1169.
- Yoon, J. H. (2016). An Inter-industry Analysis of the Korean Railway with Input- Output Statistics: A Decade Comparison. *International Journal of Railway*, 19(6), 815-825.
- Lee M. K, & Ko, B. W. (2013). A Global Comparative Study on the Economic Impacts of Water Transport Industry Using Country Input-Output Analysis. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29, 827-852.
- Lee, M. K. (2013). A Study on the Economic Impacts of Transportation Modes Using Input-output Analysis. *Korea Maritime Institute*, 27(2), 55-91.
- Lee, S.J , Jung, D. W & Yu, J. G. (2016). The Industrial Economic Costs of Unsupplied Electricity in OECD Countries using Input-Output Analysis. *Journal of the Korea Convergence Society*, 7(4), 191-198.
- Lee, T. W, Jang Y. T, & Sin, S. H. (2006). A Comparative Study on Economic Effects of Transport Modes on the Korean Economy Using Input-Output Analysis. *The Korean Association Of Shipping And Logistics*, 51, 47-67.
- Lim, S. Y, Park, S. Y & Yoo, S. H. (2014). The Economic Effects of the New and Renewable Energies Sector. *Journal of Energy Engineering*, 23(4), 31-40.
- Jung, K. H & Jung, K. H. (2012). Economical Effects of Overall Industry by Deregulation of ParcelService Indus. *Journal of Industrial Economics and Business*, 2012, 395-403.
- Choi, Y. Y, & Ha, H. K. (2008). The Role of the Logistics Industry in the Korean National Economy: An Input-Output Analysis. *Korean Journal of Logistics*, 16(2), 81-103.
- Statics Korea. Results of the 2021 transportation industry survey (tentative).  
[https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301110100&bid=238&act=view&list\\_no=422163](https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301110100&bid=238&act=view&list_no=422163)



The Bank of Korea Economic Statistics System. <https://ecos.bok.or.kr/#/>

The Bank of Korea.(2015). Explanation of Input - Output analysis

Han, S. L Lee, S. H & Moon, J. H. (2014). Estimating the Economic Impact of Channel Industry using an Inter-Regional Input-Output Model : Case Study of City of Seoul. Jorunal of Channel and Retailing, 19(3), 27-46.

## 요약문

본 연구에서는 규모가 점점 증가하고 있는 물류산업이 국가경제의 발전을 선도하는 산업 중 하나로서 산업연관분석을 활용하여 전체 산업 활동 전반에 미치는 영향을 분석한다. 산업연관표에 있는 각 운송 서비스를 여객부문과 화물부문을 산출액을 기준으로 분류하고 20개의 부문으로 산업연관표를 재편성하였다. 분석 기간은 2000년부터 2019년까지 약 20년간 5년 단위의 산업연관표를 활용하여 물류산업의 생산유발효과, 부가가치유발효과, 전방연쇄효과, 후방연쇄효과, 공급지장효과에 대한 분석 결과를 제시한다. 본연구에서는 철도화물운송서비스의 생산유발효과와 부가가치유발효과는 시간이 지날수록 낮아지는 것을 확인할 수 있었고 소화물 전문운송서비스의 생산유발효과와 부가가치유발효과는 높아지는 것으로 확인됐다. 물류산업 전부 전방연쇄효과가 후방연쇄효과보다 낮게 나타나는 산업으로 나타났다. 이러한 분석 결과를 통한 각 물류산업의 향후 계획설립을 위한 기반과 물류산업의 발전을 위한 시사점을 제시한다.

**주제어:** 산업연관분석, 물류산업, 소화물전문운송서비스

## 물류과학기술연구 제4권 제2호

- 
- 인 쇄 : 2023년 12월 30일
  - 발 행 : 2023년 12월 31일
  - 발행인 : 권 용 장
  - 편집인 : 채 준 재
  - 발행처 : (사)한국물류과학기술학회(<https://www.klst.or.kr>)  
경기도 의왕시 철도박물관로 176  
전화 : 031-460-5921
- 

(비매품)

□ 이 학술지의 저작권은 (사)한국물류과학기술학회가 갖고 있습니다.

Copyright 2023. The Society of Logistics Science and Technology all rights reserved.