

# 택배 허브터미널의 분류능력 향상을 위한 입하 도크 운영 스케줄링

춘계공동학술대회 | 2019

Sung Won Cho<sup>1</sup>, Chulung Lee<sup>2\*</sup>, Koo Po Kwon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Management Engineering, Korea University, Seoul, Korea

<sup>2</sup>School of Industrial Management Engineering, Korea University, Seoul, Korea

\* E-mail: leecu@korea.ac.kr

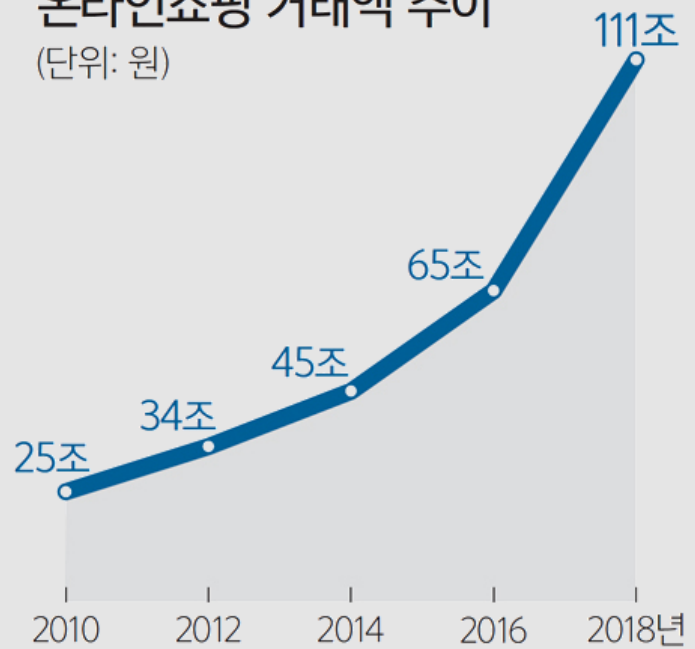
## 연구 배경

Parcel distribution center의 **Inbound Truck Scheduling**이 필요

## 연구의 배경

## 온라인쇼핑 거래액 추이

(단위: 원)



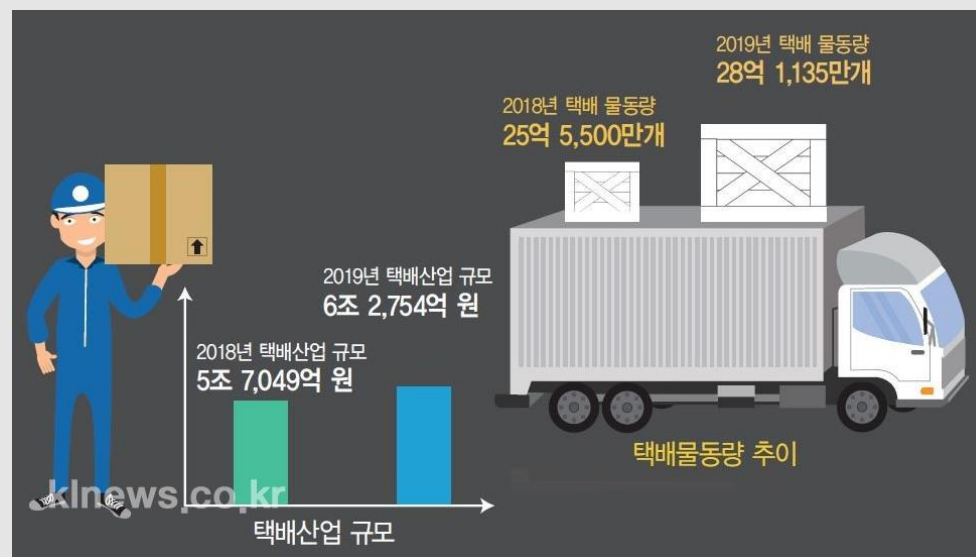
자료: 통계청

- 국내 소매시장에서 온라인 쇼핑은 대형마트, 백화점 등 기타 매체에 비해서 **빠른 성장률**을 보이고 있으며, 거래액 비중도 점차 확대되고 있다.
- 특히 2015년 이후 **모바일 쇼핑 비중이 압도적으로 증가**하였으며, 전체적인 온라인 쇼핑 시장의 성장을 견인하고 있다. 정보통신 산업의 발달로 정보에 대한 접근성이 확대되고, 상품간 가격 비교가 용이해 지면서 소비자의 구매 행태는 다양한 온·오프라인 채널을 동시에 활용하여 최저가 상품을 찾는 방식으로 진화하고 있다.
- 2017년 택배시장은 계속되는 온라인 마켓 및 모바일 쇼핑의 성장세에 힘입어 **택배산업의 지속적인 성장이 예상**되며, 주요 유통 업체들 또한 다양한 배송 상품을 제공하고 있어 시장 규모도 점차 확대될 것으로 예상된다.

## 연구 배경

Parcel distribution center의 **Inbound Truck Scheduling**이 필요

## 연구의 배경



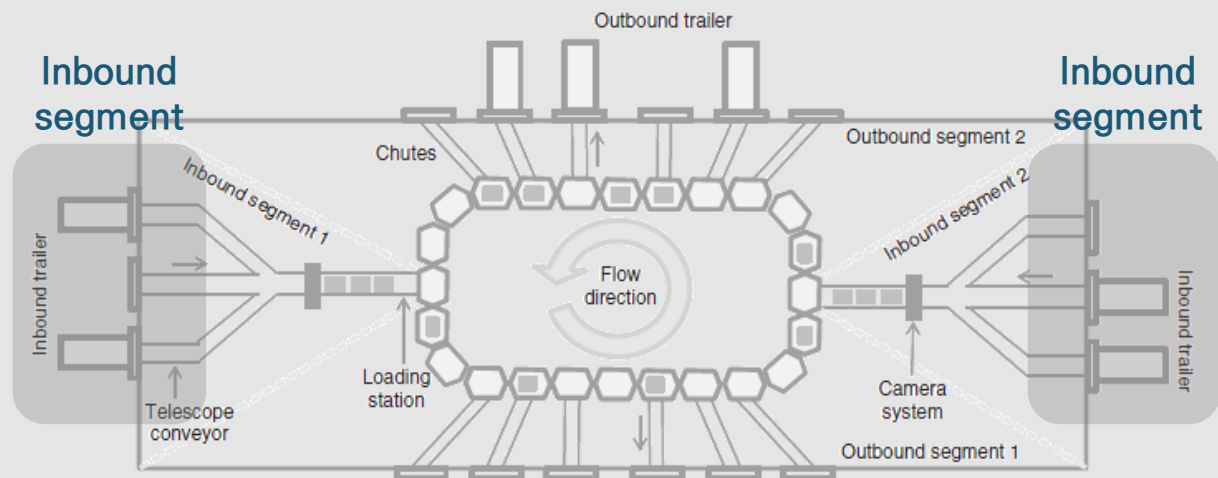
- 이처럼 온라인 쇼핑 시장 성장은 택배시장 규모를 지속적으로 확대시키고 있으며, 합리성과 편리성을 추구하는 소비자의 특성상 오프라인에서 구매하던 상품들을 온라인에서 구매함에 따라, 택배산업은 앞으로도 지속적으로 성장할 것으로 예상되며, **특히 배송 서비스의 차별성과 늘어나는 물량을 안정적, 효율적으로 처리 가능한 역량 확보**가 가장 중요한 경쟁우위 요소로 판단된다.

## 연구 배경

Parcel distribution center의 **Inbound Truck Scheduling**이 필요

## 연구의 배경

- 이러한 역량 확보를 위해 많은 택배회사는 cross-dock의 구조로 터미널을 설계한다. 택배에서의 터미널은 영업소에서 수주 마감시간(Cut off time) 동안 수주한 화물을 지정된 화물터미널로 이송하면, 화물터미널에서는 이들을 분류하여 목적지로 화물을 보내는 기능을 담당하고 있는데, 이와 같이 집하된 화물을 저장하지 않고 분류하여 즉각적으로 출고시키는 형태의 작업을 크로스도킹(cross-docking)이라 지칭하며 택배의 허브터미널은 **크로스도킹 터미널(cross-docking terminal)**의 형태를 띈다.

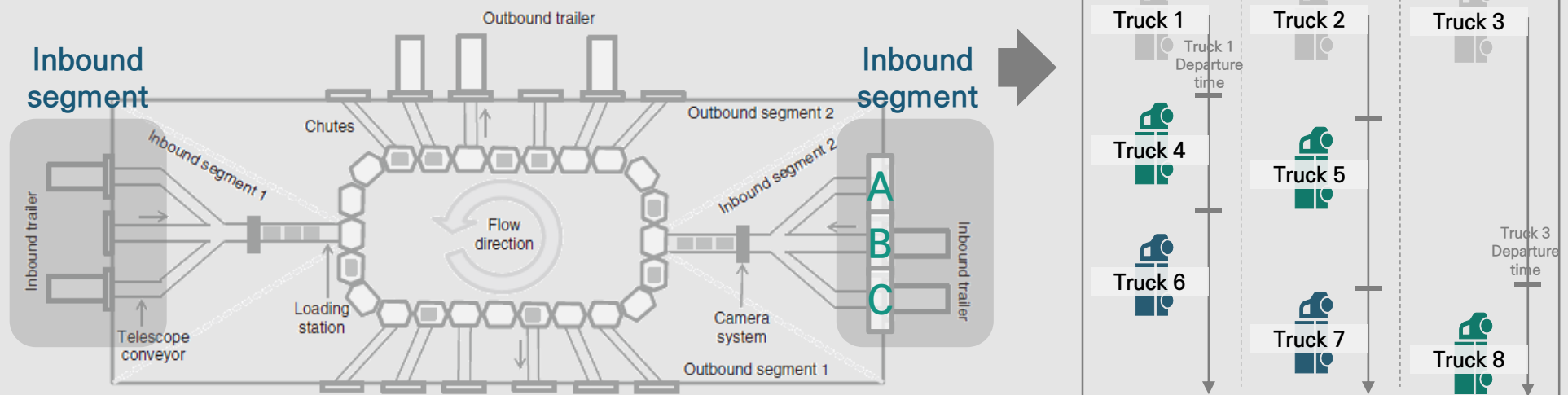


## 연구 배경

## Parcel distribution center의 Inbound Truck Scheduling이 필요

## 연구의 배경

- 크로스도킹 터미널을 새로 설계하거나 신규 장비를 투입할 경우 상당한 시간과 대규모 투자가 요구된다. 따라서, 신규 설비 도입 전에 현재 보유한 설비를 최대한 활용하기 위한 전략이 필요하다. 본 논문은 택배 허브 터미널의 운영 효율성을 향상시키기 위한 입고 순서 조정 및 입고 도크에 대한 할당 최적화 방법을 제안한다.



## Review paper

## Inbound Truck Scheduling 문헌 조사

- McWilliams(2009)는 택배 허브 스케줄링 문제를 수학적으로 모델링 하였고 하차부터 상차까지의 전환 작업에 걸리는 시간의 최소화를 유전 알고리즘을 사용하여 평행한 산출 스테이션의 최대 업무를 최소화하는 방법으로 풀었다. 이 모델에서는 들어오는 트럭 세트와 하차 위치 세트를 스케줄링 하며, 도착하는 택배의 종류는 여러 가지라고 가정하고 있다. 하지만 최댓값을 최소화하는 방법에 입각하면 일반적으로 솔루션 스페이스가 매우 커지게 되며 해답도 여러 가지가 나온다는 단점이 존재하기 때문에 좋은 방법은 아니다.
- 하차부터 상차까지의 전환 작업에 걸리는 시간의 최소화를 목적으로 Joo and Kim(2013)은 스케줄 문제를 트럭을 3가지 카테고리로 나누어 풀었다. 연구자들에 따르면 트럭은 들어오는 트럭, 나가는 트럭, 복합 트럭으로 구분된다. 연구자들은 택배 센터가 여러 개의 입구를 가진 크로스 도킹 터미널이라고 가정하였고 입구 배정 및 도킹 순서를 모든 트럭 카테고리에 대해 동시에 풀었다.
- 다른 연구자들은 들어오는 트럭의 스케줄을 짜기 위해 나가는 트럭의 출발 시간에 초점을 맞추었다. Boysen et al(2013)은 크로스 도킹 터미널에서 출발 시간이 정해져 있는 상황에 대해 트럭 스케줄링을 연구하였다. 연구자들은 총 손해 비용을 최소화하는 방법으로 모델을 제시했는데, 여기서 손해 비용이란 들어오는 택배가 나가는 트럭의 출발 시간 전에 해당 트럭에 실리지 못할 때 발생한다고 가정했다. 하지만 손해가 발생한 택배가 다음 트럭에 실려 배달되는 것은 고려하지 않았기 때문에 현실과는 다소 거리가 있다.

## Review paper

## Inbound Truck Scheduling 문헌 조사

- 보다 현실적인 모델을 위해 Tootkaleh et al(2016)은 지연된 택배는 같은 도착지를 가진 다음 트럭이 출발할 때까지 임시 장소에 보관되고 있는 상황을 가정하였고, 앞선 연구와 똑같이 트럭의 출발 시간이 정해진 상황에서의 크로스 도킹 스케줄을 연구하였다. 택배 교체 아이디어에 의해 해당 모델은 들어오는 트럭의 최적 순서를 도출하는데, 택배 교체 아이디어란 지연된 택배를 같은 도착지로 나가야 하는 다른 택배로 교체하는 가정을 말한다.
- Liao et al(2013)은 트럭 스케줄링 문제를 여러 메타휴리스틱 알고리즘을 사용하여 풀었다. 연구자들은 도크 할당과 들어오는 트럭의 순서를 동시에 풀었고 simulated annealing, 타부 서치, ant colony optimization, differential evolution, 2개의 하이브리드 differential evolution 알고리즘 등의 6개의 알고리즘을 사용하였다. 그리고 택배 센터에 적용하기 가장 좋은 알고리즘을 찾기 위해 결과를 비교하였다. Boysen et al(2017)은 한발 더 나아가 트럭 스케줄링 문제를 택배 센터의 운영과 연결시켰다. 들어오는 트럭의 스케줄 문제를 푼 다음 연구자들은 트럭 스케줄링이 택배 센터의 중앙 컨베이어 시스템의 분류 성능에 어떠한 영향을 미치는지 테스트하였고, 경영상 깊은 통찰력을 가져다 주었다.

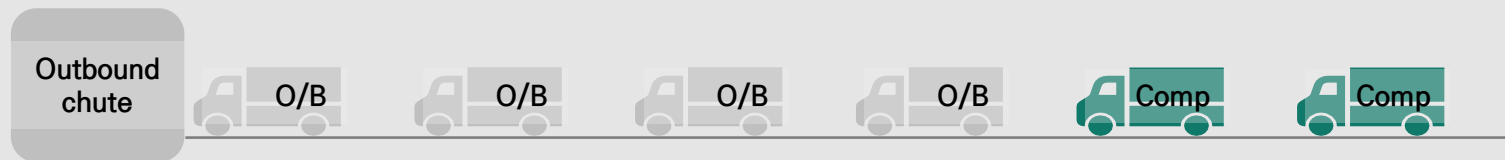


## Problem approach

### Inbound truck-Sequential search algorithm

#### Outbound temporary inventory check

- ✓ 트럭 하나가 하차를 끝낼 때마다(도크 하나가 empty할 때마다) outbound chute의 temporary inventory를 체크함
- ✓ Outbound chute에서 Outbound truck이 존재하는 경우, outbound dock에 해당 트럭이 먼저 대기하고 있다고 가정함



- ✓ 접안하는 트럭(탐색 중)이 하차를 끝낸 시간까지 이미 하차를 끝낸 모든 트럭들에 대하여 각 목적지로 가는 물량의 총합을 구한 다음 inventory 상황을 추산하여 balancing이 되어 있을 수록 좋은 바닥짐 상황으로 간주함
- ✓ 어떤 시점에서 outbound chute의 temporary inventory 계산 시 다음의 버퍼( $c_s(Y_i)$ )가 있다고 간주함:  

$$c_s(Y_i) = (\text{하차 완료한 compound truck 대수}) \times (\text{상차트럭 1대가 실을 예정물량})$$
- ✓ 단, 어떤 시점에서 outbound truck이 대기하고 있는 경우 inventory 계산 시 다음의 버퍼( $c_s(Y_i)$ )가 있다고 간주함:  

$$c_s(Y_i) = \{(\text{Outbound truck 대수}) + (\text{하차 완료한 compound truck 대수})\} \times (\text{상차트럭 1대가 실을 예정물량})$$



# 04 MATHEMATICAL MODEL

## Model formulation

### Notation

#### Decision variables

- ✓  $x_{ik}$  : inbound truck  $i$ 가 inbound dock  $k$ 에 하차하면 1 아니면 0
- ✓  $r_s(Y_i)$  : inbound truck  $i$ 가 depart할 때까지 outbound chute  $s$ 로 간 총 물량(누적, truck  $i$ 의 적재물량 포함)

#### Input data

- ✓  $Y_{i-1}$  : inbound truck  $i$ 가 접안하기 직전 configuration
- ✓  $c_s(Y_i)$  : inbound truck  $i$ 가 depart할 때 outbound chute  $s$ 의 temporary inventory 버퍼
- ✓  $e_k(Y_{i-1})$  : inbound truck  $i$ 가 접안하기 직전 시점을 기준으로 시간이 가장 가까운 inbound dock  $k$ 의 작업 완료시간
- ✓  $a_i$  : inbound truck  $i$ 의 도착시간
- ✓  $n_{is}$  : inbound truck  $i$  적재물량 가운데 outbound chute  $s$ 로 가는 총 물량 개수

#### Index set

- ✓  $T$  : inbound truck  $i$ 의 index set
- ✓  $T_i^{pre}$  : inbound truck  $i$ 의 예상 departure time 이전에 하차 완료하는 모든 inbound truck의 index set
- ✓  $D$  : inbound dock  $k$ 의 index set

# 04 MATHEMATICAL MODEL

## Model formulation

Objective function	$\text{Min} \sum_{i \in T} \left( \max_{\{s\}} (r_s(Y_i) - c_s(Y_i))^+ - \min_{\{s\}} (r_s(Y_i) - c_s(Y_i))^+ \right)$		(1)
Subject to	$\sum_{k \in D} x_{ik} = 1$	$\forall i \in T$	(2)
	$\sum_{i \in T} x_{ik} \leq \left\lceil \frac{ T }{ D } \right\rceil$	$\forall k \in D$	(3)
	$a_i x_{ik} \leq e_k(Y_{i-1})$	$\forall k \in D$	(4)
	$r_s(Y_i) = \sum_{j \in T_i^{pre}} \sum_{k \in D} (n_{js} \times x_{jk})$	$\forall i \in T$ $\forall k \in D$	(5)
	$r_s(Y_i) \geq 0$		(6)
	$x_{ik} \in \{0, 1\}$		(7)