

# 통로형 오더피킹 시스템에서 복수 포장대를 고려한 주문묶음 모델 연구

Operations Analytics Laboratory  
Department of Industrial Engineering  
Pusan National University, Busan, KOREA



**김정환, NgUyen Thuy Mo, 홍순도**  
**부산대학교 산업공학과**  
**soondo.hong@pusan.ac.kr**

2017년 한국 SCM 학회 춘계 컨퍼런스

# 목차

---

- 연구 배경
- 관련 연구
- 문제 정의
- 모델 정의: 통합 주문 묶음 및 출입처 선택 모델
- 실험 및 결과
- 결론 및 향후 연구

# 연구 배경

- 오더 피킹(order picking)
  - 고객 주문 제품 picking 하는 작업

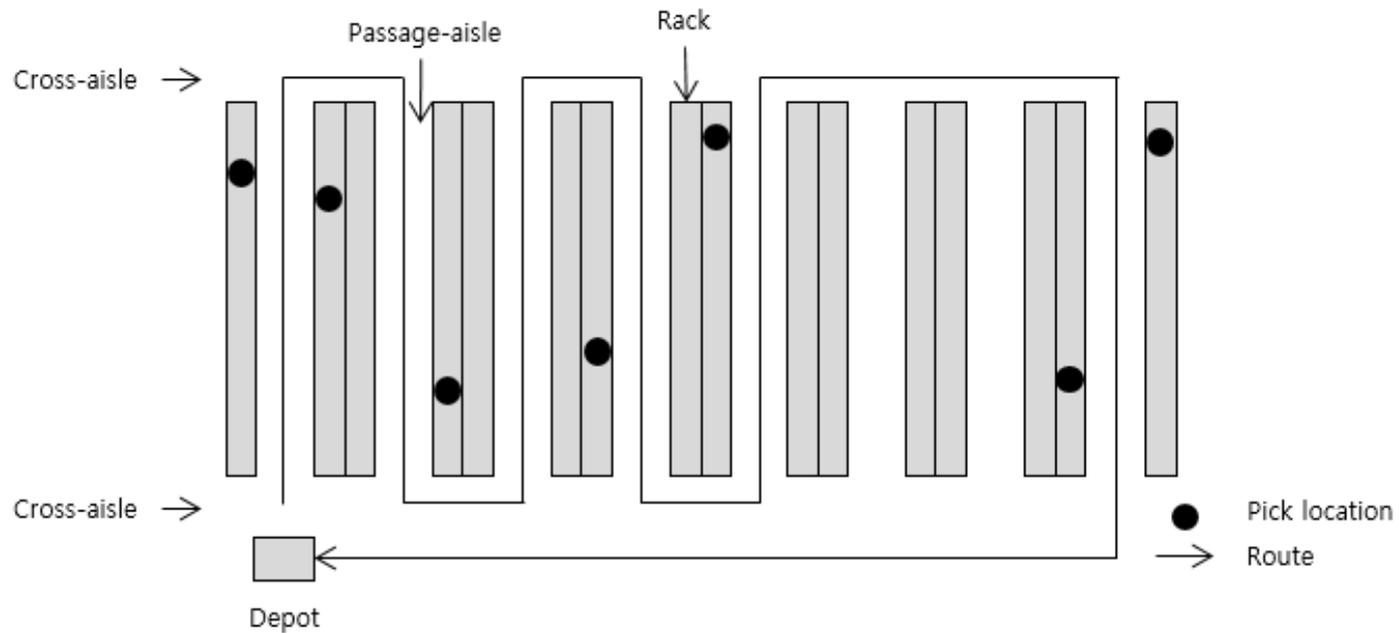


Figure 1. Single depot order picking system

# 연구 배경

## ■ 창고 운영 비용

- 오더 피킹(order picking) 창고 운영 전체 비용 55%(Tompkins et al. 2010)

## ■ 오더 피킹 작업 소요 시간

- 오더 피킹 작업 소요 시간 중 작업자 이동 50%(Tompkins et al. 2010)

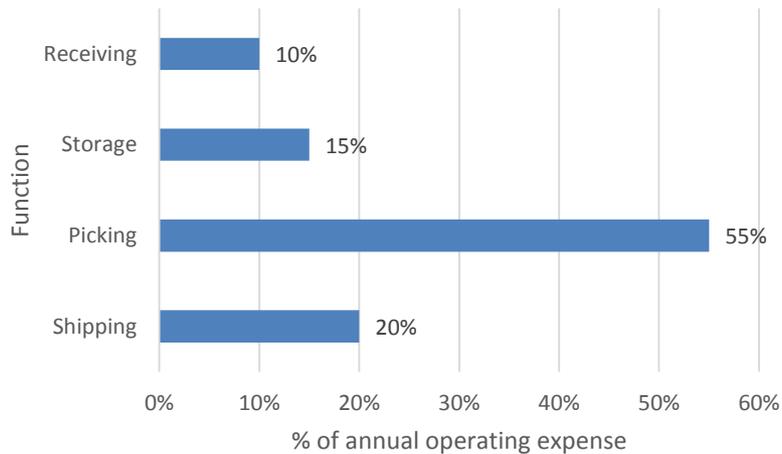


Figure 2. 창고 운영 비용 분포  
(Tompkins et al. 2010. Facilities planning)

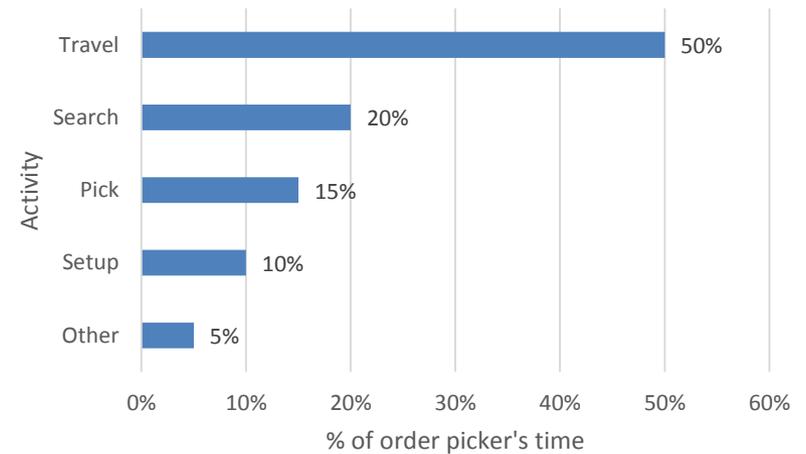


Figure 3. 작업 소요 시간 분포  
(Tompkins et al. 2010. Facilities planning)

# 연구 배경

- 주문 묶음(order batching)
  - 1회 trip으로 다수 주문 처리 가능 하도록 주문 묶음
  - 작업자 총 이동 시간 최소화 목표
- 경로(route)
  - 주문 묶음(order batch) 다양한 경로 존재
  - 단일 방향 경로(one-way route) 사용

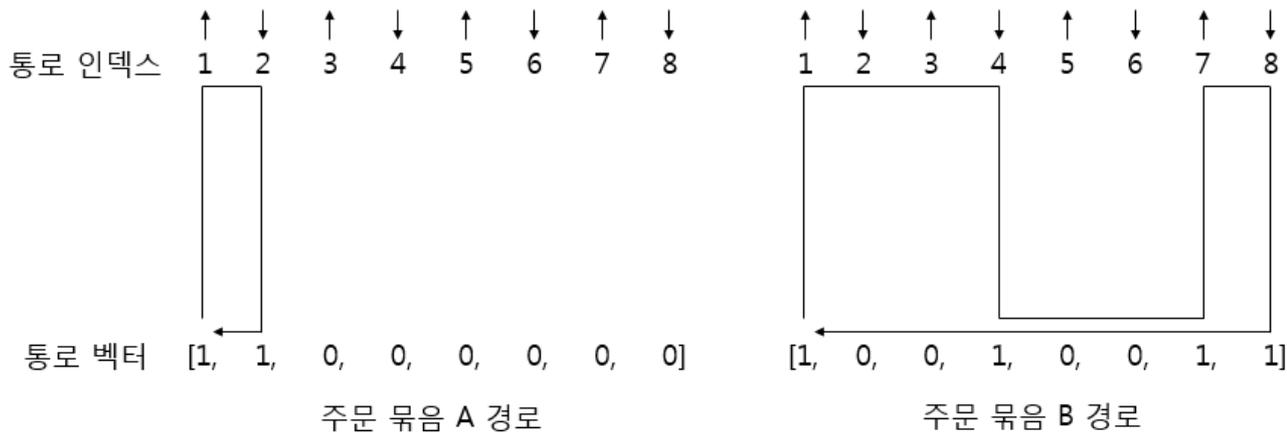


Figure 4. 주문 묶음의 단일 방향 경로 예시(modified from Hong et al.(2017))

# 연구 배경

- **출입처(depot)**

- 오더 피킹(order picking) 작업 내역 갱신 및 검사, 포장 작업 수행
- 작업자 편의 위한 출입처 증설로 주문 묶음(order batch) 출입처 할당 문제 발생

- 본 연구는 통합 주문 묶음 및 출입처 선택을 동시에 다루는 문제(Joint Order Batching and Depot Selecting problem, JOBDS)

# 관련연구

## ■ 최적 솔루션 모델

- 주문 묶음(Order batching) 최적 솔루션 탐색

Paper	Problem size	Method	Consideration
Gademann et al. (2001)	Small	Branch-and-Bound(MIP)	Wave picking environment
Gademann et al. (2005)	Small	Branch-and-Price(MIP)	Sort-while-pick order picking strategy
Hong et al. (2012a)	Medium	MIP	Route-selecting batching model
Hong et al. (2017)	Medium	MIP	Propose optimal solution model for S-shape-route-selecting batching model

# 관련연구

## ■ 최적 솔루션 모델

- 주문 묶음(Order batching) 포함한 복합 의사 결정 모델 연구

Paper	Problem size	Method	Consideration
Hong et al. (2012b)	Medium	MIP	Indexed order batching model
Hong et al. (2014)	Small	Branch-and-Price Method(MIP)	A multiple policy approach

# 관련연구

- 휴리스틱 모델

Paper	Problem size	Method	Consideration
Elsayed and Stern (1983)	Small	Seed algorithm	Multiple aisle system
De Koster et al. (1999)	Small	Seed and Saving algorithms	Comparison study
Hsu et al. (2005)	Medium	Meta heuristic of GA	Minimize the total travel distance in a warehouse system
Hong et al. (2012a)	Large	LBP(Large-scale order batching in parallel-aisle picking systems) heuristic	Large size problem
Hong et al. (2012b)	Large	MIP	Propose simulated annealing model for large scale

# 주문 묶음 절차

## 기존 주문 묶음 모델

- 주문(order)을 묶음(batch) 할당 후 최소 이동 거리 경로 구성
- 주문 묶음 할당 다양성으로 계산 복잡성 높음

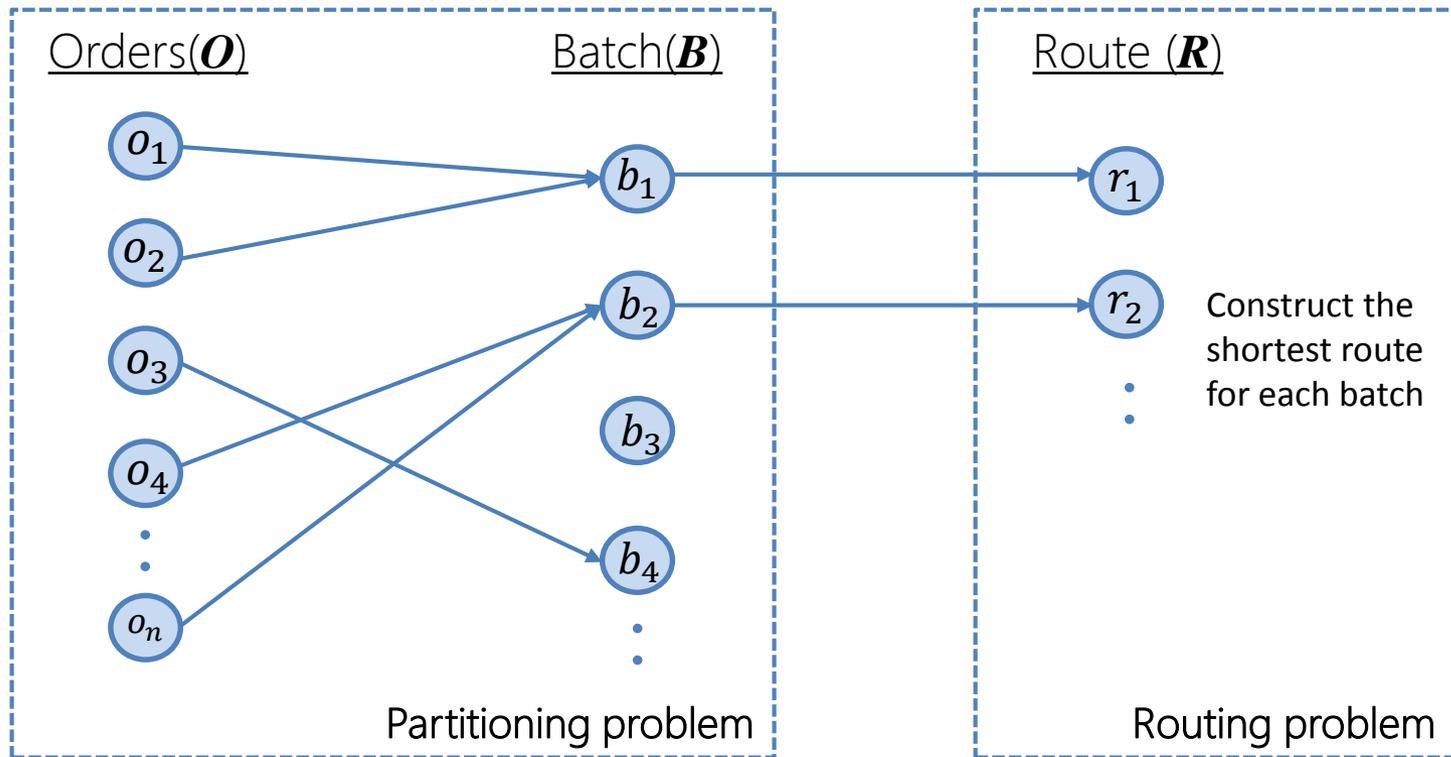


Figure 5. Classification of an order batching problem(Hong et al.(2017))

# 주문 묶음 절차

- 경로 선택 기반 주문 묶음 모델(Hong et al. 2012a)
  - 가능한 모든 경로 집합 구성
  - 주문 묶음 최적 경로 선택

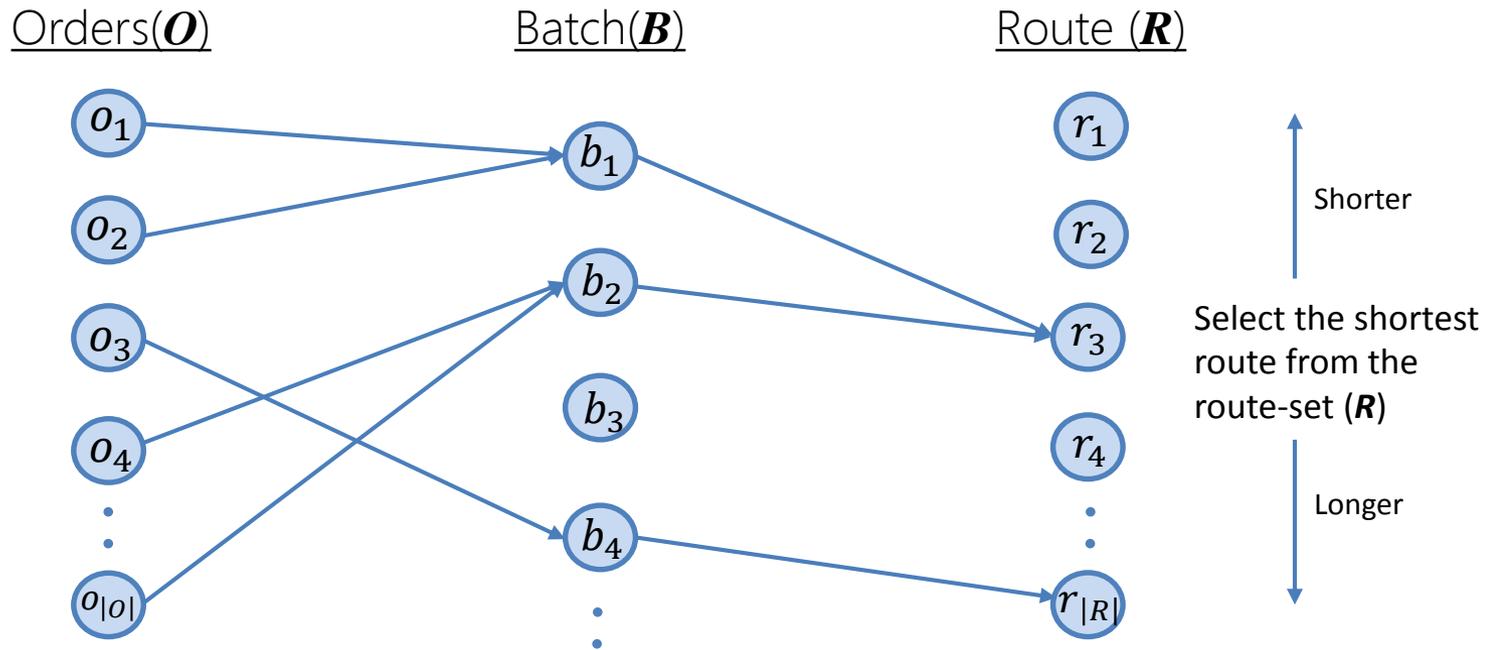


Figure 6. Order-to-batch assignment, then route selection(Hong et al.(2017))

# 문제 정의

## ■ 시스템 레이아웃

- 8개 단일 방향 평행 통로, 2개 교차 통로, 2개 출입처 존재
- 1번 및 5번 통로 앞 출입처 위치
- 통로 당 10개 보관 장소

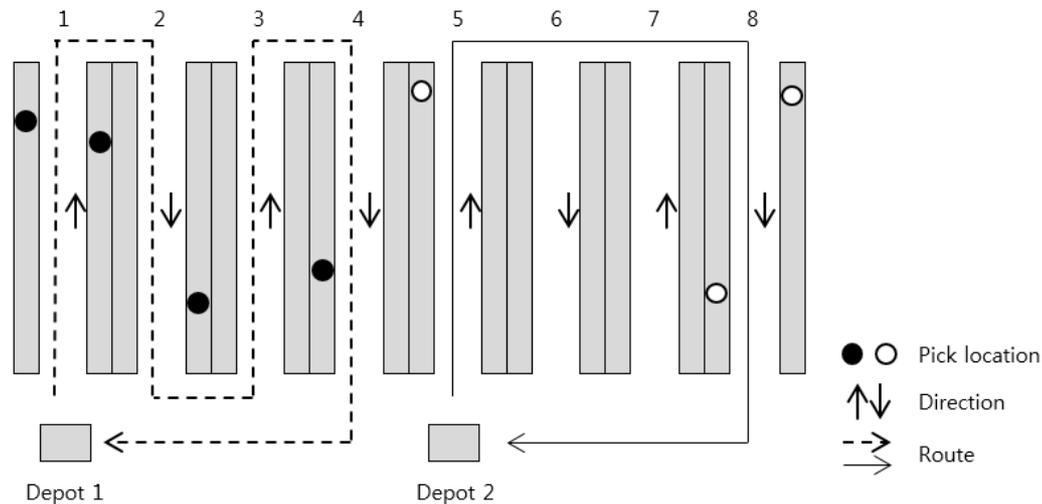


Figure 7. An eight-aisle order picking system with two depots(modified from Hong et al.(2014))

# 통합 주문 배치 및 출입처 선택 모델(JOBDS)

- JOBDS(joint order batching and depot selection model) 정의
  - 주문(order)의 묶음(batch) 할당
  - 최적 경로 및 출입처 선택

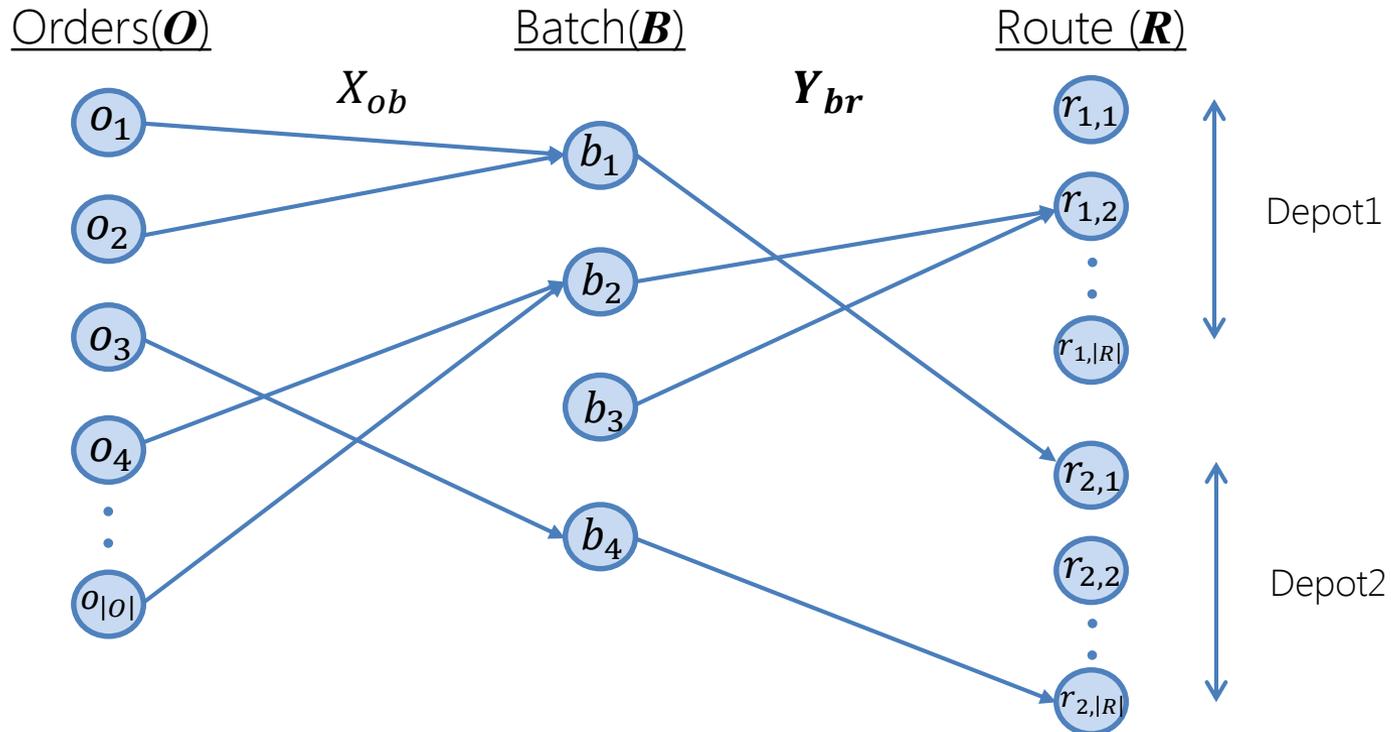


Figure 8. Order-to-batch assignment, then route selection approach(modified from Hong et al.(2017))

# 통합 주문 배치 및 출입처 선택 모델(JOBDS)

- Formulation

- 두가지 운영 전략 고려

*CAPA* is the capacity of a cart

- Sort-while-pick: *CAPA* is measured in units of orders
- Pick-then-sort: *CAPA* is measured in units of items

- Indices and sets

- D***            The set of depots and its index ***d* ∈ *D***
- O***            The set of orders and its index ***o* ∈ *O***
- B***            The set for batches and its index ***b* ∈ *B***
- A***            The set of aisles and its index ***a* ∈ *A***
- R<sub>d</sub>***        The set of routes for depot ***d*** and its index ***r<sub>d</sub>* ∈ *R<sub>d</sub>***

# 통합 주문 배치 및 출입처 선택 모델(JOBDS)

- Formulation
  - Parameters

$LT_{r_d}$  The length of route  $r_d$  for depot  $d$

$Q_o$  The number of line items in order  $o$

$OA_{oa} = \begin{cases} 1, & \text{if order } o \text{ passes through aisle } a \text{ (i.e. order } o \text{ has at least} \\ & \text{one pick in aisle } a), \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$

$RA_{r_d a} = \begin{cases} 1, & \text{if route } r_d \text{ passes through aisle } a, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$

# 통합 주문 배치 및 출입처 선택 모델(JOBDS)

- Formulation

- Decision variables

$$X_{ob} = \begin{cases} 1, & \text{if order } o \text{ is assigned to batch } b, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$Y_{br_d} = \begin{cases} 1, & \text{if batch } b \text{ takes route } r_d, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

- Objective function

$$\text{(JOBDS) min} \quad \sum_{b \in B} \sum_{r_d \in R_d} LT_{r_d} Y_{br_d} \quad \dots (1)$$

# 통합 주문 배치 및 출입처 선택 모델(JOBDS)

- Formulation

- Subject to

$$\sum_{b \in B} X_{ob} = 1, \quad \forall o \in O, \quad \dots (2)$$

$$\sum_{o \in O} Q_o \times X_{ob} \leq CAPA, \quad \forall b \in B, \quad \dots (3)$$

$$X_{ob} \times OA_{oa} \leq \sum_{d \in D} \sum_{r_d \in R_d} RA_{r_da} \times Y_{br_d}, \quad \forall a \in A, \forall b \in B, \forall o \in O, \quad \dots (4)$$

$$X_{ob} = \{0,1\} \quad \forall o \in O, \forall b \in B, \quad \dots (5)$$

$$Y_{br_d} = \{0,1\} \quad \forall b \in B, \forall r_d \in R_d, \quad \dots (6)$$

# JOBDS 적용 절차

- Step 1 : 주문 별 통로 벡터 구성
- Step 2 : 가능한 모든 경로 집합 구성
- Step 3 : JOBDS 모델 CPLEX 구동
- Step 4 : 최적 주문 묶음 및 출입처 도출

# 실험 및 결과

## ■ 실험 내용

### ■ 실험 비교

- JOBDS, 1개 출입처 문제 (Single-depot order batching problem, SOB) 작업자 이동 거리 및 계산 소요 시간 비교
- 비교 시나리오
  - a. Scenario 1 : sort-while-pick with capacity = 10 orders
  - b. Scenario 2 : pick-then-sort with capacity = 20 items

### ■ 시뮬레이션 실험 비교

- 1회 trip당 1개 주문 묶음 처리(sort-while-pick)
- 주문 묶음 검사 및 포장 작업 1명 가능
- 작업 시간 : 검사 및 포장 시간 1:3, 1:5, 1:10 비율 실험(소요시간 3, 5, 10초)
- 200개 주문 묶음 처리 시뮬레이션 작업 완료 시간, 작업자 이동 거리 및 작업자 간 정체 비율 비교

# 실험 및 결과

- 실험 환경

- 실험 측정 지수

- a. OptJOB, OptSOB : objective value of JOBDS, SOB

- b. Diff% :  $(\text{OptSOB} - \text{OptJOB}) / \text{OptSOB} * 100$

- c. CpuJOB, CpuSOB : run time in seconds of JOBDS, SOB

- 시뮬레이션 측정 지수

- a. CompJOB, CompSOB : simulation completion time of JOBDS, SOB

- b. DisJOB, DisSOB : pickers total travel distance of JOBDS, SOB

- c. BlkJOB, BlkSOB : blocking rate between pickers of JOBDS, SOB

# 실험 및 결과

- 실험 환경

실험환경	
창고 통로	8개 평행 통로
스토리지 전략	Random storage policy
경로	단일 방향 경로 방법
주문 수	50 및 100개 주문
주문 묶음 수	200개 주문 묶음
주문 당 제품 수	Uniform [1, 3]

시뮬레이션 및 CPLEX 구동 환경	
컴퓨터 환경	Window 7 Ultimate (Xeon 2.60 Ghz CPU, 64 GB memory)
CPELX	CPLEX Studio IDE 12.6
시뮬레이션	Tecnomatix® Plant Simulation 11

# 실험 및 결과

- 실험 결과
  - JOBDS, SOB 작업자 총 이동거리 및 계산 소요 시간 비교
  - 이동 거리 평균 6.14% 단축
  - 주문 크기 증가 시 계산 소요 시간 급증

Table 1. Experimental results

Sort Strategy	Number of orders	OptJOB (distance)	OptSOB (distance)	Diff%	CpuJOB (seconds)	CpuSOB (seconds)
Sort-while-pick	50	324.2	342.6	5.32	3.97	5.44
	100	534	582.2	8.28	2586.41	8794.9
Pick-then-sort	50	335.6	350.8	4.35	4.73	7.36
	100	588.4	630.2	6.63	1306.69	15992.64

# 실험 및 결과

- 시뮬레이션 실험 결과

- JOBDS, SOB 시뮬레이션 완료 시간, 작업자 총 이동거리 및 정체 비율 비교
- 200개 주문 묶음 시뮬레이션 50회 수행
- 출입처 할당 작업 완료 시 남은 작업 처리
- 작업 완료 시간 9.7%, 이동거리 7.5%, 정체 비율 17.9% 감소

Table 2. Simulation result

Number of batch	검사 및 포장 시간	CompJOB (time)	CompSOB (time)	DisJOB (distance)	DisSOB (distance)	BlkJOB (%)	BlkSOB (%)
200	3s	27:33	29:08	11151.6	12063.4	1.73	1.86
	5s	28:26	30:29	11147.2	12063.4	1.68	2.05
	10s	31:08	37:28	11163.6	12063.4	1.64	2.30

# 결론 및 향후 연구

## ■ 결론

- 주문 검사 및 포장 작업 편의성 고려 출입처 증설
- 병렬 통로의 통합 주문 배치 및 출입처 선택 모델(JOBDS) 연구
- MIP 모델 개발 및 최적 솔루션 도출
- 출입처 증설 시 전체 작업 완료 시간, 작업자 이동거리 및 정체 감소 확인

## ■ 향후 연구

- 실제 데이터 적용 검증

# THANK YOU

---

Jeonghwan Kim

Tel. : (+82) 51-510-1539

Email : [kjh9492@naver.com](mailto:kjh9492@naver.com)

Soondo Hong

Tel. : (+82) 51-510-2331

Email : [soondo.hong@pusan.ac.kr](mailto:soondo.hong@pusan.ac.kr)



Operation Analytics Laboratory

Department of Industrial Engineering

Pusan National University, Busan, Korea

(Acknowledgement) 본 연구는 한국연구재단의 “이공분야기초연구사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임  
(2017R1A1A2A10000648)