

# 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

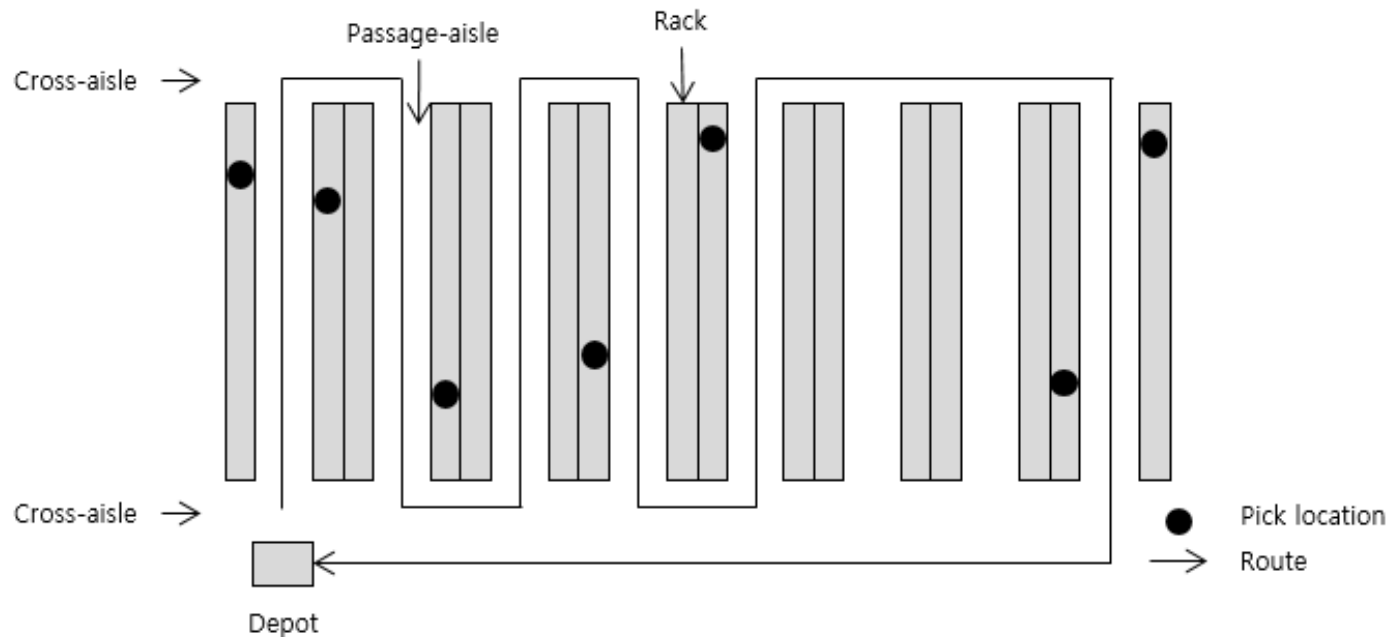


Figure 1. Single depot order picking system

# 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)

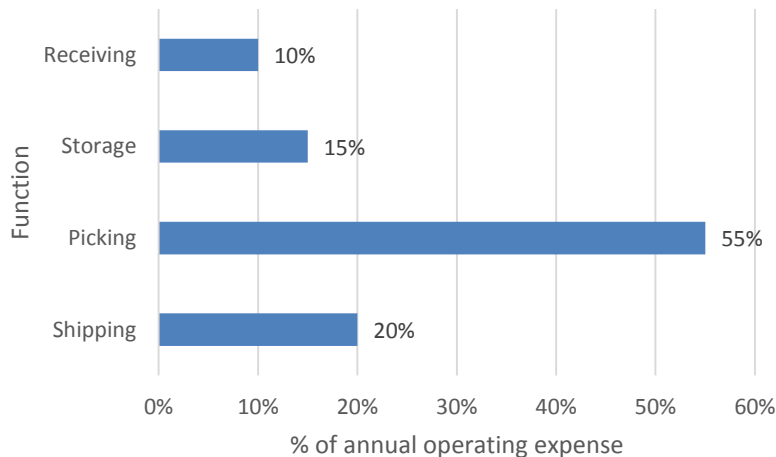


Figure 2. 창고 운영 비용 분포  
(Tompkins et al. 2010. Facilities planning)

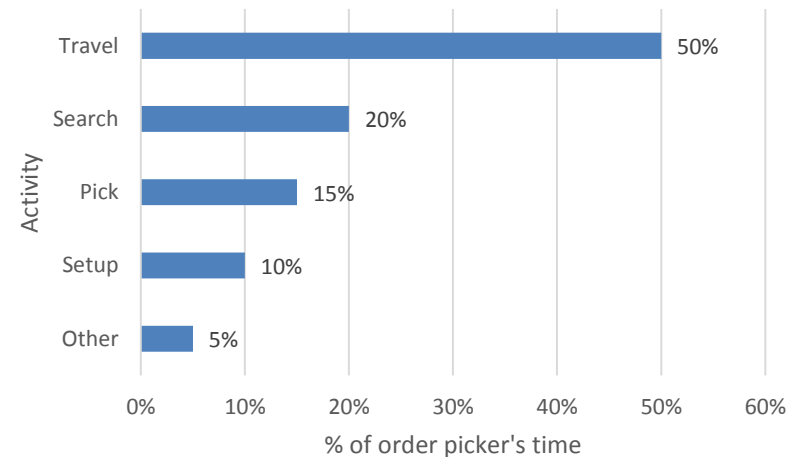


Figure 3. 작업 소요 시간 분포  
(Tompkins et al. 2010. Facilities planning)

# 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

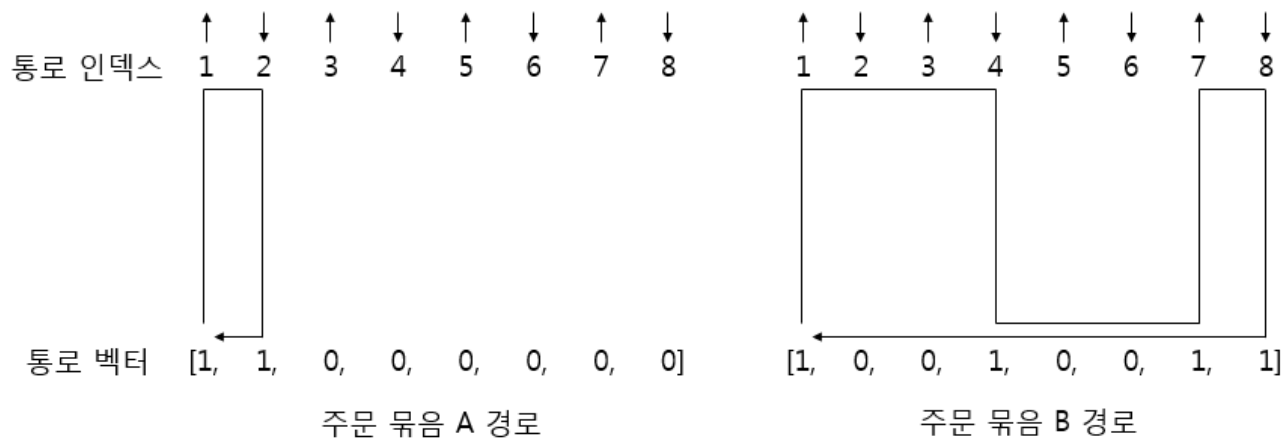


Figure 4. 주문 묶음의 단일 방향 경로 예시(modified from Hong et al.(2017))

# 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.<br>(2012b) | Medium       | MIP                             | Indexed order batching<br>model |
| Hong et al.<br>(2014)  | Small        | Branch-and-Price<br>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

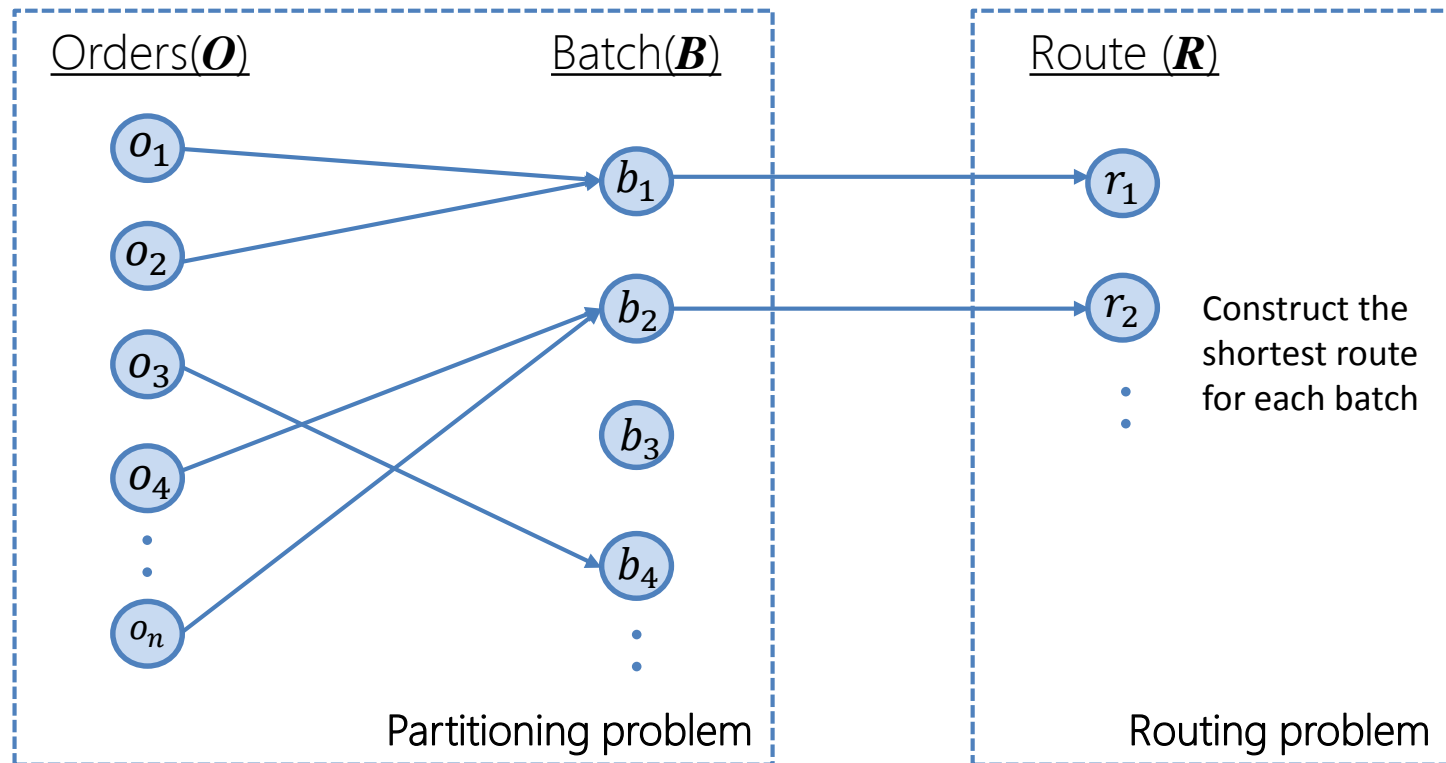


Figure 5. Classification of an order batching problem(Hong et al.(2017))

# 주문 묶음 절차

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

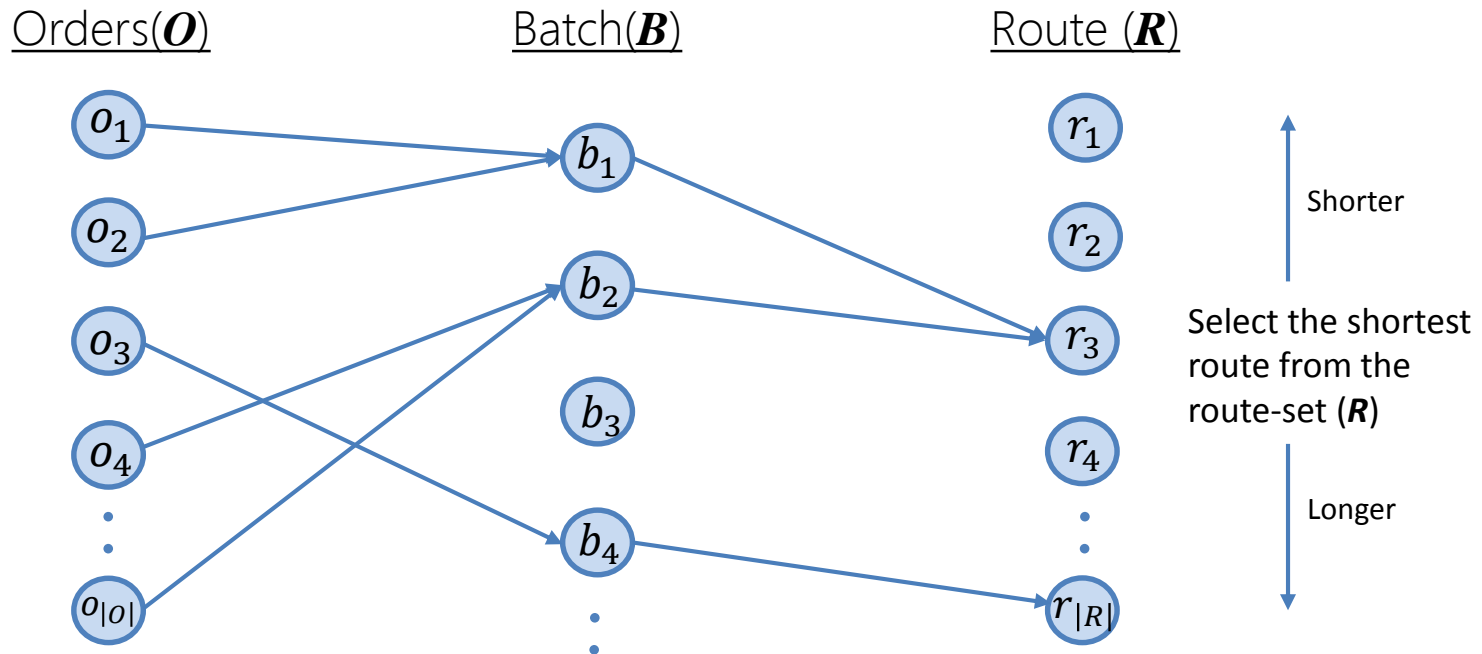


Figure 6. Order-to-batch assignment, then route selection(Hong et al.(2017))

# 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

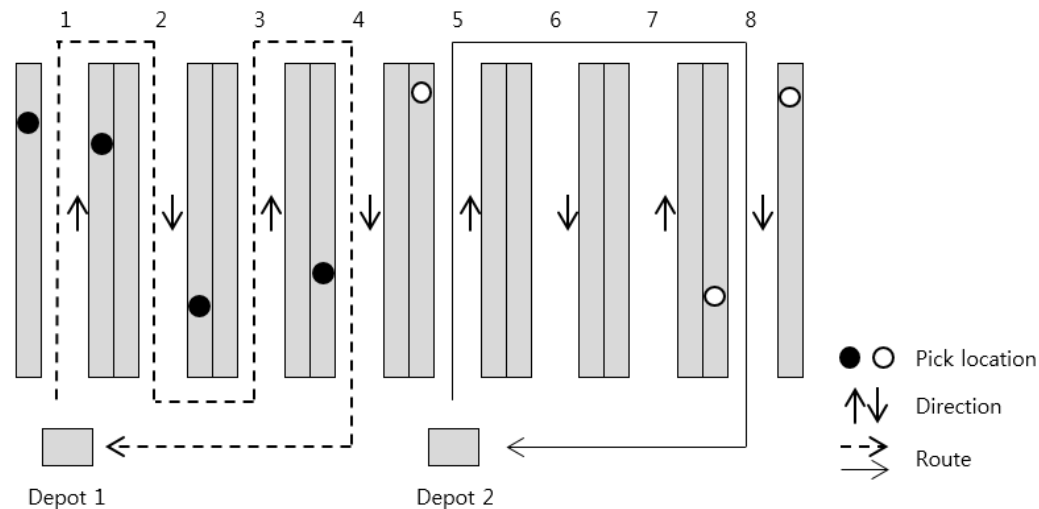


Figure 7. An eight-aisle order picking system with two depots(modified from Hong et al.(2014))

# 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

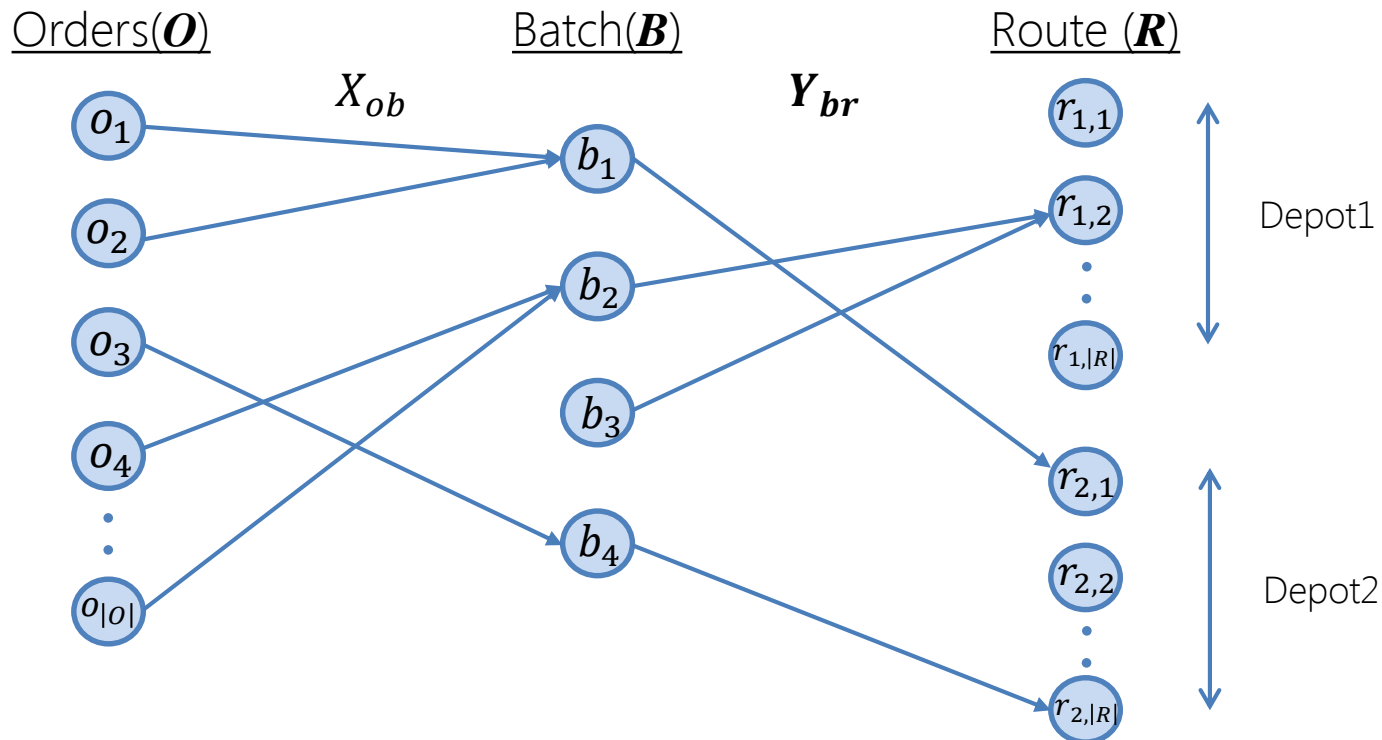


Figure 8. Order-to-batch assignment, then route selection approach(modified from Hong et al.(2017))

# 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 $d \in D$                   |
| $O$   | The set of orders and its index $o \in O$                   |
| $B$   | The set for batches and its index $b \in B$                 |
| $A$   | The set of aisles and its index $a \in A$                   |
| $R_d$ | The set of routes for depot $d$ and its index $r_d \in R_d$ |

# 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

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

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

- Objective function

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



# 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)