

# 디지털 어소팅 시스템의 물류 시뮬레이션 기반 운영 설계 및 분석

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



이정만, 김영주<sup>2</sup>, 홍순도<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 산업공학과

<sup>2</sup> 철도기술연구원

2018년 한국SCM학회 2018 춘계컨퍼런스  
서울특별시 서초구 aT센터

# 목차

---

- 연구 배경
- 관련 연구
- 디지털 어소팅 시스템
- 디지털 어소팅 시스템의 운영정책
- 시뮬레이션 모델링
- 운영정책 및 이동경로 규칙 간 비교실험
- 결론 및 향후연구

# 연구 배경

## ■ 물류시스템의 역할과 중요성

- 제조업 및 유통업에서 다양해지고 까다로워지는 소비자의 수요
  - ① 다품종 소량생산
  - ② 고객 및 거래처의 정확한 납기 배송 수요 증가
  - ③ 짧아지는 제품 수명주기(Product life cycle)

## ■ 물류시스템의 효율적인 운영 필요성 증대

- 현대 소비자 수요를 충족시키기 위한 효율적인 물류 센터 운영이 필요

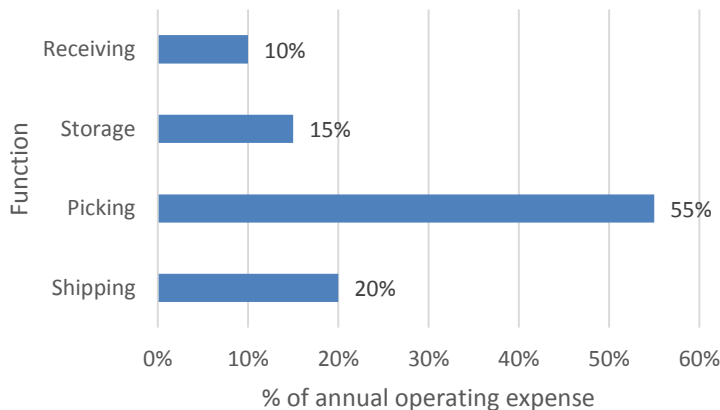


Figure 1. 창고 운영 비용 분포  
(Tompkins et al. 2010. Facilities planning)

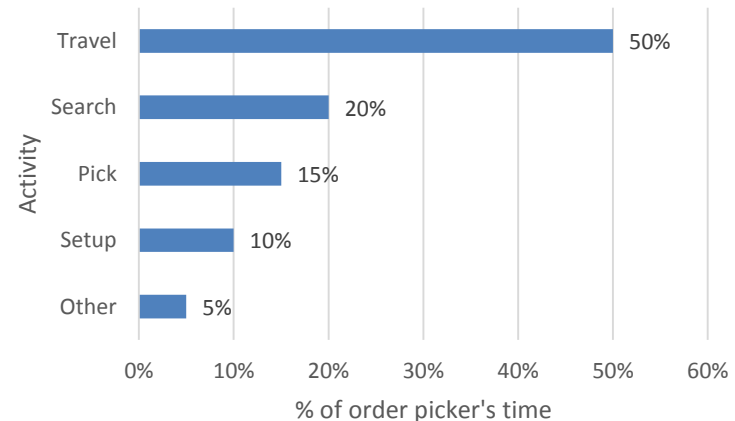


Figure 2. 작업 소요 시간 분포  
(Tompkins et al. 2010. Facilities planning)

# 연구 배경

## ■ 디지털 어소팅 시스템(Digital assorting system, DAS)

- 고객 거래처 별로 박스가 놓여 있는 랙(Rack)에 표시장치와 응답장치로 구성된 디지털 표시기를 사용해 피킹된 상품을 작업 전표 없이 분배할 수 있는 일종의 리퍼스 피킹(Reverse Picking) 물류 시스템
- Receiving area와 Assorting area 간의 작업 부하 분배에 따라 공간 내 작업복잡도 및 종료시간이 달라짐

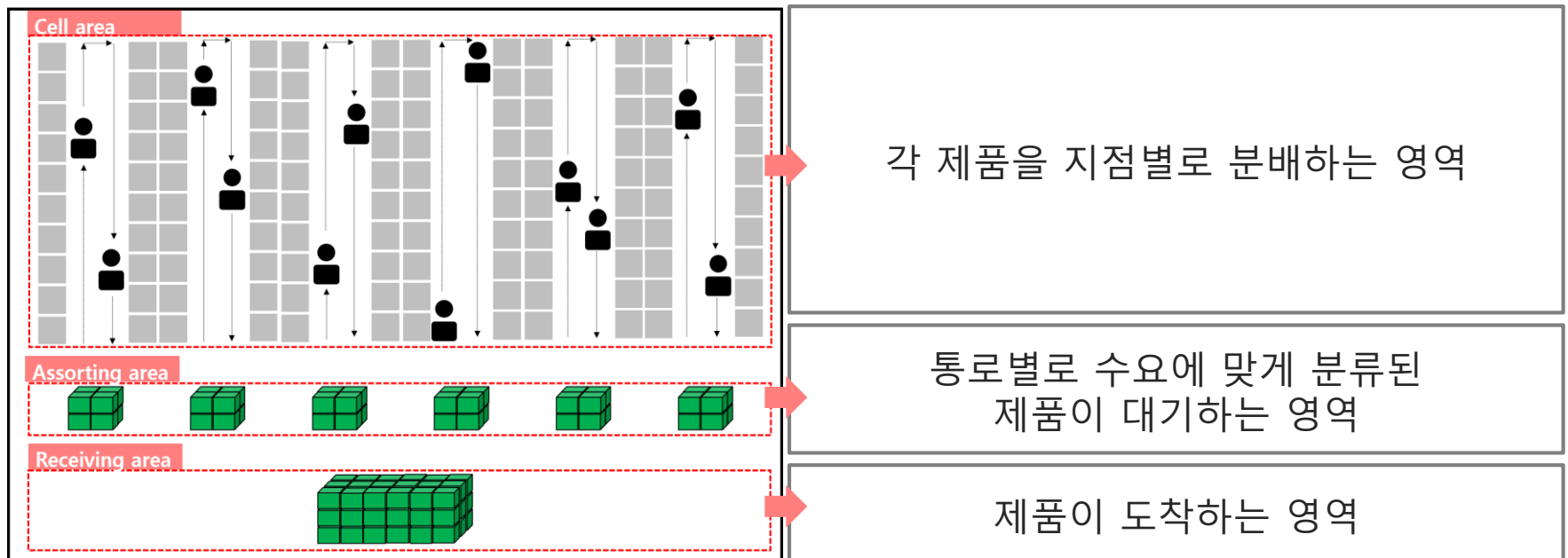


Figure 3. 디지털 어소팅 시스템(DAS)의 기능 별 구역 구분

# 관련 연구

## ■ DAS 시스템 소개 및 성능 분석

- 유강식 (2011): DAS 시스템 소개 및 운영 특성 분석
- 유강식, 강경식, 임석철 (2012): 시뮬레이션을 통한 DCP(Digital cart picking), DAS 시스템 성능 비교

## ■ 물류센터 운영정책 및 전략

Table 1. 관련 연구(물류센터 운영정책 및 전략)

저자	대상 시스템	연구 목적
Petersen (2000)	메일 주문 회사 피킹 시스템	피킹 전략(Picking strategy) 선택에 따른 물류센터 운영 비용 분석
Parikh and Meller (2008)	물류센터 오더 피킹 시스템	묶음 피킹(Batch picking)과 존 피킹(Zone order picking) 전략 간 선택
Eisentain (2008)	물류센터 오더 피킹 시스템	단일 오더 피킹(Discrete order picking) 운영정책 활용 시 최적 데포(Depot) 위치에 대한 확률 모델(Stochastic model)

# 관련 연구

## ■ 시뮬레이션을 통한 물류시스템 최적화

Table 2. 관련 연구(시뮬레이션 기법 활용)

저자	대상 시스템	최적화 목표
Hong and Nelson (2004)	일반 생산시스템	Optimization-via-simulation algorithms
Huang et al. (2012)	Automated handling system(AMHS)	Optimization via simulation
Lin and Huang (2014)	Automated handling system(AMHS)	Efficient design of simulation experiments
서정훈, 이상혁, 김갑환 (2017)	컨테이너 터미널 시스템	운영정책 생산성 비교 연구

# 디지털 어소팅 시스템

## ■ 디지털 어소팅 시스템 운영 메커니즘(유강철 et al. 2012)

- 랙(Rack)의 각 칸에 해당 물류센터가 담당하는 거래처로 갈 빈 박스를 놓음
- 출고될 모든 제품 별로 총 분류 분량을 뽑아서 작업자 제품의 바코드(Barcode)를 스캔하여 입력
- 해당 제품이 가야할 거래처 위치(Cell)에서 설치된 디지털 표시기에 분류 수량이 표기
- 작업자는 전표 없이 해당 제품을 카트에 담아서 이동하며 표시 수량만큼 분류 작업을 수행

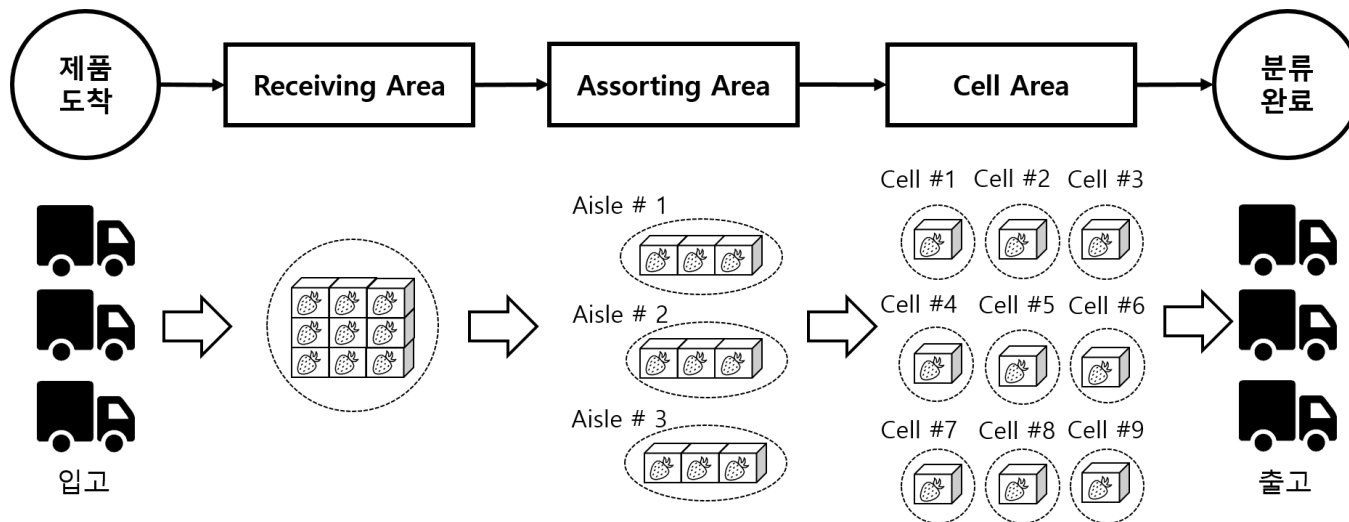


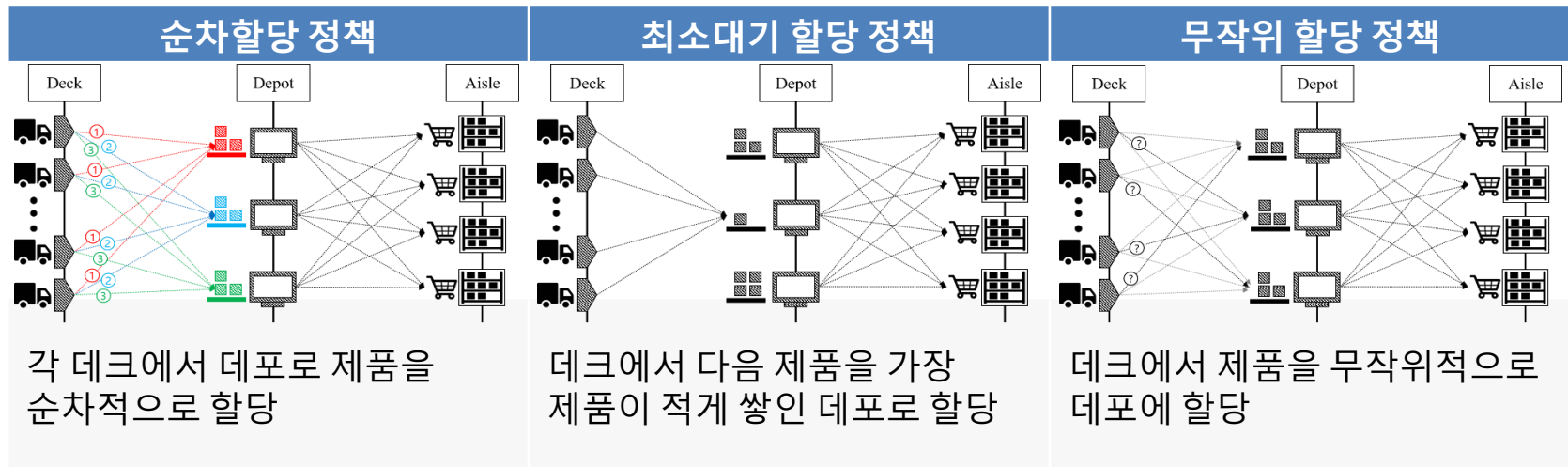
Figure 4. DAS 시스템의 운영 메커니즘

# 디지털 어소팅 시스템의 운영정책

## ■ 데크(Deck)-데포(Depot) 간 운영정책(Operational policy)

- 제품의 종류와 무관하게 중분류 작업이 수행되는 '혼합 데포'를 가정
- 데크에서 입고된 제품 할당 방식에 따라 다음 세 정책 제시 가능
  - ① 순차할당 정책(Cyclic allocation policy)
  - ② 최소대기 할당 정책(Shortest-waiting allocation policy)
  - ③ 무작위 할당 정책(Random allocation policy)

Table 3. 관련 연구(시뮬레이션 기법 활용)





# 디지털 어소팅 시스템의 운영정책

## ■ 통로 내 작업자 이동경로 규칙

- Cell area는 Assorting area에서 중분류된 제품을 각 점포로 분류하는 영역

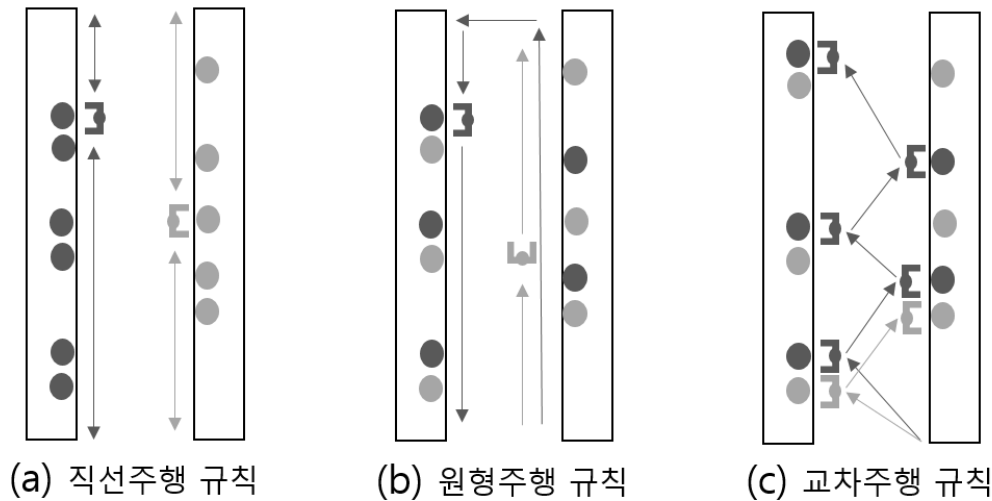


Figure 5. 통로 내 작업자 이동경로 규칙

- Cell area에서 통로 내 이동경로에 따라 세 가지 이동경로 규칙 제시 가능
  - ① 직선주행 규칙(Linear travel rule): 작업자가 통로 내 한 면 씩 맡아서 분류 작업
  - ② 원형주행 규칙(Circular travel rule): 한쪽 면을 우선적으로 따라가며 원형을 그리며 이동
  - ③ 교차주행 규칙(Zigzag travel rule): 작업자가 양쪽 면을 동시에 맡아서 분류 작업

# 시뮬레이션 모델링

## ■ 주요 생산성 지표 정의

- Parameters & indices

$i$	데크-데포 간 운영정책의 인덱스
$j$	통로 내 이동경로 규칙의 인덱스
$TTC_{ij}$	운영정책 $i$ 와 이동경로 규칙 $j$ 인 경우 DAS 시스템의 총 작업완료 시간
$WIP_{ij}$	운영정책 $i$ 와 이동경로 규칙 $j$ 인 경우 DAS 시스템 내 머물고 있는 제품 수

- Objective functions

$$(i^*, j^*) = \arg \min TTC_{ij} \quad (1)$$

$$(i^*, j^*) = \arg \min WIP_{ij} \quad (2)$$

# 시뮬레이션 모델링

## ■ 시뮬레이션을 통한 최적화 과정

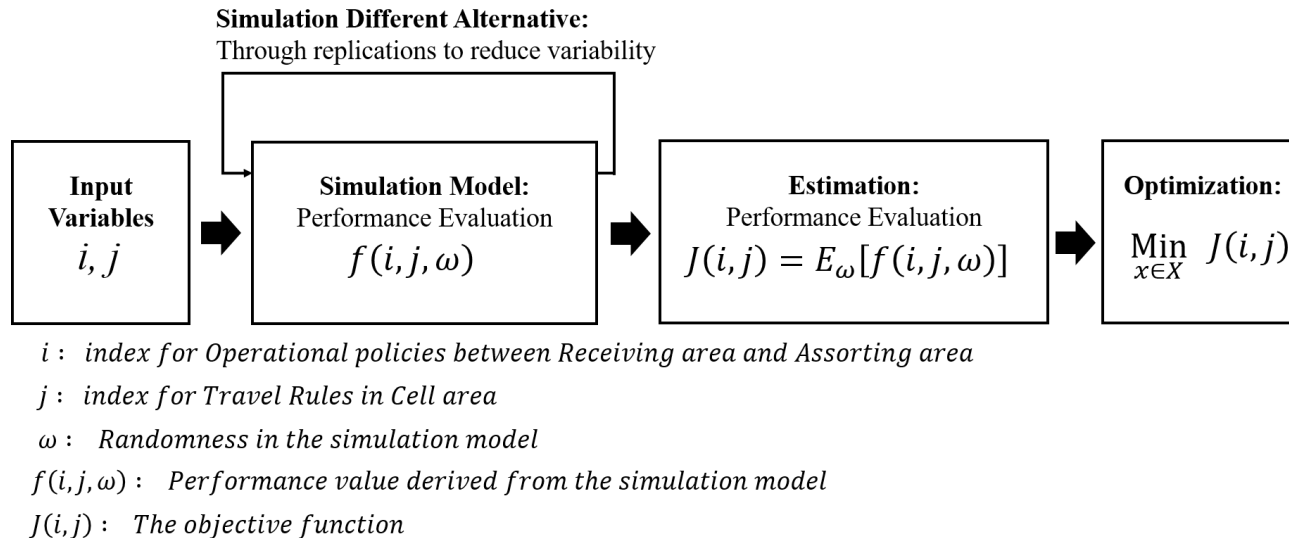


Figure 6. 시뮬레이션을 통한 최적화 과정(modified from Lin & Huang(2014))

- $f(i, j, \omega)$ 은  $TTC_{ij}$ 와  $WIP_{ij}$ 를 의미
- 생산성 지표 간 변동성 줄이기 위해 실험 당 반복적으로 30회 수행(실험 당 관측 수)

# 시뮬레이션 모델링

## ■ 시뮬레이션 모델 개발

- 시뮬레이션 모델 레이아웃

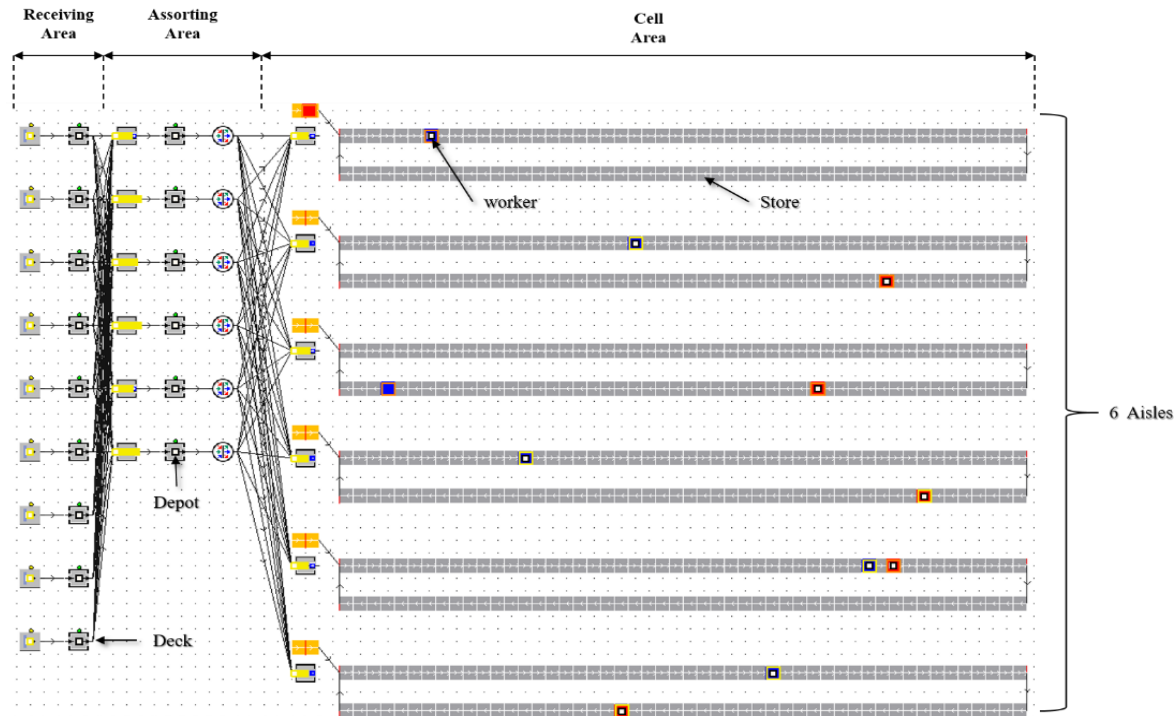


Figure 7. DAS 시스템의 시뮬레이션 모델 레이아웃

# 시뮬레이션 모델링

## ■ 시뮬레이션 모델 개발

- 시뮬레이션 실험환경

Table 4. 시뮬레이션 실험 환경

항 목	설 명
OS / Processor / RAM	Windows 10 Education / Intel® Core™ i5-7600 CPU@ 3.50GHz / 16.0GB
Simulation Tool	Tecnomatix Plant Simulation 12.0

- 시뮬레이션 모델 가정사항

Table 5. 시뮬레이션 모델 가정사항

DAS 구역	항 목	가정 사항
Cell area	통로(Aisle) 수 (Cell area)	4 곳
	Aisle 당 작업자 수 / 작업 시간	2 명 / Exponential distribution / 2 min.
Assorting area	데포(Depot) 작업 부하	상 / 중 / 하
	데포 개수	2 곳 / 3 곳 / 4 곳 / 5 곳
Receiving area	덱과 데포 간 개수 차이	1 곳 / 2 곳 / 3 곳 / 4 곳
	덱(Deck) 당 제품 도착 간격 분포	Exponential distribution / 30 min.

# 운영정책 및 이동결로 규칙 간 비교실험

## ■ 운영정책 간 비교 분석을 위한 가정사항

- 본 연구에서 데크 간 제품 도착 간격은 동일하다고 가정

Table 6. 시뮬레이션 모델 가정사항

DAS 구역	항 목	가정 사항
Receiving area	데크와 데포 간 개수 차이(작업 부하)	입력 변수(Input variable)
	데크 당 제품 도착 간격	10분(Exponential Distribution)
	작업 물량(Supply)	500개(EA)
Assorting area	운영되는 데포 개수	입력 변수
	데포의 중분류 처리 시간	5분(Exponential Distribution)
Cell area	통로 수	6통로
	통로 당 작업자 수	2명
	작업자 이동속도	작업 중일 때 1m/s 작업 중이지 않을 때 2m/s
	작업자 작업 시간	분류작업 1회 당 5초
	작업자 작업부하	입력 변수

# 운영정책 및 이동경로 규칙 간 비교실험

## ■ 운영정책 간 비교 분석을 위한 가정사항

- 오더 피킹 시스템 내 작업부하 정량화

Table 7. 관련연구(작업부하 정량화)

저자	내용
Gue et al. (2006)	오더 피킹 작업을 위해서 '픽 밀도(Pick density)' 개념을 제시
Hong (2014)	픽 밀도의 변화에 따라 통로 내 두 작업자 간의 상태를 설명하는 이산 시간 마르코프 체인(DTMC) 기반 분석 모델 제시

- Cell area에서 작업자의 작업부하 통제를 위해 다음 지표를 설정

$$\text{Sort Density } k = \frac{\text{The number of stores requiring the product } k}{\text{The number of stores}} \quad (3)$$

- 분류 밀도  $k$ 의 분모: DAS 시스템이 담당하는 모든 고객 거래처
- 분류 밀도  $k$ 의 분자: 전체 거래처에서 제품  $k$ 가 분류될 필요가 있는 거래처

# 운영정책 및 이동경로 규칙 간 비교실험

## ■ 데크-데포 간 운영정책 비교실험 결과

- diff : 데크(Deck)와 데포(Depot) 간 개수 차이
- 작업자 간 이동경로 규칙은 '교차주행 규칙(Cross travel rule)'로 가정, 분류 밀도 0.1로 가정

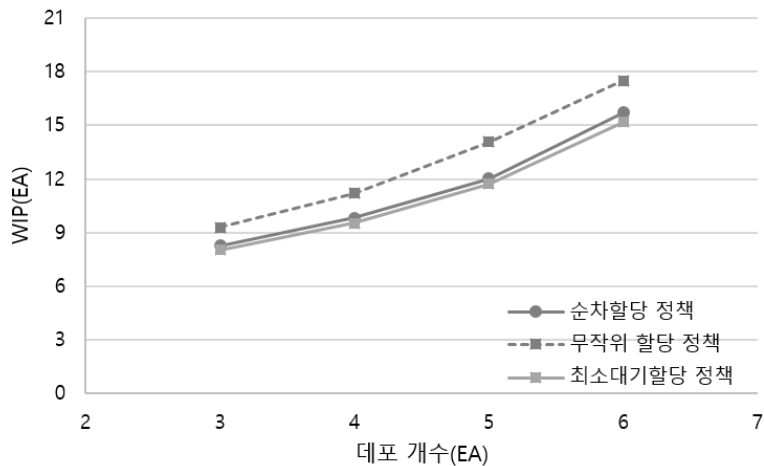


Figure 8. 데크-데포 간 운영정책 비교실험(diff.=1)

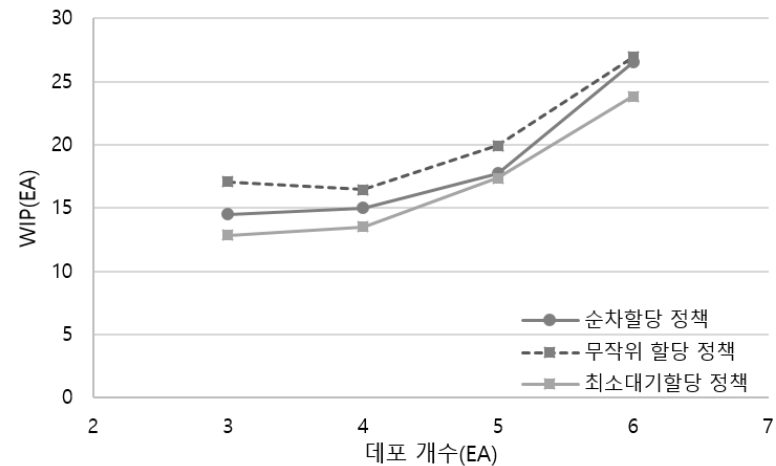


Figure 9. 데크-데포 간 운영정책 비교실험(diff.=2)

- 시뮬레이션 실험 결과 '최소대기할당 정책'이 최적 데크-데포 간 운영정책



# 운영정책 및 이동경로 규칙 간 비교실험

## ■ 데크-데포 간 운영정책 비교실험 결과

- diff. : 데크(Deck)와 데포(Depot) 간 개수 차이
- 작업자 간 이동경로 규칙은 '교차주행 규칙(Cross travel rule)'로 가정, 분류 밀도 0.1로 가정

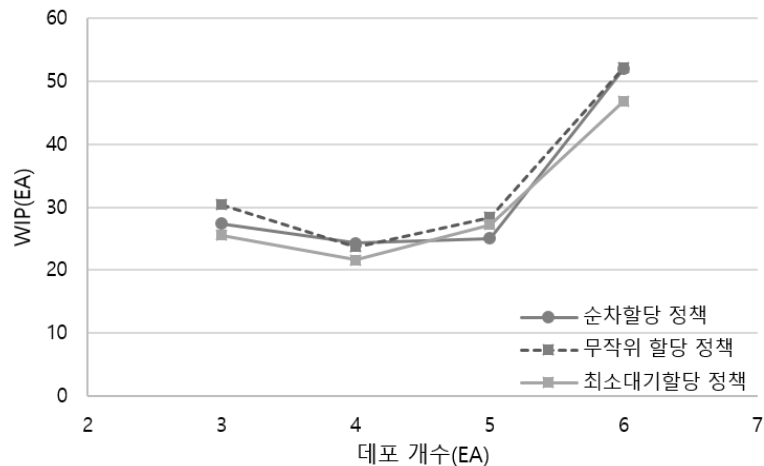


Figure 10. 데크-데포 간 운영정책 비교실험(diff.=3)

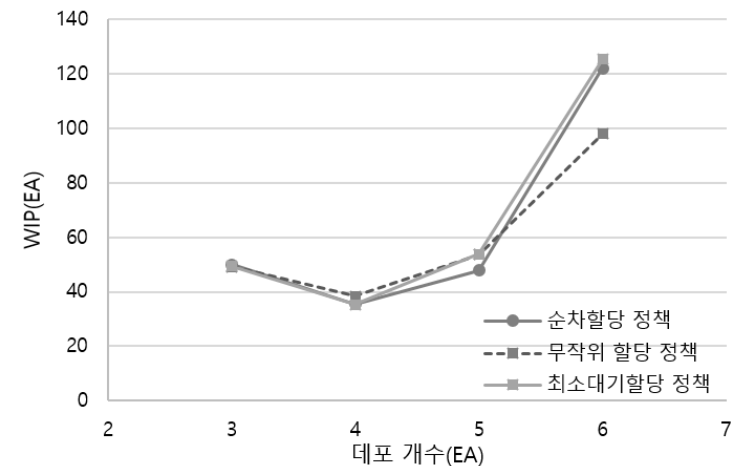


Figure 11. 데크-데포 간 운영정책 비교실험(diff.=4)

- 데포에 일정 수준의 작업 부하가 주어질 때, 해당 상황에서 최적 운영 데포 수도 결정 가능
- <Figure 11.>에서 최적 운영 데포 수는 4대 임을 시뮬레이션 결과를 통해 확인
- 즉, 특정 운영 환경에서 동적인 시뮬레이션 실험을 통해 최적 운영 데포 수를 설계 가능

# 운영정책 및 이동경로 규칙 간 비교실험

## ■ 작업자 간 이동경로 규칙 비교실험 결과

- 데크-데포 간 운영정책은 '순차할당 정책(Cyclic allocation policy)'로 가정

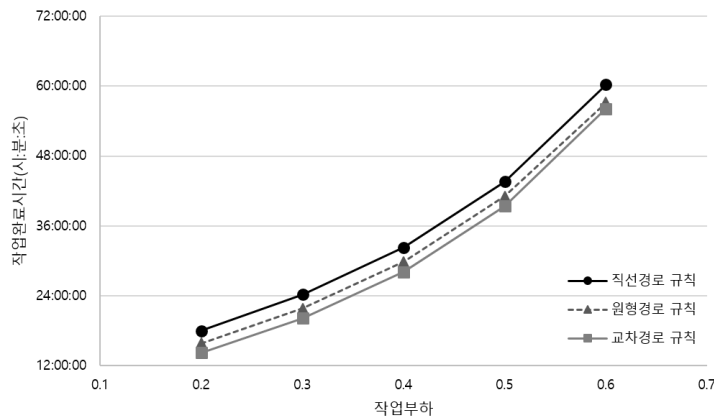


Figure 12. 이동경로 규칙 비교실험(작업완료시간)

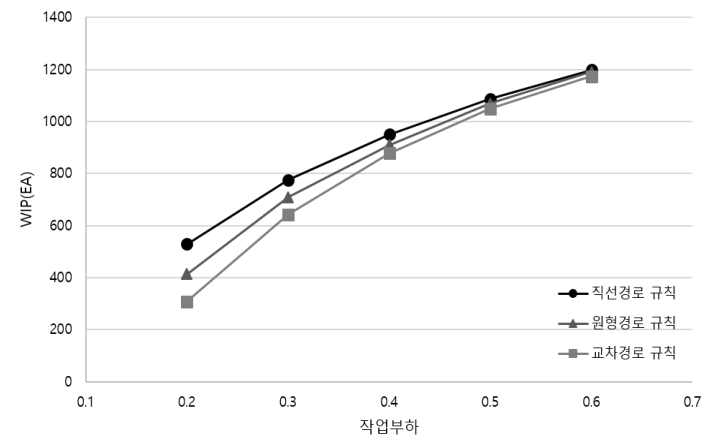


Figure 13. 이동경로 규칙 비교실험(WIP)

- 시뮬레이션 실험 결과 '교차경로 규칙(Cross travel rule)'이 최적 이동경로 규칙
- 작업부하가 증가하여도  $TTC_{ij}$  측면에서 '교차경로 규칙'이 최적임을 확인
- $WIP_{ij}$  측면에서 작업부하가 증가할수록 세 규칙 간 생산성 차이가 줄어들음
- 즉, 작업부하가 적을수록 이동경로 규칙이  $WIP_{ij}$ 에 민감하게 영향을 미침을 확인

# 운영정책 및 이동경로 규칙 간 비교실험

## ■ 최적 운영정책 및 규칙 조합 비교실험 결과( $TTC_{ij}$ 비교실험)

- 데크와 데포 간 개수 차이 4, 작업자 작업부하(분류 밀도) 0.2인 상황 가정

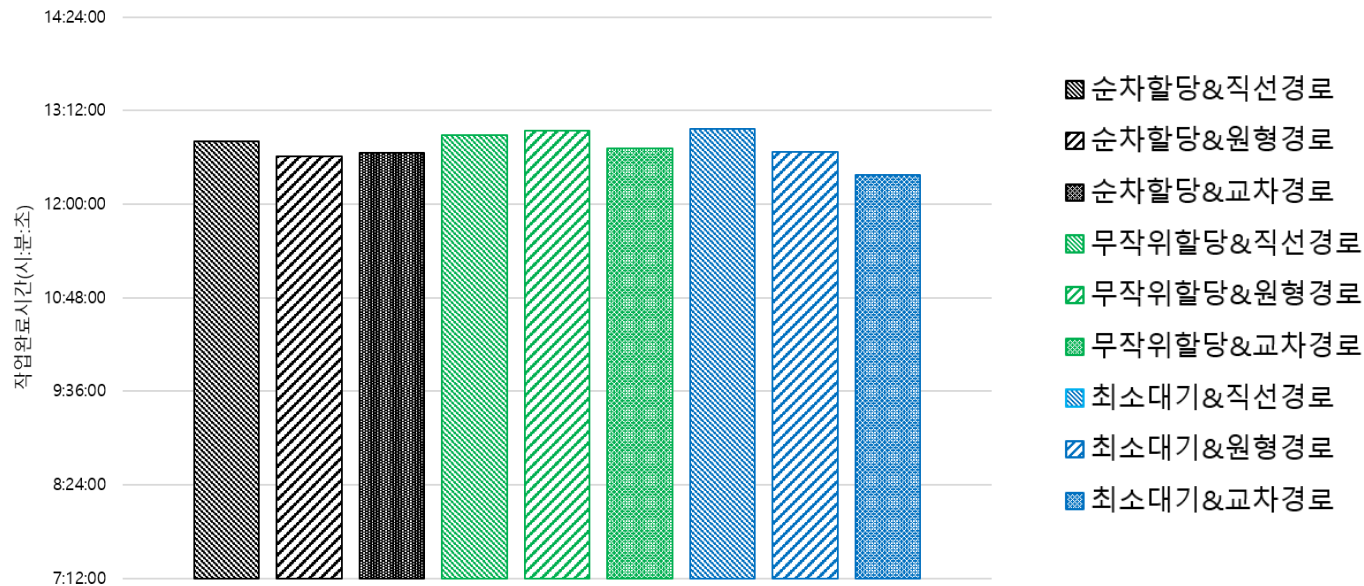


Figure 14. 최적 운영정책 및 규칙 조합 비교실험(작업완료시간)

- 최악의 운영 조합: '최소대기할당 정책' & '직선경로 규칙'
- 최적의 운영 조합: '최소대기할당 정책' & '교차경로 규칙'
- 두 운영 조합 간 생산성 개선 정도: 약 4.62%

# 운영정책 및 이동경로 규칙 간 비교실험

## ■ 최적 운영정책 및 규칙 조합 비교실험 결과( $WIP_{ij}$ 비교실험)

- 데크와 데포 간 개수 차이 4, 작업자 작업부하(분류 밀도) 0.2인 상황 가정

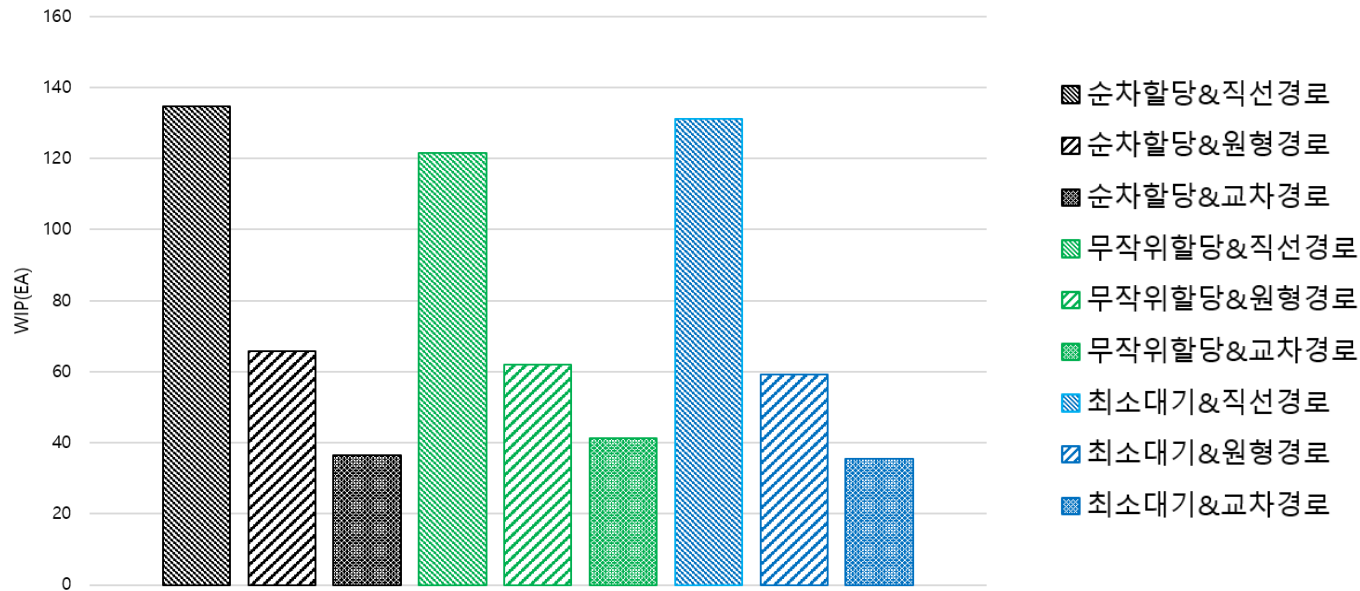


Figure 15. 최적 운영정책 및 규칙 조합 비교실험(WIP)

- 최악의 운영 조합: '순차할당 정책' & '직선경로 규칙'
- 최적의 운영 조합: '최소대기할당 정책' & '교차경로 규칙'
- 두 운영 조합 간 생산성 개선 정도: 약 73.76%

# 결론 및 향후연구

## ■ 결론

- 편의점 물류를 담당 DAS 시스템에서 최적  $WIP_{ij}$  및  $TTC_{ij}$ 을 위한 운영정책 설계 필요
  - ① 제품의 신선도 손상 방지
  - ② WIP의 증가는 거래처별 분류작업 시 작업 혼잡도 증가를 유발
- 최적 데크-데포 간 운영정책: '최소대기할당 정책(Shortest-waiting allocation policy)'
- 최적 이동경로 규칙: '교차주행 규칙(Cross travel rule)'
- 시스템이 처할 수 있는 다양한 상황에서 최적 생산성을 보이는 운영정책 및 이동경로 규칙 조합을 시뮬레이션을 통해서 제시

## ■ 향후 연구

- '전용 데포'로 운영되는 DAS 시스템을 대상 최적 데포 운영 설계

# THANK YOU

---

Jeongman Lee

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

Email : [dbdbppq11@naver.com](mailto:dbdbppq11@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 논문은 2017년도 대한민국 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 시행하는 한국연구재단 재원으로 수행된 연구결과임(과제번호: 2017000648)