

물류 과학 기술 연구

Journal of Logistics Science & Technology

2021년 6월 2권 1호

THE SOCIETY OF LOGISTICS
SCIENCE AND TECHNOLOGY

물류과학기술연구

Journal of Logistics Science & Technology

제 2권 제 1호

2021년 6월

목 차

1. 단일방향 물류흐름에서의 이중열 배치 설계

채준재 / 3

2. Post COVID-19에 대응하는 디지털 라스트마일 운송계획 제안

임승찬, 박진희 / 10

3. 모빌렉 운영 효율화를 위한 시뮬레이션 분석 : 반도체 백엔드 테스트 공정 사례를 중심으로

이기주, 채준재 / 26

단일방향 물류흐름에서의 이중열 배치 설계

채준재*

한국항공대학교 항공교통물류학부

Double row layout design with unidirectional material handling path

Junjae Chae*

School of Air Transport, Transportation and Logistics, Korea Aerospace University

Abstract: A spine layout is a type of layout in which a main aisle is used for the material movement between the work cells located on either side. This type of layout could be categorized in double row layout because the work cells located in double row. In this study, the mathematical model for double row layout with unidirectional material flow is presented. The main objective of the model is to find the location of each cells along the central material handling system to minimize the material handling cost.

Keywords: Material Handling, Layout Design, Double Row Layout

1. 서론

중심에 물류이송시스템을 두고 양쪽에 기계, 또는 working cell을 배치하는 것은 spine layout 이라고 하기도 한다(Langevin et al., 1994). 이러한 형태의 배치는 자동물류이송차(AGV: Automated Guided Vehicles)가 직선을 따라 각 셀(Cell)간의 물류이송을 담당하는 유연생산시스템(FMS: Flexible Manufacturing System)에서 잘 사용된다(Kusiak and Heragu, 1987). Figure 1은 전형적인 Spine Layout의 형태를 설명하고 있다.

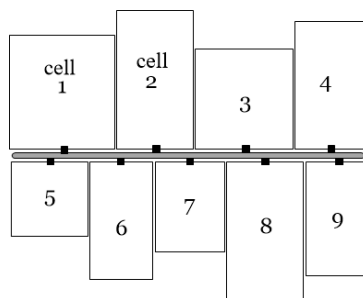


Figure 1. Spine Layout

이러한 스파인 배치(Spine layout)는 해당 공간을 중앙물류시스템을 중심으로 위아래로 양분하는 이중열

논문접수일 : 2020.10.23.

심사완료일 : 2020.10.28.

게재확정일 : 2021.01.25.

* jchae@kau.ac.kr

배치와 매우 유사하고 특별히 베이(Bay) 형태를 갖춘 스판 배치의 최근의 반도체 제조 공장에서 사용되기도 한다.(Cardarelli and Pelagagge, 1995; Peters and Yang, 1997; Montoya-Torres, 2006; Kim et al., 2009) Figure 1에서 설명하고 있는 셀(Cell)의 형태는 이미 사각형의 형태가 정해져 있어서 가로 및 세로의 길이를 알고 있는 경우에 해당 한다. 물류이송은 중앙에 설치되어 있는 물류이송시스템을 이용하게 되므로 사실상 셀(Cell)의 높이는 이중열 배치에 있어서 고려대상이 아니다. 따라서 다음의 Figure 2와 같이 간략화 할 수 있다.

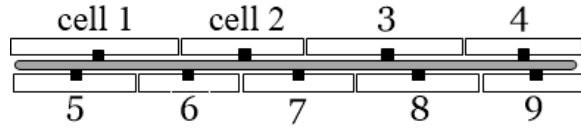


Figure 2. Double Row Layout

위의 Figure 2 에서는 각 셀의 높이는 고려하지 않고 가로(x)축 방향만 고려하여 배치를 하게 된다. 이 때 각 셀의 물류접점 (P/D point : Pick-up/Drop-off Point)은 각 셀의 중점이 되고 이 점을 통해 각 셀내 부로의 물류흐름이 가능하다는 가정을 하게 된다. 이러한 이중열 배치에서는 중앙물류시스템의 구성에 따라 그 배치형태가 달라질 수 있는데 이 연구에서는 단방향의 자동물류시스템이 중앙에 위치해 있을 때를 가정하게 되고 이에 대한 형태는 Figure 3에 나타난 바와 같다.

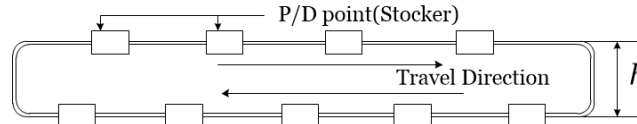


Figure 3. Unidirectional Central Material Handling System

이러한 형태를 사용하는 최근의 반도체 제조 공장에서는 중앙의 물류운송 시스템은 천장에 설치된 모노레일의 경로를 따라 움직이도록 하고 각 셀의 물류접점은 스톡커(Stocker)를 이용하는 경우를 들 수 있는데 (Ben-Salem, et al., 2017; Kim et al., 2016) 이 연구에서의 모델로 이를 가정하게 된다. 즉 각 셀의 물류접점은 스톡커의 위치와 같고 이는 각 셀의 폭의 중심에 있다고 가정한다.

2. 혼합 정수 모델 (Mixed Integer Programming Model)

이 모델의 목적함수는 각 셀간 이동하는 물류이송거리가 최소화 되게 하는 것이다. 따라서 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} d_{ij}, \quad \forall i, j \quad (1)$$

이때 f_{ij} 는 셀 i 와 j 의 이동량을 나타내고 d_{ij} 는 셀 i 와 j 의 거리를 나타낸다. 따라서 목적함수 식은 이 물류시스템을 통한 총 이동거리를 나타내고 있다. 셀 i 의 중점을 x_i 라 할 때 거리 d_{ij} 는 아래와 같다.

$$d_{ij} = x_j - x_i \quad (2)$$

단 셀 i 와 j 가 함께 중앙물류시스템의 위에 위치할 경우 셀 i 는 셀 j 의 왼쪽에 위치하며 물류흐름은 Figure 3 에서와 같이 시계방향일 경우 성립한다. 만일 셀 i 와 j 가 함께 중앙물류시스템의 위에 위치하고 셀 i 가 셀 j 의 오른쪽에 위치할 경우 d_{ij} 는 아래와 같다.

$$d_{ij} = 2(w + h) - (x_i - x_j) \quad (3)$$

이때 w 와 h 는 중앙 물류시스템의 폭과 높이이다.

이와 같이 단방향 흐름의 중앙물류시스템을 이용할 경우 각 셀의 상대적인 위치에 따라 그 거리 계산이 달라지기 때문에 각 경우에 대한 제약식을 모두 포함해야 한다.

각 셀의 상대적 위치를 나타내기 위해 이항변수를 도입하여 표현이 가능하다.

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{1 셀 } i \text{ 가 셀 } j \text{ 의 왼쪽에 위치할 경우} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{1 셀 } i \text{ 가 셀 } j \text{ 의 위에 위치할 경우} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

$$\gamma_i = \begin{cases} 1 & \text{1 셀 } i \text{ 가 중앙물류시스템 위에 위치할 경우} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

위의 두 이항변수의 조합으로 각 경우를 나타낼 수 있다.

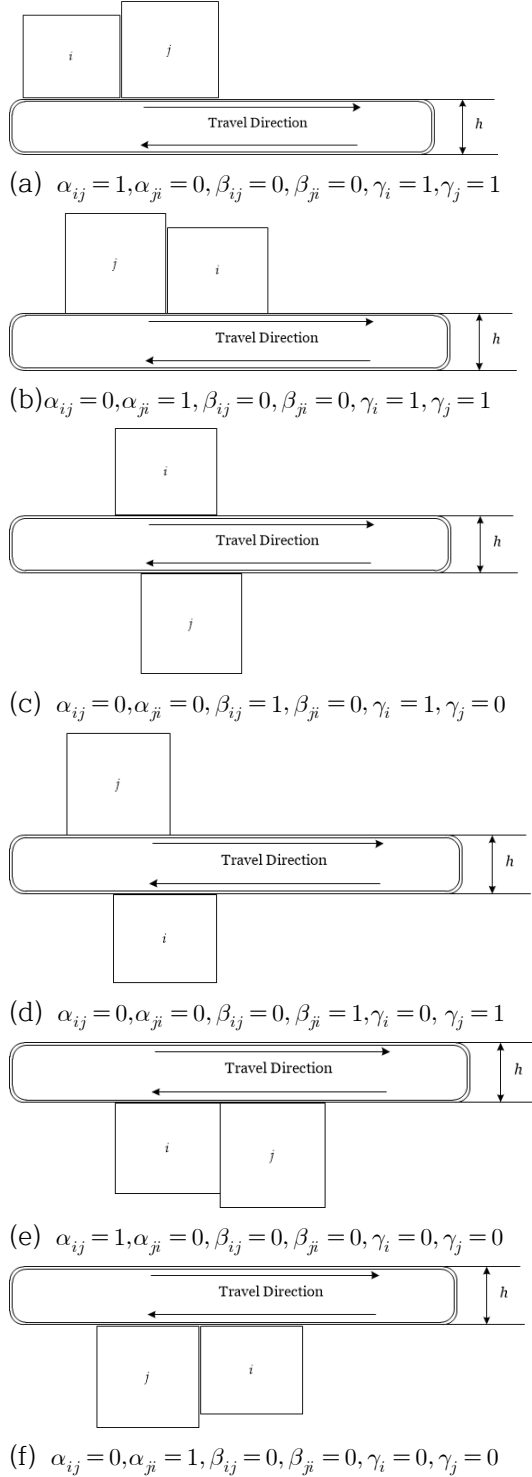


Figure 4. Relative position of cells

Figure 4의 (a)의 경우 $d_{ij} = x_j - x_i$, (b)의 경우 $d_{ij} = 2(w+h) - (x_i - x_j)$ 로 표현 할 수 있다. 그리고 나머지 (c),(d),(e), 그리고 (f)의 경우 각각 $d_{ij} = 2w+h - (x_i + x_j)$, $d_{ij} = x_i + x_j + h$, $d_{ij} = 2(w+h) - (x_j - x_i)$, 그리고 $d_{ij} = x_i - x_j$ 로 그 셀 간의 거리를 측정할 수 있다.

위에서 언급한 조건을 조합하여 제약식을 만들면 다음과 같다

$$d_{ij} \geq x_j - x_i - M(1 - \alpha_{ij}) - M(2 - \gamma_i - \gamma_j), \forall i, j \quad (4)$$

$$d_{ij} \geq x_j - x_i + 2(w+h) - M(1 - \alpha_{ji}) - M(2 - \gamma_i - \gamma_j), \forall i, j \quad (5)$$

$$d_{ij} \geq -(x_i + x_j) + 2w+h - M(1 - \beta_{ij}) - M(1 - \gamma_i + \gamma_j), \forall i, j \quad (6)$$

$$d_{ij} \geq (x_i + x_j) + h - M(1 - \beta_{ji}) - M(1 + \gamma_i - \gamma_j), \forall i, j \quad (7)$$

$$d_{ij} \geq x_i - x_j + 2(w+h) - M(1 - \alpha_{ij}) - M(\gamma_i + \gamma_j), \forall i, j \quad (8)$$

$$d_{ij} \geq x_i - x_j - M(1 - \alpha_{ji}) - M(\gamma_i + \gamma_j), \forall i, j \quad (9)$$

$$\alpha_{ij} + \alpha_{ji} + \beta_{ij} + \beta_{ji} = 1, \forall i, j \quad (10)$$

$$x_i + \frac{l_i}{2} \leq x_j - \frac{l_j}{2} + M(1 - \alpha_{ij}), \forall i, j \quad (11)$$

$$x_j + \frac{l_j}{2} \leq x_i - \frac{l_i}{2} + M(1 - \alpha_{ji}), \forall i, j \quad (12)$$

$$\frac{l_i}{2} \leq x_i, \forall i \quad (13)$$

$$W - \frac{l_i}{2} \geq x_i, \forall i \quad (14)$$

이때, l_i 는 셀 i 의 폭을 의미하며 W 는 전체 시스템의 가용 길이를 의미한다.

현재의 모델은 각 셀의 상하좌우의 상대적인 위치를 나타내는 이항변수를 도입을 해서 나타내기는 하였으나 이 이항변수들간의 관계를 규정함으로써 이 모델이 실질적인 풀이를 하도록 하는 것이 중요하다. 따라서 상대위치를 나타내는 이항변수들간의 제약을 모델에 포함할 필요가 있다. 먼저 각 셀의 베이에서의 상대위치, 상충부 하충부를 구분하는 γ_i, γ_j 와 α_{ij} 의 관계를 Chae and Regan(2020)에서 다음과 같이 정의했다.

Proposition 1. γ_i, γ_j 과 $(\alpha_{ij} + \alpha_{ji})$ 의 값은 <Table 1>에서 정리된 것과 같이 NXOR (Not-Exclusive OR)의 논리적 관계를 유지한다(Chae and Regan, 2020).

Table 1. NXOR relationship

γ_i	γ_j	$(\alpha_{ij} + \alpha_{ji})$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

따라서 위의 정리는 아래의 제약조건을 구성하게 된다.

$$\alpha_{ij} + \alpha_{ji} \geq 1 - \gamma_i + \gamma_j, \quad \forall i < j \quad (15)$$

$$\alpha_{ij} + \alpha_{ji} \leq 1 - \gamma_i + \gamma_j, \quad \forall i < j \quad (16)$$

$$\alpha_{ij} + \alpha_{ji} \leq 1 + \gamma_i - \gamma_j, \quad \forall i < j \quad (17)$$

$$\alpha_{ij} + \alpha_{ji} \geq -1 + \gamma_i + \gamma_j, \quad \forall i < j \quad (18)$$

β_{ij} 와 γ_i 의 경우 두 이항변수 모두 상하관계를 나타내는 것으로 하나의 표현이 다른 하나의 표현과 어긋나지 않도록 하는 것이 중요 하다. 예를 들어 $\beta_{ij} = 1$ 의 조건이 주어 진다면 i 는 j 보다 상대적으로 위쪽에 위치 하므로 $\gamma_i = 1, \gamma_j = 0$ 의 조건을 만족 해야 한다. 즉 $\beta_{ij} \leq \gamma_i$ 의 조건을 만족하고 이는 모든 i, j 에 적용된다.

3. 결과

실험을 위해 잘 알려진 DRLP 문제를 Hungerländer and Anjos(2012)로부터 가져와서 실험하였다. 5개의 셀로부터 15개의 셀을 포함하는 모두 11개의 문제를 풀되 기본적으로 알려져 있는 양방향 물류이동이 가능한 경우의 최적해와 비교 하였다. 이는 단방향의 이동제한으로 늘어나는 물류이송장비 또는 물류자체의 증가 경향에 대한 분석을 위함이다. 실험은 인텔 제온 E-2136 CPU와 32MB의 RAM의 윈도우 Workstation에서 IBM CPLEX 12.10을 사용해서 실험하였다.

추가적으로 단방향 이송을 가정하기위해 제약조건을 포함했는데 이는 중심부의 자동물류이송장치의 길이를 그 문제 크기에 맞게 제한해야 적절히 실질적 이동 거리를 구할 수 있기 때문이다. 또한 실험의 제약 조건중에 자동이동장치의 베이영역의 이동, 즉 세로 이동 (h)은 없는 것으로 가정했다. 이는 양방향 이동에서의 거리와 직접적인 비교를 위해 수평이동의 증가분 만을 분석 대상으로 삼기 위함이다.

Table 2. Result comparison

Instances		Bidirectional	Unidirectional
Name	N		
HA5	5	52.5	732.0
HA6	6	190.5	1764.0
HA7	7	159.0	2093.0
HA8	8	189.5	2604.0
HA9	9	486.5	4655.0
HA10	10	821.0	7518.0
HA11	11	773.5	8301.5
HA12	12	1021.0	10807.5
HA13	13	1520.5	14526.0
HA14	14	1833.5	19354.0
HA15	15	2624.5	27588.0

<Table 2>는 실험을 통해 얻은 결과와 이전에 양방향 이동이 가능한 가정하에 얻는 결과(Amaral, 2013; Secchin and Amaral, 2019, Chae and Regan, 2020)와 비교를 하였다. 표면적으로는 매우 크게 증가하는 것으로 보이지만 단방향이기때 셀 i 에서 셀 j 로 이동한 거리와 반대로 셀 j 에서 셀 i 로 이동한 거리가 다르게 계산되기 때문에 이전의 양방향 이동에서처럼 한쪽으로 이동하는 거리만 계산하는 방법으로는 적절한 계산이 되지 않아서 모든 경우에 대해 이동거리를 모두 합산하였다. 따라서 현재는 약 10배의 거리 차이가 보이지만 실질적으로는 평균적으로 약 5배의 거리차가 난다고 볼 수 있다.

이러한 차이는 순수하게 단방향 이기 때문에 생기는 차이도 있지만 문제의 특성상 일정 범위 이상 벗어나지 못하도록 외곽의 제한을 매우 엄격하게 유지 하는데도 영향이 있다. 이는 외곽 제한이 더 많은 경우의 배치 형태를 만들 수 있는 기회를 충분히 제공하지 못하게 하기 때문에 생기는 영향으로 볼 수 있다. <Figure 5> 에서도 볼 수 있듯이 배치하고자 하는 셀은 정해진 공간을 벗어나지 않고 양분된 공간에 배치가 되도록 제약을 두었다. 이는 이 공간이 유동적으로 변하게 되면 단방향으로 구성된 중앙 자동 물류시스템을 통한 물류이동의 거리가 이 외곽의 증가로 함께 증가하는 것을 막기 위해서 인데 이러한 제약이 움직일 수 있는 자유도 또한 제약을 하여 전체적으로 물류 이송 거리를 감소시킬 수 없는 요소로 작용하고 있다.

7	1			2	
8	4	6	3	5	

Figure 5 HA8 Result (OFV = 2604)

4. 결론

이 연구의 목적은 이항변수의 조합으로 단방향의 중앙물류시스템을 운영하는 시설에서의 배치최적화를 가능하도록 하는 수리모형을 제안하고 더 구체적인 모델로의 발전을 위한 기본 틀을 제공하는데 있다. 현재의 모형 자체는 기본적인 단방향 물류 흐름을 가정하지만 이후에 추가적으로 Shortcut과 같이 단방향으로 인해 소모적인 이동을 할 때 유용하게 그 거리를 줄이는 요소를 포함하는 모델이 연구되면 실질적인 활용성이 더 높아질 것으로 기대된다. 또한 결과에서 나타났듯이 배치 가능공간의 제약에 따라 유동성이라는 요소와 물류이송거리 최소화 라는 요소가 상충하여 효과적인 효율적인 배치 디자인 위해서는 단방향 물류 이송 장비의 길이를 함께 최소화 하는 방법에 대한 연구도 매우 필요하다고 할 수 있다.

참고문헌

- Amaral, A. R. (2013). Optimal solutions for the double row layout problem. *Optimization Letters*, 7(2), 407-413.
- Ben-Salem, A., Yugma, C., Troncet, E. and Pinaton, J.(2017), A simulation-based approach for an effective AMHS design in a legacy semiconductor manufacturing facility, in 2017 Winter Simulation Conference (WSC), 3600-3611.
- Cardarelli, E. and Pelagagge, P. M.(1995), Simulation tool for design and management optimization of automated interbay material handling and storage systems for large wafer fab, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 8(1), 44-49
- Chae, J., & Regan, A. C. (2020). A mixed integer programming model for a double row layout problem. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106244.
- Hungerländer, P., & Anjos, M. F. (2012). A semidefinite optimization approach to space-free multi-row facility layout. *Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions*.
- Kim, B. I., Jeong, S., Shin, J., Koo, J., Chae, J. and Lee, S.(2009), A layout- and data-driven generic simulation model for semiconductor fabs, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 22(2), 225-231
- Kim, J., Yu, G. and Jang, Y. J.(2016), Semiconductor FAB layout design analysis with 300-mm FAB data: 'Is minimum distance-based layout design best for semiconductor FAB design?,' *Computers and Industrial Engineering*, 99, 330-346
- Kusiak, A. and Heragu, S. S.(1987), The facility layout problem, *European Journal of Operational Research*, 29, 229-251
- Langevin, A. Montreuil, B. and Riopel, D.(1994), Spine layout design, *International Journal of Production Research*, 32(2), 429-442.
- Montoya-Torres, J. R.(2006), A literature survey on the design approaches and operational issues of automated wafer-transport systems for wafer fabs, *Production. Planning and. Control*, 17(7), 648-663
- Peters, B. A. and Yang, T.(1997), Integrated facility layout and material handling system design in semiconductor fabrication facilities, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 10(3), 360-369
- Secchin, L. D., & Amaral, A. R. (2019). An improved mixed-integer programming model for the double row layout of facilities. *Optimization Letters*, 13(1), 193-199.

Post COVID-19에 대응하는 디지털 라스트마일 운송계획 제안

임승찬^{1*}, 박진희¹

¹한국해양대학교 물류시스템공학과

Proposal of Digital Last-mile Transportation Plan in Response to Post COVID-19

Seungchan Lim^{1*}, Jinhee Park¹

¹Engineering of Logistics Department, Korea Maritime and Ocean University

The advent of the COVID-19 crisis is driving the logistics industry and social environment to change into the new paradigm. As social distancing becomes our normal daily life in the COVID-19 era, online shopping transactions have soared year-on-year, and further expansion of e-commerce activities is highly predicted. Despite the high demand in the e-commerce market, logistic companies have been unable to provide flexible last-mile services owing to excessive competition and the domination of the last-mile market by some of major companies. This study aims to improve the quality of last-mile services in terms of urban living logistics and seek solution to the hollowing-out of logistics by balancing competition and collaboration among logistic service providers.

This research proposes to contribute to the development of transportation logistics in the Post COVID-19 era by utilizing the digital last-mile operation plan of the unmanned transport system based on 'Smart Mobility' and 'Shared Platform'.

Keywords: Post COVID-19, Social distancing, Last-mile, Smart Mobility, Shared Platform

1. 서론

세계보건기구(WHO)는 지난 3월 11일 COVID-19를 팬데믹(Pandemic)으로 공식 선언하였다. WHO에 따르면 2020년 9월 17일 기준으로 93만 1,321명의 사망자를 포함해 2,944만 4,198명의 COVID-19 확진 환자가 전 세계에서 발생하였다. COVID-19 여파로 인하여 사회는 보건 문제와 경제 문제로 인한 불확실성이 증대하고 있다. 이러한 COVID-19 위기에 언택트(untact) 혁신 선도를 위해 사회와 경제의 패러다임은 디지털화로 전환되고 있다.

논문접수일 : 2020.10.16.

심사완료일 : 2020.10.28.

게재확정일 : 2021.01.25.

* 교신저자 : seungchan123@gmail.com

‘사회적 거리두기’ 확산으로 대면 접촉을 피하고자 소비자들은 정보통신 및 스마트폰을 이용한 디지털 형태의 비대면 소비인 언택트 소비 이용이 일상화되고 있다. 통계청에 따르면 COVID-19 확산 이후인 2020년 3월 온라인 쇼핑 거래액은 전년 동월대비 11.8% 증가한 12조 5,825억 원이며, 2020년 6월은 전년 동월 대비 19.5% 증가한 12조 6,711억 원을 기록하였다.

이처럼 비대면 수요 증가로 인하여 온라인 쇼핑 거래액은 전년 대비 급증하였고, 언택트 사회가 Post COVID-19 시대에 지속해서 자리 잡을 것으로 향후 전자상거래 비즈니스의 규모가 크게 확대될 것으로 전망되고 있다. 하지만, 온라인 소비가 급증하면서 택배 물동량의 수요는 높아진 가운데, 기업 간 과다 경쟁 및 우량 기업의 독식으로 인하여 물류·유통업체는 유연한 라스트마일(Last-mile) 서비스를 제공하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Post COVID-19 시대는 배타적인 라스트마일 운영이 아닌 공유의 경제를 추구하는 중립적인 라스트마일 시스템이 필요한 시기라 할 수 있다.

본 연구는 라스트마일의 비효율성 완화와 Post COVID-19 코로나 시대 대응을 위한 디지털을 기반으로 한 라스트마일의 운송계획을 제안하고자 하였다. 즉, 기존 전통적인 라스트마일 운송체계를 변형하고, Post COVID-19 시대에 부합하는 언택트 유망 기술인 ICT 기술을 이용한 플랫폼과 스마트 모빌리티(Smart mobility)를 활용한 디지털 라스트마일 무인 운송체계 및 운영 방안 계획을 제안하였다. 도시와 생활물류 측면에서 물류 서비스 품질을 개선하고 서비스 관련 주체들 간의 네트워크 구축을 통해 물류 공동화를 확보하여 미래 교통물류 발전에 이바지하는 데 목적을 두고 있다.

COVID-19은 2019년 12월에 처음 시작된 바 본 연구의 시간적 범위는 2020년 자료를 기반으로 연구를 진행했으며, 2020년 자료 구득이 어려운 자료는 가장 최근 연도의 자료를 활용해 연구를 수행하였다. 국내 택배 비중이 가장 높은 CJ대한통운과 메쉬코리아(Mesh Korea)의 전략적 제휴를 대표사례로 운영 중인 운영시스템을 평가하고, 미래의 스마트 모빌리티의 기능을 추가한 운송체계 및 단계별 운영 로드맵을 제시하였다. 이를 위해 주로 이용한 방법은 국내 문헌과 통계자료, 특히 대상기업의 내부자료를 주로 활용하여 개념화해 제시하였다.

2. COVID-19가 미친 물류적 영향

2.1 COVID-19가 미친 사회/도시적 영향

(1) 사회에 미친 영향

COVID-19의 축진으로 인한 경제·사회의 변화가 화두가 되고 있다. COVID-19는 사회인들의 활동을 멈추게 하고 국내 경제를 역성장시켰기 때문이다. 특히, 상승하던 국내 경제심리지수가 COVID-19 유입으로 인해 하락 추세로 변동되었다는 것으로 연구했다(Park et al., 2020). <Figure 1>와 같이 한국은행이 제시한 경제심리지수는 2020년 1월에는 2019년에 이어 지속적인 성장을 통해 95.7%를 기록하여 올해 최고점에 도달하였지만, COVID-19가 본격적으로 국내 확산이 시작된 2020년 2월의 경제심리지수는 87.2%로 하락 추세가 시작되어 2020년 4월에는 55.7%로 가장 큰 폭으로 감소하였다. 정부의 경제적 소비 권장 및 비대면 산업 발전으로 2020년 8월 79.7%로 성장하였지만, 수도권 도심 내 대규모 집단 재 확산으로 2020년 9월 73.2%로 하락 반전되었다. 이를 통해 볼 때 COVID-19 확산으로 인해 사회인들의 경제 심리가 변칙적으로 변동되며, 사회의 불확실성은 지속해서 증대하고 있다. 정부는 COVID-19 경제위기에 대응하기 위한 지원 방안을 마련할 필요가 있다.

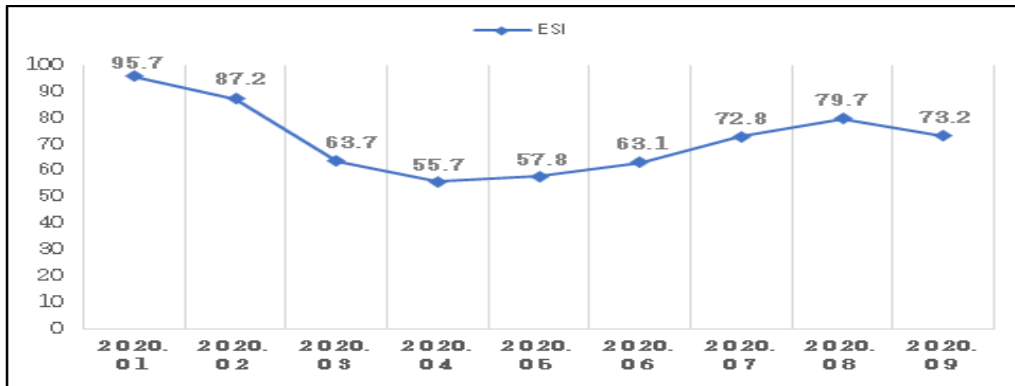


Figure 1. Economic sentiment index in Korea

사람 간의 접촉으로 인한 감염을 방지하기 위한 ‘사회적 거리두기’가 언택트 사회의 도래를 촉진하였다. ‘사회적 거리두기’ 확산에 따라 외출 횟수를 감소하였고 실내에서 머무는 시간이 증가하다 보니 전자상거래를 통해 상품과 서비스를 비대면으로 소비하는 비중이 기하급수적으로 증가하였다(Bae and Shin, 2020). 다중이용 시설의 기피 및 전염병 감염에 대한 불안감으로 인해 소비자는 주요 오프라인 업체의 방문을 꺼려 기업의 매출이 위축되는 반면 온라인으로 이용하는 비대면 소비는 증가 추세이다. <Table 1>는 산업통상자원부에서 조사한 2020년 국내 주요 유통업체의 전년 동월대비 월별 매출 증감률이다. COVID-19가 국내에 본격적으로 대유행을 시작한 2월(7.5% 감소)부터 5월(6.1% 감소)까지 오프라인 유통업체의 작년 대비 월별 매출 증감률이 기하급수적으로 감소하였다. 반면, 유통의 디지털화로 인하여 온라인 유통업체의 매출 증가세는 급격히 증가하고 있다. 이를 통해 국내 온라인 유통업체와 택배 같은 도심 물류수요가 증가하고 언택트 소비가 현대 사회에 일상화되고 있다는 것을 알 수 있다. 오프라인 상권은 지속해서 저성장으로 들어갈 것이고, 오프라인 유통업체는 온라인 사업으로 전환이나 확대될 것으로 전망된다.

Table 1. Comparison of the percentage change in the year on year sales of primary retailers in 2020

(unit: %)

Section	2020				
	January	February	March	April	May
Total	6.6	9.1	-3.3	3.9	2.0
Offline	4.1	-7.5	-17.6	-5.5	-6.1
Online	10.2	34.3	16.9	16.9	13.5

(2) 도시환경에 미친 영향

뉴노멀 시대에 도입하면서 도시환경의 패러다임은 디지털화되고 있다. 정부는 COVID-19 확산으로 인한 경제적인 부담, 일자리 감소, 미래의 불확실성 등과 같은 문제점을 완화하고자 한국판 뉴딜 정책을 발표하였다. 한국판 뉴딜 정책은 고용 안정화와 소비시장 활성화를 기반으로 COVID-19에 적극적으로 대응하기 위한 선도국가로 도약하기 위해 마련된 국가 발전전략이다.

디지털 뉴딜정책은 데이터, 네트워크, 인공지능을 포괄한 D.N.A 생태계 강화, 비대면 산업육성, 교육 인프라 디지털화 등과 같은 디지털 분야에 투자를 시작하고 있다. 따라서 이러한 뉴딜 정책과 디지털 전환 가속화로 인하여 ICT 기술을 융합한 도시 인프라 시스템을 기반으로 한 스마트시티의 발전이 크게 대두되고 있다. COVID-19 상황에 대응하기 위해 국토교통부는 스마트시티 데이터 허브를 통해서 보건복지부와 함께 역학조사 지원시스템을 구축하였다. 빅 데이터를 기반으로 한 스마트시티 관리 기술을 활용해서 확진자의 동선 파악 및 밀접 접촉자 분류를 통해서 스마트(smart) 감염병 감시체계를 확립할 수 있었다. 이처럼 도시환경은 디지털 패러다임으로 전환되고 있고, 정부는 COVID-19 확산에 대응하기 위해 제도 개편 및 경제 활성화에 노력하고 있다.

2.2 COVID-19가 미친 교통물류 산업의 영향

(1) 교통물류 산업에 미친 영향

COVID-19 확산에 따라 ‘사회적 거리두기’가 뉴노멀(New normal)이 되어 교통물류 산업은 기존의 산업과 확연히 다른 양상을 나타내고 있다. 전염병 감염에 대한 불안감으로 인하여 시외·시내버스, 도시철도, 항공기 등과 같은 대중교통 이용률은 지속해서 감소하였지만, 집단감염을 예방하기 위한 국내 도보 및 개인 교통 이용률은 증가하였다. 따라서, 도시 내 택배와 이륜차 위주의 물동량, 개인 승용차 통행량은 급증해 교통 혼잡이 가중되고 이로 인한 도심 내 주차난은 여전하다. 이러한 문제점을 완화하기 위해 교통물류 산업에서 4차 산업 혁명 기술을 이용한 스마트한 교통수단 선택의 필요성이 높아지고, 교통물류 산업에 자율주행차, 전기차, 마이크로 모빌리티(Micro-mobility) 등과 같은 새로운 모빌리티 시장이 빠르게 촉진되고 있다. 따라서 정부는 이러한 미래형 모빌리티가 교통물류 산업에 신속하게 부합할 수 있게 미래형 신사업 육성 및 교통 인프라 확충을 위해 노력할 필요가 있다.

(2) 생활물류 환경에 미친 영향

1인 가구와 비대면 소비 증가로 인하여 택배 서비스 및 배달 플랫폼을 기반으로 한 배달대행업에 대한 생활밀착형 물류 서비스의 수요가 급증하였다. 물류·유통업체는 비용 절감을 통한 경쟁력을 확보하는 것을 넘어 소비자의 세부적인 요구를 위한 쿠팡 로켓배송, 새벽 배송, 신선식품 배송 등과 같은 다양한 생활물류 서비스를 통해 경쟁적 우위를 취하고 있다. 즉, 이제 유통과 물류의 산업 구분은 무의미해지고 소비자가 요구하는 시간과 장소에서 서비스를 제공하는 산업을 추구하는 추세이다. 따라서 생활물류 서비스의 질을 향상하기 위해 기술 개발과 디지털 혁신을 활용하여 도시 배송 효율성을 제고시키고, 다양한 이해관계자와 정보 공유 및 수집을 통해 새로운 물류 체계를 구축해 나가야 할 것이다.

(3) 뉴노멀 시대의 물류 이슈

언택트 시대에 도입하면서 전자상거래 플랫폼은 중추적인 구매 수단으로 급부상하였다. 디지털 기기에 익숙하지 않았던 중년·노년층 세대인 50·60세대로 온라인 소비에 새로운 이용자로 유입되었다. 따라서, COVID-19 장기화로 인한 전반적인 경제 침체가 진행되는데도 불구하고 언택트 소비문화 확산으로 인하여 온라인 플랫폼 시장은 더욱더 확대되면서 온라인에서 구매 가능한 품목들이 더 다양해졌다. 과거에 주로 오프라인에서 소비되던 신선식품, 생활용품, 등과 같은 제품군이 온라인 시장으로 더 큰 폭으로 이동되는 추세이다. 소비자들은 사람들 간 접촉과 교류가 줄어들며 따라 매장 방문을 꺼리고, 결제의 간편함과 ‘사회적 거리두기’로 인한 이동 제한 조치로 인하여 온라인에서 다양한 제품을 구매하고 있다.

3. 디지털 라스트마일의 특징 및 전망

3.1 라스트마일의 특징 및 전망

(1) 라스트마일의 개념

뉴노멀 시대에 도입하면서 물류·유통 업계에서 과거 어느 때보다 라스트마일 배송이 주목받고 있다. 본래 라스트마일이란 ‘범죄를 저지른 사형수가 사형집행이 이루어지는 장소까지 걸어가는 길’을 의미한다. 이러한 어원이 물류·유통 업계에서 파생되어 배달과 전달을 의미인 ‘delivery’를 포함하여 ‘여러 배송 단계 중 소비자를 최종적으로 만나는 마지막 배송’을 의미한다. 따라서 물류·유통업체는 라스트마일 delivery 단계에서 최종 소비자의 까다로운 요구를 충족시켜야 하는 방식으로 제품을 유연하게 공급하기 위하여 배송 리드타임 감축 및 서비스 품질을 높이는 것이 중요한 단계이다.

(2) 라스트마일의 특징

전자상거래 수요 증가와 물류산업의 변화로 소비자가 요구하는 라스트마일 서비스는 더욱더 다양해지고

고도화되고 있다. 이에 대응하기 위해 물류·유통업체는 소비자에게 단순히 물품 전달을 넘어서 새로운 부가가치까지 전달하기 위해 노력하고 있다.

소비자는 맞춤형 배송과 빠른 배송을 요구하기 때문에 물류·유통업체는 신속한 배송 이행뿐만 아니라 차후 서비스를 위한 데이터 축적에도 노력하고 있다. 이렇게 축적된 데이터를 기반으로 물류·유통업체는 소비자의 니즈를 분석하여 변화하고 있는 환경에 대응하고 소비자 맞춤형 서비스를 제시한다. 가령, 전자상거래 업체는 플랫폼을 통해서 소비자의 데이터를 축적하며 맞춤형 배송 정보 및 차량 배차 정보를 제공한다. 이를 기반으로 업체는 배송 형태 및 목적지의 인구밀도에 따라 소비자에게 맞는 운송수단과 새벽 배송, 익일 배송, 온디맨드(On-Demand) 서비스, 맞춤 포장 가능한 O2O(Online to Offline) 서비스 등과 같은 소비자 맞춤형 서비스를 제공한다. 따라서 이러한 소비자의 데이터는 다양하고 차별화된 라스트마일 서비스를 갖추는데 핵심적인 경쟁 요소가 된다.

기업은 기업 간의 치열한 경쟁의 완화와 비교 우위를 확보하기 위해 자체적으로 물류 시스템을 구축한다(Park, 2017). 이렇듯 현재 물류·유통업체는 물류 시장에서 자체 물류 생태계를 구축함으로써 라스트마일의 효율성을 확보하여 차별화된 서비스를 제공하고 있다. 대표적인 사례로는 온라인 물류 기업인 아마존(Amazon)이 있다. 아마존은 기존 물류 유통업체의 전통적인 운영 방식인 소품종 대량생산 방식으로는 전자상거래 수요 증가로 인해 재고관리와 불규칙성을 감당할 수 없다고 판단하였다. 따라서 ICT 기술을 기반으로 한 물류 신기술을 활용하여 '풀필먼트 바이 아마존(Fulfillment By Amazon)'을 구축함으로써 중간 유통 과정을 생략하여 소비자에게 신속한 주문 이행을 하고 공급망을 재편해서 공급 채널의 전반에 가시성을 확보하고 있다. 이러한 서비스를 통해 소비자들은 실제 제품 판매자보다 온라인 마켓 플레이스를 제공하는 플랫폼 아마존을 더 신뢰하게 된다. 따라서 아마존은 자체 시스템인 풀필먼트 서비스를 통해 라스트마일에 신속하게 대응할 수 있어 매출을 증가시키고 지속해서 비용을 절감될 것으로 기대된다.

(3) 라스트마일 전망

전반적인 온디맨드 시장 성장으로 소비자는 라스트마일의 다양한 서비스를 기존보다 더 요구하게 될 것으로 전망된다. 따라서 물류·유통업체는 소비자가 주문한 물품이 최종 목적지까지 정확하고 안전하게 전달되는 완성도 높은 서비스를 구현해야 할 것이다. 기존 물류 유통업체뿐만 아니라 스타트업을 포함한 이종산업은 물류 산업에 진출하여 물류 시장은 더욱 다변화될 전망이다. 소비자의 소비패턴 변화와 IT 기술 발전으로 인하여 물류 산업은 타 산업과 융합되고 있다. 따라서 라스트마일 시장에서 배송 서비스 경쟁은 더욱 더 심화될 것이고, 기업은 물류 산업에 미래 기반의 유망 기술을 이용하여 부가가치를 극대화하는 라스트마일 시스템을 구축해야 할 것이다. 이러한 경쟁 완화 및 라스트마일 효율성을 확보하기 위해 기업 간 전략적 제휴 및 네트워크 구축의 중요성은 더욱 증가할 것으로 전망된다.

3.2 디지털화의 물류 응용 전망

전 세계를 강타한 팬데믹 상황으로 인하여 물류 산업은 물류 신기술을 기반으로 한 새로운 패러다임으로 급격하게 발전하고 있다. <Figure 2>는 2020년 DHL에서 발간한 'Logistics Trend Radar 5th edition'에서 개제된 기술 동향과 사회 및 비즈니스 동향을 기반으로 한 물류에 대한 영향력 및 시기를 나눈 개념도이다. 이 보고서에 따르면 Big Data Analytics, Robotics & Automation, IoT 등 같은 ICT 기술은 물류 산업에서 영향력이 가장 높고, 5년 이내 영향력 있는 기술로 전망되고 있다. 즉, 이러한 ICT 기술은 가까운 시간 내에 물류 생태계에 보편화될 것으로 고려된다. 자율주행 자동차와 AI 또한 물류 산업에 영향력은 높고 장기적인 영향력을 줄 유망 물류기술로 전망된다. 물류 측면에서 AI는 데이터를 기반으로 정교한 예측과 인식 능력으로 공급체인을 향상할 것이고, 자율주행 시스템은 라스트마일 산업에 트럭에서 로봇으로 전화되어 향상된 안전성과 효율성을 제공할 것으로 물류의 장기적인 트렌드를 이끌 것으로 예상된다. 따라서 물류 기업들은 이러한 미래 물류기술을 기반으로 새로운 비즈니스 모델 영역을 확대하여 급변하는 환경 속에서 새로운 가치를 창출하기 위해 응용할 것으로 전망된다.

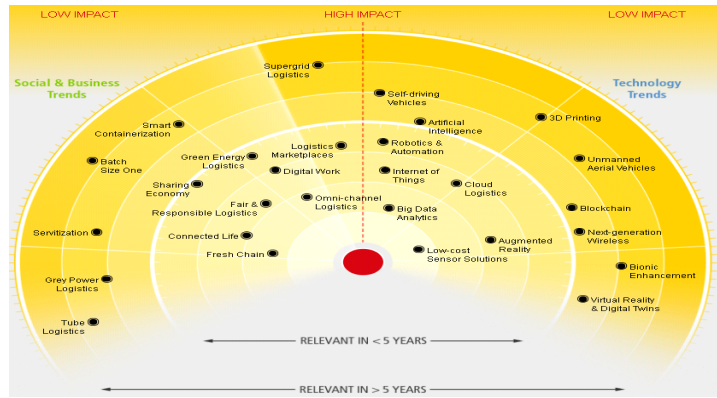


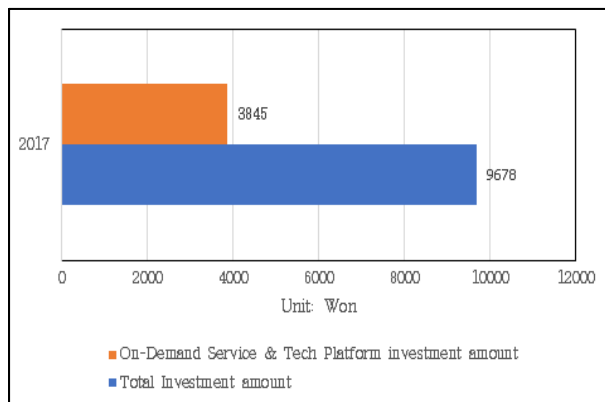
Figure 2. DHL Logistics Trend Radar

산업이 급속도로 발전에 따라 정보통신(ICT) 및 인공지능(AI) 기술을 융합한 미래형 모빌리티는 주목받고 있다. 과거에는 산업 측면에서 다양한 ICT 업계가 기존 모빌리티 산업 분야에 진출하기 까다로웠지만, 산업 장벽의 붕괴와 혁신 및 서비스 확대에 따라 빅 데이터, IoT, 블록체인 등과 같은 첨단 ICT 기술을 기반으로 물류 정보를 디지털화하여 기업은 소비자의 수요를 정확히 예측 및 분석할 수 있는 새로운 비즈니스 모델을 구축하였다. ICT 기반으로 한 미래 자율주행 모빌리티는 자동차 시장에 국한되지 않고 물류 시장까지 진입하고 있다. 가령, DHL은 운전자 고령화 및 물동량 증가에 대한 문제점을 완화하기 위해 세계 최대 자동차 부품 제조 회사인 ZF와 파트너십을 맺고 물류 산업에 자율주행 운송 시스템을 도입할 예정이다. 이러한 자율주행 모빌리티 도입은 빅 데이터와 기타 첨단 ICT 기술로 수집한 방대한 정보를 활용하여 도로의 변수에 대응해서 교통사고율을 현저히 경감시킬 수 있어 운송의 안전성을 확보할 수 있다. 또한, 완전 자율주행이 가능할 시 24시간 자율주행 모빌리티 이용이 가능해 운송 리드타임의 감소 및 노동자의 근로 환경을 개선하여 운송 효율을 극대화할 수 있다. 이러한 자율주행 모빌리티 기반으로 한 무인 운송체계는 물류 측면에서 효율적이므로 기업은 지속적인 투자 및 개발에 집중할 것으로 보인다.

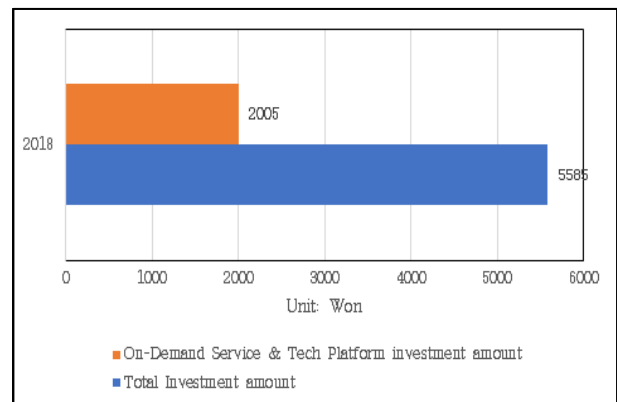
3.3 디지털 라스트마일의 전망

제품 정보를 쉽게 접근할 수 있는 매체가 다양해짐으로써 소비자들은 점점 ‘스마트(smart)’ 해지고 있다. 스마트폰, TV, 디지털 미디어 등과 같은 다양한 매체를 통해 제품에 대한 높은 정보력의 확보가 가능한 사람(‘스마트 소비자’)로 지칭한다. 이러한 스마트 소비자들의 출현에 따라 물류 업체는 소비자의 정보를 수집 및 관리하여 타 기업 간 전략적 제휴를 맺으며 세부적인 소비자의 요구를 충족하기 위해 계속해서 노력할 것이다. 대기업 택배업체나 전자상거래 업체는 IT 기반 물류 스타트업과 전략적 협력을 맺어 디지털 플랫폼을 통해 디지털 라스트마일 운송체계를 구축함으로써 개인화된 소비자의 요구를 충족시킬 것으로 전망된다. 가령, 현대백화점은 라스트마일 최적화된 IT 물류 스타트업인 바로고(Barogo)와 전략적 협업을 통해 상대적으로 배송 시간이 긴 현대백화점 온라인몰의 단점을 보완하고 있다.

따라서 물류·유통업체는 산업의 고도화로 인하여 디지털 전환(Digital Transformation)이 된 라스트마일 시스템으로 소비자에게 최종 목적지까지 운송하는 다양한 비즈니스 모델을 구축할 것이다. 즉, 소비 채널의 다양화와 모바일 사용의 증가에 따라 소비자의 니즈(Needs)에 맞춰 언제든지 필요한 서비스를 제공하는 온디맨드 시장은 라스트마일 산업에서 지속해서 성장할 것이다. <Figure 3>는 2017년, 2018년 국내 스타트업 투자금액 및 온디맨드 서비스와 플랫폼 영역에의 투자금액 비교이다. 온디맨드 서비스와 플랫폼 영역은 3,845억과 2,005억 규모로 이는 전체 스타트업 투자금액에 비교했을 때 39.7%와 35.9%를 기록한다. 이를 통해, 온디맨드 서비스와 플랫폼 시장은 전체 투자금액에서 높은 비율을 차지함으로써 필요성이 높아지고 있다는 것을 알 수 있다.



(a) 2017 Investment Comparison



(b) 2018 Investment Comparison

Figure 3. 2017-2018 domestic startup investment amount and On-Demand Service&Tech Startup investment comparison

메쉬코리아, 바로그 등과 같은 IT 기반 물류 신생 기업이 등장하고, 음식 배달 대행 서비스뿐만 아니라 소화물 배송 서비스와 퀵서비스 같은 영역까지 확대하고 있다. 이러한 시장에서 경쟁적 우위를 차지하기 위해서 기업은 ICT 기술을 활용한 디지털 서비스를 통해 차별화된 서비스를 제공하려고 노력할 것으로 전망된다. 또한, 디지털 서비스 지원과 타 산업 간 적극적인 협력 체계를 통해 기업은 물류 시장에서 치열한 경쟁 완화 및 운송의 효율성을 위한 비즈니스 모델 구축이 확산될 것이다. 공유 경제 생태계를 기반으로 기업은 디지털 라스트마일 운송체계에서 고도화된 서비스를 제공하고 운송의 효율성을 제고시켜 세부적인 소비자의 니즈를 만족시키는데 노력할 것으로 고려된다. 따라서 정부는 공유 서비스에 부합하는 공유플랫폼이나 공동 물류센터 같은 공유 물류 인프라 구축을 통해 기업 간 전략적 제휴를 권장해야 할 것이다.

4. 디지털 라스트마일 운송체계 구축

4.1 디지털 라스트마일 지원환경 분석

(1) 분석틀 마련

본 연구의 분석틀은 COVID-19의 교통물류 산업 분야에 미치는 영향에 부합하는 라스트마일의 중요성이 가속화되고 있음을 여러 전망치로 제시하며 전적으로 수용하는 전제를 기반으로 하였다. 이에 따라 운영 중인 기존의 운영시스템을 대상으로 미래 라스트마일의 효과에 어느 정도 부합하는지 운영구조의 한계를 확인하고, 연계 선상에서 이를 개선할 수 있는 최종 개선방안을 도출하는 논리 흐름을 갖는다.

(2) 현황 파악

ラスト마일의 중요성이 드러나면서 유통기업, IT 기업, 전자상거래기업 등과 같은 다양한 신생기업은 라스트마일 시장에 뛰어들며 주목을 받고 있다. 비대면 시장 확대와 IT 기술 발달을 기반으로 소비자의 니즈가 변화하고, 라스트마일 구간에서 드는 비용이 배송 단계 중 가장 많이 차지하기 때문이다. 국내 3대 택배사인 CJ대한통운, 롯데글로벌로지스, 한진은 물류 스타트업과 경쟁의 우위를 확보하기 위해 제휴를 맺으며 협력 체계를 이루고 있다. 본 연구는 검토한 택배 시장 점유율 중 2019년 기준 47.1%로 점유율이 가장 높은 CJ대한통운과 물류 IT 신생 기업인 메쉬코리아의 업무 제휴를 대상으로 하였다.

CJ대한통운은 IT 기반 물류 스타트업인 메쉬코리아와 전략적 제휴를 통해 전자상거래 소비자에게 맞춤형 디지털 라스트마일 배송 서비스를 제공한다. <Figure 4>은 CJ대한통운과 메쉬코리아의 부릉(Vroong) 플랫폼을 통한 협력배송 서비스의 흐름도이다. 소비자는 CJ대한통운과 계약을 맺은 전자상거래를 통해 제품을 구매하면 CJ대한통운의 배송 서비스에 요청되고, CJ대한통운은 메쉬코리아의 디지털 플랫폼인 부릉

플랫폼을 연계하여 소비자 맞춤형 라스트 마일 서비스인 메쉬 프라임(Mesh Prime)을 요청한다. 메쉬코리아는 데이터 센터에서 수집된 소비자 정보와 함께 CJ대한통운의 사륜차 물류망과 메쉬코리아의 이륜차 물류망을 결합하여 최적의 경로 대안을 산출하여 당일 배송 서비스 및 전국 실시간 배송 서비스를 제공한다. 이러한 CJ대한통운의 시스템 연계를 통해 메쉬코리아는 지속해서 고객 만족도를 높이고, 유연한 배송 서비스를 확보할 것으로 전망된다.

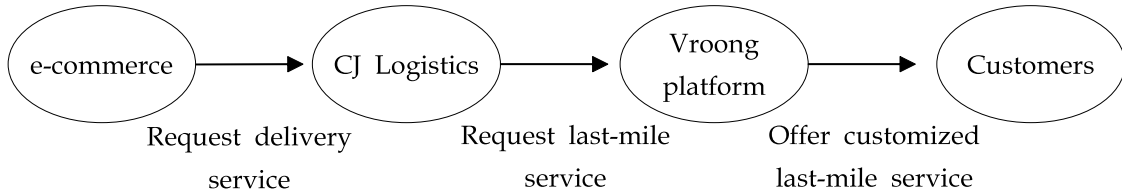
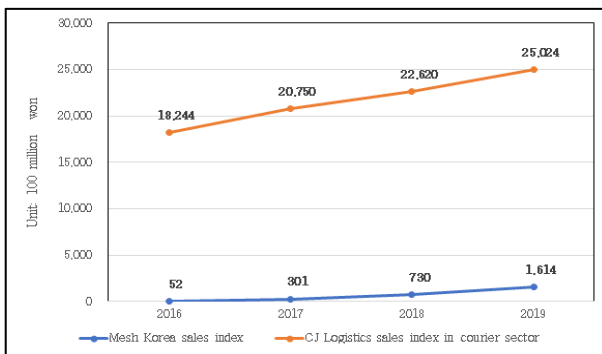
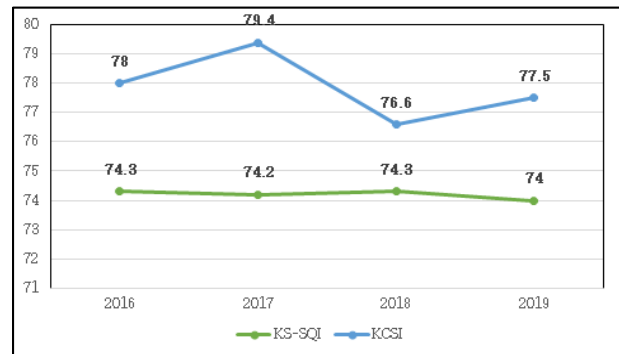


Figure 4. Flow of CJ Logistics-Mesh Korea Delivery Service

<Figure 5>는 CJ대한통운과 메쉬코리아의 전략적 제휴를 통한 연도별 효과를 나타낸 자료이다. (a)는 CJ대한통운 택배 부문과 메쉬코리아의 전략적 제휴를 맺은 2016년부터 2019년까지 매출액을 보여준다. 다른 환경적·제도적 요인도 있겠지만, 전략적 제휴를 통해 새로운 물류망 공동 개발 및 맞춤형 고객 서비스를 제공할 수 있어서 두 기업 모두 매출액의 지속적인 성장에 기여했다고 판단된다. 특히, 2019년은 전년대비 CJ대한통운은 2,404억 원의 매출액과 메쉬코리아는 884억 원의 매출액을 창출하였다. COVID-19 확산으로 인한 비대면 소비가 급증으로 인하여 올해 2020년 매출액은 두 기업 모두 최고점을 기록될 것으로 전망된다. (b)는 한국표준협회에서 조사한 CJ대한통운의 서비스 품질 지수와 한국능률협회컨설팅에서 조사한 소비자만족도 지수이다. CJ대한통운은 2017년(79.4점)까지 택배 기업 간 소비자만족도가 9년 연속 1위를 기록했지만 2018년(76.6점)부터 새로운 경쟁업체 등장으로 인하여 2위로 반전되었다. 하지만, 서비스 품질 지수는 적극적인 시설 투자와 차별화된 서비스를 소비자에게 제공함으로써 2015년부터 2019년까지 지속해서 1위를 유지하였다. 따라서 CJ대한통운은 메쉬코리아와의 전략적 제휴를 통한 지속적 협업을 소비자 욕구를 충족하기 위한 도구로 계속 활용할 것으로 보인다.



(a) Annual sales index of Mesh Korea and CJ Logistics



(b) KS-SQI and KCSI of CJ Logistics

Figure 5. Effectiveness of CJ Logistics-Mesh Korea strategic alliance

4.2 문제점 및 개선 방향 설정

(1) 문제점 파악

COVID-19 확산에 따른 물동량 증가로 인하여 라스트마일의 전반적인 시장 규모는 확대되고 있으나, 기업은 비효율적인 라스트마일 시스템으로 인해 유연한 물류 서비스를 제공하지 못하고 있다. 게다가 도심 물류에서 라스트마일의 비효율성은 택배 물류비 상승 및 국민 체감 서비스 품질을 감소시키고 있다(Heo

et al., 2016). 이러한 대표적인 이유는 택배 물류 시장의 과도한 경쟁 구도로 인하여 불필요한 비용이 소모되기 때문이다. 수많은 택배업체의 출현으로 차별화된 서비스 제공을 위해 박스당 택배 단가는 하락하고 치열한 가격 경쟁을 초래하고 있다(<Figure 3> 참조). 즉, 택배운임의 단가 하락 현상은 가격 중심의 경쟁 구도를 일으키고, 수익 악화 및 소비자에게 차별화된 서비스 부재를 고착하게 한다.

또한, 이러한 과도한 경쟁은 수확 체증의 법칙으로 대기업 택배 기업 또는 우량 업체의 독점을 초래한다. 즉, 점유율이 높은 강자 기업은 대규모 투자 및 인수합병을 통해 성장할 수 있지만, 규모의 경제를 확보하지 못한 중소 규모업체 및 신생 기업은 경쟁력이 저하된다. 특히, 디지털 라스트마일 시장인 플랫폼 시장에서도 강자 업체의 플랫폼 사업자는 공급자와 수요자의 정보와 거래 정보를 독식하여 스타트업이나 중소 규모업체의 플랫폼 성장을 경감시킨다. 그뿐만 아니라 뛰어난 차별성을 보유한 후발 주자가 나오더라도 기존의 우량 플랫폼을 따라잡기 매우 어렵다. 이러한 경쟁을 완화하기 위해 기업 간 전략적 제휴 및 협업을 하며 노력하고 있지만, 기업 전체의 이익을 추구하는 조종자 역할의 미흡 및 공유 경제 활용을 극대화하지 못하고 있다.

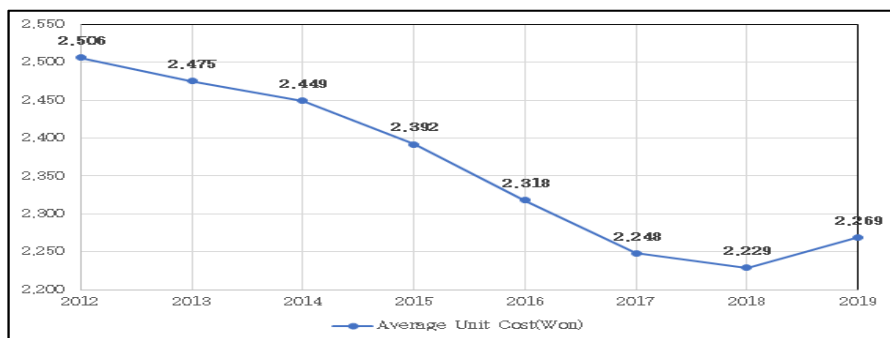


Figure 6. Average unit cost of parcel delivery service in Korea

(2) 개선방향 설정

치열한 경쟁 구도와 배타적 운영으로 인한 비효율적인 라스트마일 시스템을 완화하기 위해 공유 경제를 추구하는 협력 시스템이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 서로 다른 업체의 정보를 연계하는 중립적인 공유플랫폼 비즈니스 시스템 제안을 통해 무인화 기술을 이용한 라스트마일의 운송체계가 이루어져 고객에게 어떻게 효율적인 부가가치를 제공해야 하는지 개념적 측면으로 연구 방향을 설정하였다. 또한, 일정수준 이상의 자율주행성을 확보하는 스마트 모빌리티를 장기적 관점이 아닌 중기적 관점으로 시기를 앞당겨 디지털 환경에서의 공유플랫폼에 기반을 둔 라스트마일의 효과적인 운송계획을 제시하는 것에 초점을 두었다.

4.3 디지털 라스트마일 운송체계 구축

(1) 디지털 라스트마일 운송체계 개념화 및 모듈화

본 연구에서는 앞의 문제점을 해결하기 위한 ICT 기술을 기반으로 한 플랫폼 구축을 권장하여 무인 공동 운송체계를 제안하였다. 여기서 무인운송이란 데이터 처리를 위한 정보처리 기술인 플랫폼 같은 하드웨어 기술 측면을 포함하지만 본 연구에서는 무인운송의 개념을 사람의 개입을 최소화하여 물리적으로 이동하는 무인운송으로 정의하고 접근하였다.

① 스마트 모빌리티의 라스트마일 운송 활용

‘사회적 거리두기’ 확산으로 도시는 개인 승용차 이용 증가에 따른 교통 혼잡을 일으킨다. 따라서 이러한 교통체증 완화와 소비자에게 차별화된 서비스를 제공하기 위해서 본 연구는 미래 기반의 스마트 모빌리티 운송수단을 제안한다. 본 연구에서는 모빌리티는 여객이 아닌 화물이동에 국한한다. 따라서 스마트 모빌리

티는 ICT, IoT, AI 등과 같은 4차 산업혁명의 주요 기술이 융합한 사물의 운송수단만을 고려하였다. <Figure 7>은 COVID-19 이후에 국내 라스트마일 운송수단으로 도입되는 스마트 모빌리티 전망을 단계별로 제시한 로드맵이다.

A 단계는 가장 초기 단계로 현재 도시의 교통 혼잡으로 인하여 물류·유통업체는 도시 내 라스트마일 운송수단으로 사륜차에 국한되지 않고 이륜자동차(오토바이)를 이용하여 신속한 배달 이행을 실천하고 있다. 이륜자동차는 과거에 주로 서류나 소형 화물을 취급하지만, 최근에는 신선식품과 같은 취급품목들이 다양해지고 크기도 커지고 있다. 아직 규제적 한계로 인하여 무인운송 체계를 확립하지 못했지만, ICT 기술을 기반으로 한 통합플랫폼을 이용하여 취급 물품의 종류에 따라 최적 운송수단을 배차하여 최적의 경로로 최종소비자에게 신속한 서비스를 제공한다.

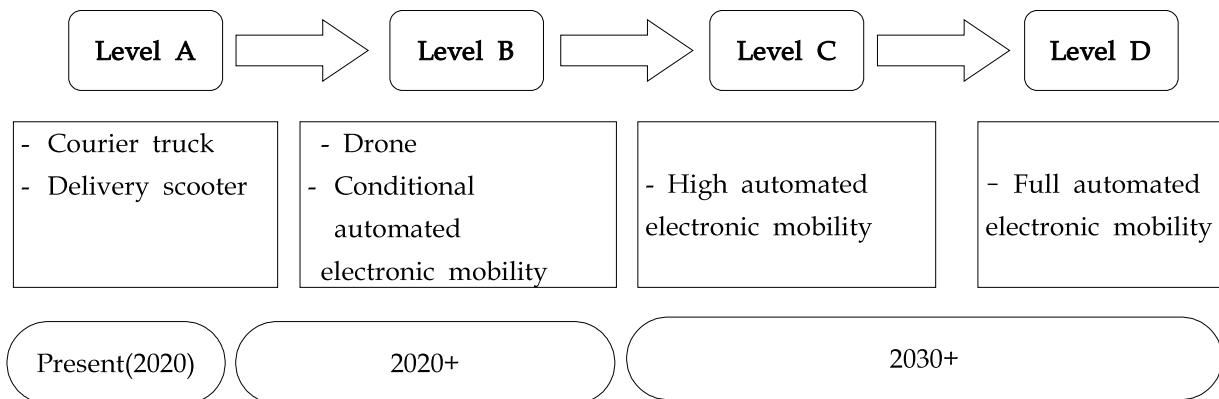


Figure 7. Roadmap of smart mobility prospect in the COVID-19 era

B 단계는 라스트마일 산업에 무인운송수단을 도입하는 단계이다. 현재 라스트마일 시장에 무인항공기인 드론 서비스가 비록 사업화되지 않았지만, 국토교통부는 Post COVID-19 시대에 부합하는 드론 배송 시스템 육성 및 지원을 통해 무인 운송체계 확립을 위한 인프라 시스템을 구축하고 있다. 정부는 국내 드론 산업에 종합적인 육성을 위해 「드론활용의 촉진 및 기반 조성에 관한 법률」(이하 “드론법”)이 올해 5월 1일 시행되었다(Kim, 2020). 또한, 정부는 올해 하반기 내에 드론 특화도시 시범 및 자율주행차와 함께 신속하게 상용할 수 있게 하는 제도인 패스트 트랙이 적용될 것이라 발표했다. 이를 통해 국토교통부는 이 같은 드론 관련 특례 운영을 통해 드론 전문 인력 양성 및 드론 상용화를 촉진될 것으로 보인다. 따라서 2020년 이후엔 드론을 이용한 무인 운송체계가 국내에 상용화되어 사람이 접근하기 힘든 도시 외곽 지역으로 시작하여 인구밀도가 높은 도시 내 지역에 물품을 배송함으로써 인력 문제 완화와 리드타임 단축이 전망된다.

내연 기관차는 공학적인 측면에 복잡하며 에너지 흐름 측면에서 손실이 커서 경제적이지 않기 때문에 일반적으로 전기차에 자율주행 시스템이 적용된다. <Figure 8>은 미국 자동차 공학회(SAE; Society of Automotive Engineers)에서 정의한 자율주행 로드맵이다. 자율주행 기술은 자율주행 수준에 따라 0에서부터 5까지 총 6단계로 구성된다. 자율주행 시스템을 구축하기 위해서 정부는 도로 인프라에 대해 기술 수준을 고려하여 어떠한 자율주행 서비스를 구현할지 결정해야 한다. B 단계에서는 라스트마일 산업에 전기자동차가 도로 상황을 분석하여 운전자의 개입 없이 일정 구간을 달릴 수 있으며, 특수한 경우에만 운전자가 개입하는 자율주행 수준 3단계인 조건부 자율주행이 구현될 전망이다. 따라서 V2X(Vehicle to everything) 초연결성이 지원되는 차세대 ITS(C-ITS; Cooperative ITS) 기반의 디지털 인프라 구축의 필요성이 높아질 것으로 전망된다.

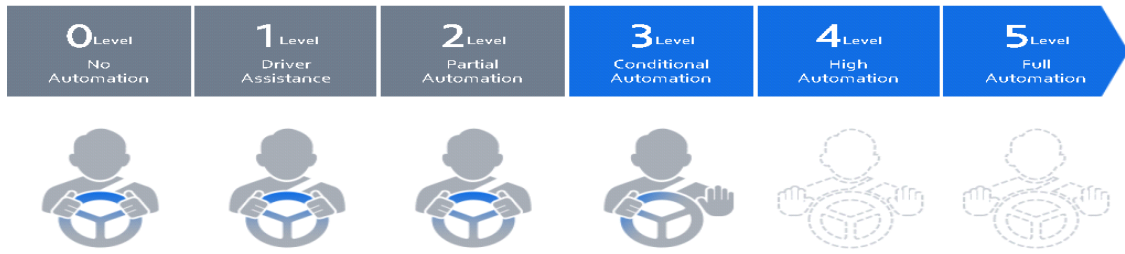


Figure 8. Roadmap for Automous Driving

C 단계는 완벽한 무인운송체계 구현하기 전 마지막 단계이다. 자율주행 4단계 안전기준을 기반으로 운전자는 탑승하지만, 자동차 스스로 모든 기능을 제어하고 모니터링하는 고도화된 자율주행 전기차가 구현될 전망이다. 이를 위해 IoT 및 빅 데이터를 기반으로 교통물류를 제어하는 인공지능형 ITS(A-ITS; Automated-ITS) 시스템 구축이 필요하다. 차량과 도로의 초연결성을 구축하기 위해 자율주행 운송체계로 운영 제어할 수 있도록 정부는 지역 제어 센터(Local control center) 역할을 하는 플랫폼을 기반으로 전기차의 자율주행 기술을 이용한 무인운송을 지원해야 한다. 플랫폼에서는 도로 및 교통, 기상 환경의 변화에 부합하는 최적의 자율주행 운영제어 변수를 지정하여 자율주행 라스트마일 서비스에 지원해야 한다. 이러한 자율주행 전기차를 활용한 무인 운송체계를 구축함으로써 사회적 측면에서 최적의 경로에서 위험요소 예측 및 예방으로 교통사고를 방지하며 교통체증을 완화 및 언택트 운송체계를 확립할 수 있고, 효율성 측면에서 인건비 및 연비 절감과 운송 효율성의 효과가 클 것으로 전망된다.

D 단계는 완벽한 무인운송 체계를 구현하는 단계이다. D 단계는 운전자가 탑승할 필요 없이 자동차 스스로 운행하는 완전 자율주행 수준인 5단계가 라스트마일 산업에 상용화될 것으로 전망하다. 기존 인력 문제와 노사 갈등을 해결할 수 있으며, 운전자와 탑승자 공간을 물품의 보관 장소로 탈바꿈이 가능하여 더 많은 물품을 적재와 운송이 가능해짐으로 운송의 효율성이 높아질 것으로 기대된다.

② ICT 기반 공유플랫폼을 활용한 디지털 라스트마일 운송체계 방안

본 연구자는 정부 차원에서 물류 업체 간 배타적인 운영 완화와 라스트마일 영역에서 공유의 경제를 극대화하기 위해 개별기업 차원이 아닌 참여기업 전체의 이익을 추구하는 역할을 하는 통합 공유플랫폼 구축 방안을 제안한다. 플랫폼 이용자들은 공유플랫폼을 통해서 소비자의 정보 및 화물의 정보를 연계할 수 있고 이해관계자 간 네트워크 구축이 가능하다고 전망되기 때문이다. <Figure 9>는 ICT 기술을 기반으로 한 공유플랫폼을 통해 제시 가능한 디지털 라스트마일 서비스의 흐름도이다. 플랫폼에서는 ICT 기술이 융합되어 이용자로부터 축적한 통합 정보를 기반으로 분석 및 평가를 산출하여 이용자에게 제시하며, 서비스 요청 시 도심 인근 배송 거점에 스마트 모빌리티를 자동 배차한다. 이에 따라 스마트 모빌리티는 플랫폼에서 산출한 유사품목들을 적재하여 공동배송 서비스를 제공해야 한다. 즉, 플랫폼은 스마트 모빌리티가 안전하게 상품을 최종소비자에게 인도하기 위해 라스트마일 지원 및 통합관리 시스템 역할을 해야 한다. 최종 서비스가 끝난 뒤 최종소비자는 라스트마일 서비스에 대한 만족도를 플랫폼에 제공한다.

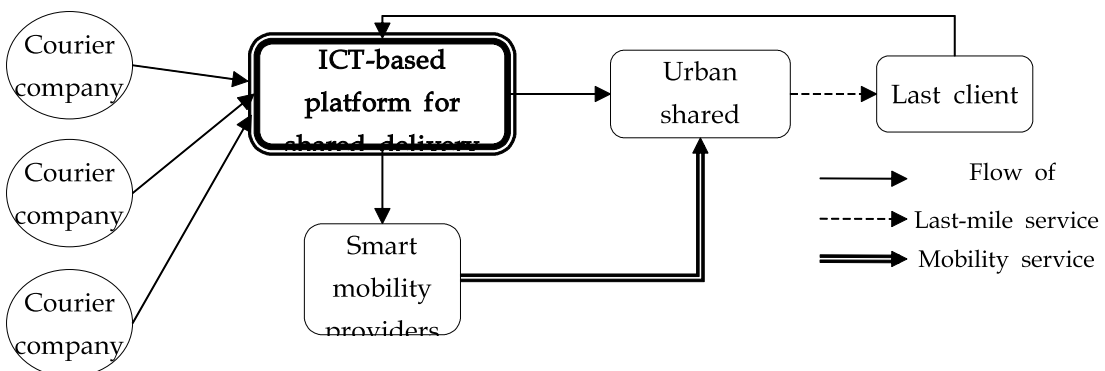


Figure 9. Flow chart of digital last-mile service

<Figure 10>은 공동물류 시스템의 현재(As-is)와 미래(To-be) 비교 개념도이다. 전통적인 라스트마일 서비스의 경우 운송사는 배송 거점에서 개별로 물품을 최종 소비자에게 인수했지만, 향후 디지털 라스트마일 서비스를 이용 시 플랫폼을 기반으로 스마트 모빌리티가 각기 다른 배송사의 물품을 최적의 경로와 비용으로 최종소비자에게 공동배송을 진행한다. Heo et al.(2016)는 택배 서비스의 발전을 위한 도심 공동플랫폼 구축 방안을 제시하였지만 본 연구는 플랫폼과 스마트 모빌리티를 기반으로 공동배송을 제시하였다. 따라서 본 연구는 여러 이용자와 연계를 통해 스마트 모빌리티를 통해 공동배송을 추진하여 도시 내 효율적인 무인운송 서비스를 제공하고, 도시 내 교통체증 완화 및 배기가스 저감 등과 같은 부가 가치를 창출할 것으로 예상된다. 플랫폼 이용자의 공통된 복합 다수 제품을 혼재하여 스마트 모빌리티 운송의 대형화를 통한 교통량 감축과 에너지 절감 등과 같이 사회적 측면과 이용자 측면에서 효율성을 증대시킬 것으로 기대되기 때문이다.

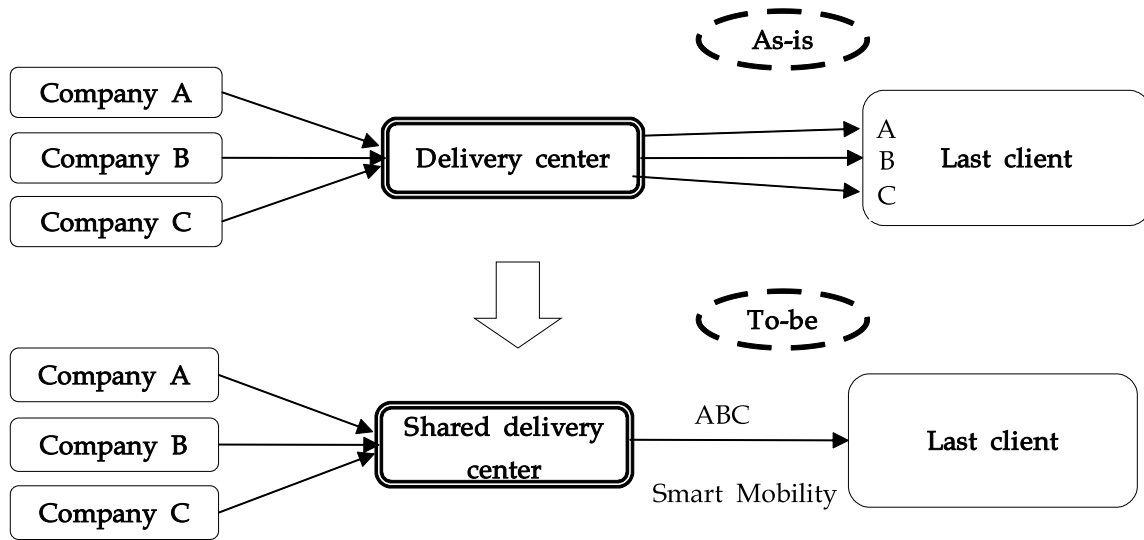


Figure 10. 'As-is' and 'To-be' of shared delivery system

<Figure 11>은 ICT 기반으로 통합플랫폼을 내부적으로 지원하는 디지털 서비스 절차이다. 단계별로 설명하면 다음과 같다.

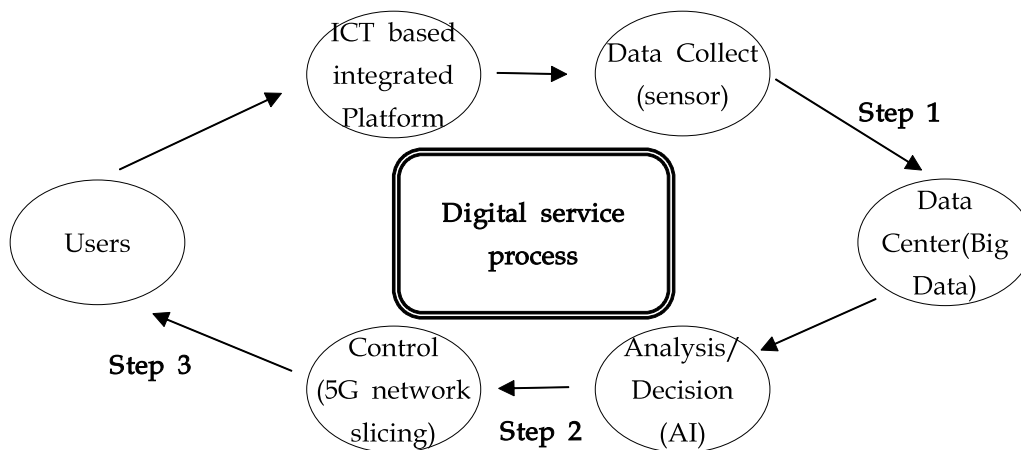


Figure 11. Three steps of last-mile digital service process

1단계(Step 1)는 이용자(택배사나 신규 업체)는 플랫폼으로부터 라스트마일 서비스의 요청과 동시에 최종소비자 정보 및 배송 정보를 제공하고, 최종 소비자는 서비스에 대한 피드백을 플랫폼에 제공한다. 이렇게 수집된 서비스 이해관계자의 데이터는 빅 데이터로 활용되어 데이터 센터에 저장된다. 저장된 데이터를 기반으로 이용자는 플랫폼을 통해 관련 주체 간 정보 공유 및 연계를 하며 네트워크를 구축한다.

2단계(Step 2)는 데이터 센터에서는 AI를 이용하여 제품 특성별과 발하주·착하주 특성별에 공통성 유무를 분류하고 최적 운송 경로와 비용을 분석 및 평가한다. 이렇게 AI로 분석 및 평가된 이용자의 상품 정보를 도시 내 공동 물류센터에 공유하여 보관 및 피킹(Picking)을 구조하는 데 이바지한다. 그뿐만 아니라, 수집된 정보를 기반으로 미래 소비자의 니즈를 예측 및 평가한다.

3단계(Step 3)는 데이터 센터에서는 통합된 정보를 5G 네트워크 슬라이싱(network slicing) 기술을 기반으로 다수의 독립된 정보로 분리하여 최적의 소비자 맞춤형 무인운송 경로와 최적의 운송 비용으로 의사결정을 한다. 그뿐만 아니라, 이용자가 플랫폼으로 서비스 요청을 하면 플랫폼에서 소비자 맞춤형 무인운송 수단을 권고 후 목적지 인근 공동 물류센터에 무인운송 수단을 자동 배차 및 연결을 한다. 즉, 플랫폼에서는 효율적인 물류 솔루션을 제시하여 언택트 오더 관리 시스템(OMS), 전자계산서, 전자인수증 등을 디지털화하는 것이다.

본 연구는 ICT 기술을 융합한 플랫폼과 스마트 모빌리티 기반으로 한 디지털 라스트마일 무인 운송체계 방안은 다양한 이해관계자의 요구를 충족시키고 정보의 가시성 확보가 가능하게 되어 전통적인 라스트마일의 비효율성을 개선할 것으로 기대된다. 즉, 플랫폼 기반으로 정보연계 및 공동물류 추진, 스마트 모빌리티 기반으로 한 최적의 경로와 비용 산출 등과 같은 산업의 다양화로 인하여 라스트마일 산업이 질적으로 성장할 것으로 예상된다.

(2) 운용 로드맵 제시

통합 공유플랫폼을 구축 및 운영하는 주체는 정부가 고려된다. 플랫폼 특성상 전반적으로 기업 전체 이익을 추구하는 공공성과 신뢰성을 보유해야 하는 주체가 필요하기 때문이다. 정부는 이러한 디지털 운송체계에 걸림돌이 없도록 환경을 조성해야 하고, 변화에 보수적인 다수 기업의 참여 권장을 위해 성공적인 선도 사례들에 대해 지원 및 정책을 제공해야 한다.

<Figure 12>는 통합 공유플랫폼 구축을 위한 단계별 운용 로드맵을 제시한 것이다.

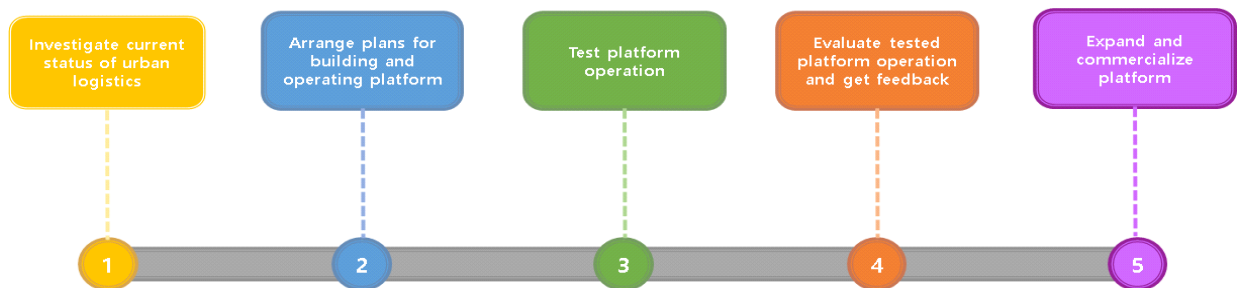


Figure 12. Roadmap for platform operation

첫째, 도심물류 현황 조사이다. 도심교통 현황자료 및 유사한 기존 사례를 검토한 뒤 이해관계자나 전문가의 의견을 수렴하여 시사점 및 문제점을 도출한다. 이때의 관련 주체는 택배물류기업, 물류 신생기업, 연구계 전문가, 국토교통부 등이 해당한다.

둘째, 정부는 플랫폼 구축 및 운영 관련 방안을 마련해야 한다. 정부는 도심 물류의 라스트마일 수요 및 공급과 정책을 분석해서 이용자가 어떤 효율화된 시스템이 필요한지 운영 방안을 파악해야 한다. 이러한 분석을 통해 정부는 관련 정책을 마련하며, 기업들의 참여를 장려하고, 기업 간 정보연계를 협의해야만 한다.

셋째, 플랫폼 구축 및 운영 방안을 마련한 뒤 안정성 확보를 위한 시범 운영을 진행해야 한다. 시범 운영을 진행함으로써 정책적 한계 및 실제 환경에 부합할 수 있는지의 파악이 가능해진다. 전자상거래 수요가 가장 높은 수도권부터 기업체 참여를 통한 시범 운영을 진행하여 효과를 검증하는 것이 효과적일 것으로 보인다.

넷째, 시범 운영을 기반으로 이해관계자나 전문가를 통한 비즈니스 모델에 대한 평가 및 피드백이 이루어져야 한다. 평가는 크게 플랫폼의 효율성과 효과성으로 구분될 수 있다. 효율성에서는 예산대비 집행률,

자원 연계성, 계획대비 추진율이 원활히 진행되었는지 확인되어야 하고, 효과성에서는 서비스 이용자가 얼마나 만족을 하였는지와 기업 간 정보 네트워크 구축 및 공동물류가 가능했는지 등 대상이 될 것이다.

다섯째, 시범 운영 평가에서 도출된 문제점의 해결을 위한 방안을 제시한 후 정부는 단계별로 확대 운영을 진행해야 한다. 정부는 또한 지속 가능한 플랫폼 운영을 위해서는 관련 운영 조직을 마련할 필요가 있다.

(3) 개별적 주체의 역할 및 기대효과

플랫폼 이용자 주체는 차별화된 서비스나 물류 네트워크가 필요한 택배 기업이나 신생 기업이 될 것이다. 플랫폼에서 제시된 비용과 최적 공동배송 대안으로 이용자는 플랫폼에 기본 정보를 입력 후 디지털 라스트마일 서비스 요청을 예약 및 예약 변경을 한다. 또한, 이용자는 플랫폼을 통해서 서비스 주체들의 정보를 조회 및 공유를 하여 파트너십 및 네트워크 구축할 수 있다. 이를 통해 이용자는 기업 간 협업을 하며 상호 시너지 효과 창출 및 경제적 위험과 부담을 최소화하여 공공의 이익을 추구할 수 있다.

ICT 기반으로 한 공유플랫폼은 데이터 센터에 저장된 통합 정보를 연계하여 이용자의 요구에 따라 최적 공동배송 대안 및 비용을 산출하게 된다. 또한, 플랫폼에서는 각종 스마트 모빌리티 운영 정보 및 기업 정보를 데이터 센터에 축적하여, 필요할 때 그 정보를 연계하여 디지털 서비스 및 제어센터 역할을 구현하는 형태이다. 즉, 플랫폼은 이용자 간 정보연계 및 자율주행을 이용한 공동화 지원시스템 역할을 한다.

공동배송센터 운영사들은 효율적인 공동배송을 위해 플랫폼을 기반으로 소비자의 제품을 적재 및 하역이 이루어진다. 즉, 플랫폼으로부터 제공된 공통제품끼리 배송센터에 적재 및 피킹을 해야 한다. 이를 통해, 공동배송센터에서는 다수 운송업체 및 물류 업체와 복잡한 거래 교섭을 절감하고, 입·출하 활동을 정교하게 할 수 있다.

스마트 모빌리티 운송업자는 플랫폼에서 제공된 정보를 기반으로 지역별로 무인운송 운영 체계를 지원하고, 유사 제품을 차량에 일괄적으로 적재해서 효율 및 회전율은 향상된다. 또한, 공동배송에 따른 계획 배송이 가능하여 리드타임 단축 및 취급 물동량 확보가 안정적이다.

최종 소비자는 낮은 가격에 신속한 서비스를 받으며 배송 서비스 만족도에 관한 피드백을 플랫폼에 제공한다.

5. 결론

(1) 결론

장기간에 거친 팬데믹 수준의 COVID-19는 우리 사회를 빠르게 언택트 환경에 적응시켰고, 이를 통해 라스트마일의 혁신과 정착 시기를 상당 기간 당기는 효과를 주었다. 4차 산업혁명 기술속도에 맞추어 디지털에 기반을 둔 유연한 라스트마일 운송계획은 시기적절하다 할 수 있다.

이러한 배경으로 본 연구는 COVID-19가 라스트마일 산업에 미치는 영향을 분석하고 이를 기반으로 정부 차원의 향후 교통물류발전을 위한 방안을 제안하였다. 그간 라스트마일 산업은 과도한 경쟁과 우량 기업이 독점하는 전통적인 라스트마일 산업에 머물러 있었다. 이를 탈피하기 위해 공공의 입장에서 ICT 기술을 융합한 공유플랫폼과 스마트 모빌리티를 기반으로 한 디지털 라스트마일 무인 운송체계를 제안하였고, 운용 로드맵을 단계별로 제시하였다. 이를 통해 물류 사업자 간의 경쟁과 협업의 균형을 유지함으로써 라스트마일의 불필요한 경쟁, 과점적 물류 생태계 등의 비효율성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

(2) 제언

본 연구는 디지털 라스트마일 운송체계의 확립을 제안하고, 이를 위한 적극적인 정부의 역할을 제시하였다. 정부는 라스트마일 공동화 배송을 위해 도시 내 자율주행 활용이 가능한 시설 및 공간을 구축해야 하며, 플랫폼을 통해 참여자들을 최대한 확보해야 한다. 또한, ICT 기반으로 한 통합 공동플랫폼의 적극적 검토로 단계별로 구축해야 할 것이다. 하지만 보수적인 물류 기업은 업무 노하우 같은 기업 정보의 공개를 꺼리며,

서비스 이용 주체 간 이해 불일치를 일으킬 수 있다. 또한, 신생 기업들은 초기 시도와 잠재적 위험성의 부담을 느낄 수 있을 것이다. 따라서 정부는 중립적인 위치에서 플랫폼 이용을 적극적으로 권장하여 많은 기업을 연계할 수 있게 정책적 환경 조성 및 방안을 고민해야 할 것이다. 이때 디지털 운송체계의 급격한 도입은 일자리 감소를 유발하는 새로운 사회문제를 가중시킬 수 있다. 디지털 기술력은 빠르게 사람의 노동력을 대체하기 때문이다. 따라서 정부는 기술과 사람의 노동력을 조화시키는 방향에서 본 연구 제안을 활용하길 기대한다.

본 연구는 COVID-19으로 인하여 세계화가 붕괴함에 따라 국내 범위로 한정 지었지만 향후 COVID-19 종식 이후 해외 직구와 역직구 현황 및 물량까지 확대 고려한 연계 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 디지털 운송체계를 보다 실증적으로 제시할 수 있는 시뮬레이션 분석 등이 추가 추진될 필요가 있다.

참고문헌

- Bae Y-Y., and Shin H-R. (2020), COVID-19 accelerates untact society, Issue&Analysis, 416, 1-26
- Bank of Korea. (2020), 2020 September Business Survey, p.6, Korea
- Choi J-H. (2020), Mesh Korea's sales last year were 160 billion won last year(www.econovill.com), Korea
- CJ Logistics. (2018~2019), Performance data of CJ Logistics, Korea
- DHL Customer Solutions & Innovation. (2020), Logistics Trend Radar 5th edition, p.17
- Heo S-H., Min Y-J., Choi B-S., and Park S-B. (2016), Strategies for the implementation of city logistics public standard platform to improve parcel delivery service quality, The Korean Transport Institute, 05, pp. 85-92.
- Hyundai Motor Group. (2020), Roadmap for Autonomous Driving(www.hyundai.co.kr), Korea
- Jo I-H., and Yoon Y-J. (2018), Service innovation of Last Mile Logistics with Unmanned Technology: Focused on Korea Post Office Case, Journal of Korea Service Management Society, 19(5), 225-241
- KILA(Korea Integrated Logistics Association). (2020), Statistics of Living Logistics, Korea
- Kim D-J. (2020), The main transportation news from the press release, Monthly KOTI Magazine on Transport, 5(267), 63-72.
- Kim H-S. and Kim M-S. (2020), The rate of 2.0% increase in the year-on-year sales of primary retailers, Ministry of Trade, Industry and Energy, p.2, Korea
- KMAC. (2016~2019), 2016~2019 Analysis of Korean Customer satisfaction index in Korean industry, p.57, Korea
- Korean Standards Association. (2020), Korean Standard Service Quality annual index(www.ks-sqi.ksa.or.kr)
- Park C-S. (2017), The spread of last-mile delivery and transformation of logistics industry, Post Information, 109, 9-38.
- Park H-S., Ban J-H., Jung H-C., and Kim S-J. (2020), The impact of COVID-19 on the Seoul economy and countermeasures against small business owners and tourism, Policy Report, 297, 6-14.
- The Invention Lab. and Welcome Financial Group. (2018), Trend Analysis Report of On-demand service & Tech Platform in Korea, p.17, Korea

모빌랙 운영 효율화를 위한 시뮬레이션 분석 : 반도체 백엔드 테스트 공정 사례를 중심으로

이기주¹, 채준재^{1*}

¹한국항공대학교 항공교통물류학부

A Simulation Study to Improve Mobile Rack Operation: A Case in Semiconductor Back-end Test

Keyju Lee¹, Junjae Chae^{1*}

¹School of Air Transport, Transportation, and Logistics, Korea Aerospace University

This paper is a case study on improving the operation of mobile rack performance in semiconductor back-end test process. The mobile racks facilitate space utilization when storing, but constrain aisles when picking. We have considered eight possible combinations of the as-is and three basic improvement suggestions with three possible traffic volumes (high, medium, low), which multiply into the total of 24 scenarios. Arena was used to simulate the mobile rack's storage and picking operations. In the end, we compare expected labor cost reduction with the implementation cost of suggestions for benefit to cost analysis. The analysis recommends implementing two suggestions; improving barcode system and installing more mobile rack bays.

Keywords: Mobile Rack, Arena Simulation, Semiconductor Back-end Test Process

1. 서론

모빌랙(Mobile Rack)은 <Figure 1>에 나타난 바와 같이 랙과 랙 사이에 보관 및 피킹을 위한 통로를 없애고 랙마다 이동이 가능한 바퀴 혹은 레일을 설치하여 작업자의 작업 공간을 최소한으로 두어 공간 효율을 향상시킨 형태의 보관랙을 말한다 (Shin et al., 2016). 적은 공간 대비 다량, 다품종의 물건을 저장할 수 있어 모빌랙이 다른 저장 랙보다 유리할 수 있다. 하지만 작업자 입장에서는 한 번에 사용할 수 있는 통로의 개수가 제한되어 통로 확보를 위한 대기시간과 통로 재조정시간이 발생하며, 물품의 종류가 많다면 물품을 탐색하여 식별하는 데 소요되는 시간이 늘어날 수 있다. 따라서 모빌랙 운영의 복잡성을 줄이는 방향의 효율화 전략이 필수적이다.

논문접수일 : 2020.10.23.

심사완료일 : 2020.10.28.

게재확정일 : 2021.01.25.

* 교신저자 : jchae@kau.ac.kr

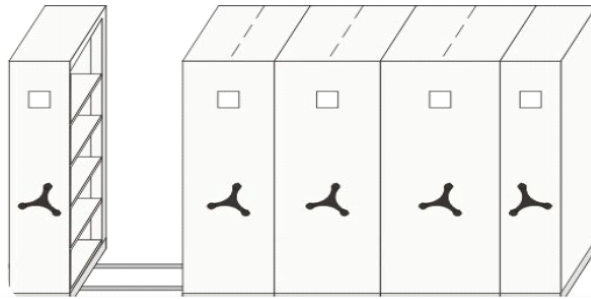


Figure 1. A typical configuration of mobile rack

반도체는 크게 전공정과 후공정 과정을 거친다. 전공정이 반도체가 전체적으로 받는 공정(Wafer가 생산되기까지)이라면 후공정은 반도체별, 고객의 요구사항별에 따라 반도체마다 다른 공정(Assembly, Final Test, Post Test 등)을 진행한다. 반도체 백엔드(후공정)의 테스트 공정에서는 고객이 요구하는 품질 기준에 따라 번인(Burn-in) 테스트, 콜드 테스트, 핫 테스트 등 다양한 악조건에서의 품질검사를 진행한다. 이때 반도체는 <Figure 2>에 나타난 검사를 위한 출고와 다음 검사를 위해 출고되기 전까지 보관하는 과정을 여러 번 반복하게 된다. 이러한 반도체 테스트 공정의 입출고를 위해 모빌랙이 사용되곤 한다. 본 연구는 실제로 테스트 공정에서 모빌랙을 활용하고 있는 반도체 제조기업에서 경험하고 있는 복잡한 모빌랙 운영과 그로부터 발생하는 비효율을 해결하고자 한다. 해당 기업은 아시아에 백엔드 공장을 두고 있는 반도체 제조사이다.

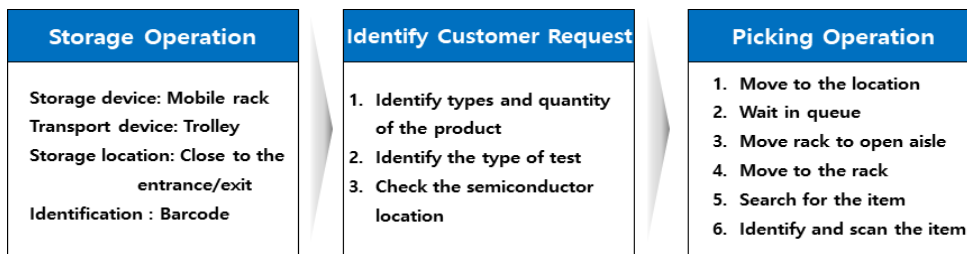


Figure 2. Storage and picking procedure for test operations

본 연구의 목적은 해당 기업의 모빌랙 운영 복잡성으로 인해 나타난 비효율을 해결하기 위해 해결안을 제시하고, 이를 시뮬레이션을 이용해 효과를 분석하며, 효과(편익) 대비 비용을 분석해 의사결정자가 자사의 상황에 맞는 시나리오를 선택할 수 있도록 의사결정 지원하는 것이다. 비록 반도체 백엔드 테스트 공정의 상황을 적용한 연구를 진행했지만, 본 연구에서 제시된 해결안은 특정 기업이나 특정 산업분야에 국한되지 않는 모빌랙의 효율적 활용 사례로서의 가치를 지닌다.

2. 문헌 연구

모빌랙의 효율적 운영에 대한 연구는 그 숫자가 매우 제한적이다. 연구를 종합해보았을 때 연구분야가 크게 세가지 분야로 분류된다.

첫 번째는 모빌랙 보관위치(Location) 할당(Assignment)의 최적화 문제이다. 모빌랙은 통로를 줄이고 랙을 레일이나 바퀴를 이용해 위치를 옮기며 통로를 재조정하는 방식이므로 한 번에 이용할 수 있는 통로의 개수가 제한된다. 이로 인해 물품 보관위치를 할당하는 정책에 의해 보관 및 피킹의 작업시간이 크게 달라질 수 있다. Shin et al.(2016)은 출입구에 근접한 배치(Near), 대각선 배치(Diagonal), 중앙 배치(Middle), 임의 배치(Random), 가로 배치(Horizontal), 세로 배치(Vertical), 동일위치 배치(Same) 등 다양한 화물 배치 형태를 설정하고 작업 스케줄링 알고리즘을 활용해 각 화물 배치 형태의 효율성을 실험하였다. 효율성의 지표는 작업자의 총 이동거리, 총 작업소요시간, 총 랙의 이동량으로 설정하였으며, 실험 결과를 비교하여 가장 효율적인 화물 배치 형태는 출입구에 근접한 배치(Near) 형태임을 결과로 도출하였다. 하지만 해당 연구는 입고 작업과 출고 작업을 구분하지 않았으며 작업 차량이 화물을 집고 내리는 시간을 고려하지 않았다. 또한, 지게차의 작업을 가정하였으므로 랙의 위치에서 피킹할 화물을 탐색하여 식별하는데 걸리는

시간은 고려되지 않았다.

두 번째는 모빌랙 창고에서의 피킹 순서(Picking order)의 최적화 문제이다. 모빌랙에서의 피킹 순서는 단순 이동거리만으로는 최적화될 수 없다. 피킹 작업자의 주문물품에 대한 접근성이 이동시간(또는 거리)로만 판단되지 않고 통로를 이용하기 위한 대기시간과 랙을 이동시키는데 소요되는 시간 등이 함께 고려되어야 한다. Boysen et al.(2016)의 연구는 통로를 확보하기 위해 랙의 위치를 조정하는 시간이 피킹 작업 시간의 많은 부분을 차지하며, 피킹 순서를 제대로 계획함으로써 많은 시간을 단축시킬 수 있다고 강조한다. 해당 연구에서는 선행 작업자의 마지막 피킹으로 인해 후행 작업자의 첫 번째 피킹에 필요한 통로가 미리 열리 수 있도록 유도한다. 이를 위한 수리적 해법과 발견적 해법을 함께 제시하였다.

세 번째는 모빌랙의 기계적인 특성과 작업통제(Job Control)에 관련한 연구이다. Kim et al.(2016)의 연구에서는 다중모빌랙과 운반기기(Agent)의 동적 특성을 고려하고, 이동시간과 운영비용을 최적화하기 위한 작업통제 알고리즘을 제시한다. Guezzen et al.(2013)의 연구는 M-AS/RS (Mobil Rack Automated Storage and Retrieval System) 환경에서의 기계적 특성을 고려해 보관 및 피킹에 소요되는 시간을 근사(Approximate)할 수 있는 수리모형을 개발하였다.

기존 연구의 대다수는 지게차 또는 로봇 등의 운반기기(Agent) 피킹 작업 환경을 가정하였다. 이러한 가정은 수작업 피킹(Manual Picking)과는 여러 측면에서 다르다. 전자의 경우 닫혀 있는 통로를 열기 위한 랙위치 조정이 자동이지만 후자의 수작업 피킹에서는 작업자가 직접 위치 조정을 실행해야 한다. 즉, 위치 조정하는 시간이 직접적으로 피킹 소요시간에 포함된다. 또한, 전자의 경우 하나의 통로가 열렸을 때 다수의 작업자가 동시에 해당 통로에서 작업을 진행할 수도 있지만, 후자의 경우 하나의 통로는 한 명의 작업자만을 수용할 수 있는 경우가 많다. 즉, 후자의 경우 통로 점유 경쟁으로 인한 대기시간의 효과가 크다. 본 연구에서 초점을 맞춘 모빌랙 운용 사례는 수작업 피킹 환경에 해당한다.

또한, 대다수의 연구가 많은 부분을 가정하고 가상의 환경에서 보관위치, 피킹순서 등을 최적화를 연구했다는 점이 주목할만하다. 본 연구는 실제 작업이 이루어지는 실제 모빌랙 공간과 실제 보관 및 피킹 작업 데이터를 기반으로 연구를 진행하였다. 특히, 반도체 백엔드 테스트 공정에서 입고 출고가 여러번 반복되는 환경에서의 모빌랙 운영 효율화 방안을 연구하였다.

3. 연구 문제 정의

3.1 단위 용어의 설명

<Figure 3>과 <Figure 4>는 보관단위 용어를 도식적으로 표현하고 있다. 보관의 가장 작은 단위는 Slot 이라고 칭하며 하나의 Level은 7개의 Slot을 포함한다. 하나의 Rack은 7개의 Level이 합쳐진 단위이며, 하나의 Bay는 7개의 Rack이 합쳐진 단위이며, 모빌랙의 기본단위라고 할 수 있다. 이러한 Bay가 합쳐져 하나의 Zone을 형성하는데, 모빌랙의 특성상 단일 Zone 내에서는 단 하나의 통로(Aisle)만이 열려있을 수 있다. Zone을 구성하는 Bay의 개수는 Zone 별로 다를 수 있으며, 해당 문제에서는 5개에서 6개로 구성된 3개의 Zone이 존재한다.

하나의 Slot에는 하나의 Carrier가 보관될 수 있다. Lot는 피킹 작업의 기본단위이다. 즉, 피킹 작업자는 특정 보관 위치에서 특정 Lot를 피킹할 것을 지시받게된다. 하나의 Lot에 적게는 한 개, 많게는 네 개의 Carrier가 포함된다. 보관 작업자와 피킹 작업자는 카트 또는 손수레와 같은 Trolley를 이용해 Carrier 들을 운반한다.

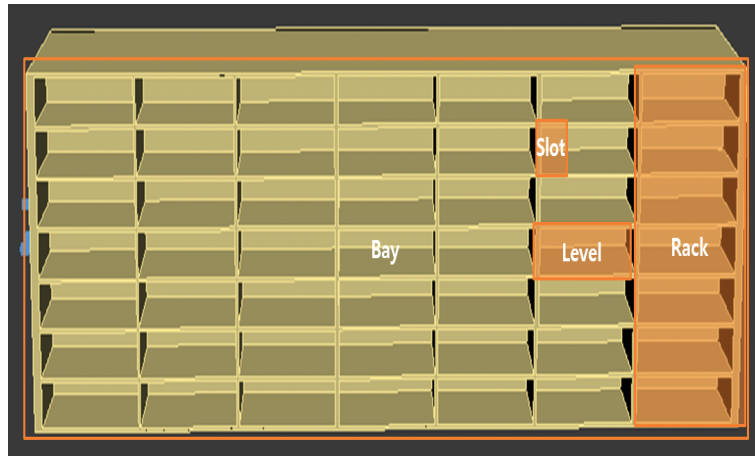


Figure 3. A figurative explanation of storage unit: bay, rack, level, and slot.



Figure 4. A figurative explanation of storage unit: zone and bay.

3.2 모빌랙의 보관-피킹 과정 및 문제점

테스트를 위해 입고되는 반도체들을 Trolley 단위로 모빌랙 저장공간에 입고된다. 보관 작업자는 모빌랙의 비어있는 임의의 공간에 Carrier를 저장한다. 때문에 우선적으로 출입구로부터 가까운 모빌랙의 빈 공간에 반도체를 보관하게 된다. 보관 시 각 Carrier의 위치를 Rack에 부착된 바코드를 스캔해 기록한다.

보관 이후 (짧게는 즉시, 길게는 수개월 뒤) Push생산 계획에 따라, 또는 고객의 요구사항에 따라 (Pull) 테스트를 진행해야 할 반도체의 종류 및 수량이 피킹 작업자에게 전달된다. 피킹 작업자는 위치정보를 파악하고 Carrier가 위치한 Zone으로, Bay로, Rack 앞으로 움직인다. 이 때 모빌랙의 특성상 해당 통로가 열려있지 않으면 레일을 돌려 해당 랙의 공간을 확보한다. 또한, 해당 Zone의 통로에서 다른 작업자가 작업 중인 경우에는 대기해야 한다. Rack 앞에 위치해 Carrier를 찾아 피킹한다.

모빌랙의 보관 및 피킹 과정에서 복잡성 증대되고 작업시간이 증가하는 큰 이유 중 하나는 무분별한 보관방식에 있다. 보관 작업자는 테스트를 위해 최초 입고되는 Trolley 단위의 반도체를 입출구로부터 가까우면서 적당히 비어있는 Bay에 보관한다. 이러한 보관방식은 <Figure 5>에서 확인할 수 있듯, 출입구에 근접한 Bay 일수록 활용률을 높이며, 결과적으로 다수의 피킹 및 보관 작업자를 같은 Zone에 집중시켜 통로를 확보하기 위한 경쟁을 증가시킨다. 이러한 이유로 <Figure 6>과 같이 중앙 통로 상에 작업자들의 대기 행렬이 발생한다. 이러한 현상은 특히 출입구에서 가까운 Zone에 더욱 심하게 나타난다.

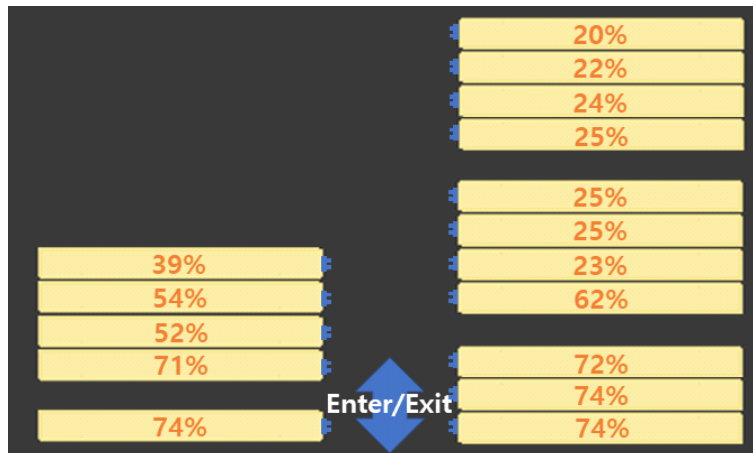


Figure 5. Utilization rate for each storage bay location

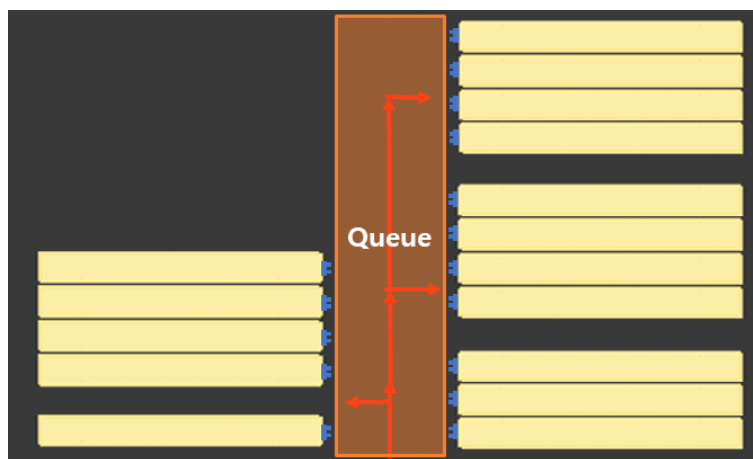


Figure 6. A figurative explanation of queue building up

또다른 원인으로 <Figure 7>에서 확인할 수 있듯 피킹 작업에 과도한 탐색시간(Searching Time)이 소요된다는 점을 지적할 수 있다. 탐색시간이란 피킹 작업시 Carrier가 위치한 Rack 앞에 도달하여 해당 Rack의 49개 Slot 중에서 Carrier를 식별해내는 데에 소요되는 시간을 말한다. 실제작업시간(Actual Operation Time)은 Trolley를 밀어 위치를 이동하는 것, 모빌랙의 핸들을 돌려 통로를 재조정하는 것, Carrier를 Trolley에 싣는 것, Carrier를 스캔하는 것 등의 필수작업을 포함한다. 실제작업시간과 대기시간을 제외하고 단순히 탐색시간에 소요되는 시간이 전체의 22%라는 사실은 그 자체로도 심각하다. 더욱 문제가 되는 것은 과도한 탐색시간으로 인해 통로를 점유하는 시간이 늘어나고, 특히 교통량이 많은 시간대의 대기열과 대기시간을 늘어난다는 점이다.

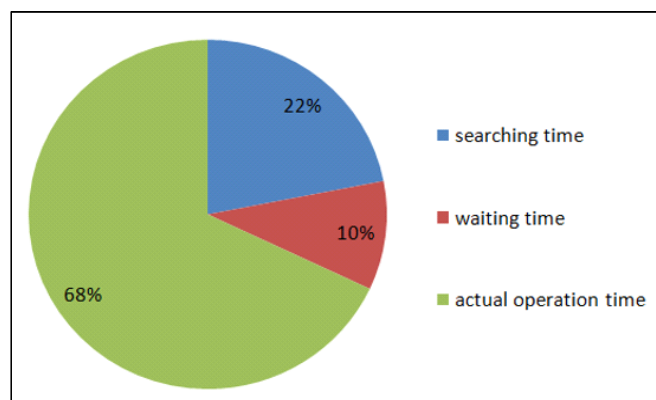


Figure 7. Time consuming in picking operations.

3.3 모빌랙의 문제점 해결안(Suggestions)

가정 먼저, 보관위치 할당 규칙을 만들어 보관 및 피킹 작업시간을 줄이는 방법을 고려할 수 있다. 하지만 본 사례에서 사용되고 있는 반도체 보관공간의 단위 수가 매우 작으며(17개의 Bay 또는 3개의 Zone), 공간의 크기에 비해 반도체의 특성이 매우 다양하다. 즉, 고객 요구별, 반도체 종류별, Test 예정 별 등 고려해야 할 사항들이 많다. 또한, 테스트 공정으로 투입되는 시기를 미리 알 수 없다. 그렇기 때문에 현재 보유하고 있는 저장공간에서는 존별 분류방식을 적용하기 어려운 상황이다. 본 연구에서는 이러한 복잡한 모빌랙 환경에서의 문제를 현실적으로 해결하기 위한 세 가지 해결안을 제시하였다.

- [해결안1: Carrier 저장 위치 바코드의 개선] 반도체를 찾는 시간을 줄이기 위해 Rack 단위 바코드를 Level 단위 바코드로 변경하여 탐색시간을 줄일 수 있다. 기존에는 하나의 Rack에 하나의 바코드가 할당되었다면, 하나의 Rack에 Level 별로 7개의 바코드가 할당되도록 변경하는 것이다. 변경 이전에는 피킹할 Carrier를 찾기 위해 최대 49개의 Slot을 탐색해야 했다면 개선 이후에는 최대 7개까지만 탐색하는 것으로 충분하다. 즉, 단순계산으로 탐색시간이 <Figure 8>에서 설명하는 것과 같이 기존의 1/7 수준으로 감소되는 효과를 얻을 수 있다. <Figure 7>의 작업시간 중 탐색시간의 비중을 이용해 계산하면 피킹 작업시간을 약 18% 이상 감소시킬 수 있다는 결론이 나온다. 탐색시간의 감소는 직접적으로는 피킹 작업자의 작업량을 감소시킨다. 동시에, 작업자의 통로 점유시간을 감소시킴으로 인해 간접적으로는 보관 및 피킹 작업자들의 대기시간을 감소시킬 수 있다.

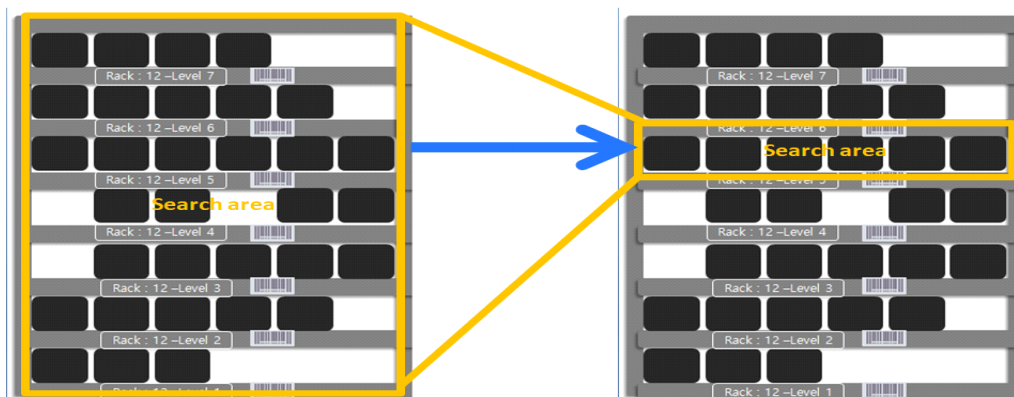


Figure 8. [Suggestion 1]: a figurative explanation of search area and time reduction

- [해결안2: Bay 관리 시스템 및 Bay 할당 로직 개발] <Figure 9>에서 제시하고 있는 것과 같이 Bay 단위로 보관된 Carrier의 수를 트래킹하는 시스템을 도입하고 이러한 정보를 바탕으로 작업자가 반도체를 보관해야 할 때 상황에 맞는 Bay를 할당(예를 들어, 보관 Carrier 개수가 가장 작은 Bay, 두 번째로 가장 작은 Bay 등에 할당)함으로써 보관 및 피킹 작업시간을 줄일 수 있다. 작업시간이 감소되는 이유는 크게 두가지 측면에서 설명할 수 있다. 첫 번째로는 보관 작업자가 적당한 Trolley 단위의 다수 Carrier를 입고할 때 충분한 공간이 있는 Bay를 찾아다닐 필요 없이 즉시 할당된 Bay로 이동할 수 있기 때문이다. 두 번째로는 출입구로부터 가까운 곳으로만 집중되어 있었던 물품 보관과 피킹을 균일하게 분산되어 작업자가 대기행렬에서 보내는 시간이 줄어들기 때문이다. 이동거리 증가에 따른 Trade-off가 존재하지만 작업자의 위치이동에 의해 발생하는 시간은 전체 작업시간에서 작은 비중을 차지한다.

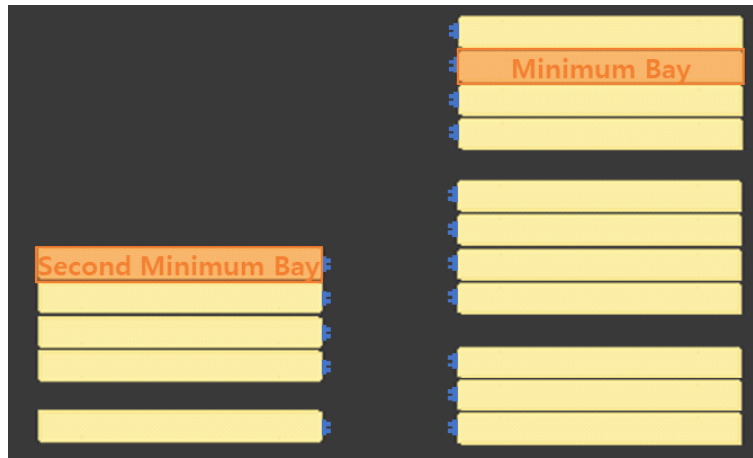


Figure 9. [Suggestion 2]: an example of bay assignment:
minimum and second minimum bay

- [해결안3: 모빌랙의 추가 도입] 기존에 Reject 유닛과 각종 트레이 등의 잡동사니를 보관하던 저장 공간에 Figure 10에서 제시하는 것과 같이 6개의 모빌랙 Bay를 추가 도입할 수 있다. 하나의 Zone을 추가적으로 구성하는 것이다. 저장 가능한 위치가 늘어남에 따라 물품이 분산되어 보관, 피킹작업의 혼잡을 낮출 수 있다. 또한, 동시에 열려있을 수 있는 전체 통로의 개수가 3개에서 4개로 증가함에 따라 대기 시간 감소 효과를 기대할 수 있다.



Figure 10. [Suggestion 3:] a figurative explanation of utilizing additional space: adding new zone

4. 연구 방법 및 시뮬레이션 모형

4.1 연구 방법

본 연구에서는 Arena를 이용한 시뮬레이션 분석을 실시하였다. 시뮬레이션 분석 방법론을 선택한 이유는 다음과 같다.

첫째, 대안들이 가산성(Additivity)의 원칙을 따르지 않는다. 다시 말해, 두 가지 이상의 대안을 선택했을 때, Synergy 효과나 Cannibalism 효과가 크게 나타날 것으로 예상된다. 따라서 단순히 선형 계획 모형인 할당(Assignment) 모형을 활용하기에는 무리가 있다.

둘째, 대기행렬이론을 활용할 수 없다. 대기행렬이론의 가장 중요한 전제는 서비스시간 패턴이 이 지수분포이며, 도착 패턴이 포아송분포를 따른다는 것이다. 하지만 해당 문제의 상황은 서비스 시간(작업자가 통로를 점유하는 시간)이 일정한 분포를 따르지 않는다는 점, 그리고 작업(load)이 도착하는 채널이 3개가 있고 하나로 합쳐지기 때문에 load의 도착패턴 또한 특정 분포를 따르지 않는다는 점을 고려하여 대기행렬이론은

사용할 수 없다는 판단을 하였다.

셋째, 연구의 목적이 각각의 대안들, 대안의 복합 방안들의 편익을 분석하는 것, 즉 What-If Analysis이다. 모든 상황에 대해서 수학적으로 모델링하고 솔루션을 탐색하는 것은 과도한 시간과 노력을 필요로 한다.

4.2 시뮬레이션 모형

입고와 출고의 관점에서 구분했을 때, 입고는 Burn-in 입고, 보관작업 과정이 존재하며, 출고는 피킹 작업 과정이 존재한다.

- [Burn-in 입고 과정] Burn-in 공정을 마치고 테스트 구역으로 투입되는 반도체이다. Trolley 단위로 입고된다. 실제 측정 데이터를 Arena의 Input Analyzer로 Fitting 하여 Burn-in 입고의 Inter-arriving 시간을 $'725 + 1.79e + 004 * BETA(1.2, 2.98)'$ 초로 설정하였다. 한 번의 입고 프로세스에는 'DISCRETE (0.775, 1, 0.960, 2, 0.993, 3, 1.0, 4)' 대의 Trolley가 입고된다. 이는 75.5%의 확률로 1대, 18.5%의 확률로 2대, 3.3%의 확률로 3대, 0.7%의 확률로 4대의 Trolley가 입고되는 것을 의미한다. 각 Trolley에는 'DISCRETE(0.010, 10, 0.015, 11, 0.039, 12, 0.112, 13, 0.293, 14, 0.551, 15, 0.785, 16, 0.839, 17, 0.898, 18, 0.932, 19, 0.980, 20, 1.0, 21)' 개의 Lot가 실려 있으며, 각 Lot는 'DISCRETE(0.107, 1, 0.639, 2, 0.941, 3, 1.0, 4)' 개의 Carrier로 구성되어 있다. Carrier가 저장공간에 보관되는 기본 단위이며, 하나의 Carrier는 하나의 Slot을 차지한다.
- [보관 작업 과정] Burn-in 입고를 통해 테스트 구역으로 들어온 반도체들은 다양한 테스트를 위해 모빌랙으로 구성된 보관장소에 입출고되는 것을 여러 번 반복한다. 출고는 아래에서 설명할 피킹 작업에 해당하며 입고는 보관 작업에 해당된다. 하나의 보관 작업에 의해 'DISCRETE(0.2, 1, 0.5, 2, 0.8, 3, 0.9, 4, 1.0, 5)' 개의 Lot가 입고되며, Lot 당 Carrier 수의 분포는 Burn-in 입고의 경우와 동일하다. 보관 작업의 발생 빈도는 시간대에 따라 차이가 있다. 즉, 바쁜 시간대와 여유있는 시간대가 존재한다. 이러한 상황을 반영하기 위해 Low, Mid, High 교통량을 포아송분포로 상정하고 각각 High~POISSON(11), Mid~POISSON(8), Low~POISSON(6) 값을 사용하여 보관작업 이벤트를 발생시켰다.
- [피킹 작업 과정] 피킹 작업은 보관 작업과는 다르게 하나의 작업을 완수하기 위해서 여러 Bay들을 순회해야한다. 이는 피킹해야 할 반도체 Lot가 여러 Bay에 분산되어 있기 때문이다. 하나의 작업에 몇 개의 Lot가 피킹되어야 하는지는 'DISCRETE(0.2, 1, 0.5, 2, 0.8, 3, 0.9, 4, 1.0, 5)' 분포를 따른다. Lot 당 Carrier 수의 분포는 Burn-in 입고의 경우와 동일하다. 피킹 작업 또한 보관 작업과 마찬가지로 바쁜 시간대와 여유있는 시간대의 차이를 반영하기 위해 Low, Mid, High 교통량을 포아송분포로 상정하고 각각 High~POISSON(7), Mid~POISSON(5), Low~POISSON(4) 값을 사용하여 피킹작업 이벤트를 발생시켰다.

아래의 <Figure 11>은 Arena를 이용해 모델링한 네 가지 기본 시나리오(as-is 시나리오와 세 가지 해결안이 각각 적용된 시나리오)를 나타낸다. <Figure 11>에 표시된 바와 같이 해결안 1의 모델에서는 피킹 작업자의 탐색시간을 조정하였으며, 해결안 2의 모델에서는 Bay 할당 로직을 적용하였고, 해결안 3에서는 모빌랙을 추가 설치하였다.

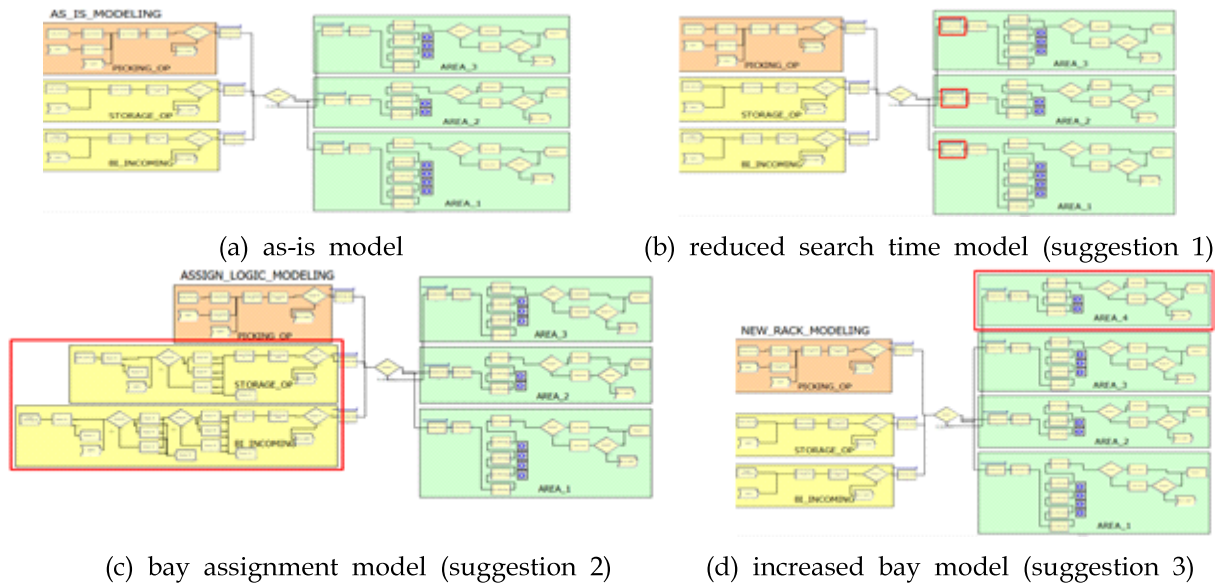


Figure 11. Basic simulation models: as-is model and the three model for the suggestions

5. 실험 결과 및 비용-편익분석

실험 시나리오는 총 24개로 구성되었다. Do nothing 즉, as-is와 앞선 ‘3.3. 모바일랙의 문제점 해결안 (Suggestions)’에서 제시되었던 세 가지 해결안을 조합할 수 있는 일곱 가지 경우를 합치면 여덟 가지 경우의 수가 만들어진다. 각각에 대하여 세 가지 교통량을 가정하여 최종적으로는 총 24가지(8x3) 시나리오를 설정하였다. 실험의 Replication 횟수는 각각의 시나리오에 대해 20회씩 진행하여 평균값을 사용했다. 시뮬레이션 시간은 3일(72시간)이다. 해결안 2가 포함되는 시나리오는 각 Bay의 Utilization이 일정한 상태로 수렴하기까지 24시간 정도의 Warm up period를 두어 시뮬레이션 시간을 96시간으로 하였으며, 나머지는 2시간의 warm up period를 적용하여 74시간 시행하였다. 연구의 결과값은 <Table 1~3>에 제시하였다. 각각의 Table은 Traffic의 양에 따라 Low, Mid, High의 수준으로 분리하였다.

Table 1. Operators work time accumulated with low traffic (unit: seconds)

Low	As - Is	1	2	3	1+2	1+3	2+3	1+2+3
Total	192,783	176,287	198,605	191,678	166,067	160,441	194,295	167,207
Traveling	16,526	25,345	19,827	17,995	19,930	17,832	21,788	20,574
Waiting	19,852	16,905	21,744	16,623	15,112	11,735	16,119	14,951
Move Rack	20,113	20,549	19,637	19,658	19,590	19,668	18,927	18,572
Others	136,292	113,489	137,398	137,402	111,425	111,206	137,461	112,930

Table 2. Operators work time accumulated with medium traffic (unit: seconds)

Mid	As - Is	1	2	3	1+2	1+3	2+3	1+2+3
Total	272,986	223,759	272,625	268,503	234,437	221,004	278,131	228,804
Traveling	22,843	22,380	27,212	24,726	27,919	24,464	31,327	29,734
Waiting	37,960	25,047	34,690	30,660	27,625	21,668	29,283	22,212
Move Rack	28,131	27,954	26,682	27,146	27,144	26,676	26,726	25,788
Others	184,053	148,378	184,042	185,972	151,748	148,197	190,796	151,070

Table 3. Operators work time accumulated with high traffic (unit: seconds)

High	As - Is	1	2	3	1+2	1+3	2+3	1+2+3
Total	361,089	300,036	354,426	349,522	296,494	290,068	341,529	287,629
Traveling	28,631	28,656	35,162	31,670	35,135	31,282	29,734	37,717
Waiting	67,553	49,562	54,305	52,177	40,255	38,143	22,212	32,028
Move Rack	35,405	35,366	34,244	34,554	34,290	34,254	25,788	32,325
Others	229,501	186,451	230,715	231,131	186,815	186,390	151,070	185,559

5.1 실험 결과 분석

세 가지 해결안 중에서 한 가지만 적용할 경우 해결안 1(Carrier 저장 위치 바코드의 개선) 방안이 큰 효과를 나타냈다. 교통량이 낮을 때에는 다른 해결안에 비해 72시간의 시간 동안 약 2만 초 정도의 작업시간 감소 효과를 나타내며, 교통량이 중간수준과 높은 수준에서는 약 5만 초 감소, 6만 초 감소로 그 효과가 증가한다. 따라서 만약 각 해결안에 우선순위를 두고 순차적으로 적용해나간다면 바코드 개선방안이 가장 우선적으로 추천되며, 이후로는 해결안 3(모빌랙의 추가 도입), 마지막으로 해결안 2(Bay 관리 시스템 및 Bay 할당 로직 개발)의 방안이 추천된다.

두 가지의 방안을 혼용하는 경우 해결안 1과 해결안 3의 조합이 가장 큰 효과를 나타낸다. 교통량이 낮은 경우 As-is 대비 72시간 동안 약 3만 초의 작업시간 감소효과가 발생한다. 교통량이 중간수준과 높은 수준에서도 해결안 1과 해결안 3의 조합이 가장 두드러졌다.

세 가지를 모두 혼용하는 방안의 경우 실험 이전의 기대와 다르게 작업시간이 크게 감소되지 않는 모습을 보여준다. 교통량이 낮을 때와 중간수준일 때에는 오히려 해결안 1과 해결안 3만을 조합한 경우보다도 총 작업시간이 높게 도출되었다.

5.2 비용 편익 분석

연구의 대상이 되는 반도체 제조업체에서는 해결안 1의 도입비용으로 약 일백만 원, 해결안 2의 도입비용은 오천만 원, 그리고 해결안 3의 모빌랙 추가 설치를 위한 비용으로 약 이천만 원을 예상하였다.

본 연구에서는 편익은 감소된 작업시간에 최저시급을 곱하는 것으로 산출하였다. 만약 작업시간이 하루에 3시간 감소되는 효과가 있다면, 이 때의 편익은 3시간에 최저시급(2020년 기준 8,590원)을 곱한 25,770원이 되는 것이다. 따라서 기존(As-is) 대비 감소한 시간이 많을수록 편익의 양은 늘어난다.

작업시간 감소효과가 큰 것을 기준으로 대안을 선택한다고 했을 때, 한 가지만 선택할 경우 해결안 1을, 두 가지 이상 혼용한 대안을 선택한다면 해결안 1과 해결안 3을 혼용 대안을 선택하는 것이 합리적이다. 하루 중 낮은, 중간수준의, 높은 교통량의 비중은 동일한 것으로 가정했을 때, 해결안 1을 선택한 경우 하루에 약 33,611원의 시간 절감 편익이 발생한다. 도입 비용이 백만 원인 것을 고려한다면 누적 편익의 합이 비용을 넘어서는 단순 회수기간(Payback Period)은 약 30일로 계산된다. 해결안 1과 해결안 2를 동시에 도입하는 경우 하루에 약 41,146원의 시간 절감 편익이 발생한다. 새로운 랙을 설치하기 위한 도입 비용이 이천만 원으로 예상되는데, 해결안 1의 도입비용과 합친 비용인 이천 백만 원을 편익이 넘어서기 위해서는 약 510일의 시간이 필요하다.

6. 결론

본 연구에서는 모빌랙을 효율적으로 활용하기 위한 해결안을 제시하고 그 효과를 분석하였다. 모빌랙의 보관 및 피킹 작업자의 작업시간을 감소시키기 위해 세가지 해결안을 제시하였다. 이를 통해 반도체 백엔드 테스트 공정의 복잡성과 모빌랙의 복잡성이 더해져서 증대하는 작업시간을 감축시키고자 하였다.

시뮬레이션 분석 결과 제시된 해결안 중에서 한 가지만 도입한다면 바코드 시스템을 개선하는 것이 가장 바람직하고, 여러 방안을 동시에 적용한다면 바코드 시스템을 개선하는 방안과 새로운 모빌랙을 추가 설치하는 방안을 혼용하는 것이 가장 바람직하다.

비용편익 분석에 의하면 바코드 시스템만을 개선할 경우 하루 삼만 사천원의 편익이 발생해 30일이 지나면 누적편익이 도입비용을 넘어선다. 바코드 시스템을 개선하는 방안과 모빌랙을 추가 설치하는 방안을 혼용할 경우 하루 편익은 약 사만 천 원 정도 발생한다. 이 경우 추가 모빌랙 도입 비용이 크기 때문에 약 510일이 경과해야 누적편익이 고정비를 넘어선다. 따라서 단기적 관점에서 투자하고자 하는 결정자는 바코드 시스템 개선안을 선택해야 하고 장기적 관점에서 개선을 하고자 한다면 바코드 시스템 개선과 더불어 새로운 랙을 추가적으로 설치하면 된다.

본 연구의 차별점 한 가지는 기존 대다수의 연구와 다르게 수작업 보관 및 피킹 환경의 모빌랙 운용 효율화에 집중했다는 점이다. 또한, 기존의 대다수 연구가 입출고 과정을 임의로 가정하고 가상의 환경에서 최적화 연구를 진행했다면, 본 연구는 실제 작업이 이루어지는 실제 모빌랙 공간과 실제 보관 및 피킹 작업 데이터를 기반으로 시뮬레이션 분석을 실시하였다는 점이 주목할만하다.

비록 반도체 백엔드 테스트 공정의 상황을 적용한 연구를 진행했지만, 본 연구에서 제시된 해결안은 특정 기업이나 특정 산업분야에 국한되지 않는 모빌랙 운영의 효율화 사례로서의 가치를 지닌다. 해당 연구를 참고하여 유사한 상황 및 문제에 봉착한 의사결정권자의 판단을 도울 수 있을 것이라 생각한다.

참고문헌

- Boysen, N., Briskorn, D., Emde, S. (2017), Sequencing of picking orders in mobile rack warehouses, European Journal of Operational Research, Vol. 259, Issue 1, 293-307
- Guezzen, A. H., Sari, Z., Castagna, P., Cardin, O. (2013), Travel Time Modeling and Simulation of a Mobile Racks Automated Storage/Retrieval System, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 5, No. 3
- Kim, H-S., Yoo, S-S., Cheon K-M. (2016), A Study on the Job Control Algorithm for Multi-Mobile Rack, Korean Society of Industrial Engineers Collection of Spring Joint Conference, 738-761
- Shin, J-Y., Kim, H-S., Park, H-J. (2016), A study on an efficient assignment algorithm in mobile rack warehouses, Korean Society of Industrial Engineers Collection of Spring Joint Conference, 4493-5411

물류과학기술연구 제2권 제1호(통권 제2호)

-
- 인 쇄 : 2021년 6월 24일
 - 발 행 : 2021년 6월 30일
 - 발행인 : 하 현 구
 - 편집인 : 김 태 복
 - 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 2021. The Society of Logistics Science and Technology all rights reserved.