

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

이기주<sup>1</sup>, 채준재<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국항공대학교 항공교통물류학부

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

Keyju Lee<sup>1</sup>, Junjae Chae<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School 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

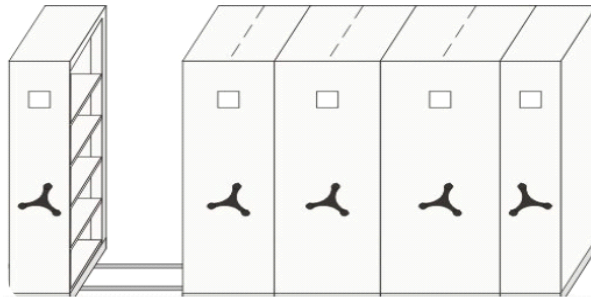


Figure 1. A typical configuration of mobile rack

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.

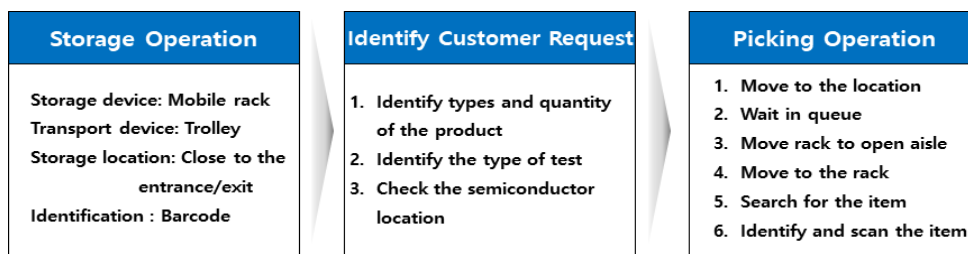


Figure 2. Storage and picking procedure for test operations

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.

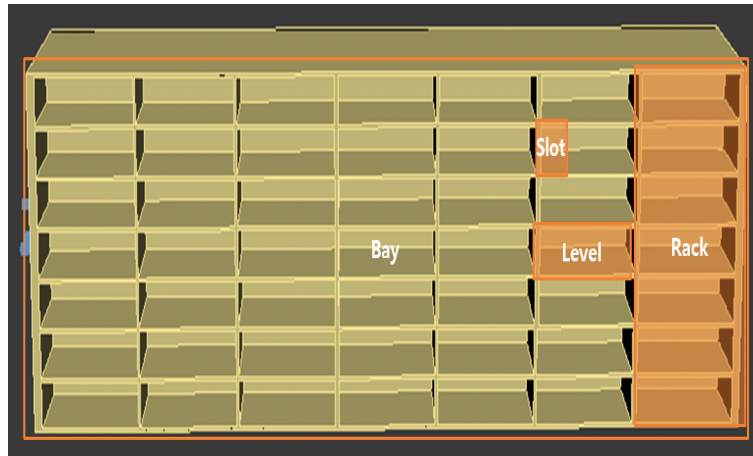


Figure 3. A figurative explanation of storage unit: bay, rack, level, and slot.



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.

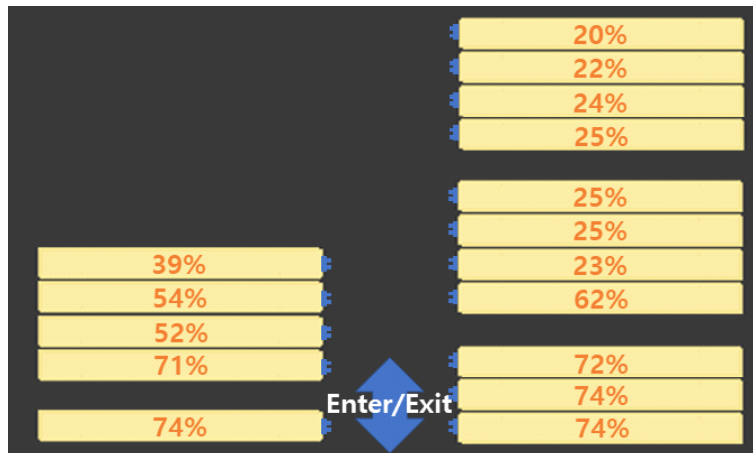


Figure 5. Utilization rate for each storage bay location

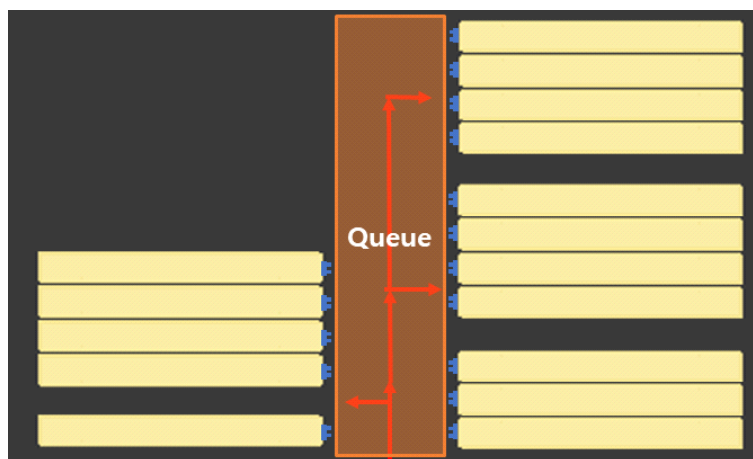


Figure 6. A figurative explanation of queue building up

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.

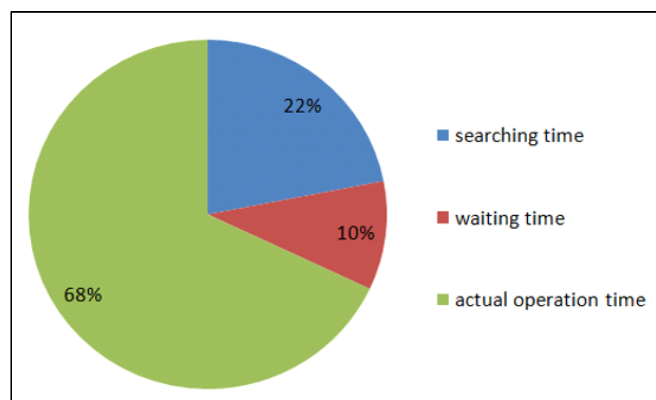


Figure 7. Time consuming in picking operations.

### 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.

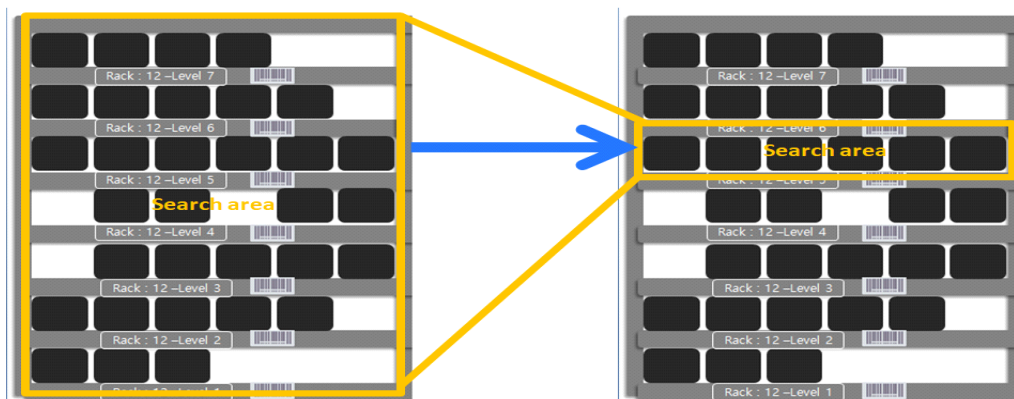


Figure 8. [Suggestion 1]: a figurative explanation of search area and time reduction

- [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.

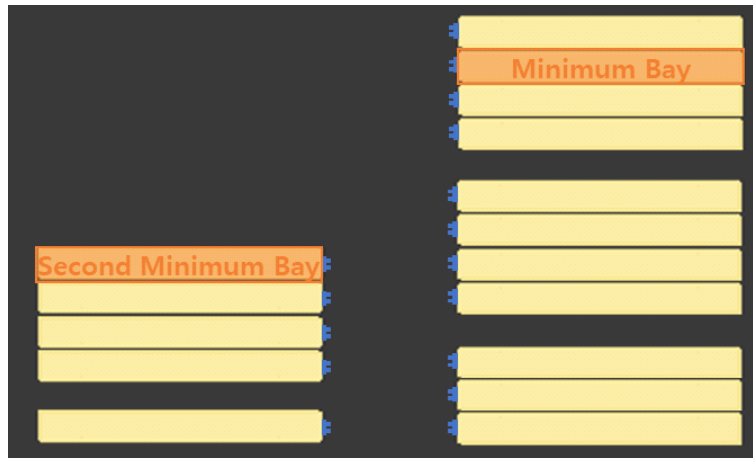


Figure 9. [Suggestion 2]: an example of bay assignment:  
minimum and second minimum bay

- [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.

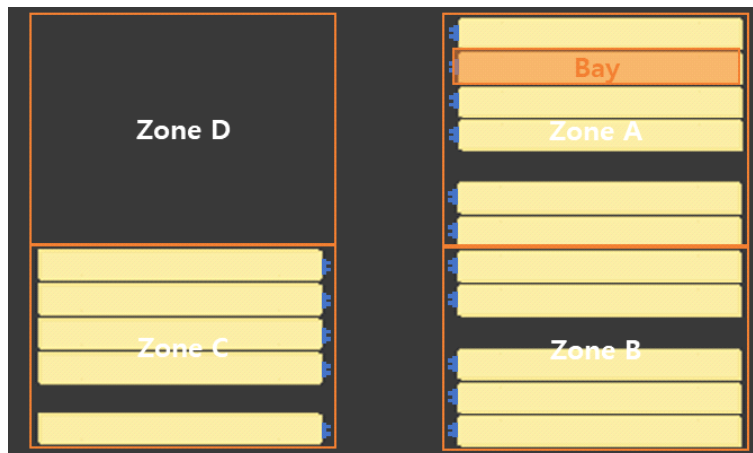


Figure 10. [Suggestion 3:] a figurative explanation of utilizing additional space: adding new zone

## 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.



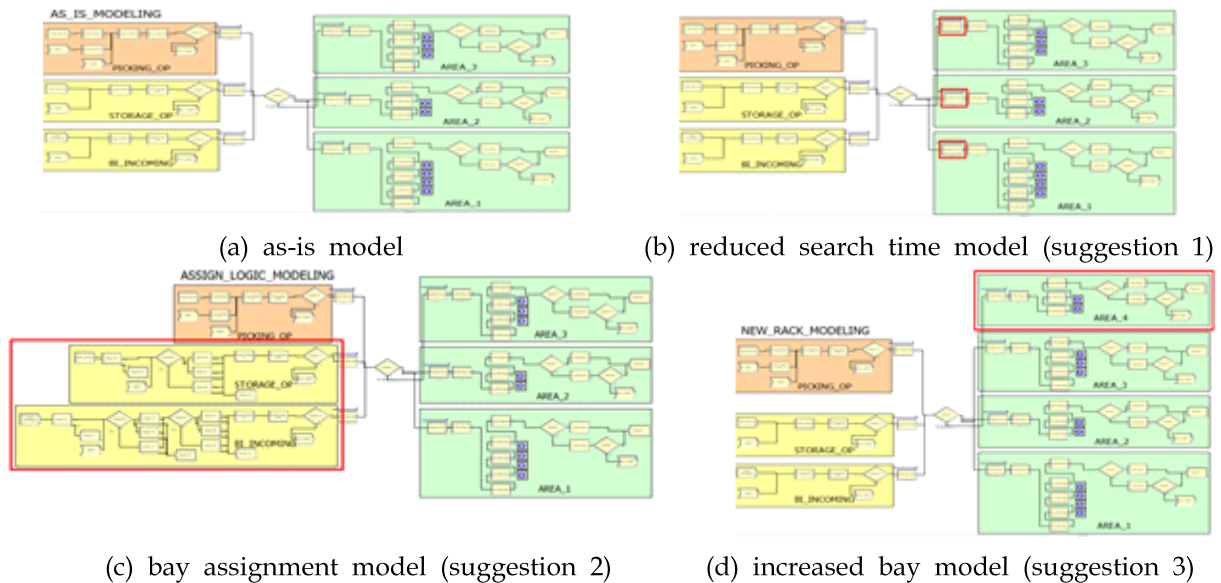


Figure 11. Basic simulation models: as-is model and the three model for the suggestions

## 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