

# 반도체 FAB의 자동화 물류 시스템을 위한 다중해상도 모델링 방법

이관우 · 송시용 · 박상철<sup>†</sup>

## Multi-resolution Modeling Method for Semiconductor FAB Automated Material Handling System

Kwanwoo Lee · Siyong Song · Sangchul Park<sup>†</sup>

### ABSTRACT

In this study, we propose a multi-resolution modeling method for the automated material handling system in semiconductor FABs. Discrete-event simulation is a crucial tool for experimenting and solving decision-making problems in the semiconductor industry. However, when both the production and logistics systems of semiconductor FABs are modeled together, simulation speed can become slow. To address this issue, we suggest a method that uses high-resolution and low-resolution models simultaneously to create a model of FAB's automated material handling system. By inheriting the logistics system characteristics extracted from the high-resolution model into the low-resolution model, we can obtain an FAB automated material handling system model with high simulation speed and accuracy. We verified the efficiency of our proposed method through simulation case studies using SMT2020 and SMAT2022 testbeds. Our proposed multi-resolution modeling method is expected to make an important technical contribution to improving the efficiency and accuracy of semiconductor FAB simulation.

**Key words** : Discrete event simulation, Multi-resolution modeling, Semiconductor FAB, AMHS

### 요약

본 연구에서는 반도체 FAB의 자동화 물류 시스템에 대한 다중해상도 모델링 방법을 제안한다. 이산사건 시물레이션은 반도체 산업 분야에서 중요한 도구로 활용되고 있지만, 반도체 생산 시스템과 물류 시스템을 함께 모델링하면 시물레이션 속도가 느려지는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위해, 고해상도 모델과 저해상도 모델을 동시에 사용하여 FAB의 자동화 물류 시스템에 대한 모델을 생성하는 방법을 제안한다. 고해상도 모델에서 추출된 FAB의 물류 시스템 특성을 저해상도 모델에 상속함으로써, 높은 시물레이션 속도와 높은 정확성을 갖는 FAB의 자동화 물류 시스템 모델을 획득할 수 있다. 본 연구에서는 SMT2020, SMAT2022 테스트베드를 활용한 시물레이션 사례 연구를 통해 제안된 방법의 효율성을 입증하였다. 이를 통해 제안된 다중해상도 모델링 방법이 반도체 FAB 시물레이션의 효율성과 정확성을 향상할 수 있는 중요한 기술적 기여할 것으로 기대된다.

**주요어** : 이산사건 시물레이션, 다중해상도 모델링, 반도체 FAB, 자동화 물류 시스템

## 1. 서론

반도체 FAB(Fabrication)이란 반도체 소자를 만드는 제조 라인으로 수백 개의 복잡한 공정 단계와 재진입 공정 흐름(Reentrant flow), 큐 타임(Queue time) 제약 조건 등과 같은 이유로 인해 현존하는 생산 시스템 중 가장 복잡한 생산 시스템으로 알려져 있다(Mönch et al., 2013). 반도체 산업 분야에서는 이산사건 시물레이션(Discrete Event Simulation)을 활용하여 생산 시스템 및 물류 시

\* 본 논문은 한국연구재단(NRF-2020R1A2C1004544), 정보통신기획평가원(IITP-2021000292), 그리고 산업통상자원부(RS-2022-00155650)의 지원을 받아 수행한 과제입니다.

Received: 27 February 2023, Revised: 29 March 2023,  
Accepted: 31 March 2023

<sup>†</sup> Corresponding Author: Sangchul Park  
E-mail: scpark@ajou.ac.kr  
Ajou University Industrial Engineering

템을 모델링하고 장기적인 현상들에 대해 실험하거나 의사결정 문제를 해결하고 있다(Fowler et al., 2015). 일반적으로 다른 제조 도메인에서 생산 시스템과 물류 시스템을 동시에 모델링하는 것에 반해, 반도체 FAB 시뮬레이션의 경우 일반적으로 생산 시스템에 대한 모델링과 물류 시스템에 대한 모델링을 분할하여 수행한다.

현대의 대형 반도체 FAB은 약 1000대 이상의 설비와 2000대 수준의 물류 장비들로 구성되어 규모와 복잡도가 다른 제조 시스템에 비해 높아 시뮬레이션 모델링이 어렵다(Kopp et al., 2020). 이를 하나의 시뮬레이션 프로젝트에 동시에 모델링할 경우 컴퓨터 자원 제약으로 시뮬레이션 속도가 떨어져 장기적인 실험 결과를 보는 데 걸리는 시간을 증가시키기 때문이다. 하지만, 반도체 FAB에서 물류 시스템의 성능은 생산 시스템의 성능에 많은 영향을 미치기 때문에(Yang & Peters, 1998; Brain et al., 1999; Gaxiola et al., 2013; Tung et al., 2013), 생산 시스템과 물류 시스템을 같이 모델링했을 때보다 현실에 가까운 실험환경에서 운영 로직과 의사결정 문제의 효과를 검증해볼 수 있다.

반도체 물류 시스템에 관한 시뮬레이션 연구들은 다음과 같다. Tung 등(2013)은 자동화 물류시스템의 설계 최적화를 위한 실험을 진행하기 위하여 물류 시스템에 대한 시뮬레이션 모델을 생성하였다. Seo 등(2018)은 제조 시스템에서 대체 설비 및 배치를 평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 자동 생성하는 프로세스를 제안하였으며 이를 반도체 FAB을 대상으로 연구하였다. Kim 등(2019)은 반도체 제조 물류 시스템의 통행량을 예측하는 딥러닝 모델을 제안하여 FAB 설계 및 공장 증축 단계에서 정체 위험 구간을 사전에 파악할 수 있도록 하였다. Kong (2007)은 시뮬레이션의 단계를 물류 시뮬레이션 단계와 생산 시뮬레이션 단계로 분류하여 수행하였을 때 물류 시스템이 생산시스템에 미치는 영향을 분석할 방법에 대해 제안하였다. 하지만 이전 연구들은 반도체 FAB에서의 생산 시스템 모델과 물류 시스템 통합을 위한 효율적인 물류 시스템 모델링을 목적으로 하지 않는다.

따라서 본 연구의 목적은 효과적인 FAB 내 자동화 물류 시스템에 대한 모델링 방법을 제시한다. 이 방법은 자동화 물류 시스템을 두 가지 해상도(Resolution)로 모델링한다. 첫 번째 고해상도(High-resolution) 시뮬레이션 모델로부터 생성된 시뮬레이션 로그(Simulation Log)를 활용하여 저해상도(Low-resolution) 시뮬레이션을 초기화하고 작동하도록 하는 방법이다. 이를 활용하여 효과적으로 물류 시스템과 생산 시스템 모두를 모형화한 반도체

체 FAB 모델을 획득할 수 있으며 기존 물류 시스템이 없는 시뮬레이션 모델 대비 정확성이 높고 장기적인 시뮬레이션 진행에서 시뮬레이션 속도를 향상할 수 있다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 제2절에서는 본 연구에서 제시하는 방법론에 대해 소개한다. 제3절에서는 다중해상도로 모델링된 자동화 물류 시스템 모델들에 대해 설명하고 제4절에서 실험을 통해 구현된 모델들을 평가한다. 제5절에서는 이상의 내용 전반에 대한 결론을 내리며 향후 과제에 대해 제시한다.

## 2. 다중 해상도 모델링 방법론

### 2.1 반도체 시뮬레이션 테스트베드(Testbed)

본 연구에서는 반도체 FAB 시뮬레이션 표준 테스트베드인 SMT2020과 반도체 FAB 물류 시스템 테스트베드인 SMAT2022을 대상으로 한다. SMT2020은 현대 FAB의 복잡도와 규모를 반영한 표준 테스트베드(Kopp et al., 2020), 반도체 FAB을 구성하는 8가지 공정 유형과 3가지 검사 유형을 합친 11개의 공정 설비 유형이 존재한다. 11개의 설비 유형에 대하여 105종의 설비 그룹이 있으며 약 1,000대의 설비가 존재한다. 10종류의 제품과 5종류의 제품 우선순위(Priority)로 구성되어 있으며, 제품별 처리 받아야 할 공정 라우트(Route)가 정해져 있다. 공정 내 물류에 대해서는 한 공정에서 처리를 받은 제품이 다음 공정으로 배송 시간을 균일 분포(Uniform Distribution)으로 표현하였다.

이러한 SMT2020의 공정 내 물류 모델을 사용할 경우 다음과 같은 제약 조건이 발생한다: (1) FAB의 규모에 따른 시간 변화를 반영할 수 없으며, (2) 배송의 출발지점과 종료 지점의 위치에 따른 배송시간 차이를 반영할 수 없다. 또한 (3) 한 공정에서 다음 공정으로의 배송 시간을 가정하고 있으므로 저장 시스템(Storage System)에서 대기하는 시간을 반영할 수 없다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 Lee(2022)는 SMT2020 확장하여 자동화 물류 시스템 모델들에 대하여 작성한 테스트베드인 SMAT2022를 발표하였다. SMAT2022에는 반도체 FAB에서의 대표적인 물류 장비인 OHT(Overhead Hoist Transport)가 500대와 OHT가 주행하기 위한 트랙 레이아웃(Track Layout)이 40개의 인트라베이(Intrabay)와 3개의 인터베이(Interbay)로 구성되어 있다. 마지막으로 저장시스템인 스톡커(Stocker), 트랙 버퍼(Track Buffer)들이 배치되어 있다.

본 연구에서는 반도체 FAB에서의 생산 시스템과 물류 시스템을 모두 포함한 시뮬레이션 모델을 획득하기 위

하여 SMT2020의 생산 시스템과 SMAT2022의 물류 시스템을 대상으로 모델링을 하였다.

## 2.2 다중 해상도 모델링

시물레이션 모델의 해상도란 모델링의 추상화 수준을 설명하는 용어이다(Moon & Kim, 2018). 해상도가 높을수록 실제 대상 시스템(Target System)과 모델의 작동 방식을 자세히 묘사하며 많은 양의 정보를 가진다. 다중해상도 모델링(Multi-Resolution Modeling, MRM)이란 대상 시스템에 대하여 여러 해상도의 단일 모델, 일관된 모델 군 혹은 둘 다를 진행하는 것을 말한다(Davis & Bigelow, 1998). 이는 국방 M&S에서와 같이 대상 시스템의 규모와 복잡도가 거대할 경우 효과적으로 활용되는 모델링 기법이다.

고해상도 모델의 경우 데이터양이 크고 계산량 시간이 많이 소요되며, 현실과 비슷한 MRM을 활용하여 해상도가 상이한 모델들을 연동하고 운영목적에 따라 전환하여 사용할 수 있다(Moon & Kim, 2018). 이러한 해상도 전환(Resolution conversion)을 위한 기법으로는 A/D (Aggregation/Disaggregation)와 UNIFY 기법이 대표적이다(Bae & Rhee, 2018). A/D는 특정 조건에 따라 모의 객체의 해상도 모델을 동적으로 전환하는 기법으로 고해상도 모델에서 저해상도 모델로 전환하는 분해(Disaggregation)과 저해상도 모델에서 고해상도 모델로 전환하는 집합(Aggregation)이 작성된다. UNIFY는 모델의 해상도 모델들을 통합관리 하는 기법으로 MRE(Multi Representation Entity) 모델을 적용하여 모델 내에 객체에 대한 다중 표현을 공존시키고 목적에 따라 적절 표현을 활용하여 상호작용할 수 있도록 하는 방법이다(Bae & Rhee, 2018).

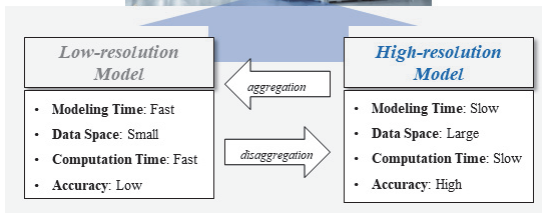


Fig. 1. Multi-resolution modeling

## 2.3 본 연구에서의 접근법

본 연구에서 제안하는 방법론의 구조는 Fig. 2와 같다. 반도체 생산 시스템 모델은 시물레이션 목적에 따라 하나의 해상도로 모델링한다. 물류 시스템 모델은 객체(Entity) 수준 모델과 유닛(Unit) 수준 모델로서 구현되었다. 워밍업 기간 이후 로그 수집 기간을 별도로 설정하고 로그를 수집한다. 그 이유는 워밍업 기간의 시스템상에 충분하지 않은 물류 배송량을 토대로 로그를 수집할 경우 시스템의 물류 혼잡도를 반영하지 못하기 때문이다. 따라서 시스템이 안정화된 시점 이후부터 로그를 수집하여, 일정 조건 이상의 로그를 수집할 경우 로그들을 활용하여 유닛 수준 모델들의 상태를 초기화하고 해상도를 전환한다. 이를 통해 초기 워밍업 기간과 로그 수집 기간을 제외한 본 시물레이션 진행 시에 빠른 시물레이션 속도를 활용하여 실험할 수 있다.

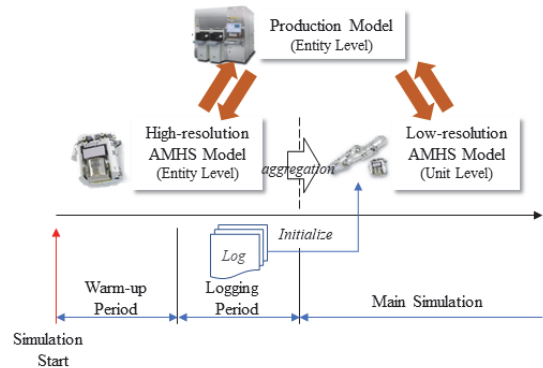


Fig. 2. MRM framework for semiconductor FAB

## 3. 반도체 FAB 자동화 물류 시스템 모델링

### 3.1 객체 수준(Entity level) 모델링

반도체 FAB에서의 웨이퍼(Wafer)들은 FOUP(Front opening unified pod)이라 불리는 캐리어(Carrier)에 담겨 OHT에 의해 스테이션(Station)에서 스테이션으로 이송된다. OHT는 천장에 설치된 트랙을 따라 단방향으로 주행하는 장치로서, 전방의 차량이 설비와의 이 적재 작업을 수행하는 과정에서 지연이 발생할 수 있다. 또한, 합류 지점과 분기 지점에서 차량 간 충돌을 예방하기 위한 제어로 병목이 발생할 수 있는 특징이 있다. 본 연구에서는 고해상도 모델인 객체 수준 모델은 OHT 객체들을 묘사하고, 이 객체들이 전송 요청을 수행하는 형태의 모델을 구현하였다. 따라서 객체 수준 모델링을 위해 묘사해

야 하는 요소들은 OHT 차량, 트랙 네트워크 그리고 스테이션(공정 설비, 저장 설비 진입 장소)이다.

OHT가 주행할 트랙 네트워크의 모습은 Fig. 3과 같다. 트랙 네트워크는 설비들이 배치된 인트라베이와 인트라베이들을 연결하는 통로인 인터베이로 구성된다. SMAT2022에는 총 40개의 인트라베이와 3개의 인터베이가 존재한다(Lee et al., 2022).

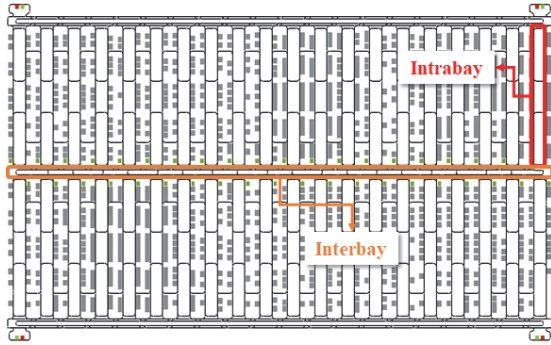


Fig. 3. SMAT2022 OHT network

OHT 모델은 Table 1과 같은 성능 사양을 반영하여 모델링되었으며(Lee et al., 2022), OHT의 주행 특성상 전방 차량과 일정 간격 이상을 유지하도록 모델링되었다. 객체 수준 OHT 모델을 이용하여 시뮬레이션할 때 Fig. 4와 같은 다양한 정체 현상이 발생한다. 따라서, 출발지에서 목적지까지 거리가 멀어질수록 지연 현상이 발생할 가능성이 증가하므로, 배송시간의 변동성이 증가한다.

Table 1. OHT specification

Category	Value
Straight Speed	5.0m/s
Curve Speed	1.0m/s
Acceleration	2.0m/s <sup>2</sup>
Deceleration	3.5m/s <sup>2</sup>

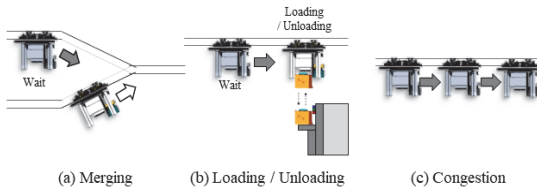


Fig. 4. Traffic delay situations

마지막으로 구현된 OHT 객체 들을 제어하는 OCS(OHT Control System) 모델을 구현해야 한다. OCS 모델은 제조 시스템으로부터 전달받은 전송 요청(Transport Request)을 적정 OHT에 할당(Dispatch)하고 유힬(Idle)한 OHT들을 제어하여 물류 시스템이 효율적으로 운영될 수 있도록 한다. OHT 객체 모델은 할당받은 전송 요청을 완료할 때 로그를 생성하며, 로그의 형태는 다음과 같다.

```
struct Log{
    int Start;
    int Destination;
    TimeSpan DeliveryTime;
}
```

### 3.2 유닛 수준(Unit level) 모델링

본 논문에서는 객체 수준 모델에서 수집된 데이터들을 활용하여 하나의 OHT 집합 모델을 생성하는 방법에 대해 제시한다. 본 연구에서는 유닛 수준 모델을 크게 3종류의 형태(Fab 유닛, 베이 유닛, 영역 유닛)로 제안하였다. 각 유닛 모델은 전송 요청이 주어질 때 각 전송 요청이 완료하는 데 필요한 시간을 계산하고 해당 시간에 전송 종료 이벤트(Event)를 예약한다. 유닛 모델들은 객체 수준 모델에서 수집된 로그들을 활용하여 초기화한다. 이때 객체 모델의 로그들로부터 해당 FAB에서의 배송 특성과 지연에 의한 결과가 유닛 모델에 반영된다. 객체 모델이 로그 수집 기간 동안 수집된 모든 로그의 집합을  $L$ 이라 할 때 유닛 모델은  $L$ 에서 각 모델의 목적에 부합하는 로그( $l$ )들을 추출한 대상 로그 집합  $L^*$ 을 생성한다. 로그 기반 배송 시간 함수  $\tau(i, j)$ 는  $L^*$ 에 포함된 로그들의 배송 시간의 평균과 분산을 구하여 정규 분포로 모형화한 것과 같다.

$$\tau(i, j) = N(\mu, \sigma)$$

$$\text{where, } \mu = \frac{\sum_l t_l}{|L^*|} \text{ and } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_l (t_l - \mu)^2}{|L^*|}}$$

$$t_l = \log l's \text{ DeliveryTime}$$

#### 3.2.1 FAB 유닛(FAB Unit) 모델

FAB 유닛 모델은 SMT2020의 물류 모델과 같이 한 FAB 내부에서 발생하는 전송 요청들에 대하여 하나의 유닛에서 계산하는 모델이다. 즉, 이 모델에서의 거리 합

수에서는 출발지점과 목표지점의 위치는 고려하지 않는다. 로그 기반 배송 시간 함수를 위해 모든 로그를 대상으로 하여( $L^* = L$ ) 모델을 초기화한다.



Fig. 5. FAB unit model

### 3.2.2 베이 유닛(Bay Unit) 모델

베이 유닛 모델은 Fig. 6과 같이 전송 요청에 대한 배송 시간을 출발 스테이션이 위치한 베이에서 목표지점이 위치한 베이로 이동하는 데 걸리는 시간으로 출력하는 모델이다. 이 모델을 위해 스테이션을 입력하였을 때 해당 스테이션이 포함된 베이를 출력하는 함수인  $Bay(s)$ 를 가정한다. 이를 활용하여 전송 요청( $i, j$ )에 대하여 현재 출발지점의 베이이  $Bay(i)$ 로 목적지점의 베이를  $Bay(j)$ 로 표현할 수 있다. OHT 네트워크에 존재하는 모든 베이의 집합을  $B$ 라 할 때,  $B$ 에 속하는 모든 베이에서 베이로 가는 배송의 쌍( $B^2$ )에 대하여 각각의 유닛을 생성하고 대상 로그 집합을 생성하고 정규 분포로 모형화한다. 예를 들어 임의의 베이  $B_x$ 에서  $B_y$ 로 가는 물류 요청에 대한 베이 유닛 모델  $BayModel(B_x, B_y)$ 을 위한 대상 로그 집합  $L_{xy}^*$ 은 다음과 같다.

$$L_{xy}^* = \{l : l \in L \text{ and } SB_l = B_x \text{ and } DB_l = B_y\}$$

$$\text{where } SB_l = B(l.Start)$$

$$DB_l = B(l.Destination)$$

### 3.2.3 영역 유닛(Zone Unit) 모델

영역 유닛 모델은 Fig. 7과 같이 전송 요청에 대한 배송 시간을 출발 스테이션이 위치한 영역(Zone)에서 목표지점이 위치한 영역으로 이동하는 데 걸리는 시간으로 출력하는 모델이다. 본 연구에서 제안하는 영역은 전체 영역을 매트릭스(Matrix) 형태로 나누었을 때 각각의 셀(Cell)이 된다. 따라서, 매트릭스 생성 크기를 지정해줘야

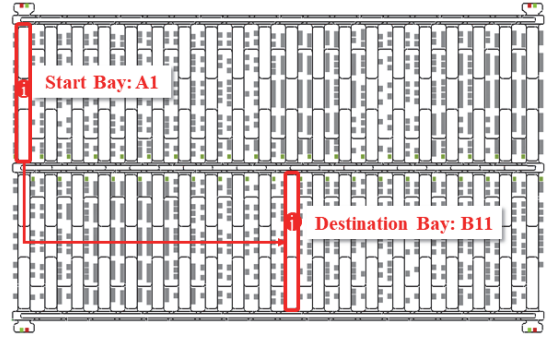


Fig. 6. Bay unit model

하며, 매트릭스의 크기가 클수록 상세한 물류 특성 반영이 가능하지만, 초기화를 필요한 시뮬레이션 로그의 양이 증가한다. 이 모델을 위해 스테이션을 입력하였을 때 해당 스테이션이 포함된 영역을 출력하는 함수를  $Zone(s)$ 라 할 때 출발지점의 영역이  $Zone(i)$ 로 목적지점의 영역을  $Zone(j)$ 로 표현할 수 있다. 로그 기반 배송 시간 함수 생성을 위해 FAB의 OHT 네트워크에 존재하는 모든 영역의 집합을  $Z$ 라 할 때,  $Z$ 에 속하는 모든 영역에서 영역으로 가는 배송의 쌍( $Z^2$ )에 대하여 대상 로그 집합을 생성하고 정규 분포로 모형화한다. 예를 들어 임의의 영역  $Z_x$ 에서  $Z_y$ 로 가는 물류 요청에 대한 영역유닛 모델  $ZoneModel(Z_x, Z_y)$ 을 위한 대상 로그 집합  $L_{xy}^*$ 은 다음과 같다.

$$L_{xy}^* = \{l : l \in L \text{ and } SZ_l = Z_x \text{ and } DZ_l = Z_y\}$$

$$\text{where } SZ_l = Z(l.Start)$$

$$DZ_l = Z(l.Destination)$$

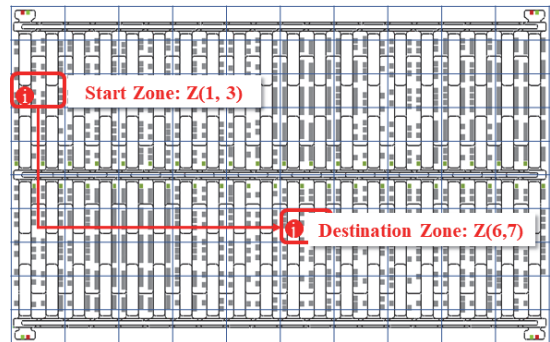


Fig. 7. Zone unit model

### 4. 실험

본 연구에서 대상으로 진행한 시뮬레이션 모델은 실제 FAB이 아닌 SMT2020, SMAT2022 테스트베드를 대상으로 진행되었으므로 유닛 수준 모델의 성능 평가는 객체 수준 모델을 이용하여 진행한 시뮬레이션 결과와의 비교를 통해 진행하였다. 모든 시뮬레이션은 다음과 같은 사양의 컴퓨터에서 수행되었다. CPU: 10700k, RAM: 16GB, GPU: RTX-2070s. 각 시뮬레이션에서 통계치를 수집한 시간은 Fig. 9와 같다. 본 연구에서 비교한 통계치는 산출량 (Throughput), 평균 사이클 타임(Average Cycle Time), 시뮬레이션 속도(Simulation Speed)이다. 여기서 시뮬레이션 속도는 시뮬레이션 환경 속에서의 시간 흐름의 속도가 현실 대비 빠른 정도를 나타내는 지표로 다음과 같은 수식으로 계산되었다.

$$Simulation\ Speed = \frac{86400\ (sec)}{Simulation\ time\ per\ day\ (sec)}$$

#### 4.1 객체 수준 모델 실행 결과

OHT들의 행동 방식을 자세히 모사하여 진행하는 객체 수준 모델을 활용한 시뮬레이션의 경우 워밍업 시간을 180일로 설정하고 본 시뮬레이션을 90일 동안 진행하여 통계치를 추출하였다. 객체 수준 모델을 활용하여 시뮬레이션을 수행한 결과는 Table 2와 같다. 생산량은 12,861개, 제품의 평균 사이클 타임은 18.49일이었으며, 시뮬레이션의 속도는 평균적으로 141.47배의 성능을 보였다.

Table 2. Performance of entity models

Results	Value
Throughput	12861 (Lot)
Average Cycle Time (ACT)	18.49 (day)
Simulation Speed	141.47

#### 4.2 유닛 수준 모델 실행 결과

본 연구에서 제안하는 유닛 수준 모델의 성능 평가를 수행하였다. 90일간의 워밍업 기간 이후 90일 동안 객체 수준 모델을 실행하여 로그를 수집하여 유닛 모델들을 초기화한다. 이후 90일 동안의 본 시뮬레이션을 통해 결과를 수집하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Performance of proposed unit models

Model	Throughput	ACT	Simulation Speed
Zone	30x30	12467	19.5
	20x20	12461	19.73
BayUnit	12434	19.56	2333.73
FABUnit	12380	19.72	2405.94

모든 유닛 모델의 시뮬레이션 속도 성능이 2000을 넘어 객체 모델 대비 월등히 뛰어난 것으로 관측되었다. 유닛 모델들의 정합성을 객체 모델과 비교하여 평가한 결과는 Fig. 8과 같다. 정합성은 생산량과 평균 사이클 타임을 비교하였으며 영역 유닛 모델에서 매트릭스의 크기를 30X30으로 설정한 집합 모델의 정합성이 가장 높았다. 이는 본 논문에서 제안하는 집합 모델 중 대상 로그를 가장 세분화하여 모형화한 모델로서 물류 특성을 가장 잘 반영하였기 때문이다.

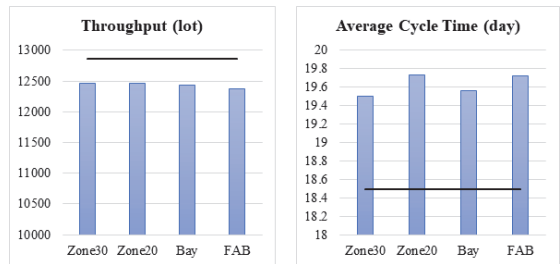


Fig. 8. Fidelity of proposed unit models

#### 4.3 거리 기반(Distance-based) 유닛 모델 실행 결과

본 논문에서 제안한 유닛 모델 생성을 위한 로그 기반 초기화 방식의 효율성을 검증하기 위하여, 객체 모델로부터 축적된 로그 없이 거리 기반으로 배송 시간을 계산하는 집합 모델을 생성하였다. 거리 기반 모델은 맨해튼 거리 (Manhattan distance)로 출발 객체에서 목적 객체까지의 배송 거리를 산출하는 거리 함수  $\delta(i, j)$ 를 생성하고 이를 OHT 속도로 나누어 배송 시간을 계산하는 방식이다. FAB 유닛 모델에서의 거리함수  $\delta(i, j)$ 는 OHT 네트워크(ON)의 횡 레일의 길이와 종 레일 길이의 중간치의 합으로 다음과 같이 계산된다.

$$\delta(i, j) = (ON.MaxX - ON.MinX)/2 + (ON.MaxY - ON.MinY)/2$$

베이 유닛 모델의 거리함수 $\delta(i,j)$ 는 전송 요청 $(i,j)$ 에 대하여 현재 출발지점의 베이가  $Bay(i)$ 로 목적지점의 베이를  $Bay(j)$ 로 표현할 수 있다. 해당 전송요청에 대한 배송 거리는 출발지점과 목표지점의 두 베이의 중심점 사이의 거리로 다음과 같이 계산된다.

$$\delta(i,j) = |Bay(i).CenterX - Bay(j).CenterX| + |Bay(i).CenterY - Bay(j).CenterY|$$

영역 유닛 모델의 거리 함수 $\delta(i,j)$ 는 전송 요청 $(i,j)$ 에 대하여 현재 출발지점의 영역을  $Zone(i)$ 로, 목적지점의 영역을  $Zone(j)$ 로 표현할 수 있다. 해당 전송 요청에 대한 배송 거리는 두 영역의 중심점 사이의 거리로 다음과 같이 계산된다.

$$\delta(i,j) = |Zone(i).CenterX - Zone(j).CenterX| + |Zone(i).CenterY - Zone(j).CenterY|$$

거리 기반 유닛 모델은 로그가 필요 없기 때문에 워밍업 기간 180일 진행 후 90일 동안의 본 시뮬레이션을 통해 결과를 수집하였다. 거리 기반 유닛 모델을 활용하여 시뮬레이션을 진행한 결과는 Table 4와 같다. 해당 모델들은 배송 시간 함수로부터 값을 추출하는 것이 아닌 거리 계산 방식으로 배송 시간을 추측하는 방식으로 시뮬레이션 속도는 로그 기반하여 생성된 유닛 모델 대비 소폭 상승하였다. 이들에 대하여 객체 모델의 수행 결과와 정합성 비교를 한 결과는 Fig. 9와 같다.

Table 4. Performance of distance-based unit models

Model		Throughput	ACT	Simulation Speed
Zone	30x30	12401	20.42	2652.12
	20x20	12375	20.49	2570.14
Bay-to-Bay		12304	20.55	2320.50
FAB-to-FAB		12403	20.61	2335.83

거리 기반으로 생성된 유닛 모델들의 평균 사이클 타임에 대해서 객체 모델 대비 정합성을 평가하였을 때 평균 89.0%로 로그 기반 생성된 모델 (93.85%) 대비 약 4% 이상 낮았다. 이는 거리 기반 생성 모델은 실제 FAB에서 발생하는 OHT 네트워크상의 지연 및 정체 현상을 반영하지 않기 때문이다. 따라서 본 논문에서 제안하는 로그 기반 유닛 모델 생성 방법의 효율성을 알 수 있었다.

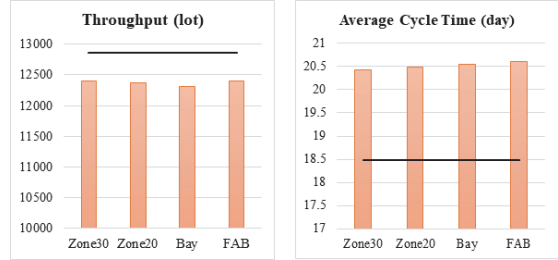


Fig. 9. Fidelity of distance-based unit models

## 5. 결론

본 연구에서는 반도체 FAB 내부의 물류 시스템을 모델링하기 위한 효율적인 방법을 제안한다. 본 방법은 MRM 방법을 사용하여 반도체 물류 시스템을 객체 수준 모델과 유닛 수준 모델 두 가지 해상도 수준으로 모델링하고, 고해상도 수준의 모델에서 수집된 배송 이력들을 토대로 저해상도 모델을 생성하는 방법이다. 해당 방법을 사용하였을 때, 시뮬레이션 속도가 크게 향상되며 해당 FAB의 물류 배송의 특성을 저해상도 모델이 일정 부분 고해상도 모델로부터 상속받으므로 정합성이 향상되는 것을 알 수 있었다. 실험 결과 집합 모델 중 로그 기반 영역 유닛 모델(30X30)의 성능이 가장 좋은 것을 알 수 있었으며 영역을 세부적으로 표현할수록 효과적임을 알 수 있었다. 따라서 향후 연구에서는 해당 모델을 확장하여 효율적으로 반도체 물류 시스템을 표현할 방법에 대하여 연구할 예정이다.

## References

- Bae, H. S. and Rhee, E. J. (2018), Information Acquisition of Simulation Objects by Resolution in Multi-resolution Model based War Game, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 22, No. 1, pp. 147-154.
- Brain, M., Gould, R., Kaempf, U., and Wehrung, B. (1999), Emerging needs for continuous flow FOUF transport, *Twenty Fourth IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium (Cat. No.99CH36330)*, Austin, TX, USA, pp. 76-82.
- Davis, P. K. and Bigelow, J. H. (1998), Experiments in multiresolution modeling (MRM), RAND Coporation Report No. MR-1004-DARPA. The RAND Corporation,

- Santa Monica.
- Fowler, J. W., Mönch, L., and Ponsignon, T. (2015), Discrete-Event Simulation for Semiconductor Wafer Fabrication Facilities: “a Tutorial”, *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, Vol. 22, No. 5, pp. 661-682.
- Mönch, L., Fowler, J. W., and Mason, S. J. (2013), *Production Planning and Control for Semiconductor Wafer Fabrication Facilities: Modeling, Analysis, and Systems*, Springer New York, New York.
- Gaxiola, G., Pabst, D., Christensen, E., and Wizelman, D. (2013), Methodology to evaluate the impact of AMHS design characteristics on operational fab performance, *2013 Winter Simulations Conference (WSC)*, Washington, DC, USA, pp. 3806-3817.
- Kim, J. M., Kim, O. H., Hong, S. B., and Lim, D. (2019), A Deep Learning-Based Model for Predicting Traffic Congestion in Semiconductor Fabrication, *Journal of Industrial Technology*, Vol. 39, No. 1, pp. 27-31.
- Kong, S. H. (2007), Two-step simulation method for automatic material handling system of semiconductor fab, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 4, pp. 409-420.
- Kopp, D., Hassoun, M., Kalir, A., and Monch, L. (2020), SMT2020—A Semiconductor Manufacturing Testbed, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 33, No. 4, pp. 522-531.
- Lee, K. W., Song, S. Y., Chang, D. S., and Park, S. C. (2022), A New AMHS Testbed for Semiconductor Manufacturing, *2022 Winter Simulation Conference (WSC)*, Singapore, pp. 3318-3325.
- Moon, H. and Kim, S. (2018), Studies on the Operating Requirements of Multi-Resolution Modeling in Training War-Game Model and on the Solutions for Major Issues of Multi-Resolution Interoperation between Combat21 Model and TMPS, *Journal of the KIMST*, Vol. 21, No. 6, pp. 865-876.
- Moon, K., An, Y., Jeong, U., and Ryoo, C. (2019), Components Design for Guided Weapon System according to Resolution based on Base System Model, *Journal of Korea Simulation Society*, Vol. 28, No. 3, pp. 11-23.
- Seo, J. H., and Kim, K. H. (2018), Automating Model Building Processes for Simulation of Complex Manufacturing and Logistics Systems, *Journal of Korea Simulation Society*, Vol. 27, No. 2, pp. 125-137.
- Tung, J., Sheen, T., Kao, M., and Chen, C. (2013), Optimization of AMHS design for a semiconductor foundry fab by using simulation modeling, *2013 Winter Simulations Conference (WSC)*, Washington, DC, USA, pp. 3829-3839.
- Yang, T., and Peters, B. (1998), A Spine Layout Design Method for Semiconductor Fabrication Facilities Containing Automated Material Handling Systems, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 17, No. 6, pp. 490-501.





**이 관 우** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-1370-2904> / [cool8790@ajou.ac.kr](mailto:cool8790@ajou.ac.kr))

2018 아주대학교 산업공학과 공학사  
2020 아주대학교 산업공학과 공학석사  
2020~ 현재 아주대학교 산업공학과 박사과정

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, Smart Factory, 자동화물류시스템



**송 시 용** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-0573-8269> / [siyongsong0126@gmail.com](mailto:siyongsong0126@gmail.com))

2021 아주대학교 산업공학과 공학사  
2023 아주대학교 산업공학과 공학석사  
2023~ 현재 삼성전자 DS 혁신센터 연구원

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, Smart Factory, 자동화물류시스템



**박 상 철** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-7832-2742> / [scpark@ajou.ac.kr](mailto:scpark@ajou.ac.kr))

1994 한국과학기술원 산업공학과 공학사  
1996 한국과학기술원 산업공학과 공학석사  
2000 한국과학기술원 산업공학과 공학박사  
2000~ 2001 큐빅테크, 선임연구원  
2002~ 2004 DaimlerChrysler ITM Dept. Research Engineer  
2008~ 현재 아주대학교 산업정보시스템 공학부, 정교수

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, CAD/CAM, 신뢰성 예측, Smart Factory