

DEVS 기반 OHT 시뮬레이션 시스템 설계

이복주*, 강봉구**, 권용환***, 최영규*, 한경아****, 서경민*****
 *한국기술교육대학교 컴퓨터공학과, **한국생산기술연구원,
 *** (주)휴민텍, ****한국기술교육대학교 LINC+ 사업단,
 *****한국기술교육대학교 융합학과

bokju618@koretech.ac.kr, kbgmode@gmail.com, yhkwon@ihumin.co.kr,
 ykchoi@koreatech.ac.kr, kyungahh@koreatech.ac.kr, kmseo@koreatech.ac.kr

DEVS Based OHT System Simulation Design

Bok-Ju Lee*, Bong-Gu Kang**, Young-Kyu Choi*, Yong-Hwan Kwon***,
 Kyung-Ah Han****, Kyung-Min Seo*****

*Dept. of Computer Science, Korea University of Technology and Education,

Korea Institute of Industrial Technology, *HUMINTECH Co., Ltd.,

****LINC Foundation, Korea University of Technology and Education,

*****Dept. of Future Technology, Korea University of Technology and Education,

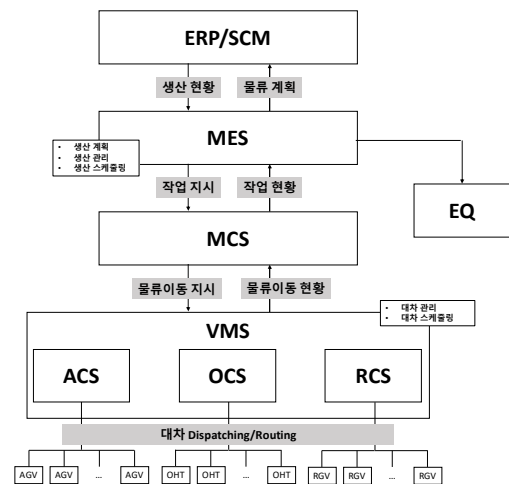
요 약

반도체 제조시설의 효율성을 위해 대부분의 현장에서는 물류 자동화 시스템(AMHS, Automated Material Handling System)을 도입하여 운영하고 있다. OHT(Overhead Hoist Transfer)는 반도체 공정에서 주로 활용되는 Monorail 컨베이어 형태의 자동 반송 시스템의 일종으로 작업물을 들고 제조 라인 위에 설치된 레일을 따라 자율적으로 이동하는 방식으로 운영된다. 도체 물류 시스템의 계층적인 구조적 특징과 고가의 재료를 다루고, 외부유출이 어려운 실제 공정 현장, 실험 환경의 시간, 공간적 구축 등의 현실적 특징 때문에 반도체 제조 공정의 자동화 물류시스템에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 통한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 OHT를 효율적으로 제어하기 위해 DEVS (Discrete Event System Specifications) 형식론을 기반으로 OHT 시스템 모델링 및 시뮬레이션 설계 방법을 제안한다. 이를 위해 반도체 제조 시스템의 전반적인 물류 과정에 대해 분석하고, DEVS 형식론에 대해 연구하며, 이를 바탕으로 반도체 물류 시스템을 위한 모델링 및 시뮬레이션을 설계하였으면, 실험을 통해 제안된 모델러 반도체 물류 시스템 시뮬레이션을 수행할 수 있음을 보인다.

1. 서론

스마트 팩토리나 4차 산업혁명 등에서 추구하는 시스템 목표 중의 하나는 다품종 소량 생산이다. 다양한 제품들을 하나의 공장에서 생산 할 수 있는 유연한 생산 시스템에 대해서는 이미 80년대부터 여러 방면으로 논의되어왔지만, 이를 위해서는 개별 설비들의 유연성 확보뿐만 아니라 이를 지원할 안정적인 정보 시스템이 구성되어야 한다. 전체 공장 단위의 유연 생산이 실현되기 위해서는 어떤 제품이 어느 시점에 어떤 장비에서 작업이 진행되어야 하는지 등 자동화된 의사결정이 필요하고 이를 위해서는 데이터 수집, 공유, 처리 등을 지원할 인프라가 필요하다 [1]. 90년대 IT혁신 이후 공장 내 정보 시스템에도 혁신적인 변화가 일어났으며 이제는 공장 전체를 지휘하는 MES(manufacturing execution system)와 공장 내 물류를 제어하는 MCS(material control system)가 제품의 입고 및 전체 공급사슬망을 관장하는 SCM(supply chain management)시스템이나

ERP(Enterprise Resource Planning)시스템 과도 연동되어 진정한 유연 생산을 시도할 수 있는 정보 환경이 구축되고 있다. 스마트 팩토리나 4차 사업과 같은 제조 혁신이 주목받고 있는 이유이기도 하다.



(그림 1) MES, MCS, VMS의 구조

OHT나 AGV와 같은 반송차량을 관리하는 시스템을 대차 관리 시스템(Vehicle Management System, VMS)이라 하며, 산업에 따라 ACS(AGV Control System), OCS(OHT Control System)로 칭하기도 한다. 일반적으로 VMS는 제조 관리 시스템인 MCS로부터 물류 반송 지시를 받고 이를 수행하기 위한 데이터를 수집과 관리하고 운영에 필요한 자동화된 의사결정을 수행한다. 그림 1은 일반적인 제조 정보 시스템 내 MES/MCS/VMS의 구조를 설명하고 있다.

반도체 제조 공정의 지능형 물류시스템도 이와 같은 MES/MCS/VMS 구조를 지니고 있지만, 대부분의 핵심 기술을 미국, 일본 등에서 수입하고 있는 실정이다. 또한, 반도체 공정의 생산설비 및 방법을 관리하는 시스템을 수입하는 것은 국내 기술력을 외부로 노출할 수 있다는 위험성을 가지고 있기 때문에, 각 학계 및 업계의 연구 기관에서는 관련 시스템의 국산화 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

최근의 반도체 제조 공정은 웨이퍼의 크기가 점점 커짐으로 인해, 물류작업자에 의한 반도체 Foup 이동의 효율성이 하락하고 있다. 이를 위해, 자동화된 물류 시스템을 이용하여, 지능형 시스템을 추구하고자 하는 노력이 많아졌다. 또한, 반도체 물류 시스템의 계층적인 구조적 특징과 고가의 재료를 다루고, 외부유출이 어려운 실제 공정 현장, 실험 환경의 시간, 공간적 구축 등의 현실적 특징 때문에 반도체 제조 공정의 자동화 물류시스템에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 통한 연구가 증가 하였다. 기존에는 공정위주로 시뮬레이션을 수행하여 공정 개선을 추구하고였다면, 자동화 물류 시스템만을 모델링 및 시뮬레이션을 수행하여 개선하고자 하는 연구가 증가하고 있는 추세이다. [2-3]

본 연구에서는 반도체 물류 자동화 시스템의 모델링 및 시뮬레이션을 위해 시스템에 적합한 모델링 형식론에 대해 연구하고, 전반적인 반도체 제조 시스템의 물류 과정에 대해 분석하며, 이를 바탕으로 반도체 물류 시스템을 위한 모델링을 설계한다.

2. DEVS 형식론

이산사건 시스템 명세(이하 DEVS, Discrete Event System Specification)라는 형식론은 모델링 및 시뮬레이션의 대상이 되는 시스템이 이산시스템일 때 사용할 수 있는 대표적인 모델링 형식론이다[4]. 이산시스템은 아날로그적 신호가 일정한 주기 혹은 정해

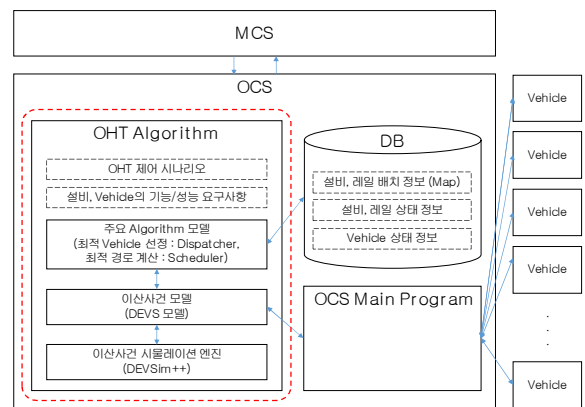
지지 않은 주기로 이산 신호(Discrete Signal)들에 의해 시스템의 상태가 특정 시점에 변하는 시스템을 말한다. 반도체 공정의 물류 자동화 시스템 또한 이산시스템으로 정의될 수 있다.

DEVS 형식론은 집합론에 근거한 형식론으로써 복잡한 시스템을 구성요소 별로 나누어 각각의 모델을 만든 후, 이를 합쳐서 전체 시스템을 표현할 수 있도록 되어있다. DEVS 형식론에는 3가지 집합과 4개의 함수로 시스템 구성요소를 나타내는 원자모델(Atomic Model)과 여러 모델을 합쳐서 새로운 모델을 구성하는 결합 모델(Coupled Model)이 있다. 이 두 가지 종류의 모델을 사용하여 시스템을 계층적이고 모듈러하게 표현할 수 있다.

3. DEVS를 이용한 OHT 스케줄링 시스템 모델링

3.1 제안하는 OHT 스케줄링 시스템 설계

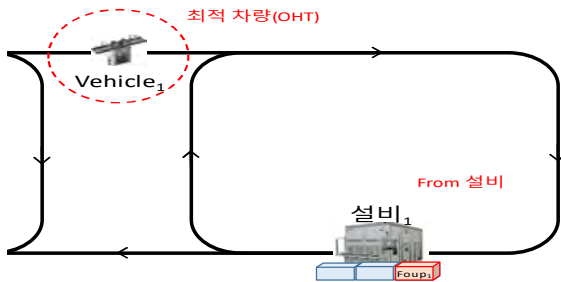
기존의 물류 시스템 관점에서 분류 해 봤을 때 OHT 시스템은 Monorail 컨베이어 시스템의 일종이다. OHT는 천장에 달린 Rail을 통해 단방향으로 이동하며, 작업물을 적재/하역 할 수 있는 로더(Loader, Robot arm, Crane)가 차량에 포함되어 있다. 또한, 배터리 없이 레일로 전력을 공급받는다. 이를 위해서, OHT 시스템 구축시 고려해야 할 사항에 시스템 레이아웃(Layout) 디자인, 반송차량의 수, 최적 차량 선택(Dispatching), 최적 경로 생성(Scheduling), 트래픽(Traffic), 출동 방지, 교착 상태(Deadlock) 등의 해결을 포함해야 한다. 그리고 이 모든 기능들을 지원하기 위해서 차량의 상태, 작업물, 설비 정보가 모니터링(Monitoring) 되어야 한다. 그림 2는 본 논문의 설계 목표 범위를 나타낸다.



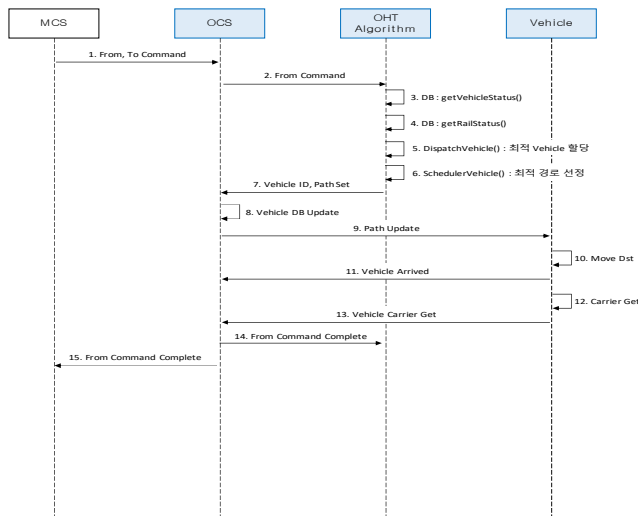
(그림 2) 제안하는 논문의 모델링 설계 목표 범위

3. 2 OHT 제어 시나리오 분석

OCS는 MCS에서 내려온 물류 이동 명령을 최적으로 수행하기 위한 시나리오를 가지고 있어야 한다. 반도체 제조 시스템은 무수히 많은 설비들의 공정을 거쳐서 하나의 제품을 완성하게 된다. 각 설비들의 공정 진행상황은 MCS가 파악하게 되고, 설비들의 공정 진행상황에 따라 OCS에게 반도체 Foup의 이송명령을 하달하면, OCS는 이송명령 수행을 위해서 최적 차량과 최적 경로를 계산하여 차량의 이동을 제어하여 전체 물류 시스템을 관리한다.



(그림 3) From 동작의 기본 시나리오



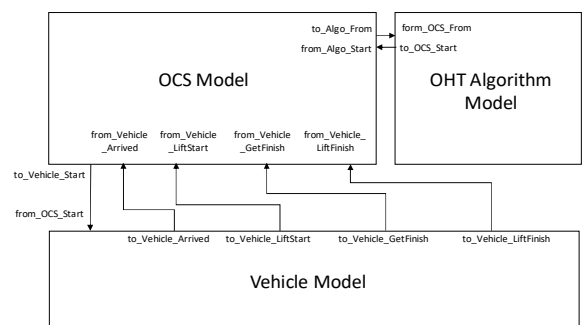
(그림 4) From 동작의 기본 Sequence Diagram

OHT가 반도체 물류 효율에 직접적으로 영향을 미치는 제어 시나리오를 분석하면, 예외상황을 포함하여 크게 4가지의 동작으로 분류할 수 있다. 첫 번째는 특정 설비 port에서 공정이 완료된 Foup을 가지러 가기 위한 From 동작이며, 두 번째는 From 동작을 통해 OHT에 적재한 Foup을 다음 공정을 수행하기 위해 다른 설비 port로 이송하기 위한 To 동작이 있으며, From과 To는 하나의 쌍으로 되어있다. 세 번째는 특정 설비의 공정 효율을 최대화 하기 위해, 2개의 From/To 쌍으로 구성 되어있는

Replace 명령, 네 번째는 위 세가지 From, To, Replace의 명령 수행간 방해되는 차량의 단순 이동을 위한 Go 동작이다. 그림 3은 From 명령 수행을 위해 레일 위에 있는 유휴 차량들 중 최적 차량이 선택되어 From 설비 위치로 이동하는 것을 표현한 그림이며, 그림 4는 이를 위한 시퀀스 다이어그램이다.

3. 3 DEVS 형식론 기반 시뮬레이션 모델

DEVS 형식론은 이산사건을 입력으로 받으며, 입력에 따라 이산상태를 변화하여, 이에 맞는 이산 사건 출력을 내보낸다. DEVS 형식론은 기본적으로 일정한 시간 간격동안 이산 사건이 발생하지 않을 때는 이상상태가 변화하지는 않는다. 내부 상태 천이 함수는 내부적으로 일정 시간 간격이 흐른 후에 이산 사건이 발생되면 내부 이산 상태가 변경되며, 이산 출력이 발생 된다. 본 논문에서는 그림 2의 모델링 설계 목표 범위를 포함하기 위해 그림 5와 같은 OHT 시스템의 개념모델을 제안한다. 전체 모델은 3개의 Atomic 모델로 이루어져 있다. 먼저, OCS라는 OCS Main Program과 두 번째는 최적 차량 선정 및 최적 경로 제어 계산을 담당하는 OHT Algorithm, 마지막으로 OCS Main Program과 통신을 주고받으면서 실제 반도체 Foup을 운반하는 차량인 Vehicle(=OHT)이 원자모델로 모델링 되었으며, 이 3개의 원자모델이 하나의 결합모델로 구성되는 전체모델을 구성하였다.

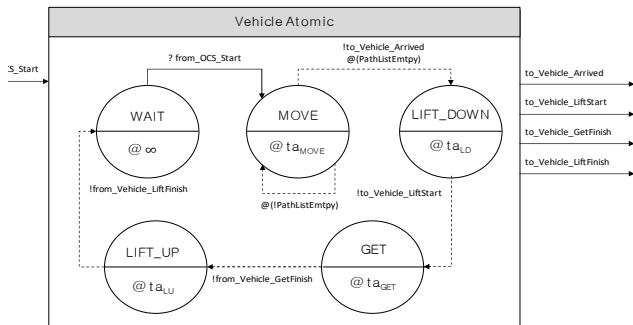


(그림 5) 제안하는 DEVS 개념모델

또한, 그림 4의 시퀀스 다이어그램을 표현하기 위해 각각의 원자모델을 구성하였는데, 식(1)은 그 중 Vehicle 원자모델의 구성요소이며, 그림 6은 식(1)을 바탕으로 Vehicle의 원자모델을 구성한 그림이다.

$$\text{Vehicle DEVS} = \langle X, Y, S, \delta_{int}, \delta_{ext}, ta, \lambda \rangle \quad \text{식(1)}$$

- $X = \{ \text{From_OCS_Start} \}$
- $Y = \{ \text{From_Vehide_Arrived}, \text{From_Vehide_LiftStart}, \text{From_Vehide_GetFinish}, \text{From_Vehide_LiftFinish} \}$
- $S = \{ \text{WAIT}, \text{MOVE}, \text{LIFT_DOWN}, \text{GET}, \text{LIFT_UP} \}$
- $\delta_{\text{ext}} = (\text{WAIT}, \text{From_OCS_Start}) = \text{MOVE}$
- $\delta_{\text{int}} = (\text{MOVE}) = \text{LIFT_DOWN} @ \text{PathListEmpty} == \text{True}$
- $\delta_{\text{int}} = (\text{MOVE}) = \text{MOVE} @ \text{PathListEmpty}! = \text{True}$
- $\delta_{\text{int}} = (\text{LIFT_DOWN}) = \text{GET}$
- $\delta_{\text{int}} = (\text{LIFT_DOWN}) = \text{LIFT_UP}$
- $\delta_{\text{int}} = (\text{LIFT_UP}) = \text{WAIT}$
- $\text{ta}(\text{WAIT}) = \infty$
- $\text{ta}(\text{MOVE}) = \text{ta}_{\text{move}} : \text{Vehide Move Time To From Position}$
- $\text{ta}(\text{LIFT_DOWN}) = \text{ta}_{\text{LD}} : \text{Vehide Lift Down Time}$
- $\text{ta}(\text{LIFT_UP}) = \text{ta}_{\text{LU}} : \text{Vehide Lift Up Time}$
- $\lambda(\text{MOVE}) = \text{to_Vehide_Arrived}$
- $\lambda(\text{LIFT_DOWN}) = \text{to_Vehide_LiftStrat}$
- $\lambda(\text{GET}) = \text{to_Vehide_GetFinish}$
- $\lambda(\text{LIFT_UP}) = \text{to_Vehide_LiftFinish}$



(그림 6) Vehicle Atomic Model

4. 시뮬레이션 구현 및 결과

시뮬레이션은 DEVS 형식론에 따른 모델구성 및 시뮬레이션 실행, 분석을 제공하는 C++로 개발된 DEVSim 어플리케이션을 활용하였다.



(그림 8) From 명령에 대한 시뮬레이션 결과

그림 8은 From 명령 수행을 위해서 DB로부터 Rail, 차량, 설비의 상태정보를 확인하여, OCS,

OHT Algorithm, Vehicle이 순차적으로 이벤트를 수행하고 있음을 보여준다. 입력으로 OCS로부터 임의의 명령이 발생하면, OCS가 OHT Algorithm으로 해당명령에 대한 최적 차량과 최적 경로 계산을 요청하고, 결과를 수신 받는다. 이 결과를 통해 차량을 이동하여 반도체 Foup을 이동 시킨다.

5. 결론 및 추후연구

본 논문에서는 반도체 물류 자동화 시스템을 위한 DEVS 형식론 기반 모델링 및 시뮬레이션 설계를 제안한다. 이를 위해 전반적인 반도체 제조 시스템의 물류 과정에 대해 분석하고, DEVS 형식론에 대해 연구하며, 이를 바탕으로 반도체 물류 시스템을 위한 모델링 및 시뮬레이션을 설계하였으며, 본 연구를 통해 제안된 형식론을 통해 반도체 물류 시스템의 시뮬레이션이 가능하다는 것을 확인하였다.

모델링 형식론을 이용하면, 시뮬레이션 모델에 대한 재사용성과 추후 유지 보수에 유용하다는 것은 당연하지만, 모델링 형식론 자체의 평가가 어렵다는 단점이 있다. 시뮬레이션 엔진, 프레임워크의 효율성 및 모델의 정합성은 실제 반도체 공정 데이터를 이용하여 실증적 실험을 통한 그 결과를 확인해 봐야 할 것이다.

따라서 추후 연구에서는 통해, 산학협력을 통해서 실제 반도체 공정 중 일부를 실체화하여 실증적 실험 결과를 도출할 예정이며, 최적 차량 선정 및 최적 경로의 계산을 위해 강화학습을 기반으로 하여 계산 효율성을 높이기 위한 연구도 함께 수행될 예정이다.

참고문헌

[1] 황일희, et al. “데이터 기반 지능형 자동 반송 시스템 알고리즘 개발”. ie 매거진, 25.2: 26-30. 2018
 [2] F.K.Wang, J.T.Lin, “Performance evaluation of an automated material handling system for a wafer fab”Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.20 , pp.91~100 (2016).
 [3] 안의국, 장대순, and 박상철. “Wafer FAB 의 납기 달성 향상을 위한 연구.” 한국 CDE 학회 학술발표회 논문집 (2015): 691-695.
 [4] Kim, Tag Gon, and Bernard P. Zeigler. “The DEVS formalism: hierarchical, modular systems specification in an object oriented framework”. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 1987.