

반도체 fab 라인의 물류 설비 모델링 방법론에 대한 연구

The Study of Event Graph Modeling for Material Handling System in Semiconductor Fab

이진휘, 최병규

Lee Jin Hwi, Choi Byoung Kyu

대전광역시 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 산업공학과

Abstract

본 논문에서는 반도체 fab 라인의 물류 설비를 event graph로 모델링 하는 방법론을 제안하고 있다. 최근 반도체 fab 라인 같은 대표적인 자본 집약적 제조라인에서는 운영단계에서 투입 계획, PM schedule 및 operation rule등을 변화시켜 가며 평가 및 검증해 볼 수 있는 what-if simulation을 위한 line simulator의 필요성이 점점 높아지고 있다. 그러나 상용 simulator는 각 제조라인의 특성에 맞게 customization하는데 많은 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 특성을 반영하는데 한계가 있다. 따라서 이러한 line simulator를 개발할 때 근간이 되는 설비의 simulation model이 필요하다. 이 때 설비들은 생산(processing) 및 물류(handling) 설비로 나눌 수 있는데, 본 논문에서는 반도체 fab 라인의 물류 설비 모델링 방법을 제시하고 실제 물류 설비를 모델링 해 봄으로써 그 효용성을 알아본다.

1. 서론

반도체 업계에서는 전자 부품 산업의 특성상 라인 운영에 있어 약간의 문제만 발생하더라도 막대한 손실을 입게 된다. 특히 지난 수년간 자본집약적이고 복잡한 fab 라인의 중요성은 더욱이 커지고 있다(Sameer *et al.*, 2002 이영훈 등, 1999).

따라서 운영단계에서 투입 계획, PM Schedule 및 operation rule 등을 변화시켜가며 생산 효율성 파악과 생산 요구량 만족도를 평가하고 검증할 수 있는 what-if simulation을 위한 line simulator의 필요성이 점차 높아지고 있다. 그러나 시장에 나와 있는 상용 simulator의 경우 반도체 라인의 특성에 맞게 customization하는데 많은 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 특성을 반영하는데 한계가 따른다(이영훈 등, 1999).

그러므로 이러한 반도체 fab 라인에 맞는 line simulator를 개발할 때 생산 라인의 근간이 되는 설비들의 simulation model이 필요하다. 이 때 설비들은 생산(processing) 설비와 물류(handling) 설비로 나눌 수 있는데 특히 300mm wafer 시대

로 접어들면서 생산 공정이 부드럽게 흐를 수 있도록 하는 물류 설비의 중요성이 부각(Dima *et al.*, 2003) 되었다. 따라서 본 연구에서는 물류 설비를 simulation model로 정의 시 쉽게 모델링 할 수 있도록 guideline을 제안하고 그에 맞게 모델링 하여 그 유용성을 보임으로써 실제 line simulator 개발 시 참고가 될 수 있도록 한다.

1.1 관련 연구

반도체 fab 라인의 물류 설비 모델링에 대한 기존 연구로는 디자인 단계에 대한 연구가 많았는데 Dima *et al.* (2003)은 Automated Material Handling System(AMHS)의 design framework을 제안하였고, 운영 로직에 대한 모델링 및 시뮬레이션 방법으로 Jesus *et al.* (2002)은 4가지 route 결정 알고리즘을 비교 분석하였다. 또한 Sameer *et al.* (2002)은 상용 S/W인 AutoSched APTM, AutoModTM을 이용하여 simulation model을 만들고 lot size, cycle time 등을 분석하였다. 그러나 이러한 연구들은 fab 라인 Design 단계에서의 최적의 design parameter를 찾고 분석하기 위함에 중점을 두고 있다. 그리고 비록 반도체 fab 라인이 아닌 다른 제조 시스템이고, 같은 디자인 단계에서의 모델링에 중점을 두었지만 Choi *et al.* (1996)은 sorting and buffer system에 맞는 잘 정의된 event graph modeling 방법론을 제안하였다.

본 논문에서는 반도체 fab 라인에 이미 주어진 설비에 대해 특성을 가장 잘 반영하는 line simulator를 위한 simulation model 정의를 쉽게 하기 위함으로 위 기존 연구와는 논점이 다르다고 할 수 있겠다. 또한 모델링 방법으로 다른 모델링 방법보다 모델링 파워가 높고 다양한 모델을 구현하기 쉬운 event graph modeling(Choi 등1996) 방법을 선택하였다

2. 반도체 fab 라인의 물류 설비 개요

모델링의 대상으로 삼고 있는 반도체 fab 라인의 대략적인 형태는 다음과 같다(SEMATECH, 2001).



그림 1 : 반도체 fab 라인

Dima (2003)는 반도체 fab 라인의 설비 자동화 시스템 타입을 5가지로 나누었는데 다음과 같다.

- Tool Automation : 생산 설비.
- Intrabay Automation : bay 내의 lot의 이동
- Interbay Automation : bay 간의 lot의 이동
- Material Control System(MCS) : lot가 이동할 때 여러 시스템간의 조율
- Material Storage : Stocker 같은 Automated Storage and Retrieval System.(AS/RS)

그리고 lot을 이동시키는 기술로 5 가지를 제시하였다.

- Automated Guided Vehicles(AGVs)
- Rail Guided Vehicles(RGVs)
- Personnel Guided Vehicles(PGVs)
- Overhead Hoist Transport(OHT)
- Continuous Flow Transport(CFT)

우리는 여기서 물류 이동에만 초점을 맞추기 때문에 위를 참조하여 크게 두 가지로 나누었다. Intrabay 및 Interbay의 lot 이동을 담당하는 Transport 설비, lot의 저장을 담당하는 Storage 설비. MCS는 두 설비 내에 내재해 있다고 생각했다. 그리고 transport 설비는 OHT에 중점을 두었다. 또한 Lot가 fab 라인 내에서 이동될 때에는 여러 가지 정보를 가지고 있어야 하는데 그 정보는 다음과 같다.

물류 설비 모델링 시 Lot가 가져야 하는 정보

- 1) 현재 물류 설비
- 2) 다음 물류 설비
- 3) 목적 물류 설비

2.1 물류 설비의 분류 및 특성

Storage 설비

Storage 설비는 lot이 저장되고 분류되는 설비이고, capacity(최대로 저장할 수 있는 lot의 개수)를 가지고 있다. 대표적인 storage 설비로는 Automated Storage/Retrieval System(ASRS)인 stocker가 있다. Storage 설비는 생산 설비 앞 또는 intrabay와 interbay를 연결하는 위치 등 lot이 이동할 때 멈출 수 있는 공간에 위치하고 있다. 또한 lot을 다음 목적지로 이송하기 위해 놓거나 전 storage로부터 lot을 받을 수 있는 port가 있고 lot이 storage로 들어오면 일단 저장되었다가 다음 목

적지를 결정한다. 그리고 다음 목적지가 정해졌다면 lot을 다음 목적지로 이송하기 위해 port위에 놓아야 하는데, 이 때 Retrieval time이 소요된다. Storage 설비 모델링 시 가정은 다음과 같다.

- lot를 loading/unloading 할 때 걸리는 시간은 고려하지 않는다.

Transport 설비

Transport 설비는 interbay 또는 intrabay 내에서 Lot의 이송을 담당하는 설비이다. 대표적인 transport 설비로는 intrabay 내에서 이송을 담당하는 OHT, interbay내에서 이송을 담당하는 OHS 등을 들 수 있다. Transport 설비의 구성으로는 line과 vehicle이 있다. 이 때 line은 한쪽 방향으로만 loop를 형성한다. 그리고 vehicle, 즉, OHT, OHS는 한번에 하나의 lot만을 이송한다. transport 설비 또한 storage 설비와 마찬가지로 capacity(한번에 이송할 수 있는 lot의 개수=interbay transport 설비의 OHS 개수 또는 intrabay transport 설비의 OHT 개수)를 가지고 있다. Transport 설비가 lot을 이송할 때는 delivery time이 소요된다. Transport 설비 모델링 시 가정은 다음과 같다.

- Transport 설비는 항상 storage와 storage 사이의 이송만을 담당하고 transport 설비와 transport 설비가 직접 연결되는 경우는 없다.
- Transport 설비는 하나의 OHT, OHS vehicle을 각각을 얘기하는 것이 아니라 즉, vehicle의 개수만큼 capa를 가지고 있는 하나의 설비라고 생각한다.
- Vehicle이 lot를 loading/unloading 할 때 걸리는 시간은 고려하지 않는다.

표 1 : Storage 설비와 Transport 설비의 구분

	Storage 설비	Transport 설비
Type	buffer, stocker 등	OHT, OHS, AGV 등
Capacity	○	○
Time	retrieval time	delivery time
Loading/Unloading time	×	×
구성	robot, space 등	line, vehicle 등

3. 물류 설비 모델링 방법론

본 논문에서 제안하는 물류 설비 모델링의 level은 현재 움직이고 있는 vehicle의 위치, 속도 등을 고려하지 않고, 각 bay 내에서 storage 별로 정해져 있는 이송 시간을 이용한다. 모델링의 목적이 line simulator에 들어 갈 수 있는 simulation model을 위한 것이므로 사용 S/W인 AutoMod™ 같은 복잡한 level은 필요하지 않다. 따라서 route만 결정되면 물류 설비의 capa와 정해져 있는 이송 시간을 고려하여 이송한다.

이 모델링 방법론의 목적은 simulation model을 쉽게 구현하기 위함이므로 크게 두 순서로 구분해서 모델링 한다. (1) Reference Model 정의(2) Formal Model 정의, 순서로 모델링 한다. (1) Reference Model 정의 단계에서는 설비의 behavior 파악과 State Variable 정의 및 Parameter 정의를 하고 (2) Formal Model 정의

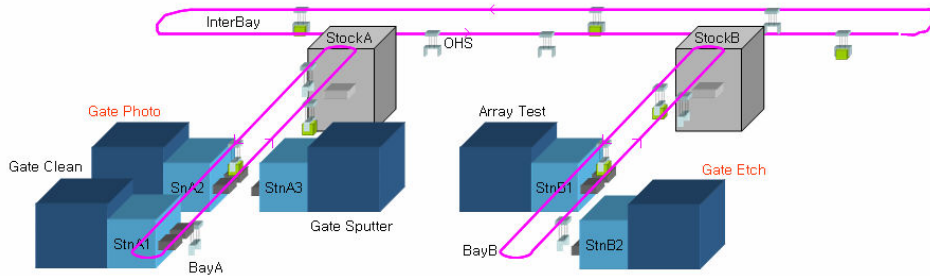


그림 2 : 모델링 대상 반도체 fab 라인

단계에서는 Event 파악하여 Event Graph를 그린다. 자세한 내용은 다음과 같다.

3.1 Reference Model 정의

3.1.1 Behavior 파악

Reference Model을 정의하기 위해 가장 먼저 해야 할 일은 설비의 behavior를 파악하는 일이다. 이 때 우리는 supervisory control model(Choi *et al.*, 1999)을 이용한다. 물류 설비의 상태를 action node(rectangle), wait node(track-shaped box), branch node(diamond) 형태로 나타낸다. 그리고 state의 변화는 화살표로 나타낸다. 먼저 크게 behavior를 나누어서 control model을 그린 다음, 세부적인 behavior에 따라 control model을 그린다.

3.1.1 State Variable 정의 및 Parameter 파악

State Variable 정의

State Variable은 물류 설비의 state가 변할 때 함께 변하는 값으로 lot의 이동과 물류 설비의 activities에 중점을 두고 정의한다.

Parameter 파악

Parameter는 원래 주어진 값이므로 설비의 특성을 표현할 수 있도록 설정한다.

3.1.1 설비 기준 정보 파악

설비가 운영될 때 사용되는 정보를 필요한 정보(bay의 구성 및 이송 시간 등)들을 정리 한다.

Storage 설비 정보

- storage 설비 이름
- 설비그룹코드
- capacity
- retrieval time
- timer time
- bay 이름

Transport 설비 정보

- transport 설비 이름
- capacity
- delivery time
- cycle time
- bay 이름

3.2 Formal Model 정의

3.2.1 Event 파악

물류 설비에서 발생하는event는 크게 두 가지로 다음과 같다.

- lot의 이동 : lot의 도착, 출발 등

- 설비의 activity : 다음 물류 설비에 대한 체크

3.2.2 Event Graph 그리기

앞에서 정의한 Reference Model을 참조하고 Event들의 상호관계를 판단하여 Event Graph를 다음과 같은 순서로 작성한다.

- Initial state 파악
- Next events schedule(condition & delay time 파악)
- Event 발생에 따른 state variable update
- 불필요한 event축소-reduced event modeling

4. 모델링 예제

물류 설비 모델링 예제에서 대상으로 삼은 반도체 fab 라인은 그림 2에서 보이듯이 설비가 5대, 설비 앞 storage 5대, Stocker 2개, interbay 1개로 이루어진 라인이다.

4.1 Reference Model 정의

4.1.1 Behavior 파악

Storage 설비

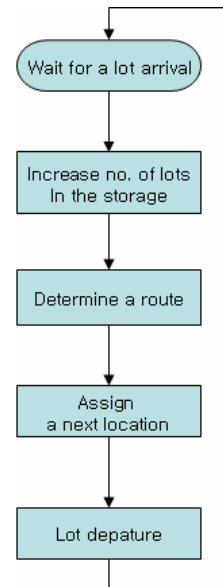


그림 3 : storage 설비의 supervisory control model

Storage 설비는 lot가 도착하기를 기다리고 있다

가 lot가 도착하면 현재 저장되어 있는 lot의 개수에 1을 증가시켜 준다. 그리고 목적지로 갈 수 있는 route를 결정한다. 결정된 path에서 다음 location을 정의한 후 lot를 출발시킨다.

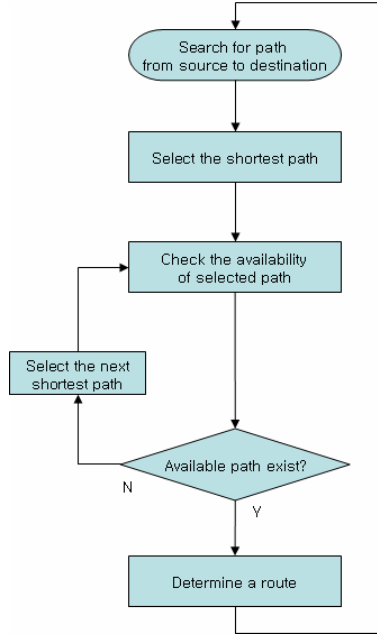


그림 4 : route 결정의 supervisory control model

path 찾는 것은 설비 기준 정보를 이용하여 bay 내에 있는 storage와 transport 설비의 기준 정보를 이용하여 찾는다.

이 때 shortest path(Jesus 2002)를 찾는데 가능한 여러 path 중에 이송시간(retrieval time+ delivery time)이 가장 짧은 path를 찾는다. 가장 짧은path의 중간 transport 설비 및 storage들의 wip의 체크하여 available하지 않다면 가장 짧은 path는 제외하고 그 다음으로 이송 시간이 짧은 path를 선택한다. 목적지까지의 물류 설비들이 모두 available한 path가 있다면 그 path를 route로 결정한다. 만약 목적지까지의 이동 가능한 path를 다 체크 했지만 route를 결정할 수 없다면 일정 시간 후에 다시 체크한다.

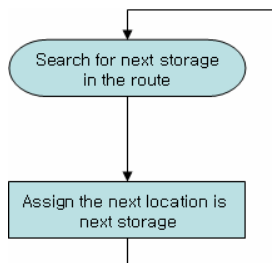


그림 5 : next location supervisory control model

Route가 결정 되었다면 결정된 route에서 현재 storage로부터 다음 storage를 찾아서 next location으로 설정해 준다.

Transport 설비

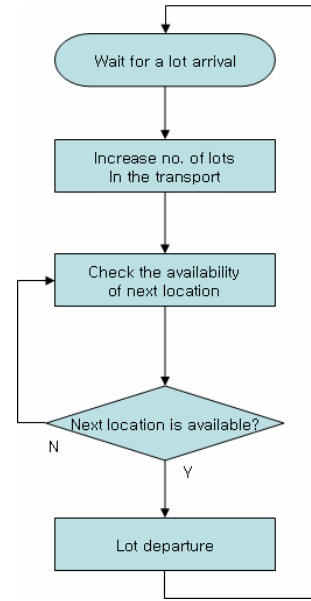


그림 6 : transport 설비의 supervisory control model

transport 설비는 lot가 도착하면 현재 transport 설비가 이송하고 있는 lot의 개수를 하나 증가 시킨다. 그리고 delivery time 후에 next location의 wip을 체크하여 available하면 lot을 departure하고 만약 그렇지 않다면 bay를 한 바퀴 돈 후(cycle time 후)에 다시 체크 한다.

4.1.2 State Variable 정의 및 Parameter 파악

Storage 설비

State Variable 정의

- STR_WIP : Storage에 현재 저장되어 있는 lot의 개수
- Next Location : 다음 이동할 장소.

Parameter 파악

- STR_capa : Storage에 저장 가능한 최대 lot의 개수
- Retrieval time : 이동하기 위한 lot이 storage 내부에서 찾아서 꺼내는데 소요되는 시간
- Timer time : available한 path가 없을 경우 path를 다시 체크하기 위해 소요되는 시간

Transport 설비

State Variable 정의

- OR_WIP : Transport 설비가 현재 가지고 있는 lot의 개수

Parameter 파악

- OR_capa : Transport 설비가 한 번에 이동할 수 있는 최대 lot의 개수
- Delivery Time : 한 bay 내에서 lot가 transport 설비를 이용해서 이동하는데 소요되는 시간
- Cycle time : lot가 한 bay를 transport 설비를 이용하여 한 바퀴 도는데 소요되는 시간.

4.1.3 설비 기준 정보 파악

파악된 기준 정보는 다음과 같다.

Storage 설비 정보

표 2 : Storage 설비 정보

Storage	설비그룹코드	Capa	Rtime(min)	Ttime(min)	System
StnA1	Gate Clean	3	5	1	BayA
StnA2	Gate Sputter	3	5	1	BayA
StnA3	G&A Photo	3	5	1	BayA
StockA		5	15	2	BayA
StockA		5	15	2	InterBay
StockB		6	15	2	InterBay
StockB		6	15	2	BayB
StnB1	Gate Etch	3	10	1	BayB
StnB2	Array Test	3	10	1	BayB

Transport 설비 정보

표 3 : Transport 설비 capa, cycle time 정보

Transport 설비	Capa	Ctime(min)
BayA transport	10	20
BayB transport	10	20
InterBay transport	15	30

표 4 : Transpor 설비의 from/to matrix

FromLoc	ToLoc	Dtime(min)	System
StnA1	StockA	15	BayA
StnA1	StnA2	10	BayA
StnA1	StnA3	10	BayA
StnA2	StockA	15	BayA
StnA2	StnA1	10	BayA
StnA2	StnA3	10	BayA
StnA3	StockA	15	BayA
StnA3	StnA1	10	BayA
StnA3	StnA2	10	BayA
StockA	StnA1	15	BayA
StockA	StnA2	15	BayA
StockA	StnA3	15	BayA
StockA	StockB	30	InterBay
StockB	StockA	30	InterBay
StnB1	StockB	10	BayB
StnB1	StnB2	5	BayB
StnB2	StockB	10	BayB
StnB2	StnB1	5	BayB
StockB	StnB1	10	BayB
StockB	StnB2	10	BayB

Storage 설비

- lot의 이동
 - LA : lot가 storage에 도착(Lot Arrival)
 - LD : lot가 storage에서 떠남(Lot Departure)
- 설비의 activity
 - CK : route 선택, Next location 결정(Check)

Transport 설비

- lot의 이동
 - LA : lot가 transport에 도착
 - LD : lot가 transport에서 떠남
- 설비의 activity
 - CK : 다음 location의 wip 체크

4.2.2 Event Graph 그리기

Storage 설비

- LA(initial event) Processing(Schedule & Update)
 - STR_WIP++
 - Schedule CK with no time delay
- CK Processing
 - route 선택
 - if (route exist == true),
 - then {Schedule LD with time delay RT}
 - else {Schedule CK with time delay TT}
 - next location 결정
- LD Processing
 - STR_WIP--

Transport 설비

- LA(initial event) Processing(Schedule & Update)
 - OR_WIP++
 - Schedule CK with time delay DT
- CK Processing
 - if (next location wip < next location capa),
 - then {Schedule LD with no time delay}
 - else {Schedule CK with time delay CT}
- LD Processing
 - OR_WIP--

4.2.3 Event Graph

Storage 설비

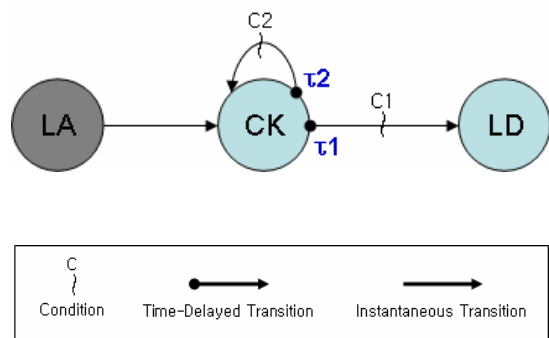


그림 7 : Storage 설비의 event graph

4.2 Formal Model 정의

4.2.1 Event 파악

Transport 설비

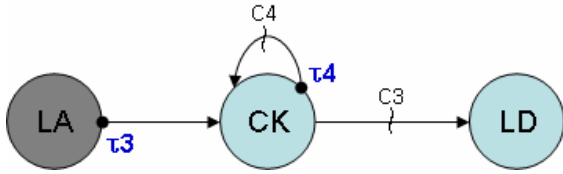


그림 7 : Storage 설비의 event graph

event graph의 조건과 시간에 대한 표는 다음과 같다.

표 5 : 조건 표

Condition number	condition
C1	route exist == ok
C2	route exist ≠ ok
C3	Next location wip < Next location capa
C4	Next location wip == Next location capa

표 6 : 시간 표

Time number	time
τ_1	Retrieval time
τ_2	Timer time
τ_3	Delivery time
τ_4	Cycle time

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 반도체 fab 라인의 물류 설비를 모델링 할 때 필요한 guideline을 제안했다. Line simulator 개발 시 장애 요소로 설비의 simulation model 구현의 어려움을 지적하고 있으며, 쉽게 simulation model을 정의하는 것은 매우 중요한 문제이다. 따라서 제안한 guideline으로 편리하게 물류 설비를 모델링 한다는 점에서 본 연구의 의의를 찾을 수 있다. 하지만 본 논문에서는 제안한 guideline을 따라 모델링 한 물류 설비 모델을 line simulator에 넣어 구현해 보지 못한 한계가 존재한다.

따라서 추후 연구 과제로써 크게 3가지를 제안한다. 첫째로 guideline을 따라 모델링한 물류 설비 모델을 line simulator에 넣어 구현하여 성능 분석을 통해 효율성을 검증해 볼 필요가 있다. 둘째로 본 논문에서 제시한 guideline은 논문에서 제시한 모델링의 level of detail로 볼 때 2번째 level이다. 나머지 level로 모델링을 해보고 각각의 모델을 simulator로 구현하여 simulation 해 본다면 level에 따른 유용성 분석을 해 볼 수 있을 것이다. 그리고 마지막으로 제안한 guideline이 반도체 fab 라인의 물류 설비뿐만 아니라 생산 설비로도 확장할 수 있을 것이며, 반도체 fab 라인에만 제한된 것이 아니라 전자 부품 산업의 fab 라인으로도 확

장시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

International SEMATECH, (1999), Automated Material Handling System (AMHS) Framework Document - Version 1.0.
 International SEMATECH, (2001), Q2 2001 PRODUCTIVITY ANALYSIS FACTORY & COST SIMULATION EXPERIMENT REPORT
 이영훈, 조한민, 박종관, 이병기. (1999). 반도체 FAB의 스케줄링 시뮬레이터 개발. *IE Interface*, 12(3), 437-447, September 1999.
 B. K. Choi, J. H. Park and T. -E .Lee. (1996). Event graph modelling of automated sorting and buffering system. *INT. J. Computer Integrated Manufacturing*, 9(5), 369-380
 Brooks-PRI Automation, (2002). AutoSched AP 7.2 User's Guide.
 International SEMATECH. (2001). SEMATECH Simulation Model: Documentation and User Guide.
 Jesus A. Jimenez, Gerald Mackulak, John Fowler, (2005). Efficient Simulations for Capacity Analysis and Automated Material Handling System Design in Semiconductor Wafer, *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*
 Jesus A. Jimenez, Bosun Kim, John Fowler, Gerald Mackulak, You In Choung, Dong-Jin Kim, (2002). Operational Modeling and Simulation of an interbay AMHS in Semiconductor wafer fabrication, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*
 Sameer T. Shikalgar, David Fronckowiak, Edward A. MacNair, (2002). 300mm Wafer Fabrication Line Simulation Model, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*
 Kishore Potti, Amit Gupta, (2002). ASAP Application of Simulation Modeling in a Wafer Fab, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*
 Dima Nazzal, Douglas A. Bodner, (2003). A Simulation-based Design Framework for Automated Material Handling Systems in 300mm Fabrication Facilities, *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*