

반도체 Fab의 생산선형성 향상을 위한 일간생산계획 방법론

정근채^{1*} · 박문원²

¹충북대학교 토목공학부 / ²엠아이큐브솔루션(주)

A Daily Production Planning Method for Improving the Production Linearity of Semiconductor Fabs

Keun-Chae Jeong¹ · Moon-Won Park²

¹School of Civil Engineering, Chungbuk National University / ²M.I Cube Solution, Inc.

In this paper, we propose a practical method for setting up a daily production plan which can operate semiconductor fabrication factories more stably and linearly by determining work in process (WIP) targets and movement targets. We first adjust cycle times of the operations to satisfy the monthly production plan. Second, work in process (WIP) targets are determined to control the production progress of operations: earliness and tardiness. Third, movement targets are determined to reduce cumulated differences between WIP targets and actual WIPs. Finally, the determined movement targets are modified through a simulation model which considers capacities of the equipments and allocations of the WIPs in the fab. The proposed daily production planning method can be easily adapted to the memory semiconductor fabs because the method is very simple and has straightforward logics. Although the proposed method is simple and straightforward, the power of the method is very strong. Results from the shop floor in past few periods showed that the proposed methodology gives a good performance with respect to the productivity, workload balance, and machine utilization. We can expect that the proposed daily production planning method will be used as a useful tool for operating semiconductor fabrication factories more efficiently and effectively.

Keywords: Semiconductor, Planning, Cycle time, Work in process, Movement, Simulation

1. 서론

반도체 산업 분야의 기업들은 치열해져가는 시장 환경에 적극적으로 대응하기 위해, 보다 집적도가 높은 반도체를 더 저렴하게 생산하기 위한 설계 및 제조기술 분야에 지속적인 투자를 진행해왔다. 이 결과 현재의 주력 반도체 제품들의 정밀도는 29나노와 25나노 공정을 넘어 20나노와 16나노 공정을 지향하고 있으며, 웨이퍼의 크기 역시 200mm 시대를 지나 300mm가 주력이 되었으며 향후 450mm 시대를 준비하고 있다. 선진적 기업들은 이러한 변화의 노력을 통해, 한 장의 웨이퍼에서 보다 큰 용량의 반도체를 더 많이 생산함으로써, 반도체 산업

에 있어서 가장 중요한 경쟁요소 중 하나인 가격 경쟁력을 확고히 유지하고 있다. 그러나 집적도의 향상은 제조공정 상 여러 가지 제약사항들을 만들어 냄으로써 반도체 Fab의 생산관리를 보다 복잡하게 만들었으며, 또한 웨이퍼의 대형화는 작업자가 수작업을 통해 웨이퍼 카세트를 직접 다룰 수 없는 상황을 만들었다. 이러한 상황변화에 대처하기 위해 선진적인 반도체 Fab에서는 물류장비를 자동화하고 생산계획 및 일정계획을 체계적으로 정비하여 시스템화하고 있다.

이와 같은 자동화 및 시스템화 노력은 <Figure 1>에 나타나 있는 바와 같이, 기업 경영상의 상위로부터 하위까지의 전 계층에서 이루어지는 관리활동, 즉, 전사적 자원관리, 생산계획

이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

* 연락저자 : 정근채 교수, 362-763 충청북도 청주시 서원구 충대로 1 충북대학교 토목공학부, Tel : 043-261-2401, Fax : 043-263-2409,

E-mail : kcjeong@cbnu.ac.kr

2015년 2월 9일 접수; 2015년 5월 6일 수정본 접수; 2015년 5월 11일 게재 확정.

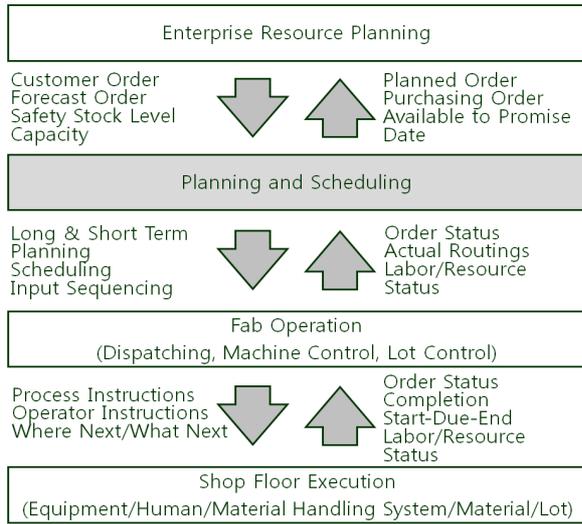


Figure 1. Decision making hierarchy in the semiconductor fab

및 일정계획, Fab 운영, 생산현장 실행 등에서 발생하는 의사 결정을 자동화 한다는 것을 의미한다(Jeong, 2008). 이 중 생산 계획 및 일정계획 단계에서는 장기, 중기, 단기에 대한 제품별 생산량을 결정하는 생산계획 기능과 결정된 생산량을 최적으로 생산하기 위해 작업순서를 결정하는 일정계획 문제를 해결한다. 특히 Fab의 생산성 및 시장대응성은 이와 같은 생산계획 및 일정계획 문제들을 해결하기 위해 어떤 방법론을 사용했는가에 따라 지대한 영향을 받게 된다. 최근 Fab 운영에 있어서 생산계획 및 일정계획의 역할에 대한 인식이 제고됨에 따라 많은 Fab이 생산계획 및 일정계획 문제를 해결할 수 있는 보다 기능화된 형태의 Advanced Planning and Scheduling(APS) 시스템을 구축하기 위해 노력하고 있다.

본 연구에서는 DRAM과 NAND Flash로 대변되는 메모리

반도체 Fab을 대상으로 적정 재공재고(Work In Process; WIP)의 개념을 이용하여 월간생산계획의 효율적 달성을 목표로 하는 일간생산계획 수립 방법론을 제안한다. 즉, <Figure 2>와 같이 월간생산계획을 달성함에 있어 Fab의 무브먼트(Movement; 세부공정별 가공량으로 마지막 공정인 Fab Out 공정의 무브먼트가 생산량이 됨)의 값을 증가시키고 산포를 감소시키며, WIP(공정 앞에서 작업을 위해 대기 중인 Lot의 수)과 사이클 타임(Cycle Time; 각 공정에 대한 대기시간과 가공시간의 합으로 Lot이 해당 공정에 머무는 시간)의 값 및 산포를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적들은 반도체 Fab을 운영함에 있어 각 제품공정에 대한 생산량을 가능한 한 시간대별로 일정하게 유지하는 운영체계를 갖추므로써 달성할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같이 생산계획을 달성함에 있어 생산선형성(Linearity)을 확보함으로써 Fab의 안정성 및 생산성을 동시에 충족시키는 일간생산계획 수립 방법론을 개발하는 것을 목표로 한다.

이와 같이 생산선형성을 유지함으로써 공장의 설비를 안정적으로 운영하고자하는 연구들은 그간 지속적으로 진행되어 왔다. 먼저 첫 번째 분야에서는 반도체 Fab에 대한 범용적인 생산 및 일정계획 방법론을 제시함으로써 생산 효율성 및 효과성을 높이기 위한 연구를 진행하였다. Yea and Kim(1997)는 반도체 Fab을 대상으로 주어진 생산 소요량과 목표 공기를 효율적으로 달성하기 위한 포토 공정의 병목 장비를 고려한 고대 근무시간 단위의 생산 일정계획 방법론을 제안하였다. Li *et al.* (2004)는 동적으로 변하는 반도체 수요에 대응하기 위한 다중 에이전트 기반의 실시간 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. Huang *et al.*(2007)은 유전자 알고리즘 기반의 오프라인 최적화 단계와 마코브 의사결정 모형에 기반을 둔 온라인 디스패칭 단계로 구성된 300mm 웨이퍼 Fab에 대한 2단계 스케줄링 알

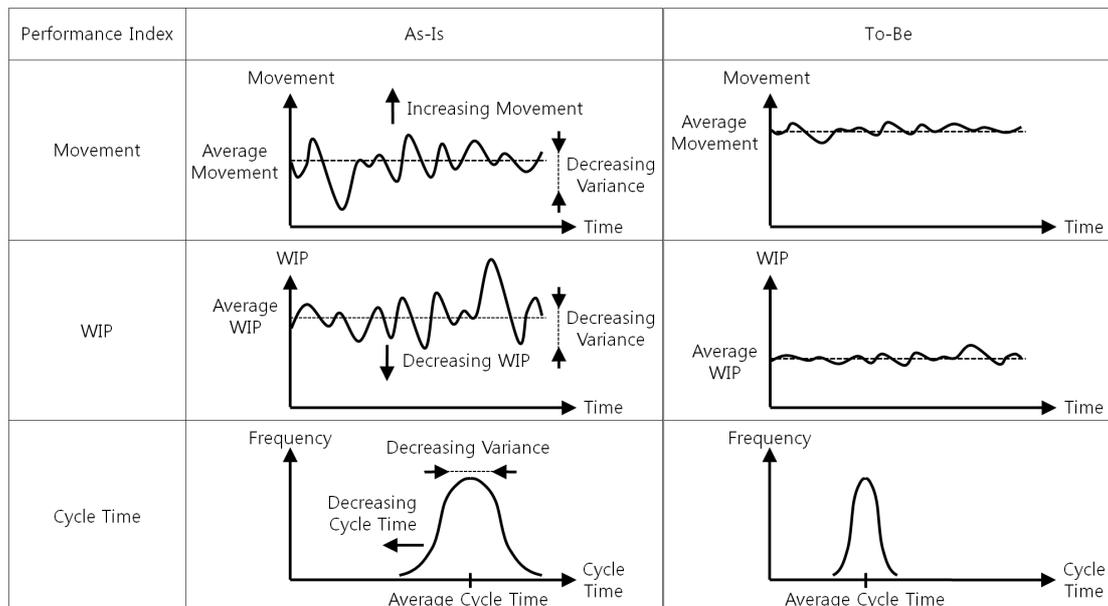


Figure 2. Objectives of the proposed production planning method

고리즘을 제안하였다. Kim *et al.*(2008)은 연구개발 Fab에 대해 납기준수, 생산량 증대, WIP 감소, 사이클 타임 감소 등의 목적을 달성하기 위한 혼합정수계획법 기반의 Fab-Wide 스케줄링 시스템을 제안하였다. Choi and Lee(2009)는 대기시간 제약과 배치공정의 특성이 존재하는 세정과 확산으로 이루어진 연속 공정 구간을 대상으로 일정계획 알고리즘을 제안하고 실시간 일정계획 시스템을 개발하였다. Choi(2012)는 포토 공정에 대해 다양한 공정 선택 우선순위 규칙들과 Lot 선택 우선순위 규칙들을 제안하고, 그 조합을 이용하여 다양한 휴리스틱 알고리즘들을 개발하였다. Kao *et al.*(2014)는 두 단계로 구성된 소형 Fab를 대상으로 장비의 변동성 요인을 통계적 기법을 활용하여 각 장비의 생산 목표를 수립하는 방법론을 제시하였다.

두 번째 분야에서는 연구범위를 조금 더 좁혀 반도체 Fab 각 공정의 WIP를 통제함으로써 생산선형성을 향상시킬 수 있는 생산 및 일정계획 체계 수립에 대한 연구를 진행하였다. Qiu *et al.*(2002)는 네트워크 컴퓨터 기술과 가상 생산 라인 개념을 이용하여 분산형 WIP 통제 시스템 아키텍처를 제안하였다. Miygashita *et al.*(2003)은 Fab 내의 WIP를 목표 수준으로 유지하기 위해 WIP를 일정한 시점에만 다음 공정으로 이동시키는 휴리스틱 규칙 기반의 정기 생산계획 및 통제 방법론을 제시하였다. Ruijie and Zhongjie(2008)은 퍼지 알고리즘과 제약이론에 기반을 둔 퍼드백 통제 방법론을 이용하여 Fab으로의 WIP 투입을 관리함으로써 사이클 타임과 WIP 수준을 감소시키고 적시 배송을 증가시키고자 하였다. Duemmler and Wohlleben(2012)는 반도체 Fab의 시장 대응성을 향상시키기 위해 디스패칭, 일정계획, 물류예측, 용량계획 및 최적화 등의 기능을 탑재한 WIP 흐름관리 시스템 프레임워크를 제안하였다. Yang *et al.*(2014)는 시뮬레이션 연구를 통해 병목공정을 탐지하는 기법을 제안하였고 이를 토대로 각 공정별 WIP 수준이 결정되어야 함을 주장하였다.

세 번째 분야는 반도체 Fab의 생산선형성을 향상시키기 위해 직접적으로 각 공정에 대한 목표 WIP를 결정하는 방법론을 다루고 있다. Potti *et al.*(1994)은 간판 시스템을 근간으로 하는 반도체 Fab의 각 공정에 대한 적정 WIP를 결정하기 위한 시뮬레이션 연구를 진행하였다. Iriuchijima *et al.*(1998)은 누적 생산량 그래프를 이용하여 Fab의 필요 생산량과 현재 WIP를 하나의 그래프에 동시에 표시하고, 이들의 차이를 줄이는 방향으로 각 공정에 대한 생산목표를 결정하는 방법론을 제안하였다. Lee(2002)는 회귀분석을 통해 WIP와 사이클 타임은 서로 정의 상관관계가 있으며, WIP와 재고소진율은 부의 상관관계가 있음을 보였다. Liu *et al.*(2006)은 인공지능망을 이용하여 Fab 안의 총 WIP를 결정하고 대기행렬이론을 이용하여 총 WIP를 각각의 장비에 할당하는 방법론을 제시하고, 시뮬레이션을 통해 사이클 타임의 평균과 분산 측면에서 Fab의 성능이 개선됨을 보였다. Chung and Jang(2009)는 병목장비의 일감 부족으로 인한 작업중단을 최소화함으로써 생산량을 최대화하기 위한 혼합정수계획법 기반의 WIP 균형화 방법론을 제안하였다.

위에서 살펴본 바와 같이 반도체 Fab의 최적 운영을 위한 지속적인 연구들의 결과로 반도체 Fab에 대한 다양한 생산 및 일정계획 방법론들이 제시되어 왔다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 실제 양산 Fab을 대상으로 진행된 것이 아니라 가상의 Fab 또는 실험실 수준의 테스트 Fab에서 진행된 것들이어서 양산 Fab에 직접 적용되기에는 그 현실성이 매우 떨어지는 형편이다. 문제 상황에 대한 단순화 가정에 기반을 두고 개발된 방법론은 Fab의 복잡한 현장 상황을 제대로 반영하지 못함으로써, 도출된 생산계획 결과를 Fab에 적용하는 경우 애초 예상과 달리 Fab을 더 불안정하게 만드는 결과를 초래하곤 한다. 이러한 이유로 많은 생산계획 방법론들이 Fab에 적용된 후 뿌리를 내리지 못하고 명목상으로만 유지된 채 방치되는 일들이 지속적으로 발생하고 있다. 또한 수리적 또는 인공지능 기법 등 블랙박스 형태의 이론적 방법론에 기반을 둔 생산계획 시스템은 자신이 생성한 생산목표를 현장 생산관리 담당자에게 합리적으로 설명하지 못함에 따라 현장에서 외면당하는 현상이 종종 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 Fab의 현실적인 상황을 최대한 반영하여 현장 생산관리 담당자가 납득할 수 있는 보다 간단하면서도 실용적이며 설명가능한 생산선형성 지향 생산계획 방법론을 개발하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 다음 장에서는 본 연구에서 다루고 있는 일간생산계획 문제에 대해 설명한다. 제 3 장에서는 제품공정별 생산목표량을 결정하기 위한 이상적 WIP 분포 기반의 방법론을 제안하며, 제 4장에서는 제안된 방법론을 보다 쉽게 설명하기 위한 예제를 서술한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 의의와 기대효과를 서술하며 논문을 맺는다.

2. 문제정의

본 연구에서 대상으로 삼고 있는 Fab은 DRAM과 NAND Flash로 대변되는 메모리 반도체를 생산하고 있다. 이들의 생산을 위해서는 <Figure 3>에 나타나 있는 바와 같이 공 웨이퍼가 Fab에 투입되어 초기 작업을 마친 후 보통 25장의 웨이퍼를 하나의 카세트(Front Opening Unified Pod; FOUP)에 담아 Lot을 구성한다. 이후 Lot 단위로 침적, 포토(도포, 노광, 현상), 식각, 세정, 확산 등의 공정을 반복적으로 수행한 후 Fab을 빠져나가게 된다. 하나의 Fab에서는 보통 몇 가지 종류의 기술을 기반으로 한 다양한 제품이 동시에 생산되고 있다. 보통 하나의 제품은 Fab In 공정을 기점으로 300에서 500개 정도의 주요(Main) 공정(스텝)을 거친 후 Fab Out 공정을 빠져나가 후처리 공장으로 이동한다. 이 상황에서 Fab의 운영을 위해 해결해야 할 일간 생산계획 문제는 다음과 같다. 첫째, 제품공정별로 해당 공정 다음에 위치할 버퍼에 몇 개의 WIP를 유지해야 하는가와 관련된 WIP 목표 설정 문제와 둘째, 제품공정별로 오늘 하루 동안 몇 개의 웨이퍼를 가공해야 하는가와 관련된 무브먼트 목표

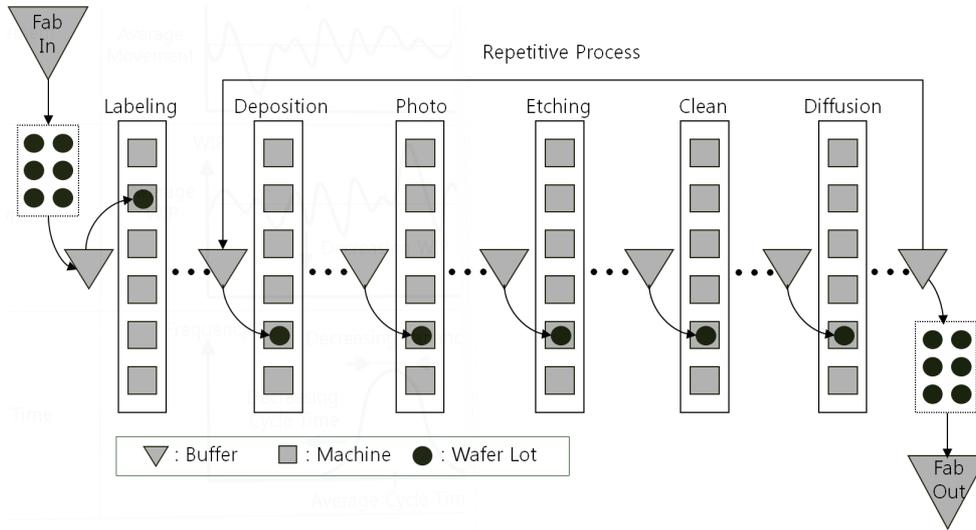


Figure 3. Main operations of the memory semiconductor

설정 문제이다.

본 연구에서 다루고자 하는 Fab에 대한 WIP 목표와 무브먼트 목표 설정 문제는 <Figure 1>의 생산계획 및 일정계획 단계의 의사결정에 포함된다. 본 연구에서는 월간생산계획을 포함하여 중장기 생산계획을 수립하는 도구는 이미 마련되어 있으며, 또한 일정계획과 Fab 운영 및 장비 실행을 위한 방법론 역시 이미 시스템화 되어 Fab에 구축되어 있는 상황을 가정한다. 따라서 월간생산계획은 주어져 있으며 각 제품공정별로 일간 무브먼트 목표가 설정되면 이를 달성하기 위해 Lot 간 작업순서를 결정하여 실행에 옮기는 과정은 자동적으로 처리된다. 본 연구에서는 이와 같이 월간생산계획이 확정되어 있는 상황에서 각 제품공정별 WIP 목표를 설정한 후 무브먼트 목표를 설정함으로써 각 제품 공정별로 일간 가공량을 결정하기 위한 방법론을 개발하는 것으로 연구범위를 한정한다. 즉, 일간생산계획 문제는 각 제품공정별 월간생산계획을 달성함에 있어 생산선형성을 유지할 수 있는(무브먼트의 평균은 증가시키면서 분산은 감소시키고 WIP와 사이클 타임의 평균과 분산을 감소시킬 수 있는) WIP 목표와 무브먼트 목표를 수립하는 문제로 정의될 수 있다.

본 연구에서는 이와 같이 정의된 일간생산계획 문제의 해결을 위한 효율적 · 효과적이며 현장적용이 용이한 실용적인 방안을 제시하고자 한다. 즉, 본 연구는 단지 연구실 수준의 비현실적인 방법론이 아닌 현장에서 많은 시행착오를 통해 축적한 운영경험에 학술적 이론을 부가하여 현장에서 실제로 사용할 수 있는 현실적인 방법론을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 본 연구에서 제안된 개념은 이미 반도체 Fab의 Advanced Planning and Scheduling(APS) 시스템에 탑재되어 실제로 운영 중이며, 이러한 사실이 개발된 방법론의 실용성을 대변한다고 할 수 있다. 본 연구에서 제안된 일간생산계획 수립 방법론 활용을 통해 반도체 기업들은 생산성 향상 및 비용 절감을 실현함으로써 국제적 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구에서 다루고 있는 일간생산계획 문제를 보다 명확하게

서술하기 위해 다음과 같은 기호와 의사결정변수를 정의한다.

[인덱스 정보]

- p : 제품, $p = 1, 2, \dots, P$
- P : Fab에서 동시에 생산하는 제품의 가짓수
- o : 제품 p 의 공정, $o = 1, 2, \dots, O_p$
- O_p : 제품 p 의 공정의 수, $p = 1, 2, \dots, P$
- m : 작업월, $m = 1, 2, \dots, M$
- M : 총 작업월 수
- d : 작업일, $d = 1, 2, \dots, D$
- D : 총 작업일 수, $D = \sum_{m=1}^M D_m, m = 1, 2, \dots, M$
- D_m : m 월의 작업일 수, $m = 1, 2, \dots, M$
- m_d : d 작업일이 속한 작업월, $d = 1, 2, \dots, D$
- d_{m_d} : d 작업일을 m_d 작업월의 순차일로 환산한 값,

$$m_d = 1 \text{ 이면 } d_{m_d} = d, m_d > 1 \text{ 이면 } d_{m_d} = d - \sum_{m=1}^{m_d-1} D_m,$$

$$d = 1, 2, \dots, D$$

d^* : 오늘(금일)을 나타내는 날짜 인덱스

[기준 정보]

- CT_{po} : 제품 p 에 대한 공정 o 의 사이클 타임으로 단위는 일, $p = 1, 2, \dots, P, o = 1, 2, \dots, O_p$
- RCT_{po} : 제품 p 에 대한 공정 o 의 잔여 사이클 타임,
- $RCT_{po} = \sum_{k=o+1}^{O_p} CT_{pk}, p = 1, 2, \dots, P,$
 $o = 1, 2, \dots, O_p - 1, RCT_{pO_p} = 0$
- MD_{pm} : m 월에 대한 제품 p 의 완제품 월간 수요량,
 $p = 1, 2, \dots, P, m = 1, 2, \dots, M$
- SM_{pm} : m 월에 대한 제품 p 의 스텝 무브먼트, 즉, m 월에 하루 동안 생산해야 하는 제품 p 의 완제품 물량으로 생산

선형성을 달성하기 위해 해당 월에 매일 동일한 물량을 생산하는 상황을 가정, $SM_{pm} = MD_{pm}/D_m$, $p = 1, 2, \dots, P, m = 1, 2, \dots, M$

- SM_{pd} : 작업일 d 에 대한 제품 p 의 스텝 무브먼트, $SM_{pd} = SM_{pm_d}, p = 1, 2, \dots, P, d = 1, 2, \dots, D$
- SMT_{pod} : 제품 p 의 공정 o 에 대한 작업일 d 의 정적 무브먼트 목표, $SMT_{pod} = SM_{p,d+RCT_{po}}, p = 1, 2, \dots, P, o = 1, 2, \dots, O_p, d = 1, 2, \dots, D$
- WIP_{po} : 제품 p 의 공정 o 에 대한 금일 d^* 초 시점의 WIP 물량으로 공정 o 를 마치고 바로 다음 공정 $o+1$ 의 처리를 위해 대기하고 있는 WIP 물량으로 정의됨, $p = 1, 2, \dots, P, o = 1, 2, \dots, O_p - 1$
- WIP_{pO_p} : 오늘까지 생산된 제품 p 의 완제품 누적 월간 생산실적량, 즉, 금월 m_d 1일부터 금일 $d_{m_d} (=d^*)$ 까지의 생산량, $p = 1, 2, \dots, P$

[의사결정변수]

- WT_{po} : 제품 p 의 공정 o 에 대한 금일의 WIP 목표로 <Figure 4>에 묘사되어 있는 바와 같이 금일 말 시점에 공정 o 를 마치고 바로 다음 공정 $o+1$ 의 처리를 위해 대기하고 있는 WIP의 목표 물량으로 정의
- MT_{po} : 제품 p 의 공정 o 에 대한 금일의 무브먼트 목표로 <Figure 4>에 묘사되어 있는 바와 공정 o 에서 당일 처리하는 물량으로 정의

본 연구에서는 <Figure 4>에 묘사되어 있는 바와 같이 월간 생산계획을 충족하기 위한 제품 p 의 각 공정 o 에 대한 금일 말 시점의 WIP 목표 WT_{po} 와 금일 동안의 무브먼트 목표 MT_{po} 를 결정하는 일간생산계획 문제를 다룬다. 제품 p 는 총 O_p 개의 공정을 거쳐 완제품으로 가공된다. 즉, 공정 1에서 Fab에 투

입된 후 연속되는 공정들을 거치고 공정 O_p 에서 가공을 마친 후 Fab을 떠나게 된다. 여기서, 첫 번째 공정의 무브먼트 목표 MT_{p1} 은 오늘 Fab으로 새롭게 투입되는 물량을 의미하며, 마지막 공정의 무브먼트 목표 MT_{pO_p} 는 오늘 생산이 완료되어 Fab에서 빠져나가는 완제품 물량을 의미한다. 첫 번째 공정 앞의 WIP(Raw Wafers)은 무한하다고 가정하며, 마지막 공정의 WIP(Fabricated Wafers)을 나타내는 WIP_{pO_p} 는 금일까지 생산을 완료한 이번 달의 누적생산량을 의미한다. <Figure 4>에 나타나 있는 바와 같이, d 일에 제품 p 의 공정 o 에 대한 가공을 완료하면, 이 WIP들은 이후 공정들을 거쳐 d 일로부터 제품 p 에 대한 공정 o 의 잔여 사이클 타임 RCT_{po} 만큼이 경과된 시점에 완제품으로 Fab을 빠져나가게 된다. 따라서 제품 p 의 공정 o 에 대한 d 일의 정적 무브먼트 목표 SMT_{pod} 는 d 일로부터 제품 p 에 대한 공정 o 의 잔여 사이클 타임 RCT_{po} 후의 제품 p 의 스텝 무브먼트 $SM_{p,d+RCT_{po}}$ 가 된다.

본 연구에서 다루고 있는 일간생산계획 문제에서는 각 제품에 대한 생산계획을 수립하기 위한 수요정보 MD_{pm} , 현재의 생산진도를 나타내는 완제품 생산실적 정보 WIP_{pO_p} , 공정별 WIP 정보 WIP_{po} 가 주어져 있다고 가정한다. 실제 Fab에서는 이러한 정보들이 장비실행시스템(Machine Execution System; MES)을 통해 실시간으로 수집되어 APS 시스템으로 제공되고 있다. 본 연구에서 다루고 있는 첫 번째 문제는 생산선형성을 가정하여 오늘까지 수행되었어야 할 완제품 및 WIP 생산진도를 맞출 수 있는 WIP 목표 WT_{po} 를 설정하는 것이며, 두 번째 문제는 설정된 WIP 목표를 달성할 수 있는 무브먼트 목표 MT_{po} 를 설정하는 것이다. 따라서 일간생산계획 문제의 최종적인 의사결정변수는 각 제품의 공정별 무브먼트 목표 MT_{po} 라고 할 수 있다. 즉, 일간생산계획 문제는 Fab에 산재되어 있던 여러 가지 원인들로 인해 생산선형성을 벗어나 있는 Fab 상

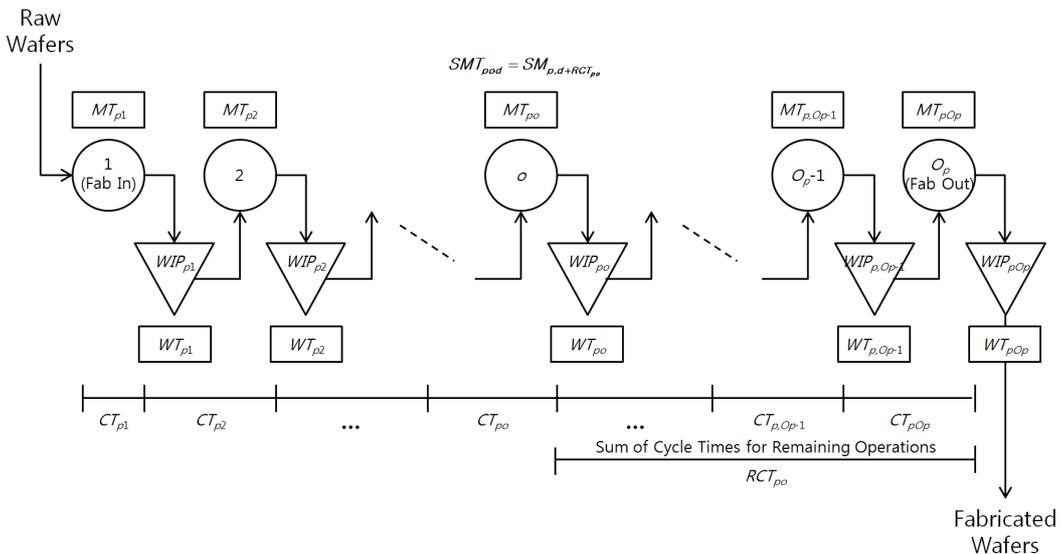


Figure 4. Serial view of the fabrication process of product p

태를 다시 안정된 Fab 상태로 되돌리기 위한 각 제품공정별 일간 생산량을 결정하는 문제이다. 이러한 일간생산계획은 하루 간격으로 매일 작업시작 시점에 수행한다. 즉, 오늘 작업이 시작되는 시점에 한번 일간생산계획을 수행하며, 다음 일간생산계획은 내일 작업이 시작되는 시점에 수행된다.

3. 일간생산계획 수립 방법론

만약 반도체 Fab이 생산선형성을 충족한 채 완벽하게 안정된 상태에 있다면, Fab Out 공정의 WIP은 금월 생산일수 대비 오늘까지 경과된 생산일수에 비례한 생산계획량을 유지하고 있게 된다. 또한 나머지 공정들은 후속공정의 사이클 타임과 일간 생산량의 곱에 해당하는 생산계획량을 WIP으로 유지하게 된다. 즉, 매일같이 모든 공정이 일정한 물량을 생산하면 모든 공정의 WIP이 이상적인 WIP 분포를 의미하는 WIP 목표를 유지하게 되는 것이다. 그러나 특정한 공정들에서 발생한 장비고장, 제품불량, 재작업 등 불확실성으로 인한 생산차질은 전후공정의 생산진도에 연속적으로 영향을 미치게 된다. 이로 인해, 어떤 특정한 시점에 Fab을 관찰해보면 <Figure 5>에서와 같이 회색으로 채워진 각 공정의 WIP이 점선으로 표시된 WIP 목표에서 벗어나 있는 경우가 종종 발

생한다. <Figure 5>의 a)의 경우 공정 o 앞의 WIP은 과잉인 상태이고 뒤의 WIP은 부족한 상태이다. 따라서 공정 o 에서 생산을 촉진하여, 즉, 생산량을 늘려 앞쪽의 과잉재고를 신속하게 뒤쪽 공정으로 이동시킴으로써 전체적인 생산진도를 맞춰나가야 한다. 반대로 b)의 경우 생산량을 줄여 앞쪽의 WIP은 다시 적정 수준으로 쌓이게 하고, 뒤쪽의 WIP은 공정 o 에서 공급을 줄여 빠르게 소진시킴으로써 생산진도를 맞춰야 한다. 본 연구에서 제안하고 있는 일간생산계획 방법은 WIP 균형화 개념에 입각하여 생산선형성을 만족하는 이상적인 WIP 목표를 설정해놓고 이를 달성할 수 있는 무브먼트 목표를 결정하는 방식을 이용한다. 이와 같은 방법으로 공정 o 의 생산진도가 느린 상태인 <Figure 5>의 a)에서는 안정상태의 생산량인 정적 무브먼트 목표보다 WIP 부족량만큼 증가시킨 무브먼트 목표를 부여하고, 공정 o 의 생산진도가 빠른 상태인 b)에서는 정적 무브먼트 목표보다 WIP 과잉량 만큼 감소시킨 무브먼트 목표를 설정한다.

3.1 사이클 타임 조정

일간생산계획을 수립하기 위해서는 먼저 생산진도를 파악하기 위해 <Figure 6>에 묘사되어 있는 바와 같이 Fab Out 공정으로부터 Fab In 공정방향으로 후진하며 특정 공정 앞에 쌓여

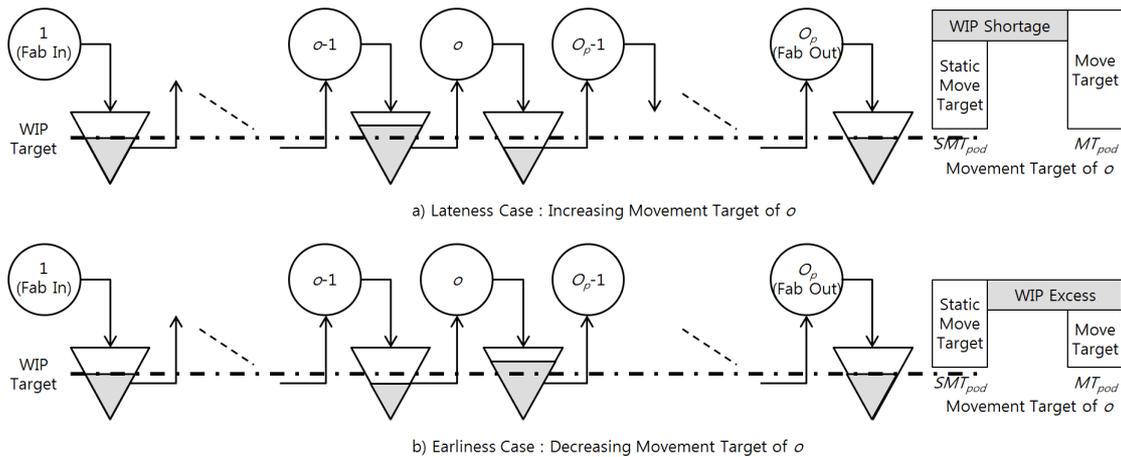


Figure 5. Concept of the WIP Target and the movement target

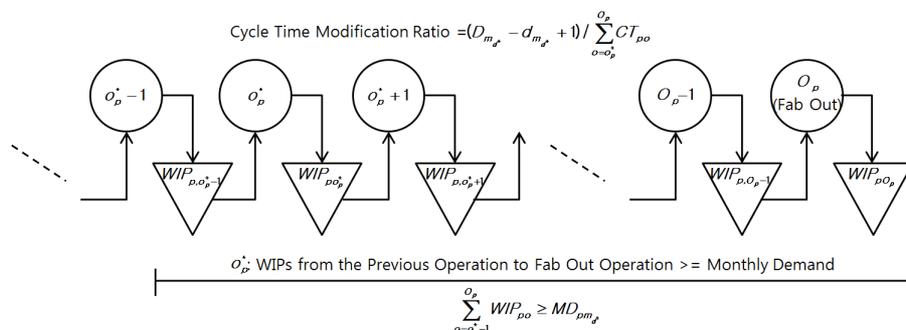


Figure 6. Modification concept of the cycle times

있는 WIP까지의 누적치인 $\sum_{o=o_p^*-1}^{O_p} WIP_{po}$ 가 오늘 d^* 가 포함된

달 m_{d^*} 의 완제품 p 의 월간수요량 $MD_{pm_{d^*}}$ 보다 크거나 같아지는 공정 o_p^* 를 결정한다. 이는 이미 Fab Out되어 완제품 재고로 존재하는 금월 생산실적 물량 WIP_{pO_p} 와 공정 o_p^* 부터 Fab Out 공정 앞에 WIP 상태로 대기 중인 모든 물량이 Fab Out되어야 제품 p 에 대한 금월의 수요를 충족할 수 있다는 의미가 된다. 공정 o_p^* 앞에 대기 중인 물량이 정확하게 금월 말일에 완제품으로 생산되기 위해서는 Fab Out되기까지 앞으로 수행해야 할

o_p^* 공정 이후의 사이클 타임의 합계 $\sum_{o=o_p^*}^{O_p} CT_{po}$ 가 금월의 잔여 생산일 $D_{m_{d^*}} - d_{m_{d^*}} + 1$ 과 같아야 한다. 이와 같은 조건을 충족시키기 위해, 제안된 방법론에서는 o_p^* 공정 이후로부터 Fab Out 공정까지 모든 공정의 사이클 타임 CT_{po} 를 진도조정비율, 즉, 잔여 생산일을 잔여 사이클 타임의 합계로 나눈 비율 $(D_{m_{d^*}} - d_{m_{d^*}} + 1) / \sum_{o=o_p^*}^{O_p} CT_{po}$ 를 반영하여 일괄적으로 조정한다.

만약 진도가 빠른 경우, $(D_{m_{d^*}} - d_{m_{d^*}} + 1) > \sum_{o=o_p^*}^{O_p} CT_{po}$ 의 관계

가 성립하여 진도조정비율이 1보다 크게 됨으로써 사이클 타임이 늘어나는 효과가 있으며, 진도가 느린 경우, $(D_{m_{d^*}} - d_{m_{d^*}}$

$+ 1) < \sum_{o=o_p^*}^{O_p} CT_{po}$ 의 관계가 성립하여 진도조정비율이 1보다

작게 됨으로써 사이클 타임이 줄어드는 효과가 있다. 이와 같이 특정 공정을 처리하는 데 소요되는 사이클 타임을 조정함으로써 전체적인 생산진도의 빠름과 느림을 생산선형성 측면에서 적절한 수준으로 원상복귀시키는 효과를 얻을 수 있다.

3.2 WIP 목표 결정

진도 상의 특별한 문제가 발생하지 않아 금월 m_{d^*} 동안 일정한 비율로 완제품 p 의 생산이 진행되었다면, 금월 d^* 시작 전까지의 완제품 생산량은 경과된 생산일수에 선형적으로 비례하게 된다. 즉, 금월의 총 생산일수 $D_{m_{d^*}}$ 중 경과된 생산일수 $d_{m_{d^*}} - 1$ 의 비율만큼 금월의 수요량 $MD_{pm_{d^*}}$ 의 생산량이 완료되어 있어야 한다. 따라서 금월 시작 전까지의 생산실적량 목

표를 의미하는 Fab Out 공정의 WIP 목표 WT_{pO_p} 는 <Figure 7>과 같이 $MD_{pm_{d^*}} \times (d_{m_{d^*}} - 1) / D_{m_{d^*}}$ 의 값을 갖게 된다.

Fab Out 공정을 제외한 나머지 공정의 WIP 목표는 후속 공정에서 사이클 타임동안 안정적으로 작업하기 위해 필요한 WIP 수준으로서, 후속 공정을 위한 안전재고 성격의 WIP 물량을 의미한다. 이 물량은 각 공정에서의 사이클 타임과 일간생산량에 전적으로 비례한다. 예를 들어, 하루 동안의 Fab Out 생산량이 100개이고 Fab In부터 Fab Out까지의 사이클 타임의 합계가 10일이라면, Fab 안에는 총 1,000개(= 100개/일×10일)의 WIP이 존재해야만 한다. 그리고 이 물량들은 각 공정의 사이클 타임을 기준으로 개별 공정에 할당되게 된다. 오늘 하루 동안 후속 공정에서 생산해야 할 물량은 이상적인 경우에 정적 무브먼트 목표가 되므로, 사이클 타임동안 작업해야 할 물량은 정적 무브먼트에 사이클 타임을 곱한 값이 된다. <Figure 7>에 나타나 있는 바와 같이, 공정 o 의 WIP 목표 WT_{po} 는 제품 p 의 공정 o 를 완료한 후 공정 $o+1$ 의 작업을 위해 대기하고 있는 WIP의 이상적 물량으로서 공정 $o+1$ 의 적정재고를 의미한다. 따라서 WT_{po} 는 공정 $o+1$ 의 사이클 타임 $CT_{p,o+1}$ 과 정적 무브먼트 목표 $SMT_{p,o+1,d^*}$ 를 이용하여 $WT_{po} = CT_{p,o+1} \times SMT_{p,o+1,d^*}$ 와 같이 정의된다.

3.3 무브먼트 목표 결정

각 공정에서의 생산진도를 맞추기 위한 WIP 목표가 결정되고 나면, 오늘 하루 동안의 생산을 통해 이상적인 WIP 분포를 달성하기 위한 일간 무브먼트 목표를 결정한다. 금월 d^* 의 무브먼트 목표는 해당 공정 이후의 모든 공정이 생산진도를 정확하게 맞추고 있다면 해당 일의 정적 무브먼트 목표인 SMT_{pod^*} 가 된다. 그러나 어떤 이유에서든 생산진도에 차질이 생겼다면, 이는 이후 공정들의 WIP 목표와 실제 WIP의 차이로 나타나게 되고, 결국 무브먼트 목표는 이 차이를 줄이기 위한 통제변수(Control Variable)로 해석될 수 있다. 따라서 금월의 무브먼트 목표를 결정하기 위해서는 해당 공정에서의 생산차질을 의미하는 이후 공정들의 WIP 목표와 실제 WIP의 차이를 반영해야 한다. 즉, 무브먼트 목표는 <Figure 8>과 같이 정적 무브먼트 SMT_{pod^*} 와 이후 공정들의 WIP 목표와 실제 WIP의 차이에 대

한 누적치인 $\sum_{k=o}^{O_p} (WT_{pk} - WIP_{pk})$ 의 합계로 정의된다.

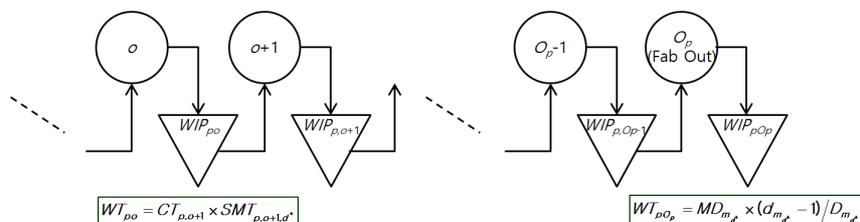


Figure 7. Calculation concept of the WIP targets

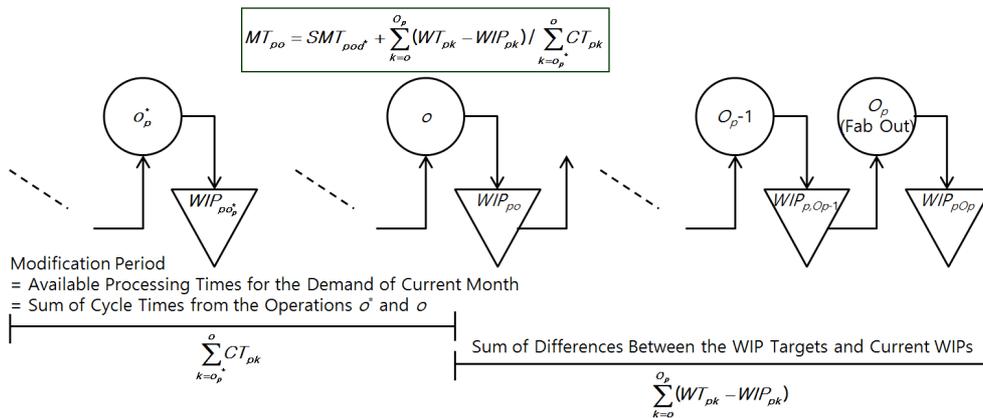


Figure 8. Calculation of the movement targets

그러나 이미 많은 부분 생산진도가 계획에서 벗어나 있다면 이 차이를 오늘 하루 동안 완벽하게 바로잡는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 Fab 현장에서는 관리상의 이유로 인해 월간 생산계획은 반드시 충족해야만 하기 때문에, 틀어진 생산진도가 적어도 금월 내에는 반드시 바로잡혀야한다. 따라서 본 연구에서 제안하는 일간생산계획 방법론에서는 후속 공정들의 WIP 차이를 금월 내 잔여일동안 평준화(Smoothing)하여 바로잡는 방식을 이용한다. 이는 특정 공정에서의 생산량을 심하게 변동시키는 것이 Fab의 안정성에 부정적인 영향을 미치기 때문에, 가급적 매일 매일의 생산량 변동을 최소화하기 위함이다. 따라서 금일 d^* 에 제품 p 에 대한 공정 o 의 무브먼트 목표 MT_{po} 는 <Figure 8>에 나타나 있는 바와 같이 정적 무브먼트 SMT_{pod^i} 에 이후 공정들의 WIP 목표와 실제 WIP의 차이의 합계 $\sum_{k=0}^{o_p} (WT_{pk} - WIP_{pk})$ 를 금월 물량을 생산하는 잔여생산일

$\sum_{k=o_p^*}^{o} CT_{pk}$ 로 나눈 값을 합산함으로써 $MT_{po} = SMT_{pod^i} + \sum_{k=0}^{o_p} (WT_{pk} - WIP_{pk}) / \sum_{k=o_p^*}^{o} CT_{pk}$ 와 같이 정의될 수 있다.

3.4 시뮬레이션을 통한 보정

위에서 언급한 사이클 타임 조정, WIP 목표 결정, 무브먼트 목표 결정은 모두 제품 p 에 대해 독립적으로 진행된다. 따라서 이와 같이 결정된 무브먼트 목표는 금월 내에 생산선형성을 회복하기 위한 각 공정의 생산량이지는 하지만 Fab의 생산능력을 감안했을 때 실현가능하다는 보장은 할 수 없다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 Fab을 모사할 수 있는 시뮬레이터를 구축하였다. 구축된 시뮬레이터는 <Figure 9>에 묘사되어 있는 바와 같이 기준정보, 상태정보, 생산계획, 운영로직, 제약조건 등을 입력정보로 받아들여 시뮬레이션 모델 안에

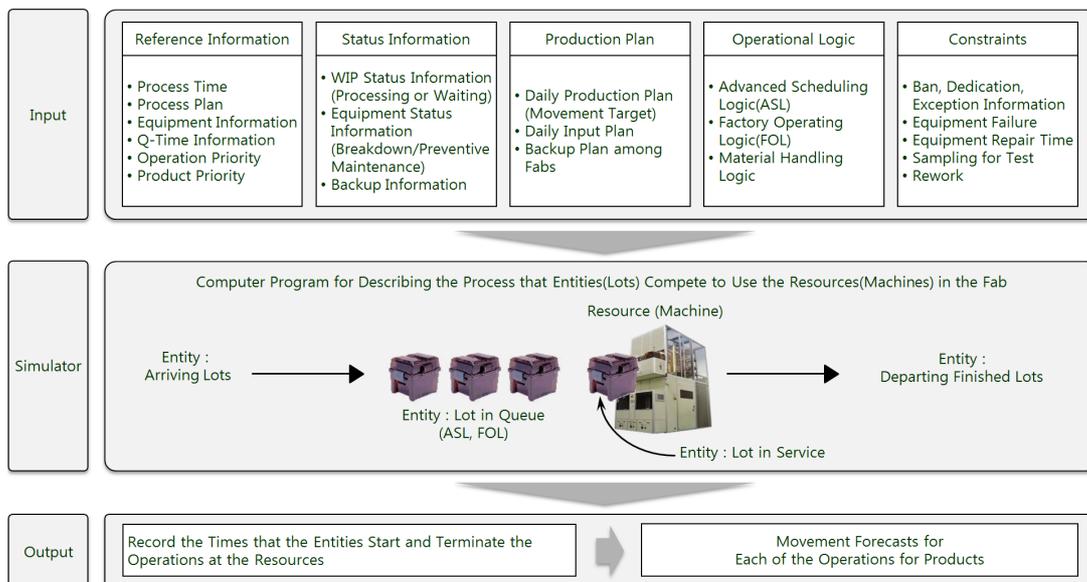


Figure 9. Concept of the simulator to forecast the movement

서 각 개체들이 장비의 사용을 위해 경쟁하는 상황을 모사하여 각 제품공정별로 특정 장비에서의 작업 시작시간과 종료시간을 예측한 후, 이 정보를 기반으로 생산량을 예측한다. 즉, 시물레이터는 무브먼트 목표, Fab의 현장정보, 장비생산능력을 반영하여 APS 시스템에 장착된 스케줄링 로직에 따라 시물레이션을 수행한 후 금일동안 특정 공정에서 처리될 수 있는 물량을 출력한다. 시물레이터에 장착된 APS 시스템의 스케줄러는 결정된 무브먼트 목표에 대한 달성정도를 각 제품공정별로 균형화하면서 장비의 가동률을 최대한 높일 수 있도록 작업순서를 결정한다. 이와 같은 과정을 거쳐 시물레이션을 통한 보정 단계에서는 앞서 결정된 무브먼트 목표 MT_{po} 를 시물레이터가 제공한 금일의 제품 p 에 대한 공정 o 의 예측 생산량으로 대체한다.

본 연구에서 사용한 시물레이터의 가장 중요한 역할은 반도체 Fab 안에서 하루 동안 발생하는 제품공정별 무브먼트를 예측하는 것이라고 할 수 있다. 이러한 무브먼트 예측의 정확도에 가장 큰 영향의 미칠 수 있는 요인은 장비의 생산용량을 어떻게 시물레이션 모델에 반영하는가와 시물레이션 모델 안에서 Lot의 작업순서를 어떻게 결정하는가이다. 장비의 생산용량을 가급적이면 현실적으로 반영하기 위해 미리 계획되어 있는 예방정비시간은 시물레이션 모델에 그대로 반영하고 예측하기 어려운 장비의 고장은 평균고장간격(Mean Time To Failure; MTF)과 평균수리시간(Mean Time To Repair; MTTR) 정보를 활용하여 가동률($MTF/(MTF+MTTR)$)을 조정함으로써 반영하였다. 또한 Lot의 작업순서를 최대한 APS와 동일한 방식으로 결정하기 위해 일간 무브먼트 목표 준수, 준비시간 최소화, 전후공정 균형화, 완전배치 형성 등의 일정계획 성능 목표를 효율적으로 달성할 수 있는 로직을 내장한 디스패처를 시물레이터에 장착하였다. 따라서 본 시물레이터는 현재의 WIP과 장비의 상태와 작업순서만 동일하게 주어진다면 항상 동일한 예측결과를 생성하게 된다. 이러한 측면에서 본 연구에서 사용하고 있는 시물레이터는 정적, 이산사건, 결정적 특성을 갖는 일정계획 수립용 시물레이터라고도 할 수 있다. 본 연구에서 사용하고 있는 시물레이터는 VMS Solutions의 Virtual FAB 소프트웨어를 기반으로 구축되었고 매일 오전 7시를 기점으로 하루에 3번 구동되어 제품공정별 일간 무브먼트 예측치를 생성한다.

3.5 일간생산계획 수립 절차 요약

이상의 과정을 요약하면 특정 제품 p 의 공정 o 에 대한 금일 d^* 의 일간생산계획 수립 절차를 다음과 같이 크게 4단계로 나눠 서술할 수 있다.

1단계 : 사이클 타임 조정

$$CT_{po} = CT_{po} \times (D_{m_d} - d_{m_d} + 1) / \sum_{o=o_p^*}^{O_p} CT_{po}, p = 1, 2, \dots, P,$$

$$o = o_p^*, o_p^* + 1, \dots, O_p, \text{ 여기서 } o_p^* \text{는 } \sum_{o=o_p^*-1}^{O_p} WIP_{po} \geq MD_{pm_d}$$

를 최초로 만족시키는 공정 o

2단계 : WIP 목표 결정

Case 1 : $o = 1, 2, \dots, O_p - 1$

$$WT_{po} = CT_{p,o+1} \times SMT_{p,o+1,d^*}, p = 1, 2, \dots, P$$

Case 2 : $o = O_p$

$$WT_{pO_p} = MD_{pm_d} \times (d_{m_d} - 1) / D_{m_d}, p = 1, 2, \dots, P$$

3단계 : 무브먼트 목표 결정

$$MT_{po} = SMT_{pod} + \sum_{k=o}^{O_p} (WT_{pk} - WIP_{pk}) / \sum_{k=o}^{O_p} CT_{pk},$$

$p = 1, 2, \dots, P, o = 1, 2, \dots, O_p$

4단계 : 시물레이션을 통한 보정

모든 제품공정에 대해 무브먼트 목표 MT_{po} 가 결정되면, MT_{po} 를 입력정보로 받아들여 시물레이션을 수행한 후, 시물레이터가 각 제품공정에 대해 출력한 일간 생산량 예측치로 모든 제품공정의 무브먼트 목표 MT_{po} 를 갱신한다.

4. 일간생산계획 수립 예제

본 절에서는 일간생산계획 수립 방법론의 1단계, 2단계, 3단계

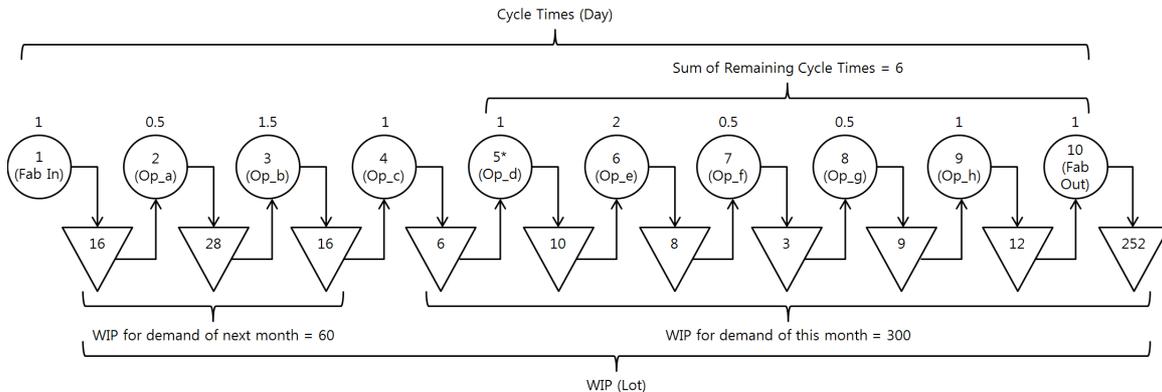


Figure 10. A simplified example for demonstrating the proposed method

를 거쳐 무브먼트 목표가 생성되는 과정에 대한 이해를 돕기 위해 단순화된 예제를 소개한다. 본 예제의 제품은 총 10개의 공정으로 구성되어 있으며, Fab In 공정으로 시작되어 Op_a부터 Op_h까지 8개 공정을 거친 후 Fab Out 공정을 통과함으로써 완성된다. <Figure 10>에 나타나 있는 바와 같이 Fab In부터 Fab Out까지의 총 사이클 타임은 10일이며, 각 공정에서 대기 중인 WIP은 108 Lot이고, 완제품 재고는 252 Lot으로 총 재고량은 360 Lot이다. 이 중 1번, 2번, 3번 공정 뒤에서 대기 중인 물량 60 Lot은 차월 수요를 충족하기 위한 것이며, 4번부터 9번까지의 공정 앞에서 대기 중인 물량 48 Lot과 이미 Fab Out된 252 Lot은 금월 수요인 300 Lot을 충족시키기 위한 것이다. 본 예제의 문제 상황은 <Table 1>에 요약되어 있다. 금월의 수요는 300 Lot이며, 어제까지의 생산실적은 252 Lot이다. 금월의 생산일수는 30일이며, 오늘은 26일이고, 따라서 금월의 잔여생산일은 오늘을 포함하여 5일이 된다. 금월의 스텝 무브먼트는 금월의 수요 300 Lot을 금월의 생산일수 30일로 나눈 값 10 Lot/일이 된다. 차월의 수요는 620 Lot이며 생산일수가 31일이기 때문에 스텝 무브먼트는 20 Lot/일이 된다.

일간생산계획을 수립하기 위해서는 먼저 1단계에서 사이클 타임을 조정해야 한다. 본 예제의 경우 <Figure 10>과 같이 금월의 수요를 충족하기 위해서는 5번 공정 앞에 대기 중인 WIP 이후의 모든 WIP이 Fab Out되어야 한다. 따라서 o_p^* 는 5번 공정, 즉, Op_d가 된다. 따라서 5번 공정 앞의 WIP이 금월 내에

Fab Out 되기 위해서는 5번 공정 이후 공정들의 사이클 타임의 합계인 6일이 금월의 잔여생산일 5일과 같아져야 한다. 따라서 사이클 타임 진도조정비율은 $0.833(= 5/6)$ 이 된다. 진도조정비율이 적용되어 새롭게 수정된 사이클 타임은 <Table 2>의 다섯 번째 열에 나타나 있다. 차월 물량에 해당하는 1번부터 4번 공정은 o_p^* 를 결정할 수 없기 때문에 사이클 타임이 조정되지 않은 채 그대로 유지된다(차월 물량에 대응하는 공정들의 사이클 타임에 대한 조정은 차월 수요를 위한 모든 물량이 Fab In된 이후에 이루어진다). 조정된 이후, 5번부터 10번 공정까지의 사이클 타임의 합계가 잔여생산일인 5일과 동일해지는 것을 확인할 수 있다.

2단계에서는 먼저 정적 무브먼트 목표를 결정한다. 금월 물량에 해당하는 5번부터 10번 공정까지의 경우 월간 수요 300 Lot을 생산일수 30일로 나눔으로써 정적 무브먼트 목표가 10 Lot/일이 되고, 차월 물량에 해당하는 1번부터 4번 공정까지의 경우 월간 수요 620 Lot을 생산일수 31일로 나눔으로써 정적 무브먼트 목표가 20 Lot/일이 됨을 확인할 수 있다. 다음으로 WIP 목표를 구하기 위해 후 공정의 조정된 사이클 타임과 정적 무브먼트 목표를 곱하면 <Table 2>의 일곱 번째 열에 나타나 있는 WIP 목표를 구할 수 있다. 예를 들어, 8번 공정의 WIP 목표는 9번 공정의 조정된 사이클 타임 0.833일에 정적 무브먼트 목표 10 Lot/일을 곱함으로써 8.33 Lot이 된다. 반면 10번 공정인 Fab Out 공정의 WIP 목표는 금월 수요 300 Lot에 금월의

Table 1. Basic information for the daily production planning

Month	Demand (Production Planned)	Production Completed	Total Production Days	Step Movement	Production Days Passed	Remaining Production Days
This Month	300	252	30	10	25	5
Next Month	620	0	31	20	0	31

Table 2. Results for the daily production planning

Number	Operation	Given Information		Step 1	Step 2		Step 3				Movement Target (Without Smoothing; Lot/Day)
		Reference Cycle Time (Day)	WIP (Lot)	Modified Cycle Time (Day)	Static Movement Target (Lot/Day)	WIP Target (Lot)	Difference between WIP and WIP Target(Lot)	Cumulated Difference (Lot)	Remaining Production Time (Day)	Movement Target (Lot/Day)	
1	Fab In	1.00	16	1.000	20	10.00	-6.00	0.00	28.000	20.00	20.00
2	Op_a	0.50	28	0.500	20	30.00	2.00	6.00	28.500	20.21	26.00
3	Op_b	1.50	16	1.500	20	20.00	4.00	4.00	30.000	20.13	24.00
4	Op_c	1.00	6	1.000	20	8.33	2.33	0.00	31.000	20.00	20.00
5*	Op_d	1.00	10	0.833	10	16.67	6.67	-2.33	0.833	7.20	7.67
6	Op_e	2.00	8	1.667	10	4.17	-3.83	-9.00	2.500	6.40	1.00
7	Op_f	0.50	3	0.417	10	4.17	1.17	-5.17	2.917	8.23	4.83
8	Op_g	0.50	9	0.417	10	8.33	-0.67	-6.33	3.333	8.10	3.67
9	Op_h	1.00	12	0.833	10	8.33	-3.67	-5.67	4.167	8.64	4.33
10	Fab Out	1.00	252	0.833	10	250.00	-2.00	-2.00	5.000	9.60	8.00
Total		10.00	360	9.000	140	360.00	0.00			128.51	119.50

*The most preceding operation among operations which have WIPs in front of them to be completed this month.

총 생산일수 대비 경과된 생산일수의 비율인 25/30을 곱함으로써 250 Lot이 된다.

3단계에서는 먼저 각 공정에 대해 WIP 목표와 실제 WIP 간 차이를 구한다. 이 차이는 <Table 2>의 여덟 번째 열에 나타나 있다. 예를 들어, 9번 공정의 WIP 차이는 WIP 목표 8.33 Lot에서 실제 Fab에 존재하는 WIP 12 Lot을 빼준 값인 -3.67 Lot이 된다. 이는 9번 공정 다음에 쌓여있는 WIP이 3.67 Lot 만큼 과잉상태에 있다는 것을 의미한다. 다음으로는 앞서 계산된 WIP 차이를 Fab Out 공정으로부터 누적함으로써 누적차이를 계산한다. 예를 들어, 8번 공정의 누적 차이는 8번, 9번, 10번 공정의 WIP 차이 -2 Lot, -3.67 Lot, -0.67 Lot의 합계인 -6.33 Lot이 된다. 다음으로 각 공정의 잔여생산일은 o_p^* 인 5번 공정으로부터 해당 공정까지의 조정 사이클 타임의 합계로 계산된다. 예를 들어, 7번 공정의 잔여생산일은 5번, 6번, 7번 공정의 조정 사이클 타임 0.833일, 1.667일, 0.417일의 합계인 2.917일이 된다. 반면 1번부터 4번까지의 공정은 앞서 언급한 바와 같이 o_p^* 를 결정할 수 없기 때문에 차월 물량의 생산이 시작되는 4번 공정의 잔여생산일을 차월의 생산일수로 정하고, 이전 공정들에 대해서는 차월의 생산일수에서 해당 공정 바로 다음 공정으로부터 4번 공정까지의 사이클 타임의 합계를 빼줌으로써 잔여생산일을 계산한다. 1번 Fab In 공정의 잔여생산일은 차월의 생산일수 31일에서 2번, 3번, 4번 공정의 사이클 타임 0.5일, 1.5일, 1일의 합계를 빼줌으로써 28일이 된다. 마지막으로 무브먼트 목표는 정적 무브먼트 목표에 누적된 WIP 목표와 실제 WIP 차이를 잔여생산일로 나눈 값을 더함으로써 결정된다. 예를 들어, 5번 공정의 무브먼트 목표는 정적 무브먼트 목표 10 Lot/일에서 누적 WIP 차이 -2.33 Lot을 잔여생산일 0.833일로 나눈 값을 합산함으로써 7.2(= 10-2.33/0.833) Lot/일로 결정된다. 즉 5번 공정은 진도가 빠르니 평소(10 Lot/일)보다 2.8 Lot/일만큼 적게 생산하라는 목표를 부여하는 것이다.

이와 같이 잔여생산일을 이용하여 평준화를 시키지 않는 경우에는, 무브먼트 목표가 단순히 정적 무브먼트 목표에 누적 WIP 차이를 합산한 값이 된다. <Table 2>의 마지막 열에 나타나 있는 값이 바로 평준화시키지 않은 무브먼트 목표 값이다. 평준

화된 무브먼트 목표와 그렇지 않은 무브먼트 목표 그리고 정적 무브먼트 목표의 차이를 비교하기 위한 그래프가 <Figure 11>에 나타나 있다. <Figure 11>에 나타나 있는 바와 같이, 정적 무브먼트 목표는 해당 월에 대해 일정한 값을 가지는 반면 평준화하기 전의 무브먼트 목표는 누적된 WIP 차이를 모두 반영하여 일간 생산량을 결정하기 때문에 공정에 따라 정적 무브먼트 목표와 큰 차이를 나타내게 된다. 그러나 이와 같이 정적 무브먼트 목표와 크게 차이가 나면 Fab의 생산안정성을 저해할 수 있으며 각 공정별로 매일같이 큰 폭의 생산량 차이를 발생시킬 수 있으므로 생산선형성 역시 충족하기 어렵다. 그러나 잔여생산일을 이용하여 평준화시킨 무브먼트 목표를 보면 정적 무브먼트 목표에서 크게 벗어나 있지 않음을 알 수 있다. 이 전략은 WIP 목표에서 벗어나 생산진도가 제각각인 공정들을 금월에 남아있는 잔여생산일 동안 일정하게 균형화하여 금월 말까지 완벽하게 생산진도를 맞추는 방식을 통해 급격한 생산량의 변화를 지양함으로써 보다 안정적인 Fab 운영을 가능하게 한다. 또한 차월 물량의 경우 아직 잔여생산일이 충분히 남아있기 때문에 무브먼트 목표가 정적 무브먼트 목표와 거의 차이가 나지 않음을 확인할 수 있다. 실제 Fab에서는 이와 같은 무브먼트 목표 결정 과정이 모든 제품에 대해 독립적으로 수행된 후, 결정된 무브먼트 목표를 시물레이션을 통해 보정한 후 Fab에 금일의 생산목표로 제시한다. 이렇게 제시된 무브먼트 목표는 APS 시스템에 입력되어 스케줄링 로직을 구동하기 위한 핵심적인 자료로 활용된다.

5. 결론

본 연구에서는 월간생산계획이 주어져 있는 경우 WIP 분포를 생산진도에 맞게 균형화함으로써 생산선형성을 최대한으로 유지할 수 있는 일간생산계획 수립 방법론을 제시하였다. 제안된 방법론에서는 생산진도에 따라 각 공정의 사이클 타임을 조정하고, 각 공정에 대한 적정재고 수준을 일정하게 유지하기 위한 WIP 목표를 설정한 후, WIP 목표를 맞춰나감으로써

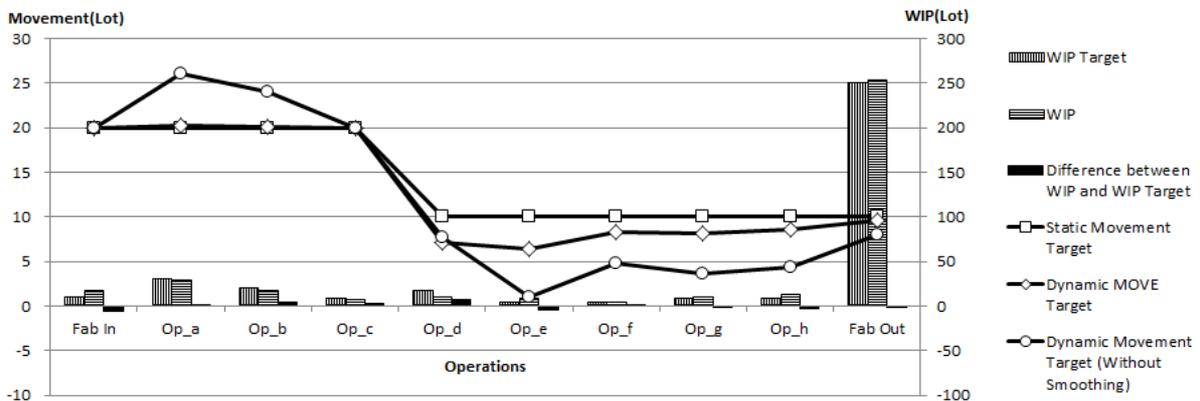


Figure 11. Comparison of three movement target values for the example

생산진도를 알맞게 조절할 수 있는 무브먼트 목표를 결정하였다. 그러나 이와 같이 결정된 무브먼트 목표는 Fab이 달성해야 할 이상적인 생산량이라는 하지만, 생산용량의 제약으로 인해 달성이 어려운 경우가 종종 발생한다. 따라서 시뮬레이션 모델을 이용하여 모의실험을 수행함으로써, 생산용량의 제약 하에서 최대한 모든 제품공정에 대한 무브먼트 목표가 고르게 달성될 수 있도록 무브먼트 목표를 보정한다.

본 연구에서 제안된 방법론을 실제 메모리 반도체 Fab에 적용해 본 결과, 제품별 월간 생산계획이 충실하게 달성되며, Fab In, Fab Out 공정을 비롯한 각 공정의 일간, 교대조건, 시간대간 생산량이 과거에 비해 큰 흔들림 없이 일정한 수준을 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Fab Out되는 Lot들의 전체 사이클 타임(Fab Out 시간 - Fab In 시간)의 평균이 20% 이상 단축되며, 특히 전체 사이클 타임의 분산이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 일간 생산계획 수립, 즉, 무브먼트 목표의 조정을 통해 지속적으로 진도관리를 수행함으로써, 늦춰진 제품의 공정은 생산을 촉진하고 빨라진 제품의 공정은 생산을 지연시키기 때문이다. 또한 이와 같은 생산선형성 향상 효과는 전체적인 WIP 수준의 감소와 Blocking과 Starvation의 감소로 인한 장비의 가동률 향상으로 나타났다. 물론 이러한 효과가 모두 본 연구에서 제안하고 있는 일간생산계획 수립 방법론에 의한 것이라고는 할 수 없다. 왜냐하면 동 기간에 Fab에는 생산계획 및 일정계획 부문에 대한 다양한 측면에서의 개선활동이 있었기 때문이다. 그렇지만 이러한 개선활동의 최상위 의사결정 단계에 제품공정별 일간 무브먼트 목표를 결정하기 위한 일간생산계획 수립 방법론이 존재하며, 제안된 방법론이 이러한 개선성과에 가장 큰 부분을 기여한 것이라는 사실에는 이견이 없었다.

향후에는 일간생산계획을 수립함에 있어서, Fab 간 상호 협력을 통해 상대방 Fab의 물량을 백업(Backup)하는 상황을 가정하여, 다수 Fab의 생산용량 활용상의 효율성을 극대화할 수 있는 무브먼트 목표를 결정하는 문제에 대한 연구를 진행할 예정이다. 반도체 Fab의 생산계획 문제를 해결함에 있어서 무엇보다 중요한 것은 아주 복잡하고 이론적인 그러나 수많은 가정을 통해 Fab을 단순화하여 문제를 해결하는 접근방법은 현장에 적용하여 성공하기가 매우 어렵다는 점이다. 현장의 제조관리 인력을 설득하여 자동화된 생산계획 방법론을 현장에 적용하기 위해서는 제안된 방법이 충분히 현실성이 있어야 하며 생산계획이 수립되는 과정을 명확하게 설명할 수 있어야 한다. 이러한 측면에서 본 연구에서 제안한 방법론은 현장의 생산관리 담당자와 공감대를 형성할 수 있었으며 메모리 반도체 Fab에 성공적으로 적용될 수 있었다.

참고문헌

- Choi, S. and Lee, J. (2009), Real-Time Scheduling System Re-Construction for Automated Manufacturing in a Korean 300mm Wafer Fab, *Journal of intelligence and information systems*, **15**(4), 213-224.
- Choi, S. (2012), Scheduling Algorithms for Minimizing Total Weighted Flowtime in Photolithography Workstation of Fab, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, **35**(1), 79-86.
- Chung, J. and Jang, J. (2009), A WIP Balancing Procedure for Throughput Maximization in Semiconductor Fabrication, *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, **22**(3), 381-390.
- Duemmler, M. and Wohlleben, J. (2012), A Framework for Effective WIP Flow Management in Semiconductor Frontend Fabs, *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*, 1-6.
- Huang, H.-W., Lu, C.-H., and Fu, L.-C. (2007), Lot Dispatching and Scheduling Integrating OHT Traffic, *Information in the 300mm Wafer Fab, Proceedings of the 3rd Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering*, 495-500.
- Iriuchijima, K., Sakamoto, H., and Fujihara, M. (1998), WIP Allocation Planning for Semiconductor Factories, *Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision and Control*, 2716-2721.
- Jeong, K.-C. (2008), An Adaptive Dispatching Architecture for Constructing a Factory Operating System of Semiconductor Fabrication : Focused on Machines with Setup Times, *IE Interfaces*, **22**(1), 73-84.
- Kao, Y., Chang, S., and Chang, C. (2014), Target Setting with Consideration of Target-Induced Operation Variability for Performance Improvement of Semiconductor Fabrication, *Automation Science and Engineering (CASE), 2014 IEEE International Conference on*, 774-779.
- Kim, Y.-H., Lee, J.-H., and Sun, D.-S. (2008), The Operational Optimization of Semiconductor Research and Development Fabs by Fab-wide Scheduling, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, **57**(4), 692-699.
- Lee, W. J. (2002), Optimize WIP Scale through Simulation Approach with WIP, Turnover Rate and Cycle Time Regression Analysis in Semiconductor Fabrication, *Semiconductor Manufacturing Technology Workshop 2002*, 299-301.
- Li, L., Qiao, F., and Wu, Q. (2004), X-Application of Pheromone to Dynamic Real-Time Scheduling for Semiconductor Wafer Fab, *Proceedings of 2004 Automation Congress*, **18**, 425-430.
- Liu, C.-M., Kuo, C.-J., and Chi, C.-Y. (2006), A Dynamic Method for Optimal WIP Allocation and Control in a Semiconductor Manufacturing System, *Semiconductor Manufacturing, IEEE International Symposium on 2006 Sept.*, 61-65.
- Miyashita, K., Senoh, K., Ozaki, H., and Matsuo, H. (2003), Constant Time Interval Production Planning with Application to WIP Control in Semiconductor Fabrication, *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 1329-1337.
- Potti, K., Bunch, T., and Clark, C. (1994), Using simulation modeling to calculate WIP levels in semiconductor manufacturing, *1994 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, 193.
- Qiu, R., Burda, R., and Chylak, R. (2002), Distributed WIP Control in Advanced Semiconductor Manufacturing, *IEEE/SEMI Conference and Workshop 2002*, 49-54.
- Ruijie, S. and Zhongjie, W. (2008), DC-WIP - A New Release Rule of Multi-Orders for Semiconductor Manufacturing Lines, *International Conference on System Simulation and Scientific Computing 2008 Oct.*, 1395-1399.
- Yang, K., Chung, Y., Kim, D. and Park, S. C. (2014), Bottleneck Detection Framework Using Simulation in a Wafer FAB, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, **19**(3), 214-223.
- Yea, S.-H. and Kim, S.-Y. (1997), Shift Scheduling in Semiconductor Wafer Fabrication, *IE Interfaces*, **10**(1), 1-13.