

# 반도체 Fab의 생산운영시스템 구축을 위한 상황적응형 디스패칭 방법론 : 공정전환시간이 있는 장비를 중심으로

정근채<sup>\*</sup>

충북대학교 토목공학부

## An Adaptive Dispatching Architecture for Constructing a Factory Operating System of Semiconductor Fabrication : Focused on Machines with Setup Times

Keun-Chae Jeong

School of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

In this paper, we propose a dispatching algorithm for constructing a Factory Operating System (FOS) which can operate semiconductor fabrication factories more efficiently and effectively. We first define ten dispatching criteria and propose two methods to apply the defined dispatching criteria sequentially and simultaneously (*i.e.* fixed dispatching architecture). However the fixed type methods cannot apply the criteria adaptively by considering changes in the semiconductor fabrication factories. To overcome this type of weakness, an adaptive dispatching architecture is proposed for applying the dispatching criteria dynamically based on the factory status. The status can be determined by combining evaluation results from the following three status criteria; target movement, workload balance, and utilization rate. 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 adaptive dispatching architecture will be used as a useful tool for operating semiconductor fabrication factories more efficiently and effectively.

**Keyword:** semiconductor, dispatching, setup time, adaptive, optimal operation

### 1. 서론

반도체 산업은 국민소득 2만 달러 수준을 넘어 3만 달러 시대를 열어감에 있어서 가장 비중 있는 역할을 수행하고 있는 산업분야 중 하나이다. 국내 반도체 사업은 지난 1983년 64K Byte DRAM의 개발을 시작으로 보다 집적도가 높은 반도체를 생산

하기 위해, 설계 및 제조기술 분야에 지속적으로 투자함으로써 이 분야에 눈부신 진보를 이루어왔다. 반도체 기업에 있어서 설계 및 제조기술이 경쟁력을 높이기 위해 가장 중요한 요건이라는 것을 부인할 수는 없지만, 설계 및 제조기술만으로 가격경쟁이 보다 심화되고 시장에 대한 보다 신속한 대응을 요구하는 작금의 반도체 시장 환경에서 생존하는 것은 불가능

이 논문은 2008학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

본 연구의 수행에 많은 도움을 준 (주)에임시스템 박문원이사님께 감사드립니다.

\*연락처 : 정근채 교수, 361-763 충청북도 청주시 흥덕구 개신동 12 충북대학교 토목공학부, Fax : 043-263-2409,

E-mail : kcjeong@cbnu.ac.kr

투고일(2008년 09월 24일), 심사일(1차 : 2008년 10월 06일, 2차 : 2008년 11월 18일), 게재확정일(2008년 12월 26일).

한 일이다.

최근 반도체 기업들은 경쟁력 확보를 위한 다른 한 축인 Fab 운영 및 관리기술에 대한 투자를 늘리고 있다. 설계 및 제조기술 분야에서 보다 성능이 높은 반도체의 개발에 초점을 맞추고 있다고 하면, 운영 및 관리기술 분야에서는 개발된 반도체를 어떻게 하면 보다 효율적/효과적으로 양산할 것인가에 관심을 갖는다. 따라서 향후 반도체 산업에서 특정 기업이 지속적인 경쟁력을 확보하기 위해서는 설계 및 제조기술뿐만이 아닌 운영 및 관리기술의 개발을 통해 시장 대응성을 키우고 생산성을 높여 궁극적으로는 고객의 만족도를 향상시키려는 노력이 절실하다고 할 것이다.

국내 반도체 산업은 DRAM과 NAND Flash로 대변되는 메모리 반도체를 주로 생산하고 있다. 주문형/소품종 대량 생산체제로 대변되는 메모리 반도체 생산을 위한 Fab을 가정한다면, 최소한의 재공재고와 제조리드타임을 유지함으로써 고객 주문에 대한 대응능력을 키우고, 다른 한편으로 작업 부하를 균형화하고 장비의 가동률을 극대화하여 생산성을 높이는 것이 필요하다. 즉, 유지운영 및 관리기술 분야에서는 생산현장에서의 재공재고 절감, 제조리드타임 단축 등의 시장 대응성 지표 향상과 장비가동률 향상, 작업부하 균형화 등의 생산성 지표 향상을 추구하는 것이다(Jeong, 2008).

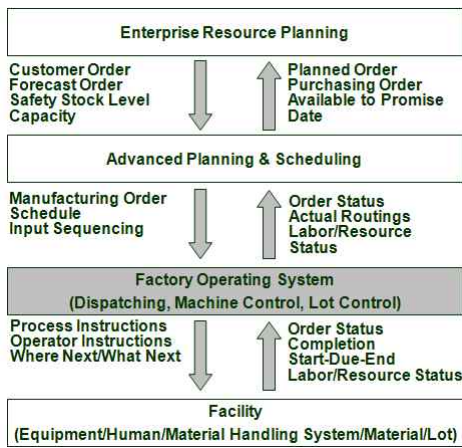


Figure 1. Decision making hierarchy in the semiconductor fab

이와 같은 시장 대응성 및 생산성 향상은 <Figure 1>에 나타나 있는 바와 같이, 기업 경영상의 상위로부터 하위까지의 전 계층에서 이루어지는 관리활동의 협업을 통해 가능하다(Jeong, 2008). 이 중 Factory Operating System(FOS)은 반도체 생산현장의 운영을 직접적으로 담당하는 정보시스템으로 디스패처를 통해 특정 장비에서 작업을 위해 대기 중인 웨이퍼 Lot의 작업순서를 결정하는 것이 가장 주요한 임무다. FOS는 디스패칭 방법론에 의해 결정된 작업순서에 따라 장비와 Lot을 운영 및 통제한다. 따라서 FOS에 탑재된 디스패칭 방법론에 따라 Fab의 시장 대응성 및 생산성은 지대한 영향을 받게 된다. 최근 Fab 운영에 있어서 FOS의 역할에 대한 인식이 제고됨에 따라 많은

Fab이 보다 지능화된 FOS를 구축하기 위해 노력하고 있다. 이러한 추세에 발맞춰 그동안 외국산 패키지에 의존하고 있던 국내 생산정보시스템 업계에서도 독자적으로 FOS 관련 소프트웨어 패키지를 개발하여 출시하고 있다(AIM Systems Inc., 2006).

FOS에 탑재된 디스패처는 다음과 같은 4개의 모듈로 구성되어 있다: 작업순서를 결정하기 위한 디스패칭 규칙을 정의하는 Rule Modeler, 정의된 규칙을 장비에 적용하기 전에 미리 시뮬레이션 해볼 수 있는 Rule Simulator, 특정한 장비에 정의된 규칙을 할당하기 위한 Rule Assigner, 특정 디스패칭 규칙의 실행과정을 모니터링 하기 위한 Rule Monitor. 4개의 모듈 중 핵심적인 역할은 수행하는 것은 바로 디스패칭 방법론이 내재되는 Rule Modeler이다. <Figure 2>는 특정 디스패칭 규칙을 정의하고 있는 Rule Modeler의 화면을 보여주고 있다(AIM Systems Inc., 2006).

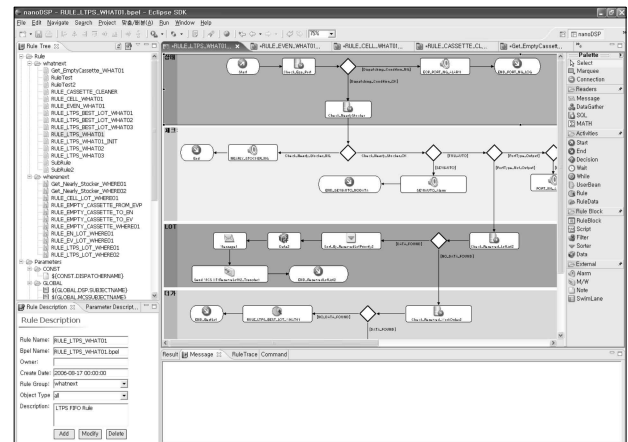


Figure 2. Screen capture of rule modeler in the FOS

결국 FOS의 성능은 Rule Modeler를 통해 정의되어 특정 장비에 할당된 디스패칭 규칙에 의해 결정된다. 따라서 우수한 성능의 FOS란 임의의 디스패칭 규칙을 쉽게 구현할 수 있어야 하며, 다른 한편으로는 유용한 디스패칭 규칙 라이브러리를 제공할 수 있어야 한다. 전술한 바와 같이 FOS의 성능은 시스템 내부에서 어떤 디스패칭 방법론이 사용되고 있는가에 따라 큰 차이를 보인다. 그럼에도 불구하고 대부분의 Fab은 반도체 공정의 고유한 특성을 반영한 디스패칭 방법론을 개발하여 사용하지 못한 채, 작업자가 디스패칭 방법론의 역할을 대신하여 임의로 작업순서를 결정하여 작업을 수행하도록 의사결정을 위임하고 있는 형편이다. 설령 디스패칭 방법론을 도입하여 FOS에 적용한 경우에도 과거 일반적이고 전통적인 제조공정에서 사용하던 선입선출법 등의 매우 단순한 방법론을 사용하고 있는 형편이다(Jeong, 2008).

반도체 공장의 FOS에 있어서 디스패칭 방법론의 중요성을 인식한 연구자들은 Fab의 최적운영을 위해 다양한 디스패칭 방법론을 제안해왔다. 먼저 첫 번째 분야는 반도체 Fab의 특정 장비의 최적운영을 위한 디스패칭 방법론을 다루고 있다. Monch

and Driebel(2005)는 Diffusion과 같이 병렬배치작업 형태의 작업 방식을 갖는 반도체 제조장비들에 대해 납기지연을 최소화하기 위한 병목 장비 기반의 휴리스틱 방법을 제안하였다. AkGalr *et al.*(2000)은 Diffusion/Deposition과 같은 퍼니스 장비에 대해 플로우 타임과 사이클 타임을 최소화하기 위한 디스패칭과 배치 로딩 정책을 제시하였다. Pierce and Yurtsever(2000)은 반도체 기업의 이익최대화 및 시장점유율 향상을 위한 Lot 가치 개념을 도입하여 웨이퍼 Lot의 우선순위를 결정하는 방법을 제안하였다. Chen *et al.*(2000)은 Fab의 가동률과 사이클 타임을 함께 줄이기 위한 Next Queue 방식의 디스패칭 규칙을 제안하고 실험을 통해 성능을 검증하였다. Monch *et al.*(2007)은 납기지연을 최소화하기 위해 유전자 알고리즘을 도입한 병목 휴리스틱을 제안하였으며, Monch *et al.*(2005)는 Diffusion과 Oxidation을 위한 배치 공정에서 납기지연을 최소화하기 위한 유전자 알고리즘 기반의 방법론을 제안하였다. Hsieh *et al.*(2003)은 이산사건 시뮬레이션과 실험계획법을 이용하여 다양한 디스패칭 규칙을 평가하기 위한 방법론에 대해 언급하였다.

두 번째 분야의 연구들은 웨이퍼 Lot의 디스패칭과 함께 다른 문제들을 동시에 해결하고자 시도하고 있다. Kuhl and Laubisch (2004)는 디스패칭 규칙과 재작업 전략을 함께 고려함으로써 Fab 전체의 생산성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다. Sethi *et al.*(1999)는 반도체 Fab의 사이클 타임의 평균과 분산을 줄이기 위한 초기 웨이퍼 Lot의 투입정책 및 기 투입된 웨이퍼 Lot의 통제정책을 제안하였다. Gupta and Sivakumar(2004)는 사이클 타임, 장비의 가동률과 납기 정확도라는 복수의 목적을 달성하기 위한 수리적 모형을 제안하였다. Asmundsson *et al.*(2006)은 Fab의 수율과 작업부하간의 관계를 나타내는 함수를 이용하여 생산계획을 수립하는 방법을 제안하였다.

세 번째 연구분야는 반도체 Fab의 생산장비가 아닌 물류장비의 운영을 위한 디스패칭에 관심을 갖는다. Tyan *et al.*(2004)는 사이클 타임, 재공재고, 납기준수 등의 성능척도를 동시에 향상시키기 위해 반도체 Fab의 물류장비들의 운영을 효율화하기 위한 디스패칭 규칙을 제안하였다. Suh *et al.*(2003)은 Lot 자

체의 상태뿐만 아니라 물류장비의 가용성을 함께 고려하여 작업순서를 결정하는 Look Ahead 방식의 디스패칭 규칙을 제안하였다. Koo *et al.*(2003)은 반도체 Fab에서 웨이퍼 Lot의 반송을 위해 사용되는 대표적인 장비중의 하나인 무인운반차의 디스패칭을 위한 제약이론 기반의 알고리즘을 제안하였다.

위에서 언급한 바와 같이 반도체 Fab의 최적 운영을 위한 연구들의 결과로 다양한 디스패칭 방법론들이 제시되었다. 그러나 이러한 연구에서 간과한 대표적인 측면은 바로 반도체 Fab의 환경은 지속적으로 변화하고 있다는 점이다. 일반적으로 시간에 따라 변화하는 환경에 대응하지 않고 변함없이 하나의 방법을 고정적으로 사용하는 방식보다는 환경변화에 대응하여 여러 개의 방법을 상황에 적합하게 적시적소에 사용하는 방식이 보다 좋은 성과를 나타낸다(Kim and Kim, 1997, Jeong and Kim, 1998). 본 연구에서는 이와 같은 개념에 기초하여 반도체 Fab의 환경 변화에 대해 능동적으로 대처할 수 있는 디스패칭 체계를 개발하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 다음 장에서는 본 연구에서 다루고 있는 Lot Dispatching 문제에 대해 설명한다. 제 3장에서는 작업우선순위를 결정하기 위한 평가기준을 정의하며, 제 4장에서는 정의된 평가기준을 순차적 또는 동시에 고려하여 작업의 순서를 결정하는 메커니즘에 대해 서술한다. 다음으로 제 5장에서는 Fab의 상황을 판단할 수 있는 상황판단기준을 정의하고 특정 상황으로 판단되었을 때 작업우선순위 평가기준을 조합하여 가장 효율적으로 작업이 진행될 수 있는 순서를 결정하는 메커니즘을 소개하며, 마지막으로 제 6장에서는 본 연구의 의의와 기대효과를 서술하며 논문을 맺는다.

## 2. 문제정의

본 연구에서 대상으로 삼고 있는 Fab은 DRAM과 NAND Flash로 대변되는 메모리 반도체 생산하고 있다. 이들의 생산을 위해서는 <Figure 3>에 나타나 있는 바와 같이 Fab에 투입된 후

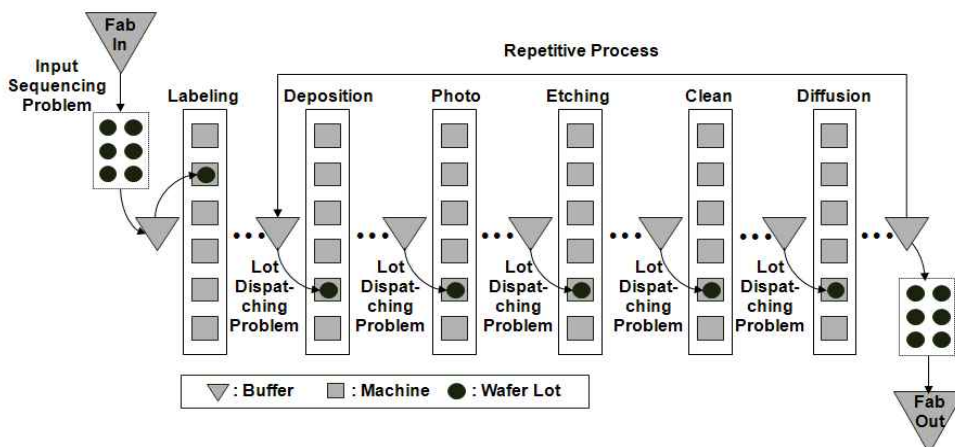


Figure 3. Input sequencing and lot dispatching problems in the Fab

초기 작업을 마친 후 보통 25장의 웨이퍼를 하나의 카세트에 담아 Lot을 구성한다. 이후 Lot단위로 침적, 포토(도포, 노광, 현상), 식각, 세정, 확산 등의 공정을 반복적으로 수행한 후 Fab을 빠져나가게 된다. 이 상황에서 Fab의 운영을 위해 해결해야 할 주요 의사결정문제는 첫째 웨이퍼의 투입 물량, 순서 및 시점을 결정하기 위한 Input Sequencing 문제와 둘째 동일한 작업을 수행할 수 있는 서로 다른 장비에서 작업을 위해 대기 중인 복수의 Lot 중 어느 Lot을 우선적으로 처리할 것인가를 결정하기 위한 Lot Dispatching 문제로 크게 구분할 수 있다.

일반적인 Fab에서는 Input Sequencing 문제는 <Figure 1>에 나타나 있는 바와 같이 “Advanced Planning and Scheduling” 단계에서 해결하는 반면에 Lot Dispatching 문제는 본 연구에서 구축하고자 하는 “Factory Operating System”에서 담당하여 해결한다. 본 연구에서는 Planning과 Scheduling을 위한 도구는 Fab에 이미 구축되어 있으며, 구축된 도구를 이용하여 Input Sequencing의 사결정을 수행하고 있는 상황을 가정한다. 본 연구에서는 이와 같이 Input Sequencing 의사결정을 통해 이미 Fab에 투입된 Lot을 대상으로 개별 장비에서의 Lot Dispatching 문제를 해결하기 위한 도구를 개발하는 것을 연구범위로 한정한다. 즉, Lot Dispatching 문제는 다음과 같이 정의될 수 있다: 목표생산량을 효율적으로 달성하고, 작업공정간 부하를 균형적으로 유지하며, 개별 장비의 효율을 극대화할 수 있도록, 특정 작업을 수행할 수 있는 장비가 복수로 존재할 때 하나의 장비에서 작업이 종료되어 버퍼에서 대기 중인 복수의 작업가능 Lot 중 다음으로 작업을 수행할 Lot을 선택하는 문제. 본 연구에서는 이와 같이 정의된 Lot Dispatching 문제의 해결을 위한 효율적/효과적이

며 현장적용이 가능한 실제적인 방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 반도체 Fab의 여러 장비 중 Thin Film, Etch, Implant 등 공정전환시간이 존재하는 장비군을 대상으로 한다. 본 연구에서는 먼저 반도체 Fab의 고유한 특성을 충분히 반영하여 작업우선순위 평가기준을 정의하고, Fab의 상황변동에 따라 정의된 평가기준을 동적으로 조합하여 해당 Fab의 현재상황에 최적으로 대응할 수 있는 적응형 디스패칭 아키텍처(Adaptive Dispatching Architecture; ADA)를 제안한다. 향후 본 연구의 연속적인 산출물로서 공정전환시간이 없는 장비군, Clean 장비군, Diffusion 장비군을 대상으로 하는 ADA를 제안할 예정이다.

본 연구는 단지 연구실 수준의 비현실적인 방법론이 아닌 현장에서 많은 시행착오를 통해 축적한 운영경험에 학술적 이론을 추가하여 현장에서 실제로 사용될 수 있는 현실적인 방법론을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 본 연구에서 제안된 개념은 부분적으로 이미 반도체 Fab의 FOS에 탑재되어 운영중이며, 이러한 사실이 개발된 방법론의 실용성을 대변한다고 말할 수 있다. 많은 반도체 기업들이 본 연구에서 제안된 ADA의 활용을 통해 생산성 및 비용절감을 실현시킴으로써 국제적 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

### 3. 작업우선순위 평가기준

작업우선순위는 특정 장비에서 작업이 가능한 Lot 중에서 다음으로 작업할 Lot을 결정하기 위해 이용된다. 즉, 특정한 기준을 바탕으로 Lot의 우선순위를 결정할 후 우선순위가 높은 Lot

Table 1. Summary of lot status selection criteria

Number	Criteria	Description	Objective
1	Lot status	Give high priority to the reserved lot	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Maintain working stability</li> <li>◦ Increase operator efficiency</li> </ul>
2	Same operation with last reserved lot	Give high priority to the same operation with the last reserved lot	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Decrease setup time</li> <li>◦ Increase productivity</li> </ul>
3	Machine preference	Give high priority to the operation with high performance machine	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Decrease operation time</li> <li>◦ Increase productivity</li> </ul>
4	Operation priority	Give high priority to the urgent operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Respond to sales and production scheduling needs</li> </ul>
5	High priority workload	Give high priority to the operation with low production attainment rate and high work in process	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Respond to target production</li> </ul>
6	Workload balance	Give high priority to the bottle neck operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Balance workload</li> <li>◦ Increase productivity</li> </ul>
7	Operation change effect on high priority workload	Give high priority to the operation with high operation change effect	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Decrease setup time</li> <li>◦ Respond to target production</li> </ul>
8	Device priority	Give high priority to the urgent device	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Respond to sales and production scheduling needs</li> </ul>
9	Target production attainment rate	Give high priority to the device with low production attainment rate	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Respond to target production</li> </ul>
10	Delay time	Give high priority to the delayed lot	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Decrease deviation in delay times</li> <li>◦ Increase wafer quality</li> </ul>

의 작업을 우선적으로 진행한다. 먼저 평가기준의 정의를 위해 사용되는 인덱스를 살펴보면 다음과 같다:  $l$ 은 Fab 내에 투입된 Lot의 인덱스를 나타내며,  $c$ 는 Fab에서 생산되는 반도체 제품의 종류를 나타내며,  $a$ 는 반도체 가공을 위해 필요한 공정을 나타내며,  $r$ 은 필요한 작업을 수행하기 위한 제조법을 나타내며,  $m$ 은 제조법이 설치되어 필요한 작업이 수행되는 장비를 나타내며, 마지막으로  $g$ 는 동일 장비의 그룹을 나타낸다. 본 연구에서 Lot의 우선순위를 결정하기 위해 사용할 평가기준은 <Table 1>과 같이 요약할 수 있으며, 다음 절에서 보다 자세한 정의를 서술한다.

### 3.1 Lot 상태

특정 장비에서 작업하기 위해 대기 중인 Lot의 상태  $ls_l$ 에 따라 Lot의 작업 우선순위를 <Table 2>와 같이 결정한다. 이 중 PROC, LOAD, RESV 각각은 해당 장비에서 작업 중, 또는 해당 장비의 Load/Unload Station에서 대기 중, 아니면 작업 수행이 기존에 이미 예약되어진 상태로 이미 해당 장비에서의 작업이 결정된 Lot을 의미하며, WAIT는 작업을 수행할 장비가 결정되어 있지 않은 Lot을 의미한다. 거의 대부분의 Lot은 WAIT인 상태에 있으며, 이 Lot들이 다음 절부터 후술될 다양한 평가기준을 이용한 디스패칭 의사결정의 주요 대상이 된다. 특정 장비에서는 우선순위가 높은 Lot을 우선적으로 처리한다.

Table 2. Priority rank by lot status selection criteria

Rank	Lot status	Description
1	PROC	Being processed by the machine
2	LOAD	Being loaded in the machine's Input station
3	RESV	Being reserved for loading
4	WAIT	Being waited in the stocker

### 3.2 동일공정 우선

작업자에 의해 현 장비  $m^*$ 에서 작업하기 위해 예약된 Lot 중 최후에 수행될 Lot과 동일한 공정을 수행하는 Lot에게 높은 우선순위를 부여한다. 이는 공정전환으로 인한 작업시간의 손실을 최소화하기 위해 동일한 공정을 연속적으로 진행한다를 것을 의미한다. 수행할 공정의 동일성 여부에 따라 Lot의 작업 우선순위를 다음과 같이 결정한다.

- 1순위 : 예약된 Lot 중 최후에 수행될 Lot과 동일한 공정을 수행하는 Lot,  $\{l | l \in WLG_{m^*}, oper_l \in oper_{tr_{l^*}}\}$ ,

$WLG_m$  : 현재 시점에서 장비  $m$ 이 수행할 수 있는 Lot의 집합,

$oper_l$  : Lot  $l$ 이 수행할 공정,

$tr_{l^*}$  : 장비  $m$ 에서 작업자에 의해 선택된 Lot 중 맨 마지막으로 수행될 Lot.  $l \in WLG_m$  and  $ls_l \in \{PROC, LOAD, RESV\}$ 인

Lot  $l$  중 마지막으로 수행될 Lot.

- 2순위 : 1순위에 포함되지 않는 Lot.

### 3.3 장비 선호도

현 장비  $m^*$ 가 주장비로 등록되어 있는 공정을 수행하는 Lot에 대해 우선순위를 부여한다. 이는 복수의 사용가능 장비 중 가장 해당 공정에 보다 적합한 장비를 선택하여 이용할 수 있게 하기 위함이다. 즉, 보다 효율적인 공정-장비 쌍을 우선적으로 처리하는 것을 의미한다. 수행할 공정의 장비 선호도에 따라 다음과 같이 Lot을 구분한다.

- 1순위 : 수행할 공정에 대해 현 장비가 주장비로 등록되어 있는 Lot,  $\{l | l \in WLG_{m^*}, m^* \in PMG_{oper_l}\}$ ,

$PMG_o$  : 공정  $o$ 에 대해 주장비로 등록되어 있는 장비의 집합.

- 2순위 : 1순위에 포함되지 않는 Lot.

### 3.4 공정 우선순위

생산관리자 또는 스케줄러는 공정부하의 균형화 및 변화된 제품수요에 대한 대응 등의 관리목적에 달성하기 위해, 특정 공정집합에 대해 작업우선순위를 높게 설정하여 타 공정보다 우선적으로 작업을 진행하는 경우가 있다. 이와 같은 경우 수행할 공정이 높은 우선순위를 갖는 공정집합에 포함되어있는가에 따라 다음과 같이 Lot을 구분한다.

- 1순위 :  $HPO$ 에 포함되는 공정을 수행하는 Lot,

$\{l | l \in WLG_{m^*}, oper_l \in HPO\}$ ,

$HPO$  : 모든 제품에 대해 높은 우선순위를 갖는 공정의 집합.

- 2순위 : 1순위에 포함되지 않는 Lot.

### 3.5 고우선순위 작업부하

제품  $d$  공정  $o$ 의 목표 생산량을 달성하기 위해 필요한 물량은 목표 생산량  $tm_{do}$ 와 실적 생산량  $am_{do}$ 의 차이인  $tm_{do} - am_{do}$ 이다. 그러나 해당 공정의 수행을 위해 대기 중인 Lot이 충분하지 않다면 목표 달성을 위한 물량을 처리할 수 없을 것이다. 따라서 제품  $d$  공정  $o$ 의 목표 생산량을 달성하기 위해 처리할 작업물량 중 우선순위가 높은 작업물량  $hpwip_{do}$ 는 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$hpwip_{do} = \min \{wip_{do} - rwip_{do}, \max[0, tm_{do} - am_{do} - rwip_{do}]\}$$

$wip_{do}$  : 제품  $d$  공정  $o$ 의 전 공정을 마치고 공정  $o$ 를 수행중이거나 수행을 위해 대기중인 제품  $d$ 의 물량,

$rwip_{do}$  :  $wip_{do}$  중  $ls_l \in \{PROC, LOAD, RESV\}$ 인 물량.

$hpwip_{do}$ 를 처리하는 데 걸리는 시간, 즉 작업부하  $hpwl_{do}$ 는 다음과 같이 추정한다.

$$hpwl_{do} = \begin{cases} \sum_{m \in SMG_o} rwl_m/nSMG_o + hpwip_{do}/v_{do}, & \text{if } nSMG_o \geq 1 \\ \sum_{m \in UMG_o} rwl_m/nUMG_o + hpwip_{do}/v_{do}, & \text{if } nSMG_o = 0, \end{cases}$$

$SMG_o$ : 공정  $o$ 가 준비되어 있는 장비의 집합,

$$\{m | oper_{rl_m} = o\},$$

$nSMG_o$ : 공정  $o$ 가 준비되어 있는 장비의 수, 즉,  $SMG_o$  집합의 원소 수,

$rwl_m$ : 장비  $m$ 에 예약되어 있는 Lot들의 작업부하,  $rwl_m =$  (장비  $m$ 에 예약된 첫 번째 Lot의 잔여작업시간) +  $\sum_{i=2}^{nrl_m} (st_{recp_{m,i-1}, recp_{mi}} + pt_{mi})$ ,

$nrl_m$ : 장비  $m$ 에 예약되어 있는  $ls_l \in \{\text{PROC, LOAD, RESV}\}$ 인 Lot의 수,

$st_{rs}$ : 가공법  $r$ 에서 가공법  $s$ 로 변환할 때 발생하는 준비시간,

$recp_{mi}$ : 장비  $m$ 에 예약되어 있는  $ls_l \in \{\text{PROC, LOAD, RESV}\}$ 인 Lot에 대해  $i$ 번째로 수행될 Lot의 제조법,  $i = 1, 2, \dots, nrl_m$ ,

$pt_{mi}$ : 장비  $m$ 에 예약되어 있는  $ls_l \in \{\text{PROC, LOAD, RESV}\}$ 인 Lot에 대해  $i$ 번째로 수행될 Lot의 작업시간,  $i = 1, 2, \dots, nrl_m$ ,

$v_{do}$ : 특정 제품  $d$ 의 공정  $o$ 에 대한 처리가능 최대속도,

$$v_{do} = \sum_{m \in SMG_o} (nwl \times bs_m / pt_{dom}) \text{ if } nSMG_o \geq 1, \text{ and}$$

$$v_{do} = \sum_{m \in UMG_o} (nwl \times bs_m / pt_{dom}) / nUMG_o \text{ otherwise,}$$

$nwl$ : Lot을 구성하는 웨이퍼 수,

$bs_m$ : 장비  $m$ 에서 동시에 작업이 가능한 Lot의 수,

$pt_{dom}$ : 장비  $m$ 에서 제품  $d$ 의 공정  $o$ 를 수행하는 데 소요되는 작업시간,

$UMG_o$ : 공정  $o$ 를 수행할 수 있는 장비 집합,

$$UMG_o = \{m | r \in SRG_m \text{ and } recp_{mdo} = r\},$$

$nUMG_o$ : 공정  $o$ 를 수행할 수 있는 장비의 수, 즉,  $UMG_o$  집합의 원소 수.

제품  $d$  공정  $o$ 의 목표 생산량을 달성하기 위해 처리할 작업부하  $hpwl_{do}$ 에 특정 제품에 적용되는 공정우선순위를 고려하면, 중요도가 반영된 조정작업부하  $mhpwl_{do}$ 를 추정할 수 있다.  $mhpwl_{do}$ 는 다음과 같이 추정한다.

$$mhpwl_{do} = mfhpod_{do} \times hpwl_{do},$$

$mfhpod_{do}$ : 제품  $d$ 의 고우선순위 작업부하에 대한 조정계

$$\text{수, } mfhpod_{do} = \alpha \text{ when } o \in HPOD_d, mfhpod_{do} = 1 \text{ otherwise, } \alpha \geq 1,$$

$HPOD_d$ : 특정 제품  $d$ 에 대해서만 높은 우선순위를 갖는 공정의 집합, 특정 장비에서 이 집합에 포함된 공정은 제품  $d$ 에 대해서만 다른 공정보다 먼저 진행.

최종적으로 다음과 같이 특정 공정에 대해 우선적으로 처리할 물량  $hpwl_o$ 를 추정한 후,  $hpwl_o$ 가 큰 공정에 높은 우선순위를 부여한다.

$$hpwl_o = \sum_{all d} mhpwl_{do}$$

- 1순위:  $\sum_{all d} hpwip_{do} > 0$ 과  $hpwl_o \geq \beta$ 를 만족하는 공정을 수행하는 Lot,  $\beta \geq 1$ .
- 2순위:  $\sum_{all d} hpwip_{do} > 0$ 과  $hpwl_o < \beta$ 를 만족하는 공정을 수행하는 Lot.
- 3순위: 1순위와 2순위에 포함되지 않는 Lot.

### 3.6 작업부하 균형

생산현장의 작업물량을 균형화하기 위해서는, 임의의 공정을 중심으로 전후의 작업물량을 예측하여 해당 공정 전에 작업물량이 많고 해당 공정 후에 작업물량이 적은 공정을 우선적으로 진행할 필요가 있다. 이를 통해 해당 공정의 전 공정에서는 Blocking을 방지하고 후 공정에서는 Starvation을 예방할 수 있으며, 전체적으로는 Lot의 원활한 흐름을 유도할 수 있다. 특정 공정 전의 작업물량  $pwl_o$ 와 후의 작업물량  $fwl_o$ 은 다음과 같이 산정한다.

$$pwl_o = \sum_{all d} pwl_{do}, fwl_o = \sum_{all d} fwl_{do}$$

$pwl_{do}$ : 제품  $d$ 의 공정  $o$ 이전의 작업물량,

$$pwl_{do} = (wip_{do} + hpwip_{d,pre_{do}} + rwip_{d,pre_{do}}) / v_{do},$$

$pre_{do}$ : 제품  $d$ 의 공정  $o$ 바로 전에 수행한 공정,

$fwl_{do}$ : 특정 공정  $o$ 이후의 작업물량,

$$fwl_{do} = (wip_{d,fol_{do}} + hpwip_{do} + rwip_{do}) / v_{d,fol_{do}},$$

$fol_{do}$ : 제품  $d$ 의 공정  $o$ 바로 다음에 수행할 공정.

- 1순위:  $\gamma \leq pwl_o / fwl_o$ 를 만족하는 공정을 수행하는 Lot,  $\gamma \geq 1$ .
- 2순위:  $1/\gamma \leq pwl_o / fwl_o < \gamma$ 를 만족하는 공정을 수행하는 Lot.
- 3순위:  $pwl_o / fwl_o < 1/\gamma$ 를 만족하는 공정을 수행하는 Lot.

### 3.7 공정전환 효과

현 장비  $m^*$ 에서 만약 공정  $o$ 를 수행하는 Lot이 선택된다면,  $oper_{lrl_m^*} = o$ 가 되고, 해당 공정을 수행할 수 있도록 준비된 장비의 그룹  $SMG_o'$ 는  $SMG_o \cup m^*$ 가 된다. 이와 같이 제품  $d$ 의 공정  $o$ 에 대해 작업이 준비된 장비가 한 대 증가한 상황을 가정하여 새롭게 조정된 작업부하  $hwpw'_{do}$ 를 추정해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} hwpw'_{do} &= \sum_{m \in SMG_o'} rwl_m / (nSMG_o') + hwpw_{do} / v'_{do} \\ &= \sum_{m \in SMG_o \cup m^*} rwl_m / (nSMG_o + 1) \\ &\quad + hwpw_{do} / \left( \sum_{m \in SMG_o \cup m^*} (nwl \times bs_m / pt_{dom}) \right) \end{aligned}$$

특정 공정에 대한 새로운 작업부하  $hwpw'_o$ 는 위에서 장비 한 대가 늘어나는 상황을 가정하여 구한  $hwpw'_{do}$ 에 공정우선순위 반영을 위한 가중치  $mfhpod_{do}$ 를 반영하여 다음과 같이 추정한다.

$$hwpw'_o = \sum_{all d} mfhpod_{do} hwpw'_{do}$$

특정 장비  $m^*$ 에서 작업하기로 예약된 Lot 중 마지막으로 수행할 Lot의 공정이 현 공정  $oper_{lrl_m^*}$ 에서 공정  $o$ 로 변경됨으로 발생할 수 있는 영향  $oce_o$ 는 다음과 같이 추정할 수 있으며,  $oce_o$ 가 큰 공정에 높은 우선순위를 부여한다.  $oce_o$ 의 적용은 궁극적으로 우선순위가 높은 공정에 대한 작업부하는 대폭 감소하는 반면 공정전환 손실은 매우 적은 공정으로의 전환을 유도하게 된다.

$$oce_o = \sum_{all d} (hwpw_{do} - hwpw'_{do}) / st_{recp_{m^*,d,oper_{lrl_m^*},recp_{m^*,d,o}}$$

$recp_{mdo}$ : 장비  $m$ 에서 제품  $d$ 의 공정  $o$ 를 수행하기 위해 필요한 제조법.

- 1순위:  $\delta \leq oce_o$ 를 만족하는 공정을 수행하는 Lot,  $\delta \geq 1$ .
- 2순위:  $1/\delta \leq oce_o < \delta$ 를 만족하는 공정을 수행하는 Lot.
- 3순위:  $oce_o < 1/\delta$ 를 만족하는 공정을 수행하는 Lot.

### 3.8 제품 우선순위

생산관리자 또는 스케줄러는 공정부하의 균형화 및 변화된 제품수요에 대한 대응 등의 관리목적 달성을 위해, 앞서 특정 공정집합에 대해 작업우선순위를 높게 설정한 것처럼 특정 제품집합에 대해 작업우선순위를 높게 설정하여 타 제품보

다 우선적으로 작업을 진행하는 경우가 있다. 이와 같은 경우 수행할 제품이 높은 우선순위를 갖는 제품집합에 포함되어있는가에 따라 다음과 같이 Lot을 구분한다.

- 1순위:  $HPD$  또는  $HPDO_o$ 에 포함되는 제품들의 Lot,  $\{l | devc_l \in HPD \text{ or } devc_l \in HPDO_o\}$ ,  
 $HPD$ : 모든 공정에 대해 높은 우선순위를 갖는 제품의 집합,  
 $HPDO_o$ : 특정 공정  $o$ 에 대해서 높은 우선순위를 갖는 제품의 집합.
- 2순위: 1순위에 포함되지 않는 Lot.

### 3.9 목표 생산량 달성도

제품에 대한 목표 생산량 달성도  $ar_{do}$ 를 계산하여 달성도가 낮은 제품에 우선순위를 부여한다. 즉, 다음과 같이 정의되는  $ar_{do}$  값이 작은 제품에 우선순위를 부여한다.

$$ar_{do} = (am_{do} + rwip_{do}) / tm_{do}$$

### 3.10 지연시간

각 Lot에 대해 현재시점에서 전 공정의 종료시점을 뺀 값으로 정의되는 지연시간  $dt_l$ 을 계산하여  $dt_l$ 이 큰 Lot에 높은 우선순위를 부여한다. Lot  $o$ 에 대한  $dt_l$ 의 적용은 이전 공정을 마치고 장시간 대기 중인 Lot을 우선적으로 처리하도록 유도함으로써 Lot의 대기시간에 대한 편차를 최소화한다.

## 4. 정적 디스패칭 아키텍처

### 4.1 순차고려방식

순차고려방식에서는 앞서 정의된 10개의 작업우선순위 평가기준을 <Table 3>에 요약되어 있는 바와 같이 순차적으로 적용하여 대기중인 Lot 중 다음으로 작업을 수행할 Lot을 결정한다. 즉, 작업 대상이 되는 Lot 중 먼저 1단계의 평가기준을 이용하여 순위를 결정하고, 동일 순위를 가지는 Lot이 복수개 존재하면 2단계의 평가기준을 적용하여 Tie-Breaking을 시도한다. 여기서도 복수개의 Lot이 동일 순위를 갖게 되면 3, 4, ..., 10단계 평가기준을 순차적으로 적용하여 Tie-Breaking을 시도한다.

Thin Film, Etch, Implant 등의 장비군은 공정전환시간이 존재하기 때문에, 공정전환에 따른 작업손실을 줄이는 것이 매우 중요하다. 따라서 평가기준을 순차적으로 적용함에 있어서 기대 공정전환 효과를 측정할 수 있는 평가기준을 우선적으로 적용하여 Lot의 작업순서를 결정한다. 이러한 관점에서 가급적 공정전환이 자주 발생하지 않도록 2단계의 평가기준으로 “동일공정 우선”을 선정한다. 또한 설령 공정전환이 발생하더

**Table 3.** Sequential consideration of selection criteria

Selection Unit	Hierarchy	Criteria
Lot	1	Lot status
Operation	2	Same operation with last reserved lot
	3	Machine preference
	4	Operation priority
	5	Operation change effect on high priority workload
	6	High priority workload
Device	7	Workload balance
	8	Device priority
Lot	9	Target production attainment rate
	10	Delay time

라도 공정전환 손실 대비 효과를 최대화할 수 있도록 5단계의 평가기준으로 “공정전환 효과”를 이용한다. 이외의 평가기준에 대한 적용순서는 반도체 Fab의 생산관리 담당자들과의 인터뷰를 통해 얻은 평가기준의 상대적 중요도를 바탕으로 결정되었다.

앞서 반도체 생산현장에서 이용할 수 있는 10개의 작업우선순위 평가기준을 소개했지만, 실질적으로 Lot의 우선순위를 결정하는 데 가장 큰 영향을 끼치는 것은 5부터 7단계의 평가기준이다. 이는 1부터 4까지의 평가기준은 대부분의 공정에 대해 동률일 가능성이 높고 이로 인해 최종적인 작업순서가 결정되는 경우가 드물기 때문이다. 따라서 5부터 7단계의 평가기준을 적용하는 순서가 디스패칭 메커니즘의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 평가기준 적용순서를 결정하는데 보다 신중할 필요가 있다. 이와 같은 개념에서 동시에 여러 평가기준을 고려하는 방식이 제안되었다.

#### 4.2 동시고려방식

동시고려방식에서는 모든 평가기준을 하나씩 순차적으로 고려하는 순차고려방식과 달리 몇 개의 평가기준을 동시에 고려하여 Lot의 작업우선순위를 결정한다. 이 장비들에서는 평가기준을 앞서 정의된 순차고려방식과 동일한 방식으로 1부터 4단계와 8부터 10단계를 적용하며, 다만 디스패칭 메커니즘의 성능에 큰 영향을 미치는 5부터 7단계의 “공정전환 효과”, “고우선순위 작업부하”, “작업부하 균형” 평가기준은 동일한 중요도를 갖도록 동시에 고려한다.

이와 같이 평가기준 적용 방식을 이원화하는 이유는 다음과 같다. 먼저 1부터 4단계와 8부터 10단계에 해당하는 7개의 평가기준은 반도체 Fab 운영방식에 따라 그 적용순서가 분명하게 결정될 수 있으나, 5부터 7단계의 평가기준은 Fab의 상황에 따라 적용순서가 달라질 수 있기 때문에 어떤 평가기준을 먼

저 적용해야 하는가에 이견이 존재하기 때문이다. 이러한 맥락에서 5부터 7단계의 세 가지 평가기준은 동시에 같은 중요도로 고려하자는 개념이 동시고려방식의 기본적인 원리인 것이다.

<Table 4>는 순차고려방식의 5부터 7단계의 세 가지 평가기준을 동시에 고려하여 결정된 종합순위를 보여주고 있다. <Table 4>에서 종합순위(1, 2, ..., 7)는 세 가지 평가기준의 개별적인 순위(1, 2, 3)를 더한 값의 크기가 작을수록 높은 순위를 갖도록 설계되었다. <Table 4>에 나타나 있는 바와 같이 동시고려방식에서는 세 가지 평가기준이 Fab의 상황변화에 관계없이 항상 동일한 중요도로 반영되고 있다. 그러나 보다 효율적인 Fab의 운영을 위해서는 Fab의 상황변화에 따라 고려되는 평가기준의 중요도를 조절할 수 있는 새로운 형태의 환경 적응형 메커니즘이 필요하다. 다음 장에서는 이러한 개념 하에 제안되는 동적 디스패칭 아키텍처에 대해 서술한다.

**Table 4.** Parallel consideration of selection criteria

High priority workload rank	Workload balance rank	Operation change effect on high priority workload rank		
		1	2	3
1	1	1	2	3
	2	2	3	4
	3	3	4	5
2	1	2	2	4
	2	3	4	5
	3	4	5	6
3	1	3	4	5
	2	4	5	5
	3	5	6	7

### 5. 동적 디스패칭 아키텍처

#### 5.1 상황판단기준 정의

본 연구에서는 특정 시점에서 Fab의 상황을 판단하기 위해, 목표 생산량에 대한 달성 정도를 나타내는 생산 달성도(Target Movement; TM), 작업부하의 균형화 정도를 나타내는 공정 균형률(Workload Balance; WB), 장비의 가동률 저하 정도를 나타내는 장비 가동률(Utilization Rate; UR)을 이용한다. 이들 세 가지 상황판단기준에 대한 자세한 내용은 다음과 같다.

##### (1) 생산 달성도

생산 목표 달성도에 대한 Fab의 상황을 판단하기 위한 척도로 목표대비 실적 생산량에 대한 표준편차를 이용한다. 이 척도는 특정 장비군  $g^*$ 에서 수행 가능한(제품, 공정) 조합들에 대해 다음과 같은 방법으로 계산한다.



$$\sigma_g^* = \sqrt{\frac{\sum_{(d,o) \in PDOG_g^*} (am_{do}/tm_{do} - \mu_g^*)^2}{nPDOG_g^*}},$$

$$\mu_g^* = \frac{\sum_{(d,o) \in PDOG_g^*} (am_{do}/tm_{do})}{nPDOG_g^*},$$

$PDOG_g^*$ : 장비군  $g$ 에서 수행할 수 있는(제품, 공정) 조합의 집합,

$nPDOG_g^*$ : 장비군  $g$ 에서 수행할 수 있는(제품, 공정) 조합의 수, 즉,  $PDOG_g^*$  집합의 원소 수.

$\sigma_g^*$  값이 미리 정한 기준보다 크다면 목표 생산량을 고려하는 평가기준인 “고우선순위 작업부하”의 중요도를 상향 조정한다. 이 기준을 이용하여 상황판단을 한다는 것은 특정 장비군에 대해 수행 가능한(제품, 공정) 조합의 목표 생산량에 대한 달성도가 상호간에 많은 차이를 보인다면, 목표 생산량을 고려하는 평가기준을 이용함으로써 달성도에 대한 편차를 줄여나가는 방향으로 Fab을 운영하는 것을 의미한다. 이 판단기준의 적용을 통해 생산량 목표에 대한 달성도가 불균형을 이루는 상황을 해소함으로써 전체적인 생산의 균형점을 찾아가도록 유도할 수 있다. 생산 달성도 척도를 이용하여 Fab의 상황을  $\sigma_g^*$ 의 값이 기준치보다 높은 “High”와 기준치 보다 낮은 “Low”의 두 가지 상황으로 구분한다.

- High: 특정 장비군  $g^*$ 에 대해 목표 생산량 달성도 편차가 큰 상황,  $\sigma_g^* \geq \epsilon$ .
- Low: 특정 장비군  $g^*$ 에 대해 목표 생산량 달성도 편차가 작은 상황,  $\sigma_g^* < \epsilon$ .

## (2) 공정 균형률

공정간의 부하균형화의 정도를 판단하기 위해 공정 균형률을 이용한다. 공정 균형률은 다음과 같이 재공재고(Work-In-Process; WIP)의 분포를 바탕으로 추정된다. 먼저 특정 장비군  $g^*$ 에서 수행 가능한(제품, 공정) 조합들에 대해 재공재고에 대한 표준량  $swip_{do}$  대비 실제량  $wip_{do}$ 의 비율에 대한 평균을 계산한다. 또한 해당(제품, 공정) 조합의 전후 공정에 대해서도 표준 WIP 대비 실제 WIP 비율의 평균을 구한다. 다음으로 전 공정, 현 공정, 후 공정에 평균을 이용하여 표준편차( $\sigma_g^*$ )를 구한다.

$$\sigma_g^* = \sqrt{\frac{(\mu_{cur_g^*} - \mu_g^*)^2 + (\mu_{pre_g^*} - \mu_g^*)^2 + (\mu_{fol_g^*} - \mu_g^*)^2}{3}},$$

$$\mu_{cur_g^*} = \frac{\sum_{(d,o) \in PDOG_g^*} (wip_{do}/swip_{do})}{nPDOG_g^*},$$

$$\mu_{pre_g^*} = \frac{\sum_{(d,o) \in PDOG_g^*} (wip_{d,pre_{do}}/swip_{d,pre_{do}})}{nPDOG_g^*},$$

$$\mu_{fol_g^*} = \frac{\sum_{(d,o) \in PDOG_g^*} (wip_{d,fol_{do}}/swip_{d,fol_{do}})}{nPDOG_g^*},$$

$$\mu_g^* = \frac{\mu_{cur_g^*} + \mu_{pre_g^*} + \mu_{fol_g^*}}{3}.$$

$\sigma_g^*$  값이 미리 정한 기준보다 크다면 작업부하 균형을 고려하는 평가기준인 “작업부하 균형”의 중요도를 상향 조정한다. 이 기준을 이용하여 상황판단을 함으로써, 사전에 정의된 적정 물량과 제조 현장의 실제 물량의 크기가 많은 차이를 보이는 장비군에 대해 작업부하 균형을 고려하는 평가기준을 우선적으로 적용하여 표준 WIP 대비 실제 WIP의 비율에 대한 편차를 줄여나갈 수 있다. 즉 작업부하 균형화가 필요한 시점인가를 판단하여, 해당 상황으로 판단되면 작업부하 균형을 꾀할 수 있는 평가기준의 적용순위를 높이는 방식을 사용하는 것이다. 이 척도 역시 “작업부하 균형”의 중요도를 높여야 하는 “High”와 그렇지 않은 “Low”의 두 가지 상황으로 Fab의 상태를 구분한다.

- High: 특정 장비군  $g^*$ 에 대해 현, 전, 후 공정간 표준 WIP에 대한 실제 WIP 비율의 편차가 큰 상황,  $\sigma_g^* \geq \nu$ .
- Low: 특정 장비군  $g^*$ 에 대해 현, 전, 후 공정간 표준 WIP에 대한 실제 WIP 비율의 편차가 작은 상황,  $\sigma_g^* < \nu$ .

## (3) 장비 가동률

장비의 가동률을 높여야 할 상황인가를 판단하기 위해 장비 가동률 척도를 이용한다. 이 척도는 특정 장비군  $g^*$ 에서 수행 가능한(제품, 공정) 조합들에 대해, 다음과 같이 표준 WIP 대비 실제 WIP 비율의 평균을 이용하여 정의된다.

$$\mu_g^* = \frac{\sum_{(d,o) \in PDOG_g^*} (wip_{do}/swip_{do})}{nPDOG_g^*}.$$

특정 장비군에 대해 위와 같이 구한  $\mu_g^*$  값이 미리 정한 기준보다 크다면 장비의 가동률을 높일 수 있는 평가기준인 “공정 전환 효과”의 중요도를 상향 조정한다. 이 기준을 이용하여 상황판단을 한다는 것은, 특정 장비군에 대해 수행 가능한(제품, 공정) 조합의 실제 WIP이 표준 WIP에 비해 과도하게 많이 쌓여있다면, 장비의 손실 시간을 줄여 가동률을 높이고 이를 통해 과도한 WIP을 해소할 수 있는 방향으로 Fab을 운영하는 것이 바람직하다는 것을 의미한다. 이 척도 역시 “공정전환 효과”의 중요도를 높여야 하는 “High”와 그렇지 않은 “Low”의 두 가지 상황으로 Fab의 상태를 구분한다.

- High : 특정 장비군  $g^*$ 에 대해 과도하게 많은 WIP이 대기 중인 상황,  $\mu_{g^*} \geq \tau$ .
- Low : 특정 장비군  $g^*$ 에 대해 작은 양의 WIP이 대기 중인 상황,  $\mu_{g^*} < \tau$ .

요하게 고려해야 한다는 의미이며, 모든 상황판단결과가 Low인 경우에는 모든 평가기준을 중요하게 고려할 필요가 없다는 의미이다. 따라서 이 경우에는 별다른 조치 없이, 앞서 정의된 동시고려방식을 동일하게 평가기준을 적용하여 작업우선순위를 결정한다.

5.2 상황에 따른 작업우선순위 평가기준의 최적화 조합

본 연구에서 제안하고 있는 동적 디스패칭 아키텍처에서는 앞서 정의된 상황판단기준을 통해 Fab이 특정 상황으로 분류되면, 그 상황에서 보다 중요하게 고려해야 할 작업우선순위 평가기준을 선정하여 그들의 적용우선순위를 높여주는 방식을 이용한다. 본 연구에서 사용하고 있는 상황판단 기준은 모두 3가지이고, 전술한 바와 같이 각 판단기준마다 Fab의 상태는 2개의 상황으로 구분된다. 따라서 이를 종합하면 Fab의 상태는 총 8가지(=2<sup>3</sup>)로 구분될 수 있다. <Table 5>는 이들 8가지 상황에 따라 보다 중요하게 고려되어야 할 평가기준을 보여주고 있다.

(1) Case 1

모든 상황판단결과가 High인 경우에는 모든 평가기준을 중

(2) Case 2, 3, 4

목표 생산량 관련 상황이 High로 판정되면, 목표 생산량과 관련된 평가기준인 “고우선순위 작업부하”를 중요하게 고려해야 한다. 따라서 동시고려방식에서 <Table 6>과 같이 “고우선순위 작업부하”의 비중을 높여 종합순위를 산정한다. <Table 6>에서 종합순위(1, 2, ..., 9)는 “고우선순위 작업부하”에 대해서는 1순위는 2, 2순위는 4, 3순위는 6의 값을(이 과정을 통해 해당 평가기준이 보다 중요하게 고려되는 효과를 가짐), 나머지 평가기준들에 대해서는 1순위는 1, 2순위는 2, 3순위는 3의 값을 할당한 후 모든 평가기준의 해당 순위에 대응하는 값을 더한 값의 크기가 작을수록 높은 순위를 갖도록 설계하였다. 중요한 평가기준의 가중치를 다른 평가기준에 비해 단순히 두 배 높이는 방식으로 방법론을 설계한 것은 단순한 논리를 사용하여 추정해야 할 모수의 수를 최소화함으로써 현장관리자

Table 5. Adaptive consideration of selection criteria

Status decision criteria			Case	Operation sequence evaluation criteria with high priorities
TM	WB	UR		
Low	Low	Low	1	None
High	Low	Low	2	High priority workload
Low	High	Low	3	Workload balance
Low	Low	High	4	Operation change effect on High Priority Workload
High	High	Low	5	High priority workload, Workload balance
Low	High	High	6	Workload balance, Operation change effect on High Priority Workload
High	Low	High	7	High priority workload, Operation change effect on High Priority Workload
High	High	High	1	None

Table 6. Consideration of selection criteria : case 2, 3, 4

High priority workload rank	Workload balance rank	Operation change effect on high priority workload rank								
		Case 2			Case 3			Case 4		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	2	3	1	2	3	1	3	5
	2	2	3	4	3	4	5	2	4	6
	3	3	4	5	5	6	7	3	5	7
2	1	3	4	5	2	3	4	2	4	6
	2	4	5	6	4	5	6	3	5	7
	3	5	6	7	6	7	8	4	6	8
3	1	5	6	7	3	4	5	3	5	7
	2	6	7	8	5	6	7	4	6	8
	3	7	8	9	7	8	9	5	7	9

로 하여금 현장에서 방법론을 쉽게 적용할 수 있도록 하기 위함이다. 물론 현장에서의 운영을 통해 평가기준간의 가중치 부여 방식에 변화가 필요하다는 판단이 선다면, 중요 평가기준의 가중치를 다르게 반영할 수 있는 방법을 모색하는 것이 필요할 수 있을 것이다. <Table 6>의 나머지 부분은 Case 3과 4의 상황에 대해 Case 1과 같은 방식으로 “작업부하 균형”과 “공정전환 효과”를 중요하게 고려하여 얻은 종합 순위를 보여주고 있다.

### (3) Case 5, 6, 7

목표생산량과 작업부하 균형화 관련 상황이 High로 판정되면, 목표 생산량과 관련된 평가기준인 “고우선순위 작업부하”와 작업부하 균형화와 관련된 평가기준인 “작업부하 균형”을 중요하게 고려해야 한다. <Table 7>에서 종합순위(1, 2, ..., 11)는 “공정전환 효과”에 대해서는 1순위는 1, 2순위는 2, 3순위는 3의 값을 할당하고 다른 2개의 중요 평가기준에 대해서는 1순위는 2, 2순위는 4, 3순위는 6의 값을 할당한 후 모든 평가기준의 해당 순위 값의 합계가 작을수록 높은 순위를 갖도록 설계하였다. 또한 <Table 7>에서는 Case 6의 상황에 대해 Case 5와 같은 방식으로 “작업부하 균형”과 “공정전환 효과”를 중요하게 고려한 경우의 종합순위를 보여주고 있으며, 마찬가지로 Case 7의 상황에 대해 “공정전환 효과”와 “고우선순위 작업부하”를 중요하게 고려한 경우의 종합순위를 보여주고 있다.

운영중인 반도체 Fab의 상황에 따라 종합순위가 11개로 구분되는 것이 지나치게 세분화된 것이라고 판단된다면, 몇 개의 순위를 묶어 하나로 통합으로써 FOS의 구현과 운영의 편의성을 향상시킬 수 있을 것이다. 그러나 이때 통합된 순위를 몇 개로 할 것인가는 해당 장비군의 특성을 면밀하게 분석한 후 신중하게 결정해야 할 것이다.

## 6. 결론

본 연구에서는 소품종대량 생산체제의 메모리 반도체 Fab을 위한 디스패칭 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 반도체 공정의 특성을 반영한 작업우선순위 평가기준을 이용하

며, 또한 환경 적응형 메커니즘을 이용하여 Fab의 환경변화에 따라 작업우선순위 평가기준의 적용순서를 동적으로 변화시키는 메커니즘을 장착하고 있다.

제안된 디스패칭 알고리즘 개념을 양산이 이루어지고 있는 반도체 Fab에 적용하여 공정을 진행한 결과, 생산량 증대, 재공 재고의 감소와 생산주기 단축의 측면에서 개선효과가 발생한 것으로 평가되었다. 그러나 FOS에 새롭게 개발된 디스패칭 방법론이 탑재된 시기에 설비의 증설, 생산계획 수립도구의 변경, 공정의 안정화, 품질개선 노력 등 다양한 개선활동이 동시다발적으로 진행되었다. 따라서 반도체 생산현장에 여러 변화가 함께 발생한 상황에서 개선효과가 전적으로 새로운 디스패칭 알고리즘의 적용으로 인해 발생했다고는 볼 수 없을 것이다. 이러한 이유로 정량적인 개선효과와 측정을 통해 제안된 방법론의 성능을 검증해 보는 것은 불가능한 형편이다.

현장관리자는 개선의 많은 부분이 새로운 디스패칭 방법의 도입을 통해 가능했다는 의견을 제시하고 있으며, 제안된 방법론을 향후 다른 Fab으로 확대 적용할 계획을 가지고 있다는 사실이 제안된 방법론의 타당성을 간접적으로 보여준다고 할 수 있다. 또한 새로운 디스패칭 방법론을 적용한 FOS의 작업지시를 그동안 자신의 숙련된 경험을 통해 작업을 진행하던 Fab의 오퍼레이터들이 큰 무리 없이 준수하고 있다는 사실 역시 제안된 방법론의 타당성을 입증하는 또 다른 증거라고 말할 수 있다. 제안된 방법론이 실환경에서 얼마만큼의 개선효과를 줄 수 있는지에 대한 정량적 측정은 불가했지만 전술한 정성적 측면의 증거들이 일정 정도 제안된 방법론의 타당성을 입증하고 있다고 할 것이다.

본 연구에서는 공정전환시간이 있는 장비군을 대상으로 디스패칭 알고리즘을 제안하였다. 그러나 반도체 Fab에는 이와는 특성이 다른 공정전환시간이 없는 장비군, Diffusion 장비군, Clean 장비군 등의 다양한 장비가 필요하다. 향후 본 연구의 연속선상에서 이들 특성이 다른 장비군에 대한 디스패칭 알고리즘을 차례대로 소개할 예정이다. 일련의 연구를 통해 제안된 디스패칭 알고리즘을 적용함으로써 장비의 가동률, 생산목표의 달성 및 공정간 작업부하의 균형화 등 소품종대량 생산체제의 메모리 반도체 Fab에서 추구하는 생산관리 목표를 제고할 수 있을 것으로 기대한다.

Table 7. Consideration of selection criteria : case 5, 6, 7

High priority workload rank	Workload balance rank	Operation change effect on high priority workload rank								
		Case 5			Case 6			Case 7		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	2	3	1	3	5	1	3	5
	2	3	4	5	3	5	7	2	4	6
	3	5	6	7	5	7	9	3	5	7
2	1	3	4	5	2	4	6	3	5	7
	2	5	6	7	4	6	8	4	6	8
	3	7	8	9	6	8	10	5	7	9
3	1	5	6	7	3	5	7	5	7	9
	2	7	8	9	5	7	9	6	8	10
	3	9	10	11	7	9	11	7	9	11

본 연구에서 제안한 방법론을 특정한 Fab에 적용하기 위해서는  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \nu, \tau$  등 다양한 모수의 추정이 선행되어야 한다. 현재는 이 값을 현장관리자의 경험을 토대로 결정하고 있지만 향후 모수의 값을 자동적으로 결정할 수 있는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 이러한 맥락에서 디스패칭 규칙의 성능을 사전에 점검해 볼 수 있는 성능평가 도구의 개발도 중요한 연구 분야 중 하나이다.

## 참고문헌

- AIM Systems Inc. (2006), *Introduction of nanoDSP 2.0 (AIM's Real-time Dispatcher)*, AIM Systems Inc, Seoul, Korea.
- AkGalr, E., Uzsoy, R., Hiscock, D. G., Moser, A. L., and Teyner, T. J. (2000), Alternative Loading and Dispatching Policies for Furnace Operations in Semiconductor Manufacturing: A Comparison by Simulation, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 1428-1435.
- Asmundsson, J., Rardin, R. L., and Uzsoy, R. (2006), Tractable Nonlinear Production Planning Models for Semiconductor Wafer Fabrication Facilities, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* **19**(1), 95-111.
- Chen, Y.-J., Yu, G., Huang, K.-S., and Wang, I. (2000), A Next Queue Algorithm in Real Time Dispatching System of Semiconductor Manufacturing, *The Ninth International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, 67-70.
- Gupta, A. K. and Sivakumar, A. I. (2004), Multi-objective Scheduling of Two-job Families on a Single Machine, *Omega*, **33**(5), 299-405.
- Hsieh, B.-W., ChangS.-C., Chen, C.-H. and Chang, M.-C. (2003), Efficient Composition of Good Enough Dispatching Policies for Semiconductor Manufacturing, *2003 IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, 67-70.
- Jeong, K.-C. (2008), *Design of an Adaptive Dispatching Architecture for the Optimal Operation of Semiconductor Fabrications-Focused on Machines with Setup Times (Research Report)*, Chungbuk National University, Cheongju, Korea.
- Jeong, K.-C. and Kim, Y.-D. (1997), A Real-Time Scheduling Mechanism for a Flexible Manufacturing System: Using Simulation and Dispatching Rules, *International Journal of Manufacturing System* **36**(9), 2609-2626.
- Kim, M.-H. and Kim, Y.-D. (1994), Simulation-Based Real-Time scheduling Mechanism in a Flexible Manufacturing System, *Journal of Manufacturing Systems*, **13**(2), 85-93.
- Koo, P., Suh, J., and Jang, J. (2003), A New Vehicle Dispatching in Semiconductor Intra-bay Material Handling Systems, *IE Interfaacs* **16**(Special Issue), 93-98.
- Kuhl, M. E. and Laubisch, G. R. (2004), A Simulation Study of Dispatching Rules and Rework Strategies in Semiconductor Manufacturing, *2004 IEEE Conference and Workshop on Advanced Semiconductor Manufacturing*, 325-329.
- Monch, L., Balasubramanian, H., Fowler, J. W., and Pfund, M. E. (2005), Heuristic Scheduling of Jobs on Parallel Batch Machines with Incompatible Job Families and Unequal Ready Times, *Computers and Operations Research*, **32**(11), 2731-2750.
- Monch, L. and Driebel, R. (2005), A Distributed Shifting Bottleneck Heuristic for Complex Job Shops, *Computers & Industrial Engineering* **49**(3), 363-380.
- Monch, L., Schabacker, R., Pabst, D., and Fowler, J. W. (2007), Genetic Algorithm-based Subproblem Solution Procedures for a Modified Shifting Bottleneck Heuristic for Complex Job Shops, *European Journal of Operational Research*, **177**(3), 2100-2118.
- Pierce, N. G. and Yurtsever, T. (2000), Value-based Dispatching for Semiconductor Wafer Fabrication, *2000 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, 245-249.
- Sethi, S. P., Sriskandarajah, C., Chu, K.-F., and Yan, H. (1999), Efficient Setup/Dispatching Policies in a Semiconductor Manufacturing Facility, *Proceedings of the 38th Conference on Decision and Control Phoenix*, 1368-1373.
- Suh, J., Koo, P., Jang, J. (2003), Development of a Dispatching Logic for Controlling Material Handling in Semiconductor Fab, *Proceedings of the 2003 Spring Conference of KIEE/KORMS*, 364-368.
- Tyan, J. C., Du, T. C., Chen, J. C., and Chang, I.-H. (2004), Multiple Response Optimization in a Fully Automated Fab: an Integrated Tool and Vehicle Dispatching Strategy, *Computers & Industrial Engineering* **46**(1), 121-139.



### 정근채

고려대학교 산업공학과 학사  
 한국과학기술원 산업공학과 석사  
 한국과학기술원 산업공학과 박사  
 현재: 충북대학교 토목공학부 부교수  
 관심분야: 반도체 스케줄링, 재해경제성평가,  
 유비쿼터스건설, 물류증개시스템