

반도체 자동화 생산을 위한 실시간 일정계획 시스템 재 구축에 관한 연구 : 300mm 반도체 제조라인 적용 사례

최성우
호서대학교 사회과학대학 경영학과
(swchoi@hoseo.edu)

이정승
호서대학교 사회과학대학 경영학과
(islee@hoseo.edu)

본 연구는 국내 300mm 웨이퍼를 이용하여 반도체 제품의 제조라인을 대상으로 수행되었던 자동화 생산을 위한 일정계획 시스템 재 구축 프로젝트에 관한 내용이다. 본 프로젝트의 주요 목적은 반도체 제조라인 내의 세정, 확산, 포토, 증착과 같은 주요공정들을 대상으로 효율적인 일정계획 수립 알고리즘을 개발하고 그것을 실시간 일정계획 시스템에 구현함으로써 반도체 제조라인의 자동화 생산률을 향상시키는 것이다. 본 논문에서는 여러가지 주요 공정들 중 제한된 대기시간 제약과 배치공정의 특성이 존재하는 세정과 확산으로 이루어진 연속공정 구간을 대상으로 개발된 일정계획 알고리즘과 실시간 일정계획 시스템의 개발에 대한 내용에 초점을 두었다. 일정계획 시스템 재 구축 프로젝트가 시작 될 시점에 세정과 확산 공정의 자동화 생산률은 각각 50%와 10% 정도 였으나, 프로젝트 수행 완료 후에는 각각 91%와 83% 까지 자동화 생산률이 향상 되었다. 자동화 생산률의 향상은 작업자의 인건비 절감, 생산성의 향상, 지속적이고 편차 없는 생산을 의미한다.

논문접수일 : 2009년 12월 5일 게재확정일 : 2009년 12월 16일 교신저자 : 이정승

1. 서론

반도체를 이용하여 대용량의 정보를 저장할 수 있는 대용량 메모리와 다양한 전자제품들의 기능들을 하나의 반도체 Chip에 통합, 구현하는 디지털 컨버전스 기술은 전자산업, 의료기기산업, 자동차산업, 기계 제작산업 등의 다양한 분야에서의 핵심부품인 동시에 핵심 기술으로써 디지털 강대국들의 명실상부한 차세대 핵심 산업으로 여겨지고 있다. 한편, 한국의 반도체 산업을 이끌어 가는 S사와 H사는 세계 반도체 시장의 높은 점유율 차지하

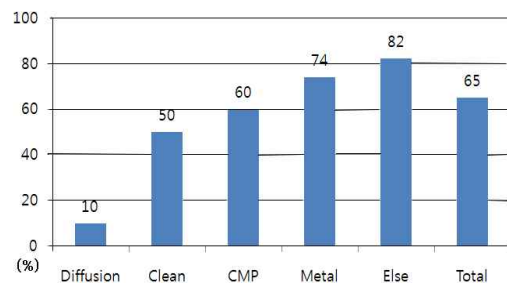
고 있어, 반도체 산업은 명실상부한 한국의 국가 핵심 산업이다.

이와 같이 차세대 국가 핵심 산업인 반도체 산업에서, 국내 반도체 회사들이 선진 외국 반도체 회사들에 비해 경쟁우위 확보와 유지를 위해서는 기술적인 개발을 통한 기술 우위와 더불어 생산비용절감, 수율 향상, 생산성 향상, 납기 준수, 지속적이고 안정적인 생산을 실현 할 수 있는 고도의 생산운영 방법이 필요하다.

따라서, 반도체 제조라인의 효율적인 생산전략 (제품 투입 방법론, 재공 일정계획 방법론 등)에 대

한 연구들이 다수 존재한다. 우선, 제조라인에 언제, 어떤 제품을, 얼마의 양으로 투입할지를 결정하는 제품 투입 방법론에 대한 다양한 연구들이 존재한다(Glassey and Resende, 1988; Kim et al., 1998a; Kim et al., 1998b; Wein., 1988). 이러한 제품 투입 방법론에서는 병목공정의 재공 정보를 참고하여 투입 제품의 종류, 제품 투입 시점과 양을 결정하게 된다. 반도체 제조라인을 대상으로 수행된 기존 대부분의 일정계획(스케줄링) 문제에서는, 디스패칭률들이 제품 혹은 재공의 공정 순서를 결정하는데 주로 이용되어 왔으며, 특히, 병목공정에 초점을 맞추어 일정계획 방법론들이 연구, 개발되어 왔다(Graves et al., 1983; Kim et al., 1998a; Lee et al., 1997; Lin et al., 2005; Lou and Karger, 1989; Min and Yih, 2003; Yoon and Lee, 2004). 한편, 배치공정을 대상으로 수행된 일정계획 방법론에 대한 연구도 존재한다. 배치공정이란, 한 공정 혹은 설비에서 두 개 이상의 재공을 동시에 진행할 수 있는 공정을 의미한다. Glassey and Weng (1991)은 독립 배치 설비에서 동종 제품들의 일정계획 방법론에 대한 연구를 수행하였으며, Fowler et al.(1992)과 Robinson et al.(1995)은 복수의 배치 설비가 존재하고 다양한 제품 종류가 있는 상황에서의 배치 일정계획 방법론에 대한 연구를 수행하였다. 또한, Kim et al.(1998a)은 배치의 크기(동시에 진행하는 재공의 수)를 결정하는 배치 구성 방법론과 배치의 공정 순서를 결정하는 일정계획 방법론을 개발하였다. 위의 연구 이외에도 반도체 제조라인의 생산전략 혹은 다양한 생산 방법론들에 대한 연구는 Uzsoy et al.(1994)과 Duenyas et al.(1994)의 논문 연구들에 자세히 기술 되어 있다.

이와 같이, 현재까지 반도체 제조라인을 대상으로 다양한 생산전략 및 일정계획 방법론들이 연구되어 왔고 연구되고 있지만, 아직까지 대기시간제



<그림 1> 반도체 주요 공정 별 자동화 생산률

약이 존재하는 배치공정을 대상으로 개발된 일정계획 방법론에 대한 연구는 존재하고 있지 않으며, 실제 반도체 제조라인에서는 이와 같은 공정구간에서의 효율적인 일정계획 방법론이 매우 필요한 실정이다.

<그림 1>은 본 연구의 대상이 되고 있는 반도체 제조라인에서 실시간 일정계획 시스템 재구축 프로젝트 수행 이전의 주요 공정 별 자동화 생산률을 의미한다. 본 그림에서와 같이 세정(Clean)과 확산(Diffusion)공정의 자동화 생산률이 타 공정에 비해 현저히 낮은 것을 확인할 수 있으며, 그 이유는 앞서 설명한 바와 같이 확산공정이 배치 공정이라는 특성과 세정과 확산 공정 사이에 제한된 대기시간(Limited Queue Time LQT)이라는 제약(Constraint)이 존재하여 효율적인 일정계획 알고리즘을 개발하기 어렵고 그에 관한 연구가 부족하기 때문이다. 즉, 세정과 확산 공정 구간에서의 자동화 생산률이 낮다는 것은 세정과 확산 공정에 대한 비합리적인 일정계획 알고리즘이 일정계획 시스템에 구현되어 있어, 작업자가 임의로 재공을 선택한 뒤 공정을 진행하기 때문이다. 자동화 생산률은 다음과 같이 정의 된다.

자동화 생산률(%) = 자동생산량/총생산량×100,
여기서 자동 생산량은 설비가 유희해지는 시점에서 일정계획 시스템에 의해서 선택된 재공이 설비

에서 공정을 시작했을 경우, 즉, 시스템에 의해서 선택, 결정된 재공이 그대로 공정이 진행된 재공량을 의미하며, 총 생산량은 시스템에 의해서 선택된 후 공정 진행된 재공과 작업자에 의해서 선택된 후 공정 진행된 총 생산량을 의미한다.

따라서, 본 연구에서는 국내 반도체 제조라인을 대상으로 실제 수행되었던 실시간 일정계획 시스템의 재구축 프로젝트를 통하여 개발되었던 대기 시간 제약과 배치 공정이 존재하는 세정과 확산으로 이루어진 연속공정의 일정계획 방법론과 개발된 방법론의 현장 적용 결과를 보여줄 것이다.

2. 문제 정의

앞서 설명한 바와 같이, 본 연구는 세정과 확산의 연속공정 구간(첫 번째 공정: 세정, 두 번째 공정: 확산)의 일정계획(스케줄링) 방법론 개발과 구현을 통한 자동화 생산물의 향상을 최종 목표로 한다. 세정과 확산으로 이루어진 연속 공정 구간은 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, 각각의 세정과 확산 공정에는 복수의 동일 설비들이 존재한다. 둘째, 첫 번째 세정 공정이 완료된 재공은 제품 타입 혹은 공정 조건(Recipe)에 따라 미리 정해져 있는 일정 시간 내에 두 번째 확산 공정을 시작해야 한다. 이는 세정 공정 이후 오랜 시간이 지남에 따라 자연산화 막이 형성되고 공기 중에 있는 먼지(Particle)가 웨이퍼(Wafer) 표면에 내려앉아 불량률을 높이는 원인이 되기 때문에 존재하는 매우 중요한 제약 조건이 된다. 셋째, 두 번째 공정인 확산 공정은 공정조건(Recipe)이 동일한 복수개의 재공을 동시에 진행할 수 있는 배치공정의 특징을 보유한다. 배치 공정만을 고려해 보았을 때 최대한 많은 재공(각 설비의 배치 사이즈만큼)을 하나의 배치로 구성한 뒤 공정을

수행하는 것이 생산성 측면에서 보다 유리하다.

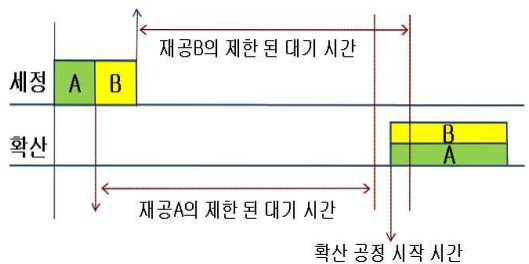
요약해 보면 세정과 확산으로 이루어진 본 연속 공정구간의 일정계획 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 1) 모든 재공은 첫 번째 공정인 세정 공정에 미리 정해지지 않은 시간에 도착한다. 즉, 모든 재공은 각각 공정을 시작할 수 있는 고유의 준비 시간을 갖고 있다. 이것은 세정 공정 이전 공정들에서 재공이 언제 완료되는지를 미리 예측하기가 어렵기 때문이다.
- 2) 어떤 공정(설비)에서도 공정이 시작된 후 본 공정(재공)이 완료되기 전 공정을 멈추고 다른 공정(재공)이 설비에 투입될 수 없다.
- 3) 생산계획 당시부터 각각의 재공은 고유의 중요도(초 긴급재공, 긴급재공, 보통재공)를 갖고 있다. 이는 고객의 중요도, 제품의 타입(테스트용 재공 및 설비 모니터링 재공 등)에 의해 결정되는 것으로 초 긴급재공은 긴급재공보다, 긴급재공은 보통 재공보다 빠른 시일 내에 모든 공정을 완료해야 하는 특징이 있다.
- 4) 각각의 모든 재공에 대해서 세정공정의 완료와 확산공정의 시작 사이에는 미리 정해진 제한된 시간이 존재하며, 그 시간은 제품의 타입에 따라 미리 공정 엔지니어들에 의해서 정해진다.
- 5) 확산공정은 미리 정해진 설비의 배치 사이즈만큼 재공들을 동시에 공정진행할 수 있는 배치 공정이다.

<그림 2 (a)>는 재공 A와 B가 각각 세정 공정을 마친 뒤, 하나의 배치로 구성되어 확산공정을 제한된 대기 시간 내에 시작한 일정계획의 한 예



<그림 2(a)> 대기계약 불만족 일정계획



<그림 2(b)> 대기계약 불만족 일정계획

이다. <그림 2 (b)>는 확산 공정의 생산성을 높이기 위해서 제공 A와 B를 하나의 배치로 구성하였지만, A제공이 확산 공정에서 많은 시간을 지체하였기 때문에 제공 A가 정해진 대기 시간을 지키지 못한 일정계획을 나타낸다.

즉, 본 일정계획 문제에서 효율적인 일정계획 알고리즘의 핵심은 다음과 같다. 세정공정의 일정계획 방법론은 확산 공정의 제공 상태를 고려하여 현 시점에서 세정공정을 시작, 완료 된 후 확산공정의 제공이 되었을 때 확산공정의 대기 제공들이 너무 많아 어쩔 수 없이 대기 시간제약을 지키지 못하는 제공이 없도록 투입제어, 즉, 공정 시작시간을 결정해야 한다.

확산공정의 일정계획 알고리즘은 세정공정의 일정계획수립 정보, 즉, 세정에서 공정 완료 후 확산공정에 도착할 제공들을 함께 고려하여 배치를 구성함으로써 확산공정의 생산성을 높여야 한다.

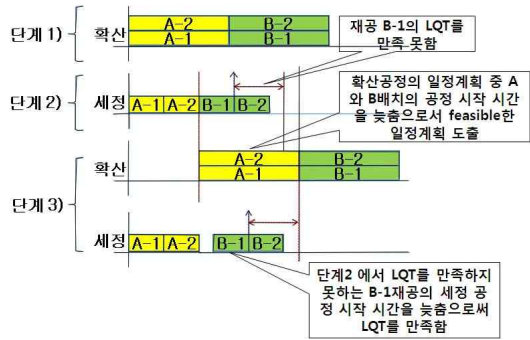
3. 일정계획 알고리즘

본 장에서는, 실제 반도체 생산라인의 세정과 확산공정을 대상으로 개발되었던 일정계획 방법론을 소개할 것이다. 개발된 일정계획 방법론의 전체적인 내용은 다음과 같다.

먼저, 확산공정의 일정계획 방법론(단계 1)에서 세정공정에서의 대기, 공정 진행 중인 제공 그리고 확산 공정에서 대기 중인 제공 모두를 고려하여 배치를 구성하고 확산공정에서의 일정계획을 수립한다. 확산공정에서는 효율적인 배치를 구성해야 하기 때문에 확산공정에 도착하지 않은 제공도 함께 고려하여 배치를 미리 구성한다. 즉, 세정공정에서 공정진행 중이거나 세정 공정에서 대기하고 있는 제공도 일정계획의 대상 제공이 된다.

다음, 확산공정의 일정계획을 참조하여 세정공정의 일정계획 알고리즘(단계 2)을 이용하여 세정공정에서의 일정계획을 수립한다. 세정공정에서는 확산공정의 일정계획 정보, 즉, 확산에서의 공정 시작 일정계획 정보를 이용하여 세정 공정의 일정계획을 수립한다. 즉, 개발된 실시간 일정계획 시스템에서는 후속 공정의 일정계획을 먼저 수립하고 선행 공정의 일정계획을 나중에 수립 하는 Backward 일정계획 수립 방법이 이용 된다.

마지막으로, 세정공정과 확산공정의 일정계획 방법론들에 의해서 수립된 일정계획을 참고하여 실행 가능(feasible)하고 제한된 대기시간을 지킬 수 있도록 수립된 일정계획을 보정(단계 3)해준다. 즉, 세정공정 일정계획 방법론에 의해서 수립된 일정계획을 세정공정에서의 공정 시작시간, 즉, 공정투입 시간을 조정하여 세정공정 완료 후 제한된 대기시간 제약을 만족할 수 있도록 보정 하는 것이고, 확산공정의 수립된 배치 일정계획 중 보정된 세정공정의 일정계획에 맞추어 일정계획을 실행



<그림 3> 세정 및 확산 공정 일정계획 방법론 및 일정계획 보정 알고리즘 수행 과정 예제

행 가능한(feasible) 일정계획으로 보정하는 작업이다.

<그림 3>은 추후 기술 될(Procedure 1~3) 세정과 확산공정의 알고리즘에 의해서 수립된 일정계획, 그리고 두 공정에 대한 서로의 일정계획을 참고하여 실행 가능(feasible)하고 제한된 대기시간을 지킬 수 있도록 일정계획을 보정해 주는 일정계획 보정 방법론의 수행 과정을 하나의 예제로 설명하는 그림이다.

실시간 일정계획 수립 시스템에 구현된 일정계획 알고리즘의 내용은 다음 장의 Procedure 1~3에 기술되어 있다.

먼저 세정과 확산의 일정계획 알고리즘을 설명하기 위한 기호들의 정의를 한다.

- A^C 현 시점에서 세정공정에서 대기하고 있는 재공들의 집합
- A^R 현 시점에서 세정공정 진행 중인 재공들의 집합
- A^D 현 시점에서 확산공정에서 대기하고 있는 재공들의 집합
- K^C 세정공정 설비들의 집합
- K^D 확산공정 설비들의 집합

- I 재공들의 색인
- B 확산공정에서 대기하고 있는 재공들에 대한 모든 공정 조건(Recipe)들의 집합
- B 확산공정에서 대기하고 있는 재공들에 대한 모든 공정 조건(Recipe)들의 색인
- k 설비들의 색인
- σ_k 설비 k 에 수립된 부분 일정계획
- $C(\sigma_k)$ 수립된 부분일정계획 σ_k 에 포함된 모든 재공의 공정완료 시간

3.1 확산공정의 일정계획 알고리즘

확산 공정의 일정계획 알고리즘에는 배치구성 방법과 구성된 배치의 공정 우선순위 결정 규칙이 포함되며 다음과 같이 본 알고리즘의 수행절차를 요약할 수 있다.

3.1.1 Procedure 1 : 확산공정 일정계획 알고리즘

- Step 1 :** 집합 L 을 집합 $A^C \cup A^R \cup A^D$ 로 정의한다.
- Step 2 :** 만약 집합 $L = \phi$ 이라면, 본 알고리즘의 수행을 종료한다. 그렇지 않다면, 집합 K^D 중 $C(\sigma_k)$ 이 가장 작은 설비(k')를 선택하고, 선택된 설비 k' 에서 공정 시작이 가능한 재공을 집합 Lk' 로 정의한다.
- Step 3 :** 만약 집합 $Lk' = \phi$ 이라면, 설비 k' 를 집합 K^D 에서 삭제한다.
- Step 4 :** 아래에 설명된 배치구성 방법론과 배치 공정 우선순위 규칙을 이용하여 배치들을 구성하고, 구성된 배치들의 집합 B 중 첫 번째 우선순위 배치(b')를 선택한다.
- Step 5 :** 설비 k' 에 선택된 배치 b' 를 할당하고, $C(\sigma_{k'})$ 를 업데이트 해준다.

Step 6 : 집합 L 에서 배치 b' 에 포함된 모든 재공을 삭제하고, Step 2로 간다.

3.1.2 배치구성 방법론

Step 1 : 다음과정(1.1~1.6)을 $|B|$ 번, 즉, 확산에서 각 공정조건(Recipe)들에 해당하는 각 배치들이 한 개씩 만들어질 때까지 ($b=1$ 부터 $b=|B|$)반복한다.

- 1.1) 집합 A^b 를 공정조건 b 를 갖고 있는 모든 재공들의 집합이라고 정의하고, 집합 A^b 에 포함된 모든 재공을 다음 규칙(1.2~1.6)에 의거하여 차례로 정렬한다.
- 1.2) A^b 에 포함된 공정진행 단계, 즉, 확산대기 재공($A^D \cap A^b$), 세정공정 진행 중인 재공($A^R \cap A^b$), 세정공정 대기 중인 재공($A^C \cap A^b$)의 순서로 정렬한다.
- 1.3) 만약, 동일진행 단계의 재공이 2개 이상일 경우, 현 시점을 기준으로 제한된 대기시간이 적게 남은 순서대로 재공을 정렬한다. 단, 세정공정의 대기 및 진행 중인 재공과 확산 공정의 대기 재공이라도 제한된 대기 시간이 없는 공정조건의 제한된 대기 시간의 남은 시간을 무한대로 정의한다.
- 1.4) 제한된 대기시간의 기준으로 동일한 조건의 재공이 2개 이상일 경우, 재공의 속성, 즉, 초 긴급재공, 긴급재공, 보통재공의 순서로 정렬한다.
- 1.5) 재공의 속성 기준으로 동일한 조건의 재공이 2개 이상일 경우, 임의의 순서대로 정렬한다.
- 1.6) 이렇게 정렬된 재공의 집합을 A^{b*} 으로 정의한다.

1.7) 집합 A^{b*} 의 재공들을 Procedure 1에서 선택된 설비 k 의 배치크기 만큼 선택하여 배치를 구성한다.

Step 2 : Step 1에서 만들어진 배치들의 집합을 집합 B^* 로 정의한다.

3.1.3 배치 우선순위 규칙

Step 1 : 집합 B^* 의 각 배치들 중 현 시점을 기준으로 제한된 대기시간이 가장 적게 남은 재공을 포함하고 있는 배치를 선택한다.

Step 2 : Step 1에 의해서 선택된 배치가 없거나 두 개 이상일 경우에는 배치의 크기(포함된 재공의 수)가 가장 큰 배치를 선택한다. 그렇지 않다면, 본 규칙의 수행을 종료한다.

Step 3 : Step 2에 의해서 선택된 배치가 없거나 두 개 이상일 경우에는 초 긴급재공이 포함된 배치를 선택한다. 그렇지 않다면, 본 규칙의 수행을 종료한다.

Step 4 : Step 3에 의해서 선택된 배치가 없거나 두 개 이상일 경우에는 긴급재공이 포함된 배치를 선택한다. 그렇지 않다면, 본 규칙의 수행을 종료한다.

Step 5 : Step 4에 의해서 선택된 배치가 없거나 두 개 이상일 경우에는 보통재공이 포함된 배치를 선택한다. 그렇지 않다면, 본 규칙의 수행을 종료한다.

Step 6 : Step 3에 의해서 선택된 배치가 없거나 두 개 이상일 경우에는 임의의 배치를 선택한 후 본 규칙의 수행을 종료한다.

3.2 세정공정의 일정계획 알고리즘

세정 공정의 일정계획 알고리즘 다음과 같이 요약할 수 있다. 여기서, S_i 는 Procedure 1에서 설명했던 확산공정 일정계획 알고리즘에 의해 수립된 세정공정에서 대기 중인 재공 $i(\in A^C)$ 의 확산공정에서의 공정 시작시간을 의미한다.

3.2.1 Procedure 2 : 세정공정 일정계획 알고리즘

- Step 1 :** 집합 L 을 집합 A^C 로 정의한다.
- Step 2 :** 약 집합 $L = \phi$ 이라면, 본 알고리즘의 수행을 종료한다. 그렇지 않다면, 집합 K^C 중 $C(\sigma_k)$ 이 가장 작은 세정 설비(k')를 선택하고, 선택된 세정 설비 k' 에서 공정 시작이 가능한 재공을 집합 $L^{k'}$ 로 정의한다.
- Step 3 :** 만약 집합 $L^{k'} = \phi$ 이라면, 세정 설비 k' 를 집합 K^C 에서 삭제한다.
- Step 4 :** 집합 $L^{k'}$ 속한 재공 중 확산공정에서 공정시작시간이 가장 빠른(S_i 값이 가장 작은)재공 i 를 선택한다. 만약, 확산에서 가장 빠른 공정 시작시간에 해당하는 재공이 두 개 이상 존재한다면, 임의로 선택한다.
- Step 5 :** 설비 k' 에 선택된 재공 i 를 할당하고, $C(\sigma_{k'})$ 를 업데이트 해준다.
- Step 6 :** 집합 L 에서 재공 i 를 삭제하고, Step 2로 간다.

3.3 일정계획 보정 알고리즘

3.1과 3.2에서 설명한 확산과 세정공정의 일정계획 방법론에 의해 수립된 일정계획은 세정과 확

산공정들에서 공정 시작시간에 대한 보정을 거쳐야 한다. 세정 공정이 실제의 선행공정이지만, 효율적인 배치 구성을 위해서 확산공정의 일정계획을 먼저 수립하고, 그 정보를 세정공정 일정계획 방법론에서 이용하여 세정공정의 일정계획을 수립하였기 때문이다. 일정계획 보정 방법론은 다음과 같이 요약 된다(<그림 3> 참조).

3.3.1 Procedure 3 : 일정계획 보정 알고리즘

- Step 1 :** 확산공정의 수립된 배치들의 일정계획 중에서 확산공정의 시작시간이 세정공정에서의 완료 시간보다 빠른 실행 불가능(infeasible)한 재공을 포함하고 있는 배치들은 확산공정의 공정 시작시간을 세정공정에서의 완료시간 만큼 지연시킨다.
- Step 2 :** 세정공정에서 완료된 시간으로부터 확산공정에서의 공정 시작시간의 차이가 제한된 대기 시간을 초과하는 재공은 제한된 대기 시간이 초과되지 않도록 세정공정에서의 공정시작시간을 지연시킨다.
- Step 3 :** Step 1과 Step 2를 모든 재공에 대해서 실행가능(feasible)하고 제한된 대기 시간 조건을 지킬 수 있는 일정계획을 수립할 수 있도록 반복한다.

4. 구현 및 결과

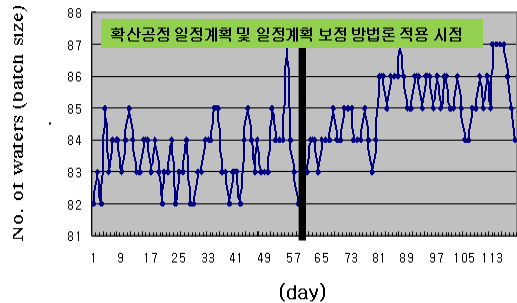
앞서 기술된 일정계획 방법론들은 실시간 일정계획 시스템에 성공적으로 구현 되었다. 세정과 확산의 연속공정 구간에서의 자동화 생산률은 <그림 4>에서 보는 바와 같이 각각 새로 개발된 일



<그림 4> 일정계획 방법론 적용 후 자동화 생산률

정계획 알고리즘이 구현 되는 시점을 기준으로 많은 향상을 보였다. 자동화 생산률이 100%에 미치지 못하는 이유는 배치공정 특성과 제한된 대기시간 제약 이외에도 모니터링 제공, 설비 PM, 설비 Down 등 다양하게 고려해야 되는 현상들을 100% 반영하지 못하였기 때문이지만, 본 프로젝트의 초기 자동화 생산률이 세정과 확산에서 각각 50%와 10%였다는 것을 감안하면 91%와 83% 정도까지 자동화 생산률이 올라간 결과에 대해서는 본 프로젝트가 수행된 반도체 회사에서도 매우 성공적인 사례로 평가 받았다. 개발된 일정계획 방법론들은 세정공정 일정계획 방법론이 1차로 가장 먼저 구현, 적용되었으며, 확산공정 일정계획 방법론과 일정계획 보정 방법론은 2차로 구현, 적용되었다.

한편, <그림 5>는 하루 평균 확산공정에서 진행된 배치들의 평균 크기(배치에 포함되어 있는 총 웨이퍼의 수, 제공한 개에는 보통 25매의 웨이퍼가 포함되어 있음, 즉, 배치사이즈가 2인 경우 50매의 웨이퍼가 존재)를 보여준다. 그림에서와 같이 확산공정의 일정계획 방법론이 구현된 시점을 기준으로 진행된 배치들의 평균 크기가 증가하는 추세를 확인할 수 있었다. 이는 확산공정 설비의 생산성이 늘어남을 의미하는 것이다.



<그림 5> 확산공정 평균 배치 크기

5. 결론

본 연구의 대상이 된 반도체 제조 라인 뿐 아니라, 모든 제조라인에서 효율적인 일정계획 방법론은 자동화 생산 시스템을 구현하는데 반드시 필요한 부분이다. 자동화 생산 시스템은 인건비와 같은 직접 운영비를 줄이고, 지속적이고 안정된 생산 전략을 수립하는데 필수적인 요소이다.

본 연구는 국내의 실제 300mm 웨이퍼 반도체 제조 라인에서 제한된 대기시간 제약과 배치공정의 특성이 존재하는 세정과 확산으로 이루어진 연속 공정 구간을 대상으로 효율적인 일정계획 방법론을 개발하고 그것의 구현과 효과에 관한 내용을 다루었다. 개발된 일정계획 방법론은 실제 반도체 라인에 구현되었으며, 자동화 생산률을 현저히 상승시키는 효과를 거두었다.

참고문헌

Duenyas, I., J. W. Fowler, and L. W. Schruben, "Planning and scheduling in Japanese semiconductor manufacturing", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.13, 1994, 323~332.
 Fowler, J., G. L. Hogg, and D. T. Phillips, "Con-

- trol of multiproduct bulk service diffusion/oxidation processes”, *IIE Transactions*, Vol. 24(1992), 84~96.
- Glassey, C. R. and M. C. G. Resende, “A scheduling rule for job release in semiconductor fabrication”, *Operations Research Letters*, Vol.7(1988), 213~217.
- Glassey, C. R. and W. W. Weng, “Dynamic batching heuristic for simultaneous processing,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol.4(1991), 77~82.
- Graves, S. C., H. C. Meal, D. Stefek, and A. H. Zeghmi, “Scheduling of re-entrant flow shops”, *Journal of Operations Management*, Vol.3(1983), 1438~1483.
- Kim, Y-D., D-H. Lee, and J-U. Kim, “A simulation study on lot release control, mask scheduling, and batch scheduling in semiconductor wafer fabrication facilities”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.17(1998a), 107~117.
- Kim, Y-D., J-U. Kim, S-K. Lim, and H-B. Jun, “Due-date based scheduling and control policies in a multiproduct semiconductor wafer fabrication facility”, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol.11(1998b), 155~164.
- Lee, Y. H., K. Bhaskaran, and M. Pinedo, “A heuristic to minimize the total weighted tardiness with sequence-dependent setups”, *IIE Transaction*, Vol.29(1997), 45-52.
- Lin, J. T., F. K. Wang, and P. C. Kuo, “A parameterized-dispatching rule for a logic IC sort in a wafer fabrication”, *Production Planning and Control*, Vol.16(2005), 426~436.
- Lou, S. X. C. and P. W. Karger, “A robust production control policy for VLSI wafer fabrication,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol.2(1989), 159~164.
- Min, H. S. and Y. Yih, “Selection of dispatching rules on multiple dispatching decision points in real-time scheduling of a semiconductor wafer fabrication system”, *International Journal of Production Research*, Vol.42(2003), 3932~3941.
- Robinson, J. K., J. W. Fowler, and J. F. Bard, “Use of upstream and downstream information in scheduling semiconductor batch operations”, *International Journal of Production Research*, Vol.33(1995), 1849~1869.
- Uzsoy, R., C. Y. Lee, and L. A. Martian-Vega, “A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry. Part II : Shop-floor control”, *IIE Transaction*, Vol.26(1994), 44~55.
- Yoon, H. J. and D. Y. Lee, “Deadlock-free scheduling of photolithography equipment in semiconductor fabrication”, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol.17(2004), 42~54.
- Wein, L. M., “Scheduling semiconductor wafer fabrication”, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol.1(1988), 115~130.

Abstract

Real-Time Scheduling System Re-Construction for Automated Manufacturing in a Korean 300mm Wafer Fab

Seong-Woo Choi* · Jung-Seung Lee*

This paper describes a real-time scheduling system re-construction project for automated manufacturing at a 300mm wafer fab of Korean semiconductor manufacturing company. During executing this project, for each main operation such as clean, diffusion, deposition, photolithography, and metallization, each adopted scheduling algorithm was developed, and then those were implemented in a real-time scheduling system. In this paper, we focus on the scheduling algorithms and real-time scheduling system for clean and diffusion operations, that is, a serial-process block with the constraint of limited queue time and batch processors. After this project was completed, the automated manufacturing utilizations of clean and diffusion operations became around 91% and 83% respectively, which were about 50% and 10% at the beginning of this project. The automated manufacturing system reduces direct operating costs, increased throughput on the equipments, and suggests continuous and uninterrupted processings.

Key Words : Automated Manufacturing, Real-Time Scheduling System, Clean, Diffusion, Limited Queue Time, Batch Processor

* Department of Business Administration, Hoseo University

저자 소개



최성우

현재 호서대학교 경영학과 전임강사로 재직 중이다. KAIST 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하였으며, 삼성전자 반도체 사업부의 300mm Wafer FAB 라인에서 생산관리 및 품질관리 시스템 개발을 담당한 경력이 있다. 주요 관심 분야는 생산 시스템 최적화, 특히 scheduling algorithm 이론 및 응용이며, 생산 및 품질관리에 대한 관심도 가지고 있다.



이정승

현재 호서대학교 경영학과 전임강사로 재직 중이다. KAIST 경영과학과에서 학사 및 석사, 동대학원 경영대학에서 경영공학전공으로 박사학위를 취득하였다. SNS 사이트 올드보이(oldboy.co.kr)와 재무컨설팅사이트 베스트머니(bestmoney.co.kr)를 창업하였고, KAIST EEWS 기획단에서 Post Doc.으로 근무하며 에너지, 환경 연구기획업무를 담당했다. 주요 관심분야는 Supply Chain Planning and Scheduling, Software Agent

활용, Media Contents Management 등이다.

