

## 반도체산업의 SCM 모델링 SCM Modeling for the Semiconductor Industry

이영훈, 김경훈

연세대학교 산업시스템공학과

서울시 서대문구 신촌동 134

[youngh@yonsei.ac.kr](mailto:youngh@yonsei.ac.kr), [carepree@chollian.net](mailto:carepree@chollian.net)

### Abstract

SCM(Supply Chain Management)는 생산의 전후방 프로세스를 하나의 일관된 프로세스로 보고 통합된 관리를 통하여 고객만족을 달성하려는 새로운 흐름이다. 반도체 산업은 생산프로세스가 타 산업보다 복잡하고 사이클 타임이 길며 또한 생산과정도 다른 여러 프로세스의 연결과정으로 구성되어 타 산업의 SCM 모델링과 다르게 정의 되어야 한다. 본 연구에서는 주문침투점을 기준으로 반도체 Push 형 SCM 모델과 Pull 형 SCM 모델로 구분하여 각각에 대한 수리적 모형을 제시함으로써 생산에서 1 차 소비자까지의 SCM 네트워크에 대한 정형화를 시도하였다. Push 형 모델에서는 생산량 극대화를, Pull 형 모델에서는 납기만족을 전제로한 이익의 최대화를 목표로 한다.

### 1. 서론

SCM(Supply Chain Management)는 생산의 전후방 프로세스를 하나의 일관된 프로세스로 보고 통합된 관리를 통하여 고객만족을 달성하려는 새로운 흐름이다. 정보기술의 발달과 함께 생산 프로세스에 대한 관리는 비약적으로 발전하여 실시간으로 생산현황을 파악하여 상황변화에 따른 적절한 대처를 하고 있고 정기적으로 생산에 관련된 데이터를 분석하여 생산성을 향상시키려는 많은 노력이 추구하고 있다. 또한 정보기술에 기초한 구매 프로세스나 분배 프로세스, 수배송에 관련된 프로세스 등의 효율적인 관리로 인해 비즈니스 프로세스 전체에 대한 생산성이 향상되고 있다. 대부분의 산업에서 비즈니스 환경은 글로벌화되고 있으며 생산, 구매, 분배 등 최종소비자까지의 전체 프로세스는 복잡한 네트워크상에서 실현되고 있어 이에 대한 종합적이며 일관된 관리의 요구는 더욱 커지고 있고 이로 인하여 SCM에 대한 관심이 커지고 있다.

SCM에 관한 연구는 크게 두 가지로 분류할 수 있는데 첫째는 공급사슬(Supply Chain)을 최종제품의 생산을 위한 단일부품, 시스템 부품, 원자재 등의 공급 기업들과의 관계를 중심으로 파악하는 경우이고 둘째는 원자재로부터 최종제품에 이르기까지의 물적흐름에 초점을 두고 정의하는 경우이다 [1]. 본 연구는 두 번째 관점에서 공급사슬을 관찰하되 대상은 반도체 산업이다. 반도체 산업은 고부가가치인 첨단 산업일 뿐만 아니라 공급사슬의 환경이 그 어느 산업보다 글로벌화되어 있는 반면 대부분의 조립산업과는 생산의 형태와 환경이 다르기 때문에 그 동안의 SCM에 관한 연구에서 깊게 다루어지고 있지 못하였다. 반도체산업의 원자재는 웨이퍼로서 국내생산 또는 해외수입으로 충당하고 있으며 공급사슬의 물량이동 관점에서 큰 어려움이

없다. 또한 기타 필요한 다른 종류의 원자재도 공급상 큰 어려움은 없다. 반도체 산업의 공급사슬에서 가장 중요한 경쟁우선순위는 최종 제품인 반도체 칩의 성능과 가격, 납기 내 배달이다. 국내업체의 주생산품인 메모리 반도체의 경우 일본과 대만, 미국 등지의 업체와 경쟁하고 있으며 생산 능력면에서 우위를 점하고 있다. 그러나 반도체의 성격상 제품자체가 표준화 되어 있어 주어진 성능의 제품이 주어진 기간 내에 공급이 되지 않을 경우 손쉽게 거래선을 바꿀 수 있고 이로 인한 판매경쟁은 더욱 심해지고 있다. 다른 산업의 제품보다 일반적으로 생산지와 공급지가 거리상으로 격리되어 있으며 생산에 소요되는 사이클타임이 최저 60 일에서 120 여일 이상 되고 있어 생산의 시작에서 최종소비자까지 전달되는 과정의 전체 공급사슬에 대한 효율적 관리가 경쟁력을 결정하고 있는 상황이다. 본 연구에서는 위와 같은 환경하에서 반도체산업의 SCM 모델링을 제시하고자 한다.

### 2. 기존연구

반도체 생산관리에 대한 연구는 Wein[2]과 Glassey and Resende[3]에 의해서 본격적으로 시작되었다. Wein은 반도체 생산과정 중에서 가장 복잡한 Fabrication 공정에 대해 Bottleneck을 관리함으로써 평균 생산주기를 단축하기 위하여 Workload Regulating Input 투입규칙을 제시하였고 Glassey and Resende[3]는 Bottleneck 설비이용을 극대화하는 Starvation Avoidance Input 투입규칙을 제시하였다. 이 외에도 Fabrication 생산과정의 효율화를 통하여 생산성을 높이려는 많은 시도가 있었고 이에 대한 광범위한 문헌조사[4,5]도 보고되었다. 최종제품이 소비자에게 만족스럽게 전달되게 하기 위해 생산공기를 단축하고 이를 위해 재공을 줄이고자 하는 시도가 반

도체 생산업체 내부적으로 많이 추진되었다. 그러나 대부분의 보고된 사례는 생산공기의 대부분을 차지하는 Fabrication 에 국한되고 있어 Back-End 나 분배, 수배송에 관련된 전체 공급사슬 네트워크에 대한 분석이 보고된 사례는 없었다. 학문적인 시도가 정보기술의 힘을 빌어 정보시스템화되고 이를 실제 반도체 생산관리에 적용하여 공급사슬측면에서 큰 성과를 얻은 사례로는 미국 Harris 반도체 회사의 경우를 들 수 있다[6]. Harris 반도체 회사는 미국의 여러 곳에 Fabrication 공장과 조립 및 테스트 공장이 분산되어 있는 가운데 1990년 RCA 와 GE 로부터 공장을 매입하여 확장을 추진하면서 반도체 산업에서 매우 중요한 납기만족도(On-Time-Delivery)가 70%이하라는 사실을 인식하고 근본적인 해결책을 추진하였다. 당시 버클리에 있는 캘리포니아 대학에서 이론적인 모델로 정립되어 학술적인 수준의 프로그램까지 개발되었던 BPS(Berkeley Planning System)를 구입, 전사적으로 적용하는 프로젝트를 추진하면서 시스템구동을 위한 데이터 베이스의 재구축, 관련정보의 보완의 과정을 거쳐 IMPReSS 라는 생산관리를 종합시스템을 완성하고 적용하기 시작했다. BPS 는 MRP 와 LP(Linear Programming)라는 최적화 기법을 사용하여 수주와 예측생산량을 적절하게 생산과정에 분배함으로써 납기만족도를 제고시키고 병목설비의 가동률을 높임으로써 생산비용의 절감의 효과를 가져올 수 있도록 하였다. 무엇보다도 Harris 반도체는 IMPReSS 의 적용과 여러 차례의 Upgrade 를 통하여 1994년 이후로 95%이상의 납기만족도를 달성하였다. BPS 모델은 기존의 Fabrication 이나 Back-End 공정만의 부분적인 모델과 비교하여 생산의 전 공정에 대한 통합적인 접근으로 공급사슬의 효율성 측면에서 큰 효과를 거둘 수 있었다고 판단된다.

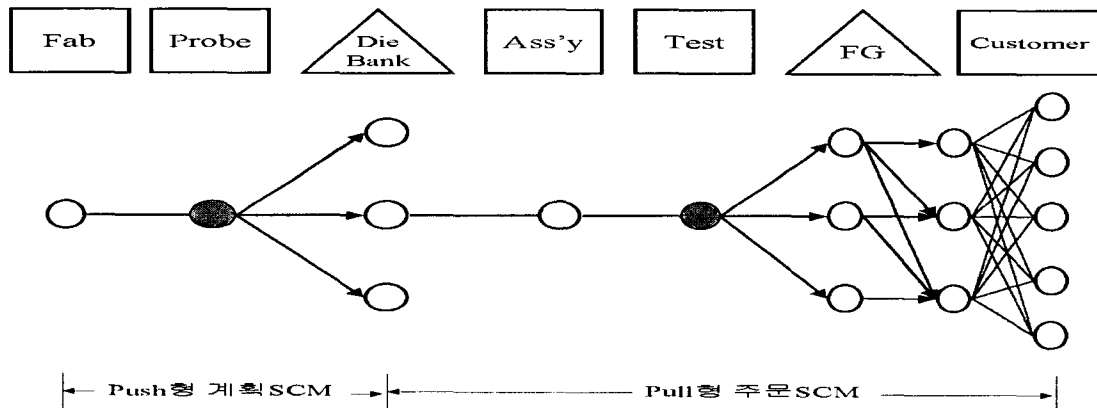
반도체산업의 SCM 네트워크는 Multi-Site 의 공장뿐 아니라 다수의 창고와 분배센터 등으로 구성되어 대부분 전세계적으로 흩어져 있다. 따라서 생산과정에 국한된 모델과 이에 대한 분석으로는 SCM 의 최종목적을 달성하는 데에는 한계가 있다. Ovacik and Weng[7]은 생산공기를 줄이고 고객만족을 높은 수준으로 달성하기 위한 계획 프로세스를 3 단계로 제시했다. 첫째는 분배계획으로 생산능력과 생산공기 및 수요예측을 전제로 제품의 실제수

요 및 예측수요를 만족할 수 있는 통합계획을 세우고 둘째, 분배계획을 기준으로 Site 별 제조생산계획을 세우되 Front-End 에서는 생산량을 최대화하거나 제조공기를 최소화하는 계획생산에 대한 계획을 세우며 Back-End 에서는 수주생산 프로세스와 비슷하게 주어진 Die Bank 재고와 납기스케줄에 따라 납기만족을 최대화하는 생산계획을 세운다. 마지막으로 주문약속(Order Promising)에 대한 계획으로 주어진 생산공기와 납기를 기준으로 제품에 대한 사전할당을 하고 이를 근거로 고객의 주문의 접수 또는 거절의 과정을 진행할 수 있다. 이 세 과정은 서로 독립적인 프로세스로 정기적인 상호 데이터의 Update 과정을 통해 효율적으로 운영할 수 있지만 공급사슬전체의 최적화를 추구하기보다는 실행의 편의성 위주로 정의한 모델이다.

실질적인 Global SCM 모델은 원자재의 공급자로부터 시작하여 반도체 제조공장에서 제품이 생산되고 창고와 분배센터를 거쳐 컴퓨터 생산업체 또는 판매자 등의 최종소비자까지의 전체 공급사슬에 대한 네트워크를 포함하고 있어야 한다. 그러나 이에 대한 전체 공급사슬에 대한 분석은 하나의 기업 내의 문제가 아니며 다기업 모델에서의 데이터의 정합성, 통합목적함수의 비현실적인 의미 등과 같은 많은 기술적인 제약을 가지고 있다. 따라서 대부분 반도체 제조공장을 중심으로 원자재의 일차적인 공급자와 제품의 직접소비자인 일차 소비자까지의 네트워크만을 고려한 SCM 모델이 논의 및 연구의 대상이 되고 있다.

### 3. 반도체 SCM 모델

반도체 생산관리의 어려움은 반도체 제조과정에서 Fabrication 공정의 반복성(Cycling)외에도 Binning 과 대체(Substitution)[8]의 특성에 기인한다. Binning 은 생산하고자 하는 특성만을 소유한 제품과 아울러 다른 특성을 가진 제품도 동시에 확률적으로 생산되는 특성을 말하며 대체라 함은 확률적으로 생산된 제품을 전체의 최적화를 위해서는 상위 제품보다 하위 제품과 동등한 가격으로 판매될 수 있음을 말한다. 고객만족과 이익의 최대화라는 목적을 동시에 달성하기 위해서는 이러한 반도체의 특성을 포함한 모델링이 필요하다. 이익의 최



<그림 1> 반도체 SCM 모델

대화는 생산량의 극대화 또는 가동률의 최대화를 추구하게 되고 고객만족은 주어진 주문을 납기내에 공급하는 제품의 수를 극대화하거나 지연도를 최소화하는 관리를 추구하게 된다. 반도체 산업에서 최종제품의 산출지점에서는 주문에 의한 Pull 형태의 관리가 이루어지고 있으며 원자재 웨이퍼의 투입이 이루어지는 Fabrication 공정에서는 생산량 극대화를 추구하는 Push 형태의 관리가 이루어진다. 이와 같이 Push 와 Pull 방식이 만나는 지점을 주문침투점(Decoupling Point, Push-Pull Point)[9]라고 하는데 대체로 EDS가 끝나서 웨이퍼가 Cutting 되어 Die 형태가 되고 재공형태로 쌓여 있게 되는 Die Bank가 주문침투점이 된다. 특히 Die Bank 이후에 주로 Binning과 대체현상이 발생하여 이는 주문과 연관되어 관리되는 것이 편리하기 때문에 Die Bank가 주문침투점이 되는 것이 적절하다. 이를 기준으로 하여 원자재가 투입되어 Die 생산까지의 Push 모델과 Die Bank 이후 조립, 테스트, 모듈과정 및 1차 직접소비자까지의 Pull 모델의 조합으로 반도체 SCM 모델을 정의하고자 한다. 주문 침투점에 대한 정의는 전혀 새로운 것이 아니며 실제 반도체 업계에서도 이를 중심으로 관리하고 있으나 이를 근거로 하여 SCM 모델을 정의한 사례는 아직까지 보고되고 있지 못하다. 반도체 생산의 특성을 가장 적절하게 수리화한 BPS 모델에서는 Die Bank를 기준으로 Front-End와 Back-End로 구분하여 주문과 예측을 기준으로 Back-End의 생산량을 결정한 후 이를 Front-End의 생산으로 환산하고 생산능력에 적절하게 할당하는 과정을 통해 최적화를 추구하였다. 그러나 실제 반도체 생산현장에서는 Front-End와 Back-End의 관리의 문화가 전혀 다르고 공장의 위치가 다르거나 회사까지 다른 경우가 많다. 따라서 Back-End에서 취합된 주문 및 예측량에 근거한 생산목표가 Front-End로 전달되어 생산의 기준이 되기에는 어려움이 많다. 단적으로 Front-End는 설비투자에 압박으로 설비의 가동률을 최대화하고 생산량을 최대화하고자 하는 Push의 관리 방식이 더 유효하다. 특히 60일 이상의 긴 생산공기로 인해 Front-End에서의 생산품목이 시시각각으로 변하기보다는 일정한 기간내 생산해야 할 품목과 양이 결정되어 있는 때문이다.

### 3.1 반도체 Push 형 SCM 모델

원자재 투입에서 주문침투점 Die Bank까지의 Push형 전반부부분까지는 계획생산의 형태를 취하고 있다. 제품은 동종 또는 비슷한 형태의 종류별로 구분하여 각각에 대해 목표를 정하되 수주와 예측의 자료를 기초로 하여 전반부의 고가 장비를 기준으로 최대 생산량을 산출할 수 있도록 정한다. 전반부 Push 형태의 모델에 대한 Formulation은 <그림 2>와 같다.

여기서  $i$ 는 제품의 종류를,  $j$ 는 각 제품의 중요관리포인트를 나타내며 보통 Bottleneck에 해당하고 반도체 Fabrication의 경우 사진공정이 이에 해당한다. 예를 들면 20 Layer의 제품인 경우 각 Layer의 사진공정마다 관리하고 또한 EDS 공정 중에서 1-2개의 공정을 정할 수 있다.  $k$ 는 중요관리포인트에 해당하는 설비를 나타내고  $t$ 는 관리하고자 하는 시간대로 보통 Shift 또는 Day를 나타낸다. 결정변수는  $X(i,j,k,t)$ 로서 작업량을 나타내며 이 값에 중요도  $W(i,j)$ 를 곱하여 총합한 값을 최대화 한

$$\text{Max} \sum_{i,j,k,t} W(i,j,t) \times X(i,j,k,t)$$

s.t.

$$WIP(i,j,t) = WIP(i,j,t-1) - \sum_k X(i,j,k,t) +$$

$$\sum_k X(i,j-1,k,t) \quad \forall i,j,t$$

$$\sum_k X(i,j,k,t) \leq WIP(i,j,t) \quad \forall i,j,t$$

$$\sum_{i,j} X(i,j,k,t) \times STD(i,j,k) \leq WT \quad \forall k,t$$

$$W(i,j,t), WIP(i,j,t), X(i,j,k,t) \geq 0 \quad \forall i,j,k,t$$

<그림 2> 전반부 Push 형태의 모델에 대한 식

다. 첫번째 식은 작업량이동에 따른 재공의 변화를 나타내며 두번째 식은 작업량이 재공량을 넘지 못하는 제약식을 나타내고 세번째 식은 작업시간 제약조건을 나타낸다. STD는 제품의 설비별 필요작업시간을 나타내고 WT는 시간대별 작업시간을 나타낸다.

### 3.2 반도체 Pull 형 SCM 모델

주문 침투점에서 최종제품의 1차 소비자까지의 SCM 네트워크상에서의 물류흐름은 최소의 비용으로 주문을 최적으로 만족시키는 것이 목표이다 이는 주문이 요청되었을 때 배달 가능 납기를 적절하게 제시할 수 있어야 하고 생산과 배송의 단계에서는 이를 최대한 만족시킬 수 있어야 한다. 따라서 납기회신의 프로세스와 이를 대처하는 프로세스는 서로 긴밀하게 연관되어 있다. 납기요청은 실시간으로 접수되는 Event로서 그 때마다 생산과 배송의 프로세스를 다시 계산 응답하는 것은 효율적이지도 않으며 가능하지도 않다. 따라서 납기회신의 프로세스는 이를 대응하는 생산배송 프로세스와 구별하여 모델링 및 운영하는 것이 바람직하다. 반도체 생산의 주문 침투점에서 최종제품 생산까지의 대체적인 생산공기는 4-5일이며 배송은 또한 4-5일 수준이다. 납기회신은 후반부분의 현재 재공과 Die Bank의 재공 및 전반부분의 향후 생산계획을 근거로 기계적으로 할당하며 누적된 주문의 합은 후반부분의 생산의 기준이 된다. 특이한 점은 반도체의 최종제품을 필요로 하는 고객은 주로 컴퓨터 조립업체인데 비록 전세계적으로 흩어져 있어도 항공으로 배송되기 때문에 이에 소요되는 운송비용은 SCM 모델링에 포함되어 계산이 되어야 할 만큼 큰 차이가 있지 않다는 점이다. 주문의 접수가 생산라인의 능력 한계내에서 이루어졌다면 모든 주문이 이론상으로 납기내에 배송될 수 있다고 생각할 수 있다. 따라서 목적함수는 큰 편차가 없는 부분은 무시하고 납기회신된 주문에 대한 생산량을 기준으로 발생하는 전체 이익을 최대화하고자 한다. 후반부 Pull 형태의 모델에 대한 Formulation은 <그림 3>과 같다.

여기서  $i$ 는 제품의 종류를 나타내며 최종제품으로서 관리되는 모든 제품을 나타내며  $b$ 는 Binning의 결과로 나타나는 등급을,  $c$ 는 관리되는

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{i,b,c,t} C(i,b,c,t) \times Y(i,b,c,t) \\ & \text{s.t.} \\ & X(i,c,t) \times \sum_{b \geq b} g(i,b') \geq \sum_{b \geq b} Y(i,b',c,t) \quad \forall i,c,t \\ & Y(i,b,c,t - t(c)) \geq d(i,b,c,t) \quad \forall i,b,c,t \\ & \sum_i X(i,c,t) \times STD(i) \leq WT \quad \forall c,t \\ & X(i,c,t), Y(i,b,c,t) \geq 0 \quad \forall i,c,b,t \end{aligned}$$

<그림 3> 후반부 Pull 형태의 모델에 대한 식

고객 측 배송되는 최종소비자를 나타내고  $t$ 는 시간을 나타낸다. 위에서 언급한 바와 같이 최종제품이 생산된 후 고객에게 배송되는데 소요되는 시간을 생산지와 고객의 함수로 보고  $t(c)$ 라고 정의한다.  $X(i,c,t)$ 는 제품  $i$ 의 고객  $c$ 에게 배송되기 위해 기간  $t$ 에 생산되어야 할 양을 나타내며  $Y(i,b,c,t)$ 는  $X(i,c,t)$ 중에서 등급  $b$ 로 판매되는 양을 나타낸다. 여기서 등급  $b$ 로 판매된다는 의미는 그 이상의 등급의 제품도 경우에 따라서는 등급  $b$ 로 판매될 수 있으며 이는 위에서 설명한 대체의 과정을 포함시키기 위함이다. 제품별로 일정한 등급의 제품이 생산되는 비율은 과거의 데이터를 기준으로 이미 알려져 있다고 가정하고 이를  $g(i,b)$ 로 표시한다.  $STD(i)$ 는 후반공정 중에서 병목으로 알려진 공정을 선택하여 제품  $i$ 를 생산하는데 소요되는 시간을 나타내고 병목공정이 하나 이상이면 병목공정마다 이를 정의하여 제약조건으로 추가하면 된다.  $C(i,b,c,t)$ 는 이익을 나타내며  $d(i,b,c,t)$ 는 주문량을 나타낸다. 제약식 중에서 첫번째 식은 대체과정에 대한 제약식이고 두번째 식은 납기 최신한 주문량 만족에 대한 제약식이며 세번째 식은 병목공정의 생산능력에 대한 제약식이다.

위에서 정의한 반도체 Push 형 모델과 Pull 형 모델은 반도체의 특성을 고려하여 적절한 주문 침투점을 정의하고 이를 근거로 모형화한 것이나 이를 효율적으로 운영하기 위한 고려사항이 있다. 전반부의 Push 형 모델에서는 원자재의 수급에 대한 사항을 전혀 고려하지 않았는데 이는 반도체의 원자재 수급과정이 비교적 단순하고 SCM 네트워크상에서 핵심의사결정과정에 큰 영향을 주지 않기 때문이다. 이는 Push 형 모델의 생산목표가 정해지면 이를 달성하기 위한 원자재 수급과정을 전통적 MRP을 이용하여 해결할 수 있다는 가정에 기초하고 있다. Pull 형 모델에서 납기회신에 대한 내용은 수학적 모델하에서 해결하기 보다는 일반적인 정책을 세우고 기계적으로 해결할 수 있는 문제이며 실제로 이 기능을 제공하는 보편적인 ERP 시스템이 많이 보급되고 있어 어렵지 않게 해결될 수 있다. 다만 납기회신의 결과는 Pull 형 모델의 가장 기본적인 데이터를 제공하고 있어 생산능력 범위 내에서 정확하게 제공되어야 한다. 본 모델은 최종제품이 생산되는 공장이 하나라는 가정하에서 정의되었는데 이는 대체적으로 조립과 테스트과정이 하나의 사이트에서 진행되기도 하고 비록 여러 개의 공장이라 해도 하나의 조직 내에서 관리되고 있음을 반영한다. 비록 지리적으로 또는 조직적으로 여러 개

의 최종제품 생산지가 있다면 인덱스를 첨가하여 위의 모델을 쉽게 확장할 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 반도체산업에 대한 SCM 모델링과정을 제시하였다. 반도체 산업은 생산과정이 어느 산업보다 복잡하여 생산 과정 자체에 대한 연구는 활발하지만 고객과 연결된 SCM 모델에 대한 연구는 많이 발표되지 못하고 있다. 위의 모델은 원자재부터 고객까지의 프로세스를 주문 침투점을 기준으로 2 단계로 나누어 Push 형 모델과 Pull 형 모델로 제시하였으나 최대한 단순화하여 적용가능성에 초점을 두었다. 반도체 산업의 실제현장의 상황은 이보다 훨씬 복잡하여 위의 모델에 많은 부분이 추가되어야 할 것으로 본다. 위에서 제시한 수리적 모델의 타당성 검증 과정 또한 쉽지 않을 것으로 판단된다. 이는 반도체 업체의 실 데이터의 제공 및 많은 과정의 실험이 따라야 할 것이며 이는 본 논문의 향후 과제가 될 것이다.

#### 【참고 문헌】

- [1] 안병훈, 이승규, 정희돈, 안현수, “공급사슬관리의 전략적 과제에 대한 탐색적 연구”, 경영과학, 14 권, 1호, pp.151~176, 1997.
- [2] Wein, L.M., “Scheduling Semiconductor Wafer Fabrication”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 3, No. 1, pp.115~129, 1988.
- [3] Glassey, C.R., and Resende, M.G.C., “A Scheduling Rule for Job Release in Semiconductor Fabrication”, Operations Research Letters, No. 7, pp.213~217, 1988.
- [4] Uzsoy, R., Lee, C.Y., and Martin-Vega, L.A., “A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry, Part I: System Characteristics, Performance Evaluation, and Production Planning”, IEE Transactions, Vol. 4, No. 24, pp.47~60, 1992.
- [5] Uzsoy, R., Lee, C.Y., and Martin-Vega, L.A., “A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry, Part II: Shop-Floor Control”, IEE Transactions, Vol. 5, No. 26, pp.44~55, 1994.
- [6] S. Murty and J. Bienvenu, “Global Planning at Harris Semiconductor”, International Symposium on Semiconductor Manufacturing, pp.18~23, 1995.
- [7] I. Ovacik and W. Weng, “Framework for Supply Chain Management in Semiconductor Manufacturing Industry”, IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, pp.47~50, 1995.
- [8] 김갑용, “삼성전자반도체의 SCM 구축사례”, 생산관리학회 1999년도 추계학술발표대회, 1999.
- [9] John La Bouff, “Semiconductor Manufacturing: A Supply Chain Management Perspective”, <http://www.lanframe.com/scpaper.htm>.