

# 반도체산업의 제조특성을 반영한 공급사슬 모델링

이영훈 · 김경훈

연세대학교 컴퓨터과학 · 산업시스템공학과

## Supply Chain Modeling based on the Manufacturing Characteristics for the Semiconductor Industry

Young-Hoon Lee · Kyoung-Hoon Kim

SCM(Supply Chain Management) is a new approach to satisfy customers via an integrated management for the whole business processes of the manufacturing from the raw material procurement to the product or service delivery to customers. Typically the semiconductor industry is the one whose supply chain network is distributed all over the world, and its manufacturing process has the particular characteristics which has to be considered in the modeling of supply chain. In this paper we suggest the push and pull type supply chain models based on the manufacturing characteristics and their mathematical formulation for the semiconductor industry. Push supply chain model pursuits the high throughput and the balance of the WIP flow, and pull supply chain model does to minimize the total cost of order-based manufacturing, distribution and transportation process in order to meet customer's request appropriately.

### 1. 서론

공급사슬경영은 생산의 전후방 프로세스를 하나의 일관된 프로세스로 보고 통합된 관리를 통하여 고객민족을 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 추구되고 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 글로벌화 되고 있으며 생산, 구매, 분배 등 최종소비자까지의 전체 프로세스는 복잡한 네트워크상에서 실현되고 있어 이에 대한 종합적이며 일관된 관리의 요구는 더욱 커지고 있고 이로 인하여 공급사슬경영에 대한 관심이 커지고 있다.

공급사슬경영에 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 경우이

다(안병훈, 1997). 본 연구는 두 번째 관점에서 공급사슬을 관찰 하되 대상은 반도체산업이다. Erenguc 등(Erenguc et al., 1999)은 공급사슬에 대한 연구를 크게 세 단계로 나누어 공급 단계, 공장생산 단계, 분배 단계로 구분하였다. 공급 단계라 함은 제조나 주요서비스를 제공하는 과정을 생산하기 위해 투입되는 모든 프로세스를 포함하는 것으로 공급을 위한 수송, 중간창고, 또는 공급을 위한 중간물류센터를 포함한다. 공장생산 단계 또한 여러 과정을 포함할 수 있는데 중간생산단계, 중간재고, 최종조립 단계 등 제조하는 제품이나 서비스의 특성에 따라 모델링할 수 있다. 분배 단계는 창고와 물류센터와 소매자, 최종소비자로 구성되어 있다. 공급사슬 네트워크에 관련된 의사결정은 네트워크의 설계 및 구성, 네트워크의 노드(Node) 수의 결정, 각 노드에서의 재고량 결정, 수송 및 수송경로의 결정 등이 있다. 공급사슬 전체에 대한 문제를 하나의 모델로 구성하여 해를 구하는 것은 모델링 및 해법에 소요되는 시간의 제약으로 시도되는 사례가 거의 없고 여러 개의 부분모델에 대한 해를 구하여 이를 연결하는 형태로 이루어진다. 그러나 위에서 언급한 일반적 모델은 대부분의 조립산업의 형태를 취하고 있는 제조업을 기준으로 정의한 것이며 산업별 특성을 고려한 것은 아니다. 특히 공급사슬경영에 관련된 소프트웨어의 구성도 위의 단계적 모델에 근거하고 있어 특정산업의 특성을 반영할 수 있도록 되어 있지 않다.

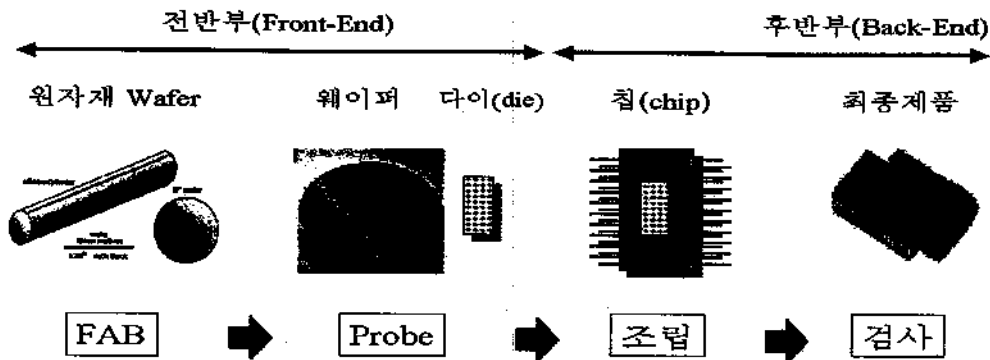


그림 1. 반도체 제조과정.

반도체산업은 고부가가치인 첨단산업일 뿐만 아니라 공급 사슬의 환경이 그 어느 산업보다 글로벌화 되어 있는 반면 대부분의 조립산업과는 생산의 형태와 환경이 다르기 때문에 그동안의 공급사슬경영에 관한 연구에서 깊게 다루어지고 있지 못하였다. <그림 1>은 반도체의 제조과정을 간략히 보여주고 있다. 원자재 웨이퍼에 사진기술을 이용하여 회로도를 프린트하고 이에 대한 전기적 성능을 테스트하는 Probe 공정까지를 전반부(Front-End)라고 부르며 전반부 공정이 끝난 상태를 다이(Die)라고 칭한다. 다이 위에 리드프레임을 붙이고 이를 에폭시 수지로 봉합하는 과정과 이에 대한 성능 및 품질을 검사하는 과정을 후반부(Back-End)라 부르며 대부분의 고단위 기술은 전반부의 Fabrication(이하 FAB) 공정에 해당한다.

반도체산업의 원자재는 웨이퍼로서 국내생산 또는 해외수입으로 충당하고 있으며 공급사슬의 물량이동 관점에서 큰 어려움이 없다. 또한 기타 필요한 다른 종류의 원자재도 공급상 큰 어려움은 없다. 따라서 반도체산업의 공급 단계는 다른 산업과 달리 대체적으로 단순한 반면 공장생산과정은 다른 산업에서 찾기 힘든 특성이 존재하고 이를 공급사슬에 관련된 의사결정에 포함시킬 필요가 있다. 또한 주요 소비고객이 반도체를 이용하여 제품을 만드는 제2의 생산자로서 PC나 정보통신 제품을 만드는 기업으로서 분배 과정도 대체적으로 단순하다. 반도체산업의 공급 사슬에서 가장 중요한 경쟁우선순위는 최종 제품인 반도체 칩의 성능과 가격, 납기 내 배달이다. 국내 업체의 주생산품인 메모리 반도체의 경우 일본과 대만, 미국 등지의 업체와 경쟁하고 있으며 생산 능력면에서 우위를 점하고 있다. 그러나 반도체의 성격상 제품 자체가 표준화되어 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 60일에서 120여일 이상 되고 있어 생산의 시작에서 최종소비자까지 전달되는 과정의 전체 공급사슬에 대한 효율적 관리가 경쟁력을 결정하고 있는 상황이다. 따라서 반도체산업은 제조업이기는 하나 다른 일반조립형태의 제조업과 같은 모델링을 적용하여 공급사슬에 대한 해를 구하는

것은 무리이다. 공급 단계는 단순화하고 공장생산과정에 반도체산업의 특성을 반영하며 분배 과정은 전세계에 걸쳐있는 고객기업을 포함한 상대적으로 단순한 공급사슬 네트워크에 대한 구성을 통하여 접근할 수 있으며 특히 다른 산업에서는 불가능한 하나의 모델로 전체에 대한 해를 추구할 수 있는 모델링이 가능하다. 특히 국내 반도체업계에서 적용하거나 적용하고자 시도하고 있는 공급사슬관련 시스템은 일반적인 산업을 모델로 개발된 시스템으로서 반도체산업만의 특성을 감안한 모델의 기본으로 공급사슬의 비즈니스 프로세스를 구현할 때 효율성이 증가하게 된다. 본 연구는 크게 두 가지 관점에서 기존 공급사슬 모델과는 차별성을 두고 있는데 첫째, 반도체산업의 원자재 공급 프로세스와 분배 프로세스를 단순화하고 둘째, 반도체 제조 특성을 공급사슬 모델에 반영함으로써 더욱 정확한 의사결정을 얻을 수 있으며 특히 공급사슬에 관한 의사결정이 단계적으로 이루어지는 기존 모델과 달리 단순화된 모델에서는 하나의 모델 내에서 최적화 의사결정을 얻을 수 있게 된다.

## 2. 기존연구 및 적용사례

반도체 생산관리에 대한 연구는 Wein(1988)과 Glassey and Resende(1988)에 의해서 본격적으로 시작되었다. Wein은 반도체 생산과정 중에서 가장 복잡한 FAB 공정에 대해 병목공정을 관리함으로써 평균생산주기를 단축하기 위하여 작업부하 통제투입(Workload Regulating Input) 규칙을 제시하였고 Glassey and Resende(1988)는 병목설비의 이용을 극대화하는 설비유휴회피투입(Starvation Avoidance Input) 규칙을 제시하였다. 이외에도 FAB 생산과정의 효율화를 통하여 생산성을 높이려는 많은 시도가 있었고 이에 대한 광범위한 문헌조사(Uzsoy *et al.*, 1992, 1994; Leachman, 1994)도 보고되었다. 최종제품이 소비자에게 만족스럽게 전달되게 하기 위해 생산공기를 단축하고 이를 위해 재공을 줄이고자 하는 시도가 반도체 생산업체 내부적으로 많이 추진되었다. Spearman 등(Spearman *et al.*, 1990)에 의해 제시된 CONWIP 규칙은 재공의 수준을 통제하는 강건한 규

칙으로 알려져 있다. 반도체 제조의 반복성을 감안한 균형의 개념을 이용, 제품 및 공기감축을 통한 소비자 만족을 시도한 연구는 Ehteshami *et al.*(1992), Wein(1992), Demeester and Tang(1994) 등에서 찾을 수 있다. 또한 이론적 규칙을 정보 시스템화 하여 반도체 제조공정의 생산관리에 적용된 사례도 보고되었다(Bitran *et al.*, 1988; Glassey, 1990; Kraft, 1993). 그러나 대부분의 보고된 사례는 생산공기의 대부분을 차지하는 FAB에 국한되고 있어 후반부 공정이나 분배, 수배송에 관련된 전체 공급사슬 네트워크에 대한 분석이 보고된 사례는 없었다. 반도체의 사례는 아니지만 다수의 공장과 다수의 분배센터를 거쳐 소비자에게 배송되는 프린터의 공급사슬모델에 대한 사례연구는 Lee and Billington(1993)과 Lee *et al.*(1993)에서 찾을 수 있다. 학문적인 시도가 정보기술의 힘을 빌어 이를 실제 반도체 생산관리에 적용하여 공급사슬측면에서 큰 성과를 얻은 사례로는 미국 Harris 반도체 회사의 경우를 들 수 있다(Murphy and Bienvenu, 1995). Harris 반도체 회사는 미국의 여러 곳에 FAB 공장장과 조립 및 테스트 공장이 분산되어 있는 가운데 1990년 RCA와 GE로부터 공장을 매입하여 확장을 추진하면서 반도체 산업에서 매우 중요한 납기만족도(On-Time-Delivery)가 70% 이하라는 사실을 인식하고 근본적인 해결책을 추진하였다. 당시 버클리에서 있는 캘리포니아 대학에서 이론적인 모델로 정립되어 학술적인 수준의 프로그램까지 개발되었던 BPS(Berkeley Planning System)를 구입(Liu, 1992)하여 전사적으로 적용하는 프로젝트를 추진하면서 시스템 구동을 위한 데이터베이스의 재구축, 관련정보 보완의 과정을 거쳐 IMPReSS라는 생산관리용 종합시스템을 완성하고 적용하기 시작했다. BPS는 MRP와 선형계획법을 사용하여 수주와 예측생산량을 적절하게 생산과정에 분배함으로써 납기만족도를 제고시키고 병목설비의 가동률을 높임으로써 생산비용의 절감의 효과를 가져올 수 있도록 하였다. 무엇보다도 Harris 반도체는 IMPReSS의 적용과 여러 차례의 단계적인 개선과정을 통하여 1994년 이후로 95% 이상의 납기만족도를 달성하였다. BPS 모델은 기존의 FAB나 제조 공정 후반부의 부분적인 모델과 비교하여 생산의 전 공정에 대한 통합적인 접근으로 공급사슬의 효율성 측면에서 큰 효과를 거둘 수 있었다고 판단된다.

반도체산업의 공급사슬 네트워크는 다수의 공장뿐 아니라 다수의 창고와 분배센터 등으로 구성되어 대부분 전세계에 흩어져 있다. 따라서 생산과정에 국한된 모델과 이에 대한 분석으로는 공급사슬경영의 최종목적을 달성하는 데에는 한계가 있다. Ovacik and Weng(1995)은 생산공기를 줄이고 고객만족을 높은 수준으로 달성하기 위한 계획 프로세스를 3단계로 제시했다. 첫째는 분배계획으로 생산능력과 생산공기 및 수요예측을 전제로 제품의 실제수요 및 예측수요를 만족할 수 있는 통합계획을 세우고 둘째, 분배계획을 기준으로 공장별 제조생산계획을 세우되 전반부에서는 생산량을 최대화하거나 제조공기를 최소화하는 계획생산에 대한 계획을 세우며 후반부에서는 수주생산 프로세스와 비슷하게 주어질 다이뱅크(Die Bank)

재고와 납기스케줄에 따라 납기만족을 최대화하는 생산계획을 세운다. 마지막으로 주문약속에 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 수정과정을 통해 효율적으로 운영할 수 있지만 공급사슬의 최적화를 추구하기보다는 실행의 편이성 위주로 정의한 모델이다. Jain *et al.*(1998, 1999)은 반도체의 공급사슬 모델을 설계하는 데 있어서 병목공정 위주로 정의할 수 있음을 주장하고 단순화 모델과 대부분의 공정을 반영한 상세모델의 성능을 비교하여 큰 차이가 없음을 보여주었다.

실질적인 공급사슬모델은 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 기업내의 문제가 아니며 대기업 모델에서의 데이터의 정합성, 통합목적 함수의 비현실적인 의미 등과 같은 많은 기술적인 제약과 가지고 있다. 유럽에서 3개의 반도체 회사와 하나의 소프트웨어 개발회사, 3개의 학교기관이 진행하고 있는 ESPRIT 20544 프로젝트는 공급사슬의 전과정이 참여하고 있는 최초의 대기업 모델로 주목받고 있다(Frederix, 1996; Mekaroris *et al.*, 1996). 이 프로젝트의 목적은 다양한 형태의 생산공장을 네트워크상에 통합하여 가상기업형태로 모델링하고 상호 공동목적을 향해 협동함으로써 제조공기와 재고를 감축하고 자원의 가동율을 높이는 반면 소비자에게 빠른 납기회신과 정확한 납품을 달성하고자 하는 종합적인 시도이다. 또한 X-CITIC라는 시스템을 개발하여 계획, 스케줄링 및 통제의 모든 영역에서 사용할 수 있도록 추진하고 있다(Azevedo and Sousa, 1996). 공급사슬경영을 비즈니스 프로세스에 적용하는 과정은 대개 이에 관련된 소프트웨어 패키지를 구입하여 적용하는 형태를 취한다. 위에서 언급한 Harris 반도체 회사는 1990년대 초에 반도체 회사 중에서 최초로 적용시스템을 자체 개발한 경우에 해당한다. 국내의 A업체도 동일한 이론적 모델을 근거로 공급사슬 시스템을 구축하고자 하였으나 성공하지는 못했다. 공급사슬에 관련된 상업용 소프트웨어는 1995년 이후에 출시되었으며 비록 반도체 산업에 적합하게 구성되어 있지는 않았으나 자체개발의 어려움을 해결해주는 대안으로 외국과 국내의 반도체 업계에서 프로젝트의 형태로 구축하기 시작했다. <첨부 1>은 상업용으로 출시되고 있는 공급사슬 소프트웨어로서 생산계획, 수요계획, 일정계획, 분배계획, 수송계획, 주문약속 및 납기회신 등 관련 기능에 따라 분류한 것이다(김경섭, 2000). 공급사슬에 관련된 모듈이 현재 구축 완료되어 비즈니스에 적용하는 대표적 회사로서는 A업체로서 공급사슬 모델 중에서 전사 생산계획, 수요계획, 납기회신의 기능이 원활하게 운영되고 있다고 보고되었다(김갑용, 1999). 특히 A업체의 경우 상업용 소프트웨어에서 제공하지 못하는 최적화 기법을 별도의 전문 소

소프트웨어를 구입하여 연결함으로써 반도체의 특성을 최대한 반영했다는 평가를 받고 있다. 또한 과거의 자체 구축 시도를 한 경험으로 공급사슬에 관련된 데이터베이스를 정비할 수 있어서 단기간 내에 공급사슬 시스템을 성공적으로 구축할 수 있었음을 보고하였다. 국내의 반도체 생산의 다른 주요 업체 B와 C업체도 현재 프로젝트 팀을 구성 상당부분 진척시키고 있다(이석범, 1999).

위에서 언급한 연구 및 적용사례를 종합하면 공급사슬의 전체에 대한 모델이 아니며 또는 반도체 산업의 특성을 반영하지 못하는 시스템을 적용함으로써 반도체 산업에서는 단순히 고려하지 않아도 되는 부분에 데이터를 생성하거나 반도체의 특성이 반영되지 못하는 단점을 가지고 있다고 할 수 있다.

### 3. 반도체 공급사슬 모델링

반도체 생산관리의 어려움은 반도체 제조과정에서 FAB 공정의 반복성(Cycling) 외에도 Binning과 대체(Substitution)(Liu, 1992)의 특성에 기인한다. Binning은 생산하고자 하는 특성만을 소유한 제품과 아울러 다른 특성을 가진 제품도 동시에 확률적으로 생산되는 특성을 말하며 대체라 함은 확률적으로 생산된 제품을 전체의 최적화를 위해서는 상위의 제품이 하위 제품과 동등한 가격으로 판매될 수 있음을 말한다. 고객만족과 이익의 최대화라는 목적을 동시에 달성하기 위해서는 이러한 반도체의 특성을 포함한 모델링이 필요하다. 이익의 최대화는 생산량의 극대화 또는 가동률의 최대화를 추구하게 되고 고객만족은 주어진 주문을 납기 내에 공급하는 제품의 수를 극대화하거나 지연도를 최소화하는 관리를 추구하게 된다. <그림 2>는 반도체 공급사슬 모델의 구조를 개략적으로 보여주고 있다.

반도체 산업에서 최종제품의 산출지점에서는 주문에 Pull 형태의 관리가 이루어지고 있으며 원자재 웨이퍼의 투입이 이루어지는 FAB공정에서는 생산량 극대화를 추구하는 Push 형

태의 관리가 이루어진다. 이와 같이 Push와 Pull 방식이 만나는 지점을 주문침투점(Decoupling Point, Push-Pull Point)(Bouff, 1997)이라고 하는데 대체로 EDS가 끝나서 웨이퍼가 절단되어 다이가 되고 재공 형태로 쌓여 있게 되는 다이뱅크가 주문침투점이 된다. 특히 다이뱅크 이후에 주로 Binning과 대체현상이 발생하여 이는 주문과 연관되어 관리되는 것이 편리하기 때문에 다이뱅크가 주문침투점이 되는 것이 적절하다. 이를 기준으로 하여 원자재가 투입되어 다이 생산까지의 Push 모델(이하 계획형 모델)과 다이뱅크 이후 조립, 테스트, 모듈과정 및 1차 직접소비자까지의 Pull 모델(이하 주문형 모델)의 조합으로 반도체 공급사슬 모델을 정의하고자 한다. 주문침투점에 대한 정의는 전혀 새로운 것이 아니며 실제 반도체 업계에서도 이를 중심으로 관리하고 있으나 이를 근거로 하여 공급사슬 모델을 정의한 사례는 아직까지 보고되고 있지 못하다. 반도체 생산의 특성을 가장 적절하게 수리화한 BPS 모델에서는 다이뱅크를 기준으로 전반부공정과 후반부공정으로 구분하여 주문과 예측을 기준으로 후반부공정의 생산량을 결정한 후 이를 전반부공정의 생산으로 환산하고 생산능력에 적절하게 할당하는 과정을 통해 최적화를 추구하였다. 그러나 실제 반도체 생산현장에서는 전반부공정과 후반부공정의 관리의 문화가 전혀 다르고 공장의 위치가 다르거나 회사까지 다른 경우가 많다. 따라서 후반부공정에서 취합된 주문 및 예측량에 근거한 생산목표가 전반부공정으로 전달되어 생산의 기준이 되기에는 어려운 점이 많다. 단적으로 전반부공정은 설비투자에 압박으로 설비의 가동률을 최대화하고 생산량을 극대화하고자 하는 계획형태의 관리 방식이 더 유효하다. 이는 60일 이상의 긴 생산공기로 인해 전반부공정에서의 생산품목이 시시각각으로 변하기보다는 일정한 기간 내 생산해야 할 품목과 양이 결정되어 있기 때문이다.

#### 3.1 반도체 계획형 공급사슬 모델

원자재 투입에서 주문침투점으로 불리는 다이뱅크까지의

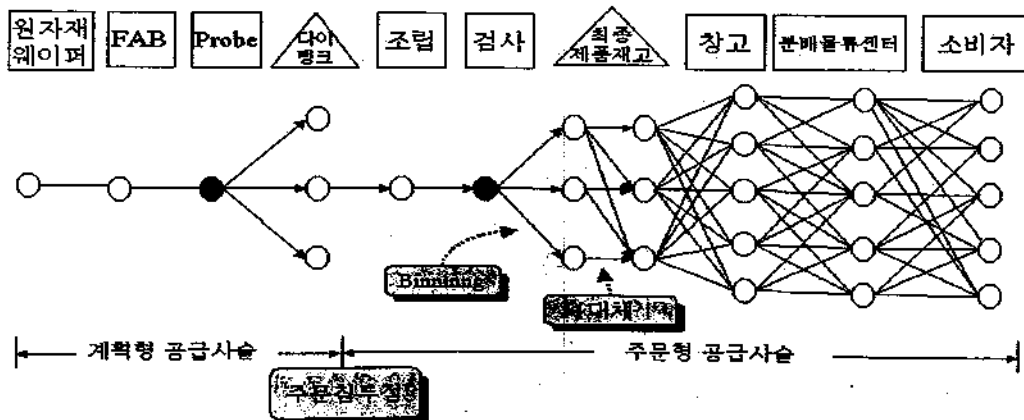


그림 2. 반도체 공급사슬 모델의 구조



델의 목표는 재공의 균형을 최대한 유지하면서 생산량을 극대화하는 것으로 목적함수는 목표 재공과 작업할당 후의 재공 변화의 차이를 최소화하는 것으로 한다. 제약조건은 모델 A와 비슷하지만 각 관리포인트의 생산량이 주어진 생산목표 이상이 되도록 하는 조건이 추가되며 재공의 흐름에 따라 때로는 해의 도출이 불가능할 경우가 발생할 가능성은 있으나 약간의 조정으로 쉽게 해를 구할 수 있다. 재공의 균형을 고려한 모델 B는 다음과 같다.

#### Notation :

$TW(i, j)$ :  $i$ 제품  $j$ 관리포인트의 목표 재공

$Q(i, j, t)$ : 기간  $t$ 의  $i$ 제품  $j$ 관리포인트의 목표생산량

#### 모델 B

$$\text{Max } \sum_{i,j,t} A(i, j, t) + B(i, j, t)$$

$$\text{s.t. } A(i, j, t) - B(i, j, t) = BW(i, j, t) + NBW(i, j, t) - TW(i, j) \quad \forall i, j, t$$

$$BW(i, j, t) = BW(i, j, t-1) - \sum_k X(i, j, k, t) + \frac{NBW(i, j, t-1)}{NBT(i, j)} \quad \forall i, j, t$$

$$NBW(i, j, t) = NBW(i, j, t-1) - \sum_k X(i, j-1, k, t) + \frac{NBW(i, j, t-1)}{NBT(i, j)} \quad \forall i, j, t$$

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

$$\sum_k X(i, j, k, t) \geq Q(i, j, t) \quad \forall i, j, t$$

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

$$A(i, j, t) \geq 0, B(i, j, t) \geq 0, BW(i, j, t) \geq 0,$$

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

여기서  $A(i, j, t)$ 와  $B(i, j, t)$ 는 목적함수를 목표재공( $TW(i, j)$ )과 작업할당 후의 재공( $BW(i, j, t) + NBW(i, j, t)$ )의 차이의 절대값을 최소화하는 것으로 정하고 이를 선형계획법으로 구성하기 위해 사용한 변수들이다.

### 3.2 반도체 주문형 공급사슬 모델

주문침투점에서 최종제품의 1차 소비자까지의 공급사슬 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 납기희신의 프로세스와 이를 대처하는 프로세스는 서로 긴밀하게 연관되어 있다. 납기요청은 실시간으로 접수되는 일로서 그때마다 생산과 배송의 프로세스를 다시 계산 응답하는 것은 효율적이지도 않으며 가능하지도 않다. 따라서 납기희신의 프로세스는 이를 대응하는 생산배송 프로세스와 구별하여 모델

링 및 운영하는 것이 바람직하다. 반도체 생산의 주문침투점에서 최종제품 생산까지의 대체적인 생산공기는 4~6일이며 최종제품의 1차 소비자까지의 배송은 약 4~6일 소요된다. 납기희신은 후반부분의 현재 재공과 다이뱅크의 재공 및 전반부분의 향후 생산계획을 근거로 기계적으로 할당하며 누적된 주문의 합은 후반부분의 생산의 기준이 된다. 특이한 점은 반도체의 최종제품을 필요로 하는 고객은 주로 컴퓨터 또는 정보통신기기 조립업체인데 비록 전세계적으로 흩어져 있어도 항공으로 배송되기 때문에 이에 소요되는 운송비용은 배송지에 따라 약간의 차이가 있으나 공급사슬 모델링에 포함되어 계산되어야 할 만큼 큰 차이가 있지 않다는 점이다. 주문의 접수가 생산라인의 능력 한계 내에서 이루어졌다면 모든 주문이 이른 상으로 납기 내에 배송될 수 있다고 생각할 수 있다. 따라서 목적함수는 큰 편차가 없는 부분은 무시하고 납기희신된 주문에 대한 생산량을 기준으로 발생하는 전체 이익을 최대화하고자 한다. 후반부 주문형 공급사슬 모델 C는 다음과 같다.

#### Notations :

$i$ : 최종제품의 인덱스

$j$ : 후반부공정의 관리포인트 인덱스

$w$ : 창고 또는 물류센터의 인덱스

$b$ : Binning으로 분기된 등급별 인덱스

$c$ : 고객의 인덱스

$t$ : 단위기간의 인덱스

$t(c)$ : 최종제품의 출하 후 고객  $c$ 까지의 배송시간

$k(j)$ : 관리포인트  $j$ 부터 최종제품까지의 제조사이클타임

$k(w)$ : 최종제품으로부터 창고 또는 물류센터  $w$ 까지의 배송 시간

$X(i, c, t)$ : 고객  $c$ 에 대한 최종제품  $i$ 의 기간  $t$ 동안의 생산량

$Y(i, b, c, t)$ : Binning 등급  $b$ 의 가격으로 공급할 고객  $c$ 에 대한 최종제품  $i$ 의 기간  $t$ 동안의 생산량

$C(i, b, c, t)$ : 고객  $c$ 에 대한 최종제품  $i$ , 기간  $t$ , Binning 등급  $b$ 의 가격

$d(i, b, c, t)$ : 고객  $c$ 에 대한 최종제품  $i$ , 기간  $t$ , Binning 등급  $b$ 의 수요량

$g(i, b)$ : 제품  $i$ 로부터 얻을 수 있는 Binning 등급  $b$ 의 비율

$STD(i, j)$ : 관리포인트  $j$ 에서 제품  $i$ 를 작업하는 데 소요되는 단위시간

$CAP(t, w)$ : 기간  $t$ 동안의 창고 또는 물류센터  $w$ 의 가용량

$WT$ : 단위기간 동안의 작업가능시간

#### 모델 C:

$$\text{Max } \sum_{i,b,c,t} C(i, b, c, t) \times Y(i, b, c, t)$$

$$\text{s.t. } X(i, c, t) \times \sum_{b \geq b_0} g(i, b) \geq \sum_{b \geq b_0} Y(i, b, c, t)$$

$$\forall i, c, t$$

$$Y(i, b, c, t - t(c)) \geq d(i, b, c, t) \quad \forall i, b, c, t$$

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

$$\sum_{i,c} X(i, c, t+t(w)) \leq CAP(t, w) \quad \forall t, w$$

$$X(i, c, t) \geq 0, Y(i, b, c, t) \geq 0 \quad \forall i, b, c, t$$

최종제품이 생산된 후 고객에게 배송되는 데 소요되는 시간을 생산자와 고객의 함수로 보고  $h(c)$ 라고 정의한다.  $X(i, c, t)$ 는 제품  $i$ 의 고객  $c$ 에게 배송되기 위해 시간  $t$ 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 생산하는 데 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 첫 번째 식은 대체과정에 대한 제약식이고 두 번째 식은 납기회신한 주문량 만족에 대한 제약식이며 세 번째 식은 병목공정의 생산능력에 대한 제약식이다.

#### 4. 시스템 모델링

위에서 정의한 반도체 계획형 모델과 주문형 모델은 반도체의 특성을 고려하여 적절한 주문침투점을 정의하고 이를 근거로 모형화 한 것으로 이를 적용하는 것은 이에 적합한 시스템을 개발하고 이에 대한 효율적인 운영을 통해 이루어진다. 반도체 산업을 기준으로 설계된 공급사슬 시스템에 대한 구조(Architecture)와 구성(Configuration)의 예는 Umeda and Jones

(1998)에서 찾을 수 있다. 본 연구에서는 제안한 모델에 대한 시스템에 관한 내용보다는 모델을 통하여 해를 구할 수 있는 과정과 해가 적용되기 위한 프로세스를 설명하고자 한다. 현재 반도체 산업에서 적용하고 있는 공급사슬 시스템은 반도체 산업에 대한 특성을 기준으로 모델링하고 이를 시스템화 한 소프트웨어를 사용하고 있지 않다. 김갑용(1999)과 이석범(1999)의 예를 통해 알 수 있듯이 기존 상업화된 소프트웨어의 기능별로 단계적으로 도입 적용하고 있다. 수요계획과 납기회신 등과 같이 업무 프로세스가 여타 산업과 크게 차이가 없는 부분을 일차적으로 도입하고 이를 통하여 데이터 모델의 구축과 정합성 제고의 과정을 거쳐 운영하고 있다. 그러나 이 과정은 공급사슬의 전체 네트워크에 지능적인 의사결정을 얻었다고 볼 수 없으며 생산과 분배 수송의 과정에 적용할 수 있어야 진정한 목표를 달성하였다고 할 수 있다. A업체의 경우 생산계획의 과정은 상업용 시스템에서는 데이터의 전반적인 운영을 담당하고 실제로 해를 구하는 것은 최적화 전용 소프트웨어를 별도로 구축하여 데이터의 연결로서 해를 구하는 과정을 거쳐 얻을 수 있었다(김갑용, 1999). 일반적으로 상업용 시스템에서 제공하는 모듈에는 아직 반도체의 제조 특성을 반영하고 있지 않으며 현재 소프트웨어 회사와 제조업체가 협조, 단계적으로 개발하고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 소프트웨어 회사는 모든 산업에서 사용할 수 있는 범용적 구조를 기반으로 개발하는 것이 목표이므로 반도체의 제조 특성만을 반영한 모델을 구축하고자 하지 않을 가능성이 높다. 따라서 모듈기반의 연차적(Serial) 계산과정을 운영하고 이는 하나의 모델로서 최적화할 수 있는 가능성을 배제하게 된다. 일반 범용 공급사슬 시스템에 반도체 산업을 적용할 수 없는 것은 아니지만 데이터의 구성의 편법을 사용하거나 또는 반도체에서는 크게 필요하지 않은 기능을 거쳐 운영되기 때문에 효율적이지 못하며 유지보수의 어려움을 겪고 있다. Umeda and Jones(1998), Jain et al.(1999, 2000) 등에서 반도체 산업을 위한 공급사슬 모델을 새롭게 제시하고 있다. <그림 3>은 일반적인 공급사슬 모델과

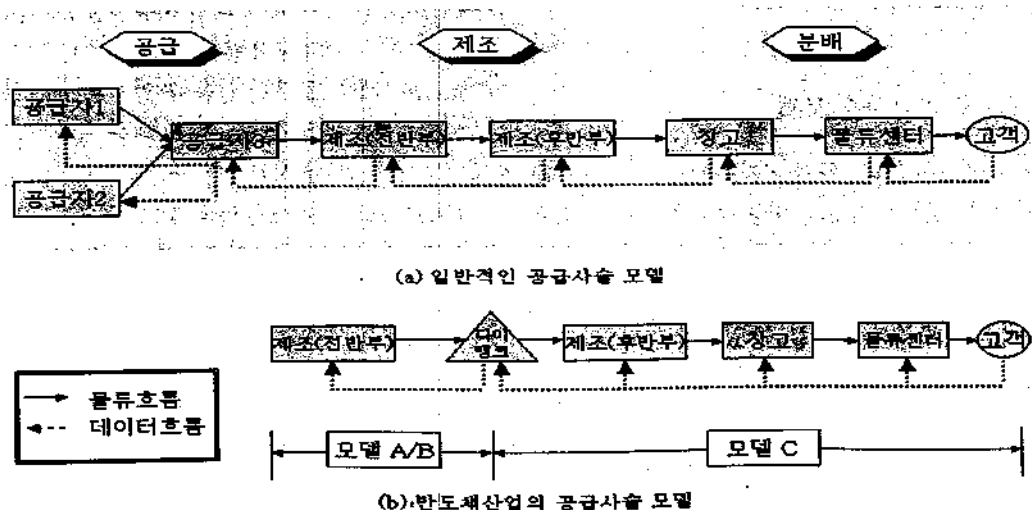


그림 3. 반도체 공급사슬 모델 비교.



위에서 제안한 반도체 모델의 물류흐름 및 데이터의 흐름과정을 비교한 것이다.

공급사슬을 모델링함에 있어서 앞서서도 밝혔듯이 반도체 산업에서 원자재의 공급과 최종소비자에게로의 납기문제는 비교적 단순해서 고려의 대상에서 제외할 수 있기 때문에 그 모델링도 제조에 초점을 맞추어 구성하여야 한다. 즉 반도체 산업의 제조 프로세스는 크게 전반부의 계획형 공급사슬과 후반부의 주문형 공급사슬로 크게 양분되며 정보의 흐름도 이에 맞춰서 예를 들어서 다이뱅크를 기준으로 후반부의 주문형 공급사슬에서는 연속적이고 실시간 적인 정보의 전송, 공유가 이루어져야 한다. 이를 위해서 모든 정보와 재료의 흐름을 총괄해서 담당하는 '공급사슬관리자'가 필요하며 이 하위 개념으로 '계획형관리자'와 '주문형관리자'가 요구된다. '공급사슬관리자'에게 입력되는 정보는 전체적으로 볼 때 배달정보, 재고정보, 수요정보, 자재정보 등이 되고 출력되는 정보는 생산명령, 수배송명령, 구매명령, 유통명령 등이 된다. 계획형관리자는 반도체 산업의 특성을 반영하는 주문침투점인 다이뱅크까지를 담당하는 부분이고 '주문형관리자'는 다이뱅크 이후에서부터 최종고객까지를 전담하는 부분이다. '계획형 관리자'는 생산관리, 스케줄링과 밀접한 관계를 형성하고 있기 때문에 담당하는 역할도 그에 맞추어 구체적으로 정의해야 한다. 따라서 '계획형관리자'의 세부 모듈들도 생산에 관련된 프로세스들을 담당하게끔 설계해야 할 것이다. 즉 '계획형관리자'는 과거 데이터를 기준으로 고객수요를 예측해서 생산일정계획을 수립하고 자재소요계획을 세우는 일을 시작점으로 하여 개별공장에서 필요한 부품, 자재를 계산하고 각 공급자에게 생산명령을 내리는 업무를 담당해야 할 것이다. 이에 반해 '주문형관리자'는 재고의 보충점에 기반을 두고 역할을 정의해야 하고 아울러 세부 모듈들도 분배에 관련된 프로세스를 담당하게끔 설계되어야 할 것이다. 즉 공급자나 분배자가 재고의 보충점을 설정하고 선행공장 등에 재고보충을 요청하게 되면 선행공급자는 이를 토대로 자체생산명령을 내리게 되는데 이를 관장하는 게 '주문형관리자'의 역할이 된다. '공급사슬관리자'는 '계획형관리자'와 '주문형관리자'를 통합하면서 정보수집과 명령전달을 주로 하게 되는데, 중요한 점은 '공급사슬관리자'가 이들 두 하위모듈에 중앙통제와 명령의 방식이 아닌 권유, 충고의 방식과 때로는 동시에 동등한 동업자간의 관계를 유지하는 혼합형 시스템으로 제조 프로세스 모델링이 이루어져야 한다는 것이다. 전세계적으로 공급사슬기지가 산재해 있으면서 독립적인 제조공정과 형태를 갖는 복잡한 반도체 공급사슬 상에서 이같이 혼합형 시스템의 개발은 유연성을 보장하게 되는데, ESPRIT 프로젝트에서도 이미 시도된 바 있다 (Frederix, 1996). <그림 4>는 반도체 산업의 공급사슬 시스템의 모델링을 구조화 한 것이다. 비록 반도체 산업에 초점을 맞추어 설계된 공급사슬 시스템이지만 반도체 산업 이외의 기타 산업에서도 활용 가능하다. 산업의 형태에 따라 특정산업에서는 '계획형관리자'와 '주문형관리자'로 양분하기 어려울 수가

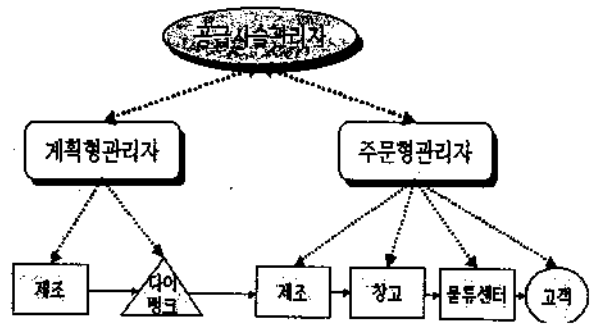


그림 4. 반도체 공급사슬 모델링.

있으므로 이런 경우에는 필요하다면 '혼합형관리자'를 이용해서 계획형관리와 주문형관리의 역할을 동시에 담당하게 하면 될 것이다. 산업의 특성상 가장 중요한 프로세스인 제조 프로세스를 중심으로 반도체 산업의 공급사슬 시스템을 모델링 하였지만 이를 기반으로 구매, 납기 프로세스도 전체 공급사슬 시스템의 모델링에 포함시키면 된다. 타 산업에 비해 비교적 복잡하지 않은 구매, 납기 프로세스는 시스템의 전체적인 조화와 균형을 위해 단순하게 정의되면 될 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구

본 연구는 반도체 산업에 대한 공급사슬 모델링 과정을 제시하였다. 반도체산업은 생산과정이 어느 산업보다 복잡하여 생산 과정 자체에 대한 연구는 활발하지만 고객과 연결된 공급사슬 모델에 대한 연구는 많이 발표되지 못하고 있다. 위의 모델은 원자재부터 고객까지의 프로세스를 주문침투점을 기준으로 두 단계로 나누어 계획형 모델과 주문형 모델로 제시하였으나 최대한 단순화하여 적용가능성에 초점을 두었다. 반도체산업의 실제현장의 상황은 이보다 훨씬 복잡하여 위의 모델에 많은 부분이 추가되어야 할 것으로 본다. 따라서 본 연구에서 제시된 모델을 상위레벨로 하여 하위 레벨에 대한 부분 모듈을 계층적으로 연결할 수 있도록 이에 대한 연구 및 모델링 과정이 추가되어야 할 것이다. 그러나 이 부분은 세부 단위별 연구가 많이 진행되었기 때문에 크게 어려운 부분은 아니다.

위에서 제시한 수리적 모델의 타당성 검증 과정은 또 하나의 큰 연구 과제이다. 이는 반도체 업체의 실 데이터의 제공 및 많은 과정의 실험이 따라야 할 것이며 때로는 분배 및 수배송을 담당하고 있는 업체들로부터의 도움이 있어야 현실적인 실험이 이루어질 수 있다. 실 데이터 제공에 폐쇄적인 반도체 산업으로부터의 협조와 공동 노력이 필요하며 이는 본 논문의 향후 과제가 될 것이다.

## 참고문헌

- 김갑용 (1999), 삼성전자반도체의 SCM구축사례, *생산관리학회* 1999년도 추계학술발표대회



김경섭 (2000), *Personal communication*.  
 안병훈, 이승규, 정희돈, 안현수 (1997), 공급사슬관리와 전략적 과제에 대한 탐색적 연구, *경영과학*, 14(1), 151-176.  
 이석범 (1999), Legacy 시스템을 활용한 종합생산관리 기반구축, *생산관리학회 1999년도 추계학술발표대회*.  
 Azevedo, A. and Sousa, J. P. (1996), On the design of an order promise system for virtual enterprises, <http://www.nimble.com/scitic>.  
 Bitran, G. R. and Tirupati, D. (1988), Development and implementation of a scheduling system for a wafer fabrication facility, *Operations Research*, 36(3), 377-395.  
 Bouff, J. L. (1997), Semiconductor manufacturing: A supply chain management perspective, *Conference on Global Supply Chain Management*.  
 Demeester, L. and Tang, C. (1994), Reducing cycle time at an IBM wafer fabrication facility, *Technical Paper*, University of California at Los Angeles.  
 Ehteshami, B., Petrakian, R. G. and Shabe, P. M. (1992), Trade-offs in cycle time management: Hot lots, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 5(2), 101-106.  
 Erenguc, S. S., Simpson, N. C. and Vakharia, A. J. (1999), Integrated production/distribution planning in supply chain: an invited review, *European Journal of Operational Research*, 115, 219-236.  
 Frederix, F. (1996), Planning and scheduling multi-site semiconductor production chains, *Esprit integration in manufacturing conference*, Galway, Ireland, 2-4 October.  
 Glassey, P. G. (1990), A comparison of release rules using BLOCS/M simulations, *ESRC Report 90-15*.  
 Glassey, C. R. and Resende, M. G. C. (1988), A scheduling rule for job release in semiconductor fabrication, *Operations Research Letters*, 7, 213-217.  
 Jain, S., Gan, B., Lim, C. and Low, Y. (1999), Criticality of Detailed Modeling in Semiconductor Supply Chain Simulation, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 888-896.  
 Jain, S., Gan, B., Lim, C. and Low, Y. (2000), Bottleneck Based Modeling of Semiconductor Supply Chains, *Proceedings of the MASM 2000 Conference*, 340-345.  
 Kraft, C. (1993), Dynamic kanban semiconductor inventory management

system, *Technical Paper*, Texas instruments Inc.  
 Leachman, R. C. (1994), The competitive semiconductor manufacturing survey: Second report on results of the main phase, *CSM-08 Report*.  
 Lee, H. L. and Billington, C. (1993), Material management in decentralized supply chains, *Operations Research*, 41, 835-847.  
 Lee, H. L. Billington, C. and Carter, B. (1993), Hewlett Packard gains control of inventory and service through design for localization, *Interfaces*, 23(4), 1-11.  
 Liu, C. (1992), A modular production planning system for semiconductor manufacturing, *Ph.D. Dissertation*, University of California, Berkeley.  
 Makarson, C., Leach, N. P., Richards, H. D., Besant, C. and Ristic, M. (1996), Addressing the planning control gaps in a semiconductor virtual enterprises, *Esprit integration in manufacturing conference*, Galway, Ireland, 2-4 October.  
 Murty, S. V. and Bienvenu, J. W. (1995), Global planning at Harris Semiconductor, *IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing*.  
 Ovacik, I. M. and Weng, W. (1995), A framework for supply chain management in semiconductor manufacturing industry, *IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium*.  
 Spearman, M. L., Woodruff, D. L. and Hopp, W. J. (1990), CONWIP: a pull alternative to kanban, *International Journal of Production Research*, 28(5), 879-894.  
 Umeda, S. and Jones, A. (1998), An Integrated Test-Bed System for Supply Chain Management, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 1377-1385.  
 Uzsoy, R., Lee, C. Y. and Martin-Vega, L. A. (1992), A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry, Part I: System characteristics, performance evaluation, and production planning, *IIE Transactions*, 24(4), 47-60.  
 Uzsoy, R., Lee, C. Y. and Martin-Vega, L. A. (1994), A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry, Part II: Shop-floor control, *IIE Transactions*, 26(5), 44-55.  
 Wein, L. M. (1988), Scheduling semiconductor wafer fabrication, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1(3), 115-129.  
 Wein, L. M. (1992), On the relationship between yield and cycle time in semiconductor wafer fabrication, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 5, 156-158.

첨부 1. 상업용 공급사슬 시스템의 기능 비교

기능	i2	SAP	Oracle	Manugistics	Logility	Paragon	Baan	Richter System	Chesapeake	HK Systems
생산계획 (Planning)	Supply Chain Planning	Collaborative Supply Planning Supply Network Planning & Deployment	Planning & Simulation	Manufacturing Planning & Scheduling	Manufacturing & Planning	Material/Capacity Planner	Supply chain Planning	Production	Planning	
수요계획 (Demand Forecasting)	Demand Planning	Demand Planning	Sales Order Management	Derivat Management	Demand Planning	Demand Planner	Demand Planner	Demand Management	Forecasting Demand Manager	eSCM/Demand
납기회신 (ATP)	Demand Fulfillment	Global ATP	Global Capable-to-Promise	Real Time ATP	Replenishment Planning	Global Real-Time ATP	Order Promising	Order Processing	ATP	Order System Manager
수송계획 (transportation)	Transportation Manager	Transportation Management	Order Entry	Transportation Management	Transportation Planning & Management		Bid Prod Trans Pro Route Pro	Allocation	Scheduling Planning	Transportation Management System
분배계획 (Distribution)	Global Logistics Manager	Warehouse Management	Enterprise Procurement Optimization	Replenishment Planning	Inventory-Planning Warehouse Pro	Global Strategic Planner	Planner	Distribution Inventory Management	Planning	Warehouse Manager System
구매계획 (Procurement)	Global Procurement Manager	BBP	Supply Base Management	Purchasing Planning				Purchasing		eSCM/Supply
일정계획 (Scheduling)	Factory Planning	Product Planning & Detailed Scheduling	Supply Chain Planning				Reactive/Dynamic Scheduler	Scheduler		
기타				Constraint-Based Master Planning	Value Chain Designer	Supply Chain Planner		BI Advisor		

출처: [www.i2.com](http://www.i2.com) [www.sap.co.kr/korea/scm](http://www.sap.co.kr/korea/scm) [www.oracle.co.kr/applications/scm](http://www.oracle.co.kr/applications/scm) [www.manugistics.com](http://www.manugistics.com) [www.logility.com/solutions/lvcs](http://www.logility.com/solutions/lvcs)  
[www.paragonms.com/c/holistic/solutions/scp](http://www.paragonms.com/c/holistic/solutions/scp) [www.baanscs.co.kr](http://www.baanscs.co.kr) [www.richtersystems.com/solutions](http://www.richtersystems.com/solutions) [www.chesapeake.com/solutions](http://www.chesapeake.com/solutions)  
[www.hksystems.com/index2.cfm](http://www.hksystems.com/index2.cfm)



이영훈

서울대학교 산업공학과 학사

Columbia Univ. 산업공학과 석사

Columbia Univ. 산업공학과 박사

현재: 연세대학교 기계전자공학부 정보산업  
공학전공 조교수

관심분야: 시스템 최적화, 스케줄링, SCM



김경훈

동국대학교 산업공학과 학사

현재: 연세대학교 컴퓨터과학산업시스템공학  
과 석사과정

관심분야: SCM, E-Business, 스케줄링