

반도체 공정의 공급 사슬망 관리

류준형[†] · 이인범

포항공과대학교 화학공학과
790-784 경북 포항시 남구 효자동 산 31
(2008년 3월 7일 접수, 2008년 4월 13일 채택)

Key Issues and Challenges of Semiconductor Supply Chain Management

Jun-Hyung Ryu[†] and In-Beum Lee

Department of Chemical Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784, Korea
(Received 7 March 2008; accepted 13 April 2008)

요 약

반도체 제조 공정 중에 광범위하게 사용되고 있는 많은 프로세스 공정들이 있음에도 화학공학 측면에서 반도체 산업이 어떤 상황이며 실질적으로 어떤 문제들을 가지고 있는가에 대한 학문적 접근은 다루어지지 못했다. 본 연구에서는 반도체 산업 중 반도체의 공급 사슬망 관리(Supply Chain Management) 부분을 집중적으로 분석하여 공정 시스템 공학이나 화학공학에서 어떻게 기여할 수 있을지에 대해 살펴보고자 한다. 반도체 관련 기업에서의 근무 경험과 연구 결과를 바탕으로 관련 사례와 자료들을 통해 주요 개념들을 소개하고 향후 발전 방향을 제안하였다.

Abstract – Little attention has been given to semiconductor manufacturing in the chemical engineering and process systems engineering perspective in spite of the fact that it consists of numerous chemical processes. This paper particularly investigates the issues in semiconductor manufacturing supply chain management. From the personal industrial experience and research progresses, relevant research and information will be introduced to address the key issues and challenges. Some remarks for future research challenges are made in the end.

Key words: Semiconductor Manufacturing, SCM(Supply Chain Management), PSE(Process Systems Engineering)

1. 서 론

반도체 제조 산업은 첨단 컴퓨터 산업과 정보 지식 산업 사회에서 중추적 역할을 하는 매우 중요한 분야이다. 첨단 산업에서는 기술력에 바탕을 두고 신제품을 안정적으로 생산하여 시장을 선점하는 것이 가장 주요 관심사이다. 전 세계적으로 정보 지식사회의 구축과 더불어 반도체 산업에 많은 기업들이 진출하려고 하지만 여러 가지 기술적 어려움과 또한 심각한 경쟁을 이겨야 한다.

반도체 제조 공정 중에 광범위하게 사용되고 있는 화학 프로세스 공정이 있음에도 본격적으로 다루어지지 못했다. 반도체는 일반적으로 전자 공학이나 재료 공학의 산물이라 생각하기 쉽지만 실상은 수 많은 화학공학도의 밤낮 없는 노력으로 이루어지고 있으며 많은 공정 프로세스 및 단위 조작 공정을 가지고 있는 일종의 프로세스 산업이라 할 수 있다. 화학공학과 밀접한 연관성을 가지고 있는 반도체 산업에 대한 기본적 소개를 통해 화학공학도의 이해의 폭을 넓히며 화학공학 측면에서 반도체 산업이 어떤 상황이며 실질적으로 어떤 문제들을 가지고 있는가에 대해 학문적으로 접

근해 보고자 본 연구는 준비되었다

아래 Fig. 1과 Fig. 2에서 알 수 있듯이 반도체는 국내 전체 수출 중에서 약 10%에 해당하여 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 반도체 수출은 우리나라 총 수출에 미치는 영향이 지대한 것은 2001년 전체수출이 217억불 감소하였는데 그 주요 원인이 전년도에 비해 반도체 수출이 143억불로 크게 감소한 것이라는 사실을 통해서도 확인할 수 있다. 국내 반도체 산업 규모를 전 세계 시장에 비교해 보면 약 1/10 정도에 해당하게 된다(Fig. 3참조). 국내 경제에 막대한 영향을 미치고 있는 가운데 국내 두 군데 대기업이 세계 반도체 10대 업체에 해당하는 사실과 연결하여 이들 자료가 의미하는 것은 어느 하나의 기업이 전체 시장을 장악하고 있다기 보다는 반도체 산업이 매우 극심한 경쟁 하에 있다는 것을 알 수 있다. 전 세계 1위 업체의 매출액이 우리 나라 총 수출량과 비슷한 현실에서도 이를 확인할 수 있다.

극심한 경쟁에서 이기기 위해서는 계속적으로 변화하는 비즈니스 환경에서 주도권을 잡는 것이 모든 제조업과 마찬가지로 가장 먼저 해결할 사항이다. 경쟁력 확보를 위해 남들 보다 먼저 신제품을 개발하여 출시해야 할 뿐만 아니라 개별적 활동들에서 비용을 절감하고 공기를 단축해야 한다. 이러한 노력들은 어느 하나하나의

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jun2002@postech.ac.kr

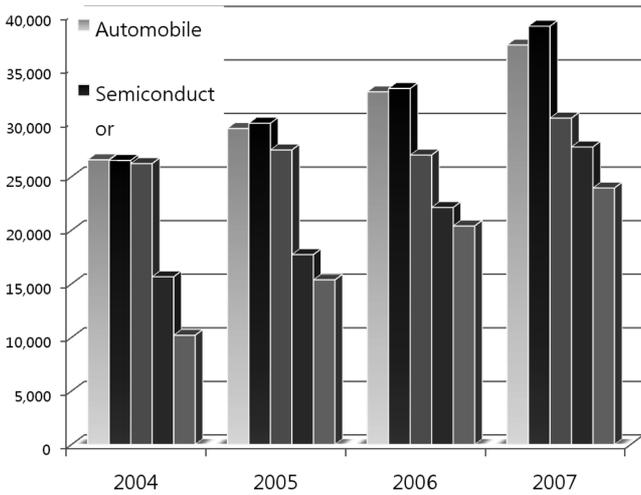


Fig. 1. Annual export statistics of major industries of Korea (Korean Customs Office, 2008.1)

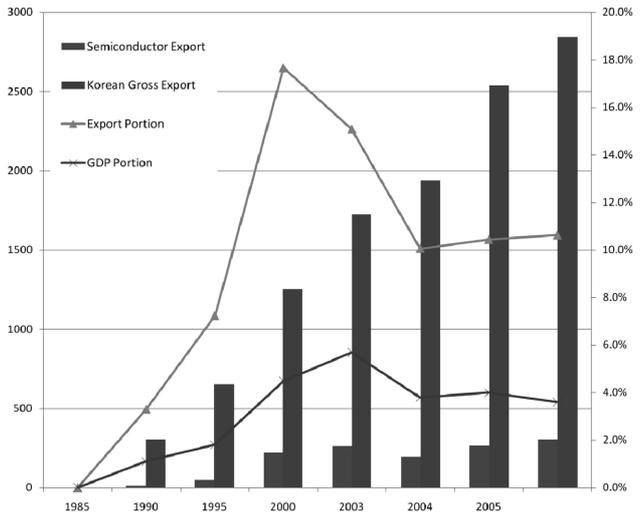


Fig. 2. Semiconductor Export Portion against Export.

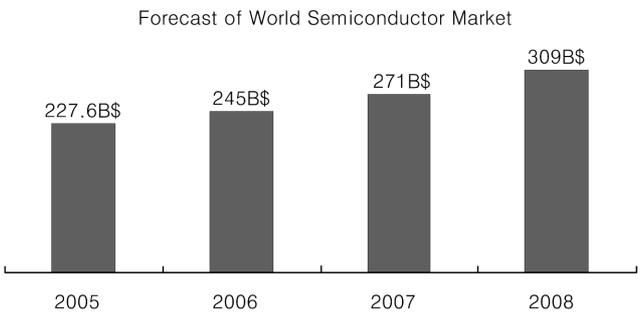


Fig. 3. World Semiconductor Market Statistics (source: Semiconductor Industry Association).

단편적인 노력이 아니라 통합적으로 효율성을 가지고 실시되어야 한다. 이러한 필요성에 따라 최근에 학계와 산업계에서 전체 공급 및 소비 사슬 망의 관리(Supply Chain Management, SCM)에 대해 주목하고 있다. 업계에서의 SCM에 대한 관심은 복잡한 기업 활동의 다양성을 만족하면서 전체적 효율성을 증대하는 전체적 최적화

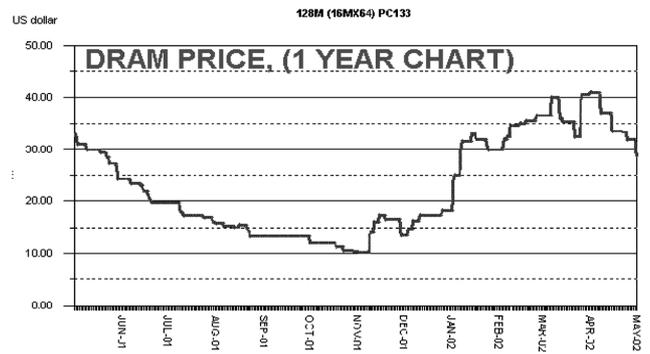


Fig. 4. An illustration of Semiconductor Price Variation: DRAM (2001~2002) (Ryu, 2006b).

를 이룰 수 있는 대안으로 여겨지기 때문이다. 하지만 이를 실제적으로 적용하기 위해서는 많은 난관에 봉착하게 되고 이를 어떻게 해결하느냐에 SCM 체제 구축과 기업 자체의 성공이 달려있다. 여기에 대표적인 난관이 환경의 불확실성이다.

급격한 주식 시장의 변동이나 원자재 가격의 급등과 같은 급격한 경제 환경의 변화는 이제 더 이상 드물거나 남의 나라 사정이 아니라 우리 나라, 우리 기업들의 당면한 문제이다. 실제 공정 운영에 있어서도 설비의 갑작스런 고장(run-down)이나 재료의 이상에 의해 공정이 제대로 운영되지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 연속식 공정에서 그러한 변동은 심각한 공정 운영에 차질을 줄 수도 있다. 따라서 학문적 연구에서 또한 이러한 환경의 변화에 대해 그 변화치가 얼마나 되는지에 대해 계산해 보려는 시도들이 제시되었다. 예를 들어 불확실성을 고려한 최적화(optimization under uncertainty)에 대한 연구들- stochastic programming(Gupta et al., 2000), parametric programming (Ryu et al., 2004), scenario-based approach(Shah and Pantelides, 1992)등이 그 예라 할 수 있다. 또한 그러한 변화에 영향을 적게 받을 수 있는 강건한(robust) 시스템에 대해서도 연구(Malcolm and Zenios, 1994; Bok et al., 1998)가 발표되어 왔다. 반도체 산업의 경우 그 불확실성은 가격의 급격한 변동이라 할 수 있다. 예를 들어 아래 Fig. 4에서처럼 1년 중 제품의 가격이 상승과 하락을 동시에 반복할 수 있다. 수급 상황에 따른 이러한 급변은 생산 업체는 물론 수요 업체-물론 반도체는 대부분의 전자 완제품 업체가 소비자가 되는 B2B(Business to Business) 업계이다.

이러한 어려움들을 해결해 위해 제조와 판매를 동시에 고려하는 공급 사슬망의 관리 (SCM) 문제는 반도체 산업에서 매우 중요한 문제이다.

구체적으로 이후의 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 반도체 산업의 주요 이슈들에 대해 설명되고, SCM의 개념에 대한 개론적 설명 이후에 반도체 SCM의 주요 도전적 과제가 무엇인지를 살펴보고 한다. 이와 더불어 그 실제 예로 반도체 제조업에 관련된 SCM 이슈들에 대해 살펴보고자 한다. 이를 통해 시스템 공학적 지식이 어떻게 적용될 수 있는가를 살펴보고 그 확장성에 대해 논하고자 한다

2. 반도체 산업 개요

반도체는 250여 가지의 공정을 걸쳐 생산되며 때로는 반복적으로 같은 공정을 반복하기 때문에 일반적으로 제품 chip 하나는 600

여 단계 이상을 걸쳐야 완성된다. 그 대표적 공정들을 Fig. 5에서 나타내어 준다. 이러한 단계는 극도의 정확성과 오염되지 않은 환경을 가진 최대로 청정한 곳에서 생산되어야 한다. 대부분의 단계가 자동화된 첨단 기기에 의해서 조작되지만 방진복을 입은 인력에 의해서도(manual) 많은 공정을 거치게 된다. 반도체 제조 공정은 다음의 네 가지 단계로 나누어 만들어진다. - Fabrication, 검사, 조립(패키징을 포함), 그리고 최종 검사. 첫째로 천연 실리콘 웨이퍼가 만들어지고 반복하는 fab공정을 거치게 된다. 그리고 반도체로 적합한지에 대한 전기적 검사-Probe라 한다-를 받은 후에 칩으로 잘라져서 우수한 제품은 패키지로 만들어진다. 마지막으로 패키지로 만들어진 제품은 재검사를 통해 완제품이 된다.

일반적으로 FAB 공정은 20에서 50여일 가까이 걸리며 후공정(Back-end Process)라 불리는 Assembly 공정과 Test 공정이 5일에서 10여일 가까이 걸리게 되어 전체 제조 공정이 30여일(몇몇 제품들의 경우 50일까지)이나 걸린다. 따라서 대부분의 제조 시간 및 비용이 FAB 공정에서 소비되기 때문에 여기를 어떻게 효율적으로 운영하느냐가 관건이 되며 여기에 대한 capacity를 어떻게 운영할 수 있는가에 많은 연구가 되어 오고 있다(Bermon and Jean Hood, 1999, Jean Hood et al, 2003, Ryu and Lee, 2008).

이렇듯 긴 제조 기간 동안에도 시장 수요는 매우 급속하게 변하기 때문에 이를 정확하게 따라가기는 것은 매우 어렵다. 아래 Fig. 6은 컴퓨터의 중앙 처리 장치 (CPU)로 사용되는 제품의 가격이 각 분기별로 얼마나 급격하게 가격이 감소했는지를 나타낸다. 각기 다른 색깔은 다른 기술의 제품을 나타낸다. 즉 신제품들이 계속 등장하면서 기존 제품들의 가격이 급속하게 하락한다는 것이다. 그림 5 및 Fig. 7의 경우처럼 일반적으로 하락하지 않고 수급 상황에 따라 역전되는 경우도 발생 할 수 있다.

전 세계적으로 수 많은 기업들이 주목하고 있지만 여러 가지 어려운 진입 장벽을 가지고 있는데 네 가지 중요한 특징을 지적할 수 있다(Ryu, 2006a and 2006b).

반도체 제조에서 중요한 사항은 생산량을 증대해야 한다는 것이다. 즉 반도체 제조 공기(업계에서는 TAT(Turn Around Time)라 부른다)를 1일만이라도 단축한다면 그렇지 않은 경쟁자보다 더 많이 생산 할 수 있고, 더 많은 수익을 올릴 수 있기 때문이다. 또한 제품의 가격 변동이 빠르고 폭이 크기 때문에 어떤 제품을 먼저 생산하는 것 또한 중요하다. 가격이 상승하는 제품을 더 증산 할 수 있다면 수익이 더 늘어났지만 반대의 경우는 오히려 손실을 더 크게 할 위험도 있게 된다. 또 시기 뿐만 아니라 고객의 지역별, 거

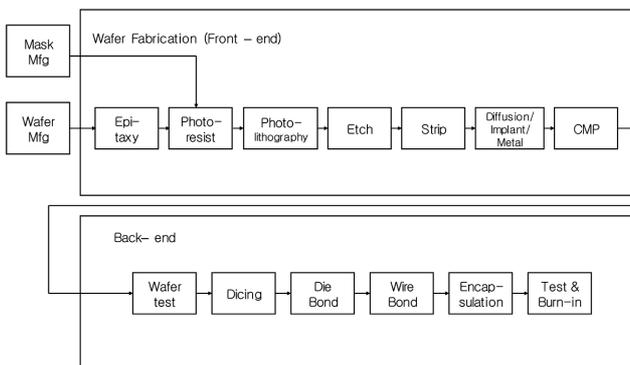


Fig. 5. An Illustration of Semiconductor Manufacturing Processes (<http://infras.com/Tutorial/>).

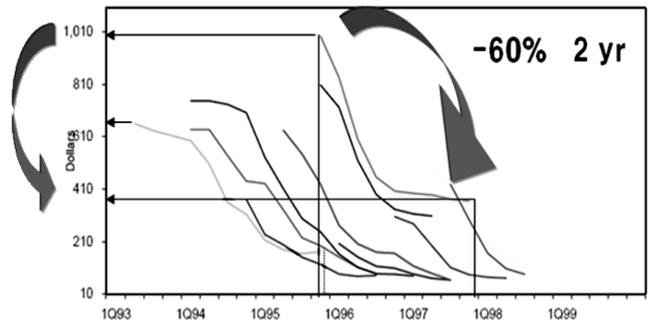


Fig. 6. Price Contour of CPU (Pentium I) (Ref.: US Dept. of Commerce).

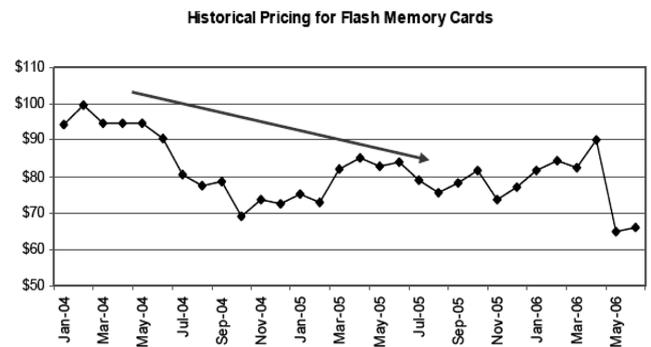


Fig. 7. An Illustration of Semiconductor Price Variation: FLASH Memory Card (2004-2006년,) (Ryu, 2006b).

래선별로 원하는 제품이 다를 경우, 거래선의 급격한 증산이나 감소 요청이 있을 경우 이를 어떻게 대응할 것인가 하는 다양하고 복잡한 문제들을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 단편적, 부분적, 일시적 고려보다는 전체적이며 통합적인 의사 결정이 필요하며 이에 바탕을 둔 일사 분란한 실행이 필요하다. 따라서 통합적인 관리에 대한 필요성이 대두되고 그것을 일부에서는 공급 사슬망 관리(supply chain management)라는 개념을 사용하여 설명하고 있다.

3. SCM 개요

공급 사슬 (supply chain)이란 최근 산업 공학, 경영 과학 등에서 그 필요성을 인식하기 시작하여 많은 주목을 이끌고 있다. 하나의 사례로, 최근 국내에서 출시된 신제품 자동차에 대해서 계약은 10,000대 이상 되지만 첫 달의 실제 생산되어 인도된 물량은 434대에 그쳤다는 신문 기사가 있었다(2008년 2월 5일자 국내 신문). 자동차의 어느 한 부품에 대한 수요예측이 급속한 주문 증대에 미처 대비하지 못했기 때문이었다. 희망한 고객들에게 정시에 공급하지 못한 사례이다. 이처럼 고객의 주문에 대하여 신속하게 대응할 수 없게 되는 것은 추후의 신뢰도에 큰 영향을 주어 장기적으로 그 제품과 기업에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다.

따라서 이제 명실 상부하게 중요한 것은 누가 더 경쟁력이 있는냐에 따라 달라지게 되었다. 이전에 있었던 진입 장벽이 낮아져 경쟁의 한계가 확장된 절대 경쟁의 세계로 들어오게 된 것이다. 즉 이것들 다음의 두 가지 관점에서 설명할 수 있다. 우선 지역적 한계에 의해 경쟁력이 떨어지는 제품이나 서비스를 억지로 선택해야 했었지만 이제는 자유 무역의 영향으로 법적으로 그 선택에 제한

이 없어지고, 둘째로 인터넷의 보급으로 더 경쟁력 있는 제품이나 서비스를 발굴하는데 비용이 훨씬 더 적어졌다. 그리고 네트워크 기술의 보편화로 인해 훨씬 저렴한 비용으로 광범위하게 펼쳐져 있는 개체들에 대한 상태를 정확하게 파악할 수 있게 되었다. 이와 더불어 바코드와 RFID(Radio Frequency Identification)는 물류의 발달과 실시간 처리(real time processing) 능력의 향상은 이를 기술적으로 뒷받침하게 되었다.

이제 중요한 도구는 어느 정도 기업 별로 공평하게 이용 가능하게 되었기 때문에 진정으로 중요한 것은 이러한 도구들을 이용하여 어떻게 하면 경쟁력 있는 시스템을 구축하여 부가 가치 (value)를 만들어 낼 수 있는 가이다. 여기서 경쟁력 있는 시스템이란 자기 자체 조직이나 회사 만의 경쟁력에만 국한되는 것은 아니다. 자신의 경쟁력은 우수하지만 주변 관련 조직의 경쟁력이 보조를 이루지 않는다면 전체적인 경쟁력은 떨어지게 된다. 이에 따라 각 조직을 통합하여 경쟁력을 고려하는 통합적인 시스템을 운영할 필요성이 제기되었다. 유망한 제품을 발굴하고 이에 대한 원재료 구매에서부터 생산 및 유통, 판매를 포괄하는 전체를 아우르는 공급 망 (Supply Chain)을 통합하여 관리하는 것을 공급 망 관리 (Supply Chain Management, 줄여서SCM)이라 하고 학계와 산업계에서 광범위하게 주목을 받고 논문과 책들이 2000년 전후로 하여 쏟아져 나오고 있다. 여기서 Supply Chain에 대한 관리에 대해 언급하는 것은 경영학이나 산업 공학 등 기존 학문 (discipline) 한 부분 만에 국한된 것을 의미하지는 않는다. 즉 기업 운영에 관여하는 전체 부분들을 어떻게 효율적으로 관리할 수 있는가는 다양한 학문 분야에서 기여가 가능하다.¹ 그 중에서도 본 논문에서는 직접적으로 관련된 부분은 의사 결정 문제(decision-making problem)를 수학적 컴퓨터 활용 능력을 통해 수학적 프로그래밍 문제로 바꾸어서 그 문제를 어떻게 해결할 수 있는 가이다.

여기서 실제 기업들은 SCM을 어떻게 수행하는지, 어떤 기업이 잘 하는지를 알아보는 것이 도움이 될 것 같다. Table 1은 AMR Research에서 2007년도를 기준으로 하여 전세계 주요 기업들에 대한 SCM 추진 능력들을 AMR의 기준들에 대해 살펴본 후 순위를 매긴 자료이다.

다양한 분야에 세계의 우수한 기업들이 있는데 무선 전화 제조 업체인 Nokia 사가 1위로 평가된 것은 많은 사항을 시사한다. 즉 SCM이 단순히 같은 제품을 빨리 혹은 싸게 만드는 것만을 의미하는 것이 아니라 제품 설계 및 생산에 이르기까지 전체를 동시에 고

려하여 유기적인 합성(organic integration)의 효과를 낼 수 있어야 한다는 것을 말한다. 즉 제품을 설계 할 때부터 고객들이 원할 만한 제품을 미리 인식하고 제품의 부품 수를 줄이며 부품을 대량으로 구매하고 가능한 한 외주(outsourcing)를 통해 단가를 낮추는 활동을 적극적으로 수행한다는 것이다. 이것을 공정 시스템 측면에서 다루어 본다면 전체 제조 공정을 통합하거나 단순화(merge)하는 것 뿐만 아니라 고객이 원하는 제품에 대한 보다 세밀한 개발이 실제 제조 공정과 융합되어 일어나야 한다는 점을 나타낸다. 즉 공정 시스템 공학에서 보다 넓은 시야를 가지고 경영학이나 산업공학의 측면까지도 한꺼번에 고려해야 한다는 것이다. 실제로 공정 시스템 연구 분야에서도 SCM에 대해 최근 크게 주목해 왔다. SCM에 대해 주요 PSE 학회들 (FOCAPO 2003, PSE 2003, ESCAPE 15, AIChE Annual Meeting)에서 개별 발표분야(Session Topic)로 지정되었고 공정 시스템 공학 관련 주요 학회 (peer journal 예를 들어 Industrial Engineering Chemistry Research, Computers &Chemical Engineering, AIChE J.)에서 최근 80여 편의 논문들이 발표되어왔다.

한편으로 기존 시스템 기반의 공학적 지식이 보다 광범위한 활용을 위해 이용되어야 한다. 지금까지의 논문들이 단순히 공정 운영이나 해석에 대한 의사 결정 모델을 구축하고 해결 하는 데 필요한 계산 방법론들에 대해 주로 집중해 왔다. 하지만 여기서 더욱 확장되어 각 운영 주체들이 제대로 기능을 다 하고 있는지에 대한 평가 및 진단의 정도를 판단하는 부분으로 확대될 수 있어야 한다. 이와 관련하여 SCM을 직접 사용하는 절차에 대한 업무 프로세스 (Business process)에 대한 부분과 이를 실행으로 옮기는 시스템 적용 (Information System) 부분 및 그 프로세스와 시스템을 실제 적용하는 변화 관리 (Change Management)까지도 의사 결정 문제에서 다룰 필요가 있을 것이다.

일반적인 supply chain의 공정이 그림 8과 같다면 여기서 manufacturing에 대한 의사 결정 모델은 다음과 같이 수학적으로 구성될 수 있다.

$$\begin{aligned} \max & f(CP_i, X_{i,i}, \Omega) \\ \text{s.t.} & F(CP_i, X_{i,i}, \Omega) \leq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 CP_i 는 capacity를 나타내며, $X_{i,i}$ 은 어떤 라인에서 어떤 제품을 언제 생산할 것인가를 나타내는 변수이다. Ω 는 매개변수(parameter)이다. $f(\cdot)$ 는 제조에서 이루고자 하는 performance function을 의미하며 $F(\cdot)$ 는 제조와 관련된 제약 조건들이다.

Table 1. AMR Research Supply Chain Top 25 for 2007 (source: AMR Research, 2007)

The AMR Research Supply Chain Top 25 for 2007				
1 Nokia	6 Wal-Mart Stores	11 Cisco Systems	16 Johnson Controls	21 Hewlett-Packard
2 Apple	7 Anheuser-Busch	12 Motorola	17 Texas Instruments	22 Lockheed Martin
3 Procter & Gamble	8 Tesco	13 The Coca-Cola Company	18 Nike	23 Publix Super Markets
4 IBM	9 Best Buy	14 Johnson & Johnson	19 Lowe's	24 Paccar
5 Toyota Motor	10 Samsung Electronics	15 PepsiCo	20 GlaxoSmithKline	25 AstraZeneca

Source: AMR Research, 2007

¹기업의 경우 구매, 제조, 물류, 마케팅, 판매, 서비스는 물론 개발까지도 SCM의 단위 프로세스로 판단하여 이를 전체적으로 통합하여 처리하고자 함. 이에 따른 비즈니스 프로세스 설계 및 이에 따른 컴퓨터 시스템 개발이 프로젝트로 혁신 부서나 외부 컨설팅 업체와 공동으로 실행됨.



Fig. 8. Schematic Diagram of Generic Supply Chain Flow.

물류에 대한 의사 결정 모델은 다음과 같이 수학적으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \max \quad & g(Y_{l,i,d,t}, INV_{d,i,t}, \Psi) \\ \text{s.t.} \quad & G(Y_{l,i,d,t}, INV_{d,i,t}, \Psi) \leq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$Y_{l,i,d,t}$ 는 제조 공장(1)에서 어떤 제품 i 를 어느 물류 창고(d)로 언제(t) 이송할 것인가를 나타내는 변수이며, $INV_{d,i,t}$ 는 재고 (inventory)를 나타내며 Ψ 는 물류와 관련된 매개변수이다.

판매와 관련된 의사 결정 모델은 다음과 같이 수학적으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max \quad & h(Z_{r,i,t}, \Xi) \\ \text{s.t.} \quad & H(Z_{r,i,t}, \Xi) \leq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$Z_{r,i,t}$ 는 어떤 거래선(r)에 어떤 제품(i)을 언제(t)까지 전달해야 하는가를 나타내는 변수이며 Ξ 는 매개변수이다. 공급 사슬 망을 고려한다는 것은 위의 사항들을 동시에 같은 총괄적 관점에서 검토한다는 것을 말한다. 즉 공급 사슬 망에 기반을 둔 의사 결정 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \max \quad & af(CP_l, X_{l,i,t}, \Omega) + \beta g(Y_{l,i,d,t}, INV_{d,i,t}, \Psi) + rh(Z_{r,i,t}, \Xi) \\ \text{s.t.} \quad & F(CP_l, X_{l,i,t}, \Omega) \leq 0 \\ & G(Y_{l,i,d,t}, INV_{d,i,t}, \Psi) \leq 0 \\ & H(Z_{r,i,t}, \Xi) \leq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 통합 모델 (4)가 개별 모델 (1), (2), (3)의 합(summation)을 단순히 한꺼번에 고려할 수도 있다. 각 변수들을 동시에 고려함으로써 통합의 효과를 볼 수 있는 의사 결정 모델을 의미한다.

$$\begin{aligned} \max \quad & L(CP_l, X_{l,i,t}, Y_{l,i,d,t}, INV_{d,i,t}, Z_{r,i,t}, \Omega, \Psi, \Xi) \\ \text{s.t.} \quad & F(CP_l, X_{l,i,t}, \Omega) \leq 0 \\ & G(Y_{l,i,d,t}, INV_{d,i,t}, \Psi) \leq 0 \\ & H(Z_{r,i,t}, \Xi) \leq 0 \\ & L(CP_l, X_{l,i,t}, Y_{l,i,d,t}, INV_{d,i,t}, Z_{r,i,t}, \Omega, \Psi, \Xi) \leq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Ryu 등은 이렇게 통합으로 인한 새로운 형태의 의사 결정 모델을 supply chain에 참여하는 각 인자(entity)들이 개별적인 의사 결정에 의해 결정되기 때문에 이들이 각각의 의사 결정을 이루는 이중 프로그램(bilevel programming) 모델로 설명하였다. 즉 생산자와 물류 저장업자의 개별 목적에 따라 다음의 bi-level programming으로 의사결정 문제를 구성하였다(Ryu et al, 2004).

$$\begin{aligned} \min_x \quad & F(X, Y) \\ \text{s.t.} \quad & G(X, Y) \leq 0 \\ \min_Y \quad & f(X, Y) \\ \text{s.t.} \quad & g(X, Y) \leq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $F(X, Y)$ 는 상위 의사 결정 문제(a higher level decision problem) 혹은 선두자의 문제(a leader's problem) 혹은 외부 문제(an outer problem)이라 칭하며 $f(X, Y)$ 는 하위 의사 결정 문제(a

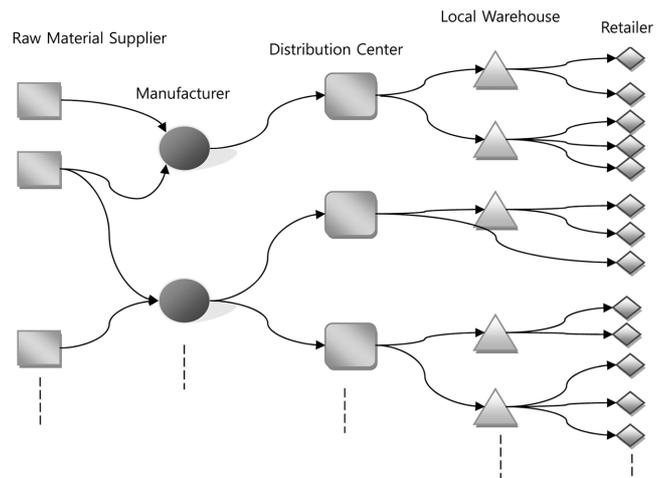


Fig. 9. A Schematic Diagram of a Typical Supply Chain Case.

lower level decision problem) 혹은 후발자 무제(follower's problem) or 내부 문제(inner problem)라 불린다. Ryu and Lee (2007)는 이를 확장하여 일반적 Supply Chain의 의사 결정 문제를 3개 이상의 다중 프로그래밍 문제로 확장하였다.

한편 supply chain의 기본적 특징은 그 참여 개체(entity)의 수가 많다는 것이다. 즉 개체들이 네트워크를 구성하고 있는 상황에서 한 개체에서 동일한 기능을 수행하는 복수개의 개체들 중에서 어떤 개체로 재화를 이송할 것인가하는 선택의 문제를 해결해야 한다. Fig. 9에서 일반적 supply chain의 어떤 공장에서 어떤 제품을 어떤 거래선을 대상으로 얼마만큼을 생산할 것인가에 대한 결정이 필요하다. Ryu and Pistikopoulos (2005)는 이를 supply chain의 개체들이 운영 방침(operation policy)에 따라서 서로 어떤 역할을 수행하느냐에 따라 협업(coordination), 협동(cooperation), 경쟁(competition)의 역할로 정의 내리고 이에 따른 각각의 의사 결정 모델을 제시하였다. 이후 Ryu and Pistikopoulos (2007)에서 실제 모델에 이어 생산 계획 모델 또한 운영 방침에 기반을 두고 multiperiod에서 어떻게 최적의 운영 모델을 사용할 수 있는가에 대한 수학적 모델들을 제시하였다.

본 논문에서 언급된 부분 이외에 실로 다양한 시도와 연구가 SCM에 대해서 학계와 업계에서 시행되고 있다. 그 중 극히 일부 분야라도 소개하는 것이 새로운 관심을 불러 일으키는 측면에서 도움이 될 것이라 예상된다. 경영학 부분에서는 simchi-Levi 등(2003)의 저서가 많은 관심을 받아오고 있다. 전략적 개념 및 일반적 사항에 대해 많은 소개를 하고 있다. 한편으로 단순히 제품을 효율적으로 생산 공급하여 수익을 증대시키는 것에서 확대하여 환경적 요인까지 고려하여 더 확대되고 더 오랜 기간에 대한 공급 사슬망 관리하는 환경적으로 책임있는 공급 사슬망(environmentally responsible supply chain)에 대한 필요성과 관련 연구가 발표되고 있다. 제품이 사용되고 난 뒤에 폐기물까지 그 공급 사슬망에 역순으로 다시 공급되어 다시 재사용이 가능할 수 있도록 하여 효율을 높이고 환경을 오염을 막을 수 있도록 한다는 개념이다. 프로세스 산업에 대한 SCM의 관심은 비교적 최근이며 많은 연구가 없지만 Hübner(2007)는 프로세스 산업에서 전략적 공급 사슬망 관리에 대해 광범위한 정리를 발표하여 주목할 만 하다. 아울러 Imperial College의 Shah 교수와 연구진들은 제약 산업에서의 SCM에 대해

서 수학적 모델들을 제시하는 등 활발한 활동을 해 오고 있다 (Papageorgiou et al., 2001, Shah, 2005)

4. 반도체 SCM 개요

이번 장에서는 개별적으로 언급된 반도체 산업의 특징과 SCM의 개념을 동시에 고려한 반도체 SCM의 주요 이슈들을 살펴 보겠다. 이론적인 측면에서 살펴보는 것보다 실용적인 측면에서 실제 기업에서의 SCM이 어떤 이슈를 가지고 있는가를 파악하는 것이 가장 필수적이지만 업계의 심한 경쟁에 의한 정보 공유의 폐쇄성으로 인해 많은 자료가 공개되지는 않았다. 하지만 Chang and Kang (2004)의 논문은 국내 대표 기업이며 전 세계 상위 업체인 삼성전자의 SCM 도입에 사례에 대한 좋은 자료이다. 그들에 의하면 삼성전자는 국내에서는 비교적 가장 먼저인 1998년부터 각 부문의 전산화 및 시스템 통합화를 통하여 SCM 시스템과 프로세스를 도입하였다. 이와 유사한 업계에서의 학술 발표 또한 많지 않지만 최근에 김재곤 등(2004)이 귀중한 발표를 하였다.

반도체 SCM이 가지고 있는 주요 이슈들은 Fig. 10와 같이 정리할 수 있다. 수요와 공급에서 내재된 문제점들과 이를 해결하기 위한 대책들을 가운데에 정리하였다.

가장 중요한 이슈는 빠르게 변하는 주변 환경에서 - 주문 수량 측면과 제품 종류의 변경 측면 모두 포함해서 - 매우 복잡하고 비용이 많이 필요로 하는 공정을 어떻게 운영하는 것이 이익을 최대화 할 수 있는 가이다. 여기에 최적화(optimization)의 개념이 도입될 필요가 있는 것이다.

반도체 제조 산업의 특징을 살펴 볼 때 언급되었듯이 매우 경쟁이 심한 (competitive) 부분이며 시장 자체에 큰 변동성을 가지고 있는 분야인데 변동성이 피할 수 없는 상황에서 Supply Chain에 참여하고 있는 여러 가지 다양한 인자(element 혹은 entity)들을 관리한다는 것은 매우 어려운 문제이다. 이 불확실성을 고려하여 최적의 효율을 보여주면서 조업을 하여야 한다. 그런데 반도체 제조 운영측면에서 일단 Fabrication 단계로 투입되어 진행 중인 제품에 대해서는 수요가 변한다고 해서 바로 변환한다는 것이 쉽지 않다. 즉 반도체 공정이 매우 복잡하고 연속 공정(continuous process)으로 이루어지며 품질 안정성이 중요하기 때문에 갑자기 제품 진행을 바꾸기 위해 setup 조건을 변경하는 것은 제품 품질(yield)에 심각한 문제가 된다. 또한 이를 위해 부수적인 많은 비용이 수반된다. 따라서 공급에서의 유연성을 보유하기 어려운 상황에서 고객이 원

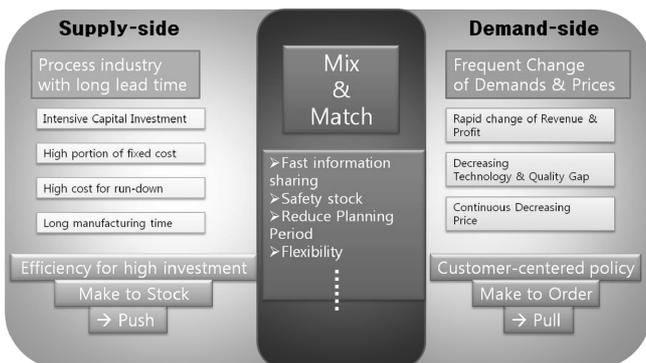


Fig. 10. Key Issues of Semiconductor SCM (Ryu and Lee, 2007b).

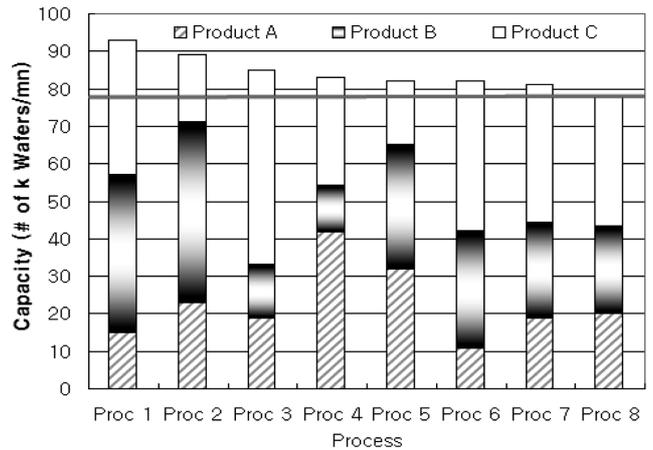


Fig. 11. An Illustration of the Planning Result (Ryu and Lee, 2008)

하는 바를 만족시키는 것은 매우 심각한 도전이다. 이러한 반도체 SCM의 주요 이슈로 다음의 세 가지 항목이 매우 중요하다고 할 수 있다.

첫 번째로 현 공정의 capacity를 정확하게 파악하고 향후 수요가 변경할 때 capacity를 어떻게 유지해야 하는지를 정확하게 파악할 수 있는 의사 결정 시스템이 매우 필요하다. 즉 갑작스런 변경은 어렵다고 하더라도 바꾸려고 하는 공정에서 추가로 필요한 설비가 무엇인지를 미리 준비해야 한다는 것이다. 반도체 장비가 매우 세밀하며 복잡한 정밀 장비이기 때문에 주문 제작 방식이며 제작에 상당한 시간과 비용이 필요하다. 따라서 설비(tool)의 구매 계획(purchasing plan)은 매우 중요한 조업 계획(operation planning) 항목이다.

Fab capacity 계획에서 중요한 것은 현재 단계에서 수립된 생산 계획에 따라 앞으로 필요한 설비가 무엇이며 이를 위해 어떤 설비가 언제까지 가동 준비가 되어야 한다는 결정을 하는 것이며 실행 측면에서는 이에 따라 준비하는 것이 가장 필요한 항목이다. 아래 Fig. 11은 그 예로 Fab 공정에서 각 공정별로 최대 생산할 수 있는 wafer의 수를 나타낸다. 여기서 그 Fab라인이 생산할 수 있는 것은 빨간 색으로 표시된 공정 8의 최대 생산량만큼만 생산해 낼 수 있다.

따라서 전체 생산량을 증대시키기 위해서는 공정 8의 설비를 확충하는 것을 알 수 있다.생산 계획이 변경할 때에는 bottleneck이 되는 설비나 공정이 변할 수 있다. 따라서 수요에 따른 생산 계획 수립과 긴밀히 연계하여야 한다. 따라서 전체의 중 장기적 생산 계획 수립 (long-term operation planning)에 있어 이들 계획이 supply chain의 전체 생산 계획과의 연계성은 Fig. 12와 같이 표기 할 수 있다.

두 번째 어떤 제품을 생산할 것인가를 투입 시점에 결정하는 것은 매우 중요하다. 일단 시작된다면 그 결정을 바꾸는 것이 어렵기 때문이다. 따라서 외부 환경의 변동 상황에 강건한(robust) 의사 결정을 원하게 된다. 이를 위해 각각의 생산 계획은 목표 시기(horizon)에 따라 계층적으로 (hierarchically) 나뉘어져 생산 계획을 수립하게 된다. 개별 제품의 수요 변경이나 시장 전체의 변화를 생산에 적절히 반영하기 위해서는 지속적인 검토가 있어야 하며 기업에서는 이를 업무 프로세스 (business process)화(化)하여 관리하고 있다. Fig. 13에 좌측 부분이 이를 나타내 준다.

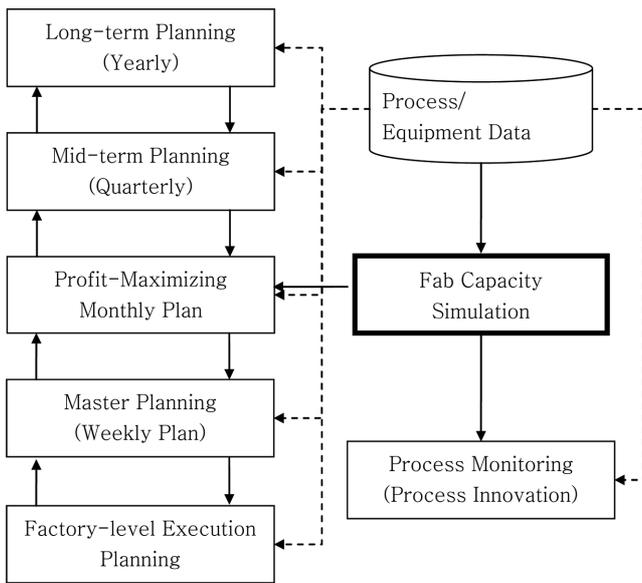


Fig. 12. Positioning of the proposed capacity planning in overall supply chain decision-making framework (Ryu and Lee, 2008).

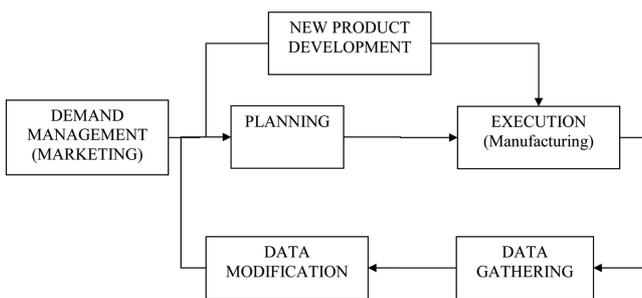


Fig. 13. An Illustration of Generic Supply Chain Planning System Flow Chart (Ryu, 2006b).

실행하는 측면에서 투입 계획은 약속 이행(fulfillment)의 측면을 강조해야 한다. 복잡한 제조 공정을 가지고 있기 때문에 조금이라도 효율을 높이기 위해서는 앞서서 시행되는 단계들이 어떤 것들이 있고 이들 다음에 어떤 공정이 실시되어야 하는지에 대한 일정이 정해져야 한다. 물론 이것은 기존의 시스템을 통해 구축되어 있지만 여기서 현재 작업이 언제 종료될 예정이며 금일 공급될 양은 얼마나 될 것인지와 같은 예측 값을 제공해 주어야 한다. 여기서 이 예측값은 Fig. 12에서 각 항목별로 결정된 생산계획 값에 해당한다. 이 예측 값에 따라 해당 공정 뿐만 아니라 다른 공정에서 이에 따른 준비를 할 수 있게 해 준다. 하지만 여기서도 불확실성이 존재할 수 밖에 없어서 예측 값을 벗어나는 경우가 생기게 된다. 이 경우 예외적인 상황을 어떻게 같이 해결할 수 있게 되는지에 대한 준비가 되어 있어야 한다.

세 번째로 그런데 supply chain에서 다루는 범위가 넓고 계산하는 시간적 범위가 넓기 때문에 이에 따른 의사 결정 문제에 사용되는 데이터(변수, parameter)의 규모가 매우 크게 된다. 특히나 반도체 제조 공정이 매우 복잡하기 때문에 각 공정별로 발생하는 데이터의 양은 매우 폭발적으로 증가하게 된다. 그런데 이들 데이터가 모두 정확한 데이터가 아닐 수도 있다. 즉 데이터의 불확실성이 내재(inherent)해 있다. 또한 실제 조업을 하다 보면 이전에 정

한 시간만큼 실제로 소요되지 않는다. 3시간이 걸릴 수도 있고 2시간 55분이 걸릴 수도 있다. 매번 그러한 차이가 실제로는 발생할 수 있다. 물론 이 차이는 공정 조업을 반복된 안정된 공정일 경우에는 적어서 통계적으로 오차 범위 내에 발생하는 일정한 공정일 수도 있고, 신제품이나 품질 관리가 어려운 공정일 경우, 노동력이 많이 필요한 경우에는 지속적으로 바뀔 수도 있다. 실제 공정 자체가 긴 공정이라고 한다면 그 공정의 전체 완료 시간이 누적되어 전체적인 산포도를 가지고 분산될 수 있다. 극단적으로 말할 경우에 안정된 공정의 경우 표준편차가 매우 적은 정규 분포를 가지고 있는 공정 성과를 가지고 있다고 할 수 있었고, 안정되지 못하고 신제품일 경우에는 uniform distribution을 가지고 있을 수도 있다. 공정은 시간이 지나가면 갈수록 안정되어 가지만 지속적으로 제조 성능을 개선시키지 못할 경우에는 경쟁력을 상실하기 때문에 언제나 주어진 조건은 어려운 상황이 된다. 따라서 이러한 불확실하며 매우 규모가 큰 데이터를 어떻게 관리하는가가 반도체 SCM에서 매우 중요한 문제이다.

즉 기업 운영에 있어 가능한 여러 가지 변화에 대응함에 있어 기존 생산 방식, 운영 방식에서 대다수의 매개 변수들에 대하여 변동할 수 없는 고정된 것이라 생각하였다. 하지만 SCM에서 추구하는 고객 만족과 전체 최적화라는 목적에서 그 고정된 매개 변수들이 변화하여야 하는 경우가 생기게 되었다. 또한 기존의 경우 계획이 수립되고 시행되는 관리 주기가 상당히 길었다고 한다면 SCM의 효율적 구성은 그 관리 주기가 짧아질 필요성이 있다. 이렇게 증가하는 데이터를 제대로 관리하기 위해서 최근 업계에서는 Master Data Management (MDM)이라는 개념이 강조되고 있다.

공정 시스템 공학을 전공한 저자의 업계에서의 수 년간의 경험을 통해 SCM에 대해 다음의 몇 가지 교훈을 정리 할 수 있을 것 같다.

첫째, SCM 도입을 통한 효과를 보기 위해서는 일회성이 아니고 끊임없는 관심을 가지고 있어야 한다. SCM의 관심 범위는 기업 업무의 거의 대부분을 포함하고 있기 때문에 여러 가지 상호 연결되어 있다. 여기서 특정 문제를 특정 부분에서 해결하는 것이 전체에 효과를 가지게 하기 위해서는 각 부분별로 문제를 해결하기 위한 통합적인 노력이 필요하다. 이것은 일시적으로 실행될 수 있는 문제는 아니다. 새로이 구축된 프로세스 혹은 시스템과 기존의 업무 프로세스 및 시스템과의 조화를 찾아야 하며 계속해서 다른 개선 활동은 어디서 얼마만큼 찾을 수 있는 것인가에 관심을 두어야 한다. 물론 많은 기업 활동이 반복적으로 일어나는 항상성을 가지고 있지만 그 반복적인 작업들의 성능 개선을 통하여 보다 더 큰 이익의 확대를 기대할 수 있게 된다.

두 번째로 일단 구축된 시스템은 꾸준히 업데이트 되어야 한다. 기업이 처하고 있는 상황은 계속 변화하기 때문에 한 번 구축된 시스템이 언제까지나 완벽하게 효과를 볼 수는 없다. 즉 계속해서 진단되고 개선 되어야 한다. 이러한 개선이 가능하기 위해서는 최고 지도층이 SCM의 성공이 기업의 성공을 위해 절대적으로 필요하며 SCM은 지속적으로 강조되어야 한다는 지속적 관심이 중요하고 모든 관계자들의 교육이 필요하다. 이러한 교육의 결과로 모든 구성원들의 공감대가 형성되는 것이 필요하다. 이것은 자체 회사 내에서만 공감대를 말하는 것은 아니며 협력 회사, 정부 등 전체적인 협력이 필요한 것이다.

세 번째로 현실적 솔루션 시스템의 구성과 이를 반영하는 효과적인 데이터의 관리의 중요성을 강조하고 싶다. SCM을 구현하기

위해 실제 업무 관행을 비즈니스 프로세스화하고 이 프로세스를 자동화하고 관리하는 시스템을 구축하게 된다. 여기서 구축되는 시스템을 전체 최적화를 이루기 위해 시스템 자체가 서로 연결된다. 여기에 새롭게 설치된 프로세스와 시스템이 기존 설치된 시스템과 조화를 이룰 수 있어야 한다. 이에 수반하여 사용된 기본이 되는 제품 정보를 효과적으로 관리할 수 있어야 한다.

단일 제품을 반영하는 제조업이라도 관여된 여러 가지 공정을 거쳐야 때문에 다양한 제품 분류를 사용하게 되고 이에 따라 사용되는 기준 정보(master data)의 전체 규모 또한 많아진다. 즉 많은 코드를 사용하게 된다. 기업의 규모가 커지면서 MDM(Master Data Management)의 중요성 또한 커지고 있는 사실은 이를 증명해 준다고 할 수 있다. 학문적 연구가 한 부분에 집중하여 최적화 및 최상의 효과를 얻기 위해 수학적 접근 방식을 사용하는 반면 실제 기업활동에서는 많은 부분을 동시에 해결해야 하는 경험론적 의사결정으로 전략적으로 접근한다. 부분 혹은 실제적으로 적용하는데 시스템으로 구현되지 못해 단계적으로 시행되는 경우가 많다. 이 경우 참여 구성원, 시스템과 프로세스의 세가지를 어떻게 조화롭게 사용하는 운영의 묘가 중요하다.

Fig. 13에서 도식화하듯이 실제 공정에서 무수하게 발생하는 데이터 중에서 실제 반복 가능성이 없는 것을 제거 하고 중 장기 계획뿐만이 아닌 단기간의 생산 계획 또한 수립함으로 실행에 옮길 때 효율성을 찾을 수 있다. 여기서 개발 부서에서 계속적으로 추가적으로 도입되는 신제품이나 기존 생산 공정의 효율화 개선으로 인한 제조 공정 자체의 성능 개선화에 따른 데이터의 변경 또한 데이터 관리를 어렵게 한다. 반도체의 경우에는 각 공정 별로 하나의 웨이퍼에서 다양한 제품 군으로 나누어지기도 하고 다수의 나누어진 제품들이 공정을 거치면서 하나의 제품으로 등록하게 되는 경우가 있다. 이 경우에 전체 제품의 생산 진도를 맞추는 과정은 매우 어려운 문제가 된다. 이것이 이슈가 되는 이유는 전체 공정이 복잡하기 때문에 사소한 집계에서의 실수가 주문의 납기일이나 약속 수량을 어기게 되는 경우가 발생하기 때문이다.

네 번째로 참여 구성원들의 적절한 교육 및 합리적 개인별 업적 평가 지표 또한 개발되어야 한다. 위에서 언급한 대로 SCM의 이용은 일회성 작업이나 기업의 한 부서에서만 수행된다기 보다는 하나의 문화이면서 전략으로 참여인 전체가 한꺼번에 수행하는 것이다. 구성원들의 전체적 공감대가 형성되어야 하며 이를 위해 적절한 교육이 필요하다. 그런데 기업에서 각 부서 및 개인에 대한 평가에서 이러한 전체적 공감대를 적절하게 반영하는 것이 매우 어려운 것이다. 개별 인력들에 대한 평가를 위해 Supply chain의 운영 능력에 대한 지표, 흔히 말하는 KPI(Key performance Indicators)를 정의해서 이 지표의 어느 일정 시간 내에서의 변동에 대하여 평가를 내릴 수 있을 것이다. 합리적이며 정확한(rigorous) 평가 기준의 수립은 전체 참여원들에 대한 동기 유발 측면에서도 기여할 수 있을 것이다. 학계에서의 연구 및 기여가 있다면 기업이 나중에 소비해야 하는 금전적, 시간적, 기회적 비용의 절약은 매우 크다고 할 수 있다. 즉 기업이 필요로 하는 교육 및 개념에 대한 교육을 인력들의 기업 활동 전 단계에서 파악하고 실시한다는 것은 그 사회 및 국가의 전체적 경쟁력을 높일 수 있는 것이다.

첨단 산업이나 기존의 굴뚝 산업이나 마찬가지로 산업에서 제품을 고객에게 공급하는 것은 공통적이다. SCM에 대한 관심은 고객에 대응을 통해 고객에게 전달하는 가치를 구체화 시킬 수 있는 방

법론에 대한 절실한 필요성 때문이다. 즉 생산 및 물류에서 판매에 이르기까지 발생하는 변동을 어떻게 최대한 만족시킬 수 있을 수 있는가를 다룬다는 것이다. 이를 위해 그 공급망의 유연성(flexibility)을 높여 주고 환경 변화에 강건한(robust) 시스템을 구축해야 할 필요성이 있다. 그러면 어떻게 유연하며 강건한 시스템을 구축할 수 있는가를 살펴봐야 한다. 우선 고객에게 현재 상태를 정확하게 알려 줄 수 있는 시스템 내의 투명성과 가시성을 줄 수 있도록 구축해야 한다. 즉 시스템 자체를 체계적으로 구조화시켜서 고객의 주문이 처음 도달하였을 때에는 그 요구 사항이 언제 맞추어 줄 수 있는가를 제시하여 줄 수 있어야 하며, 그와 동시에 다른 고객의 새로운 주문이나 기존 주문에 대한 변동 사항이 접수 되었을 경우에 현재 상태를 감안하여 어떻게 최대한의 이익을 주는 목적에 따라 현 상태를 변화 시켜 줄 수 있는냐를 결정해서 고객에게 통보 해 줄 수 있어야 한다.

5. 공정 시스템 공학의 반도체 SCM의 기여 가능성

기업에서 SCM의 개념을 실행으로 옮기기 위하여 우선적으로 하여야 하는 일들은 당 기업의 프로세스를 재정립하고 그 정립된 프로세스를 최적으로 운영할 수 있는 시스템 환경을 갖추는 것이다. 최근 각 기업들은 앞다투어 최신식 제조 공정 설비를 도입하고 있으며 이 설비들을 통합할 수 있는 시스템 구축 또한 IT 기술의 발달로 인하여 상대적으로 저렴한 가격으로 할 수 있게 되었다. 따라서 중요한 것은 단순히 대규모 전산 설비의 도입만이 중요한 것이 아니라 효과적으로 기업의 업무 프로세스를 반영하는 시스템을 구축하고 프로세스와 시스템을 통합하여 운영하는 것이다. 하지만 기업활동에 필요한 요소들이 너무도 다양하여 시스템으로 구축하기 어려운 것들이 많으며, 기본적 입장이 다른 여러 집단의 사정을 고려하여야 한다. 화학공학과 공정 시스템 공학의 전체 최적화 관점을 가진 인력들이 이 부분에서 큰 역할을 수행 할 수 있으리라 예상된다. 대부분의 반도체 SCM에 대한 연구는 경영 공학, 산업 공학, 응용 수학 분야에서 활발히 진행되어 왔다. PSE 부분의 경우 Arizona State University의 Daniel E. Rivera 와 연구진들이 몇몇 연구를 발표했다(Vargas-Villamil et al., 2000; Wang et al., 2003; Kempf, 2004, Wang et al., 2007). 하지만 그들의 연구는 반도체 공정을 단순화 하여 제어 개념을 도입하여 문제를 도출하고 이에 대해 접근하는 제한된 방법을 취하였다.

가장 유망한 것은 생산 계획 시스템 개발일 것이다. 일반적으로 Supply chain의 실행에 대해 시스템 관점으로 APS(Advanced Planning & Scheduling) 라고 말하는 계획 결정 시스템이 일반적으로 운영된다. Fig. 16의 좌측 편의 계층적 생산 계획 구조를 나타낸다. 이들 생산 계획 수립에 있어서 각 공정 프로세스가 개조될 때 그에 따른 생산성을 새롭게 분석하여 기존 생산 구조에 적용된 APS를 변경된 시스템 구조(network structure)에 따라 변경하는 데는 PSE의 경험이 기여 할 수 있으리라 기대된다.

여기서 한 가지 더 확장 및 응용 할 수 있는 것은 이렇게 계획 설정에 관한 시스템 구성에 기반하여 전체 성과 분석이라는 부분도 이와 병행하여 움직여야 하는데 공정 시스템 공학이 여기서 경영학의 평가 측면과 실제 현장에서 발생하는 평가 측면으로 단편적으로 단정하기 어려운 부분에 대해 서로 이해 시킬 수 있는 역할을 수행 할 수 있을 것이다. 즉 계획대로 각 부분이 얼마만큼 진

행되었는가를 측정하고 이에 따라 실행이 제대로 되지 못한 부분이 무엇이 있는가를 분석할 필요가 있다. 공정 운영과 그에 따른 평가가 연동되어야 하지만 아직까지도 그 평가 기준은 세분화되거나 수량화 되지 못하는 경향이 있다. 또한 실제 공정 운영이 엄하게 평가받더라도 그에 대한 인과 관계가 명확하지 못한 경우가 있을 때 이에 대한 공평한 의사 결정 기준을 만드는 데 기여할 수 있을 것이다.

시스템 내부에는 여러 가지 상황이 발생한다. 처음에 가정한 공정 상황이 실제 운영에 있어서는 애초에 예상한 값대로 언제나 일어나지는 않는다. 여러 가지 일상적 상황과 다른 경우는 언제라도 발생하기 마련이다. 애초에 예측값에 바탕을 두고 운영이 되는데 실제 구성에서 그 예측값과 발생하는 실제값 사이의 차이를 어떻게 해결하는가는 매우 중요한 문제이다. 이러한 변화 관리 측면에서도 현장과 이론을 동시에 이해하는 공정 시스템 공학이 상당 역할을 수행할 수 있을 것이다.

기업은 전산 시스템을 도입하므로 자동화를 기대한다. 하지만 실제로 업무를 수행하는 사람들은 새롭게 도입된 시스템을 이용하는 것을 거부감을 느끼게 된다. 그 거부감을 없애주고 꼭 사용하게 만들 수 있도록 하는 것이 실질적으로는 매우 중요하다. 또한 전산 시스템이 논리를 반영하여 최적화시켜서 결과를 얻고 이를 적용할 경우에 각 부분별로 예외적인 상황을 어떻게 극복할 수 있는지에 대한 업무 프로세스가 적립되어야 한다.

6. 결 어

최근 학계와 업계에서는 모두에서 경쟁이 심해지고 이윤 규모가 줄어가는 경제 환경에서 살아남을 수 있는 방법을 찾기 위해 기업 운영을 위한 대규모의 공급 사슬망 (Supply Chain)에 대한 연구가 활발하게 시행되고 있다. 시시각각으로 신제품이 개발, 보급되는 첨단 산업에도 SCM에 대한 중요성은 무시할 수 없다. SCM에 대한 접근 방법 또한 다양하게 있을 수 있지만 시스템 공학에 기반을 두고 Supply Chain에 참석한 구성원들이 어떤 기능을 얼마나 수행해야 하는가에 대한 의사 결정을 내려 줄 수 있는 체계적이고 효과적인 의사 결정 모델 수립의 측면에서 연구 필요성에 대해 지적하였다. 실제 현실 세계에서 발생하는 문제를 해결하는데 앞으로 더욱 많은 발전 가능성을 가지고 있는데 후속 연구가 추가되어야 한다. 이를 위해 다른 학문 분야와의 연계가 이어져야 함을 다시금 강조하고 싶다.

인터넷과 통신 기술의 발달로 인해 공급 망 관리의 방법은 크게 향상되었다. 기존에 통신망이 발전되지 못하였을 경우에는 상상할 수 없었던 거의 실시간으로 일어나는 판매 현황을 파악할 수 있게 되었다. 한편으로 중앙 집권적인 공급 망 관리가 가능하게 되었다. 그러나 여전히 각 공급 망 구성원들이 자신들의 성공을 위한 여유분 (buffer, inventory)을 보유하려는 공급 망에서의 자신 위치에 대한 욕구 때문에 공급 망 전체에 여전히 bias가 발생할 수 있다. bullwhip effect는 이를 실제로 나타내 주는 개념이다. 경쟁력 있는 Supply Chain이란 이러한 상호 충돌적인 부분을 어떻게 잘 이해시킬 수 있는가를 다루어야 한다. 서로 경쟁 관계나 동반자 관계 (partnership)를 가지는 등 다양한 이익 관점을 가지고 있는 개체들을 만족시킬 수 있는 체계적이고 객관적인 방침과 모델의 발표가 필요하고 앞으로 계속 발표될 것이라 예측된다.

본 논문이 반도체 SCM가 가지고 있는 전체 문제들에 대해서 알려준다고 단언할 수는 없지만 저자의 5년여 종사 경험을 바탕으로 이들 문제들을 해결할 수 있는 기본적 이해의 틀 (framework)을 제공하였으면 한다. 현재에도 많은 공정 개발 및 개선 분야와 제품 개발에 많은 화학공학도가 진출해 있지만 앞으로 이러한 공급 사슬망 분야로 또한 진출을 기대해 본다.

감 사

본 연구는 BK(Brain Korea) 21의 재정 지원을 통해 이루어졌습니다.

참고문헌

1. Kim, J. G., Ko, J., Jang, G. C. and Ji, D. S., "Semiconductor Manufacturing Industry Based Case of SCM in Equipment Industry," Korea Society of Management and Information System 2004 Spring Meeting(2004).
2. Bermon, S. and S. Jean Hood, "Capacity Optimization Planning System (CAPS)," *Interfaces*, **29**, 31-50(1999).
3. Bok, J., Lee, H. and Park, S., "Robust Investment Model for Long Range Capacity Expansion of Chemical Processing Networks Under Uncertain Demand Forecast Scenarios," *Comput. & Chem. Eng.*, **22**, 1037-1050(1998).
4. Chang, J. and Kang, M., "Supply Chain Solution Implementation, Optimizing Supply Chain in Samsung Memory Division, Evolution of Supply Chain Management: Symbiosis of Adaptive Value Networks and ICT," Y. Chang, H.C. Makatsoris and H.D. Richards Eds., Kluwer Academic Publishers, 105-134(2003).
5. Gupta, A., Maranas, C. D. and McDonald, C. M., "Mid-term supply Chain Planning Under Demand Uncertainty: Customer Demand Satisfaction and Inventory Management," *Comput & Chem. Eng.*, **24**(12), 2613-2621(2000).
6. Hbner, R., "Strategic Supply China Management in Process Industries An Application to Specialty Chemicals Production Network Design," Springer(2007).
7. Jean Hood, S., Bermon, S. and Barahona, F., "Capacity Planning Under Demand Uncertainty for Semiconductor Manufacturing," *IEEE Transactions on semiconductor manufacturing*, **16**, 273-280(2003).
8. Kempf, K. G., "Control-Oriented Approaches to Supply Chain Management in Semiconductor Manufacturing," *Proceeding of 2004 American Control Conference, Boston, MA*, 4563-4576(2004).
9. Lee, H., Kut, S. and Tang, C. S., "The Value of Information Sharing in a Two-Level Supply Chain," *Management Science*, **46**(5), 626-643(2000).
10. Lee, H., Padmanabhan, V. and Whang, S., "The Bullwhip Effect in Supply Chains," *Sloan Management Review*, 93-102(1997).
11. Malcolm, S. A., Zenios, S. A., "Robust Optimization for Power Systems Capacity Expansion under Uncertainty," *J. Oper. Res. Society*, **45**(9), 1040-1049(1994).
12. Papageorgiou, L. G., Rostein, G. E. and Shah, N., "Strategic Supply Chain Optimization for the Pharmaceutical Industries," *Ind. Eng. Chem., Res.*, **40**, 275-286(2001).
13. Ryu, J., "The Importance of SCM in High-tech Manufacturing Industries," *The Institute of Control, Automation, and Systems*

- Engineering(Korea)*, **12**(4), 55-60(2006).
14. Ryu, J., "Lessons Learned in Implementing of SCM Principles on Semiconductor Manufacturing Industry: Process Systems Engineering Perspective," *Korean Chem. Eng. Res., (Korea)*, **44**(3), 265-269(2006).
 15. Ryu, J. and Pistikopoulos, E. N., "Design and Operation of an Enterprise-wide Process Network under Uncertainty - 1. Design," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**(7), 2174-2182(2005).
 16. Ryu, J. and Pistikopoulos, E. N., "Multiperiod Planning of Enterprise-wide Supply Chains Using an Operation Policy," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**(24), 8058-8065(2007).
 17. Ryu, J. and Lee, I., "Application of Fabrication Capacity Planning in Semiconductor Supply Chain Decision-Making," *submitted to IEEE Transaction semiconductor manufacturing*(2008).
 18. Ryu, J. and Lee, I., "Identification of Complex Supply Chain Relationships and their Multi-level Programming Modeling," submitted to *Ind. Eng. Chem. Res.*, (2007).
 19. Ryu, J. and Lee, I. B., "Semiconductor Supply Chain Management: Challenges and Efforts," Kiche Spring Meeting, Daejeon (2007).
 20. Ryu, J. V. Dua and Pistikopoulos, E. N., "A Bilevel Programming Framework for Enterprise-wide Supply Chain Planning Problems under Uncertainty," *Comput. Chem. Eng.*, **28**(6-7), 1121-1129(2004).
 21. Shah, N., "Process Industry Supply Chains: Advances and Challenges," *Comput. Chem. Eng.*, **29**, 1225-1235(2005).
 22. Shah, N. and Pantelides, N. N., "Design of Multipurpose Batch Plants with Uncertain Production Requirements," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **31**(5), 1325-1337(1992).
 23. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E., "Designing and Managing the Supply Chain," 3rd Eds(2007).
 24. Vargas-Villamil, F. D. and Rivera, D. E., "Multilayer Optimization and Scheduling Using Model Predictive Control: Application to Reentrant Semiconductor Manufacturing Lines," *Comput. & Chem. Eng.*, **24**(8), 2009-2021(2000).
 25. Wang, W., Rivera, D. E. and Kempf, K. G., "Model Predictive Control Strategies for Supply Chain Management in Semiconductor Manufacturing," *International Journal of Production Economics*, Special Issue on Building Core Competence Through Operational Excellence, **107**(1), 56-77(2007).
 26. Wang, W., Ryu, J., Rivera, D. E., Kempf, K. G. and Smith, K. D., "A Model Predictive Control Approach for Managing Semiconductor Manufacturing Supply Chains under Uncertainty," paper 446d: pgs 1-34, Annual AIChE Meeting, San Francisco, CA, November 16-21(2003).