

SCM의 개요와 화학공학분야에서의 연구 현황 및 화학 산업의 적용 사례

송 제 훈*, 복 진 광**, 이 희 만***, 박 형 진*, 이 동 업*, 박 선 원*

* 한국과학기술원 화학공학과 ** 삼성SDS *** 테크노리더스

1. 서론

21세기 뉴밀레니엄 시대는 지식과 정보화의 사회로 상징되는 글로벌 경쟁시대이다. 이에 따라 경영 환경에도 급격한 변화가 일어나고 있다. 국내 시장에서 전 세계 시장으로, 생산자 중심에서 고객 중심으로, 유형의 물질적 자산을 중요시하던 풍토에서 무형의 지적 자산을 높이 평가하는 풍토로, 수요 예측이 가능하던 시대에서 수요 예측이 어려운 시대로 이동하고 있다. 이렇듯 과거의 경영 환경과는 달리 현재의 경영 환경은 급속도로 진보해가고 있으며 또한 기업은 이러한 사회 흐름을 읽고 세계의 경영 환경의 변화에 유연하고 탄력 있게 적응해 나가야한다.

화학산업에 있어서도 그러한 기업 경영 환경의 변화는 예외가 아니다. 지식과 정보화 사회 이전의 화학 산업은 '규모의 경제'라는 법칙이 적용된 대표적인 굴뚝산업으로서, 소품종 대량 생산 대량 소비의 산업 사회를 대표하여 왔다. 하지만 최근에는 환경에 대한 인식이 높아지고, 공급 과잉 현상이 일어나 시장이 포화되어 종래의 기업 경영 방식으로는 극복하기 힘든 상황에 직면해 있다.

본 논문에서는 이러한 대처 방안의 하나로 요즘 전세계적으로 기업 경영의 일선에서 관심이 고조되고 있는 Supply Chain Management (공급사슬 경영, SCM)에 대해 알아보고, 특히 화학공학분야에서의 연구 현황과 화학 산업을 대상으로한 실제 적용 사례에 대해 살펴보았다.

2. SCM의 개요

2.1 SCM의 정의

공급사슬(Supply Chain)이란 제품 및 서비스의 공급자에서 시작하여 구매, 제조, 분배, 유통을 거쳐 소비자에 이르는 연결관계를 말한다(그림1).

SCM이란 이러한 공급자와 소비자의 공급사슬 사이에서 속도와 확실성 측면에서 최적의 효율을 얻을 수

있도록 의사 결정을 지원하는 기업 경영 방안이다. 좀더 구체적으로 말하면, 공급자(혹은 공급자의 공급자), 제조자, 배송 센터, 고객(혹은 고객의 고객) 등의 물리적인 관계와 서비스, 정보, 현금 등의 논리적인 관계를 속도와 확실성 하에서 통합하여 정보 흐름, 자재 흐름, 현금 흐름의 과정을 거쳐 기능(설계, 제조, 물류 등)과 업체(공급자, 바이어, 고객 등) 간의 통신 및 의사 소통, 조정 및 제어, 제품과 프로세스의 혁신 및 리엔지니어링, 물류 효율 증대, 재고 감축, 정시 배송, 고객 만족, 비용 감축, 생산성 증대 등을 달성하는 전 과정 및 그 경영 방법으로 설명할 수 있다[1].

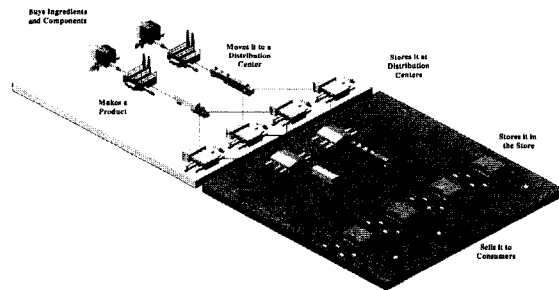


그림 1. Supply chain.

2.2 SCM의 등장 배경

기존의 제조업체에서는 흔히 다음과 같은 전통적인 경영 방식을 채택하였다[3].

첫째, 기업 외부로부터의 수요 및 공급에 대한 변동과 불확실성을 기업 내부에서 수동적으로 받아들이고 완충하기 위해 안전 재고를 두고 리드타임(Lead Time)을 충분히 두었다.

둘째, 기업 내부에서 발생할 수 있는 변동 및 불확실성을 Material Requirement Planning (자재 소요 계획, MRP), 충분한 생산, 주문, 조달, 배송 리드타임 설정, 확률적 수요 예측, 안전 재고 등으로 자체 흡수하거나, 밀어내기 생산(Push Production) 혹은 Just-In-Time (JIT)를 통해 공급사슬 안의 다른 업체에게 흡수시켜

부담을 전가시켰다.

셋째, MRP, Enterprise Resource Planning (전사적 자원 관리, ERP), Computer Integrated Manufacturing (컴퓨터 통합 생산, CIM) 등과 같이 기업 내 공정 위주로만 통합하고 합리화하고자 노력해 왔고, 기업간의 정보 교환 및 공유도 극히 제한적이었다.

이러한 접근법들은 결국 공급사슬 상에서 부분적으로만 최적화를 이룸으로써 전체적으로는 기회비용이 증가하는 결과를 가져왔다. 이에 공급사슬 전체의 효율성을 제고한 SCM을 중요한 경영 패러다임으로 인식하는 경향이 나타나고 있는데, 그 저변에는 다음과 같은 인식이 확산되었기 때문이다.

첫째, 일반적으로 고객이 주문 후 납품까지의 주문 사이클 타임 중에서 순수 제조 소요 기간보다 공급사슬 상에서 소요되는 시간이 훨씬 길다. 즉 총 부가가치의 60~70%가 제조 과정 밖의 공급사슬에서 발생한다.

둘째, 부품 및 기자재 공급의 납기 및 품질의 불확실성과 수요 및 주문의 납기, 수량 등의 불확실성을 제조업체 내에서 수동적으로 흡수하여, 생산 계획을 편성하고 재고를 관리하여 리드타임을 단축하고 재고를 감축하는 데에는 한계가 있다.

셋째, 공급사슬의 가장 마지막 단계인 소매 단계 고객으로부터의 주문 및 수요의 변동에 대한 정보도 도매상, 지역 유통센터 등의 공급사슬을 거슬러 전달되는 과정에서 지연되고 왜곡이 누적되어 납기 지연, 결품, 과잉 재고 등의 문제가 발생한다.

넷째, 생산, 부품 조달 및 구매, 보관 및 물류, 판매 및 운송 등의 기업 활동이 글로벌화 됨에 따라 공급사슬 상의 리드타임이 길어지고 불확실해졌다. 또한 부품 조달 비용, 인건비, 금융비용, 생산성, 운송 및 물류 비용 등의 국가별 지역별 편차, 관세 및 환율과 수출입 관련 법규의 국가별 차이, 지역별 제품 사양의 차이 등을 감안해야 하므로 공급사슬이 복잡하게 되었다.

다섯째, 종래의 표준화된 제품을 대량 생산하여 고객에게 밀어내던 방식에서 벗어나, 고객의 다양한 요구에 맞추어 제조, 납품해야 하는 것이 보편화되고 있다. 이에 따라 대상 품목이 많아지고 재고 및 물류 관리가 복잡해지며 주문 관리, 생산 계획, 정보 관리 및 추적 관리가 복잡해진다. 동시에 리드타임이 길어지고 불확실해지며 재고가 증가하고 주문 충족도가 약화되는 등 공급사슬의 효율이 급속히 저하된다.

여섯째, 기업간의 경쟁이 치열해짐에 따라 비용 및 납기의 개선이 시급하게 되었다. 특히, 고객 지향, 고객 만족, 시장 요구에 부응하기 위하여 공급사슬이 혁신되어야 할 필요성이 증대되고 있다.

일곱째, 최근 ERP 등에 의해 기업 내 프로세스가 정보화, 통합화되고 Electronic Data Interchange (전자자료 교환, EDI), 인터넷, 전자상거래 등의 기술이 급속히 발전되고 있다. 이에 따라, 공급사슬 간의 정보

공유 및 전달 과정을 혁신하고 공급사슬 간의 프로세스를 적극적으로 통합할 수 있는 기반이 갖추어져 있다.

2.3 SCM의 발전과정

LaLonde[5]는 전통적인 경영방법에서 SCM으로 발전하는 과정을 다음의 세 가지 단계로 설명하고 있다.

1단계(1960~1975)는 완성품의 물적 유통에 초점을 맞춘 '재고 push' 시대로서, 원자재와 공정 중 자재(Work In Process)는 별도로 간주되고 공정별 산출물이 완제품 쪽으로 단계별로 이동하는 생산 관리가 이루어졌으며, 산출물과 고객의 요구를 균형 있게 맞추는 것이 관리의 초점이었다.

2단계(1975~1990)는 기업 내 업무 통합의 중요성을 인식하는 단계로서, 기업들은 통합 관리를 위해 '자재 흐름'에 대규모 컴퓨터를 사용하고 Management Information System (경영 정보 시스템, MIS)의 대상이 재무로부터 자재 관리 쪽으로 이동하기 시작하였다. 선진 기업들은 '고객 중심' 사상에 따라 '재고 push'로부터 '고객 pull'로 전환하기 시작했다.

3단계(1990~현재)는 SCM 도입의 시대로, 혁신적인 생산성 향상은 오직 공급사슬에 포함된 기업간의 파트너십, 정보 및 자재 등을 동기화된 관리(Synchronized Management)를 통해 가능함을 인식하였다.

SCM 시대의 도래로 생산자는 물론 도매업자, 배송센터, 물류 전문 업체 등을 비롯한 공급사슬 상의 모든 주체가 얼마나 공급사슬에 가치를 부여하는지를 재고할 수 밖에 없게 되었다.

2.4 SCM의 기본 구성

SCM의 기본 구성은 미국 Supply Chain Council에서 제시한 Supply Chain Operations Reference (SCOR) 모델로 설명할 수 있다[2]. 오늘날 전세계적으로 SCOR 모델은 그림 2에 나타난 바와 같이, SCM 업무를 Plan, Source, Make, Deliver의 4개의 영역으로 구분하고, Plan이 나머지 3개의 영역을 포괄하는 형태로 표현하고 있다. SCOR 모델은 다음과 같은 기존의 3개 개념 및 방법론을 기초로 작성되었다.

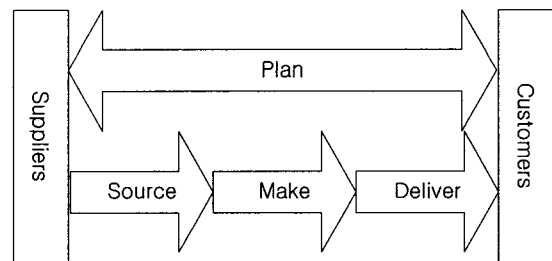


그림 2. Supply Chain Operations Reference (SCOR) process.

첫째는 Business Process Reengineering (업무 재설계, BPR)로서, 프로세스의 현 상태(As-Is)를 파악하고, 미래의 바람직한 상태(To-Be)를 도출하는 것이다.

둘째는 벤치마킹으로서, 유사한 기업의 운영 성과를 계량화하고, 동종업계 최고(Best-In-Class) 성과를 기초로 하여 내부적 성과 목표를 설정하는 것이다.

셋째는 Best Practice Analysis로서, 동종업계 최고 성과를 낸 경영 방법과 소프트웨어 솔루션의 특성을 분석하는 것이다.

SCOR 프로세스의 범위 및 주요 기능은 다음과 같다[2].

1) Plan (계획)

- 공급 자원을 평가하고 요구 수요를 집계 및 우선 순위화, 전 제품과 전 유통 경로에 대하여 재고, 분배 소요, 생산, 자재, 개략적 용량 등을 계획한다.
- 계획 하부 구조를 관리한다.
- 생산/구매 결정, 공급사슬 구성, 장기적 용량 및 자원 계획, 사업 계획, 제품 도입 및 퇴장, 생산 본격화, 제품 소멸기 관리, 제품 종류 관리 등을 포함한다.

2) Source (구매)

- 자재의 구매, 입하, 검사, 보관, 불출 등의 자재 조달
- 공급사 인증과 재평가, 구매 품질, 입하물, 공급사 계약 및 지불 등의 구매 하부 구조 관리

3) Make (생산)

- 자재 요청 및 수령, 제품 제조 및 테스트, 포장, 저장 또는 불출 등의 생산 실행
- 설계 변경, 설비 및 장비, 생산 상태, 품질, 스케줄링/sequencing, 단기 용량 등의 생산 하부 구조 관리

4) Deliver (납품)

- 주문 입력, 견적 산출, 제품 구성, 고객 DB화, 주문 할당, 제품/가격 DB화, 외상 매출, 수신, 여신, 송장 등을 관리하는 주문 관리
- 피킹, 포장, 주문 구성, 고객 주문 포장/라벨링, 주문 취합 및 출하 등의 창고 관리
- 수출입 제품의 차량, 화물, 제품 관리, 설치 작업의 스케줄 및 실행, 성능 확인 등의 수송 및 설치 관리
- 납품 하부 구조 관리

SCM의 업무를 실행되는 대상으로 구분하면 기업 내부와 외부로 나눌 수 있다.

기업 내부에서는 물류 (주문 처리, 입출하 수송, 배송, 창고 운영, 재고 관리, 납기 약속), 공급관리 (Sourcing, 공급자 평가, 구매), 제조관련 (Forecasting, 생산 계획, 스케줄링, 포장 등), 정보시스템 (바코드, Point-Of-Sale(판매 시점 관리, POS), EDI, 대화, 조정,

협력) 등으로 구성된다.

기업 외부에서는 공급자, 배송업자, 운송업자, Third Party Logistics (제3자 물류, 3PL), 고객, 소비자 등 전 구성원간의 정보 공유 및 업무 협조를 포함한다.

2.5 SCM의 원칙

SCM이 경영진에게 있어서 새로운 '종교'와도 같이 됨에 따라 그것을 실행하기 위한 기본 원칙이 필요한데, Andersen Consulting (현 Accenture)에서 다음과 같은 7가지 원칙을 제안하였다[7].

첫째, 서비스 요구 정도에 따라 고객을 분류하라. 종전에는 고객을 산업별, 제품별, 유통 경로에 따라 구분하고, 동일 구분 안에서는 동일 수준의 서비스를 제공하였으나, 효과적인 SCM에서는 고객을 서비스 요구에 따라 구분하고 그에 맞게 서비스를 제공한다.

둘째, 물류망을 고객에 맞추어라. 물류망을 설계할 때, 기존의 획일적인 물류망 설계에서 벗어나 차별화된 고객의 서비스 요구와 수익성에 초점을 맞춘다.

셋째, 시장 수요의 신호에 귀를 기울이고 그에 따라 계획을 세우라. 주문 패턴, 고객 판촉 등 수요 변화의 조기 경보 신호를 감지할 수 있도록 영업 계획과 운영 계획이 공급사슬의 전 영역에 걸쳐 연계되어야 한다. 이러한 수요 중심 접근법을 통해 더 일관된 예측과 최적 자원 할당을 할 수 있다.

넷째, 고객에게 가까운 단계에서 제품을 차별화 하라. 오늘날의 기업들은 예측 오차를 보상하기 위해 더 이상 재고를 쌓아 놓을 수 없다. 대신에, 실제 소비자의 요구에 좀더 가까운 제조 단계로 제품의 차별화를 미룰 필요가 있다.

다섯째, 전략적으로 공급선을 관리하라. 재료와 서비스에 대한 전체 비용을 줄이기 위해 주요 공급 업체와 긴밀한 관계를 유지하면, 자신뿐 아니라 공급 업체에게도 이익이 증가된다. 가격을 낮추도록 공급업체들을 경쟁시키는 방식 대신 "Gain Sharing"을 해야 한다.

여섯째, 공급사슬 전반에 걸친 기술 전략을 개발하라. 성공적인 SCM의 초석으로서 정보기술이 여러 계층의 의사 결정을 지원해야하고, 생산품과 서비스 그리고 정보의 흐름이 투명해야 한다.

일곱째, 공급사슬 전체에 걸친 평가 지표를 채택하라. 훌륭한 공급사슬 평가 시스템은 내부 기능의 모니터링 뿐 아니라, 공급사슬의 모든 연결고리에 적용되는 평가 지표를 사용해야 한다.

이러한 원칙들은 실행하기가 쉽지만은 않다. 왜냐하면 어떻게 회사가 조직하고, 조업하고, 소비자에게 공급하는지에 대한 기존의 기능 중심적 사고를 타파해야하기 때문이다.

2.6 SCM의 기대효과

이제 많은 기업들이 SCM에 흥미를 갖고 나름대로의 기업 목표에 맞게 적용하려 하고 있다. 왜냐하면 그들은 이미 성공적인 SCM에는 막대한 투자 회수 잠재력이 있었다는 것을 점차 인식하고 있기 때문이다. SCM을 통해 소매 시장을 장악한 Wal-Mart, 거의 즉시 특화된 주문에 응답하기 위해 공급사슬을 재구성한 Dell Computer의 경우[9]는 SCM 성공의 전형적인 예가 되었다.

SCM의 기대효과는 Xerox, IBM, Chrysler, Nabisco, Procter & Gamble, 그리고 Becton-Dickinson과 같은 이미 SCM을 먼저 도입한 기업들의 성과 분석으로부터도 알 수 있다.

조사 및 컨설팅 회사인 Pittiglio Rabin Todd & McGrath (PRTM)는 종합적인 공급사슬 벤치마킹 연구를 통해, SCM을 가장 잘 구현한 회사들은 공급사슬 비용이 중간급 경쟁회사들의 공급사슬 비용의 45% 정도밖에 되지 않는다는 것을 밝혔다. 특히 그들의 전체 수입에서 공급사슬 비용이 차지하는 비율을 백분율로 나타냈을 때, 업종에 따라 3~7% 적게 나타났다. 그림 3에서 업종별 수입 중 공급사슬 비용의 백분율의 관계를 도식화하였다[6].

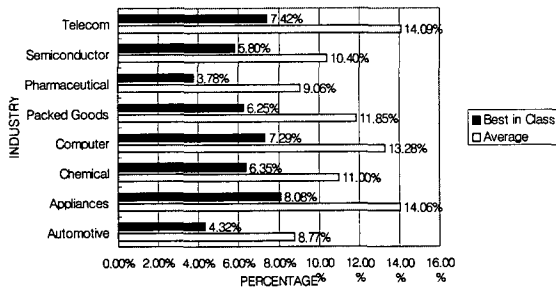


그림 3. Percentage of company revenue spent on supply-chain activity.

MIT의 수송 연구 센터의 부이사 Peter J. Metz는 그의 연구에서, 많은 기업들이 SCM을 도입하여 재고 관리, 수송, 창고, 그리고 포장 등의 분야에서 비용이 절감되었으며, Time-Based Delivery와 Make-To-Order (MTO)와 같은 기술을 통하여 서비스가 향상되었고, 높은 생산품 가용성과 더 고객에 특화된 생산품 등을 통해 수입이 증가했음을 보고하였다. 구체적으로는 50%의 재고 절감, 40%의 적기 배송 향상, 27%의 누적 사이클 타임 감소, 결품율이 1/9로 감소하여 재고 회전을 2배, 17%의 수입 증가의 효과가 있었다.[8]

Mercer Management Consulting은 가장 좋은 공급사슬을 가진 조직이 핵심 수행 분야에서 대체로 뛰어나며, 특히 운영 비용 절감, 자산 생산성의 향상, 그리고 주문 사이클 타임의 감축 등의 효과가 있었다는 것을 밝혔다.[8]

경영 컨설팅 기업인 A.T. Kearney는, 비효율적인 공급사슬은 기업 운영 비용의 25%를 낭비하게되며, 따라서 이윤 폭(Profit Margin)이 3~4% 상대적으로 낮다고 가정했을 때, 공급사슬 낭비의 5%만 절감하더라도 약 2배의 수익성을 얻게 된다고 보고하였다[8].

2.7 SCM의 성과가 기대되는 분야

다음은 SCM의 성과가 기대되는 분야의 주된 예이다[8]. 개별적으로도 비용 절감과 서비스 향상 등의 효과가 있으나, 함께 적용될 경우는 수익성과 시장 점유율 면에서 극적인 돌파구를 제공할 수 있다.

1) 분배 네트워크 최적화

공장, 창고, 물류센터 등의 시설의 최적 위치를 결정하고 최적 공급 경로와 최적 수송수단을 선정하는 것이 목적이다. IBM의 Wholesale Distribution Industry Segment에 의해 조사된 바에 의하면, 수송비 15~25%, 재고비용 10~15%이 배송망 최적화를 통해 절감되었다.

2) 공동 수송(Shipment Consolidation)

Nabisco는 유통업체에 여러 공장에서 트럭 한 대 분량을 가득 채우지 못한 6대의 차량으로 배송하던 것을, 3PL을 통해 2대의 Truckload로 전환하여 수배송비의 50%를 절감하였다.

3) Cross docking

창고 쌓아 놓는 일없이 상품에 대한 취급을 최소화하여 가능한 짧은 시간 내에 상품을 다시 실는 방법 중의 하나로, Coopers & Lybrand의 Maurice Trebuchon에 의하면, 전통적인 창고를 이용하는 방법보다 입고, 저장, 그리고 피킹 단계에서 25%의 비용을 절감할 수 있다고 보고하였다.

4) 공급자 관리

1998년 겨울에 발행된 Supply Chain Management Review에 실린 McKinsey 컨설턴트들의 글에 의하면, 자동차 제조 업체가 제품 개발 프로세스에 공급자들을 성공적으로 통합 관리한 결과, 부품 수는 30% 감소하였고, 조립 공정 수를 50% 감소하였고, 자재 사양을 50% 완화되었으며 개발 기간이 수년에서 수개월로 줄어들었다.

5) 공급자 통합

Michigan State University에 있는 Global Procurement and Supply Chain Initiative에 의한 연구에 의하면, 공급자들을 제품설계 및 개발과정에 일찍 참여시킨 업체는 그렇지 않은 업체보다 항상 성과가 앞서는 것으로 나타났다.

3. 화학공학 분야에서의 SCM의 연구

SCM에 관심을 갖고 연구를 하는 학문분야는 경영 과학 분야와 산업공학 분야이다. 그들은 이미 물류 (Logistics)라는 학문의 이름으로 접근해왔다. 그러나 점차 범위를 넓히면서 SCM 연구로 확대 발전되었다. Council of Logistics Management (CLM)에서는 물류를 공급사슬 프로세스의 일부분으로 정의를 하고 있다 [10]. 화학공학분야에서는 최근에 들어서야 각종 국내외 화학공학관련 학술지와 학술회의 등에 발표가 되기 시작하였다. SCM에 대한 화학공학 분야에서의 연구 동향을 살펴보고자 국외와 국내로 나누어 각종 학술회의와 저널 등에 발표된 논문을 간단히 요약정리 하였다. 그리고 연구 동향 분석을 위해, 앞서 언급한 SCM의 4개의 업무 영역(Plan, Source, Make, Deliver)에 따라 발표된 논문들을 분류하고, 내용에 따라 SCM 모델(Framework, 정책, 전략 등) 개발, 수학적 기법(최적화, 통계 등) 적용, 그리고 불확실성(Dynamics 등) 고려와 같은 3개 영역으로 구분하였다. 이것을 통해 현재 주로 이루어지고 있는 연구 영역과 앞으로의 연구의 방향을 알 수 있다.

3.1 국외에서 발표된 연구

1) 화학공학 관련 학술회의

Ramachandran[11]은 소비재 산업의 관점에서 SCM 과 제어 문제를 다루었다.

Rosen[12]은 공급사슬 분석을 위한 일반적인 접근 방법들을 살펴보고, 이러한 방법들이 실제적으로 사용되는 방법에 강조를 두어 상대적인 장점과 약점을 살펴 보고, 통합적 방법으로 이러한 방법이 사용될 수 있다는 것을 보여주었다.

Turkey 등[13]은 Generalized Disjunctive Programming 기법을 이용하여 석유 화학 단지의 전체 지역을 최적화 하는 기법을 제안하였다.

Schnelle 등[14]은 소용량 고부가가치 특제품 화학물질을 시장으로 보내기 위한 복잡한 공급사슬계획 문제를 풀었다.

Shah[15]은 공정산업에서 Single 혹은 Multi-site Planning 과 Scheduling의 현황과 미래의 도전에 대해 정리하였다.

Mokashi 등[16]은 다양한 Delivery Option과 비용의 각종 그래프 표현 형태를 통해 Multi-site Delivery 문제에 대한 새로운 풀이 방법을 제안하였다.

Bunch 등[17]은 혼합 정수 선형 계획법을 이용하여 큰 규모의 Multi-facility에 대해 보유하고 있는 제조 자산으로 수요를 만족시키기 위한 가장 낮은 비용을 구하기 위한 Planning을 수립하였다.

Applequist 등[18]은 화학 제조 공급 사슬 현황에 중

점을 두어 설계와 Planning시 경제적인 위험 관리에 대해 발표하였다.

Mo 등[19]은 수요자의 주문에 따른 가능한 배송 날짜를 확인해 주는 주문 약속 시스템의 응용 전략을 제안하였다.

Nishi 등[20]은 분산 SCM 시스템을 제안하고 그 시스템이 다양하고 예견하지 못한 외부 변화에 유연하게 대처할 수 있음을 확인했다.

Pantelides 등[21]은 Multi-product, Multi-echelon 생산 및 배송망을 대상으로 그 시스템을 최적 설계하는 점을 논의하였다.

Canton 등[22]은 ERP시스템에서 생산과 재정적인 단기 Planning 사이에 있는 Full Cross-functional Link 를 포함하는 유연한 Scheduling 모델링 골격을 제안하였다.

Pekny 등[23]은 화학 제조 공급사슬의 설계와 Planning을 위해, 불확실한 시장 수요에 대해 과잉 생산 혹은 부족 생산의 경제적인 패널티를 고려하는 모델을 제안하였다.

Gjerdrum 등[24]은 일반적인 Multi-enterprise 공급사슬에서 Echelon 간의 최적화된 이익 배분을 위한 Mathematical Programming Formulation을 제안하였다.

Kokossis 등[25]은 큰 규모의 공급사슬을 최적화하기 위해 분산된 그래프 접근법을 이용하였다.

Sahinidis 등[26]은 Multi-period 불확실성 하에서 SCM 시스템의 합성에 대한 분석적 조사를 수행하였다.

Maranas 등[27]은 Mid-term Multi-site 공급사슬 계획 문제에서 수요의 불확실성을 고려하기 위한 2단계 확률적 모형과 해법 기틀을 제안하였다.

Grossmann 등[28]은 공급사슬의 최적 조업을 위해 Dynamics와 제어 이론을 통합하는 두 가지 가능한 접근법을 제안하였다.

Grossmann 등[29]은 연속 유연 공정 망에서의 공급사슬 최적화를 위한 Multi-period 최적화 모델을 제안하였다.

Pekny 등[30]은 수요 측면의 불확실성 하에서 소비재의 SCM 구축을 위해, 예측-최적화-모사를 기반으로 한 새로운 접근 방법을 제안하였다.

Heltne 등[31]은 SCM에서 Operational Issue를 설명하는 모델을 개발하기 위한 통합된 모사-최적화 접근 방법을 제안하였다.

Maranas 등[32, 44]은 자신들의 Single Period Stochastic Midterm Planning에서 좀더 확장하여 Multi-site 공급사슬에서 수요의 불확실성에 대해 강건한 Multi-period planning에 대해 언급하였다.

Julka 등[33]은 현 E-commerce 시대에서 효과적인 Business Decision Support Systems를 가능하게 하고 조직의 결정적인 필요를 충족시킬 통일된 Framework을

제안하였다.

Perea-Lopez 등[34]은 SCM을 위해 Dynamics와 고전적인 제어이론을 적용한 모델에 Model Predictive Control (MPC) 이론을 이용해 최적화를 접목시켰다.

Flores 등[35]은 SCM에 계층적 MPC 전략을 적용하는 것을 제안하였다. 특히 공급사슬 시스템의 두 node인 제조업자와 소매업자 사이의 상호 작용에 대해 초점을 맞추었다.

Tsiakis 등[36]은 수요 불확실성 하에서 운영되는 Dynamic Multi-product, Multi-echelon 공급사슬의 설계에 대해 언급하였다.

Lababidi 등[37]은 석유화학 생산품의 공급사슬 계획을 위한 최적화 모델을 개발했다. 운영상 혹은 경제적인 조건에 있어서의 불확실성이 이 모델에 반영되었으며, Planning 산출에 미치는 효과 등에 대해서도 연구하였다.

Grossmann[38]은 최근의 SCM에 대한 연구의 발전 동향에 대해 소개하였다.

Faccenda[39]은 화학 공정 산업에서의 성공적인 SCM Solution에 대해 언급하였다.

Tjoa[40]은 공정 산업에서 SCM에 대한 기회와 Solution Approach에 대해 언급하였다.

Kelly[41]은 SCM의 기술에 대해 언급하였다.

Sahinidis 등[42]은 불확실성 하에서의 공급사슬의 설계와 운영에 대해 언급하였다.

Venkatasubramanian[43]은 I2에서의 SCM에 대해 언급하였다.

2) 화학공학 관련 저널

Tahmassebi[45]는 공장의 Planning과 Scheduling을 위한 수학적 Programming 기법을 기반으로 한 시스템에 대해 설명하고, 공급사슬 운영이 제한적이고 잘 팔리는 소비재를 만드는 화학제품 공장에 대한 Case study를 수행했다.

Voudouris[46]는 정밀 화학 산업의 공급사슬의 효율과 응답성을 향상시키고 조업을 능률적으로 하고 설계를 수정하는데 사용될 수 있는 수학적 Programming 접근법을 제안하였다.

Bok 등[47]은 연속 유연 공정 망에서 공급사슬 최적화를 수행하기 위한 Multi-period 최적화 모델을 제안하였다.

Zhou 등[48]은 Relaxable 그리고 Non-relaxable Constraints를 통합하는 Multi-objective 문제를 수행하기 위해 Goal Programming을 제안하였다. 그리고 이 방법을 석유 화학 단지의 지속 가능한 공급사슬 최적화와 Scheduling에 적용하였다.

Perea 등[49]은 공급사슬을 모델링하기 위한 Dynamic Framework의 개발을 기반으로 한 SCM을 위한 Dynamic Approach를 제안하였다.

Garcia-Flores 등[50]은 소매상, 창고, 공장, 그리고 원재료 공급자를 공급사슬 기능을 수행하는 협력적인 Agent의 네트워크로서 모델링을 하고 공정 산업의 SCM을 지원하기 위한 통합된 framework을 제안하였다.

Naka 등[51]은 Plan-Do-Check-Action cycle의 지원 시스템의 기능들을 명확히 하고, 단위 공정 모델로 구성된 계층적 구조의 공급사슬 모델을 제안하였다.

Bose 등[52]은 Planning과 Scheduling 문제에 대하여 Model Predictive Framework을 제안하고, 소비재의 공급사슬을 Case Study 하였다.

Applequist 등[53]은 여러 가지 재정적 투자에 관련하여, 투자에 대한 회수와 위험의 척도로서 Risk Premium을 제안하고, 화학물질 제조 공급사슬 상에서의 투자에 대한 위험 관리에 대한 새로운 개념을 제안하였다.

Gupta 등[54]은 Multi-site Midterm 공급사슬 계획문제에서 통합된 수요 불확실성에 대해 2단계 통계적 Programming 기법을 제안하였다.

Gupta 등[55]은 수요의 불확실성 하에서 Midterm Multi-Site 공급사슬 계획문제에 대한 Framework을 제안하였다. 이것을 위하여 Chance Constraint Programming Approach와 결합된 2단계 모델링 기법이 사용되었다.

Papageorgiou 등[56]은 생산품 개발 도입 전략 그리고 생산용량 투자 계획 전략 모두를 고려한 전략적 공급사슬 최적화 접근 방법에 대해 언급하였다.

Gjerdrum 등[57]은 Multi-enterprise 공급사슬 사이에서 공정하고 최적화된 이익 분배에 대한 수학적 programming 기법을 제안하였다.

Badell 등[58]은 TicTacToe Algorithm을 이용하여 회분 공정 산업에 대해 좀더 발전된 Enterprise Resource Management 시스템을 제안하였다.

3.2 국내에서 발표된 연구

1) 화학공학 관련 학술회의 및 저널

송제훈 등[59]은 SCM의 적용을 대비한 실제 규모의 정유 공정의 일정 계획 모델을 수립하였다.

이동엽 등[60]은 환경 친화적인 SCM을 위한 환경 친화적 구매에 대해 언급하였다.

이호경 등[61]은 SCM에 대해 설명하고 SCM의 기술 현황과 기대효과에 대해 간략히 소개하였다.

3.3 연구 동향 분석

화학공학 분야 SCM 관련 논문들의 업무 영역과 내용에 따라 표 1과 같이 분류하였다. SCM의 업무 영역에서 Plan에 관한 논문이 다른 영역보다 많음을 알 수 있다. 이는 SCM의 전 영역을 포괄하고 있는 형태

로 표현이 되기 때문이다. Make 부분에서 수학적 기법을 적용한 논문과, 그리고 Review 형식의 글도 다소 있었다. 여러 가지 Uncertainty에 대해 고려한 논문이 많이 나오고 있다는 것도 주목할 만하다.

앞으로는 SCM 연구시에 Source나 Deliver와 같은 구체적인 실천적인 영역의 연구가 보충되어야 할 것이다. 회

4. 화학산업에서의 SCM의 적용

4.1 Showa Shell Sekiyu K. K. (昭和Shell石油株式会社)[4]

Showa Shell Sekiyu K. K.는 1999년 말 기준 자본금 342억엔, 종업원 1526명으로 일일 생산능력은 89830kl이며 매출액은 약 1조2900억엔, 이익은 37억엔인 일본 내 굴지의 정유회사이다.

SCM 주 대상은 물류 부문으로서 그 역할로는 공장 에서 저유소로의 수송, 고객에게 배송, 저유소 운영 등이 있다.

SCM 도입 목적은 고객에 의한 배송 계약의 해소하고 배차 담당의 옛 관습 배제하며 배송 지역 전체의 최적화 등을 하여 운송 효율 향상에 따른 운송비를 삭감하는 데 있다. 이를 위해 Showa Shell Sekiyu Vehicle Scheduling System (SVS)이라는 자동 배차 시

스템을 가동하고, 수주센터들을 통합하며, Japan Energy Corporation과 저유소 통합 프로젝트를 진행 하였다.

SCM 도입 효과로는 배차요원이 68명에서 30명으로 줄었고, 물류 비용이 3년간(1996~1998) 130억엔 절감 되었으며, 차량대수는 10% 감소하였고, 저유소가 96년 47개에서 98년 37개로 줄었다.

4.2 제일모직[3]

제일모직이 SCM을 도입하면서 다음과 같은 비전을 제시하였다.

“이 SCM 시스템을 통하여 케미컬 국내 판매 및 수출 영업 요원들은 개인별로 노트북 PC를 휴대하고 고객들과 상담 즉시 해당제품의 납기를 약속할 수 있을 것이며 납기 준수율 95%이상을 유지하면서 최적의 수주관리와 최적의 생산관리가 가능한 시스템을 갖추게 될 것입니다.”

이는 SCM을 적용할 때 납기 확약과 시나리오 경영에 초점을 맞추겠다는 의도가 잘 드러나 있다.

구체적인 SCM 프로젝트 목표는 다음과 같다. 첫째, 구매선 납기를 최적화 한다. 즉, 업체별로 납기를 조정하는 등 최적화를 하고 적정 Lot Size 구매빈도를 파악하여 적정 안전 재고로 운영한다.

둘째, 내부정보 관리를 최적화 한다. 즉, 내부의 제

표 1. 화학공학 분야 SCM 관련 논문들의 업무 영역과 내용에 따른 분류

	SCM Model, Framework, Policy, Strategy	Mathematical Methodology, Optimization, Statistics	Uncertainty	Review, Introduction
Plan	Ramachandran[11] Rosen[12] Nishi et al.[20] Grossmann et al.[29] Julka et al.[33] Bok et al.[47] Perea et al.[49] Garcia-Flores et al.[50] Naka et al.[51] Papageorgiou[56]	Turkay et al.[13] Pantelides et al.[21] Gjerdrum et al.[24] Kokossis et al.[25] Flores et al.[35] Tahmassebi[45] Zhou et al.[48]	Schnelle et al.[14] Applequist et al.[18] Sahinidis et al.[26] Maranas et al.[27] Pekny et al.[30] Maranas et al.[32] Lababidi et al.[37] Sahinidis et al.[42] Gupta et al.[44] Applequist et al.[53] Gupta et al.[54] Gupta et al.[55]	Shah[15] Grossmann[38] Faccenda[39] Tjoa[40] Kelly[41] Venkatasubramanian[43] 이호경 등[61]
Source	Badell et al.[58] 송계훈 등[59] 이동엽 등[60]			
Make	Canton et al.[22]	Bunch et al.[17] Grossmann et al.[28] Heltne et al.[31] Perea-Lopez et al.[34] Voudouris et al.[46] Bose et al.[52]	Pekny et al.[23]	
Deliver	Mo et al.[19]	Mokashi et al.[16] Gjerdrum et al.[57]	Tsiakis et al.[36]	

약을 감안하여 계획 시스템을 최적화하고, Available-To-Promise (ATP)와 Capable-To-Promise (CTP)에 의해 납기를 확약한다.

셋째, Distributor 관리를 최적화 한다. 내부 계획을 출하 업체의 Route 및 운송 비용과 연계한다.

SCM 설계시 반영된 Logic은 다음과 같다.

1) Forecasting (예측)

기업의 입장에서 짧은 납기 약속을 할 수 있으려면 다음과 같은 방안이 있다.

첫째, 수요를 정확하게 예측한다.

둘째, 리드타임을 단축시킨다.

셋째, 시설 용량을 늘린다.

넷째, 재고를 늘린다.

하지만 리드타임을 단축시키기 위해서는 공정 개선 활동을 해야하고, 시설 용량을 늘리려면 시설 및 인력 투자가 따르며, 재고를 늘리려면 재고 비용의 증가가 뒤따르는 등 추가적인 노력과 비용이 따른다. 따라서 처음부터 Forecasting을 정확하게 잘 하는 것이 중요하다.

Forecasting의 정확도를 향상시키기 위해서는 고객으로부터 직접 수요 예측 접수 가능해야하고, 과거 판매 실적 등을 다양한 각도에서 분석해야 하며, 계층별 수요예측 수행 및 분석을 실행한다. 또한 판매 예측, 생산 계획 등의 정보 공유 체계를 수립하고, 문제 발생 우려 시 경보할 수 있게끔 경보체계를 수립해야 한다.

2) 자원 활용과 공헌 이익 Simulation

전사를 대상으로 최적화하는 방향으로 Simulation을 수행하고, 이익 분석을 통해 경영 전략에 즉시 반영하며, 향후 판매량 비교를 통해 시나리오 경영을 지원한다.

3) 예약

제품별 생산처를 결정하는 Logic을 반영하고, 제품별 Line 선호도 반영하며, 최적 Setup Time 반영한다. 그리고 Case 별 납기 준수율과 제약 요소 제공 Logic을 반영한다.

4) 생산 Confirm

예약된 물량의 생산을 지시하는 것으로 Confirm과 동시에 Sales Order 자동 생성하게 한다. 일단 생산 확정된 Confirm은 Logistics 부서만 교정 가능하다.

5) 최적 Scheduling

공장 안의 자원의 활용도를 높이는 Shop Floor Sequencing과 공장 밖의 배송 센터 등을 통한 물류 이동 Route에 대한 최적 Scheduling을 수행한다.

6) 납기 확약

재고가 있으면, 즉석에서 납기를 확약한다. 재고가 없더라도 생산계획이 있으면 즉석에서 납기 확약한다. 생산계획에 없었더라도 대체 생산이 가능하다면 결재권자 허락 하에 납기 확약한다. 대체 생산 불가하나 긴급 품목이었다면 Planner에게 조정을 의뢰하여 Simulation 수행으로 최선안 도출 후 납기 확약한다.

제일모직이 SCM 실행 프로젝트를 수행하면서 기대하는 효과는 다음과 같다.

최대 15% 고객 서비스 수준을 개선한다.

최대 10% Cycle time을 향상시킨다.

최대 10% 예측 정확도 향상으로 인한 운영비를 절감한다.

최대 20% 원재료/완제품 재고를 감소시킨다.

최대 15% 운송비를 절감시킨다.

5. 결론

지금까지 SCM의 개요에 대해 살펴보고, 화학공학 분야에서의 연구동향을 화학공학관련 국내외 학술회의와 저널 등에서 발표된 논문들을 중심으로 살펴보았다. 그리고 화학 산업에서 적용된 사례에 대해서도 알아보았다.

SCM에 대한 필요성은 10여 년 전부터 대두되어 이미 경영학분야나 산업공학분야에서는 주로 조립 산업이나 물류 부문을 중심으로 연구가 진척되어 왔다. 하지만 프로세스 산업인 화학산업과 그것을 연구하는 화학공학분야에서는 최근에서야 도입되고 있는 실정이다. 이는 최근 4년간의 국외 학술회의와 저널에서 발표된 논문의 편수와 연구 흐름을 살펴볼 때, SCM의 화학산업에의 적용에 대해 매우 관심이 고조되고 있다는 것을 알 수 있다. 일례로 매년 전세계 화학공학자들이 한자리에 모여 자신들의 연구성과를 발표하는 미국 화학공학회 주최 AIChE Annual Meeting에서 불과 몇 년 전만 하더라도 SCM 관련 연구발표는 그저 Scheduling과 Planning Session의 일부분에 지나지 않았다. 하지만 최근에는 SCM관련 Session이 따로 열릴 정도로 발표 논문 수도 많아졌다.

그에 비해 국내에서는 화학공학자로서 SCM에 관한 연구 발표는 미비한 실정이다. 최근의 기업 경영 환경의 변화에 적응하고 더 까다로워진 고객의 요구에 부응하면서 기업 안팎의 효율을 극대화하여 이익을 창출하기 위해 화학산업에서도 SCM의 도입을 적극 고려해야하는 이 때, 프로세스 산업에 대해 기본적 지식이 있는 화학공학자도 SCM에 대한 연구를 더 활발히 하여야 할 것이다.

6. 부록: 용어정리

■ Lead Time

상품의 조달시간 또는 생산을 위한 사전준비를 위하여 필요시 되는 선행기간을 말한다. 일반적으로는 어떤 상품이 발주되면서부터 주문에 해당하는 상품이 실제로 전량 납품 완료되기까지 소요되는 전체적인 시간을 말한다.

■ **MRP (Material Requirements Planning)**

주문 및 수요 예측 정보를 기반으로 완제품 및 부품 재고, Bill-Of-Material (소요 자재 리스트, BOM)에 기반한 부품 소요 등을 파악하여 부품 및 완제품 생산 계획, 부품 및 자재 구매 계획 등을 통합적으로 계획, 관리하는 기법. 예측에 의해 부품 및 완성품의 생산, 공급계획을 세운다는 점에서 Push방식의 제조/공급 기법이라고 함. 일반적으로 생산계획 및 관리를 위한 종합 정보시스템을 지칭함.

■ **JIT (Just-In-Time production)**

지속적인 생산성(Productivity) 향상과 모든 낭비(Waste)를 제거하는 것을 기본으로 하는 생산혁신기법을 통칭. Setup Reduction, Kanban 등의 다양한 기법을 포함하고 있으나, 좁게는 Downstream에서 필요한 시점에 필요한 만큼 제조 또는 공급하여 재고를 최소화하는 Pull 방식 제조/공급 기법을 지칭하기도 함.

■ **ERP (Enterprise Resource Planning)**

생산 및 자재, 영업, 재무, 인사, 구매 등 기업 내 업무프로세스를 Best Practices를 중심으로 재설계하여 통합적 데이터베이스로 통합한 기업 업무용 정보시스템. 전산시스템을 기업 내에서 자체적으로 개발하던 종래의 관행을 탈피하여 Best Practices를 기반으로 모듈별로 설계, 개발되어 개별 기업 특성에 맞도록 재구성, Customization하여 구축된 프로세스 모델 및 정보시스템을 통칭함. 주로 기업 내 업무프로세스에 초점을 맞추어 개발되었으나 공급사슬경영 등 기업간 프로세스 지원 기능을 확장하고 있음.

■ **CIM (Computer-Integrated Manufacturing)**

제품의 모양 결정에서 설계, 생산, 검사, 반출에 이르기까지의 정보를 컴퓨터로 통합 처리하는 방식으로 CAD/CAM 시스템에 의해 생산 시스템이 제어되고 통합된, 완전 자동화된 공장에 대한 개념. 로봇, 설계 자동화, 또는 CAD/CAM 기술을 이용.

■ **EDI (Electronic Data Interchange)**

주문서 납품서 청구서 등 무역에 필요한 각종 서류를 표준화된 양식을 통해 전자적 신호로 바꿔 컴퓨터 통신망을 이용, 거래처에 전송하는 시스템. 이를 도입하면 국내 기업간 거래는 물론 국제무역에 있어서 각종 서류를 신속 정확하게 보낼 수 있어 시간 비용절

감은 물론 제품의 주문 생산 납품 유통의 모든 단계에서 생산성을 획기적으로 향상시킬 수 있음.

■ **MIS (Management Information System)**

기업경영의 의사결정에 사용할 수 있도록 기업 내외의 정보를 전자계산기로 처리하고 필요에 따라 이용할 수 있도록 인간과 전자계산기를 연결시킨 경영 방식. 경영 각 부문의 정보가 따로 처리되어 있으면 경영 전체의 정보를 정확하게 파악할 수 없기 때문에 일상적인 데이터 처리를 경영의 토털 시스템으로 통합한 것이 MIS임.

■ **BPR (Business Process Reengineering)**

1990년대 초 미국에서 제창한 개념으로서, 사업활동을 영위하는 조직의 측면에 있어, 작업을 개선하고 자원의 사용을 보다 효율적으로 만들기 위하여, 하나의 목적으로 처음부터 다시 근본적인 변화를 만드는 것을 의미. BPR은 업무 프로세스의 근본적인 재고(再考)가 수반되며, 원가, 서비스품질, 직원들의 활력 등과 같은 중대한 지표들이나 또는 그 모두를 강화하기 위한 업무활동의 재설계로 이어짐. 일반적으로 BPR의 개념에는 데이터를 조직화하고, 방향을 설정하기 위하여 컴퓨터나 정보기술을 사용하는 것이 포함됨.

■ **POS (Point-Of-Sale)**

판매시점 정보관리 시스템으로 판매와 관련된 데이터를 물품이 판매되는 그 시간과 장소에서 즉시 취득함. 즉, 상품에 붙어있는 바코드를 읽어들이는 바로 그 시점에 재고량이 조정되고, 신용조회 등 판매와 관련되어 필요한 일련의 조치가 한번에 모두 이루어지는 시스템. 이를 위하여 POS 시스템은 바코드리더, 광학스캐너 카드리더 등이 계산대와 결합되어 있는 PC나 또는 특별한 단말기를 사용함. POS 시스템은 신용조회나 재고량 조정 등을 위해 중앙컴퓨터와 온라인으로 연결되거나, 또는 일괄처리를 위해 주전산기에 전송되기 전까지 일일거래를 저장하기 위해 독립된 컴퓨터를 사용할 수도 있음.

■ **3PL (Third-Party-Logistics)**

고객 서비스의 향상, 물류 관련 비용의 절감, 그리고 물류 활동에 대한 운영효율의 향상 등을 목적으로, 재료나 제품 및 부품의 운송 및 관련 물류 서비스의 전체 혹은 일부를 제3의 특정 물류 전문업체에게 위탁(Out Sourcing)하는 것을 말함.

■ **ATP (Available-To-Promise)**

재고를 보유하는 품목에 대하여 주문량만큼의 물량이 어느 창고에 가용한지, 또는 이미 확정된 생산스케줄에 따라 언제 생산될 예정인지를 신속하게 검토하

여 고객에게 가능한 납기일을 제공하는 영업 지원 방식.

■ CTP (Capable-To-Promise)

재고를 유지하지 않는 수주 생산품에 대하여 만일 주문량을 생산스케줄에 입력한다면 언제 완성하여 납품이 가능하겠는지를 신속하게 조회하여 고객에게 가능한 납기일을 제공하는 영업 지원 방식.

■ MTS (Make-To-Stock)

평소 재고를 유지하여 주문이 있을 경우 재고에서 주문량을 할당 생산 방식.

■ MTO (Make-To-Order)

평소 재고를 유지하지 않고 있다가 주문이 있을 경우 주문에 해당되는 생산품을 생산하는 생산 방식.

감사의 글

이 논문은 두뇌한국21사업에 의하여 부분 지원되었기에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] 김숙환, 이영해, “공급사슬경영 연구의 현황 및 향후 연구 방향,” *IE Interfaces*, Vol. 13, No. 3, pp. 288-295, 2000.

[2] 임석철, “한국기업의 SCM 업무사례 분석,” *IE Interfaces*, Vol. 13, No. 3, pp. 496-502, 2000.

[3] SCM 고급 전문가 과정 발표자료, 한국SCM학회, 5. 2001.

[4] 한국기업의 SCM사례 및 구축전략 세미나 발표자료, 한국표준협회, 7. 2000

[5] B. J. LaLonde, “Supply Chain Management: Myth or Reality?,” *Supply Chain Management Review*, pp. 6-7, Spring 1997.

[6] J. A. Cooke, “The solid-gold supply chain,” *Logistics Management & Distribution Report*, April 7, 1997.

[7] F. J. Quinn, “What's the buzz?,” *Logistics Management & Distribution Report*, February 1, 1997.

[8] F. J. Quinn, “The Payoff !,” *Logistics Management & Distribution Report*, December 1, 1997.

[9] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky and E. Simchi-Levi, “Designing and Managing the Supply Chain,” McGraw-Hill, Singapore, 2000.

[10] D. M. Lambert and M. C. Cooper, “Issues in Supply Chain Management,” *Industrial Marketing Management*, Vol. 29, pp. 65-83, 2000

[11] B. Ramachandran, “Issues in next generation supply chain management,” *FOCAPO 98*, Snowbird, 1998.

[12] O. Rosen, “An industrial Perspective of

supply-chain optimization and simulation,” *FOCAPO 98*, Snowbird, 1998.

[13] M. Turkey, T. Asakura, K. Fujita, C. W. Hui, Y. Natori, Y. Masaiwa, H. Oonishi and I. B. Tjoa, “Total site optimization of a petrochemical complex,” *FOCAPO 98*, Snowbird, 1998.

[14] K. Schnelle and G. Blau, “Bringing new specialty chemicals to market - a nightmare in planning and scheduling,” *FOCAPO 98*, Snowbird, 1998.

[15] N. Shah, “Single- and multisite planning and scheduling: current status and future challenges,” *FOCAPO 98*, Snowbird, 1998.

[16] S. D. Mokashi and A. C. Kokossis, “Maximum dispersion algorithm for multisite delivery scheduling,” *FOCAPO 98*, Snowbird, 1998.

[17] P. R. Bunch, R. L. Rowe and M. G. Zentner, “Large scale multi-faculty planning using mathematical programming methods,” *FOCAPO 98*, Snowbird, 1998.

[18] G. E. Applequist, J. F. Pekny and G. V. Reklaitis, “Economic risk management for design and planning of chemical manufacturing supply chains,” *FOCAPD 99*, Breckenridge, 1999.

[19] K. J. Mo, T. Q. Kim, J. G. Kim and E. S. Yoon, “Implementation of an Order Promising System in Supply Chain Management,” *PSE ASIA 2000*, Kyoto, pp. 135-140, 2000.

[20] T. Nishi, T. Inoue, Y. Hattori, S. Taniguchi, S. Hasabe and I. Hashimoto, “Development of a decentralized supply chain optimization systems,” *PSE ASIA 2000*, Kyoto, pp. 141-146, 2000.

[21] C. C. Pantelides, P. Tsiakis and N. Shah, “Design of Multi-echelon production and distribution systems,” *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.

[22] J. Canton, M. Badell, M. Graells and L. Puigjaner, “Tool for scheduling with cross-functional links between production and financial short-term planning in ERP systems,” *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.

[23] J. F. Pekny, G. E. Applequist and G. V. Reklaitis, “Economic risk management for design and planning of chemical manufacturing supply chains,” *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.

[24] J. Gjerdrum, N. Shah and L. G. Papageorgiou, “Fair transfer price and inventory holding policies for multi-enterprise supply chains,” *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.

[25] A. C. Kokossis and S. D. Mokashi, “A dispersed graph approach for the optimization fo large-scale

- supply chains," *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.
- [26] N. V. Sahinidis and A. Shabbir, "Analytical investigations for synthesis of supply chain management systems under multiperiod uncertainty," *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.
- [27] C. D. Maranas and A. Gupta, "A two-stage stochastic formulation and solution framework for midterm multisite planning," *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.
- [28] I. E. Grossmann, B. E. Ydstie, E. Perea and T. Tahmassebi, "Towards the integration of dynamics and control for the optimization of the supply chain," *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.
- [29] I. E. Grossmann, J. -K. Bok and S. Park, "Supply chain optimization of continuous flexible process networks," *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.
- [30] J. F. Pekny, S. Bose and B. Ramachandran, "A forecasting-optimization-simulation based approach to consumer goods supply chain management under uncertainty," *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.
- [31] D. R. Heltne, C. R. Standridge and J. L. Slotter, "Modeling, simulation and optimization of supply chain operations," *1999 AIChE Annual Meeting*, Dallas, 1999.
- [32] C. D. Maranas and A. Gupta, "Multiperiod supply chain planning under demand uncertainty," *2000 AIChE Annual Meeting*, Los Angeles, 2000.
- [33] N. Julka, R. Srinivasan, I. Karimi, N. Viswanadham and A. Behl, "Enabling framework for decision support systems in the e-commerce era," *2000 AIChE Annual Meeting*, Los Angeles, 2000.
- [34] E. Perea-Lopez, I. E. Grossmann and B. E. Ydstie, "Application of MPC to decentralized dynamic models for supply chain management," *2000 AIChE Annual Meeting*, Los Angeles, 2000.
- [35] M. E. Flores, D. E. Rivera and V. L. Smith-Daniels, "Managing supply chain using model predictive control," *2000 AIChE Annual Meeting*, Los Angeles, 2000.
- [36] P. Tsiakis, N. Shah and C. C. Pantelides, "Design of dynamic multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty," *2000 AIChE Annual Meeting*, Los Angeles, 2000.
- [37] H. M. S. Lababidi, I. M. Alatiqi, M. A. El-Wkeel and A. F. Al-Enzi, "Supply chain management of petrochemical products under uncertain operational and economical conditions," *2000 AIChE Annual Meeting*, Los Angeles, 2000.
- [38] I. Grossmann, "Recent advances in supply chain management research," *2001 AIChE Spring National Meeting*, Houston, 2001.
- [39] J. Faccenda, "Deploying successful supply chain solutions in the chemical process industries," *2001 AIChE Spring National Meeting*, Houston, 2001.
- [40] I. B. Tjoa, "Opportunities and solution approached in SCM in process industry," *2001 AIChE Spring National Meeting*, Houston, 2001.
- [41] P., Kelly, "Supply chain management technologies," *2001 AIChE Spring National Meeting*, Houston, 2001.
- [42] N. Sahinidis and S. Ahmed, "Supply chain design and operations under uncertainty," *2001 AIChE Spring National Meeting*, Houston, 2001.
- [43] N. Venkatasubramanian, "Supply chain management at I2," *2001 AIChE Spring National Meeting*, Houston, 2001.
- [44] A. Gupta and C. D. Maranas, "Multiperiod Planning of Multisite Supply Chains Under Demand Uncertainty", ESCAPE-11, Kolding, Denmark, 2001
- [45] T. Tahmassebi, "Industrial experience with a mathematical-programming based system for factory systems planning/scheduling," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 20, suppl., S1565-1570, 1996.
- [46] V. T. Voudouris, "Mathematical programming techniques to debottleneck the supply chain of fine chemical industries," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 20, suppl., S1269-1274, 1996.
- [47] J. -K. Bok, I. E. Grossmann and S. Park, "Supply Chain Optimization in Continuous Flexible Process Networks," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 39, pp. 1279-1290, 2000.
- [48] Z. Zhou, S. Cheng and B. Hua, "Supply chain optimization of continuous process industries with sustainability consideration," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, pp. 1151-1158, 2000.
- [49] E. Perea, I. Grossmann, E. Ydstie and T. Tahmassebi, "Dynamic modeling and classical control theory for supply chain management," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, pp. 1143-1149, 2000.
- [50] R. Garcia-Flores, X. Z. Wang and G. E. Goltz, "Agent-based information flow for process industries' supply chain modelling," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, pp. 1135-1141,

- 2000.
- [51] Y. Naka, M. Hirao, Y. Shimizu, M. Muraki and Y. Kondo, "Technical information infrastructure for product lifecycle engineering," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, pp. 665-670, 2000.
- [52] S. Bose and J. F. Pekny, "A model predictive framework for planning and scheduling problems: a case study of consumer goods supply chain," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, pp. 329-335, 2000.
- [53] G. E. Applequist, J. F. Pekny and G. V. Reklaitis, "Risk and uncertainty in managing chemical manufacturing supply chains," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, pp. 2211-2222, 2000.
- [54] A. Gupta and C. D. Maranas, "A Two-Stage Modeling and Simulation Framework for Multisite Midterm Planning under Demand Uncertainty," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 39, pp. 3799-3813, 2000.
- [55] A. Gupta, C. D. Maranas and C. M. McDonald, "Mid-term supply chain planning under demand uncertainty: customer demand satisfaction and inventory management," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, pp. 2613-2621, 2000.
- [56] L. G. Papageorgiou, G. E. Rotstein and N. Shah, "Strategic Supply Chain Optimization for the Pharmaceutical Industries," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 40, pp. 275-286, 2001.
- [57] J. Gjerdrum, N. Shah and L. G. Papageorgiou, "Transfer Prices for Multienterprise Supply Chain Optimization," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 40, pp. 1650-1660, 2001.
- [58] M. Badell and L. Puigjaner, "Advanced enterprise resource management systems for the batch industry. The TicTacToe algorithm," *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 25, pp. 517-538, 2001.
- [59] 송제훈, 박형진, 이동엽, 박선원, "공급망관리를 고려한 실제 규모의 정유공정의 일정계획 모델," 한국화학공학회 2001 봄 학술대회, 서울, 제7권, 제1호, pp. 565-568, 2001.
- [60] 이동엽, 박형진, 송제훈, 박선원, "환경친화적인 공급사슬관리를 위한 환경친화적 구매," 한국화학공학회 2000 가을 학술대회, 포항, 제6권, 제2호, pp. 3022-3036, 2000.
- [61] 이호경, 정사무엘, 이인범, 이경범, "공급망관리 (Supply-Chain Management)의 기술 현황," NICE, 제19권, 제1호, pp. 6-10, 2001.

송 제 훈

1997년 연세대학교 화학공학과 (공학사). 1999년 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사). 1999년~현재 한국과학기술원 화학공학과 박사과정. 관심분야는 Scheduling, Planning, Supply Chain Management 등.

복 진 광

1994년 한국과학기술원 화학공학과 (공학사). 1996년 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사). 1999년 한국과학기술원 화학공학과 (공학박사). 1999년~2000년 미국 MIT Post Doctor. 2000년~현재 삼성SDS 컨설턴트. 관심분야는 Supply Chain Management, E-Business.

이 희 만

1992년 한국과학기술원 화학공학과 (공학사). 1994년 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사). 1997년 한국과학기술원 화학공학과 (공학박사). 1997~2000년 삼성SDS 컨설턴트. 2001년~현재 테크노리더스 컨설턴트. 관심분야는 Venture Incubating.

박 형 진

1996년 한국과학기술원 화학공학과 (공학사). 1998년 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사). 1998년~현재 한국과학기술원 화학공학과 박사과정. 관심분야는 Scheduling, Planning, Supply Chain Management 등.

이 동 엽

1998년 연세대학교 화학공학과 (공학사). 2000년 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사). 2000년~현재 한국과학기술원 화학공학과 박사과정. 관심분야는 Bioinformatics, Metabolic Pathway Synthesis, Supply Chain Management 등.

박 선 원

1970년 서울대학교 화학공학과 (공학사). 1974년 미국 Oklahoma State University 화학공학과 (공학석사). 1979년 미국 University of Texas at Austin 화학공학과 (공학박사). 1987년 미국 University of Houston-Clear Lake (MBA). 1979년~1988년 미국 Hoechst Celanese Staff Engineer. 1988년~현재 한국과학기술원 화학공학과 교수. 관심분야는 공정제어, 공정 최적화, Bioinformatics, Supply Chain Management, Venture Incubating, Forecasting 등.