

회분식 공정이 포함된 화학산업에서의 공급사슬 관리 모델 개발

박경민 · 하진국 · 이의수[†]

동국대학교 생명 · 화학공학과
100-715 서울시 중구 필동 3가 26
(2007년 9월 17일 접수, 2007년 11월 1일 채택)

A Development of SCM Model in Chemical Industry Including Batch Mode Operations

Jeung Min Park, Jin-Kuk Ha and Euy Soo Lee[†]

Department of Chemical & Biochemical Engineering, Dongguk University, 26 3-ga, Pil-dong, Chung-gu, Seoul 100-715, Korea
(Received 17 September 2007; accepted 1 November 2007)

요 약

최근의 급변하는 시장 상황의 변화와 제품의 수요에 대한 다양한 요구는 회분식 공정에 의한 다품종 소량생산으로의 전환을 가져오게 하였다. 이러한 회분식 공정은 주로 정밀 화학 관련 제품들인 의약품, 생화학 제품, 농약, 고분자 소재 등의 생산에 사용되어 왔지만, 근래에는 윤활유, 섬유, 석유 화학, 식품 같은 제품의 생산에도 널리 적용되고 있다. 그러나 회분식 공정은 원료의 공급, 제품의 가격 등과 같은 불확실 변수에 의한 조업의 변화가 자주 발생하는 단점이 있다. 이러한 조업의 변화는 조업시간의 변동과 각 부분별 예측량이 달라져 시장 경쟁력을 잃게 된다. 이에 공급망 상에 위치한 각 부서별, 기업별 협력과 조정을 통한 총체적 관점에서의 최적화를 추구하는 공급사슬 관리에 관한 관심이 고도되고 있다. 이에 본 논문에서는 회분식 공정에 공급사슬 관리 기법을 도입하여 원자재의 구매에서부터 분배에 이르는 전과정에 대한 총체적인 최적해를 찾고 각 공급사슬간의 영향력을 조사, 분석하였다. 또한 본 논문에서는 생산계획과 상세일정계획 모델의 통합과 수요에 대한 단계별 예측을 통해 시장 변화와 불확실 변수(uncertainty)에 대한 적절한 대응방안을 모색하여, 회분식 공정에서의 공급사슬 관리 모델을 개발하였다. 이와 함께 각각의 공급사슬간 인터페이스를 통하여 정보와 물류의 통합이 이루어지게 하여, 실제 주문과 수요의 변화에 대하여 생산계획, 구매계획, 일정계획 및 분배계획을 수립하여 안정적인 공급이 이루어지게 하였다.

Abstract – Recently the increased attention pays on the processing of multiple, relatively low quantity, high value-added products resulted in adoption of batch process in the chemical process industry such as pharmaceuticals, polymers, bio-chemicals and foods. As there are more possibilities of the improvement of operations in batch process than continuous processes, a lot of effort has been made to enhance the productivity and operability of batch processes. But the chemical process industry faces a range of uncertainties factors such as demands for products, prices of product, lead time for the supply of raw materials and in the production, and the distribution of product. And global competition has made it imperative for the process industries to manage their supply chains optimally. Supply chain management aims to integrate plants with their supplier and customers so that they can be managed as a single entity and coordinate all input/output flows (of materials, information) so that products are produced and distributed in the right quantities, to the right locations, and at the right time. The objective of this study is to solve the purchase, distribution, production planning and scheduling problem, which minimizes the total costs of production, inventory, and transportation under uncertainty. And development of SCM model in chemical industry including batch mode operations. Through that, the enterprise can respond to uncertainty. Also integrated process optimal planning and scheduling model for manufacturing supply chain. The result shows that, the advantage of supply chain integration are quality matters seen by customers and suppliers, order schedules, flexibility, cost reduction, and increase in sales and profits. Also, an integration of supply chain (production and distribution system) generates significant savings by trading off the costs associated with the whole, rather than minimizing supply chain costs separately.

Key words: Scheduling, Optimization, SCM, Uncertainty

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: eslee@dgu.edu

1. 서 론

21세기 시대는 지식과 정보화의 사회로 상징되는 글로벌 경쟁시대이다. 이에 따라 기업의 경영구조가 복잡, 다양화되고 고객 만족을 통한 기업의 경쟁 우위의 확보가 치열해지고 있다. 특히 지식 정보화 사회 이전의 화학 산업은 ‘규모의 경제’라는 법칙이 적용된 굴뚝산업으로서 소품종 대량 생산 대량 소비의 산업 사회를 대표하여 왔지만 최근에는 다양한 소비자의 기호가 증가하고 공급 과잉 현상이 일어나 시장이 포화되어 양적생산 체제에서 질적 생산 체제로 변화하고 있다. 또한 제품이 시장에서 유통될 수 있는 라이프 사이클도 점차 짧아져 가고 있다. 따라서 이러한 시장 변화에 적극적으로 대처하기 위해서 다품종 회분식 공정으로 전환하고 있다[5].

하지만 다품종 회분식 공정은 동적 특성을 지니고 있기 때문에 계획된 생산계획과 조업시간을 통해 제품을 생산하고 원료를 구입한다고 하더라도 수요에 대한 전반적인 계획 수정이 뒷받침 되지 못하면 공급을 원활히 할 수 없는 문제가 발생한다. 그리고 불확실 변수에 의한 조업의 변화가 자주 발생하는 단점이 있다[4]. 일반적으로 생산계획은 공급량, 생산순서 등 독립적인 부분에 관한 것이었지만 공정은 유기적인 관계에 놓여있기 때문에 수요의 및 가격의 변화에 의한 조업변화가 발생하면 조업시간이 변동되고 각 부분별 예측량이 달라져 시장 경쟁력을 잃게 된다. 또한 물류 비용에 의한 가격상승, 부정확한 정보에 의한 수량 왜곡현상 등 제품생산 에서 발생하는 간접적인 비용이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다[7].

따라서 다품종 회분식 공정에서 공급망 상에 위치한 각 부서별, 기업별 협력과 조정을 통한 총체적 관점에서의 최적화를 추구하는 SCM 도입을 통해 재고비용 및 물류비용의 절감, 과잉제고에 의한 결품 저하, 소비자의 변화에 대한 신속한 대응을 가져오게 되고 시장 상황에 적절하게 대응하여 경쟁력을 확보할 수 있다[9].

이에 본 논문에서는 회분식 공정에 SCM을 도입하여 원자재의 구매에서부터 분배에 이르는 전 과정에 대한 총체적인 최적해를 찾고 각 공급사슬간의 영향력을 조사, 분석하였다. 또한 정보의 공유를 통해서 수요와 시장변화에 적극 대응하여 효율을 극대화 하고 최대 이익을 창출하는 모델을 개발하였다. 또한 회분식 공정에서의 SCM 모델을 크게 두 부분으로 나누어 연구하였다.

첫 번째, 예측 수요에 대한 SCM 모델 수립단계이다. 이 단계에서는 기존의 자료와 통계적 기법에 의해서 수요에 대한 예측을 실시하고 이를 통해 회분식 공정의 장치와 회분크기를 결정하게 된다.

두 번째, 실제 수요에 대한 SCM 모델 구축단계이다. 실제 수요에 대한 생산계획, 구매계획, 일정계획 및 분배계획을 통하여 최적의 공급방법을 결정하게 되고 다양한 주문과 가격변화에 대응하게 한다.

첫 번째 과정을 통해서 기업 입장에서 생산계획을 수립하게 되고 두 번째 과정과 분석을 통해 실질적인 회분식 공정 SCM 모델이 구성된다. 또한 각각의 체인공급 간에는 인터페이스를 통하여 정보와 제품의 흐름이 공유되고 수요와 생산, 구매와 분배에 이르는 전 과정에 대한 통합 정책이 이루어지게 하였다.

2. 이론적 배경

2-1. SCM의 정의

Fig. 1에서와 같이 SCM은 고객에서 공급자까지의 전 프로세스에 걸친 가치사슬(value chain)의 최적화 및 이를 통한 기업 이익의 구

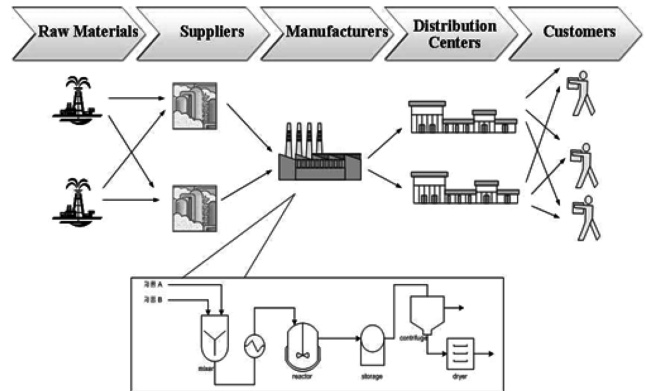


Fig. 1. Definition of supply chain management.

현이며 공급자에서 시작하여 구매, 제조, 분배, 유통을 거쳐 소비자에게 이르는 모든 재화 및 서비스 그리고 그것에 흐름에 수반되는 가치의 흐름을 통합하고 연계하여 전체적인 시스템으로 이해하고 분석하려는 개념의 경영이다. 다시 말해서 SCM은 공급자에서 고객까지의 공급사슬상의 정보, 물자, 현금의 흐름에 대해 총체적 관점에서 체인간의 인터페이스를 통합하고 관리함으로써 효율성을 극대화 하는 전략적 기법이다[7,9].

2-2. SCM 도입 필요성

2-2-1. 높은 물류 비용

공급사슬에서 운송 비용과 재고 비용 등 제조 과정 외부의 비용이 부가가치의 60~70%를 차지한다.

2-2-2. 예측의 불확실성

체적효과(bullwhip effect)에 의해 공급사슬의 가장 마지막 소매 단계의 주문과 고객 수요성향에 대한 정보가 도매상과 지역 유통센터 등의 공급 사슬로 전달되는 과정에서 지연이나 왜곡되어 결품, 과잉 재고 등의 문제가 발생한다.

2-2-3. 세계화

기업 활동이 글로벌화 되면서 공급사슬상의 리드타임이 길어지고 불확실 해졌다. 또한 부품 조달 비용, 인건비, 금융 비용, 생산성, 운송 비용 등은 국가별 지역별 편차, 관세 및 환율 법규의 국가별 차이, 지역별 제품 사양의 차이 등을 감안해야 하고 그에 따라 물류 과정도 복잡하게 되었다.

2-2-4. 다품종 소량생산

기존의 표준화된 제품을 대량 생산하여 고객에게 밀어내던 방식을 탈피하여 고객의 다양한 요구에 맞추어 제조, 납품하는 다품종 소량생산 서비스가 보편화되고 있다. 대상 품목이 많아지면서 재고 및 물류 관리를 비롯해 주문 관리, 생산 계획, 정보 관리 및 추적 관리도 복잡해져서 공급사슬 관리의 중요성이 부각되었다.

2-2-5. 기업 경쟁의 심화

기업 간 경쟁이 치열해짐에 따라 비용 및 납기의 개선이 시급하게 되었다. 특히 고객 지향, 고객 만족, 시장 요구에 대한 적응을 위해 공급사슬의 혁신 요구가 증대되고 있다. 더구나 LG 삼성, 미국 섬유산업, 식료품 업체, 의료제품업체, 자동차업체 등에서 최근에 공

급사슬관리 성공 사례들이 발표되어 이 기법의 확산을 촉진하고 있다.

3. 회분식 공정에서 SCM 구축

3-1. SCM 구축 전략

다품종 회분식 공정에서의 공급사슬 형태는 전략 주체가 누구인 지에 따라 구분하게 된다. 기업이 전략 주체인 경우는 과거 생산방법의 하나로써 수요예측에 의존하는 공급사슬 관리 방법이다. 대규모 소량생산에 적합했지만 현재 변화하는 수요와 제품의 다양화에 대응하지 못하는 단점이 있으며 발생한 수요에 대비하는 과잉재고량이 늘어나면서 물류비의 급격한 증가를 가져오고 있다. 소비자가 전략 주체인 경우는 현재 정보통신의 급격한 성장으로 가능하게 되었다. 통상 e-business로 대표되는 방법으로 소비자의 구매정보와 제품에 대하여 즉각적인 대응과 생산을 가능하게 한다. 이를 통해 재고관리 비용의 획기적인 감소를 가져오게 되었고 유통단계에서 발생하는 비용 역시 감소시켰다. 하지만 재고 고갈시에는 대응방법이 없고 급격하게 변하는 수요에 생산량이 따라가지 못하면서 생산 부족 사태를 가져온다. 따라서 혼합형 정책을 도입하였다. 초기 예측에 의해 생산량을 결정하고 제품의 생산계획(planning)과 일정계획(scheduling)이 결정되고 주문에 의한 수요량과 실시간 변화하는 수요량은 일정 재고 수준을 유지하며 상위 단계로 정보를 전달하고 재수립된 계획을 통해 분배함으로써 능동적이고 안정적인 공급을 가능하게 한다.

3-2. 회분식 공정이 포함된 SCM 모델 구성

회분식 공정에서 SCM 모델은 Fig. 2와 같이 구성된다. 과거의 정보와 현재 시장상황을 고려한 수요예측을 통해 다품종 소량생산에 적합한 회분식 공정을 도입하고 기본적인 정보를 얻게 된다. 이를 통해서 총괄적인 생산계획이 이루어진다. 이 정보는 월별로 생산 가능한 양과 적절한 구매전략을 수립하게 하고 중간저장조 운영방법에 따라서 작업시간과 생산순서가 결정하게 한다. 또한 예측된 생산 정보를 통해서 재고와 수요를 고려한 분배계획이 만들어진다. 이렇게 예측되어진 정보를 기본으로 생산계획이 구성되며 실질적인 소비자에 의한 수요가 발생하면 분배계획, 일정계획, 생산계획으로 정보가 이동하면서 최적의 대응방안을 모색하고 해결하게 된다. 또한 이 정보는 다시 수요예측으로 D/B화 되어 새로운 생산계획과 장치결정 문제를 결정하게 한다. 이를 통해 기업과 소비자의 입장을 모두 고려한 다품종 회분식 공정에서의 SCM 모델이 만들어진다.

3-3. 회분식 공정에서 SCM 도입방법

회분식 공정은 한 공정에서 여러 가지 제품을 생산하는 특성을 가지고 있기 때문에 불연속적인 방법으로 운영된다. 따라서 예측된

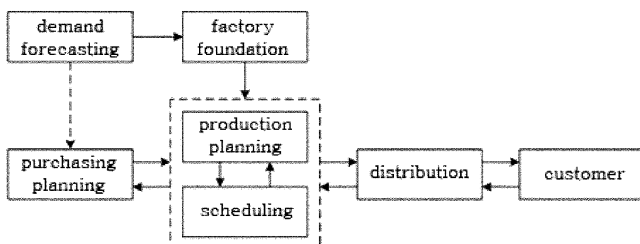


Fig. 2. SCM model framework in batch processes.

생산계획에 의한 장치의 크기와 생산계획 수립은 새로운 신제품에 대한 적용에 능동적으로 대응할 수 있게 한다. 또한 실제 수요에 의한 정보의 공유와 제품의 이동은 물류비용의 감소와 최적화된 생산계획을 가능하게 한다.

본 논문의 회분식 공정에서 SCM 운영 전략은 Fig. 3에서와 같이 크게 수요예측에 의한 계획과 실제 수요에 의한 계획으로 나뉘게 된다. 수요예측에 의한 계획은 다양한 제품에 대한 예측값을 통해 미래에 공급 가능량을 결정하게 하고 각 제품별로 상이한 제품생산 크기를 결정하게 하여 제품의 추가 생산과 신제품의 생산에 적은 비용으로 대응할 수 있게 한다. 또한 월간 생산계획과 생산가능 작업시간 판단, 원자재 구매 가능량을 결정하여 준다. 실제 수요에 의한 계획은 소비자의 구매정보는 분배계획과 일정계획으로 정보가 이동하며 즉각적인 물류의 이동을 유발하고 더 나아가 생산계획을 재조정하게 함으로써 구매계획을 재수립하게 하고 새로운 일정계획과 분배계획을 설정, 최적의 공급방안을 모색하게 한다. 이를 위하여 공급 사슬간 인터페이스를 통합시켰고 회분식 공정의 중간저장조 운영방법에 따른 각 단계별 정보와 제품의 이동을 모색하였다.

3.4. 수요예측에 의한 생산·일정 계획

Fig. 4에서와 같이 수요예측에 의한 생산, 일정 계획은 수요예측, 장치설계, 생산계획, 구매계획, 일정계획, 분배계획의 단계를 거치게

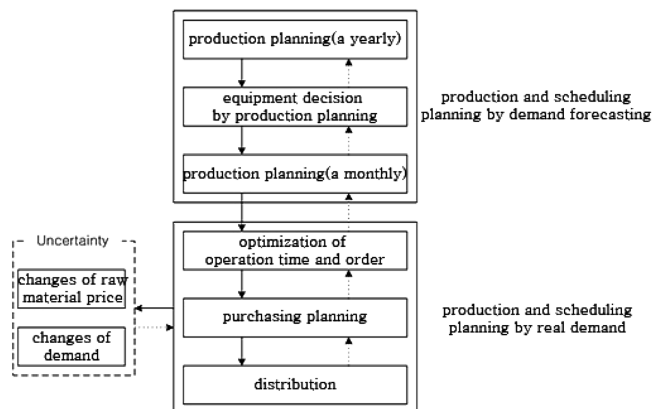


Fig. 3. Operation strategy of SCM in batch processes.

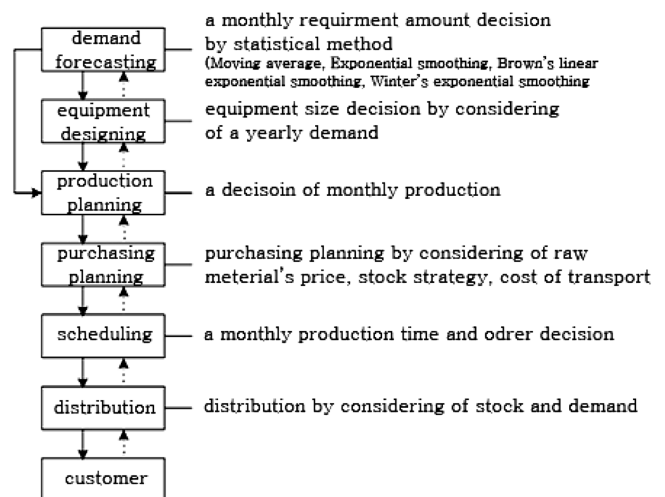


Fig. 4. Scheduling of SCM by demand forecasting.

된다. 수요예측에서는 통계적 기법에 의한 수요를 예측하고 현재 각 제품의 시장상황과 인플레이션, 경쟁 기업의 제품생산 등을 고려하여 예측한다. 예측에서는 모든 정보에 관한 가중치를 부여함으로써 현실감 있는 예측을 가능하게 하고 결정계수를 통한 최상의 예측값을 선택한다. 또한, 장치설계에서는 현재 고려되어지는 모든 제품에 대한 월간 생산 가능시간을 근거로 제품의 생산량을 판단한다. 월별로 생산가능한 장치크기가 다르기 때문에 가장 큰 값을 취함으로써 발생할 초과수요에 대비한다. 또한 회분크기는 신뢰도를 고려 평균값을 판단함으로써 실제 시운전을 통한 정보와 오차를 최소화 한다. 생산계획에서는 현재 시장상황에 맞는 정보를 고려하여 생산량을 결정한다. 가격에 관한 다양한 정보들은 현재까지의 정보를 토대로 보관법을 적용하여 판단한다. 또한 공장자체 생산에 관한 다양한 정보들을 회분 크기와 생산가능시간으로 압축시켜 정보 분석의 편이성을 가지게 한다. 구매계획에서는 계획상에서 구상되었던 제품을 생산하기 위한 원료재료들의 구매를 판단하게 하여 차후 발생하는 가격의 변화에 능동적으로 대응하게 한다. 그리고 창고의 개념을 도입하여 한 번에 구매되어진 제품은 일정한 간격으로 공장으로 이송하게 함으로써 원료가격 상승에 대한 완충 역할을 하게 한다. 일정계획에서는 중간저장조 운영방법에 따른 생산 가능시간을 판단하게 하고 생산순서를 가능하여 최적의 제품 생산력을 가지게 한다. 마지막으로 분배계획에서는 예측된 수요와 생산 가능한 제품 생산량을 고려하여 이익을 최대화 할 수 있는 분배계획을 수립하게 한다. 이때 물류 센터의 재고력을 고려해 준다. 이는 일정한 재고수준을 유지하게 하여 급변하는 수요에 쉽게 대응하게 하기 위해서이다.

구매계획, 일정계획과 분배계획에 관한 수식은 실제 수요에 의한 생산계획에서 다루며, 본 장에서는 수요예측, 장치설계 및 생산계획을 위한 방법론은 다음과 같다.

3-4-1. 수요예측

제품을 생산하는 기업은 소비자가 원하는 시점에 원하는 제품을 구매할 수 있도록 사전에 필요한 원자재를 구매하고 제품을 생산하여 소비자에게 공급한다. 이를 위해서는 언제 얼마만큼의 상품을 어떤 소비자가 어디에서 제공 받기를 원하는지 사전에 알아야만 한다. 이렇게 예측 되어진 수요는 SCM을 구성하는 첫걸음이 된다. 예측을 통하여 얻어진 수요를 통해 장치를 구성하고 각 제품의 회분크기를 결정함으로써 안정적인 생산을 가능하게 하고 수요의 변화와 가격의 변화에 대응할 수 있게 한다.

수요를 예측하는 방법은 크게 정성적인 방법과 정량적인 방법으로 나뉜다. 정성적 예측은 주관적인 판단에 의한 예측 방법이며 정량적 예측은 계량적인 모델과 데이터를 사용하는 예측 방법이다.

정성적 방법에 의한 수요예측 방법은 크게 델파이법, 시장조사법, 패널조사법, 기타 방법으로 나뉜다. 델파이법은 수요에 관한 다수 전문가의 판단을 조직적으로 일치된 의견이나 예측으로 도출하는 방법이다. 집단적 회의의 맹점인 상호 영향이나 타협을 배

제할 수 있으나 상당한 비용과 시간이 요구되며, 현재는 기술 예측이나 문제해결에 널리 이용된다. 시장조사법은 소비자 패널이나 광범위한 소비자를 대상으로 조사하는 방법이다. 수요의 크기뿐 아니라 선호도, 구매동기 등의 정보를 얻을 수 있으나 예측오차가 크게 발생하는 단점이 있으며, 새로운 제품이나 서비스를 시장에 출시할 때 많이 이용된다. 패널조사법은 예측하려는 제품과 관련된 패널을 구성하여 의견을 제시하여 예측하는 방법이다. 이 방법은 패널 구성원에 따라 예측 결과가 큰 차이를 보이며, 영향력 있는 사람의 예측값을 따라가는 단점이 있다. 정량적 방법에 의한 수요예측 방법은 시계열 분석법과 인과형 분석법으로 나뉜다. 시계열 분석법은 일정한 시간적 간격으로 나열된 과거의 자료에 나타난 수요의 패턴이 미래의 시간 간격에도 영향력을 미친다는 가정으로 예측하는 방법이다. 수요패턴에 따라 이동평균법, 지수평활법 등이 사용되며 과거의 데이터를 근거로 하고 있기 때문에 데이터가 누적된 제품의 수요 예측에 이용된다. 인과형 분석법은 제품의 수요라는 독립변수에 영향을 미치는 다양한 원인변수들을 분석, 판단하여 예측하는 방법이다. 회귀 분석법, 수정된 윈터스법 등이 사용되며 계절적 변화 및 주기를 가지고 있는 제품의 수요 예측에 이용된다. 실제로 화학제품에 적용하기 위해서는 제품의 신규성과 관련자료의 과다에 따라 수요 예측방법이 달라진다. Table 1에는 실제 응용되고 있는 자료에 대한 수요 예측방법을 나열하였다.

회분식 공정에서의 수요예측은 기존의 제품에 대한 자료와 현재 수요에 대한 거래처별 예측을 통하여 결정된다. 과거의 데이터에만 의존하게 되면 현재 시장상황을 고려할 수 없고 현재 수요에 대한 예측만을 통하면 예측의 오차가 커져서 생산계획을 위한 수요의 예측이 정확하게 이루어 질 수 없기 때문이다. 본 논문에서는 최근 과거 수요량을 통해서 통계적인 기법들을 사용 수요를 예측하고 현재 수요에 대한 예측치를 통하여 가중치를 부여, 최종 수요를 예측했다.

3-4-1-1. 이동평균법

이동평균법은 과거의 자료에서 추세변동이나 계절적인 변동이 포함되지 않고, 설명할 수 없는 불규칙 변동만 크게 작용하는 경우의 수요예측에 적합한 기법이다. 이때 이 불규칙 변동은 이동평균법에 의해 제거될 수 있다. 이 방법은 이동평균 대상기간수에 따라 나눌 수 있다. 여기서 수요예측값을 예측하려는 시점의 직전에 있는 일정기간의 실제수요 즉 예측하려고 하는 대상기간수의 실제수요를 동일한 비중으로 산술평균하여 계산한다. 식 (1)의 수학적 표현으로 나타낼 수 있다.

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^n A_{t-i}}{n} \quad (1)$$

Table 1. Statistical estimation method of demand forecasting

| Subject | a number of related data | application method of demand forecasting |
|------------------|--------------------------|---|
| Existing Product | many | A casual-Forecasting method, Time series analysis |
| | insufficiency | Delphi method |
| New product | a few | A casual-Forecasting method, Time series analysis |
| | nothing | Delphi method, Market research, Panel Consensus |

3-4-1-2. 지수평활법

지수평활법은 미래를 예측하는데 있어 과거로 올라갈수록 자료의 중요성이 감소한다는 가정에서 과거 자료에 점점 낮은 가중치를 부여하는 방법이다. 또한 최근의 실제값에 가중치의 대부분을 부여하며 과거의 자료가 올라갈수록 지수적으로 감소한다고 생각한다. 이 방법은 이동평균법과 마찬가지로 시계열자료에 추세나 계절적 변동이 적을 때 유용하다.

이 방법에 의한 당기 예측값의 계산은 그 시점에서의 전기 예측값에 실제값과 예측값 차이의 일정비율을 더함으로써 이루어진다. 여기서 사용하는 일정 비율은 지수평활계수를 말하며, 현재 관측된 수요에 대한 가중치를 나타낸다.

$$F_t = \alpha \cdot A_{t-i} + (1-\alpha) \cdot F_{t-1} \quad (2)$$

위의 식 (2)에 의해 예측값을 계산하는 경우, 최초의 예측값이 주어여야 되고, 지수평활계수 (α)가 결정되어야 한다. 지수평활계수는 0.1~0.3의 값으로 주어지는 것이 일반적이다. 초기 예측값은 그 이전의 과거 자료가 있으면 이동평균법으로 최초의 예측값을 계산하거나 과거 자료가 없으면 정적인 방법에 의한 예측값을 적용할 수 있으며 최초의 실제값을 예측값으로 이용하는 것도 하나의 방법이다.

3-4-1-3. 브라운의 지수평활법

브라운에 의해서 수정된 방법으로 지수평활법에서 사용되던 예측 결과를 한 번 더 예측하여 실제값과 비교함으로써 오차를 최소화 하면서 미래를 예측하는 방법이다. 수식으로 표현하면 지수평활법의 식 (2)에 식 (3)~(4)를 추가하여 나타낸다.

$$F_t^I = \alpha \cdot F_{t-1} + (1-\alpha) \cdot F_{t-1}^I \quad (3)$$

$$B_t = 2 \times F_t - F_t^I + \frac{\alpha}{1-\alpha} \times (F_t - F_t^I) \quad (4)$$

3-4-1-4. 수정 윈터스법

계절별 변동을 비롯하여 시계열 데이터의 주기성까지를 모형화할 수 있는 방법이다. 보통 시계열 데이터가 계절별이나 월별로 주기성을 가진 모형이라면 주기별 영향을 고려하여 예측된 연간 수요량을 수정하게 된다. 식 (5)는 수정 윈터스법을 나타낸다. 연간 수요량은 정량 변동인 추세를 이용한 최소자승법을 이용한다.

$$F_t = (\alpha + bt)C_t \quad (5)$$

① 추세선에 의한 연간 수요량 결정

$$y_T = \alpha + bT \quad (6)$$

연간 수요량에 의한 수식은 식 (6)과 같이 표현하고 편차를 라고 하면 편차에 의한 관계는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$\varepsilon_T = y_T - (\alpha + bt) \quad (7)$$

여기서 각 시점에서의 편차 제곱의 합을 최소화하면 식 (8)과 같이 바꿀 수 있고

$$\sum_{T=1}^n \varepsilon_T^2 = \sum_{T=1}^n (y_T - \alpha - bT)^2 \quad (8)$$

최선의 추세선에 해당하는 미지수의 값을 결정하면 식 (5)에서의 결정변수인 a, b 는 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha = \bar{y} - b\bar{T}, b = \frac{\sum_{T=1}^n Ty - n\bar{T} \times \bar{y}}{\sum_{T=1}^n T^2 - n\bar{T}^2} \quad (9)$$

이상의 식 (6)~(9)의 수식을 통해 수정 윈터스 식 (5)의 결정변수를 결정할 수 있다.

② 계절에 따른 월별 변동 고려

예측하려는 주기의 실제값과 평균값을 이용 계절지수를 도출하고 월별 수요 예측을 통하여 계절에 따른 월별 변동지수를 구한다. 월별 변동지수는 다음과 같이 식 (10)을 통하여 구한다.

$$C_t = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{A_{t-i}}{m_t}}{n} \quad (10)$$

3-4-2. 장치설계

회분식 공정은 다양한 제품들이 같은 장치를 공유하며 사용하기 때문에 생산계획과 일정계획을 통한 최적화가 중점적인 역할을 한다. 특히 연속식 화학공정보다 복잡한 물류 흐름 구조를 가지게 되어 잘못된 정보와 예측은 그 손실을 더욱 크게 한다. 따라서 초기 설계시 장치의 크기를 최적으로 결정하고 회분의 크기를 판단함으로써 장치 투자비를 줄일 수 있는 장점이 있고 평행한 장치의 결정, 중간저장조의 추가 및 공정합성을 위한 기본 자료 등을 제공한다. Fig. 5에서와 같이 회분식 공정은 여러 제품이 같은 공정을 이용하기 때문에 제품 및 월별 수요량에 따라서 그 크기와 비용이 달라진다. 따라서 예측되어진 월별 수요량을 통해서 각각의 장치크기를 결정하고 그 중에서 가장 큰 값을 사용하게 된다. 평균값이나 연간 제품 수요량을 사용 하게 되면 수요량의 최대값에 대해 현재 가진 공정으로는 제품을 생산할 수 없기 때문이다. 회분크기는 표준정규분포를 따른다고 가정하여 신뢰도 95% 수준을 가질 수 있는 범위에서 설정하였다. 세설정된 평균은 구간값이 12개(12개월) 뿐이어서 높은 정확도로 예측하긴 힘들지만 화학제품의 수요가 표준 정규분포곡선과 비슷한 수요를 가지고 있기 때문에 단순평균값 보다는 기대치를 높게 하고 실제 생산되어지는 제품의 회분 크기와 비슷한 결과를 가지게 하였다.

그리고 결정된 월별 회분크기를 신뢰도 95% 범위에서 결정하기 위해서 표본평균을, 표본표준편차를 s 라고 하면, 모평균 m 의 신뢰구간은 식 (11)의 범위 안에서 결정하고 판단하였다.

$$\text{신뢰도 95\% : } \left[\bar{X} - 1.96 \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{X} + 1.96 \frac{s}{\sqrt{n}} \right] \quad (11)$$

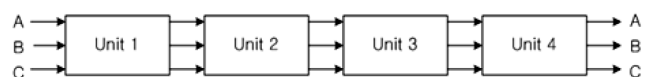


Fig. 5. Multiproduct batch processes.

3-4-3. 생산계획

주어진 수요에 대한 판매가격과 제품을 제시간에 납품하지 못했을 경우 지불해야 하는 위약금, 그리고 제품 보관료를 통해서 월별 생산 가능량을 결정할 수 있다. 또한 생산계획과 일정계획은 깊은 연관성이 있어 상호 영향을 미치기 때문에 상위 단계인 생산계획에서 어떤 계획이 결정된다 하더라도 하위 단계인 일정계획에서 그 계획을 구현하지 못하는 경우가 있을 수 있다. 따라서 이러한 상황을 고려하면서 최적 생산 계획을 수립 하는 가장 좋은 방법은 생산 계획에 기본적인 시간의 제약조건을 포함하여 그 값을 계산하고 비교하여 수정하는 것이다.

현재 예측되어진 수요에 관하여 생산계획을 수립하기 때문에 판매가격은 과거의 정보를 통한 보관법을 이용하여 계산한다. 보관법은 주어진 생산량에 대한 가격이 있을 때 임의의 생산량에 대한 가격을 선형적으로 결정하는 방법이다. 즉 식 (12)에서처럼 주어진 기간 t 에서 제품 i 에 대한 생산량이 데이터의 범위 안에 있다면 그 계산을 하고 그렇지 않으면 i 에 관하여 현재의 범위에서는 계산하지 않는다.

$$X_{it} = \begin{cases} 1 & \text{생산량 } Q_{it} \text{가 주어진 } \overline{Q_{it-1}} \text{과 } \overline{Q_{it}} \text{ 범위 안에 있다면} \\ 0 & \end{cases} \quad (12)$$

좀 더 일반적으로 표현하면 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{Q_{it-1}}X_{it} < Q_{it} < \overline{Q_{it}}X_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (13)$$

또한 주어진 기간 t 에서 제품 i 는 모든 가격범위 안에서 단 한번만 선택되어진다.

$$\sum_{i=1}^N X_{it} = 1 \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (14)$$

식 (12) ~ 식 (14)에 의해 최종적으로 결정되어지는 주어진 기간 t 에서 제품 i 의 생산량 QS_{it} 에 대한 가격 P_{it} 는 식 (15)와 같다.

$$P_{it} = \overline{P_{it-1}}X_{it} + (Q_{it} - \overline{Q_{it-1}}X_{it}) \frac{\overline{P_{it}} - \overline{P_{it-1}}}{\overline{Q_{it}} - \overline{Q_{it-1}}} \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (15)$$

생산계획에서는 완제품을 생산하는 생산 라인에 속한 각 작업 단계마다 장치가 하나씩만 존재한다. 또한 생산 계획이 필요한 관심 시간대(horizon time)를 완제품의 납기에 맞추어 위약금과 제품 보관료를 고려하여 생산계획을 수식화하였다. 또한 제품별 MPC(multi product campaign) 전략의 시간제약을 통해 생산량과 시간의 오차를 줄였다. 최적 생산계획을 위한 총 순이익은 다음 식 (16)과 같다. 즉 순이익은 제품의 판매비용에서 위약금과 재고비용을 제외한 비용이다.

$$\max Z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T QS_{it}P_{it} - PN_{it} - d \left(\frac{IB_{it} + IE_{it}}{2} \right) \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (16)$$

각 기간 t 의 기말 재고량은 기초 재고량에 그 기간 동안 제품의 생산량을 더한 것과 같다.

$$IE_{it} = IB_{it} + Q_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (17)$$

또한, 기간 t 의 기초 재고는 바로 전 기간의 기말 재고에서 제품 i 의 판매량 QS_{it} 를 뺀 것과 같다.

$$IE_{it+1} = IE_{it} - QS_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (18)$$

각 기간 t 에서 제품 i 의 판매량은 시장 상황에 따라 값이 달라지게 때문에 최대 한계값을 통해서 범위를 조절한다.

$$QS_{it} \leq QS_{it}^U \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (19)$$

또한 t 기간에서 계약에 의해서 반드시 생산해야 하는 양을 최소 한계값 QS_{it}^L 으로 가지게 되는데, 만약 이 최소한의 수요를 만족시키지 못하면 그 차이만큼 납기 부족량이 발생하고 부족량에 따라서 위약금이 발생한다.

$$SF_{it} = QS_{it}^L - QS_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (20)$$

$$PN_{it} = SF_{it} \cdot e \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (21)$$

식 (16)~식 (21)의 수식을 통하여 생산계획을 통한 월별 생산량을 예측할 수 있다. 하지만 최적화된 생산량이라 할지라도 일정계획에서 주어진 시간 안에 생산을 할 수 없는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 식 (22)와 월별 생산 가능 제약시간 DT_t 을 고려한 식 (23)의 제약조건이 포함된다.

$$B_{it}n_{it} = Q_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^N n_{it} \max \{ \tau_{it} \} \leq DT_t \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (23)$$

3-5. 실제 수요에 의한 생산·일정 계획

실제 수요에 의한 생산·일정 계획은 수요의 정보에 대하여 생산계획, 구매계획, 일정계획과 분배계획으로 이루어진다. 생산계획에서는 제품에 대한 실질적인 주문이 발생하면 수요예측에 의한 정보와 D/B 구축 및 수정을 통하여 최적의 생산량을 결정하게 한다. 즉 예측된 월별 생산량에 의하여 총괄 생산계획이 수립되어 있지만 실제적인 주문과 가격변화 등 수요에 대한 불확실성 인자(uncertainty)가 발생하면 총괄 생산계획을 수정하여 수요에 맞추도록 제품을 생산하게 한다. 생산계획에 의하여 제품의 생산량이 결정되면 구매계획을 수립하게 된다. 원자재 구매계획을 통해 가격 변화에 능동적으로 대처할 수 있고 불안정한 수급에도 저항력을 가지게 된다. 또한 보관창고를 사용함으로써 월별로 일괄 구매한 원자재는 기업 내의 창고에서 주기적으로 공급받으며 안정적인 생산을 가능하게 한다. 제품에 대한 생산계획과 분배계획이 끝나면 월별 일정계획을 수립한다. 중간저장조 운영방법에 따라서 제품의 생산시간과 순서는 현격한 차이를 보이기 때문에 어떤 방법으로 어떻게 생산할 것인가 중요한 판단을 해야 한다. 또한 시간의 제약조건에 의해 생산량이 결정되었기 때문에 일정계획을 통해 생산 가능한 시간을 판단하고 정보의 인터페이스 통합을 통해서 최적의 생산계획과 그에 따른 일정계획을 얻는다. 이렇게 얻어진 정보는 분배계획을 통해 실

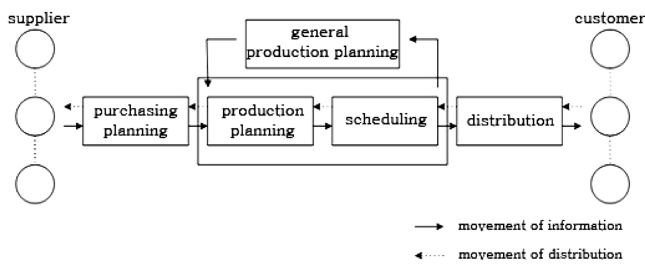


Fig. 6. Movement route of information and physical distribution by actual demand route.

질적으로 소비자에게 제품을 전달하게 해준다. 물론 수요의 급격한 변화를 고려하여 재고정책이 고려된 분배계획을 수립한다. 일정수준의 재고를 포함하도록 계획을 수립함으로써 가격과 수요 변화에 따라서 선 공급을 가능하게 할 수 있고 공장에서 제품 생산시간을 더욱 벌 수 있다.

실제 수요에 의한 계획에서는 예측되어진 생산량에 대한 정보의 수정을 바탕으로 구성된다. Fig. 6에서 보는바와 같이 회분식 공정에서 SCM 모델은 총괄 생산계획이 수정되며 수요의 변화에 대응하게 된다. 즉 실제 적인 수요에 의한 주문 혹은 가격 변화가 발생하면 물류센터에서 보관중인 제품을 통해 수요에 대비하고 그 남은 수요에 대한 정보는 일정계획으로 이동한다. 이 정보는 앞으로 생산해야 하는 양과 주문에 의한 양을 통해 다시 한 번 일정계획을 수립하게 하고 추가적인 생산이 필요하게 되면 생산계획으로 정보가 이동하며 총괄적인 생산계획과 구매계획을 재수립한다. 또한 이를 통해 생산되어진 제품은 다시 일정계획과 분배계획을 통해 소비자에게 최종 전달되게 된다.

3-5-1. 구매계획

시장의 가격변화와 수요자의 수요량의 변화는 공급의 변화를 가져오게 된다. 하지만 원자재에 대한 계획이 수립되고 생산계획에 맞게 변경되지 못하면 공급저하 및 과잉 공급을 유발하게 된다. 또한 원료제품의 재고전략 역시 중요하다. 적절한 창고의 재고전략이 수립되지 않는다면 높은 재고 비용이 발생하여 물류비용의 증가를 가져오게 한다. 또한 원자재 가격에 대해서도 고려하여야 한다. 원자재의 공급은 항상 원활한 것이 아니고 특정지역에서의 가격변화도 심하기 때문에 그에 대한 즉각적인 대처가 이루어져야 한다. 즉, 생산계획에 의해서 최적의 생산량이 결정되어도 구매계획에서 최소의 비용으로 원자재를 구매하고 공급하지 못한다면 이익의 극대화는 기대할 수 없고 생산량에 의한 생산 역시 가능하지 못하게 된다. 따라서 구매계획 모델은 생산량에 의한 정보를 통해서 원자재를 구매하고 다음 수요에 대한 정보를 통해서 재고정책을 수립해야 한다.

생산량에 대하여 최소한의 비용으로 원자재를 구매하고 일정한 공급을 통한 재고정책과 각 원자재에 대한 운송비를 고려하여 최선의 구매정책을 결정하는 것은 식 (24)와 같이 표현할 수 있다.

$$\min Z = \alpha_{kit} M_{kit} X_{kit} + f_{kit} + \alpha_{kit} MCT_{kit} \quad \forall K = 1, \dots, K, i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (24)$$

여기서 식 (25)는 생산량이 결정된 기간 t 에서 제품 i 에 대한 원료 공급지 k 가 선택되어 지면 1, 그렇지 않으면 0을 나타낸다. 이를 통해서 최선의 원료 공급지를 선택할 수 있다.

$$X_{kit} = \begin{cases} 1 & \text{기간 } t \text{에서 제품 } i \text{에 대한 원료 공급지 } k \text{가 선택되면} \\ 0 & \end{cases} \quad (25)$$

원자재 구매에 의한 제품 i 의 구매량과 현재 수요에 대한 재고 보관량은 식 (26)과 같이 총 생산해야 하는 생산량과 다음 수요에 대한 보관량과 같다.

$$M_{kit} X_{kit} + S_{kit} = Q_{it} + S_{it+1} \quad \forall K = 1, \dots, K, i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (26)$$

제품 i 의 원자재 구매가격은 식 (27)과 같이 제품 판매가격의 일정비율 안에서 결정되어야 한다. 즉 제품 판매가격에서 원자재 구매가격이 차지하는 비율이 일정 수준을 넘는다면 그 원료 공급지 k 에서는 원자재를 구매하지 않는다.

$$a_{kit} K_{kit} < \beta P_{it} \quad \forall K = 1, \dots, K, i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (27)$$

또한 식 (28)에서 보는 바와 같이 제품 i 에 대한 원료 공급지 k 에서의 운송비는 항상 양수라는 조건을 가지게 된다.

$$f_{kit} > 0 \quad \forall K = 1, \dots, K, i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (28)$$

재고량은 식 (29)에서와 같이 다음 생산량에서 일정 비율을 고려하여 결정되어야 한다. 이를 통해서 원자재 가격 및 공급의 변화에 능동적으로 대처할 수 있으며 생산계획을 재조정에도 쉽게 대처할 수 있다.

$$Q_{it+1} \delta^L < S_{it+1} < Q_{it+1} \delta^U \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (29)$$

이와 함께, Fig. 7에서 보는바와 같이 창고에서 일괄 구매된 원자재는 일정 기간 n 동안 공장으로 공급된다. 다시 말해서 일주일 간격으로 공장으로 원자재가 공급된다면 $n=4$ 의 값을 가지게 되고 공급되는 양은 물질수지식에 의해서 결정된다. 또한 재고에 관한 수식은 일정 기간 동안 같은 간격으로 각 제품에 관한 원자재가 이동하기 때문에 삼각비를 통해서 표현할 수 있다. 창고 관리비는 식 (30)과 같이 제품별로 다르게 적용하여 원자재에 대한 최적의 수요처를 선택하게 한다.

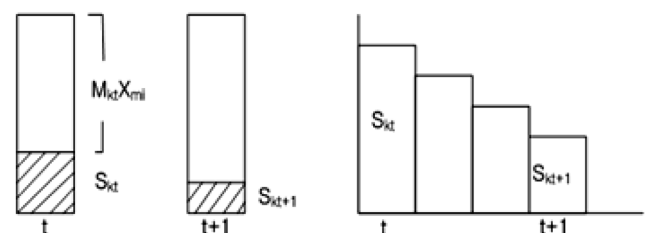


Fig. 7. Movement amount and count of Raw material in warehouse.

$$MCT_{kit} = \alpha_{kit} \left[n(M_{it}X_{it} + S_{it}) - \left(\frac{M_{kit}X_{kit} - S_{it}}{n} \right) \frac{n(n+1)}{2} \right] \\ \forall k = 1, \dots, K, i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (30)$$

이상에서 식 (24)~식 (30)을 이용하여 생산량의 정보를 통한 원자재 구매 및 다음 수요에 대한 정보를 통한 재고정책을 고려한 구매계획을 확립할 수 있다.

3-5-2. 일정계획

회분식 공정은 불연속적인 공정이기 때문에 한 단계에서 처리되고 난 물질이 연속적으로 다음 장치로 흘러가는 연속식 공정과는 운영 방식에서 큰 차이가 있다. 즉, 한 단계에서 반응이 완료된 상태라고 해도 다음 단계가 준비되지 않으면 반응이 완료된 물질을 비워내고 다음 반응을 수행할 수 없기 때문에, 결과적으로 전체적인 조업 시간이 지연되어 생산성이 떨어지게 된다. 이러한 생산성의 손실을 막기 위해 회분식 공정에서는 일반적으로 반응 중간물질을 임시로 저장하기 위한 중간저장조를 필요한 반응 단계 사이에 놓게 되며, 이러한 중간저장조의 운영 방식은 그 특성에 따라 UIS(unlimited intermediate storage), NIS(no intermediate storage), FIS(finite intermediate storage), ZW(zero wait)로 분류된다. 본 논문에서는 다품종 회분식 공정의 일정계획 수립을 위하여 time events에 의한 각 장치에서의 시작과 끝만을 고려하여 표현하여 일정계획을 수립하였다.

3-5-3. 분배계획

생산계획에 의하여 결정된 생산량을 통해 원자재의 구매계획이 수립되고 일정계획이 만들어지면 최종적으로 소비자에게 제품을 분배하게 된다. Fig. 8에서와 같이 제품은 물류센터를 통해서 소비자에게 전달되게 된다. 물류센터는 제품에 대한 수요의 변화와 과잉 공급이 발생하였을 때 완충작용 역할을 하며 일정수준의 재고를 각 물류센터에서 다음 수요를 예측하여 보관함으로써 주문과 수요의 변화에 최소한의 비용으로 대응할 수 있게 한다.

또한 운송비를 고려함으로써 지역별 수요에 대한 최선의 대응방법을 찾을 수 있게 하였고 공장으로부터 물류센터, 소비자에 이르는 분배계획 단위를 일정하게 유지함으로써 소비자의 수요 및 주문변화와 가격변화에 대하여 좀 더 쉽게 대응할 수 있게 하였다.

실제적인 수요에 대한 공장에서의 생산량은 판매비용에서 운송비와 재고 비용을 제외하여 이익을 최대화 하는 것이다. 이는 식 (31)로 표현된다. 물류센터에서 제품의 이동은 기간의 초기와 말에 발생하고 수요 부족을 대비한 재고량이 존재한다.

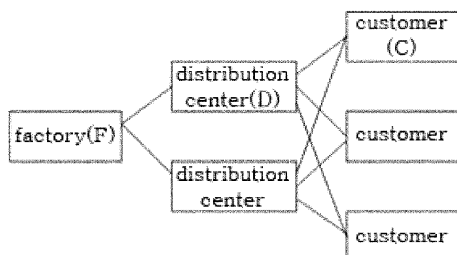


Fig. 8. Distribution model diagram.

$$\max Z = \sum_{i=1}^N C_{ikt} P_{it} - \sum_{i=1}^N FD_{ikt} g_{kfdt} - \sum_{i=1}^N D_{ikt} h_{kdct} - \lambda \left(\frac{D_{ikt} - D_{ikt-1}}{2} \right) \\ \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, d = 1, \dots, D, c = 1, \dots, C \quad (31)$$

공장에서의 기간 t동안의 생산량은 물류센터의 보관량과 소비자가 선택되어 이동되는 양과 같다. 분석시간을 동일하게 유지하기 때문에 식 (32)로 표현할 수 있다

$$Q_{kt} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T D_{ikt} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T C_{ikt} \\ \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, k = 1, \dots, K \quad (32)$$

물류센터에서 수요 부족을 대비한 안전 재고량은 식 (33)으로 표현된다.

$$D_{ikt} < \zeta \quad \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, k = 1, \dots, K, d = 1, \dots, D \quad (33)$$

공장 F에서 생산되는 K량과 물류센터가 선택되어 이동되는 양은 식 (34)로 표현된다.

$$Q_{kt} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T FD_{ikt} X_{dt} \\ \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, k = 1, \dots, K, d = 1, \dots, D \quad (34)$$

물류센터의 K량과 소비자가 선택되어 이동되는 양은 식 (35)와 같다.

$$\sum_{i=1}^N D_{ikt} - \sum_{i=1}^N D_{ikt+1} = \sum_{i=1}^N D_{ikt} C_{ikt} X_{ct} \\ \forall i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, k = 1, \dots, K, c = 1, \dots, C \quad (35)$$

여기서 K 제품이 물류센터 D를 선택할 것인지 말 것인지를 판단하고, 또한 소비자 C를 선택할 것인지 말 것인지를 판단한다.

$$X_{dt} = \begin{cases} 1 & \text{공급제품 } k \text{가 물류센터 } D \text{를 선택하려면} \\ 0 & \end{cases} \quad (36)$$

$$X_{ct} = \begin{cases} 1 & \text{공급제품 } k \text{가 소비를 선택하려면} \\ 0 & \end{cases} \quad (37)$$

3-6. 회분식 공정 SCM 모델의 정보전달 통합

회분식 공정이 포함된 SCM 모델의 구축은 각 공급사슬 간의 정보 통합을 통해서 이루어진다. 인터페이스간의 정보와 제품의 이동이 가능해야 각각 개별적인 계획들이 총체적인 SCM 계획에 어떠한 영향을 미치는지 살펴 볼 수 있으며, D/B의 구축과 새로운 전략을 수립할 수 있다. 또한 정보전달이 통합됨으로써 제품의 생산, 구매, 제조, 분배, 유통에 이르는 전 단계를 유기적으로 관리할 수 있고 미래에 발생할 수 있는 다양한 상황에 능동적으로 대응하고 새로운 경영기법을 도입할 수 있게 한다.

본 논문에서는 회분식 공정 SCM 모델의 정보전달 통합을 위하여 ODBC(open database connectivity)를 사용하였다. ODBC는 데이터베이스를 액세스하기 위한 표준 개방형 응용 프로그램 인터페이스이다. 프로그램 내의 ODBC 문장을 사용하면 Excel 등의 데이터베이스를 액세스 할 수 있다. 이를 위해서는 ODBC 소프트웨어 외에, 액세스 할 각 데이터베이스 마다 별도의 모듈이나

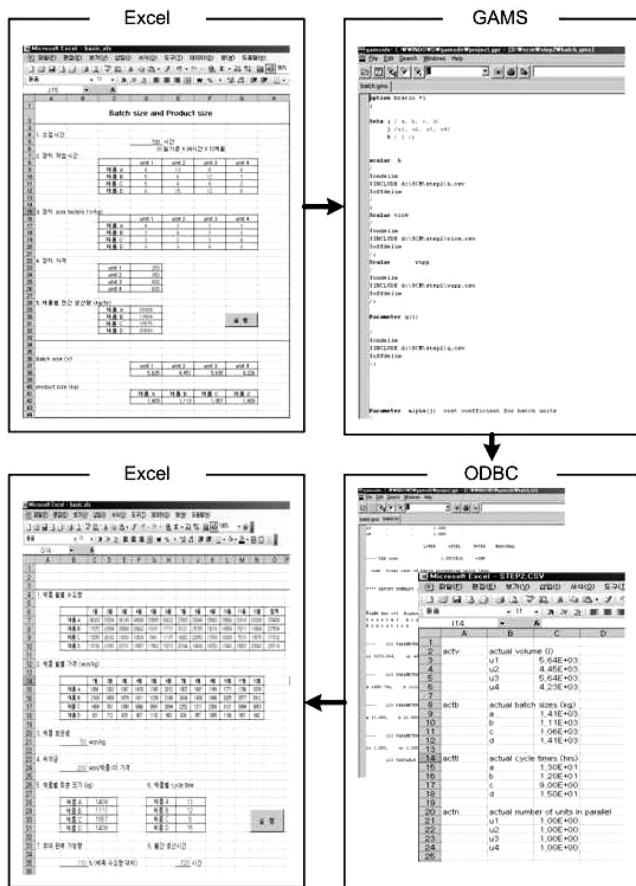


Fig. 9. Integration of SCM information transfer including batch processes.

드라이버가 필요하다. GAMS는 이러한 별도의 모듈을 가지고 있다. 이에 Excel과 GAMS를 통하여 SCM 모델을 구성하고 구축하였다. Excel은 가장 많은 사용자를 가진 O/S로 사용법과 조작이

쉽고 수정 역시 간단하게 할 수 있어 다양한 상황에 대하여 쉽게 대응할 수 있다. 또한 각 최적화 수식은 GAMS를 이용하여 계산하였다. GAMS는 알고리즘과 최적화 모형을 연결해 주는 S/W로써 다양한 알고리즘 계산법을 가지고 있어서 가장 널리 사용되고 있다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 Excel을 통해 input 값을 가지게 되고 그 정보는 GAMS 프로그램을 통해서 최적의 알고리즘으로 계산을 하고 다시 Excel로 output하여 사용자에게 정보를 제공한다. 이는 또다시 다음 공급망(supply chain)의 input 값이 되어 각 생산 계획별 정보를 제공한다. 또한 이를 통해서 SCM에 관한 총체적인 생산 계획과 일정계획을 확인할 수 있고 다양한 공정 운영방법에 따른 생산과 분배에 관한 최적화된 해를 찾을 수 있다.

4. 예제를 통한 모델의 분석

회분식 공정이 포함된 SCM 모델의 성능을 측정하고 인터페이스의 통합에 관한 각 공정에서의 정보와 제품의 이동을 확인하기 위하여 예제를 통해 적용하였다. 컴퓨터 사양은 Pentium 4 1.8G 이고 Excel 버전은 Microsoftoffice 2003을 사용하였다. 또한 알고리즘은 MILP에서 널리 사용되고 있는 GAMS OSL과 GAMS CPLEX를 이용하여 계산하였고, MINLP에서는 GAMS DICOPT++를 사용하였다.

4-1. 예측 수요에 의한 SCM 모델

기업에서는 현재 4개의 제품에 대한 신규 사업을 추진하려고 한다. 각 제품에 대한 2001~2006년도 수요량은 Table 2~Table 5와 같다. 각 제품에 대해서 2001년부터 2005년까지의 수요량을 통해서 이동평균법, 지수평활법, 브라운 지수평활법, 수정 윈터스 법으로 예측을 하고 2006년도의 실제값과 비교하여 제품에 맞는 예측법을 선택하여 2007년도 수요량을 예측한다. 평균제곱오차(MSE)를 구하고 이를 이용해서 결정계수를 계산, 그 정확도를 측정한다. 평균제곱오차는 식 (38)에서와 같이 실제값과 예측값의 차이의 제곱의 평균이

Table 2. Demand amount of product A

| (unit : kg/month) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| month year | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2001 | 25,000 | 29,000 | 27,500 | 26,000 | 25,500 | 24,500 | 24,000 | 26,000 | 25,500 | 24,500 | 22,500 | 21,500 |
| 2002 | 28,000 | 30,500 | 29,500 | 28,500 | 27,500 | 26,500 | 26,000 | 27,000 | 26,500 | 24,000 | 23,500 | 22,000 |
| 2003 | 29,100 | 32,000 | 31,400 | 31,500 | 29,100 | 26,500 | 27,500 | 28,000 | 27,500 | 26,000 | 25,500 | 23,500 |
| 2004 | 30,500 | 33,500 | 31,000 | 29,000 | 27,500 | 24,500 | 25,500 | 27,500 | 26,000 | 25,500 | 24,500 | 23,000 |
| 2005 | 32,500 | 35,000 | 33,000 | 31,500 | 28,000 | 25,500 | 26,500 | 29,500 | 28,000 | 27,500 | 26,500 | 26,000 |
| 2006 | 34,000 | 36,000 | 34,500 | 32,500 | 29,000 | 26,000 | 27,000 | 31,500 | 29,000 | 28,500 | 28,000 | 27,000 |

Table 3. Demand amount of product B

| (unit : kg/month) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| month year | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2001 | 15,000 | 19,000 | 17,500 | 16,000 | 15,500 | 14,500 | 14,000 | 16,000 | 15,500 | 14,500 | 12,500 | 11,500 |
| 2002 | 14,000 | 20,000 | 18,500 | 18,000 | 15,600 | 14,700 | 14,300 | 21,000 | 15,600 | 14,500 | 13,000 | 12,000 |
| 2003 | 16,000 | 21,000 | 18,000 | 17,500 | 15,900 | 15,000 | 14,700 | 23,000 | 16,000 | 16,000 | 13,500 | 12,100 |
| 2004 | 14,000 | 22,000 | 17,800 | 18,500 | 16,000 | 15,500 | 14,900 | 25,000 | 17,500 | 17,100 | 14,000 | 12,500 |
| 2005 | 17,500 | 22,500 | 18,600 | 19,000 | 16,500 | 16,500 | 14,800 | 24,000 | 18,000 | 18,500 | 13,900 | 13,000 |
| 2006 | 17,900 | 23,000 | 18,700 | 20,000 | 17,500 | 17,500 | 15,000 | 24,300 | 18,900 | 18,700 | 14,500 | 13,300 |

Table 4. Demand amount of product C

| (unit : kg/month) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| month year | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2001 | 10,000 | 15,000 | 10,000 | 5,000 | 2,500 | 5,000 | 7,000 | 12,000 | 7,000 | 6,000 | 3,000 | 6,000 |
| 2002 | 12,000 | 17,000 | 12,000 | 6,000 | 3,500 | 5,500 | 7,300 | 13,000 | 8,500 | 6,700 | 3,500 | 6,300 |
| 2003 | 13,000 | 18,000 | 13,500 | 7,500 | 5,900 | 6,500 | 8,500 | 14,500 | 9,500 | 6,800 | 4,500 | 7,500 |
| 2004 | 15,000 | 19,000 | 15,000 | 8,300 | 6,500 | 9,000 | 9,500 | 15,500 | 10,000 | 7,500 | 5,600 | 7,900 |
| 2005 | 16,000 | 21,000 | 16,000 | 9,000 | 7,000 | 10,000 | 10,000 | 16,500 | 12,000 | 8,500 | 7,000 | 8,500 |
| 2006 | 17,500 | 24,000 | 17,500 | 9,500 | 7,200 | 11,000 | 15,000 | 19,500 | 12,500 | 9,500 | 7,500 | 9,800 |

Table 5. Demand amount of product D

| (unit : kg/month) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| month year | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2001 | 10,000 | 12,000 | 11,000 | 10,000 | 9,000 | 10,000 | 11,000 | 10,000 | 9,500 | 10,500 | 10,000 | 11,000 |
| 2002 | 12,000 | 14,000 | 13,000 | 12,000 | 10,000 | 11,000 | 12,000 | 12,000 | 10,000 | 11,000 | 12,000 | 13,000 |
| 2003 | 14,000 | 15,800 | 14,500 | 13,500 | 12,500 | 13,500 | 14,000 | 13,000 | 12,000 | 11,500 | 13,000 | 14,500 |
| 2004 | 15,000 | 17,500 | 16,800 | 14,500 | 13,500 | 14,000 | 14,500 | 14,500 | 14,000 | 13,500 | 14,000 | 15,000 |
| 2005 | 17,000 | 18,500 | 17,500 | 17,500 | 15,500 | 17,000 | 18,000 | 17,000 | 16,500 | 15,000 | 15,500 | 17,000 |
| 2006 | 18,000 | 19,500 | 18,500 | 18,500 | 17,000 | 18,000 | 20,000 | 18,000 | 17,500 | 16,000 | 18,000 | 19,000 |

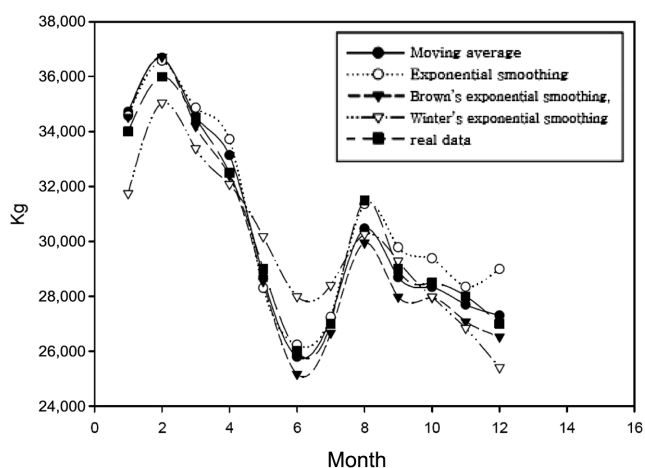


Fig. 10. Demand forecasting of product A.

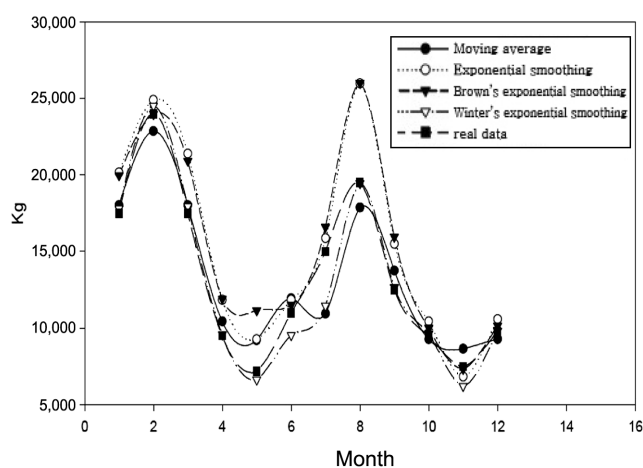


Fig. 12. Demand forecasting of product C.

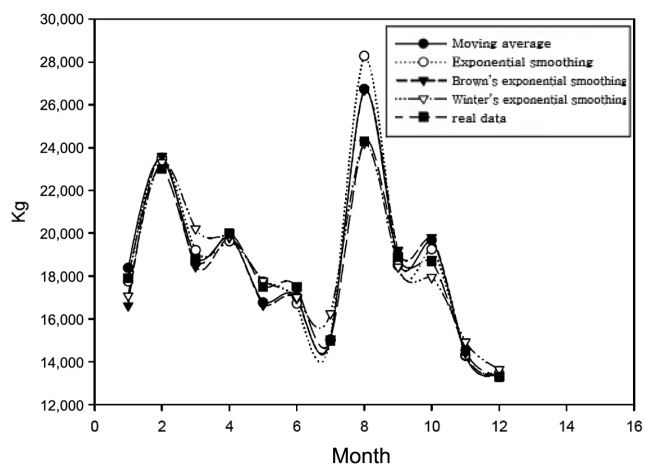


Fig. 11. Demand forecasting of product B.

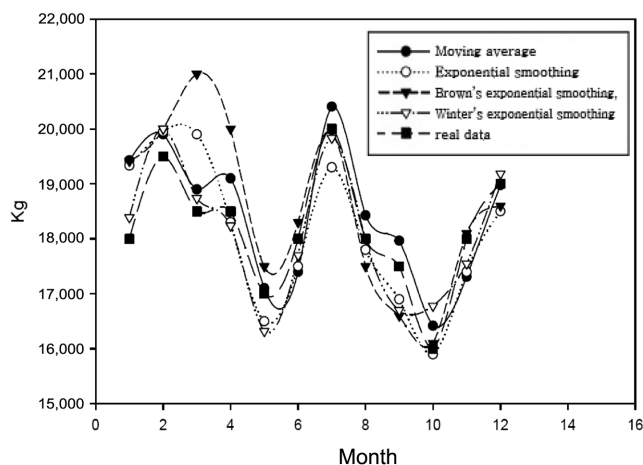


Fig. 13. Demand forecasting of product D.

Table 6. Absolute average error of products

| product | A | B | C | D |
|-----------------------|-----------|------------|-------------|-------------|
| MSE | | | | |
| Moving average | 249,423 | 8,216,203 | 30,002,395 | 15,166,170 |
| Exponential smoothing | 698,535 | 17,700,864 | 784,954,140 | 218,792,920 |
| Brown's method | 561,313 | 10,188,333 | 796,983,413 | 214,154,489 |
| Winter's method | 1,710,445 | 6,068,442 | 17,206,397 | 7,831,228 |

Table 7. Decision coefficient of products

| product | A | B | C | D |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| decision coeff. | | | | |
| decision coeff. (R) | 0.9986 | 0.9541 | 0.9733 | 0.9825 |

고, 결정계수 (R)은 식 (39)에서와 같이 실제값과 예측값의 차이를 실제값과 실제평균값으로 나눈 것이다.

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^T (e_t)^2}{T}, e_t = \text{실제값} - \text{예측값} \quad (38)$$

$$R = 1 - \frac{MSE}{\sum_{t=1}^T (a_t)^2}, a_t = \text{실제값} - \text{실제평균값} \quad (39)$$

Table 8. Final demand forecasting amount of products

| (unit : kg/month) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| product | | | | | | | | | | | | |
| A | 36,029 | 37,654 | 36,149 | 34,080 | 29,985 | 26,632 | 27,883 | 32,846 | 29,983 | 29,560 | 29,316 | 28,309 |
| B | 17,875 | 23,994 | 20,060 | 20,662 | 18,101 | 17,731 | 16,121 | 25,765 | 19,216 | 18,954 | 15,211 | 13,904 |
| C | 19,289 | 26,162 | 19,393 | 10,524 | 7,841 | 11,197 | 14,002 | 20,952 | 13,769 | 10,309 | 7,519 | 10,575 |
| D | 19,738 | 21,997 | 20,731 | 19,857 | 17,963 | 19,213 | 20,744 | 19,438 | 18,353 | 17,442 | 19,097 | 20,543 |

Table 9. Processing time and equipment size factor of products

| Processing time | | | | | Size factor | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|
| | Unit 1 | Unit 2 | Unit 3 | Unit 4 | Unit 1 | Unit 2 | Unit 3 | Unit 4 |
| A | 4 | 13 | 8 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| B | 5 | 6 | 12 | 7 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| C | 5 | 4 | 9 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| D | 6 | 15 | 12 | 8 | 3 | 3 | 4 | 3 |

Table 11. Equipment size for example

| (unit : L) | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| unit | | | | | | | | | | | | |
| U 1 | 7,324 | 8,492 | 7,452 | 6,263 | 5,430 | 5,522 | 5,953 | 7,351 | 6,049 | 5,593 | 5,380 | 5,635 |
| U 2 | 5,655 | 7,229 | 6,168 | 6,023 | 5,263 | 5,217 | 5,008 | 7,272 | 5,648 | 5,472 | 4,661 | 4,450 |
| U 3 | 6,363 | 7,241 | 6,659 | 3,213 | 5,430 | 5,522 | 5,953 | 6,449 | 5,804 | 5,494 | 5,380 | 5,635 |
| U 4 | 5,493 | 6,369 | 5,589 | 4,697 | 4,072 | 4,141 | 4,465 | 5,513 | 4,536 | 4,194 | 4,035 | 4,226 |

Table 12. Batch size of products

| (unit : kg) | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| unit | | | | | | | | | | | | |
| A | 1,831 | 2,123 | 1,863 | 1,565 | 1,357 | 1,380 | 1,488 | 1,837 | 1,512 | 1,398 | 1,345 | 1,408 |
| B | 1,413 | 1,807 | 1,542 | 1,505 | 1,315 | 1,304 | 1,252 | 1,818 | 1,412 | 1,368 | 1,165 | 1,112 |
| C | 1,373 | 1,592 | 1,397 | 1,174 | 1,018 | 1,035 | 1,116 | 1,378 | 1,134 | 1,048 | 1,008 | 1,045 |
| D | 1,590 | 1,810 | 1,664 | 1,553 | 1,357 | 1,380 | 1,488 | 1,612 | 1,451 | 1,373 | 1,345 | 1,408 |

Table 10. Equipment cost for example

| | Equipment cost |
|--------|------------------------|
| Unit 1 | 250,000원 ($V^{0.6}$) |
| Unit 2 | 350,000원 ($V^{0.6}$) |
| Unit 3 | 400,000원 ($V^{0.6}$) |
| Unit 4 | 600,000원 ($V^{0.6}$) |

제품별 예측과 실제값의 차이는 Fig. 10~13과 같다.

각 제품에 관한 절대 평균오차를 구하면 Table 6과 같고 이를 통해서 선택한 최적의 예측방법은 제품 A는 이동평균법, 제품 B, C, D는 수정 윈터스법을 채택하여 수요를 예측하였다. 그에 따른 결정계수 값은 Table 7과 같다. 그리고 예측값에 70%의 가중치를 주고 현재 기업에서 시장조사를 통해 구한 증가율에 30%의 가중치를 주어 최종 구한 제품별 예측값은 Table 8과 같다.

Table 13. Batch size and confidence interval of products

| | Batch size | Confidence interval |
|-----------|------------|---------------------------|
| Product A | 1,592 kg | $1,454 \leq m \leq 1,731$ |
| Product B | 1,418 kg | $1,424 \leq m \leq 1,582$ |
| Product C | 1,194 kg | $1,090 \leq m \leq 1,299$ |
| Product D | 1,503 kg | $1,424 \leq m \leq 1,582$ |

Table 14. Product price for example

| (unit : W/kg) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Product \ Month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| A | 1,354 | 1,263 | 1,347 | 1,470 | 1,745 | 2,012 | 1,907 | 1,547 | 1,745 | 1,777 | 1,796 | 1,874 |
| B | 2,169 | 1,459 | 1,879 | 1,811 | 1,239 | 2,188 | 2,434 | 1,300 | 1,990 | 2,025 | 2,577 | 2,812 |
| C | 1,404 | 761 | 1,390 | 3,066 | 3,891 | 2,894 | 2,252 | 1,211 | 2,300 | 3,121 | 3,994 | 3,053 |
| D | 921 | 712 | 825 | 907 | 1,132 | 983 | 824 | 957 | 1,085 | 1,196 | 997 | 842 |

Table 15. An output of products

| (unit : kg/month) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Product \ Month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| A | 38,190 | 39,246 | 37,855 | 37,511 | 36,524 | 32,944 | 33,759 | 33,832 | 33,850 | 33,445 | 38,300 | 32,574 |
| B | 20,944 | 25,000 | 21,134 | 24,021 | 24,989 | 22,982 | 21,850 | 26,771 | 24,910 | 25,041 | 20,445 | 19,786 |
| C | 21,407 | 26,887 | 20,772 | 12,514 | 12,959 | 16,300 | 17,570 | 21,748 | 18,105 | 15,739 | 11,855 | 17,583 |
| D | 21,615 | 23,248 | 21,890 | 23,998 | 24,441 | 24,972 | 25,050 | 20,009 | 23,524 | 23,790 | 26,218 | 27,407 |

Table 16. Batches of products

| (unit : Batches) | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Product \ Month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| A | 20 | 21 | 20 | 20 | 19 | 17 | 18 | 18 | 18 | 18 | 20 | 17 |
| B | 12 | 19 | 12 | 14 | 15 | 13 | 13 | 16 | 15 | 15 | 12 | 12 |
| C | 15 | 13 | 15 | 9 | 9 | 11 | 12 | 15 | 13 | 11 | 8 | 12 |
| D | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 14 | 14 | 11 | 13 | 13 | 14 | 15 |

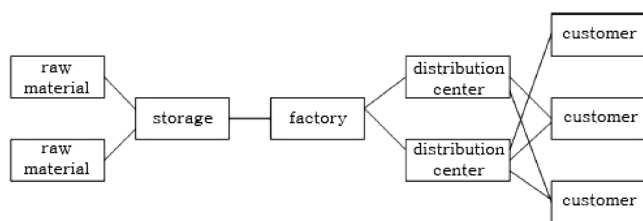


Fig. 14. The SCM model for example.

장치크기와 회분크기를 위한 정보인 각 제품의 단위공정에서의 장치작업시간, 장치크기 인자, 장치가격은 Table 9~Table 10과 같으며, 장치의 최저크기는 250 L, 장치의 최고크기는 10,000 L이다.

이상의 정보를 통해서 Table 11, Table 12와 같이 월별 예측 수요량에 대한 장치크기와 회분크기가 결정된다. 여기에서 월별 장치크기는 장치별로 가장 큰 것을 취한다. 월별 예측 수요량이 다르기 때문에 가장 큰 값을 통해서 수요변화에 대비한다. 또한 월별 회분크기와 신뢰도는 Table 13과 같다.

예측 수요량에 대한 최적의 공급량을 결정하기 위해선 제품가격, 제품보관료, 위약금, 판매 가능 한계량과 월간 생산시간을 통해서 계산한다. 여기서 제품가격은 보관법을 통해 계산하였으며, 각 제품의

월별 제품가격은 Table 14와 같다. 또한 제품 보관료는 50 원/kg, 위약금은 200 원/kg, 최대 판매 가능량은 130%이며, 월간 생산시간은 720시간이다.

이상의 정보를 통하여 계산하면 Table 15, 16과 같이 월별 제품 생산량과 월별 제품 회분수를 구할 수 있다.

4-2. 실제 수요에 의한 SCM 모델

실제 수요가 발생하였을 때 SCM 모델을 통해서 생산계획을 수립하면 다음과 같다. Fig. 14에서처럼 본 모델에서는 원자재를 구입하는 장소는 2개, 원자재 보관창고는 1개, 공장은 1개, 물류센터는 2개, 그리고 소비자는 총 3개라고 가정하여 계산하였다. 또한 각 제품의 회분크기와 장치크기는 예측 수요에 의하여 구한 값을 사용하

Table 18. Management cost of warehouses

| (unit : W/kg) | | |
|---------------|-----------------|-----------------|
| | Supply center A | Supply center B |
| Product A | 50 | 30 |
| Product B | 50 | 30 |
| Product C | 50 | 30 |
| Product D | 50 | 30 |

Table 17. Actual demand amount for example

| (unit : kg) | | | |
|-------------|------------|------------|------------|
| | Customer A | Customer B | Customer C |
| Product A | 12,000 | 10,000 | 10,000 |
| Product B | 7,000 | 5,000 | 5,000 |
| Product C | 6,000 | 4,000 | 4,000 |
| Product D | 6,000 | 4,000 | 4,000 |

Table 19. Raw material price by a supplier

| | (unit : ₩/kg) | |
|-----------|-----------------|-----------------|
| | Supply center A | Supply center B |
| Product A | 500 | 600 |
| Product B | 700 | 800 |
| Product C | 700 | 800 |
| Product D | 300 | 400 |

Table 20. Charge cost of central distributions center

| | (unit : ₩/kg) | |
|-----------|-----------------|-----------------|
| | Supply center A | Supply center B |
| Product A | 50 | 70 |
| Product B | 70 | 50 |
| Product C | 50 | 50 |
| Product D | 50 | 50 |

Table 21. Transportation cost from distribution center to a consumer

| | (unit : ₩/kg) | |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| | Distribution center A | Distribution center B |
| Customer A | 30 | 40 |
| Customer B | 40 | 40 |
| Customer C | 50 | 30 |

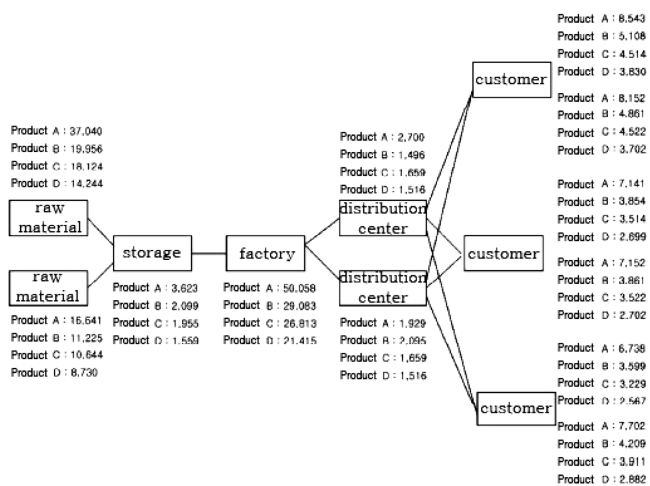


Fig. 15. SCM production planning including batch processes with UIS.

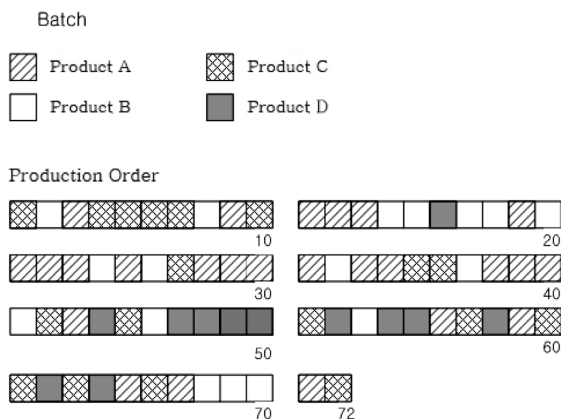


Fig. 16. Production scheduling in multiproduct batch processes with UIS (complete time : 721 hours).

었다.

실제 수요에 의한 SCM 모델에 관한 정보와 제품의 이동을 위해서는 실제 수요 데이터 및 기타 정보들이 필요하다. 이에 대한 정보는 다음 (1)~(12)과 같다.

- (1) 소비자에 의한 수요: Table 17
- (2) 원자재 제품별 하한선: 1,000Kg
- (3) 창고 보관 비율: 5% 이상, 10% 이하
- (4) 공장으로 원자재 이동횟수: 월 4회
- (5) 운송비: 공급처 A: 10원/kg, 공급처 B: 5원/kg
- (6) 제품 가격에서 원자재 한계비율: 50%
- (7) 제품별 창고 관리비용: Table 18
- (8) 원자재 공급처 별 가격: Table 19
- (9) 물류센터 최저 보관량: 제품별 1,000 kg
- (10) 물류센터 보관비용: Table 20
- (11) 공장에서 물류센터 운송비용: 10원/kg
- (12) 물류센터에서 소비자 운송비용: Table 21

이상의 정보를 통하여 계산하면 Fig. 15와 16과 같다.

5. 결 론

각 제품에 대한 과거 데이터를 통하여 통계적 기법(평균 이동법, 지수 평활법, 브라운 지수 평활법, 수정 윈터스법)을 이용, 실제 값과 예측값을 비교한 결과, 제품의 수요가 계절별, 월별로 주기를 가지고 증가폭이 규칙적이거나 유사할 경우에는 수정 윈터스법이 가장 좋은 예측값을 보였고, 주기성이 없거나 증가폭이 비규칙적일 경우에는 이동평균법이 가장 좋은 값을 나타냈다. 장치크기는 같은 조건에서 장치크기 인자가 클수록 생산량이 많을수록 큰 값을 가졌고, 회분크기는 평균값에서 벗어날수록 큰 값을 가졌다. 이를 통해서 제품이 장치에서 차지하는 비율과 생산량의 크기가 결정되며, 신뢰도를 유지하기 위한 회분 크기로 결정할 수 있다. 또한 개발된 SCM 모델 및 통합시스템을 통하여 수요를 예측하는 방법과 회분식 장치의 크기 및 회분 크기를 결정할 수 있으며 생산량 또한 예측 가능하다. 그리고 실수요에 대하여 생산에 대한 대응 방법과 회분식 공정의 운영방법별 생산량의 변화를 확인할 수 있으며 각각의 생산, 일정계획별 정보 및 제품의 이동을 확인할 수 있다. 또한 excel을 이용하여 정보전달이 통합되어 있었기 때문에 각각의 공급망간 정보와 제품의 이동을 쉽게 확인 가능하며, 최적화된 값을 가질 때의 각 공급망간 정보도 확인할 수 있다. 수요에 대한 변화에 대해서도 쉽게 대응하여 새로운 계획을 수립할 수 있다. 이에 본 논문의 SCM 모델을 통해서 분배 네트워크의 최적화, 제품의 수송 및 원자재 구입, 공급자 관리 등의 통합에 대한 접근이 훨씬 용이해졌으며 다양한 수요에 대하여 대응할 수 있게 하였다.

사용기호

- A_{t-i} : past demand in period t-i
 a : vertical value y of tendency line
 B_t : forecast demand of brown
 B_i : batch size of product i
 b : gradient of tendency line

C_{it} : total demand of product i in period t
 c_t : alteration coefficient
 D_{it} : total amount of forecast product i in period t
 D_{kit} : transportation quantity of product i from factory to warehouse k in period t
 ET_{ij} : end time of i th sequence in unit j
 e : penalty coefficient
 F_t : forecast demand of real time
 F_t^I : forecast demand of calculation
 f_{kit} : cost of transportation of product i in period t
 FD_{kit} : transportation quantity of product i from warehouse k to customer c in period t
 H : planning horizon
 IB_{it} : start inventory of product i in period t
 IE_{it} : end inventory of product i in period t
 M_{kit} : transportation quantity of material k from supplies to factory in period t
 MCT_{it} : management cost of warehouse of product i in period t
 m_t : average demand in period t
 n : number of period
 n_{it} : number of batch of product i in period t
 P_{it} : cost of product i in period t
 \overline{P}_{it} : average of past cost of product i in period t
 PC_{it} : purchasing cost of material k
 PN_{it} : penalty of product i
 Q_{it} : total amount of real time product i in period t
 \overline{Q}_{it} : average of past total amount product i in period t
 QS_{it} : sales volume of product i in period t
 QS_{it}^L : minimum sales volume of product i in period t
 QS_{it}^U : maximum sales volume of product i in period t
 R_{it} : inventory holding cost of product i in period t
 S_{kit} : inventory of product i in period t
 SF_{it} : delay of the time limit at product i in period t
 ST_{it} : start time of I th sequence in unit j
 s_{ij} : cycle time of product i
 T : point of forecast time
 T_{ij} : processing time of product i in unit j
 V_j : size of unit j
 X_{it} : $X_{it} = 1$ if the is in the range and otherwise, $X_{it} = 0$
 X_{ct} : $X_{ct} = 1$ if supply product k selects consumer c and otherwise, $X_{ct} = 0$
 X_{dt} : $X_{dt} = 1$ if supply product k selects warehouse d and otherwise, $X_{dt} = 0$
 X_{kit} : if select of warehouse k of product i in period t otherwise, $X_{kit} = 0$
 y_T : tendency line value in forecast time
 Z : cost of purchasing

그리스 문자

α : exponent of smooth coefficient
 β : maximum cost of purchasing coefficient
 δ^L : minimum inventory cost
 δ^U : maximum inventory cost
 ξ : inventory holding quantity
 τ_{it} : space time in batch of product i in period t

참고문헌

1. Ku, H. M. and Karimi, I. A. "Scheduling in Serial Multiproduct Batch Processes with Finite Interstage Storage: A Mixed Integer-linear Program Formulation," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **27**, 1840-1854 (1988)
2. Sahinidis, N. V. and Grossmann, I. E., "Optimization Model for Long Range Planning in the Chemical Industry," *Comp & Chem. Eng.* **13**(9), 1049-1063(1989).
3. Birewar, D. B. and Grossmann, I. E. "Simultaneous Production Planning and Scheduling in Multiproduct Batch Plants," *Ind. Eng. Chem.* **28**, 570-585(1990).
4. Pekny, J. F. and Rekalitis, G. V., "Design of Batch Chemical Plants under Market Uncertainty," *Ind. Eng. Chem. Res.* **33**, 2688-2701(1994).
5. Ku, H. M., Rajagopalan, D. and Karimi, I. A., "Scheduling in Batch Processes," *Chem. Eng. Prog.*, Aug, **35**(1987).
6. Guikken, G., Badell, M. and Puigjaner, L., "Simultaneous Optimization of Process Operations and Financial Decision to Enhance the Integrated Planning/Scheduling of Chemical Supply Chains," *Comp. & Chem. Eng.*, **30**, 421-436(2006).
7. Arul, S. and Karimi, I. A., "Planning in Pharmaceutical Supply Chains with Outsourcing and New Product Introductions," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **43**, 8293-8306(2004).
8. Edgar, P. L. and Grossmann, I. E., "A Model Predictive Control Strategy for Supply Chain Optimization," *Comp. & Chem. Eng.*, **27**, 1201-1218(2003).
9. Guillen, G. and Lpuigjaner, A. E., "Multi Objective Supply Chain Design Under Uncertainty," *Chemical Engineering Science*, **60**, 1535-1553(2005).
10. Mendez, C. A. and Grossmann, I. E., "State-of-the-art review of Optimization Methods for Short-term Scheduling of Batch Processes," *Computers. Chem. Eng.* **30**, 913-946(2006).
11. Penkny, J. F. and Reklaitis, G. V., "Risk and Uncertainty in Managing Chemical Manufacturing Supply Chains," *Comp. & Chem. Eng.*, **24**, 2211-2222(2000).
12. Tsiakis, P., Shah, N. and Pantelides, C. C., "Design of Multi-Echelon Supply Chain Network Under Demand Uncertainty," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **40**, 3585-3604(2001).
13. Grossmann, I. E., "Enterprise-wide Optimization: A New Frontier in Process Systems Engineering," *AIChE Journal*, **51**(7) (2005).
14. Brooke, A., Kendrick, D. and Meeraus, A., "GAMS a User Guide," B&F Publishing Company(1992).