

공급사슬상의 분산 제조 시스템의 통합생산계획에 관한 연구

고도성¹ · 양영철² · 장양자² · 박진우²

¹(주)솔루션홀딩스 / ²서울대학교 산업공학과

A Study on Integrated Production Planning of Distributed Manufacturing Systems on Supply Chain

Do-Sung Koh¹ · Yeong-Cheol Yang² · Yang-Ja Jang² · Jin-Woo Park²

As the globalization of manufacturing companies continues, the scope of dependence between these companies and distributors, and other suppliers are growing very rapidly since no one company manufactures or distributes the whole product by themselves. And, the need to increase the efficiency of the whole supply chain is increasing.

This paper deals with a multi-plant lot-sizing problem(MPLSP) which happens in a decentralized manufacturing system of a supply chain. In this study, we assume that the whole supply chain is driven by a single source of independent demand and many levels of dependent demands among manufacturing systems in the supply chain. We consider setup cost, transportation cost and time, and inventory holding cost as a decision factor in the MPLSP.

The MPLSP is decomposed into two sub-problems: a planning problem of the whole supply chain and a lot-sizing problem of each manufacturing system. The supply chain planning problem becomes a pure linear programming problem and a Generalized Goal Decomposition method is used to solve the problem. Its result is used as a goal of the lot-sizing problem. The lot-sizing problem is solved using the CPLEX package, and then the coefficients of the planning problem are updated reflecting the lot-sizing solution. This procedure is repeated until termination criteria are met. The whole solution process is similar to Lagrangian relaxation method in the sense that the solutions are approaching the optimum in a recursive manner.

Through experiments, the proposed closed-loop hierarchical planning and traditional hierarchical planning are compared to optimal solution, and it is shown that the proposed method is a very viable alternative for solving production planning problems of decentralized manufacturing systems and in other areas.

1. 서론

최근의 기업환경에서 중요한 화두 중의 하나는 '고객 만족'이다. 고객들은 점점 높은 수준의 서비스를 기업에 요구하고 있고 그에 발맞추어 기업들도 '고객만족' 수준을 넘어 '고객감동'의 단계까지를 목표로 하여 많은 노력들을 기울이고 있다(박진우, 1999).

기업은 경쟁력 확보를 위해 효율적인 시스템을 갖추고자 제조 시스템과 운영 시스템을 개선하는 노력을 경주하고 있는데,

이러한 노력은 제조 시스템 측면에서는 유연 생산 시스템을 비롯하여 컴퓨터 통합 생산 시스템의 구현으로 구체화되고 있으며, 운영 시스템 측면에서는 JIT(Just In Time), 전사적자원계획(ERP: Enterprise Resource Planning), 공급사슬경영(SCM: Supply Chain Management) 등의 도입으로 이어지고 있다(정대영, 1999).

운영 시스템 중 ERP는 과거 독립적으로 수행되던 기업 내부의 기능을 통합하여 관리하는 기능을 수행하고, SCM은 공급사슬(Supply Chain) 전체에서 발생하는 원자재, 부품, 기자재 등의 구매 및 조달뿐 아니라 제조, 보관, 운송, 유통 및 판매까지 포함한 모든 활동들을 효과적으로(고객을 위한 가치창출) 운영

하기 위한 전략, 전술, 운영상의 의사결정을 지원한다.

공급사슬의 개념이 대두되게 된 데에는 많은 원인들이 있으나 기업들의 세계화가 진행되면서 많은 기업들이 더 넓은 범주에서 외부의 생산, 유통, 공급업자들과 긴밀한 관계를 맺게 된 현상을 중요한 원인으로 들 수 있겠다. 기업을 가치사슬의 관점에서 볼 때 기업의 총 부가가치 창출의 60~70%가 기업의 외부에 존재하는 공급사슬에서 결정되고 있다(이태억, 1998). 따라서 기존의 한 기업 내부에서 효율성을 추구하기보다는 공급사슬 전체에 걸친 효율성을 추구하고자 하는 시도들이 행해지고 있다. 또한 과거에는 어려웠던 기업 간의 정보소통이 최근의 인터넷과 전자문서와 같은 정보기술의 급속한 발달로 인하여 가능해지고 있다는 점도 공급사슬 문제가 대두되고 있는 주요 원인으로 간주할 수 있겠다.

SCM의 목적은 최종 소비자가 원하는 품질 수준의 제품을 원하는 시간, 원하는 장소에 필요량만큼 공급하는 것이다. 즉 고객이 원하는 제품이 원자재의 조달로부터 제품의 생산과정을 거쳐, 유통망을 통해 고객의 손에 전달되기까지의 모든 과정을 최적화하는 개념이다. SCM이란 용어는 순식간에 등장한 것은 아니고 과거 많은 경영과학자들과 물류 전문가, 전략 전문가에 의해 제안되었던 통합계획(Integrated Planning)의 개념이 구체화된 것이다. 통합계획이란 기업 내부는 물론 외부 공급업자, 생산자, 소비자, 유통업자 등과 같은 공급사슬을 구성하는 기업 사이의 기능적 조정과 기업 내의 전략적, 전술적, 운영적 계획간의 시간적 조정을 말한다. 그러나 기업활동이 세계화됨에 따라 생산 및 물류관리가 더욱 복잡해지고 불확실성이 높아지고 있어 공급사슬을 효과적으로 운영한다는 것은 많은 어려운 점을 포함하고 있다. 따라서 공급사슬의 운영에 관하여는 기존의 단일 생산 시스템과는 다른 형태의 연구가 요구된다.

본 연구의 대상은 공급사슬상의 분산 생산 시스템이다. 분산 생산 시스템과 관계된 주제로는 생산, 유통, 운송, 구매, 공급, 재고 관리, 창고 관리, 일정 계획과 같은 다양한 분야가 존재하는데, 본 연구에서는 다수 공장을 대상으로 공장 간의 물량 조정(multi-plant coordination)을 고려한 로트 크기 결정 문제(lot-sizing problem)에 집중하여 분산 생산 시스템 관리에 관한 해법을 다룬다.

따라서 먼저 공급사슬상의 분산 생산 시스템이 기존의 단일 생산 시스템과 다른 점을 구분하고, 분산 생산 시스템의 생산 계획의 방법론을 전략적, 전술적, 운영적 단계로 나누어 알아본다. 그리고 공급사슬상의 분산 생산 시스템에 관한 모델과 해법을 제안한다.

본 연구에서는 분산 생산 시스템의 관리 해법으로서 전략·전술적 단계에서의 생산 계획(planning) 문제와 전술·운영적 단계에서의 로트 크기 결정(lot-sizing) 문제로 분해하는 방법론을 채택하고, 상이한 계층적 문제의 통합 방법론을 제시한다. 전략·전술적 단계의 계획 문제와 전술·운영적 단계의 로트 크기 결정 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다.

• 생산 계획(Planning) 문제

공급사슬상의 분산 생산 시스템에서 대안 공급업자나 생산시설의 활용에 대한 평가 및 기간별 품목 당 생산량, 생산 시스템간의 운송량을 결정하는 문제이다.

• 로트 크기 결정(Lot-sizing) 문제

공급사슬을 구성하는 개별 생산 시스템에 속하는 여러 자원의 기간별 품목 당 생산량을 결정하는 문제이다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 2절은 본 연구와 관련된 공급사슬상의 분산 생산 시스템의 통합과 관련된 연구들을 고찰하고 3절은 문제의 특성에 대하여 알아보고 통합계획의 가능성에 대해 살펴본다. 4절은 분산 생산 시스템의 운영계획으로서 Closed-loop 계층적 생산계획을 정의하고 5절은 가상의 분산 생산 시스템의 모형을 제시하고 제안된 closed-loop 계층적 생산 계획과 기존의 생산 계획과 최적해와의 비교실험의 분석 결과를 살펴본다. 6절은 결론 및 추후 연구 방향을 제시한다.

2. 기존연구 현황 분석

지금까지 생산 및 유통 계획에 관한 많은 연구가 있어 왔다. 하지만 대부분의 연구가 단일 생산/유통 시스템의 부분적인 기능들(예를 들어, 구매, 생산, 일정계획, 재고관리, 창고관리, 운송)에 제한되어 왔다. 이러한 연구들은 전체 공급사슬 모형화에 있어 유용한 많은 결과들을 제공하고 있으나 공급사슬을 전체적으로 고려하고 있지 못하기 때문에 공급사슬을 구성하는 요소들 간의 상관관계를 고려했을 때의 잠재적인 이득을 무시하고 있다. 부분적인 기능들의 최적화가 전체 공급사슬의 통제에 있어 최적해를 보장하는 것은 아니기 때문이다. 따라서 공급사슬을 효율적으로 통제하기 위해서는 다양한 요소들을 동시에 고려하는 통합된 계획이 필요하다.

일반적으로 공급사슬에 존재하는 기능들의 통합을 분류하는 데에는 다음의 두 가지 방식이 존재한다(Bhatnagar, 1993).

- 서로 다른 기능을 수행하는 조직 사이의 통합 및 조정(공급, 구매, 생산, 일정계획, 분배, 재고관리, 창고관리, 운송).
- 다른 위치에서 동일한 기능을 수행하는 조직 사이의 통합 및 조정(공급사슬을 구성하는 공장들).

2.1 단일 생산 시스템에 관한 연구 현황

일반적으로 단일 생산 시스템 내의 서로 다른 기능을 수행하는 조직 사이의 통합 및 조정은 3가지로 분류한다(Bhatnagar, 1993; Vidal, 1997).

- 구매자와 공급업자의 통합 및 조정

- 생산과 유통사이의 통합 및 조정
- 재고와 유통사이의 통합 및 조정

구매자와 공급업자의 통합 및 조정에 관한 연구로는 구매량에 따른 가격 할인 모델(Quantity Discount Pricing Model)이 대표적인데, 구매자의 입장에서 공급업자의 할인정책이 정해져 있다고 가정하고 경제적 주문량을 구하는 일련의 연구(Peterson, 1979)가 있었고, 공급업자의 입장에서 구매자가 공급업자의 입장을 고려하여 주문량 및 주문 일정을 변경하는 연구(Lee, 1986; Monahan, 1984)가 있었다. 구매자와 공급업자의 통합 및 조정이 양측 모두에 이득이 된다는 연구(Goyal, 1989)가 있었는데, 여기서는 구매자와 공급업자 간의 조정이 가능하다는 가정 하에 양측을 동시에 고려한 최적 주문량을 결정하였다. 이렇게 결정된 최적 주문량을 통해서 얻어진 이득은 양측에 고르게 분배될 수 있겠지만 일반적으로 공급업자는 많은 주문량을 확보하려 하고 구매자는 추가의 재고비용이나 주문비용을 피하기 위하여 최적 주문량을 주문하려 할 것이다.

생산과 유통 사이의 통합 및 조정에 관한 연구로는 셋업 비용과 재고유지비용을 최소화하는 생산 계획 분야에 관한 연구와 운송비용을 최소화하는 운송 계획을 같이 고려하는 것이다(Chandra, 1994; Williams, 1981).

재고와 유통 사이의 통합 및 조정에 관한 연구들은 하나 또는 여러 개의 창고로부터 많은 소비자에게 물품을 배달하는 경우를 취급하고 있는데 잦은 운송비용과 재고유지비용의 트레이드오프를 고려한다.

Cohen 등(1998)은 전체 공급사슬의 성능을 평가할 수 있는 중요한 구조와 분석 방법을 제시하였는데, 이들은 전체 공급사슬을 물자관리(material control), 생산, 완제품 재고, 유통의 4개의 서브 모델로 분해하여 각 서브 모델을 셋업 비용, 재고유지 비용, 재고고갈비용과 생산 리드 타임과 같은 특성을 사용하여 해석적 모델로 정형화하고, 서브 모델 간의 상호작용을 고려하여 총비용의 최소화라는 모델을 구현하였다. 또한 각각의 서브 모델은 서비스 목표치(service target level)를 충족시키도록 하였다. 이들은 계층적 발견적 기법을 사용하여 전체의 문제를 서브 모델로 분해하여 순차적으로 해를 구하는 방식을 사용하여 해를 구하였다. 비록 발견적 기법을 사용하고 있지만, 전체 통합된 공급사슬을 모형화하고 그 상호작용을 구현했다는 데 의의가 있다고 할 수 있다.

2.2 분산 생산 시스템에 관한 연구

공급사슬상의 분산 생산 시스템은 공급사슬에 속하는 하나의 공장에서 완성된 제품이 다른 공장의 원자재가 되는 경우이다. 이와 같이 한 공장의 생산계획이 다른 공장에 영향을 미치는 경우 공급사슬 전체 생산계획의 통합 및 조정의 목적은 총비용, 생산시간의 감소 및 고객 서비스의 증가 등과 같은 전체 공급사슬의 효율성 증대라고 할 수 있다. 효과적인 조정이

이루어지기 위해서는 각 공장에서의 생산 과정의 불확실성과 수요의 불확실성, 각 공장의 생산용량과 같은 요소들을 고려해야 한다. 하지만 단일 생산 시스템과는 달리 공급사슬상의 분산 생산 시스템의 하위 각 공장에 존재하는 자원에 대한 정확한 정보를 파악하고 계획을 세운다는 것이 현실적으로 어렵다. 설사 가능하다 할지라도 공급사슬의 주체가 서로 다른 목적을 가지고 있고 소속이 다른 경우가 많기 때문에, 이러한 특성상 기존의 단일 생산 시스템과는 다른 방식이 필요하게 된다.

공급사슬상의 분산 생산 시스템의 조정에 관련된 연구는 Bahtnagar 등(1993)의 연구에 잘 정리되어 있고 이후 주목할 만한 연구로는 공급사슬내의 전략적 단계와 전술적 단계의 통합을 시도한 Arntzen(1995)의 연구와 전술적 단계와 운영적 단계의 통합을 시도한 Roux 등(1999)을 들 수 있다.

Arntzen(1995)은 DEC(Digital Equipment Corporation)에서 글로벌 공급사슬의 의사결정을 지원하는 데 사용되는 고등 혼합 정수계획법(Large Mixed Integer Program)을 개발하여 전통적인 방법과는 다른 방식으로 해를 구하였다. 해를 구하는 과정은 자세하게 나와 있지 않으나 이들이 연구에서 해결하고자 하는 문제는 용량의 제한이 있는 대안의 생산기지에서 글로벌 공급사슬에서 발생하는 수요를 만족시키며 생산, 재고유지, 유통 비용 또는 생산, 유통시간의 가중치를 최소화하는 문제를 도입하였다. 이 모델의 장점은 글로벌 환경을 고려하여 공급사슬을 구성하는 생산시설 간의 BOM(Bill of Material)을 사용하여 모 품목(parent item)의 자 부품(child item)의 소요량을 찾아주고, 물자의 이동의 경우 국가 간의 이동을 다루기 위하여 관세를 비롯한 세금을 고려한 비용을 사용했다는 데 있다.

Roux 등(1999)은 다수 공장(multi-site) 환경에서의 생산계획 결과를 얻기 위해서, 생산계획(planning)과 일정계획(scheduling)을 통합하는 모델을 제시하고 있다. 이 방법은 로트 크기를 결정하는 생산계획 모듈과 결정된 로트 크기를 가지고 각 공장에서 작업순서(sequence)를 결정하는 방법을 따르고 있다. 결정된 작업순서는 생산계획에 영향을 미친다. 각 공장에서의 일정계획은 독립된 일정계획 문제로 분해되고 병렬적으로 풀 수 있다.

본 연구에서는 이상의 분산 생산 시스템의 조정에 관한 연구와 유사한 환경에서 공장 간의 가능한 수송수단과 수송 리드 타임을 고려하면서 다공장(multi-plant)의 로트 크기를 결정하는 문제에 대한 해법을 제시한다.

3. 분산 생산 시스템

3.1 분산 생산 시스템의 특징

공급사슬상의 분산 생산 시스템이 일반적인 단일 생산 시스템과 다른 점은 하나의 완제품을 생산하는 데 <그림 1>과 같이 여러 개의 생산시설 간에 BOM과 같은 관계가 존재하고 서

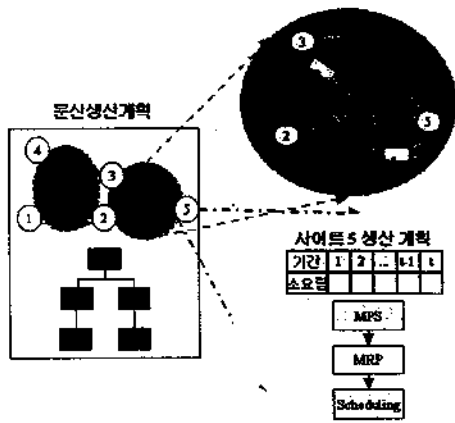


그림 1. 분산 생산 시스템의 예.

단계는 많은 문제점들을 포함하고 있다. 하위단계의 현실을 무시한 상위단계의 계획은 때로는 가능하지 않은 계획을 생성할 수도 있고 설사 하위에서 실현 가능한 계획을 생성한다고 할지라도 전체적인 최적화의 관점에서 볼 때 최적해와는 상당한 차이를 가질 때도 발생하게 된다.

공급사슬의 전략적 단계에서 결정해야 할 의사결정 문제로는 공급사슬에 발생하는 수요를 충족시키기 위하여 공급사슬상의 어느 곳에 어떤 종류, 규모의 공장, 창고, 물류센터와 같은 시설을 지어야 할 것인지, 공급업자의 위치와 개수, 크기, 운송 수단 및 선택을 결정하고 또한 타겟이 되는 소비자를 지역별, 기호별로 분류하고, 지금 수행하고 있는 업무의 일부를 아웃소싱(outsourcing)을 한다면 어떤 품목을 할 것인지, 파트너 (supplier & customer)와의 협력은 어떻게 할 것인지를 결정하는 단계로서 장기적인 관점과 최고 경영자의 참여가 요구된다. 전략적 단계의 의사결정은 주로 새로운 공장이나 유통시설의 설립이나 폐쇄, 새로운 상품의 출현과 같은 경우에 필요하게 된다. 그밖에 전략적 단계에서 고려해야 할 요소로는 기존의 선진 공급사슬에 대한 벤치마킹(bench marking), 손익(profitability / cost analysis)분석, 리소스 활용도 및 고객 서비스에 만족도 등이 존재한다.

분산 생산 시스템의 전술적 단계란 공급사슬의 구조가 대체적으로 결정된 상태에서 향후 중기간의 시장의 수요(need)를 충족시키기 위해서 어떻게 생산시설과 유통시설을 이용할 것인지를 결정하고, 그 계획을 실행할 수 있도록 자세한 정보를 각 생산시설과 유통시설의 담당자에게 제공하고 그 정보에 바탕하여 계획기간의 물자의 흐름량 및 생산량을 최적화하는 단계이다. 즉, 공급사슬에서 발생하게 되는 재고비용, 셋업비용, 생산비용 및 수송비용을 최소화하면서 분산지점별로 생산용량을 준수하는 생산계획을 수립하는 것이다.

일반적으로 전술적 단계의 공급계획의 프로세스는 여러 단계의 계획 프로세스 또는 계층 구조로 분리되기도 한다. 예를 들어, 상위단계에서는 주어진 공급사슬구조 하에서 알맞은 공급업자를 선택한다든지, 상품을 생산할 수 있는 대체 공장이 여러 개 있는 경우 각 기간의 수요와 대체 공장의 용량을 고려한 생산시설을 찾아내는 문제를 다루게 되고 하위단계에서는 좀 더 자세한 각 공장에서의 생산량과 재고량을 결정하는 문제를 다루게 된다. 분산 지점들 사이에는 복잡한 종속 관계가 존재할 수 있으며, 지역별 생산계획은 생산 품목들 간의 BOM이나 수송수단의 존재 여부 등의 종속 관계를 준수해야 한다.

이외에도 분산 생산 시스템의 전술적 단계의 의사결정 문제에는 공급사슬 상에 존재하는 다양한 불확실한 요인(가변 리드타임, 수요의 변화, 완제품의 질의 변화, 원자재 또는 부품의 질, 설비의 고장 등)에 대비한 완충효과를 가져올 수 있는 적정 재고 수준을 결정하는 문제가 포함된다. 이와 같은 경우, 각각의 불확실한 요인에 대하여 확률분포를 가정하고 효율적인 분산 생산 시스템을 구축하기 위한 최적의 적정 재고 유지량을 결정하는 문제도 또한 전술적 단계의 의사결정에 해당된다.

로 다른 생산시설 간의 운송이 필요하다는 것이다. 물론 공급사슬을 구성하고 있는 창고와 같은 저장시설이나 분배를 담당하는 분배센터, 도·소매점과 같은 경우도 고려하는 것이 필요하지만 본 논문에서는 고려하지 않는다. <그림 1>의 분산생산계획 부분의 작은 원 ①, ②, ③, ④, ⑤는 공급사슬을 구성하는 생산시설을 나타내고 사각형은 BOM과 같은 생산시설 간의 관계를 나타낸다. 생산시설 간에 존재하는 운송수단을 통제하기 위한 운송계획이 존재하고 각 생산시설을 통제하기 위한 개별 생산 시스템의 계획이 존재하며 각 생산 시스템의 생산계획은 자체의 MPS(Master Production Schedule), MRP(Material Requirement Planning)와 연계되어 전체 공급사슬을 구성하게 된다.

3.2 분산 생산 시스템의 의사결정 단계

공급사슬의 의사결정 단계는 다음과 같이 3가지로 나누어진 다(Shepherd, 1999).

- 전략적 단계
- 전술적 또는 계획 단계
- 운영적 또는 실행 단계

공급사슬의 의사결정 3단계는 일반적으로 <그림 2>와 같이 계층적 방식으로 통합된다.

<그림 2>와 같은 방식은 실제 대부분의 조직의 계층적 의사결정 구조와 유사하고 구현하기가 간단하다는 장점을 지닌다. 하지만 통합계획이라는 측면에서 볼 때 계층적 의사결정

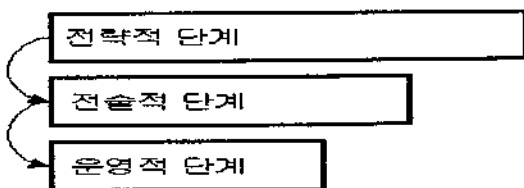


그림 2. 계층적 의사결정 단계.

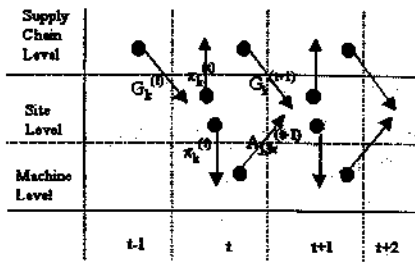


그림 3. 해를 찾는 과정.

공급사슬상의 분산 생산 시스템에서 발생하는 운영적 단계의 의사결정 과정은 단기간의 제품의 수요를 만족시키기 위해서 각각의 시설을 어떻게 운용할지를 결정하는 단계로 공급 일정계획(supply scheduling) 또는 생산 일정계획으로 공급사슬 상에서 생성된 상위의 계획(전략적, 전술적 단계)과 실제 운영을 일치(synchronization)시키는 것이라고 할 수 있다. 즉, 계획상의 주문(order)을 실제 작업 주문(order)로 변환시키는 역할을 수행한다. 일반적으로 생산 일정계획은 각 공장의 자원, 설비, 노동력과 같은 리소스에 대한 요구사항을 분 단위 또는 시간 단위로 분석할 수 있어야 한다. 또한 일정계획은 오더에 대한 변화나 작업장의 상황(기계의 고장, 자재의 부족, 기타 작업의 중단)을 반영하기 위해서 빈번하게 수행된다. 운영적 단계에서는 공장의 라우팅과 상품의 BOM, 셋업 시간과 같은 요소 외에 작업순서를 결정하기도 한다.

공급사슬 전체의 효율을 고려한 해를 생성하기 위해서는 전략적, 전술적, 운영적 단계에 이르기까지의 각 활동들을 파악해야 하지만 여기에는 더 좋은 의사결정과 자료의 수집비용, 시간 사이에 트레이드 오프가 존재하게 된다.

본 연구에서는 전체 공급사슬에 걸친 계획을 계층적으로 각 개별 시스템의 계획에 전파하는 Ruefli(1971)의 일반적 목표 분해법(GGD, Generalized Goal Decomposition)에 따라 closed-loop 계층적 계획 방법을 적용한다. 전체 공급사슬에 대한 계획을 생성할 때는 각 개별 시스템의 생산/유통 용량을 바탕으로 하여 공급사슬 전체에 걸친 최적의 계획을 생성하고 각 개별 생산 시스템은 하위의 작업센터나 운송수단의 제약과 같은 하위 요소의 상황을 고려하여 상위의 계획을 벗어나지 않는 계획을 생성한다.

4. Closed-loop 생산계획

4.1 문제의 정의

<그림 4>는 공급사슬의 예로서 컴퓨터 본체의 물류 흐름을 보여주는 공급사슬이다. 이 공급사슬에는 컴퓨터 본체를 생산하는 0공장, 마더보드를 생산하는 1공장, 메모리를 생산하는 2공장이 존재하고 각 공장 내부에는 상품을 제조하는데 필요한 자원이 존재한다. 여러 공급업자(CD-ROM, 본체, 하드 디스크,

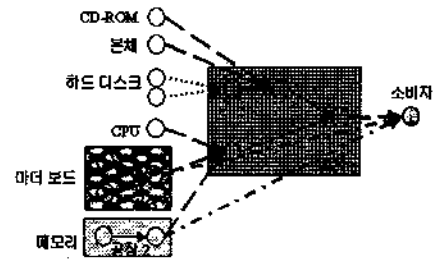


그림 4. 분산 생산 시스템의 형태.

CPU)들이 0공장에 물품을 공급하고, 외부에 존재하는 소비자에 의해 상품의 수요가 발생한다. 각 공장과 공급업자 간에는 상품을 수송하는 운송수단이 존재하며, 이 운송수단에는 선박과 비행기와 같이 대안이 존재하며, 이 대안은 운송비용과 운송시간에 있어 서로 다르다.

또한 다음과 같은 가정을 하였다.

- 기간별 각 제품에 대한 수요는 다르다.
- 재고고갈을 허용하지 않는다.
- 기간별로 생산비용, 재고유지비용, 운송비용, 셋업비용이 서로 다를 수 있고, 생산 용량에 제약이 존재한다.
- 생산시간은 고정되어 있고 운송시간은 운송수단의 형태에 의존한다.
- 공급사슬에 존재하는 불확실성은 없다.

이상과 같이 공급사슬상에 존재하는 분산 생산 시스템의 운영계획으로서의 생산계획을 수리 모형화하면 <수식 1>과 같으며, 쓰인 기호는 다음과 같다.

기호

- d_{pc} : 기간 t 에 소비자 c 에서 상품 p 의 소요량
- qty_{per}_{pq} : 상품 p 를 만드는데 소요되는 상품 q 의 양(BOM 정보)
- usr_{ps} : 생산시설 s 에서 상품 p 를 만들 때 소요되는 사용률 (usage rate)
- st_{ps} : 생산시설 s 에서 상품 p 를 만들 때 소요되는 셋업 시간
- $capa_{ps}$: 생산시설 s 에서 상품 p 를 만들 때의 용량
- vpc_{pst} : 기간 t 에 생산시설 s 에서 상품 p 를 생산하는데 소요되는 생산비용
- hc_{pst} : 기간 t 에 생산시설 s 에서 상품 p 를 재고로 유지하는데 소요되는 재고유지비용
- sc_{psfm} : 기간 t 에 생산시설 s 에서 f 로 운송수단 m 을 이용하여 상품 p 를 운송하는데 소요되는 운송비용
- fpc_{pst} : 기간 t 에 생산시설 s 에서 상품 p 를 생산하는데 필요한 가동 준비비

$$\text{Min} \sum_{p,s,t} (vpc_{pst} X_{pst} + hc_{pst} I_{pst}) + \sum_{p,s,f,m,t} sc_{psfm} S_{psfmt} + \sum_{p,s,t} fpc_{pst} Z_{pst}$$

$$\begin{aligned}
 \text{s.t. } & \sum_{j \in C, m} S_{p'fmi} = d_{p'ct} & (1) \\
 & X_{p's(t-p't)} + I_{p'st-1} = \sum_{f, m} S_{p'fmi} + I_{p'st} & (2) \\
 & X_{p'ft} = \sum_{s, m} q_{tys} Per_{p'q}^{-1} S_{q'sfm(t-st)} & (3) \\
 & \sum_{p, s} ur_{p's} X_{p'st} + st_{p's} Z_{p'st} \leq capa_{p'st} Z_{p'st} & (4) \\
 & Z_{p'st} = \{0, 1\} & (5)
 \end{aligned}$$

수식 1. 분산 생산 시스템의 생산계획 모형.

<수식 1>을 통하여 결정할 사항은 변수에 해당하는 기간 당 상품별 생산량, 재고량, 셋업 여부와 운송수단 별 운송량이 다. 목적함수는 각 site에서 생산하는 생산비, 재고비, 운송비, 셋업비용의 총합을 최소화하는 것이다. 제약 식 (1)은 각 상품 생산량 = 상품 소요량, (2)는 생산, 재고, 주문잔고, 운송량에 대한 균형, (3)은 각 상품의 BOM 및 운송로, (4)는 각 자원의 용량 제약, (5)은 자원의 셋업을 나타내는 변수에 대한 조건이다.

공장 내부의 운송은 운송기간이 0이고 운송 비용도 0이라고 하면 제약식 (1), (2), (3)은 단일 생산 시스템에서의 제약식과 동일하게 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{p's(t-p't)} + I_{p'st-1} = I_{p'st} + d_{p'st} + \sum_p q_{tys} Per_{p'q} X_{p'st}$$

<수식 1>과 같은 문제는 실제의 경우에 있어서 대단히 큰 문제이다. 공급사슬을 구성하는 생산시설의 셋업 유/무에 관한 변수가 계획기간마다 존재하게 되므로

$$\text{총 정수 변수의 개수} = \text{셋업이 필요한 생산시설} * \text{계획기간의 크기}$$

가 된다.

예를 들어 셋업이 필요한 생산시설이 100개이고 계획기간이 20개라면 총 정수 변수의 개수는 2000개가 된다.

4.2 closed-loop 계층적 계획

<수식 1>과 같이 제안된 분산 생산 시스템의 생산계획 문제는 매우 복잡한 문제로 최적해를 구하기에는 많은 제약이 따르게 된다. 또한 일반적인 조직의 의사결정 과정(계층적 조직, 분산 조직)을 감안할 때, 제시된 모델을 그대로 실행하기에는 실제 많은 어려운 점이 따르게 된다. 이와 같은 경우 단일 생산 시스템에서는 계층적 계획이라는 접근법을 사용하기도 한다(Graves, 1982). 계층적 계획에서는 각각의 제품군(item family)을 제품 타입(item type)으로 집합화하고, 계획기간은 생산계획 기간(planning horizon)과 일정계획기간(scheduling horizon)으로 나누어서, 먼저 생산계획기간에는 제품 타입에 대하여 시간에 따른 자원 소요량을 구하게 되고, 이 결과를 이용하여 일정계획기간에는 제품군에 대하여 더 짧은 기간에 대하여 자원을 할당하는 선형적 의사 결정 과정을 따른다.

기호

- p' : 상품 집합
- p : 개별 상품
- t : 생산계획 구간
- τ : 일정계획 구간

$$\begin{aligned}
 \text{Min } & \sum_{p', s, t} (vpc'_{p'st} X_{p'st} + hc'_{p'st} I_{p'st}) \\
 & + \sum_{p', s, f, m, t} sc'_{p'sfmi} S_{p'sfmi} \\
 \text{s.t. } & \sum_{j \in C, m} S_{p'sfmi} = d_{p'ct} & (1) \\
 & X_{p's(t-p't)} + I_{p'st-1} = \sum_{f, m} S_{p'sfmi} + I_{p'st} & (2) \\
 & X_{p'ft} = \sum_{s, m} q_{tys} Per_{p'q}^{-1} S_{q'sfm(t-st)} & (3) \\
 & \sum_p ur_{p'st} X_{p'st} \leq capa_{p'st} & (4) \\
 & X_{p'st} \leq X_{p'st} & (5)
 \end{aligned}$$

수식 2. 분해된 생산계획 문제.

분산 생산 시스템에서 계층적 계획을 적용하여 계획 문제를 나타내면 생산계획 문제는 <수식 2>, 로트 크기 결정 문제는 <수식 3>과 같이 나타낼 수 있다.

상수 중 $vpc'_{p'st}$ 는 로트 크기가 0보다 크게 되면, 즉 생산이 이루어지면, $vpc'_{p'st}$ 가 더 낮은 값을 가지게 되어 상품 집합에 관한 생산비용이 낮아지게 되므로, 생산이 이루어지는 기간에 더 많은 생산이 이루어지도록 하고 생산이 이루어지지 않는 기간에는 $vpc'_{p'st}$ 가 초기값을 가지게 되고 상대적으로 생산비용이 비싸지게 되어, 생산이 이루어지지 않도록 하여 규모의 경제를 이루도록 한다.

상수 중 $ur_{p'st}$ 는 상품 집합(p')을 생산하는 데 필요한 자원 중 가장 이용률이 높은 공정, 즉 병목공정이 되는 자원의 소요량을 나타내어 실행 가능한 생산계획을 생성하도록 하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } & \sum_{p, s, \tau} (vpc_{p's\tau} X_{p's\tau} + hc_{p's\tau} I_{p's\tau}) + \sum_{p, s, \tau} fpc_{p's\tau} Z_{p's\tau} \\
 \text{s.t. } & X_{p's(\tau-p's)} + I_{p's\tau-1} = d_{p's\tau} + I_{p's\tau} + \sum_q q_{tys} Per_{p'q}^{-1} X_{p's\tau} & (1) \\
 & X_{p's\tau} = \sum_q q_{tys} Per_{p'q}^{-1} X_{q's(\tau-p's)} & (2) \\
 & \sum_p (ur_{p's\tau} X_{p's\tau} + st_{p's\tau} Z_{p's\tau}) \leq capa_{p's\tau} Z_{p's\tau} & (3) \\
 & Z_{p's\tau} = \{0, 1\} & (4)
 \end{aligned}$$

수식 3. 분해된 로트 크기 결정 문제.

분해된 로트 크기 결정 문제는 상위, 즉 분해된 planning 문제 (<수식 2>)에서 결정된 각 기간의 생산량을 바탕으로 하여 실제 생산계획을 생성하는 것이다. 상·하위계획에 관한 절차, 즉 생산계획 문제와 로트 크기 결정 문제의 상호 관계는 Ruefli(1971)의 일반적 목표 분해법(GGD, Generalized Goal Decomposition)에 따른 것이다.

<수식 2>에 쓰이는 상품 집합의 생산비용($vpc'_{p'st}$)은 셋업

비용과 개별 상품의 생산비용의 합으로 나타낼 수 있다. 각 생산 기간에서의 실제 단위 당 상품 집합의 생산비용은 상품 집합을 생산하는데 필요한 총 셋업 비용을 생산량으로 나눈 값과 상품 집합에 속하는 개별 상품의 생산비용의 합으로 나타낼 수 있다고 하자. 그렇다면 상품 집합의 실제 단위 생산비용을 이루는 각 원소들은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{실제 } vpc'_{p'st} = \sum_{p,s,\tau} vpc_{p,s,\tau} + \sum_{p,s,\tau} \frac{fpc_{p,s,\tau}}{X_{p,s,\tau}}$$

(상품 집합의 실제 단위생산비용 = 구성하는 개별 상품의 단위생산비용 + 필요한 총 셋업비용 / 실제 생산량).

또한 상품 집합의 최적 단위생산비용을 이루는 각 원소들은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\text{최적 } vpc'_{p'st} = \sum_{p,s,\tau} vpc_{p,s,\tau} + \sum_{p,s,\tau} \frac{fpc_{p,s,\tau}}{\text{최적 } X_{p,s,\tau}}$$

(상품 집합의 최적 단위생산비용 = 구성하는 개별 상품의 단위생산비용 + 필요한 총 셋업비용 / 최적 생산량).

또한 상품 집합의 실제 단위생산비용의 최대값을 구하기 위하여 각 생산 기간마다 평균 수요량만큼 생산한다고 하면, 일반적으로 로트 크기는 평균 수요량보다 많은 양을 생산함으로써 비용을 줄이게 되므로, 상품 집합의 실제 단위생산비용은 이 값보다는 작거나 같게 된다. 이 값은 상품 집합의 단위생산비용의 초기값으로 쓰이게 되므로 상품 집합의 초기생산비용이라고 하자.

$$\text{초기 } vpc'_{p'st} = \sum_{p,s,\tau} vpc_{p,s,\tau} + \sum_{p,s,\tau} \frac{fpc_{p,s,\tau}}{d_{p,s,\tau}}$$

(초기 상품 집합의 단위생산비용 = 구성하는 개별 상품의 단위생산비용 + 필요한 총 셋업 비용/평균수요)와 같이 계산된다.

따라서 일반적으로 $f(X, I, S | vpc'_{p'st}$ 집합 = 실제 $vpc'_{p'st}$ 집합)는 $f(X, I, S | vpc'_{p'st}$ 집합 = 최적 $vpc'_{p'st}$ 집합)보다는 크거나 같게 되고 로트 크기 결정이 이루어지지 않고 매 기간 셋업을 하여 생산하는 경우, 즉 $f(X, I, S | vpc'_{p'st}$ 집합 = 초기 $vpc'_{p'st}$ 집합)보다는 작거나 같게 된다(여기서 함수 f 는 <수식 2>).

즉, $f(X, I, S | vpc'_{p'st}$ 집합 = 최적 $vpc'_{p'st}$ 집합) < $f(X, I, S | vpc'_{p'st}$ 집합 = 실제 $vpc'_{p'st}$ 집합) < $f(X, I, S | vpc'_{p'st}$ 집합 = 초기 $vpc'_{p'st}$ 집합) 이 성립하게 된다.

<수식 2>에 쓰이는 상품 집합(p)의 생산시설 s 의 소요율($ur'_{p'st}$)은 상품 집합을 만드는 데 필요한 생산시설이 여러 개

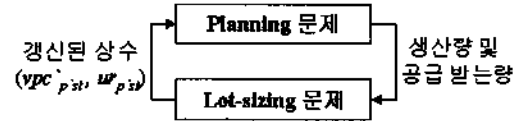


그림 5. 상수의 갱신 과정.

가 있을 수 있기 때문에 그 중에서 생산시설의 활용률이 가장 높은 생산시설의 소요율을 사용하였다.

$$ur'_{p'st} = \text{Max}_{p,s,\tau} (ur_{p,s,\tau})$$

일반적인 Closed-loop 계층적 계획은 상위 문제의 해가 하위 문제의 제약이 되고, 다시 하위 문제의 해가 상위 문제의 제약이 되는 절차를 반복하는 것으로서, 본 연구에서 채택하고 있는 문제 해결절차는 <그림 5>와 같이 계획(Planning)문제의 해가 로트 크기 결정문제(Lot-sizing)의 제약이 되고, 로트 크기 결정 문제를 이용하여 계획 문제의 상수를 변경하는 절차를 반복한다.

즉 공급사슬을 구성하는 분산 생산 시스템 전체에 걸친 생산계획 문제를 풀고 그 결과(생산량 및 공급받는 양)를 바탕으로 하여 각 생산 시스템의 로트 크기 결정 문제를 풀게 된다. 로트 크기 결정 문제를 푼 후 각 생산 시스템의 상황을 반영하는 상수($vpc'_{p'st}, ur'_{p'st}$)를 갱신하게 된다. 이 과정은 Lagrangian 완화법에서 문제를 분해하여 해결하는 방법과 유사하며, 과정의 반복횟수는 시스템의 상황에 맞도록 임의로 정할 수 있다. 단일 생산 시스템의 Closed-loop MRP와도 유사한 구조를 가진다.

Closed-loop 계층적 계획의 절차는 다음과 같다.

- 단계 1: Planning 문제를 해결한다.
- 단계 2: Planning 문제의 결과(생산량 및 공급 받는량)를 공급 사슬을 구성하는 생산 시스템에 넘겨준다.
- 단계 3: 각 생산 시스템의 Lot-sizing 문제를 해결한다.
- 단계 4: Lot-sizing문제를 바탕으로 조정된 상수를 planning 문제에 반영한다.
- 단계 5: 종료 조건(반복횟수)이 될 때까지 위의 과정을 반복한다.

4.3 Closed-loop 계층적 계획의 특징

공급사슬상에 존재하는 분산 생산 시스템의 생산계획과 기존의 단일 공장의 생산계획 사이에는 많은 유사성이 존재한다. 일반적인 생산 시스템의 계획 및 통제는 총괄계획(AP, Aggregate Planning), 대 일정계획(MPS, Master Production Scheduling), 자재 소요계획(MRP, Material Requirement Planning), 일정계획(Scheduling)의 형태를 띠게 된다. MPS와 MRP의 경우 하위에 실현 가능한 계획을 생성하기 위해서 개략적 생산용량계획(RCCP, Rough Cut Capacity Planning)와 생산용량계획(CRP, Capacity Requirement Planning)이 함께 실행되어야 한다(Vollman, 1998).

공급사슬상의 통합계획에 있어 분산 생산 시스템의 개략의 용량을 고려하여 계획기간(planning period) 동안의 생산량을 지정해주는 단계는 RCCP를 고려한 MPS 단계와, 개별 생산 시스템의 자원의 개략의 용량을 고려하여 계획기간 또는 일정계획 기간(scheduling period) 동안의 생산량을 결정하는 단계는 MRP에서 Lot 크기를 결정하는 단계와 각 자원이 처리해야 하는 작업순서 결정의 요소는 기존 생산계획의 일정계획과 비슷하다고 할 수 있다.

5. 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 분산 생산 시스템의 생산계획을 적용하기 위하여 컴퓨터를 조립하는 가상의 기업을 <그림 4>와 같이 구성하였다. 각 생산시스템은 공급사슬을 구성하는 개체로 최종 제품인 컴퓨터의 부품을 생산한다. 최종 제품을 생산하는 공장 0은 CD-ROM, 본체, 하드 디스크, CPU를 공급하는 공급업자와 마더보드, 메모리를 생산하는 하위 공장들(공장 1, 공장 2)을 가지고 있다. 또한 공급업자, 공장 1, 공장 2와 공장 0을 연결하는 운송수단이 존재한다. 운송수단의 경우는 대안이 존재하고 운송비용과 운송시간 간에 반비례 관계가 있어 비용이 많이 소요되는 운송수단의 경우 운송시간은 적게 소요되고 비용이 적게 소요되는 운송수단의 경우는 운송시간은 많이 소요되도록 하였다.

실험에서 사용한 데이터는 다음과 같다.

- 단위생산비용(vp): 2
- 재고유지비용(hc): 1
- 단위당 소요율(ur): 1
- 계획기간의 길이: 10
- 기간별 평균수요: 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 27.5, 32.5, 37.5, 42.5
- 셋업비용(sp): 0, 10, 20, 30
- 셋업시간(st): 0, 5, 10, 15
- 개별자원의 용량($capa$): 70, 80, 95
- 운송비용(sc) 및 기간(sl) (비용, 기간): (1, 0) or (2, 1), (1, 0) or (1.5, 1), (1, 0) or (1.2, 1)

기획비용만을 비교하기 위하여 계산의 편의를 위하여 단위 생산비용과 재고유지비용은 시간에 관계없이 일정하다고 가정하였다.

계획기간은 planning 문제의 경우와 Lot-sizing 문제의 경우가 동일하고, 셋업비용과 셋업시간은 비례하다고 가정하였고 셋업비용과 개별자원의 용량은 동일한 확률로 위의 값 중의 하나를 가지도록 하였다. 공장 간의 이동을 나타내는 운송비용 및 기간에 관한 값은 두 가지 중 하나를 선택할 수 있도록 하였다. 비교 대상이 되는 해법은 <수식 1>의 문제를 직접 해결하는 최적해 방법과 Closed-loop 계층적 계획의 방법과 기존의 계

층적 방법을 비교하였다. 기존의 계층적 방법은 하위의 계획을 반영하지 못하므로 planning 문제를 풀어준 후, Lot-sizing 문제를 푸는 것과 동일하다. 최적해는 CPLEX 6.5를 이용하여 구하였다.

실험은 운송비용 및 기간의 3가지 대안에 대하여(대안간의 비용의 비율은 2, 1.5, 1.2배) 8가지 수요의 50회씩 총 $8 \times 50 \times 3 = 1200$ 회를 실시하였다.

대안간의 비용의 비율과 그에 따른 기존의 계층적 방법과 closed-loop 계층적 방법과 최적해와의 비교를 수행하였다. 비교 평가를 위하여 다음과 같은 성능 척도를 계산하였다.

$$A = \frac{\text{기존의 계층적 방법} - \text{Optimal}}{\text{Optimal}} \times 100\%$$

$$B = \frac{\text{Closed loop 계층적 방법} - \text{Optimal}}{\text{Optimal}} \times 100\%$$

<그림 6>, <그림 7>, <그림 8>에 실험 결과를 도표로 정리하였다. 그림에서 기존 계층적 계획은 A값을 Closed loop 계층적 계획은 B값을 나타내고 있다. 그리고 차이는 A와 B값의 차이를 나타낸다. 일반적으로 기존의 계층적 방법보다는 closed-loop 계층적 방법이 20% 정도 좋게 나온 것을 알 수가 있다.

대안간의 비용의 비율이 2배일 때보다는 1.5배, 1.2배일 때가 기존의 방법과 closed-loop 방법의 차이가 많이 나는데(19.282%, 22.214%, 23.122%), 대안간의 비용의 비율이 작다는 것을 보다 많은 대안(운송비용과 시간에 있어)이 존재할 때라고 생각하면, 많은 대안이 존재할 때 closed-loop 방법과 기존의 방법의 차이가 많이 난다고 할 수 있다. 또한 기존의 방법은 수요의 많고 적음에 따라 최적해와 많은 차이(각각의 평균 수요에 대하여

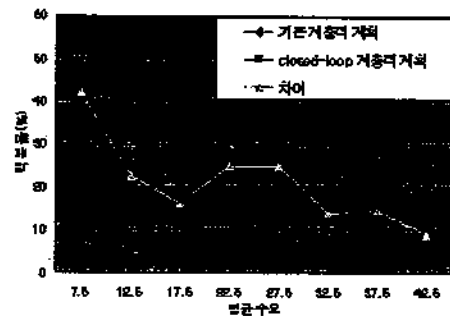


그림 6. 비용의 비율이 2배일 때.

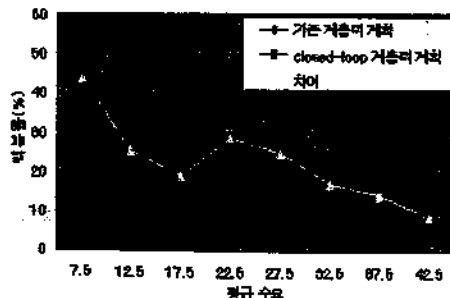


그림 7. 비용의 비율이 1.5배일 때.

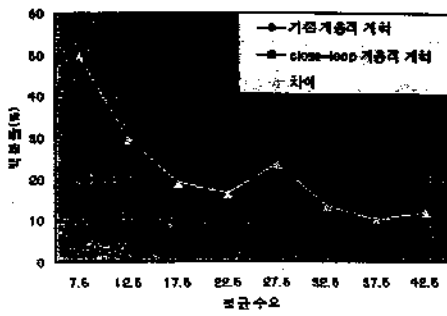


그림 8. 비용의 비율이 1.2배일 때.

52.648, 32.516, 23.580, 30.765, 30.878, 23.050, 22.453, 18.608%) 를 보였으나 closed-loop 방법은 수요의 많고 적음에 비교적 영향을 받지 않았다(각각의 평균 수요에 대하여 8.080, 4.722, 5.190, 4.561, 7.921, 9.605, 12.324, 9.782%).

6. 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 공급사슬상의 분산 생산 시스템에서 발생 가능한 문제들을 전략적, 전술적, 운영적 단계로 나누어 정리하였고, 공급사슬상의 분산 생산 시스템 환경에서 발생 가능한 다 공장 로트 크기 결정 문제(multi-plant lot-sizing problem)를 정의하고 해법을 제시하였다. 다공장 로트 크기 결정 문제는 공급사슬을 구성하는 각 생산 시스템은 외부의 독립 수요 및 공급사슬내의 종속 수요를 만족시키는 각 기간의 생산량을 결정하고 공급사슬을 구성하는 각 생산 시스템 간에는 연결하는 운송수단이 존재한다. 이 문제는 생산에 있어 셋업비용, 재고유지비용, 운송에 있어 운송시간, 운송비용 간의 트레이드 오프가 동시에 고려되는 문제가 된다.

본 연구에서 제안한 분산 생산 시스템의 closed-loop 계층적 계획은 공급사슬 전체에 관한 생산계획 문제와 공급사슬을 구성하는 개별 생산 시스템의 로트 크기 결정 문제로 분해하여 해결된다. 상위의 계획 문제는 선형 계획법으로 문제를 해결하고, 이를 바탕으로 하여 개별 생산 시스템의 로트 크기 결정 문제를 해결하고, 계획 문제의 상수를 갱신하여 개별 생산 시스템의 상황을 반영하는 절차를 반복하여 문제를 해결하도록 하였다. 실험을 통하여 가상의 공급사슬을 구성하고 기존의 계층적 생산계획과 closed-loop 계층적 생산계획을 비교하였다.

본 연구에서는 공급사슬상에서 조립이 이루어지는 환경을 염두에 두고 수리적 모형을 설계했기 때문에 MTO (make-to-order), MTS (make-to-stock), ETO (Engineer-to-order)와 같은 다양한 제조 환경도 좋은 결과를 낼 지는 추후 연구가 필요하지만 본 연구에서 제안한 분산 생산 시스템의 closed-loop 계층적 계획 방법은 분산 시스템의 생산계획을 세우는 데 유용한 방

법이라고 생각된다. 또한 보다 다양한 제조 환경에 적합한 새로운 모형의 수립에 대한 연구가 필요하리라고 생각된다.

또한 본 연구는 공급사슬상의 많은 기능 중에서 생산과 생산시설 간의 운송에만 초점을 맞추었지만, 유통, 공급, 재고의 저장과 같은 보다 다양한 기능으로의 확장과 보다 세부적인 생산 scheduling과 유통 및 운송의 하부계획과의 연계 및 창고 관리계획과의 통합도 필요하리라고 생각된다.

참고문헌

박진우 (1999), 공급사슬관리(SCM: Supply Chain Management)란?, LG-EDS 사외보, 가치창조

이태익 (1998), Supply Chain Management와 SI, 대한산업공학회 한국경영과학회 춘계 공동학술대회

정대영 (1999), 생산능력조정을 고려한 Job Shop 일정계획에 관한 연구, 박사논문, 서울대학교.

Arntzen, B. C., Brown, G. G., Harrison, T. P. and Trafron, L. L. (1995), Global Supply Chain Management at DEC, *Interface*, 25(1), 69-93.

Bhatnagar, R., Chandra, P. and Goyal, S. K. (1993), Models for multi-plant coordination, *European Journal of Operational Research*, 67, 141-160.

Chandra, P. and Fisher, M. L. (1994), Coordination of Production and Distribution Planning, *European Journal of Operational Research*, 72, 503-517.

Cohen M. A. and Lee, H. L. (1998), Strategic Analysis of Integrated Production Distribution Systems: Models and Methods, *Operations Research*, 36(2).

Goyal, S. K. and Gupta, Y. P. (1989), Integrated inventory and models: The buyer-vendor coordination, *European Journal of Operational Research*, 41, 261-269.

Graves, S. C. (1982), Using Lagrangean techniques to solve hierarchical production planning problems, *Management Sciences*, 28, 260-275.

Lee, H. L. and Rosenblatt, M. J. (1986), A Generalized quantity Discount Pricing Model to increase supplier's profits, *Management Sciences*, 32(9), 1177-1185.

Monahan, J. P. (1984), A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vendor Profits, *Management Sciences*, 30(6), 720-726.

Peterson, R. and Silver, E. A. (1979), *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, Wiley, New York.

Roux, W., Dauzere-Peres, S. and Lasserre, J. B. (1999), Planning & Scheduling In A Multi-site Environment, *Production Planning & Control*, 10(1), 19-28.

Ruefli, T. W. (1971), A generalized goal decomposition model, *Management Science*, 17(8), 505-518.

Shepherd, J. and Lapide, L. (1999), Supply Chain Planning Optimization: Just the facts, *Achieving Supply Chain Excellence Through Technology*, edited by David L. Anderson, Montgomery Research, Inc.

Vidal, C. J. and Goetschalckx, M. (1997), Strategic production-distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models, *European Journal of Operational Research*, 98, 1-18.

Vollmann, T. E., Berry, W. L. and Whyback, D. C. (1998), *Manufacturing Planning and Control Systems*, Irwin/McGraw-Hill, New York.

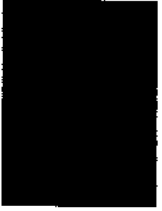
Williams, J. F. (1981), Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures: Theory and empirical comparisons, *Management Sciences*, 27, 336-352.



고도성
서울대학교 산업공학과 학사
서울대학교 산업공학과 석사
현재: (주)솔루션홀딩스 이사.



장양자
서울대학교 지구과학교육과 학사
서울산업대학교 정보산업학과 석사
현재: 서울대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 생산계획 및 일정계획



양영철
서울대학교 산업공학과 학사
현재: 서울대학교 산업공학과 제조통합자동
화 전공
관심분야: 데이터베이스



박진우
서울대학교 산업공학과 학사
KAIST 산업공학과 석사
미국 UC Berkeley 산업공학과 박사
현재: 서울대학교 산업공학과 부교수
관심분야: 제조시스템공학, ERP/MRP, FMS/
CIM, 시뮬레이션/일정계획