韓國經營科學會誌
第32권 第1號
2007年　3月

공급체인에 있어서 이차원천과 재고의 통합적 통제에 관한 연구*

김 성 철**

An Integrated Control Problem of Secondary Sourcing and Inventory in A Supply Chain*

Sung Chul Kim**

■ Abstract ■

We consider a supply chain where products are shipped to warehouse from manufacturing system to customers. Products are supplied from either in-house regular manufacturing or the secondary source such as subcontractor. The inventory in warehouse is controlled by base-stock policy, that is, whenever a demand arrives from customer, an order is released to the manufacturing system. Unsatisfied demand is backlogged. The manufacturing system is modeled as $M/M/s+1/c$ queueing system, and the orders exceeding the given limit c are blocked and lost. The steady state distribution of the outstanding orders and the throughput of the manufacturing system are functions of the level of engagement in the secondary source. There is a profit obtained from throughput and cost not only due to the engagement of the secondary source in the manufacturing system but also inventory positions. We want to maximize the total production profit minus the total cost of the production system by simultaneously determining the optimal level of engagement of the secondary source and the optimal base-stock level of the inventory. We develop two algorithms : one without guarantee of the optimal solution but with the small number of computations, the other optimal but with more computations.

Keyword : Dual Sourcing, Supply Chain, Queueing System, Base-Stock Policy

논문접수일 : 2006년 08월 31일　논문게재확정일 : 2007년 01월 22일
* 본 연구는 2006학년도 덕성여자대학교 연구비 지원으로 이루어졌음.
** 덕성여자대학교 경영학과

1. 서 론

본 논문에서는 두 원천(double sourcing)을 갖는 공급체인(supply chain)의 설계에 관한 문제를 다룬다. 기업은 기본적으로 기업내부의 제조시스템을 통하여 생산능력을 직접 활용하여 제품을 생산한다. 그러나 기업은 필요에 의하여 더 많은 비용이 소요되는 하청(subcontracting)을 의뢰하는 이차적인(secondary) 원천을 통하여 수요를 만족시키기도 한다. 이러한 경우 어떻게 이러한 이차적인 원천을 적용할 것인가 하는 문제는 기업의 의사결정에 있어서 매우 중요한 문제가 된다.

기업이 내부의 제조시스템을 이용하는 것과 시장에 의뢰하는 것은 서로 경쟁관계에 있는 상호보완적인 대체 안이 되어 왔으며 기업은 어떠한 활동을 얼마만큼을 내부화(insourcing)하고 얼마만큼을 시장에 의존하여야(outsourcing) 할 것인가 결정하여야 한다. 그러므로 기업은 이의 상대적 거래비용에 의하여 내부화하여 제품을 직접 생산하기도 하고 또는 시장을 선택하여 외부로부터 구입하기도 하며 궁극적으로 이익의 최대화를 추구한다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 이중원천을 동시에 고려하는 생산재고시스템에 있어서 이차원천에 의한 생산과 재고를 고려하여 공급체인을 설계하는 문제를 다룬다.

고려되는 공급체인은 상위단계는 제조시스템, 중간단계는 창고(유통센타), 그리고 하위단계는 시장의 세 단계로 구성된다. 제조시스템은 적절한 시기에 적절한 양만큼의 제품을 생산하여 창고에 공급하고 창고는 시장에서의 고객의 수요를 적절히 만족시킬 수 있는 재고정책을 수행하도록 공급체인 전체가 통합적으로 관리되어야 한다. 그러므로 주어진 문제는 공급체인에서 공급과 수요를 고려하여 공급체인 전체로서의 통합적인 최적화를 추구하고자 한다.

창고에서의 재고정책은 기초재고정책(base-stock policy)에 의한다. 시장에서 수요가 발생하면 창고는 수요를 만족시킴과 동시에 제조시스템에 제품을 주문하며 재고가 고갈된 경우에 발생한 수요는 추후납품(backlogging)된다. 그러므로 제조시스템에 요구되는 주문량은 창고에서의 기초재고수준과 재고량의 차가 되며 제조시스템에의 주문량이 설정된 한계에 다다르면 수요는 봉쇄(blocking)되어 받아들여지지 못하고 사라지게 된다. 제조시스템은 주원천인 내부화된 생산과 이차원천인 하청을 병행하여 수행하여 확률적 수요에 대처한다. 이차원천을 적절히 통제하기 위하여 제조시스템은 이차원천을 도입하기 위한 기준을 설정하고 설정된 기준에 의하여 이차원천을 활용하며 이차원천의 활용은 이에 수반되는 추가적인 비용이 소요된다.

그러므로 본 논문에서 추구하는 최적화 문제를 부연 설명하면 제조시스템에서 이차원천을 활용하기 위한 비용이 소요되고 확보된 이차원천의 함수로서 산출되는 생산율(throughput)과 이에 따른 수익(revenue)이 발생하며 창고에서는 시장의 수요에 부응하기 위하여 재고를 유지하며 이에 따른 재고관련비용이 존재한다. 그러므로 본 논문에서는 수익과 비용을 통합적으로 고려하여 이익(profit)함수를 정의하고 이를 통합적으로 최대화시킬 수 있도록 제조시스템에서 이차원천을 도입하는 기준과 창고에서의 기초재고수준을 결정하고자 한다.

하청이 이차원천으로서 제조시스템의 분석에 적용되는 예는 다양하다. 그 중에서도 예를 들어 Gorden [9]은 하청이 수요의 변동성에 대응하는 기업의 제조능력의 완충물(buffer)임을 보이고 중요한 이차원천으로서 증대되는 중요성을 강조하였다. Dallarert and Melo[6]는 마감시간이 주어진 고객의 주문을 최소의 비용으로 만족시키기 위하여 잔업(overtime)(이차원천은 잔업에도 동일하게 적용될 수 있음)을 함께 활용하여 추계적(stochastic) 로트크기를 결정하는 문제를 다루었다. Duenyas et al.[7]은 수요와 생산의 변이성이 존재하는 JIT 제조시스템에서 잔업이나 하청에 의한 이차원천을 도입하여 목표재고수준을 설정하는 재고정책을 다루었다. Crabill[5]과 Bradley[2]는 본 논문과 가정 관련이 있는 논문으로 Crabill[5]은 제조시스템을 복수의 서비스율을 갖는 $M/M/1$ 대기시스템으로 모형화하고 대기길이와 서

비스율의 함수로 표시되는 비용함수를 최소화하도록 서비스율을 통제하는 정책을 제시하였다. Bradley [2]는 제조시스템과 재고시스템을 통합적으로 고려하여 제조시스템은 $M/M/1$ 대기시스템으로 모형화하고 재고시스템의 재고정책은 기초재고시스템을 적용하였다. 이중원천을 가질 때 최적 기초재고수준을 제시하고 이차원천의 생산율과 제조시스템의 생산율 및 수행도와의 관계, 재고유무에 기준한 이차원천의 도입시점과 수행도와의 관계 등 시스템의 설계에 참고가 되는 추가적인 내용을 제시하였다. 본 논문에서는 제조시스템을 $M/M/s/c$ 대기시스템으로 모형화하고 주어진 공급체인에 있어서 제조시스템에서의 이차원천 활용정책, 창고에서의 기초재고정책, 그리고 이에 따른 수익과 비용을 동시에 고려하여 공급체인 전체로서의 통합적인 최적 통제정책을 결정하는 최적화 문제를 통하여 좀 더 현실성 있는 접근을 제시한다.

본 논문에서와 같이 시장, 창고, 제조시스템의 세 단계로 구성된 공급체인에 있어서 이의 설계와 수행도(performance measure)와의 관계에 대한 많은 연구가 수행되었다. 그들 중 특히 Zheng and Zipkin [16]은 시장이 서로 다른 두 종류의 수요로 구성되고 창고는 기초재고정책을 적용하는 경우 제조시스템에서의 서비스규칙(service discipline)이 FCFS(first-come-first-served)인 경우와 LQ(longest queue)인 경우의 수행도를 비교하였다. Iyer and Jain[10]도 시장이 두 종류의 수요로 구성되고 창고가 기초재고정책을 적용하는 경우 제조시스템의 제조능력을 수요에 대응하여 둘로 분산하는 경우와 하나로 통합(pooled)하는 경우에 있어서 수요의 변이성(variability)과 수행도의 관계를 제시하였다. Rubio and Wein[14]은 제조시스템이 승법형 해(product-form)를 갖는 개방대기네트워크(open queueing network)로 모형화될 때 창고의 최적 기초재고수준에 대하여 제시하였다. 이러한 세 단계의 공급체인은 e-procurement와 e-commerce를 통합하는 e-collaboration의 좋은 예로도 제시되고 있다[11].

기초재고정책은 기존의 문헌이나 실제에 있어서도 다양하게 적용되어 왔으며 이의 유용성은 깊게 인식되고 있다. 예를 들어 Clark and Scarf[4], Sobel [15], 그리고 Chen and Zheng[3] 등 다양한 문헌들은 일반적인 상황에서 또는 좀 더 특수한 상황에서 기초재고정책이 최적임을 보이고 있다. 최근의 예로서도 Benjaafar et al.[1], Bradley[2] 등 다양한 문헌을 들 수 있다.

제 2장에서는 주어진 생산재고시스템의 상태확률이 정의되고 생산재고시스템의 통합적 수행도 측정치로서 총 기대이익을 최대화하도록 비선형(nonlinear) 정수계획문제(integer programming problem)가 모형화된다. 제 3장에서는 제조시스템이 독립적으로 고려되어 수행도의 일계특성과 이계특성이 도출되고 이를 기초하여 이차원천의 최적 활용정책이 검토된다. 제 4장에서는 재고문제가 독립적으로 다루어지며 이차원천의 활용과 결부되어 최적 기초재고수준이 유도되며 이의 기본이 되는 수행도의 일계특성과 이계특성이 도출된다. 제 5장에서는 제 3장과 제 4장의 결과에 기초하여 전체로서 제조시스템과 재고가 함께 고려되어 최적화를 추구하는 알고리즘이 두 가지로 제시된다. 이 중 단계적 접근법은 적은 계산을 요하나 최적 해를 보장하지는 못하며 통합적 접근법은 최적 해를 보장하나 단계적 접근법보다는 더 많은 계산이 요구된다. 제 6장에서는 수치적 결과를 제시하고 제 7장에서는 결어로서 마감된다.

2. 모형화

시장에서의 수요는 기대치 λ인 포아송(poisson) 분포로 창고에 도착한다. 재고정책은 기초재고정책에 의하며 시장에서 수요가 발생하면 재고로부터 수요를 충족시키면서 동시에 제조시스템에 주문을 하여 재고량과 주문량의 합은 항상 일정하게 유지된다. 그러므로 B를 기초재고수준이라 하면 이는 $(B, B-1)$ 재고정책으로 표현될 수 있다.

만약 시장에서의 수요가 많아 창고부터 제조시스템에의 주문량이 B를 초과하는 경우에는 창고의 재고량은 0이 되어 재고부족현상이 발생하며 재고

부족으로 만족되지 못한 수요는 추후납품 된다. 제조시스템에의 주문량이 설정된 한계주문량 c를 초과하는 경우에는 창고는 시장으로부터 더 이상의 수요를 받아들이지 못하고 수요는 사라지게 된다 (blocked and lost). 그러므로 x를 제조시스템에 도달한 주문량(outstanding orders)이라 하면 $x \le B$인 경우에는 창고의 재고수준은 $B-x$가 되고 $x > B$인 경우에는 창고의 재고수준은 0이 되고 추후납품량은 $x-B$가 된다. 한계주문량 c를 초과하는 수요는 봉쇄되어 만족되지 못하므로 $x \le c$이며 결과적으로 $B \le c$임을 알 수 있다.

제조시스템은 s개의 서버로 구성되어 있으며 각 서버에서의 서비스시간은 서비스율이 μ인 지수(exponential) 분포에 의한다. 이차 원천의 서비스율도 포아송 분포를 가지며 서비스율은 β이며 제조시스템에 도달한 주문량 x가 설정된 주문량 $b(b \le c)$에 도달하면 이차원천은 도입되어 활용되기 시작한다. 이차 원천이 활용되면 주문은 제조시스템과 이차원천에서 동시에 수행되며 이 경우의 제조시스템의 서비스율이 예를 들어 $k\mu$, $1 \le k \le s$라 하면 이차원천의 서비스율 β를 더하여 총 서비스율은 $k\mu+\beta$가 된다. 그러므로 주어진 제조시스템은 $M/M/s+1/c$ 대기시스템(queueing system)으로 모형화 될 수 있으며 s는 서버의 수, 1은 이차원천, 그리고 한계주문량 $c(s \le c)$는 대기용량의 의미를 갖는다.

이제 제조시스템의 수행도와 관련하여 $\rho_0 = 1$, $\rho_k = \lambda/k\mu$, $\rho_{k,\beta} = \lambda/(k\mu+\beta)$, $k=1,\cdots,s$라고 정의하자. 그러므로 예를 들어 $\rho_1 = \lambda/\mu$이며 특히 ρ_1은 제조시스템에 제공된 부하(offered load) 즉 부여된 일의 양의 의미를 갖는다. $\rho_k = \rho_1/k$으로 ρ_k와 ρ_1/k는 상호 구분 없이 사용될 수 있다.

제조시스템의 상태확률(state probability)을 $p_b(x)$, $x=0,\cdots,c$라고 정의하자. 이는 서버의 수가 s, 한계주문량이 c인 제조시스템에 있어서 이차원천이 도입되는 주문량이 b라고 할 때 이차원천이 도입되는 주문량 b의 함수로서 제조시스템에서의 주문량이 x, $x=0,\cdots,c$일 확률을 말한다. 상태확률 $p_b(x)$, $x=0,\cdots,c$는 다음과 같이 정의될 수 있다.

먼저 $b \le s-1$인 경우에는 다음이 성립한다.

$$p_b(x) = \begin{cases} \dfrac{\prod_{k=0}^{x} \rho_k}{D(b)}, & x \le b-1, \\[2ex] \dfrac{(\prod_{k=0}^{b-1} \rho_k)(\prod_{k=b}^{x} \rho_{k,\beta})}{D(b)}, & b \le x \le s-1, \\[2ex] \dfrac{(\prod_{k=0}^{b-1} \rho_k)(\prod_{k=b}^{s-1} \rho_{k,\beta})\rho_{s,\beta}^{x-(s-1)}}{D(b)}, & x \ge s, \end{cases}$$

여기에서

$$D(b) = \sum_{x=0}^{b-1}(\prod_{k=0}^{x} \rho_k) + (\prod_{k=0}^{b-1} \rho_k)\sum_{x=b}^{s-1}(\prod_{k=b}^{x} \rho_{k,\beta}) + (\prod_{k=0}^{b-1} \rho_k)(\prod_{k=b}^{s-1} \rho_{k,\beta})\sum_{x=s}^{c} \rho_{s,\beta}^{x-(s-1)}. \tag{2.1}$$

이제 $b \ge s$인 경우에는 다음이 성립한다.

$$p_b(x) = \begin{cases} \dfrac{\prod_{k=0}^{x} \rho_k}{E(b)}, & x \le s-1, \\[2ex] \dfrac{(\prod_{k=0}^{s-1} \rho_k)\rho_s^{x-(s-1)}}{E(b)}, & s \le x \le b-1, \\[2ex] \dfrac{(\prod_{k=0}^{s-1} \rho_k)\rho_s^{(b-1)-(s-1)}\rho_{s,\beta}^{x-(b-1)}}{E(b)}, & b \le x, \end{cases}$$

이며 여기에서

$$E(b) = \sum_{x=0}^{s-1}(\prod_{k=0}^{x} \rho_k) + (\prod_{k=0}^{s-1} \rho_k)\sum_{x=s}^{b-1} \rho_s^{x-(s-1)} + (\prod_{k=0}^{s-1} \rho_k)\rho_s^{b-s}\sum_{x=b}^{c} \rho_{s,\beta}^{x-(b-1)}. \tag{2.2}$$

식 (2.1)과 식 (2.2)로 주어지는 제조시스템의 상태확률 $p_b(x)$, $x=0,\cdots,c$는 주어진 마코브과정(markov process)의 역류성(reversibility)에 의하여 이는 상세균형방정식(detailed balance equation)을 만족시키고 상태공간(state space)을 절단가능(truncated)케 함으로써 쉽게 유도될 수 있다[12].

실제 적용에 있어서 기업은 제조시스템에 여분의 제조능력이 있는 경우에는 더 비싼 이차원천을 이

용하는 것보다는 여분의 제조능력을 활용하여 비용을 줄이고 제조시스템의 효율성을 높이고자 할 것이다. 그러므로 제조시스템의 제조능력에 여유가 있는 경우에는 이차원천을 활용하지 않는 것이 현실적이며 결과적으로 $b \le s-1$인 경우는 고려하지 않기로 한다.

이제 서버의 수 s, 한계주문량 c를 갖는 주어진 제조시스템에 있어서 이차원천이 도입되는 주문량 b의 함수로서 제조시스템의 생산율은 $\lambda(1-p_b(c))$로 정식화될 수 있으며 생산율에 대한 수익함수를 $f(\lambda(1-p_b(c)))$라고 정의하자. 수익함수 $f(\cdot)$은 생산율에 대하여 증가하는 오목(concave)함수라고 가정하자. 또한 이차원천의 확보와 관련되는 비용함수를 $g(b)$라고 정의하자. 비용함수 $g(b)$는 하청의 경우에는 제조단가보다 높은 추가적인 하청단가와 관련되는 비용을 잔업의 경우에는 더 높은 제조비용 등을 의미한다. 비용함수 $g(b)$는 주문량 b에 대하여 감소하는 볼록(convex)함수를 가정한다. 이는 주문량 b가 늘어나면 이차원천이 적용이 감소하기 때문이며 이의 볼록성은 더 많이 적용할수록 비용이 증대됨을 의미한다. 여기에서 함수의 오목성이나 볼록성은 엄격하지 않은 (nonstrict)로 사용되어 선형(linear)을 포함하여 적용범위가 넓다. h는 창고에서 단위제품을 단위기간 유지하는 재고유지비용을 π는 단위수요를 단위기간 만족시키지 못한 추후납품비용을 의미한다.

이제 주어진 공급체인에 있어서 의사결정변수인 이차원천이 도입되는 주문량 b와 기초재고수준 B에 의하여 정의되는 총 기대이익함수를 $\Phi(b,B)$라고 정의하자. 총 기대이익함수 $\Phi(b,B)$는 주어진 공급체인의 통합적인 수행도 측정치로서 이를 최대화하는 최적화문제는 다음과 같은 비선형 정수계획문제로 정식화될 수 있다.

$$Max.\Phi(b,B)_{\substack{s\le b\le c\\ 1\le B\le c}} = f(\lambda(1-p_b(c))) - g(b) - [h\sum_{x=0}^{B}(B-x)p_b(x) + \pi\sum_{x=B+1}^{c}(x-B)p_b(x)]. \quad (2.3)$$

식 (2.3)의 첫 줄은 제조시스템의 이익함수로 이차원천이 도입되는 주문량 b의 함수로서 수익함수와 비용함수의 차로 표시되는 이익함수를 정식화한 것이다. 둘째 줄은 재고에 의한 비용함수로서 제조시스템에서의 이차원천이 도입되는 주문량 b가 주어졌을 때 창고에서의 기초재고수준 B의 함수로서 재고관련비용을 정식화한 것으로 재고유지비용과 추후납품비용의 합으로 표시된다.

주어진 최적화 문제와 관련하여 주어진 설계모수(design parameter)와 관련하여 목적함수의 일계특성(first order property)와 이계특성(second order property)을 도출하는 일은 매우 중요한 일이다. 이러한 특성들은 해의 공간을 현저히 감소시키고 최적화의 과정을 용이하게 하여 매우 유용한 결과를 제시한다. 그러므로 주어진 최적화 문제의 특성은 주어진 설계모수에 대한 수익함수와 비용함수의 일계특성과 이계특성을 판명하는 일이라 할 수 있다.

3. 제조시스템의 특성

본 장에서는 제조시스템을 독자적으로 보고 제조시스템에 있어서 이차원천이 도입되는 최적 주문량 b^*를 구하는 문제를 다룬다. 이를 위하여 제조시스템에서 주문량 b의 함수로 표시되는 이익함수를 다음과 같이 정의한다.

$$\Psi(b) = f(\lambda(1-p_b(c))) - g(b). \quad (3.1)$$

그러므로 이익함수 $\Psi(b)$를 최대화 시키는 최적화 문제에 있어서 만약 한계주문량 c에서의 상태확률 $p_b(c)$가 이차원천이 도입되는 주문량 b에 대하여 증가하는 볼록함수이면 제조시스템의 생산율 $\lambda(1-p_b(c))$은 감소하는 오목함수이며 수익함수 $f(\cdot)$가 생산율에 대하여 증가하는 오목함수이므로 이익함수 $f(\lambda(1-p_b(c)))$는 주문량 b에 대하여 감소하는 오목함수가 된다. 이차원천 확보비용 함수 $g(b)$가 이차원천이 도입되는 주문량 b에 대하여 감소하는 볼록함수이므로 이익함수 $\Psi(b)$는 오목함수가 되어 제조시스템에 있어서 이차원천이 도입되는 주문량 b를 산정하는 최적화 문제는 Fox[8]의 한계분석법(marginal analysis)을 이용하여 쉽게 해결될 수 있다.

그러므로 이익함수 $\Psi(b)$을 최대화 시키는 최적 주문량 b^*를 결정하는데 도움이 되는 다음의 일계특성과 이계특성을 제시한다.

정리 1. 한계주문량 c에서의 상태확률 $p_b(c)$는 이차원천이 도입되는 주문량 b, $b=s,\cdots,c$에 대하여 증가함수이다.

증명 : $\nabla_b(c)=p_b(c)-p_{b-1}(c)$라고 정의하면 $\nabla_b(c)$는 다음과 같다.

$$\nabla_b(c)=\frac{(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\rho_s^{b-1-s}\rho_{s,\beta}^{c+1-b}}{E(b-1)E(b)}\times(\rho_s-\rho_{s,\beta})$$
$$\times\{\sum_{x=0}^{s-1}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s}^{b-2}\rho_s^{x+1-s}\}\geq 0. \quad (3.2)$$

정리 2. 한계주문량 c에서의 상태확률 $p_b(c)$는 이차원천이 도입되는 주문량 b, $b=s,\cdots,c$에 대하여 볼록함수이다.

증명 : 상태확률 $p_b(c)$의 b에 대한 볼록성은 $\nabla_{b+1}(c)-\nabla_b(c)\geq 0$을 보임으로써 증명될 수 있다. 식 (3.2)로부터 다음이 성립한다.

$$\nabla_{b+1}(c)-\nabla_b(c)=\frac{(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\rho_s^{b-1-s}\rho_{s,\beta}^{c-b}}{E(b-1)E(b)E(b+1)}$$
$$\times(\rho_s-\rho_{s,\beta})\times(A-B),$$

여기에서

$$A=\rho_s[\sum_{x=0}^{s-1}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s}^{b-1}\rho_s^{x+1-s}]\times E(b-1)$$
$$B=\rho_{s,\beta}[\sum_{x=0}^{s-1}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s}^{b-2}\rho_s^{x+1-s}]\times E(b+1). \quad (3.3)$$

얼마간의 수치적 전개 후에 $A-B$는 다음과 같이 정리될 수 있다. 이를 위하여 새로이 $\rho_{k,1}=\lambda/(k+1)\mu$을 정의한다.

$$A-B=\rho_1\{[\sum_{x=0}^{s-2}(\prod_{k=0}^{x}\rho_{k,1})+(\prod_{k=0}^{s-2}\rho_{k,1})\sum_{x=s-1}^{b-2}\rho_s^{x+2-s}]$$
$$\times[\rho_s\sum_{x=0}^{s-1}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s}^{b-2}\rho_s^{x+2-s}$$
$$+(\prod_{k=}^{s-1}\rho_k)\rho_s^{b-s}\sum_{x=b-1}^{c-1}\rho_{s,\beta}^{x+2-b}]-[\sum_{x=0}^{s-1}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)$$
$$+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s}^{b-2}\rho_s^{x+1-s}]\times[\rho_{s,\beta}\sum_{x=0}^{s-2}(\prod_{k=0}^{x}\rho_{k,1})$$
$$+(\prod_{k=0}^{s-2}\rho_{k,1})\rho_{s,\beta}\sum_{x=s-1}^{b-1}\rho_s^{x+2-s}$$
$$+(\prod_{k=0}^{s-2}\rho_{k,1})\rho_s^{b+1-s}\sum_{x=b}^{c-1}\rho_{s,\beta}^{x+2-b}]\}$$
$$+(\rho_s-\rho_{s,\beta})[\sum_{x=0}^{s-1}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s}^{b-2}\rho_s^{x+1-s}]$$
$$+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\rho_s^{b-s}\sum_{x=b-1}^{c}\rho_{s,\beta}^{x+2-b}$$
$$+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\rho_s^{b-s}\rho_{s,\beta}^{c+2-b}[\sum_{x=0}^{s-1}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)$$
$$+(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s}^{b-1}\rho_s^{x+1-s}]. \quad (3.4)$$

식 (3.4)에서 {•}안의 식을 제외한 나머지 식은 쉽게 ≥ 0을 만족시킴을 알 수 있다. {•}안의 식은 −부호를 기준으로 항과 항을 하나씩 순차적으로 비교함으로서 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$(\rho_s-\rho_{s,\beta})\sum_{x=0}^{s-2}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)\sum_{x=0}^{s-2}(\prod_{k=0}^{x}\rho_{k,1})$$
$$+(\prod_{k=0}^{s-2}\rho_{k,1})\rho_s^{b-s}\sum_{x=b-1}^{c-1}\rho_{s,\beta}^{x+2-b}\sum_{x=0}^{s-2}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)(\rho_{x,1}-\rho_s)$$
$$+(\rho_s-\rho_{s,\beta})(\prod_{k=0}^{s-2}\rho_{k,1})(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s-1}^{b-2}\rho_s^{x+2-s}$$
$$+(\rho_s-\rho_{s,\beta})(\prod_{k=0}^{s-2}\rho_{k,1})(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=s}^{b-2}\rho_s^{x+1-s}\sum_{x=s-1}^{b-2}\rho_s^{x+2-s}$$
$$+(\rho_s-\rho_{s,\beta})\sum_{x=s-1}^{b-2}\rho_s^{x+1-s}\{(\prod_{k=0}^{s-1}\rho_k)\sum_{x=0}^{s-2}(\prod_{k=0}^{x}\rho_{k,1})$$
$$+\rho_s(\prod_{k=0}^{s-2}\rho_{k,1})\sum_{x=0}^{s-2}(\prod_{k=0}^{x}\rho_k)\}\geq 0. \quad (3.5)$$

식 (3.5)의 첫 번째 항은 {•}안의 앞에서 곱해지는 [•]부분의 0에서 s-2까지 식과 뒤에서 곱해지는 [•]부분의 0부터 s-2까지의 식을 정리한 것이다. 두 번째 항은 앞에 오는 {•}부분의 식의 0부터 s-2

와 뒤에 오는 [•]부분의 식의 b-1부터 c-1까지를, 세 번째 항은 앞의 s-1과 뒤의 s-1에서 b-2까지를, 네 번째 항은 앞의 s에서 b-2까지와 뒤의 s-1에서 b-2까지를 비교한 것이다. 다섯 번째 항은 앞과 뒤에 오는 [•]부분의 식을 0부터 s-2와 s-1부터 b-2 부분을 함께 비교한 것이다. 그리고 나머지 항들은 상호 상쇄되어 0이 되었다. 그러므로 한계주문량 c에서의 상태확률 $p_b(c)$는 이차원천이 도입되는 주문량 b, $b=s,\cdots,c$에 대하여 볼록함수임을 알 수 있다.

한계주문량 c에서의 상태확률 $p_b(c)$는 이차원천이 도입되는 주문량 b, $b=s,\cdots,c$에 대하여 증가하는 볼록함수이므로 제조시스템의 생산율 $\lambda(1-p_b(c))$는 이차원천이 도입되는 주문량 b에 대하여 감소하는 오목함수가 된다. 이제 수익함수 $f(\cdot)$가 생산율에 대하여 증가하는 오목함수이므로 $f(\lambda(1-p_b(c)))$는 b에 대하여 감소하는 오목함수가 되며 이차원천 확보비용 함수 $g(b)$가 주문량 b에 대하여 감소하는 볼록함수이므로 이익함수 $\Psi(b)$은 b에 대하여 오목함수가 된다. 그러므로 제조시스템을 독립적으로 보면 이차원천이 도입되는 주문량의 함수로 표시되는 이익함수 $\Psi(b)$를 최대화 시키는 최적화문제는 한계분석법을 적용하여 쉽게 해결될 수 있다.

4. 재고의 특성

본장에서는 제조시스템에서 이차원천이 도입되는 최적 주문량 b가 주어져 있을 때 그 창고에서의 최적 기초재고수준을 결정하는 문제를 다루기로 한다. 주문량 b가 주어지면 상태확률 $p_b(x)$, $x=0,\cdots,c$가 산정되며 산정된 상태확률 $p_b(x)$에 의하여 재고관련비용을 최소화하는 최적 기초재고수준을 결정하는 문제이다. 창고의 최적화 문제에 있어서도 기초재고수준 B에 대한 재고관련비용함수의 이계특성(second order property)을 파악할 수 있다면 주어진 문제 또한 Fox[8]의 한계분석법을 적용 쉽게 해결될 수 있을 것이다.

이를 위하여 다음을 정의한다.

$$\theta_b(B)=h\sum_{x=0}^{B}(B-x)p_b(x)+\pi\sum_{x=B+1}^{c}(x-B)p_b(x). \quad (4.1)$$

이제 $\nabla(B)=\theta_b(B+1)-\theta_b(B)$라고 하면 재고관련비용함수 $\theta_b(B)$에 대하여 다음이 성립한다.

$$\nabla(B)-\nabla(B-1)=(h+\pi)p_b(B)\geq 0. \quad (4.2)$$

그러므로 이차원천이 도입되는 주문량 b가 주어졌을 때 재고관련비용함수 $\theta(B\mid b)$는 기초재고수준 B에 대하여 볼록함수임을 알 수 있으며 제조시스템에서와 같이 한계분석법을 적용하여 쉽게 최적해를 구할 수 있다.

이를 좀 더 설명하면 $\nabla(B)\leq 0$을 만족시키는 가장 작은 B가 주어진 주문량 b에 있어서 최적 기초재고수준 B_b가 된다. $\nabla(B)=hP_b(B)-\pi(1-P_b(B))$이므로 최적 기초재고수준 B_b는 다음을 만족시키는 가장 작은 B로 산정된다. 여기에서 $P_b(B)$는 상태가 B이하의 확률 즉 상태확률 $p_b(x)$의 $x=0$에서 B까지의 누적확률(cumulative probability)을 의미한다.

$$\frac{\pi}{h+\pi}\leq P_b(B). \quad (4.3)$$

이제 이산적(discrete) 변수 B를 연속적(continuous) 변수로 보고 주문량 b에서의 최적 기초재고수준을 B_b라 하면 $B_b\geq s$인 경우에는 $\frac{\pi}{h+\pi}=\sum_{x=B}^{c}p_x(b)$임을 이용하여 주문량 b에서의 최적 기초재고수준 B_b의 고정형(closed-form) 해를 구할 수 있다. $B<s$인 경우에는 고정형 해가 존재하지 않으므로 식 (2.7)을 적용한다. $s\leq B_b\leq b-1$인 경우와 $b\leq B_b$인 경우로 구분한다. 먼저 $s\leq B_b\leq b-1$인 경우는 $P_b(s-1)<\pi/(h+\pi)\leq P_b(b-1)$에 의하며 얼마간의 수치적 전개 후에 최적 기초재고수준 B_b의 고정형 해는 다음과 같이 구해진다.

$$B_b=ln\{E(b)\times(\frac{h}{h+\pi})\times\frac{(s-1)!(1-\rho_s)}{s^{s+1}}+\rho_s^b$$
$$+\frac{\rho_s^{b-1}(1-\rho_s)\rho_{s,\beta}(1-\rho_{s,\beta}^{c-b+1})}{s^2(1-\rho_{s,\beta})}\}/\ln\rho_s. \quad (4.4)$$

이제 $b \le B_b$인 경우는 $P_b(b-1) < \pi/(h+\pi)$에 의하며 이 경우의 최적 기초재고수준 B_b의 고정형 해는 다음과 같다.

$$B_b = ln\ \{E(b) \times (\frac{h}{h+\pi}) \times \frac{(1-\rho_{s,\beta})\rho_{s,\beta}^{b-1}}{\prod_{k=0}^{s-1} \rho_k \times \rho_s^{b-s}} + \rho_{s,\beta}^{c+1}\} / \ln \rho_s. \tag{4.5}$$

만약 식 (4.4)와 식 (4.5)의 최적기초재고수준 B_b가 정수가 아닌 경우에는 얻어진 B_b 보다 큰 가장 작은 정수가 고정형 해가 된다.

5. 공급체인의 통합적 최적화 절차

공급체인 관리는 제조회사, 창고, 시장 개개의 구성요소뿐만이 아니라 공급체인 전체로서 효율성을 최대화하는데 그 목적이 있다. 이는 21세기의 경쟁우위는 기업과 기업 간의 경쟁력의 차이가 아니고 공급체인과 공급체인간의 경쟁력의 차이에 의하여 결정된다는 점에서도 매우 중요한 문제이다.

불행하게도 식 (2.3)으로 제시되는 목적함수 총기대이익 $\Phi(b, B)$는 이차원천이 도입되는 주문량 b와 기초재고수준 B에 대하여 공동의(joint) 오목성을 만족시키지 못한다. 그러나 제조시스템에서의 이익함수 $\Psi(b)$가 오목함수이므로 만약 주문량 b에 대하여 최적 기초재고수준 B_b에서의 재고관련 비용 $\theta_b(B_b)$가 감소하는 볼록함수를 만족시킨다면 주어진 공급체인 전체로서의 최적화 절차는 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} \Phi(b^*, B^*) &= Max._{s \le b \le \min(c,d)}\, \Phi(b, B_b) \\ &= Max._{s \le b \le \min(c,d)} \{\Psi(b) - \theta_b(B_b)\}. \end{aligned} \tag{5.1}$$

여기에서 d는 처음으로 $\theta_b(B_b) - \theta_{b+1}(B_{b+1}) \le \Psi(b) - \Psi(b+1)$인 b이다. 만약 주문량이 d보다 커지면 주문량 b가 증가할수록 수익함수 $\Psi(b)$는 이의 오목성에 의하여 더 많이 감소하며 재고관련비용 $\theta_b(B_b)$는 더 적게 감소하게 되어 $-\theta_b(B_b)$는 더 적게 증가하게 되며 결과적으로 이익함수 $\Phi(b, B_b)$가 감소하기 때문이다.

그러나 주문량 b에 대하여 최적 재고관련비용 $\theta_b(B_b)$는 감소하는 볼록성(증가하는 오목성)을 만족시키지 못한다. 먼저 주문량 b의 증가는 상태확률 $p_b(x)$, $x = 0, \cdots, c$의 변화를 가져온다. 상태 $x = 0$에서는 주문량 b가 증가하면 상태확률 $p_b(0)$은 감소하며($p_{b+1}(0) \le p_b(0)$) 상태 x가 증가할수록 그 감소성을 줄어들다 어느 상태에서부터 상태확률 $p_b(x)$는 주문량 b가 증가하면 증가하기 시작하여 상태 $x = c$에서 가장 많이 증가한다($p_{b+1}(c) \ge p_b(c)$). 주문량 b에 대하여 상태확률 $p_b(x)$가 증가하고 감소하는 경계와 상태확률 $p_b(x)$의 감소폭과 증가폭($|p_{b+1}(x) - p_b(x)|$)은 제조시스템의 서비스율 μ, 서버의 수 s, 이차원천의 서비스율 β, 그리고 한계주문량 c에 의하여 다양하게 결정된다.

상태확률 $p_b(x)$의 변화뿐만이 아니라 기초재고수준 B는 함께 재고관련비용 $\theta_b(B)$를 변화시킨다. 주문량 b가 증가하면 기초재고수준 B가 적은 경우에는 재고관련비용 $\theta_b(B)$는 증가하나($\theta_{b+1}(B) \ge \theta_b(B)$) 기초재고수준 B가 증가하면 특정 주문량 b부터는 재고관련비용 $\theta_b(B)$는 주문량 b에 대하여 감소하였다가 증가하고 다시 기초재고수준 B가 더 증가하면 특정 기초재고수준 B부터 재고관련비용 $\theta_b(B)$는 주문량 b에 대하여 감소하게 된다($\theta_{b+1}(B) \le \theta_b(B)$). 기초재고수준 B가 적은 경우에는 추후납품비용이 상대적으로 증대되어 재고관련비용 $\theta_b(B)$가 증대되고 반면에 기초재고수준 B가 큰 경우에는 그 반대가 되어 재고관련비용 $\theta_b(B)$가 감소되기 때문이다. 더불어 그 증가폭이나 감소폭($|\theta_{b+1}(B) - \theta_b(B)|$)이 계속 증대되거나 증대되었다가 감소되기도 한다. 그러므로 상태확률 $p_b(x)$가 변화하는 특정한 상태 x나 재고관련비용 $\theta_b(B)$의 변화를 가져오는 특정한 기초재고수준 B의 고정형 해를 구하는 것은 매우 어려운 문제일 뿐만이 아니라 주문량 b에 대하여 재고관련비용 $\theta_b(B)$는 감소하는 볼록성이나 또는 더불어서 증가하는 오목성 등 이계특성을 전혀 만족시키지 못한다.

실제의 수치적 예들에 의하면 주어진 주문량 b에 대하여 최적 기초재고수준 B_b는 재고관련비용 $\theta_b(B)$

가 주문량 b에 대하여 감소하는 기초재고수준 B의 영역 내에 존재하며 이는 상대적으로 큰 기초재고수준을 유지함으로써 추후납품비용을 줄이려는 당연한 결과로 생각된다. 이와 마찬가지로 주문량 b에 대한 최적 기초재고수준 B_b에 대한 재고관련비용 $\theta_b(B_b)$도 주문량 b에 대하여 감소하는 볼록성을 만족시키지 못한다. 그러므로 식 (5.1)에 의한 최적화 절차는 총 기대이익 $\Phi(b, B)$가 이차원천이 도입되는 주문량 b와 기초재고수준 B에 대하여 공동의(joint) 오목성을 만족시키지 못하는 경우에는 매우 효율적으로 적용될 수 있는 알고리즘임에도 불구하고 이 또한 적용될 수 없음을 알 수 있다.

그러므로 본 장에서는 제 3장과 제 4장에서 다루어진 제조시스템과 창고를 각각 독립적으로 보고 최적 해를 구하는 방법을 기반으로 하여 첫 번째는 공급체인의 개념을 적용하지 않고 제조시스템과 창고가 각각 독립적으로 운영되나 창고는 제조시스템의 정보를 활용하여 최적의 기초재고수준을 단계적으로 설정하는 휴리스틱 접근법을 제시하고 두 번째는 제조시스템과 창고를 통합적 관점에서 하나의 공급체인으로 보고 통합적으로 통제하려고 시도하는 통합적 최적화 접근법을 제시하며 두 가지 최적화 절차를 시도하고 두 접근법의 차이를 비교하고자 한다.

첫 번째 최적화 절차는 전장에서 도출된 결과를 직접 적용하는 방법으로 공급체인의 전체로의 개념을 적용하지 않고 제조시스템은 독립적으로 운영되며 창고는 제조시스템에서 제공되는 정보를 활용하는 지금까지의 일반적인 경우에 있어서 적용가능한 최적의 최적화 방법이다. 이는 제조시스템에서는 수익함수 $f(\lambda(1-p_b(c)))$가 주문량 b에 대하여 감소하는 오목함수이며 비용함수 $g(b)$가 감소하는 볼록함수이므로 이익함수 $\Psi(b)$는 오목함수임을 이용하여 이에 준하여 한계분석법으로 제조시스템의 이익함수 $\Psi(b)$를 최대로 하는 이차원천을 도입하는 최적 주문량 b^*를 구하고 주어진 최적 주문량 b^*에 의하여 얻어지는 상태확률 $p_b(x)$, $x=0,\cdots,c$를 활용하여 창고에서는 재고관련비용함수 $\theta_{b*}(B)$를 최소화하는 최적 기초재고수준 B_{b*}를 구하는 방법이다. 주어진 접근법은 매우 간편하게 접근할 수 있는 방법으로 이를 단계적 접근법이라 하자.

이미 언급된 바와 같이 만약 목적함수 총 기대이익 $\Phi(b, B)$가 이차원천이 도입되는 주문량 b와 기초재고수준 B에 대하여 공동의(joint) 오목성을 만족시키면 주문량 b와 기초재고수준 B에 대하여 한계분석법을 적용하는 주어진 단계적 접근법은 최적해를 보장한다. 그러나 목적함수 $\Phi(b, B)$는 주문량 b와 기초재고수준 B에 대하여 공동의 오목성을 만족시키지 못하며 주어진 단계적 접근법은 최적해를 보장하지 못한다.

그러므로 주어진 공급체인을 통합적으로 보고 최적 해를 구하는 데는 전 장에서 도출된 특성만으로는 한계분석법을 적용할 수 없으며 고려되는 두 번째 최적화 절차는 공급체인을 통합적으로 보고 접근하는 최적화 절차로 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned}\Phi(b^*, B^*) &= Max._{s \le b \le c}\,\Phi(b, B_b) \\ &= Max._{s \le b \le c}\{\Psi(b) - \theta_b(B_b)\}. \qquad (5.2)\end{aligned}$$

이는 이차원천이 도입되는 주문량 b를 서버의 수 s로부터 한계주문량 c까지 한 단위씩 증가시키면서 주문량 b에서의 최적 기초재고수준 B_b를 구하고 이때의 이익함수 $\Phi(b, B_b)$의 값을 구하여 이 중 최대값을 주는 이익함수 $\Phi(b, B_b)$의 주문량과 기초재고수준을 최적 주문량 b^*와 최적 기초재고수준 B_{b*}로 하는 방법을 말한다. 주어진 최적화 절차를 통합적 접근법이라고 부르기로 한다.

만약 공동의 오목성이 만족되어 한계분석법이 적용 가능한 경우에는 이차원천이 도입되는 주문량 b를 한 단위씩 증가시키며 목적함수 $\Phi(b, B_b)$가 처음으로 감소하는 주문량 b에서 알고리즘을 멈추게 되나 식 (5.2)로 주어진 통합적 접근법에서는 한계주문량 c까지 알고리즘이 수행되므로 결과적으로 단계적 분석법과 비교하여 계산의 양이 한계주문량 c까지 증가하나 그 복잡성(complexity)은 선형이 된다. 그러므로 식 (5.2)로 주어지는 통합적 최적화 절차는 식 (5.1)과 단계적 접근법으로 주어지는 최적

화 절차보다는 복잡성이 증대되나 이는 공급체인의 전체로서의 최적화를 위해서는 재고관련비용함수 $\theta_b(B_b)$의 특성에 의하여 필수적으로 요구되는 최적화 절차임을 알 수 있다.

통합적 접근법을 단계적 접근법과 비교하면 만약 제조시스템의 이익함수 $\Psi(b)$를 최대화시키는 최적 주문량 b^*에서 주문량 b가 증가하면 이익함수 $\Psi(b)$의 오목성에 의하여 이익함수 $\Psi(b)$는 감소하고 창고의 재고관련비용 $\theta_b(B_b)$ 또한 감소하며 주문량 b^*를 초과하는 주문량 b에 대하여 만약 창고의 재고관련비용 $\theta_b(B_b)$의 감소폭$(\theta_b(B_b)-\theta_{b+1}(B_{b+1}) \geq 0)$이 제조시스템의 이익함수 $\Psi(b)$의 감소폭$(\Psi(b)-\Psi(b+1) \geq 0)$보다 크면 통합적 접근에서 얻어지는 최적 주문량 b^*는 단계적 접근법의 최적주문량보다 증가하게 된다. 그러나 재고유지비용 h는 기회비용의 성격을 가져 상대적으로 여타의 수익이나 비용에 비하여 그 크기가 작고 또한 생산율 λ에 비하여 창고에서의 재고량은 한계주문량 c로 제한되므로 통합적 접근법과 단계적 접근법에 의한 최적 주문량의 차이는 일반적으로는 그 차이가 제한된다고 할 수 있다.

6. 수치 예

본 장에서는 전장에서 제시된 두 가지 최적화 절차에 대하여 수치적 결과를 제시한다. 단위기간에 있어서 고객의 도착율(λ), 제조시스템의 서버의 서비스율(μ), 이차원천의 서비스율(β), 제조시스템의 서버의 수(s), 한계주문량(c), 생산율에 대한 수익함수, 그리고 창고에서의 단위기간 단위제품의 재고유지비용(h), 단위기간 단위제품의 추후납품비용(π)이 주어지고 생산율에 대한 수익함수는 선형으로 가정하여 단위제품 당 수익을 r이라 하고 이차원천이 도입되는 주문량 b에 대한 비용함수는 다음과 같다.

$$g(b) = C_f + C_v / \sqrt{b}. \qquad (6.1)$$

또는

$$g(b) = C_f + C_v \{c-(b-1)\}, \qquad (6.2)$$

비용함수는 식 (6.1)에서는 선형을 식 (6.2)에서는 엄격한(strict) 볼록성을 가정하여 서로 다른 두 비용함수가 제시되었다.

〈표 1〉 기본자료

번호	λ	μ	s	β	c	r	C_f	C_v	h	π	비용함수
1	15	5	1	2	12	20	100	40	2	3	(6.1)
2	12	3	3	3	15	20	120	40	3	5	(6.1)
3	10	2	3	2	12	20	100	20	.5	1	(6.1)
4	12	3	2	2	15	30	160	30	.5	1	(6.1)
5	15	4	3	2	18	20	200	30	.5	1	(6.1)
6	12	3	1	2	15	30	100	30	.5	1	(6.2)
7	10	2	3	1	10	15	30	2	.5	1	(6.2)
8	15	2	4	3	15	15	80	3	.5	1	(6.2)
9	12	3	2	2	15	30	100	2	.5	1	(6.2)
10	15	2	4	3	15	15	80	62	.5	1	(6.2)
11	10	2	3	1	10	12	30	2	1	2	(6.2)
12	10	2	3	1	10	12	30	3	1	2	(6.2)

<표 2>에 주어진 결과에 의하면 번호 1, 2, 6, 7의 제품에 있어서는 예견했던 바와 같이 단계적 접근법은 통합적 접근법과는 달리 항상 최적 해를 보장하지 못한다. 그럼에도 불구하고 전장에서 설명한 바와 같이 단계적 접근법으로 얻어진 결과는 통합적 결과에 제시된 결과와 매우 근접하여 단계적 접근법 또한 매우 효율적인 근사화 방법으로 활용될 수 있음을 알 수 있다.

$M/M/s/c$ 제조시스템에 있어서 고려되는 이차원천은 제조시스템의 서버와는 달리 서비스율이 변화 가능하여 그 활용에 있어서 훨씬 더 유연한 또 하나의 서버로 고려될 수 있다. 또한 이차원천의 서비스율이 주어져 있다 하더라도 이차원천이 도입되는 주문량을 변화시킴으로서 실제적인 서비스율 또한 조절될 수 있다. 그러므로 실제 적용에 있어서는 제조시스템의 서버의 수와 각 서버의 서비스율이 고정되어 있음에 반하여 이차원천의 서비스율은 그

〈표 2〉 최적해

번호	계층적 접근					통합적 접근				
	제조시스템		창고		이익	제조시스템		창고		이익
	b	이익	B	비용		b	이익	B	비용	
1	8	25.1460	12	1.6921	23.4539	9	25.1342	12	1.6446	23.4896
2	7	85.2872	11	11.8407	73.4465	8	84.8722	11	11.26	73.6123
3	5	46.7978	11	1.2824	45.5154	5	46.7978	11	1.2824	45.5154
4	8	67.7933	15	.933	66.8603	8	67.7933	15	.933	66.8603
5	8	58.807	15	2.3569	56.4501	8	58.807	15	2.3569	56.4501
6	12	42.584	15	.3392	42.2448	13	42.5691	15	.3217	42.2473
7	8	66.336	9	.8634	65.4725	9	66.3058	10	.8147	65.4911
8	12	67.4666	14	.8949	66.5917	12	67.4666	14	.8949	66.5917
9	11	66.4822	15	.8388	65.6434	11	66.4822	15	.8388	65.6434
10	11	70.7678	14	.9551	70.0147	11	70.7678	14	.9551	70.0147
11	9	46.6447	9	1.6294	45.0153	9	46.6447	9	1.6294	45.0153
12	9	65.3058	10	1.6294	63.6764	9	65.3058	10	1.6294	65.6764

자체를 매우 쉽게 조정할 수 있을 것이다. 그러므로 본 논문에서 주어진 효율적인 공급체인의 통제는 매우 유익한 결과를 제시할 것이다.

7. 결 론

본 논문에서는 제조시스템, 창고, 그리고 시장으로 구성된 세 단계 공급체인에 있어서 제조시스템에 있어서의 이차원천의 활용과 창고에서의 기초재고정책을 통합적으로 고려하는 공급체인의 최적화문제를 다루었다. 이를 위하여 제조시스템은 $M/M/s+1/c$ 대기시스템으로 모형화되었고 수익과 비용의 차로 표시되는 이익이 최대화되도록 비선형 정수계획 최적화문제로 정식화하였다. 주어진 최적화문제를 위하여 제조시스템과 창고가 각각 독립적으로 분석되어 수행도의 일계특성과 이계특성이 도출되었으며 독립적인 최적화 절차가 제시되었다. 또한 전체적인 공급체인의 최적화를 위하여 제조시스템과 창고가 통합적으로 고려되었으며 이의 최적화를 위한 단계적 접근법과 통합적 접근법의 두 가지 접근법이 제시되었다. 단계적 접근법은 적은 계산을 요하나 최적 해를 보장하지 못하였으며 통합적 접근법은 실제적으로 아주 적은 계산을 추가함으로써 최적 해를 보장하였다. 두 접근방법 모두 매우 효율적으로 적용될 수 있으며 주어진 결과는 공급체인에 있어서 이차원천을 갖는 공급체인의 통합적인 통제에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Benjaafar, S., M. ElHafsi, and F. de Véricourt, “Demand Allocation in Multiple-product, Make-to-Stock Systems,” *Management Sciece*, Vol.50, No.10(2004), pp.1431-1448.

[2] Bradley, J.R., “Optimal Control of a Dual Service Rate M/M/1 Production Inventory Model,” *European Journal of Operational Research*, Vol.161(2005), pp.812-837.

[3] Chen, F. and Y. Zheng, “Lower Bounds for Multi-echelon Stochastic Inventory Systems,” *Management Science*, Vol.40(1994), pp.1426-1443.

[4] Clark, A. and H. Scarf, “Optimal Bounds for

a Multi-echelon Inventory Problem," *Management Science*, Vol.6(1960), pp.475-490.

[5] Crabill, T.B., "Optimal control of a Service facility with Variable Exponential Service Times and Constant Arrival Rate," *Management Science*, Vol.18(1972), pp.560-566.

[6] Dellaert, N.P. and M.T. Melo, "Make-to-order Policies for a Stochastic Lot-sizing Problem Using Overtime," *International Journal of Production Economics*, Vol. 56(1998), pp.56-57, 79-97.

[7] Duenyas, I., W.J. Hopp, and Y. Bassok, "Production Quota as Bounds on Interplant JIT Contracts," *Management Science*, Vol. 43, No.10(1997), pp.1372-1386.

[8] Fox, B., "Discrete Optimization via Marginal Analysis," *Management Science*, Vol. 13(1969), pp.210-216.

[9] Gordon, P.J., *Contract Manufacturing form a Global Perspective : 1999 Update, Technology Forecasters*, Inc., Alameda, CA, 1999.

[10] Iyer, A.V. and A. Jain, "Modeling the Impact of Merging Capacity in Production-Inventory Systems," *Management Science*, Vol. 50(2004), pp.1082-1094.

[11] Johnson, M.E, and S. Whang, "E-Business and Supply Chain Management : An Overview and Framework," *Production and Operations Management*, Vol. 11(2002), pp.413-423.

[12] Kelly, F.P., *Reversibility and Stochastic Networks*, John Wiley & Sons Ltd., 1979.

[13] Prasad, R., "SMT Vender Selection, Qualification and management," In : Proceedings of the Electronic Manufacturing Services Conference, San Jose, CA, (1995), pp.31-36.

[14] Rubio, R. and L.M. Wein, "Setting Base Stock Levels Using Product-form Queueing Networks," *Management Science*, Vol.42, No.2(1996), pp.259-268.

[15] Sobel, M.J., "Optimal Average Cost Policy for A Queue with Start-up and Shut-down Costs," *Operations Research*, Vol.17(1969), pp.145-162.

[16] Zheng, Y.S. and P. Zipkin, "A Queueing Model to Analyze the Value of Centralized Inventory Information," *Operations Research*, Vol.38(1990), pp.296-307.