Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 27, No. 4, pp. 345-351, December 2001.

구매비용할인을 고려한 다회보충계약

정봉룡 · 김종수[†]

한양대학교 산업공학과

Multiple Replenishment Contract with Purchase Price Discount

Bong Ryong Jung · Jong Soo Kim

Department of Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 425-791

We are concerned with a multiple replenishment contract with a purchase price discount in a supply chain. The chain is composed of one supplier, one buyer and consumers for a product. The replenishment contract is based upon the well-known (s, Q) policy but allows contracting several firmed orders at a time with a price discount.

Due to a larger forecast error of the future demand, the buyer should keep a higher level of safety stock to provide the same level of service of the usual (s, Q) policy but can reduce his purchase cost by placing larger quantity. Thus there exists a trade-off between the price discount and inventory holding cost. We present a model for the contract and an algorithm to find the optimum number of the firmed orders. Computer experiments show that the algorithm finds the global optimum solution very fast.

Keywords: inventory, supply chain, replenishment contract, price discount

1. 서 론

공급사슬(supply chain)에서의 재고관리는 VMI(vendor- managed inventory)와 CRP(continuous replenishment planning) 개념에 기본을 두고 이루어지는 경우가 많다. 즉, 공급자(supplier)가 구매자(buyer)의 실시간 재고를 관찰하고 있다가, 미리 약속한 조건이 충족되면 계약 된 양을 공급해 주는 방식이다. 이는 EDI(electronic data interchange)의 발전에 힘입은 바도 크지만, 기존의 구매자가 주도적 역할을 하는 재고관리방식이 공급사슬에서는 비효율적이라는 사실에 더 많은 영향을 받았다고 할 수 있다. 이와 같이 공급자와 구매자가 재고관리의 임무와 조건을 서로 약속하는 것을 보충계약(replenishment contract)이라고 말하며 공급사슬의 효율성을 결정하는 주요한 요인으로 인식되고 있다.

본 연구에서는 각각 한 명의 공급자와 구매자(예를 들어 컴퓨터 메모리 생산업체와 컴퓨터 생산업체), 그리고 최종 수요자들로 이루어진 공급사슬에서 단일제품을 대상으로 하는 보충계약을 다룬다. 구매자는 해당제품을 공급자로부터 받아서 이를 직접 최종 수요자에게 판매하는 역할을 하는 판매상(retailer)일 수도 있고, 구매제품을 가공하여 최종 소비자에게 판매할 제품을 생산하는 생산자일 수도 있다. 본 연구는 이와 같은 공급사슬에 적합한 보충계약방식을 제안하고, 이를 모형화하여 제안된 보충계약방식의 최적의 관리변수 값을 결정하는 해법을 제시한다.

보충계약이란 개념이 최근에 알려진 관계로 어떤 보충계약이 가장 적절한 것인가 하는 것에 관한 연구도 별로 이루어진 것이 없다. 실제 현장이나 공급사슬용 솔류션에는 주로 정기발주방식, 즉 (R, s, S) 방법에 기본을 둔 VMI가 주로 활용되고 있다. 이에 반하여 제안하는 보충계약은 (s, Q) 정책을 기본으로 하고 있으며, 공급자와 구매자가 미리 n 회의 입고에 해당하는 양을 계약한 후, 구매자의 재고수준이 s 이하로 내려갈 때마다 공급자가 Q 만큼씩을 공급하도록 한다. (이와 같은 재고정책을 다회보충계약, 이때 결정되는 입고횟수를 확정보충횟수라 부르기로 한다.)

공급사슬이 아닌 일반적 재고이론에서는 (s, Q) 정책과

본 연구는 2000년도 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구되었음.
† 연락저자 : 김종수 교수, 425-791 경기도 안산시 한양대학교 안산캠퍼스 산업공학과, Fax : 031-409-2423, e-mail : jskim@mecors.hanyang.ac.kr
2001년 3월 접수, 2001년 7월 게재 확정.

(s, S) 정책이 $S-s=Q$를 비롯한 몇 가지 조건을 만족하는 경우에는 동일한 정책으로 간주하고 있다. 그러나 공급사슬에서는 이러한 조건들을 만족하는 경우에도 (s, Q) 정책과 (s, S) 정책에 기본을 둔 계약들이 전혀 다른 의미를 지니게 된다..기본정책인 (s, S) 경우에는 구매자가 충족시켜야 하는 최종 소비자 수요의 변동을 공급자가 부담지게 진다. 즉, 구매자의 재고수준이 예상 외로 크게 떨어지더라도 이를 S 수준까지 보충해 주어야 하는 의무는 공급자가 지게된다. 반면에 (s, Q) 정책에 기본을 둔 계약은 수요의 실현치에 관계없이 공급자는 매번 Q만큼씩 만을 공급하여 주면 되므로 수요의 변동을 관리하는 부담은 구매자에게로 넘어가게 된다.

위와 같은 사실을 살펴보면 기존의 (R, s, S) 공급계약이 공급자에게 지나치게 불리하며 따라서 현실적으로 이를 적용할 수 있는 경우가 많지 않음을 알 수 있다. 또한 공급사슬에서의 발주방식은 주기적(periodic)보다는 연속적(continuous) 방식이므로, 보다 현실적인 보충계약은 본 연구에서 제안하는 (s, Q) 방식의 계약이라고 할 수 있다.

보충계약을 체결하는 경우에 공급자는 장기간의 대량발주를 확보하게 되면 원활하게 생산활동을 수행할 수 있고, 이를 통하여 생산원가를 낮출 수 있다. 따라서 공급자는 구매자가 되도록 이면 많은 양을 계약하도록 유도하기 위하여 발주량에 따른 구매가격의 할인을 제안하는 경우가 많다. 구매자는 대량발주(많은 기간 (n) 동안의 공급) 계약을 하면 구매비용을 줄일 수 있다는 점에 매력을 느끼지만, 최종 소비자의 수요가 급격히 변동하게 되면 손실을 입을 수 있다는 점을 염려하게 된다. 따라서 구매자는 이러한 두 가지 측면을 잘 조화시켜서 계약과 관련된 비용의 기대값을 최소화하려고 할 것이다. 이는 결국 s, Q와 같은 관리계수를 적절히 결정하는 문제로 귀결된다. s, Q의 결정과 더불어 확정보충횟수, 즉 n을 결정하는 것도 중요한 의사결정이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 수요의 변동을 고려한 다회보충계약에서 구매자의 총비용의 기대값을 도출할 수 있는 모형을 제시하고, 이를 이용하여 요구되는 서비스 수준을 만족시키면서 총비용을 최소화하는 발주점과 확정보충횟수를 구하는 방법을 소개하고자 한다.

공급계약에 관한 이전연구로는 Liao and Yang(1994), Bassok and Anupindi(1997), Tsay and Lovejoy(1999), Moinzadeh and Nahmias(2000)를 들 수 있다. Liao and Yang(1994)은 (s, Q) 정책을 기본으로 확정보충횟수가 n인 경우에 총재고 비용을 최소화하는 입고시간 간격을 결정하는 해법을 제시하였다. 그러나 이들의 연구는 n을 주어진 것으로 보았으며 구매비용의 할인도 고려하지 않았다는 점에서 본 연구와 차이가 있다. Bassok and Anupindi(1997)는 정해진 계획기간 동안의 구매량을 결정하는 문제를 연구하였다. 이들이 다룬 문제의 특징은 의무적으로 구매해야 하는 최소 요구 구매량이 주어졌다는 것이다. Tsay and Lovejoy(1999)는 quantity flexibility(QF)라는 계약방식을 제안하고 효율성을 검증하였다. QF는 구매자가 준수해야 하는 의무구매량과 공급자가 반드시 공급해 주어야 하는 의무공급량을 사전에 협의하여 결정한다는 것이 가장 큰 특징이라 할 수 있다. 이들 논문에서는 QF 방식의 계약을 적용하는 경우가 그렇지 않을 때보다 비용의 절감을 이룰 수 있다는 것을 보였다. 끝으로 Moinzadeh and Nahmias(2000)는 (R, Q) 정책을 사용하는 시스템을 대상으로 공급받기 직전에 구매자가 추가의 구매를 할 수 있는 선택권(option)을 포함하는 계약정책을 연구하였다.

이외에 본 연구와 간접적인 관련성을 가진 이전 연구로는 주문량 분할에 관한 내용이 있다. 이는 둘 이상의 공급자들에게 주문량을 나누어 공급하도록 함으로써 공급지연시간의 변동에 따른 비용상승을 억제하는 정책이다. 이들 연구는 공급자의 수가 다수이며 주로 단일기간의 문제를 다룬다는 점에서 차이가 있다. 주문량 분할에 관한 주요한 연구는 Sculli and Wu(1981)의 연구를 시초로 하여, Hayya *et al.*(1987), Kelle and Silver(1990), Sculli and Shum(1991), Pan *et al.*(1991), Ramasesh *et al.*(1991, 1993), Fong(1992), Hill(1996), Sedarage *et al.*(1999) 등에 의하여 이루어졌으며, 공급자의 수에 따른 최적의 재 주문점과 분할 주문량에 대한 내용들을 다루고 있다.

보충이나 공급계약과 관련된 기타 연구들로는 Li *et al.*(1996), Corbett and Groote(2000)의 연구가 있다. Li *et al.*(1996)은 독점적 시장에서 공급자와 구매자가 협력관계(cooperative relationship)인 경우의 계약문제를 게임이론을 이용하여 풀었다. Corbett and Groote(2000)는 공급자가 어떤 할인정책을 제시하는 것이 공급사슬 전체의 비용을 최소화할 수 있는가 하는 문제를 공급자가 가진 구매자에 관한 정보의 양에 따라 분리하여 분석하였다.

위의 기존 연구고찰을 살펴보면 연속적 재고관리방법을 사용하는 구매자를 대상으로 예측오차를 고려하는 보충계약문제는 아직 다루어진 적이 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 의의는 세 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 수요예측의 오차와 구매비용의 할인을 고려한 새로운 보충계약모형을 제시한 것이다. 둘째로는, 다회보충계약의 총기대비용을 구하고 비용함수의 특성을 규명한 점이다. 마지막으로는, 수립된 모형을 바탕으로 최적의 확정보충횟수를 구하는 해법을 제시한 것이다. 본 연구의 모형과 해법은 현실의 공급사슬(supply chain)에서 다양한 형태로 활용될 수 있을 것이다.

이어지는 2장에서는 확정보충횟수가 n인 경우의 총기대비용을 구하는 모형을 수립하며, 3장에서는 제시된 모형을 기준으로 최소비용의 확정보충횟수를 결정하는 해법을 제시한다. 4장에서는 수치실험을 통하여 제안해법의 특성을 살펴보고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 추후 연구과제를 제시한다.

2. 수리모형

본 연구에서는 다음과 같은 환경을 가정한다.

(1) 단일품목을 고려하며 품목 간의 영향은 무시한다.
(2) 수요는 이산확률분포를 따른다.
(3) Q는 주어진 것으로 본다.
(4) 품절이 난 주문은 상실된다.
(5) 품절비용은 품절이 난 개수에만 관계되고 품절이 지속되는 시간에는 무관하다.
(6) 시작시점은 현재시점 이전의 가장 최근시점에 발주한 양이 도착한 시점으로 한다.

기호를 정의하면 다음과 같다.

t : 기간
n : 확정보충횟수
$s(n)$: 확정보충횟수가 n일 경우의 발주점
d_{ut} : 단위기간당 수요, $\overline{d}_{ut}$는 그 기대값
L : 조달지연시간, 즉 주문발주에서부터 입고까지 소요되는 시간, $\overline{L}$는 그 기대값
$\overline{d_L}$: 조달지연시간 수요예측치의 평균
c : 할인이 적용되지 않은 경우의 재고 단위당 구매비용
h : 단위비용의 재고를 단위기간 보관할 때의 보관비용
b : 단위비용의 품절이 발생할 때의 품절비용
$H(n)$: 확정보충횟수가 n일 때, 임의의 기간의 재고량의 기대값
$LS(n)$: 확정보충횟수가 n일 때, 임의의 기간의 품절량의 기대값
$P_t(\cdot)$: t기간 앞 조달지연시간 수요예측치의 확률 분포

2.1 시스템의 특성

고려하는 시스템의 가장 큰 특징 중의 하나는 구매가격의 할인이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 구매가격의 할인이 n에 따라 계단식으로 변화하는 것으로 본다. 즉, $f(n)$는 구매비용할인율함수로서 <그림 1>과 같은 계단함수이고 $0 \le f(n) \le 1$, $\forall n \le \tilde{n}$ 라고 가정한다. 이와 같은 할인은 일반적으로 볼 수 있는 수량할인(quantity discount)의 개념과 일치한다. <그림 1>은 이러한 함수의 한 예를 보여주고 있다. 따라서 확정보충횟수가 n 일 때, 구매단가는 c 에서 $(1-f(n)) \cdot c$로 할인된다고 본다. $\tilde{n}$는 미리 정해진 보충횟수의 상한치, 즉 상한보충횟수이다. 이와 같이 상한치를 지정한 것은 n 을 비용만을 고려하여 결정하지는 않기 때문이다. 즉, 관리의 어려움이나 경영환경의 변화를 고려하여 한 번에 계약할 수 있는 상한보충횟수를 미리 제한하는 것이 보다 현실적이다.

구매자의 입장에서 보면 n이 커질수록 수요의 예측치의 오차가 커지게 된다. 이를 표현하기 위하여 조달지연시간 동안의 수요 예측치의 오차는 현재로부터의 기간에 비례하여 커지는 것으로 가정한다. 보다 구체적으로 본 논문에서는 $\sigma_L(t) = \lambda \cdot t \cdot \sigma_L(1)$(단, $2 \le t \le \tilde{n}$인 정수)로 가정한다. $\sigma_L(1)$은 1기간 앞의 조달지연시간 동안의 수요 예측치의 오차의 표준편차(standard deviation of the forecast error of the lead time demand)이다. $\sigma_L(t)$는 t기간 앞의 표준편차이다. 또한 t가 커질 때 오차가 증가하는 것을 표현하기 위해 수요예측 오차계수를 $\lambda \ge 1/2$이라고 제한한다.

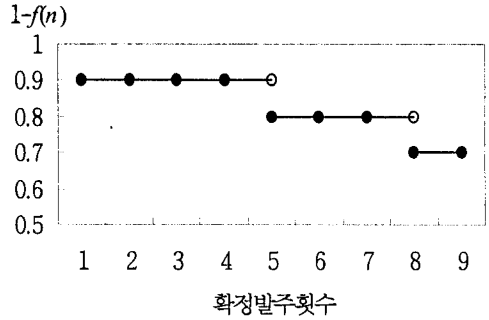


그림 1. 구매비용할인율 함수.

발주비용은 일반적으로 s 이하로 재고가 떨어졌을 때 공급자에게 공급을 요청하는 데 소요되는 제반비용과, 공급이 된 물품을 실제 창고에 입고하는 데 소요되는 비용들의 합으로 구성된다. 장기계약에 의해서 발주비용도 절감될 수 있는 여지가 있으나, 본 논문에서는 이 부분이 무시할 정도로 적다고 보고, n의 함수가 아닌 일정한 비용으로 간주한다. 예를 들어 컴퓨터 메모리는 가격에 비하여 부피가 매우 작으므로 이를 수송, 입고하는 데 소요되는 발주비용은 고려하지 않아도 무방하다. 만약 대상으로 하는 제품이 이런 조건을 만족하지 못하는 경우는 발주비용을 비용요소에 포함시켜야 할 것이다. 따라서 본 논문에서 고려하는 총비용은 구매비용, 보관비용, 품절비용의 합으로 되어 있다.

2.2 $s(n)$의 결정

제안하는 다회보충계약의 구매자는 n이 커짐에 따라 늘어나는 미래 수요의 예측치의 오차에 대비해야 한다. 이 경우 요구되는 서비스수준을 준수하기 위해서는 안전재고의 양을 증가시켜야 한다. (s, Q) 정책을 사용하는 재고시스템에서 서비스수준을 고려하는 경우의 발주점 s는

s= 조달지연시간 수요예측치의 평균 + 안전재고
= 조달지연시간 수요예측치의 (오차) 평균 + 안전계수 ×조달지연 시간 수요예측치의 표준편차 (1)

에 의해 결정되므로(Silver *et al*., 1998), 다회보충계약에서 확정보충횟수가 n일 때 발주점 $s(n)$은

$$s(n) = \overline{d_L} + x \cdot \sigma_L(n) \tag{2}$$

으로 결정된다고 본다. 식 (2)에서 x는 안전계수이며 $\sigma_L(n)$은 현재로부터 n기간 앞, 즉 확정보충이 예정된 가장 마지막 기간의 조달지연시간 수요예측치의 표준편차이다. 가장 마지막 기간의 조달지연시간 동안의 수요예측치의 (오차) 표준편차를 사용하는 이유는 모든 기간 동안 주어진 서비스율을 만족시켜야 한다는 조건이 있기 때문이다. 만약 전체기간 동안의 평균적 서비스 충족률이 주어진 서비스율을 만족시켜야 한다면 각 기간의 표준편차의 평균을 이용해야 할 것이다.

2.3 확정보충횟수가 n인 경우의 임의기간의 기대비용

확정보충횟수가 n일 때 구매자의 재고수준의 변동은 <그림 2>와 같이 나타낼 수 있다.

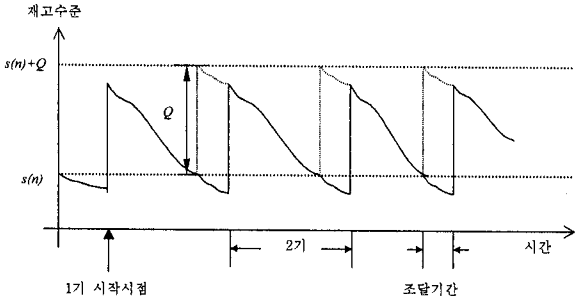


그림 2. 확정발주횟수 n인 경우의 재고량 변동.

위에서 볼 수 있듯이 n이 주어진 경우 각 주기는 동일한 확률적 성격을 가진다. 이는 n이 다른 경우에도 마찬가지이다. 따라서 보충횟수를 결정하는 문제에서 단위시간의 비용을 비교하기보다는 임의의 주기동안의 비용을 서로 비교하여 n을 선택하여도 무방하다.

확정보충횟수가 n인 경우, 임의의 주기의 보관량과 품절량의 기대값은

$$H(n) = \left[\frac{Q}{2} + x \cdot \sigma_L(n)\right] \cdot \frac{Q}{d_{ut}} = \left[\frac{Q}{2} + x \cdot \lambda \cdot n \cdot \sigma_L(1)\right] \cdot \frac{Q}{d_{ut}} \tag{3}$$

$$LS(n) = \sum_{j=s(n)}^{\infty} (j - s(n))\, P_t(j) \tag{4}$$

와 같이 표현된다. 본 논문에서는 안정적 수요(stationary demand)를 가정하므로 $P_t(j)$는 동일한 j에 대해서 평균은 t에 관계없이 같고 표준편차만 다른 분포들이다. 따라서 식 (4)에서 어느 기간의 분포를 사용하더라도 $LS(n)$값은 동일하다.

따라서 확정보충횟수가 n인 경우, 임의의 주기의 총비용의 기대값은 다음과 같다.

$$TC(n) = \text{임의의 기간의 구매비용, 보관비용, 품절비용의 합}$$
$$= Q \cdot (1 - f(n)) \cdot c + h \cdot (1 - f(n)) \cdot c \cdot H(n) + b \cdot (1 - f(n)) \cdot c \cdot LS(n). \tag{5}$$

정리 1. 식 (5)에서 구매비용에 관한 항은 할인율이 같은 구간 내에서는 일정하다. 이 구간 내에서 품절비용항은 단조감소함수이며, 보관비용항은 양의 기울기를 지닌 1차 함수 형태를 띤다.

정리 2. 할인율이 같은 구간 내에서 임의의 주기의 총비용의 기대값 $TC(n)$은 이산볼록함수이다.

정리의 증명들은 부록(appendix)에 있다.

정리 1과 2에 의하여 $TC(n)$은 이산볼록함수이며 해당구간 내에서는 단조감소, 단조증가, 단봉(unimodal) 중의 한 가지 형태를 가지게 된다. 따라서, 변수 한 개인 함수의 최소점을 찾는 Dichotomous 법을 응용하여, 각 구간 내의 최소값을 찾고, 이들 중에서 다시 최소를 찾으면, 쉽게 구간 $[1, \tilde{n}]$에서의 전체최소점(global minimum point)을 찾을 수 있다. 이어지는 3장에서는 해법을 소개한다.

3. 해 법

본 장에서는 $TC(n)$의 전체최소점에 해당하는 n을 결정하는 해법을 제시한다. 제시하는 해법은 할인율이 같은 구간의 최소점을 탐색하고 이들 최소점 중에서 가장 작은 값을 선택함으로써 $[1, \tilde{n}]$ 구간 내의 전체최소점을 찾게 된다.

Phase 0: 초기화

구간 $[1, \tilde{n}+1)$을 동일한 할인율을 적용하는 구간 $[t_1, t_2), [t_2, t_3), \cdots, [t_m, t_{m+1})$로 세분한다. (이때, $t_{m+1} = \tilde{n}+1$이며, m은 구간의 수를 나타낸다.)

Phase I : 구간 $[t_j, t_{j+1})$ 내에서 국부최소점 탐색

[Step 0]

구간번호를 점검하는 변수 $j=1$로, 임시후보해 $C_s \leftarrow \infty$로 한다.

[Step 1]

초기하한값을 $a_0 = t_j$로 하고, 초기상한값을 $b_0 = t_{j+1} - 1$로 한다. 반복횟수를 기록하는 변수를 $\tau = 0$으로 준다.

[Step 2]

만약 $TC(\lceil (a_\tau + b_\tau)/2 \rceil - 1) \le TC(\lceil (a_\tau + b_\tau)/2 \rceil)$이면 국부최소점은 $\lceil (a_\tau + b_\tau)/2 \rceil$의 우측에는 존재하지 않으므로 $b_{\tau+1} = \lceil (a_\tau + b_\tau)/2 \rceil$로 한다. 그렇지 않으면 $a_{\tau+1} = \lceil (a_\tau + b_\tau)/2 \rceil$로 한다. 단 여기서 $\lceil\ \rceil$은 가까운 정수로 올림한 값을 의미한다.

[Step 3]

$b_{\tau+1} - a_{\tau+1} > 1.0$이면 $\tau \leftarrow \tau+1$로 한 후, Step 2로 간다.

그렇지 않으면 Step 4로 간다.

[Step 4]

$a_{\tau+1}$, $b_{\tau+1}$ 중 $TC(n)$값이 작은 값과 C_s를 비교하여 작은 값을 새로운 C_s로 한다. 그리고, $j<m$이면 $j \leftarrow j+1$로 한 후, Step 1로 간다. 그렇지 않으면, Phase II로 간다.

Phase II: 결과 제시

C_s를 대역최소값으로, 이에 해당하는 n을 확정보충횟수로 제시한다.

Phase 0에서는 전체구간을 할인율이 같은 작은 구간으로 세분한다. Phase I에서는 각 세부구간에서의 최소값을 Dichotomous 법을 응용하여 구한 후 이를 후보해와 비교하여 개선하여 나간다. 각 구간에서의 탐색은 탐색되지 않은 구간의 크기가 1이 될 때까지 반복되며, 반복이 끝나면 마지막 구간의 양쪽 값에 해당하는 $TC(n)$값을 비교하여 작은 값을 해당구간의 최소값으로 확정하게 된다. 마지막 구간까지 탐색이 완료하게 되면, phase II에서 가장 최근의 임시후보해를 최종결과로 제시한다.

정리 3. 위 해법은 전체최소점을 $m \cdot \hat{\tau}$(단 $\hat{\tau} = \min_{\tau \in Z_+} \{\tau \geq \log(\tilde{n}-1)/\log 2\}$) 횟수 이내에 찾는 것을 보장한다.

따라서 제안된 해법은 $O(m \cdot \log(\tilde{n}))$이다. 정리 3의 증명은 부록에 있다.

4. 수치예제

제시한 해법의 이해를 돕기 위하여 수치예제를 수행하기로 한다. 알고리듬은 C++언어로 프로그램하였으며, IBM-PC 호환기종 펜티엄 III 500에서 실험을 수행하였다. 필요한 변수의 값들은 다음과 같이 주었다.

$$Q=10,\ \tilde{n}=12,\ \overline{d_{ut}}=100,\ \overline{L}=0.02,\ \overline{d_L}=2,$$
$$\sigma_L(1)=3,\ c=100,\ h=0.3,\ b=2,\ \lambda=0.5,\ x=1.95$$

$$f(n)=\begin{cases} 0.1 \text{ if } n=1,2,\cdots,6 \\ 0.2 \text{ if } n=7,8,9,10 \\ 0.3 \text{ if } n=11,12 \end{cases}$$

그리고 조달지연시간 수요예측치의 분포는 음이항분포를 따르도록 하였다. 음이항분포를 사용한 이유는 음이항분포가 수요를 잘 표현해주는 것으로 알려져 있으며(Agrawal and Smith, 1996), 또한 기간이 증가함에 따라 표준편차가 커지는 현상을 나타내기가 용이하기 때문이다. (그러나 본 연구에서 제시하는 모형은 특정한 분포를 가정하지 않았으므로 제시하는 해법은 이산확률분포를 갖는 모든 경우에 적용이 가능하다.)

음이항분포의 평균은 $\frac{rq}{p}$, 분산이 $\frac{rq}{p^2}$이므로 예제에서는 t번째 기간에 대하여 $\frac{rq}{p} = \overline{d}_L$, $\frac{rq}{p^2} = \sigma_L^2(t)$으로 주고, r, q를 구한 후 해당기간의 조달지연시간 수요예측치의 분포를

$$P_t(x) = \binom{x+r-1}{x} p^r q^x, \quad q=1-p \tag{6}$$

로 확정한다.

실험결과를 요약한 <그림 3>을 보면 구매비용은 할인율이 같은 구간 내에서는 일정하다. 그리고 품절비용은 단조감소하는 이산볼록함수이다. 보관비용은 구간 내에서 양의 기울기를 갖는 선형함수이다. 그리고 이 예제의 경우에는 총비용이 할인율이 동일한 구간 내에서 단봉 또는 단조증가인 모양을 보

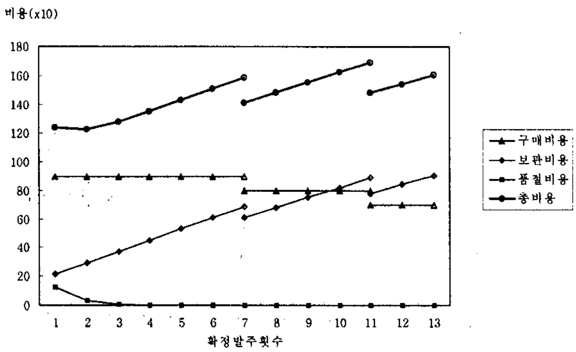
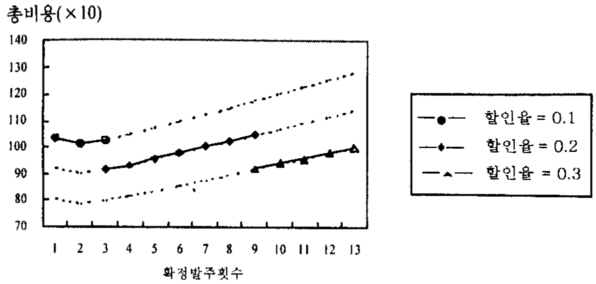


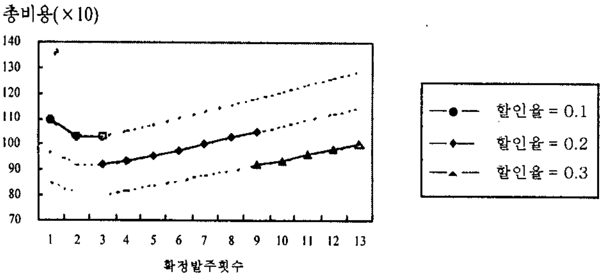
그림 3. 비용요소의 변화와 총비용함수.

표 1. 제안 알고리듬 수행결과

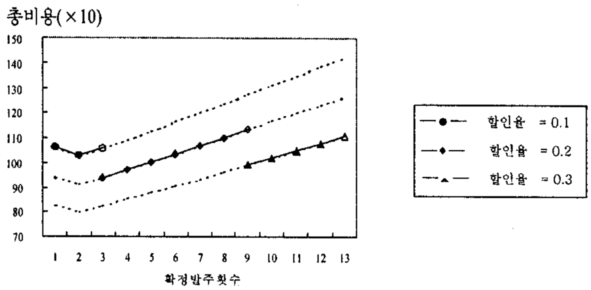
단계	구간	j	τ	a_τ	b_τ	$TC(\lceil (a_\tau+b_\tau)/2 \rceil -1)$	$TC(\lceil (a_\tau+b_\tau)/2 \rceil)$	구간 내 최소값과 해당 n	C_5
I	[1,7)	1	0	1	7	1281	1353	1228과 2	∞
			1	1	4	1223	1281		–
			2	1	2	1239	1228		1228
	[7,11)	2	0	7	11	1482	1552	1411과 7	–
			1	7	8	1411	1482		1228
	[11,13)	3	0	11	13	1481	1542	1481과 11	–
			1	11	11	1481	1481		1228
II	–	–	–	–	–	–	–	1228과 2	1228



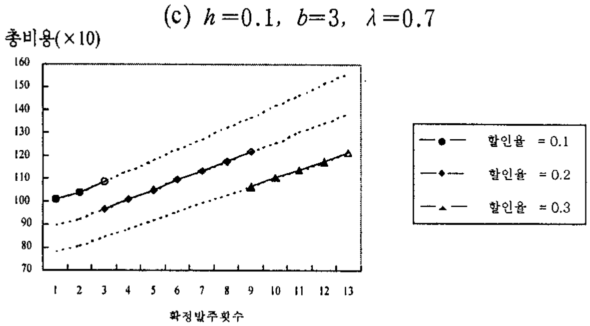
(a) $h=0.1$, $b=1$, $\lambda=0.5$



(b) $h=0.1$, $b=2$, $\lambda=0.3$



(c) $h=0.1$, $b=3$, $\lambda=0.7$



(d) $h=0.1$, $b=1$, $\lambda=0.9$

그림 4. 총비용함수의 형태.

이고 있다. 그림에 나타난 비용함수들의 모양은 앞의 정리 1과 2에서 언급한 내용들과 일치하고 있다.

<표 1>은 제안한 해법을 수행한 결과이다. 전체최소점을 7회 만에 찾아냈으며, 확정보충횟수를 2로 제시하고 있다. 해법의 실제수행시간을 알아보기 위하여 $\tilde{n}=52$인 문제를 풀어 본 결과 소요시간이 1.65(CPU초)로 나타났다. $\tilde{n}=52$인 경우는 평균 1주일에 한 번씩 입고가 이루어지는 시스템을 대상으로 1년간의 입고량에 대한 문제를 푸는 것으로 생각할 수 있으므로, 해법의 실행속도는 충분히 빠르다고 판단된다.

입력계수들의 변화에 따른 총비용함수의 형태를 살펴보기 위하여 $h=0.1, 0.2, 0.3$, $b=1,2,3$, $\lambda=0.5, 0.7, 0.9$의 27가지 경우에 대하여 총비용함수를 도출하였다. 27가지 경우 모두에서 총비용함수는 할인율이 동일한 구간 내에서 단조감소, 단조증가 또는 단봉인 볼록함수 모양을 갖는 것으로 나타났다. <그림 4>는 그 중 특징적인 몇 가지 경우를 보여주고 있으며, 함수의 형태에 따라서 전체최소점이 나타나는 입고횟수가 달라지는 것을 표현해 주고 있다.

위 예제들은 본 논문에서 제시한 모형과 정리들이 정확하며, 제시한 해법이 빠른 시간 안에 최적해를 찾아줌을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 수요의 변동을 고려한 다회보충정책의 총 비용을 도출할 수 있는 모형을 제시하고 이를 이용하여 상한보충횟수가 주어진 경우에, 요구되는 서비스 충족률을 만족하는 발주점과, 총기대비용을 최소화하는 확정보충횟수를 구하는 해법을 제시하였다.

제시한 방법은 다양한 산업분야에 적용되어 효율적인 재고관리에 기여할 수 있을 것이다. 특히 반도체 메모리를 주요부품으로 하는 분야에서는 본 연구의 결과를 매우 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

향후 연구과제로는 다양한 형태의 구매가격 할인이나 복수의 구매자와 공급자를 대상으로 하는 연구, 구매자와 공급자를 통합적으로 고려하는 연구 등을 생각해 볼 수 있다.

부록(Appendix)

정리 1의 증명

$TC(n)$의 구매비용 부분은 할인율이 동일한 구간 내에서는 $f(n)$이 상수이므로 일정하다.

$TC(n)$의 보관비용 부분은

$$h\cdot(1-f(n))\cdot c\cdot H(n)$$
$$=h\cdot(1-f(n))\cdot c\cdot\left[\frac{Q}{2}+x\cdot\sigma_L(n)\right]\cdot\frac{Q}{d_{ut}}$$
$$=h\cdot(1-f(n))\cdot c\cdot\left[\frac{Q}{2}+x\cdot\lambda\cdot n\cdot\sigma_L(1)\right]\cdot\frac{Q}{d_{ut}} \tag{A.1}$$

동일한 구간 내에서 보관비용 부분은 양의 기울기를 갖는 n의 1차 함수이다. $TC(n)$의 품절비용부분, $LS(n)$는 n에 대한 단조감소함수이고 $n\rightarrow\tilde{n}$일 때 품절비용 $\rightarrow 0$이므로 품절비용부분은 이산볼록함수(discrete convex function)이다.

정리 2의 증명

정리 1에 의하여 $TC(n)$은 할인율이 같은 구간 내에서 이산볼록함수들의 합이므로 이산볼록함수이다.

정리 3의 증명

이분법에서 τ 번째 반복이 끝난 후 구간의 크기는 $(1/2)^{\tau}\times$ (초기구간의 크기)이다.

동일한 할인율이 적용되는 구간의 최대크기는 $(\tilde{n}-1)$이므로 이것이 1.0 이하로 되는 반복횟수는

$$(1/2)^{\tau}(\tilde{n}-1) \le 1.0 \tag{A.2}$$

양변에 log를 취하면

$$\tau\log(1/2)+\log(\tilde{n}-1) \le \log 1 \tag{A.3}$$

따라서

$$\begin{aligned}\tau &\ge -\log(\tilde{n}-1)\,/\,\log(1/2)\\ &= \log(\tilde{n}-1)\,/\,\log 2\end{aligned} \tag{A.4}$$

그러므로 구간의 크기가 1.0이 되어 해당구간에 대한 탐색이 종료되기까지는

$$\hat{\tau}=\min_{\tau\in Z_+}\{\tau\ge\log(\tilde{n}-1)/\log 2\} \tag{A.5}$$

의 반복횟수가 필요하다. 이러한 구간이 m개 있으므로 해법의 최대반복횟수는 $m\hat{\tau}$ 이다.

참고문헌

Agrawal, N. and Smith, S. A. (1996), Estimating Negative Binomial Demand for Retail Inventory Management with Unobservable Lost Sales, *Naval Research Logistics,* **43**, 839-861.

Bassok, Y. and Anupindi, R. (1997), Supply Chain Management with Minimum Purchasing Commitment, *IIE Transactions,* **29**, 373-381.

Corbett, C. J. and de Groote, X. (1997), A Supplier's Optimal Quantity Discount Policy under Asymmetric Information, *Management Science,* **46**, 444-450.

Fong, D. K. H. (1992), A Note on Exact Moment Computation for Normal Lead Times in the Two-suppliers Case, *Journal of the Operational Research Society,* **43**, 63-69.

Hayya, J. C., Christy, D. P. and Pan, A. (1987), Reducing Inventory Uncertainty: A Reorder Point System with Two Vendors, *Production and Inventory Management*, **2**, 43-48.

Hill, R. M. (1996), Order Splitting in Continuous Review (Q, r) Inventory Models, *European Journal of Operational Research*, **95**, 53-61.

Kille, P. and Silver, E. A. (1990), Safety Stock Reduction by Order Splitting, *Naval Research Logistics*, **37**, 725-743.

Liao, C. and Yang, W. H. (1994), An Inventory System with Multiple Replenishment Scheduling, *Operations Research Letters*, **15**, 213-222.

Li, S. X., Huang, Z. and Ashley, A. (1996), Improving Buyer-seller System Cooperation through Inventory Control, *International Journal of Production Economics*, **43**, 37-46.

Moinzadeh, K. and Nahmias, S. (2000), Adjustment Strategies for a Fixed Delivery Contract, *Operations Research,* **48**(3), 408-423.

Pan, A. C., Ramasesh, R. V., Hayya, J. C. and Ord, J. K. (1991), Multiple Sourcing: The Determination of Lead Time, *Operations Research Letters*, **10**, 1-7.

Ramasesh, R. V., Ord, J. K. and Hayya, J. C. (1993), Dual Sourcing with Nonidentical Suppliers, *Naval Research Logistics*, **40**, 279-288.

Ramasesh, R. V., Ord, J. K., Hayya, J. C. and Pan, A. C. (1991), Sole versus Dual Sourcing in Stochastic Lead-time (s, Q) Inventory Models, *Management Science*, **37**, 428-443.

Sculli, D. and Shum, Y. W. (1981), Analysis of a Continuous Review Stock-control Model with Multiple Suppliers, *Journal of the Operational Research Society*, **41**, 873-877.

Sculli, D. and Wu, S. Y. (1981), Stock Control with Two Suppliers and Normal Lead Times, *Journal of the Operational Research Society*, **32**, 1003-1009.

Sedarage, D., Fujiwara, O. and Luong, H. T. (1999), Determining Optimal Order Splitting and Reorder Level for N-supplier Inventory System, *European Journal of Operational Research*, **116**, 389-404.

Silver, E. A., Pyke, D. F. and Peterson, R. (1998), *Inventory Management and Production Planning and Scheduling, 3rd Edition*, New York, John Wiley & Sons Inc.

Tsay, A. A. and Lovejoy, W. S. (1999), Quantity Flexibility Contracts and Supply Chain Performance, *Manufacturing & Service Operation Management,* **1**, 89-111.