

## (R, S)정책하에서의 장기 보충계약

김용찬 · 김종수<sup>†</sup>

한양대학교 산업공학과

## A Long-term Replenishment Contract under (R, S) Policy

Yong Chan Kim · Jong Soo Kim

Department of Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

By committing to a long-term replenishment contract, suppliers can mitigate the pressure to find new customers and afford to charge a discounted price to buyers seeking to lower their purchasing costs. In this paper, we develop an analytical model from buyer's perspective for the contracting process to investigate the buyer-supplier interactions. Based on the developed model, we propose an algorithm to derive optimal strategy for the contract.

We consider a system with a single buyer and a supplier in a situation where the buyer's inventory is controlled by (R, S) policy under VMI setting. According to the contract, the supplier should replenish the buyer's inventory up to a fixed level every R times during a specified period. The buyer purchases any deficient amount from a spot market at a higher price. We show by computational experiment that our proposed algorithm finds the global optimum solution.

**Keywords:** long-term contract, capacity reservation, (R, S) policy, spot market

### 1. 서론

경제분야에서 계약이란 참여자들 간에 상충되는 이해관계를 조정하기 위하여 이루어지는 약속을 의미한다. 공급사슬 내에서도 공급, 생산, 물류와 관련하여 다양한 형태의 계약들이 이루어진다. 이들 중에서 필요한 제품, 부속품, 원자재를 조달하기 위해 체결하는 계약을 공급계약이라 부른다. 대표적 공급계약들로는 backup agreements(Eppen and Iyer, 1997), quick response(Iyer and Bergen, 1997; Perry *et al.*, 1999), buy back(Lariviere, 1998), minimum commitment(Bassok and Anupindi, 1997), quantity flexibility(Tsay, 1999), revenue sharing(Cachon, 2002) 등이 있다. 또한 공급자의 생산설비가 고가인 경우에는 pay-to-delay(Brown and Lee, 1997), take-or-pay(Jin and Wu, 2001) 등과 같은 용량예약(capacity reservation) 형태의 계약들이 주로 사용된다.

본 연구에서는 용량예약 형태의 계약을 기본으로 하고 모자라는 양을 현물시장에서 추가로 구매할 수 있는 상황에서 구

매자가 공급자와 체결하는 공급계약, 그 중에서도 보통 1년 이상의 기간을 미리 지정하는 장기 공급계약을 모형화하고, 구매자의 적절한 계약조건을 도출하는 방법을 제시하기로 한다. 이와 유사한 형태의 공급계약이 현장에서도 많이 활용되고 있으며 컴퓨터 제조업자와 이들에게 메모리 칩을 공급하는 칩 제조업자 사이에 이루어지고 있는 공급계약이 그 한 예가 될 수 있다(Seifert *et al.*, 2004). 본 연구와 직접적으로 관련된 계약 방식을 살펴보면 MC(minimum commitment), QF(quantity flexibility), pay-to-delay, take-or-pay 등이 있다. MC에 관한 연구는 Bassok and Anupindi(1997)에 의해 시작되었으며, Barnes-Schuster *et al.*(2002)은 이들의 연구를 바탕으로 추가구매의 선택권이 참여자들에게 미치는 경제적 영향에 대하여 연구하였다. Chen and Krass(2001)는 비정상 수요과정하에서 예약분에 대해서는 할인가격을, 추가구매분에는 정상가격을 적용하는 방식을 분석하였다.

Tsay(1995)는 전자나 자동차 업계의 계약방식을 정형화하여 QF라고 제안하고 그 효율성을 검증하였으며, 이 계약이 공급

<sup>†</sup> 연락저자 : 김종수 교수, 426-791 경기도 안산시 한양대학교 안산캠퍼스 경영정보공학과 Fax : 031-409-2423,  
E-mail : jskim@mecors.hanyang.ac.kr

2004년 4월 접수; 2004년 6월, 2004년 7월 수정본 접수; 2004년 7월 게재 확정.

자와 계약자에게 미치는 영향을 분석하였다(Tsay, 1999). Tsay and Lovejoy(1999)는 주문량의 가감이 보관비용에 미치는 영향을 분석하였다. 최근에는 Jung and Kim(2001)이 이산확률분포 수요를 기준으로, Kim *et al.*(2003)이 비정상수요를 기준으로  $(s, Q)$  방식에 의해 관리되는 시스템의 최적관리변수를 도출하는 해법을 제시하였다. 그러나 이들의 연구는 단일기간모형이며 계약기간이 변수로 고려되지 않았다는 점, 또는 현물시장이 없는 제품을 대상으로 했다는 점이 본 연구의 내용과 다른 점이다.

용량예약방식은 공급자의 생산용량을 증설하는 데 많은 비용이 소요되고, 구매자가 공급량을 미리 확보해야 하는 장치 산업분야에서 많이 사용되고 있다. Take-or-pay(Jin and Wu, 2001; Barnes-Schuster *et al.*, 2002; Hazra *et al.*, 2002), pay-to-delay(Brown and Lee, 1997)가 그 대표적인 예이다. Take-or-pay는 구매자가 일정량을 구매하겠다는 표시로 계약금을 지불하는 방식이다. 추후 약속한 양을 구매할 수도 있고 아니면 계약금을 포기하고 구매를 취소할 수도 있다. 이는 주로 반도체, 천연가스, 석탄 등의 구매에 활용되는 방식이다.

Pay-to-delay는 반도체업계에서 사용되며 구매자가 일정한 양  $y$  (단  $y \leq z$ )를 구매하기로 약속한 후 정해진 시간이 되면 실제로 구매를 한다. 이 때 필요할 경우  $z$ 까지의 양  $(z - y)$ 만큼 추가로 구매할 수 있는 구조로 되어 있다. 다만 추가로 구매하는 양에 대해서는 비싼 가격을 지불하여야 한다 Serel *et al.*(2001)은 이를 발전시켜 미리 예약된 양만큼을 구매하고 필요할 때에 현물시장에서 추가구매를 하는 계약방식에 대하여 적정 재고관리방법을 연구하였다. 이들의 연구는 일회 구매량만을 결정하는 단순한 문제를 고려하였으나 본 연구에서는 구매자의 재고관리방식에 따른 영향까지를 고려하면서 복수기간 동안의 적정공급량을 결정할 수 있도록 발전시켰다.

이전 연구들과 비교할 때 본 논문에서는 기존의 계약방식을 보다 정교하고 현실적으로 발전시키기 위해서 복수기간의 공급량뿐만 아니라 가격할인, 보충수준, 발주횟수, 할인을 등을 고려한 수리모형을 개발하였으며, 수요자료가 정상적(stationary)이라고 가정한 기존의 계약모형들과는 달리 수요자료가 비정상적(non-stationary)인 경우를 고려하여 모형을 전개하였다.

이후 논문의 전개는 다음과 같다. 2장에서는 제안 시스템의 성격을 반영하는 분석적 모형을 개발하고, 3장에서는 제시된 모형을 기준으로 발주횟수, 주기별 적정보충수준 및 공급량, 계약보충수준 등의 결정변수들을 도출해내는 해법을 소개한다. 4장에서는 제시된 해법의 정확성 및 효율성을 수치실험을 통하여 검증하며 마지막 5장에서는 결론 및 추후 연구과제를 설명한다.

## 2. 수리모형

본 연구에서는 다음과 같은 환경을 가정한다

- (1) 단일품목을 고려한다.
- (2) 수요는 ARIMA 과정에서 발생한다.
- (3) 품질이 난 수요는 상실되며, 품질비용은 품질이 된 개수에만 관계가 있고 품질이 지속되는 시간과는 무관하다.
- (4)  $(R, S)$  재고정책을 기반으로 하며 발주간격(review interval)인  $R$ 은 미리 정해진 것으로 본다.
- (5) 구매자의 초기 재고는 없는 것으로 간주하며 초기 발주량이 도착한 직후를 시작시점으로 한다.
- (6) 주 공급자는 매 주기마다 구매자의 가용재고가 미리 계약된 수준에 이르도록 제품을 공급한다.
- (7) 구매자는 필요한 경우 현물시장에서 원하는 양만큼을 구매할 수 있다. 현물시장가격은 주 공급자의 가격보다 높다.
- (8) 매 주기 초에 결정된 현물시장에서의 발주량은 주 공급자의 발주량과 같이 입고될 필요가 없으며 필요한 시점에 입고되도록 발주지연이 가능하다.
- (9) 발주횟수(계약기간)의 상한선이 존재한다.
- (10) 가격할인은 발주횟수에 따라 변화한다.

본 연구에서는 비정상 수요자료를 표현할 수 있도록 하기 위하여 수요가 ARIMA 과정에서 발생한다고 가정한다. 그러나 본 연구의 접근방법이 특정한 확률과정에 의존하지 않으므로 수요가 ARIMA 과정 이외의 정상 또는 비정상 확률과정(stationary or nonstationary stochastic process)에서 발생하더라도 적용이 가능하다. 다섯 번째 가정은 초기 조건의 영향을 배제하기 위한 것이다.

본 연구의 대상분야처럼 주 공급자의 공급용량을 변동시키는 데 많은 시간과 비용이 소요되는 공급제한적 산업분야에서는 매 주기마다 미리 정해진 일정수준까지만 제품을 공급하는 것이 일반적이다(이처럼 주 공급자와 계약에 명시하는 일정수준을 계약보충수준이라 부르기로 한다). 따라서 매 주기별로 추가로 필요한 양이 발생하면 구매자가 이를 직접 현물시장에서 조달하여야 한다. 여섯 번째와 일곱 번째 가정들은 이러한 상황을 표현하기 위한 것이다.

또한 매 주기별 현물시장 발주량은 계약보충수준과 주기의 수요 예측치를 기준으로 해당 주기 초에 결정한다. 대신 현물시장에서의 발주는 주 공급자로부터의 발주와는 달리 입고시점을 조절할 수 있기 때문에 보관비용의 절감을 위해 최대한 입고를 지연(postponement)시키는 것이 유리하다. 따라서 여덟 번째 가정과 같이 현물시장에서는 발주지연 즉 기간 초에 꼭 발주하지 않고 원하는 시점에 입고가 되도록 발주를 지연하는 것이 가능하다고 가정한다.

아홉 번째 가정은 제품의 수명주기와 경영관리상의 요구조건 등에 의하여 계약의 최장기간의 상한값이 있다고 가정하는 것이다. 예를 들어 ‘계약기간(발주횟수)은 아무리 길어도 5년(주기가 1개월일 경우 발주횟수는 60회)을 초과할 수 없다’와 같은 형태이며 이러한 상한선을  $\bar{n}$ 로 표기하기로 한다. 열번째는 가격할인에 관한 가정으로서, 할인은 발주횟수  $n$ 에 따라

변화하며 할인율은  $f(n)$ ,  $0 \leq f(n) \leq 1$ ,  $\forall n \leq \tilde{n}$  에 의해 제시된다. 일반적으로 이전 연구들 대부분은 총 구매량을 기준으로 할인이 이루어진다고 보았지만, 본 연구에서는 할인이  $n$ 에 따라 정해진다고 본다. 즉,  $R$ 은 미리 정해진 상수이므로 발주횟수에 대한 기대 총 구매량인  $nD_R$ (단,  $D_R$ 은  $R$  동안의 기대 수요)은  $n$ 에 비례한다. 따라서 총 구매량을 기준으로 하는 이전의 전량할인(all unit discount)과  $n$ 을 기준으로 한 본 연구의 할인방식은 동일한 형태이다

본 연구에 사용되는 기호는 다음과 같다.

<첨자 및 입력변수>

- $b$  : 단위당 품질비용
- $c_m(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우 주 공급자에게 할인받은 단위당 구매비용,  $c_m(n) = c_n(1 - f(n))$
- $c_h$  : 현물시장에서 구매할 때의 단위당 구매비용, 현물시장 가격
- $\tau$  : 주기(period)
- $\hat{d}_\tau$  :  $\tau$ 번째 주기의  $R$  동안의 수요 예측치
- $h$  : 단위당 1 주기당 보관비용
- $L$  : 조달기간(lead time)
- $n$  : 발주횟수(replenishment size)
- $\tilde{n}$  : 허용되는 발주횟수의 최대 상한치
- $\tilde{P}(e_\tau)$  :  $\tau$ 번째 주기의  $R+L$  동안의 수요 예측치 오차의 경험적 확률분포
- $R$  : 발주간격(review interval), 주기의 길이
- $\gamma$  : 인플레이션율을 고려한 주기당 시장이율
- $\hat{\delta}_\tau$  :  $\tau$ 번째 주기의  $R+L$  동안의 수요 예측치
- $x$  : 안전계수
- $\xi_\tau$  :  $\tau$ 번째 주기의  $R+L$  동안의 수요 예측치 오차의 표준편차

<결정변수>

- $H(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우 구매자의 주기당 기대 보관비용
- $G(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우 구매자의 주기당 기대 품질비용
- $n^*$  : 최적의 발주횟수(단위시간 기준 계약기간은  $n^*R$ )
- $P(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우 구매자의 주기당 기대 구매비용
- $PVTC(n)$  :  $TC(n)$ 의 현재비용
- $Q_\tau(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우  $\tau$ 번째 주기의 기대 발주량(구매량)
- $Q_\tau^m(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우  $\tau$ 번째 주기로 주 공급자에게 발주(구매)하는 기대 발주량(구매량)
- $Q_\tau^h(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우  $\tau$ 번째 주기에 현물시장에서 발주(구매)하는 기대 발주량(구매량)
- $S(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우 주 공급자를 대상으로 하는 일정한 계약보충수준(contractd order-up-to level)

- $S_\tau^r$  :  $\tau$ 번째 주기의 적정보충수준(required order-up-to level)
- $S_\tau^a(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우  $\tau$ 번째 주기의 실제보충수준(actual order-up-to level)
- $TC(n)$  : 발주횟수가  $n$ 일 경우 구매자의 주기당 기대 총 비용

현재 시점을 편의상 1기 초로 가정한다. 이때  $\tau$ 는 주기 번호가 되며 현재로부터의 거리를 나타내기도 한다. 따라서,  $\hat{\delta}_\tau$ 은 현재시점에서  $\tau$ 번째 주기의  $R+L$  동안 발생할 수요의 예측치이다.  $(R, S)$ 정책에서 발주간격(주기의 길이)은  $R$ 로 정해져 있으므로 발주횟수가  $n$ 이라면 계약기간의 전체 길이는  $nR$ 이 된다.

2.1 보충수준의 결정

$(R, S)$ 시스템에서 보충수준을 결정하는 데는 크게 품질비용을 최소화하는 방법(품질횟수, 품질비용, 품질시간 등을 이용)과 서비스 수준을 이용하는 방법(주기당 서비스 수준, 서비스 충족률, 서비스 준비율, 품질간격 등을 이용)으로 분류해 볼 수 있다(Silver et al., 1998). 이 방법들 모두는 먼저 주어진 기준에 맞도록 안전계수를 결정 한 후 아래의 식(1)을 이용하여 보충수준을 결정하게 된다.

$$\text{보충수준} = (R+L \text{ 동안의 수요의 기대값}) + \text{안전계수} \times (R+L \text{ 동안 수요의 표준편차}) \quad (1)$$

그러나 비정상수요일 경우에는 수요의 기대값이 존재하지 않으므로 식(1)을 직접 적용할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 비정상수요에도 적용할 수 있는 방법을 다음과 같이 제안한다. 즉,  $\tau$ 번째 주기의 적정한 보충수준은

$$\begin{aligned} S_\tau^r &= (\tau\text{번째 주기의 } R+L \text{ 동안의 수요 예측치}) \\ &+ \text{안전계수} \times (\tau\text{번째 주기의 } R+L \text{ 동안의} \\ &\text{수요예측치 오차의 표준편차}) \\ &= \hat{\delta}_\tau + x\xi_\tau \end{aligned} \quad (2)$$

로 정한다. 식(2)에서 제시하는 수준이 구매자의 재고관리기준을 충족시키기 위해 필요한 재고수준이다 따라서 이를 적정보충수준이라 부르기로 한다. 각 주기의 수요 예측치가 변동하게 되면 <Figure 1>에서 볼 수 있는 바와 같이 적정보충수준도 같이 변동하게 된다. 특히 비정상 수요자료인 경우에는 이러한 변동이 더욱 심해지게 된다. 앞에서 언급한 것처럼 주 공급자는 매 주기마다 미리 계약된 계약보충수준까지만 제품을 공급해 주기 때문에 만약 적정보충수준이 이를 초과하게 되어 추가로 필요한 양이 발생하면 구매자가 그만큼을 현물시장에서 조달하여야 한다. 현물시장가격은 주 공급자의 가격보다 높은 것이 일반적이므로 계약보충수준이 너무 낮으면 비싼 현물시장가격으로 구매하는 양이 늘어나서 바람직하지 못하

다(Figure 1>의 case 1). 그렇다고 계약보충수준을 지나치게 높이게 되면 필요치 않은 양까지를 과도하게 구매할 가능성이 많아지고 결과적으로 구매비용과 보관비용의 증가로 인하여 손실이 발생하게 된다(Figure 1>의 case 2). 따라서 구매자는 자신의 기대비용을 최소화할 수 있도록 계약보충수준을 결정하여야 한다.

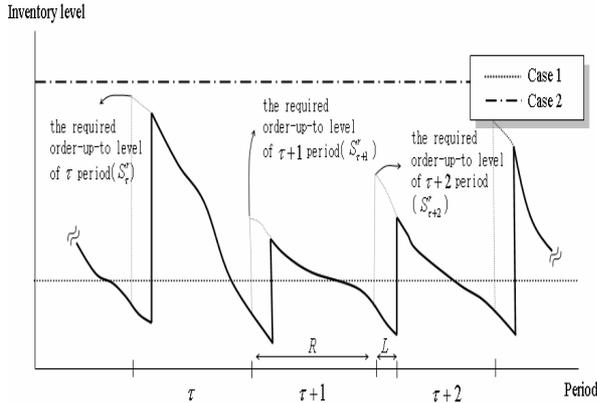


Figure 1. Inventory change.

2.2 구매자의 비용함수

구매자의 발주횟수당 기대 총 비용은 발주횟수의 길이에 비례하여 증가하게 되므로 발주횟수가 상이한 계약들을 비교하는데 있어서는 사용될 수 없다. 따라서 발주횟수의 길이에 상관없이 일관된 비용비교를 위해서 R 동안의 기대비용, 즉, 주기당 기대 총 비용(R 동안의 기대 총 비용 = nR 동안의 기대 총 비용/n)을 이용하기로 한다. 구매자의 기대 총 비용은 구매비용, 보관비용, 품질비용으로 구성된다고 간주하며, 발주비용은 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정하여 고려하지 않는다(발주비용을 고려하는 경우에도 큰 수정 없이 연구결과를 적용할 수 있다).

τ번째 주기에서 재고가 보충되는 수준은 적정보충수준이 계약보충수준보다 작으면 계약보충수준이 되고 계약보충수준보다 크면 현물시장에서 추가로 구매하여 적정보충수준까지 보충하게 된다. 따라서 τ번째 주기에서 실제로 보충되는 수준(앞으로 실제보충수준이라 부르기로 하며 S\_r^a(n)으로 나타내기로 한다)은 다음과 같이 표현할 수 있다(Figure 2> 참조).

$$S_r^a(n) = \begin{cases} S(n) & , \text{ if } S(n) \geq S_r^r \\ S_r^r & , \text{ if } S(n) < S_r^r \end{cases} = \max \{ S(n), S_r^r \} \quad (3)$$

따라서, 발주횟수가 n일 경우 τ번째 주기의 기대 구매량, Q\_r(n)은

$$Q_r(n) = \tau\text{번째 주기의 실제보충수준} - \text{발주시점의 재고수준}$$

$$= S_r^a(n) - (S_{\tau-1}^a(n) - \hat{d}_{\tau-1}) \quad (4)$$

이다. 하지만 Q\_r(n) 중에는 주 공급자의 발주량(Q\_r^m(n))과 현물시장에서의 발주량(Q\_r^h(n))이 혼재되어 있으므로 이들을 구분할 필요가 있다.

$$Q_r(n) = Q_r^m(n) + Q_r^h(n) \quad (5)$$

$$Q_r^m(n) = \begin{cases} S(n) & , \text{ if } \tau = 1 \\ \max \{ 0, S(n) - (S_{\tau-1}^a(n) - \hat{d}_{\tau-1}) \} & , \text{ if } 2 \leq \tau \leq n \end{cases} \quad (6)$$

$$Q_r^h(n) = \max \{ 0, S_r^r - S(n) \} \quad (7)$$

본 연구에서는 초기 재고를 0으로 가정하였기 때문에 τ=1인 경우에는 주 공급자에게 S(n)만큼을 구매하게 되므로 Q\_1^m(n) = S(n)이 된다. 이때, 식(3)은

$$S_r^a(n) = \max \{ S(n), S_r^r \} = S(n) + \max \{ 0, S_r^r - S(n) \} \quad (8)$$

과 같이 표현할 수 있으며, 식(7)을 이용하면

$$S_r^a(n) = S(n) + Q_r^h(n) \quad (9)$$

이므로, 식(6)은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$Q_r^m(n) = \begin{cases} S(n) & , \text{ if } \tau = 1 \\ \max \{ 0, \hat{d}_{\tau-1} - Q_{\tau-1}^h(n) \} & , \text{ if } 2 \leq \tau \leq n \end{cases} \quad (10)$$

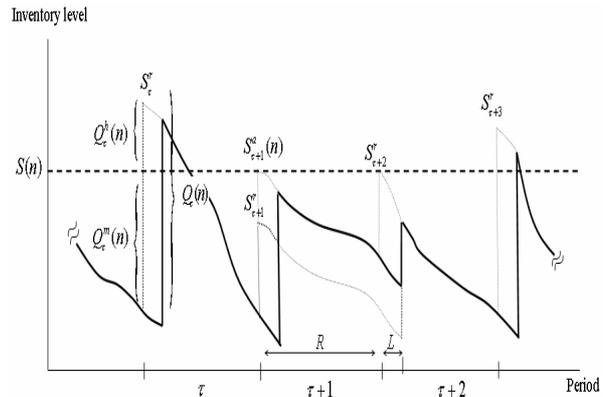


Figure 2. Behavior of inventory level without the postponement.

그러므로 발주횟수가 n일 경우 주기당 기대 구매비용, P(n)은

$$P(n) = \frac{c_m(n)}{n} \times \sum_{\tau=1}^n Q_r^m(n) + \frac{c_h}{n} \times \sum_{\tau=1}^n Q_r^h(n) \quad (11)$$

이다.

발주횟수가  $n$ 일 경우 주기당 기대 보관비용은 다음과 같이 유도된다. <Figure 2>의 재고수준은 현물시장으로부터의 발주지연을 고려하지 않는 경우로서, 이때의 기대 재고수준은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{발주횟수가 } n \text{일 경우 } \tau \text{번째 주기의 기대 재고수준} \\
 & \text{(발주지연을 고려하지 않는 경우)} \\
 & = \frac{1}{2} \times [( \tau \text{번째 주기의 발주량이 도착한 직후의 재고수준} \\
 & + ( \tau + 1 \text{번째 주기의 발주량이 도착하기 직전의 재고수준} \\
 & = \begin{cases} \frac{1}{2} \times [0 + Q_1^m(n) + Q_1^h(n) + S_1^a(n) - \hat{\delta}_1] , & \text{if } \tau = 1 \\ \frac{1}{2} \times [S_{\tau-1}^a(n) - \hat{\delta}_{\tau-1} \\ + Q_{\tau-1}^m(n) + Q_{\tau-1}^h(n) + S_{\tau-1}^a(n) - \hat{\delta}_{\tau-1}] , & \text{if } 2 \leq \tau \leq n \end{cases} \\
 & = \begin{cases} \frac{1}{2} \times [Q_1^m(n) + Q_1^h(n) + S(n) + Q_1^h(n) - \hat{\delta}_1] , & \text{if } \tau = 1 \\ \frac{1}{2} \times [S(n) + Q_{\tau-1}^h(n) - \hat{\delta}_{\tau-1} \\ + Q_{\tau-1}^m(n) + Q_{\tau-1}^h(n) + S(n) + Q_{\tau-1}^h(n) - \hat{\delta}_{\tau-1}] , & \text{if } 2 \leq \tau \leq n \end{cases} \\
 & = \begin{cases} S(n) + Q_1^h(n) - \frac{\hat{\delta}_1}{2} , & \text{if } \tau = 1 \\ S(n) + Q_{\tau-1}^h(n) + \frac{Q_{\tau-1}^h(n) + Q_{\tau-1}^m(n)}{2} \\ - \frac{\hat{\delta}_{\tau-1} + \hat{\delta}_{\tau}}{2} , & \text{if } 2 \leq \tau \leq n \end{cases} \quad (12)
 \end{aligned}$$

현물시장으로부터의 발주지연을 고려하게 되면 재고수준은 <Figure 3>과 같다. 이러한 경우의 기대 재고수준은 식(12)에서 산출된 현물시장의 발주지연을 고려하지 않은 기대 재고수준에서 <Figure 3>의 빗금 친 부분의 면적을 뺀 부분이 된다. 빗금 친 부분의 면적은 현물시장의 발주지연을 통해서 얻어지는 재고 절감분으로서 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{면적} = \text{현물시장의 발주량} \\
 & \quad \times \text{주 공급자의 발주량을 소진하는 길이} \\
 & = \text{현물시장의 발주량} \times \frac{\text{주 공급자의 발주량}}{\tau \text{번째 주기의 수요예측치}} \\
 & = Q_{\tau}^m(n) \times \frac{Q_{\tau}^m(n)}{\hat{d}_{\tau}} \quad (13)
 \end{aligned}$$

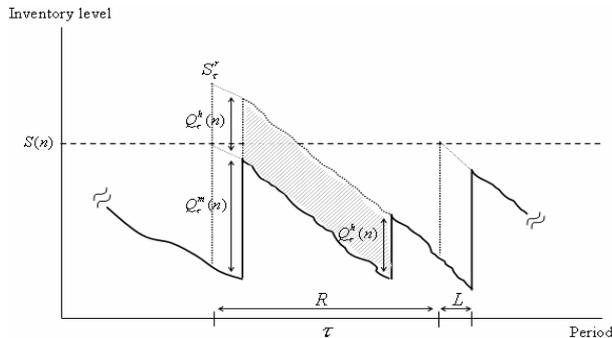


Figure 3. Behavior of inventory level when the postponement of the spot market purchase is considered.

따라서 현물시장으로부터의 발주지연을 고려하는 경우의 기대 재고수준은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{발주횟수가 } n \text{일 경우 } \tau \text{번째 주기의 기대 재고수준} \\
 & \text{(발주지연을 고려하는 경우)} \\
 & = \begin{cases} S(n) + Q_1^h(n) - \frac{\hat{\delta}_1}{2} - \frac{Q_1^h(n) \times Q_1^m(n)}{\hat{d}_1} , & \text{if } \tau = 1 \\ S(n) + Q_{\tau}^h(n) + \frac{Q_{\tau-1}^h(n) + Q_{\tau}^m(n)}{2} \\ - \frac{\hat{\delta}_{\tau-1} + \hat{\delta}_{\tau}}{2} - \frac{Q_{\tau}^h(n) \times Q_{\tau}^m(n)}{\hat{d}_{\tau}} , & \text{if } 2 \leq \tau \leq n \end{cases} \quad (14)
 \end{aligned}$$

그러므로, 발주횟수가  $n$ 일 경우 주기당 기대 보관비용,  $H(n)$ 은

$$\begin{aligned}
 H(n) = & \frac{h}{n} \times \left( nS(n) + \sum_{\tau=1}^n Q_{\tau}^h(n) + \sum_{\tau=2}^n \left( \frac{Q_{\tau-1}^h(n) + Q_{\tau}^m(n)}{2} \right) \right. \\
 & \left. - \sum_{\tau=1}^n \left( \frac{\hat{\delta}_{\tau-1} + \hat{\delta}_{\tau}}{2} \right) - \sum_{\tau=1}^n \left( \frac{Q_{\tau}^h(n) \times Q_{\tau}^m(n)}{\hat{d}_{\tau}} \right) \right) \quad (15)
 \end{aligned}$$

마지막으로 발주횟수가  $n$ 일 경우 주기당 기대 품질비용,  $G(n)$ 은

$$\begin{aligned}
 G(n) = & \text{단위당 품질비용} \\
 & \times \text{발주횟수가 } n \text{일 경우 주기당 기대 품질수량} \\
 & = \frac{b}{n} \times \left( \sum_{\tau=1}^n \left( \sum_{e_{\tau}=\tau x \xi_{\tau}}^{\infty} (e_{\tau} - x \xi_{\tau}) \tilde{P}(e_{\tau}) \right) \right) \quad (16)
 \end{aligned}$$

이다. 여기서  $\lceil x \rceil$ 는  $x$ 보다 크거나 같으면서  $x$ 에 가장 가까운 정수이다.

유도된 식들을 이용하여 발주횟수가  $n$ 일 경우 구매자의 주기당 기대 총비용을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 TC(n) = & P(n) + H(n) + G(n) \\
 = & \frac{c_m(n)}{n} \times \sum_{\tau=1}^n Q_{\tau}^m(n) + \frac{c_h}{n} \times \sum_{\tau=1}^n Q_{\tau}^h(n) \\
 & + \frac{h}{n} \times \left( nS(n) + \sum_{\tau=1}^n Q_{\tau}^h(n) + \sum_{\tau=2}^n \left( \frac{Q_{\tau-1}^h(n) + Q_{\tau}^m(n)}{2} \right) \right. \\
 & \left. - \sum_{\tau=1}^n \left( \frac{\hat{\delta}_{\tau-1} + \hat{\delta}_{\tau}}{2} \right) - \sum_{\tau=1}^n \left( \frac{Q_{\tau}^h(n) \times Q_{\tau}^m(n)}{\hat{d}_{\tau}} \right) \right) \\
 & + \frac{b}{n} \times \left( \sum_{\tau=1}^n \left( \sum_{e_{\tau}=\tau x \xi_{\tau}}^{\infty} (e_{\tau} - x \xi_{\tau}) \tilde{P}(e_{\tau}) \right) \right) \quad (17)
 \end{aligned}$$

식 (17)은 전체 발주횟수 동안의 인플레이션율이나 시장이율을 고려하지 않은 비용이다. 따라서 인플레이션율을 고려한 주기당 시장이율을  $\gamma$ 라고 정의할 때, 식 (17)을 현재가치 (present value)로 환산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 PVTC(n) &= \frac{c_m(n)}{n} \times \sum_{\tau=1}^n \frac{Q_{\tau}^m(n)}{(1+\gamma)^{\tau-1}} + \frac{c_h}{n} \times \sum_{\tau=1}^n \frac{Q_{\tau}^h(n)}{(1+\gamma)^{\tau-1}} \\
 &+ \frac{h}{n} \times \left[ S(n) + Q_1^h(n) - \frac{\hat{\delta}_1}{2} - \frac{Q_1^h(n) \times Q_1^m(n)}{\hat{d}_1} \right. \\
 &+ \sum_{\tau=2}^n \frac{1}{(1+\gamma)^{\tau-1}} \left( S(n) + Q_{\tau}^h(n) + \frac{Q_{\tau-1}^h(n) + Q_{\tau}^m(n)}{2} \right. \\
 &\left. \left. - \frac{\hat{\delta}_{\tau-1} + \hat{\delta}_{\tau}}{2} - \frac{Q_{\tau}^h(n) \times Q_{\tau}^m(n)}{\hat{d}_{\tau}} \right) \right] \\
 &+ \frac{b}{n} \times \left( \sum_{\tau=1}^n \frac{1}{(1+\gamma)^{\tau-1}} \left( \sum_{e_{\tau}=\sum_{\xi=1}^{\infty} x_{\xi, \tau}} (e_{\tau} - x_{\xi, \tau}) \bar{P}(e_{\tau}) \right) \right) \quad (18)
 \end{aligned}$$

2.3 결정변수  $S(n)$ ,  $Q_{\tau}^m(n)$ ,  $Q_{\tau}^h(n)$ 의 결정

발주횟수가  $n$ 일 경우, 구매자의 주기당 기대 총 비용을 최소화하는  $S(n)$ ,  $Q_{\tau}^m(n)$ ,  $Q_{\tau}^h(n)$ 을 결정하기 위해서 비선형계획법(nonlinear programming) 문제인 수리모형  $NLP(n)$ 을 푼다.  $NLP(n)$ 은 발주횟수가  $n$ 일 경우의 수리모형이다.

$NLP(n)$  :

Min  $PVTC(n)$  (18)

s.t.  $S_{\tau}^r - S(n) \leq Q_{\tau}^h(n)$ ,  $\tau = 1, 2, \dots, n$  (19)

$\hat{d}_{\tau-1} - Q_{\tau-1}^h(n) \leq Q_{\tau}^m(n)$ ,  $\tau = 2, \dots, n$  (20)

$Q_1^m(n) = S(n)$ , (21)

$Q_{\tau}^m(n) \geq 0$ ,  $\tau = 1, 2, \dots, n$  (22)

$Q_{\tau}^h(n) \geq 0$ ,  $\tau = 1, 2, \dots, n$  (23)

제약식 (19)는 식 (7)을 만족시키면서  $PVTC(n)$ 을 최소화하는  $Q_{\tau}^h(n)$ 을 결정하기 위한 제약식이다. 목적식 (18)에서  $Q_{\tau}^h(n)$ 은 보관비용을 제외하고는 항상 비음(nonnegative)의 값으로 나타난다. 또한 보관비용 부분에서도  $Q_{\tau}^h(n)$ 의 항목은  $(1 - Q_{\tau}^m(n)/\hat{d}_{\tau})Q_{\tau}^h(n)$ 과 같이 표현할 수 있으며,  $Q_{\tau}^h(n)$ 이 0보다 큰 값을 갖게 되면  $Q_{\tau}^m(n)/\hat{d}_{\tau}$ 은 항상 1보다 작기 때문에  $Q_{\tau}^h(n)$ 은 비음의 값을 갖게 된다. 그러므로 목적식 (18) 전체에서  $Q_{\tau}^h(n)$ 은 항상 비음의 값을 갖기 때문에 제약식(19)의 좌변이 음일 경우는 비음제약식 (23)과 목적식 (18)에 의해서  $Q_{\tau}^h(n) = 0$ 이 되며, 비음일 경우는  $Q_{\tau}^h(n) = S_{\tau}^r - S(n)$ 이 된다. 이와 동일한 방법으로 목적식 (18), 제약식 (20), 비음제약식 (22)에 의해서 식 (10)을 만족시키면서  $PVTC(n)$ 을 최소화하는  $Q_{\tau}^m(n)$ 을 결정하게 된다. 제약식 (21)은 시스템의 초기 조건이다. 이러한 제약식들을 통해서  $PVTC(n)$ 을 최소화하는  $S(n)$ 이 결정된다.

3. 알고리즘

본 장에서는 제시된 모형을 기준으로 구매자의 적정보충수준,

주기당 총 기대비용을 최소화하기 위해서 주 공급자에게 제시하는 계약보충수준, 발주횟수 등의 관리요소들을 도출해 내는 알고리즘을 제시한다.

단계 1 : 자료준비

과거의 예측자료를 이용하여  $\tau$  ( $\tau = 1, \dots, \tilde{n}$ )번째 주기의  $\bar{P}(e_{\tau})$ ,  $\xi_{\tau}$ 를 계산한다.

단계 2 : 수요예측

$\tau = 1$ 부터  $\tau = \tilde{n}$ 까지의  $R$ 과  $R+L$  동안의 수요를 예측한다. 즉,  $\hat{d}_{\tau}$ 과  $\hat{\delta}_{\tau}$ 을 준비한다.

단계 3 : 적정보충수준 결정

$\tau = 1$ 부터  $\tau = \tilde{n}$ 까지의 주기별 적정보충수준,  $S_{\tau}^r$  ( $\tau = 1, \dots, \tilde{n}$ )을 계산한다.

단계 4 : 최저비용 탐색

$n = 1$ 부터  $\tilde{n}$ 까지  $NLP(n)$ 을 풀어서  $PVTC(n)$ 이 최소인  $n$ 을  $n^*$ 로 설정한다.  $S(n^*)$ 와  $\tau = 1$ 부터  $\tau = n^*$ 까지의  $Q_{\tau}^m(n^*)$ 와  $Q_{\tau}^h(n^*)$ 를 계산한다.

단계 5 : 단계 4의 값들을 최적해로서 제시하고 알고리즘을 종료한다.

위의 알고리즘은  $n = 1$ 부터  $n = \tilde{n}$ 까지 모든  $NLP(n)$ 을 계산하여 그 중의 최소값을 선택하기 때문에 결정된 해는 전체 최소값(global minimum)이 된다.

4. 수치실험

본 논문에서 제시한 보충계약 모형과 알고리즘의 정확성 및 효율성을 검증하기 위해서 수치실험을 실행하였다. 실험에 사용되는 수요자료는 식 (24)의  $ARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)_{52}$  모형을 이용하여 생성하였으며, 예측된 수요자료는 <Table 1>과 같다.

$$(1-B)(1-B^{52})Y_{\tau} = (1+0.33372B)(1-0.62837B^{52})e_{\tau} \quad (24)$$

이때,  $Y_{\tau}$ 는  $\tau$ 번째 주기의 수요,  $e_{\tau}$ 는  $\tau$ 번째 주기의 백색잡음(white noise)이다. 알고리즘의 연산은 펜티엄 4(1.8 GHz) PC에서 Gams/Minos 2.5와 연동하여 Objected Pascal 언어를 이용해서 실행하였다. 모수값은 이전 연구(Kim et al., 2003)의 자료를 참조하여 다음과 같이 결정하였다

$$\begin{aligned}
 \tilde{n} &= 30, \quad h = 2, \quad b = 3, \\
 R &= 7 \text{ (단위: 주)}, \quad L = 1 \text{ (단위: 주)}, \\
 \alpha &= 1.65 \text{ (서비스 수준 = 95\% 기준)}, \\
 \gamma &= 0.4\%,
 \end{aligned}$$

$$\xi_\tau = 1.21 \quad (\tau = 1, 2, \dots, 30),$$

$$c_h = 10,$$

$$f(n) = \begin{cases} 0 & , \text{if } n=1 \\ 0.1 & , \text{if } 2 \leq n \leq 7 \\ 0.18 & , \text{if } 8 \leq n \leq 13 \\ 0.23 & , \text{if } 14 \leq n \leq 19 \\ 0.27 & , \text{if } 20 \leq n \leq 25 \\ 0.29 & , \text{if } 26 \leq n \leq 30 \end{cases}$$

**Table 1.** Forecast of demand for each period

$\tau$	1	2	3	4	5	6
$\hat{d}_\tau$	345	308	255	263	261	228
$\hat{\delta}_\tau$	391	351	292	304	296	260
$\tau$	7	8	9	10	11	12
$\hat{d}_\tau$	210	173	150	133	125	152
$\hat{\delta}_\tau$	237	196	169	153	144	174
$\tau$	13	14	15	16	17	18
$\hat{d}_\tau$	167	184	186	197	185	172
$\hat{\delta}_\tau$	191	213	214	224	211	194
$\tau$	19	20	21	22	23	24
$\hat{d}_\tau$	163	188	219	252	280	301
$\hat{\delta}_\tau$	188	216	252	286	322	347
$\tau$	25	26	27	28	29	30
$\hat{d}_\tau$	349	394	432	454	479	504
$\hat{\delta}_\tau$	405	453	496	522	549	578

주기별 적정보충수준은 <Table 2>와 같이 146에서 580까지 다양하게 변동하는데 이는 생성된 수요자료가 시간에 따라 점차 감소하다가 다시 증가하는 추세를 갖는 비정상자료이기 때문이다. 수치실험에 소요된 시간은 2.48(CPU seconds)이었다.

알고리즘 수행결과로 얻은 발주횟수별 주기당 기대 총 비용과 이에 해당되는 계약보충수준은 <Table 3>과 같다. <Table

**Table 2.** The required order-up-to level for each period

$\tau$	$S_\tau^r$	$\tau$	$S_\tau^r$	$\tau$	$S_\tau^r$
1	393	11	146	21	254
2	353	12	176	22	288
3	294	13	193	23	324
4	306	14	215	24	349
5	298	15	216	25	407
6	262	16	226	26	455
7	239	17	213	27	498
8	198	18	196	28	524
9	171	19	190	29	551
10	155	20	218	30	580

3>에 진하게 표시된 바와 같이 발주횟수가 26일 때, 주기당 기대 총 비용은 1695.18로 최소가 되며 주 공급자에게 제시하는 계약보충수준은 288이 된다. 이때 구매자가 해당 계약기간 동안 주 공급자와 현물시장에 각각 발주하는 발주량은 <Table 4>와 같다.

**Table 3.** The expected total cost and order-up-to level

$n$	$PVTC(n)$	$S(n)$	$n$	$PVTC(n)$	$S(n)$	$n$	$PVTC(n)$	$S(n)$
1	4101.16	197	11	2177.67	198	21	1700.01	226
2	3471.82	321	12	2092.14	198	22	1713.95	226
3	3100.97	294	13	2033.61	193	23	1740.8	239
4	2954.95	294	14	1916.17	215	24	1772.48	239
5	2842.03	294	15	1887.58	216	25	1822.49	254
6	2737.2	262	16	1867.3	226	<b>26</b>	<b>1695.18</b>	<b>288</b>
7	2638.74	239	17	1846.9	215	27	1762.07	294
8	2455.96	239	18	1827.16	213	28	1831.52	297
9	2362.68	235	19	1804.76	213	29	1903.9	298
10	2269.1	216	20	1698.67	218	30	1979.47	306

**Table 4.** Order quantity for each period for  $n^* = 26$

$\tau$	$Q_\tau^m(26)$	$Q_\tau^h(26)$	$\tau$	$Q_\tau^m(26)$	$Q_\tau^h(26)$
1	288	105	14	167	0
2	240	65	15	184	0
3	243	6	16	186	0
4	249	18	17	197	0
5	245	10	18	185	0
6	251	0	19	172	0
7	228	0	20	163	0
8	210	0	21	188	0
9	173	0	22	219	0
10	150	0	23	252	36
11	133	0	24	244	61
12	125	0	25	240	119
13	152	0	26	230	167

위의 실험에 사용된 <Table 1>의 수요자료는 수요의 형태가 감소하다가 증가하는(DTI; decreasing, then increasing) 경우이다. 이러한 수요자료 외에도 본 논문에서는 수요자료가 증가하다가 감소하는(ITD; increasing, then decreasing) 경우, 단조증가하는(MI; monotone increasing) 경우, 단조감소하는(MD; monotone decreasing) 경우에 대해서도 실험을 수행하였다. 각각의 수요자료는 ITD의 경우는 식 (25), MI의 경우는 식 (26), MD의 경우는 식 (27)과 같은 ARIMA (0, 1, 1)(0, 1, 1)<sub>52</sub> 모형을 통해서 생성하였다. 기타 모수값들은 위의 실험에서 사용된 모수값들과 동일한 값들을 사용하였다.

$$(1 - B)(1 - B^{52}) Y_{\tau} = (1 - 0.5605B)(1 - 0.66628B^{52}) e_{\tau} \quad (25)$$

$$(1 - B)(1 - B^{52}) Y_{\tau} = (1 - 0.66237B)(1 - 0.38783B^{52}) e_{\tau} \quad (26)$$

$$(1 - B)(1 - B^{52}) Y_{\tau} = (1 - 0.71925B)(1 - 0.80637B^{52}) e_{\tau} \quad (27)$$

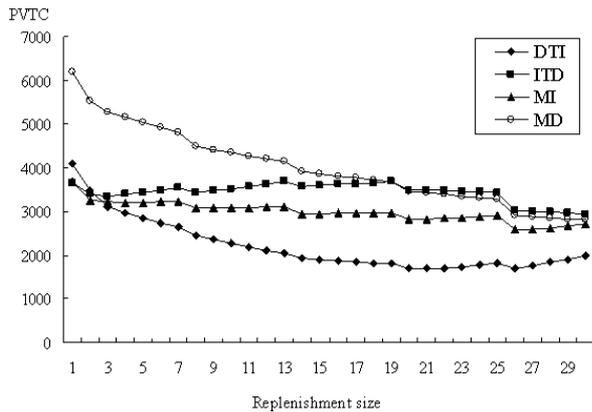


Figure 4. PVTC for each replenishment size for different types of demand data.

<Figure 4>는 각각의 실험에 대한 발주횟수별 주기당 기대 총 비용의 현재가치를 보여주고 있다. 발주횟수별 주기당 기대 총 비용의 현재가치를 살펴 보면, 각각의 실험들이 모두 볼록함수(convex function)의 형태가 아니며, 수요자료가 MD인 경우를 제외하고는 여러 개의 국소 최소값(local minimum)을 갖는다는 것을 알 수 있다. 이는 주기에 따라 수요자료가 변동하고 가격할인 및 시장이율로 인하여 현재가치가 변화하기 때문이다. 수요자료에 내포된 계절성과 추세성으로 인하여 수요의 변동이 커질수록 이러한 현상이 두드러질 것으로 예상된다 또한 수요자료가 MD인 경우는 발주횟수에 따라 주기당 기대 총 비용의 현재가치가 단조감소하게 되는데, 이는 발주횟수가 증가할수록 주기당 기대 구매비용과 보관비용이 지속적으로 감소하고 추가적으로 가격할인과 시장이율로 인하여 발주횟수별 주기당 기대 총 비용의 현재가치가 감소하기 때문임을 파악할 수 있다. 결과적으로 위의 <Figure 4>와 같이 여러 개의 국소 최소값을 갖는 경우라 할지라도, 본 논문에서 제시하는

알고리즘은 모든 발주횟수에 대하여 해를 탐색하는 방법이기에 때문에 항상 전체 최소값을 용이하게 구할 수 있다

각각의 실험에 대한 최적값은 <Table 5>와 같다. <Table 5>에는 제시하는 보충계약 모형의 타당성 및 효율성 검증을 위하여 현물시장을 고려하지 않는 경우의 비용도 함께 포함하였다. 현물시장을 고려하지 않고 하나의 공급자만을 대상으로 보충계약을 체결할 경우에는 전체 계약기간의 수요를 충족시키기 위해서 구매자의 가장 높은 적정보충수준을 공급자에게 계약보충수준으로 제시해야만 한다. 동일한 수요자료를 이용하여 이를 실험한 결과, 현물시장을 고려한 보충계약이 현물시장을 고려하지 않는 경우에 비해 14.79%에서 23.91% 정도의 비용절감이 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제시하는 바와 같이 현물시장의 대안을 적절히 활용하는 것이 보다 효과적임을 알 수 있다. 표의 비용절감률(cost reduction rate)은 다음의 식 (28)을 통하여 계산하였다.

Cost reduction rate(%)

$$= \frac{PVTC \text{ without spot market} - PVTC \text{ with spot market}}{PVTC \text{ without spot market}} \times 100(\%) \quad (28)$$

### 5. 결론

본 연구에서는 비정상 수요자료를 기준으로 주 공급자에 대한 보상 메커니즘을 고려한 (R, S)정책하에서의 장기보충계약 모형을 제시하였다. 또한 이를 이용하여 주기별 적정보충수준과 주 공급자에게 제시하는 계약보충수준 및 발주횟수도 도출해내는 알고리즘을 개발하였다.

본 논문의 의의는 다음 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 반도체와 같이 현물시장이 존재하며 공급용량을 제한받는 고가 장비업체를 대상으로 공급량뿐만 아니라 가격할인, 발주점, 발주량, 발주횟수, 할인을 등을 변수로 포함한 계약방식을 정형화하고 수리모형으로 완성하였다는 점이다. 또 수리모형을 기준으로 적절한 계약조건값들을 찾는 해법을 개발하였다. 개발된 수리모형은 구매자 비용을 최소화하는 구매자 중심의 모형으로서 구매자의 최적 계약조건을 도출하는 것에 중점을 두고 있다. 따라서 도출한 최적안은 구매자가 보다 유리한 협상결

Table 5. Results of each experiment

	PVTC with spot market	Order-up-to level	Replenishment size	PVTC without spot market	Cost reduction rate (%)
DTI	1695.18	288	26	2227.85	23.91
ITD	2946.37	500	30	3457.61	14.79
MI	2582.83	429	26	3064.29	15.71
MD	2809.65	467	30	3366.22	16.53

과를 얻어내는 데 활용될 수 있을 것이다. 둘째, 기존의 계약모형에서는 수요자료가 정상적(stationary)이라고 가정하고 있으나, 본 연구는 수요자료가 비정상적(nonstationary)인 경우를 포함시키고 있다는 점이다. 마지막으로, 구매자가 현재 채택하고 있는 재고관리방식을 기준으로 모형을 전개함으로써 계약과정을 보다 정교하게 표현하였으며 결과적으로 모형의 현실성을 제고하였다는 점이다.

향후 연구과제로는 구매자뿐만 아니라, 공급자의 비용까지도 동시에 고려한 구매자·공급자 모형으로 확장하는 연구가 있을 수 있다. 즉, 공급자의 비용함수를 이용하여 자신에게 유리한 할인율을 제시하는 공급자와 보다 경제적인 발주횟수 및 보충수준을 원하는 구매자 간의 협상문제를 게임 이론적으로 분석할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- Barnes-Schuster, D., Bassok, Y., and Anupindi, R. (2002), Coordination and Flexibility in Supply Contracts with Options, *Manufacturing and Service Operation Management*, **4**, 171-207.
- Bassok, Y. and Anupindi, R. (1997), Supply Chain Management with Total Minimum Purchasing Commitment, *IIE Transactions*, **29**, 373-381.
- Brown, A. O. and Lee, H. L. (1997), Optimal Pay to Delay Capacity Reservation with Application to the Semiconductor Industry, Working Paper, University of Stanford.
- Cachon, G. P. (2002), Supply Chain Coordination with Contracts, The Wharton School of Business, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA.
- Chen, F. Y. and Krass, D. (2001), Analysis of Supply Contracts with Minimum Total Order Quantity Commitments and Non-stationary Demands, *European Journal of Operational Research*, **131**, 309-323.
- Eppen, G. D. and Iyer, A. V. (1997), Backup Agreements in Fashion Buying-The Value of Upstream Flexibility, *Management Science*, **43**, 1469-1484.
- Hazra, J., Mahadevan, B., and Seshadri, S. (2002), Modeling Capacity Reservation Contract, *6th National Conference of the Society of Operations Management*, Kozhikode, India.
- Iyer, A. V. and Bergen, M. E. (1997), Quick Response in Manufacturer-Retailer Channels, *Management Science*, **43**, 559-570.
- Jin, M. and Wu, S. D. (2001), Modeling Capacity Reservation in High Tech Manufacturing, Department of Industrial and Systems Engineering, P.C. Rossin College of Engineering, Lehigh University.
- Jung, B. R. and Kim, J. S. (2001), Multiple Replenishment Contract with Purchase Price Discount, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, **27**(4), 345-351.
- Kim, J. S., Shin, K. Y., and Ahn, S. E. (2003), A Multiple Replenishment Contract with ARIMA Demand Processes, *Journal of the Operational Research Society*, **54**, 1189-1197.
- Lariviere, M. A. (1998), Supply Chain Contracting and Coordination with Stochastic Demand, Chapter 8 in Tayur, S., Ganeshan, R., and Magazine, M. (Editors), *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Kluwer Academic Publishers, 233-268.
- Perry, M., Sohal, A. S., and Rumpf, P. (1999), Quick Response Supply Chain Alliances in the Australian Textiles, Clothing and Footwear Industry, *International Journal of Production Economics*, **62**, 119-132.
- Seifert, R. W., Thonemann, U. W., and Hausman, W. H. (2004), Optimal Procurement Strategies for Online Spot Markets, *European Journal of Operational Research*, **152**, 781-799.
- Serel, D. A., Dada, A., and Moskowitz, H. (2001), Sourcing Decision with Capacity Reservation Contract, *European Journal of Operational Research*, **131**, 635-648.
- 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. (1995), Supply Chain Control with Quantity Flexibility, Ph.D. dissertation, Graduate School of Business, Stanford University, Stanford, CA.
- Tsay, A. A. (1999), The Quantity Flexibility Contract and Supplier-Customer Incentives, *Management Science*, **45**, 1339-1358.
- Tsay, A. A. and Lovejoy, W. S. (1999), Quantity Flexibility Contracts and Supply Chain Performance, *Manufacturing & Service Operation Management*, **1**, 89-111.