ARIMA수요과정을 갖는 장기보충계약하의 공급자 구매자 모형

Supplier-Buyer Models for a Long-term Replenishment Contract and ARIMA Demand Process

이동규 · 김종수

Dongkyu Lee · Jong Soo Kim

한양대학교 산업공학과 E-mail : dklee@mecors.hanyang.ac.kr

Department of Industrial Engineering, Hanyang University

Abstract

This study presents supplier buyer models representing the interactions between supplier and buyer under a long-term replenishment contract in a supply chain system. We established the models according to the economic power of each party. Analysis based on Stackelberg game theoretic approach is tried for each model. We develop methods for each agent to follow to complete a contract for the best interest of each participant.

1. 서론

기업을 둘러싼 환경이 최근 들어 크게 변화하면서 거품경제가 붕괴되고 지금까지 경험해보지 못한 장기간에 걸친 경기침체가 계속되고 있다. 이러한 세계적 경제침체의 영향으로 반도체 업계는 수요의 급격한 감소를 경험하고 있다. 반도체 제품 중에서도 특히 SDRAM과 같은 메모리 제품들의 가격하락이 두드러졌으며 이는 메모리 수요가 세계 경제동향에 매우 민감하게 반응한다는 사실을 다시 한번 보여주고 있다. 메모리 가격의 큰 변동성을 알고 있는 반도체 생산 업계는 예기치 못한 수요변동으로 인하여 입을 수 있는 커다란 손실을 줄이기 위하여 메모리 구매자와의 장기보충계약을 통하여 생산과 수급을 조절하고 있다.

기존의 대표적 논문들로 계약과 관련된 Bassok과 Anupind[1], Tsay와 Lovejoy[6], Jung과 Kim[7]등의 연구들이 있고 할인에 관련된 논문으로는 Dada와 Srikanth[3], Lal과 Staelin[4]등의 논문이 있으며 공급자 구매자 모형과 관련된 연구로는 Corbett와 Groote[2], Li et al.[5]등의 논문들이 있다.

본 논문에서는 공급자와 구매자의 협상력(bargaining power)에 의한 두 가지 모형을 수립하고 수립된 모형으로부터 공급자의 총비용을 최소화하는 협상안의 해법을 제시하고자 한다.

2. 공급자를 고려한 장기보충계약 모형

2.1 가정과 기호 정의

본 논문에서 사용하게 될 가정은 다음과 같다.

(1) 단일품목을 고려한다.

(2) 수요는 ARIMA 과정에서 발생한다.

(3) 완전경쟁인 시장을 가정하므로 가격은 외생 (exogenous) 변수이며 따라서 관리대상이 아니라고 본다.

(4) 품절이 난 수요는 상실되며 품절비용은 품절이 난 개수에만 관계가 있고 품절이 지속되는 시간과는 무관하다.

(5) 양 참여자는 제시된 조건아래서 자신의

이익을 최대화하는 방향으로 순차적으로 계약을 체결한다.

본 논문에서 사용하게 될 기호는 다음과 같다.

t: 기(period)

τ: 예측시점으로부터의 기간(period)

ψ: 할인이 적용되지 않는 경우의 공급자가 구매자에게 공급하는 단가

ψ_p: 공급자의 단위당 원가

h (h_s): 단위재고를 단위시간 보관할 때 구매자(공급자)의 보관비용

b: 구매자에게 단위개의 품절이 발생할 때의 품절비용

σ_s: 공급자의 준비비용

$\hat{\delta}_{t+\tau}$: $t+\tau$ 기간의 조달기간수요의 예측치

$\hat{d}_{t+\tau}$: $t+\tau$ 기간의 기간수요의 예측치

$P(e_{t+\tau})$: 예측기준점 t 에서 τ 기 앞 즉, $t+\tau$ 기의 조달기간수요 예측치 오차의 확률분포

$\xi_{t+\tau}$: 예측기준점 t 에서 τ 기 앞, 즉 $t+\tau$ 기의 조달기간수요 예측오차의 표준편차

$\tilde{n}$: 허용되는 발주횟수의 최대상한치

κ: 안전계수

$\Re(n,Q)$: 구매자의 단위시간당 비용함수

$\wp(n,Q)$: 공급자의 단위시간당 비용함수

n: 발주횟수

Q: 발주량

$s(\tau,n)$: 발주횟수가 n 일 경우의 τ 기 재주문점

2.2 시스템의 특성

본 논문에서 장기보충계약을 체결하기 위하여 단일 공급자와 구매자가 협상을 할 때 공급자의 비용을 최소화하는 관리변수를 결정하도록 하고 있다. 이 때 얼마만큼의 금액을 제시하여야 하는가를 공급자 위주 시스템과 구매자 위주 시스템에 대하여 각각 공급자가 구매자에게 모형을 제시한다.

2.3 재보충수준의 결정

본 논문에서는 (s,Q) 시스템하에 재발주점을 결정하는 방법으로 널리 사용되는 요구 충족률(P_2 서비스 기준: 추후납품 또는 판매기회상실없이 수요를 만족시켜주는 비율을 의미)을 고려하는 방법을 이용한다. 확정 발주횟수가 n 일 경우, $t+\tau$ 기간의 재발주점은 다음과 같이 결정된다.

$s(\tau,n)$ = $t+\tau$ 기앞 조달기간 동안의 수요 예측치 + 안전재고

= $t+\tau$ 기앞 조달기간 동안의 수요 예측치 + 안전계수 × 1기앞 수요 예측 오차에 대한 표준편차

$$= \hat{\delta}_{t+\tau} + \kappa\xi_{t+1} \qquad (1)$$

2.4 구매자의 비용함수

적절한 발주횟수를 구하기 위해서는 연간 총 기대비용을 고려해야만 한다. 본 연구에서 대상으로 하는 제품들은 고가이면서 부피가 작은 반도체제품이므로 발주비용은 무시할 수 있다고 가정한다. 따라서, 구매자의 총 기대비용은 구매비용, 보관비용과 품절비용을 합한 금액이다.

주기의 길이는 Q 를 소모하는데 걸리는 시간이고 확률 변수이다. 주기의 기대길이는 ((Q/ 주기 동안의 수요 발생율의 예측치) 단위시간) 으로 표현할 수 있으므로 $t+\tau$ 기간의 상대길이는 $Q/\hat{d}_{t+\tau}$ 이 된다. 계약은 n 개의 주기들로 구성되고, 계약의 길이는 각각의 주기 길이의 합이므로 이를 m 으로 표시하면 $m = \sum_{\tau=1}^{n}(Q/\hat{d}_{t+\tau}) = Q\sum_{\tau=1}^{n}(1/\hat{d}_{t+\tau}) = Q\hat{d}_n^{-1}$

이다. (여기서, $\sum_{\tau=1}^{n}(1/\hat{d}_{t+\tau})$ 을 $\hat{d}_n^{-1}$ 으로 표현함)

이를 이용하면 연간 총 기대비용을

$$\Re(n,Q) = R(n,Q) + H(n,Q) + G(n,Q)$$

$$= \frac{n\psi}{\hat{d}_n^{-1}} + \frac{hQ}{2} + h\kappa\xi_{t+1} + \frac{bn\Xi}{Q\hat{d}_n^{-1}} \qquad (5)$$

와 같이 유도할 수 있다.([7]참조)ㄴ

2.5 공급자의 비용함수

공급자의 계약기간의 비용은 주문처리비용과 재고비용에서 장기계약에 기인한 생산원가 절감분을 뺀 금액이다. 계약기간이 n 일 때 생산단가는 ψ_p 에서 $\psi_p e^{-\beta n}$ 으로 된다고 가정하며 이 경우 절감분은 단위개당 $\psi_p - \psi_p e^{-\beta n}$ 이 된다. 따라서 계약기간동안의 공급자의 기대비용은 식 (6)과 같다.

$$-(\psi_p - \psi_p e^{-\beta n})nQ + n\sigma_s + \frac{h_s Qm}{2} \qquad (6)$$

따라서 단위기간당 기대비용은 위 (6) 을 m 으로 나눈 값이며

$$\wp(n,Q) = \frac{-n(\psi_p - \psi_p e^{-\beta n})}{\hat{d}_n^{-1}} + \frac{n\sigma_s}{Q\hat{d}_n^{-1}} + \frac{h_s Q}{2} \qquad (7)$$

와 같다.

3. 공급자-구매자 모형

3.1 공급자 주도 모형

공급자가 자신의 이익을 최대화하기 위하여 일회공급량을 정한다.(공급자 우위 모델, 공급자 Q 결정, 구매자 n, $s(\tau,n)$ 결정)

3.2 공급자 주도 모형의 해법

공급자가 자신의 이익을 최대화하기 위하여 일회공급량 Q 를 정한다. (7)식으로부터, $Q_{s/n} = \sqrt{\frac{2n\sigma_s}{h_s\hat{d}_n^{-1}}}$ 의 공급량을 구할 수 있다. 그리고, 공급자의 최적의 공급회수 $n_s^* = \arg\min_n \wp\left(n, Q_{s/n}\right)$ 와 구매자의 $n_{b/Q_s}^* = \arg\min_n \Re\left(n, Q_{s/n_s^*}\right)$ 를 구한다. 모든 $n = 1,\mathrm{K}\,,\aleph$ 에 대하여,

$\Re(n,Q_{s/n}) - \Re(n_{b/Q_s}^*, Q_{s/n_s^*}) = \Delta\Re(n)$ 와

$\wp(n,Q_{s/n}) - \wp(n_{b/Q_s}^*, Q_{s/n_s^*}) = \Delta\wp(n)$ 를 계산한 후 $\Delta\wp(n) < 0$ 인 n 들을 $\Delta\wp(n) + \Delta\Re(n)$ 값이 작은 순서대로 정렬한다. 만약 모든 n 들이 $\Delta\Re(n) + \Delta\wp(n) > 0$ 이면 평형점을 $n_e \leftarrow n_{b/Q_s}^*$ 로 제시한다. 그렇지 않다면 $n_e \leftarrow \arg\min_n \left(\Delta\wp(n) + \Delta\Re(n)\right)$ 로 하고 $\Delta\Re(n_e)$ 만큼의 할인을 구매자에게 제시한다. 이 경우 공급자는 $-\left(\Delta\wp(n) + \Delta\Re(n)\right)$ 만큼의 이익을 볼 수 있다.

3.3 구매자 주도 모형

구매자가 Q , n , $s(\tau,n)$ 을 결정한다.(구매자 우위 모델)

3.4 구매자 주도 모형의 해법

구매자가 Q 와 n , $s(\tau,n)$ 을 결정한다. (5)식으로부터 얻은 $Q_{b/n}$ 를 $n = 1,\mathrm{K}\,,\aleph$ 에 대해 계산하고 $\Re(n,Q_{b/n})$ 값이 최소인 n_b^* 를 찾는다. (7)식에서 얻은 $Q_{s/n}$ 를 $n = 1,\mathrm{K}\,,\aleph$ 에 대해 계산한다. 모든 $n = 1,\mathrm{K}\,,\aleph$ 에 대하여

$\Re(n, Q_{s/n}) - \Re(n_b^*, Q_{b/n_b^*}) = \Delta\Re(n)$ 와

$\wp(n, Q_{s/n}) - \wp(n_b^*, Q_{b/n_b^*}) = \Delta\wp(n)$ 를 계산한 후 $\Delta\wp(n) + \Delta\Re(n) < 0$ 인 n 들을 $\Delta\wp(n) + \Delta\Re(n)$ 값이 작은 순서대로 정렬한다. $(\Delta\Re(n) \geq 0)$ 만약 모든 n 들에 대하여 $\Delta\wp(n) + \Delta\Re(n) \geq 0$ 이면 평형점을 $Q_e \leftarrow Q_{b/n_b^*}$, $n_e \leftarrow n_b^*$ 로 제시한다. 그렇지 않다면 $n_e \leftarrow \arg\min_n \left(\Delta\wp(n) + \Delta\Re(n)\right)$, $Q_e \leftarrow Q_{s/n_e}$ 로 하고 $\Delta\Re(n_e)$ 만큼의 할인을 구매자에게 제시한다. 이 경우 공급자는 $-\left(\Delta\wp(n) + \Delta\Re(n)\right)$ 만큼의 이익을 볼 수 있다.

4. 수치 실험

본 논문에서 제안하고 있는 해법의 타당성을 검증하기 위해 수치 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 입력변수의 값들은 b =10(만원/개), h =10(만원/개,년), h_r =8(만원/개,년), σ_r = 300(만원/회), Ξ = 2(개/주기), κ =1.65 , ξ_1 =2, ψ = 80, ψ_r =60, β =0.1, $\mathcal{M}$=40, $\hat{d}_n^{-1}$ = n에 따라 증가하는 임의의 값을 주었을 때, 공급자 주도 모형에서는 공급자가 126.7731만큼의 일회 발주량을 제시함으로써 4304만원의 비용절감과 $\Delta\Re(36)$ =473만원의 할인을 구매자에게 제시할 수 있었고 구매자 주도 모형에서는 공급자가 4042만원의 비용절감을 보면서 구매자에게 $\Delta\Re(36)$ =922만원의 할인을 구매자에게 제시함으로써 공급자의 총 비용을 최소화하는 협상안을 도출할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 ARIMA 수요과정하의 장기보충계약문제를 Stackelberg 게임 방식에 바탕을 둔 공급자 구매자 모형으로 수립하였다. 본 논문의 의의를 살펴보면 대부분의 장기보충계약문제가 구매자의 입장이 주로 반영되었다는 반면에, 본 논문은 공급자의 입장에서 장기보충계약문제를 보면서 총 비용을 최소화하였다. 더불어 계약기간 또는 총 발주량에 따른 할인율을 제시하는 것이 아니라 공급자의 총비용을 최소화하는 보상액을 제시할 수 있었다.

참고 문헌

[1] Bassok, Y. and R. Anupindi, "Supply Chain Management with Minimum Purchasing Commitment," *IIE Transactions,* Vol. 29, pp. 373-381, 1997.

[2] Corbett, C. J. and X. de Groote, "A Supplier's Optimal Quantity Discount Policy under Asymmetric Information," *Management Science,* Vol. 46, No. 3, pp. 444-450, 1997.

[3] Dada, M., and K. N. Srikanth, "Pricing Policies for Quantity Discounts," *Management Science,* Vol. 33, No. 10, pp. 1247-1252, 1987.

[4] Lal, R. and R. Staelin, "An Approach for development and Optimal Discount Pricing Policy," *Management Science,* Vol. 30, No. 12, pp. 1524-1539, 1984.

[5] Li, S. X., Z. Huang, and A. Ashley, "Improving Buyer-seller System Cooperation through Inventory Control," *International Journal of Production Economics,* Vol. 43, pp. 37-46, 1996.

[6] Tsay, A. A. and W. S. Lovejoy, "Quantity Flexibility Contracts and Supply Chain Performance," *Manufacturing and Service Operation Management,* Vol. 1, pp. 89-111, 1999.

[7] Jung, B. R. and J. S. Kim, A Long-term

Replenishment Contract for the ARIMA Demand Process in SCM Environment, Ph.D. Dissertation, Hanyang University, 2002.