韓國經營科學會誌
第30권 第4號
2005年 12月

외부 경쟁을 고려한 두 단계 공급체인에서의 단계기본재고수준의 결정

김 남 영*

Echelon Base Stock Policy with Outside Competition in a Two-Stage Supply Chain

Nam Young Kim*

■ Abstract ■

This paper focuses on the effects of outside competition on an optimal echelon base stock level in a two stage supply chain. This is new in that we have been studying the effects of inside competition within a supply chain up to now. It is known that the optimal echelon base stock level with inside competition within a supply chain is less than the global optimal echelon base stock level without inside competition. This is due to the "public goods" nature of inventory. That is, more inventory is better, but one wants the other to invest more, thus resulting in under-investment. However, this phenomenon becomes weaker as outside competition increases. We show that as outside competition becomes stronger, the "public goods" effects decrease and the optimal echelon base stock level increases. If the level of competition is sufficiently high, the optimal echelon base stock level goes even higher than the global optimal echelon base stock level. We develop a theoretical model for the analysis and conduct a numerical analysis.

Keyword : Echelon, Optimal Base Stock, Competition, Inventory, Supply Chain

논문접수일 : 2004년 11월 15일 논문게재확정일 : 2005년 10월 8일
* 계명대학교 경영대학 경영학과

1. 서 론

소매상은 공급자(supplier)에 주문하고 공급자는 자신의 상위단계에 주문하는 식의 다단계(multi-echelon) 공급체인에서 단계별 재고관리는 상위단계의 재고보유량에 영향을 받으므로 일반적인 단단계의 재고관리와는 다르다. 그리고 이러한 다단계 공급체인에서의 재고관리는 공급체인 전체의 재고비용을 최소화하는 방향으로 이루어지는 것이 최적이기는 하지만, 이러한 전략은 공급체인이 통합된 경우에나 가능할 것이며 공급체인상의 단계별 개체들이 독립적일 경우 그 실현 가능성은 매우 희박할 것으로 생각된다. 그 이유는 공급체인 전체의 재고비용을 최소화하는 통합적 최적해가 공급체인의 개별 개체들이 독립적으로 재고비용을 최소화하는 개별해와 일치된다는 보장이 없기 때문이다. 따라서 공급체인 단계별 개체간의 이해관계 및 경쟁관계를 고려한 재고관리 전략이 세워져야함은 당연하다. 최근에 이러한 경쟁관계를 고려한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 이러한 연구들은 특정 공급체인 내부에서의 개체간의 이해관계 즉 내부 경쟁에만 초점을 맞추고 있어, Li[10], Lippman and McCardle [11] 등이 지적하는 특정 공급체인의 외부와의 경쟁상황이 고려되고 있지 않다는 점이 문제점으로 지적된다. 본 논문은 이렇게 현재까지의 논문들이 공급체인의 내부에서의 개체간 경쟁관계만을 고려하는 것과는 달리 특정 공급체인의 외부와의 경쟁상황을 고려한다. 따라서 본 논문에서 연구되는 모형은 공급체인 내부의 개체간 경쟁상황을 고려한 단계별 재고수준결정 모형을 바탕으로 하고 공급체인의 외부와의 경쟁상황을 추가적으로 고려하는 모형이며, 연구의 대상이 되는 외부의 경쟁상황은 동일 산업내에서 고객 수요에 대하여 경쟁을 하는 타 업체와의 경쟁관계이다. 본 논문의 연구 초점은 시장수요에 대한 외부의 경쟁자가 있을 경우에 특정 공급체인 내부의 소매상과 공급자의 단계기본재고수준이 외부의 경쟁자가 없을 경우와 비교하여 어떻게 달라지는 가에 대한 것이다.

본 논문에서는 공급체인 외부의 경쟁이 있을 경우에는 외부 경쟁이 공급체인 내부 경쟁의 효과를 완화시켜 전체적으로 외부 경쟁이 없을 경우와 비교하여 특정 공급체인 내부의 개체들의 보유재고수준은 높아진다는 결과를 얻는다. 특히 외부 경쟁을 고려하지 않은 Cachon and Zipkin[1]의 결과와 비교하여 특기할 점은 Cachon and Zipkin은 정보공유 등을 통한 협조가 있는 경우에도 재고의 공공재 성격이 존재하므로, 내부 경쟁이 있을 경우에 경쟁이 없는 경우의 글로벌 최적해보다 재고수준이 낮다고 예상하지만, 본 논문은 외부 경쟁의 대체재 성격이 강하고 재고부족비용이 클 경우 등과 같이 경쟁이 심화되는 경우에는 경쟁이 없는 경우의 글로벌 최적해보다 재고수준이 높아질 수도 있음을 보인다. 2장에서는 본 논문의 주제인 다단계 재고관리 시스템에 대한 연구 논문들을 살펴보고 3장에서는 본 논문이 기본 모형으로 채택한 Cachon and Zipkin의 단계기본재고수준결정의 기본 모형을 설명한다. 4장에서는 본 논문의 가장 핵심 부분으로서 외부경쟁을 고려한 단계기본재고수준결정 모형을 제시하며 5장에서는 비교 분석을 위해 경쟁이 없는 경우의 글로벌 최적해 모형을 살펴본다. 6장에서는 3장, 4장, 5장에서 제시된 모형을 수치대입분석법을 이용하여 비교 분석하며 7장에서는 결론 및 앞으로의 연구과제에 대하여 서술한다.

2. 문헌 연구

다단계(multi-echelon) 재고관리에 대한 연구는 Clark and Scarf[4]에서 비롯된다. Clark and Scarf[4]을 비롯하여 Veinott and Wagner[14] 그리고 Clark and Scarf의 논문을 확장하는 차원에서 기간이 무한정인(infinite horizon) 경우를 다루는 Iglehardt[9], Federgruen and Zipkin[6], Zheng and Federgruen[16] 등은 2단계(two-echelon) 재고모형에서 재고수준이 s(재주문점) 이하로 떨어지면 주문이 이루어지고 주문량은 S(목표재고수준)에 모자라는 양만큼 주문을 하는 (s, S) 정책이 최적해라는

것을 보여준다. 위의 논문들은 수요가 안정적이고 독립적이라는 가정을 하는데 반하여, Veinott[14]는 제품이 다수일 경우, 수요가 안정적이지도 않고 독립적이지도 않을 경우를 다루는데, 그러나 이 경우에도 기본재고주문정책(base stock ordering policy)이 최적해임을 보인다.

Federgruen and Zipkin[7], Chen and Zheng[3] 등은 공급자 하나와 다수의 소매상이 있는 경우에 개체간 내부 경쟁을 고려하지 않고 시스템 전체의 비용을 최소화하는 재고수준결정 문제를 다룬다. Hausman and Erkip[8]의 경우에도 하나의 공급자와 다수의 창고가 있을 경우를 다루는데 그들의 연구는 다단계가 아닌 단단계 재고관리를 이용할 경우 다단계 최적해보다 못한 결과를 얻는다는 것을 보인다.

Chen[2]은 단일 기업내의 여러 분야가 하나의 공급체인을 이루고 있는 경우의 개체간의 경쟁상황을 고려하고는 있으나, 공급체인내의 개체들이 시스템 전체의 비용을 최소화한다는 목적을 공유하는 경우를 다루고 있으며, 이 경우 시스템 전체의 성과에 대한 희생이 없이도 각 분야가 개별적 코스트센터(cost center)로 관리될 수 있음을 보인다. Cachon and Zipkin[1]은 공급체인내의 개체들이 각자의 비용을 최소화하는 목적을 가지고 경쟁하는 경우를 분석한다. 위의 두 논문은 공급체인내의 개체간의 경쟁상황을 고려한다는 점에서 공헌이 있는 논문이기는 하나 공급체인 외부의 경쟁자와의 경쟁상황을 다루지 않는다는 점이 단점으로 지적되고 있다.

기업간의 경쟁에 있어서 재고의 역할에 대하여 연구한 일련의 논문들로서 Li[10], Lippman and McCardle[11] 등이 있다. Li[10]는 배송시간에 대한 경쟁이 있을 경우 재고비축에 대한 요구가 증가되어 결과적으로 배송시간 경쟁은 구매자의 부는 증가시키는 반면에 생산자의 부는 감소시킨다는 것이다. Lippman and McCardle[11]의 경우에는 경쟁이 있을 경우의 균형재고수준과 경쟁자간 수요의 할당 및 경쟁자간 초과수요의 재할당 간의 관계에 대하여 연구를 하며, 그들이 얻은 결론은 초과수요가 경쟁자에게 모두 재할당될 경우에 즉 대체가능성이 완벽한 경우에는 경쟁이 결코 산업전체의 재고수준을 감소시키지 않는다는 결과를 제시한다. 그러나 이러한 논문들은 비록 기업간의 경쟁에 있어 재고의 역할을 다루고는 있으나 다단계 공급체인을 고려하지 않고 있다. 본 논문은 Cachon and Zipkin[1]의 모형을 기본으로 하여 Lippman and McCardle [11]의 모형을 결합하는 형태의 모형이다.

3. 기본 모형(Cachon and Zipkin의 모형)

두 단계 공급체인에서의 단계기본재고수준의 결정에 대한 기본 모형으로는 Cachon and Zipkin[1]의 모형을 이용한다. 이것은 외부 경쟁을 고려하지 않은 Cachon and Zipkin의 결과와 외부 경쟁을 고려한 본 논문의 결과를 비교하기 위함이다. 비록 Cachon and Zipkin 모형이 기본 모형으로 그대로 이용되기는 하지만, 모형에 대한 분석은 Cachon and Zipkin과 다른 새로운 방법을 사용한다. 본 논문에서 새롭게 시도한 방법은 Cachon and Zipkin에서 이용한 시뮬레이션 방법과는 달리 적분(integral)에 대한 수치대입분석(numerical analysis)시에 Simpson의 근사치법을 이용한다는 것과 엑셀의 매크로 기능을 이용하여 체계적인 분석을 한다는 점이다. 새롭게 시도한 방법은 사용이 간편하며 수치대입분석시에 엑셀의 여러 가지 기능을 이용할 수 있어 상당한 장점이 있는 것으로 생각한다.

Cachon and Zipkin이 설정한 모형에 대한 내용은 다음과 같다. 공급자와 소매상이 한 종류의 제품만을 취급하는 재고시스템을 가정한다. 소매상은 공급자로부터 제품을 공급받고 공급자는 상위단계에 주문을 한다. 소매상을 공급체인상의 단계 1이라고 하고 공급자를 단계 2로 한다. 고객의 수요는 확률적(stochastic)이며, 안정적(stationary)이고 기간별로 독립적(independent)이라고 가정한다. 시간은 무수히 많은 기간(period)으로 나누어져 있으며 특정 기간동안 다음의 사건이 순차적으로 발생한다고

가정한다. 특정기간의 기초에 주문량이 도착하고, 기간 중에 수요가 발생하며, 기말에 재고가 남으면 재고유지비용이 발생하고, 초과수요가 발생하면 단위당 재고부족비용 p가 발생한다. 재고부족비용은 소매상과 공급자가 공동부담하는 것으로 하며 소매상과 공급자의 분담률은 각각 α 와 $1-\alpha$ 로 한다. 소매상과 공급자 사이의 리드타임(lead time)은 L_1이고 공급자와 상위단계와의 리드타임은 L_2이다. 주문비용은 없다고 가정하고 수량할인도 없다고 가정한다. 공급자의 경우 보유재고 및 수송중(in-transit) 재고에 대한 재고유지비용은 단위당 h_2 이고 소매상의 경우는 공급자보다 재고유지비용이 높다고 가정하여 h_1+h_2으로 한다. 공급자와 소매상은 단계기본재고정책(echelon base stock policy)을 이용한다고 가정한다. 다단계 공급체인에서 특정단계의 단계재고(echelon stock)는 자신의 재고에 자신의 아래 단계의 재고를 모두 합친 재고를 말한다(Silver and Peterson[13], p.467).

• 사용되는 기호

S_1 : 소매상의 단계기본재고수준

S_2 : 공급자의 단계기본재고수준(소매상의 재고수준 + 공급자의 재고수준)

L_1 : 소매상의 리드타임(공급자에 주문 후 주문량이 도착할 때까지 걸리는 시간)

L_2 : 공급자의 리드타임(상위단계에 주문 후 주문량이 도착할 때까지 걸리는 시간)

D^t : t 기간동안의 수요

$f^t(x)$: t 기간 동안의 수요함수(정규분포 가정)

h_2 : 공급자의 단위당 재고비용

h_1+h_2 : 소매상의 단위당 재고비용

p : 단위당 재고부족비용(shortage cost)

α : 재고부족비용 중 소매상의 분담비율

$1-\alpha$: 재고부족비용 비용 중 공급자의 분담비율

Cachon and Zipkin의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 소매상의 최적 기본재고수준은 다음의 식에서 결정된다.

$$F^{L_1+1}(S_1^*)=\frac{\alpha p}{h_1+h_2+\alpha p} \tag{1}$$

식 (1)을 만족하는 S_1을 찾는데 있어 Cachon and Zipkin[1]에서 특별한 언급은 없으나 Federgruen and Zipkin[6]에서 이용된 IMSL(International Mathematical and statistical Libraries) 패키지를 이용한 것으로 추측이 된다. 본 논문에서는 앞서 언급했듯이 분석을 간편하고 다양하게 하기 위하여 Cachon and Zipkin의 방식과는 다른 방법을 이용한다. 식 (1)의 왼쪽은 음의 수요는 없다고 가정하고(이를 위해 수요함수의 파라미터를 특별하게 지정해야 한다.) 0에서 S_1까지 적분을 해야 한다. 이 적분을 위해 Simpson의 근사치법을 이용하는데 그 방법은 다음과 같다.

0에서 S_1의 구간을 짝수개(2n)의 동등한 구간으로 나누어 $\Delta x=\frac{S_1-0}{2n}$를 계산한 뒤 아래의 Simpson의 근사치 식을 이용하여 적분값을 구한다. 물론 구간을 많이 쪼갤수록 적분값은 더 정확해진다.

$$\frac{\Delta x}{3}(1\cdot f(0)+4\cdot f(\Delta x)+2\cdot f(2\Delta x)+4\cdot f(3\Delta x)$$
$$+2\cdot f(4\Delta x)+\cdots+4\cdot f((2n-1)\Delta x)+1\cdot f(S_1))$$

이 적분값은 S_1의 크기에 따라 변하게 되는데, 적분값이 식 (1)의 오른쪽 값과 같아지는 때의 S_1 값을 찾으면 된다. 이러한 과정을 수행하기 위하여 엑셀의 매크로 기능을 이용한다. 즉, 비주얼 베이직 에디터(visual basic editor)를 이용하여 간단한 모듈을 작성하고, S_1 값을 0부터 조금씩 증가시키면서 식 (1)의 오른쪽 값과 비교하여 같아지는 때의 S_1값을 찾는다. 물론 식 (1)의 오른쪽 값은 h_1, h_2, α, p 값에 따라 달라지므로, 이러한 값들을 달리하면서 그 때마다의 새로운 S_1값을 찾는다.

2) 공급자의 최적 단계기본재고수준은 다음의 식에

서 결정된다.

$$h_2F^{L_2}(S_2-S_1^*)+(1-\alpha)p\int_{S_2-S_1^*}^{\infty}f^{L_2}(x)$$
$$\{-1+F^{L_1}+1(S_2-x)\}dx=0 \qquad (2)$$

4. 외부의 경쟁을 고려한 재고수준 결정 모형

본 논문에서는 외부 경쟁을 고려하지 않은 Cachon and Zipkin의 기본 모형에 외부의 경쟁상황을 고려한 새로운 모형을 만든다. 분석을 간단하게 하기 위하여 외부 경쟁상황이 복점(duopoly)인 경우를 분석하며 분석결과는 경쟁자수가 다수일 경우에도 쉽게 확장 적용할 수 있다. 가격경쟁은 없는 것으로 하며 따라서 기업들의 전략은 재고수준이 된다. 고객이 특정 소매상을 방문하여 구매하려는 물건의 재고가 없음을 알았을 경우, 이 고객은 주문 후 기다림, 구매포기, 경쟁자로부터 구매 등의 옵션이 있을 수 있다. 고객의 선택이 무엇이든 간에 재고부족은 장기적으로 소매상에게 시장점유율의 감소를 포함하는 악영향을 끼치는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 상황을 모델에 정확하게 반영하는 것은 매우 어렵지만 본 논문에서는 Lippman and McCardle[11]에서와 유사하게 초과수요의 일정부분이 경쟁상대방의 고객이 되는 것으로 설정한다. 소매상이 둘(i,j)이 있다고 가정할 경우, i 소매상의 새로운 수요 (D_i^{new})는 자신의 기본수요 (D_i)와 경쟁자(j)가 충족 못시키는 수요 중 일부를 합한 것과 같다고 가정한다. 여기서 경쟁자(j)가 충족 못시키는 수요란 초과수요가 발생하는 경우이며, S_j를 j소매상의 보유재고수준, b_i를 경쟁자가 충족 못시키는 수요 중에서 i 소매상의 수요로 전환되는 비율 이라고 하면, j의 수요 중 i의 수요가 되는 부분은 $b_i(D_j-S_j)$이다. 따라서 i 소매상의 수요는 다음과 같다.

$$D_i^{new}=D_i+b_i(D_j-S_j)=D_i+b_iD_j-b_iS_j$$

본 논문은 수요함수에 대한 언급이 없는 Lippman and McCardle과 달리 소매상들의 수요함수가 이변량 정규분포(bivariate normal, Degroot[5] p.300)를 가진다고 가정한다. 소매상의 수요를 이변량 정규분포를 가진다고 가정할 경우의 장점 중의 하나는 제품의 대체재 정도를 상관관계 (ρ)를 이용하여 표현할 수 있다는 점이다. 이변량 정규분포를 가정했을 경우의 i 소매상의 예상수요와 수요의 분산은 다음과 같다.

$$E(D_i^{new})=E(D_i)+b_iE(D_j)-b_iS_j$$
$$V(D_i^{new})=V(D_i)+b_i^2V(D_j)+2b_i\rho\sqrt{V(D_i)}\sqrt{V(D_j)}$$

경쟁자를 고려한 새로운 수요함수를 $f_i^{new}(x)$라 한다면 Cachon and Zipkin의 최적 기본재고수준결정 식은 아래와 같이 변하게 된다. 새로운 수요함수의 평균 및 분산은 소매상의 수요가 이변량 정규분포라고 가정하고 도출한 평균 및 분산이 된다. 결과적으로 식 (1)과 식 (2)을 이용하여 소매상의 경우는 $F_i^{newL_1+1}(S_1^*)=\dfrac{\alpha p}{h_1+h_2+\alpha p}$ 식을 만족하는 S_1을 찾으면 되고 공급자의 경우는

$$h_2F_i^{newL_2}(S_2-S_1^*)+(1-\alpha)p\int_{S_2-S_1^*}^{\infty}f_i^{newL_2}(x)$$
$$\{-1+F_i^{newL_1+1}(S_2-x)\}dx=0$$

을 만족하는 S_2를 찾으면 그 것이 바로 단계기본재고수준이 된다.

5. 내부의 경쟁이 없을 경우의 글로벌 최적해

내부의 경쟁이 없을 경우의 글로벌 최적해에 대해서는 Cachon and Zipkin에서 도출되어 있는 것을 그대로 이용한다. 그 들의 논문에서는 도출과정이 없으므로 본 논문에서는 부록에 그 도출과정을 제시한다.

소매상의 최적해 : 아래 식을 만족하는 S_1을 구

하면 된다.

$$F^{L_1+1}(S_1) = \frac{h_2+p}{h_1+h_2+p}$$

(Cachon and Zipkin[1], p. 939)

공급자의 최적해는 아래의 식에서 S_2 값을 찾으면 된다.

$$\begin{aligned} & h_2 F^{L_2}(S_2-\mu^1) + h_1\{(1-F^{L_2}(S_2-S_1)) \\ & -(S_2-\mu^{L_1+1}) f^{L_2}(S_2-S_1) + (S_2-S_1) f^{L_2}(S_2-S_1)\} \\ & +(h_1+h_2+p)\{-f^{L_2}(S_2-S_1)K(S_1) \\ & +\int_{S_2-S_1}^{\infty} f^{L_2}(x)\, K'(S_2-x)dx\} = 0 \end{aligned}$$

여기서

$$K(S_1) = \int_{S_1}^{\infty}(x-S_1) f^{L_1+1}(x)dx$$

$$K'(S_2-x) = -(1-F^{L_1+1}(S_2-x))$$

6. 수치대입분석 및 모형 비교분석

경쟁이 없을 경우와 경쟁이 있을 경우의 최적 단계기본재고수준의 비교를 위해서 수치대입분석(numerical analysis)을 한다. Cachon and Zipkin의 결과와의 비교를 위해 Cachon and Zipkin[1]에서 이용한 변수 값들 이용하며 이용된 변수 값들은 아래와 같다.

$$\alpha \in \{0.1, 0.5, 0.9\}, \quad p \in \{1, 5, 25\},$$
$$L_1 \in \{1, 5, 10\}, \quad L_2 \in \{1, 5, 10\},$$
$$h_1 \in \{0.3, 0.7\}, \quad h_2 = 1-h_1$$

이 경우 총 162개의 변수조합이 가능하며 각 조합별로 모형별 단계기본재고수준을 계산한다. Cachon and Zipkin의 경우는 이러한 변수들의 체계적인 조합에 따른 단계기본재고수준의 변화를 관찰한 것이 아니라 시뮬레이션을 통하여 임의의 조합에서 얻어지는 단계기본재고수준의 범위 및 변화에 대해서만 분석을 하는데 그치고 있는데 비하여 본 논문에서는 변수값의 체계적인 조합을 통하여 특정 변수의 변화에 따른 단계기본재고수준의 변화를 관찰하며 외부 경쟁이 없는 경우와 있는 경우와의 비교에서도 체계적인 분석이 이루어진다.

본 논문에서 비교가 이루어지는 모형들은 다음과 같다.

모형 1 : 내부 경쟁이 없는 경우의 글로벌 최적해
모형 2 : 내부 경쟁은 있으나 외부 경쟁이 없는 경우의 공급체인 개체별 최적해
모형 3 : 내부 경쟁과 외부 경쟁이 모두 있는 경우의 개체별 최적해

모형별로 총 162개의 변수조합에 대한 단계기본재고수준이 수치대입분석으로 결정이 되지만 지면상 제약이 있어 모두 보이지는 못하고 모형별 차이만 알 수 있도록 하기 위하여 9개 조합을 대표로 선정하여 표로 만들어 보인다. <표 1>은 내부 경쟁이 없는 경우의 글로벌 최적해를, <표 2>는 내부 경쟁은 있으나 외부경쟁이 없는 경우의 공급체인 개체별 최적해를, 그리고 <표 3>은 내부 경쟁과 외부 경쟁이 모두 있는 경우의 개체별 최적해를 보여준다. <표 4>는 모형 3의 경우에 ρ와 b 값이 달라짐에 따라 단계기본재고수준이 달라짐을 보여준다.

〈표 1〉 모형 1 : 내부 경쟁이 없는 경우의 글로벌 최적해

α	p	L_1	h_1	L_2	S_1	S_2	S_2-S_1
0.1	1	1	0.3	1	2.36	3.47	1.11
0.1	5	5	0.3	5	6.93	12.4	5.47
0.1	25	10	0.3	10	12.2	23.3	11.17
0.5	1	1	0.3	1	2.36	3.47	1.11
0.5	5	5	0.3	5	6.93	12.4	5.47
0.5	25	10	0.3	10	12.2	23.3	11.17
0.9	1	1	0.3	1	2.36	3.47	1.11
0.9	5	5	0.3	5	6.93	12.4	5.47
0.9	25	10	0.3	10	12.2	23.3	11.17

참고) 내부경쟁이 없는 경우는 소매상과 공급자가 재고부족비용을 분담하는 것이 아니므로 α는 영향을 미치지 않음.

〈표 2〉 모형 2 : 내부 경쟁은 있으나 외부 경쟁이 없는 경우의 공급체인 개체별 최적해

α	p	L_1	h_1	L_2	S_1	S_2	S_2-S_1
0.1	1	1	0.3	1	1.51	2.54	1.03
0.1	5	5	0.3	5	5.73	11.27	5.54
0.1	25	10	0.3	10	11.45	22.63	11.18
0.5	1	1	0.3	1	1.84	2.76	0.92
0.5	5	5	0.3	5	6.32	11.54	5.22
0.5	25	10	0.3	10	11.93	22.66	10.73
0.9	1	1	0.3	1	1.97	2.65	0.68
0.9	5	5	0.3	5	6.51	11.17	4.66
0.9	25	10	0.3	10	12.03	22.09	10.06

〈표 3〉 모형 3 : 내부 경쟁과 외부 경쟁이 모두 있는 경우의 개체별 최적해 ($\rho=1$, $b=0.5$)

α	p	L_1	h_1	L_2	S_1	S_2	S_2-S_1
0.1	1	1	0.3	1	1.53	2.83	1.3
0.1	5	5	0.3	5	5.72	11.74	6.02
0.1	25	10	0.3	10	11.94	23.77	11.83
0.5	1	1	0.3	1	1.88	2.88	1
0.5	5	5	0.3	5	6.63	11.98	5.35
0.5	25	10	0.3	10	13.26	24.14	10.88
0.9	1	1	0.3	1	2.04	2.63	0.59
0.9	5	5	0.3	5	6.96	11.43	4.47
0.9	25	10	0.3	10	13.66	23.37	9.71

〈표 4〉 ρ 와 b 값에 따라 달라지는 모형 3의 단계기본재고수준

ρ, b	α	p	L_1	h_1	L_2	S_1	S_2	S_2-S_1
($\rho=0$, $b=0.1$)	0.5	5	5	0.3	5	6.34	11.57	5.23
($\rho=0$, $b=0.5$)	0.5	5	5	0.3	5	6.42	11.72	5.3
($\rho=0$, $b=0.9$)	0.5	5	5	0.3	5	6.55	11.94	5.39
($\rho=0.5$, $b=0.1$)	0.5	5	5	0.3	5	6.36	11.6	5.24
($\rho=0.5$, $b=0.5$)	0.5	5	5	0.3	5	6.5	11.84	5.34
($\rho=0.5$, $b=0.9$)	0.5	5	5	0.3	5	6.7	12.14	5.44
($\rho=1$, $b=0.1$)	0.5	5	5	0.3	5	6.38	11.62	5.24
($\rho=1$, $b=0.5$)	0.5	5	5	0.3	5	6.63	11.98	5.35
($\rho=1$, $b=0.9$)	0.5	5	5	0.3	5	6.91	12.36	5.45

참고) 모형 3의 경우는 ρ와 b 값이 달라짐에 따라 단계기본재고수준이 달라지는데, 간략히 그 차이점을 살펴보면 <표 4>에서 보는 바와 같이 상관관계(ρ)가 높을수록 단계기본재고수준이 높아짐을 알 수 있다. 상관관계가 높다는 것은 대체재 성격이 강함을 의미함으로 재고수준이 높아지는 것은 당연하다고 할 수 있다.

• **수치대입분석의 결과 해석**

1) 내부경쟁이 없는 경우에(모형 1)에 비하여 내부경쟁이 있는 경우(모형 2)가 공급체인 전체의 재고수준은 낮다. 즉 <표 2>에서의 단계기본재고수준이 <표 1>에서의 단계기본재고수준보다 작음을 알 수 있다. 이에 대하여 Cachon and Zipkin은 재고는 공공재의 성격을 가지고 있어 많은 것이 개별적으로 좋기는 하나 경쟁상대방이 더 많은 투자를 하기를 바라며 자신은 저투자를 하게 되므로 이러한 현상이 발생하는 것으로 해석하고 있다.

외부의 경쟁이 있는 경우에도(모형 3) 경쟁이 심하지 않은 경우 내부경쟁이 없는 경우에 비하여 공급체인 전체의 재고수준은 낮다. 이 것은 <표 1>과 <표 3>에서 대체재 성격이 약하고(ρ가 작음), 재고부족비용(p)이 작으며, 수요의 전환비율(b)이 작은 경우에 <표 3>의 단계기본재고수준이 <표 1>에서 보다 작음을 알 수 있다. 이는 경쟁이 심하지 않을 경우 재고의 공공재 성격이 그대로 유지되고 있음을 의미한다. 그러나 대체재의 성격이 강하고(ρ가 1 근접) 재고부족

비용이 크며(p 값이 큰 경우), 그리고 상대방의 초과수요 중에서 자신의 수요로 전환되는 비율이 높은 경우(b 값이 큰 경우), 즉 경쟁이 심할 경우에는 재고수준이 글로벌 최적해의 경우(모형 1)보다 재고수준이 높아진다. <표 3>에서 p 값이 큰 경우 <표 1>의 경우보다 단계기본재고수준이 높아지는 것을 알 수 있으며, 이러한 현상은 <표 4>에서 보여주듯이 p와 b 값이 커지면 더 뚜렷해진다. 이는 경쟁이 심화될수록 재고부족으로 인한 손실은 커지므로 재고수준을 높이는 것이 유리함을 보여주는 것으로 해석할 수 있다.

2) 외부 경쟁이 있는 경우(모형 3)가 외부경쟁이 없는 경우(모형 2)에 비하여 예외는 있으나 대체적으로 소매상이나 공급자의 단계기본재고수준은 높아진다. <표 3>에서의 단계기본 재고수준이 <표 2>의 단계기본재고수준보다 대체적으로 높음을 알 수 있다. 이 것은 외부 경쟁이 내부경쟁의 효과를 완화하는 효과가 있음을 의미하며, 내부적으로는 경쟁이 있더라도 외부의 경쟁 상대자가 있을 경우 내부적으로 결속하는 효과가 있음을 간접적으로 나타낸다. 그러나 예외는 있다. <표 2>에서 $\alpha=0.1$, $p=5$, $L_1=5$, $h_1=0.3$, $L_2=5$인 경우 $S_1=5.73$, $S_2=11.27$인데 <표 3>에서는 같은 조건에서 $S_1=5.72$, $S_2=11.74$ 이다. 즉 소매상의 단계기본재고수준은 외부경쟁이 없는 경우보다 낮아지지만 공급체인 전체적으로는 재고수준이 높아지는 경우가 있는데 이것은 외부경쟁의 효과로 해석할 수 있는 부분으로서 소매상이 재고부족비용에 대하여 그다지 중요하지 않다고 생각하는 경우에 상대적으로 재고부족비용이 중요하다고 생각하는 공급자가 경쟁에 대응하기 위해 더 재고에 관심을 기울이는 것으로 이해할 수 있다. 이러한 현상은 소매상의 분담률(α)이 낮을 경우에 발생한다. 반대로 <표 2>에서 $\alpha=0.9$, $p=1$, $L_1=1$, $h_1=0.3$, $L_2=1$인 경우 $S_1=1.97$, $S_2=2.65$인데 <표 3>에서는 같은 조건에서 $S_1=2.04$, $S_2=2.63$이다. 즉 소매상의 단계기본재고수준은 외부경쟁이 없는 경우보다 높아지지만 공급체인 전체적으로는 재고수준이 낮아지는 경우가 있는데 이것은 소매상이 재고부족에 대하여 중요하게 생각하는 경우에 상대적으로 중요하지 않다고 생각하는 공급자가 재고에 관심을 기울이지 않는 경우로 해석할 수 있다. 이러한 현상은 소매상의 분담률(α)이 높을 경우에 발생한다. 그러나 이러한 현상들은 극히 드문 현상이며 외부 경쟁이 있는 경우 대체적으로 없는 경우와 비교하여 재고수준은 높아진다.

3) 외부 경쟁이 없는 경우에(모형 2) 소매상의 경우는 재고부족비용의 분담률이 높아질수록 단계기본재고수준도 높아지지만 공급체인 전체의 단계기본재고수준(S_2)은 소매상의 재고부족비용 분담률(α)이 0.5일 경우 최대가 되며 글로벌 최적해(모형 1)의 단계기본재고수준에 근접한다. <표 2>에서 $\alpha=0.5$일 경우 S_2의 값이 최대가 되며 이 값들이 <표 1>의 값에 가장 근접한다. 이러한 현상은 <표 3>에서 보는 바와 같이 외부경쟁이 있는 경우에도(모형 3) 관찰되는 현상이다. 분담률이 0.5로 동일한 경우가 의미하는 것은 소매상이나 공급자가 동일하게 재고부족이 중요하다고 생각하는 경우이어서 서로간 경쟁이 완화되므로 글로벌 최적해에 가까워짐은 자연스러운 현상으로 이해할 수 있다. 단지 외부 경쟁이 없는 경우와의 차이점은 외부 경쟁이 있는 경우의 재고수준이 외부 경쟁이 없는 경우와 비교하여 더 글로벌 최적해에 근접한다는 것이다.

위의 결과를 요약하면, 외부 경쟁이 있을 경우 없는 경우에 비하여 단계기본재고수준은 높아지는데 이것은 외부경쟁에 대한 내부적인 결속력이 생겨 내부 경쟁의 효과가 완화되는 것으로 이해할 수 있다. 외부 경쟁이 있을 경우에도 경쟁이 심하지 않은 경우에는 외부 경쟁이 없을 경우와 유사하게 글로벌 최적해에 비하여 재고수준은 낮은데 이는 재고의 공공재의 성격이 강하다는데 그 이유를 찾을

수 있을 것 같다. 그러나 외부 경쟁이 심할 경우에는 즉 대체재의 성격이 강하고 재고부족비용이 클 경우 글로벌 최적해의 재고수준보다 높은 재고수준을 유지하게 된다.

7. 결 론

본 논문은 공급체인내의 개체간의 이해관계(경쟁관계) 뿐만 아니라 공급체인 외부와의 수요에 대한 경쟁관계도 고려하여 단계기본재고수준 결정 문제를 다루었다는 것이 특징이다. 또한 분석 과정에서 새롭게 적용한 Simpson의 근사치 방법과 엑셀의 매크로를 이용한 방법은 다른 곳에서도 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 본 논문에서는 외부와의 경쟁상황을 모형에 반영하는 방법의 제시와 더불어 그러한 상황에서 어떻게 최적 단계기본재고수준이 결정되는지를 보여주며 수치대입분석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻는다. 첫째, 외부 경쟁이 있을 경우, 없는 경우에 비하여 단계기본재고수준은 높아지는데 이 현상은 외부 경쟁이 내부 경쟁의 효과를 완화함을 의미한다. 즉 이미 언급이 되었듯이 내부 경쟁은 재고의 공공재 성격으로 인하여 단계기본재고수준의 감소 효과가 있는데 이러한 효과가 외부 경쟁으로 완화된다는 의미이다. 둘째, 공급체인의 내부에서 개체간 경쟁이 있을 경우의 공급체인상의 단계기본재고수준은 내부 경쟁이 없을 경우의 글로벌 최적재고수준보다 낮다는 것이 Cachon and Zipkin의 결론이었는데, 외부 경쟁이 있을 경우에도 경쟁이 심하지 않은 경우에는 동일한 결과를 얻는다. 그러나 경쟁이 심할 경우에는 글로벌 최적재고수준보다 재고수준이 높아지는데, 이는 대체재의 성격이 강하고 재고부족비용이 크고 상대방의 초과수요의 전환율이 높으면 재고부족으로 인한 손실이 커지게 되므로 재고수준을 높이는 것이 유리함을 의미한다. 셋째, 외부 경쟁이 없는 경우 소매상과 공급자의 재고부족비용 분담률이 동일할 경우에 공급체인의 재고수준이 가장 높은데, 외부 경쟁이 있을 경우에도 예외가 있기는 하지만 대체적으로 동일한 결과를 얻는다. 이는 외부 경쟁이 있더라도 재고의 공공재 성격은 유지되고 있음을 의미한다. 단지 외부 경쟁이 없는 경우와의 차이점은 외부경쟁이 있는 경우의 재고수준이 보다 더 글로벌 최적해에 근접한다.

본 논문에서 제시하는 모형이 외부의 경쟁을 고려한다는 점에서 장점은 있으나 완벽한 모형이라고는 할 수 없을 것 같다. 비록 모형에서 설정한 가정들이 일반적으로 이용되는 가정이기는 하지만 수요가 안정적이고 독립적이라는 가정, 그리고 수요함수가 정규분포라는 가정 등을 완화하여 추가적인 연구가 필요한 것으로 보이며 이는 앞으로의 연구과제로 남긴다.

참 고 문 헌

[1] Cachon, G.P. and P.H. Zipkin, "Competitive and Cooperative Inventory Policies in a Two-Stage Supply Chain," *Management Science*, Vol.45, No.7(1999), pp.936-953.

[2] Chen, F., "Decentralized Supply Chains Subject to Information Delays," *Management Science*, Vol.45, No.8(1999), pp.1076-1090.

[3] Chen, F. and Y.-S. Zheng, "Lower Bound for Multi-echelon Stochastic Inventory Systems," *Management Science*, Vol.40, No.11 (1994), pp.1426-1443.

[4] Clark, A.J. and H. Scarf, "Optimal Policies for a Multi-echelon Inventory Problem," *Management Science*, Vol.6, No.4(1960), pp. 475-490.

[5] DeGroot, M.H., *Probability and Statistics*, Addison-Wesley Publishing Company, Second Edition, 1987.

[6] Federgruen, A. and P. Zipkin, "Computational Issues in an Infinite-Horizon Multiechelon Inventory Model," *Operations Re-*

search, Vol.32, No.4(1984a), pp.818-836.

[7] Federgruen, A. and P. Zipkin, "Approximation of Dynamic, Multi-Location Production and Inventory Problems," *Management Science*, Vol.30, No.1(1984b), pp.69-84.

[8] Hausman, W. and N. Erkip, "Multi-echelon vs. Single-echelon Inventory Control Policies," *Management Science*, Vol.40, No.5 (1994), pp.597-602.

[9] Iglehardt, D., "Optimality of (s, S) Policies in the Infinite Horizon Dynamic Inventory Problem," *Management Science*, Vol.9, No. 2(1963), pp.259-267.

[10] Li, L., "The Role of Inventory in Delivery-Time Competition," *Management Science*, Vol.38, No.2(1992), pp.182-197.

[12] Lippman, S.A. and K.F. McCardle, "The Competitive Newsboy," *Operations Research*, Vol.45, No.1(1997), pp.54-65.

[13] Protter, M.H. and C.B. Morrey, JR., *College Calculus with Analytic Geometry*, Addison-Wesley Publishing Company, Third Edition, 1977.

[14] Silver, E.A. and R. Peterson, *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, John Wiley and Sons, Second Edition, 1985.

[15] Veinott, A and H. Wagner, "Computing Optimal (s, S) Inventory Policies," *Management Science*, Vol.11, No.5(1965), pp.525-552.

[16] Veinott, A., "Optimal Policy for a Multi-Product, Dynamic, Non-stationary Inventory Problem," *Management Science*, Vol. 12, No.3(1965), pp.206-222.

[17] Zheng, Y.S. and A. Federgruen, "Finding Optimal (s, S) Policies is About Simple as Evaluating a Single Policy," *Operations Research*, Vol.39, No.(1991), pp.654-665.

부 록

내부 경쟁이 없는 경우의 글로벌 최적해 :
소매상의 최적해는 아래 식을 S_1에 관하여 미분하여 0으로 놓은 식을 만족하는 S_1을 구하면 된다.

$$G_1(S_1)=h_1(S_1-\mu^{L_1+1})+(h_1+h_2+p)\int_{S_1}^{\infty}(x-S_1)f^{L_1+1}(x)dx$$

$$\frac{\partial G_1(S_1)}{\partial S_1}=h_1+(h_1+h_2+p)(-1+F^{L_1+1}(S_1))=0$$

$$F^{L_1+1}(S_1)=\frac{h_2+p}{h_1+h_2+p} \text{ (Cachon and Zipkin[1], p.939)}$$

공급자의 최적해는 아래의 식을 S_2로 미분하여 0(zero)로 놓은 식을 만족하는 S_2 값을 찾으면 된다.

$$\begin{aligned}
G_2(S_2)&=h_2(S_2-D^{L_2}-\mu^1)+G_1(S_2-D^{L_2})\\
&=h_2(S_2-D^{L_2}-\mu^1)+prob.(S_2-D^{L_2}>S_1)G_1(S_2-D^{L_2})+prob.(S_2-D^{L_2}<S_1)G_1(S_2-D^{L_2})\\
&=h_2(S_2-D^{L_2}-\mu^1)+0+prob.(D^{L_2}>S_2-S_1)G_1(S_2-D^{L_2})\\
&=h_2(S_2-D^{L_2}-\mu^1)+prob.(D^{L_2}>S_2-S_1)[h_1(S_2-D^{L_2}-\mu^{L_1+1})\\
&\quad+(h_1+h_2+p)\int_{S_2-D^{L_2}}^{\infty}\{x-(S_2-D^{L_2})\}f^{L_1+1}(x)dx\\
&=h_2\int_0^{S_2-\mu^1}(S_2-x-\mu^1)f^{L_2}(x)dx+h_1\int_{S_2-S_1}^{\infty}(S_2-x-\mu^{L_1+1})f^{L_2}(x)dx\\
&\quad+(h_1+h_2+p)\int_{S_2-S_1}^{\infty}[\int_{S_2-x}^{\infty}\{y-(S_2-x)\}f^{L_1+1}(y)dy]f^{L_2}(x)dx
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_2(S_2)}{\partial S_2}&=h_2F^{L_2}(S_2-\mu^1)+h_1\{(1-F^{L_2}(S_2-S_1))-(S_2-\mu^{L_1+1})f^{L_2}(S_2-S_1)+(S_2-S_1)f^{L_2}(S_2-S_1)\}\\
&\quad+(h_1+h_2+p)\{-f^{L_2}(S_2-S_1)K(S_1)+\int_{S_2-S_1}^{\infty}f^{L_2}(x)K'(S_2-x)dx\}=0
\end{aligned}$$

여기서

$$K(S_1)=\int_{S_1}^{\infty}(x-S_1)f^{L_1+1}(x)dx$$

$$K'(S_2-x)=-(1-F^{L_1+1}(S_2-x))$$