

# 재고투자 감축에 따른 재고모형과 비용 감도 분석

권희철\*

가천대학교 산업경영공학과\*

## The Optimal Inventory Modeling and The Cost Sensitivity Analysis with Reducing Inventory Investment

Hee-Chul Kwon \*

Dept. of Industrial Engineering, Gachon University\*

**요약** 글로벌 경제 침체와 국내 경기변동은 기업의 자금 조달에 어려움을 초래하고 기업 운영을 악화시킨다. 특히 불황기에 직면한 기업이 많은 재고를 보유하고 있다면 운영관리 뿐만 아니라 심각한 자금 조달 문제가 발생할 수 있다. 그것은 경쟁적 우위 차원에서 경영 전략을 수립하여야 되는 기업의 사기를 좌절시킬 수 있다. 이렇게 운전자금 부족이나 운전자금 문제를 겪는 기업은 우선 재고투자 감축을 고려하게 되지만 재고투자 감축 정책은 재고 운영 비용을 증가시킬 수 있다. 만일 비용 증가 폭이 크다면 재고감축 정책의 타당성이 성립되지 않는다. 본 연구는 재고 투자 감축 크기에 비교해서 총비용의 변화가 크지 않음을 제시하고 민감도 분석을 통해 나타내고 있다. 이 결과는 재고 운영 정책에 따라서는 운전자금 부족 문제가 발생하였을 때 재고투자 감축의 정당성을 제안하고 있다. 여기서 전개한 재고모형은 최대한 현실성을 고려하여 개발하였다.

**주제어** : 재고투자, 운전자금 조달, 민감도 분석, (ROP,Q)모형, 포아송과정

**Abstract** The business cycle during a recession leads to negative effects on raising funds and operations management of company. In particular, the company with many inventories in the recession causes liquidity problem. Which leads to frustration in the competitive strategy management. In this case the company experiencing cash or liquidity problems attempts to reduce its investment in inventory. However, reducing inventory investment makes problems to increase inventory operating costs. This paper presents sensitivity of total cost compared to the size for reducing inventory investment. This will guarantee the relevance of the reducing inventory investment. Optimal Inventory levels also may be required to be less than the optimal levels without reduction on inventory investments.

**Key Words** : Inventory Investments, Raising funds, Sensitivity Analysis, (ROP,Q) Model, Poisson Process

### 1. 서론

#### 1.1 연구범위와 연구목적

오늘날 글로벌 경기변동은 매우 불규칙하며 경기호황

과 경기침체의 예측에 대한 신뢰성도 낮은 편이다. 특히 불황기의 기업은 운전자금 부족 문제와 외부자금 조달의 어려움을 극복할 수 있는 방안을 다각도로 모색하게 된다. 이런 시기에 자금수요가 심각한 기업은 조직 내에서

\* 본 논문은 2013년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임.(GCU-2013-R389)

Received 30 November 2013, Revised 20 December 2013

Accepted 20 December 2013

Corresponding Author: Hee-Chul Kwon(Gachon University)

Email: somy@gachon.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

우선 환금성이 낮은 계열에 속하는 투자를 감축시키려 할 것이다. 즉 경제성장 과정에서 주기적으로 발생하는 경기변동은 경제의 각 부문 및 여러 측면에서 상호관계에 따라 그 폭의 대소면에서 다르게 나타나는 경우도 있으나 어느 정도 일관성 있는 양상을 이루며 진행되는 것이 전반적인 경제현상의 특징이라 할 수 있다. 특히 생산면에서는 생산량감축으로 인해 가동률 저하, 고공문제, 조업단축의 현상이 뚜렷해지며, 상거래 면에서 물가는 하락하나 구매력의 감소로 전반적인 생산, 판매는 부진하게 된다. 이에 따른 회전력의 둔화로 자금에 상당한 부담을 받게 되는데 이때 기업은 재고수준을 줄이고 환금성이 낮은 계열에 속하는 재고 상품 등을 현 수요에 큰 지장을 주지 않는 한 작은 수준으로 보유하여야 한다.

한편 재고시스템 측면에서 재고수준의 변화요인들을 살펴보면 재고유지비용의 변화, 기대수요량의 변화, 비용 또는 수요함수를 조성하고 있는 불확실성의 정도이다. 그러나 이와 같은 요인들과는 관계없이 어떤 시기에서 재고수준의 변화를 요구할 때가 있는데 경영전략상 선호 자산을 취할 때 이런 현상이 일어날 수도 있다. 즉 경제의 여건변화와 전망에 따라 보유자산의 선택을 유리한 곳으로 전환시킬 필요가 있을 때 환금성이 낮은 상품재고 등은 불리하게 된다. 이와 같이 운전자금 부족문제가 증가하는 시기에는 운전자금부족현상으로 인하여 환금성이 낮은 재고부문의 투자를 감축시키게 된다. 이것은 경기침체기간 중에 환금성이 낮은 자산을 호황기간 때처럼 큰 수준으로 보유하는 것은 기업 활동 및 수익성을 감소시킨다는 의미에서 볼 때 불리하기 때문이다.

다시 말해 내부 조건 및 외부환경변화 때문에 운전자금 부족 문제가 발생하고 있는 기업은 상대적으로 환금성이 낮은 재고와 같은 물적 투자 감축을 통해 자금 수요 해결을 피하게 될 것이다. 재고시스템이 기업조직에서 하나의 부 시스템으로 존재하므로 기업의 전체이익을 위해 당연히 재고 시스템도 하나의 부문으로서 최적화가 되어야 한다. 본 연구는 현실적 재고모형을 설정하여 재고투자 감축을 하였을 때의 모형 재설계와 최적해를 얻고 이때 재고투자 감축에 따른 비용의 민감도 분석을 수행하며 재고투자 감축 대비 비용 효과가 환금성문제를 완화시켜주는 합리적인 타당성을 제시하고자 한다.

또한 본 연구에서 적용하고 있는 재고 시스템의 몇 가지 특징과 전개 과정을 요약하면 먼저 투자 감축 대상으

로는 평균재고량 투자를 대상으로 한다. 제한식의 경우 복수 요소를 제한하는 문제는 단일 요소 제한을 확장한 것에 불과하므로 최적해 결정과 수치해석 과정의 복잡성을 피하기 위해 단일 요소 제한으로 한정하였다. 기존 (ROP,Q) 모형에 수요의 확률적 성질을 포아손과정으로 고려하며 품질 시 사후주문이 허용되는 경우의 재고모형을 얻는다. 평균재고투자에 현 최적수준보다 낮게 감축된 모형을 재형성 한다. 최적화 기법을 이용하여 해를 얻은 다음 이렇게 얻은 결과가 유리한 결정을 줄 수 있는가를 분석한다. 즉 부가된 투자 감축 요소로 인해 수반되는 비용절감과 재고수준의 영향이 전체 재고시스템에 어떤 합리성을 제공하는가를 분석한다.

## 1.2 기존연구 고찰

경기변동으로 자금 조달이 어려운 시기에 대처하는 연구는 Karl, Henri, Peter[1]의 유동성 부족 시기에 현금 확보를 위한 조사와 Mathias와 Kleopatra[2]의 유동성 위기를 극복할 수 있는 자금 조달 방법에 따라 성과 측정 등이 있다. 또 Christopher와 Selale[3]는 자본 조달 비용이 재고투자의 증감을 위해 활용되는 기준을 제시하였고 Ricardo와 Guillaume[4]는 자금 경색 시기에 투자를 감축하는 타당성에 관해 연구하고 있다.

기본 연구모형은 Park[5]의 확률적 리드타임을 고려한 (Q,r) 재고모형, Merkurjeva와 Vecherinska[6], Kim과 An[7]이 제시한 공급망에서 효율적인 주문 보충 정책 (s,Q) 모형을 참고하였다. 또 인플레이션 상황 하에서 품질 발생의 현실적 적용을 고려한 Hui-Ling, Jinn-Tsair, Maw-Sheng[8]과 다목적 결합재고 보충시스템 모형을 개발한 Hui-Ming Wee, Chien-Chung Lo, Ping-Hui [9]의 연구를 활용하였다.

고전적인 투자감축 연구로는 Bellman[10]은 연간 평균수요속도가 일정하다는 전제하에 제한된 공간 문제를 다루었고 Dreyfus[11]는 복수품목에 관한 문제가 다루어지면 품목들 간에 상호작용이 발생하는데 제한된 저장 공간에 보관할 때 품목크기가 서로 달라서 적재량에 상호작용이 발생되며, 제품을 생산하기 위해 소요되는 가동준비시간은 다른 품목생산에 영향을 주게 되는 문제를 연구하였다. Goyal[12]은 창고 공간과 재고투자감축을 최대치에서 다품목 주문 간격의 최적해를 휴리스틱 모형으로 제시하였다. Alessandra[13]는 재무적 금융비용에

관하여 재고투자 제약에 관한 영향 분석을 연구하였다. Graves[14]는 품질 발생이 전체 재고시스템에 나쁜 영향을 준다면 품질량 또는 품질횟수에 전체비용을 최소화하는 어떤 제한을 고려하게 된다. 이와 같이 제한된 재고문제의 최적결정은 품목들 간에 상호작용이 없는 단일품목의 재고문제와는 다르게 된다. Steven과 Luigi[15]는 투자와 현금흐름을 원활하게 관리하기 위해 재무적 제약이 영향을 미치는 정도에 관하여 민감도 분석을 수행하고 재무적 제약을 많이 부여할수록 민감도가 더 유의적임을 보였다.

## 2. 연구 모형의 전개

### 2.1 기본 연구 모형의 성질

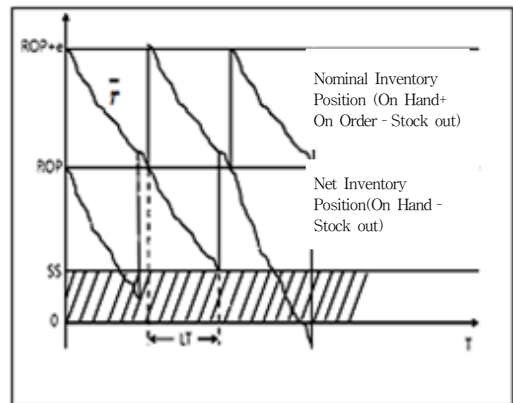
본 연구에서 사용될 공통 기호는 다음과 같다.

- $\bar{r}$  : 기대 연간 수요량 [수량/년]
- Q : 수요일 [수량/단위기간]
- ROP : 재발주점 [수량/단위기간]
- K : 주문비용 [원/단위회수]
- S : 사후주문이 허용되는 경우의 주문비용 [원/단위 사후주문당]
- C : 단가 [원/단위량]
- I : 재고유지비용 [%]
- SS : 안전재고

재고모형에서는 발주점이 미리 결정되어지고 시스템 상태가 모든 미래의 어떤 시간에 대해 정확히 결정되어진다. 그러나 수요발생이 랜덤한 재고문제에서 시스템 상태는 모든 미래의 어떤 시간에 대해 불확실성을 띠게 된다. 연구의 중요한 고려는 LT(Lead Time)으로 인한 납기시점에서 재고시스템상태에 관해서이다. LT수요가 확률변수로 취급되면 납기시점에서 재고상태를 파악하기는 쉽지 않다. 즉 납기 수량은 알고 있으나 그 시점에서 수요의 확률성 때문에 얼마의 현재고를 가지고 있는지 조사하기는 어렵게 된다. 이때 재고로 남아있는 양도 하나의 확률변수로 작용할 것은 당연하다. 이때 발생하는 안전재고는 양수를 나타낼 것이다. 만일  $SS = 0$  이면 LT 수요의 확률특성 때문에 시스템은 주문 도착 전에 자주

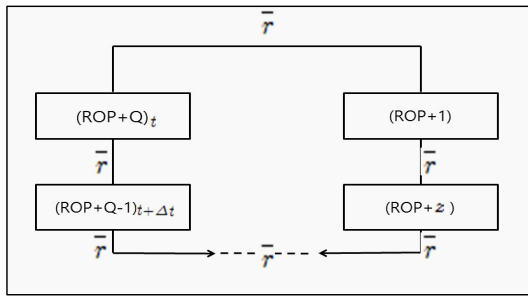
품절을 초래할 것이며, 품질비용이 높을 때 SS를 유지하는 것이 더욱 경제적이다.

또한 재고수준상태는 순재고수준(Net Inventory Level)과 명목상의 재고수준(Nominal Inventory Level)으로 구분할 수 있다. 이것은 ROP를 어느 기준으로 설명하면 적절한가를 보기 위해서이다. 순재고수준은 ROP를 정확히 정의할 수 없다. 왜냐하면, 어떤 주기 동안 수요가 크게 발생하였을 때 순재고는 ROP까지 도달할 수 없게 되어 더 이상의 주문을 발생시키지 못하게 된다. 그러나 명목상의 재고수준에서 보면 주문이 그만큼 자주 일어나므로 ROP를 잘 설명해주게 된다[Fig. 1]. 또한 모형에서 고려한 중요한 성질은 연간 평균수요속도는  $\bar{r}$ 로 일정하며, LT는 일정하나 LT수요는 확률적이고 시스템에서 전체수요는 확률적이며 Poisson 과정에 의해 발생한다. 수요발생시점은 연속적이며, 수요상태는 이산적이나 무한한 것으로 고려하고 품질발생시 사후주문이 허용되는 경우로 나타내었다.



[Fig. 1] (ROP,Q) System

한편 시스템을 명목상의 재고수준으로 고려할 때 주문발생 직후 곧 재고상태는  $Q+ROP$ 가 된다. 따라서 재고수준은  $ROP+1, ROP+2, ROP+3, \dots, ROP+Q$  중의 한값을 취하게 된다. 어느 짧은 시간  $\Delta t$ 에서 수요가 발생한다면 시스템의 재고상태는  $ROP+Q$ 에서  $ROP+Q-1$ 로 변화될 것이다. 다시말해 수요가 Poisson 과정에 의해 일어나고 단위수요량은 확률  $\bar{r} \cdot \Delta t$ 를 가진 1회에 1단위씩 수요될 때 일어나는 현상을 뜻한다. 이러한 과정이 [Fig. 2]에 나타나 있다.



[Fig. 2] Inventory State Transition with the mean rate of demand  $\bar{r}$

시스템의 상태가 정상과정에서 각 재고 시스템상태  $ROP+j$  ( $j = 1, \dots, Q$ )는  $j$ 에 독립인  $\frac{1}{Q}$  같은 확률을 취함은 다음에서 알 수 있다.

$$\text{즉, } \bar{r} p(ROP+Q) = \bar{r} p(ROP+Q-1) = \dots = \bar{r} p(ROP+1)$$

$$\text{따라서 } p(ROP+Q) = p(ROP+Q-1) = \dots = p(ROP+1)$$

$$\text{그리고 } \sum_{j=1}^Q p(ROP+j) = 1,$$

$$\therefore p(ROP+j) = \frac{1}{Q} \quad \text{----- (1)}$$

**2.2 평균재고량 유도:  $A_1(ROP, Q)$**

어느 시점  $t - LT$ 에서 주문한 것은 시점  $t$ 에서 도착할 것이다. 따라서 재고상태가  $t - LT$ 에서  $ROP - j$ 였다면  $LT$ 후  $t$ 에서 순재고  $x$ 단위가 될 확률은  $LT$ 동안  $ROP - j - x$ 일 확률이다. 즉 수요발생이 포아송과정일 때  $LT$ 동안 단위  $ROP - j - x$ 단위를 소요할 확률을  $p(ROP - j - x : \bar{r} \cdot LT)$ 이라 하자. 그리고 시점  $t - LT$ 에서 재고상태가  $ROP + j$ 일 확률은 식 (1)과 같이  $\frac{1}{Q}$ 이다. 이제  $\phi_1(x)$ 를 시점  $t$ 에서 순재고  $x$ 단위를 가질 상태재고확률이라고 하자.

그러면

$$\phi_1(x) = p(ROP+j-x : \bar{r} \cdot LT) \times \frac{1}{Q}$$

$$(j = 1, 2, \dots, Q)$$

여기서 순재고  $x$ 가 취하는 구간에 따라 상태재고확률  $\phi_{11}, \phi_{12}$  를 구하면 다음과 같다.

$0 \leq x \leq ROP$ 일 때

$$\phi_{11}(x) = \left(\frac{1}{Q}\right) [P(ROP+1-x : \bar{r} \cdot LT) - P(ROP+Q-x+1)]$$

----- (2)

그리고  $ROP + 1 \leq x \leq ROP + Q$ 일 때

$$\phi_{12}(x) = \left(\frac{1}{Q}\right) [(1-P)(ROP+1-x : \bar{r} \cdot LT)]$$

----- (3)

이제 순재고상태 확률  $\phi_{11}, \phi_{12}$ 가 구해졌으므로 평균재고량  $A_1(ROP, Q)$ 을 산출할 수 있다.

$$A_2(ROP, Q) = \frac{1}{Q} \left[ \sum_{U=ROP+1}^{\infty} (U-ROP-1)P(U : \bar{r} \cdot LT) - \sum_{U=ROP+Q+1}^{\infty} (U-ROP-Q-1)P(U : \bar{r} \cdot LT) \right]$$

이라 하면

$$A_1(ROP, Q) = ROP + \frac{Q+1}{2} - \mu + A_2(ROP, Q)$$

----- (4)

**2.3 평균 품질량의 유도:  $A_3(ROP, Q)$**

시스템이 시점  $t - LT$ 에서 재고상태가  $ROP + j$ 였다면 시점  $t$ 에서 품질이 발생하여 사후주문  $g$ 가 일어날 때의 확률을  $p(ROP+j+g : \bar{r} \cdot LT)$  으로 표시하자. ( $g \geq 0$ ) 따라서 시점  $t$ 에서 사후주문  $g$ 가 일어날 상태확률을  $\phi_2(g)$ 라 할 때,

$$\phi_2(g) = \frac{1}{Q} [P(ROP+j+1: \bar{r} \cdot LT) - P(ROP+Q+g+1: \bar{r} \cdot LT)] \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 품질량  $A_3(ROP, Q)$  을 산출할 수 있다.

$P_{so}$  을 시점 t에서 재고가 없어 품질이 일어날 확률이라 하자.

$$\begin{aligned} \text{즉 } P_{so} &= \sum_{g=0}^{\infty} \phi_2(g) \\ &= \left(\frac{1}{Q}\right) \left[ \sum_{U=ROP+1}^{\infty} P(U: \bar{r} \cdot LT) - \sum_{U=ROP+Q+1}^{\infty} P(U: \bar{r} \cdot LT) \right] \end{aligned}$$

그러므로 평균품질량은 [연간기대수량  $\times P_{so}$ ]이므로

$$A_3(ROP, Q) = \bar{r} \cdot P_{so} \quad (6)$$

이제 식 (4), 식 (6)을 이용하여 총비용식을 얻을 수 있다.

TC = 기대주문비용 + 기대재고유지비용 + 기대품질비용

$$\begin{aligned} &= \frac{\bar{r}}{Q} \cdot K + IC \cdot \left[ROP + \frac{Q+1}{2} - \mu + A_2(ROP, Q)\right] \\ &\quad + S \cdot A_3(ROP+Q) \end{aligned}$$

### 3. 모형의 연속 변수로의 변환

연구모형은 정량발주방식에 근거를 둔 대량주문의 재고시스템 문제이다. 그러므로 전반적인 소요뿐만 아니라 LT소요도 대량으로 나타나게 된다. 2.3절에서 얻은 비용식은 수요의 평균이 클 때는 계산이 용이하지 못하게 된다. 분포의 평균이 클 때 포아송 분포는 정규분포로 잘 근사된다.

#### 3.1 평균재고량의 유도: $B_1(ROP, Q)$

$\eta_1(x)$ 를 어느 시점 t에서 재고  $x$ 를 가질 pdf 라 하자.

$$\eta_{11}(x) = \int_{ROP}^{ROP+Q} \frac{1}{Q} \cdot \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{y-x-\mu}{\sigma}\right) dy$$

단,  $(0 \leq x \leq ROP)$

$$= \frac{1}{Q} \left[ \Phi\left(\frac{ROP-x-y}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{ROP+Q-x-y}{\sigma}\right) \right]$$

$$\eta_{12}(x) = \int_x^{ROP+Q} \frac{1}{Q} \cdot \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{y-x-\mu}{\sigma}\right) dy$$

단,  $(ROP \leq x \leq ROP+Q)$

$$= \frac{1}{Q} \left[ 1 - \Phi\left(\frac{ROP+Q-x-y}{\sigma}\right) \right]$$

그러므로 평균재고량  $B_1(ROP, Q)$ 은

$$\begin{aligned} B_1(ROP, Q) &= ROP + \frac{Q}{2} - \mu \\ &\quad + \frac{1}{Q} \left[ \frac{1}{2} [\sigma^2 + (ROP-\mu)^2] \Phi\left(\frac{ROP-\mu}{\sigma}\right) - \frac{\sigma}{2} (ROP-\mu) \phi\left(\frac{ROP-\mu}{\sigma}\right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} [\sigma^2 + (ROP+Q-\mu)^2] \Phi\left(\frac{ROP+Q-\mu}{\sigma}\right) - \frac{\sigma}{2} (ROP+Q-\mu) \phi\left(\frac{ROP+Q-\mu}{\sigma}\right) \right] \quad (7) \end{aligned}$$

식 (7) 괄호 속의 항들을  $B_2(ROP, Q)$ 로 표시하면 다음과 같다.

$$B_1(ROP, Q) = ROP + \frac{Q}{2} - \mu + B_2(ROP, Q) \quad (8)$$

#### 3.2 평균품질량의 유도 : $B_3(ROP, Q)$

$\eta_2(x)$ 를 어느 시점 t에서 품질이 발생하여 사후재고가 일어날 pdf 라 하자.

$$\eta_2(g) = \int_{ROP}^{ROP+Q} \frac{1}{Q} \cdot \frac{1}{\sigma} \cdot \phi\left(\frac{g+x-\mu}{\sigma}\right) dx$$

$$= \frac{1}{Q} [\Phi\left(\frac{ROP+g-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{ROP+Q+g-\mu}{\sigma}\right)]$$

, (g ≥ 0)

$$\therefore P_{so} = \int_0^{\infty} \eta_2(g) dg =$$

$$\frac{1}{Q} \left[ \int_0^{\infty} \Phi\left(\frac{ROP+g-\mu}{\sigma}\right) dg - \int_0^{\infty} \Phi\left(\frac{ROP+Q+g-\mu}{\sigma}\right) dg \right]$$

$$\therefore B_3(ROP, Q) = \bar{r} \cdot P_{so}$$

$$= \frac{\bar{r}}{Q} \left[ \sigma \phi\left(\frac{ROP-\mu}{\sigma}\right) - (ROP-\mu) \Phi\left(\frac{ROP-\mu}{\sigma}\right) \right. \\ \left. + \sigma \phi\left(\frac{ROP+Q-\mu}{\sigma}\right) - (ROP+Q-\mu) \Phi\left(\frac{ROP+Q-\mu}{\sigma}\right) \right]$$

----- (9)

이제 식 (8)과 식 (9)를 이용하여 총비용식을 얻을 수 있다.

TC = 기대주문비용 + 기대재고유지비용 + 기대품질 비용

$$= \frac{\bar{r}}{Q} \cdot K + IC \cdot \left[ROP + \frac{Q+1}{2} - \mu + B_2(ROP, Q)\right] \\ + S \cdot B_3(ROP+Q)$$

위 식에서  $B_2(ROP, Q)$  는 품질로 인하여 사후주문을 했기 때문에 재고유지비용에 부가된 것이나 실제로 납기점에서 품질량이 우선적으로 소요되어야 하므로 무시할 수 있다. 또 (9)식 괄호 속의 3항과 4항은 LT소요가  $ROP + Q$ 보다 클 때에 발생한 것이다. 현실성을 고려할 때 LT소요는 모형의 최대재고수준상태  $ROP + Q$ 보다 클 수 없음이 일반적이므로 무시할 수 있다. 본 연구에서는 이런 것을 고려하여 다음과 같은 총비용식을 얻는다.

$$TC = \frac{\bar{r}}{Q} \cdot K + IC \cdot \left[ROP + \frac{Q}{2} - \mu\right] \\ + \frac{\bar{r}}{Q} \cdot S \left[ \int_{ROP}^{\infty} x l(x) dx - ROP \cdot L(ROP) \right]$$

#### 4. 재고투자 감축 모형

##### 4.1 재고투자 감축 모형의 유도과 최적해

이제 복수품목으로 모형을 확장하여 재고투자 감축을 고려한 모형의 재설계를 전개하고 최적해를 유도하면 다음과 같다.

Minimize

$$TC = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\bar{r}_i K_i}{Q_i} + IC_i \frac{Q_i}{2} + ROP_i - \mu_i \right. \\ \left. + \frac{S_i \bar{r}_i}{Q_i} \int_{ROP_i}^{\infty} x_i l_i(x_i) dx_i - ROP_i - L_i(ROP) \right]$$

----- (10)

Subject to  $G = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{2} + ROP_i - \mu_i \right) C_i \leq V$   
 V: 투자량(원)

----- (11)

이제 식 (10)과 식 (11)의 최적해를 구해보자. 먼저 Lagrange 함수를 형성한다.

$$L = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\bar{r}_i K_i}{Q_i} + IC_i \frac{Q_i}{2} + ROP_i - \mu_i \right. \\ \left. + \frac{S_i \bar{r}_i}{Q_i} \int_{ROP_i}^{\infty} x_i l_i(x) dx_i - ROP_i - L_i(ROP) \right] \\ + \lambda V - \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{2} + ROP_i - \mu_i \right) C_i - M^2]$$

여기서 최적해를 보장하는 최적화 기법을 이용하여 풀면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad \frac{\partial L}{\partial Q_i} &= -\frac{\bar{r}_i K_i}{Q_i^2} + \frac{IC_i}{2} \\ &\quad - \frac{S_i \bar{r}_i}{Q_i^2} \left\{ \int_{ROP_i}^{\infty} x_i \ell_i(x) dx - L_i(ROP) \right\} \\ &\quad - \frac{C_i \lambda}{2} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad \frac{\partial L}{\partial (ROP_i)} &= IC_i + \frac{S_i \bar{r}_i}{Q_i} \{-L_i(ROP)\} - \lambda C_i \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\textcircled{3} \quad \lambda \left\{ V - \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{2} + \mu_i \right) C_i \right\} = 0$$

$$\textcircled{4} \quad \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{2} + \mu_i \right) C_i \leq V$$

한편 조건 식 ③은 다음과 같은 경우로 나누어진다.

$$V - \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{2} + \mu_i \right) C_i = 0 \text{ 일때 } \lambda < 0$$

$$V - \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{2} + \mu_i \right) C_i > 0 \text{ 일때 } \lambda = 0$$

$$V - \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{2} + \mu_i \right) C_i < 0 \text{ 일때}$$

고려 불필요함

그리고 식 ①과 식 ②로부터 최적  $Q^*$ ,  $ROP^*$  는

$$Q_i^* = \frac{\left[ \frac{2\bar{r}_i \left\{ K_i + S_i \left( (\mu_i - \mu_i) \Phi_i \left( \frac{ROP - \mu}{\sigma} \right) + \sigma_i \phi_i \left( \frac{ROP - \mu}{\sigma} \right) \right) \right\}}{C_i (I - \lambda)} \right]^{\frac{1}{2}}}{S_i \bar{r}_i} \quad (12)$$

$$L(ROP_i^*) = \frac{C_i (I - \lambda) Q_i}{S_i \bar{r}_i} \quad (13)$$

## 4.2 재고투자 감축 모형의 비용 분석

재고투자에 제한을 부가한 결과 제한을 두지 않은 최적해와 달라졌다. 이렇게 변화한 최적해는 비용 면에 영향을 미치게 되며 재고투자 감축량에도 직접적인 관계가 있게 된다. 재고투자의 감축 때문에 발생하는 총비용 증가의 감도가 완만할 때 감축의 의미가 있다. 연구모형을 구성하고 있는 제비용 요소들의 상호작용 때문에 총비용 증감의 감도는 둔화된다. 식 (10), 식 (11), 식 (12), 식 (13)을 고려하여 다음과 같은 해석을 할 수 있다.

(1) 주문량 Q는 감소한다.

식 (12)에서 Q는  $\lambda$ 의 감소함수이다. 즉 투자감축이 클수록 주문량 Q는 감소한다. 이것은 재고유지비용을 작게 한다.

(2) 재주문점 ROP의 영향은 매우 작다.

식 (13)에서 ROP는  $\lambda$ 의 증가함수이지만  $\lambda$ 의 증가로 Q가 감소하므로 큰 변화가 일어나지 않는다.

(3) 주문회수는 증가한다.

(1)과 (2)의 영향으로 주문비용은 증가한다.

(4) 품질비용의 영향은 작다.

식 (10)에서 (1)의 영향으로 증가되는 것처럼 보이 지 만 (3)으로 인해 영향이 상쇄된다.

따라서 재고투자의 제한으로 인한 이러한 원인들은 결국 총비용을 다소 증가 시키게 된다. 그러나 투자감축 폭에 비해 매우 둔감할 것이 예상된다. 이것은 실험을 통해 구체적으로 제시한다.

## 5. 모형의 감도 분석

### 5.1 실험데이터와 재고투자 감축 모형

분석을 간단하게 하기 위해 2개의 품목만 <Table 1>과 같이 나타냈다. 4절의 총비용식과 제약조건식에 적용하여 모형을 설정하고 최적화 기법과 최적해를 이용하여 민감도 분석을 한다.

<Table 1> Values of Cost and Other Parameters for Sensitivity Analysis

Item	Ave.	SD	$\bar{r}$	C	I	K	S
1	800	40	2500	30	0.2	450	30
2	400	50	1200	50	0.2	950	50

5.2 민감도 분석 결과

앞에서와 같이 최적화 조건을 이용하여 풀고 결과만 정리하면 <Table 2>와 같다.

(1) 최적해와  $\lambda^*$ 의 의미

$|\lambda^*| = 0.03$  에서 제한식 식 (11)을 만족하는 최적해가 구해졌다.

식 (11)에서 우변상수  $V$ 에 대한 잠재가치는  $\frac{\partial L}{\partial V} = \frac{\partial TC}{\partial V} = -\lambda$  이다. 즉  $\lambda$ 는 우변상수  $V$ 의 단위증가량에 따른 총비용의 한계 변동량을 나타낸다.

<Table 2> The Results of Sensitivity Analysis

$\lambda$	Item 1		Item 2		Ave. Inventory Investment	Total Cost
	Q	ROP	Q	ROP		
0	472	820	1533	497	50852	18251
-0.01	460	820	1492	497	49657	18218
-0.02	452	819	1452	496	48451	18214
-0.03	444	818	1425	496	47629	18262
-0.04	437	817	1394	495	46666	18292
-0.05	430	816	1366	495	45834	18340
-0.06	424	815	1328	494	44730	18358
-0.07	418	814	1295	494	43762	18395
-0.08	412	813	1262	493	42799	18435
-0.09	407	812	1229	493	41841	18479
-0.1	402	811	1196	493	40887	18527
-0.11	397	810	1163	492	39938	18580
-0.12	393	809	1130	492	38992	18638
-0.13	388	808	1097	491	38049	18701
-0.14	384	807	1064	491	37109	18771
-0.15	381	806	1031	490	36173	18846
-0.16	377	805	998	490	35239	18930
-0.17	373	804	965	489	34307	19021
-0.18	370	803	932	489	33378	19121
-0.19	367	802	899	488	32451	19231
-0.2	364	801	866	488	31526	19353
-0.21	361	800	833	488	30603	19487
-0.22	358	799	800	487	29681	19635
-0.23	355	798	767	487	28762	19798

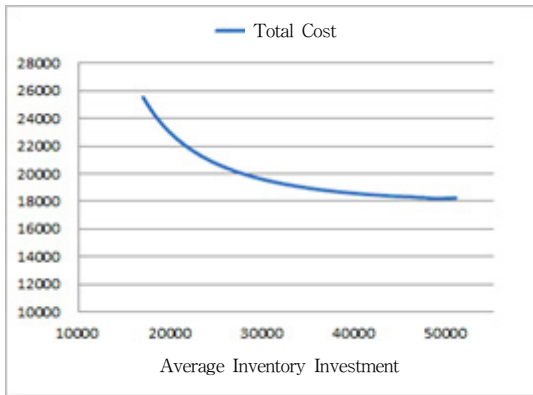
-0.24	352	797	734	486	27843	19981
-0.25	350	796	701	486	26927	20183
-0.26	347	795	667	485	26012	20410
-0.27	345	794	634	485	25098	20664
-0.28	343	793	601	484	24185	20951
-0.29	341	792	568	484	23274	21276
-0.3	338	791	535	483	22363	21645
-0.31	336	790	502	483	21454	22068
-0.32	334	789	469	483	20545	22557
-0.33	333	788	436	482	19638	23125
-0.34	331	787	403	482	18732	23794
-0.35	329	786	370	481	17826	24589
-0.36	327	785	337	481	16921	25547

<Table 2>에서  $\lambda = -0.03$ 이므로  $V$ 를 1단위 증가시키면 총비용이 0.03단위만큼 감소함을 뜻한다. 다시 말해 충분한 자금이 있다면 비용을 더 감소시킬 수 있는 최적해를 취할 수 있음을 말한다. 여기서 알 수 있는 유용한 또 하나의 해석은 외부자금 조달에 관해서이다. 만일 외부자금 1단위를 빌리는데 드는 비용을  $S$ 라 하자 그러면 총비용식은 식 (11)에 평균재고투자의 외부조달비용이  $Q_i^*$ 의  $S$ 로부터 만일  $\lambda = 0.03 > S$  이면 자금을 외부로부터 조달하는 것이 유리하나  $\lambda < S$  이면 불리함을 뜻한다.

(2) 재고투자 감축과 비용변화

<Table2>와 [Fig. 3]에서와 같이 투자 감축량에 비해 비용증가의 폭은 매우 완만하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 제한을 두지 않는 경우는  $\lambda = 0$  에서의 50,852원이며 그때의 비용은 18,251원 이었다. 그리고 평균재고투자를 31,526원으로 감소시킨 결과 비용은 19,353 원으로 나타났다. 즉 투자량 19,326원의 절감에 대해 비용은 단지 1,102원 증가했을 뿐이다. 재고투자 감축률 약 38% 일 때 총비용 증가는 6% 정도이다. 평균 시중금리를 적용해 볼 때 자금 운용 면에서 매우 유리하다. 이런 결과는 불경기나 운전자금 부족 문제로 자금사정이 어려울 때 약간의 비용증가를 수반하더라도 투자를 감축하여 어느 정도 완화시킬 수 있는 새로운 최적수준을 운용할 수 있음을 의미한다.





[Fig. 3] Sensitivity of Total Cost and Inventory Investment Reduction

## 6. 결론

불황기의 기업은 운전자금 부족 문제와 외부자금 조달의 어려움을 극복할 수 있는 방안을 각각도로 모색하게 된다. 이런 시기에 자금수요가 심각한 기업은 조직 내에서 우선 환급성이 낮은 계열에 속하는 투자를 감축시키려 할 것이다. 즉 경제성장 과정에서 주기적으로 발생하는 경기변동은 경제의 각 부문 및 여러 측면에서 상호관계에 따라 그 폭의 대소면에서 다르게 나타나는 경우도 있으나 어느 정도 일관성 있는 양상을 이루며 진행되는 것이 전반적인 경제현상의 특징이라 할 수 있다. 특히 불황기에 직면한 기업이 많은 재고를 보유하고 있다면 운영관리 뿐만 아니라 심각한 자금 조달 문제가 발생할 수 있다. 그것은 경쟁적 우위 차원에서 경영 전략을 수립하여야 되는 기업의 사기를 좌절시킬 수 있다. 이렇게 운전자금 부족이나 운전자금 문제를 겪는 기업은 우선 재고투자 감축을 고려하게 되지만 재고투자 감축 정책은 재고 운영비용을 증가시킬 수 있다.

재고투자 감축을 하였을 때의 모형 재설계와 최적해를 얻고 이때 재고투자 감축에 따른 비용의 민감도 분석을 수행하여 재고투자 감축 대비 비용 효과가 환급성 문제를 완화시켜주는 합리적인 타당성을 제시하였다. 즉 재고투자 감축 영향은 전반적으로 볼 때 원래의 최적수준에 비해 매우 작지만 비용을 증가시키는 경향을 띠고 있다. 그러나 투자 감소폭에 비해서는 무시할 수 있을 만큼 경미한 것임을 알 수 있다. 다시 말해 연구모형은 재

고투자 감축 크기에 비교해서 총비용의 변화가 크지 않음을 제시하고 민감도 분석을 통해 나타내고 있다. 이 결과는 재고 운영 정책에 따라서는 운전자금 부족 문제가 발생하였을 때 재고투자 감축의 정당성을 제안하고 있다. 그리고 재고투자 감축의 크기에 대한 설정은 비용증가를 적절히 고려해야 하는데 이것은 기업의 예산 운영과 자금 조달 역량으로 결정되어야 할 문제이다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Gachon University Research Fund of 2013.(GCU-2013-R389)

## REFERENCES

- [1] Karl V. Lins, Henri Servaes, Peter Tufano, What drives corporate liquidity? An international survey of cash holdings and lines of credit, *Journal of Financial Economics*, Vol.98, No.1, pp. 160 - 176, 2010.
- [2] Mathias Drehmann, Kleopatra Nikolaou, Funding liquidity risk: Definition and measurement, *Journal of Banking & Finance*, Vol.37, No.7, pp. 2173 - 2182, 2013.
- [3] Christopher S. Jones<sup>1</sup>, Selale Tuzel, Inventory investment and the cost of capital, *Journal of Financial Economics*, Vol.107, No.3, pp. 557 - 579, 2013.
- [4] Ricardo Lagos, Guillaume Rocheteau, Pierre-Olivier Weille, Crises and liquidity in over-the-counter markets, *Journal of Economic Theory*, Vol.146, No.6, pp.2169 - 2205, 2011.
- [5] Gwang-Tae Park, A Study on the ( Q , r ) Inventory Model under the Lead Time Uncertainty and its Application to the Multi-level Distribution System. *Journal of Management and Science*, Vol.11, No.1, pp. 44-50, 1986.
- [6] Merkurjeva Galina, Vecherinska Olesya, Simulation-Based Approach for Comparison of (s,

- Q) and (R, S) Replenishment Policies Utilization Efficiency in Multi-echelon Supply Chains, Computer Modeling and Simulation, UKSIM 2008, Tenth International Conference, pp. 434-440, 2008.
- [7] Myoung-Hun Kim, Dong-Kyu An, Development of Integrated Inventory Management Model and Determination Inventory Replenishment Period in SCM, The Journal of Digital Policy & Management, The Journal of Digital Policy & Management, Vol.5, No.1, pp. 47-53, 2007.
- [8] Hui-Ling Yanga, Jinn-Tsair Tengb, Maw-Sheng Chernc, An inventory model under inflation for deteriorating items with stock-dependent consumption rate and partial backlogging shortages, International Journal of Production Economics, Vol.123, No.1, pp. 8 - 19, 2010.
- [9] Hui-Ming Wee, Chien-Chung Lo, Ping-Hui Hsu A multi-objective joint replenishment inventory model of deteriorated items in a fuzzy environment, European Journal of Operational Research Vol.97, No.2, pp. 620 - 63, 2009,
- [10] Bellman, R.E. On the Theory of Dynamic Programming-A Warehousing Problem, Management Science, Vol.2,, pp 272-276, 1956.
- [11] Dreyfus, S.E., An Analytic Solution of the Warehouse Problem, Management Science, Vol. 4, pp. 99-104, 1985.
- [12] Goyal, S. K., A Note on "Multi-Product Inventory Situations with One Restriction", The Journal of the Operational Research Society, Vol.29, No.3, pp. 269-278, 1978
- [13] Alessandra Guariglia, The Effects of Financial Constraints on Inventory Investment: Evidence from a Panel of UK Firms, Economica Vol.66, No.261, 66(261), pp. 43 - 62. 1999.
- [14] Graves, S. C., On the Deterministic Demand Multi-Product Single-Machine Scheduling Problem, Management Science, Vol.25, No.3, pp. 276-279, 1979
- [15] Steven N. Kaplan, Luigi Zingales, Do Investment-Cash Flow Sensitivities Provide Useful

Measures of Financing Constraints?, Quarterly Journal of Economics, Vol.112, No.1, pp. 169-215, 1997.

**권희철(Kwon, Hee Chul)**



- 1979년 2월 : 한양대학교 산업공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 한양대학교 산업공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 산업공학과 (공학박사)
- 1982년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 산업경영공학과 교수

- 관심분야 : DBMS, IT서비스, ERP 응용
- E-Mail : somy@gachon.ac.kr