

총괄 사후주문을 고려한 2수준 병렬형 재고분배시스템 -Two Level-Parallel Type Inventory Systems for Aggregate Backorders

권 희 철*

ABSTRACT

This study presents a two-level inventory distribution system with one upper level facility(warehouse) in first echelon and n-lower level facilities(stores) in the second echelon. The demand process at the upper level is induced by the aggregated backorder processes of n independently operated lower level facilities in parallel. For the upper level and the lower level we find the decision points and the distribution function of the aggregate backorders from n-stores. Optimal allocation units and expected system profits are obtained. If the product is of great enough importance to the customer, echelon structure will include a shadow installation. Also, this case is analyzed. Numerical examples are presented to illustrate the results for each case.

1. 서 론

2 수준 구조(two-level structure)는 1개의 상위수준과 다수의 하위재고점으로 구성된 재고분배문제에서 가장 보편적인 시스템이다. 재고시스템은 기본적으로 필요한 양만큼 보유하는 것이 바람직하지만 수요특성의 불균형으로 항상 과잉재고인가, 재고부족인가 하는 어려운 문제에 처하게 된다. 대개 최소한의 안전재고를 유지하면서 수요에 대처하게 되지만 품질의 가능성은 언제나 존재하는 것이다. 이때 사후주문은 재고가 고갈되어도 판매 기회를 유실하지 않으며, 사후주문비용이 유지비용과 품질비용의 중간정도라면 보통 재고보충주기의 말기에서 어느 정도 사후주문을 유발시켜도 유지비용의 감소분으로 충분히 보상된다[10]. 한편 사후주문비용의 측정도 Fogarty와 Aucamp[4]는 최대허용 사후주문지연을 이용하여 내재된 비용을 견적하는 방법을 제시하고 있으나 여전히 정확한 측정은 어려운 문제로 남아있다.

2 수준 재고시스템문제에서 Iglehart와 Morey[6]는 수요의 결합분포를 알고 있다는 전제하에, 하위수준의 주문은 상위주문에서 즉시 만족시키는 것으로 시스템 총재고보유량과 상위수준으로 보내지는 수요를 결정하는 최적정책을 다루었으나 2 수준 직렬형의 매우 단순한 모형이었다. 그후 2 수준구조를 가진 대표적인 연구로 Ehrhardt, Schultz와 Wagner[3]는 (s, S) 정책을 운용하는 하위영역으로부터 수요에 의한 보충주문은 상위도매점에서 수요특성을 통합하거나 어떻게 그 특성을 효과적으로 구체화할 수 있는지를 분석하였다. 최근의 연구 중 Schultz[8]는 상위지역에서 수요의 특성은 결국 다수의 하위지역의 수요과정을 총괄적인 측면에서 재고보충과정을 해석하여야 됨을 밝히고, 그에 따른 확률적 보충주문과정을 수립하였다. 또 재고부족에 대한 결정은 전량 사후주문으로 처리한다는 가정하에 수요특성을 계산할 수 있는 모형을 제시하고 있다. Schwarz, Deuermeyer와 Badinelli[9]는 2 수준 구조에 대한 안전재고의 함수로서 공급의 만족률을 최대로 하는 안전재고정책을 최적화하는 모형을 개발하였으며, 중앙재고의 부족은 전량 사후주문으로 충당하고, FCFS(First Come First Served) 원칙으로 만족시키는 분석을 하고 있으나 총괄적 사후주문문제는 고려하지 않고 있다.

본 연구는 한 곳의 상위재고점(UW)과 n개의 하위재고점(LR)을 가진 2 수준 병렬형 재고시스템을 대상으로 하며, 그 모형의 구조는 Figure 2-1과 같다. 여기서 실선은 물류과정(material flow)을 나타내고, 점선은 LR에서 수요변동으로 인하여 품질이 발생하였을 때 그 재고부족은 UW로 사후 주문을 통하여 대처한다는 흐름을 뜻하는데 사후주문물로 나타낸다. 이때 수요의 일부는 취소시킬 수 있는 설계를 하고, 그러한 UW에서 주문량

*경원전문대학
접수 1990년 4월 25일

결정은 LR의 사후주문을 감안하여야 하며 수요가 확률적이므로 사후주문에 대한 총수요분포를 얻을 수 있어야 한다. 그리고 LR에 실제로 시설이 없다는 다재고점구조가 존재할 수 있는데, 특히 고객수요양상의 중요도에 따라 UW에 직접 수요가 발생하는 가상재고점(shadow installation) 문제도 고려한다. 또 품목의 판매가능확률을 근거로 계획기간동안 이익을 최대로 하는 최적재고량도 구할 수 있는 방법을 제시한다. 본 연구에서 전개할 주요한 문제를 요약하면 다음과 같다.

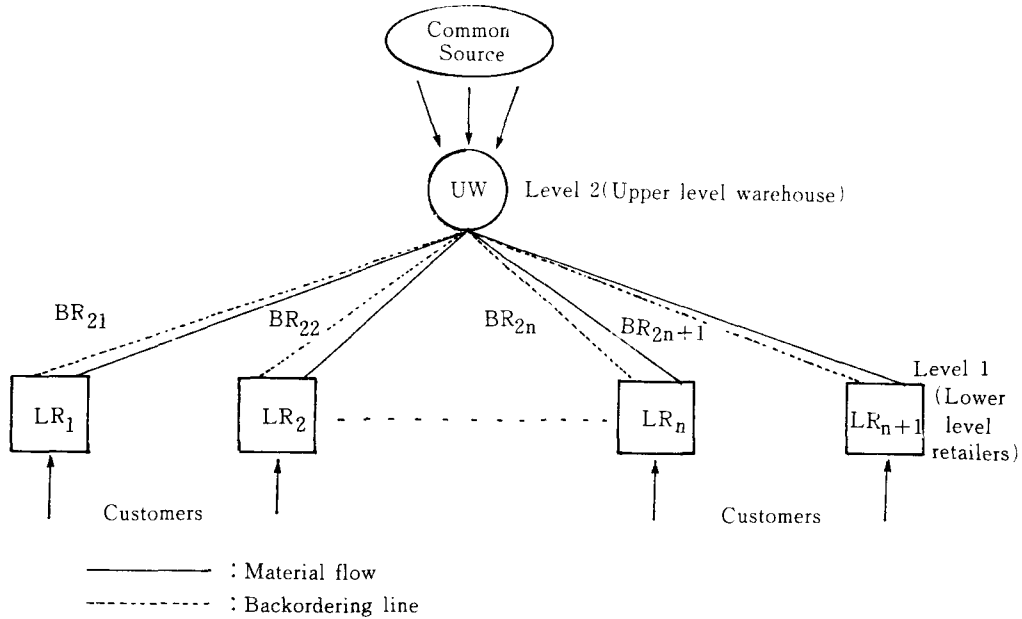


Figure 2-1. Two Level Structure of n-Lower Facilities

- ① LR에서 품절은 부분적인 사후주문으로 대처하되 UW로의 사후주문에 대한 총수요분포를 구하며, 사후주문률이 같은 경우와 다른 경우를 분석한다.
- ② 품목의 판매가능확률을 도입하여 어느 수준에 재고를 보유시키는 것이 유리한가를 판단해 줄 수 있는 결정점(decision point)을 구한다. 이때 판매가능확률은 수요예측기법을 이용하여 얻을 수 있다.
- ③ 두 수준의 각 재고점에 기대이익을 최대로하는 재고보유량을 얻는 방법을 제시한다.
- ④ 가상재고점을 허용하는 문제를 설정한다.

2. 문제의 설정 및 분석

모형에 대한 가정은 다음과 같다.

- ① 기초에 재고분배를 실시하는 정기발주방식으로 다음 보충동안 부족한 재고는 UW에 사후주문을 시키며, 부분적 사후주문을 할 수 있는 사후주문물을 운용한다.
- ② 만일 UW에서 품절이 발생하면 그 주문은 취소한다.
- ③ 수요는 LR에서 발생하고, 기간당 수요량 y_j 는 확률밀도함수 $f(y_j)$ 에 따른다.
- ④ LR에서는 상호간에 재분배과정이 없는 것으로 한다.

기호 및 용어는 다음과 같이 정의한다.

- c : 제품단가
- l_{ij} : 수준 i 의 LR j 에서의 단위당 재고손실비용
- l_i : 수준 i 에서의 단위당 재고손실비용
- h_{ij} : 수준 i 의 LR j 에서의 단위당 재고유지비용
- h_i : 수준 i 에서의 단위당 재고유지비용
- g_{ij} : 수준 i 의 LR j 에 재고를 입수하고 배분하기 위하여 소요되는 단위당 비용

- g_i : 수준 i 에서 재고를 입수하고 배분하기 위하여 소요되는 단위당 비용
- p : 단위당 품질비용
- y_j : LR i 에서의 수요량
- $f(y_j)$: LR j 에서의 수요에 대한 확률밀도함수
- s_{ij} : 수준 i 의 LR j 에서의 재고보유량
- s_i : 수준 i 에서의 재고보유량
- $x_{1,2}$: $TP_{1j}(x)$ 와 $TP_{2j}(x)$ 의 교점
- BR_{ij} : LR j 로 부터 수준 i 로의 사후주문률(사후주문에 대한 충족도)
- BR_3 : 수준 2로부터 수준 3으로의 사후주문률
- UW : 상위 재고재
- LR_j : 하위재고점($j=1, 2, \dots, n$)
- $TP_{ij}(x)$: i 수준의 j 재고점에서의 단위기대이익 함수
- $TP_i(x)$: 수준 i 에서의 단위기대이익 함수
- $TP_{ij}^k(y)$: k 에 대한 수준 i 의 재고점 j 에서의 이익함수($k=1, 2$ 이고 $y_j \leq s_{1j}$ 이면 1, 그렇지 않으면 2)
- TE_{ij} : 수준 i 의 LR j 에서의 기대이익
- TE : 총기대이익
- y' : 전시스템에서 소요되는 수요량
- y^0 : 가상시설일 때 전시스템에 소요되는 수요량
- b_j : LR j 에서의 사후주문량
- b : 총사후주문량

2.1 수준 1 LR j 의 최적재고량과 기대이익

어느 한 품목의 판매가능확률을 x 라 하고 기대수입과 모든 비용을 고려하면 LR, UW에서의 단위당 기대이익은 각각 다음과 같다.

$$LR : cx - h_{1j} - g_{1j} - (1-x)l_{1j} = (c + l_{1j})x - (h_{1j} + g_{1j} + l_{1j}) \tag{2.1}$$

$$UW : BR_{2j} \cdot cx - BR_{2j}(h_2 + g_2) - (1-x)BR_{2j}l_2 - (1-BR_{2j})px \\ = [BR_{2j}(c + l_2 + p) - p]x - BR_{2j}(h_2 + g_2 + l_2) \tag{2.2}$$

식 (2.1) 및 (2.2)는 $TP_{ij}(x)$ 를 i 수준 j 재고점에서의 단위 기대이익 함수라고 하면, 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$TP_{ij}(x) = [BR_{ij}(c + l_{ij} + p) - p]x - BR_{ij}(h_{ij} + g_{ij} + l_{ij}) \\ (i=1, 2, 3, j=1, 2, \dots, n, BR_{1j}=1, BR_3=0) \tag{2.3}$$

이때 UW 또는 LR 어느 곳에 수요빈도가 큰 품목을 보유시키느냐에 따라 기대이익이 달라지므로 그 결정점(decision point)을 구할 필요가 있으나, 일반적으로 수요율이 높은 품목은 LR에 보유시키고, 수요율이 낮은 품목은 UW에 보유시키는 것이 유리하다. 이것은 각 수준별 $TP_{ij}(x)$ 의 교점을 이용하면 쉽게 알 수 있다. 즉 $TP_{1j}(x)$ 와 $TP_{2j}(x)$ 의 교점을 $x_{1,2}$ 라 할 때,

$0 \leq x < x_{1,2}$ 이면 UW에 보유시킨다.

$x_{1,2} \leq x \leq 1$ 이면 LR에 보유시킨다.

그런데 LR에 보유한 전체 수량을 수요에 모두 대처시키는 경우에는 수요량이 보유량보다 클 때이며, 이와 같은 수요발생확률은 LR에서의 재고보유량 s_{1j} 가 모두 고갈되는 경우와 같고, $x_{1,2}$ 임을 알 수 있다. 즉

$$\int_{s_{1j}}^{\infty} f(y_j) dy_j = x_{1,2} \tag{2.4}$$

다시 말해 식(2.4)에서 s_{1j} 보다 1개 이상 많은 품목은 그 확률이 교점의 확률보다 작으며, UW에 보유하여야 됨을 알 수 있으므로 LR에서의 최적 재고보유량은 식(2.4)를 만족하는 s_{1j} 를 구하면 된다.

한편 수요량과 보유량의 크기에 따라 1 수준의 재고점에 대한 이익함수를 얻을 수 있는데, 재고손실이 $y_j \leq s_{1j}$ 일 때이므로

$$TP_{1j}^1(y_j) = cy_j - (s_{1j} - y_j)l_{1j} - (h_{1j} + g_{1j})s_{1j} \quad (2.5)$$

이고, 품질손실이 발생하는 경우에는 $y_j > s_{1j}$ 일 때이므로

$$TP_{1j}^2(y_j) = cs_{1j} - (1 - BR_{2j})(y_j - s_{1j})p - (h_{1j} + g_{1j})s_{1j} \quad (2.6)$$

이다.

이때 식(2.5) 및 (2.6)을 합한 LR_j 의 기대이익은 다음과 같다.

$$TE_{1j} = \int_0^{s_{1j}} TP_{1j}^1(y_j) f(y_j) dy_j + \int_{s_{1j}}^{\infty} TP_{1j}^2(y_j) f(y_j) dy_j \quad (2.7)$$

2.2 수준 2 UW의 최적재고량의 기대이익

수준 2 UW의 단위기대함수는 식(2.3)에서 $i=2$ 일 때인 $TP_{2j}(x)$ 에서 얻어지고, 수준 3은 실제로 존재하는 지역은 아니나 수준 2 UW의 보유량 결정에 필요하므로 식(2.3)에서 $i=3$, $BR_3=0$ 을 대입하면 얻을 수 있다. 즉

$$TP_{3j}(x) = -px \quad (2.8)$$

이것은 팔 수 있는 품목을 보유하지 못하여 품질이 발생한 경우와 같음을 알 수 있다. $TP_{2j}(x)$ 와 식(2.8)의 교점을 $x_{2,3}$ 라 할 때

$0 \leq x \leq x_{2,3}$ 이면 UW에 보유시킨다.

$x_{2,3} \leq x \leq 1$ 이면 취소시킨다.

한편 UW의 재고보유량을 결정하는 데 있어서의 문제점은 개별적인 재고관리시스템이 독립적인 재고정책을 운용하는데 반하여 중앙재고관리시스템은 독립적인 운용을 할 수 없다는 것이다. 즉 LR에서의 재고부족에 대한 사후주문량은 총괄적으로 산정되어야 한다는 점이여 다음과 같은 방법으로 구한다.

LR_j 로부터 사후주문량을 b_j 라 하면

$$b_j = \begin{cases} BR_{2j}(y_j - s_{1j}) & y_j > s_{1j} \\ 0 & s_{1j} \geq y_j \end{cases}$$

가 된다. $y_j - s_{1j} = u_j$ 라 놓고, u_j 의 분포함수 $F(u_j)$ 를 구한다. 즉

$$\begin{aligned} Fu_j(u_j) &= Fy_j(y_j) \\ &= Fy_j(u_j + s_{1j}) \\ &= \begin{cases} Fy_j(u_j + s_{1j}) & u_j \geq 0 \\ 0 & u_j < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

따라서 $b_j = BR_{2j} \cdot \text{Max}(u_j, 0) = BR_{2j} \cdot u_j$ 이므로 사후주문량 b_j 의 분포 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Fb_j(b_j) &= F_{BR_{2j} \cdot u_j}(b_j) \\ &= Fu_j(b_j / BR_{2j}) \\ &= Fy_j(b_j / BR_{2j} + s_{1j}) \end{aligned} \quad (2.9)$$

이제 총 사후주문량 b 는 b_j 각각의 합이므로 결국 n 개의 재고점에 대한 총수요분포를 구하는 것으로 된다. 이것은 순차적으로 $Fb_j(b_j)$ 의 결합적분[1,2]을 통하여 구할 수 있음을 알 수 있다. 이때 총사후주문량의 분포 함수를 $F(b)$ 라 하면 UW의 최적재고보유량 s_2 는

$$\begin{aligned} x_{2,3} &= \int_{s_2}^{\infty} f(v) db \\ &= \int_{s_2}^{\infty} F'(b) db \end{aligned} \quad (2.10)$$

이 성립하는 s_2 를 구하면 된다.

또 총 수요분포가 쉽게 얻어질 수 있고, 동일한 사후주문물을 갖는다면 UW까지 대처하는 모든 수요 y' 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\int_{y'}^{\infty} \Sigma f(y_j) dy_j = x_{2,3} \quad (2.11)$$

이때 LR에서 만족시키지 못한 초과수요량은 $(y' - \sum_{j=1}^n s_{1j})$ 이고, 이 초과수요량 중에서 사후주문물 만큼 주문되므로 UW에서의 최적 재고보유량은 다음과 같게 됨을 알 수 있다.

$$s_2 = BR_{2j}(y' - \sum_{j=1}^n s_{1j}) \quad (2.12)$$

한편 UW에서의 이익함수는 앞에서와 같은 방법으로 구할 수 있고, 재고손실은 $b < s_2$ 일 때이므로

$$TP_2^1(b) = cb - (s_2 - b)l_2 - (h_2 + g_2)s_2 \quad (2.13)$$

이다.

품질손실이 발생하는 경우는 $b > s_2$ 일 때이므로

$$TP_2^2(b) = cs_2 - (b - s_2)p - (h_2 + g_2)s_2 \quad (2.14)$$

이다.

이때 식(2.13) 및 (2.14)를 합한 UW의 기대이익은 다음과 같다.

$$TE_2 = \int_0^{s_2} TP_2^1(b) f(b) db + \int_{s_2}^{\infty} TP_2^2(b) f(b) db \quad (2.15)$$

이때 총기대이익 TE는 식(2.7) 및 (2.15)를 더한 것이 된다.

$$TE = \sum_{j=1}^n TE_{1j} + TE_2 \quad (2.16)$$

2.3 가상시설 존재하의 최적재고보유량 설정

최하위 재고점에 시설이 없는 에셀런(echelon) 구조는 현실적으로 존재할 수 있는 현상인데, 특히 고객수요 양상의 중요성에 따라 상위재고점에 주문이 발생하여 수요가 늘어나는 것이다. 그러나 이러한 경우를 고려하면 상위 재고점에서 직접 고객수요를 만족시켜야 하므로 시스템에 그에 따른 추가비용이 부과될 것이다. LR에 가상시설 LR_{n+1} 을 도입하여 y_{n+1} 의 수요가 발생하는 것으로 한다. 이러한 가상시설에 대한 수요를 만족시키지 못했을 때의 벌칙비용은 크므로 사후 주문물이 높아야 할 것이며, 실제로는 존재하지 않는 시설이므로 $S_{1, n+1} = 0$ 이고 수준1 LR에서의 최적재고량과 기대이익은 선술한 바와 같다. 그러나 UW에서는 가상시설의 수요를 만족시켜야 하며, 사후주문물은 $BR_{2, n+1} = 1$ 이 되게 할 것이다. 이때 수요에 대한 총수요분포를 구할 수 있고, 가상수요 1 단위를 만족시키는 데 소요되는 비용을 m_2 라 하면 단위이익함수는 다음과 같다.

$$TP_{2j}^0(x) = [BR_{2j}(c + l_2 + p) - (m_2 + p)]x - BR_{2j}(h_2 + g_2 + l_2) \quad (2.17)$$

(2.2)에서와 같이 식(2.17) 및 (2.8)을 이용하여 UW까지 대처하는 모든 수요 y^0 를 구한다. 이 y^0 는 다음 식을 만족하면 된다.

$$\int_{y^0}^{\infty} \Sigma f(y_j) dy_j = x_{2,3}^0 \quad (2.18)$$

이때 최적재고보유량 s_2^0 는 다음과 같다.

$$s_2^0 = BR_2(y^0 - \sum_{j=1}^n s_{1j}) \quad (2.19)$$

한편 총 사후주문량을 b' 라 하면 UW의 이익함수를 선술한 방법과 유사하게 구할 수 있다. 즉 $b' < s_2^0$ 이면, $TP_2^1(b')$ 는 다음과 같다.

$$TP_2^1(b') = cb' - (s_2^0 - b')l_2 - (h_2 + g_2)s_2^0 - m_2(s_2^0 - s_2) \quad (2.20)$$

또 $b' > s_2^0$ 이면, $TP_2^2(b')$ 는 다음과 같다.

$$TP_2^2(b')cs_2^0 - (b' - s_2^0)p - (h_2 + g_2)s_2^0 - m_2(s_2^0 - s_2) \quad (2.21)$$

이때 식(2.20) 및 (2.21)을 합한 UW의 기대이익은 다음과 같다.

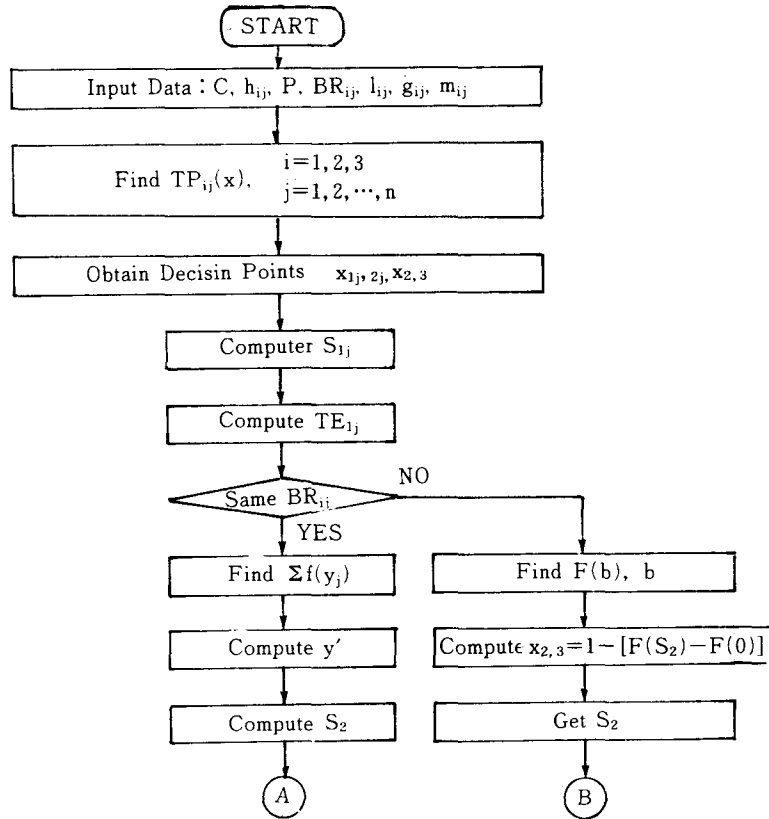
$$TE_2 = \int_0^{s_2^0} TP_2^1(b')f(b')db' + \int_{s_2^0}^{\infty} TP_2^2(b')f(b')db' \quad (2.22)$$

이때 총기대이익 TE'는 식(2.7) 및 (2.22)를 더한 것이 된다.

$$TE' = \sum_{j=1}^n TE_{1j} + TE_2 \quad (2.23)$$

3. 문제의 해법

사후주문물이 같고 가상시설을 포함한 경우를 알고리즘(2.1), 사후주문물이 다른 경우를 알고리즘(2.2)로 나누어 명시하며, 두 경우 모두에 대한 자세한 절차는 Figure 2-2에 나타나있다.



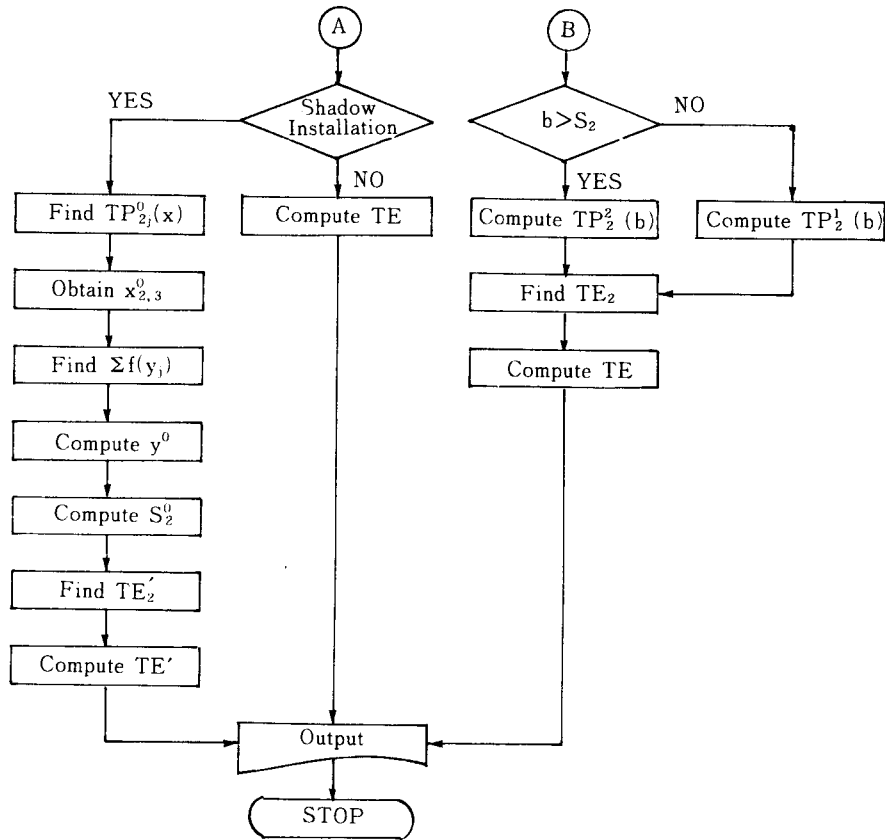


Figure 2-2. Solution Procedure for Two Case

3.1 사후주문률이 같고 가상시설 포함한 경우

알고리즘(2.1)은 사후주문률이 같고 가상시설을 포함한 경우이며 다음과 같다.

[알고리즘 (2.1)]

- 단계 1 : i 수준 j 재고점에 대한 $TP_{ij}(x)$ 를 식(2.1), (2.2) 및 (2.3)으로 x 에 관해 정리한다.
- 단계 2 : $TP_1(x)$ 와 $TP_2(x)$ 각각에 대응하는 식으로 결정점(교점) $x_{1,2}$ 와 $x_{2,3}$ 을 계산한다.
- 단계 3 : 식(2.4)에 의해 단계 2에서 구한 교점을 이용하여 모든 LR에 관한 s_{1j} 를 찾는다.
- 단계 4 : $y_j \leq s_{1j}$ 일 때는 식(2.5), $y_j > s_{1j}$ 일 때는 식(2.6)으로 모든 LR에 관한 TE_{1j} 를 계산한다.
- 단계 5 : 식(2.11) 및 (2.12)를 이용하여 UW의 s_2 를 찾는다. 가상 시설이 1개 포함되면 식(2.17)로 교점을 구하고 식(2.18) 및 (2.19)로 s_2^0 를 찾는다.
- 단계 6 : 식(2.22)로 TE_2' 를 계산하고, 식(2.23)으로 TE' 을 구한다.

3.2 사후주문률이 다른 경우

- 단계 1 : 알고리즘(2.1)의 단계 1~단계 4와 같다.
- 단계 2 : 식(2.9)로 분포함수 $F(b_j)$ 를 구한다.
- 단계 3 : UW의 최적보유량을 식(2.10)과 알고리즘(2.1)의 단계 2에서 구한 $x_{2,3}$ 으로 계산한다.
- 단계 4 : $b \leq s_2$ 이면 식(2.13), $b > s_2$ 이면 식(2.14)로 UW의 기대이익 TE_2 를 식(2.15)로 부터 구한다.
- 단계 5 : 식(2.16)으로 TE 를 계산한다.

4. 수치에 및 검토

4.1 사후주문률이 같은 경우

상위재고점 1개소, 하위재고점 3개소, 가상시설 1개소로 구성된 경우로 한정하고, 수요분포는 정규분포로 가정하며, 각 LR의 평균 및 표준편차는 Table 2-1과 같다. 또 사후주문률이 0.95, 품질비용은 1로 하여 그 외에 관련비용으로 재고유지비용, 배분비용, 단가, 재고손실비용이 나타나 있다. 이상과 같은 수치예를 풀면 Table 2-2와 같다.

Table 2-1. Demands and Cost Factors.

Locations		h_{ij}	g_{ij}	c	l_{ij}	m_{ij}	Dist. of Demand (μ, σ)
Level 1	1	0.10	0.09	1.00	0.10	0.0	$N(60, 5)$
	2	0.09	0.07	1.00	0.09	0.0	$N(120, 15)$
	3	0.08	0.06	1.00	0.08	0.0	$N(180, 20)$
	4*	0.10	0.0	1.00	0.10	0.0	$N(30, 5)$
Level 2		0.10	0.0	1.00	0.10	0.2	$p=1$

*Shadow Installation $BR_{ij}=0.95$

Table 2-2. Optimal Stock Levels for Decision points.

Decision Points		Optimal Stock Levels	
$x_{11,21}$	0.9523	s_{11}	52
$x_{12,22}$	0.6315	s_{12}	115
$x_{13,23}$	0.3529	s_{13}	188
$x_{2,3}$	0.0952	s_2	37
$x_{2,3}^*$	0.1053	s_2^*	64

*Values of Shadow Installation.

4.2 사후주문률이 다른 경우

여기서는 상위재고점 1개소, 하위재고점 2개소로 구성된 경우로 하고 수요분포는 지수분포로 하여 분석한다. 사후주문률은 LR_1 이 0.9, LR_2 는 0.85이고, 품질비용은 1이며, 그 외에 관련비용으로 재고유지비용, 배분비용, 제품단가, 재고손실비용이 Table 2-3에 나타나 있다.

사후주문률이 다른 경우에는 같은 경우에 비해 식(2.9)를 이용하여 사후 주문량에 대한 총 수용분포를 구하는 점이 다르며, $F(b)$ 는 다음과 같다.

$$F(b) = 1 - \left[1 - \left\{ \frac{BR_{22}A_1 \exp(-A_2 s_{12})}{BR_{22}A_1 - BR_{21}A_2} \right\} \exp\{-A_1(b/BR_{21} + s_{11})\} \right] \\ - \left[1 - \left\{ \frac{BR_{21}A_2 \exp(-A_1 s_{11})}{BR_{21}A_2 - BR_{22}A_1} \right\} \exp\{-A_2(b/BR_{22} + s_{12})\} \right]$$

이상과 같은 예를 풀면 Table 2-4와 같다.

Table 2-3. Demands and Cost Factors.

Locations		h_{ij}	g_{ij}	c	l_{ij}	BR_{ij}	Exponential Dist. of Demand
Level 1	1	0.10	0.09	1.00	0.10	0.90	$A_1=1/60$
	2	0.09	0.07	1.00	0.09	0.85	$A_2=1/50$
Level 2		0.10	0.0	1.00	0.10		$p=1$

Table 2-4. Optimal Stock Levels for Decision Points.

Decision Points		Optimal Stock Level	
$x_{11,21}$	0.4762	s_{11}	38
$x_{12,22}$	0.2295	s_{12}	66
$x_{2,3}$	0.1005	s_2	106

4.3 결 토

Table 2-2에 나타나 있는 결정점들(decision Points)은 어떤 수준의 어느 재고점에 재고를 보유시켜 수요에 대처하는 것이 유리한가를 가리키는 분기점을 제시하고 있는데, LR_1 에서는 판매가능확률이 0.9523 이상, LR_2 에서는 0.6315 이상, LR_3 에서는 0.3529 이상이면 하위재고점 LR 에 보유시키고, 만약 이러한 판매가능확률이 하일 경우에는 상위재고점 UW 에 보유시키는 것이 유리함을 뜻한다. 다시 말해 결정점은 상위수준과 하위수준의 재고보유량결정에 관한 명확한 재고정책을 부여할 수 있는 기준점을 제공하고 있음을 알 수 있다. 또 판매가능확률이 $x_{2,3}=0.0952$ 라는 것은 이 확률이상이 되면 UW 에 보유시키고, 이 확률이하이면 주문을 취소시키는 것이 유리함을 나타내어 준다. 그리고 각 결정점을 근거로 각 수준의 각 재고점에 대한 최적재고수준이 구해져 있다.

한편 가상시설재고점이 존재하는 경우에는 상위재고점에서의 재고보유량이 64 단위인데 가상시설이 수요전량을 상위재고점에서 대처해야 되기 때문에 발생한 것임을 알 수 있고, 이때 식(2.23)을 이용하여 총기대이익을 구하면 321.42이며, 가상시설이 없는 경우가 총 기대이익은 식(2.16)을 이용하여 구하면 305.95이므로 시스템 총 기대이익은 15.47 정도의 증가효과를 나타내고 있다.

Table 2-4은 사후주문율이 다를 경우의 결정점과 최적재고수준을 얻은 결과이다. 즉 LR_1 에서는 판매가능확률이 0.4762 이상, LR_2 에서는 0.2295 이상, LR_3 에서는 0.1005 이상이면 하위재고점 LR 에 보유시킨다. 만약 이러한 판매가능확률이하일 경우에는 상위재고점 UW 에 보유시키는 것이 유리함을 뜻한다.

5. 결 론

본 연구는 총괄적 사후주문과 서비스수준-재분배를 고려한 2 수준 병렬형 재고분배시스템으로 1-상위수준과 n -하위재고점으로 구성된 다재고점 시스템에 관한 문제를 고찰하고 있다. 이 분야에서 특별한 관심의 대상으로는 각 수준에 대한 재고보유량결정이 시스템적 수요특성을 효율적으로 반영하여야 된다는 점과 n -하위재고점 병렬형시스템 문제에서만 존재하는 재분배운동이라는 점이다. 다수의 기존연구에서 다루어 왔으나 본 연구에서는 시스템적 수요특성을 총괄적 사후주문을 고려하여 적정재고수준을 탐색하려는 관점과 일반적인 상위수준과 하위수준간의 분배흐름 뿐만 아니라, 하위재고점들간의 재분배가 재고시스템의 최대목적인 서비스수준하에서 시스템재고수준의 감축효과를 줄 수 있다는 관점에서 분석하였다.

여기서는 하위재고점에서의 재고부족은 상위수준에 부분적인 사후주문을 허용하는 것으로 대처하는데, 이때 판매가능확률을 도입하여 어느 수준, 어떤 재고점에 재고를 보유시키는 것이 유리한가를 가리키는 결정점을 근거로 총괄사후주문에 관한 분포함수를 구하고, 또 가상재고점을 고려한 문제를 재설정하여 각 수준 재고점별 적정재고수준을 구하는 방법을 제시하였다. 품목에 대한 판매가능확률을 수요예측기법을 통하여 적절하게 추정할 수 있다면 보다 실질적인 모형을 구성할 수 있음을 알 수 있다. 각 재고점의 투자한계와 공간소요를 설정하는 문제로의 확장이 기대된다.

FEFERENCES

1. Allen, A. O., *Probability, Statistics, and Queueing Theory with Computer Science Applications*, Academic Press, Inc., New York, 1978.
2. Chung, K. L., *A Course in Probability Theory*, Secound Ed., Academic Press Inc., New York, 1974.
3. Ehrhardt, R. A., Schultz, C. R. and Wagner, H. M., "(s, S) Policies for a Wholesale Inventory System," in Schwarz, pp. 145~162, 1981.
4. Fogarty, D. W., and Aucamp, D. C., "Implied Backorder Costs," *IIE Transactions*, Vol. 17, No. 1, pp. 105~107, 1985.
5. Frazza, S. and Kaplan, A. J., "Decentralized Stockage Policies in a Multiechelon Environment," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 33, No. 2, pp. 179~189, 1986.
6. Iglehart, D. L. and Morey, R. C., "Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory System with Demand Forecasts," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 18, No. 1, pp. 115~118, 1971.

7. Miller, D. M., Mellichamp, J. M. and Henry, T. A., "Analysis of Excess Stock in Multiproduct Inventory Systems," *IIE Transactions*, Vol. 18, No. 4, pp. 350~355, 1986.
8. Schultz, C. R., "Computing Demand Properties at the wholesale Warehouse Level," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 30, No. 1, pp. 37~48, 1983.
9. Schwarz, L. B., Deuermeyer, B. L. and Badinelli, R. D., "Fill-Rate Optimization in One-Warehouse N-Identical Retailer Distribution System," *Management Science*, Vol. 31, No. 4, pp. 488~498, 1985.
10. Tersine, R. J., *Materials Management and Inventory Systems*, North-Holland, Amsterdam, 1976.