

SCM환경에서의 물류센터의 최적 서비스 수준 결정 방법

- A study on the Method to Determine Optimal
Service Level of a Distribution Center in Supply Chain
Management Environment -

조용욱 *

Wook Yong-Cho

박명규 **

Kyu Myung-Park

Abstract

The main objective of this research is to develop a model to select the optimal input service level for a distribution center-multi branch inventory distribution system. With the continuous review policy, the distribution center places an order for specific order quantity to an outside supplier, and the order quantity is replenished after a certain lead time. Also, each branch places an order for particular order quantity to the distribution center to satisfy the customer demands, and receives the replenishment after a lead time. When an out of stock condition occurs during an order cycle, a backorder is placed to the upper level to fill the unfilled demands. With these situation, variable demand and variable lead time are used for better industrial practice. Further, actual lead times with a generic lead time distribution are used in developing the control model. Under the actual lead time model, the customer service measures actually attained for the distribution center and each branch are explained as the effective customer service measures. Thus, throughout the optimal control (using computer search procedures), we can select the optimal input service levels for the distribution center and each branch to attain the effective service levels for each branch which is consistent with the goal level of service for each branch. At the same time, the entire distribution system keeps minimum inventories.

* 명지대학교 산업기술 연구소 책임연구원

** 명지대학교 산업공학과 교수

1. 서론

1980년대 후반, 국내 제조업체에서 물류에 대한 중요성이 부각되면서, 초기 창고관리와 운반/하역에 중점을 두었던 인식이, 원자재에서부터 완제품에 이르는 모든 업무를 통합하는 공급사슬(supply chain)이란 개념으로 발전하고 있다. 기업들은 경영활동의 수행을 위한 원자재, 구매품을 신속하고 안정적으로 조달하고, 생산 완료된 제품을 고객에게 저렴한 비용으로 신속하게 공급하기 위하여 공급사슬을 구축하고 있으며 이의 효율적인 운영을 통한 고객서비스 제고 및 기업경쟁력 확보에 많은 노력을 기울이고 있다. 일반적으로 기업의 공급사슬경영에 있어서 생산된 제품을 고객에게 효율적으로 공급하기 위한 목적으로 설계, 운영되는 분배사슬상의 다단계 재고 시스템의 한 전형적인 형태는 공급자로부터 제품을 공급받아 분배하는 물류센터와 물류센터로부터 제품을 공급받는 지점들로 이루어진 시스템이다. 지역적으로 분산된 고객들은 각 지역을 담당하는 지점들을 통해 제품을 구입하게 된다. 이러한 물류시스템에 있어서의 재고관리의 주된 목표는 물류센터와 각 지점의 재고조정의 경제성 유지와 고객의 수요를 대비하기 위해 계획된 각 지점의 적정 서비스수준의 달성이다. 정량 주문방법 하에서 물류센터는 보유 재고량과 주문량의 합이 주문점에 도달할 때 (외부) 공급자에게 경제적으로 결정된 양의 제품을 주문하며, 주문된 양의 제품은 어떤 조달기간이 경과한 후 공급된다. 또한 각 지점은 보유 재고량과 주문량의 합이 주문점에 이를 때마다 물류센터에 경제적인 주문량을 주문하며 이 주문량은 얼마간의 조달기간이 경과된 후 공급된다. 아울러 이 연구는 물류센터와 각 지점에서 재고부족 상황이 발생하는 경우에는 추후납품이 이루어지는 상황을 포함한다. 각 지점에서 발생하는 고객의 수요와 각 단계에서 경험하게 되는 조달기간은 실제적으로 일정하지 않으며 수요와 조달기간의 변동에 의해 서비스 수준이 다르게 나타나기 때문에 각 지점의 목표한 서비스 수준을 유지하기 위한 재고조정을 실행해야 한다. 이 시스템의 가장 중요한 문제는 고객이 직접 제품을 구입하는 각 지점의 재고관리이다. 또한 각 지점의 경제적 재고관리와 적정 서비스 수준의 달성을 위해서는 물류센터의 적절한 재고관리가 필수적이다. 물류센터의 합리적인 재고관리가 이루어지지 않는다면 각 지점 또한 목표 서비스수준을 유지할 수 없게 된다. 따라서 본 논문의 주된 연구 목적은 수요와 조달기간의 변동을 고려할 때, 각 지점의 목표 서비스수준을 유지하기 위한 시스템 최적화 방법의 전개와 분석이다.

2. 물류센터와 각 지점의 재고분석

물류센터와 각 지점의 재고분석을 위해 사용되는 자료는 다음과 같다:

(물류센터의 자료)

F = 예측수요/월.

σ = 예측오차의 표준편차.

SL =계획 서비스수준.

Q =주문량.

L =평균 조달기간.

$P(L' = L) = (L' = L)$ 일 확률.

$P(L' > L) = (L' > L)$ 일 확률.

$P(L' < L) = (L' < L)$ 일 확률.

$E(L' | L' > L) = (L' > L)$ 인 경우 실제 조달기간의 기대값.

$E(L' | L' < L) = (L' < L)$ 인 경우 실제 조달기간의 기대값.

(지점의 i 의 자료)

p_i = 지점 i 에서의 수요발생 확률.

sl_i = 지점 i 의 계획 서비스 수준 (충족된 수요/총수요)

q_i = 지점 i 의 주문량.

l_i = 지점 i 의 평균 조달기간.

2.1 물류센터의 재고분석

수요의 변동을 분석하기 위하여 제품의 월 수요와 조달기간 동안의 수요는 정규분포를 가정하며 월 예측값을 이용한다. 제품의 수요는 수평형 수요형태이며, 물류센터의 월 예측수요는 각 지점의 월 예측 수요의 합으로 구성됨을 가정한다. 또한 조달기간의 변동을 분석하기 위해 보다 일반적인 형태의 확률분포를 이용한다. 즉 실제 조달기간(L')이 평균 조달기간(L)과 같은 경우와, 실제 조달기간이 평균 조달기간보다 짧은 경우와 긴 경우로 이루어지며, 이 짧은 경우와 큰 경우는 각각 양과 음의 지수분포를 가정한다.

먼저 평균 조달기간(L)을 기초로 하여 평균 조달기간의 예측수요의 표준편차(σ_L), 주문주기 동안의 부족량의 기대값($E(k)$), 그리고 이에 대응하는 안전요인(k)을 결정하고, 이 값들을 이용하여 물류센터의 안전재고량(SS)과 주문점(OP)을 $SS = k \cdot \sigma_L$, $OP = SS + F \cdot L$ 의 관계로부터 결정한다. 이에 대한 자세한 설명은 참고문헌 [2],[3],[6]에서 제시되고 있다. 실제 조달기간이 평균 조달기간과 같은 경우의 서비스 측정값들은 다음과 같이 결정된다. 한 주문주기 동안 평균 조달기간 L 과 같은 하나의 실제조달기간을 L' 라 하면 서비스 측정값들 즉 서비스 수준, 재고부족발생 확률, 제품이 재고부족 상태에서 경과되는 시간의 기대값들은 각각

$$E(SL | L' = L) = SL \quad (1)$$

$$P(O | L' = L) = P(O) = 1 - F(k) \quad (2)$$

$$E(\tau | L' = L) = \tau \quad (3)$$

의 관계에서 결정된다. 즉 $L' = L$ 인 경우의 기댓값들은 L 을 기초로 결정되는 서비스 측정값들 $SL, P(O), \tau$ 와 같다.

위의 식에서 $F(k) = \int_{-\infty}^k f(z) dz$ 이고, z 는 표준정규분포 확률변수이다. 또한 τ 는 한 주문주기 동안의 평균 추후납품량 B 와 재고부족발생 확률 $P(O)$ 의 관계를 이용하여 다음과 같이 결정된다. 즉

$$B = \{E(k) \cdot \sigma_L\} / P(O)$$

$$\tau = (L \cdot B) / (OP + B)$$

이며, 이 관계는 참고문헌 [6]에서 설명하고 있다.

실제 조달기간이 평균 조달기간보다 큰 경우와 작은 경우의 서비스 측정값들은 다음과 같이 결정된다. 평균 조달기간보다 크거나 작은 하나의 실제 조달기간을 L' 라 하면 이 기간의 예측수요(F_L)와 예측오차의 표준편차(σ_L)는 $F_L = F \cdot L'$ 와 $\sigma_L = \sigma \cdot \sqrt{L'}$ 로부터 얻어지며, 안전요인(k')는 $k' = (OP - F_L) / \sigma_L$ 의 관계를 갖는다. 이 k' 값에 대응하는 $E(k')$ 와 경제적인 주문량 Q 를 이용하여 그 주문주기의 서비스 측정값들이 다음과 같이 결정한다.

$$SL' = 1 - \{E(k') \cdot \sigma_L / Q\} \quad (4)$$

$$P(O)' = 1 - F(k') \quad (5)$$

$$\tau' = L' \cdot B' / (OP + B') \quad (6)$$

따라서 $L' > L$ 인 경우의 서비스 측정값들의 기댓값은 각각

$$E(SL | L' > L)$$

$$= \int_{L' > L}^{\infty} SL' \cdot f(L' | L' > L) \cdot dL' \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 &P(O | L' > L) \\
 &= \int_{L' > L}^{\infty} P(O)' \cdot f(L' | L' > L) \cdot dL' \quad (8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &E(\tau | L' > L) \\
 &= \int_{L' > L}^{\infty} \tau' \cdot f(L' | L' > L) \cdot dL' \quad (9)
 \end{aligned}$$

이며, $f(L' | L' > L) = f(L') / P(L' > L)$ 이다. 참고로 위 식의 계산은 충분히 많은 개수의 L' 를 이용하여 근사치를 얻을 수 있다. 또한 $L' > L$ 인 경우의 서비스 측정값들의 기대값은 각각

$$\begin{aligned}
 &E(SL | L' < L) \\
 &= \int_{L' > 0}^{L' < L} SL' \cdot f(L' | L' < L) \cdot dL' \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &P(O | L' < L) \\
 &= \int_{L' > 0}^{L' < L} P(O)' \cdot f(L' | L' < L) \cdot dL' \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &E(\tau | L' < L) \\
 &= \int_{L' > 0}^{L' < L} \tau' \cdot f(L' | L' < L) \cdot dL' \quad (12)
 \end{aligned}$$

이며, $f(L' | L' < L) = f(L') / P(L' < L)$ 의 관계이다. 따라서 물류센터의 서비스 측정값들의 기대치들, 즉 $E(SL)_c$, $P(O)_c$, $E(\tau)_c$ 는 다음의 관계에서 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 E(SL)_c &= E(SL | L' = L) \cdot P(L' = L) \\
 &+ E(SL | L' > L) \cdot P(L' > L) \\
 &+ E(SL | L' < L) \cdot P(L' < L) \quad (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(O)_c &= P(O | L' = L) \cdot P(L' = L) \\
 &+ P(O | L' > L) \cdot P(L' > L) \\
 &+ P(O | L' < L) \cdot P(L' < L) \quad (14)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E(\tau)_c &= E(\tau | L' = L) \cdot P(L' = L) \\
 &+ E(\tau | L' > L) \cdot P(L' > L) \\
 &+ E(\tau | L' < L) \cdot P(L' < L) \quad (15)
 \end{aligned}$$

2.2 각 지점의 재고분석

지점의 재고분석에 있어서 다음을 가정한다. 즉 물류센터에서 재고부족이 발생하지 않는 경우에는 지점 i 의 평균 조달기간(l_i)에 맞춰 제품이 도착되며, 재고부족이 발생한 경우에는 지점 i 에 대한 조달기간은 평균 조달기간보다 길어지게 된다. 평균 조달기간보다 늦게 되는 조달기간의 확률분포는 물류센터의 조달기간과 같이 지수분포를 가정한다. 따라서 지점 i 의 하나의 실제 조달기간을 l'_i 라 하면 조달기간들의 확률과 기대값은

$$P(l'_i = l_i) = 1 - P(O)_c \quad (16)$$

$$P(l'_i > l_i) = P(O)_c \quad (17)$$

$$E(l'_i | l'_i > l_i) = l_i + E(\tau)_c \quad (18)$$

의 관계를 갖게되며, $P(O)_c$ 와 $E(\tau)_c$ 는 각각 식 (14),(15)를 참조한다. 물류센터의 분석과 같이 지점 i 의 평균조달기간 l_i 를 이용하여 지점 i 의 안전재고와 주문점을 먼저 결정한다. 그 절차는 다음과 같다. 지점 i 의 월 예측수요(f_i)와 월 예측수요의 표준편차(σ_i)는 물류센터의 예측수요 중 지점 i 에서의 수요발생 확률(p_i)과, 물류센터의 예측수요(F)에 의해 결정된다. 즉

$$f_i = p_i \cdot F \quad (19)$$

$$\sigma_i = \sqrt{F \cdot P_i(1 - P_i) + P_i^2 \cdot \sigma^2} \quad (20)$$

이며 식 (20)의 유도과정은 참고문헌 [6]에서 설명하고 있다. 조달기간의 예측수요(f_i), 이 기간의 예측수요의 표준편차(σ_i), 그리고 $E(k_i)$ 를 이용하여 다음의 관계식들로부터 지점 i 의 안전재고(ss_i)와 주문점(op_i)이 결정된다. 이 단계는 물류센터에서의 안전재고와 주문점의 결정방법과 같다.

계속해서 지점 i 의 실제 조달기간(l'_i)이 평균 조달기간(l_i)과 같은 경우와 큰 경우의 서비스 측정값들과 각 경우에 대응하는 확률을 이용하여 지점 i 의 모든 실제 리드타임들에 대한 궁극적으로 기대되는 서비스 측정값들을 결정한다. 이 측정값들을 $E(sI)_i, P(o)_i, E(\tau)_i$ 라 하면, 이 값들은 다음과 같이 결정된다. 즉

$$E(sI)_i = E(sI_i | l'_i = l_i) \cdot [1 - P(O)_c] + E(sI_i | l'_i > l_i) \cdot P(O) \quad (21)$$

$$P(o)_i = P(o_i | l'_i = l_i) \cdot [1 - P(O)_c] + P(o_i | l'_i > l_i) \cdot P(O)_c \quad (22)$$

$$E(\tau)_i = E(\tau_i | l'_i = l_i) \cdot [1 - P(O)_c] + E(\tau_i | l'_i > l_i) \cdot P(O)_c \quad (23)$$

이며, 이 식들의 계산은 각 지점의 자료를 기초로 하여 물류센터에서 논의한 바와 같이 계산한다.

3. 시스템 최적화를 위한 탐색

2장에서 분석된 물류센터와 각 지점의 서비스 수준의 기대값들은 실제 조달기간들을 사용할 때 결과적으로 얻게 되는 서비스 수준을 의미한다. 각 지점에서 얻게 되는 서비스 수준 $E(s)_i$ 가 목표한 서비스 수준과 일치하려면 물류센터와 각 지점의 계획된 서비스 수준값들, 즉 SL 과 sl_i 를 조정해야 한다. 따라서 전체 시스템의 보유재고량을 최소로 유지함을 전제로 할 때, 목표한 각 지점의 서비스 수준과 일치하는 $E(s)_i$ 를 얻기 위해서 물류센터와 각 지점의 계획된 input 서비스 수준들 SL 과 sl_i 를 얼마로 계획하여야 하는가에 대한 분석이 논의된다. 각 지점이 경험하게 되는 서비스 수준의 기대값은 앞에서 분석된 바와 같이 많은 변수들의 함수이다. 이로 인해 최적화를 위한 수리적 모형의 설계가 용이하지 않기 때문에 컴퓨터 탐색방법을 이용하며, 그 분석절차를 요약하면 다음과 같다.

i) 각각 99%의 SL 과 sl_i 로부터 시작하여 값을 순차적으로 감소시키면서 기대값들을 구한다. 그리고 이때 구해진 각 기대값들이 목표한 서비스 수준과 일치한다면 이때의 SL 과 sl_i 들을 가능해(feasible solution)들로 설정한다. 그리고 더 이상 목표한 서비스 수준과 같은 서비스 수준의 기대값이 발견되지 않을 때까지 반복한다.

ii) SL 과 sl_i 의 모든 가능해들에 대응하는 물류센터의 보유 재고량 OH_c 와 지점 i 의 보유재고량 oh_i 의 합($OH_c + oh_i$)을 관계식들 $OH_c = (Q/2) + SS$, $oh_i = (q_i/2) + ss_i$ 을 이용하여 계산한다. 그리고 물류센터와 지점 i 의 보유재고량의 합이 최소가 되는 SL 과 sl_i 를 선택한다. 이 과정을 모든 지점에 대해 반복한다.

iii) 절차 ii)의 결과들 중 가장 큰 값의 SL 을 물류센터의 최적계획 서비스 수준으로 선택한다. 그리고 이 최적 SL 과 쌍을 이루는 sl_i 값을 지점 i 의 최적계획 서비스 수준으로 결정한다.

3.1 계산 예

한 물류센터와 이에 속한 5개의 지점으로 이루어진 시스템의 컴퓨터 탐색을 통한 최적계획 서비스 수준 결정에 대한 한 예는 다음과 같다:

(물류센터와 각 지점의 자료)

$$F=500/\text{월}$$

$$\sigma=200$$

$$Q=1500$$

$$L=2\text{개월}$$

$$P(L' = L)=0.5$$

$$P(L' > L)=0.4$$

$$P(L' < L)=0.1$$

$$E(L' | L' > L)=2.4\text{개월}$$

$$E(L' | L' < L)=1.8\text{개월}$$

$$p_1=0.25 \quad p_2=0.28 \quad p_3=0.1$$

$$p_4=0.15 \quad p_5=0.22$$

$$q_1=123 \quad q_2=140 \quad q_3=50$$

$$q_4=123 \quad q_5=140$$

$$l_1=1.3\text{개월} \quad l_2=1.2\text{개월} \quad l_3=1.2\text{개월}$$

$$l_4=1.3\text{개월} \quad l_5=1.2\text{개월}$$

각 지점의 목표서비스 수준 = $E(s_i)=95\%$

(결과)

$$SL=96\%$$

$$s_{l_1}=99\% \quad s_{l_2}=99\% \quad s_{l_3}=99\%$$

$$s_{l_4}=99\% \quad s_{l_5}=99\%$$

즉 물류센터의 계획 서비스 수준(input 서비스 수준)을 96%, 각 지점의 계획 서비스 수준을 모두 99%로 설정해야 시스템 전체의 보유재고량을 최소화 하면서 각 지점의 목표서비스 수준 95%를 유지할 수 있다.

4. 결론

2장의 분석을 통해 수요의 변동과 조달기간의 변동을 고려한 각 단계의 서비스 측정값들이 분석되었고, 3장을 통해 시스템 최적화 방안이 제시되었다. 즉 전체 시스템의 최소보유 재고량을 유지하면서 고객에 대한 지점의 목표 서비스 수준을 달성하기 위해 계획 또는 조정가능한 변수들의 최적값을 결정하는 방법이 제시되었다. Schwarz(1973)는 한 물류센터와 다수의 지점들로써 이루어진 재고시스템을 위해 단위 기간당 평균비용을 최소화하는 방법을 휴리스틱을 통해 보여주고 있으나 고정된 조달기간을 사용하고 있고, Schwarz, Deurmeyer, Bandinelli(1985)등도 서비스 수준의 최적화를 위해 계량적 모델을 제시하고 있으나 수요와 리드타임의 변동을 고려하지 않고 있다. 그러나 이 연구에서는 수요와 리드타임의 변동을 고려하므로 많은 변수가 사용되고 따라서 컴퓨터 탐색을 이용한 최적화를 제시하고 있다. 또한 이 연구에서는 추후납품을 가정하고 있으며, 추후납품은 일반 소비재의 경우에서보다 반제품 또는 서비스 부품의 경우에서 보다 일반적으로 일어나는 형태이다. 따라서 이 연구의 후속 연구로서 유실판매 형태를 분석하는 연구와 지점간의 비상공급(emergency sourcing)을 이용하는 시스템에 관한 다양한 분석이 요구된다.

5. 참고문헌

- [1]Brown. R.G. ; Smoothing, Forecasting, and Prediction of Discrete Time Series, Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall. pp. 370-372, 1962.
- [2]Brown, R.G. ; Decision Rules for Inventory Management, N.Y., Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1967.
- [3]Hadley, G. and Whitin, T. M. ; Analysis of Inventory Systems, Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall. Inc. 1963.
- [4]Schwarz, L. B. ; "A Simple Continuous Review Deterministic One-Warehouse N-Retailer Inventory System," Management Science, Vol. 31(4), pp. 555-566, April, 1973.
- [5]Schwarz, L. B., Deurmeyer, B. L., and Bandinelli, R. D. ; "Fill-Rate Optimization in a One-Warehouse N-Identical Retailer Distribution System", Management Science, Vol. 31(4), pp. 488-498, April, 1985.
- [6]Thomopoulos, B. T. ; Applied Forecasting Methods, Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall, Inc. pp. 314-324, 1980.

저 자 소 개

조용욱 : 명지대학교 산업공학과를 졸업하고 동 대학원 산업공학과 석사 및 박사를 취득하였고, 또한 cpim(美 공인 생산재고관리사)자격증을 취득하였으며, 현재 명지대학교 산업기술연구소 책임연구원으로 재직중이다. 산업경영시스템학회 주체 제 5회 한백 학술상을 수상하였으며, 한국과학기술단체총연합회 주체 제 11회 과학기술우수논문상을 수상하였다. 주요 관심분야는 실험계획법, 품질공학, TQM, 6 σ , ERP, JIT, TOC이론, SCM, CRM등이다.

박명규 : 한양대학교 산업공학과 졸업. 미국 일리노이 공대에서 산업공학 석사, 건국대학교 대학원 산업공학과에서 박사학위를 취득하였으며 현재 명지대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 주요관심분야는 TQM, QE, METHODS ENG, 재고 물류관리, 확률모형, FORECASTING, 시스템분석등이다.