

유통시스템의 재고분석

— 서비스측정 모델 —

尹 承 哲*

目 次

- I. 서 론
- II. 중앙분배센터의 재고분석
- III. 각 지점의 재고분석
- IV. 결 론

I. 서 론

지역적으로 분산되어 있는 고객들에게 제품을 공급하기 위해서, 제품(재고)은 여러 지역으로 분산 저장될 필요가 있다. 특히 제품 공급지로부터 고객들이 멀리 분산되어 있는 상황 하에서 기업은 각 지역을 담당하는 지점(Branch)들에게 제품을 공급하는 분배시스템의 상위단계로서의 중앙분배센터(Central Distribution Center)를 이용할 수 있으며, 고객들은 각 지점을 통해 제품을 구입할 수 있다. 이 연구는 기본적으로 외부 공급자(Vendor)로부터 제품 또는 부품을 공급받는 중앙분배센터와 이 중앙분배센터로부터 제품을 공급받는 여러 지점으로 이루어지는 다단계 유통시스템의 재고분석에 관한 연구이다.

정량주문방법(Continuous Review Method)을 사용할 때 중앙분배센터는 보유재고량(on hand inventory)과 주문량(on order quantity)의 합이 주문점(order point)에 도달할 때마다 외부공급자에게 특정한 양의 제품 또는 부품을 주문하며, 주문된 양의 제품은 얼마간의 리드타임이 경과한 후 공급된다. 같은 방법으로써 각 지점은 보유재고량과 주문량의 합이 주문점에 도달할 때마다 중앙분배센터에 특정량의 제품을 주문하며, 이 주문량은 다시 어떤 리드타임이 경과한 후 공급된다. 또한 본 논문에서는 중앙분배센터와 각 지

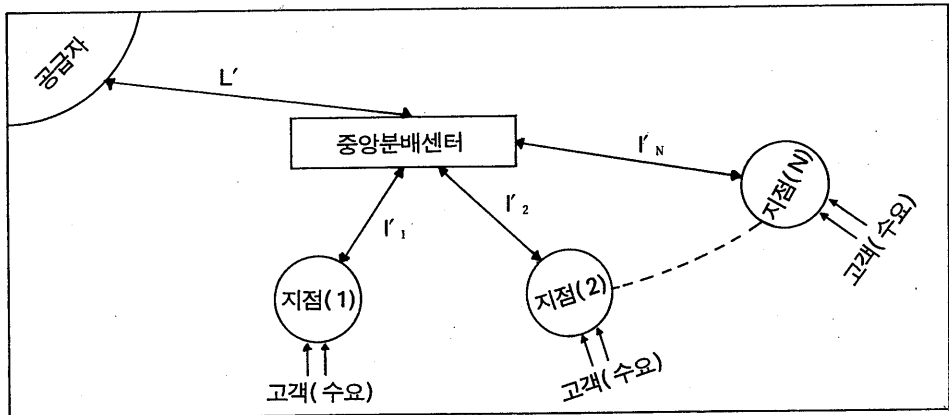
* 本 研 究 所 研 究 員, 商 經 大 學 經 營 學 科 助 教 授

점에서 모두 미납품주문(backorder)하는 상황을 포함한다. 즉 한 주문주기(an order cycle)동안 재고부족이 발생할 때, 각 단계에서는 미납품에 대한 수요를 충족시키기위해 그 상위 단계에로 부족한 양을 미납품주문하는 경우이다.

이러한 재고유통시스템에 있어서 특히 고려해야 할 문제는, 각 지점에서 발생하는 고객의 수요와 각 단계에서 경험하게 되는 리드타임은 모두 일정하지 않다는 사실이다. 일찌기 Gross와 Soriano(1969)가 지적했듯이, 수요와 리드타임의 변화에 의해 서비스수준(Service Level)이 다르게 나타나기 때문에 기업은 목표로 설정된 서비스수준을 유지하기 위해 재고시스템의 조정 또는 통제 가능한 변수를 이용하여야 한다. 이러한 관점에서 본 논문의 목적은 수요와 리드타임의 변화를 동시에 수용할 때, 각 재고보유단위로서의 분배센터와 각 지점들에 있어서 실질적으로 얻어지는 서비스측정값들을 유도 분석하는 것이다. <그림 1>은 위의 상황을 나타내며, L' 와 l' 는 실제 리드타임을 말한다.

II. 중앙분배센터의 재고분석

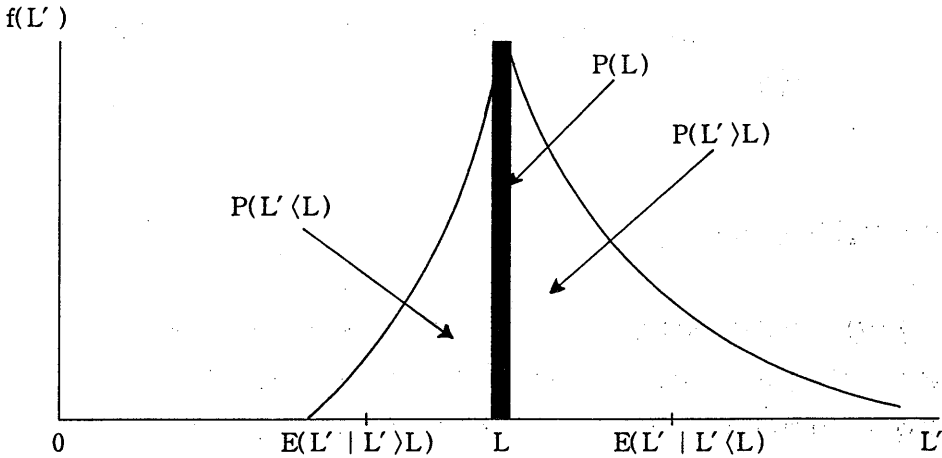
안전재고(safety stocks)와 서비스수준(service level)의 관계를 설명할 때 가장 많이 사용되는 수요의 분포 중 하나는 정규분포일 것이다. Brown(1962)은 수요의 변화에 대해 정규분포를 사용하여, 미리 설정된 서비스수준을 달성하기 위한 안전재고를 결정하는 방법을 보여주었다. 본 논문은 이에 따라 중앙분배센터에서의 월간 수요와 리드타임 기간의 수요는 정규분포를 사용하며, 중앙분배센터의 월간 수요는 모든 지점들에서의 월간 수요의 합으로써 구성됨을 가정한다.



<그림 1> 다단계 재고유통시스템

유통시스템의 재고분석

실제 리드타임을 사용함에 있어서, 세 경우로 나누어 분석한다. 첫째, 실제 리드타임 (L')이 평균 리드타임(L)과 같은 경우, 둘째, 실제 리드타임이 평균 리드타임보다 큰 경우(즉 늦게 도착하는 경우), 셋째, 실제 리드타임이 평균 리드타임보다 작은 경우(즉 일찍 도착한 경우)이다. 또한 보다 일반적인 형태의 리드타임분포를 고려하여, 일찍 도착한 경우와 늦게 도착한 경우의 리드타임들의 분포는 각 경우의 리드타임들의 기대값 즉 $E(L' | L' < L)$, $E(L' | L' > L)$ 과 함께 지수분포를 사용한다. 위의 세 경우에서 각각 분석된 결과를 결합하여 실제 리드타임의 함수로서 중앙분배센터의 서비스측정값을 유도한다. <그림 2>는 리드타임의 확률분포와 각 경우에 대응하는 확률을 나타낸다.



<그림 2> 중앙분배센터의 실제리드타임의 확률분포

1. 데이터

중앙분배센터의 재고분석을 위해 사용되는 데이터는 다음과 같다.

- F = 예측수요/월.
- σ = 예측수요의 표준편차.
- SL = 설정된 서비스수준(충족된 수요/총 수요).
- Q = 주문량.
- L = 평균 리드타임.

$P(L)$ = 실제 리드타임과 평균 리드타임이 같을 확률. (또는 과거의 리드타임 데이터로부터, 모든 리드타임 중에서 평균 리드타임에 해당하는 값들이 차지하는 비율).

$P(L' > L)$ = 실제 리드타임이 평균 리드타임보다 클 확률. (또는 모든 리드타임 중에서 평균 리드타임보다 큰 리드타임이 차지하는 비율).

$P(L' < L)$ = 실제 리드타임이 평균 리드타임보다 작을 확률. (또는 모든 리드타임 중에서 평균 리드타임보다 작은 리드타임이 차지하는 비율).

$E(L' | L' > L)$ = 실제 리드타임이 평균 리드타임보다 클 때, 실제 리드타임들의 기대값.

$E(L' | L' < L)$ = 실제 리드타임이 평균 리드타임보다 작을 때, 실제 리드타임들의 기대값.

2. 서비스측정값의 분석과 계산

분석의 용이함을 위해서, 먼저 평균 리드타임(L)을 기초로 하여 중앙분배센터의 안전재고와 주문점을 결정한다. 즉 평균 리드타임 기간의 예측수요의 표준편차(σ_L), 주문주기동안의 부족량의 기대값($E(k)$), 그리고 $E(k)$ 값에 대응하는 안전요인(k)을 구한 후, 이 값들을 이용하여 안전재고(SS)와 주문점(OP)을 결정한다. 이 안전재고와 주문점에 대한 계산방법과 수학적 설명은 참고문헌[2]와 [7]에서 보여주고 있으며, 식은 다음과 같다.

$$\sigma_L = \sigma \cdot \sqrt{L}$$

$$E(k) = \frac{(1-SL) \cdot Q}{\sigma_L}$$

$$SS = k \cdot \sigma_L \tag{1}$$

$$OP = SS + F \cdot L \tag{2}$$

위의 식에서 주문량(Q)은 공급자의 조건과 경제적인 면을 고려하여 결정될 수 있으며, 이에 관한 결정방법은 참고문헌[3]에서 설명하고 있다.

i) 실제 리드타임(L')이 평균 리드타임(L)과 같을 때의 서비스측정값.

한 주문주기 동안 평균 리드타임 L 과 크기가 같은 하나의 실제 리드타임을 L' 라 하자. 이 주문주기 동안의 L' 에 대응하는 서비스수준 SL' 는 설정된 서비스수준 SL 과 같다. 따라서 $L' = L$ 일 때, 기대되는 서비스수준, 즉 $E(SL | L' = L)$ 은 식

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

의 관계에서 구해진다.

또한 이 주문주기 동안 재고부족상황이 발생할 확률, 즉 $P(OUT)'$ 는 L 을 기초로 하여 구해지는 재고부족발생 확률 $P(OUT)$ 과 같다. 따라서 $L' = L$ 일 때, 기대되는 재고부족발생 확률, 즉 $P(OUT | L' = L)$ 은 식

$$\begin{aligned} P(OUT | L' = L) &= P(OUT) \\ &= 1 - F(k) \end{aligned} \quad (4)$$

에서 결정되며, 이 식에서 $F(k) = \int_{-\infty}^k f(z)dz$ 이고, z 는 표준정규분포 확률변수이다. 안전요인 (k)의 값은 앞에서 계산된 $E(k)$ 와의 관계에서 구해진다. 이 재고부족상황이 발생할 확률은 부족한 재고의 갯수에 대한 정보를 제공하지는 않는다. 단지 이 확률은 재고가 부족하게 되는 주문주기들의 %를 의미한다.

L' 를 기초로 할 때의 미납품주문(backorder)에 대한 수요가 미납품주문된 상태에서 경과될 평균시간 $\tau(BO)'$ 는 L 을 기초로 하여 구해지는 $\tau(BO)$ 와 같다. 즉

$$\begin{aligned} \tau(BO)' &= \tau(BO) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \tau \end{aligned} \quad (5)$$

이며, 위 식에서 τ , 즉 미납품주문 된 제품이 미납품주문 상태에서 경과될 평균 시간은

$$\tau = \frac{L \cdot BO}{OP + BO}$$

의 관계에서 결정되며, BO , 즉 그 주문주기 동안 미납품주문 되는 수량의 기대값은

$$BO = \frac{E(k) \cdot \sigma_L}{P(OUT)}$$

의 관계에서 결정된다. 측정값 $P(OUT)'$ 와 $\tau(BO)'$ 의 관계식은 참고문헌 [8]에서 정의하고 있다. 위의 식들을 기초로 하여, $L' = L$ 일 때, 미납품주문에 대한 수요가 미납품주문

상태에서 경과될 평균 기대시간, 즉 $\tau(\text{BO} | L' = L)$ 은

$$\tau(\text{BO} | L' = L) = \tau(\text{BO}) \quad (6)$$

의 식으로부터 결정된다. 이 중앙분배센터에서 결정되는 $P(\text{OUT})'$ 와 $\tau(\text{BO})'$ 의 값과 그 개념은 이 연구에서 분석하려고 하는 각 지점의 리드타임 확률결정에 중요한 정보를 제공한다.

ii) 실제 리드타임(L')이 평균 리드타임(L)보다 클 때의 서비스측정값

한 주문주기 동안 평균 리드타임 L 보다 큰 하나의 실제 리드타임을 L' 라 하자. L' 기간의 예측수요($F_{L'}$)와 예측수요의 표준편차($\sigma_{L'}$)는 다음

$$\begin{aligned} F_{L'} &= F \cdot L' \\ \sigma_{L'} &= \sigma \cdot \sqrt{L'} \end{aligned}$$

의 식들로부터 얻어진다. 또한 안전요인(k')은

$$k' = \frac{OP - F_{L'}}{\sigma_{L'}}$$

의 관계로부터 결정되며, 이 k' 의 값을 이용하여 대응하는 $E(k')$ 의 값을 얻는다. 계속해서 k' 와 $E(k')$, 그리고 주문량 Q 를 이용하여 그 주문주기에서의 서비스측정값들을 얻는다. 즉

$$SL' = 1 - \frac{E(k') \cdot \sigma_{L'}}{Q} \quad (7)$$

$$P(\text{OUT})' = 1 - F(k') \quad (8)$$

$$\tau(\text{BO})' = \frac{1}{2} \cdot \tau' \quad (9)$$

의 식에서 얻어지며, 위의 식에서

$$E(SL | L')L = \int_{L' > L}^{\infty} SL' \cdot f(L' | L')L dL' \quad (10)$$

$$P(\text{OUT} | L')L = \int_{L' > L}^{\infty} P(\text{OUT})' \cdot f(L' | L')L dL' \quad (11)$$

$$\tau(\text{BO} | L') = \int_{L' > L}^{\infty} \tau(\text{BO}') \cdot f(L' | L) dL' \quad (12)$$

에서 결정된다. 여기에서 확률밀도함수 $f(L' | L)$ 은 $f(L' | L) = f(L')/P(L' > L)$ 의 관계로 설명되며, 적분의 계산은 지수분포의 영역을 매우 작게 분할하여(즉 충분히 많은 갯수의 L' 를 이용하여) 근사치를 구할 수 있다.

iii) 실제 리드타임(L')이 평균 리드타임(L)보다 작을 때의 서비스측정값

평균 리드타임 L 보다 작은 하나의 실제 리드타임을 L' 라 하자. 이 L' 에 대응하는 SL' , $P(\text{OUT}')$, $\tau(\text{BO}')$ 는 관계식 (7), (8), (9)와 같은 방법으로 구해진다. 하나의 L' 에 대한 분석을 기초로 하여, L 보다 작은 모든 L' 에 대한 서비스측정값들을 $E(SL | L' < L)$, $P(\text{OUT} | L' < L)$, 그리고 $\tau(\text{BO} | L' < L)$ 라 하면, 이들은 관계식들

$$E(SL | L' < L) = \int_{L' > 0}^{L' < L} SL' \cdot f(L' | L' < L) dL' \quad (13)$$

$$P(\text{OUT} | L' < L) = \int_{L' > 0}^{L' < L} P(\text{OUT}') \cdot f(L' | L' < L) dL' \quad (14)$$

$$\tau(\text{BO} | L' < L) = \int_{L' > 0}^{L' < L} \tau(\text{BO}') \cdot f(L' | L' < L) dL' \quad (15)$$

에서 결정된다. 여기에서 확률밀도함수 $f(L' | L' < L)$ 은 $f(L' | L' < L) = f(L')/P(L' < L)$ 의 관계로 설명된다.

중앙분배센터의 최종 서비스측정값

위의 (i), (ii), (iii), 세 경우에서 유도된 서비스측정값을 각 경우에 대응하는 확률과 함께 결합하면, 모든 실제 리드타임에 대하여 중앙분배센터에서 궁극적으로 기대되는 서비스측정값들이 결정된다. 이 측정값들을 $E(SL)_{DC}$, $P(\text{OUT})_{DC}$, $\tau(\text{BO})_{DC}$ 라 하면, 이 값들을 위한 식은 다음과 같다. 즉

$$E(SL)_{DC} = E(SL | L' = L) \cdot P(L) + E(SL | L' > L) \cdot P(L' > L) + E(SL | L' < L) \cdot P(L' < L) \quad (16)$$

$$P(\text{OUT})_{\text{DC}} = P(\text{OUT} | L' = L) \cdot P(L) + P(\text{OUT} | L' \langle L) \cdot P(L' \langle L) \\ + P(\text{OUT} | L' \rangle L) \cdot P(L' \rangle L) \quad (17)$$

$$\tau(\text{BO})_{\text{DC}} = \tau(\text{BO} | L' = L) \cdot P(L) + \tau(\text{BO} | L' \langle L) \cdot P(L' \langle L) \\ + \tau(\text{BO} | L' \rangle L) \cdot P(L' \rangle L) \quad (18)$$

이다.

III. 각 지점의 재고분석

1. 데이터

중앙분배센터에 속한 N개의 지점들의 재고분석을 위해 사용되는 변수는 다음과 같다.

P_i = 모든 지점들의 월간 예측수요의 총합 (=중앙분배센터의 예측수요)중 지점 i에 할당될 수요의 확률(또는 과거의 데이터에서 나타내지는 비율).

sl_i = 지점 i의 설정된 서비스수준(충족된 수요/총 수요).

l_i = 지점 i의 평균 리드타임.

각 지점의 월 수요와 리드타임 기간의 수요의 분포는 정규분포를 가정한다.

2. 중앙분배센터의 재고부족발생 확률과 각 지점의 리드타임 관계

지점은 일반적으로 물리적인 크기가 충분치 못하기 때문에, 계획된 리드타임(즉 평균 리드타임)보다 일찍 도착된 부품 또는 제품을 저장하기가 어려운 경우가 있다. 이 때에는 그 지점 이외의 다른 곳에 저장해야 하지만, 이에 따른 비용이 발생한다. 따라서 기업에서는 지점에 대해 일찍 도착하는 것을 허용하지 않을 수 있다. 이러한 상황을 고려하여, 중앙분배센터에서 재고부족상황이 발생하지 않는 경우에는 평균 리드타임에 맞춰 제품이 도착된다고 가정한다. 또한 중앙분배센터에서 재고부족발생이 발생하여 공급지에 미납품주문을 하는 경우, 이에 따른 시간이 경과되기 때문에 지점에 대한 리드타임은 평균 리드타임보다 길어지게 된다. 따라서 지점 i의 하나의 실제 리드타임을 Y_i 라 하면, $Y_i = l_i$ 의 확률, 즉 $P(l_i)$ 는

$$P(l_i) = 1 - P(\text{OUT})_{\text{DC}} \quad (19)$$

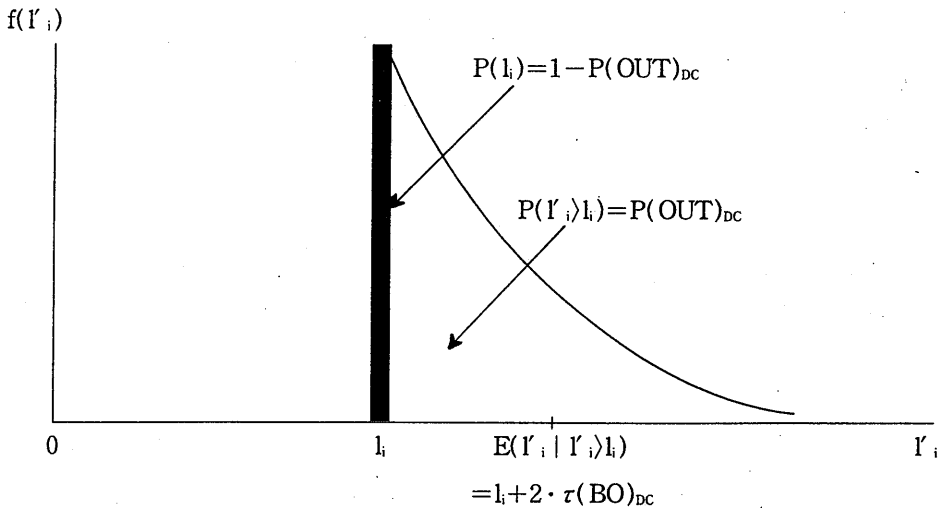
의 관계로 결정되며, Y_i 가 l_i 보다 클 확률, 즉 $P(Y_i > l_i)$ 는

$$P(Y_i > l_i) = P(\text{OUT})_{\text{DC}} \quad (20)$$

의 관계로써 설명된다. $P(\text{OUT})_{\text{DC}}$ 는 중앙분배센터에서 유도된 재고부족발생 확률의 기대치이며, 식(17)을 참조한다. 또한 한 지점에서의 평균 리드타임보다 큰 실제 리드타임들의 기대값 $E(Y_i | Y_i > l_i)$ 는 중앙분배센터에서 제품이 미납품주문 상태에서 경과되는 평균 시간(τ_{DC})에 의해 결정된다. 즉

$$\begin{aligned} E(Y_i | Y_i > l_i) &= l_i + \tau_{\text{DC}} \\ &= l_i + 2 \cdot \tau(\text{BO})_{\text{DC}} \end{aligned} \quad (21)$$

이며, $\tau(\text{BO})_{\text{DC}}$ 는 식 (18)을 참조한다. <그림 3>은 위의 상황을 설명한다. $Y_i > l_i$ 인 경우의 Y_i 는, 중앙분배센터의 리드타임 패턴과 같이, 평균 $E(Y_i | Y_i > l_i)$ 와 함께 지수분포를 따른다.



<그림 3> 지점 i의 실제리드타임 분포

3. 서비스측정값의 분석과 계산

중앙분배센터에서 사용된 방법과 같이, 평균 리드타임 l_i 를 이용하여 지점 i의 안전재고

와 주문점을 결정한다. 그 절차는 다음과 같다. 지점 i 의 월 예측수요(f_i)는 중앙분배센터의 예측수요 중 지점 i 에 해당하는 수요의 비율(P_i)과, 중앙분배센터의 예측수요(F)에 의해 결정된다. 즉

$$f_i = P_i \cdot F \quad (22)$$

이다. 또한 지점 i 의 월 예측수요의 표준편차(σ_i)는 다음과 같이 구해진다. 식 (22)로부터 f_i 는 P_i 와 F 의 함수, 즉 $f_i=f(P_i, F)$ 이므로 f_i 의 분산 $V(f_i)$ 는

$$\begin{aligned} V(f_i) &= \left(\frac{\partial f_i}{\partial P_i}\right)^2 \cdot V(P_i) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial F}\right)^2 \cdot V(F) + 2\left(\frac{\partial f_i}{\partial P_i}\right)\left(\frac{\partial f_i}{\partial F}\right) \cdot \text{COV}(P_i, F) \\ &= F \cdot P_i(1-P_i) + P_i^2 \cdot \sigma^2 \end{aligned}$$

이다. 위의 식에서 공분산 $\text{COV}(P_i, F)$ 는 0이다. 따라서 지점 i 의 월 예측수요의 표준편차(σ_i)는

$$\sigma_i = \sqrt{F \cdot P_i(1-P_i) + P_i^2 \cdot \sigma^2} \quad (23)$$

의 관계에서 결정되며, 위의 f_i 와 σ_i 함께, 리드타임 기간의 예측수요(f_{ii}), 리드타임 기간의 예측수요의 표준편차(σ_{ii}), 그리고 $E(k_i)$ 를 이용하여 다음의 관계식들로부터 지점 i 의 안전재고(ss_i)와 주문점(op_i)이 결정된다. 즉

$$\begin{aligned} f_{ii} &= f_i \cdot l_i \\ \sigma_{ii} &= \sqrt{l_i} \cdot \sigma_i \\ E(k_i) &= \frac{(1-s_i) \cdot q_i}{\sigma_{ii}} \\ ss_i &= k_i \cdot \sigma_{ii} \end{aligned} \quad (24)$$

$$op_i = ss_i + f_{ii} \quad (25)$$

이다. 참고로 위의 식에서 지점 i 의 주문량 q_i 는 중앙분배센터의 주문량 Q 와 지점 i 의 수요에 할당되는 비율 P_i 를 고려함으로써 결정될 수 있다. 즉

$$q_i = P_i \cdot Q$$

의 관계를 이용한다.

i) 실제 리드타임(Y_i)이 평균 리드타임(l_i)과 같을 때, 지점 i 의 서비스측정값

지점 i 의 평균 리드타임 l_i 와 같은, 하나의 실제 리드타임을 Y_i 라 하자. $Y_i=l_i$ 일 때, 지점 i 에서 기대되는 서비스측정값들을 각각 $E(s_i | Y_i=l_i)$, $P(\text{out}_i | Y_i=l_i)$, $\tau(\text{bo}_i | Y_i=l_i)$ 라 하면, 이들은 다음과 같이 결정된다.

$$E(s_i | Y_i=l_i) = s_i \quad (26)$$

$$\begin{aligned} P(\text{out}_i | Y_i=l_i) &= P(\text{out})_i \\ &= 1 - F(k_i) \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \tau(\text{bo}_i | Y_i=l_i) &= \tau(\text{bo})_i \\ &= \frac{1}{2} \cdot \tau_i \end{aligned} \quad (28)$$

이며, 제품이 미납품주문 상태에서 경과되는 평균시간(τ_i)과 이 주문주기에 미납품주문되는 평균수량(bo_i)은 각각

$$\begin{aligned} \tau_i &= \frac{l_i \cdot \text{bo}_i}{\text{op}_i + \text{bo}_i} \\ \text{bo}_i &= \frac{E(k_i) \cdot \sigma_{li}}{P(\text{out})_i} \end{aligned}$$

이다. 식 (27)에서, $F(k_i)$ 는 $F(k_i) = \int_{-\infty}^{k_i} f(z)dz$ 로 정의되며, z 는 표준정규분포 확률변수이다.

ii) 실제 리드타임(Y_i)이 평균 리드타임(l_i)보다 클 때, 지점 i 의 서비스측정값

지점 i 의 리드타임 l_i 보다 큰, 하나의 실제 리드타임을 Y_i 라 하자. 이 리드타임 기간의 예측수요(f'_i)와 예측수요의 표준편차(σ'_i)는 다음의 관계에서 결정된다. 즉

$$\begin{aligned} f'_i &= f_i \cdot Y_i \\ &= F \cdot P_i \cdot l_i \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \sigma'_i &= \sqrt{Y_i} \cdot \sigma_i \\ &= \sqrt{F \cdot P_i(1-P_i) \cdot Y_i + P_i^2 \cdot \sigma^2 \cdot Y_i} \end{aligned} \quad (30)$$

이다. 안전요인(k'_i)의 크기는

$$k'_i = \frac{op_i - f'_i}{\sigma'_i}$$

의 관계로부터 얻어지며, 이 값에 대응하는 $E(k'_i)$ 값이 정해진다. 주문점 op_i 는 식 (25)을 참조한다. 위에서 구한 값들을 이용하여, 평균 리드타임 보다 큰 하나의 Y_i 에 대응하는 서비스측정값들 (sl'_i , $P(out)'_i$, $\tau(bo)'_i$)은 다음과 같이 결정된다. 즉

$$sl'_i = 1 - \frac{E(k'_i) \cdot \sigma'_i}{q_i} \quad (31)$$

$$P(out)'_i = 1 - F(k'_i) \quad (32)$$

$$\tau(bo)'_i = \frac{1}{2} \cdot \tau'_i \quad (33)$$

이며, τ'_i 와 bo'_i 는

$$\tau'_i = \frac{Y_i \cdot bo'_i}{op_i + bo'_i}$$

$$bo'_i = \frac{E(k'_i) \cdot \sigma'_i}{P(out)'_i}$$

이다.

중앙분배센터에서의 분석과 같이, l_i 보다 큰 모든 Y_i 에 대해, 식 (31), (32), (33)로부터 계산된 서비스측정값들 sl'_i , $P(out)'_i$, $\tau(bo)'_i$ 과 각 Y_i 에 대응하는 확률을 이용하여, $Y_i > l_i$ 일 때 지점 i 에서 기대되는 서비스측정값들 $E(sl_i | Y_i > l_i)$, $P(out_i | Y_i > l_i)$, $\tau(bo_i | Y_i > l_i)$ 은 다음과 같이 결정된다. 즉

$$E(sl_i | Y_i > l_i) = \int_{Y_i > l_i}^{\infty} sl'_i \cdot f(Y_i | Y_i > l_i) dY_i \quad (34)$$

$$P(out_i | Y_i > l_i) = \int_{Y_i > l_i}^{\infty} P(out)'_i \cdot f(Y_i | Y_i > l_i) dY_i \quad (35)$$

$$\tau(bo_i | Y_i > l_i) = \int_{Y_i > l_i}^{\infty} \tau(bo)'_i \cdot f(Y_i | Y_i > l_i) dY_i \quad (36)$$

이다. 위 식에서 확률밀도함수 $f(Y_i | Y_i > l_i)$ 는 $f(Y_i | Y_i > l_i) = f(Y_i) / P(OUT)_{DC}$ 의 관계로 설명되며, $P(OUT)_{DC}$ 는 중앙분배센터의 재고부족발생 확률의 기대값으로 식 (17)로부터

결정된다.

지점 i의 최종 서비스측정값

위의 (i)와 (ii)의 두 경우로부터 유도된 서비스측정값을 각 경우에 대응하는 확률과 함께 결합하면, 지점 i의 모든 실제 리드타임들에 대한 궁극적으로 기대되는 서비스측정값들이 결정된다. 이 측정값들을 $E(sl)_{B(i)}$, $P(out)_{B(i)}$, $\tau(bo)_{B(i)}$ 라 하면, 이 값들은 다음과 같이 결정된다. 즉

$$E(sl)_{B(i)} = E(sl_i | I'_i = i_i) \cdot [1 - P(OUT)_{DC}] + E(sl_i | I'_i = l_i) \cdot [P(OUT)_{DC}] \quad (37)$$

$$P(out)_{B(i)} = P(out_i | I'_i = i_i) \cdot [1 - P(OUT)_{DC}] + P(out_i | I'_i = l_i) \cdot [P(OUT)_{DC}] \quad (38)$$

$$\tau(bo)_{B(i)} = \tau(bo_i | I'_i = i_i) \cdot [1 - P(OUT)_{DC}] + \tau(bo_i | I'_i = l_i) \cdot [P(OUT)_{DC}] \quad (39)$$

이다.

4. 계산 예

중앙분배센터와 이에 속한 세 지점으로 이루어진 유통시스템의 재고분석을 위해 다음 데이터가 예로써 사용되었다.

(중앙분배센터의 데이터):

- F = 100개/월
- σ = 50개
- SL = 0.92~0.99(표 1참고)
- Q = 100개/주문
- L = 1개월
- $P(L)$ = 0.5
- $P(L' > L)$ = 0.4
- $P(L' > L)$ = 0.1
- $E(L' | L' > L)$ = 1.5개월
- $E(L' | L' < L)$ = 0.8개월

(각 지점의 데이터):

지점 (1): $P_1=0.5$, $sl_1=0.92\sim 0.99$, $l_1=0.5$ 개월

지점 (2): $P_2=0.3$, $sl_2=0.92\sim 0.99$, $l_2=0.5$ 개월

지점 (3): $P_3=0.2$, $sl_3=0.92\sim 0.99$, $l_3=0.2$ 개월

계산을 위해 L보다 큰 500개의 L' 와 L보다 작은 500개의 L' 를 사용하였고, 각 지점에서도 l_i보다 큰 500개의 l' 를 사용하였다. <그림 2>와 <그림 3>에서와 같이 모든 L' 와 l' 는 지수분포를 이루고 있다. <표 1>은 중앙분배센터와 세지점에서 결과로 나타난 서비스수준을 보여주고 있다. <표 1>에서 괄호 안의 값들은 중앙분배센터의 서비스수준 결과이며, 괄호 밖의 값들은 각 지점의 서비스수준 결과이다. 예를 들어 중앙분배센터와 각 지점에서 모두 93%의 서비스수준을 목표로 설정했을 때 실제로 얻어지는(기대되는) 서비스수준의 결과는 중앙분배센터, 지점 1, 지점 2, 지점 3에서 각각

$$E(SL)_{DC} = 86\%, E(sl)_{B(1)} = 90\%, E(sl)_{B(2)} = 90\%, E(sl)_{B(3)} = 89\%$$

이며, 이 경우의 다른 서비스측정값과 안전재고의 계산 결과는 각각

$$P(OUT)_{DC} = 0.32, P(out)_{B(1)} = 0.36, P(out)_{B(2)} = 0.35, P(out)_{B(3)} = 0.47$$

$$\tau(BO)_{DC} = 0.12\text{개월}, \tau(bo)_{B(1)} = 0.06\text{개월}, \tau(bo)_{B(2)} = 0.06\text{개월}, \tau(bo)_{B(3)} = 0.05\text{개월}$$

$$SS = 35\text{개}, ss_1 = 9\text{개}, ss_2 = 6\text{개}, ss_3 = 1\text{개}$$

로 나타난다. 이처럼 실제 리드타임을 고려하면, 목표로 설정된 서비스수준과 결과로 나타나는 서비스수준은 큰 차이가 난다. <표 1>에서 보듯이 지점 1, 2, 3에서 93%의 서비스수준을 유지하려면, 여러 대안 중의 하나로써 중앙분배센터의 설정 서비스수준을 97%, 지점 1, 2, 3의 설정 서비스수준을 94%, 94%, 95%로 조정해야 한다. 그 밖의 다양한 대안들은 (93%의 서비스수준을 유지하기 위한) <표 1>을 참고한다.

IV. 결 론

다단계로 이루어진 유통시스템의 실제 리드타임의 변화는 재고관리에 있어서 고려되어야 할 중요한 변수중의 하나이다. 특히 중앙분배센터에서의 재고관리는 고객이 직접 접근

유통시스템의 재고분석

〈표 1〉 중앙분배센터와 각 지점의 서비스수준 결과

sl ₁		SL	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
지점	0.92	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.93	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.94	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.95	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.96	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
0.97	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		
0.98	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		
0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		
sl ₂		SL	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
지점	0.92	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.93	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.94	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.95	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.96	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
0.97	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		
0.98	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		
0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		
sl ₃		SL	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
지점	0.92	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.91	0.91
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.93	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.94	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.95	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
	0.96	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95
		(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)	
0.97	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		
0.98	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		
0.99	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	
	(0.85)	(0.86)	(0.88)	(0.89)	(0.91)	(0.92)	(0.94)	(0.96)		

하는 모든 지점들의 재고 또는 서비스수준을 결정하는 중요한 역할을 한다. 재고관리의 궁극적인 목표를 시스템의 최적 재고수준 유지라 할 때, 결국 모든 지점들에서 목표로 하는 서비스수준을 유지하기 위해, 중앙분배센터의 최적 재고수준이 필연적이다. 본 논문은 실제 리드타임을 사용하여, 각 유통단계의 재고 파라메타들을 결정하는 모델 제시에 초점을 두었기때문에 전체시스템의 최적 재고수준을 유지하기 위한 중앙분배센터의 재고조정방법에 대해서는 계량적 분석방법을 제시하지 않았다. 하지만 이 모델에서 보듯이, 최적 재고수준을 위해 조정가능한 재고 변수는 설정 서비스수준 또는 주문량이다. 수요의 변화와 리드타임의 변화는 시스템 내부에서 그 값들의 변화를 직접 조정 통제하기 어려운 변수들이다. 또한 주문량은 경제적인 방법으로 결정한다면, 이 유통시스템의 최적화는 설정 서비스수준을 합리적으로 선택 조정함으로써 달성될 수 있다. 다만 이 설정 서비스수준의 최적 선택은 앞의 예에서 논의 했듯이, 같은 결과의 서비스수준을 얻게해주는 여러 조합의 설정 서비스수준들 중에서 최소비용이나 최소재고량등의 제약을 만족하는 조합을 선택하는 방법으로 결정될 것이다. 참고로 Schwarz(1973)는 하나의 분배센터와 여러 지점으로 이루어진 재고시스템으로 단위기간당 시스템 평균비용을 최소화하는 방법을 heuristic을 통해 보여주고 있으나, 모델에서 하나의 고정된 리드타임을 사용하였다. Schwarz, Deuermeyer, Bandinelli(1985)는 수요와 리드타임의 변화를 고려하지 않았지만, 분배센터와 지점들의 안전재고의 함수로서 서비스수준의 최적화를 제시하고 있다.

參 考 文 獻

1. Brown, R. G., *Smoothing, Forecasting, and Prediction of Discrete Time Series*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1962, pp. 370~372.
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. Gross, D. and Soriano, A., "The effect of Reducing Leadtime on Inventory Levels-Simulation Analysis," *Management Science*, Vol. 16(2), October, 1960, pp. B61~B76.

5. Schwarz, L. B., "A Simple Continuous Review Deterministic One-Warehouse N-Retailer Inventory System," *Management Science*, Vol. 31(4), April, 1973, pp. 555~566.
6. Schwarz, L. B., Deuermeyer, B. L., and Bandinelli, R. D., "Fill-Rate Optimization in a One-Warehouse N-Identical Retailer Distribution System", *Management Science*, Vol. 31(4), April, 1985, pp. 488~98.
7. Thomopoulos, N. T., *Applied Forecasting Methods*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1980, pp. 314~324.
8. Thomopoulos, N. T., *Strategic Inventory Management and Planning: with Tables*, Carol Stream, IL., Hitchcock Publishing Co., 1990, pp. 243~246.

