

A Study on Inventory Control Method for an Item with Stockkeeping Units

Seung-Chul Yoon[†]

School of Business Administration, Dankook University

재고보유단위로 관리되는 제품의 재고관리 방법에 관한 연구

윤 승 철[†]

단국대학교 경영학부

In many inventory situations, items for sales are generally stocked in a multiple of variations called stockkeeping units, such as size, color, style, and so on. For better management performance on sales items, proper and effective management is necessary for the stockkeeping units. In dealing with many items and those stockkeeping units, individual inventory analysis for each stockkeeping unit needs large amount of time or cost. Also the individual approach in inventory planning increases the demand variation of an item as the result by combining of demand variations of all stockkeeping units, accordingly the inventory turnover ratio and profitability are dropped down. This research suggests an effective method of systematic control of total stockkeeping units by generating from the total item basis, and shows how to reduce the safety stock and the average inventory with attaining a planned customer fill rate of the item and each stockkeeping units.

Keywords : Stockkeeping Units, Planned Fill Rate, Safety Stock, Inventory Turnover Ratio

1. 서 론

재고관리의 관점에서 제품을 관리하는 방법은 제품 특성과 환경에 따라 매우 다양하게 나타나고 있다. 이들 중 동일 제품이 크기나 색, 등급 등으로 분류되는 경우 크기, 색, 등급 등을 보유단위로 하여 관리하는 경우를 많이 볼 수 있다. 예를 들면 동일한 의류제품을 대, 중, 소의 크기로 분류하여 관리한다면, 이 의류는 크기에 의해 분류된 3개의 개별 재고보유단위들(SKUs, Stockkeeping Units)을 갖게 된다. 또는 이 세 가지 크기와 붉은색과

푸른색의 두 가지 색으로 분류하여 관리한다면 이 의류는(색 : 푸른색, 크기 : 중) 등과 같이 모두 6개의 보유단위가 부여되어 관리될 수 있다. 현재 실생활에서 개인 고객이 웹 사이트에서 제품을 주문할 때나 공급자와 구매자가 계약을 체결할 때 재고보유단위 번호가 사용되는 것을 흔히 볼 수 있다. 이처럼 관리를 위해 재고를 분류하는 자세한 방법은 연구[7]에서 제시하고 있다. 이 제품의 관리 성과는 각 재고보유단위의 관리 성과에 의해 결정된다. 즉 각 보유단위마다 수요와 조달기간, 발주량 등이 다를 수 있으며, 이러한 경우 계획한 성과 또는 이익을 달성하기 위해 각 보유단위에 대한 적절한 관리계획을 수립해야 한다[8, 10, 12].

보유단위를 부여하여 제품을 관리할 때, 각 보유단위를 연구들[4, 6]과 같이 개별적 제품으로 간주하여, 보유

Received 16 February 2015; Finally Revised 2 March 2015;

Accepted 2 March 2015

[†] Corresponding Author : scyoon@dankook.ac.kr

단위마다 수요예측, 안전재고, 발주점, 발주량, 평균재고 등을 반복적으로 분석하는 경우 자료 관리와 분석이 비효율적으로 이루어지게 된다. 나아가 보유단위의 개별적인 분석은 제품 전체의 수요변화에 대한 총 분산을 증가시키며, 이는 수요에 대한 제품의 계획충족률(Planned Fill Rate)을 만족시키기 위해 필요 이상의 많은 재고량을 계획하게 된다. 즉 제품의 재고회전률과 수익성을 떨어뜨리는 결과가 된다.

따라서 본 연구는 재고보유단위의 분석과 계획을 위한 접근방법으로서, 각 보유단위의 수요발생확률을 이용하여 모든 보유단위에 대한(제품 전체에 대한) 계산과 분석이 효과적으로 이루어 질 수 있는 통합적 관리방법을 제시한다. 그리고 이 통합적 관리방법을 기초로 하여, 계획한 제품충족률을 유지하기 위한 각 보유단위의 안전재고, 발주량, 발주점, 재고수준, 재고회전률 등을 결정하는 방법을 제시하며, 아울러 보유단위들의 합으로 이루어지는 제품의 총 재고관리 측정값들을 동시에 분석한다.

2. 재고보유단위들의 재고분석

본 연구는 재고수준의 조사방법으로 연속조사방법(Continuous Review Method)을 사용할을 전제로 한다. 즉 재고수준이 발주점 또는 그 이하로 떨어질 때마다 일정 발주량을 발주하는 방법을 사용한다. 또한 수요변동을 위한 안전재고 결정은 고객 수요에 대한 제품의 계획충족률과의 관계를 이용하여 결정하는 접근방법을 사용한다. 이 계획충족률은 일반적으로 95%를 기준으로 한다. 계획충족률이 증가하면 재고수준이 높아지며, 그만큼 관리비용이 증가하게 된다. 충족률에 대한 상세한 설명은 연구들[3, 5]을 참고한다. 제품의 총 월수요(보유단위들의 월 수요의 합)와 조달기간 동안의 수요는 정규분포를 따르며, 수요예측은 재고보유단위의 개별적 월 수요를 예측하지 않고 제품의 총 월 수요를 예측하며, 수평형 수요 변화의 제품을 가정한다. 그리고 재고보유단위들의 수요는 서로 독립적으로서 특정 재고보유단위의 재고가 부족할 때, 다른 보유단위를 대체 구매하지 않음을 가정한다. 분석을 위한 자료는 다음과 같다.

(자료)

R : 제품의 계획충족률.

\hat{X} : 제품의 월 예측수요량.

$\hat{\sigma}$: \hat{X} 에 대한 예측오차의 표준편차.

L : 제품 조달기간(월).

Q : 제품의 경제적 발주량/(발주).

p_i : 제품의 재고보유단위 i 의 수요발생확률.

자료에서 각 보유단위의 계획충족률은 일반적으로 같으므로, 제품의 계획충족률 R 은 각 보유단위의 계획충족률과 같은 값을 갖게 된다. 효율적인 통합관리를 위하여 제품에 대한 수요예측은 제품의 총 월 수요량을 예측하고, i 번째 재고보유단위(이하 보유단위 i 라 함)의 월 예측수요량(\hat{x}_i)은 총 월 예측수요(\hat{X})와 보유단위 i 에서의 수요발생확률(p_i)을 이용하여 계산한다. 즉 $\hat{x}_i = \hat{X} p_i$ 이며, n 개의 보유단위의 수요발생 확률분포의 합은 $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ 이다. 수요발생확률의 측정값은 과거의 각 보유단위의 월 수요량 비율을 사용한다.

각 보유단위의 조달기간은 모두 같은 것으로 가정한다. 따라서 제품의 조달기간(L)은 각 보유단위의 조달기간을 의미한다. 각 보유단위의 조달기간이 다른 경우 자료의 L 대신 각각의 조달기간을 사용할 수 있으며, 분석 절차는 동일하다.

각 보유단위의 계획충족률을 만족하기 위한 발주점은 조달기간 동안의 예측수요량과 안전재고량의 합으로 결정되며, 그 과정은 다음과 같다. 조달기간(L) 동안의 제품 전체의 총 예측수요량(\hat{X}_L)과 표준편차($\hat{\sigma}_L$)는 수평형 수요 제품의 경우 아래와 같다[9].

$$\begin{aligned}\hat{X}_L &= \hat{X} L \\ \hat{\sigma}_L &= \hat{\sigma} \sqrt{L}\end{aligned}\quad (1)$$

그리고 보유단위 i 에 대한 조달기간 동안의 평균 예측수요량 $E(\hat{x}_{L,i})$ 와 분산 $V(\hat{x}_{L,i})$ 는 다음의 분석과정을 통해 구해진다. \hat{X}_L 이 알려진 값이라면 $E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)$ 와 $V(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)$ 는 이항분포에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned}E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L) &= \hat{X}_L p_i \\ V(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L) &= \hat{X}_L p_i (1 - p_i)\end{aligned}$$

그러나 \hat{X}_L 은 확률변수임으로 \hat{X}_L 에 대한 확률변수 $\hat{x}_{L,i}$ 의 평균과 분산, 즉 $E(\hat{x}_{L,i})$ 와 $V(\hat{x}_{L,i})$ 는 다음과 같아진다. 먼저 $E(\hat{x}_{L,i})$ 는

$$\begin{aligned}E(\hat{x}_{L,i}) &= E\{E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)\} = E(\hat{X}_L p_i) \\ &= E(\hat{X} L p_i) = E(\hat{X}) L p_i\end{aligned}$$

이다. 따라서 보유단위 i 에 대한 조달기간 동안의 예측수요량 $\hat{x}_{L,i}$ 는 자료의 $E(\hat{X})$ 의 측정값, 즉 제품의 총 월 예측수요량 \hat{X} 을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{x}_{L,i} = \hat{X} L p_i \quad (2)$$

또한 보유단위 i 에 대한 조달기간 동안의 예측수요량의 분산 $V(\hat{x}_{L,i})$ 는

$$V(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L) = E(\hat{x}_{L,i}^2|\hat{X}_L) - \{E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)\}^2$$

의 관계에서,

$$\begin{aligned} E\{V(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)\} &= E\{E(\hat{x}_{L,i}^2|\hat{X}_L)\} - E\{[E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)]^2\} \\ &= E(\hat{x}_{L,i}^2) - V\{E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)\} \\ &\quad - [E\{E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)\}]^2 \\ &= V(\hat{x}_{L,i}) + \{E(\hat{x}_{L,i})\}^2 \\ &\quad - V\{E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)\} - \{E(\hat{x}_{L,i})\}^2 \end{aligned}$$

이므로 분산 $V(x_{L,i})$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} V(\hat{x}_{L,i}) &= E\{V(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)\} + V\{E(\hat{x}_{L,i}|\hat{X}_L)\} \\ &= E\{\hat{X}_L p_i (1-p_i)\} + V(\hat{X}_L p_i) \\ &= p_i (1-p_i) E(\hat{X}_L) + p_i^2 V(\hat{X}_L) \\ &= p_i (1-p_i) E(\hat{X}) L + p_i^2 (\hat{\sigma}_L)^2 \end{aligned}$$

따라서 보유단위 i 의 조달기간 동안의 예측수요량 $\hat{x}_{L,i}$ 에 대한 예측오차의 표준편차 $\hat{\sigma}_{L,i}$ 는 자료의 측정값 \hat{X} 과 $\hat{\sigma}$, 그리고 식 (1)의 관계에 의해 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{L,i} &= \sqrt{V(\hat{x}_{L,i})} \\ &= \sqrt{p_i(1-p_i)\hat{X}L + p_i^2\hat{\sigma}^2L} \end{aligned} \quad (3)$$

그리고 보유단위 i 의 발주량(q_i)은 제품 총 발주량 Q 와 p_i 를 이용하여 다음과 같이 결정한다.

$$q_i = Qp_i \quad (4)$$

즉 제품 총 발주량을 경제적으로 결정한 다음 보유단위 i 의 발주량을 식 (4)에 의해 계산하는 방법을 사용한다. 이렇게 함으로써 각각의 보유단위의 경제적 발주량을 계산하지 않고 효과적으로 보유단위의 경제적 발주량을 결정할 수 있다.

다음으로 q_i 와 식 (2)와 식 (3)에서 결정된 $\hat{x}_{L,i}$, $\hat{\sigma}_{L,i}$ 를 이용하여 보유단위 i 의 안전재고량(s_i)과 발주점(rp_i)이 찾아지며, 그 과정은 다음과 같다. 보유단위 i 의 충족률은 주문주기 동안의 총수요량(total demand)에 대한 충족량(filled demand)으로 정의할 수 있으며, 주문주기 동안의 평균 부족량을 $E(x_{L,i} > r_i)$ 이라 하면, 계획충족률 R 은 다음의 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} R &= 1 - \{E(x_{L,i} > r_i) / q_i\} \\ &= 1 - \{\hat{\sigma}_{L,i} E(z_i > k_i) / q_i\} \end{aligned}$$

위의 식에서 z_i 는 표준정규분포 확률변수이다. 이 관계에서 자료의 R 값과 식 (3)과 식 (4)에서 계산된 $\hat{\sigma}_{L,i}$ 와 q_i 를 이용하여 $E(z_i > k_i)$ 가 구해지며,

$$E(z_i > k_i) = \int_{k_i}^{\infty} (z_i - k_i) f(z_i) dz_i$$

의 관계에서 $E(z_i > k_i)$ 에 대응하는 안전요인 k_i 가 찾아진다. 이에 따라 보유단위 i 의 안전재고량 s_i 는 다음의 식 (5)에 의해 계산된다.

$$s_i = k_i \hat{\sigma}_{L,i} \quad (5)$$

그리고 n 개의 보유단위로 구성된 제품 전체의 총 안전재고량 S 는 다음과 같다.

$$S = \sum_{i=1}^n s_i \quad (6)$$

안전재고량과 계획충족률의 관계는 기존연구[1, 2, 11]에서 제시되고 있다.

발주점은 조달기간 동안의 수요량과 안전재고량의 합과 같다. 따라서 계획충족률 R 을 유지하기 위한 보유단위 i 의 발주점(rp_i)은 식 (2)와 식 (5)의 계산 결과를 이용하여 다음과 같이 결정된다.

$$rp_i = \hat{x}_{L,i} + s_i \quad (7)$$

위의 절차들을 통해 각 보유단위의 계획충족률을 만족하는 발주량, 그리고 발주점을 통합적으로 결정하는 과정을 분석하였다. 이어서 관리비용과 수익률에 밀접한 관계가 있는 측정값들로서, 보유단위 i 의 평균재고량, 그리고 재고회전률의 관계들을 추가적으로 분석한다.

보유단위 i 의 평균재고수준(h_i)은 다음과 같다.

$$h_i = \frac{q_i}{2} + s_i = \frac{Qp_i}{2} + s_i \quad (8)$$

즉 보유단위 i 의 평균재고수준은 한 주문주기 동안의 안전재고량이 추가된 평균재고량과 같으며, 발주가 반복될 때 연간 평균적으로 보유하는 양이다. 따라서 h_i 가 클수록 재고유지 비용이 증가하게 된다. 또한 보유단위 i 의 평균 재고회전률(t_i)은 다음과 같다.

$$t_i = \frac{12 \hat{x}_i}{h_i} = \frac{12 \hat{X} p_i}{(Q p_i / 2) + s_i} \quad (9)$$

재고회전률은 (수요량/재고량)의 비율로서 값이 클수록 빠르게 판매됨을 의미하며, 수익률이 증가하게 됨을 예상

할 수 있는 측정값이다. 식 (9)에서, 분자는 수평형 수요 일 때 보유단위 i 의 연간 예측수요량이며, 분모는 연간 평균 재고량을 나타낸다.

2.1 분석 예

<Table 1>과 <Table 2>는 3개의 보유단위로 나누어져 있는 한 제품의 자료들과 계산결과들이다. <Table 1>은 보유단위별로 각각 독립적으로 계산하는 경우의 결과들이며, <Table 2>는 식 (1)에서 식 (9)까지의 분석절차를 이용한 통합적 계산결과들이다. 두 경우를 비교분석하기 위해 동일한 자료 값들이 사용되었다. <Table 1>에서 제품 전체의 평균 계획충족률 R 을 95%로 유지하려면 세 보유단위의 발주점 rp_i 를 각각 521, 782, 1,303개로 하여야 하며, 안전재고량 s_i 는 각각 21, 32, 53개로 총 106개다. 그리고 각 보유단위의 평균 재고수준 h_i 는 각각 771, 1,157, 1,928개로 총 3,856개이며, 평균 재고회전률 t_i 는 각각 15가 된다.

통합관리와의 비료분석을 위해 보유단위별 자료 값들은 <Table 2>의 자료와 같이 변환된다. 자료에서 $p_i = (\hat{x}_i / \hat{X})$ 의 값을 의미한다. 분석결과로서 제품 전체의 계획충족률 R 을 95%로 유지하기 위한 세 보유단위의 발주점 rp_i 는 각각 460, 689, 1,148개다. 즉 통합관리의 경우 발주

점은 각각 61, 93, 155개만큼 낮아진다. 안전재고량 s_i 의 경우는 각각 -40, -61, -102개로서(표준정규분포 z_i 의 값 k_i 가 음수인 경우 안전재고량은 음수가 됨) 단위별 관리에서보다 제품 총 안전재고량은 $(106 - (-203)) = 309$ 개 만큼 감소한다. 즉 제품의 평균재고량이 보유단위별 관리에서보다 309개만큼 낮아지게 되며, 이에 따라 재고 유지비용이 절감되는 효과를 얻게 된다. 또한 재고회전률이 15에서 17로 상승하게 되어 수익률이 증가됨을 알 수 있다.

3. 자료변화와 시스템 분석

<Table 3>과 <Table 4>는 통합적 계산방법에 따른 다양한 자료 값들과 안전재고량, 발주점, 재고회전률의 계산결과들을 제시하고 있다. 이 표들은 다음과 같이 작성되었다.

첫째, 각 충족률(90%, 95%)에 대응하는 두 변동계수(cv)의 값(0.3, 0.5)을 이용하였고, 각각 5개의 보유단위($n=5$)와 10개의 보유단위($n=10$)로 구성되는 제품의 경우를 예로 들었다. 변동계수는 $cv = \hat{\sigma} / \hat{X}$ 의 관계로 $cv=0.3$, $\hat{X}=500$ 이라면 표준오차의 측정치가 $\hat{\sigma} = 150$ 인 제품임을 의미한다.

둘째, 제품 총 주문량 Q 는 규모를 쉽게 파악하기 위해 월 예측수요량 \hat{X} 에 대한 비율($m(Q)$)로 환산하였으며, 관계는 다음과 같다.

$$m(Q) = Q / \hat{X}$$

셋째, 표의 작성을 위해 각 보유단위의 수요발생확률 p_i 는 동일한 값, 즉 $p_i = 1/n$ 을 사용하였다. 실제로 p_i 의 분포가 매우 다른 많은 경우를 조사한 결과 제품의 총 안전재고량 S 에는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 예를 들면 3개의 보유단위로 구성된 제품에서 ($p_1=0.1, p_2=0.7, p_3=0.2$)인 경우와 ($p_1=1/3, p_2=1/3, p_3=1/3$)인 경우의 값 S 는 거의 동일하게 나타난다. 다만 보유단위 i 의 안전재고량 s_i 는 $s_i = Sp_i$ 의 관계에서 p_i 의 크기에 따라 달라지게 된다.

넷째, 계산결과와 $m(S)$ 는 \hat{X} 에 대한 제품 총 안전재고량 S 의 비율이며, 같은 형식으로 $m(H)$ 는 \hat{X} 에 대한 제품 총 평균재고량 H 의 비율로서 다음의 관계를 나타낸다.

$$m(S) = S / \hat{X}$$

$$m(H) = H / \hat{X}$$

T 는 제품의 총 평균 재고회전률이며, 각 보유단위의 재고회전률(t_i)은 이 T 와 각각 같은 값이 된다.

<Table 1> Results of Individual Computations for Each SKUs

| (Data) | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|----------------------|------------------|-------|--------|-------|-------|
| i | R_i | \hat{x}_i | $\hat{\sigma}_i$ | L_i | q_i | | |
| 1 | 0.95 | 1000 | 300 | 0.5 | 1500 | | |
| 2 | 0.95 | 1500 | 450 | 0.5 | 2250 | | |
| 3 | 0.95 | 2500 | 750 | 0.5 | 3750 | | |
| (Computation Result) | | | | | | | |
| i | $\hat{x}_{L,i}$ | $\hat{\sigma}_{L,i}$ | k_i | s_i | rp_i | h_i | t_i |
| 1 | 500 | 212.1 | 0.1 | 21 | 521 | 771 | 15 |
| 2 | 750 | 318.2 | 0.1 | 32 | 782 | 1157 | 15 |
| 3 | 1250 | 530.3 | 0.1 | 53 | 1303 | 1928 | 15 |

<Table 2> Results of Total Item Base Computations for All SKUs

| (Data) | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|--|-------|-----------------------------------|--------|-------|-------|
| $R = 0.95,$ | | $\hat{\sigma}^2 = \sum \hat{\sigma}_i^2 = 855,000$ | | $\hat{X} = \sum \hat{x}_i = 5000$ | | | |
| $\hat{\sigma} = 924.67,$ | | () | | | | | |
| $Q = 7500,$ | | $L = 0.5$ | | | | | |
| $p_1 = 0.2$ | | $p_1 = 0.3$ | | $p_1 = 0.5$ | | | |
| (Computation Result) | | | | | | | |
| i | $\hat{x}_{L,i}$ | $\hat{\sigma}_{L,i}$ | k_i | s_i | rp_i | h_i | t_i |
| 1 | 500 | 132.3 | -0.30 | -40 | 460 | 710 | 17 |
| 2 | 750 | 197.5 | -0.31 | -61 | 689 | 1064 | 17 |
| 3 | 1250 | 327.9 | -0.31 | -102 | 1148 | 1773 | 17 |

<Table 3> Output Results for Various Data($R = 90\%$)

| | | $R = 90\%, \quad cv = 0.3$ | | | | | | |
|-----------|-----|----------------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| | | $n = 5$ | | | $n = 10$ | | | |
| \hat{X} | L | $m(Q)$ | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 500 | 0.5 | $m(S)$ | -0.02 | -0.18 | -0.30 | -0.01 | -0.17 | -0.30 |
| | | $m(H)$ | 0.48 | 0.82 | 1.20 | 0.49 | 0.83 | 1.20 |
| | | T | 25.0 | 14.6 | 10.0 | 24.5 | 14.5 | 10.0 |
| | 2 | $m(S)$ | 0.18 | -0.04 | -0.21 | 0.20 | -0.03 | -0.20 |
| | | $m(H)$ | 0.68 | 0.96 | 1.29 | 0.70 | 0.97 | 1.30 |
| | | T | 17.6 | 12.5 | 9.3 | 17.1 | 12.4 | 9.2 |
| 1000 | 0.5 | $m(S)$ | -0.03 | -0.18 | -0.30 | -0.02 | -0.18 | -0.30 |
| | | $m(H)$ | 0.47 | 0.82 | 1.20 | 0.48 | 0.82 | 1.20 |
| | | T | 25.5 | 14.6 | 10.0 | 25.0 | 14.6 | 10.0 |
| | 2 | $m(S)$ | 0.17 | -0.05 | -0.22 | 0.18 | -0.04 | -0.21 |
| | | $m(H)$ | 0.67 | 0.95 | 1.28 | 0.68 | 0.96 | 1.29 |
| | | T | 17.9 | 12.6 | 9.4 | 17.6 | 12.5 | 9.3 |
| | | $R = 90\%, \quad cv = 0.5$ | | | | | | |
| | | $n = 5$ | | | $n = 10$ | | | |
| \hat{X} | L | $m(Q)$ | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 500 | 0.5 | $m(S)$ | 0.09 | -0.10 | -0.25 | 0.10 | -0.10 | -0.25 |
| | | $m(H)$ | 0.59 | 0.90 | 1.25 | 0.60 | 0.90 | 1.25 |
| | | T | 20.3 | 13.3 | 9.6 | 20.0 | 13.3 | 9.6 |
| | 2 | $m(S)$ | 0.50 | 0.19 | -0.03 | 0.51 | 0.20 | -0.02 |
| | | $m(H)$ | 1.00 | 1.19 | 1.47 | 1.01 | 1.20 | 1.48 |
| | | T | 12.0 | 10.1 | 8.2 | 11.9 | 10.0 | 8.1 |
| 1000 | 0.5 | $m(S)$ | 0.09 | -0.11 | -0.26 | 0.10 | -0.10 | -0.26 |
| | | $m(H)$ | 0.59 | 0.89 | 1.24 | 0.60 | 0.90 | 1.24 |
| | | T | 20.3 | 13.5 | 9.7 | 20.0 | 13.3 | 9.7 |
| | 2 | $m(S)$ | 0.49 | 0.18 | -0.03 | 0.50 | 0.19 | -0.03 |
| | | $m(H)$ | 0.99 | 1.18 | 1.47 | 1.00 | 1.19 | 1.47 |
| | | T | 12.1 | 10.2 | 8.2 | 12.0 | 10.1 | 8.2 |

<Table 4> Output Results for Various Data($R = 95\%$)

| | | $R = 95\%, \quad cv = 0.3$ | | | | | | |
|-----------|-----|----------------------------|------|-------|----------|------|-------|-------|
| | | $n = 5$ | | | $n = 10$ | | | |
| \hat{X} | L | $m(Q)$ | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 500 | 0.5 | $m(S)$ | 0.09 | -0.02 | -0.11 | 0.10 | -0.01 | -0.10 |
| | | $m(H)$ | 0.59 | 0.98 | 1.39 | 0.60 | 0.99 | 1.40 |
| | | T | 20.3 | 12.2 | 8.63 | 20.0 | 12.1 | 8.6 |
| | 2 | $m(S)$ | 0.36 | 0.18 | 0.06 | 0.39 | 0.20 | 0.07 |
| | | $m(H)$ | 0.86 | 1.18 | 1.56 | 0.89 | 1.20 | 1.57 |
| | | T | 14.0 | 10.2 | 7.7 | 13.5 | 10.0 | 7.6 |
| 1000 | 0.5 | $m(S)$ | 0.08 | -0.03 | -0.11 | 0.09 | -0.02 | -0.11 |
| | | $m(H)$ | 0.58 | 0.97 | 1.39 | 0.59 | 0.98 | 1.39 |
| | | T | 20.7 | 12.4 | 8.6 | 20.3 | 12.2 | 8.63 |
| | 2 | $m(S)$ | 0.35 | 0.17 | 0.05 | 0.36 | 0.18 | 0.06 |
| | | $m(H)$ | 0.85 | 1.17 | 1.55 | 0.86 | 1.18 | 1.56 |
| | | T | 14.1 | 10.3 | 7.7 | 14.0 | 10.2 | 7.7 |
| | | $R = 90\%, \quad cv = 0.5$ | | | | | | |
| | | $n = 5$ | | | $n = 10$ | | | |
| \hat{X} | L | $m(Q)$ | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 500 | 0.5 | $m(S)$ | 0.25 | 0.09 | -0.01 | 0.26 | 0.10 | -0.01 |
| | | $m(H)$ | 0.75 | 1.09 | 1.49 | 0.76 | 1.10 | 1.49 |
| | | T | 16.0 | 11.0 | 8.1 | 15.8 | 10.9 | 8.1 |
| | 2 | $m(S)$ | 0.78 | 0.50 | 0.32 | 0.80 | 0.51 | 0.34 |
| | | $m(H)$ | 1.28 | 1.50 | 1.82 | 1.30 | 1.51 | 1.84 |
| | | T | 9.4 | 8.0 | 6.6 | 9.2 | 8.0 | 6.5 |
| 1000 | 0.5 | $m(S)$ | 0.24 | 0.09 | -0.02 | 0.25 | 0.10 | -0.01 |
| | | $m(H)$ | 0.74 | 1.09 | 1.48 | 0.75 | 1.10 | 1.49 |
| | | T | 16.2 | 11.0 | 8.1 | 16.0 | 10.9 | 8.1 |
| | 2 | $m(S)$ | 0.77 | 0.49 | 0.32 | 0.78 | 0.50 | 0.32 |
| | | $m(H)$ | 1.27 | 1.49 | 1.82 | 1.28 | 1.50 | 1.82 |
| | | T | 9.4 | 8.1 | 6.6 | 9.4 | 8.0 | 6.6 |

<Table 3>을 이용하여 5개의 보유단위로 구성된 한 제품의 예를 들면 다음과 같다. 예를 위한 자료는 다음과 같다.

$$R = 90\%, \quad cv = 0.5, \quad n = 5, \quad \hat{X} = 500, \\ m(Q) = 2, \quad L = 0.5$$

참고로 이 자료에서 $\hat{\sigma} = (cv)\hat{X} = (0.5)500 = 250$ 개이며, $Q = m(Q)\hat{X} = (2)500 = 1000$ 개임을 알 수 있다. <Table 3>을 참고하면 이 제품의 안전재고량의 비율 $m(S)$, 평균 재고량의 비율 $m(H)$, 그리고 재고회전률 T 의 계산결과는 각각 다음과 같다.

$$m(S) = -0.10, \quad m(H) = 0.90, \quad T = 13.3$$

즉 제품의 총 안전재고량은 $S = m(S)\hat{X} = -0.10(500)$

$= -50$ 개로 환산되며, 각 보유단위의 안전재고량은 $s_i = Sp_i = -50(0.2) = -10$ 개이다. 따라서 제품의 계획충족률 90%를 유지하기 위한 각 보유단위의 발주량 q_i 와 발주점 rp_i 는 아래와 같이 결정된다.

$$q_i = Qp_i = 1000(0.2) = 200$$

$$rp_i = \hat{X}Lp_i + s_i = 500(0.5)(0.2) - 10 = 40$$

즉 재고수준이 40개 또는 그 이하로 떨어질 때 200개를 발주해야 한다. 그리고 제품 전체의 평균재고량은 $H = m(H)\hat{X} = 0.90(500) = 450$ 개이다. 따라서 보유단위 i 의 평균재고량은 $h_i = Hp_i = 450(0.2) = 90$ 개이다. 아울러 보유단위 i 의 재고회전률은 각각 13.3임을 알 수 있다.

3.1 민감도 분석

<Table 3>과 <Table 4>에서 제시된 자료와 계산결과를 이용하여 결과에 대한 변수들의 영향을 분석하면 다음과 같다. 분석을 위해 사용되는 기준자료는 <Table 3>의 첫 번째 자료로서, 자료 값들과 결과들 $m(S)$, $m(H)$, T , S , H 는 각각 아래와 같다.

$$R = 90\%, cv = 0.3, n = 5, \hat{X} = 500, \\ m(Q) = 1, L = 0.5$$

$$m(S) = -0.02, m(H) = 0.48, T = 25 \\ S = -10, H = 240,$$

그리고 이 기준자료로부터 변화된 변수 값들과 이에 대응하는 결과들이 <Table 5>에서 요약 제시되고 있다.

예를 들어 다른 값들의 변화 없이 계획충족률 R 을 90%에서 95%로 한다면 제품 총 안전재고량 S 는 -10개에서 45개로 (550%) 증가하며, 평균 재고수준 H 는 240개에서 295개로 (22.9%) 증가한다. 그리고 재고회전률 T 는 25에서 20.3으로 (18.8%) 감소하게 된다. 즉 높은 충족률을 유지하려면 이를 위해 보다 많은 안전재고가 필요하며, 이에 따라 평균 재고량이 증가하게 되고 유지비용이 상승함을 의미한다. 재고회전률이 감소하는 이유는 수요량의 변화가 없을 때, 충족률만의 증가에 따른 평균재고량의 상승 때문이다.

월 예측수요량 \hat{X} 의 변화에 대한 영향을 살펴보면, 예측수요량이 증가함에 따라 안전재고량과 평균재고량은 감소하며 재고회전률은 증가함을 알 수 있다. 즉 수요량이 증가하는 것은 매우 바람직한 사실임을 확인할 수 있다.

다음으로 변동계수 cv 가 0.3에서 0.5, 즉 예측수요량의 표준오차 σ 가 150개에서 250로 증가했을 때, 안전재고량과 평균재고량이 모두 증가하며, 재고회전률은 떨어진다. 즉 예측오차가 큰 경우는 바람직하지 못한 상황으로서 재고량이 많아지게 되며, 이에 따라 유지비용이 증가하게 된다. 아울러 회전률도 감소하게 됨을 알 수 있다.

조달기간 L 의 변화에 따른 결과를 보면, 조달기간이 길어짐에 따라 안전재고량과 평균재고량이 모두 증가하며, 재고회전률은 떨어진다. 이는 예측오차가 커지는 경우와 같은 결과로서, 재고관리에 있어서 수요예측의 정확도와 조달기간의 영향이 매우 중요함을 확인할 수 있다.

다음으로 발주량 Q 또는 비율 $m(Q)$ 가 증가할 때, 안전재고량은 감소하나, 평균재고량이 증가하게 된다. 또한 다른 값들의 변화가 없는 경우, 증가된 재고량으로 인해 재고회전률이 감소하게 된다.

끝으로 재고 보유단위의 개수 n 의 변화에 따른 결과

는 다음과 같다. 보유단위의 개수가 증가할 때, 안전재고량과 평균재고량이 증가하며, 회전률이 감소하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 그 증감 비율은 상대적으로 미미함을 보이고 있다. <Table 3>과 <Table 4>의 전체 자료에서 보듯이 제품의 총 수요량과 계획충족률 등이 같다면, 보유단위의 개수 차이는 제품의 총 안전재고량, 총 평균재고량, 그리고 회전률 변화에 큰 영향은 미치지 못함을 알 수 있다.

<Table 5> Sensitivities on Data Changes

| (Data) | $m(S)$ | S | $m(H)$ | H | T |
|------------------|--------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|
| $R = 95\%$ | 0.09 (550% ↑) | 45 | 0.59 (22.9% ↑) | 295 | 20.3 (18.8% ↓) |
| $\hat{X} = 1000$ | -0.03 (50.0% ↓) | -30 | 0.47 (2.1% ↓) | 470 | 25.5 (2.0% ↑) |
| $cv = 0.5$ | 0.09 (550% ↑) | 45 | 0.59 (22.9% ↑) | 295 | 20.3 (18.8% ↓) |
| $L = 2$ | 0.18 (1000% ↑) | 90 | 0.68 (41.7% ↑) | 340 | 17.6 (29.6% ↓) |
| $m(Q) = 2$ | -0.18 (1000% ↓) | -90 | 0.82 (70.8% ↑) | 410 | 14.6 (41.6% ↓) |
| $n = 10$ | -0.01 (50.0% ↑) | -5 | 0.49 (2.1% ↑) | 245 | 24.5 (2.0% ↓) |

4. 결 론

본 연구는 재고보유단위를 이용하여 제품을 관리하는 경우 보유단위들의 재고분석을 통합적으로 실행하는 방법을 제시하고 있다. 즉 수요발생 확률분포를 이용함으로써 제품 전체의 통합자료로부터 각 보유단위의 재고계획을 위한 측정값들을 반복 없이 체계적으로 결정하는 방법이 제시되었으며, 동시에 제품 전체를 위한 안전재고, 재고회전률 등을 분석하는 절차들이 제시되었다. 아울러 보유단위의 계산 절차와 예 등을 통하여 보유단위의 개별적 관리와 통합적 관리의 결과들을 비교 분석하였으며, 각 입력변수들의 변화에 따른 시스템의 변화를 분석하였다.

통합적 관리방법의 효과는 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 보유단위들의 수요변화, 즉 수요의 분산을 통합적 방법을 통해 축소시킴으로써 제품 전체의 재고수준을 감소시킬 수 있으며, 이에 따라 관리비용 절감과 재고회전률의 상승결과를 얻을 수 있다. 둘째, 많은 보유단위에 대한 재고분석 절차의 반복성을 제거함으로써 효과적인 시스템 관리가 가능하며, 수요변화 등의 환경변화에 빠르게 대응할 수 있다. 셋째, 관리를 위한 자료의 양이 실질적으로 축소됨에 따라 효율적인 자료 관리에 도움을 얻을 수

있다. 끝으로 추가적 연구로서 보유단위들마다 수요 변화가 서로 다른 확률분포를 갖는 경우(본 연구에서는 각 보유단위들의 월 수요량을 모두 정규분포로 가정함), 이에 관한 효과적인 관리방법의 제시가 필요할 것으로 생각된다.

References

- [1] Axsater, S., A simple procedure for determining order quantities under a fill rate constraint and normally distributed lead-time demand. *European Journal of Operational Research*, 2006, Vol. 174, No. 1, pp. 480-491.
- [2] Badinelli, R.D., A model for continuous-review pull policies in serial inventory systems. *Operations Research*, 1992, Vol. 40, No. 1, pp. 142-156.
- [3] Closs, D.J., Nyaga, G.N., and Voss, M.D., The differential impact of product complexity, inventory level, and configuration capacity on unit and order fill rate performance. *Journal of Operations Management*, 2010, Vol. 28, No. 1, pp. 47-57.
- [4] Johnston, F.R., Boylan J.E., and Shale, E.A., An examination of the size of orders from customers, their characterisation and the implications for inventory control of slow moving items. *Journal of the Operational Research Society*, 2003, Vol. 54, pp. 833-837.
- [5] Kim, H.K., Inventory Control under Correlated Demand. *Journal of Society of Korean Industrial and Systems Engineering*, 2008, Vol. 31, No. 1, pp. 798-804.
- [6] Neumann, K. and Schwindt, C., Project scheduling with inventory constraints. *Mathematical Methods of Operations Research*, 2003, Vol. 56, pp. 513-533.
- [7] Partovi, F.Y. and Anandarajan, M., Classifying inventory using an artificial neural network approach. *Computers and Industrial Engineering*, 2002, Vol. 41, pp. 389-404.
- [8] Ryzin, G. and Mahajan, S., On the relationship between Inventory costs and variety benefits in retail assortments. *Management Science*, 1999, Vol. 45, pp. 1496-1509.
- [9] Snyder, R.D., Koehler, A.B., and Ord, J.K., Forecasting for inventory control with exponential smoothing. *International Journal of Forecasting*, 2002, Vol. 18, No. 1, pp. 5-18.
- [10] Syntetos, A.A. and Boylan, J.E., On the stock control performance of intermittent demand estimators. *International Journal of Production Economics*, 2006, Vol. 103, pp. 36-47.
- [11] Tersine, R.J., Principles of inventory and materials management (2nd ed), North Holland, 1994, pp. 125-151.
- [12] Teunter, R.H., Babai, Z.M., and Syntetos, A.A., ABC classification : Service levels and inventory costs. *Production and Operations Management*, 2010, Vol. 19, pp. 343-352.

ORCID

Seung-Chul Yoon | <http://orcid.org/0000-0001-9929-7016>