

2계층 수리부속 분배시스템에 대하여 장비 가동률에 따른 재고 투자비 결정  
Inventory investment control policies about equipment operating rate  
for a two-echelon spare parts distribution system

한 승 훈\*  
Han, Seung Hun  
유 승 우\*  
Yoo, Seung woo  
김 경 섭\*\*  
Kim, Kyung Sup

**Abstract**

As a environment of SCM is issued recently, many enterprises are concerned about inventory control for an efficiency of operation and reliability. The goal of them is to match up to improving of facilities and reduing of inventory cost. To put an efficiency in the operation rate of facilites, A moderate provision of spare parts for that would come into a matter. This study designs two-echelon spare parts distribution system and sees over the relationship between operating rate and inventories of spare parts. and then it determines fitting inventories and investment cost considering an operating rate.

**1.서론**

고도화되고 다변화된 경영환경에서 수요와 공급의 불확실성으로 인하여, 공급자는 고객이 필요로 할 때 제품을 공급하기 위해서 일정량의 재고를 보유해야 고객만족을 달성하여 경쟁우위를 차지 할 수 있다. 또한 수요자의 입장에서는 운영 효율과 보유 장비의 가동률을 높이기 위해서 고장에 대비하여 수리부속 제품에 대한 재고를 보유하고 있어야 된다. 제품의 수요가 확률적으로 발생할 경우에 보유 장비의 가동률 수준을 낮추면 예비로 가지고 있어야 될 수리부속의 재고가 감소하여 재고투자비용은 줄어들게 되고, 반면에 가동률을 높이면 보유 수리부속의 재고는 증가하게 되므로 수리부속 재고량은 장비가동률에 따라 결정된다고 하겠다. 따라서 수리부속이 고가이고 장비 한 대 당 구성하고 있는 부품수가 많다면 장비 가동률을 고려할 때 재고에 투자하는 비용은 증가하게 될 것이다. 그러므로 효율극대화와 비용최소화를 동시에 고려해야 한다. 본 연구에서는 장비 가동률과 재고량과의 관계를 알아보기 위하여 2장에서 장비 가동

---

\* 연세대학교 산업공학과 석사과정

\*\* 연세대학교 산업공학과 교수

를 정의하여 재고량과의 관계를 설명하고, 이에 대한 모델을 세우고 있으며, 3장에서 결과 값을, 4장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 제시하였다.

## 2. 모델

본 연구에서는 공군의 항공기 보급체계를 바탕으로 모델을 수립하였다. 공군의 경우에는 보유하고 있는 항공기의 대수, 특히 가동중인 항공기의 대수가 작전 수행능력을 가늠하는 척도로 중요한 관심 대상이며, 이에 따른 수리부속 재고를 얼마나 보유하고 있어야 하는가가 현안 문제이다. 모델 구성은 국외의 외부공급자에게서 제품을 구입하여 분배센터 역할을 하는 군수사령부와, 고객 역할을 하는 여러 개의 비행기지가 있다. 재고관리 있어서 분배센터는 (r, Q)정책을 사용하며, 고객은 고가이고 단기간에 많은 수요가 발생하지 않는 제품에 대하여 (S-1, S)정책을 사용한다. 항공기 수리부속에 대한 조달은, 무기체계 특성상 Lost Sale은 없으며 Backorder만 존재한다. 비행기지에서는 항공기 가동률을 일정수준 이상으로 유지해야 하며, 군수사령부에서는 원활한 보급을 위해 일정수준 이상의 고객서비스를 해야 한다. 수요는 제품별로 포아송분포로 발생한다.

### 2.1 기호 설명

$C_i$  = 제품 i의 비용 ; 제품  $i = 1, \dots, N$

$$C = \sum_{i=1}^N C_i$$

$Q_o^i$  = 분배센터에서의 제품 i에 대한 주문량

$r_o^i$  = 분배센터에서의 제품 i에 대한 주문점

$S_m^i$  = 고객 m에서의 제품 i에 대한 목표재고

m = 고객 번호 ;  $m = 1, \dots, M$

$d_m$  = 분배센터에서 고객 m까지의 제품 배달기간(일)

$\lambda_m^i$  = 고객 m에서의 제품 i에 대한 년 간 평균 수요(개수/년)

$l_m^i$  = 고객 m에서의 제품 i에 대한 평균 리드타임(일)

$\theta_m^i = \lambda_m^i l_m^i$  = 고객 m에서의 제품 i에 대한 리드타임 동안의 평균 수요

$B_m^i(S_m^i)$  = 고객 m에서의 제품 i에 대한 평균 Backorder량

$h_m^i(S_m^i) = S_m^i - \theta_m^i + B_m^i(S_m^i)$  = 고객 m에서의 제품 i에 대한 평균 재고량

$O_m$  = 항공기 가동률

k = 항공기 대수 ;  $k=1, \dots, K$

$\lambda_o^i = \sum_{m=1}^M \lambda_m^i$  = 분배센터에서의 제품 i에 대한 년 간 평균 수요

$l_o^i = d_m + B_o^i(r_o^i, Q_o^i) / \lambda_o^i$  = 분배센터에서의 제품 i에 대한 보충 리드타임(일)

$\theta_o^i = \lambda_o^i l_o^i$  = 분배센터에서의 제품 i에 대한 리드타임 동안의 평균 수요

$A_o^i(r_o^i, Q_o^i)$  = 분배센터에서의 제품 i 대한 품질될 확률

$B_o^i(r_o^i, Q_o^i)$  = 분배센터에서의 제품 i 대한 평균 Backorder량

$s_o^i(r_o^i, Q_o^i) = 1 - A_o^i(r_o^i, Q_o^i)$  = 분배센터에서의 제품 i에 대한 서비스 수준

$$h_o^i(r_o^i, Q_o^i) = 1/Q_o^i \sum_{y=r_o^i+1}^{r_o^i+Q_o^i} y \theta_o^i + B_o^i(r_o^i, Q_o^i) = r_o^i - \theta_o^i + Q_o^i/2 + 1/2 + B_o^i(r_o^i, Q_o^i)$$

= 분배센터에서의 제품 i에 대한 평균 재고량

### 2.2 장비 가동률

장비 가동률과 수리부속 재고량과의 연관성을 알아보기 위해서 장비가 단일제품으로 구성되었을 때의 항공기 가동률을 살펴보겠다. 장비 대수가 K대 있다는 것은 제품을 K개 보유하고 있는 것과 동일하며, 장비가 고장이 났을 경우에 예비 제품을 고장난 제품과 교체하여 운영가능 대수를 항상 K대로 유지할 것이다. 만약 고장이 발생한 개수보다 예비 제품이 부족하다면 부족한 만큼의 장비 대수가 불가동 상태로 될 것이고 Backorder가 발생한다. 고객은 분배센터에 불가동 상태로 된 제품의 개수와 예비 보유 재고량만큼을 주문할 것이다. 따라서 장비의 가동 대수는 예비제품이 남아 있으면 K대이고, Backorder가 발생한 상태이면 K - Backorder량과 같다. 장비 가동률은 총 장비 대수 대 가동 대수의 비율을 말하므로, 장비 가동률의 정의는  $\min\{K-\text{Backorder}/K, 1\}$ 이다. 정비로 인한 항공기 불가동의 경우는 재고 부족으로 발생하는 불가동에 비하여 일시적이므로 정비시간은 무시한다. 복수제품(제품 I, II)이 모여 하나의 장비를 구성할 경우에는 제품 I의 Backorder가 3개이고 제품 II의 Backorder가 5개이면 부속유용(한 장비로부터 특정 부속품을 장탈하여 다른 장비에 장착하는 교환 작업)에 의해 최대 Backorder가 발생한 제품의 양에 해당하는 장비 수가 불가동 상태로 될 것이다. 그러므로 복수제품의 장비 가동률의 정의는  $\min\{[K-(\max \text{ 제품 } i \text{ Backorder})]/K, 1\}$ 이다.

### 2.3 수리 모형

$$\text{Minimum} \quad \sum_{i=1}^N C_i \{h_o^i(r_o^i, Q_o^i) + \sum_{m=1}^M h_m^i(S_m^i)\} \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad 1/N \sum_{i=1}^N \lambda_o^i / Q_o^i \leq F, \quad \forall i, \forall m \quad (2)$$

$$1 - B_m^i(S_m^i)/K \geq O_m, \lambda_m^i \geq (1 - O_m)K \quad \forall i, \forall m \quad (3)$$

$$\frac{1}{A} \sum_{i=1}^N \lambda_o^i s_o^i (r_o^i, Q_o^i)^i \geq S \quad (4)$$

$$r_o^i, Q_o^i, S_m^i \geq 0, \quad r_o^i, Q_o^i, S_m^i : \text{정수} \quad (5)$$

목적식 (1)은 분배센터와 고객에서의 연간재고 투자비용을 최소화 하는 것이며, 식 (2),(4)는 분배센터의 년 평균 주문횟수와 고객서비스에 대한 제약조건이며, 식(3)은 고객에서의 장비 가동률에 대한 제약조건이다.

#### 2.3.1 고객 Heuristic

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^N C_i \{ \sum_{m=1}^M h_m^i(S_m^i) \} \quad (6)$$

$$\text{subject to} \quad 1 - B_m^i(S_m^i)/K \geq O_m, \lambda_m^i \geq (1 - O_m)K, \quad \forall i, \forall m \quad (7)$$

$$S_m^i \geq 0, \quad S_m^i : \text{정수} \quad (8)$$

목적식 (6)은 식(1)에서 고객 부분에 해당되는 부분이다. 제약식 (7)은 가동률 정의에 따라 항공기 가동률( $\{K - B_m^i(S_m^i)\}/K$ )이 요구되는 가동률 이상 되어야 하는 조건으로 년 간 수요가 Backorder가 일어나는 양 이상일 경우에 적용된다. 년 간 수요가 Backorder가 일어나는 양보다 작을 경우에는 목표재고  $S_m^i$ 는 0값을 가지며 식(9)와 같다.

$$S_m^i = \begin{cases} B_m^{i-1}\{(1 - O_m)K\} & , \lambda_m^i \geq (1 - O_m)K \\ 0 & , else \end{cases} \quad (9)$$

여기서  $B_m^i(\cdot)$ 은 고객 m에서 제품 i에 대한 평균 Backorder량을 나타낸 것이고, Backorder량은 리드타임 동안의 제품 i에 대한 수요가  $\mu$ 이고 수요가 일어날 확률밀도 함수는  $p(\mu)$ 일 경우 다음의 식(10)과 같다.

$$B_m^i(S_m^i) = \sum_{\mu=S_m^i}^{\infty} (\mu - S_m^i) p(\mu) \quad (10)$$

목표재고  $S_m^i$ 의 값은 식(10)을 식(7)에 대입하여 얻은 식(11)에서 구할 수 있으며, 목표재고  $S_m^i$ 를 다시 말하면 장비 가동률이  $O_m$  일 때, Backorder량이  $(1 - O_m)K$  이하로 일어나게 하는 목표재고량을 말한다.

$$\sum_{\mu=S_m^i}^{\infty} (\mu - S_m^i) p(\mu) \leq (1 - O_m)K \quad (11)$$

### 2.3.2 분배센터 Heuristic

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^N C_i h_o^i(r_o^i, Q_o^i) \quad (12)$$

$$\text{subject to} \quad 1/N \sum_{i=1}^N \lambda_o^i / Q_o^i \leq F \quad (13)$$

$$\frac{1}{A} \sum_{i=1}^N \lambda_o^i s_o^i(r_o^i, Q_o^i) \geq S \quad (14)$$

$$r_o^i, Q_o^i \geq 0, \quad r_o^i, Q_o^i : \text{정수} \quad (15)$$

식(1)에서 분배센터에 해당되는 목적식은 식(12)와 같다. 식(13)은 주문횟수에 대한 제약조건이며, 식(14)는 분배센터에서 고객에 대한 고객 서비스수준에 관한 제약조건이다.  $s_o^i(r_o^i, Q_o^i)$ 는 제품 i에 대해 서비스 받을 확률로 1에서 품질될 확률  $A_o^i(r_o^i, Q_o^i)$ 를 뺀 것이며 다음과 같다.(Hopp, Spearman and Zhang[1])

$$\begin{aligned} s_o^i(r_o^i, Q_o^i) &= 1 - A_o^i(r_o^i, Q_o^i) \\ A_o^i(r_o^i, Q_o^i) &= 1/Q_o^i \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{y=r_o^i+1}^{r_o^i+Q_o^i} p(i+y) \\ &= 1/Q_o^i [ \sum_{y=r_o^i+1}^{\infty} \{ 1 - P(y-1) \} - \sum_{y=r_o^i+Q_o^i+1}^{\infty} \{ 1 - P(y-1) \} ] \end{aligned}$$

$r_o^i$ 와  $Q_o^i$ 는 Hopp, Spearman and Zhang[1]의 연구의 Hybrid Heuristic 방법을 적용하여 Lagrangian Method로 구하였다.  $\nu$ 와  $\mu$ 는 Lagrangian 계수이다.

$$Q_o^i = \max \left\{ \sqrt{\frac{2\nu\lambda_i C}{c_i N}}, 1 \right\}$$

$$r_o^i = \begin{cases} \theta_i + \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{\Lambda c_i Q_o^i}{\mu C \lambda_i} \right) \sqrt{\theta_i} & , \text{if } \Lambda Q_o^i c_i \leq C \mu \lambda_i \\ r_o^i & otherwise \end{cases}$$

평균 Backorder량에 관한 식은 다음과 같다.

$$B_o^i(r_o^i, Q_o^i) = 1/Q_o^i \sum_{i=0}^{\infty} \delta^i [ \sum_{y=r+1}^{r+Q} p(i+y) ]$$

$$= 1/Q_o^i [ \sum_{y=r+1}^{\infty} \{y-(r+1)\} \{1-P(y-1)\} - \sum_{y=r+Q+1}^{\infty} \{y-(r+Q+1)\} \{1-P(y-1)\} ]$$

### 3. 모델 적용 및 결과

본 연구에서는 1개의 분배센터와 2개의 고객으로 구성된 공급망에 대하여 모델을 적용하였다. 제품에 대한 품목 수는 10가지 종류이고 수요는 각각 다른 포아송분포로 발생하며, 제품가격도 종류별로 다르다. 수요가 적은 품목은 수요가 많은 품목에 비해 상대적으로 가격을 높게 책정하였다. 대상 장비는 같은 기종의 항공기로, 대수는 한 고객당 100대씩을 보유하고 있으며, 한 고객에서의 장비 가동률은 90%이상을 요구한다. [표1]은 제품별 입력 데이터로 가격과 고객에서의 연간 수요, 분배센터에서의 리드타임을 나타낸다. 리드타임은 분배센터에서 고객까지는 1일이 걸리고, 외부공급자에서 분배센터까지의 경우는 국외에서 도입하기 때문에 10일에서 100일까지 걸린다. 또한 분배센터에서의 주문횟수 F는 4로 책정하였다. [표1]의 데이터로 분배센터 Heuristic과 고객 Heuristic에 적용하여 얻은 값은 다음의 [표2]와 [표3]과 같다.

[표1] 제품별 데이터

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C <sub>i</sub>	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4
λ <sub>m</sub> <sup>i</sup>	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
r <sub>o</sub> <sup>i</sup>	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10

[표2] 분배센터 결과값

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ <sub>o</sub> <sup>i</sup>	8	16	24	32	40	48	58	64	72	80
r <sub>o</sub> <sup>i</sup>	0	0	0	4	9	12	14	14	12	8
Q <sub>o</sub> <sup>i</sup>	3	4	6	7	8	10	12	15	20	29
h <sub>o</sub> <sup>i</sup>	1.11	0.33	0.44	2.43	6.96	10.93	14.36	16.74	18.56	20.81
C <sub>i</sub> h <sub>o</sub> <sup>i</sup>	44.47	11.71	14.21	67.96	166.96	218.54	229.81	200.88	148.44	83.23

[표2]의 분배센터 결과 값에서 주문횟수는 F ≤ 4이므로 상한 값을 만족시키는 ν는 0.968이고, S ≥ 0.9이므로 하한 값을 만족시키는 μ는 2.5이다. 여기서 구한 r<sub>o</sub><sup>i</sup>, Q<sub>o</sub><sup>i</sup>의 값은 실수 값인데, 우리가 원하는 값은 정수값이므로 소수점 아래에서 반올림하였다.

[표3] 고객 결과값

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S <sub>m</sub> <sup>i</sup>	0	0	3	7	11	15	19	23	27	31
r <sub>m</sub> <sup>i</sup>	60.5	29.7	19.0	9.2	6.2	3.3	2.3	1.5	1.2	1.024
h <sub>m</sub> <sup>i</sup>	3.34	7.35	11.38	15.60	19.68	23.82	27.85	31.98	36.03	40.07
C <sub>i</sub> h <sub>m</sub> <sup>i</sup>	133.49	264.60	364.01	436.92	472.29	476.47	446.31	383.69	288.20	160.29

[표3]의 고객 결과값에서는 가동률이 90% 이상이 되는 목표재고는 Backorder가 10개 이하를 만족시켜 주는 값이고, 수요가 10보다 작은 경우에는 0값을 가진다. 분배센터에서 고객까지의 리드타임은 배달시간과 분배센터에서 Backorder가 발생하여 제품이 보충 될 때까지 대기하는 시간이 포함되어 제품에 따라 1일부터 60일이 소요된다.

다음은 고객에서 가동률에 따른 목표재고량은 얼마만큼 보유해야 되는지를 구하였다. 입력 데이터는 가동률을 제외하고는 모두 동일한 조건에서 수행하였으며 이 때, 가동률에 따른 결과값은 [표4]와 같다.

[표4] 가동률에 따른 목표재고

가동률 \ 제품	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100	10	16	22	27	33	38	43	48	53	58
99	4	9	13	18	22	27	31	36	40	45
95	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
90	0	0	3	7	11	15	19	23	27	31
85	0	0	0	2	6	10	14	18	22	26
80	0	0	0	0	0	5	9	13	19	21
75	0	0	0	0	0	0	3	8	12	16
70	0	0	0	0	0	0	0	2	6	10

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 2계층 분배형 공급사슬을 모델로 공급자 측면에서는 적정 수준의 고객 서비스율을 고려하여 재주문점과 목표재고량을 결정하고, 수요자 측면에서는 장비의 가동률과 재고량과의 관계를 연관시켜 일정수준의 가동률을 유지시키는 목표재고량을 결정하는 모델을 수립하였다. 모델은 공군의 항공기 수리부속 보급체계에 적용하여 주어진 예산 하에서 항공기 가동률을 산정하거나 항공기 가동률을 유지시켜주는 목표재고 투자비용을 산정하였다. 또한 이러한 모델은 기업의 고가 장비나 설비의 운영유지 사업에 적용시켜도 적합할 것이다.

본 연구에서는 부속유용이 가능한 제품에 대하여 가동률에 따른 재고량을 결정하였으나 향후에는 부속유용을 적용 할 수 없는 제품에 대하여도 연구되어야 하겠다.

#### 참고 문헌

- [1] Graves, S. C.; "A multi-echelon inventory model for a repairable item with one-for-one replenishment", *Management Science*, 31, pp.1247-1256, 1985.
- [2] Hopp, W.J., Spearman, M.L. and Zhang, R.Q.; "Easily implementable (Q,r) inventory control policies", *Operations Research*, 45, pp.327-340, 1997.
- [3] Nahmias, S.; Production and Operations Analysis, Second Edition, Irwin, Homewood, IL, 1993.
- [4] Ram Ganeshan; "Managing supply chain inventories : A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model", *Int. J. Production Economics*, Vol. 59, pp.341-354, 1999.
- [5] Wallace J. Hopp, Rachel Q. Zhang and Mark L. Spearman; "An easily implementable hierarchical heuristic for a two-echelon spare parts distribution system", *II E Transactions*, Vol. 31, pp.977-988, 1999.