

## 다계단 재고모형의 활용에 관한 연구 - 동시조달 수리부속을 중심으로 -

박명섭

고려대학교 경영학과 교수  
(mspark@kucn.korea.ac.kr)

류연욱

육군사관학교 경영분야 전임강사  
(yuryoo@kma.ac.kr)

본 논문은 다계단 재고관리모형에 관한 연구들을 실제 적용하고자 할 때 발생하게 되는 문제점과 의사사항을 해결하기 위하여 무기체계획득시 동시에 조달하게 되는 수리가능 부속품의 부품별 최적 구매량과 재고수준을 판단하는 절차를 구현한 것이다.

먼저 관련된 연구들을 연구자들이 제시한 시스템의 특성에 따라 구분하였으며, 실제 시스템에 적용하는 과정에서의 고려 사항들과 개선방향을 제시하여 확장이 가능토록 하였다. 실험예제의 시스템은 각각의 정비시설을 갖춘 몇 개의 기지로 이루어진 기지지원단계, 제한된 정비 및 보급능력을 지닌 창 지원단계, 그리고 생산 및 공급을 담당하는 단계로 이루어져 있다.

### 1. 서 론

각종 산업 및 서비스조직에서 수리가능한 부속의 정비 및 보급을 위한 다계단 재고 시스템개발에 관한 노력이 점점 커져가고 있다. 특히 군수분야에서의 관심과 실제적용의 필요성은 잘 알려진 사실(Demmy and Presutti 1981, Clark 1981)이다.

첨단장비의 생산자들 또한 그들의 현장 서비스 활동을 지원하기 위해 다계단 재고모형에 도움을 청하고 있다. 예를 들면 많은 컴퓨터와 사무장비 생산자들은 자사 제품의 실시간 서비스 및 수리를 위해 서비스 조직을 유지하며, 그들 조직은 수리가능한 고장부품을 교환하기 위해 적절한 재고를 필요로 한다. 결과적으로 부품의 수리와 여유부품의

현장재고 및 재보급을 담당하는 중앙창을 포함한 재고 시스템을 유지하게 되는 것이다. 이는 통신망에서도 마찬가지로 보다 충실한 서비스를 보장하기 위해 다계단 재고모형이 필요하다.

다계단 재고시스템을 유지하면서 대규모의 장비를 구입할 때 일정기간 사용할 수리가능한 부속품을 동시에 구입하게 된다. 이 때 부속품별 최적구매량과 재고전략의 결정은 공급자와 구매자간의 상호 전략적인 사고와 부적절한 정보로 인하여 장비 활용도와 구매 및 유지비용에 영향을 미치게 된다. 특히 국가예산의 많은 부분을 차지하고 있는 무기체계 도입과 통신이나 전력등 공공서비스를 담당하고 있는 기업에서는 영향이 크다.

수리부속 재고문제는 1968년 Sherbrooke에 의해 군에 적용된 이후로 사무기기의 임대문제, 중장

비, 수송장비(지하철, 버스), 통신시스템 등과 같은 상용제품에 적용하기 위한 학문적인 노력이 많이 진행되었지만 여러 가지 제한사항 때문에 실제 적용하기가 어려웠다. 연구자들이 제시한 모델의 특성을 잘 나타낼 수 있는 시스템을 가정하여 간략화한 예제를 적용한 것일 뿐이다. 수리부속 구입 및 재고전략에 관한 문제를 해결할 때 무엇보다도 현재 유지하고 있는 시스템의 명확한 분석이 우선되어야 한다.

본 연구에서는 기존연구들이 가정한 시스템의 문제점과 현 군수시스템이 개선해야할 점을 도출하고자 한다. 이를 위하여 먼저 지금까지의 관련 모형들을 연구자들이 제시한 시스템의 특성별로 정리하고, 이를 토대로 새로운 무기체제획득시 동시에 구입하게 되는 수리부속의 최적 구매량과 재고수준을 판단하는 문제에 적용해 본다. 이는 다계단 재고문제에 관한 연구들이 가장 많은 관심을 보이고 있는 분야이기 때문에 활용도를 높일 수 있을 것이다.

## II. 관련연구의 분석

수리가능제품과 관련된 재고이론은 고장난 제품을 폐기하지 않고 정비 후 재 사용하는 것이 고전적인 재고이론과 다르다. 수리가능 재고 시스템은 수리가능 제품의 반환으로 인한 수요의 불안정, 교체품의 활용, 제품의 계층적 구조에 따른 교체 및 정비의 차이, 고장난 제품의 폐기나 회복율, 수리 후 반환, 수리정책 등이 고려되어 많은 결정변수들로 인해 고전적인 재고시스템보다 복잡하게 된다<sup>1)</sup>.

다계단 재고 시스템을 설계하는데 중요한 요소는 각 단계의 적절한 재고수준을 결정하는 것이다. 이런 문제에 접근하는 방법은 크게 두가지 부류로 나뉘어 연구되어왔다. 첫째는 서비스 수준이나 재고 비용을 고려한 최적의 재고수준을 결정하는 방법이다. 두 번째는 주어진 재고수준에 따른 시스템의 특징치(서비스 수준, 기대부재고량 등)를 결정하는 것이며 이는 대부분 정태적(steady-state)모형으로 수행된다

이 논문에서는 주어진 예산하에서 첨단장비의 해외무기체제를 도입할 때 동시에 구매하게 되는 수리가능한 부속품의 부품별 최적 구매량 및 재고 수준을 결정하려는 목적을 가지고 첫째 방법에 대하여 알아보기로 한다. 수리 가능한 부속의 구입 및 재고수준을 결정하기 위해서는 적용하고자 하는 수리 및 재고 시스템에서의 각 단계별 수리능력, 재고의 보관장소, 가동제품의 수, 제품의 기지간 이동의 허용유무, 최고 및 최저 재고수준의 필요성, 수리 및 보급주기 그리고 제품의 특성, 등을 분석해야 한다. 그중 모형설계에 큰 차이를 보이게되는 수리능력, 보관장소, 가동제품의 수와 부품의 기지간 허용정도에 따라 다음과 같은 기존의 연구들을 참고할 수 있을 것이다.

### 2.1 접근방법 구성

재고수준을 결정하는 방법은 목표하는 서비스수준을 유지하면서 최소의 비용이 사용된 재고수준을 결정하는 방법과 주어진 예산내에서 최고의 서비스를 제공할 수 있는 방법으로 구분할 수 있다.

전자의 대표적인 모델인 METRIC이라 불리는

1) Guide Jr., V. D. R. and R. Srivastava, "Repairable Inventory Theory : Model and Applications," European Journal of Operational Research, Vol. 102, pp. 1-20, 1997.

Sherbrooke(1968)의 연구는 기대부재고(expected backorders)를 일정한 수준이하로 유지하기 위해 필요한 최소의 예산과 그에 따른 부품별 단계별 재고량을 구하는 모형<sup>2)</sup>이었다.

$$\min \{ S_{ij} \} \sum_{i=1}^I c_i \sum_{j=1}^J s_{ij} ,$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^I \beta_{ij}(s_{i0}, s_{ij}) \leq b_j, \quad (j = 1, 2, \dots, J)$$

후자의 방법을 사용한 Muckstadt(1973)는 제품을 엔진과 모듈로 구분하여 MOD-METRIC이라는 모형에서 예산의 제약하에서 부속품부족으로 인한 정비지연시간을 최소화하는 모형<sup>3)</sup>을 제시하였다.

$$\min \sum_{i=1}^M x_i \sum_{s_i=s_{i+1}}^{\infty} (x_i - s_i) p(x_i | \lambda_i T_i)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^M [c_E s_i + \sum_{j=1}^N c_j s_{ij}] + \sum_{j=1}^N c_j s_{0j} + c_E s_0 \leq C$$

가용예산인 C를 의사결정변수로 파악하는 전자의 방법은 경제적 효과를 가시적으로 나타낼 수 있으며 장기적으로 모델의 확장이 가능하다. 후자의 방법은 국방예산과 같이 한정된 예산내에서 활용하는 실무적인 문제에 적합하다.

그러나 위의 두 방법은 분석하고자 하는 시스템의 제한 사항에 따라 선택되어야 할 것이다.

## 2.2 각 단계별 정비능력

다계단 모형에 관한 많은 연구들이 기지(base)

와 수리창(depot)으로 구성된 2계단을 가정하고 있으나 생산 및 공급을 담당하는 단계를 함께 고려해야 한다. 생산자는 일반적으로 정비 및 생산능력은 무한하다고 가정할 수 있으나 지속적인 보급여부를 분석해야 할 것이다.

분석결과에 가장 큰 영향을 미치는 것은 수리창의 정비능력이라고 할 수 있다.

기지에서는 정비능력을 보유한 경우와 그렇지 않은 경우로 분류해 볼 수 있다.

수리창의 수리능력이 무한한 경우와 유한한 경우로 나눌 수 있으며 무한한 경우의 대표적인 모형은 Sherbrooke(1968, 1971)에 의해 개발된 METRIC 모형과 이를 확장하여 제품이 계층적 구조를 갖는 경우에 적용할 수 있는 Muckstadt (1973)의 MOD-METRIC 모형을 들 수 있다. 이 연구들은 계산량을 줄이기 위하여 무한 수리능력을 가정하였으므로 크고 복잡한 시스템에서 최적의 재고수준을 찾는 것에 중점을 두는 재고 관리 정책에 유용하다. 이 경우에는 무한한 수리능력을 가정하였기 때문에 대기행렬이 발생하지 않는다. 그 뒤에 발표된 Axater (1990)과 Sherbrooke(1992)의 연구도 같은 경우이다. 그러나 현실 시스템에서는 대부분 수리능력이 제한되어 있기 때문에 수리하는데 소요되는 시간은 수리능력에 독립적일 수 없다. 따라서 계산의 복잡도를 줄이기 위해 무한 수리능력을 가정하였다면 실제로 필요한 재고보다 적은 재고를 구하게 된다<sup>4)</sup>.

수리창의 수리능력이 유한한 경우의 연구로 Gross et al.(1983)은 각 수리창에서 한정된 수리능력과 일정시점에서 고장날 수 있는 유한가동제품수를 대

2)  $c_i$ : 품목  $i$ 의 가격,  $\beta_{ij}(s_{i0}, s_{ij})$ : 창에서  $s_{i0}$ 의 재고를 가지고 기지  $j$ 에서  $s_{ij}$ 의 재고를 보유할 때의 기대 부재고,  $b_j$ : 기지  $j$ 에서의 최소 서비스 충족율

3)  $c_E$ : 엔진의 가격,  $C$ : 가용예산,  $\lambda_i$ : 기지  $i$ 에서 엔진고장률,  $T_i$ : 기지  $i$ 에서 부품 재보급소요시간

4) Albright, S. C. and A. Gupta (1993), "Steady-state Approximation of a Multiechelon Multi-indentured Repairable-item Inventory System with a Single Repair Facility," *Naval Research Logistics*, Vol. 40, pp. 479-493.

상으로 전통적 기계-수리 대기행렬을 다단계 모형으로 일반화하여 2단계 시스템에서 최소비용조건과 최소요구 충족율을 만족하는 여유제품수를 열거형(enumeration)으로 구하였다. 그러나 이 해법은 작은 시스템에서도 과도한 계산량이 요구되는 문제점이 있다.

Gross와 Ince(1987), Gross et al.(1987), Albright와 Soni(1988)는 마코프체인을 이용하여 시스템을 모형화하고 이 모형에 관리변수들의 값을 대입하여 시스템의 수행도를 측정하는 방법을 제안하였다. Albright, Gross의 모형은 METRIC과 MOD-METRIC모형보다는 현실적이지만 재고량을 상수로 두고 재고량을 변경시켜가면서 시뮬레이션을 통해 해를 도출하였다. 따라서 목표치와 일치하거나 근접한 해를 찾기 위해서는 많은 실험회수와 시간이 소요되는 단점이 있다.

지금까지의 연구들이 대부분 기지와 창 의 2단계로 이루어진 시스템을 구성하였으나 확장된 공급체인관리(supply chain management)관점에서 생산 및 공급자를 시스템 내부로 인식한 연구가 필요하다.

### 2.3 여유제품의 보관장소

재고의 보관장소는 재고품을 기지에서만 유지하고 창에서는 보유하지 않는 경우와 창에서도 재고를 보유하는 경우로 나누어 볼 수 있다.

기지에서만 재고를 보유하고 창에서는 재고를 보유하지 않는 시스템을 고려한 연구로 Albright와 Soni(1988)는 연속시간 마코프체인을 이용하여 2계단 수리가능시스템의 재고관리 전략을 제안하였다. Verrijdt와 Kok(1996)는 창에서는 재고를 유지하지 않고 분배 센터로서의 역할만을 담당하는 시스템을 고려하여 기지의 정해진 서비스 수준을

만족할 수 있는 재고수준의 결정해법을 제안하였다. 후에 Albright와 Gupta(1993)는 제품이 계층적 구조를 갖는 경우 시스템의 안정상태에서의 특성을 도출할 수 있는 근사해법을 개발하였다.

다수의 기지와 하나의 창에서 동시에 재고를 보유하는 시스템을 고려한 초기의 모형으로는 Sherbrooke의 METRIC 모형이 대표적이고 많은 연구가 이를 이용하였다. Graves(1985)는 하나의 중앙창으로부터 다수의 기지가 제품을 보충받는 시스템에서 각 기지에서 순재고수준(net inventory level)의 확률분포를 산출할 수 있는 해법을 제시하였다. 그들은 고장이 복합포아송과정에 의해서 발생되며 중앙창에서 기지로의 제품이송시간은 확정적이라는 가정하에 모형을 전개하였다.

다계단 재고관리에 관한 Hausman 과 Erkip(1994)의 연구는 일반적으로 다계단(multi echelon)재고관리에 대한 연구들에서 항공기 수리부속과 같이 적은 수요와 고가 제품의 재고관리에 (S-1, S)재고정책이 사용될 경우 단일단계재고방법(single-location method)보다 다계단재고 방법(multi-echelon method)이 적합하고 효과적임을 보여주고 있다.

### 2.4 수리부속의 기지간 이동

지금까지 다계단 수리가능시스템의 재고관리 전략에 관련된 연구들은 모형의 복잡성 때문에 대부분 여유제품의 기지간 이동을 고려하지 않았다. 그러나 자원의 효율적인 활용 및 서비스 수준을 향상시키기 위하여 여유제품의 기지간 이동(emergency lateral transshipments)을 고려한 연구가 최근에 활발히 진행되고 있다(신규철, 1998).

Das((1975)는 여유제품의 기지간 이동을 고려하

여 주기적인 재고관리 정책에서 재고 저장위치 (stocking location)간 이동이 허용되는 모형을 제안하였다. Hoadley와 Heyman(1977)은 동일 단계에서 재고 저장위치간의 이동이 허용되는 단일기간(single period), 다계단(multi-echelon)모형을 제안하였다. 비슷한 문제가 Kamarkar와 Patel(1977)에 의해 연구되었다. 이들은 문제를 수송문제와 신문팔이소문제로 구분하여 해를 도출하였다. Cohen et al.(1986)은 동일단계에서 유사한 특성을 가진 재고 저장위치를 그룹화하여 기지간 이동이 허용된 경우의 다계단재고시스템에 대한 포괄적인 모형을 개발하였다. 이 연구에서는 재고를 서로 공유할 수 있는 각각의 그룹으로 분류하여 높은 단계의 재고 저장위치로부터 재고를 획득하는 것보다는 그룹화된 낮은 단계의 재고 저장위치로부터 재고를 획득하는 것이 더 효과적이라는 전제하에 모형을 전개하였다. 이 연구에서는 METRIC이나 다른 수리가능 시스템에서 연속적으로 재고정책을 사용하는 것과는 달리 주기적 재고정책을 사용하였다. 또한 재고의 이송과 보충시의 납기 지연시간은 고려하지 않았다. 그러나, 이 가정이 완화되면 모형은 극단적으로 복잡하게 된다. Lee(1987)는 연속적 재고정책을 사용하고 여유제품의 기지간 이동이 있는 상황에서 높은 서비스 수준이 요구되는 경우에 초점을 두어 시스템의 수행척도를 근사적으로 구할 수 있는 해법을 제안하였다. 그가 제안한 해법은 여러 기지를 몇 개의 유사한 그룹으로 분류하여 분류된 그룹내에서만 제품의 이동이 허용되도록 하였다. Axater(1990)는 Lee와 동일한 문제에 대하여 시뮬레이션 결과와 비교했을 때 더 작은 오차를 산출할 수 있는 해법을 제안하였다. Sherbrooke(1992)는 동일하지 않은 기지가 포함되고 기지창에서도 수리가 가능한 경우의 기대 부재고의 하한

및 상한 값을 간편하게 산출할 수 있는 해법을 제안하였다. 여유제품의 기지간 지원을 고려하지 않은 연구가 모형의 복잡성이라는 지적이 있지만 실제 공급체인관리에서 관리의 효율성을 고려하여 기지간 지원을 허용하지 않는 경우가 많으므로 실제 적용시에는 더 적합할 수 있다.

## 2.5 부속품의 구조

METRIC을 비롯한 초기의 연구가 부품의 계층적 구조를 고려하지 않았지만 부품의 계층적 구조를 고려한 연구들은 각각의 특성을 보인다.

MOD-METRIC에서는 부품을 엔진(engine)과 모듈(module)로 구분하여 모듈을 엔진 정비시 필요품목으로 가정하였다. Sherbrooke(1985)는 VARI-METRIC모형에서 수리부속을 LRU(line-replaceable-unit)와 SRU(shop-replaceable-unit)로 구분하여 SRU는 부품의 부족으로 인한 정비지연이 발생하지 않고 LRU의 고장은 SRU의 고장에 의해서만 발생하는 시스템을 고려하였다. 유형근, 김만식, 김종수(1990)의 연구에서는 장비의 고장을 경고장과 중고장으로 구분하여 경고장인 경우는 기지창에서 수리하고 중고장인 경우는 중앙창에서 수리를 한 후 반송하게 하는 시스템을 적용하였다. 그러나 SRU의 경우는 다른 장비 부품의 동류전용이 가능하기 때문에 인접시스템을 고려해야 하고 부속별 경고장과 중고장에 대한 입력 자료를 구하기 곤란하여 실제적용하기 어렵다. 따라서 군수분야에서는 각 부속별 고장율과 정비단계별 수리능력을 적용하는 범위내에서 구성해야 할 것이다.

## 2.6 부속품의 가중치

기대부재고량을 사용하는 연구들에서 부재고가

발생하는 기간동안은 장비가 가동되지 않아 서비스가 불가능한 것으로 가정하였다. 그러나 실제 적용하고자 할 때는 반드시 고려되어야 한다. 컴퓨터의 예를 들면 전원공급장치의 고장을 기준으로 할 때 사운드카드나 랜카드의 고장은 제한된 서비스가 가능하므로 컴퓨터 활용도에 따라 가중치를 다르게 적용할 수 있을 것이다.

### III. 모형의 활용

위의 연구들을 실제 활용할 때 발생하는 문제점과 개선방향을 찾아보기 위하여 다음과 같은 문제에 적용해 보기로 한다.

“해외에서 신규 획득하게 될 M무기체계의 국내 보급지원단계는 약간의 정비능력을 보유하고 있으며, 정비 및 보급소요기간을 단축하기 위하여 수리부속을 1개의 지원대(depot) 및 2개의 운용부대(base)에서 저장 및 운용하고자 한다. 운용부대별 중요도에 따라 배치될 무기의 수가 결정되었으며 무기체계 획득비용의 00%가 부속품을 구입하는데 할당되었다. 장비배치후 1년간 부속품의 추가 구입 계획이 없으므로 정해진 예산내에서 개별 부속품의 최적 구매수량과 각 지원단계별 재고수준을 결정하여 장비가동율을 극대화 하고자 한다.”

#### 3.1 용어의 정의

동시조달 수리부속이란 신규 무기체계 및 장비배치시 주장비와 함께 보급되는 수리 및 예비부속품으로, 배치후 초기 일정기간 동안 재보급이 없이 무기체계 및 장비에 부여된 운용 임무를 성공적으

로 수행하기 위하여 필요한 지원품목을 말한다. 이 중 수요품목은 해당년도에 최초 배치되는 무기체계 및 장비 전체 대수를 대상으로 하여 동시조달 수리부속 운영기간을 기준으로 1회 이상 소요가 예상되는 품목을 말한다. 또한 비수요 필수품목이란 동시조달 수리부속 운영기간 동안 1회 이상 소요가 예상되지는 않으나 예기치 않는 사고 발생, 오작동, 정비실수 등으로 소요가 발생할 경우 시스템운용이나 안전에 심각한 영향을 미칠 것으로 판단되는 품목을 말한다.

동시조달 수리부속은 부속품의 특성에 따라 부품, 결합체, 구성품 등으로 분류할 수 있다. 부품(Part)이란 한 개의 품목이 그 이상 분해될 수 없거나 또는 그 품목을 더 이상 분해하는 것이 불필요한 품목을 말한다. 결합체(Assembly)란 두 개 또는 그 이상의 부품을 연결 또는 합쳐서 하나의 품목이 된 것을 말하며, 이것은 수개의 부품으로 분해될 수 있다. 예를 들면 카부레터(Carburetar), 레귤레이터(Regulator), 제네레이터(Generator), 방아틀 멍치 및 노리쇠 멍치 등이 있다. 그리고 구성품(Component)이란 두 개 이상의 결합체가 연결 또는 결합되어 하나의 물체로 구성된 품목을 말하여, 이것은 독자적인 성능을 발휘할 수 있지만 외부에서 조종하거나 전원을 공급해 주어야 한다. 예를 들면 엔진, 트랜스미션(Transmission)등이 있다.

#### 3.2 시스템의 분석

실제 모형을 구성하기 위해서는 대상 시스템에 대한 철저한 분석이 무엇보다도 중요하다.

다계단 재고모형에서 가정하고 있는 상황들을 군의 첨단장비에 대한 정비 및 보급시스템의 특성을 분석하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 가. 수리부속의 고장은 포아송 분포를 따른다. 일반적으로 전자장비의 고장률은 적으므로 포아송 분포를 적용하기에 적당하고 Palm<sup>5)</sup>의 연구결과에 따르면 수요가 포아송분포를 따를 때 조달 기간 동안의 수요도 포아송 분포를 따른다는 결과를 적용하여 분석을 용이하게 할 수 있다.
- 나. 수리부속의 고장은 독립적으로 발생하며 고장 발생후 바로 정비가 요구된다. 또한 정비가 이루어지기 전까지 구성품과 결합체의 관계이외의 다른 품목의 고장에 영향을 주지 않는다.
- 다. 정비는 일괄(batching)작업이 실시되지 않는다. 따라서 모든 보급지원 단계에서 수리부속의 고장이 발생하면 고장 수리부속의 즉각적인 지원활동이 시작된다. 이 때 재고가 있으면 고장난 부속품을 수리하기 전에 우선적으로 가용재고품목과 교체하나, 재고가 부족한 경우 그 결합체를 포함한 구성품을 사용할 수 있다.
- 라. 수리부속의 정비시간은 각각 독립적이며, 수리부속의 폐기는 없다. 각 보급지원 단계별 정비시설의 용량은 충분하고 장비의 고장정비 수요가 적으므로 수리부속의 정비시간은 정비수량에 관계가 없다. 기지에서는 장비 고장시 교체를 우선으로 하기 때문에 하나의 수리부속 정비를 위해 다른 수리부속의 정비대기는 없다.
- 마. 각 보급지원 단계의 정비능력은 한계가 있다. 많은 부분의 첨단장비는 해외구매 대상이므로 해외 보급지원 단계의 정비능력을 고려하며 해외 보급지원 단계는 모든 수리부속

의 정비능력을 갖고 있다. 기지 및 창고의 정비능력은 개발에 따라서 확대가 가능하지만, 일반적으로 기지, 창, 해외<sup>6)</sup>의 보급지원 단계에 따라 증대된다. 따라서 시스템 내에서 모든 수리부속의 정비가 가능하다.

- 바. 구성품과 결합체가 장비의 가동률에 미치는 영향은 다르다. 일반적으로 구성품의 고장은 장비의 불가동에 직접적으로 영향을 미치고 결합체의 고장은 일부성능만을 제한하기도 한다. 즉 수리부속의 고장이 발생했을 때 일부품목은 장비의 불가동을 초래하고, 다른 품목은 장비의 성능을 저하시키는 결과를 가져온다.
- 사. 일반적으로 기지 가중치는 장비 배치시 고려되므로 고장정비시에는 무시한다.
- 아. 수요품목 및 비수요 필수품목요인을 고려하고, 사고·오작동·정비실수로 등으로 체계 운용이나 안전에 영향을 미칠 것에 대비하여 부속품 구입시 최소 1개 이상 구입한다.
- 자. 장비의 불가동은 운영기지에서만 발생하므로 창 및 해외 보급지원 단계에서 구성품의 재고고갈은 장비 불가동에 직접 영향을 주지 못하고 조달기간에만 영향을 준다. 또한 보급지원 단계에서의 구성품 재고고갈은 하위 보급지원 단계의 정비지원에 영향을 주거나, 동일 보급지원 단계에서의 결합체 정비시간의 지연을 초래한다.

### 3.3 기호의 정의

모형에서 사용되는 주요 기호는 수리부속의 고장

5) Palm, c. "Analysis of the Erlang Traffic Formula for Busy-Signal Arrangements," Ericsson Technics, Mo 5, 1938, pp. 39-58

6) 국내 방산업체의 장비 구입시 방산업체를 포함

량, 정비능력, 재고수준, 주문 및 회송시간, 정비시간, 교체 및 탈거시간 등이며 아래와 같이 나타낸다.

- $T_{ij}$  :  $i$  단계에서  $j$  품목의 고장을 해소하는데 소요되는 총 시간
- $i = \{ \text{해의} : u, \text{창} : 0, \text{기지} : 1, 2, \dots, n \}$
- $j = \{ \text{구성품} : 0, \text{결합체} : 1, 2, \dots, m \}$
- $\lambda_{ij}$  :  $i$  단계에서 수리부속  $j$ 의 단위시간당 평균 고장량
- $A_i$  :  $i$  단계에서 상위 단계로의 주문 및 회송시간
- $B_{ij}$  :  $i$ 에서 발생하는  $j$  품목의 기대 부재고(expected backorders)
- $c_j$  : 수리부속  $j$ 의 단위당 가격
- $C$  : 수리부속의 가용예산
- $F_j$  : 고장원인파악시간 + 탈거 및 장착시간
- $r_{ij}$  : 정비능력
- $R_{ij}$  : 정비시간
- $S_{ij}$  :  $i$ 에서 수리부속  $j$ 에 대한 재고수준(양의 정수)
- $q_j$  : 긴급정비 소요비용
- $Q$  : 긴급정비 예산
- $\alpha_j$  : 장비별 중요도
- $K_j$  : 현재의 총재고 수량(업체 및 해외 재고 제외)

### 3.4 모형의 구성

예산이 한정되어 있으므로 목적함수는 기지에서 장비가 고장났을 때 고장을 해소하는데 까지 소요되는 시간을 최소화하는 것이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z &= \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m T_{ij} a_j \\ \text{s.t. } &\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m c_j S_{ij} \leq C \\ &\sum_{i=0}^n S_{ij} \geq 1 \quad j = \text{비수요 필수품목} \end{aligned}$$

위의 제약식의 해의 긴급정비를 위한 예산이 할당되었을 경우에는 다음과 같이 추가적인 제약식을 설정할 수 있다.

$$\sum_{i=0}^n q_j B_{ij} \leq Q \quad i = 0, 1, 2, \dots, n$$

기지간 수리부속의 지원이나 손상실된 수리부속이 발생하면 예산제약 대신에 다음의 제약식을 사용하여 재배치한다.

$$\sum_{i=0}^n S_{ij} = K_j \quad j = 0, 1, 2, \dots, m$$

### 3.5 세부적용 절차

기지에서 장비의 고장해소에 소요되는 시간( $T_{ij}$ )은 해당 부품의 재고를 보유하고 있을 경우의 소요시간(BT1)과 재고가 부족할 경우의 소요시간(BT2)의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} T_{ij} &= \text{BT1} + \text{BT2} \\ &(i=0,1,2,\dots,n, \quad j=0,1,2,\dots,m) \end{aligned}$$

기지에서 고장품목의 재고가 있으면 고장해소 소요시간은 고장원인을 파악하는 시간과 해당 부품을 탈거 및 장착하는 시간으로 구성된다.

$$\text{BT1} = (1 - B_{ij}) \cdot F_j \dots\dots\dots (1)$$

$$B_{ij} = \frac{\sum_{x_{ij} > S_{ij}} (x_{ij} - S_{ij}) P(x_{ij} | \lambda_{ij} A_i)}{\lambda_{ij}}$$

$$p(x | \lambda_{ij}A_i) = e^{-\lambda_{ij}A_i} \frac{\lambda_{ij}A_i^x}{x!}$$

( $i=0,1,2,\dots,n, j=0,1,2,\dots,m$ )

이 때 재고를 활용하기 전에 정비를 먼저 실시하는 전략을 사용한다면,

$$BT1 = (1 - B_{ij})[r_{ij} \cdot R_{ij} + (1 - r_{ij}) \cdot F_j]$$

..... (1-1)

기지에서 특정 결합체의 고장시에 기지에서 해당 결합체를 보유하지 않더라도 해당결합체를 포함하고 있는 구성품을 사용할 수 있으므로, 구성품을 보유하고 있는 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 생각할 수 있다.

$$BT2 = B_{ij} \cdot (BT21 + BT22) \dots\dots\dots (2)$$

(BT21 : 기지에서 구성품재고 가용시 소요시간,  
BT22 : 구성품 불가용시 소요시간)

구성품의 재고를 사용할 경우 소요시간은 다음과 같다.

$$BT21 = (1 - B_{0i}) \cdot F_0 \dots\dots\dots (3)$$

$$B_{0i} = \frac{\sum_{x_0 > S_{0i}} (x_0 - S_{0i}) p(x_0 | \lambda_{0i} T_{0i})}{\lambda_{0i}}$$

( $i=0,1,2,\dots,n$ )

기존의 연구들처럼 구성품과 결합체를 구분하지 않거나 구성품의 재고를 사용하지 않는 경우에는  $B_{0i}$ 를 1로 하여 적용한다.

결합체 및 고장결합체를 포함하는 구성품의 재고 사용이 불가능할 때에는 기지에서 정비가 가능한 경우와 불가능한 경우로 구분할 수 있다.

$$BT22 = B_{0i} \cdot (r_{ij}R_{ij}) + B_{0i} \cdot (1 - r_{ij})(DT1 + DT2)$$

..... (4)

( $i=0,1,2,\dots,n, j=1,2,3,\dots,m$ )

DT1 : 창 의 결합체지원으로 소요되는 시간  
DT2 : 창에 정비지원 요구시 창 의 결합체 재고가 없으므로 소요되는 시간

기지에서 정비가 가능한 고장일 경우에는 정비를 실시하고, 정비가 불가능할 때에는 창(depot)에 지원을 요청한다. 창에서도 해당품목의 재고를 보유한 경우(DT1)와 재고가 없는 경우의 소요시간(DT2)이 다르다.

$$DT1 = (1 - B_{0j})(A_i + F_j) \dots\dots\dots (5)$$

기지에서 결합체의 지원을 요구하면 창에서는 결합체의 재고가 없더라도(DT2), 구성품의 재고를 보유하고 있을 경우(DT21)에는 해당 결합체를 포함한 구성품을 지원해주고 재고 부족시(DT22)에는 정비를 실시한다. 이는 MOD-METRIC을 포함한 기존의 연구가 결합체 고장시 구성품을 활용하지 않은 경우와 차이를 보인다.

재고가 없는 경우의 소요시간(DT2)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$DT2 = B_{0j} \cdot (DT21 + DT22)$$

( $j=0,1,2,\dots,m$ ) ..... (6)

$$B_{0j} = \sum_{x_{0j} > S_{0j}} p(x | \lambda_{0j}A_{0j})$$

$$\lambda_{0j} = \sum_{j=1}^m B_{ij}(1 - r_{ij})$$

$$DT21 = (1 - B_{00}) \cdot F_j + A_i \dots\dots\dots (7)$$

DT22(창에 구성품 및 결합체의 재고부족으로 소요되는 시간)

$$= B_{00}[r_{0j}R_{0j} + (1-r_{0j})(DT3 + UT1 + UT2) + A_0] + A_i[1 - B_{00}(1-r_{0j})(1-B_{(-ij)})] \dots\dots\dots (8)$$

구성품과 결합체의 재고가 모두 부족할 경우에는 정비를 실시하고 정비 불가능한 고장일 경우에는 창이 지원하고 있는 인접기지의 재고를 활용(DT3)하며 인접기지에도 재고가 부족할 경우에는 해외공급자로부터 지원을 받는다.

DT3 : 기지간 정비지원으로 소요되는 시간(구성품일 때 = 0)  
 $= (1 - B_{(-ij)}) t_{k(-j)} \dots\dots\dots (9)$

$(i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m)$

$B_{(-ij)}$  :  $i$ 의 인접기지의 기대 부재고  
 $(t_{k(-j)})$  : 다른 기지에서  $i$  로의 지원시간

$$B_{(-ij)} = \frac{\sum_{\omega > V_{ij}} (\omega - V_{ij})(\omega | B_{0j} T_{0j})}{B_{0j}}$$

$$V_{ij} = \sum_{i=0}^j V_{ij}^* \quad (j = 1, 2, 3, \dots, m)$$

$$V_{ij}^* = (\lambda_{ij} - S_{ij} - \lambda_{ij} r_{ij})$$

$$V_{ij}^* = V_{ij}^*, \quad \text{if } V_{ij}^* > 0,$$

$$0, \quad \text{if } V_{ij}^* \leq 0$$

본 연구에 제기된 문제의 시스템에서는 실제로 기지간 지원을 고려하지 않고 있으나 이 경우 DT22에서  $B_{(-ij)}$ 를 1로 하여 적용한다.

해외 지원은 부속지원(UT1)과 정비지원(UT2)의 경우로 나누어 생각할 수 있다.

UT1 :  $(1 - B_{ij})(B_{(-ij)})A_0$   
 $(j = 0, 1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (10)$

UT2 :  $B_{ij}(B_{(-ij)})(R_{ij} + A_{ij})$   
 $(j = 0, 1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (11)$

$$B_{ij} = \frac{\sum_{x_{ij} > S_{ij}} (x_{ij} - S_{ij}) p(x_{ij} | \lambda_{ij} A_{ij})}{\lambda_{ij}}$$

$$\lambda_{ij} = \sum_{i=1}^n B_{0i}(1 - r_{0i})$$

일반적으로 해외 또는 공급자의 재고는 충분하거나, 재생산이 가능하므로 구성품과 결합체의 구분이 필요 없으며 공급자의 기대 부재고( $B_{ij}$ )를 0으로 할 수 있다.

### 3.6 소결론

본 연구에서 고려한 군수시스템에 기존의 연구를 적용하는 과정에서 네가지 유의 사항을 발견하였다.

하나는 군수분야의 적용을 전제로한 기존의 연구가 실제 시스템보다 수리부속의 제층적구조를 비효율적으로 적용한 것이다.

거대한 장비나 무기체계의 수리부속이 결합체와 구성품으로 구성되어 결합체의 고장시 결합체의 재고가 없을 경우에는 구성품의 재고를 우선사용할 수 있다. 따라서 장비시스템을 정확하게 적용하면 구성품과 부분품의 구분을 하지 않거나 구성품에서 고장결합체를 탈거하여 장착하는 기존의 연구보다 유리하다.

식(3)과 식(4)에 기존의 연구를 적용하면

BT21 =  $F_0 \dots\dots\dots (12)$

BT22 =  $(r_{ij}R_{ij}) + (1 - r_{ij})(DT1 + DT2) \dots\dots\dots (13)$ 이 된다.

$$\begin{aligned} & \{(12)+(13)\}-\{(3)+(4)\} = \\ & (1-B_0)[(r_{ij}R_{ij})+(1-r_{ij})(DT1+DT2)-F_0] \\ & \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

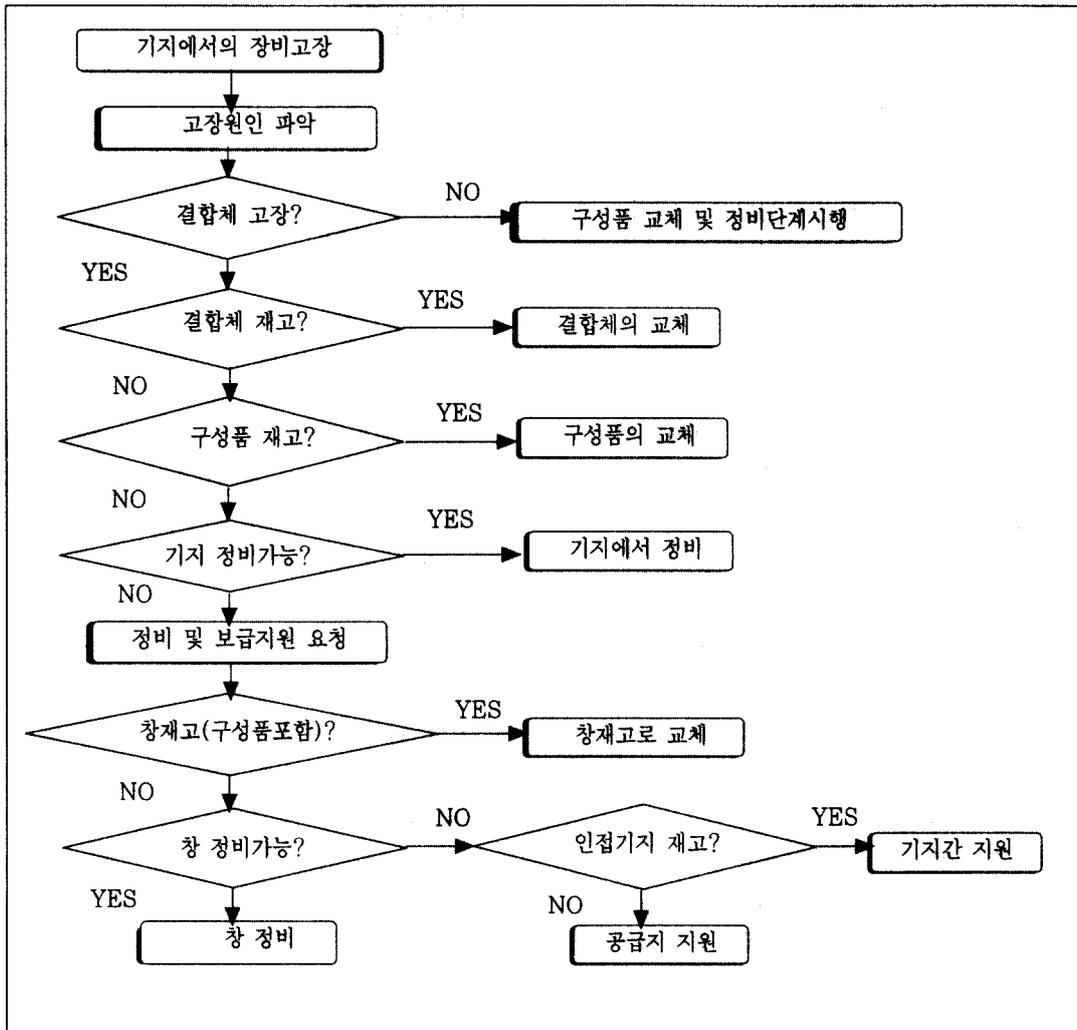
$(DT1+DT2) \geq R_{ij} \geq F_0$ 이므로 식(14)는 0보다 크게되어 정비해소시간이 많이 소요되는 기존의

모델이 불리함을 알 수 있다.

결과적으로 기존의 연구들은 구성품의 재고를 최적치보다 적게 보유하고 결합체 재고를 많이 유지하게 된다.

두 번째는 장비운용부대에서 여유부품의 사용보다 정비를 우선으로 하는 것은 정비에 앞서 재고를 활

<그림 1> 정비 및 보급지원흐름



용하는 시스템(MOD-METRIC과 VARI-METRIC등의 연구)보다 불리하게 작용할 수 있다는 것이다.

정비우선시 BT1은 다음과 나타낼 수 있다.

$$BT1 = (1 - B_{ij})[r_{ij} \cdot R_{ij} + (1 - r_{ij}) \cdot F_j] \dots\dots\dots (1-1)$$

$$\text{식(1-1)-식(1)} = r_{ij}(1 - B_{ij})(R_{ij} - F_j) \dots\dots (14)$$

일반적으로  $R_{ij}$ (정비시간)이  $F_j$ (탈거 및 장착시간)보다 많이 소요되므로 기지에 재고가용시  $r_{ij}(1 - B_{ij})(R_{ij} - F_j)$ 만큼 고장 해소시간을 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 방법으로 결합체 재고 부족시에도 정비에 앞서 구성품을 사용한다면  $B_{ij}[r_{ij} \cdot R_{ij} + (1 - r_{ij}) \cdot F_j](1 - B_{ij})$ 과 식(3)을 비교하여  $(r_{ij} \cdot B_{ij})(1 - B_{ij})(R_{ij} - F_j)$ 만큼의 고장 정비 해소시간이 감소함을 알 수 있다.

세 번째는 기지간 지원절차에 관한 것이다.

현재의 군수시스템은 지원절차를 활용하지 않고 있으나 Das((1975), Hoadley와 Heyman(1977), Kamarkar와 Patel(1977), Cohen et al.(1986) 등이 구상한 것처럼 기지간 수리부속의 지원이 가능하도록 구성한다면 해당 기지와 창에 결합체와 구성품의 재고가 모두 부족할 때 정비소요시간(DT22)을 감소<sup>7)</sup>시킬 수 있으며 최적값도 변하게 됨을 알 수 있다.

마지막으로 모형구성의 차이는 아니지만 부품별 가중치를 고려하였다.

기존의 연구들에서 고려하지 않았지만 각 품목별 고장이 미치는 영향에 따라 재고 조달기간동안 일부의 서비스가 가능한 경우가 있으므로 부품별 가

중치를 적용하였다. 대부분의 장비에서 전원공급장치를 기준으로 산정할 수 있을 것이다.

현재 운용중인 시스템에 적용하고자 하는 경우에 있어서 두 번째와 세 번째의 경우에는 정비우선과 기지간 지원절차를 고려하지 않고 있으나 새로운 무기시스템을 구상하는 본 연구의 문제는 고장해소시간을 단축할 수 있도록 <그림 1>과 같이 구성할 수 있다.

#### IV. 예제실험

앞에서 제시된 문제에서 모든 부속품을 적용하면 분석대상이 커지므로 핵심부품인 구성품 1개와 이를 구성하고 있는 결합체 3개를 대상으로 한다. <표 1>은 위에 제시된 사례의 분석을 위한 자료를 요약하고 있으며, 이러한 자료는 적용대상부대의 실제 상황자료에 근거한 수치를 적용하였다.

창 및 지원대의 고장발생량을 표시된 것은 §3.4 - 5에서 제시된 식을 사용해서 구한 정비요구량이며, 기지간 지원기간은 행정소요기간과 부속이동시간을 합한 것이다. 부품별 중요도는 고장시 장비운용에 영향을 미치는 정도를 나타낸다.

실험치를 적용해본 결과 기존의 장비고장을, 보급 및 정비시간등의 기본적인 입력자료들로 구성된 것과 달리 많은 입력자료들이 요구되고 정확한 입력자료의 획득이 어려움을 알았다. 신규 시스템을 도입하는 경우에 장비에 관한 입력자료는 생산 및 공급자로부터 구할 수 있으나 단계별 정비능력과 보급시간은 별도의 과정을 거쳐야 한다. 여기서는 산술평균을 적용하였으며 1년을 기준으로 산출되어야 하나 보급 및 정비시간과의 비율이 작아서 2

7)  $B_{00}(1 - B_{(-ij)})A_0(1 - B_w) + B_w(R_w + A_w) + A_i[1 - (1 - B_{00})(1 - B_{(-ij)})]$ 비율만큼 감소

〈표 1〉 input data

구분	j \ i	공급지 (해외:u)	지원대 (창:0)	부대1 (기지1:1)	부대2 (기지2:2)	비 고
부대별 장비수를 고려한 고장빈도 ( $\lambda_{ij}$ )	Compo. 0	-	-	0.7	0.91	부품별중요도( $\alpha_j$ ) : 1, 0.8, 0.8, 0.9  기지간 지원시간( $t_{i(-)j}$ ) : 0.28
	Assem. 1	-	-	1.3	1.69	
	2	-	-	2.1	2.73	
	3	-	-	1	1.3	
정비율 ( $r_{ij}$ )	0	1	0.75	0.15	0.15	부품별 단가( $c_j$ ) : 20, 7, 6, 3  부품구입예산( $C$ ) : 120 $Q, a_j, K_j$ : 0
	1	1	0.5	0.25	0.25	
	2	1	0.3	0.25	0.25	
	3	1	0.25	0.21	0.21	
보급시간 ( $A_i$ )		-	1	0.17	0.20	
정비소요시간 ( $R_{ij}$ )	0	0.1	0.1	0.183	0.183	탈거 및 장착시간( $F_j$ ) : 0, 0.13, 0.01, 0.04 * 단위 : 100만원(금액) 2주일(시간)
	1	0.05	0.05	0.14	0.14	
	2	0.072	0.072	0.14	0.14	
	3	0.072	0.072	0.14	0.14	

〈표 2〉 output data

구분	Depot	Base 1	Base 2	총구입량	
Component	1	1	2	4	사용된 예산 : 12,000만원 고장해소시간( $\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 T_{ij} \alpha_j$ ) : 0.29601
Assembly 1	0	1	1	2	
Assembly 2	0	1	1	2	
Assembly 3	0	1	2	3	

주일로 하였다. 〈표 2〉는 〈그림 1〉의 절차를 이용하여 구한 결과를 나타낸다.

## V. 결 론

### 5.1 연구의 요약

본 연구는 신규 무기체계 도입시 동시에 구입하

게되는 수리부속의 적정 구매량과 지원 단계별 최적 재고량을 구하기 위해 항공기 수리부속에 적용한 METRIC 모형에서부터 시작된 다계단 재고모형들을 특성별로 분석하고 이를 활용하고자 하였다. 군수분야 적용을 위해 제시된 다양한 모형들을 현재의 군수시스템에 적용하는 과정에서 다음과 같이 구성하는 것이 유리함을 살펴보았다.

첫째, 부품을 구성품과 결합체로 구분하여 구성품 고장시에는 구성품재고를 활용하고, 결합체 고장시에는 결합체 재고뿐 아니라 구성품의 재고를

활용할 수 있도록 구성해야 한다.

둘째, 각 부품의 교체 및 정비시간의 차이에 따라 정비 및 교체에 대한 우선순위를 결정해야 하며, 전자장비의 경우에는 정비보다는 재고품을 활용한 교체가 우선되어야 한다.

셋째, 기시간 지원을 가능하게 한다.

넷째, 목적함수에 부품별 가중치를 적용한다.

또한 현 시스템과 근사한 실험예제를 통해 입력 자료의 구성에 대한 추가적인 절차가 필요함을 나타냈다. 결과적으로 동시조달 수리부속의 경우 예산의 제약하에서 고장해소시간을 최소화하기 위하여 각 단계별 정비능력, 조달기간, 정비시간, 수리부속별 고장률 등의 수리부속 관리요소를 고려한 각 보급지원 단계의 적절한 재고분배 및 재고수준이 결정되어야 한다.

이 연구가 비록 시스템의 특성에 따른 세부적인 이론 면에서 기여하지 못했지만 기존의 연구에 비해 가장 현실적으로 모형을 구성하고자 했다는 점에서 의의를 찾을 수 있다. 이는 다계단 재고모형에 관한 이론적인 연구가 각 조직의 관련분야에 활발하게 적용될 수 있는 기틀을 제공할 뿐만 아니라 적용간의 문제점과 재고전략에서의 개선방향을 제시할 수 있을 것이다.

## 5.2 연구의 한계 및 향후 연구과제

군 무기체계의 수리부속 재고관리에 대한 많은 관심에도 불구하고 현실 반영이 미흡해서 연구결과를 현실에 실제 적용하기 어려웠다. 본 연구에서도 현실에 기반을 두고 구매량과 재고수준을 결정하는 절차와 유의사항을 제시하였으나 다음과 같은 한계점을 지닌다.

첫째, 각종 동적 상황을 적용하지 못하였다. 정

비 및 보급이 이루어지는 동안 재고수준과 정비능력이 계속 변하는 등의 각종 동적 상황을 고려하지 못했다.

둘째, 재고비용을 시간변수로 한정하였다. 물론 군수시스템에서는 경제적인 재고비용에 대한 중요성이 저하될 수 있지만 이러한 연구가 보편화되기 위해서는 재고유지비용 및 주문비용에 따른 발주량과 주문점의 변화도 고려해야 할 것이다.

지금까지 다계단 재고시스템에서 재고수준결정을 위한 많은 연구가 이루어졌지만 이런 결과를 응용한 전략적인 연구가 미흡한 게 사실이다. 향후 연구는 지금까지의 연구를 바탕으로 보다 전략적인 방향으로 가야 할 것이다.

첫째, 본 논문에서는 가용예산을 고려한 재고수준을 결정했으나 가용예산 이외에 수송비용, 보관비용, 정비활동을 위한 정비인력 및 장비운영비가 고려된 운영수준의 적정목표에 대한 연구가 필요하다.

둘째, 목적함수는 경제적 효과를 나타내고 가용예산도 장기적인 의사결정변수로 파악하는 시스템을 다루고 기존의 예산활용의 타당성을 검증하는 것도 의미 있을 것이다.

마지막으로, 위와 같은 연구가 진행된 후에는 현재 도입하여 운용중인 시스템의 적정 재고수준을 검토하여 조정 할 수 있어야 할 것이다.

## 참고 문헌

- 신규철(1998), "수리가능 재고시스템에서의 여유제품 수준의 결정", 한양대학교 박사학위 논문.
- 우재웅, 강맹규(1998), "비정상 상태에서의 동시조달 수리부속품 재고수준 결정", 한국군사운영분석학회지, Vol. 24, No. 2, December, pp. 146-161.

- 유형근, 김만식, 김종수(1990), "수리가능한 군수품의 여유 재고 수준 결정기법", *한국군사운영분석학회지*, Vol. 16, No. 2. December. pp. 96-104.
- Albright, S. C. and A. Gupta (1993), "Steady-state Approximation of a Multiechelon Multi-indentured Repairable-item Inventory System with a Single Repair Facility," *Naval Research Logistics*, Vol. 40, pp. 479-493.
- Albright, S. C. and A. Soni (1988), "An Approximation to the Stationary Distribution of a Multidimensional Markov Process," *IIE Transactions*, Vol. 20, pp. 111-118.
- Albright, S. C. and A. Soni (1988), "Markovian Multiechelon Repairable Inventory System," *Naval Research Logistics*, Vol. 35, pp. 49-61.
- Albright, S. C. (1989), "An Approximation to the Stationary Distribution of a Multiechelon Repairable-item System with Finite Sources and Channels," *Naval Research Logistics*, Vol. 36, pp. 179-195.
- Axsater, S. (1990), "Modeling Emergency Lateral Transshipments in Inventory Systems," *Management Science*, Vol. 36, No. 11, pp. 1329-1338.
- Axsater, S., and K. Rosling (1993). "Installation vs. Echelon Stock Policies for Multilevel Inventory Control." *Management Science*, Vol. 39, No. 10, pp. 1274-1280.
- Clark. A. J. (1981), "Experiences with a Multilevel-indentured. Multi-echelon Inventory Model". *Studies in Management Science*, 16. L. N. Schwarz(Ed.), North-Holland. Amsterdam, pp. 299-330.
- Cohen, M. A., P. R. Kleindorfer, and H. L. Lee (1986), "Optimal Stocking Policies for Low Usage Items in Multi-echelon Inventory Systems," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 33, pp. 17-38.
- Das, C. (1975), "Supply and Redistribution Rules for Two-location Inventory Systems: One Period Analysis," *Management Science*, Vol. 21, pp. 765-776.
- Demmy, W.S. and V. J. Presutti (1981), "Multi-Echelon Inventory Theory in the Air Force Logistics Command," *Studies in Management Science*, 16. L. N. Schwarz(Ed.), North-Holland. Amsterdam, pp. 299-330.
- Graves, S. C. (1985), "A Multi-echelon Inventory Model for a Repairable Item with One-for-one Replenishment," *Management Science*, Vol. 31, pp. 1247-1256.
- Graves S, C. (1996), "A multi-echelon inventory model with Fixed Replenishment Intervals", *Management Science*, Vol 42, No. 1, January. pp. 1-18.
- Gross, D. and D. R. Miller (1984), "Multi-echelon Repairable Item Provisioning in a Time-varying Environment Using the Randomization Technique," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 31, pp. 347-361.
- Gross, D. and J. F. Ince (1987), "Spares Provisioning for Repairable Items: Cyclic Queues in Light Traffic," *AIIE Transactions*, Vol. 10, pp. 307-314.
- Gross, D., D. R. Miller, and R. M. Soland (1983), "A Closed Queueing Network Model for Multi-echelon Repairable Item Provisioning," *IIE Transactions*, Vol. 15, pp. 344-352.
- Gross, D., L. C. Kioussis, and D. R. Miller, "A Network Decomposition Approach for Approximating the Steady-state Behavior of Markovian Multi-echelon Repairable Item Inventory Systems," *Management Science*, Vol. 33, pp. 1453-1468, 1987.
- Guide Jr., V. D. R. and R. Srivastava, "Repairable Inventory Theory: Models and Applications," *European Journal of Operational Research*, Vol.

- 102, pp. 1-20, 1997.
- Hausman W. H. and N. K. Erkip (1994), "Multi-Echelon vs. Single-Echelon inventory control policy for low-demand items", *Management Science*, vol. 40.
- Hillestad, R. J. and M. J. Carrillo(1980), "Models and Techniques for Recoverable Item Stockage when Demand and the Repair Process Are Non-stationary-Part I: Performance Measurement," Rand Corporation Report No. N-1482-AF.
- Hillestad, R. J. (1982), "Dyna-METRIC: Dynamic Multi-echelon Technique for Recoverable Item Control," Rand Corporation Report No. R-2785-AF.
- Hoadley, B. and D. P. Heyman (1977), "A Two-echelon Inventory Model with Purchase, Dispositions, Shipments, Returns and Transshipment," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 24, pp. 1-19.
- Karmarkar, U. S. and N. Patel (1977), "The One-period, N-location Distribution Problem," *Naval Research Logistic Quarterly*, Vol. 24, pp. 559-575.
- Kim, J. S., K. C. Shin, and H. K. Yu. (1996), "Optimal Algorithm to Determine the Spare Inventory Level for a Repairable-item Inventory," *Computers and Operations Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 289-297.
- Lee, H. L. (1987), "A Multi-echelon Inventory Model for Repairable Items with Emergency Lateral Transshipments," *Management Science*, Vol. 33, No. 10, pp. 1302-1316.
- Muckstadt J. A. and L. J. Thomas (1980), "Are Multi-Echelon Inventory Methods Worth Implementing in systems with Low-Demand-Rate Items?," *Management Science*, Vol. 26, No. 5, May
- Muckstadt J. A.(1978), "Some approximations in multi-item, multi-echelon inventory systems for recoverable items", *Naval Research Logistics Quart*, Vol. 25
- Muckstadt, J. A. (1973), "A Model for a Multi-item, Multi-echelon, Multi-indenture Inventory System," *Management Science*, Vol. 20, pp. 472-481.
- Nahmias S. and S. A. Smith (1994), "Optimizing Inventory Levels in a Two-echelon Retailer system with Partial Lost Sales", *Management Science*, Vol. 40, No. 5, May
- Pyke, D. F. (1990), "Priority Repair and Dispatch Policies for Repairable-item Logistics Systems," *Naval Research Logistics*, Vol. 37, pp. 1-30.
- Sheikh, A. K., F. L. Callom, and S. G. Mustafa, (1991), "Strategies in spare parts management using a reliability engineering approach", *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 21.
- Sherbrooke, C. C. (1968), "METRIC: A Multi-echelon Technique for Recoverable Item Control," *Operations Research*, Vol. 16, pp. 122-141.
- Sherbrooke, C. C. (1971), "An evaluator for the number of operationally ready dircrafts in a mutilevel supply system", *Operation Research*, vol 19.
- Sherbrooke, C. C. (1986), "VARI-METRIC : Improved Approximations for Multi-indenture, Multi-Echelon availability Models", *Operation Research*, vol 34, No. 2, March-April.
- Sherbrooke, C. C. (1992), "Multiechelon Inventory Systems with Lateral Supply," *Naval Research Logistics*, Vol. 39, pp. 29-40.
- Svoronos, A. and Paul Zipkin (1991), "Evaluation of One-for-One Replenishment Policies for Multi-echelon Inventory System," *Management Science*, Vol. 37, No. 1, January. PP.68-82
- Verrijdt, J. H. C. M and A. G. de Kok (1996), "Distribution Planning for a Divergent Depotless Two-echelon Network under Service Constraints," *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, pp. 341-354.

## A Multi-Echelon Inventory Model for the Concurrent Spare Parts in Military Application

Myung Sub Park\* · Yeonuk Ryoo\*\*

### Abstract

This paper presents a readily applicable model for determining the optimal Concurrent Spare Parts inventory levels, attempting to foster the real world situation. The supply and repair system for the advanced electronics equipment is comprised of three main echelon: Base support phase made up of several bases equipped with their own maintenance machinery; Depot support phase with limited maintenance and support capabilities; and Overseas supply phase which handles the international production and supply.

This article classifies spare parts into two broad categories: Assembly and Component. The presented repair algorithm is as follows. When a defective item, whether an assembly or a component, is identified, immediate replacement is to be considered from stored inventories before considering repairment. When an assembly fails and if the inventory for the assembly is insufficient, the presented procedure attempts to utilize the inventories of the components. It is also possible, when in need, to replenish the assembly from adjacent bases. The results of this analysis show that the presented model outperforms previous models in reducing the supply and repair time. When a certain level of equipment utilization is to be sustained within the minimal amount of budget, the multi-echelon inventory model would also yield sufficient cost reduction. It is claimed that the results of this paper would raise an issue of improving traditional approaches in Concurrent Spare Parts acquisition and inventory management.

Key words : METRIC, Inventory level, Concurrent spare parts, Multi-Echelon Inventory

---

\* Korea University, Professor

\*\* Korea Military Academy, Full-time lecturer