

CSP품목 특성을 고려한 다단계 재고모형의 적용 (An Application to Multi-echelon Inventory Model : Using the Features of CSP)

류 연 옥(Ryoo Yeon Uk), 박 명 섭(Park Myung Sub)*

초 록

이 연구는 신규 무기체계를 구매할 때 동시에 구입하게 되는 동시조달수리부속(CSP)의 적정 구매량과 지원 단계별 최적 재고량을 구하기 위한 모형을 제시하였다. 이를 위하여 다단계 재고 모형에 관한 연구들을 이슈별로 분류하여 시스템에 활용할 수 있도록 하였다. 또한 선행연구에서 연구목적상 생략하거나 단순하게 가정한 요소를 포함하여 모형을 제시하였다. 기존의 연구에 비해 가장 많은 요소를 고려하여 현실적으로 모형을 구성하였으며, 활용이 용이하도록 하였다.

Abstract

This study suggested a readily applicable model to estimate the proper purchasing amount and the optimal CSP(Concurrent Spare Parts) inventory level based on a supporting echelon. For this model to be implemented, it is determined for studies about Multi-echelon Inventory Model to be divided by issues and utilized in the system. Moreover, the model also includes the factors that are to be excluded for a reasearch purpose and to be simply assumed. Compared to previous studies, this model is to be considered the most possible factors, realistically designed, and practically used. It is claimed that the results of this model would raise an issue of improving traditional approaches in CSP acquisition and inventory management.

(KeyWords: CSP, multi-echelon, inventory model, METRIC)

* 고려대학교 경영학과

1. 서론

다단계 재고시스템을 유지하면서 대규모의 장비를 구입할 때에는 일정기간 사용할 수리 가능한 부속품을 동시에 구입하게 된다. 군수 분야에서는 이를 'CSP(동시조달 수리부속: Concurrent Spare Parts)라 한다.

수리부속 재고문제는 Sherbrooke[1]에 의해 군에 적용된 이후로 사무기기의 임대문제, 중장비, 수송장비(지하철, 버스), 통신시스템 등과 같은 상용제품에 적용하기 위한 학문적인 노력이 많이 진행되었다. 그러나 여러 가지 제한사항 때문에 실제 적용하기가 어려웠다. 연구자들이 제시한 모델들은 대부분 특성을 잘 나타낼 수 있는 시스템을 가정하여 간략화한 예제에 적용한 것일 뿐이기 때문이다. 수리부속 구입 및 재고전략에 관한 문제를 해결할 때에는 무엇보다도 현재 유지하고 있는 시스템의 명확한 분석이 선행되어야 하며, 이를 정확히 반영할 수 있는 효과적인 모형이 개발되어야 할 것이다.

따라서 선행 연구된 다단계 재고모형을 응용하여 실제 적용이 용이한 최적의 CSP수요 산정 모델을 제시하고자 한다. 이를 위하여 먼저 지금까지의 관련 모형들을 연구자들이 제시한 시스템의 특성별로 정리하고, 새로운 무기체계획득시 동시에 구입하게 되는 수리부속의 최적 구매량과 재고할당량을 판단하는

문제에 적용해 볼 것이다.

새로 구성된 모델은 부품의 계층적 구조를 적용하고 재고단계에 공급자를 포함하였으며, 활용이 용이한 특징을 지닌다.

2. 관련 연구의 분석

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, 수리과정 등을 고려하기위해 많은 결정변수들을 포함하게 되어 고전적인 재고시스템보다 복잡하게 된다[2].

본 절에서는 수리 가능한 부속의 구매량 및 재고할당량을 결정하기 위해 필요한 기본적인 구성요소를 선행연구의 특징과 함께 제시하도록 한다.

2.1 접근방법

다단계 재고 시스템을 설계할 때 결정변수는 각 단계의 적절한 재고수준이다. 이 문제에 접근하는 방법은 크게 두 가지로 나뉘어 연구되어왔다. 첫째는 서비스 수준이나 재고비용을 고려한 최적의 재고수준을 결정하는 방법이다. 두 번째는 주어진 재고수준에 따른 시스템의 특정치(서비스 수준, 기대 후주문량 등)를 결정하는 것이며 이는 대부분 안정적

(steady-state)모형으로 수행된다.

재고수준을 결정하는 방법은 목표 서비스수준을 유지하면서 최소비용 재고수준을 결정하는 방법과 주어진 예산내에서 최고의 서비스를 제공할 수 있는 방법으로 구분할 수 있다.

전자의 대표적인 모델은 METRIC[1], 후자의 방법은 MOD-METRIC[3]을 들 수 있다.

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

서비스 수준을 최대화하는 목적식은 다음과 같이 세가지로 구분될 수 있다[4].

2.1.1 재고부족량 모델 (Units Provisioning Model)

일정기간 동안 예상되는 재고부족량의 기대수량을 주어진 비용 범위 내에서 최소화 시키는 모형이다. 즉, CSP구매를 위해 주어진 비용 범위 내에서 각 품목별 재고부족량을 모두 합한 총 기대 재고 부족량을 최소화되도록 각 품목의 수를 결정하는 모형이다.

2.1.2 시간 가중 재고 부족량 모델 (Time Weighted Units Short Model)

수요가 발생했을 때 재고량이 있으면 즉시 충족되며 재고량이 고갈되면 주문시점에서 충족되는 것으로 가정한다.

시점 $T=0$ 에서 품목 j 의 예비부품을 s_j 개 가지고 있을 때 재고품이 계속 사용되다가 시간 T_s 이후에는 고갈 상태가 된다.

일정기간(0, T)동안 발생하는 총 시간가중 재고 부족량을 $TWUS(s_j)$ 라 하면 시간가중 재고부족량의 기댓값은 s_j 의 함수로 표시되므로 비용제한 조건식을 이용하여 최적화 모형으로 표시된다.

2.1.3 가용도 모형(Availability Model)

가용도를 최대화 시키는 모형이다.

품목 j 의 고장간 평균시간을 $MTBF_j$, 평균 수리시간을 $MTTR_j$, 품목 j 의 재고량이 s_j 그리고 평균 보급지연시간을 $MSRT(s_j)$ 라 하면 j 번째 품목에 대한 가용도는 다음과 같이 표시된다.

$$A_j = \frac{MTBF_j}{MTBF_j + MTTR_j + MSRT_j(s_j)}$$

2.2 각 단계별 정비능력

다단계 모형에 관한 많은 연구들이 기지(base)와 수리창(depot)으로 2개의 단계를 가정하고 있으나 생산 및 공급을 담당하는 단계를 함께 고려해야 한다. 확장된 공급체인관리 관점에서 생산 및 공급자를 포함한 시스템의 분석이 필요한 것이다. 여기에서 생산자는 일반적으로 정비 및 생산능력이 무한하다고 가정할 수 있으나 지속적인 보급여부를 고려해야 한다.

관련 연구들을 수리창의 수리능력이 무한한 경우와 유한한 경우로 나눌 수 있다. 무한한 경우의 대표적인 모형은 METRIC과 MOD-METRIC이다. 이 연구들은 계산량을 줄이기 위하여 무한 수리능력을 가정하였으므로 크고 복잡한 시스템에서 유용하다. 이 경우에는 무한한 수리능력을 가정하였기 때문에 대기행렬이 발생하지 않는다. 그 뒤에 발표된 Axater[5]과 Sherbrooke[6]의 연구도 같은 경우이다.

그러나 계산의 복잡도를 줄이기 위해 무한 수리능력을 가정하였다면 실제로 필요한 재고보다 적은 재고를 구하게 된다[7]. 그러나 이 해법은 작은 시스템에서도 과도한 계산량이 요구되는 문제점이 있다[8].

Gross et al.[9], Albright와 Soni[10]는 마코 프체인을 이용하여 시스템을 모형화하고 관리 변수들의 값을 대입하여 시스템의 수행도를 측정하는 방법을 제안하였다. 이 둘의 모형은 재고량을 상수로 두고 재고량을 변경시켜가면서 시뮬레이션을 통해 해를 도출하였다. 따라서 METRIC과 MOD-METRIC모형보다는 현실적이지만 목표치와 일치하거나 근접한 해를 찾기 위해서는 많은 실험회수와 시간이 소요되는 단점이 있다.

2.3 여유제품의 보관장소

재고의 보관장소는 재고품을 기지에서만 유지하고 창에서는 보유하지 않는 경우와 창에

서도 재고를 보유하는 경우로 구분할 수 있다.

기지에서만 재고를 보유하고 창에서는 재고를 보유하지 않는 시스템을 고려한 대표적 연구는 Albright와 Soni[10]이며 연속시간 마코 프체인을 이용하여 2단계 수리가능시스템의 재고관리 전략을 제안하였다. Albright와 Gupta[5]는 창에서는 수리의 역할만 담당하는 모형을, Verrijdt와 Kok[11]는 분배 센터로서의 역할만을 담당하는 시스템을 분석하였다.

다수의 기기와 하나의 창에서 동시에 재고를 보유하는 시스템을 고려한 초기의 모형으로는 METRIC 모형이 대표적이고 많은 연구가 이를 이용하였다. Graves[12]는 하나의 중앙창으로부터 다수의 기지가 제품을 보충받는 시스템에서 각 기지에서 순재고수준(net inventory level)의 확률분포를 산출할 수 있는 해법을 제시하였다. 이들 연구는 고장이 복합포아송과정에 의해서 발생되며 중앙창에서 기지로의 제품 이송시간은 확정적이라는 가정하에 모형을 전개하였다.

일반적으로 항공기 수리부속과 같이 적은 수요와 고가 제품의 재고관리에 (S-1, S)재고 정책이 사용될 경우 단일단계재고방법(single-location method)보다 다단계 재고 방법(multi-echelon method)이 보다 효과적인 것으로 알려져 있다[13].

2.4 수리부속의 기지간 이동

많은 연구들이 모형의 복잡성과 관리의 효율성 때문에 여유제품의 기지간 이동을 고려하지 않았다. 그러나 자원의 효율적인 활용 및 서비스 수준을 향상시키기 위하여 여유제품의 기지간 이동(lateral transshipments)을 고려한 연구가 최근에 활발히 진행되고 있다.

Das[14], Hoadley와 Heyman[15], Kamarkar와 Patel[16], Sherbrooke[6]의 연구들이 대표적이다. Lee[17]는 여러 기지를 몇 개의 유사한 그룹으로 분류하여, 분류된 그룹내에서만 제품의 이동이 허용되도록 하였다. Axater[5]는 Lee[17]와 동일한 문제에 대하여 시뮬레이션 결과와 비교했을 때 더 작은 오차를 산출할 수 있는 해법을 제안하였다.

2.5 부속품의 구조

MOD-METRIC에서는 부품을 엔진(engine)과 모듈(module)로 구분하여 모듈을 엔진 정비시 필요품목으로 가정하였다. Sherbrooke[18]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 등[19]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 입력자료를 구하기 곤란하여 실제 적용하기 어렵다. 따라서 군수분야에서는 각 부속별 고장율과 정비단계별 수리능력을 적용하는 범위내에서 구성해야 할 것이다. 한국군은 CSP를 구성품과 결합체로 구분하고 있으나 지금까지의 연구에서 이를 고려하여 구성한 모델은 찾아볼 수 없다. 구성품과 결합체는 정비 및 보급단계에서 차이를 보이므로 반드시 구분하여 이를 반영하여야 할 것이다.

2.6 부속품의 중요도

기대후주문량을 사용하는 연구들에서 후주문량이 발생하는 동안은 장비가 가동되지 않아 서비스가 불가능한 것으로 가정하였다. 그러나 실제 부품별 고장에 따라 부분적인 서비스가 가능한 경우가 있기 때문에 부속품의 중요도는 다르게 적용되어야 한다. 컴퓨터의 예를 들면 전원공급장치의 고장을 기준으로 할 때 사운드카드나 랜카드가 고장인 경우에 제한된 서비스가 가능하므로 컴퓨터 활용도에 따라 중요도를 다르게 적용해야 할 것이다.

3. 모형의 구성 및 전개

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 1개의 지원대(depot) 및 2개의 운용부대(base)에서 수리부속을 저장 및 운용하고자 한다. 운용부대별 중요도에 따라 배치될 무기의 수가 결정되며 무기체계 획득비용의 X%가 부속품을 구입하는데 할당된다. 장비배치후 1년간 부속품의 추가 구입계획이 없으므로 정해진 예산내에서 개별 부속품의 최적 구매수량과 각 지원단계별 재고수준을 결정하여 모든 장비를 완전하게 가동되는데 소요되는 시간을 최소화 하고자 한다.”

3.1 용어의 정의

동시조달 수리부속(CSP)은 신규 무기체계 및 장비배치시 주장비와 함께 보급되는 수리 및 예비부속품으로, 배치후 초기 일정기간 동안 재보급 없이 무기체계 및 장비에 부여된 운용 임무를 성공적으로 수행하기 위하여 필요한 지원품목을 말한다. 이중 수요품목은 해당년도에 최초 배치되는 무기체계 및 장비 전체 대수를 대상으로 하여 CSP운영기간을 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 체계운용이나 안전에 심각한 영향을 미칠 것으

로 판단되는 품목을 말한다.

CSP는 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 부품(동류전용이나 기본휴대품목으로 CSP 적용이 불필요한 품목)을 연결 또는 합쳐서 하나의 품목이 된 것을 말하며, 수개의 부품으로 분해될 수 있다. 예를 들면 카부레터(carburetor), 레귤레이터(regulator), 제네레이터(generator) 등이 있다. 구성품(component)이란 두 개 이상의 결합체가 연결 또는 결합되어 하나의 물체로 구성된 품목을 말하며, 독자적인 성능을 발휘할 수 있지만 외부에서 조종하거나 전원을 공급해 주어야 한다. 예를 들면 엔진, 트랜스미션(transmission) 등이 있다.

3.2 모형의 가정

다단계 재고모형에서 가정하고 있는 상황들은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 수리부속의 고장은 독립적으로 발생하며 고장 발생후 바로 정비가 요구된다. 또한 정비가 이루어지기 전까지 구성품과 결합체의 관계 이외의 다른 품목의 고장에 영향을 주지 않는다.
2. 수리부속의 고장은 포아송 분포를 따른다. 일반적으로 전자장비의 고장률은 적으므로 포아송 분포를 적용하기에 적절하고 조달

기간 동안의 수요도 포아송 분포를 따른다는 결과를 적용하여 분석을 용이하게 할 수 있다 [20].

3. 구성품과 결합체가 장비의 가동률에 미치는 영향은 다르다. 일반적으로 구성품의 고장은 장비의 불가동에 직접적으로 영향을 미치고 결합체의 고장은 일부성능만을 제한하기도 한다.

4. 수리부속의 정비시간은 각각 독립적이며, 수리부속의 폐기는 없다. 각 보급지원 단계별 정비시설의 용량은 충분하고 장비의 고장정비 수요가 적음으로 수리부속의 정비시간은 정비수량에 관계가 없으며 하나의 수리부속 정비를 위해 다른 수리부속의 정비대기는 없다.

5. 각 보급지원 단계의 정비능력은 한계가 있다. 그러나 공급자인 업체는 모든 수리부속의 정비능력을 갖고 있다고 할 수 있다. 기지 및 창고의 정비능력은 개발에 따라서 확대가 가능하지만, 일반적으로 기지, 창, 해외의 보급지원 단계에 따라 증대된다.

6. 정비는 일괄(batching)작업이 실시되지 않는다. 따라서 모든 보급지원 단계에서 장비의 고장이 발생하면 고장 수리부속의 즉각적인 지원활동이 시작된다. 이 때 재고가 있으면 고장부속품을 수리하기 전에 우선적으로 교체하고, 재고가 부족한 경우 그 결합체를 포함한 구성품을 사용할 수 있다.

7. 부품별 중요도는 각각 다를 수 있다.

8. 수요품목 및 비수요 필수품목은 최소 1개 이상 구매한다.

9. 장비의 고장은 운영기지에서만 발생하

로 창 및 해외 보급지원 단계에서 구성품의 재고고갈은 장비 불가동에 직접 영향을 주지 못하고 조달기간에만 영향을 준다.

3.3 모형의 개념

본 연구에서 제안하는 모형은 기지, 창 그리고 공급자의 재고단계를 포함하며, 부품의 계층적구조(결합체와 구성품의 관계)를 추가하고, 재고량 보충시간을 고려하는 특성이 있으며 MEMSIC(Multi Echelon Multi - Structured Items Control Model) 모델이라고 칭한다.

CSP운용과 관련된 모형은 입력자료 구축모형, 최적구매량 결정모형, 부대별 할당모형으로 구분되나 여기에서는 최적구매량 결정모형과 부대별 할당모형을 통합한 하나의 모형을 제시한다.

서비스 수준을 최대화하는 목적식은 앞에서 살펴본 재고부족량 모델을 응용하며, 재고가 부족한 경우에는 정비능력을 초과하는 고장에 대해서만 실질적인 후주문(backorders)이 발생하는 것으로 한다. 시스템의 재고 부족량은 지원가능한 시간을 고려하여 가치를 다르게 구성한다. 이 모형은 결정기간이 장기간 소요되는 CSP에 적용하기 위한 것이므로 계산의 복잡성 해소보다는 효과성과 정확성을 고려한다.

3.4 기호의 정의

모형에서 사용되는 주요 기호는 수리부속의

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

s_{ij} : i 에서 품목 j 의 재고량(양의 정수)

i (재고위치) = {창 : 0, 기지 : 1, 2,n }

j (품목) = { 1, 2, m }

r_{ij} : 정비능력(율), R_{ij} : 정비소요시간

A_{ij} : i 단계에서 j 품목을 상위 단계로 주문하는 시간 + i 단계로의 회송시간

F_{ij} : 고장원인파악시간 + 탈거 및 장착시간

t_{ij} : 기지 i 의 품목 j 의 고장을 해소하는데 소요되는 총 시간

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

이하 $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$

P_{ij} : 기지 i 에서 품목 j 의 고장해소를 위해 사용하게 되는 품목 j 의 양.

Q_{ij} : 기지 i 에서 품목 j 의 기대 후주문량 (expected backorders)

D_{ij} : 기지 i 에서 품목 j 의 고장해소를 위해 창에서 지원되는 j 품목의 양

H_{ij} : 기지간 지원이 가능한 양, G_{ij} : 기지간 지원소요시간

V_{ij} : 기지 i 에서 j 품목 청구시 창에서 j 품목의 기대 후주문량 (expected backorders)

B_{ij} : 기지 i 에서 j 품목의 고장을 구매자의 재고 및 정비지원으로 해소하지 못한 기대 후주문량

C : CSP를 구매할 수 있는 총 가용예산,

c_j : CSP구매시 수리부속 j 의 단위당 가격,

α_j : 장비별 중요도

λ_{ij} : i 에서 품목 j 의 단위기간당 평균고장량,

y : CSP 운용기간

P_{ij}^- : 기지 i 에서 품목 j 의 고장해소를 위해 해당 구성품을 사용하게 되는 양 ($j =$ 결합체)

D_{ij}^- : 기지 i 에서 품목 j 의 고장해소를 위해 창에서 지원되는 구성품의 양 ($j =$ 결합체)

3.5 모형의 설계

MEMSIC 모델에서 채택한 목적함수는 기지에서 장비의 고장이 발생했을 때 고장을 해소하기 위한 총 소요시간을 최소화하는 s_{ij} 값들을 구하기 위한 것이다.

여기에 부품의 상대적 중요도를 곱하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Min } T(S) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} \cdot \alpha_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m c_j s_{ij} \leq C \quad (2)$$

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

$$\sum_{i=0}^n s_{ij} \geq 1, \quad (3)$$

여기에서 t_{ij} 는 정비시간, CSP 보급시간, 기지간 이동시간 등의 합으로 표시되는 시간 개념이며 경제적 비용은 포함되지 않는다.

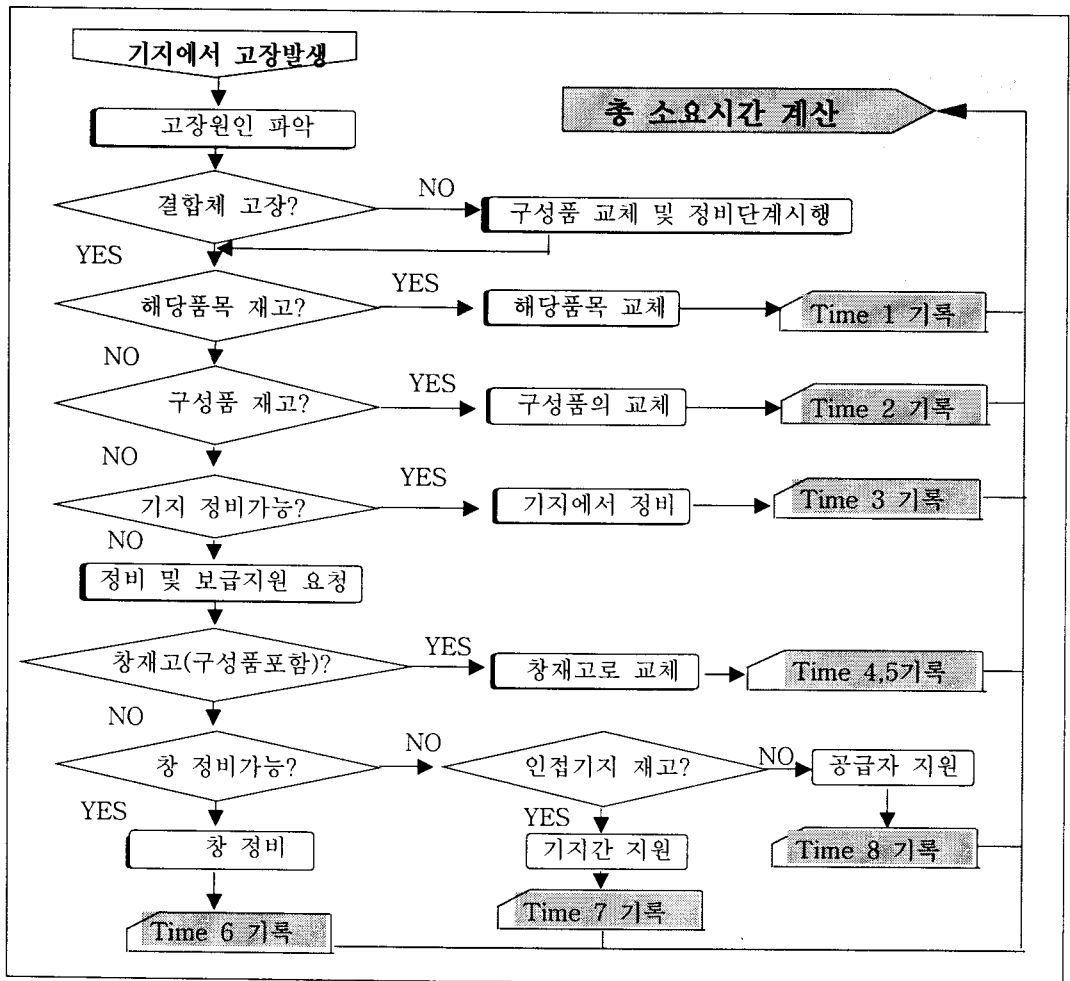
기지 i 에서 품목 j 의 고장해소에 소요되는

시간 t_{ij} 는 기지에서 해당 부품의 재고를 사용하는 시간(Time 1), 구성품의 재고를 사용하는 시간(Time 2), 재고가 부족하여 정비 하는 시간(Time 3), 정비가 불가하여 창 의 해당 품 목 재고를 사용하는 시간(Time 4), 창 의 구성 품 재고를 사용하는 시간(Time 5), 창 의 재 고 가 부족하여 정비지원을 받는 시간(Time 6), 인접기지의 재고를 지원받는 시간(Time 7) 그 리고 창과 인접기지의 지원도 불가하여 공급

자의 지원을 받는 시간(Time 8)의 합으로 나 타낼 수 있다.

$$t_{ij} = \text{Time 1} + \text{Time 2} + \text{Time 3} + \text{Time 4} + \text{Time 5} + \text{Time 6} + \text{Time 7} + \text{Time 8} \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

<그림 1>은 고장장비를 완전하게 가동시키 는데 소요되는 시간의 흐름을 나타낸 것이다.



<그림 1> 정비 및 보급지원시간의 흐름

3.6 모형의 전개(Computation)

가용한 예산 내에서 가상의 재고수준 S를 설정하고 이에 따른 t_{ij} 를 계산하는 과정을 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 t_{ij} = & P_{ij} \cdot F_{ij} + P_{ij}^- \cdot F_{ij}^- \\
 & + Q_{ij} \cdot r_{ij} \cdot R_{ij} + D_{ij} \cdot (F_{ij} + A) \\
 & D_{ij}^- \cdot (F_{ij} + A_{ij}) + V_{ij} \cdot r_{0j} \cdot R_{0j} \\
 & + H_{ij} \cdot G_{ij} + B_{ij} \cdot A_{0j} \quad (5)
 \end{aligned}$$

다음은 위 식을 계산하기 위한 세부적용과정을 수식으로 표현한 것이다. 이때 k번째 Step까지 해소될 수 있는 기대 고장량(x_{ij})을 Xk_{ij} 로 표기한다.

Step 0

제약조건 식(2)를 만족하는 s_{ij} 값들을 정한다. 초기 값들은 모두 1로 할 수 있다.

Step 1

i 와 j 를 정하고 기대 고장량에서 재고가 가용한 만큼을 교체하는데 소요되는 시간 t_{ij} (Time 1)을 계산한다. 이후 t_{ij} (Time k)를 Time k로 표시로 표시한다.

$$\text{Time 1} = P_{ij} \cdot F_{ij} \quad (6)$$

이때

$$\begin{aligned}
 P_{ij} = & \sum_{x_{ij}=0}^{X1_{ij}} \{x_{ij} \cdot P(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)\} \\
 & (X1_{ij} = s_{ij})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p(x | \lambda_{ij} \cdot y) = & e^{-\lambda_{ij} \cdot y} \frac{(\lambda_{ij} \cdot y)^x}{x!} \\
 & (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m)
 \end{aligned}$$

Step 2

기지에서 해당결합체를 초과하는 고장이 발생했을 때 구성품의 재고를 사용하는 만큼의 소요시간 Time 2를 계산한다.

$$\text{Time 2} = P_{ij}^- \cdot F_{ij}^- \quad (7)$$

$$P_{ij}^- = \sum_{x_{ij} > X1_{ij}}^{X2_{ij}} (x_{ij} - X1_{ij}) \cdot p(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)$$

($i = 1, 2, \dots, n$), ($j = \text{결합체}$),

부품이 최상위 구성품일 경우 $P_{ij}^- = 0$

$$(X2_{ij} - X1_{ij}) =$$

$$(s_{ij}^0 - P_{ij}^0) \cdot \frac{\lambda_{ij} \cdot y - P_{ij}}{\sum_{j=1}^{l^+} (\lambda_{ij} \cdot y - P_{ij})} \quad (8)$$

(l^+ = 구성품에 포함된 l 개의 결합체와 해당 구성품)

s_{ij}^0 : 기지 i 에서 j 가 포함된 구성품의 재고량,

P_{ij}^0 : 기지 i 에서 결합체 j 가 포함된 구성품의 고장으로 사용하는 기대량

Step 3

기지에서 결합체의 재고와 구성품의 재고를 초과하는 기대 후주문량을 계산하고 기지 정비능력만큼의 정비에 소요되는 시간 Time 3을 계산한다.

$$\text{Time 3} = Q_{ij} \cdot r_{ij} \cdot R_{ij} \quad (9)$$

$$Q_{ij} = \sum_{x_{ij} > X2_{ij}}^{\infty} (x_{ij} - X2_{ij})p(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)$$

$$(X3_{ij} = X2_{ij} + (Q_{ij} \cdot r_{ij}))$$

Step 4

기지에서 정비가 불가능한 고장량에 대해서는 창에 지원을 요청하고 창에서 지원이 가능한 양만큼 지원받는 시간 Time 4를 계산한다. 창 의 재고는 인접기지에 지원한 기대량 만큼 제외하고 계산한다.

$$\text{Time 4} = D_{ij} \cdot (F_{ij} + A_{ij}) \quad (10)$$

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

$$D_{ij} = \sum_{x_{ij} > X3_{ij}}^{X4_{ij}} (x_{ij} - X3_{ij})p(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)$$

$$(X4_{ij} - X3_{ij}) = s_{oj} \cdot \frac{\lambda_{ij} \cdot y - X3_{ij}}{\sum_{i=1}^n (\lambda_{ij} \cdot y - X3_{ij})} \quad (11)$$

Step 5

기지에서 다음단계(창)에 요청한 품목의 재고가 부족한 경우 가용함 범위내에서 해당품목을 포함하는 구성품의 재고를 지원받는 시간 Time 5를 계산한다.

$$\text{Time 5} = D_{ij}^- \cdot (F_{ij}^- + A_{ij}) \quad (12)$$

$$D_{ij}^- = \sum_{x_{ij} > X4_{ij}}^{X5_{ij}} (x_{ij} - X4_{ij})p(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)$$

$$(X5_{ij} - X4_{ij}) =$$

$$s_{oj0} \cdot \frac{\lambda_{ij} \cdot y - D_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\lambda_{ij} \cdot y - D_{ij})} \quad (13)$$

Step 6

창의 재고품 지원이 불가능한 고장에 대해서는 창 의 정비지원을 받는 시간 Time 6을 계산한다.

$$\text{Time 6} = V_{ij} \cdot r_{0j} \cdot R_{0j} \quad (14)$$

$$V_{ij} = \sum_{x_{ij} > X5_{ij}}^{\infty} (x_{ij} - X5_{ij})p(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)$$

$$(X6_{ij} = X5_{ij} + (V_{ij} \cdot r_{0j}))$$

Step 7

창의 정비능력을 초과하는 고장에 대해서는 해당 기지를 제외한 다른 기지의 재고가 가능한지 판단하고 가능한 만큼의 소요시간 Time 7을 계산한다.

$$\text{Time 7} = H_{ij} \cdot G_{ij} \quad (15)$$

$$H_{ij} = \sum_{x_{ij} > X6_{ij}}^{X7_{ij}} (x_{ij} - X6_{ij}) \cdot p(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)$$

$$(X7_{ij} - X6_{ij}) =$$

$$\sum_{i=0}^{n(-i)} (s_{ij} + s_{ij0} - P_{ij}^- - P_{ij0}^- - P_{ij}^-) \cdot \frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^{n-i} Q_{ij} + V_{ij}}$$

($n-i$ 는 기지 i 의 인접기지를 표시, i 제외)

Step 8

고장이 발생한 기지, 인접기지 그리고 창 의 지원으로도 고장해소가 불가능한 고장량을 계산하고 공급자의 지원을 받는데 소요되는 시간 Time 8을 계산한다.

$$\text{Time 8} = B_{ij} \cdot A_{0j} \quad (16)$$

$$B_{ij} = \sum_{x_{ij} > X7}^{\infty} (x_{ij} - X7) \cdot p(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)$$

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

Step 9

총 소요시간(t_{ij})를 계산한다.

i, j 를 변화하여 Step 1으로 이동한다.

즉, Step 1에서 t_{ij} 를 t_{11} 로 시작하면 Step 9까지 수행한 후 t_{11} 을 계산하며, i, j 를 변화하여 Step 1부터 Step 9까지를 $n \cdot m$ 회 만큼 반복한다.

Step 10

$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot \alpha_{ij}$ 가 T보다 작으면 T로 치환한다(T의 초기값은 임의의 큰 수로 한다).

식(2)를 만족하도록 s_{ij} 를 변화하여 Step 0으로 이동한다.

제약조건을 만족하는 s_{ij} 값들의 조합이 더 이상 없으면 계산을 종료하고 최소값 T를 만족하는 s_{ij} 의 조합을 구한다.

Step 10에서 Step 0로 반복되는 계산과정을 축소하는 것은 시스템에 따라 다양한 방법이 적용될 수 있으나 여기에서는 생략한다.

3.7 모형의 확장

위의 기본 모형 외에 특정품목(j)에 대한 해외 긴급정비를 위한 예산이 할당되었을 경우에는 다음과 같이 추가적인 제약식을 설정할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n q_j B_{ij} \leq Q_j \quad (17)$$

q_j : 긴급정비 소요비용, Q_j : 긴급정비 예산
CSP 구입에 대한 추가 예산이 있을 때에는

식(38)의 A_{0j} 에 CSP구입시 소요되는 단가와
의 비율을 곱하여 계산할 수 있다.

CSP가 부족하여 긴급정비 예산을 사용할 때
부품의 가격(q_j)는 CSP구입시의 단가(c_j)보다
크기 때문에 c_j 와 q_j 값은 구분되어야 한다.
일반적으로 CSP 단가는 주장비와 동시에 구입
할 때보다 추가로 구입할 때 훨씬 고가이며 수
송비용이 추가된다.

수리부속 구매후 CSP운용기간에는 기지간
수리부속의 지원이나 손상실된 수리부속이 발
생할 때마다 예산제약 대신에 다음의 제약식을
사용하여 재배치할 수 있다.

$$\sum_{i=0}^n S_{ij} = K_j \quad (j=1,2, \dots, m) \quad (18)$$

K_j : 현재의 총재고 수량(공급자 재고 제외)

3.8 소결론

본 연구에서 고려한 모형과 적용과정에서 선
행 모형과의 차이로 인한 효과를 다음과 같이
정리할 수 있다.

첫째, 장비운용부대에서 정비에 앞서 재고를
우선 사용하도록 하였다. 정비를 우선으로 하
는 경우와 다음과 같은 차이를 알 수 있다.

$$(P_{ij} \cdot F_j) - P_{ij} \cdot [r_{ij} \cdot R_{ij} + (1 - r_{ij}) \cdot F_{ij}] \\ = r_{ij} \cdot P_{ij} \cdot (R_{ij} - F_j). \quad (19)$$

일반적으로 R_{ij} (정비시간)이 F_j (탈거 및 장
착시간)보다 많이 소요되므로 기지에 재고가
가용할 경우 식(19) 만큼 고장 해소시간을 감
소시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

둘째, 구성품과 결합체의 계층적 구조를 적용하였다. 거대한 장비나 무기체계의 수리부속이 결합체와 구성품으로 구분되며 결합체의 고장시 구성품의 사용이 가능하다. 따라서 부품 구조를 정확하게 적용하면 구성품과 부분품의 구분을 하지 않은 기존의 연구보다 유리하다.

식(7)에서 $\text{Time } 2 = P_{ij}^- \cdot F_j^-$ 이고,

$$P_{ij}^- = \sum_{x_{ij} > s_{ij}}^{x_{ij}^2} (x_{ij} - s_{ij}) \cdot p(x_{ij} | \lambda_{ij} \cdot y)$$

므로 최소한 $P_{ij}^- \cdot (r_{ij} - F_{ij}^-)$ 시간만큼 이익임을 알 수 있다. 결과적으로 기존의 연구들은 구성품의 재고를 최적치보다 적게 보유하고 결합체 재고를 많이 유지하게 된다.

셋째, 기지간 지원절차를 적용하여 효과를 향상시켰다. 기지간 수리부속의 지원이 가능하도록 구성하면 해당 기지와 창에서 결합체와 해당구성품의 재고가 모두 부족할 때 정비소요 시간을 $H_{ij} \cdot (A_{0j} - G_{ij})$ 의 비율만큼 감소시킬 수 있으며 최적값도 변하게 된다(Time 7 - Time 6).

넷째, 부품별 중요도를 고려하여 활용도를 높였다. 기존의 연구들에서 고려하지 않았지만 각 품목별 고장이 미치는 영향에 따라 재고 조달기간동안 일부의 서비스가 가능한 경우가 있으므로 부품별 가중치를 적용하였다. 대부분의 장비에서 전원공급장치를 기준으로 산정할 수 있으며 화력장비의 경우 사격 통제 장비를 기준으로 할 수 있을 것이다.

마지막으로, MEMSIC모형은 전 장비를 가동

하는데 소요되는 시간을 최소화 하는 새로운 목적함수를 제시하였으며 공급자지원을 고려하는 3단계 재고모형으로 타 연구보다 한층 향상된 모델을 제시하였다.

공급자를 고려하게 되어 품목별 기대 후주문량은 공급자의 지원기간에 비례하여 상대적 가치가 다르게 인식되는 것이다.

본 연구의 과정에서 뿐만 아니라 많은 모형이 확률적 모형을 사용하기 때문에 어느 정도의 오차가 발생하게 되며, 이에 대비한 긴급 또는 추가예산이 반드시 필요하다.

계산 과정에서 결합체를 포함하지 않는 구성품은 고장이 독립적으로 발생하므로 별도의 과정을 거칠 수 있으나 결합체가 포함된 구성품과 결합체는 반드시 동시에 t_{ij} 를 계산하여야 한다.

또한 계산과정을 단순화 시키기 위하여 직관적으로 s_{ij} 값의 변화 범위를 축소시킬 수 있으나 여기에서는 세부내용을 생략한다.

4. 예제실험

4.1 입력자료의 구성

대상 장비의 모든 부속품을 적용하면 분석 대상이 커지므로, 신규전력화 되어 운용중인 장비에서 분석의 의미가 있는 2개의 구성품과 2개의 결합체를 선정하였다. 이중 comp01, 2는 구성품이며 구성품 2은 2개의 결합체를 포함하고 있다. 구성품 2는 해외 구매품이며 구

성품 3은 기지단계에서 정비가 불가하다. <표 1>은 위에 제시된 사례의 분석을 위한 자료를 요약하고 있으며, 이러한 자료는 해당 장비의 여건을 고려한 값을 적용하였다.

<표 1> 입력자료

구 분	Depot				Base 1				Base 2			
	com	com	assem	assem	com	com	assem	assem	com	com	assem	assem
	1	2	21	22	1	2	21	22	1	2	21	22
λ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	1.62	0.81	1.62	1.20	2.43	1.20	2.43
$\lambda*y$	0.00	0.00	0.00	0.00	2.43	4.86	2.43	4.86	3.60	7.29	3.60	7.29
정비율(r)	0.75	0.50	0.70	0.70	0.50	0.00	0.33	0.33	0.50	0.00	0.33	0.33
정비시간(R)	0.15	0.30	0.20	0.20	0.20	10.0	0.30	0.20	0.20	10.0	0.30	0.20
보급시간(A)	5.00	1.13	1.13	1.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10
중요도(a)	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00	1.00
단위가격(c)	0.79	2.18	0.83	0.46	0.79	2.18	0.83	0.46	0.79	2.18	0.83	0.46
교체시간(F)	0.10	0.10	0.02	0.03	0.10	0.10	0.02	0.03	0.10	0.10	0.02	0.03
기지간지원시간	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17

창의 고장발생량으로 표시된 것은 본문에서 제시된 식을 사용해서 구한 정비요구량이며, 기지간 지원시간은 행정소요기간과 부속이동 시간을 합한 것이다.

4.2 실험결과

실험치를 적용해본 결과 많은 입력자료들이 요구되며 정확한 입력자료의 획득이 어려움을 알았다.

신규 시스템을 도입하는 경우에 장비에 관한 입력자료는 생산 및 공급자로부터 구할 수 있으나 단계별 정비능력과 보급시간은 구매자의 의사결정에 따라 결정할 수 있다. 여기서는 산술평가를 적용하였으며 CSP적용기간동안 실제 가동시간을 고려하여 적용하였다.

<표 2> 실험 결과

output	depot	base1	base2	sum	budget
compo1	1	1	3	5	3.94
compo2	1	4	9	14	30.52
assem21	1	3	1	5	4.16
assem22	2	2	2	6	2.76
sum					41.38

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} \cdot \alpha_{ij} = 12.895$$

<표 2>는 <그림 1>의 절차를 이용하여 계산한 결과를 나타낸다.

실험은 Excel 2003의 함수와 Data 처리기능을 이용하였으며, s_{ij} 값들은 제약조건(식 2, 3)과 정수제약조건을 추가하여 해찾기를 하였다.

<표 3>은 업체 제시량, 실 사용량과 실험 결과치를 비교한 것이다. 총 예산은 실제 사용한 예산을 제약식으로 사용했기 때문에 예산 절감효과를 나타낼 수 없었다.

실험치의 품목별 소요량은 실사용량보다 업체제시량과 근사하였다. 이는 업체에서 제시한 고장빈도를 사용하여 실험하였으며, 고장빈도가 미치는 영향이 크기 때문이다. 실소요량과 실험치와의 차이가 큰 것은 그만큼 입력자료(특히 고장빈도)의 오차가 크다는 것을 짐작할 수 있게 한다. 따라서 CSP소요산정은

무엇보다도 정확한 고장률과 정비시간 등이 선행되어야 함을 알 수 있다. 실제 운용한 결과는 구성품 1의 재고 부족으로 해외에서 재구매 하는 시간만큼 장기간 고장상태로 유지되는 장비가 많음을 알 수 있다. 이는 CSP구매시 고장빈도 뿐 아니라 보급소요시간을 반드시 고려해야함을 나타낸다.

<표 3> 실험결과치의 비교

구분	업체 제시량	실 사용	실험결과	업체 제시금액	실 사용예산	실험치의 예산
compo1	6	10	5	4.73	7.88	3.94
compo2	12	8	14	26.16	17.44	30.52
assem21	6	2	5	4.98	1.662	4.16
assem22	12	1	6	5.52	0.46	2.76
sum				41.39	27.442	41.38
소요시간	19.285	27.115	12.895			

업체 제시량과와 실험결과치의 비교에서 결합체의 실험결과가 작아지고 구성품의 실험결과치가 증가하였다. 이는 결합체의 고장시 구성품을 사용할 수 있게 설계한 본 연구의 모델에서 결합체의 소요를 감소시키면서 조달기간이 긴 구성품 1을 추가 구입할 수 있게 되면서 나타났다.

현 실험치의 결과만을 고려했을 때 구매자는 12.895 단위시간의 정비 및 보급시간이 소요되고 업체 제시량 기준시 19.285 단위시간이 필요하였다. 이는 고장율과 정비시간을 판단하는 과정에서의 오류를 고려하면 정확한 절약의 수치는 아니지만 같은 예산으로 30%

이상의 장비 불가동시간을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

현 상황을 최대한 반영하여 합리적으로 구성한 모델의 예제 실험결과라고 하지만 충분한 재고를 유지하려는 CSP에 대해서는 경제적인 효과를 증명하기에 여러 가지 제한사항이 있다. 소요시간에 가장 많은 영향을 미치는 품목별 고장빈도가 작고, 일부품목은 안전재고분을 정하여 일정량 이상 구입하기 때문이다.

또한 비수요 필수품목은 소요발생이 예상되지 않더라도 만약의 사태에 대비하기 위해 최소수량을 구매하는 것이므로 소요가 발생하지

않은 것을 경제적으로 분석한다는 것이 모순이기 때문이다.

따라서 본 모형은 정확한 CSP소요를 산출하기 위하여 적용이 가능한 범위내에서 합리적이고 과학적인 방법을 제시한 것이며 경제적인 측면은 부수적인 것이라고 할 수 있다.

계산과정을 단축하기 위한 많은 요소가 발견되었으나 이 과정은 생략하기로 한다.

5. 결 론

본 연구에서는 신규 무기체계를 구매할 때 동시에 구입하게 되는 수리부속의 적정 구매량과 지원 단계별 최적 재고량을 구하기 위한 모형을 제시하였다. 이를 위하여 METRIC 모형에서부터 시작된 다단계 재고모형들을 특성별로 분석하고 이를 활용하고자 하였다. 군수분야 적용을 위해 제시된 다양한 모형들을 현 시스템에 적용하는 과정에서 다음과 같이 구성한 MESIC모형이 효과적임을 살펴보았다.

첫째, 부품을 구성품과 결합체로 구분하여, 결합체 고장시에는 결합체 재고뿐 아니라 구성품의 재고를 활용할 수 있도록 구성한다.

둘째, 각 부품의 교체 및 정비시간의 차이에 따라 정비 및 교체에 대한 우선순위를 결정해야 하며, 전자장비의 경우에는 교체를 우선으로 한다.

셋째, 기지간 지원을 가능하게 한다.

넷째, 목적함수에 부품별 중요도를 적용한다.

다섯째, 재고 부족량에 대해서는 조달기간을 고려하여 다른 가치를 부여한다.

본문에서 제시한 모형 MESIC에서는 기존의 연구에서 연구목적상 생략하거나 단순하게 가정한 요소를 포함하여 구성하였다. 비록 시스템의 특성에 따른 독창적인 이론을 제시하지 못했지만, 기존의 연구에 비해 가장 많은 요소를 고려하여 현실적으로 모형을 구성했다는 점에서 의의를 찾을 수 있다.

장비를 완전하게 가동시키는데 필요한 시간을 최소화 하는 목적식의 값은 전시에 완전가동을 요구하는 軍이나, 성수기를 대비하는 시스템에서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

그러나 수송비용, 보관비용, 정비활동을 위한 정비인력 및 장비운영비 등 경제적인 면을 충분히 고려하지 못했다. 물론 군수시스템에서 경제적인 재고비용에 대한 중요성이 저하될 수 있지만 이러한 연구가 보편화되기 위해서는 재고유지비용 및 주문비용에 따른 발주량과 주문점의 변화도 고려해야 할 것이다. 또한 본 모형을 효과적으로 적용하기 위해서 계산과정을 단순화 시키는 노력과 아울러 근사 최적해를 경험적 방법(local search 또는 meta heuristic 등)으로 구하는 노력이 병행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Sherbrooke, C. C., "METRIC: A Multi-echelon Technique for Recoverable Item Control," *Operations Research*, Vol. 16, pp. 122-141. 1968.
- [2] 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.
- [3] Muckstadt, J. A., "A Model for a Multi - item, Multi - echelon, Multi - indenture Inventory System," *Management Science*, Vol. 20, pp. 472-481. 1973.
- [4] Richard, A. R., and McMaster, A. W., "Wholesale Porvisioning Models," NPS55-83-026, Naval Postgraduate School, Sep. 1983.
- [5] Axsater, S., "Modeling Emergency Lateral Transhipments in Inventory Systems," *Management Science*, Vol. 36, No. 11, pp. 1329-1338. 1990.
- [6] Sherbrooke, C. C., "Multiechelon Inventory Systems with Lateral Supply," *Naval Research Logistics*, Vol. 39, pp. 29-40. 1992.
- [7] Albright, S. C. and A. Gupta, "Steady -state Approximation of a Multi-echelon Multi - indentured Repairable - item Inventory System with a Single Repair Facility," *Naval Research Logistics*, Vol. 40, pp. 479-493. 1993.
- [8] Gross, D., D. R. Miller, and R. M. Soland, "A Closed Queueing Network Model for Multi- echelon Repairable Item Provisioning," *IIE Transactions*, Vol. 15, pp. 344-352. 1983.
- [9] Gross, D. and J. F. Ince, "Spares Provisioning for Repairable Items: Cyclic Queues in Light Traffic," *AIIIE Transactions*, Vol. 10, pp. 307-314. 1987.
- [10] Albright, S. C. and A. Soni, "Markovian Multiechelon Repairable Inventory System," *Naval Research Logistics*, Vol. 35, pp. 49-61. 1988.
- [11] Verrijdt, J. H. C. M and A. G. de Kok, "Distribution Planning for a Divergent Depotless Two-echelon Network under Service Constraints," *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, pp. 341-354. 1996.
- [12] Graves S, C., "A multi-echelon inventory model with Fixed Replenishment Intervals", *Management Science*, Vol 42, No. 1, January. pp. 1-18. 1996.
- [13] Hausman W. H. and N. K. Erkip, "Multi-Echelon vs. Single-Echelon inventory control policy for low-demand items", *Management Science*, vol 40. 1994.
- [14] Das, C. "Supply and Redistribution Rules for Two-location Inventory System : One Period Analysis," *Management Science*, Vol. 21,

- pp.765-776. 1975.
- [15] Hoadley, B. and D. P. Heyman, "A Two-echelon Inventory Model with Purchase, Dispositions, Shipments, Returns and Transshipment," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 24, pp. 1-19. 1977.
- [16] Karmarkar, U.S., and N. Patel, "The One-period, N-location Distribution Problem," *Naval Research Logistic Quarterly*, Vol. 24, pp. 559-575, 1977.
- [17] Lee, H. L. "A Multi-echelon Inventory Model for Repairable Items with Emergency Lateral Transshipments," *Management Science*, Vol. 33, No. 10, pp. 1302-1316. 1987.
- [18] Sherbrooke, C. C., "VARI-METRIC : Improved Approximations for Multi-indenture, Multi-Echelon availability Models", *Operation Research*, vol 34, No. 2, March-April. 1986.
- [19] 유형근, 김만식, 김중수, "수리가능한 군 수품의 여유재고 수준 결정기법", *한국군사운영분석학회지*, Vol. 16, No. 2. December. pp. 96-104. 1990.
- [20] Palm, C., "Analysis of the Erlang Traffic Formula for Busy-Signal Arrangements," *Ericsson Technics*, Mo 5, pp. 39-58, 1938.
- [21] 신규철, "수리가능 재고시스템에서의 여유제품 수준의 결정", *한양대학교 박사학위 논문*. 1998.
- [22] 안병기, 김태현, 문성암, "재고정책에 따른 군 공급체인 성과에 관한 연구", *한국방운영분석학회지*, 제28권, 제2호, pp. 1-19. 2002.
- [23] 우제웅, 강맹규, "비정상 상태에서의 동시 조달 수리부속품 재고수준 결정", *한국군사운영분석학회지*, Vol. 24, No. 2. December, pp. 146-161. 1998.
- [24] Albright, S. C. and A. Soni, "An Approximation to the Stationary Distribution of a Multidimensional Markov Process," *III Transactions*, Vol. 20, pp. 111-118. 1988.
- [25] Albright, S. C., "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. 1989.
- [26] Axsater, S., and K. Rosling. "Installation vs. Echelon Stock Policies for Multilevel Inventory Control." *Management Science*, Vol. 39, No. 10, pp. 1274-1280. 1993.
- [27] Graves, S. C., "A Multi-echelon Inventory Model for a Repairable Item with One-for-one Replenishment," *Management Science*, Vol. 31, pp. 1247-1256. 1985.
- [28] Gross, D. and D. R. Miller, "Multi-echelon Repairable Item Provisioning in a Time-varying Environment Using the Randomization Technique," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 31, pp. 347-361. 1984.
- [29] Gross, D., L. C. Kiuoussis, 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.
- [30] Hillestad, R. J., "Dyna-METRIC: Dynamic Multi-echelon Technique for Recoverable Item Control," *Rand Corporation Report No. R- 2785-AF*. 1982.
- [31] Kamran Moinzadeh and K. Prabhu Aggarwal, "An Information Based Multiechelon Inventory System with Emergency orders," *Operations Research*, 45(5), 694-701. 1997.
- [32] Laffont, J. J. and J. Tirole, , "The Regulation of Multiproduct Firms Part I, II : Theory", *Journal of Public Economic*. Vol. 43, pp. 1-66. 1990.
- [33] Muckstadt J. A. and L. J. Thomas, "Are Multi-Echelon Inventory Methods Worth Implementing in systems with Low-Demand-Rate Items?", *Management Science*, Vol, 26, No. 5, May. 1980.
- [34] Muckstadt J. A., "Some approximations in multi- item, multi-echelon inventory systems for recoverable items", *Naval Research Logistics Quart*, Vol. 25, 1978.
- [35] Nahmias S. and S. A. Smith, "Optimizing Inventory Levels in a Two-echelon Retailer system with Partial Lost Sales", *Management Science*, Vol. 40, No. 5, May. 1994.
- [36] Pyke, D. F., "Priority Repair and Dispatch Policies for Repairable-item Logistics Systems," *Naval Research Logistics*, Vol. 37, pp. 1-30. 1990.
- [37] Sheikh, A. K., F. L. Callom, and S. G. Mustafa,, "Strategies in spare parts management using a reliability engineering approach", *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 21. 1991.
- [38] Sherbrooke, C. C., "An evaluator for the number of operationally ready Aircrafts in a multilevel supply system", *Operation Research*, vol 19. 1971.
- [39] Shiggeru, Yanagi, Kazunari Hasegawa and Tetsushi Yuge, "An approximation to the steady state probabilities of a multi-echelon repair model for a series system, *Computer & Industrial Engineering*, 33(3-4), pp. 745-748. 1997.
- [40] Svoronos, A. and Paul Zipkin, "Evaluation of One-for-One Replenishment Policies for Multi-echelon Inventory System," *Management Science*, Vol. 37, No. 1, January. PP.68-82. 1991.

저 자 소 개

- 류 연 옥** (E-mail: kmaryu@hanmail.net)
- 1997 육군사관학교 병기공학전공 졸업(이학사)
- 1997한국과학기술원 경영공학전공 졸업(경영공학석사)
- 현재고려대학교 경영학과 박사과정
- 관심분야국방물류, 무기체계 획득관리
- 주요저서 / 논문
- 민간부문의 감사기법을 응용한 군 감찰제도 발전방향, 육사 화랑대연구소, 1999.
 - 군 수리부속 재고운용을 위한 모형개발에 관한 연구, 한국경영과학회, 1999.
 - 다계단 재고모형의 활용에 관한 연구, 경영학연구, 2002.
-
- 박 명 섭** (E-mail: mspark@korea.ac.kr)
- 1980고려대학교 무역학과(학사)
- 1983미국 버지니아 주립대학 경제학(석사)
- 1987미국 텍사스 주립대학 경영학(박사)
- 현재고려대학교 경영대학 교수, SCM 협회 회장
- 관심분야국방물류, 공급체인관리
- 주요저서 / 논문
- DEA-AR을 이용한 우리나라 도로화물운송업체의 효율성 분석, 한국 SCM 학회지, 한국SCM학회, 2003년 12월.
 - 기업간 협업체계 구현을 위한 공급체인 e-파트너링 추진방안, Information Systems Review, 한국경영정보학회, 2004년 12월.