

Vari-METRIC을 개선한 다단계 재고모형의 효과측정

†윤 혁* · 이상진*

The Effect Analysis of the Improved Vari-METRIC in Multi-Echelon Inventory Model

†Hyouk Yoon* · Sangjin Lee*

■ Abstract ■

In the Multi-Echelon maintenance environment, METRIC(Multi-Echelon Technique for Repairable Item Control) has been used in several different inventory level selection models, such as MOD-METRIC, Vari-METRIC, and Dyna-ETRIC. While this model's logic is easy to be implemented, a critical assumption of infinite maintenance capacity would deteriorate actual values, especially Expected Back Order(EBO)s for each item. To improve the accuracy of EBO, we develop two models using simulation and queueing theory that calculates EBO considering finite capacity. The result of our numerical example shows that the expected backorder from our model is much closer to the true value than the one from Vari-METRIC. The queueing model is preferable to the simulation model regarding the computational time.

Keywords : Inventory Level, Simulation, Queueing Theory

1. 서 론

다단계 정비보급체계하에서 적정 수리부속재고량

을 결정하는 문제는 장비의 가용도 측면에서 매우 중요하다. 부대구조가 점차 기계화되는 군의 경우 적정 수리부속재고량 산정 문제는 그 중요도가 지

논문접수일 : 2010년 07월 12일 논문수정일 : (1차 : 2010년 11월 05일, 2차 : 2011년 01월 04일)

논문게재확정일 : 2011년 02월 22일

* 국방대학교 국방관리학과

† 교신저자

속적으로 상승하고 있다. 수리부속구매 예산은 한정되어 있고 운용해야하는 장비는 점차 늘어나는 현실은 이에 대한 심도 깊은 연구를 필요로 하고 있다. 이렇게 높아지는 관심에도 불구하고 적정 수리부속재고량 산정문제는 여러 가지 복합적인 요소의 작용으로 인해 쉽게 해결되지 못하고 있다. 현재는 실무자들의 경험에 의해 수리부속재고량을 산정하고 있는데 보다 정확한 산정을 위해 계량적 방법론을 적용하기 위한 연구가 이루어지고 있다 [4]. 그러나 계량적 수리모형을 통하여 산정한 수량도 적중률이 낮은 것으로 나타나고 있는데 군에서 사용하고 있는 동시조달수리부속 적정재고산출 모델의 경우 품목수 대비 적중률이 20~30%에 불과하다[5].

군에서 적용하고 있는 수리부속산정 재고모델은 Sherbrooke[16]에 의해 제시된 METRIC(Multi-echelon Technique for Repairable Item Control) 모형으로부터 발전되어 왔다. METRIC은 부대(Base)와 창(Depot), 2단계 정비보급체계에서 평균 재고부족량의 합을 최소화하는 복구성 수리부속의 위치와 재고량을 동시에 결정하기 위해 고안되었다. 따라서 평균재고부족량 계산 논리는 METRIC 모형의 핵심 내용이 된다.

METRIC이 근사기법(Approximation)을 적용한 것에 반하여 Simon[19]은 수요에 종속적인 창 지연시간을 고려할 수 있는 Simon 모형을 제시하여 평균재고부족량을 보다 정확하게 구할 수 있었다. 그러나 Simon 모형은 계산의 복잡성으로 인해 계산시간이 길어져 현실적으로 사용되지 못하였다.

METRIC을 개선하여 Muckstadt[14]는 MOD-E-TRIC을 개발하였는데 이것은 수리부속의 계층을 고려한 모형이다. 그러나 METRIC과 MOD-METRIC은 재보급선상 재고수량을 포아송 분포로 가정하므로써 평균재고부족량을 실제보다 적게 계산하는 단점이 있었다. 이를 보완하기 위하여 Slay [22]는 Vari-METRIC 모형을 개발하였으며 Sherbrooke[18]는 수치예제를 통해 MOD-METRIC과 Vari-METRIC을 비교분석하였다. Vari-METRIC

은 재보급선상 재고수량의 분포를 음이항분포로 가정함으로써 보다 정확한 평균재고부족량값을 산출하였다. Vari-METRIC은 미 공군의 적정재고수량결정 모델인 A-AM[15]에 적용되었다. 또한 전 시상황에서 시간에 따른 수요율의 변화를 반영할 수 있는 Dyna-MET-RIC[12]이 개발되어 ASM[21]에 적용되었다. 한국군에서도 Vari-METRIC을 기반으로 한 OASIS II 모델을 동시조달수리부속 소요산정 표준모델로 지정하여 운용하고 있다[2]. 그러나 OASIS II 모델에 의해 선정된 재고수량의 적중률이 매우 낮은 상태이다[5].

Vari-METRIC은 정비능력을 무한대로 가정하여 정비를 위한 대기를 고려하지 않는다. 따라서 이 가정사항은 현실을 제대로 반영하고 있다고 볼 수 없다. 그러므로 정비능력을 고려한 모형을 구성한다면 보다 정확한 적정수리부속 산정을 할 수 있을 것이다.

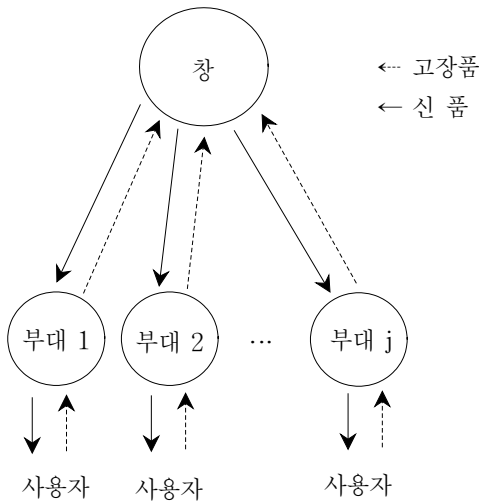
유한정비능력을 고려한 연구로는 Gross[10, 11], Al-gbright[8], Kim[13]의 연구가 있는데 이 연구들은 확률모형을 이용하여 유한정비능력을 고려한 적정재고량 결정 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이 논문들은 적정 재고량 결정 알고리즘에만 치중되어 평균재고부족량 계산에 대한 기존모형과의 차이를 설명하지 못하였다. 서용성[3], 박찬우[1]는 기계수리문제에서 유한정비능력이 고려된 폐쇄형 네트워크를 이용하여 적정재고수량을 결정하는 절차를 제시하였다. 그러나 이 논문들은 장비 전체가 수리를 받는 수리시스템으로 수리부속 재고문제에 적용하기에는 한계가 있다. Fu[9], Slay[20]는 시뮬레이션을 이용하여 유한정비능력을 고려한 적정재고량을 선정하였으나 단일품목에 대한 연구로 다 품목에 적용하기 어렵다.

대부분의 기존연구들은 적정재고량 선정 알고리즘에 초점을 맞추고 있으나 선정된 값의 정확성에 대한 검증내용이 없다. 특히 Vari-METRIC을 포함한 다단계 재고모형에서는 그 핵심논리가 되는 평균재고부족량에 대한 검증이 부재한 상태이다. 따라서 본 논문은 시뮬레이션과 대기행렬이론을 이

용하여 유한정비능력을 고려한 평균재고부족량 계산모형을 만들고 이를 검증하였다.

2. Vari-METRIC 모형

이 절에서는 본 연구의 이론적 배경이 되는 Vari-METRIC 모형을 간략히 제시하고 문제점을 분석한다.



<그림 1> 정비보급시스템

Vari-METRIC 모형에서 가정한 정비보급시스템은 <그림 1>과 같다. 수리부속 고장이 발생하면 사용자는 고장품을 부대 정비소에서 신제품으로 교체 받는다. 이때 교체할 신제품이 없을 경우는 재고부족이 발생한다. 고장품은 부대 정비소에서 수리되며 부대에서 수리 불가할 경우 창으로 후송된다. 고장품을 창으로 후송할 때 부대에서는 창에 신제품을 청구한다. 창에서는 부대의 신제품 청구에 대하여 창에서 보유한 예비재고가 있으면 즉시 불출하지만 예비재고가 없으면 고장품의 수리가 완료될 때까지 불출이 지연되어 재고부족이 발생한다. 이와 같은 시스템에서 평균재고부족량을 계산하기 위한 Vari-METRIC의 주요 가정사항은 다음과 같다.

(1) 기지와 창은 정비능력이 충분하여 고장품은

입고 즉시 정비된다. (2) 각 기지에서 발생하는 창 수리수요에 대한 창에서의 지연시간은 서로 독립이다. (3) 각 기지에서 수요는 포아송분포를 따른다.

Vari-METRIC 모형을 설명하기 위해 필요한 기호들의 정의는 다음과 같다. 여기서는 단일 품목에 대한 모형을 설명한다.

- j = 부대 및 창 번호(0, 1, 2, ..., J)(창은 0을 의미)
- λ_j = 부대 j 에서의 수요율
- λ_0 = 모든 부대에서 창으로 후송되는 수요율
- r_j = 고장품 중 부대 j 에서 수리할 수 있는 확률
- R_j = 부대 j 에서 수리하는데 걸리는 평균수리시간
- R_0 = 창에서 수리하는데 걸리는 평균수리시간 (후송시간+수리시간)
- O_j = 부대 j 의 평균 주문/수송시간(창 ↔ 부대)
- s_0 = 창 예비 재고량
- s_j = 부대 j 예비 재고량
- x_0 = 창 수리 중 재고량
- x_j = 부대 j 재보급선 재고량
- $B_j(s_j)$ = 예비 재고량이 s_j 일 때 부대 j 재고부족량
- f_j = 모든 부대로 부터 오는 창 수요에 대한 부대 j 로 부터 오는 수요의 비율

여기서 부대 j 재보급선 재고량(x_j)은 부대 j 로 복귀할 재고량으로서 수리 중이거나 수송중인 재고량을 말한다. 따라서 부대 예비 재고량(s_j) = 현 재고+ 재보급선 재고량(x_j)이다.

재고부족량은 예비 재고량(s_j)에서 재보급선 재고량(x_j)을 뺀 값이다. 재보급선 재고량은 확률변수이므로 평균 재고부족량을 계산하기 위해서는 재보급선 재고량의 분포를 알아야 한다. Vari-METRIC은 재보급선 재고량 평균과 분산을 구하여 확률분포를 추정한다.

부대 j 재보급선 재고량의 평균은 식 (1)을 이용하여 구한다.

$$E[x_j] = \lambda_j(1-r_j)O_j + \lambda_j r_j R_j + f_j E[B_0(s_0)], x_j \geq 0 \quad (1)$$

$$\text{여기서 } f_j = \frac{\lambda_j(1-r_j)}{\sum_j \lambda_j(1-r_j)}$$

식 (1)의 우변 첫 번째 항은 주문/수송중인 재고량의 평균, 두 번째 항은 부대에서 수리중인 재고량의 평균, 세 번째 항은 창에서 수리가 지연되는 재고량의 평균을 나타내며 f_j 는 창 의 총수요에 대한 부대 j 수요의 비율을 나타낸다. 부대에서 수리 중인 재고량의 평균을 식 (1)에서 보는 바와 같이 수요율($\lambda_j r_j$)과 평균수리시간(R_j)의 곱으로 나타낼 수 있는 것은 기지의 수리능력이 무한대라는 가정 때문이다. 즉 수리를 위한 대기가 발생하지 않기 때문에 평균수리시간에만 영향을 받게 되는 것이다.

정비능력을 무한대로 가정하였다는 것은 대기행렬기호를 이용하여 표현하면 각 단계별 정비시스템을 M/G/∞로 모델링하였다는 의미가 된다. 정비시스템을 M/G/∞로 모델링하게 되면 정비시스템 내에서 수리중인 재고는 수리시간의 확률분포에 상관없이 포아송분포를 따르게 된다[7, 17]. 따라서 정비시스템내에 수리중인 재고의 평균은 포아송 분포의 정의에 따라 고장률에 평균정비 시간을 곱한 값이 된다. 이와 같이 간단하게 각 단계별 평균 정비 중 재고량을 구할 수 있기 때문에 Vari-METRIC은 수리능력을 무한대로 가정하고 있다.

그러나 이 가정은 계산상의 편리성을 확보하기 위한 근사기법의 하나로 실제시스템과는 모순될 수 있다. 실제로 군 정비부대에는 정비능력의 한계가 있어 고장품에 대한 수리가 입고 즉시 실시되지 못하는 경우가 대부분이다. 따라서 이러한 가정의 오류가 평균재고부족량 과소계산을 초래하게 된다. 정비시스템의 유한정비능력을 고려한 모형을 구성하여 이를 적용한다면 더 정확한 평균재고부족량을 산출할 수 있을 것이다. 따라서 수리능력에 제한이 있어서 수리를 위한 대기가 발생한다면 식 (1)은 적절한 식이라고 할 수 없을 것이다. 이와 같은 문제점은 세 번째 항에 표현된 창에서 수리가 지연되는 재고량의 평균을 구할 때도 유사하게 발생한다.

부대 j 재보급선 재고량의 분산은 식 (2)를 이용

하여 구한다.

$$\text{Var}[x_j] = \lambda_j(1-r_j)O_j + \lambda_j r_j R_j + f_j(1-f_j)E[B_0(s_0)] + f_j^2 \text{Var}[B_0(s_0)], \quad x_j \geq 0 \quad (2)$$

식 (2)의 우변 첫 번째 항은 주문/수송중인 재고량의 분산이며 두 번째 항은 부대에서 수리중인 재고량의 분산이고 세 번째와 네 번째 항은 창에서 수리가 지연되는 재고량에 대한 분산을 나타낸다. 창 재고부족량의 분산($\text{Var}[B_0(s_0)]$)은 식 (3)에 의해 계산할 수 있으며 창 재고부족량의 2차 Moment ($E[B_0^2(s_0)]$)는 식 (4)로 구할 수 있다.

$$\text{Var}[B_0(s_0)] = E[B_0^2(s_0)] - \{E[B_0(s_0)]\}^2, \quad s_0 \geq 0 \quad (3)$$

$$E[B_0^2(s_0)] = \sum_{x_0 > s_0}^{\infty} (x_0 - s_0)^2 p(x_0), \quad s_0 \geq 0 \quad (4)$$

식 (4)에서의 $p(x_0)$ 는 창에서 수리중인 재고량의 확률분포로서 창 정비능력을 무한대로 가정하였으므로 식 (5)과 같이 포아송 분포로 표현된다. 여기서 λ_0 는 모든 부대의 수요를 합한 것으로 식 (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$p(x_0) = \frac{(\lambda_0 R_0)^{x_0} e^{-\lambda_0 R_0}}{x_0!} \quad (5)$$

$$\lambda_0 = \sum_{j=1}^J \lambda_j(1-r_j) \quad (6)$$

식 (1)과 식 (2)에 의해 재보급선 재고량의 평균과 분산을 계산할 수 있었다. 그 결과를 적용하여 x_j 의 확률분포를 정의해야 하는데 Vari-METRIC에서는 x_j 의 확률분포를 음이항 분포로 가정한다. 음이항 분포는 모수로 평균과 분산대 평균 비율(V-MR : Variance to Mean Ratio)을 갖는다. 따라서 재보급선상 재고량의 확률분포는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$p(x_j) = \frac{Q^{\frac{E[x_j]}{P}} \left(-\frac{P}{Q}\right)^{x_j} \Gamma(x_j - \frac{E[x_j]}{P})}{x_j! \Gamma(-\frac{E[x_j]}{P})} \quad (7)$$

여기서 Q 는 분산대 평균 비율, P 는 $1-Q$ 를 의미한다. 따라서 부대에서의 평균재고부족량은 식 (7)을 식 (8)에 대입하여 구할 수 있다.

$$E[B_j(s_j)] = \sum_{x_j > s_j}^{\infty} (x_j - s_j)p(x_j) \quad (8)$$

3. 연구 모형

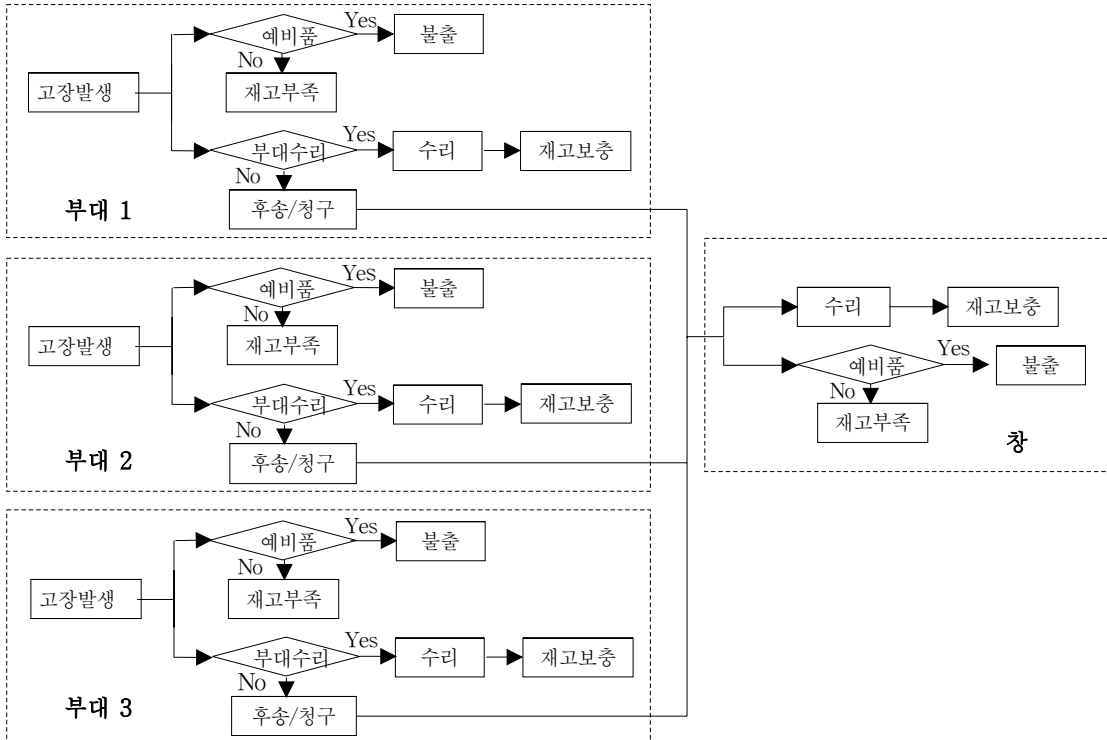
이 절에서는 유한정비능력을 고려한 평균재고부족량을 계산하기 위한 시뮬레이션 모형과 확률모형을 제시한다.

3.1 Simulation 모형

평균재고부족량 계산 시뮬레이션 절차는 기존 준정비보급관련 시뮬레이션 모형 연구들과 유사하며 <그림 2>와 같다[6]. <그림 2>는 3개의 부대와 1

개의 창이 있는 정비보급 시스템에 대한 평균재고부족량 계산 절차를 보여주고 있다.

수리부속 고장발생은 각 부대별 고장 확률분포에 따라 발생한다. 고장품은 부대에 예비재고가 있으면 즉시 교체되지만 예비재고가 없으면 재고도착 할 때까지 재고부족으로 남는다. 고장품이 부대 수리가 가능하다면 부대수리 시간의 확률분포에 따라 수리를 실시한 후 부대 재고에 추가된다. 부대 수리가 불가능하다면 창으로 보내게 되는데 이때 신품 청구도 같이 하게 된다. 부대 및 창에서 수리를 할 때 정비능력을 고려하므로 수리타임이 모두 정비 중 일 때는 정비를 받기 위한 대기가 발생한다. 부대의 신품 청구에 대한 주문/수송 시간도 확률변수로 입력된다. 부대로부터 신품청구를 받은 창에 예비재고가 있으면 즉시 불출되어 주문/수송시간의 확률분포에 따라 부대로 운반된다. 부대에서 수리가 불가하여 창에 도착한 고장품은 창 수리시간



<그림 2> 시뮬레이션 절차도

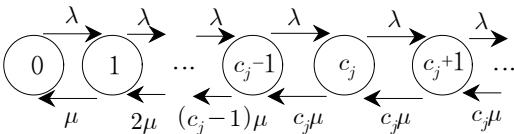
의 확률분포에 따라 수리를 받게 되며 종료시 창 예비재고로 추가된다. 평균재고부족량을 계산하기 위해서 시뮬레이션은 평형상태에 도달할 때까지 실행되며 통계적으로 유의한 값을 얻기 위해 일정 횟수 반복된다.

3.2 확률 모형

확률모형을 설명하기 위한 기호는 제 2장에서 정의한 것을 그대로 사용하였다. 유한정비서버를 고려하면서 추가적으로 정의해야 하는 기호는 다음과 같다. 여기서도 제 2장에서와 같이 단일품목에 대한 확률모형을 구성한다.

- x_{bj} = 부대 j 에서 수리 중인 재고량(수리 중+수리 대기)
- x_{dj} = 부대 j 의 창 재고부족량
- x_{oj} = 부대 j 의 주문/수송중인 재고량
- c_j = 부대 j 의 정비팀수
- c_0 = 창 정비팀수

본 연구에서는 유한능력을 고려한 부대 수리 중 재고량 확률분포를 구하기 위하여 대기행렬모형인 M/M/c 모형에 적용하였다. 부대 정비팀수가 c_j 개 라면 부대 수리 중 재고량 과정은 <그림 3>과 같은 상태전이도표를 갖는다.



<그림 3> 부대 수리 중 재고량 상태전이도표

<그림 3>에서 도착률 λ 의 실제값은 부대 j 수요율과 부대 수리확률의 곱인 $\lambda_j r_j$ 가 되며 서비스율 μ 의 실제값은 평균 부대수리시간의 역수인 R_j^{-1} 이된다. 기호의 정의에서 부대수리중 재고량 확률 변수를 x_{bj} 로 정의하였으므로 x_{bj} 의 확률분포함수

$P(x_{bj})$ 는 M/M/c 대기행렬 모형의 안정상태 확률분포식에 따라 식 (9)와 같이 구할 수 있다[7].

$$P(x_{bj}) = \begin{cases} \left(\frac{a_j^{x_{bj}}}{x_{bj}!}\right)P(0_b), & 1 \leq x_{bj} < c_j \\ \frac{a_j^{c_j}}{c_j!}P(0_b)\rho_j^{x_{bj}-c_j}, & x_{bj} \geq c_j \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{where } \{P(0_b)\}^{-1} = \sum_{x_{bj}=0}^{c_j-1} \frac{a_j^{x_{bj}}}{x_{bj}!} + \frac{a_j^{c_j}}{c_j!(1-\rho_j)},$$

$$a_j = \frac{\lambda_j r_j}{(R_j)^{-1}} \text{ and } \rho_j = \frac{\lambda_j r_j}{c_j (R_j)^{-1}}$$

창 재고부족량 확률분포는 먼저 창 수리중 재고량 확률분포를 구하고 이를 이용하여 창 재고부족량 확률분포를 유도한다. 창 수리 중 재고량 확률분포는 부대 수리 중 재고량 확률분포와 같이 창 수리과정을 모델링하여 얻을 수 있다. 따라서 창 수리중 재고량 확률분포($P(x_0)$)는 식 (10)과 같다.

$$P(x_0) = \begin{cases} \left(\frac{a_d^{x_0}}{x_0!}\right)P(0_d), & 1 \leq x_0 < c_0 \\ \frac{a_d^{c_0}}{c_0!}P(0_d)\rho_d^{x_0-c_0}, & x_0 \geq c_0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{where } \{P(0_d)\}^{-1} = \sum_{x_0=0}^{c_0-1} \frac{a_d^{x_0}}{x_0!} + \frac{a_d^{c_0}}{c_0!(1-\rho_d)},$$

$$a_d = \frac{\lambda_0}{(R_0)^{-1}} \text{ and } \rho_d = \frac{\lambda_0}{c_0 (R_0)^{-1}}$$

부대 j 에 대한 창 재고부족량 확률분포($P(x_{dj})$)는 창 수리중 재고량 확률분포를 이용하여 구할 수 있는데 식 (11)과 같다[13]. 이것은 창 수리 중 재고량을 조건부로 창 수요율에 대한 부대 j 수요의 비율(f_j)을 이용하여 이항분포식을 적용, 확률의 합으로 유도할 수 있다.

$$P(x_{dj}) = \sum_{x_0=x_{dj}}^{\infty} P(x_{dj}|x_0)P(x_0) \quad (11)$$

$$\text{where } P(x_{dj}|x_0) = \binom{x_0-s_0}{x_{dj}} f_j^{x_{dj}} (1-f_j)^{x_0-s_0-x_{dj}}$$

주문/수송 중 재고량 확률분포($P(x_{oj})$)는 수요에

대한 주문/수송 시간만을 고려하면 되므로 평균 주문/수송시간을 적용한 포아송 분포로 구할 수 있으며 식 (12)와 같다.

$$P(x_{oj}) = \frac{\{\lambda_j(1-r_j)O_j\}^x}{x_{oj}!} e^{-\{\lambda_j(1-r_j)O_j\}} \quad (12)$$

재보급선 재고량 확률분포($P(x_j)$)는 부대 수리 중 재고량, 창 재고부족량, 주문/수송 중 재고량의 확률분포를 이용하여 각각의 확률곱으로 구할 수 있으며 식 (13)과 같다. 이 때 각 재고량 확률변수는 독립임을 가정하였다.

$$P(x_j) = \sum_{x_{bj}=0}^{\infty} \sum_{x_{dj}=0}^{\infty} P(x_{bj})P(x_{dj})P(x_{oj}=x_j-x_{bj}-x_{dj}) \quad (13)$$

식 (13)으로 재보급선 재고량 확률분포를 구하면 부대 j 에서의 평균재고부족량은 식 (8)에 의해 구할 수 있다.

4. 수치예제

이 절에서는 수치예제를 통하여 Vari-METRIC과 연구모형을 비교분석한다. 수치예제에 사용할 입력값은 Vari-METRIC과의 비교를 위하여 Slay의 논문에서 사용한 값을 적용하였다[22]. 입력값은 다음과 같다.

- 부대수 = 3, 창 = 1
- $\lambda_j = 0.1/\text{일}$ (모든 부대에서 동일)
- $r_j = 0.5$
- $R_j = 5\text{일}$
- $R_0 = 45\text{일}$
- $O_j = 5\text{일}$ (모든 부대에서 동일)

4.1 시뮬레이션 모형 적용 결과

시뮬레이션 모형은 ARENA 11.0을 이용하여 모

델링하였다. 시뮬레이션 결과는 안정상태의 평균값을 얻기 위해 10,000시간, 100회의 시뮬레이션을 실시한 후 얻은 평균값이며 시뮬레이션 시간은 1회에 12초가 소요되었다. 먼저 시뮬레이션 모형을 검증하기 위하여 수리능력을 무한대로 가정하고 Simon 모형과 비교하였다. Simon model은 Vari-METRIC의 여러 가정사항을 배제하고 일정시점 재고부족량 확률분포를 구하고 이를 이용하여 평형상태 재고부족량을 구한다. 따라서 Simon model은 근사법이 아닌 Exact Solution으로서 근사법을 사용하는 다른 모형의 정확성을 비교할 수 있는 기준이 될 수 있다. Simon model의 세부사항은 Simon[19]을 참조할 수 있다.

<표 1> 평균재고부족량 비교

재고수량	$s_0 = 5$ $s_j = 1$	$s_0 = 6$ $s_j = 1$	$s_0 = 8$ $s_j = 1$	$s_0 = 6$ $s_j = 2$
Vari-METRIC	1.617	1.176	0.636	0.413
Simon	1.629	1.178	0.629	0.416
Simulation	1.615	1.169	0.627	0.413
오차 (Simon vs. Simulation)	0.86%	0.76%	0.32%	0.72%

<표 1>은 수리능력이 무한대라는 가정하에 부대와 창 의 예비재고량에 따른 Vari-METRIC, Simon 모델, 시뮬레이션의 부대 평균재고부족량을 보여주고 있다. <표 1>에서 보는 바와 같이 Simon 모델과 시뮬레이션의 결과값 간의 오차가 1% 이내로 매우 유사한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 구성한 시뮬레이션 모형의 타당성을 검증할 수 있다.

시뮬레이션 모형의 타당성 검증 후 유한정비능력을 고려하여 평균재고부족량을 계산하였다. <표 2>는 정비능력에 따른 결과값을 보여주고 있다.

<표 2>에서 보는 바와 같이 Vari-METRIC과 시뮬레이션 모형의 결과값이 상당한 차이를 보이고 있다. 따라서 유한정비능력 적용시 Vari-METRIC 모형의 결과값은 실제값과 많은 차이를 보일 수 있다.

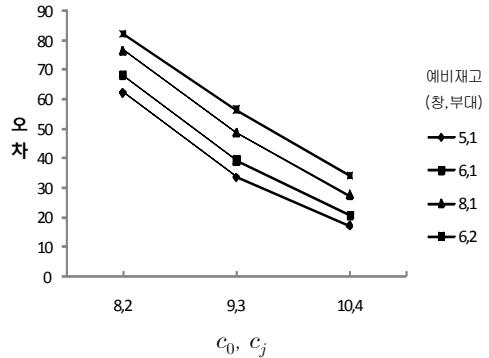
〈표 2〉 평균재고부족량 비교

재고수량	Vari-METRIC	시뮬레이션		
		$c_0 = 8, c_j = 2$	$c_0 = 9, c_j = 3$	$c_0 = 10, c_j = 4$
$s_0 = 5, s_j = 1$	1.167	4.272	2.436	1.950
$s_0 = 6, s_j = 1$	1.176	3.656	1.926	1.476
$s_0 = 8, s_j = 1$	0.636	2.684	1.219	0.864
$s_0 = 6, s_j = 2$	0.413	2.313	0.949	0.627

4.2 확률모형 적용 결과

확률모형은 MATLAB 7.0을 이용하여 계산하였으며 <표 3>은 결과값들을 보여주고 있다. <표 3>에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 결과와 연구모형결과가 유사하다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 연구모형의 정확도를 검증할 수 있다. <표 4>는 시뮬레이션 결과를 실제값이라고 하였을 경우 연구모형과 Vari-METRIC 모형의 오차를 보여주고 있다. <표 4>에서 보는 바와 같이 연구모형에 의

한 결과값이 모든 경우에서 오차가 작다는 것을 확인할 수 있다. 오차의 차이가 가장 큰 경우는 정비팀수가 창(c_0) = 8, 부대(c_j) = 2이고 예비재고량이 창(s_0) = 6, 부대(s_j) = 2일때 연구모형과 Vari-METRIC의 오차가 각각 1.12%, 82.14%를 보여 많은 차이를 보여주고 있다. 또한 Vari-METRIC 모형을 적용한 결과값은 정비팀의 수가 작을 수록 그 오차가 크게 난다는 것을 확인할 수 있는데 <그림 4>는 이것을 보여주고 있다. 즉 부대와 창의 정비팀 가



〈그림 4〉 정비서버수별 오차

〈표 3〉 평균재고부족량 비교

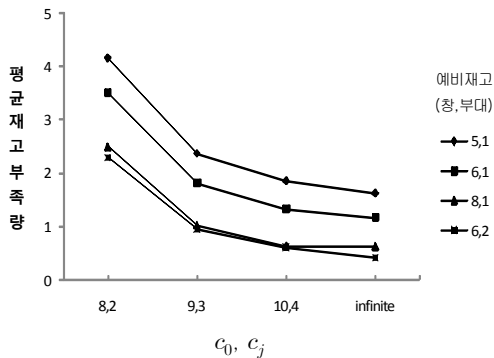
재고수량	$c_0 = 8, c_j = 2$		$c_0 = 9, c_j = 3$		$c_0 = 10, c_j = 4$	
	Simulation	연구모형	Simulation	연구모형	Simulation	연구모형
$s_0 = 5, s_j = 1$	4.272	4.155	2.436	2.368	1.950	1.850
$s_0 = 6, s_j = 1$	3.656	3.512	1.926	1.813	1.476	1.328
$s_0 = 8, s_j = 1$	2.684	2.496	1.219	1.026	0.864	0.631
$s_0 = 6, s_j = 2$	2.313	2.287	0.949	0.951	0.627	0.604

〈표 4〉 시뮬레이션 결과값과의 오차(단위 : %)

재고수량	$c_0 = 8, c_j = 2$		$c_0 = 9, c_j = 3$		$c_0 = 10, c_j = 4$	
	연구모형	Vari-METRIC	연구모형	Vari-METRIC	연구모형	Vari-METRIC
$s_0 = 5, s_j = 1$	2.74	62.20	2.79	33.70	5.13	17.18
$s_0 = 6, s_j = 1$	3.94	68.03	5.87	39.30	10.03	20.80
$s_0 = 8, s_j = 1$	7.00	76.64	15.83	48.56	26.97	27.43
$s_0 = 6, s_j = 2$	1.12	82.14	0.21	56.48	3.67	34.13

동률이 높을 수록 Vari-METRIC의 결과값은 실제 값과의 차이가 커진다는 의미이다. 따라서 군의 정비인력에 대한 가동률을 고려하지 않는다면 모형의 결과값은 실제값과 상당한 차이를 보일 수 있다.

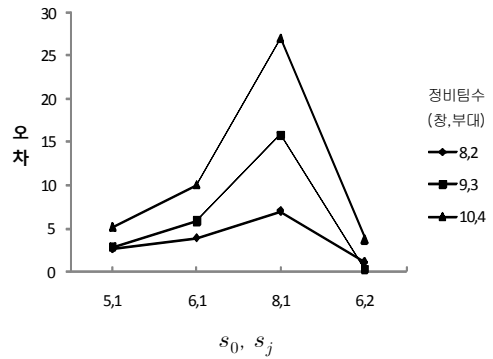
<그림 5>는 본 연구에서 제시한 모형을 적용하여 산출한 부대 및 창고의 정비팀수에 따른 평균재고 부족량을 보여주고 있다. 유한정비팀수의 결과값이 무한대 가정 결과값과 큰 차이를 보이고 있음을 명확하게 확인할 수 있으며 정비능력이 작을 수록 그 차이는 커진다는 것을 확인할 수 있다. 또한 정비능력이 작아짐에 따라 차이의 상승률도 높아진다는 것을 알 수 있다.



<그림 5> 정비서버수별 평균재고부족량

<그림 6>은 예비 재고량별 오차를 보여주고 있다. 예비재고량이 $s_0 = 8, s_j = 1$ 일때까지는 예비재고량이 늘어나면서 오차도 커지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 예비재고량이 $s_0 = 6, s_j = 2$ 일때가 되면 오차가 급격하게 줄어들고 있다. 이와 같은 현상은 재고의 수량 뿐만 아니라 재고위치도 재고 부족량 계산결과에 영향을 미치고 있다는 것을 보여주고 있는 것이다. 오차의 급격한 감소를 보인 경우를 보면 재고의 총 개수는 11개에서 12개로 1개 늘어났지만 창고의 재고는 2개가 줄었고 부대의 재고는 3개가 늘었다. 부대의 재고는 창고의 재고보다 부대의 재고부족량에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 부대의 재고가 늘어나면서 부대의 재고부

족량이 줄어들어 그 오차가 작아지는 것으로 판단할 수 있겠다.



<그림 6> 예비재고량별 오차

5. 결 론

METRIC 모형은 다단계 정비보급구조에서 적정 수리부속의 수량을 계산하기 위해 고안 되었으며 현재 이의 변형인 Vari-METRIC이 사용되고 있다. 그러나 Vari-METRIC은 여러 가지 가정사항으로 현실에 적합하지 않은 경우가 발생하고 있다. 이 중에서 정비능력을 무한대로 가정한 것은 평균재고 부족량 계산에 있어 많은 오차를 가져올 수 있다.

본 연구에서는 정비능력을 유한으로 고려한 시뮬레이션모형과 확률모형을 이용하여 평균재고부족량을 계산하고 이를 Vari-METRIC과 비교하였다. 시뮬레이션 모형에서는 재고부족량을 계산할 수 있는 절차를 모델링하여 평균재고부족량을 계산할 수 있었다. 수치예제를 통해 모형의 정확성을 검증할 수 있었고 Vari-METRIC과의 차이도 확인할 수 있었다. 그러나 시뮬레이션 모형은 시간이 과다 소요된다는 단점이 있어 현실적으로 적용하기에는 제한되는 단점이 있었다. 예를들어 수리부속의 품목수가 600개, 각 수리부속의 적정예비재고량의 합이 1000개, 2계단 정비보급체계라면 시뮬레이션 시간은 $(600 \times 12 \times 1000 \times 2)$ 초 = 166.8일이 소요된다. 또한 각 시뮬레이션 마다 모델을 수정하는

소요가 생겨 시뮬레이션 시간은 더욱 길어질 것이다. 따라서 품목의 수가 클 경우에는 시뮬레이션 모형을 적용하기가 어렵다.

확률모형에서는 정비시스템을 대기행렬모형으로 구성하고 재보급선 재고의 확률분포를 유도하여 평균재고부족량을 계산하였다. 수치사례를 통하여 시뮬레이션과 유사한 결과를 얻어 정확도를 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시한 시뮬레이션 모형과 확률모형을 이용하면 Vari-METRIC 보다 정확한 평균재고부족량을 계산할 수 있으며 확률모형이 시뮬레이션 모형보다 현실적으로 사용 가능한 방법이라는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 박찬우, 김창곤, 이효성, "다단계 수리체계의 성능 평가를 위한 폐쇄형 대기행렬 네트워크 모형", 『한국경영과학회지』, 제25권, 제4호(2000), pp.27-44.
- [2] 방위사업청, 『방위사업관리규정』, 2009.
- [3] 서용성, 정상환, 박영택, "다단계 기계수리문제의(S-1, S) 예비품 재고정책에 관한 연구", 『품질경영과학회지』, 제19권, 제1호(1991), pp.129-141.
- [4] 우제웅, 이혁수, 선미선, 『평시 수리부속 소요 산정 개념연구』, 국방연구원 연구보고서, 서울, 2008.
- [5] 육군본부, 『ILS 업무발전 세미나』, 대전, 2009.
- [6] 이상진, 김성원, "한국형 헬기의 목표 운용가용도 달성을 위한 정비대충장비 최적 재고수준 결정", 『경영과학』, 제24권, 제2호(2007), pp. 81-93.
- [7] 이호우, 『대기행렬이론』, 제3판, 시그마프레스, 서울, 2006.
- [8] Albright, S.C., "An Approximation to the Stationary Distribution of a Multiechelon Repairable-Item Inventory System with Finite Sources and Repair Channels," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.36(1989), pp. 179-195.
- [9] Fu, C.M., "Techniques for optimization via simulation : an experimental study on an (s, S) inventory system," *IIE Transactions*, Vol.29(1997), pp.191-199.
- [10] Gross, D., "On the Ample Service Assumptions of Palm's Theorem in Inventory Modeling," *Management Science*, Vol.28(1982), pp.1065-1079.
- [11] Gross, D., D.R. Miller, and R.M. Soland, "A Closed Queueing Network Model for Multi-Echelon Repairable Item Provisioning," *IIE Trans.*, Vol.15(1983), pp.344-352.
- [12] Hillestad, R.J., "Dyna-METRIC : Dynamic Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control," R-2785-AF, Rand, Santa Monica, 1982.
- [13] Kim, J.S., K.C. Shin, and S.K. Park, "An Optimal Algorithm for Repairable-item Inventory Systems with Depot Spares," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.51 (2000), pp.350-357.
- [14] Muckstadt, J.A., "A Model for Multi-item, Multiechelon, Multi-indenture Inventory System," *Management Science*, Vol.20(1973), pp. 472-481.
- [15] O'Malley, T.J., "The Aircraft Availability Model : Conceptual Framework and Mathematics," Technical Report AF201, Logistics Management Institute, Washington, D.C., 1983.
- [16] Sherbrooke, C.C., "METRIC : A Multi-echelon Technique for Recoverable Item Control," *Operations Research*, Vol.10(1968), pp.122-141.
- [17] Sherbrooke, C.C., *Optimal Inventory Modeling of System*, Second Edition, Kluwer Aca-

- demic Publishers, 2004.
- [18] Sherbrooke, C.C., "VARI-METRIC : Improved Approximations for Multi-Indenture, Multi-Echelon Availability Models," *Operations Research*, Vol.34(1986), pp.311-319.
- [19] Simon, R.M. "Stationary Properties of a Two-Echelon Inventory Model for Low-Demand Items," *Operations Research*, Vol.19 (1971), pp.761-773.
- [20] Slay, F.M., "Artificial Retrospection, The Distribution Enforcement Method," IR806R1, Logistics Management Institute, Washington D.C., 2007.
- [21] Slay, F.M. et al., "Optimizing Spares Support : The Aircraft Sustainability Model," Technical Report AF501MR1, Logistics Management Institute, Washington D.C., 1996.
- [22] Slay, F.M., "VARI-METRIC : An approach to modeling multi-echelon resupply when the demand process is Poisson with a Gamma prior," Technical Report AF301-3, Logistics Management Institute, Washington, D.C., 1980.