

## V-METRIC 관련연구들에 관한 고찰

김윤화 이성용\*

창원대학교 산업시스템공학과

### Review of Studies on V-METRIC Related Models

Yoon Hwa Kim, Sung Yong Lee\*

*Dept. of Industrial & Systems Engineering, Changwon National University*

**Abstract** : As the inventory costs of repairable items in military logistics continue to increase, many studies for optimal inventory level of these items are being carried out in advanced countries, including the US, to reduce these costs. Research on inventory level optimization for repairable items aimed to achieve the availability goal of a system with a MIME(Multi Indenture Multi Echelon) repair policy structure first began with Sherbrooke's METRIC and developed into various types. This research is to analyze and compare recent V-METRIC related studies to search for another variation in this field. This paper mainly looks at how to determine optimum inventory level for each repairable item to achieve a specific availability target within a limited budget, and also how to minimize inventory cost while achieving its availability target by determining optimal inventory level of each repairable item.

**Key Words** : Optimum Inventory Level, Availability, Repairable Item, Inventory Cost, V-METRIC, Multi-Echelon, Multi-Indenture

---

**Received:** November 20, 2016 / **Revised:** November 21, 2016 / **Accepted:** December 26, 2016

\* 교신저자 : Sung Yong Lee, sunylee@changwon.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 1. 서론

수리부속의 적정재고 문제는 무기체계 개발과 관련하여 시스템 수명주기 전체비용의 입장에서 시스템의 운영유지 관련 비용을 최소화하기 위해 고려해야 할 많은 요소 가운데 하나이다. 이는 높은 신뢰도 요구만으로는 달성하기 어려워 고장 날 수밖에 없는 시스템의 가용도를 높이기 위해 최소비용으로 정비도(Maintainability)를 높이는 방안 중의 하나다.

하지만 수리부속의 적정재고수준을 유지하고 관리하는 것은 현실적으로 여러 가지 어려움이 있다. 그 이유는 첫째로 수리부속에 대한 수요예측이 어렵고, 둘째로 정비와 조달 여건이 장기적이고 불안정하다는 것이다. 이 밖에도 시스템가동률을 보장하기 위한 높은 가용도 요구에 따른 높은 안전재고의 확보 문제와 무기체계의 도입 증가에 따른 수리부속의 지속적 증가 등을 들 수 있다. 특히, 수리부속재고 계획과 실제소요가 불일치하는 경우가 많이 발생하는데, 이는 수리부속의 수요, 조달기간의 부정확한 예측과 수리부속 재고관리자의 정보 부족, 그리고 수리부속 획득 계획의 변경과 취소에 관한 제도적 한계 등을 원인으로 들 수 있다(우제웅, 김준연, 2001).

이와 같은 문제점들을 해결하는 재고수준관리의 효율성 증대를 위해 다 단계(Multi-Echelon), 다 계층(Multi-Indenture) 재고 모형의 수립은 반드시 필요하며, 이와 함께 수리부속에 대한 수요예측의 정확도를 높임으로서 수리부속 재고의 효율적 관리가 가능하게 될 것이다.

다 단계, 다 계층의 수리 정책 구조를 갖고 있는 시스템의 가용도 목표 달성을 위한 수리 가능 부품의 재고수준 최적화 연구들은 Sherbrooke(1968)을 시작으로 많은 연구들이 진행되어 왔으며, 이 연구들은 주로 METRIC으로 부터 출발하여 발전한 다양한 변형들이라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 V-METRIC 분야의 다른 변형을 찾기 위한 일환으로 관련연구 중 비교적 최신의 주요연구들에 대해 데이터를 활용하여 실증적으로 접

근해보았다. 제한된 예산의 범위 안에서 정해진 가용도 목표를 달성하기 위해 각 부품들의 재고 수준을 결정하는 방안과 특정한 가용도 목표를 달성하면서 재고비용을 최소화 하는 각 부품들의 재고수준 결정 방안에 대해 주요 연구들을 비교 분석해보고자 한다.

### 2. V-METRIC

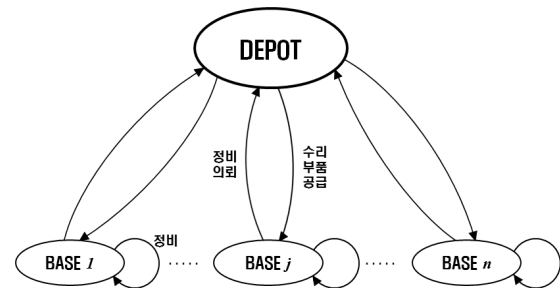
#### 2.1 MIME 정비정책 구조

Figure 1은 다 단계(Multi-Echelon)의 기본이 되는 모형으로, Sherbrooke의 METRIC에서 고려되는 2단계 재고시스템을 나타낸 것이다(김윤화, 이성용, 2016 Spring).

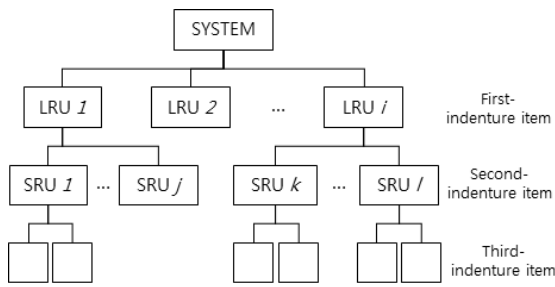
군 조직에서는 수리 가능한 부품(Spare part)의 수리, 공급 문제를 다단계 수리체계로 관리하고 있다. 기지(Base)에서 운용되고 있는 시스템의 수리부속품에 고장이 발생하면, 그 고장이 기지 수리가 가능한가를 판단하여, 가능한 경우 기지에서 수리하고, 기지 수리가 불가능한 경우에는 정비창(Depot)으로 보낸다.

수리가능 구성품(교체 가능한 모듈형 유닛)은 고가이며 동시에 높은 신뢰도를 가지며, 수요 빈도가 적고, 고장 발생 부분을 수리 후 재사용 할 수 있으며(고장 모듈의 고장 부속품만 교체), Figure 2와 같은 다 계층(Multi-Indenture)의 구조를 갖는 특징이 있다(김윤화, 이성용, 2016 Fall).

1단계 구성품(First indenture item)은 시스템에서 바로 탈거가 가능한 수리부속품을 의미하며, 공



[Figure 1] Two-Echelon Inventory System



[Figure 2] Multi-indenture Structure

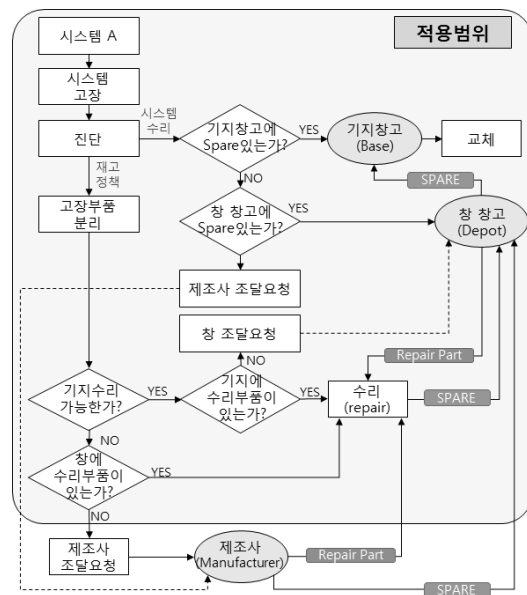
군에서는 LRU(Line Replaceable Unit)라고 지칭한다. 2단계 구성품(Second indenture item)은 1단계 구성품에서 분리된 부품을 의미하며, SRU(Shop Replaceable Unit)라 지칭한다. LRU에서 고장 난 SRU를 교체하여 LRU를 수리할 수 있다. 해군은 이를 WRA(Weapon Replaceable Assembly), SRA(Shop Replaceable Assembly)라 지칭한다.

**2.2 V-METRIC 개념**

V-METRIC은 기지와 창으로 구성된 최초의 다단계 재고모형인 METRIC을 기반으로 수리부속의 계층구조까지 고려하여, 제한된 비용 내에서 적정 재고수준을 결정하는 모형이다. METRIC과 MOD-METRIC의 경우에는 재보급선상 재고량을 포아송 분포(Poisson Distribution)로만 가정하였기 때문에, 평균재고부족량이 실제보다 적게 계산된다는 문제점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위해 Slay(1984)가 제시한 V-METRIC은 기대부재고(EBO, Expected Back Order) 산정 시, 평균 대 분산비(VMR, Variance to Mean Ratio)를 고려하여 계산결과에 따라 음이항 분포(Negative Binomial Distribution)도 포함하여 적용하였다.

Figure 3은 수리가능 재고모형의 흐름도를 기지와 창이 포함된 2단계 재고 시스템을 대상으로 도식화하여 나타내었다(김윤화,이성용, 2016 Fall).

기지에서 운용중인 시스템에 고장이 발생하면, 고장진단 후 고장 난 구성품을 시스템에서 분리한다. 이 때 시스템에서 바로 탈거되는 고장 구성품이



[Figure 3] Flow of Repairable Inventory Model

LRU가 된다. 고장으로 탈거된 LRU는 수리가능 여부에 따라 기지 또는 창에서 수리하는데, 기지 창고에 LRU의 예비품(Spare)이 있으면 교체를 하고, 그렇지 않을 경우 기지에서는 창에, 창에도 없을 경우 제조사에 조달 요청하며 이월주문(Backorder)이 발생하게 된다(정창모,이명천, 2005).

수리가 완료된 품목은 기지창고로 보내져 후에 해당 품목의 고장이 발생할 경우 교체할 수 있도록 재고로 활용한다.

**2.3 V-METRIC 기본가정**

- 1) 각 기지에서의 수요는 독립적이며, 포아송 분포를 따른다.
- 2) 재고 정책은 (s-1, s)를 따르며, 기지와 창의 정비 능력은 충분하고, 고장품은 입고 즉시 정비된다.
- 3) 창에서는 모든 수리가 가능하고, 고장품의 폐기는 없다.
- 4) 기지간의 전환 보급(Lateral supply)은 허용하지 않는다.
- 5) 동류 전용(Cannibalization)은 허용하지 않는다.

### 2.4 V-METRIC 기호 및 용어

V-METRIC의 주요 개념으로 기대부재고(EBO)와 재보급선 재고(Pipeline)가 있다. 기대부재고는 보급요청에 대해 재고가 없어 수요를 충족시키지 못할 때 발생하는 재고부족량의 기댓값이고, 재보급선 재고는 수리중이거나 재보급중인 재고로 지나창으로 들어올 예정인 재고를 의미한다.

V-METRIC 모형에 필요한 기호의 정의는 다음과 같다.

$h$  = LRU 식별 번호(Family number)

$i$  = 품목 번호(LRU:  $i = 0$ , SRU:  $i = 1, 2, \dots, I$ )

$j$  = 위치 번호(Depot:  $j = 0$ , BASE:  $j = 1, 2, \dots, J$ )

$m_{hij}$  = 품목  $hi$ 의  $j$ 에서 수요율

$r_{hij}$  = 품목  $hi$ 의  $j$ 에서 수리 확률

$T_{hij}$  = 품목  $hi$ 의  $j$ 에서 평균수리시간(리드타임)

$q_{hij}$  = SRU  $i$ 의 결함으로 고장날 확률( $i > 0$ )

$O_{hij}$  = 품목  $hi$ 의  $j$ 에서 평균 주문/수송시간( $j > 0$ )

$c_{hij}$  = 품목  $hi$ 의 단위당 비용

$s_{hij}$  = 품목  $hi$ 의  $j$ 에서 재고 수준

$X_{ij}$  = 시간내에 임의의 지점에서 수리 및 재공급을 위한 기지  $j$ 에서 SRU  $i$  단위의 수

$Z_0$  = 시스템 기준 LRU의 수량

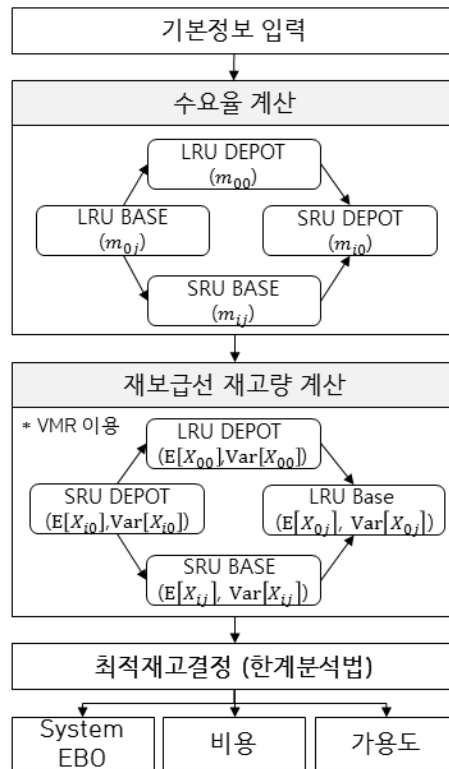
(QPA, Quality per Assembly)

$N_j$  = 기지  $j$ 에서 시스템의 수

### 2.5 V-METRIC 모델

Figure 4는 V-METRIC의 계산과정을 그림으로 도식화 한 것이다(김윤화, 이성용, 2016 Fall). V-METRIC의 적용은 먼저 기지와 창에서 LRU 및 SRU 수요율을 각각 계산한 후, 이를 바탕으로 기지와 창외의 재보급선 재고량의 평균과 분산을 계산하는 단계로 되어있다.

모델의 계산절차는 기지 LRU의 수요율을 바탕으로 창외의 LRU, 기지의 SRU, 그리고 창외의 SRU를 계산하고, 재보급선 재고량은 VMR을 이용하여, 수요



[Figure 4] V-METRIC MODEL

율 계산의 역순으로 계산한다.

#### 2.5.1 기지/창 별 제품의 수요율 계산

기지외와 창외의 수요율은 Table 1에 나타났는 식을 통해 계산한다. 기지의 LRU는 야전 데이터 관측으로 추정하며, 이를 바탕으로 순서에 따라 각각의 수요율을 계산한다(Sherbrooke, 1992).

#### 2.5.2 재보급선 재고량의 평균과 분산 계산

앞 단계에서 계산된 수요율을 바탕으로 재보급선 재고량의 평균과 분산을 산출한다. 이를 위해 계산

<Table 1> Calculation of Demand Rate

위치/계층	기호	계산
BASE LRU	$m_{0j}$	야전데이터 수집
DEPOT LRU	$m_{00}$	$\sum_{j=1}^J m_{0j}(1-r_{0j})$
BASE SRU	$m_{ij}$	$m_{0j}r_{0j}q_{ij}$
DEPOT SRU	$m_{i0}$	$\sum_{j=1}^J m_{ij}(1-r_{ij}) + m_{00}q_{i0}$

순서에 따라 기대부재고, 분산을 구한다. 이 때, VMR을 활용하여 재보급선 재고량의 확률분포를 추정하는데, VMR이 1이면 포아송 분포를 적용하고, 1 이상인 경우에 음이항 분포를 적용한다.

기대부재고( $EBO(s)$ )와 분산( $VBO(s)$ )은 다음과 같은 기본식을 이용해서 계산할 수 있다(Sherbrooke, 1992).

$$EBO(s) = \sum_{x=s+1}^{\infty} (x-s)Pr\{x\}$$

$$VBO(s) = \sum_{x=s+1}^{\infty} (x-s)^2Pr\{x\} - [EBO(s)]^2$$

여기서 기대부재고와 분산은 무한대까지 확률분포를 반복 계산해야하지만, 분포값이 커지면 확률값이 0에 가까워지므로, 일반적으로 임의의 수인 100을 대입하여 계산하거나, 대칭계산법을 활용한다.

### 1) SRU DEPOT

창의 SRU 재보급선 재고량은 포아송 고장에 대한 수리과정으로 평균과 분산이 같다.

$$E[X_{i0}] = Var[X_{i0}] = m_{i0} T_{i0} + EBO(s_{i0}|m_{i0} T_{i0})$$

### 2) LRU DEPOT

창의 SRU 기대부재고 계산값을 이용한 창의 LRU 재보급선 재고량의 평균과 분산 계산식은 다음과 같다.  $f_{i0}$ 는 창에서 LRU 수리를 위해 필요한 SRU 수요의 비율을 의미한다.

$$f_{i0} = \frac{m_{00}q_{i0}}{m_{i0}} \quad i > 0$$

$$E[X_{00}] = m_{00} T_{00} + \sum_{i=1}^I f_{i0} EBO(s_{i0}|m_{i0} T_{i0})$$

$$Var[X_{00}] = m_{00} T_{00} + \sum_{i=1}^I f_{i0} (1-f_{i0}) EBO(s_{i0}|m_{i0} T_{i0}) + \sum_{i=1}^I f_{i0}^2 VBO(s_{i0}|m_{i0} T_{i0})$$

### 3) SRU BASE

창에서 계산된 SRU의 기대부재고 값을 이용하여 기지에서 SRU 재보급선 재고량의 평균과 분산을

계산하는 식은 다음과 같다.  $f_{ij}$ 는 창의 SRU 수요 중 기지의 SRU 수요가 기여하는 비율을 의미하며, 각 기지에서  $f_{ij}$  값을 합하면 1이 된다.

$$f_{ij} = \frac{m_{ij}(1-r_{ij})}{m_{i0}} \quad i, j > 0, \sum_{j=0}^J f_{ij} = 1 \quad i > 0$$

$$E[X_{ij}] = m_{ij} [(1-r_{ij})O_{ij} + r_{ij}T_{ij}] + f_{ij} EBO(s_{i0}|m_{i0} T_{i0}) \quad i, j > 0$$

$$Var[X_{ij}] = m_{ij} [(1-r_{ij})O_{ij} + r_{ij}T_{ij}] + f_{ij} (1-f_{ij}) EBO(s_{i0}|m_{i0} T_{i0}) + f_{ij}^2 VBO(s_{i0}|m_{i0} T_{i0}) \quad i, j > 0$$

### 4) LRU BASE

앞 단계에서 구한 창의 LRU와 기지에서 SRU 기대부재고 계산값을 이용해서 기지에서 LRU의 재보급선 재고량의 평균과 분산을 계산한다.  $f_{0j}$ 는 창의 LRU 수요 중에서 기지에서 LRU 수요가 기여하는 비율을 의미하며, 각 기지에서  $f_{0j}$  값을 합하면 1이 된다.

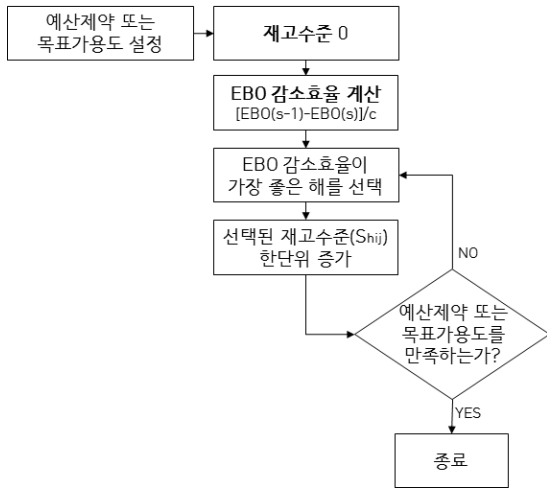
$$f_{0j} = \frac{m_{0j}(1-r_{0j})}{m_{00}} \quad j > 0, \sum_{j=0}^J f_{0j} = 1$$

$$E[X_{0j}] = m_{0j} [(1-r_{0j})O_{0j} + r_{0j}T_{0j}] + f_{0j} EBO(s_{00}|E[X_{00}], Var[X_{00}]) + \sum_{i=1}^I EBO(s_{ij}|E[X_{ij}], Var[X_{ij}]) \quad j > 0$$

$$Var[X_{0j}] = m_{0j} [(1-r_{0j})O_{0j} + r_{0j}T_{0j}] + f_{0j} (1-f_{0j}) EBO(s_{00}|E[X_{00}], Var[X_{00}]) + f_{0j}^2 VBO(s_{00}|E[X_{00}], Var[X_{00}]) + \sum_{i=1}^I VBO(s_{ij}|E[X_{ij}], Var[X_{ij}]) \quad j > 0$$

### 2.5.3 한계분석법(Marginal Analysis)

V-METRIC에서는 Figure 5와 같이 한계분석법을 이용하여 적정재고 수준을 결정하는데, 이는 모든 품목의 재고를 0으로 고정하고, EBO의 감소효율이 가장 높은 품목의 재고 수준을 한 단위씩 증가시키는 방법이다. 최초에 정해놓은 예산 제약 또는 목표가용도를 만족할 때까지 반복하고, 만족하면 종료한다(김윤화, 이성용, 2016 Fall).



[Figure 5] Process of Marginal Analysis

### 2.5.4 시스템의 기대부재고, 비용 그리고 가용도

한계분석법의 결과로 다 단계, 다 계층에서의 최적 재고수준이 결정되면, 그 값을 기준으로 시스템의 기대부재고, 비용, 그리고 가용도를 계산한다. 각각의 계산식은 아래와 같다(Constantino et al., 2013; 2014).

#### 1) 기대부재고(EBO)

시스템의 기대부재고는 기지마다 LRU의 기대부재고를 합한 값으로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$EBO_{System} = \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J EBO(s_{h0j} | E[X_{h0j}], Var[X_{h0j}])$$

#### 2) 비용(Cost)

시스템의 총 비용은 품목  $hi$ 의 창과 기지  $j$ 에서 각각의 재고 수준( $s_{hij}$ )과 단위당 비용( $c_{hij}$ )을 곱한 값의 합이다.

$$COST_{System} = \sum_{h=1}^H \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J s_{hij} c_{hij}$$

#### 3) 가용도(Availability)

기지  $j$ 에서의 가용도( $A_j$ )는 기지에서 LRU의 기대부재고( $EBO(s_{0j})$ ), 시스템의 수( $N_j$ ), 그리고 LRU의 수량( $Z_0$ )을 이용하여 아래와 같은 식으로 계산할 수 있으며, 이를 바탕으로 시스템 가용도( $A$ )를

구할 수 있다(Sherbrooke, 1992).

$$A_j = 100 \left\{ 1 - \frac{EBO(s_{0j} | E[X_{0j}], Var[X_{0j}])}{N_j Z_0} \right\}^{Z_0} \quad j > 0$$

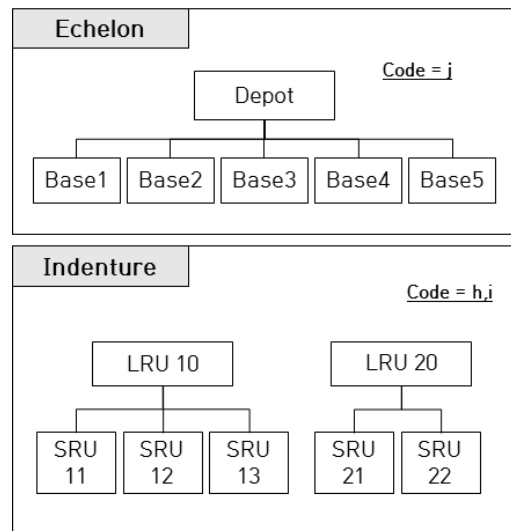
$$A = \frac{\sum_{j=1}^J A_j N_j}{\sum_{j=1}^J N_j}$$

## 3. CASE

### 3.1 CASE 01

CASE 01(Rustenburg et al., 1998; 2000; 2001)은 000의 해군 자료를 바탕으로 V-METRIC을 적용한 연구로, Figure 6과 같이 1개의 창과 5개 기지의 다단계가 형성되어 있고, 2개의 LRU에 각각 3개, 2개의 SRU를 갖는 다계층 구조이다.

Figure 7은 CASE 01의 입력데이터를 바탕으로 한 품목별, 위치별 수요율 계산 및 VMR을 통한 분포 추정을 통해, 기대부재고의 평균과 분산을 계산한 엑셀 테이블이다. 계산 결과는 V-METRIC의 기본 가정에 충실했고, 수요율, 재보급선 재고량, 분포결정과정 등이 V-METRIC 모델의 주요 내용과 동일하였다. 다만, 가용도와 한계분석에 변형된 식을 사용하여 최적값을 도출하였다.



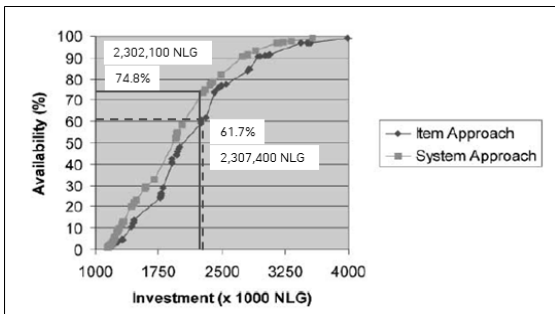
[Figure 6] Structure of CASE 01

No	CODE	$s_{hij}$	$m_{ij}$	$mT$	$f_{ij}$	$E[X_{ij}]$	$Var[X_{ij}]$	V	Distribution	$EBO(g[X_{ij}])$	$VBO(g[X_{ij}])$
1	LRU100	7	76.00	7.60	-	8.3489	9.6473	1.1555	Negbin	2.0160	5.8393
2	SRU110	12	29.18	8.76	0.83	8.9920	8.9920	1.0000	Poisson	0.2368	0.6980
3	SRU120	16	42.86	12.86	0.83	13.2678	13.2678	1.0000	Poisson	0.4086	1.4312
4	SRU130	8	19.15	5.75	0.83	5.9989	5.9989	1.0000	Poisson	0.2533	0.6392
5	LRU110	6	19.00	0.57	0.20	3.6433	3.8098	1.0457	Negbin	0.1423	0.3127
6	SRU111	1	1.22	0.12	0.03	0.2268	0.2273	1.0023	Negbin	0.0239	0.0271
7	SRU112	1	1.79	0.18	0.03	0.3351	0.3362	1.0034	Negbin	0.0509	0.0603
8	SRU113	1	0.80	0.08	0.03	0.1521	0.1525	1.0028	Negbin	0.0112	0.0123
9	LRU200	4	60.00	6.00	-	10.1643	11.1065	1.0927	Negbin	6.2123	10.9314
10	SRU210	12	20.88	6.26	0.83	7.3729	7.3729	1.0000	Poisson	0.0208	0.0478
11	SRU220	21	51.12	15.34	0.83	19.2242	19.2242	1.0000	Poisson	0.1597	0.5702
12	LRU201	4	15.00	0.45	0.20	3.8623	4.0808	1.0566	Negbin	0.7188	1.5786
13	SRU211	1	0.87	0.09	0.03	0.1936	0.1940	1.0025	Negbin	0.0177	0.0197
14	SRU221	1	2.13	0.21	0.03	0.5130	0.5140	1.0020	Negbin	0.1121	0.1398

[Figure 7] Calculation of CASE 01

<Table 2> Allocation of Items for CASE 01

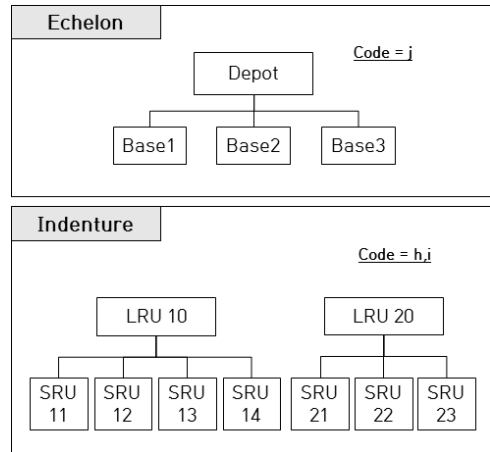
h	i	Code	System Approach		Item Approach	
			창재고	기지재고	창재고	기지재고
1	0	LRU <sub>10j</sub>	7	6	9	4
	1	SRU <sub>11j</sub>	12	1	10	1
	2	SRU <sub>12j</sub>	16	1	15	1
	3	SRU <sub>13j</sub>	8	1	7	1
2	0	LRU <sub>20j</sub>	4	4	8	4
	1	SRU <sub>21j</sub>	12	1	8	1
	2	SRU <sub>22j</sub>	21	1	17	1
가용도(%)			74.84		61.75	
비용(NLG)			2,302,100		2,307,400	



[Figure 8] Investment-Availability Curve for CASE 01

System Approach와 Item Approach에 대하여 각 각 한계분석법을 적용하여 계산한 결과 최적 재고 수준은 Table 2와 같다. Figure 8은 가용도-비용 그래프로 Table 2의 결과 값들을 도식화 한 것이다(Rustenbug et al., 2001).

두 접근법 중 동일한 예산으로 어느 접근방법이 효율적인가를 비교하여 보았다. 한계 분석의 적용 특성 때문에 같은 수치의 투자비용은 가능하지 않음



[Figure 9] Structure of CASE 02

No	CODE	$s_{hij}$	$m_{ij}$	$mT$	$f_{ij}$	$E[X_{ij}]$	$Var[X_{ij}]$	V	Distribution	$EBO(g[X_{ij}])$	$VBO(g[X_{ij}])$
1	LRU100	1	4.30	0.8600	-	1.54800	1.54800	1.00000	Bin	0.28916	0.37628
2	SRU110	0	2.86	0.4712	0.75	0.91440	0.91440	1.00000	Poisson	0.45720	0.45720
3	SRU120	0	0.69	0.1097	0.75	0.21946	0.21946	1.00000	Poisson	0.10973	0.10973
4	SRU130	0	0.80	0.1280	0.75	0.25603	0.25603	1.00000	Poisson	0.12802	0.12802
5	SRU140	0	1.37	0.2195	0.75	0.43891	0.43891	1.00000	Poisson	0.21946	0.21946
6	LRU101	9	1.00	3.0000	0.28	2.49595	2.50595	1.00000	Negbin	0.00037	0.00057
7	SRU111	2	0.90	0.4050	0.06	0.35880	0.35880	1.00000	Poisson	0.00908	0.01091
8	SRU121	1	0.22	0.1188	0.06	0.10757	0.10757	1.00000	Negbin	0.00679	0.00728
9	SRU131	2	0.25	0.1512	0.06	0.13507	0.13507	1.00000	Poisson	0.00635	0.00658
10	SRU141	3	0.43	0.3542	0.06	0.33067	0.33067	1.00000	Poisson	0.00635	0.00661
11	LRU102	16	7.00	7.0000	0.49	6.28811	6.40029	1.00000	Negbin	0.00093	0.00106
12	SRU112	2	2.45	1.1025	0.13	1.06943	1.06943	1.00000	Poisson	0.13265	0.19618
13	SRU122	1	0.59	0.3234	0.13	0.30047	0.30047	1.00000	Poisson	0.04708	0.05529
14	SRU132	2	0.69	0.4116	0.13	0.37867	0.37867	1.00000	Poisson	0.00990	0.01145
15	SRU142	3	1.15	0.8643	0.13	0.88495	0.88495	1.00000	Poisson	0.00990	0.01046
16	LRU103	16	5.00	5.0000	0.23	4.69234	4.73885	1.00991	Negbin	0.00001	0.00002
17	SRU113	2	2.00	0.9000	0.06	0.88560	0.88560	1.00000	Poisson	0.07905	0.11156
18	SRU123	1	0.48	0.2640	0.06	0.25402	0.25402	1.00000	Poisson	0.03197	0.03610
19	SRU133	2	0.56	0.3160	0.06	0.32166	0.32166	1.00000	Poisson	0.00336	0.00426
20	SRU143	3	0.96	0.7872	0.06	0.73958	0.73958	1.00000	Poisson	0.01010	0.01344
21	LRU200	1	2.60	0.5200	-	0.79870	0.79834	1.00208	Negbin	0.24242	0.31935
22	SRU210	0	0.69	0.1105	0.75	0.22095	0.22095	1.00000	Poisson	0.11048	0.11048
23	SRU220	0	1.38	0.2209	0.75	0.44196	0.44196	1.00000	Poisson	0.22095	0.22095
24	SRU230	1	1.38	0.2209	0.75	0.24363	0.24363	1.00000	Poisson	0.02270	0.02259
25	LRU201	6	2.00	1.6200	0.31	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!
26	SRU211	2	0.24	0.1176	0.07	0.12336	0.12336	1.00000	Poisson	0.00026	0.00027
27	SRU221	4	0.48	0.2374	0.07	0.25728	0.25728	1.00000	Poisson	0.00026	0.00026
28	SRU231	4	0.48	0.2374	0.07	0.24350	0.24351	1.00006	Negbin	#VALUE!	#VALUE!
29	LRU202	9	4.00	3.2400	0.46	3.58415	3.60124	1.00477	Negbin	0.00578	0.01067
30	SRU212	2	0.56	0.2744	0.12	0.28448	0.28448	1.00000	Poisson	0.00301	0.00342
31	SRU222	4	1.12	0.6496	0.12	0.61264	0.61264	1.00000	Poisson	0.00065	0.00077
32	SRU232	4	1.12	0.6496	0.12	0.58852	0.58856	1.00007	Negbin	0.00063	0.00077
33	LRU203	7	3.00	2.4900	0.23	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!
34	SRU213	2	0.48	0.2352	0.06	0.23981	0.23981	1.00000	Poisson	0.00195	0.00216
35	SRU223	5	0.96	0.5568	0.06	0.53990	0.53990	1.00000	Poisson	0.00030	0.00030
36	SRU233	5	0.96	0.5568	0.06	0.52888	0.52889	1.00002	Negbin	#VALUE!	#VALUE!

[Figure 10] Calculation of CASE 02

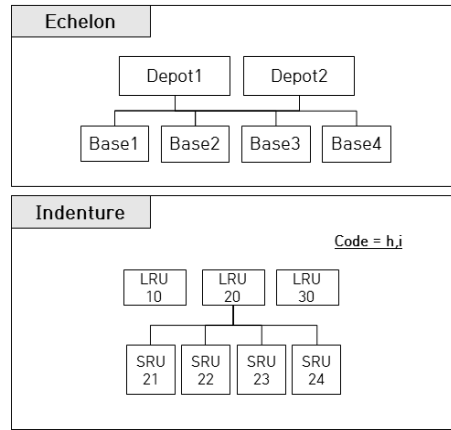
문에 투자비용이 근접한 경우를 비교 하였다. System Approach의 경우 예산이 2,302,100 NLG(갤런) 일 때의 가용도가 74.84%이며, Item Approach의 경우 2,307,400 NLG일 때 61.75%의 가용도가 산출되었다. 이는 특정 가용도 목표달성을 위해 System Approach가 더 적은 비용으로 가능함을 보여준다.

3.2 CASE 02

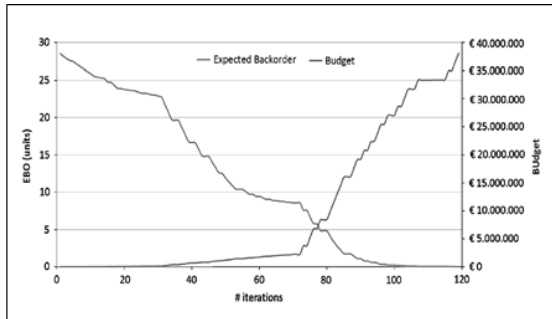
CASE 02(Costantino et al., 2013; 2014)는 000의 공군 데이터에 V-METRIC을 적용한 연구이다. Figure 9는 CASE 02의 구조로 1개의 창과 3개의 기지 환경에서 2개의 LRU가 각각 4개, 3개의 SRU를 갖는 다계층 구조이다.

<Table 3> Allocation of Items for CASE 02

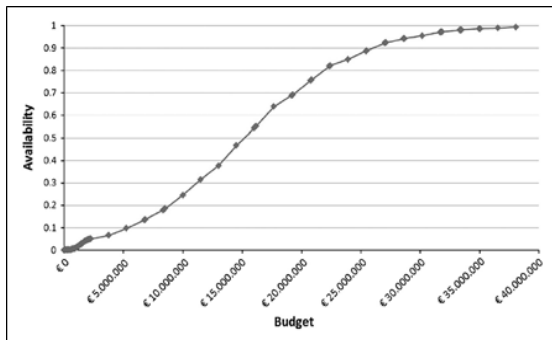
h	i	Code	최적 재고			
			창	기지1	기지2	기지3
1	0	LRU <sub>10j</sub>	1	9	16	13
	1	SRU <sub>11j</sub>	0	2	2	2
	2	SRU <sub>12j</sub>	0	1	1	1
	3	SRU <sub>13j</sub>	0	2	2	2
	4	SRU <sub>14j</sub>	0	3	3	3
2	0	LRU <sub>20j</sub>	1	6	9	7
	1	SRU <sub>21j</sub>	0	2	2	2
	2	SRU <sub>22j</sub>	0	4	4	5
	3	SRU <sub>23j</sub>	1	4	4	5



[Figure 13] Structure of CASE 03



[Figure 11] Evolution of Expected Backorder and budget for CASE 02



[Figure 12] Budget-Availability Curve for CASE 02

Figure 10에서와 같이 CASE 02의 입력데이터를 적용하여 엑셀의 VBA를 활용하여 계산을 하였으나, VMR을 이용한 분포결정을 함에 있어 가정을 위배하는 경우가 발생하였다. 따라서, 일부 위치와 계층의 기대부재고와 그 분산값 등을 도출할 수 없었다.

CASE 02에 따르면, 최적 알고리즘 수행 결과인

최적 재고를 Table 3과 같이 확인할 수 있으며, 이는 예산 범위인 € 40,000,000 내에서 119번째 반복에 가용도 99.39%, 비용은 € 38,065,200로 나타났다.

Figure 11은 최적값을 찾아가는 과정을 보여주는데, 반복을 진행할수록 기대부재고가 감소하면서, 비용이 증가하는 것을 확인할 수 있다(Constantino et al., 2013).

Figure 12의 가용도-비용 그래프를 보면, 비용 증가에 따라 가용도 역시 증가하는 것을 확인할 수 있다(Constantino et al., 2013).

결론적으로 CASE 02의 경우, 입력데이터를 바탕으로 계산을 해보았으나, VMR을 이용한 확률 분포 선택에서 포아송 분포나 음이항 분포가 아닌 이항분포를 선택하게 되는 경우가 생겨 가정에 위배하는 현상이 발생하였다. 따라서 가정 및 분포 결정 등에 대한 확인이 필요할 것으로 생각된다.

### 3.3 CASE 03

CASE 03(정성태, 이상진, 2014; 정성태, 2014)은 기존의 적정 재고 수준 산정을 위한 방법인 한계 분석법, 라그랑지 완화법, 그리고 유전알고리즘의 문제점을 보완한 개선 알고리즘을 제시하였다. 이는 SRU 재고 수준 결정에 유전알고리즘을 사용하고, LRU 재고 수준 결정과 초기해 구성에 한계분석법을 사용하는 것이다.

Figure 13과 같이 2개의 창, 4개의 기지, 그리고



<Table 4> Allocation of Items for CASE 03

h	i	Code	창재고	기지재고
1	0	LRU <sub>10j</sub>	2	2
2	0	LRU <sub>20j</sub>	7	1
	1	SRU <sub>21j</sub>	2	0
	2	SRU <sub>22j</sub>	1	0
	3	SRU <sub>23j</sub>	3	0
3	4	SRU <sub>24j</sub>	4	0
	0	LRU <sub>30j</sub>	16	3

<Table 5> Comparison of Determination Method for Inventory Level

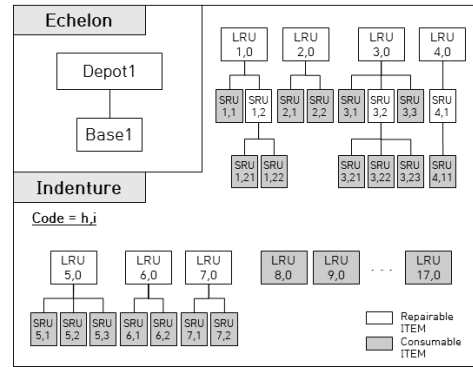
구분	육군의 현 인가저장품목 재고수준	라그랑지 완화법	한계 분석법	개선연 구알고리즘
비용	151.82억	150.39억	150.08억	149.83억
가용도	98.49%	99.88%	99.87%	99.98%
최대값과 차이	1.483%	0.097%	0.101%	최대값

3개의 LRU와 4개의 SRU를 갖는 무기체계에 적용하였다.

개선 연구 알고리즘을 적용한 결과는 Table 4와 같으며, 총 비용은 149.83억 원이고, 가용도는 99.98%로 산출되었다.

개선알고리즘을 포함한 육군의 현 재고수준과 기존 연구들에서 사용된 방법들을 비교하여 Table 5에 나타내었다(정성태, 이상진, 2014).

현재 육군의 재고수준은 운용가용도를 높게 유지하기 위해 충분한 재고를 확보하고 있으므로, 이월 주문이 적어 98.49%의 가용도가 산출되었다. 라그랑지 완화법은 99.88%, 한계분석법은 99.87%로 가용도가 향상되고 비용도 줄어드는 것으로 산출되었다. 이에 대해 한계분석법과 유전알고리즘을 함께 활용한 개선알고리즘은 가용도가 99.98%로 약 1.5% 향상되었고, 비용도 약 2억 원을 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과들을 바탕으로 알고리즘 간의 우수성을 비교 할 때 개선 알고리즘이 과연 다른 방법에 비해 유용(Significant)하다고 할 만한 개선 효과를 가져 왔는가에 대해서는 이 알고



[Figure 14] Structure of CASE 04

리즘에 대한 제약 조건 및 계산의 편이성, 효율성 등 다양한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

한편 개선 알고리즘에서는 기존의 단단계, 단계층 모형의 근사계산방법을 1, 2차 모멘트의 관계식을 이용하여 정확하게 계산하는 방법을 제시하였는데, 이는 분포들의 반복 계산에서 일반적으로 사용하는 임의의 큰 수를 주어 계산하는 것보다 빠르고 정확한 계산이 가능할 것으로 보이나, 그 효율성에 대해서는 추가적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

### 3.4 CASE 04

CASE 04(이혁수, 2010)에서는 수리 가능한 품목(Repairable item)과 수리 불가능한 품목(Consumable item)을 모두 고려하였다. 따라서 시스템을 구성하는 품목 중 수리 가능 품목과 수리 불가능 품목을 구분하여, 각각에 해당하는 기대부재고 계산식을 사용하였다.

Figure 14는 CASE 04에서 적용한 시스템의 구조이다. 진하게 표시된 품목은 수리 불가능한 구매 품목을 의미한다. 하나의 기지와 창에 총 17개의 LRU와 21개의 SRU에 대해 1계층부터 3계층 까지 혼재되어 구성되어 있는 것을 볼 수 있다.

수치예제를 통해 모든 품목이 (s-1, s)의 재고정책을 따른다는 가정아래 최소가용도 접근법과 평균가용도 접근법을 비교하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다(이혁수, 2010). 최소 가용도 접근법이 더 많은 비용을 필요로 한다는 것을 볼 수 있다.

또한, 수리 불가능한 품목에 대해서는 1년에 한

<Table 6> Comparison of Inventory Investments between Two Approach

최소 가용도 접근법		평균 가용도 접근법	
가용도	비용	가용도	비용
85.1%	184,000	85.8%	127,900
89.3%	210,000	90.5%	156,900
95.0%	269,500	95.1%	208,900
98.8%	448,500	98.8%	382,900

<Table 7> Comparison of Inventory Model for 4 CASES

CASE	가용도	최적결정 알고리즘	대상
01	변형된 계산식	한계분석법	수리가능 품목
02	V-METRIC 가용도계산식	한계분석법	수리가능 품목
03	V-METRIC 가용도계산식	SRU: 유전알고리즘 LRU/초기해: 한계분석법	수리가능 품목
04	V-METRIC 가용도계산식	한계분석법	수리가능/ 수리불가능 품목

번 씩 조달하는 방법, 6개월에 한번 씩 조달하는 방법, 그리고 EOQ 정책으로 (s,S) 방법을 비교하였다. 그 결과 EOQ 정책을 사용하는 것이 가장 바람직 하지만, 제조사 등에서는 안전재고를 적게 보유함으로써 인해 나타나는 위험을 고려해서 EOQ모형을 사용하는 것 보다 조달 주기를 줄이는 방안을 통해 재고 비용을 줄이는 방안을 제시하고 있다.

### 3.5 연구 비교

각 CASE에 대한 비교를 Table 7과 같이 정리하였다. CASE 01은 가용도 계산식에서 변형을, CASE 02의 경우 기존의 V-METRIC을 그대로 적용하였고, CASE 03은 최적 재고수준 결정 알고리즘을 개선하여 적용하였다. CASE 04의 경우는 수리가능 품목과 수리불가능 품목을 함께 고려했다는 것에 의미가 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 다 단계 다 계층 재고모형의 다른 변형을 찾기 위한 일환으로 V-METRIC 모델의 주요 연구들에 대해 알아보았다.

CASE 01의 경우, V-METRIC의 기본 가정이 충실하게 적용되었고, 수요율, 재보급선 재고량과 그 분포 결정 과정 등이 V-METRIC의 주요 내용과 동일하였다. 다만 가용도 계산과 한계분석에 변형된 식을 사용하여 최적 값을 도출하였다.

CASE 02의 경우에는 데이터를 적용한 계산과정에서 VMR을 이용하여 분포결정을 할 때 가정을 위배하는 경우가 발생하여 그 결과에 대한 심도 있는 확인절차가 필요할 것으로 생각된다.

CASE 03의 경우 기존 연구들에서 주로 사용된 방법들을 조합하여 새로운 알고리즘을 제시하였다.

CASE 04에서는 수리가능 품목 뿐 만 아니라 수리 불가능한 품목까지 고려하여 시스템 전체의 가용도와 비용을 계산하였다. 이에 따라 각각의 계산 방법과 조달 정책 등을 비교 분석하였다.

이상의 연구 결과들은 대체로 V-METRIC 모델의 알고리즘으로부터 다소 변형된 모습을 보여주고 있으나, 모델수립 가정의 취약점인 수리구성품의 심각도(Criticality), 공통성(Commonality), 병렬(Redundancy), 폐기(Condemnation) 등을 고려한 연구는 아직 진행되고 있지 않다는 것을 알 수 있어 향후 이와 같은 현실적인 조건들이 포함된 방향의 연구가 필요하다고 할 수 있다.

## Acknowledgement

This research is financially supported by Changwon National University in 2015~2016.

## References

1. 우제용, 김준연, 미군의 수리부속 재고관리 효율화 노력 및 시사점, KIDA 주간국방논단, 제1389호,

- 2011.
2. Y.H. Kim, S.Y. Lee, Review of Research on Multi-echelon and Multi-indenture Inventory Models for Repairable Parts, 2016 Spring Systems Engineering Symposium, p37.
  3. Y.H. Kim, S.Y. Lee, Review of Studies on V-METRIC for Repairable Parts Inventory Management, 2016 Fall Systems Engineering Symposium, p46.
  4. F.M. Slay, VARI-METRIC: An Approach to Modelling Multi-Echelon Resupply When the Demand Process is Poisson with a Gamma Prior, Logistics Management Institute, Washington, D.C. Report AF301-3, 1984.
  5. C.M. Jung, M.C. Lee, Logistic Supportability Improvement Program for the Future Main Battle Tank, Journal of the Korean Society of Systems Engineering 1, p34-42, 2005.
  6. C.C. Sherbrooke, Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques, Wiley, New York, 1992.
  7. F. Costantino, G. Di Gravio, and M. Tronci, Multi-Echelon, Multi-Indenture Spare Parts Inventory Control Subject to System Availability and Budget Constraints, Reliability Engineering and System Safety 119, p95-101, 2013.
  8. F. Costantino, G. Di Gravio, R. Patriarca, and M. Tronci, Spare Parts Inventory Control Model for the Aeronautical Industry, XIX Summer School "Francesco Turco", Industrial Mechanical Plants, 2014.
  9. W.D. Rustenburg, G.J. van Houtum, and W.H.M. Zijm, Spare Parts Management at the Royal Netherlands Navy: Vari-Metric and Beyond, BETA Working Paper WP-39, University of Twente, 1998.
  10. W.D. Rustenburg, G.J. van Houtum, and W.H.M. Zijm, Spare Parts Management for Technical Systems: Resupply of Spare Parts under Limited Budgets, IIE Transactions 32, p1013-1026, 2000.
  11. W.D. Rustenburg, G.J. van Houtum, and W.H.M. Zijm, Spare Parts Management at Complex Technology-Based Organization: An Agenda for Research, Int. J. Production Economics 71, p177-193, 2001.
  12. S.T. Jung, S.J. Lee, Optimal Spare Part Level in Multi Indenture and Multi Echelon Inventory Applying Marginal and Genetic Algorithm, Korean Management Science Review 31, p61-76, 2014.
  13. S.T. Jung, Spare Parts Allocation Algorithm and Cannibalization for Availability Improvement, 2014.
  14. H.S. Lee, Determination of Inventory Policies for Repairable and Consumable Items based on VARI-METRIC, 2010.
  15. C.C. Sherbrooke, METRIC: A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control, Operations Research 16, p122-141, 1968.
  16. J. Muckstadt, A Model for Multi-Item, Multi-Echelon, Multi-Indenture Inventory System, Management Science 20, p472-481, 1973.
  17. C.C. Sherbrooke, VARI-METRIC: Improved Approximations for Multi-Indenture, Multi-Echelon Availability Models, Operations Research 34, p311-319, 1986.