

## 작업 시간과 자세위험도를 고려한 군 보급시설 수리부속 배치대안 결정

김경록<sup>1\*</sup>, 차종한<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>LIG 넥스원 ILS 연구센터

### Decision Making for the Arrangement of Spare Parts in Military Warehouse, considered on Working Time and Posture Difficulty

Kyung-Rok Kim<sup>1\*</sup> and Jong-Han Cha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ILS(Integrated Logistics Support) R&D Lab, LIG Nex1

**요 약** 방위 산업에서는 무기체계라 말하는 장비가 목표 수명동안 지속적으로 사용 할 수 있도록 설계에서부터 정비까지 많은 분야에 걸쳐 연구가 이루어지고 있다. 하지만, 장비를 수리하는데 필요한 수리부속이 저장 및 불출되는 군 보급 시설의 운용 관리는 현실적 연구가 부족한 상황이다. 그래서 이 글에서는 군 보급시설의 효율적인 운용 관리를 위하여 저비용 고효율을 얻을 수 있는 수리부속 배치에 대한 연구를 제시한다. 먼저, 수리부속을 MTBF(Mean Time Between Failure) 기준 하에 A/B/C 그룹으로 나누어 기본적인 배치 대안들을 정의한다. 이렇게 정의된 대안들은 시뮬레이션과 작업 자세 평가 도구인 RULA(Rapid Upper Limb Assessment)를 통해 대안 선정에 필요한 평가 속성인 작업 시간과 자세 위험도를 도출하고, 이를 엔트로피 척도를 통해 대안 결정을 한다. 본 연구는 작업 시간과 자세 위험도를 최소화 하여 군 보급 시설 내 효율적인 수리부속 배치 방법을 제시하였다. 이는 군 보급시설의 시스템 및 인간공학적 접근을 함께 고려한 점에서 앞으로의 연구에 새로운 방향을 제시하였다 할 수 있다.

**Abstract** In order for a machine, especially used in the defense industry, to consistently operate during its life-time, lots of study has been done in machine design as well as machine maintenance. However, the realistic study is necessary in management and operation of a military support facility, where spare parts are stored and retrieved. In this paper, efficient arrangement of spare parts are proposed to acquire increased in efficiency and decreased in cost for operation management of the military support facility. First, spare parts is assorted by MTBF(Mean Time Between Failure) and divided in to three groups A/B/C as an alternative arrangement. Each defined alternatives will go under simulations and RULA(Rapid Upper Limb Assessment), which is posture classification scheme evaluation attributes, to find working time and posture difficulty and lastly by entropy measurement to be selected. This research proposes the efficient spare parts arrangement in military support facility to minimize working time and posture difficulty. By taking system and human engineering approach together into consideration, it will lead to show a specific value.

**Key Words** : Entropy Measurement, MADM(Multiple Attribute Decision Making), Military Support Facility, RULA, Simulation

### 1. 서론

방위 산업에서 무기체계라 일컫는 첨단 장비는 사용목

적이 국가안보를 위한 것이기 때문에 고장이 나서 운용이 중지되는 상황을 예방정비 등을 통해 미연에 방지해야하며, 고장이 나더라도 최대한 빨리 정비 및 수리부속

\*Corresponding Author : Kyung-Rok Kim(ILS R&D Lab, LIG Nex1.)

Tel: +82-31-8026-4979 email: kyungrok.kim@lignex1.com

Received September 10, 2013

Revised (1st October 2, 2013, 2nd October 9, 2013)

Accepted October 10, 2013

이 보급이 되어야 한다. 이를 연구하는 분야가 종합군수 지원으로, 무기체계가 전력화되어 군에서 사용될 때 목표한 운용가용도(실제 운용시간/목표 사용시간)를 달성하기 위하여 신뢰도를 향상시키고 정비도를 줄이기 위한 연구가 이루어지고 있다. 신뢰도 향상은 미 국방규격인 MIL-217F, MIL-217 PLUS 등을 통해 예측 수명주기를 파악하여 부품 교체 및 이중화 설계 등을 통해 진행되고 있으며, 가속수명시험 등의 방법도 일조하고 있다. 그리고 정비도 개선을 위해 장비 설계 변경, 효과적인 공구선정 등의 방법으로 정비 시간을 줄이거나 정비를 위한 행정적 소요 시간을 최소화하는데 연구가 이루어지고 있다. 여기서 행정적 소요시간은 정비를 위해 ‘사용자-부대-야전 직접-야전 일반-창’으로 이루어져있는 각 정비계단으로의 장비 이동시간과 고장 난 장비 내 교체되어야할 부품인 수리부속이 군 보급시설을 통해 올 때까지 대기 시간 등을 포함하고 있다. 이러한 행정적 소요시간을 최소화하는데 주요한 요소 중 하나인 보급시설은 일종의 창고라고 볼 수 있는데 얼마나 효율적으로 운용 관리를 하는가에 따라서 장비 운용 가용도에 큰 영향을 줄 수 있으나 아직 타 연구 영역에 비해 미진한 상태이다.

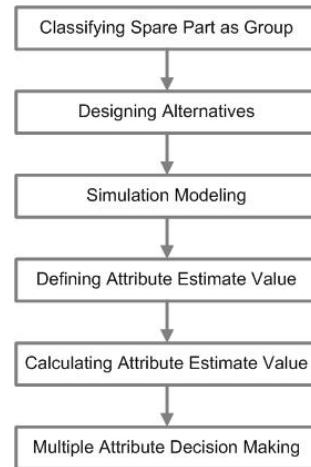
이에 본 연구에서는 군 보급시설 개선을 위해 수리부속 배치 대안 결정을 연구방향으로 정한다. 이는 수리부속의 배치 효율에 따라 보급처리시간을 줄이고 정비도 개선에 큰 영향을 주기 때문이다.

군 보급시설은 스택커 크레인 등으로 이루어진 야전 수준의 자동창고 시설이 존재는 하나, 대부분이 부대 수준의 보급시설로 사람이 직접 창고 랙에 저장 및 불출을 하고 있는 상황이다. 이러한 환경에서 보급시설 내 랙 전체를 한 블록으로 보고 분석하는 거시적인 접근 보다는 랙 내 저장 공간 하나하나를 세밀하게 구분하여 배치안을 제시하는 미시적인 접근으로 연구하는 것이 적절하다. 이러한 미시적인 접근을 위해 자세 위험도라는 요인을 분석에 함께 포함하였다. 자세 위험도란 작업 자세 별 자주 사용하는 근육과 각도 기준으로 위험도를 수치화 한 것으로, 부대 수준의 군 보급 시설처럼 모든 저장 및 불출 작업을 사람이 수행하는 시설에는 자세 위험도를 최소화 할 수 있는 방향으로 개선되어야 한다. 이는 현 환경에 맞는 연구이다.

본 연구 절차는 아래 Fig. 1과 같다. 먼저, 수리부속을 MTBF 기준으로 3개 그룹으로 분류한다. 이러한 분류는 저장 및 불출이 빈번히 이루어지는 수리부속과 그렇지 못한 수리부속으로 나누는 것을 의미한다. 이렇게 분류된 수리부속 그룹은 보급시설 내 랙 저장 공간에 배치대안을 설계한다. 이때 배치는 랙 입구에 따라 단방향과 양방향으로 나누어 구성한다. 이렇게 도출된 수리부속 배치

대안 검증을 위해 시뮬레이션 모델링 한다. 시뮬레이션을 실험에 활용하는 것은 정량적 자료와 정성적 자료들이 복잡하여 이루어져 있는 대안들을 평가하기엔 단순 수리적 모델로는 한계가 있는 이유다. 그리고 시뮬레이션 모델링을 통해 얻고자 하는 결과 자료인 평가 속성을 선정한다. 이 평가 속성은 시뮬레이션을 통해 대안별로 산출되고 이는 배치대안을 결정에 사용되는데, 주목할 점은 작업 시간 최소화과 같은 기본적인 목적과 해당 작업을 수행하는 보급시설 담당자의 작업 위험도 최소화도 함께 고려하여 미시적 측면의 분석을 가능하도록 평가 속성을 선정한다. 이 때 인간공학적 자세평가 도구인 RULA를 이용한다. 마지막으로 다속성 대안 결정은 가장 많이 이용되는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 비롯하여 많은 방법론이 알려져 있지만, 최근 많이 사용 및 연구되어지고 있는 엔트로피 척도를 이용하여 배치대안을 결정한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 연구 배경 및 목적을 제시하고, 2장에서는 관련 연구 동향을 파악하고, 3장에서는 연구 내용 상 주요 기법인 인간공학적 자세평가 도구인 RULA와 다속성 대안결정기법인 엔트로피 척도 기법에 대해서 설명한다. 그리고 4장에서는 위에서 언급한 연구 내용을 바탕으로 사례 연구를 하여 5장에서 결론을 제시한다.



[Fig. 1] Research Process

## 2. 관련 연구 동향

### 2.1 물류시설 내 저장방식에 대한 연구

최근 군 보급시설과 같은 물류 시설에 대한 연구는

RFID(Radio Frequency IDentification) 나 자동화 설비와 같은 기술적인 방향으로 진행이 되고 있는 추세이다. 이런 추세에 맞추어 군 보급시설에도 이런 기술을 도입하는 추세이고, 이런 연구 역시 바람직하다 생각된다. 하지만 수많은 부대 수준의 군 보급시설에 이러한 기술 및 기반 시설이 도입되기에는 많은 투자비용을 발생시키기 때문에 아직 현실적으로 수용되기 힘들다. 그래서 본 연구처럼 기존 시설 내 정책적인 방법을 제시하는 연구 동향을 알아보고 설명한다.

김명훈(2003)등은 물류창고에서 블록별 저장방식 및 주문 처리에 관한 연구를 하였다[1]. 이 연구에서는 기존 등급별 저장방식과 블록별 저장방식을 비교하며 블록별 저장방식의 이점을 분석한 것으로, 창고 관리 연구 중 RFID 등과 같은 기술적 연구가 아닌 정확한 연구로 접근하는 것에 대해서 본 연구와 관련이 깊다. 하지만 저장방식 분석의 범위가 높지 구분 없는 구역으로 두었기 때문에, 저장 공간 각각의 층이 모두 고려된 저장방식이 아니라는 한계가 있다.

여성주(2009)등은 유통업에서 MBA(Market Basket Analysis)분석과 시뮬레이션을 이용한 물류센터 재고배치 효율화에 관한 연구를 하였다[2]. 이 연구에서는 유통업을 대상으로 고객 구매 패턴을 MBA분석을 한 뒤 상품의 연관성을 파악하여 이를 토대로 상품 배치안을 구성한다. 그리고 이를 시뮬레이션을 통해 검증한다. 기존 연구가 대부분 각 상품별 수요 빈도가 독립적이라는 가정하에 연구된 것에 비해 수요 빈도는 서로 간에 연관성이 있다는 기준 하에 분석한 것으로 연구적 의의가 크다고 보여진다. 하지만 본 연구도 위에서 언급한 것과 같이 창고 내 수많은 저장 공간을 층 별 따라 분류는 하지 않아 한계가 있다.

## 2.2 작업 자세 평가에 관한 연구

작업 자세에 대한 위험정도를 정량적으로 평가할 수 있는 기법은 OWAS(Ovako Working-posture Analysis System), RULA, REBA(Rapid Entire Body Assessment) 등이 존재한다.

기도형(2005) 등은 작업 자세 평가 기법 OWAS, RULA, REBA 비교에 관한 연구를 하였다[3]. 이 연구에서는 철강, 전자, 자동차, 화학 산업에서 224 작업 자세를 추출하여 이 작업 자세 평가 기법의 정확성을 비교하였고, 자세 별 평가 값이 보다 민감하게 결과가 도출되는 RULA의 사용을 권장하였다. 그래서 본 연구에서는 RULA를 이용하여 작업 자세를 평가하고 이를 자세 위험도라는 평가 속성을 산출하는데 사용한다.

## 2.3 다 속성 의사 결정(MADM)에 관한 연구

다 속성 의사 결정(MADM) 문제는 주로 AHP를 사용하여 해결해 왔다. 쌍대 비교를 통한 속성별 가중치를 두어 정량화 된 데이터로 의사 결정을 하는 것인데, 최근에는 MADM 문제를 해결하기 위한 방법론이 다양해진 상태다.

이강인(2003)은 엔트로피 척도를 이용한 MADM 문제의 선호 대안 선정에 관한 연구를 하였다[4]. 이 연구는 대안 별 속성 평가치의 차이가 클수록 높은 가중치를 부여하여 의사 결정하는 방법론이다. 이 이론을 통해서 어떤 의사 결정자라도 보다 객관적인 기준으로 갖고 빠르게 대안 선정을 할 수 있다. 하지만 이 선행 연구에서는 속성 평가치가 클수록 선호 경우만을 고려한 단점이 있다.

김경록(2010)등은 시뮬레이션과 엔트로피 척도를 이용한 철도 차량기지 대안 선정에 관한 연구를 하였다[5]. 기존 엔트로피 척도를 이용한 대안 선정 연구에 추가적으로 속성 평가치가 낮을수록 선호되는 것도 함께 고려 가능한 대안 선정 기법을 연구하였다. 이것은 대부분의 대안 선정 분야에 적용 가능하도록 일반화한 점이 강점이다.

이정호(2011)등은 PROMETHEE(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)와 엔트로피 기법을 이용한 돌발홍수 위험도 평가에 관한 연구를 하였다[6]. 이 연구는 지역별 돌발 홍수 위험도를 정량적으로 평가한 다기준 의사결정 연구로, 엔트로피를 이용하여 평가 속성의 가중치를 구한 뒤 PROMETHEE를 사용하여 지역별 위험 순위를 정하고 High/Medium/Low Risk 로 등급화 한 것이다. 기존 연구들이 전문가들의 주관적 판단하여 가중치를 두고 의사결정을 한 것에 비해, 수리적으로 분석한 점은 비전문가도 사용 가능하다는 점에서 강점을 가진다. 그러나 엔트로피를 사용하여 가중치를 산출할 때, 정규화하지 않은 점은 단위가 다름에서 오는 차이를 미 고려한 것이기 때문에 단점을 가진다.

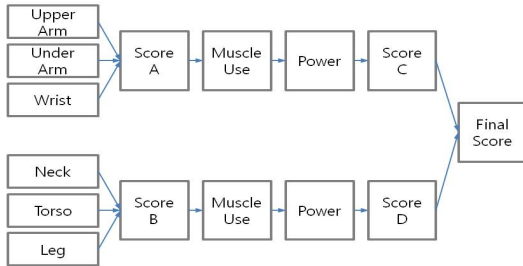
본 연구에서는 작업 시간과 자세 위험도 모두 낮을수록 선호 되는 속성으로, 위 김경록(2010)등의 선행 연구를 통해 다 속성 의사 결정 문제를 해결하였다.

## 3. 기초 연구

### 3.1 RULA를 이용한 작업 자세 평가

RULA는 1993년에 McAtamney와 Corlett에 의해 근골격계질환과 관련된 위험인자에 대한 개인 작업자의 노출 정도를 평가하기 위한 목적으로 개발하였다. 이것은 어깨, 팔목, 손목, 목 등 상지에 초점을 맞추어서 작업자세로 인한 작업부하를 쉽고 빠르게 평가하기 위하여 만들

어진 기법이며, 나쁜 작업자세로 인한 장애를 안고 있는 작업자의 비율이 어느 정도인지를 쉽고 빠르게 파악하는 방법을 제시하기 위해 만들어졌다. 그리고 포괄적인 인간 공학적 평가를 위한 결과를 제공하기 위한 목적으로 개발되었다[7].



[Fig. 2] RULA Procedure

[Fig. 2]는 RULA를 이용한 작업 자세 평가 절차이다. 먼저 윗팔, 아래팔, 손목, 손목 비틀림의 각도 등을 통해 자세 점수 A를 표로 측정하고, 근육사용 및 힘에 대한 점수를 더해 점수 C를 산출한다. 그리고 목, 몸통, 다리의 각도 등을 통해 자세 점수 B를 표로 측정하고, 근육사용 및 힘에 대한 점수를 더해 점수 D를 산출한다. 이렇게 산출된 점수 C와 D를 표로 측정하여 최종점수를 도출한다. 이 최종점수는 작을수록 근골격계질환에 대한 위험도가 낮아진다. 이때 각 자세 점수에 대한 표와 계산식은 기도형(2005)등이 연구한 작업자세 평가 기법 OWAS, RULA, REBA 비교 연구를 참고 한다[7].

### 3.2 엔트로피 척도를 통한 다속성 대안 결정

엔트로피 척도 개념은 정보 이론 등에서 널리 사용하는데, 이것은 구간의 순도에 대한 척도이다. 주어진 구간이 한 클래스에 속한 값들만을 포함하면 즉, 완전히 순수하면 엔트로피는 0이 되고 전체 엔트로피에 기여하지 못하게 된다[8].

엔트로피 척도를 통한 의사 결정을 설명하기 위해서 기호를 Table 1과 같이 정의 한다.

[Table 1] Symbol Definition

Symbol	Definition
$n$	Number of Total Attributes
$m$	Number of Total Alternatives
$k$	$1/\log m$
$x_{ij}$	Attribute Estimate Value per Alternatives

$N_{ij}$	Normalized $x_{ij}$
$E_j$	Entropy Measurement of $N_{ij}$
$d_j$	$d_j = 1 - E_j$
$W_j$	Normalized $d_j$

각 대안 별 속성을 통한 의사 결정을 하려면, 먼저 각 속성 값들을 정규화 하는 과정이 필요 하다. 정규화 하는 공식은 식(1)과 같다.

$$N_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} x_{ij}, & \text{만약 } x_{ij} \text{이 최대일수록 좋으면} \\ 1/x_{ij}, & \text{만약 } x_{ij} \text{이 최소일수록 좋으면} \end{cases}$$

이때  $x$  값은 속성 값이 최대 일수록 좋은 것이라면 그 대로 사용 하고, 최소 일수록 좋은 것이라면  $1/x$  값으로 바꾼다.

정규화 된 속성 값에 가중치를 주기 위해 엔트로피 개념을 활용한다. 엔트로피 공식은 식(2)와 같다.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m N_{ij} \log N_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$d_j = 1 - E_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

여기서 다양함의 정도(degree of diversification) 를 엔트로피를 통해 얻어 낸다. 이를 통해 속성 내 대안별 평가치의 차이가 많이 날수록 해당 속성의  $d_j$ 는 높게 표현된다. 마지막으로, 해당  $d_j$  를 가중치로 사용하기 위해 식(4)와 같은 절차를 따른다.

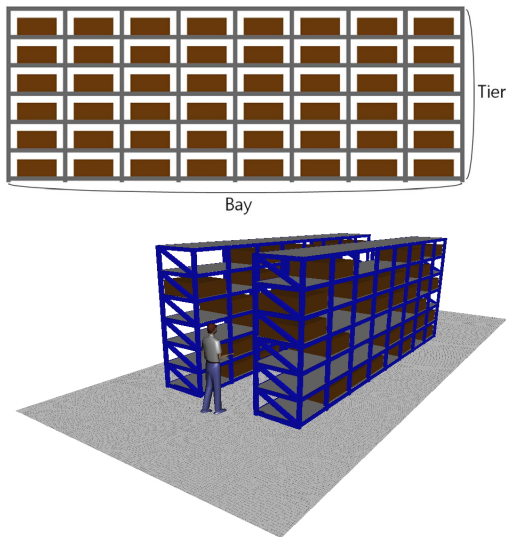
$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

이 방법을 통해 속성 내 평가치가 대안별로 차이 많을수록 높은 가중치를 갖게 되어 좀 더 효율적인 의사 결정을 빠르고 쉽게 얻어 낼 수 있다[5].

### 4. 사례 연구

이 실험은 군 보급시설 저장 공간 내 수리부속 배치대안 4개를 선정하여 이를 시뮬레이션과 엔트로피 척도 기법을 사용하여 대안 결정을 하였다.

실험 대상인 군 보급시설의 구조는 아래 Fig. 3처럼 Bay라 표현한 가로축은 8개로 이루어 졌으며, Tier 표현한 세로축은 6개로 이루어 졌다. 한 공간 당 한 개의 수리부속을 저장할 수 있고, 통로 양쪽으로 저장 공간이 존재한다. 저장 공간 한쪽 당 48개 수리부속이 존재 하며, 마주보고 있는 수리부속 끼리는 동일 품목이다.



[Fig. 3] The Structure of Support Facility

실험에 사용된 입력 자료는 일반화된 자료이며, 적용시 각 보급 시설 내부 자료를 본 절차에 따라 입력하여 분석하면 된다.

#### 4.1 수리부속 그룹별 분류

군 보급시설에 배치될 수리부속을 그룹별로 나누었다. 그룹은 총 A/B/C로 3종류이며 MTBF가 낮은 것에서부터 높은 순으로 A/B/C로 분류하였다. 분류된 수리부속의 MTBF는 Table 2로 표기하였다.

[Table 2] The MTBF of Spare Part in A/B/C Group

No.	A Group	B Group	C Group
1	508	1025	3405
2	552	1064	3548

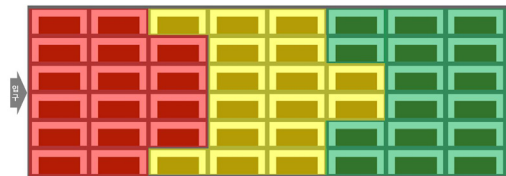
3	557	1099	3625
4	611	1127	3635
5	613	1191	3791
6	619	1224	3930
7	655	1253	3994
8	662	1345	4120
9	674	1375	4129
10	790	1448	4169
11	798	1579	4839
12	814	1628	5359
13	827	1707	5429
14	863	1853	5644
15	866	1933	5907
16	946	1988	5924

#### 4.2 그룹별 배치대안 설계

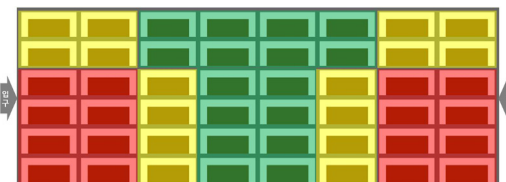
분류된 수리부속은 아래 Fig. 4, 5, 6, 7과 같이 배치대안을 설계 하였다. A그룹은 붉은색, B그룹은 노란색, C그룹은 녹색 영역에 배치하였으며 대안별 배치대안 설계기준은 다음과 같다. 대안 1은 입구 최 하단 층에서 대각선 방향으로 A/B/C그룹을 배치한 것이고, 대안 2는 입구와 랙의 중앙 층에 가까울수록 A/B/C그룹을 배치한 것이다. 그리고 대안 3은 대안 1의 기준에 양방향 입구를 고려하여 그룹을 배치하였으며, 대안 4는 대안 2의 기준에 양방향 입구를 고려하여 그룹을 배치하였다.



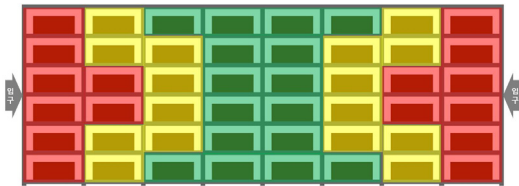
[Fig. 4] Alternative 1



[Fig. 5] Alternative 2



[Fig. 6] Alternative 3



[Fig. 7] Alternative 4

### 4.3 시뮬레이션 모델링

위 절차에서 제시된 수리부속 배치대안을 결정하기 위해, 시뮬레이션을 통한 평가 속성 결과를 산출한다. 이때 시뮬레이션 모델링은 AUTOMOD라는 3D 시뮬레이션 소프트웨어를 사용한다. 시뮬레이션 모델링은 아래에 제시된 가정 및 입력 자료를 통해 작성된다.

#### 4.3.1 시뮬레이션 가정

- (1) 보급 시설 내 저장 및 불출 담당자는 한명이다.
- (2) 보급 시설 저장 공간은 해당 수리부속으로 모두 채워진 채 시작한다.
- (3) 불출된 수리부속은 바로 재 주문하며, 5일 후 입고된다.
- (4) 모든 수리부속은 중복되는 것 없이 독립적이다. 단, 저장 공간 내 통로를 중심으로 마주보고 있는 수리부속은 동일 품목이다.
- (5) 하나의 수리부속은 하나의 저장 공간에 배치된다.
- (6) 수리부속 불출은 고장정비에 의해서만 요청한다. 이때 고장정비란, 예방정비와 같이 고정적인 빈도에 의해 정비 및 수리부속 보급이 이루어지는 것이 아닌 노후 등의 원인으로 갑자기 고장이 나 정비 및 수리부속 보급이 이루어지는 것을 말한다.

#### 4.3.2 입력자료

(1) 정성적 자료  
시뮬레이션 모델링을 위한 정성적 자료로는 운용시나리오가 있다. Fig. 8은 군 보급시설 담당자가 시설 내 운

용을 순서도화 한 것이다. 이 담당자는 수리부속이 입고되면 해당 위치에 저장을 하고, 수리부속이 요청되고 수리부속이 존재하면 해당 위치에서 불출한다. 불출이 끝나면 수리부속 부족분에 대해 주문을 하며, 모든 입고는 요청을 우선시 한다.

#### (2) 정량적 자료

시뮬레이션 모델링을 위한 정량적 자료로는 수리부속별 MTBF, 저장 공간 층별 저장 및 불출 시간, 그리고 군 보급시설 내 담당자 이동 속도가 있다.

수리부속별 MTBF는 Table 2와 같다. 이 때 MTBF는 지수 분포를 따르며, 해당 품목이 고장이 나 수리부속을 사용하게 될 빈도는 이것에 영향을 받는다.

저장 공간 층별 저장 및 불출 시간은 Table 3에서 층별 저장 및 불출 시간을 표기한 것으로 실제 담당자가 해당 업무를 수행할 시 스톱 와치를 이용하여 측정된 대략적인 평균값이다. 이것은 정규분포를 따르며 표준편차는 평균값의 10%로 정의 한다.

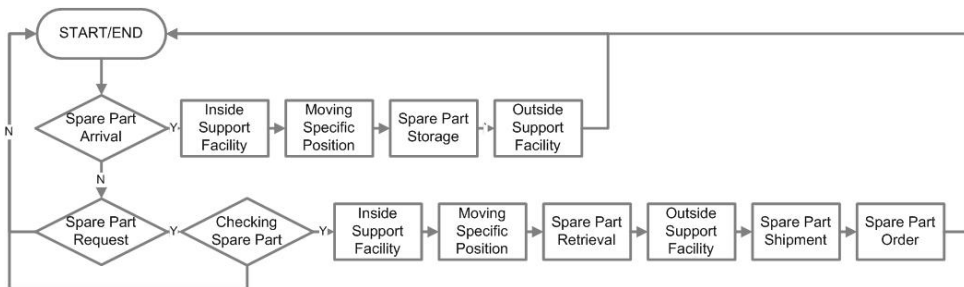
군 보급시설 내 담당자 이동 속도는 0.8 m/sec으로, 성인 남성 걷는 정도 수준으로 설정 한다.

[Table 3] Storage and Retrieval Time

Level	Storage and Retrieval Time
1	50
2	40
3	30
4	30
5	40
6	50

### 4.4 평가 속성 선정

평가 속성으로는 A/B/C 그룹 별 평균 작업 소요시간(sec), 보급시설 관리자 평균 업무시간(sec), A/B/C 그룹 평균 작업 위험도(%)를 평가 속성으로 선정하였다. 이 중



[Fig. 8] Operation scenario

A/B/C 그룹 평균 작업 소요시간(sec), 보급시설 관리자 평균 운용시간(sec)은 저장 및 불출을 처리하고 이동하는 등의 보급 시설 내 업무 시간을 의미하며 시뮬레이션 모델을 통해 얻을 수 있었다. 그리고 A/B/C 그룹 평균 작업 위험도는 시뮬레이션 모델과 RULA를 모두 이용하여 산출 하였다. 이것은 각 수리부속 그룹의 층 별 작업 횟수를 시뮬레이션 모델을 통해 산출하여 이를 RULA을 통해 도출된 자세 평가 점수를 곱한 것에 전체 작업 횟수를 나누는 것으로, 이를 도식화 하면 아래 (5) 와 같다.

Table 4는 RULA를 통해 층 별 저장 및 불출 작업 자세에 대한 평가 점수를 도출한 것이다. 층 3, 4 에 가까울수록 다리와 몸통을 기울이는 각도가 줄고 사용하는 근육이 줄어들기 때문에 낮게 평가 된 것을 확인 할 수 있다.

[Table 4] Posture Classification

Level	Posture Classification
1	5
2	3
3	2
4	2
5	3
6	5

[Table 5] Symbol Definition

Level	Posture Classification
$c_i$	Working number per Level
$p_i$	Posture Classification by RULA
$C_j$	Total working number per A/B/C Group
$P_j$	Posture Difficulty per A/B/C Group

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^6 (p_i * c_i)}{C_j}, j = A, B, C \quad (5)$$

#### 4.5 평가 속성 결과

시뮬레이션 모델을 이용하여 운용기간 5년, 반복횟수 30번 동안 실험한 자료의 평균값을 Table 6과 같이 산출 하였다.

[Table 6] Result per Alternatives

		Alternative			
		1	2	3	4
Working Time	A	46.49	46.81	44.19	43.67
	B	54.08	53.94	49.76	49.15
	C	61.75	61.22	53.23	55.22
Operation Time		115992	116318	108218	107490
Posture Difficulty	A	2.98	3.20	3	3.03
	B	3.53	3.35	3.52	3.26
	C	3.57	3.46	3.49	3.86

#### 4.6 엔트로피 척도를 이용한 대안 결정

엔트로피 척도를 이용하여 대안 결정을 위한 속성 별 가중치를 얻을 것이다. 위 기초연구에서 언급한 되로 같이 대안별 결과를 Table 7과 같이 정규화 한다. 이렇게 정규화한 결과를 이용하여 Table 8처럼 속성 가중치를 구하여, 대안 별 결과에 해당 속성 가중치를 곱한다. Table 9에서는 이것의 전체 합을 대안 선정의 기준으로 두고 가장 합이 큰 대안 3을 결정하였다.

[Table 7] Normalized Result

		Alternative			
		1	2	3	4
Working Time	A	0.243321609	0.241658227	0.25598601	0.25903416
	B	0.238679583	0.239299071	0.25940096	0.26262038
	C	0.233264896	0.23528434	0.2706013	0.26084946
Operation Time		0.24107251	0.240396865	0.25839031	0.26014032
Posture Difficulty	A	0.255880015	0.238288264	0.25417415	0.25165757
	B	0.241581236	0.25456172	0.24226755	0.2615895
	C	0.251282482	0.259271232	0.25704254	0.23240375

[Table 8] Weight by Entropy

		E	d	W
Working Time	A	0.999665907	0.00033409	0.0762919
	B	0.999292703	0.0007073	0.16151502
	C	0.998504333	0.00149567	0.34154348
Operation Time		0.999502016	0.00049798	0.11371729
Posture Difficulty	A	0.999720501	0.0002795	0.06382501
	B	0.999588726	0.00041127	0.09391658
	C	0.999346673	0.00065333	0.14919072

[Table 9] MADM

		Alternative			
		1	2	3	4
Working Time	A	0.018563468	0.018436566	0.01952966	0.01976221
	B	0.038550337	0.038650394	0.04189715	0.04241714
	C	0.079670104	0.080359832	0.09242211	0.08909143
Operation Time		0.027414112	0.027337279	0.02938345	0.02958245
Posture Difficulty	A	0.016331545	0.015208751	0.01622267	0.01606205
	B	0.022688482	0.023907565	0.02275294	0.02456759
	C	0.037489015	0.038680863	0.03834836	0.03467248
Total		0.240707065	0.242581251	<b>0.26055634</b>	0.25615535

### 5. 결론

본 논문에서는 작업 시간과 자세위험도를 고려한 군 보급시설 수리부속 배치대안 결정에 대해 연구를 하였다. MTBF 기준으로 수리부속을 A/B/C 그룹으로 나누고 이에 따른 군 보급시설 내 배치 대안을 설계하였다. 이렇게 설계된 배치 대안을 바탕으로 시뮬레이션 기법을 이용하여 A/B/C 그룹 별 평균 작업 시간 및 관리자 평균 업무시간을 얻었고, RULA를 통해 자세 위험도도 함께 산출하였다. 이렇게 얻어진 평가 속성을 바탕으로 엔트로피 척도를 이용한 대안 결정을 통해 최적의 수리부속 배치대안을 결정하였다.

이 방법은 군 보급시설의 현실적 측면을 고려된 연구로, 비용적인 투자 없이 정책적인 변화를 통해 최소한의 저장 및 불출 시간과 업무 피로도를 달성할 수 있도록 효과적인 보급시설 운용관리를 수립하는데 도움이 될 것이다. 그리고 보급시설과 같은 물류시설의 기존 연구가 시스템적인 접근에 국한된 것에 비해, 본 연구는 인간공학적 자세 위험도를 함께 고려하여 기존 연구와는 다른 새로운 연구 분야를 제시한 것으로 볼 수 있다. 향후 보다 다양한 측면의 접근을 고려한 보급시설 연구를 할 것이다.

### References

[1] M. H. Kim, J. H. Kim, "The Block-Based Storage Policy and Order Processing in Logistics Warehouse", Journal of the Korea society of computer and information, Vol.8, No.4, pp.159-164, 2003

[2] S. J. Yeo, K. Y. Seong, G. N. Wang, "A Study on Efficient Stock Arrangement of Distribution Center

Using MBA Analysis and Simulation in Retail Business", IE Interfaces, Vol.22, No.3, pp.234-242, 2009

[3] D. H. Kee, K. H. Park, "Comparison of Posture Classification Schemes of OWAS, RULA and REBA", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.20, No.2 = no.70, pp.127 - 132, 2005

[4] K. I. Lee, "Selecting on the Preferred Alternatives of the MADM Problems using the Entropy Measure", Journal of society of Korea industrial and systems engineering, Vol.26, No.2, pp.55-61, 2003

[5] K. R. Kim, H. J. Chun, H. C. Lee, "Decision Making for Train Maintenance Facility using Simulation and Entropy measurement", Journal of the Korea Academia Industrial cooperation Society, Vol.11, No.8, pp.2809-2817, 2010  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.8.2809>

[6] J. H. Lee, H. D. Jun, M. J. Park, J. H. Jung, "Flash Flood Risk Assessment using PROMET-HEE and Entropy Method", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.11, No.3, pp.151-156, 2011

[7] KOSHA(Korea occupational Safety & Health Agency), RULA(Rapid Upper Limb Assessment), KOSHA, 2012, Available From:<http://www.kosha.or.kr/content.do?menuid=1750>, (accessed Sep., 09, 2013)

[8] Tan, Pang-Ning, Steinbach, Michael, Kumar, Vipin, DATA MINING, pp. 52-237, Addison Wesley, 2007

[9] M. Valliathal, R. Uthayakumar, "A comparative study on two-warehouse inventory model for deteriorating items with shortages", International journal of procurement management Vol.6, No.1, pp.39-57, 2013  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1504/IJPM.2013.050609>

[10] A. GOSAVI, SIMULATION-BASED OPTI-MIZATION, pp. 57-68, Kluwer Academic Publis hes, 2003

김 경 록(Kyung-Rok Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 명지대학교 산업시스템공학부 (공학학사)
- 2011년 2월 : 고려대학교 정보경영공학전문대학원 정보경영공학과 (공학석사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

<관심분야>  
모텔링&시뮬레이션, 체계공학, 최적화



차 종 한(Jong-Han Cha)

[정회원]



- 2010년 2월 : 단국대학교 전기전  
자컴퓨터공학부 (공학 학사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원  
연구원

<관심분야>

체계공학, 정보통신