

# 군 자동화 창고 성능개선을 위한 자동크레인 이동시간 기반 시뮬레이션 연구

(A Simulation Study on Performance Improvement of the military AS/RS  
 Based Travel Time of S/R machine)

장 영 수\*(Jang, Young Soo), 이 범 열\*\*(Lee, Bum Lyul), † 이 흥 철\*\*\* (Lee, Hong Chul)

## 초 록

IT와 과학 기술의 비약적인 발전으로 미래전의 양상도 바뀌고 있으며 이에 따라 효과적인 군수지원의 중요성이 부각되고 있다. 본 연구에서는 최근 부각되고 있는 통합 물류창고 중 자동창고를 중심으로 S/R machine의 운영문제를 Travel Time에 기반을 둔 수리적 분석과 AutoMod를 이용한 시뮬레이션으로 수리적 분석의 타당성을 검증하였다. 이에 따라 자동창고의 S/R machine의 개선된 정주위치 고려와 재고회전 빈도에 따른 운용성능을 분석할 수 있었다.

## ABSTRACT

The rapid development of IT and Science & Technology has greatly influenced the aspect of future warfare. Accordingly, the Army Forces require efficient logistics support, hence the importance of AS/RS has steadily increased. This research validated mathematical propriety of the management problem of S/R machine in AS/RS with mathematical analysis based on its travel time and simulation analysis using Automod. After all, we could improve the performance of S/R machine based on its dwell point and turn-over distribution.

**Keywords** : 자동창고(AS/RS), 자동크레인(S/R machine), 이동시간(Travel time), 시뮬레이션

논문접수일 : 2009년 7월 24일    논문게재확정일 : 2009년 8월 26일

\* 고려대학교 정보경영공학 대학원 석사과정

\*\* (주) 포디엄 시스템 SCM 컨설팅 팀장

\*\*\* 고려대학교 정보경영공학과 교수

† 교신저자

## 1. 서론

미래전은 전장이 확대되고 다양한 전투요소가 투입되어 작전상황이 신속히 전개 될 것이기 때문에 군수지원시스템은 네트워크 체계를 구축하여 적시·적소·적량의 지원을 실현 할 수 있는 지원체제로의 발전이 필요하다[1].

따라서 군수지원능력을 높이기 위한 물량의 확보는 최소화하고 군수지원의 속도를 높이는 방향으로 군수업무가 변화해야 하는 것은 명확한 사실이며 그 중간에서 허브 역할을 하는 것이 물류창고이다[2].

군수 물류창고는 일종의 물류센터라 할 수 있는데 이 물류센터의 기본적 역할은 원자재에서 부품, 완제품 등에 대한 저장기능의 수행이며 저장 품목의 종류와 수량을 지속적으로 추적하는 정보 시스템을 통하여 주문, 생산, 판매와 관련된 동적 재고 관리의 역할도 함께 수행하고 있다[2].

물류센터의 저장 및 관리 기능을 극대화하기 위해 최근의 선진화된 물류 센터에서는 자동창고(Automated Storage and Retrieval System : AS/RS), AGVs, Conveyor 시스템과 같은 자동물류 시스템들이 연계 설치되어 사용되고 있는데 이와 같은 복합시스템은 시스템적 특성이 복잡하고 군에 적용하는데 다소 제한사항이 있는 것이 사실이다. 하지만, 분명히 군 물류 창고도 변화가 필요하며 전/평시 활용 가능하며 선진화된 물류시스템을 도입할 필요가 있다.

통합 물류시스템의 중추적인 역할을 수행하는 것이 자동창고(AS/RS) 이다. 자동창고 시스템은 지난 60년간 물류와 제조분야에 광범위 하게 적용되었고 우리나라에서는 1990년대 후반부터 최근까지 많은 구축사례와 연구가 수행되었다. 자동창고에 대한 주제는 다음과 같이 분류된다[6].

- 저장 공간 할당
- 주행 시간 측정
- 시스템 구성

### • 요청의 스케줄링

일반 기업에서는 자동창고의 도입 시 물동량이나 저장 공간의 효율적인 운영 등이 고려되어야 하겠지만, 군에 적용 시는 군이라는 특수성을 고려할 경우 가장 효과적인 전투지원에 초점을 맞추어야 한다. 현재 군에서는 2005년도부터 ○보급창을 자동화 창고로 대폭 개선하여 성공적으로 운영 중이다.

특히 주행시간 측정에 대한 연구는 자동창고에서 가장 중요한 자동크레인(Storage/Retrieval machine : S/R machine)에 대한 성능 측정 모델을 중심으로 전개되었다. 자동창고 성능 측정 모델 중 대표적인 것이 이동시간 모형(Travel Time Model)이다[6]. 따라서 본 연구에서는 자동창고의 이동시간 모형에 자동크레인(S/R machine)의 정주위치(Dwell Point)를 단순히 S/R machine의 위치가 Rack의 1/2지점에 자리 잡고 있다는 기존의 연구와 차이를 두고 진행되었다.

또한, 수리적 모델 분석과 함께 이동시간 모형(Travel Time Model)에 기초한 Automod를 사용한 이산모델 시뮬레이션을 통해 수리적 모델 분석의 타당성을 증명하였다.

1장 이하의 본 논문의 구성은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 관련연구로써 이론적 배경과 기존연구, 군수 창고의 기능과 업무에 대해 고찰하고, 3장에서는 자동창고 시뮬레이션 도구에 대해 알아보고 4장에서는 수리적 모델에 대해 분석하고 5장에서는 시뮬레이션 실행/ 분석을 실시하며 6장에서 결론을 맺는 순으로 구성되었다.

## 2. 관련연구

### 2.1 이론적 배경

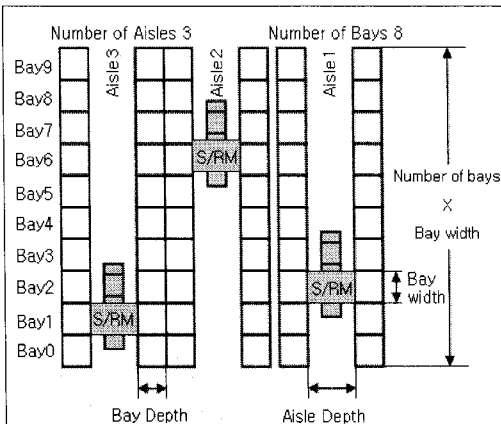
#### 2.1.1 자동창고

자동창고는 물류센터와 FMS라인, 제조업의 창

고 등에서 널리 이용되고 있으며 보관물품을 공정이나 연결지점으로부터 지정된 창고의 저장위치에 자동으로 저장하고, 출고 시에는 선택된 물품을 자동으로 특정 공정이나 연결지점으로 이송하는 기능을 갖는다[3].

자동창고 이용의 최대 장점은 높은 공간 효율성과 재고 관리 및 통제 기능의 향상으로 주문대비 재고의 품질을 방지할 수 있다는 것이다. 군에서도 자동창고 시스템을 도입한다면 전·평시 창고 내 재고부족으로 말미암은 예하부대 전투력 손실이 적어질 것은 자동창고 시스템의 도입에 따른 장점이라 할 수 있다.

자동창고는 저장 랙(rack)을 가지는 하나 또는 그 이상의 통로(aisle)와 물품(load)을 반출(pick-up)하고 반입(retrieve) 하는 자동 크레인(S/R machine), 물품을 자동창고에 입고 및 출고를 위한 STV(Sorting Transfer Vehicle)로 구성되어 있다. 저장 랙은 통로를 따라서 평행하게 배치되며 각 통로의 양쪽으로 S/R machine에 의하여 품목을 저장 및 출고를 할 수 있다. S/R machine은 수직 및 수평이동이 가능하며 수직/수평이동시 각각 다른 모터를 이용하기 때문에 동시 이동이 가능하다. STV를 이용하는 경우에는 양방향 설계를 하고 여러 개의 STV를 이용하는 경우에는 루프형 설계를 하는 것이 일반적이다. <그림 1>은



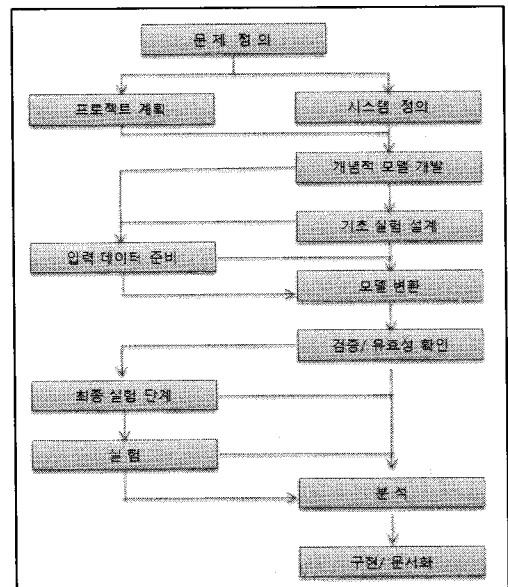
<그림 1> 자동창고의 구성

일반적인 자동창고의 구성을 나타낸다.

## 2.1.2 시뮬레이션

시뮬레이션은 복잡한 시스템이나 시스템의 프로세스를 운영하거나 디자인하기 위한 효과적인 분석방법이다. 웹스터 사전에서 사전적인 의미는, “시뮬레이션은 실재 없이 실재의 본질을 꾸며 내거나 얻는 것”으로 정의되어 있다. Schriдер(1987)에 의하면, “시뮬레이션은 전체 시간에 발생하는 사건에 대해 모델이 실제 시스템의 반응을 모방하는 방법으로 프로세스나 시스템의 모델링”을 의미한다[7].

Shannon의 정의에 따르면 “시뮬레이션은 운영 시스템에 대하여 다양한 운영전략들을 평가하거나 시스템의 작동(behavior) 또는 작용(operation) 들을 이해하기 위해서 여러 실험을 계획하거나 모델을 디자인하는 프로세스”라고 정의하였다. 따라서 실제 시스템의 모델을 통해 시스템의 가동과 운영에 대해 실행 가능한 여러 대안을 분석하고 문제 해결 방안을 도출하기 위하여 모델을 실험하는 일



<그림 2> 시뮬레이션 수행절차

체의 과정이라고 정의할 수 있다. 그러므로 시물레이션은 해결할 문제를 위한 모델의 구성과 모델의 실험적인 접근 방식 등 모두를 고려하여야 한다.

시물레이션의 시스템 방법론(System Methodology)적 접근방법은 계획, 모델링, 검증/ 타당성 입증, 그리고 적용의 4단계로 구분되며 이 4단계는 Pegden, Shannon(1995)에 의해 12단계로 구분되었으며 그 세부 수행절차는 <그림 2>와 같다.

## 2.2 기존연구 고찰

Roodenbergen et. al.(2009)의 연구에 의하면 기존의 AS/RS에 대한 논문의 주요연구방향은 자동화 설비의 일부 성능에만 치중하여 연구되었다고 지적하고 있다. Roodenbergen et. al.(2009)은 AS/RS에 대한 디자인에 관한 문제에 관심을 가졌으며 AS/RS가 특정 요청에 대해 단일로 수행하는 경우는 드물다고 주장하였다. 이러한 이유로 Chincholkar et. al.(1996)은 AS/RS의 Flexible Manufacturing System의 전체적인 틀 내에서 연구를 수행하였다. 그러나 Roodenberg et. al.(2009)이 지적하는 바와 같이 AS/RS 디자인에 대한 전문적인 연구는 수행되지 않았다. 그럼에도 불구하고 자동창고의 성능모델은 이동 시간 모델을 중심으로 Hausman et. al.(1976)이래로 많은 발전을 가져왔다.

이동시간에 대한 모델은 정사각 모델(Square in Time) 과 직사각 모델(Rectangular in Time) 두 가지로 구분할 수 있다. Square in Time(SIT) 모델은 S/R machine의 종단이동 시간과 횡단이동 시간이 동일한 경우로 이는 S/R machine이 이상적인 Rack의 구성을 따르며 이동시간 분석이 용이하다는 장점이 있다. Hausman et. al.(1976)은 단일 명령을 수행하는 AS/RS에 대한 최초의 이동시간 모델을 제시하였다. 이 연구는 3가지의 저장위치 할당 정책 (임의할당 : Random, 등급기준 할당 : Class-Based, 회전율 기준 할당 : Turn-over stor-

age assignment)에 대해 비교하였다. 이후 Graves et. al.(1977)는 재반송을 제외하였던 가정을 보완하여 모델을 향상시켰다.

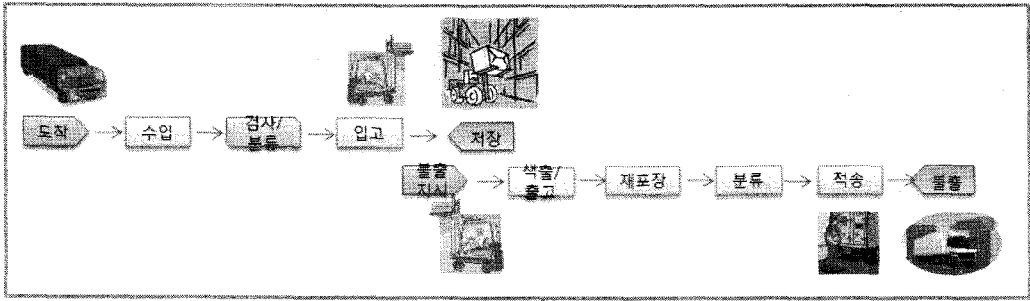
Rectangular In Time(RIT) 모델은 Rack을 시간 단위로 정규화 했을 때 Rack의 형태가 직사각형이라는 일반적이라는 근거에서 출발하고 있다. 즉,  $t_h \neq t_v$ 이며 특히 일반적인 Rack의 구성은  $t_h \leq t_v$  가 대부분이다. 여기서 주목할 부분은 Rack이 직사각형의 형태인 이유는 S/R machine의 승강속도와 주행속도가 다르기 때문이다. 이러한 사실을 바탕으로 Hwang et. al.(1990)은 S/R machine의 증속률과 감속률을 고려한 모델을 개발하였다. 특히, Wen et. al.(2001)은 등가속 모델(Constant Speed Model)과 지수모델(Exponential Speed Model)을 구분하여 저장정책별 비교를 수행하였다.

이러한 연구는 AS/RS에서의 핵심인 S/R machine의 주행속도와 Rack의 형태를 고려하여 연구하였지만, S/R machine의 정주위치(Dwell Point)와 물품(Load)의 위치에 따른 가 감속을 고려한 체계적인 연구가 없었던 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 Automod를 이용한 시물레이션을 바탕으로 S/R machine의 주행데이터를 산출하고 실측데이터와 비교해보았다. 또한, 수리적인 S/R machine의 주행과 관련된 상수를 시물레이션을 통한 증명을 시행하였다.

## 2.3 군 물류 창고 기능 및 업무체계분석

창고는 원자재, 부품, 완성품을 저장하는 것뿐만 아니라 저장품목의 종류와 양을 조절하는 정보시스템의 도입을 통해 구매, 생산, 저장, 분배 등을 원활하게 하기 위한 동적 재고관리의 기능을 수행해야 한다[2].

창고 내에서 수행되는 업무체계는 <그림 3>에서 보는 바와 같이 수입(receiving), 입고(storage), 선택출(picking)/출고, 재포장(repacking), 분류(sorting),



〈그림 3〉 창고 운영개념

적송(shipping)의 6가지 업무로 크게 구분된다.

창고 업무 체계를 전반적으로 살펴보면, 물품을 실은 차량이 도착하게 되면 가용 자원(인력, 지게차 등)을 이용하여 차량으로부터 물품을 내리고(수입), 검사를 병행하여 품목별로 지정된 저장장으로 이동하고, 가용자원을 이용하여 저장대에 옮겨놓음(입고)으로써 물품 저장이 끝나고, 병행하여 계획된 불출지시에 의해 가용자원을 이용하여 불출할 물품을 찾아 저장대에서 내리고(색출/출고), 박스별로 운반하는 품목은 직접 분류하는 곳으로 이동하고 박스를 개봉하여 수량의 조정이 필요한 경우에는 재포장의 단계를 거쳐 분류하는 곳으로 이동한다. 분류장소에서는 가용자원(인력, 자동분배 시스템)을 이용하여 목적지별, 이동수단별로 분류한 뒤 이동수단에 물건을 싣고(적송) 계획된 물품이 모두 실어지면 이동수단은 목적지를 향하여 출발(불출) 하게 된다.

### 3. 자동창고 시뮬레이션 도구

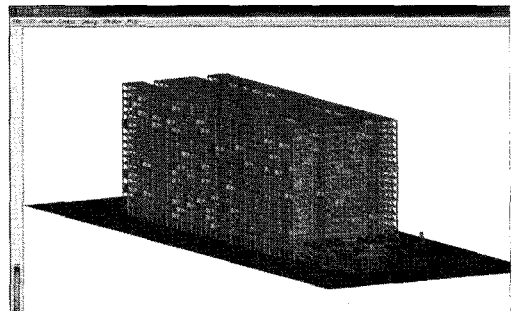
#### 3.1 AutoMod

AutoMod는 미국의 BA(Brooks Automations, Inc.)사에서 1982년 자동화 물류시스템과 소프트웨어 개발 분야에서 폭넓은 지식을 가진 물류 엔지니어링 및 소프트웨어 개발 전문가들이 모여서 개발한 3차원 공장 시뮬레이터로 풍부한 라이브러리 지원 및 마우스를 이용한 간단한 데이터 입

력으로 사용이 쉽고, 3차원 그래픽 및 애니메이션이 강력하다. AutoMod는 공장 제조 및 물류시스템 전용 시뮬레이션 시스템으로 다음과 같은 특징이 있다.

- ① Model Reality
- ② 3D 그래픽 및 애니메이션
- ③ 손쉬운 GUI 환경의 제공 및 model 개발
- ④ 자유로운 애니메이션 편집
- ⑤ Model Communication 기능
- ⑥ 확장된 통계적 기능
- ⑦ Based Movement Set를 사용자에게 제공
  - Movement System
  - Conveyors
  - AGVs
  - Kinematics

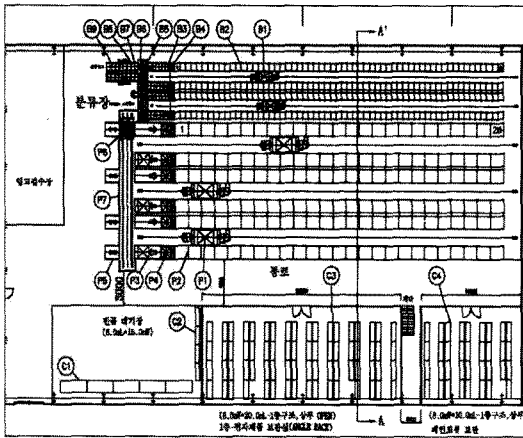
〈그림 4〉는 AutoMod를 이용한 자동창고 구성 예이다.



〈그림 4〉 AutoMod 모델링 예

### 3.2 적용 사례

본 연구에는 철도차량의 자동화 사업의 기본설계를 바탕으로 진행되었다. 군 자동창고를 바탕으로 진행되어야 하겠지만, 군사적 보안문제와 현재 ○보급창에서 운영 중인 바레트 랙과 버킷 랙의 유사한 구조를 지닌 철도차량 자동화 창고를 대상으로 선정하였다. <그림 5>은 모델링에 쓰인 자동화 창고의 단면도이다.



<그림 5> 철도 자동창고 단면도

그림에서 알 수 있듯이 대상 시스템은 Bin Size(B2)와 Pallet Size(P2)의 자동화 Rack이 구성되어 있으며 RGV 장치(P5)도 확인할 수 있다.

## 4. 수리적 분석 모델

### 4.1 이동시간 모형

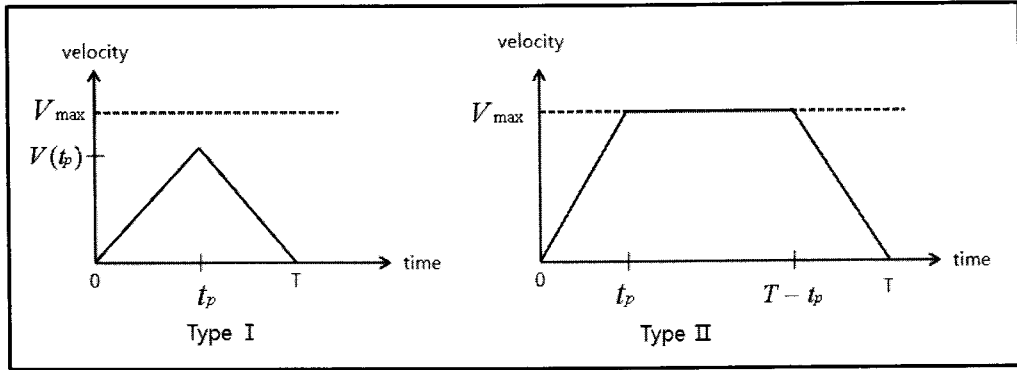
이동시간 모형에는 Hwang et. al.(1990)이 제시한 등가속도 모형(Constant Acceleration Model)과 Wen et. al.(2001)이 제시한 지수모형(Exponential Speed Model)로 구분된다.

본 연구에서 사용하는 용어를 정의하면 다음과 같다.

- (1) L : Rack의 길이
- (2) H : Rack의 높이
- (3)  $N_h$  : Rack의 행수
- (4)  $N_v$  : Rack의 열수
- (5)  $V_h$  : S/R machine이 수평으로 이동할 때의 최고속도
- (6)  $V_v$  : S/R machine이 수직으로 이동할 때의 최고속도
- (7)  $a_h^+$  : S/R machine이 수평으로 이동할 때의 가속력
- (8)  $a_v^+$  : S/R machine이 수직으로 이동할 때의 가속력
- (9)  $a_h^-$  : S/R machine이 수평으로 이동할 때의 감속력
- (10)  $a_v^-$  : S/R machine이 수직으로 이동할 때의 감속력
- (11)  $t_h$  : 입/출고 스테이션에서 최종 행(Bay)까지의 도달시간
- (12)  $t_v$  : 입/출고 스테이션에서 최상단(Tier)까지의 도달시간
- (13)  $t_i$  : 입/출고 스테이션에서 Region i까지의 단방향 이동 시간의 평균
- (14)  $y^i$  : i 번째 (Percentile) 위치까지의 단방향 이동 시간
- (15)  $\lambda^j$  : j 번째 제품의 재고회전 빈도(단위 시간당 저장/출고되는 횟수)
- (16)  $G(i)$  : 품목 i까지의 모든 품목 누적 수
- (17) T : Scale Factor  $T = \text{Max} \{t_v, t_h\}$
- (18) b : Shape Factor  $b = \text{Min} \{t_v/T, t_h/T\}$  for  $0 \leq b \leq 1$

#### 4.1.1 등가속도 모델

Hwang et. al.(1990)은 AS/RS에서 S/R machine의 이동과 관련하여 <그림 6>과 같은 등가속도 모델을 제시하였다. 즉, S/R machine 속도는 일정하다고 본 것이다.



〈그림 6〉 S/R machine 등가속도 모델

〈그림 6〉에서 다음과 같은 이동거리와 시간과의 관계를 구할 수 있다.

• Type I 일 때

$$v(t) = \begin{cases} at & t \in [0, t_p] \\ -a(t-T) & t \in [t_p, T] \end{cases} \quad (1)$$

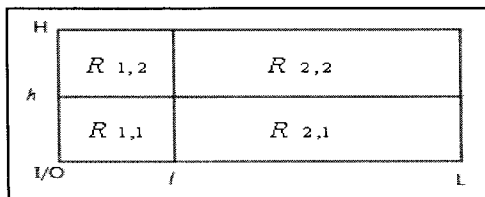
$$d(T) = \int_0^T v(t)dt = \frac{a}{4} T^2 \quad (2)$$

• Type II 일 때

$$v(t) = \begin{cases} at & t \in [0, t_p] \\ v_{\max} & t \in [t_p, T-t_p] \\ -a(t-T) & t \in [T-t_p, T] \end{cases} \quad (3)$$

$$d(T) = \int_0^T v(t)dt = v_{\max} T - \frac{v_{\max}^2}{a} \quad (4)$$

또한 Hwang et. al.(1990)은 저장 Rack을 〈그림 7〉과 같이 S/R machine의 이동특성에 따라 4가지 구역으로 지정하였다.



〈그림 7〉 등가속도 모델의 Rack 구조

예를 들어 R<sub>1,2</sub>에서는 수평 방향으로 Type I이 발생하고 수직 방향으로 Type II가 발생한다.

즉, R<sub>1,2</sub>구역에서는 수평 방향으로는 최대속도에 도달하지 못하지만 수직 방향으로는 최대속도에 도달한다.

따라서 F(t)를 t 시간 동안 이동하는 거리의 누적 분포 함수라고 할 때 입출고 지점에서 임의의 로케이션까지의 이동 거리는 다음과 같다.

$$F_h(t) = \begin{cases} \frac{a_h t^2}{4L} & \left(0 \leq t \leq \frac{2v_h}{a_h}\right) \end{cases} \quad (5)$$

$$F_h(t) = \begin{cases} \frac{v_h t}{L} - \frac{v_h^2}{a_h L} & \left(\frac{2v_h}{a_h} \leq t \leq \frac{L}{V_h} + \frac{V_h}{a_h}\right) \end{cases} \quad (6)$$

$$F_v(t) = \begin{cases} \frac{a_v t^2}{4H} & \left(0 \leq t \leq \frac{2v_v}{a_v}\right) \end{cases} \quad (7)$$

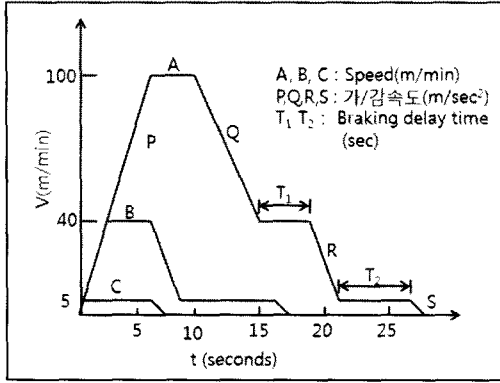
$$F_v(t) = \begin{cases} \frac{v_v t}{H} - \frac{v_v^2}{a_v H} & \left(\frac{2v_v}{a_v} \leq t \leq \frac{L}{V} + \frac{V}{a_v}\right) \end{cases} \quad (8)$$

$$F(t) = F_h(t) \cdot F_v(t) \text{ for } 0 \leq t \leq T \quad (9)$$

#### 4.1.2 지수모델

Wen et. al(2001)은 등가속도 모델에서 Hwang et. al.(1990)이 제시한 S/R machine의 일정한 가/감속도를 수정하여 등급기준(Class-based)과 회전율 기준 할당정책 (Full-turn over storage policy)에 입각한 다양한 이동시간을 적용한 S/R ma-

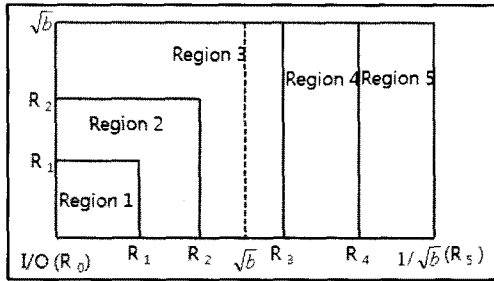
chine의 운용에 대해 연구하였다. Wen et. al.(1990)이 제시한 모델은 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 전형적 S/R machine의 속도 모델

즉, Rack에서의 S/R machine은 주행을 멈추기 위해서 일정한 가/감속도에 의해 멈추는 것이 아니고 일정한 서행 거리(creep distance)와 서행 속도(creep velocity)를 가진다는 것이다.

Eynan et al.(1994)은 Rectangular -in-time 시스템에서 Rack 구역 할당을 <그림 9>와 같이 5구역으로 구분하였다.



<그림 9> 지수모델에서의 Rack 구역할당

다양한 경우의 S/R machine의 주행과 관련하여 Chang et. al.(1995)는 주행거리(x)와 주행시간(t)에 대하여 다음과 같은 정리를 하였다.

$$T_x(x) = x^{\beta_1} \text{ for } 0 \leq x \leq 1, 0 \leq \beta_1 \leq 1 \quad (10)$$

$$T_y(y) = by^{\beta_2} \text{ for } 0 \leq y \leq 1, 0 \leq \beta_2 \leq 1 \quad (11)$$

여기서  $T_s = \text{Max}\{t_h, t_v\}$ 일 때,  $b = \text{Min}\{t_h/T_s, t_v/T_s\}$ 이고,  $\beta_1, \beta_2$ 는 비례상수이다.  $\beta_1, \beta_2$ 는 S/R machine이 Rack의 1/2지점에 위치하여 주행한다고 가정했을 때 즉,  $X = L/2, Y = H/2$ 일 때 식 (10)에 자연로그를 취해주면  $\ln T_x(x) = \ln x^{\beta_1}$ 이고 여기서  $X = L/2$  임으로 구하고자 하는  $\beta$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\beta_{1i} = \frac{\ln T_h(R_i/2) - \ln T_h(R_i)}{\ln 0.5} \quad (12)$$

$$\beta_{2i} = \frac{\ln T_v(R_i/2) - \ln T_v(R_i)}{\ln 0.5} \quad (13)$$

$$\beta_1 = \sum_{i=1}^n \beta_{1i} \times (A_i - A_{i-1}) / A_n \quad (14)$$

$$\beta_2 = \sum_{i=1}^n \beta_{2i} \times (A_i - A_{i-1}) / A_n \quad (15)$$

지수모델은 등급에 의한 저장 정책 (Class-based)과 회전율에 의한 저장 정책(Full-turn over storage assignment) 두 가지로 구분된다. 여기서는 Class-based에 관해서만 알아본다.

Eynan et. al.(1996)은 <그림 9>에서 보는 바와 같이 3가지의 다른 지역을 구분하여  $t_i$ 와  $G_i$ 를 정의하였다.

단,  $\gamma_1 = 1/\beta_1, \gamma_2 = 1/\beta_2$ 이다.

1. Square region :  $R_i \leq b$

$$t_i = \left( \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2 + 1} \right) \left( \frac{R_i^{\gamma_1 + \gamma_2 + 1} - R_{i-1}^{\gamma_1 + \gamma_2 + 1}}{R_i^{\gamma_1 + \gamma_2} - R_{i-1}^{\gamma_1 + \gamma_2}} \right) \quad (16)$$

$$G(i) = \left( \frac{R_i^{\gamma_1 + \gamma_2}}{b^{\gamma_2}} \right)^{2s/(s+1)} \quad (17)$$

2. Rectangular region:  $R_{i-1} \geq b$

$$t_i = \left( \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + 1} \right) \left( \frac{R_i^{\gamma_1 + 1} - R_{i-1}^{\gamma_1 + 1}}{R_i^{\gamma_1} - R_{i-1}^{\gamma_1}} \right) \quad (18)$$

$$G(i) = R_i^{2\gamma_1 s/(s+1)} \quad (19)$$



3. Transient region:  $R_{i-1} < b$  and  $R_i \geq b$

$$t_i = \left( \left( \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2 + 1} \right) (b^{\gamma_1 + \gamma_2 + 1} - R_{i-1}^{\gamma_1 + \gamma_2 + 1}) + \left( \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + 1} \right) \times (R_i^{\gamma_1 + 1} b^{\gamma_2} - b^{\gamma_1 + \gamma_2 + 1}) \right) \quad (20)$$

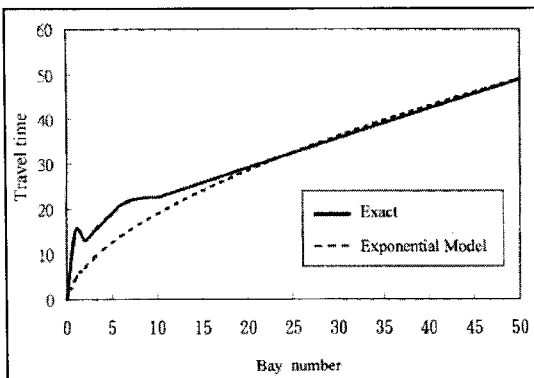
$$/ (R_i^{\gamma_1} b^{\gamma_2} - R_{i-1}^{\gamma_1 + \gamma_2})$$

$$G(i) = R_i^{2\gamma_1 s / (s+1)} \quad (21)$$

## 4.2 제안 모델

등가속 모델과 지수모델 모두 S/R machine의 속도에 대한 서로 다른 장단점을 가지고 있다. 등가속 모델은 실질적인 S/R machine의 동작 특성을 정확히 반영하지 못하고 있고, 지수 모델은 재고회전율에 대한 반영을 Rack저장 위치의 균일분포를 이용하여 구역의 면적을 모델에 적용하였으나 오히려 Full Turn-Over Based 할당정책에서 근사 오차가 더 심화되었다[11].

지수 모델에서 가정하는 운용논리에서는 S/R machine의 동작특성을 반영하고 있으나, 정주위치를 Rack의 정중앙으로 보기 때문에 S/R machine의 이동위치에 따라 Inverter Control에 의해서 속도가 제어되는 S/R machine의 특성을 모두 반영한다고 보기는 어렵다. <그림 10>은 이러한 지수모델에서 S/R machine이 실제로 이동하는 모습을 나타내며 20번째 Bay 이동전까지는 지수모



<그림 10> 지수모델에서 S/R machine 주행특성(11)

델과 실제모델간의 편차가 발생함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Rack에서 물품들의 재고회전비율에 따른 S/R machine의 속도변화를 재고회전 빈도를 직접 모델에 반영하였다.

이에 따른 결과로써  $\beta$ 계수를 다음과 같이 산출하였다.

$$\beta_{1i} = \frac{\ln T_h(R_i/2) - \ln T_h(R_i)}{\ln 0.5 + \ln s} \quad (22)$$

$$\beta_{2i} = \frac{\ln T_v(R_i/2) - \ln T_v(R_i)}{\ln 0.5 + \ln s} \quad (23)$$

단,  $0 < s \leq 1$  이고  $s$  는 Bozer et. al.(1984)가 제시한 ABC곡선의 재고회전 빈도를 나타낸다. 예를 들어 20/60이라면, 20%품목이(수요의 크기 순으로) 총수요의 60%를 점령한다는 의미이다. 즉,  $0.6 = 0.2^s$ 가 되어서  $s = \log(0.6) / \log(0.2) = 0.3174$ 임을 알 수 있다. 이 ABC곡선에 EOQ(경제적 주문량) 모형을 고려하여 다음과 같은 회전빈도 함수를 도출할 수 있다.

$j$  번째 팔레트의 회전을  $\lambda(j)$  는

$$\lambda(j) = \left( \frac{2s}{K} \right)^{1/2} j^{s+1} \quad (24)$$

이며, 여기서  $K$ 는 보관비용에 대한 주문비용의 비로 표현된다[14].

위 계수에 대한 검증은 5장 시뮬레이션 실험결과를 통해 타당성을 분석하기로 한다.

## 5. 시뮬레이션 실행 및 분석

본 장에서는 4장에서 유도한  $\beta$  계수를 통해 변화된 S/R machine의 정주위치를 고려한 운행시간 모형(travel time model)을 시뮬레이션을 이용하여 임의저장 할당규칙(Random Storage Assignment)에 따라 Rack의 크기를 세 가지로 구분하여 실험

하였고 수행 평가 척도로는 평균 주행시간과 평균 대기시간을 측정하였다.

## 5.1 시뮬레이션 실험 설계

### 5.1.1 시뮬레이션 모델의 가정

시뮬레이션을 수행하는데 있어서는 여러 가지 제한사항이 있기 때문에 실험설계를 위하여 다음과 같은 가정을 설정하고 시뮬레이션을 수행한다.

- (1) Rack은 직사각형이고 입/출고 위치는 왼쪽 코너 끝에 위치한다.
- (2) S/R machine은 단일 명령만을 수행하고 하나의 통로에서만 사용된다.
- (3) Rack의 크기와 S/R machine의 특성(최고 속도, 수평·수직 가속도)은 알려졌다.
- (4) 자동창고 보관크기는 동일하다.
- (5) 피킹과 적하와 같은 취급 시간은 일정하며 변하지 않는다.
- (6) 물품의 수요 및 재고 회전 빈도는 상수이고 알려져 있다.

시뮬레이션을 위해 발생하는 품목(Load)은 특별한 정보를 가지며 발생하게 되는데, 발생한 Load는 저장될 Cell의 번지가 지정되어 있다. 이에 따라 구역별로 정주위치(Dwell Point)가 달라진다. 본 연구에서 Load는 AS/RS의 재고회전빈도를 값으로 하는 지수 분포에 따라 발생한다[8].

### 5.1.2 시뮬레이션 실험 절차

실험을 위한 시뮬레이션 절차는 다음과 같다.

- (1) Load 발생 : 재고 회전 빈도에 따라 등급별로 발생한다.
- (2) S/C 입고 : 지정된 Rack에 빈 Cell이 있으면 입고 처리한다.
- (3) S/C 입고 오류 : 빈 Cell이 없으면 빈 Cell이 나올 때까지 대기한다.

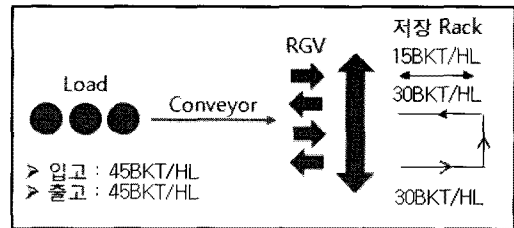
- (4) S/C 출고 : S/C 출고 요청이 없으면 실험을 중단한다.

위와 같은 절차로 실험을 진행하며 적정 Warm-Up 시간은 2일로 하였고, 실험 Running Time은 90일로 정의하였다. 실험에 사용된 S/R machine의 특성은 각각 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> S/R machine 특성

구분	Rack 크기		
	25×9	35×3	41×3
주행속도	120-5m/min	120-5m/min	120-5m/min
승강속도	30-5m/min	20-5m/min	20-5m/min

진체적인 시뮬레이션을 위한 모형은 <그림 11>과 같다.



<그림 11> 시뮬레이션 다이어그램

시뮬레이션간 적용한 입/출력 Parameter는 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 입/출력 Parameter

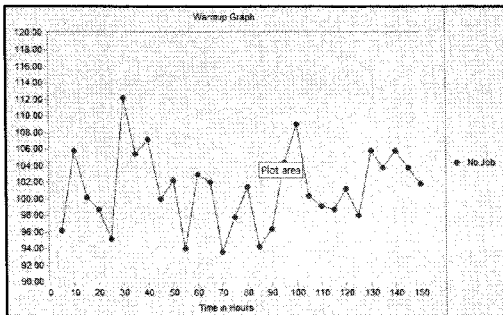
구분	유형	내용
입력	Load 발생	-입고분포 : Exp(6) -출고분포 : Exp(6)
	실험조건	-Simulation Span : 90일 -Warm-up : 2일 -1일운영 : 8H
출력	S/R machine	-평균 대기시간 -평균 주행시간

## 5.2 실험 결과

시뮬레이션에 사용한 시뮬레이터는 AutoMod (Ver. 12.1.3 ; Brooks Automation Inc.)이며 하드웨어는 펜티엄4 (CPU 속도 : 2.5 GHz , RAM : 2.0G)급 데스크탑 컴퓨터를 사용하였다.

### 5.2.1 시뮬레이션 Warm-Up

Warm-Up 분석은 시뮬레이션 실험 설계를 위한 기초단계이며 이를 통해 시스템이 안정화 상태로 도달하는 시간을 추정하고 그 시간 이후부터 시스템을 분석한다[7]. AS/RS에서 S/R machine의 주행 시간을 측정하기 위하여 최초 2일간의 Warm-Up 분석을 시행하였다.



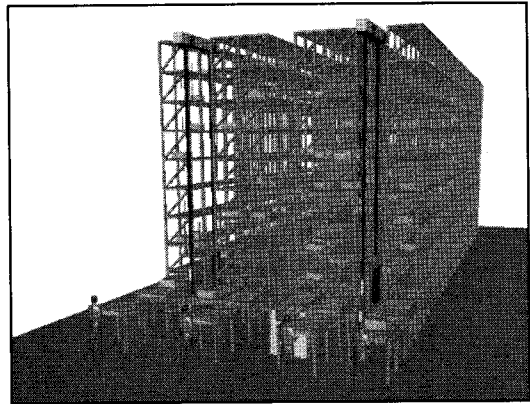
〈그림 12〉 Warm-Up 그래프

분석도구로는 AutoMod의 Autostat 4.4를 이용하였으며 분석한 결과는 〈그림 12〉와 같으며 최초의 가정대로라면 2일 정도 후부터 시스템이 안정화 상태로 가야 하지만 그렇지 않은 결과가 나온다. 즉, AS/RS에서 S/R machine의 주행을 측정하기 위한 Warm-Up은 큰 의미가 없음을 알 수 있다.

### 5.2.2 시뮬레이션 결과분석

AS/RS에서 상위 20% Load의 재고회전 비율과 S/R machine의 정주위치에 따른 주행성능을 측정

하기 위한 시뮬레이션 모형은 다음 〈그림 13〉와 같다.



〈그림 13〉 AS/RS 시뮬레이션 모형

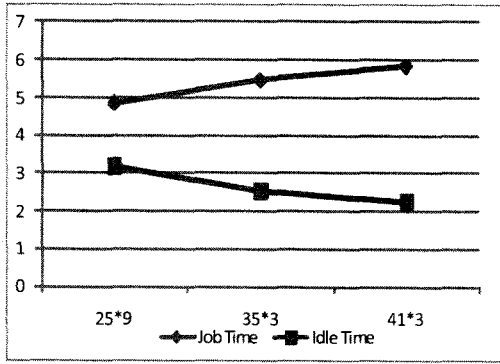
시뮬레이션 결과 25×9 크기의 Rack의 이동시간 평균은 다음 <표 3>과 같다. 25×9 Rack의 Job Time은 약 4.8H이며 Idle Time은 약 3.7H이다. Rack의 크기에 따른 Job Time과 Idle Time은 <표 4>와 같고 이를 그래프로 표현하면 <그림 14>와 같다.

〈표 3〉 25×9 Rack의 이동시간 평균

Idle Time	Average	3.7128
	Std. Dev.	0.39641
	Min.	2.256
	Max.	4.824
	Median	3.988
	# of Runs	90
Job Time	Average	4.827
	Std. Dev.	0.39632
	Min.	3.176
	Max.	5.744
	Median	5.224
	# of Runs	90

〈표 4〉 Rack 크기별 이동시간 평균

구분	Job Time	Idle Time
25×9	4.827	3.1728
35×3	5.4657	2.5332
41×3	5.8276	2.2433



〈그림 14〉 Rack 크기별 이동시간 그래프

그래프에서와 같이 Rack의 가로 크기가 증가함에 따라 S/R machine의 Job Time이 증가함을 알 수 있다. 즉, 가로길이가 긴 Rack에서의 처리량(capacity)이 크음을 알 수 있다.

재고 회전 비율 상위 20% Load에 대한 Rack 크기에 따른 이동시간 평균은 재고회전 비율로 20%에서 80%까지 총 90일간의 시뮬레이션 결과로써 다음 <표 5>와 같이 측정되었다.

〈표 5〉 재고회전 비율에 따른 이동시간 평균(H)

재고회전비율(%)	Rack 크기		
	29x9	35x3	41x3
20	428.43	496.014	533.756
30	428.598	489.87	522.9
40	424.98	488.7	519.84
50	421.83	486.198	517.5
60	415.08	484.911	516.87
70	414	484.29	514.008
80	413.73	484.02	512.01

### 5.3 S/R machine 실측결과 비교

#### 5.3.1 실측결과와 시뮬레이션 결과분석

재고 회전 비율에 따른 S/R machine의 주행성능을 측정하기 위해 3장에서 설명한 철도 자동화 창고에서의 실측 데이터와 본 논문에서 제시하는

제안모형에 따른 시뮬레이션 결과와 비교를 하면 다음 <표 6>에서 보는 바와 같이 근소한 차이로 실측 데이터와 시뮬레이션 결과가 유사함을 알 수 있다. 이는 최초로 제시한 AS/RS에서 S/R machine의 정주위치와 재고회전 빈도에 따른 이동시간과의 관계에서 시간함수를 구하기 위한  $\beta$ 계수의 분모에 “ $lms$ ”를 대입하여 재고 회전 비율을 추가한다고 제안한 제안모델이 타당성이 있다는 것을 증명한다.

〈표 6〉 실측 결과와의 비교

구 분	Rack 크기		
	29x9	35x3	41x3
시뮬레이션 평균(10회)	428.43	496.014	533.756
실측 결과	422.98	496.87	531.94
오차	+5.45	-0.856	+1.816

#### 5.2.2 통계적 유의성 검토

시뮬레이션 평균과 실측결과와의 통계적 유의성 검증을 위해 시뮬레이션 10회 평균 =  $u_x$ , 실측 결과 =  $c$ 라 하고,

가설

$$H_0 : u_x = c, \quad H_1 : u_x \neq c$$

를  $t$ -검정을 이용하여 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 시뮬레이션 평균과 실측결과를 검증하였다.

검정을 위한 도구로 SPSS 12.0k를 사용하여 각각의 Rack의 크기에 따른 시뮬레이션 10회 결과와 표본 평균값인 실측 결과와의 차이를 확인하기 위해 일표본  $t$ -검정을 실시하면 그에 따른 p-value의 값은 다음 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 통계적 유의성 검토결과

구 분	Rack 크기		
	29x9	35x3	41x3
p-value	0.087	0.112	0.091

검정결과에서 p-value의 값이 0.05보다 크므로  $H_0$ 는 기각되지 않는다.

## 6. 결론

육군은 급속도로 변하는 미래 전장양상과 그에 부합되는 전장기능의 운용개념 재정립을 위하여 육군비전을 준비하고 미래전쟁에 대비하고 있다. 그중 중전과는 다른 속도와 정확성에 중점을 두는 군수지원의 중요성은 더욱더 강화되고 있는 것이 사실이며 그 중심에 중요한 역할을 하는 것이 군수지원시설인 창고이다. 과거의 재래식 인력위주의 창고에서 첨단화되고 발전된 대한민국의 위상에 부합하는 자동화된 창고에 대한 연구와 발전이 시급한 것이 사실이다.

본 연구에서는 자동 창고의 성능 분석을 위한 모델 중 이동시간 모형을 이용한 S/R machine의 정주위치를 고려한 수리적 분석을 실시하고 AutoMod를 이용한 시뮬레이션으로 수리적 분석의 타당성을 검증하였다. 이를 바탕으로 앞으로 지속적으로 발전해 나갈 군 내 자동화 창고의 운영과 관련한 효율성을 높이기 위한 개선방안을 제시하였으며 이로 인해 군수지원의 업무가 한층 발전하길 기대한다.

차후 연구방향은 부대형태/ 제대 특성에 부합된 자동화 창고의 설치 기준 마련과 군에서만 가지는 물류기능의 특성(일반물자와 전투물자, 전/ 평시, 종별분류 등)에 따른 자동화 창고 운영에 대한 추가적인 연구가 필요하겠다.

## 참 고 문 헌

- [1] 서상윤, 미래 전장환경에 적합한 군 물류체계 발전에 관한 연구, 경희대학교 경영대학원, 2008.
- [2] 임지역, 전시 사단 군수물류 창고 개선을 위한 모의실험 연구, 국방대학교, 2004.
- [3] 엄인섭, 이홍철, 강정운, 진화전략과 DEA를 이용한 통합 물류시스템 분석방법, 한국 시물레이션 학회지, Vol.13, No. 4, 2004.
- [4] 손권익, 자동창고 시스템의 S/R machine의 운행에 관한 시물레이션 연구, 강원대학교 논문집 Vol.31, 1992.
- [5] 이범열, Coloured Timed Petri-Net을 이용한 자동창고 성능 시물레이션 -Travel Time Model을 기반으로, 고려대학교, 2009.
- [6] Roodbergen, Kees Jan and Vis, Iris F.A, A survey of literature on automated storage and retrieval systems, European Journal of Operational Research, Vol. 194, pp.343-363, 2009.
- [7] Averill M. Law, W. David Kelton, "SIMULATION MODELING AND ANALYSIS 3rd," Mc-Graw-Hill.
- [8] Hausman, Warren H, Schwarz, Leroy B and Graves, Stephen C., Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Ssystems, Management Science, Vol. 22, 1976.
- [9] Graves, S. C., Hausman, W. H. and Schwarz, L.B., Storge-retrieval interleaving in automatic warehousing systems. Management Science. Vol. 23, 1977.
- [10] Eynan, A., Rosenblatt, M.J., Establishing zones in single-command class based rectangular AS/RS. IIE Transactions, 26(1), 38-46, 1994.
- [11] WEN, D. P., Chang, D. and Chen, S. P., The impact of acceleration/ deceleration on travel-time models in class-based automated S/R machine, IIE Transaction. Vol.33, 2001.
- [12] Chincholkar, A. K. and Chetty, K. Krishnaiah, Simultaneous Optimisation of Control Factors in Automated Storage and Retrieval Systems and FMS Using Stochastic Coloured Petri Nets and the Taguchi Method, Advanced Manufacturing Technology, Vol. 12, 1996.

- [13] Hwang, H. and Lee, Seoung Beak, Travel-time models considering the operating characteristics of the storage and retrieval machine, International Journal of Production Research, Vol 28, 1990.
- [14] Bozer, Y. A. and White, J. A., Travel time models for automated storage and retrieval system, IIE Transactions, 16(4), 1984.
- [15] Chang, D.T., WEN, U.P., and Lin, J.T., The impact of acceleration / deceleration on travel - time models for automated storage/ retrieval system, IIE Transactions, 1995.

---

| 저자소개 |

---

- 장 영 수**(E-mail : turbojang@korea.ac.kr)  
 2000 육군사관학교 무기공학과 졸업(학사)  
 2008~현재 고려대학교 정보경영공학 대학원 석사과정  
 관심분야 시뮬레이션 모델링 및 분석, 물류시스템, RFID
- 이 범 렬**(E-mail : softfactory@phodium.net)  
 2009 고려대학교 정보경영공학 대학원 (석사)  
 현재 Phodium 물류컨설팅 팀장  
 관심분야 Petri-net, 시뮬레이션 모델링 및 분석
- 이 흥 철**(E-mail : hclee @korea.ac.kr)  
 1983 고려대학교 산업공학과 (학사)  
 1988 Univ. of Texas 산업공학과 (석사)  
 1993 Texas A&M 산업공학과 (박사)  
 현재 고려대학교 정보경영공학과 교수  
 관심분야 생산 및 물류정보 시스템, SCM