

# 시뮬레이션방법을 이용한 물류센터의 피킹 및 재보충설비의 능력산정\*

## A Study on Performance Evaluation Model for Picking and Replenishing Facility using Simulator

황 홍석, 조 규성

부산시 부산진구 가야동 산 24번지 동의대학교 산업공학과

### Abstract

최근의 물류센터의 설계 및 운영에서 재고품목의 피킹-재보충(Picking and Replenishing)방법이 물류센터의 능력에 크게 영향을 미치고 있다. 본 연구는 물류센터의 최적운영을 고려한 저장설비의 능력산정을 위하여 피킹지역(Forward Area)과 저장지역(Reserve Area)을 동시에 고려한 저장설비의 능력산정모델 연구이다. 이를 위하여 물류센터 내의 소 단위화물의 피킹지역과 대단위 보충 화물을 저장하는 재보충지역으로 구분하고 동일 운송설비로 피킹 및 재보충 방법에 따른 설비능력을 산정하기 위해 수리모델을 개발하고 AutoMod Simulator를 이용한 다양한 분석연구를 하였다. 그리고 이를 위한 전산프로그램을 개발하고 A냉장물류회사에 적용하여 저장시설의 능력산정결과를 보였다. 본 연구는 단위화물의 보관 및 판매를 위한 물류설비 계획에 활용될 수 있도록 보완 연구될 것이다.

**Keyword :** Material Handling System, Picking & Replenishing System, Performance Analysis, Simulation

### 1. 서론

국내·외적으로 기업 환경이 급변하고, 이로 인한 국내기업의 경쟁력이 어려워지고 있는 시점에서 이를 극복하기 위한 수단으로 물류비의 절감과 물류설비의 자동화에 따른 물류효율의 향상 등의 개선을 위하여 많은 연구를 하고 있는 추세이다. 제품의 생산성 향상뿐만 아니라 생산된 제품의 효과적인 물류시스템 도입으로 물류비의 절감 역시 매우 중요한 역할을 차지하고 있다.

특히 재고관리분야에서 창고시스템은 물류 흐름의 임시저장기능으로서 시간과 물류량을 조절할 수 있는 역할을 하며 이의 효과적인 설계 및 운영은 기업의 물류비 절감에 대단히 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구는 물류센터에서 피킹과 재보충을 동시에 고려한 설비의 능력산정에 관한 연구이다. 재고관리 시스템의 효율화를 위하여 창고내의 이루어지는 창고 내 화물이동(Transfer)을 고려한 물류

시스템의 피킹 및 재보충 시설의 능력산정을 위해, 본 연구에서는 단위 랙(Rack)을 저장지역과 피킹지역으로 구분하였으며 피킹지역에 저장물품이 고갈될 경우, 저장지역으로부터 소단위화물을 보충하는 시스템을 고려하였다. 이러한 물류시스템에 대한 설계는 일부분 연구만 이루어지고 있으나, 본 연구에서 고려하는 피킹-재보충문제(Forward-Reserve Problem, FRP)는 대단위화물(Bulk Storage)을 저장지역에 보관하고 피킹지역내 소단위 화물의 재고가 고갈될 경우 저장지역으로부터 재 보충하는 것을 가정하였다. FRP모델은 Hackman & Rosenblatt[5]에 의해서 제시되었고 그들은 피킹과 재보충 시 소요되는 물류 비용의 최소화를 위한 알고리즘을 개발하고 최적의 재고량을 분석하기 위한 모델을 제시하였다. Bozer[3]는 창고내의 랙을 상단과 하단으로 피킹지역과 저장지역으로 구분하여 연구하였다. 본 연구에서는 저장의 규격화되고 저장기간이 품질에 영향을 미치는 냉장물류창고시스템 문제를 대상으로 FRP수행 시 시스템 성능산정방법을 연구하였다. A냉장물류회사는 국외에서 수입된 냉장화물을 보관하고 화주의 요청 시마다 보관된 화물을 반출한다. 이 경우 냉장화물은 규격화된 Pallet에 적재되어 화물의 입고에서부터 출고까지 운반 장비에 의해서 운반되는 시스템을 고려하였다.

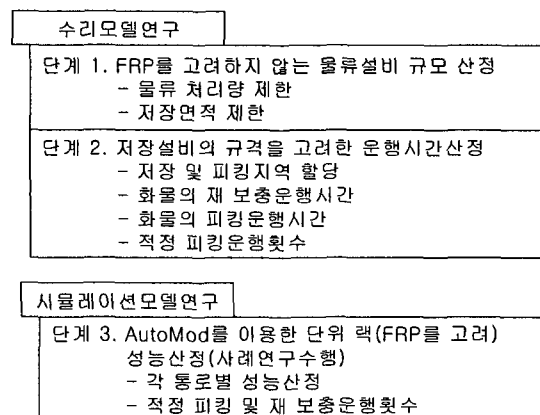


그림 1. 주요 연구 접근 단계

이를 위해 본 연구에서는 FRP시스템의 능력산정을 위해 수리모델을 개발하고 이를 시뮬레이션모델을 이용하여 비교하였다. 본 연구에서는 3단계로 구분하여 연구하였으며, 단계 1: FRP를 고려하지 않은 상태에서 물류시스템 설계를 위한 설비구성을 구하였으며, 단계 2: 산정된 설비 내 FRP를 고려한 운반장비의 능력을 산정 하였다. 단계 3에서는 시뮬레이션 모델인 AutoMod[3]를 사용하여 구성된 물류시스템(FRP를 고려)의 성능을 산출하였다. 이러한 연구단계를 요약하면 그림1과 같다.

## 2. 물류시스템 규모산정

본 연구는 FRP 설비의 적정화를 위해서 먼저 냉장창고설계 파라미터를 통한 단위 랙의 규모 및 적정 통로 수를 산정 하였다.

$$\begin{aligned} \text{Min} & \text{ 비용(Cost)} \\ \text{S.t} & \text{ 물량처리능력제한} \\ & \text{저장면적의 제한} \end{aligned}$$

이를 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 설계파라미터들을 고려하였다.

- C : 총 저장면적(전체 랙 차지 면적,  $m^2$ )
  - R : 총 요구 물류처리량( No. of Picks/hr)
  - n : 평균 피킹 지점 수
  - p : 평균 단위 피킹 시간
  - k : I/O지점에서 차기 피킹 시작까지 지체시간
  - hv : 운반장비의 평균 수평이동속도
  - vv : 운반장비의 평균 수직이동속도
- 각 통로 한대의 운반장비가 배치될 경우, 피킹 모델은 식 1과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min} & \quad (\text{운반 장비의 수}) & (1) \\ \text{S.t} & \quad E(Pu)[60/p] M \geq R \\ & \quad 2 \cdot x \cdot y \cdot M = C \end{aligned}$$

여기서,

- x, y : 단위 랙의 수평 및 수직 길이
- E(Pu) : 작업자 및 장비의 활용도
- M : 통로숫자
- y : 랙의 높이

$$y = [s/2M(hv/vv)]^{1/2}$$

$$x = (hv/vv) \cdot y$$

TL : 기대운반거리시간

$$TL = f(n) \cdot T + pn + k$$

UT : 시스템 사용률

$$\text{시스템 사용률} = [(R \cdot TL)/(60Mn)] \cdot 100$$

랙의 크기, 물류 처리 요구 량, 운반 장비의 속도, 및 서비스 시간을 통해서 적정 통로 수와 단위 랙의 규격(수직 및 수평의 크기)을 산정 하였다. 본 연구에서는 각 통로에 한대의 운반 장비가 할당되는 것을 가정하였다.

## 3. 피킹 및 재보충시스템 설계

일반적으로 냉장창고시스템의 경우 소단위화물

을 오더피킹 하는 경우가 대부분이기 때문에 소단위화물의 피킹지역 설치가 매우 중요하다. 뿐만 아니라 피킹 및 재보충시스템 설계 시 적절한 피킹지역의 규모산정은 물류설비의 성능에 영향을 미친다. 본 연구에서 고려하는 피킹 및 재보충시스템은 그림 2와 같이 냉동물류창고 내 단위 랙내에서 하단부분은 피킹지역 및 상단부분은 저장지역으로 구분된다.

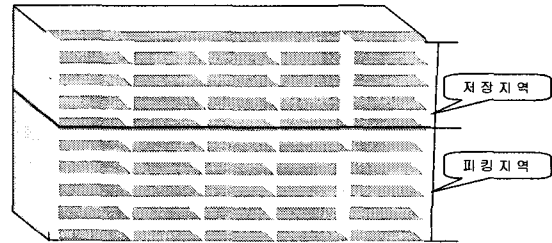


그림 2. 피킹 및 재보충지역 구성도

피킹 및 재보충을 고려한 창고 설계를 위해 본 연구에서는 피킹 및 재보충을 고려한 운영시간을 최소화하기 위한 시스템 설계를 하였다.

$$\text{Min} \quad \sum(FPT \cdot P_i \cdot x_i) + \sum(RT \cdot (1 - x_i)) \quad (2)$$

$$\text{S.t} \quad \sum v_i \cdot x_i \leq C$$

$$x_i \in (0, 1), \quad i=1, \dots, N$$

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{제품 } i \text{ 가 이미 재보충되었다면,} \\ 0 & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$$

$$k \geq 0$$

FPT: 피킹지역내 피킹을 위한 소요운영시간

RT : 재보충 시 소요운영시간

C : 피킹지역에 저장가능한 양

$v_i$  : 제품  $i$  의 화물량

$P_i$  : 피킹량

피킹 및 재보충을 고려한 운반 장비의 운영은 그림 3과 같다. 피킹운영은 I/O지점에서 출발한 운반 장비가 피킹지역에서 화물을 단일명령운행(Single Command)에 따라 피킹한다. 화물의 보충운영은 일정횟수의 피킹운영 후에 수행이 되며 저장 지역 내 저장된 화물을 I/O 지점에서 출발한 운반장비에 의해서 피킹 후 피킹지역내에 저장이 되고 다시 I/O 지점으로 되돌아오는 이중명령명령 (Dual Command)을 따른다. 운영시간을 산정하기 위해서 창고시스템을 정규화 시켰다. 즉 수평방향의 단위 길이를 1인 경우에, 수직방향 b는  $0 \leq b \leq 1$  라고 가정하였다. 정규화된 랙을 기준으로 피킹지역내에서 운반 장비는 단일명령운행을 수행하므로 단일명령에 따른 운영시간은 식 3과 같다[3].

$$FPT = (y^2 + 3)/3 \quad (4)$$

운반장비에 의한 화물의 재보충운영은 크게 (I/O에서 A지점), (A지점에서 B지점), (B지점에서 I/O 지점)으로 나누고 각 지역 내에서 운반을 수행하기 위한 피킹 또는 재보충지점은 랜덤(Probability)하게 선택된다. I/O지점에서 A지점까지는 단일명령운행에 따라 운반 장비는 단 방향운행을 수행하므로 I/O지점에서 A지점간의 운영시간은 식 5와 같다.

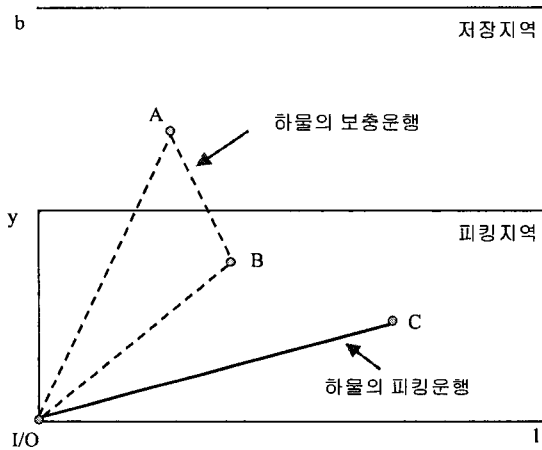


그림 3. 피킹-저장지역 운반장비 운행도

I/O-A지점간 운행시간 =  $(b^2 + yb + y^2 + 3)/6$  (5)  
A지점에서 B지점간 운행시간은 각각의 저장지역과 피킹지역내 두 지점간에서 운행되므로 식 6과 같이 나타낸다.

A지점-B지점간 운행시간 =  
 $(4b^2 - 2yb + 2y^2 + yb^2 - y^2b - b^3 + 4)/12$  (6)

B지점에서 I/O지점간 운행은 단일명령운행을 수행하므로 운행시간은 식 4와 동일하다. 따라서 식 4, 5, 및 6을 합하면 재보충 운행시간은 식 7과 같다.

$RT = (8y^2 + 6y + 6)/6$  (7)

피킹-저장지역에서 운반 장비의 효율적인 운행횟수는 다음과 같다. 피킹 및 재보충 운행이 수행될 경우  $k$  번의 피킹 후 1번의 재보충운행이 이루어질 때, 단위 운행당 기대시간은  $k/(k+1)$ 번의 피킹운행 후  $1/(k+1)$ 번의 보충운행이 된다. 따라서 피킹지역에만 존재하는 랙에서 저장과 피킹을 고려한 단위운행당 기대시간  $E(p/No - R)$ 은  $k$ 번의 피킹운행 후 1번의 보충수행이 수행되는 총  $k+1$ 번을 나누면 단위 운행당 기대시간은 식 8과 같다.

$E(p/No - R) = (b^2 + 3)/3 \cdot [k/(k+1)]$  (8)

피킹과 저장지역을 고려한 운행시간은 피킹운행횟수, 재보충운행횟수, 및 식 4와 7을 통해서 식 9와 같이 나타낸다.

$E(p/P - R) = (2ky^2 + 6k + 8y^2 + 6y + 6)/6(k+1)$  (9)

운반 장비는 피킹과 저장지역이 존재하는 랙에서 피킹운행시간이 피킹지역에만 존재하는 랙의 운행보다 운행면적이 적으므로 식 9를 통해서 식 10과 같은 최적 피킹운행 횟수를 산정할 수 있다.

$E(p/P - R) \leq E(p/No - R)$  (9)

$k = (2y + 1)/2y^2$  (10)

#### 4. 응용사례연구.

본 연구를 위하여 제시된 수리모형을 응용하기 위해 전산프로그램을 그림4와 같이 개발하였다. 주

어진 부산지역 A냉장창고 설계 파라미터들을 고려한 피킹-저장문제에 다음과 같은 A회사 내 냉장창고 파라미터 값을 적용시켜 분석하였다.

- 냉장창고소요면적 : 539  $m^2$
- 창고내 저장능력 : 294 units
- 운반 장비의 수평운행속도 : 450 ft/min
- 운반 장비의 수직운행속도 : 90ft/min
- 창고내 화물처리소요시간 : 0.25min

#### 4.1 수리적 방법을 이용한 시스템분석

본 연구는 그림 4와 같은 시스템 분석과정을 통해 최적의 창고시스템을 구하였다.

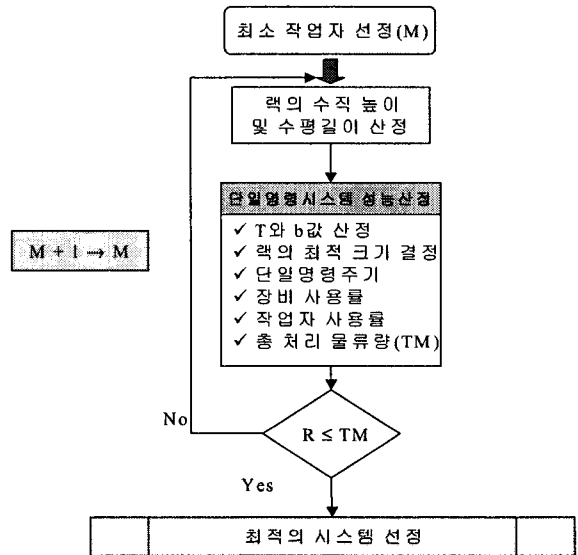


그림 4. 피킹-저장시스템을 고려한 창고시스템구축

그림 4와 같은 절차를 통해서 주어진 냉장창고 설계파라미터를 수리모델에 적용한 결과는 표1, 표2와 같다.

표 1. 수리모델에 의한 창고내 운행시간산정(Aisle:5)

기대시간함수	운반장비평균 운행시간(min)	랙의 규모	
		높이	넓이
FPT	0.40	3.31m	16.58m
RT	0.675		
피킹횟수(단위 재보충운행시)	4		

표 2. 수리모델에 의한 창고내 운행시간산정(Aisle:6)

기대시간함수	운반장비평균 운행시간(min)	랙의 규모	
		높이	넓이
FPT	0.364	3.02m	15.11m
RT	0.616		
피킹횟수(단위 재보충운행시)	4		

수리모델에서는 통로가 5 및 6 모두가 4회의 피킹마다 한번의 재보충 수행이 적정 운행조건임을 알 수 있다. 그리고 통로수가 5인 경우 창고규모는

3.31m×16.58m이며 6인 경우 3.02m×15.1m이다. 통로수가 5 및 6에서 화물 피킹작업을 위해 운반장비의 운행시간은 0.4min 및 0.364이고 화물의 재보충을 위한 운행시간은 0.675min 및 0.616이다. 따라서 통로수가 6인 경우가 5인 경우보다 냉장창고 단위 랙의 규모가 적어 운행시간이 적게된다.

#### 4.2 시뮬레이션을 이용한 시스템분석

시뮬레이션 구축 및 분석은 보다 현실적 요소를 포함하므로 수리모델분석보다 현실적인 분석이 가능하다. 본 연구에서는 냉장창고시스템 성능산정을 위해 수리모델을 통해서 산정된 결과를 시뮬레이션 모델에 적용하여 구축 및 분석을 수행하였다. 시뮬레이션을 구축하기 위해 먼저 수리모델에서 주어진 냉장창고설계 파라미터를 적용하여 출력된 통로 수 5, 6을 포함하는 적정창고시스템이 최적의 시스템으로 계산되었다. 따라서 수리모델에서 출력된 최적 값을 AutoMod에 적용시켜 시뮬레이션을 구축하였다. 또한 현재에 운영되고 있는 냉장창고시스템과 수리모델산정을 통해 산정된 적정시스템과의 비교분석도 하였다. 그림 5는 현재 냉장창고 내에서 운영중인 시스템을 시뮬레이션 Tool인 AutoMod를 이용하여 저장 지역 내 화물을 피킹을 수행하는 화면을 나타내고 있다(피킹화물은 빨간색으로 표시됨). 그림 6은 AutoMod를 통한 화물의 재보충을 수행화면이다(재보충화물은 검은색으로 표시됨).

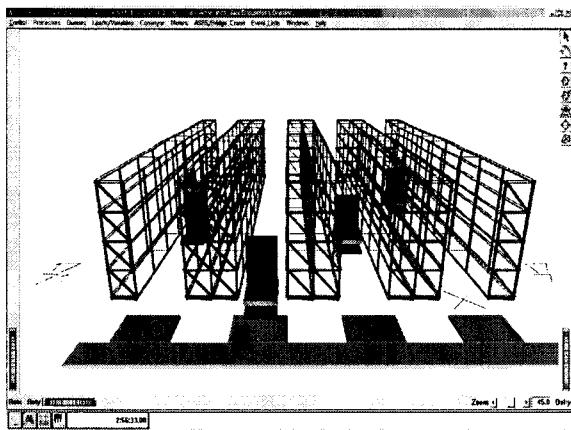


그림 5. 피킹지역내 화물의 피킹 수행도

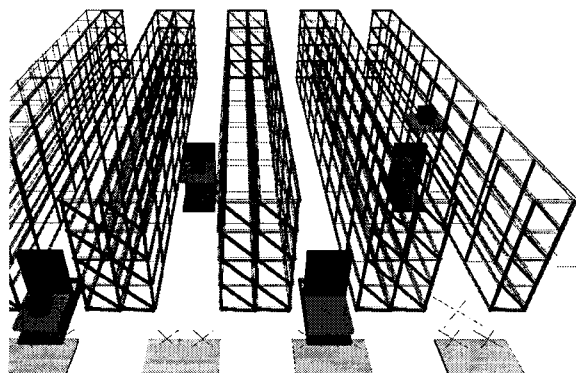


그림 6. 화물의 재보충수행도

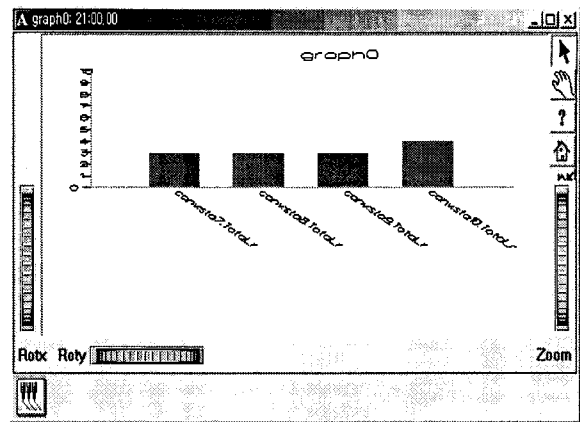


그림 7. 통로별 화물 출력값1

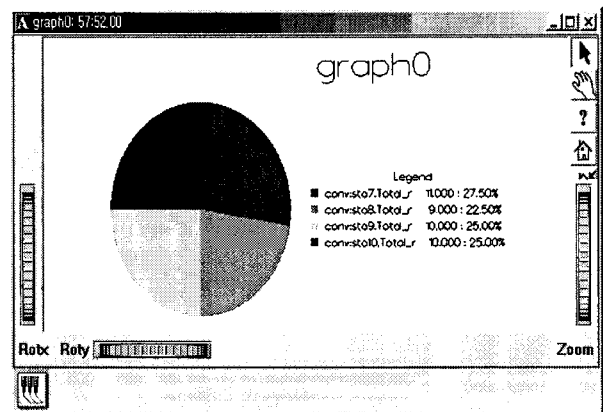


그림 8. 통로별 화물 출력값2

그림 7과 8은 AutoMod를 통해 출력되는 결과값을 도표로 나타낸 출력화면이다. 그림 8을 통해 현재의 시스템 내에서 수행되는 화물의 비율을 시각적으로 분석이 가능하다.

표3, 표 4, 및 표5는 시뮬레이션을 통해 구축된 모델의 결과값을 통로수별로 나타내고 있다. A회사는 통로가 4개인 창고시스템을 운영 중이므로 표 3은 현재의 운영중인 시스템의 성능을 나타내고 있다. 표4 및 표 5는 수리모델을 통해서 산정된 최적시스템을 구현한 결과 값이다.

표 3. 현재의 운영중인 창고시스템 성능(Aisle : 4)

구분	화물운반			화물 회수			정차	
	총운반 비율	운영 횟수	운영 시간	총회수 비율	화물회수 빈도	횟수	정차시간비율	소요정차시간
1	0.941	169	2.23	0.048	77	0.25	0.011	4.42
2	0.946	170	2.23	0.049	78	0.25	0.006	2.24
3	0.940	154	2.44	0.044	70	0.25	0.017	6.61
4	0.951	151	2.52	0.043	69	0.25	0.006	2.24
평균	0.945	644	2.36	0.05	294	0.25	0.01	3.88

표 4. 창고시스템 성능(Aisle : 5)

구분	화물운반			화물 회수			정차	
	총운반 비율	운행 횟수	운행 시간	총회수 비율	화물회수 빈도	횟수	정차시간 비율	소요정차시간
1	0.942	160	2.30	0.047	73	0.25	0.011	4.42
2	0.944	170	2.17	0.05	78	0.25	0.006	2.24
3	0.936	161	2.27	0.047	74	0.25	0.017	6.61
4	0.944	174	2.12	0.051	79	0.25	0.006	2.24
5	0.935	184	1.98	0.054	84	0.25	0.011	4.42
평균	0.94	849	2.17	0.05	388	0.25	0.01	3.99

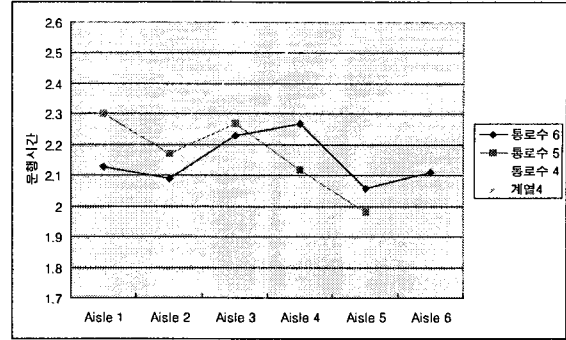


그림 11. 통로별 운행시간

표 5. 창고시스템 성능(Aisle : 6)

통로	화물운반			화물 회수			정차	
	총운반 비율	운행 횟수	운행 시간	총회수 비율	화물회수 빈도	횟수	정차시간 비율	소요정차시간
1	0.942	134	2.13	0.050	61	0.25	0.007	2.24
2	0.928	134	2.09	0.05	61	0.25	0.022	6.61
3	0.944	128	2.23	0.049	59	0.25	0.007	2.24
4	0.938	125	2.27	0.047	57	0.25	0.015	4.42
5	0.946	139	2.06	0.053	64	0.25	0.001	0.28
6	0.948	136	2.11	0.051	62	0.25	0.001	0.17
평균	0.941	796	2.15	0.05	364	0.25	0.009	2.66

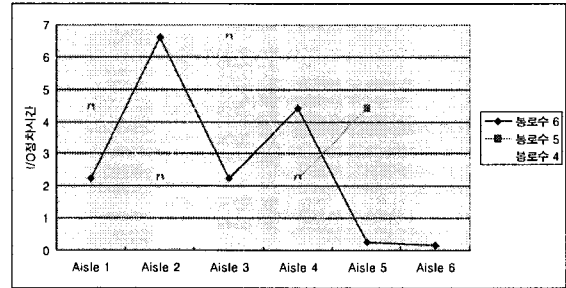


그림 12. 통로별 운반장비의 I/O내 정차시간

그림 9, 10, 11, 및 12는 AutoMod를 통해서 산정된 각 통로별 출력 값을 나타내고 있다.

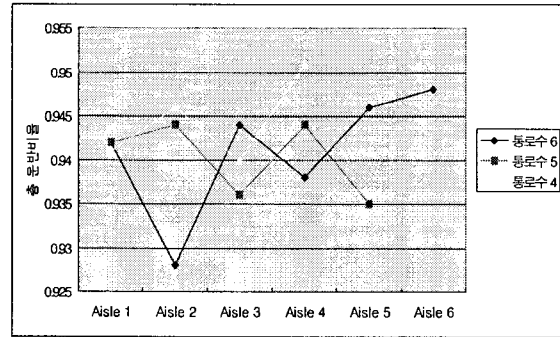


그림 9. 통로별 총 운반비율

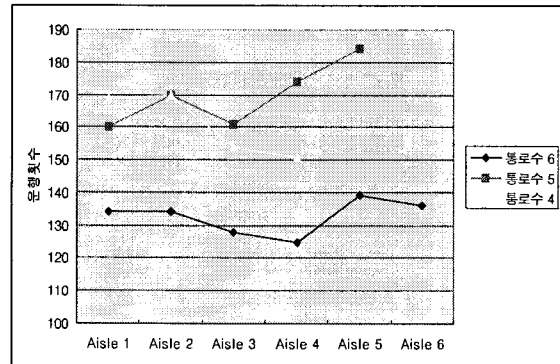


그림 10. 통로별 운행횟수

각 통로별 총 운반비율은 통로수 4가 다른 통로수 값보다 대체적으로 높으나 통로별 운행횟수는 통로 수 5가 Aisle 1을 제외하고 우위에 있다. 통로별 운행시간은 통로수가 증가할수록 냉장창고 단위의 규모가 감소하므로 통로 수 4보다 통로 수 6의 운행시간이 0.21이 적다. 또 각 통로별 I/O 지점에서의 운반장비 정차시간은 통로 6인 경우 Aisle 2(6.61)에서 통로 수 4, 5인 경우는 Aisle 3(6.61)이 가장 길다. 수리모델에서 계산된 피킹 및 재보충 횟수를 고려하여 시뮬레이션 수행 시, 표 6, 표 7, 및 표 8은 각 통로별 피킹횟수와 재보충횟수를 나타내고 있다.

표 6. 통로별 피킹 및 재보충횟수(Aisle : 4)

	Aisle 1	Aisle 2	Aisle 3	Aisle 4
재보충횟수	15	15	14	13
피킹횟수	62	62	56	55

표 7. 통로별 피킹 및 재보충횟수(Aisle : 5)

	Aisle 1	Aisle 2	Aisle 3	Aisle 4	Aisle 5
재보충횟수	15	14	15	14	16
피킹횟수	63	59	62	59	60

표 8. 통로별 피킹 및 재보충횟수(Aisle : 6)

	Aisle 1	Aisle 2	Aisle 3	Aisle 4	Aisle 5	Aisle 6
재보충횟수	11	11	12	12	12	12
피킹횟수	49	47	49	49	49	51

그림 13 및 14는 통로수에 따른 통로별 피킹 및 재보충횟수를 도표로 나타내고 있다.

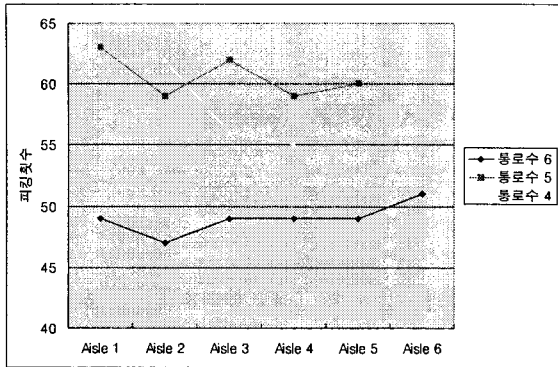


그림 13. 통로별 화물피킹횟수

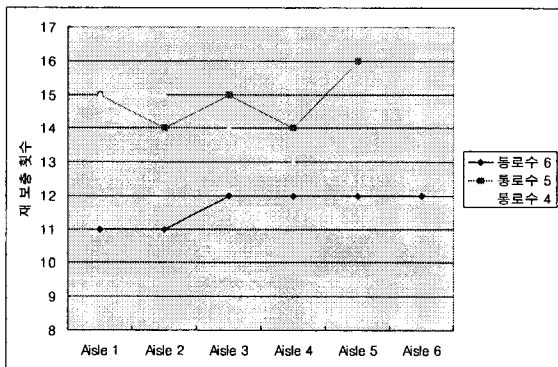


그림 14. 통로별 화물 재보충횟수

통로수별 화물피킹횟수는 통로수 5의 Aisle 1(63)이 가장 많은 피킹을 수행하였고, 반면 통로수 6은 통로수의 증가에 따라 모든 Aisle에서 통로수 4와 5 보다는 피킹횟수가 적다. 재보충 횟수는 통로수 5의 Aisle 5(16)가 가장 많고, 화물 피킹횟수와 마찬가지로 통로수 6은 모든 Aisle에서 가장 적은 재보충을 수행하였다.

## 5. 결론

본 연구는 냉장창고내 단위 랙이 피킹지역과 재보충을 수행하는 피킹-저장지역시스템을 고려한 설비의 능력산정 연구를 수행하였다. 창고 설계시 소요되는 설계 파라미터를 이용하여 주어진 물류량을 만족하는 창고시스템 규모를 구하고 이를 기반으로 피킹-저장지역시스템내 최적운영 및 재보충 운영 방안을 제시하였다. 수리모델 적용을 통해 최적의 창고시스템을 구하고 피킹-저장지역을 고려한 시스템을 시뮬레이션 Tool인 AutoMod에 적용하여 그 결과를 보였다. 수리모델에서 구한 최적 창고시스템인 통로수 5 및 6과 현재에 운영 중인 창고시스템인 통로수 4인 냉장창고시스템을 시뮬레이션에 적용하여 각각의 결과를 비교분석하였다. 본 연구는 단위 랙내 운행시간을 기반으로 화물의 피킹-재보충을 고려하였으나 운행시간외에 저장된 화물의 재고량 등의 요인도 고려해야 된다. 또한 A회사 내 냉장창고 단위 랙에서 발생하는 화물의 피킹-재

보충시스템 분석 외에 창고내 설치된 단위 랙간의 화물의 피킹-재보충을 고려한 연구가 필요하다.

\* 본 연구는 2002년도 학술진흥재단연구비 및 동의 대학교 교내연구비지원으로 수행되었다.

## 참고 문헌

- [1] 김남하, 임석철, 홍석교, 이수훈, 홍만표, "유닛 로드형 자동창고의 수행도 분석", 대한산업공학회지, Vol. 20(2), pp 39-50, 1994.
- [2] AutoSimulations, *AutoMod User's Manual*, vol 1. Jan, 1998.
- [3] Bozer, Y. A., *Optimizing Throughput Performance in Designing Order Picking Systems*, Ph.D, Thesis, Georgia Institute of Technology, 1985.
- [4] Bozer, Y. A., and John A. White., "A Generalized Design and Performance Analysis Model for End-of-Aisle Order-Picking Systems.", *IIE Transaction*, Vol. 28, 271-280, 1996.
- [5] Hackman, S.T., and Rosenblatt, "Allocating items to an automated storage and Retrieval System," *IIE Transactions*, Vol 22, No 1, pp 7-14, 1990.
- [6] Jeroen, P. van den B., Gunter, P.S., A.J.R.M., Gademann, Yves Pochet, "Forward-Reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments.", *European Journal of Operational Research*, Vol 111, pp 98-113, 1998.
- [7] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A., and Trevino, J., *Facilities Planning*, Second Edition, John Wiley & Sons, INC. 1996.