



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

물류학박사 학위논문

# 보관창고의 자동화 도입을 위한 시뮬레이션 모형

Simulation Model for Automation of Storage Warehouse



지도교수 신재영

2018년 2월

한국해양대학교 대학원

물류시스템학과

박종원

본 논문을 박종원의 물류학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 : 공학박사 남 기 찬 인

위 원 : 공학박사 김 환 성 인

위 원 : 공학박사 김 율 성 인

위 원 : 공학박사 이 재 원 인

위 원 : 공학박사 신 재 영 인

2017 년 12 월

한국해양대학교 일반대학원  
물류시스템학과

# 목 차

<b>List of Tables</b> .....	iii
<b>List of Figures</b> .....	iv
<b>Abstract</b> .....	vi
<b>제1장. 서 론</b> .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구 방법 .....	4
<b>제2장. 보관창고와 장비 및 운영시스템</b> .....	5
2.1 관련문헌 연구 .....	5
2.1.1 국내 문헌 연구 .....	6
2.1.2 해외 문헌 연구 .....	10
2.2 보관창고 .....	13
2.2.1 형태에 의한 구분 .....	13
2.2.2 규모에 의한 구분 .....	16
2.3 보관창고의 장비 및 설비 .....	19
2.3.1 보관창고의 물류장비 .....	17
2.3.2 보관창고의 물류설비 .....	21
2.3.3 자동화 장비 및 설비 .....	21
2.4 운영시스템 .....	24
2.5 보관창고 운영 관련 의사결정 문제 .....	27
<b>제3장. 보관창고의 자동화 시뮬레이션</b> .....	29
3.1 보관창고의 특징 .....	30
3.2 자동화 도입 요소 - 자동화 수준 .....	37
3.3 시뮬레이션 모델 .....	39
3.3.1 입고 작업 모델 .....	40
3.3.2 출고 작업 모델 .....	45
3.3.3 보관/픽업 모델 .....	45

제4장. 보관창고의 자동화도입 효과 .....	54
4.1 시뮬레이션 시나리오 .....	54
4.2 실험 결과 및 자동화 도입 효과 .....	63
제5장. 결론 .....	75
참고문헌 .....	77



## List of Tables

Table. 1 재고관리 비용 추이 .....	3
Table. 2 전국 물류 창고업 현황 .....	14
Table. 3 전국 타 물류 창고업 현황 .....	15
Table. 4 전국 보관창고 현황 .....	16
Table. 5 전국 및 부산 창고 규모 별 구분 .....	17
Table. 6 전국 및 부산 업종별 창고 구분 .....	18
Table. 7 보관창고의 물류 장비 - 지게차 .....	19
Table. 8 보관창고의 물류 장비 - 지게차 외 .....	20
Table. 9 보관창고의 물류 설비 .....	21
Table. 10 자동화 장비 별 공정 Coverage .....	23
Table. 11 보관창고의 화물 특성에 따른 시뮬레이션 모델 적용 속성 .....	33
Table. 12 화물의 품목 수 및 양에 따른 속성 .....	33
Table. 13 입고 작업 객체 속성 및 변수 .....	41
Table. 14 검수/검품 작업 입력 Parameter .....	43
Table. 15 보관창고 좌표 설정 변수 .....	49
Table. 16 자동화 장비의 이동속도 .....	52
Table. 17 자동화 장비의 작업 1회 처리 시간 .....	53
Table. 18 보관창고의 특성 시나리오 분류 .....	55
Table. 19 자동화 도입 전 시나리오1 (1,000m <sup>2</sup> 규모) .....	57
Table. 20 자동화 도입 전 시나리오2 (2,000m <sup>2</sup> 규모) .....	58
Table. 21 자동화 도입 전 시나리오3 (5,000m <sup>2</sup> 규모) .....	58
Table. 22 자동화 도입 전 시나리오4 (10,000 규모) .....	59
Table. 23 자동화 장비 조합표 .....	66
Table. 24 자동화 장비 수량 조합표 .....	72

## List of Figures

Fig. 1 기업환경 변화에 따른 보관창고 자동화 .....	1
Fig. 2 연구의 Framework .....	4
Fig. 3 보관창고관련 연구 분류 .....	5
Fig. 4 보관창고의 레이아웃에 따른 적재공간 비교 .....	31
Fig. 5 출입구의 형태에 따른 보관창고 .....	32
Fig. 6 스케줄에 따른 화물의 피크타임 도착 형태 예시 .....	35
Fig. 7 무인자동화와 부분자동화의 적용 차이 비교 예시 .....	37
Fig. 8 시뮬레이션 기본 모델 .....	39
Fig. 9 입고 화물 생성 모델 .....	41
Fig. 10 입고 화물 객체 예시 ex1, ex2 .....	42
Fig. 11 검수/검품 작업 프로세스 .....	44
Fig. 12 출고 화물 생성 모델 .....	45
Fig. 13 블록별 적재 포인트 .....	46
Fig. 14 블록 내 1열의 적재 포인트 .....	47
Fig. 15 적재 포인트 예시 .....	47
Fig. 16 보관창고의 작업지점, 교차점, 네트워크 예시 .....	48
Fig. 17 적재 포인트의 이동 예시 .....	50
Fig. 18 이송장비 모델 .....	51
Fig. 19 시나리오1의 인력 변화에 따른 작업 처리량 .....	59
Fig. 20 시나리오2의 인력 변화에 따른 작업 처리량 .....	60
Fig. 21 시나리오3의 인력 변화에 따른 작업 처리량 .....	61
Fig. 22 시나리오4의 인력 변화에 따른 작업 처리량 .....	61
Fig. 23 시나리오1의 자동화 장비별작업 처리량 .....	63
Fig. 24 시나리오2의 자동화 장비별 작업 처리량 .....	64
Fig. 25 시나리오3의 자동화 장비별 작업 처리량 .....	64
Fig. 26 시나리오3의 자동화 장비별 작업 처리량 .....	65

Fig. 27 시나리오1의 자동화 장비의 조합에 따른 작업 처리량 .....	67
Fig. 28 시나리오1의 자동화 도입 이전 대비 처리물량 증가분 .....	67
Fig. 29 시나리오2의 자동화 장비의 조합에 따른 작업 처리량 .....	68
Fig. 30 시나리오2의 자동화 도입 이전 대비 처리물량 증가분 .....	68
Fig. 31 시나리오3의 자동화 장비의 조합에 따른 작업 처리량 .....	69
Fig. 32 시나리오3의 자동화 도입 이전 대비 처리물량 증가분 .....	69
Fig. 33 시나리오4의 자동화 장비의 조합에 따른 작업 처리량 .....	70
Fig. 34 시나리오4의 자동화 도입 이전 대비 처리물량 증가분 .....	70
Fig. 35 시나리오4의 바코드 대수에 따른 처리물량의 변화 추이 예시 .....	73
Fig. 36 시나리오4의 비용 대비 적정 바코드 대수 예시 .....	74



# **A Study on Middle and Small Warehouse Automation Application**

Jongwon, Park

Department of Logistics Engineering  
Graduate School of Korea Maritime University

## **Abstract**

Storage activity is traditionally one of the representative activities of logistics. It is an activity to create utility by adjusting the temporal distance at the connection point of the distribution network. Companies need an automated storage system that can store and process a wide variety of products on a large scale, faster, and at less cost. In this paper, we have created scenarios based on the types of automated equipment and facilities that can be introduced into storage warehouses of medium and small size among storage warehouses, and the matters to be considered when introducing them. Scenarios include automation equipment, the number of equipment injected, and the level of automation. Since there is a difference between the operation and the operation mode of the automation equipment, the model is divided into the simulation model and the change is applied to the model so that the reality is reflected in the model. It is designed to allocate the position to the simulation model so that the storage position of the actual cargo object is assigned while giving the difference between the goods receipt and the goods issue, and as the kinds of cargo to be processed are small and small. In order to verify the effectiveness of the automation introduction, a simulation experiment was conducted. Scenarios were created to compare before and after the introduction, and scenarios for experiment on the effect of introducing the automatic equipment were considered considering equipment introduction, equipment combination, and introduction cost.

**KEY WORDS: Warehouse Automation, Simulation, Automated Storage Equipment, Automated Storage and Retrieval System**

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

보관 활동은 전통적으로 물류의 대표적 활동 중 하나로 유통망의 연결점에서 시간적 거리를 조정하여 효용을 창조하는 활동이다. 보관활동을 통하여 수송비와 생산비를 절감할 수 있고 수요와 공급을 조절할 수 있으며 생산과 마케팅 측면에서도 이점을 가진다.<sup>1)</sup>

기업은 규모의 경제를 위해 대량으로 자재를 구매하고 대량으로 제품을 생산하고자 하며 재고를 남기고 싶어 하지 않는다. 그러나 소비자의 요구는 다양하고 변화무쌍하여 예측이 어려울 뿐만 아니라 기업 간 경쟁은 점차 심화되고 있어 기업들은 서비스 수준의 충족과 비용절감을 위해 보관시스템의 발전이 필요하게 되었다. 소비자의 다양한 요구에 맞추어 기업은 다양한 제품을 적은 용량으로 보다 빠르게 시장에 내놓아야 하므로 이에 따라 보관시스템 또한 입출고 빈도가 빈번한 다양한 품목을 처리하게 되었다.<sup>2)</sup> 또한 창고의 규모는 규모의 경제의 효과를 누리기 위해 거대해 지는 양상이 되어 창고의 품목은 다양해지고 창고의 크기는 증가하여 보관시스템은 더욱 복잡해지게 되었고 이는 비용증가와 연결된다. 따라서 기업은 보관창고가 다양한 종류의 제품을 대규모로 더 빠르게 더 적은 비용으로 보관하고 처리할 수 있는 자동화된 보관시스템을 필요로 하게 되었다.

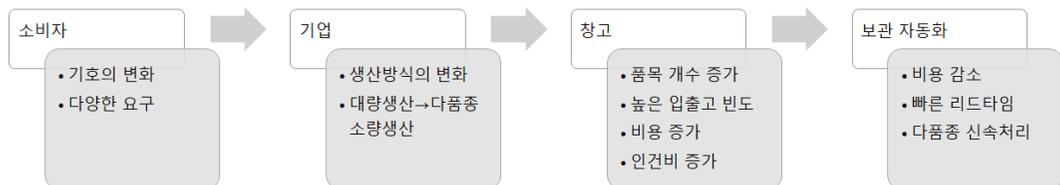


Fig. 1 기업환경 변화에 따른 보관창고 자동화

1) Business Logistics Management, R.H.Ballou

2) J.P. van den Berg, W.H.M. Zijm

보관시스템의 자동화는 내부적으로 리드타임을 감소시키고 이른바 육체노동이라고 할 수 있는 물리적인 작업 비중을 줄일 수 있으며 이에 따라 안전사고를 낮추는 효과를 가질 뿐만 아니라 외부적으로 기업 간 정보 공유에 따른 시스템의 개선 효과를 가질 수 있다.

물류에서 보관활동과 관련된 비용은 Table 1과 같이 2014년도 기준 34조 3,234억 원으로 총 물류비의 21.08%를 차지할 정도로 비중이 높기 때문에 창고의 생산성 향상은 물류비 절감 차원에서 반드시 필요하다고 할 수 있다. 이를 위해 창고의 자동화가 필요하게 되었고 창고의 자동화와 관련된 연구가 다양하게 이루어져 왔고 현장에 적용하기 위한 많은 노력이 이루어져 왔다. 그러나 자동화 설비를 사용하여 운영되는 창고는 국내 1,100여 개의 창고 중 약 50여 개 정도의 소수 업체의 창고만이 자동화 설비를 갖추고 있는 상태이다.<sup>3)</sup>

따라서 본 연구에서는 국내 보관창고들에 자동화를 도입하기 위해 보관창고들의 특성을 파악하고 자동화 도입을 위해 필요한 장비, 설비, 운영시스템 등과 같은 요소들을 정리하고 자동화 도입을 위한 시뮬레이션 모델을 개발하도록 한다.

1장에서는 연구의 목적 및 관련 연구와 연구 방법을 제시하고 2장에서는 보관창고의 특성의 도출을 위한 기존 연구를 파악하고 보관창고와 관련된 장비, 설비 및 운영시스템을 분류한다. 3장에서는 보관창고에 자동화를 도입하기 위한 고려사항을 분석하고 시뮬레이션 모델을 개발한다. 3장에서 도출된 모델에 따라 4장에서는 자동화 도입 시나리오에 따라 시뮬레이션 결과를 도출하고 5장에서 연구의 요약과 결론 및 향후 연구방향에 대하여 논하도록 한다.

---

3) 국가물류통합정보센터 <http://www.nlic.go.kr/nlic/front.action>

Table. 1 재고관리 비용 추이

(단위 : 십억 원, %)

구분	보관비			재고유지비			합계	
	영업창고	자가창고	소계	제조업	도소매업	소계		
2001	739	8,085	8,824	7,406	1,765	9,172	17,996	
2002	792	7,968	8,760	6,563	2,066	8,630	17,390	
2003	904	5,435	6,340	6,838	1,653	8,490	14,830	
2004	909	5,925	6,834	6,786	1,436	8,222	15,056	
2005	918	6,139	7,057	7,153	2,123	9,275	16,332	
2006	915	6,099	7,014	8,046	2,420	10,465	17,479	
2007	1,015	6,786	7,801	9,322	3,486	12,808	20,609	
2008	1,381	9,325	10,706	13,166	4,232	17,397	28,104	
2009	1,295	9,312	10,607	11,862	3,841	15,703	26,310	
2010	1,525	11,260	12,785	12,950	3,997	16,947	29,732	
2011	1,643	15,297	16,940	13,708	3,250	16,958	33,898	
2012	1,642	14,892	16,533	12,581	3,292	15,873	32,407	
2013	1,810	16,566	18,377	11,126	3,131	14,256	32,633	
<b>2014</b>	<b>2,037</b>	<b>18,668</b>	<b>20,705</b>	<b>10,586</b>	<b>3,032</b>	<b>13,618</b>	<b>34,323</b>	
연평균 증감률	명목	8.11	6.65	6.78	2.79	4.25	3.09	5.09
	실질	5.24	3.82	3.95	0.06	1.48	0.35	2.3
전년대비 증감률	명목	12.52	12.69	12.67	-4.85	-3.15	-4.48	5.18
	실질	3.12	3.28	3.26	-12.8	-11.23	-12.45	-3.6

\*2014 국가물류비 조사 및 산정, 한국교통연구원

## 1.2 연구 방법

본 연구에서는 보관창고에 자동화를 도입하는 것이 어떤 효용이 있는지 살펴보기 위해 자동화를 위한 시나리오를 나열하고 운영효과를 살펴본 후 자동화 도입의 타당성을 검증하는 것을 중점으로 한다. 보관창고, 특히 중·소 규모의 보관창고는 자동화가 이루어져 있지 않으며 여전히 고전적인 방식의 수작업과 종이 문서로 작업을 처리하는 경우가 많다. 따라서 초기 투자비는 얼마나 드는지 운영비용은 얼마나 줄어드는지, 운영 효과는 어느 정도를 보게 되는지, 현실적으로 가능한지 등을 파악하도록 한다. Fig 2.의 연구프레임과 같이 창고 규모, 창고 유형, 창고의 일반적 장비와 설비, 자동화 장비와 설비와 더불어 운영시스템을 데이터로 하여 자동화를 위한 수준별 시나리오를 나열하도록 한다. 시뮬레이션을 통해 자동화의 도입 전 후를 비교하여 자동화 도입 효과를 분석하고 비용과 편익을 통해 경제성 여부를 판단하도록 한다.

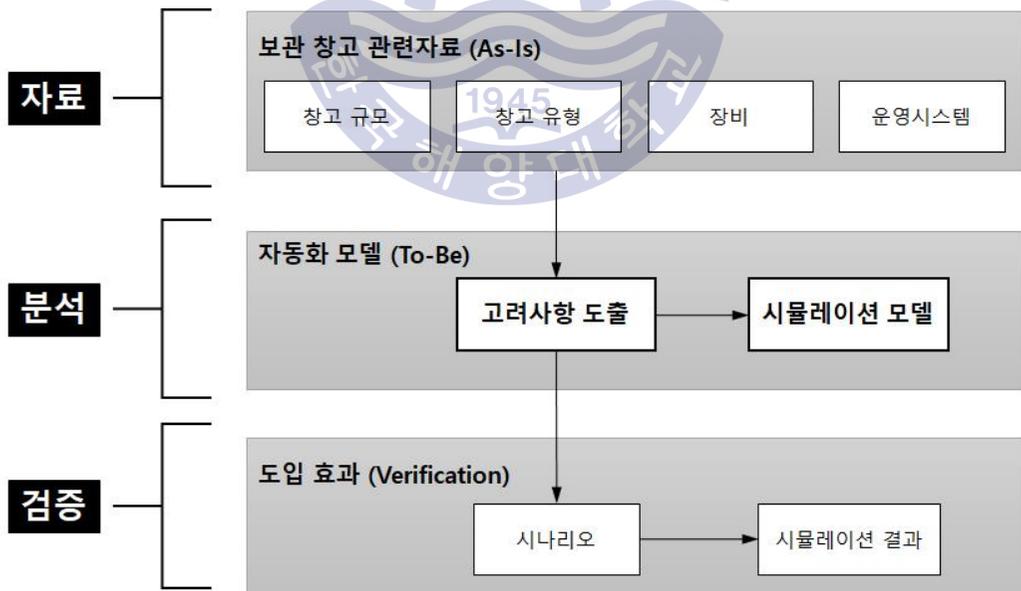


Fig. 2 연구의 Framework

## 제 2 장 보관창고와 장비 및 운영시스템

### 2.1 관련 문헌 연구

보관창고와 관련된 연구는 크게 창고 설계 및 디자인, 그리고 창고 운영 문제로 분류할 수 있다. Fig 3과 같이 크게 설계와 운영과 관련된 연구로 구분할 수 있는데 각각의 연구들은 최적해의 발견, 휴리스틱 알고리즘의 개발 또는 시뮬레이션을 이용한 해법에 대한 연구가 주로 이루어져 왔다.



Fig. 3 보관창고관련 연구 분류

특히 보관 창고의 운영 문제와 관련된 국내의 연구 사례는 창고, 항만, 공장 등 다방면에 활용 가능한 작업 운영상의 연구가 진행되었다. 시뮬레이션에 초점을 맞추어 창고의 설계부터 운영 전반을 아우르거나 운영에 중점을 두어 여러 가지 스케줄링 기법과 대안을 비교하여 최적해에 가까운 결과를 얻을 수 있는 알고리즘을 제안하고 효율성을 검증하는 연구가 많은 추세이다. 이와 별개로 개별 창고들의 입지선정과 관련된 연구들이 있으나 이들은 본 연구의 주제와 방향이 다르므로 여기서는 다루지 않도록 한다.

### 2.1.1 국내 문헌 연구

여러 종류의 보관문제와 관련된 의사결정 문제들 중 국내 문헌은 다양한 형태의 보관 창고에서 이동 장비와 작업 순서를 결정하는 운영방식과 관련된 연구가 진행되어 왔다.

김정자(1999)는 공정 경로와 스케줄을 따로 구성하는 방법과 동시에 구성하는 방법을 모두 고려하였고, 유전 알고리즘을 활용해 상황 변동에 즉각적으로 대응할 수 있는 일정계획 알고리즘을 제시하고자 하였다. 실험 결과 동시에 구성하는 알고리즘이 방법론적 면이나 기존의 휴리스틱보다 더 효율적이라는 것을 입증하였다.

박양병 외 1명(2002)은 물류센터에서 간단히 사용할 수 있는 3가지 불출정책 대안을 총 작업량, 주문처리량, 재 저장횟수, 저장 공간 이용률의 4가지 관점에서 비교 평가하여 최선의 불출정책을 도출하는 컴퓨터 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 3가지 불출정책 대안으로는 랜덤 팔레트 불출정책, 최소량 적재 팔레트 우선 불출정책, 최대량 적재 팔레트 우선 불출 정책이 고려되었다. 시뮬레이션 결과, 최소량 적재 팔레트 우선 불출정책이 총 작업량, 주문처리량, 재 저장횟수, 저장 공간 이용률 관점에서 가장 뛰어난 정책으로 나타남을 보였다.

정승일(2006)은 기존의 휴리스틱 알고리즘은 각각의 차량이 다음 작업을 선택할 때 자신의 관점에서만 최적의 작업을 선택하기 때문에 전체 물류 시스템 관점에서는 최적의 선택이 아닐 수 있다고 하였다. 문제 해결을 위한 방법으

로 유전 알고리즘을 이용한 실시간 작업 할당계획 방법을 제안하였고 자체 개발한 시뮬레이터를 이용해 검증하였다.

이찬희(2008)는 여러 장비가 상호 협동하여 작업이 이루어진다는 점에서 장비 간 교착상태는 전체 생산성에 영향을 주고, 순조롭지 못한 작업은 서비스 수준을 저하시키는 요인이 된다고 주장하였다. 이에 대한 해결방안으로 최대한 장비가 대기하지 않도록 할당할 수 있는 통합 일정계획 알고리즘을 제안하였다.

조규성 외 3명(2010)은 팔레트 단위로 화물 랙을 적재하되 단위 면적당 적재율을 높이기 위해 피킹지역과 재보충지역을 구분 설치하여 운영할 것을 제안하였다. 냉동냉장창고의 특성상 장기간 보관되는 화물과 단기간 보관되는 화물을 고려하고 화물 배치효율을 높이기 위해 이중 깊이 랙 운영방식을 제안하였고 이에 따른 운영 개선 방안을 제시하였다.

송용욱 외 1명(2010)은 상품 반출 빈도, 상품 크기나 무게 등을 기준으로 하는 SKU의 위치를 정하는 기존 연구들과 달리, 브랜드 별로 상품을 묶어 유지하는 방식을 제시하였다.

박태진 외 4명(2012)은 작업 우선순위에 따라 작업 위치의 재정돈을 통해 작업 효율 향상하고자 하였고, 최적의 계획을 도출하는데 유전알고리즘을 사용하였다.

창고의 화물 배치와 관련된 연구는 작업 효율이 결정되는 다양한 요인들을 검증하고 영향을 미치는 정도를 분석하는 연구가 진행되어 왔다. 이를 위해 다양한 화물 배치 정책을 제시하고 시뮬레이션등의 기법을 사용하여 검증하는 연구가 이루어져 왔다.

송인성(2013)은 물류관리시스템의 재고 적재 및 이동 방식의 최적화방안을 제안하였는데 월별 입출고 데이터와 적재 셀 간의 거리, 적재 위치 데이터 등을 분석하여 출고 비중이 높은 품목별로 구간을 나누어 입출고 통로 지역에서 가까운 위치 데이터를 분석하여 출고 비중이 높은 품목별로 구간을 나누어 입출고 통로 지역에서 가까운 위치에 적재하는 방식으로 최적화하고 출고 할 때

이동 거리를 단축하여 시간 및 비용 면에서 효율성을 제고하였다.

또한 보관창고의 장비 도입 또는 자동화와 관련한 시뮬레이션 연구도 많이 진행되어 왔다.

황홍석외 2명(2002)은 냉장물류센터의 운반장비의 최적 운영계획 수립을 위해 가용면적과 저장랙의 총 단면적을 고려하여 적정 통로 수 및 각 통로에 배치된 단위 랙의 길이를 산정하였다. 이후 운반장비 최대 피킹개수와 운영시간을 산정하고 시뮬레이션을 이용하여 가상 냉장물류센터를 구축하고 운반장비 대수의 변화를 통해 적정 설비 대안과 냉장물류센터의 능력을 산정하였으며 이를 통해 운영장비의 적정 운영시간을 도출하였다.

황홍석외 1명(2003)은 냉장물류센터에서 냉장화물의 특성과 입출고 하역장의 적정 설계를 고려하여 오더피킹을 수행하는 운반설비의 적정 운행계획을 수립하였다. 물류센터의 설계 파라미터를 계산하고 운반설비의 운영시간을 산정할 수 있는 수리모형을 정형화 하고 정형화된 수리모형에 시뮬레이션을 적용하였다. 이에 따라 운반설비 수에 따른 운영대안별로 냉장물류센터의 성능분석을 수행하였다.

강정윤외 2명(2006)은 ASRS, AGV, RGV, 컨베이어 시스템으로 구성된 자동물류센터의 시뮬레이션 모델을 구성하였는데 랙 열수, 랙 행수, 랙 단수, 셀 넓이, 셀 깊이, 셀 높이를 고려하였으며 물동량 발생분포를 가정하였다. 시뮬레이션 모델의 출력을 통계적으로 분석하여 회귀모델로 구현한 메타모델을 정의하였고 시뮬레이션의 계산시간의 축소를 위하여 직교배열로 실험계획을 수립하고 반응표면법을 이용하여 2차식을 포함하는 다항함수로 메타모델을 구축하였다. 반응변수로 AGV이용률, ASRS 이용률, 처리물동량을 고려하였고 설계변수로 AGV주행속도, 운행대수, 주행거리, ASRS창고길이, 주행속도, 대수, 승강속도, 피킹 작업장 수, RGV 주행속도를 고려하였다.

전병학외 1명(2007)은 대형 상온 종합물류센터의 계획을 위한 연구를 실시하였다. 먼저 제품을 분류하고 분류된 제품들의 프로세스의 구분을 통해 제품흐름을 정의하고 시설과 배치를 정의함. 자원은 소터와 작업자 및 운반장비 및

기타 2층의 접근을 위한 설비들로 정의하고 운영시간과 분류 프로세스의 정의를 통해 시뮬레이션 모델을 개발하고 실험하였다. 시뮬레이션을 통해 소터 컨베이어의 처리능력을 검증하고 작업자의 할당 방식을 제안하고 대기장의 공간 이용에 대한 운영대안을 제시하였다.

엄인섭, 이홍철, 천현재(2007)은 시스템의 설계 변수의 적용에 있어서 시뮬레이션을 이용하여 최적의 설계 변수 집합을 찾는 방법을 제시하였다. 일반적으로 목적함수를 중요 변수로, 제약 조건을 설계 변수의 영역으로 최적해를 구하나 연구에서는 목적함수를 설계변수의 벡터로 구성하고 제약조건에 종속 변수의 영역과 설계 변수의 영역으로 구분하여 파레토 최적해를 이용하여 최적해 집합을 제시하였다. 전체 처리량, ASRS이용률, AGV이용률을 중요변수로 설정하고 AGV운행대수, 적재 소요시간, 속도, 주행속도, 적재 소요시간, 승강속도를 설계변수로 설정하고 제품의 형태와 프로세스, 처리 시간 등을 운영변수로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

김현경외 1명(2014)은 정보시스템에 기록된 이벤트 로그에서 프로세스 모델을 도출하는 프로세스 마이닝 기법을 통해 운영 프로세스에 대한 발견과 모니터링, 개선을 지원하고자 하였다. 자동화 물류 센터의 실제 PDA작업로그 데이터를 분석하고 이를 기반으로 도출된 문제점과 해결방안을 제시하였다. 제시된 해결 방안으로 출고작업 수행을 위한 적정 지게차 대수를 시뮬레이션을 통해 산정하였다.

황은성의 1명(2014)은 군 자동화 물류 센터의 모델을 설계하여 시스템의 대안별 성과척도를 비교하여 시뮬레이션 기법을 제시하였다. 대안별 성과척도는 AGV 이용률과 혼잡도, AS/RS의 이용률과 시스템의 단위 시간 처리 물동량으로 선정하였으며 AGV는 주행속도, 운행 대수에 따라 수준별로 차이를 두고 AS/RS는 창고길이, SRM대수와 수평이동 및 수직으로의 승강속도를 고려하고 피킹 작업장 수를 고려하였다.

김정훈외 2명(2016)은 편의점 기업 A사의 유통물류센터를 대상으로 자동화 설비의 도입을 위한 투자 타당성 분석을 수행하였다. 시간과 인력이 가장 많

이 소요되는 피킹 프로세스를 대상으로 시뮬레이션을 이용하여 무인운반차 장비 도입에 따른 생산성 증가 및 비용절감 효과를 분석하였다. 또한 A사 편의점 유통물류센터의 처리물량을 감안하여 적정 AGV 대수를 예측하였다.

### 2.1.2 해외 문헌 연구

보관창고의 운영과 관련하여 최적해의 탐색과 휴리스틱의 개발과 관련된 연구로는 주로 복잡한 다중 작업 스케줄링 연구가 진행되었고, 작업에 영향을 미치는 내외부적 요인들을 도출하고 정리하여 결과 값과 실제 수치의 차이를 줄이기 위한 연구가 활발하게 진행되었다.

Kees Jan Roodbergen 외 1명(2006)은 창고에서 오더피킹 영역의 레이아웃을 결정하여 오더피킹 장비의 평균 이동 거리를 최소화하는 방법에 대해 연구하였는데 두 가지 다른 라우팅 정책 하에서 오더피킹 경로의 평균 길이를 계산하는 데 사용할 수 있는 함수식을 개발하였다. 이러한 공식을 비선형 프로그래밍 모델에서 목적 함수로 사용하여 최적 레이아웃을 결정할 수 있도록 하였다. 오더피킹 영역에서 통로의 최적 수는 필요한 저장 공간과 선택 목록 크기에 크게 의존하는 것을 보였다.

S. S. Heragu 외 3명(2007)은 창고 디자인에 있어서 화물 배치를 효과적으로 수행하고 구역의 크기를 기능별로 결정할 수 있는 모델을 제시하였다. 실제 창고 운영에 활용되는 제약과 데이터를 적용하였고, 이를 통해 최적해를 위한 수학적 모델과 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다.

Lu Chen 외 2명(2011)은 창고 화물 재배치에 따른 병목현상을 언급하였고, 휴리스틱 알고리즘과 타부서치 알고리즘의 두 가지 방법론과 함께 최적화 화물 재할당 운영정책을 제시하였다. 그리고 장소 활용도 대비 재할당 시간, 과적 정도와 관계, small-size, large-size에 따른 재할당 시간 차이 정도를 비교, 분석하여 화물 재할당 시간을 최소화하고자 하였는데 컴퓨터 분석 결과 small size와 medium size에서는 타부서치 알고리즘의 경우가 0~0.42% 정도로 최적해

에 근접한 결과를 보였고, large size의 경우 1.5~3.1% 정도로 차이가 나타났다.

Jorge Riera-Ledesma 외 1명은 DTSPMS 문제 해결을 위해 branch-and-cut algorithm(BC), branch-and-price algorithm(BP), branch-and-price-and-cut algorithm(BPC)의 3가지 알고리즘 모델을 제안했으며, small number of vehicle의 경우에는 BC가 효율적이지만 vehicle개수가 증가함에 따라 BP와 BPC 알고리즘이 효율적임을 증명하였다.

Juan Antonio Sicilia 외 3명(2016)은 Rich Vehicle Routing Problem(RVRP)를 해결하기 위한 최적 알고리즘을 제안하였다. 일반적 해법을 도출하기 위해 작업 스케줄링에 관련한 실질적 제약 요인이나 특징을 반영하였다.

보관창고의 자동화 도입과 관련된 연구는 자동화 장비의 도입여부에 따른 운영 방식에 대한 연구가 주로 이루어져 왔다.

Stephen C. Graves 외 1명(1976)은 3가지 Storage Assignment rules에 대하여 일반화 모델을 구현하고 실행하여 자동화 창고 시스템의 주행시간 감소에 기여 정도를 연구하였다. (random assignment, full turnover-based assignment, class-based turnover assignment) closest-open-location 정책보다 class-based turnover assignment 정책이 전체 주행시간을 감소시키는데 적합하다는 결과를 보였다.

Hamaed Fazlollahtabar 외 2명(2015)은 다중 AGV에 대한 스케줄링 문제를 다루었는데 earliness와 tardiness를 최소화시키는 수학적 모델을 제안하였고, 제안된 수학적 모델에 대한 실험을 하고 현존 연구사례와 비교하였다.

보관창고의 운영 형태의 비교를 시뮬레이션 기법을 활용하여 연구한 사례들은 주로 장비의 도입 형태와 자재 흐름의 방식, 입고와 출고 물량의 형태들에 차이를 주는 등의 시나리오를 생성하고 보다 현실적인 시뮬레이션 모델을 개발하는 방향으로 진행되었다.

Ganeshan Ram(1999)는 최소한의 재고 수준을 유지하기 위해 다수의 공급업체가 중앙 창고에 재고를 보충하고 다수의 소매 업체에 배포되는 생산 / 유

통 네트워크에 대해 최적에 가까운 재고 정책을 제시하였다. 이 모델은 (i) 소매 업체의 재고 분석, (ii) 창고에서의 수요 프로세스 및 (iii) 창고에서의 재고 분석의 세 가지 구성 요소를 고려하였다. 모델의 결정은 공급망의 재고, 운송 및 운송 구성 요소를 포함하는 포괄적인 유통 기반 비용 프레임 워크를 통해 이루어졌으며 시뮬레이션을 통해 결과를 도출하였다.

JP Gagliardi 외 2명(2007)은 창고 또는 유통 센터 관리자가 고객의 주문을 수행하기 위해 제품을 수집하는 방법뿐만 아니라 제품 (SKU)을 찾을 위치와 각 제품에 할당 할 공간을 결정하는 문제를 다루었는데 재고 보충 전략을 반영하였다. 저장 공간을 공유하는 특정 전략이 서비스 수준을 가능한 한 높게 유지하면서 운영 비용을 줄이는 데 도움이 되는지 평가하였는데 이를 위해 매년 12 백만 건이 넘는 사례를 처리하는 실제 창고에서 물류 운영의 개별 이벤트 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

V.K. Dubey 외 1명(2017)은 물류센터의 규모를 정하는 문제를 RCHS (regular case handling system), IRCHS (normalized case handling system) 및 LCHS (less-case case handling system)의 세 가지 형태로 나누어 각각의 형태에 대한 전략, 설계 및 운영 문제를 평가하였다. 이들은 각각 도착시간 간격과 도착 물량, 처리물량의 차이를 두고 각각의 운영 형태마다 프레임워크를 개발하여 시뮬레이션으로 프레임워크들의 차이를 평가하였다.

이와 같이 창고의 운영 방식을 평가하거나 자동화 장비를 도입했을 때 운영 방식을 선택하는 연구들이 있고, 시뮬레이션을 통해 운영방식들을 평가하는 연구들이 있으나 창고 및 장비들의 속성들을 일반화하고 운영방식들을 각각 다르게 적용하여 자동화 장비를 도입한 경우 창고의 디자인 수준에서 시뮬레이션의 모형을 개발한 연구는 많지 않은 실정이므로 본 연구에서 다루도록 한다.

## 2.2 보관창고

보관창고는 창고의 형태에 의한 구분과 규모에 의하여 구분하도록 한다. 형태에 의한 구분은 법률에서 정하는 대로 크게 물류시설법에 속하는 보관창고의 형태와 물류시설법에 속하지 않는 보관창고의 형태로 구분한다. 규모에 의한 창고의 구분은 면적별로 구분하며 창고의 면적은 국가물류통합정보센터의 자료에서 구분한 방식을 토대로 산출하도록 한다.

### 2.1.1 형태에 의한 구분

물류시설법에서 정의하는 보관창고의 형태는 『물류창고』라고 명명하며, 『물류창고』란 화물의 저장·관리, 집화·배송 및 수급조정 등을 위한 보관시설·보관장소 또는 이와 관련된 하역·분류·포장·상표부착 등에 필요한 기능을 갖춘 시설을 말한다. 또한 『물류창고업』이란 화주(貨主)의 수요에 따라 유상으로 물류창고에 화물을 보관하거나 이와 관련된 하역·분류·포장·상표부착 등을 하는 사업을 말한다.<sup>4)</sup>

물류시설법에 속하지 않는 타 법률에서 정의하는 보관창고의 종류는 관세법에서 정하는 보세창고, 유해화학법에서 정하는 보관소, 식품위생법에서 정하는 냉동냉장창고, 축산물위생법에서 정하는 축산물보관창고, 수산물품질법에서 정하는 냉동냉장창고 등이 있다.

업태별로는 창고업과 함께 운송업, 판매업을 병행하는 경우도 있으나 여기서는 따로 구분을 두지 않도록 한다.

---

4) 물류시설의 개발 및 운영에 관한 법률[시행2017.8.9.] [법률 제14860호, 2017.8.9., 일부개정]

Table. 2 전국 물류 창고업 현황

소재지	물류창고업(창고수)			
	합계	보관시설		보관장소
		일반창고	냉동냉장	
합계	3,158	2,233	439	486
서울특별시	74	66	7	1
부산광역시	114	71	9	34
대구광역시	48	35	3	10
인천광역시	319	229	19	71
광주광역시	62	49	10	3
대전광역시	88	54	7	27
울산광역시	67	48	5	14
세종특별자치시	42	35	1	6
경기도	908	737	60	111
강원도	84	70	7	7
충청북도	116	65	37	14
충청남도	135	109	12	14
전라북도	86	57	13	16
전라남도	235	142	48	45
경상북도	152	91	20	41
경상남도	555	342	143	70
제주특별자치도	73	33	38	2

Table. 3 전국 타 물류 창고업 현황

소재지	타법물류창고업(창고수)					
	합계	관세법	유해화학법	식품위생법	축산물위생법	수산물품질법
		보세창고	보관저장업	냉동냉장	축산물보관	냉동냉장
합계	2,819	1,131	180	422	398	688
서울특별시	91	60	1	12	18	0
부산광역시	421	159	19	76	38	129
대구광역시	29	5	0	9	10	5
인천광역시	326	261	19	15	17	14
광주광역시	39	13	0	13	13	0
대전광역시	17	2	1	3	7	4
울산광역시	66	29	26	3	3	5
세종특별자치시	5	3	0	1	1	0
경기도	719	287	68	149	156	59
강원도	102	23	0	15	9	55
충청북도	60	19	6	15	20	0
충청남도	133	46	9	22	23	33
전라북도	104	41	4	12	18	29
전라남도	109	26	8	16	18	41
경상북도	138	36	1	19	23	59
경상남도	367	118	18	34	22	175
제주특별자치도	93	3	0	8	2	80

Table. 4 전국 보관창고 현황

소재지	합계	보관및창고업	운송및택배업	판매업	제조업	기타
합계	4,925	4,256	372	147	114	36
서울특별시	98	95	2	1	0	0
부산광역시	470	470	0	0	0	0
대구광역시	90	54	16	10	8	2
인천광역시	661	531	58	32	25	15
광주광역시	40	40	0	0	0	0
대전광역시	24	24	0	0	0	0
울산광역시	89	89	0	0	0	0
세종특별자치시	41	21	12	6	1	1
경기도	1450	1230	127	47	35	11
강원도	161	142	11	6	1	1
충청북도	133	122	10	1	0	0
충청남도	235	209	17	1	8	0
전라북도	160	141	10	5	3	1
전라남도	219	162	27	16	10	4
경상북도	220	199	12	2	6	1
경상남도	740	633	70	20	17	0
제주특별자치도	94	94	0	0	0	0

## 2.2.2 규모에 의한 구분

물류창고업의 경우 전체 바닥면적의 합계가 1,000㎡이상인 보관시설(창고 건물)과 전체면적의 합계가 4,500㎡이상의 보관장소(창고 건물 및 공터와 같은 외부 보관 공간)의 경우 물류창고업으로 등록을 하도록 되어 있다. 이에 따라 2017년 기준 국가물류통합정보센터<sup>5)</sup>에서는 창고의 면적(㎡)별로 1,000~2,000㎡

만, 2,000~5,000㎡만, 5,000~10,000㎡만, 10,000㎡이상의 창고로 구분되어 자료가 관리되고 있으며 지역별로 구분하고 있다.

Table. 5 전국 및 부산 창고 규모 별 구분

소재지		전국(a)	부산광역시(b)	비중(b/a)
합계	창고수	3,301	92	2.79%
	면적합계	25,876,656.58	4,221,252.26	16.31%
1,000~2,000㎡만	창고수	498	11	2.21%
	면적합계	519,427.33	15,585.87	3.00%
2,000~5,000㎡만	창고수	1,068	18	1.69%
	면적합계	1,961,734.23	59,827.57	3.05%
5,000~10,000㎡만	창고수	682	12	1.76%
	면적합계	2,612,845.95	62,160.33	2.38%
10,000㎡이상	창고수	1,053	51	4.84%
	면적합계	20,782,649.07	4,083,678.49	19.65%

부산시는 중소규모 창고에 비해 대규모의 창고가 많은 비중을 차지하며 전국적으로도 창고의 개수에 비해 면적이 넓다. Table. 5를 보면 부산시내 창고 비중은 개수의 비중은 적는데 비해 면적의 비중은 넓으며 특히 창고의 면적이 넓은 창고들이 차지하는 면적 비중이 전국에 비해 높은 것으로 보인다.

부산시내 92개의 창고 중 절반 이상인 51개의 창고가 10,000㎡ 이상 규모의 거대규모 창고들이며 전국적으로 3,000개가 넘는 창고 중 100개가 채 되지 않는 창고들의 면적의 합의 비중은 약 16%를 차지하는데 특히 10,000㎡이상의 창고들이 전국 대비 19% 이상의 비중을 차지한다.

5) 국가물류통합정보센터 <https://www.nlic.go.kr/nlic/front.action>

Table. 6 전국 및 부산 업종별 창고 구분

소재지		전국	부산광역시	
물류창고업 (창고수)	<b>합계(a)</b>		<b>3,423</b>	<b>116</b>
	보관시설	일반창고	2,429	73
		냉동냉장	457	9
	보관장소		537	34
타법률 물류창고업 (창고수)	<b>합계(b)</b>		<b>2,828</b>	<b>421</b>
	관세법	보세창고	1,135	159
	유해화학법	보관저장업	180	19
	식품위생법	냉동냉장	425	76
	축산물위생법	축산물보관	400	38
	수산물품질법	냉동냉장	688	129
<b>전체 합계(a+b)</b>		<b>6,251</b>	<b>537</b>	

그러나 Table. 6과 같이 부산 시내 등록된 창고의 개수는 500여 개가 넘는다. 이 중 타법률에 따른 보세창고나 냉동창고 등은 면적이 1,000㎡가 되지 않는 곳이 많으며 이들 중 상당수가 소규모로 운영되고 정보시스템조차 제대로 갖추어져 있지 않은 실정이다. 현재 바코드 시스템 정도만 설치되어도 인건비를 절감하고 프로세스 개선을 이룰 수 있는 창고가 많이 존재하며 여건상 완전자동화를 이루지 못하더라도 부분 자동화만으로도 충분히 경제적인 이득을 기대할 수 있다고 볼 수 있다.

## 2.3 보관창고의 장비 및 설비

보관창고에서 사용되는 장비와 설비는 하드웨어를 담당하며 이들은 크게 이송장비와 하역장비, 적재설비로 구분된다. 보관창고에서 가장 보편적으로 사용되는 포크리프트가 하역을 겸비한 이송장비라고 할 수 있으며 선반 랙이 적재 설비라고 할 수 있다.

### 2.3.1 보관창고의 물류장비

Table. 7 보관창고의 물류 장비 - 지게차

명칭	소분류	설명
지게차	VNA(Very Narrow Aisle) 트럭 (협통로형 고소지게차)	포크가 좌우180도 회전 가능 전방, 좌우 3방향 작업 가능
	오더 피커 (Order Picker)	운전석이 함께 상승 가능 작업자가 상부 랙에 직접 접근 가능
	컨테이너 핸들러	컨테이너 취급용 작업장치인 스프레더 (spreader) 장착
	사이드형 지게차 (Side Reach)	마스트와 포크를 차체 측면에 설치 알루미늄 새시 등 길이가 긴 화물에 적합
	스트레들 지게차 (Straddle Forklift)	차체전방에 붙인 스트레들 암(straddle arm)에 의해 차체의 안정 유지 포크가 양쪽 아우트리거 사이에 위치
	힘지용 지게차	바닥이 고르지 않은 힘지 작업장에서 사용
	방폭형 지게차	폭발성 가스, 인화성 액체를 다루는 작업장에서 사용
	냉동창고용 지게차	일반 냉동창고(-35°C급) 초저온창고(-60°C급)

Table. 8 보관창고의 물류장비 - 지게차 외

명칭	설명	작업 능력
스태커	바닥이 평탄하고 상·하차 작업이 적은 작업장에서 사용 상·하차 작업은 전동 또는 유압식으로 하며 인력으로 주행 필요	상하차 1,800mm~4,000mm 하중 250kg~900kg
드럼리프트	드럼 운반 및 적재시에 사용 상·하차 작업은 전동 또는 유압식으로 하며 인력으로 주행 필요	상하차 400mm~2,500mm 하중 300kg
산토카	공작기계나 전용기계 등의 작업 시 테이블의 높이가 조절	상하차 1,100mm~2,500mm 하중 230kg
핸드파렛트	중량물의 단거리 운송시 작업자가 수작업으로 이동	하중 15,00kg~3,500kg
파렛트트럭	중량물의 원거리 운송시 작업자가 탑승하여 이동	하중1,500kg~3,500kg
견인차	특수 중량물 운송 및 여러 개의 트레일러 운반시 사용	하중2,000kg~8,000kg
구내운반차	중량물의 원거리 운송시 작업자가 탑승하여 이동	하중1,500kg~2,000kg
대차	인력으로 적재 및 이동	
카트	핸드카 또는 바스켓 카트 인력으로 적재 및 이동	
리프트	테이블의 높이를 조절하여 화물을 차량에 적재 경량물을 이송하는데 주로 사용	상하차 280mm~5,500mm 하중230kg~2,000kg
롤테이너	롤케이지 또는 롤박스파렛트라고도 불림 파렛트 트럭이 없는 곳에서 주로 사용	하중170kg~500kg
인테이너	이동 가능한 랙의 기능을 가진 물류장비 사용하지 않을 땐 포개어 보관 가능	하중1,000kg
램프	물류장비가 기존 설비에 오르고 내릴 수 있도록 경사를 만들어 주는 장비	조절높이 1,100mm~1,800mm 하중13,000kg~15,000kg
오더피커	포크리프트에 비해 좁은 공간에서 사용하기 용이함 운전석과 포크를 동시에 들어 작업자가 높은 선반에서 작업 가능	저상 120mm~1,500mm 상하차3,000mm~9,300mm 하중900kg~2,000kg
VNA트럭	매우 좁은 통로에 있는 고층 위치 물품 픽업 및 저장 가능	상하차6,000mm~9,000mm 하중1,000kg~5,400kg

### 2.3.2 보관창고의 물류설비

Table. 9 보관창고의 물류 설비

명칭	설명	작업 능력
도크	컨테이너, 트럭 등의 운송수단에 높낮이를 조절하여 지상과 차량을 연결 지게차와 같은 물류장비의 접근을 용이하게 하기 위한 설비	하 중 13,000kg 조절높이 1,250mm~1,800mm
랙	규격에 따라 팔레트 단위로 물품을 적재하거나 소화물을 적재하는 설비	
컨베이어	롤러, 벨트 등으로 무동력 또는 동력을 이용하여 화물을 운반하는 설비	
자동 분류기	각 구역에 이송되는 제품을 하나의 라인으로 합병 인식기를 통하여 세부적으로 분류	
SCC	Spiral Chute Conveyor 화물을 위층에서 아래층으로 내려 보내는 나선형 컨베이어	
화물 승강기	엘리베이터, 에스컬레이터	
팔레트 타이저	박스, 포대 등을 팔레트에 적재하는 로봇	600~1,800회/시간
오토 레벨러	제품에 자동으로 라벨을 부착하기 위한 장치	
제함기	펼쳐져 있는 종이상자를 접어주는 기계	
테이핑기	박스 상부에 테이핑 해주는 기계	

### 2.3.3 자동화 장비 및 설비

보관창고의 운영 프로세스는 기본적으로 화물이 도착하면 이를 적당한 장소에 보관하고 화주가 화물을 꺼내려 하면 화물을 꺼내 주는 순서를 따른다. 이는 다음과 같은 프로세스로 이루어진다.

- ① 입하 : 화물의 도착
- ② 검사 : 화물의 수량, 중량, 크기, 화주, 품목 등을 확인
- ③ 이동 : 화물을 보관 위치로 이동
- ④ 보관 : 화물을 지정된 위치에 적재 및 보관
- ⑤ 오더피킹 : 화주의 요청 또는 지정된 날짜와 시각에 보관장소에 적재된 화물을 꺼내어 이동
- ⑥ 포장 : 필요에 따라 화물을 포장
- ⑦ 출하 : 보관 창고로부터 외부로 화물을 출하

보관 창고의 자동화는 상기 기술된 프로세스에서 수작업을 줄이고 공정을 더욱 빠르고 정확하게 진행하여 비용을 절감하는 것을 목표로 한다. 이것은 보관창고는 기본적으로 무거운 물건을 싣고 내리고 운반하는 등의 노동집약적 작업이 많으므로 이러한 노동력을 줄이려는 시도에서 이루어진다. 특히 이동과 하역 작업에 많은 노동력과 시간이 들어가기 때문에 가장 자동화가 우선시된다고 여겨진다. 그러나 실제로는 입하부터 출고까지 노동력이 집중되지 않는 공정이 없으며 심지어 특별히 물리적인 작업이 발생하지 않는다고 생각되는 화물을 검사하는 공정 또한 화물의 크기와 무게를 측정하거나 입고 예정 화물과 동일한 화물인지 확인하는 등의 많은 작업이 필요하다. 실제로 소규모 창고를 운영하는 업체들은 현장에서 화물의 물리적인 이동이나 하역은 크게 문제가 되지 않는다고 보는 반면 화물의 검사와 오더피킹을 위한 작업 지시와 같은 공정의 자동화를 더욱 필요로 하고 있다.

일반적인 자동화 창고는 맞춤형으로 설계 단계에서 특수한 목적의 창고를 위해 도입 되는 경우가 대부분이다. 이는 유닛로드 시스템이 보관자동화를 위해 불가피하기 때문이다. 가령 자동화된 냉동창고나 특정한 화물만을 취급하는 자동화 창고들이 이러한 예라고 할 수 있다.

그러나 본 연구에서는 자동화 창고의 설계 단계가 아닌 이미 운영 중인 보관창고들, 특히 중소 규모의 보관창고에 자동화 장비, 설비, 운영시스템 등을

도입하는 상황을 고려하므로 대규모 창고를 위해 설계 단계에서부터 고려되어 설비가 설치되고 자동화가 도입되는 등의 자동화 시스템에 대해서는 다루지 않도록 한다. 대규모 창고를 위한 자동화 시스템의 교체 및 도입은 범위가 매우 제한적이기 때문이다. 따라서 중소규모의 자동화 창고에 도입할 만한 자동화 장비와 시스템들을 고려대상으로 하는데 이를 테면, 무인 이송장비만 도입한다거나, 보관 정보시스템의 도입을 위해 바코드, RFID 시스템 정도만 도입하는 상황들에 초점을 맞추도록 한다.

이에 따라 분류된 Table. 10은 2017년 기준 현재 개발되거나 운용중인 보관 창고의 자동화 장비 및 설비들을 분류한 것이다. 이들은 설계 단계에서 장비를 구성하거나 프로세스 개선을 위한 장비 및 설비들로 구성된다. 각 설비와 장비들은 자동화 창고의 목적에 맞게 주문제작(Customizing) 되는 경우가 대부분이며 운영시스템과 연계가 필요한 경우가 많다.

Table. 10 자동화 장비 별 공정 Coverage

이름	자동화 공정							팔레트(P) 케이스(C)
	입하	검사	이동	보관	오더 피킹	포장	출하	
바코드 시스템	○	○		○	○		○	P, C
RFID 시스템	○	○		○	○		○	P, C
Mobile Rack			○	○	○			P, C
팔레타이저			○			○		P, C
AGV			○		○			P, C
스태커 크레인			○		○			P, C
천정무인운반설비			○		○			C
컨베이어 시스템			○				○	P, C
자동 소터			○					C
수직 회전 랙				○	○			C
수평 회전 랙				○	○			C

## 2.4 운영시스템

화물의 입·출고관리, 재고관리, 보관위치관리시스템, 출고지시시스템과 피킹 시스템(DPS- Digital Picking System, Digital Picker System, Auto Picking System etc), 합포장시스템(DAS, Digital Assort System), 택배 interface system 등으로 구성되어 있으며 이러한 시스템은 각 기업 별로 물류관리의 목적과 물류센터 규모에 따라 다양하게 사용되고 있다.

### ① 목적

- 정확한 재고수량관리 및 재고금액의 자동적 계산.
- 재고의 실시간 확인관리(Visibility management).
- 보관면적의 효율성 극대화.
- 피킹작업의 효율적 수행.
- 선입선출의 정확한 실시.
- 피킹작업의 정확도 향상.
- 포장작업의 정확도 및 효율성 향상.
- 다른 물류시스템과의 효율적인 연계 및 ERP와의 연계 등에

있다.

### ② 주요기능

#### ○ 입출고관리 및 재고관리시스템.

- 창고관리시스템의 가장 기본적인 시스템으로서 상품의 입고와 출고 수량이 재고관리 시스템에 실시간으로 Update된다. 또한 상품의 가격이 입력이 되

면 회계처리기준에 따라 재고의 금액 및 평균단가, 출고상품(재료 및 자재)의 단가 등도 자동으로 제공해 준다.

○ 보관위치관리시스템.

- Fixed위치관리 : 지정된 랙이나 보관구역에 지정된 상품만 보관될 수 있는 방법으로서 해당구역에는 항상 동일한 상품이 보관된다. 이러한 위치관리 방법에서는 기본적으로 어느 위치에 어떤 상품을 보관할 것인지를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 지정해 준다. (보관의 원칙에 입각하여 시뮬레이션을 함) 또한 상품입고 또는 출고시 보관위치를 작업 지시서에 기록하여 신속하고 정확하게 보관위치로 이동할 수 있도록 한다.

- 프리로케이션관리 : free location은 랙이나 보관구역에 보관될 상품을 지정하지 않고 빈공간이 발생하면 언제나 어떤 상품이나 보관하는 방법으로서 보관공간을 최대한 활용하기 위한 방법이다. 이 방법은 빈공간이 어디이고 어떤 상품을 어디에 보관할 것인지, 어느 공간에 어떤 상품이 보관되어 있는지, 어느 공간에 있는 어떤 상품 몇개를 출고시킬 것인지를 관리하기 위해서는 정보시스템이 없으면 곤란하다.

○ 출고관리시스템.

- DPS(Digital picking system) : 랙이나 보관구역에 light module이라는 신호장치가 설치되어 출고시킬 화물이 보관된 지역을 알려줌과 동시에 출고화물이 몇개인지를 알려주는 시스템이다. 또한 바코드스캐너와 연결되거나 지정된 수량에 대한 피킹이 완료되면 신호를 꺼서 통제소에 피킹완료 여부를 알려준다. (컴퓨터와 라이트모듈이 와이어나 무선시스템으로 연결되어 있음).

- DAS(Digital assort system) : 출고시킬 상품 전체를 일정한 장소에 피킹해 놓고(포장작업장) 출고처(수하인)별 박스에 다수의 상품을 투입할 때 상품의 종류(품목)와 수량을 정보시스템에 의하여 지시해 주고 정확한 수량이 투입될 수 있도록 도와주는 시스템을 말한다.

- APS(Auto Picking System) : 랙에 보관될 상품을 자동적재장치(일반적으로

스태커라고 함)를 이용하여 자동적으로 보관하거나 출고시키는 시스템으로서 자동창고에 적용하는 시스템이며 일반적으로 프리로케이션관리를 한다.

- 전자피킹카트시스템 : 피킹카트에 컴퓨터가 설치되어 출하처(수하인)별 출하상품의 종류와 상품의 수, 보관위치 등을 작업자에게 전달해(무선이나 디스켓 등을 통하여) 적정한 피킹순서에 따라 정확한 상품 및 수량을 피킹할 수 있도록 한다. 특히 피킹을 하여 지정된 박스에 투입하면서 바코드 스캐닝을 실시하면 피킹의 정확도를 100%수준까지 끌어올릴 수 있다.

- 운송장 발행시스템 : 픽킹 및 포장이 완료되면 운송장이나 거래명세서가 발행되며 배송 및 운송 시 배달증빙으로 사용할 수 있도록 한다.

- 택배와의 연계 : 화물이 택배를 이용하여 출고될 때 택배회사의 정보시스템과 연동하여 운송장을 발행하고 출고시킴으로서 택배 회사의 화물추적정보(배달관련 정보)를 자사의 정보시스템에서 바로 확인할 수 있다.

- 반품관리시스템 : 출고된 상품에 하자가 발생하거나 판매되지 못하여 반품회수 또는 반송이 되는 상품을 그 사유와 재판매 가능 여부 등에 따라 재고량에 Update하거나 폐기처분하는 등의 관리가 이루어지도록 한다.

## 2.5 보관창고 운영 관련 의사결정 문제

보관창고의 운영과 관련된 의사결정 문제는 현재 운영 중인 보관창고가 더 높은 효율과 비용 절감을 위하여 매일, 매시간과 같이 단기적인 시간 내에 마주하게 되는 상황을 해결하는 것과 관련되어 있다. 이는 보관창고 프로세스의 리드타임을 줄이거나 좁은 공간을 더 넓게 활용하기 위한 문제들이다. 대표적인 운영관련 의사결정 문제들은 다음과 같다.

### - 창고 내 레이아웃 결정 문제

창고 내 시설물 및 장비의 위치 선정과 관련된 의사결정 문제들인데 이들은 설계 단계에서 결정될 뿐만 아니라 일부 상황에서는 운영중의 상황에서 발생하기도 한다.

### - 화물 사이즈 결정 문제

보관 화물의 크기를 결정하는 문제로 레이아웃 결정 문제와 깊은 관련이 있으며 이 또한 설계 단계에서 결정되는 경우가 많다. 그러나 가공포장을 하거나 화물의 팔레타이징(Palletizing)을 통해 화물을 유닛로드화하여 하여 처리하는 경우에는 팔레트의 크기를 결정하는 문제가 된다.

### - 보관위치 할당 문제

화물의 검사와 입고가 결정되면 화물의 속성에 따라 창고 내 보관 위치를 결정하는 문제로 화물의 속성은 품목, 화주, 입출고 빈도, 입출고 기한, 화물의 무게 등으로 결정되며 이들의 제약을 통해 화물의 보관 위치를 할당한다.

### - 입출고 순서 결정 문제

보관 창고의 입출고 순서 및 제약에 따라 보관 화물의 입고와 출고의 순서를 정하는 문제이다.

- 작업 차량 이동 경로 문제

보관창고의 하역 작업자, 작업 차량의 수와 속성에 따라 차량의 경로를 선택하는 문제이다.



### 제 3 장 보관창고의 자동화 시뮬레이션

보관창고의 자동화는 대상이 되는 보관 창고의 규모와 특성 및 여건에 따라 자동화의 수준이 결정되어야 한다. 특히 현재 운영 중인 보관창고에 갑자기 자동화 시스템을 도입하게 되면 시행착오뿐만 아니라 운영의 한시적 중단을 초래할 수 있기 때문에 자동화 도입은 가급적 빠른 시간 내에 이루어지는 것이 좋으며 사용자의 적응이 용이하게 이루어질 수 있도록 고려되어야 한다.

또한 비용 문제를 빠뜨릴 수가 없는데 자동화기기를 도입하는데 필요한 비용이 우선적으로 고려되어야 하며 운영 시스템의 도입 비용, 그리고 인건비의 절감 여부가 고려되어야 한다.

보관창고의 규모, 형태, 운영방식, 취급 품목 등의 형태가 매우 다양하며 국내 약 6천여 개의 창고가 존재한다면 6천여 가지의 형태가 존재한다고 할 수 있을 정도로 그 구성이 다양하다. 따라서 시뮬레이션의 모델 적용과 실험을 위해 보관창고의 형태를 일반화 하고 범위를 한정할 필요가 있다.

시뮬레이션 모델의 적용을 위해 다음과 같이 구분하여 시뮬레이션의 모델을 설정하도록 한다.

- i) **보관창고의 특징(As-is)** : 현재 운영중인 보관창고의 특징
- ii) **자동화 도입요소(To-be)** : 향후 투입되는 자동화 요소들

보관창고의 대표적인 특징은 보관창고의 규모, 보관창고의 모양, 취급 품목, 운영방식이 있다. 자동화 요소로는 자동화 수준, 투입되는 자동화 장비, 자동화 장비의 수량, 인력, 물량등이 있다. 이에 따라서 현재 운영되는 보관창고들의 특징을 시뮬레이션 모델에 반영하고 향후 투입 가능한 자동화 장비와 운영 시스템에 따라 효과를 살펴볼 수 있다.

### 3.1 보관창고의 특징

보관창고의 특징은 보관창고의 면적, 형태, 레이아웃, 취급 품목, 업종, 운영 방식 등으로 구분할 수 있다.

#### 1) 보관창고의 면적 및 형태

보관창고의 면적은 창고별 천차만별이나 Table 2와 같이 국가물류통합정보센터에서 등록된 물류창고업을 기준으로 1,000㎡ 미만, 1,000㎡~2,000㎡, 2,000㎡~5,000㎡, 5,000㎡~10,000㎡, 10,000㎡ 이상을 기준으로 한다. 각 구간별 면적의 변화에 따라 요구되는 투입 장비를 산정하고 장비의 운영효과를 거두는 손익분기점을 찾도록 한다.

보관창고의 형태는 평면도의 형태에서 한 쪽으로 넓은 직사각형 형태와 정방형 창고의 형태로 한정한다. 가령 ㄱ자 모양이나 ㄷ자 모양과 같은 불규칙한 형태의 창고는 고려하지 않도록 한다.

#### 2) 보관창고의 레이아웃

보관창고의 레이아웃은 보관창고가 제조업을 위한 창고인지, 보관의 기능만을 위한 창고인지에 따라 차이가 난다. 제조업을 위한 창고는 창고 내에서 가공이 이루어지기도 하며 제조 품목에 따라 창고 내 레이아웃이 순전히 제조공정 프로세스를 위해 이루어지는 경우가 많다. 따라서 정형화된 형태가 없으므로 레이아웃을 설계하는 입장에서는 순전히 고객, 즉 제조업자 또는 창고업자의 요구사항에 따라 레이아웃을 결정하게 되므로 일반화가 불가능하다.

그러나 순수 보관의 목적으로 운영되는 보관창고는 최대한 창고 내 적재공간을 최대화 하고 운영이 용이한 형태로 레이아웃을 설계한다. 가령, Fig. 4와 같이 출입구가 하나로 이동 동선이 U-Turn 형태를 가지는 동일한 형태의 창고 2개가 있다고 가정하면 Type-1과 같이 랙을 벽면에 붙이는 형태가 Type-2와 같이 통로를 벽에 두고 가운데 적재공간을 두는 것 보다 적재공간이 더 많아진다. 이동 동선 또한 Type-1의 경우는 두 개의 통로가 진입 후 좌우로 작업이 가능하나 Type-2의 경우는 좌측 벽면 통로는 한 쪽 밖에 작업이 되지 않

아 낭비가 발생하는 셈이 된다.



Fig 4. 보관창고의 레이아웃에 따른 적재공간 비교

여기서 창고의 형태가 정방형인지, 가로로 긴 형태, 또는 세로로 긴 형태인지에 따라 Fig. 4의 Type-1의 형태와 같이 랙을 벽에 붙이는 형태로 하고 통로를 제외한 나머지를 채우는 방식을 취하게 되면 면적이 동일한 창고는 보관 형태가 달라도 적재 공간이 모두 크게 차이가 나지 않는 선에서 결정된다. 그러나 통로와 출입구의 제약에 따라 적재 공간의 차이가 발생하고 운영방식의 차이가 있으므로 적재 공간을 최대한 확보하는 레이아웃으로 설계하도록 한다. 이 때, 적재 공간을 최대한으로 확보하는 방식을 택할 경우, 보관면적과 형태, 화물 유형 및 운영방식에 의해 레이아웃의 차이가 발생한다. 가령, 팔레트화물은 지게차를 사용해야 하므로 통로를 확보할 때 지게차의 회전 반경 등을 고려해야하기 때문이다. 통로의 면적은 보관면적의 30%~50% 정도를 차지하는 것이 일반적이다.

또한 Fig. 5와 같이 보관창고의 출입구의 형태에 따라 크게 U-turn형, 입출고 구분형, One-Way형으로 구분하게 되는데 이 또한 창고의 형태가 가로로 긴 형태, 세로로 긴 형태, 정방형의 형태에 따라 구분된다.

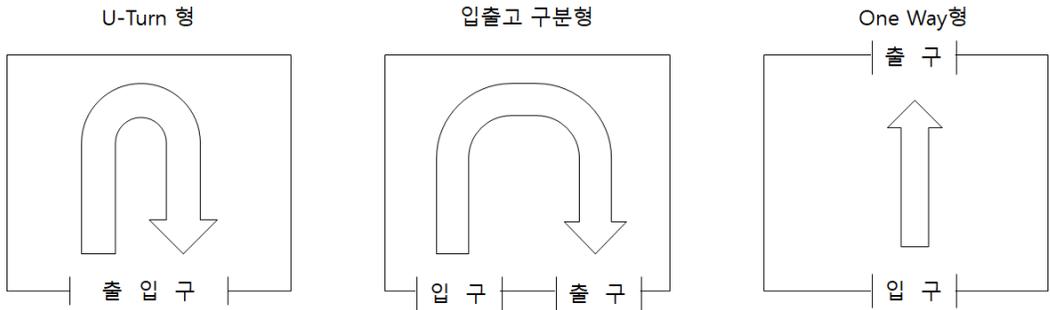


Fig 5. 출입구의 형태에 따른 보관창고

### 3) 보관창고의 취급화물 형태 및 물량

보관창고의 취급화물은 화물 형태에 따라 취급, 운반, 보관상 특성에 따라 다음과 같이 구분한다. 팔레트, Skid, Bucket, Tray 형태에 따라 크게 구분된다. 이들은 화물 상태가 액체, 고체, 분말인지에 따라 구분되고 추가적으로 가마니, 포대, 캔류 등으로 구분할 수 있다. 또한 위험물, 파손, 포장과 적재강도, 선입선출의 필요성, 신선도 관리, 냉동/냉장, 단위당 비중, 가격별 재분류 특성을 고려할 수 있다. 이들 화물형태는 운영방식에 영향을 미치게 되는데 가령 중량화물인지 부피화물인지에 따라 적재 가능 여부가 결정되기도 하며 신선화물의 경우 선입 선출을 따르는 등의 제약이 발생한다. 따라서 화물의 형태는 창고에 따라 다음의 Table. 11과 같이 일반화 하도록 한다.

Table. 11 보관창고의 화물 특성에 따른 시뮬레이션 모델 적용 속성

구분	화물의 특성	시뮬레이션 속성
팔레트 화물 여부	적재가능 여부, 랙 사용 여부 장비 도입 가능 여부	작업 좌표 및 적재 포인트 속 성 할당
중량화물 여부	적재 또는 랙 사용시 아래쪽에 중량화물 적재 제약	
부피화물 여부	부피가 크면 적재 불가능한 경우 발생	
신선화물 여부	선입선출 제약	작업시 선입선 출 규칙 적용
냉동화물 여부	선입선출 제약	

입고 화물의 수요는 창고의 물량이 얼마만큼의 물량이 얼마만큼 자주 들어 오는지에 따라 결정된다. 따라서 화물의 종류와 수량의 변화를 다음과 같이 가정하고 모델을 구성하도록 한다. Table. 12에 따라 화물의 품목 종류가 얼마나 많은지, 화물의 양이 얼마나 많은지 구분하도록 한다. 화물의 종류는 최초 입고 또는 출고 작업이 발생할 때 일양분포에 따라 속성의 종류를 다양하게 부여하는 것으로 구현 가능하다.

Table. 12 화물의 품목 수 및 양에 따른 속성

구분	화물 품종 수량(variety)	속성(Attribute) 부여
다품종	다양(100가지 종류)	aProductKind_1 ~ aProductKind_100
소품종	간소(10가지 종류)	aProductKind_1 ~ aProductKind_10

또한 화물의 단위 시간당 도착 양(Quantity)과 도착 분포의 설정이 필요하다. 창고의 특징에 따라 적거나 많은 물량이 자주, 또는 드문드문 입고될 수도 있는데 이와 같은 속성은 도착 분포의 설정으로 구현 가능하다. 따라서 입고 작업을 위한 화물의 도착 유형은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- i) 화물의 도착시간간격의 분포
- ii) 한 번에 도착할 수 있는 화물의 크기(수량)
- iii) 화물의 도착 규칙 또는 패턴

일반적으로 불규칙한 고객의 도착을 표현해 주는 분포로 포아송분포(Poisson distribution)를 많이 사용한다. 평균 도착률이  $\lambda$ 일 때  $t$ 시간 내에  $n$ 고객이 도착할 확률은

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} \lambda t^n}{n!}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

과 같다.

사건이 서로 독립적일 때, 일정 시간동안 발생하는 사건의 횟수가 포아송 분포를 따른다면, 다음 사건이 일어날 때까지 대기 시간은 지수분포를 따르는 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 가령, 시간당 120개의 비율로 포아송분포를 이루며 화물이 도착한다면, 1개의 화물은 30초 마다 지수분포를 이루며 도착한다.

화물의 도착 형태는 창고의 종류마다 다양할 수 있다. 대체로 일정한 수준의 간격으로 화물이 도착하는 창고가 있을 수도 있고 피크타임이 존재하여 특정 시간에 화물이 몰려서 도착하는 창고가 있을 수도 있다. 따라서 화물의 도착 간격을 포아송 분포를 따라 일정한 수준으로 도착하는 것을 가정하는 경우와 스케줄에 따라 피크타임이 존재하는 경우로 구분하도록 한다.

예를 들면, 오전 8시부터 오후 6시까지 작업 물량이 도착하는데 오후 3시경에 물량이 몰려 피크타임을 가지는 창고가 있다고 가정하면 화물의 도착 형태를 다음의 Fig. 6과 같이 히스토그램으로 표현할 수 있다.

6) Doane, David P.; Lori E. Seward, 최필선, 민인식 공역. 《경영경제 통계학》. McGraw-Hill. pp.275

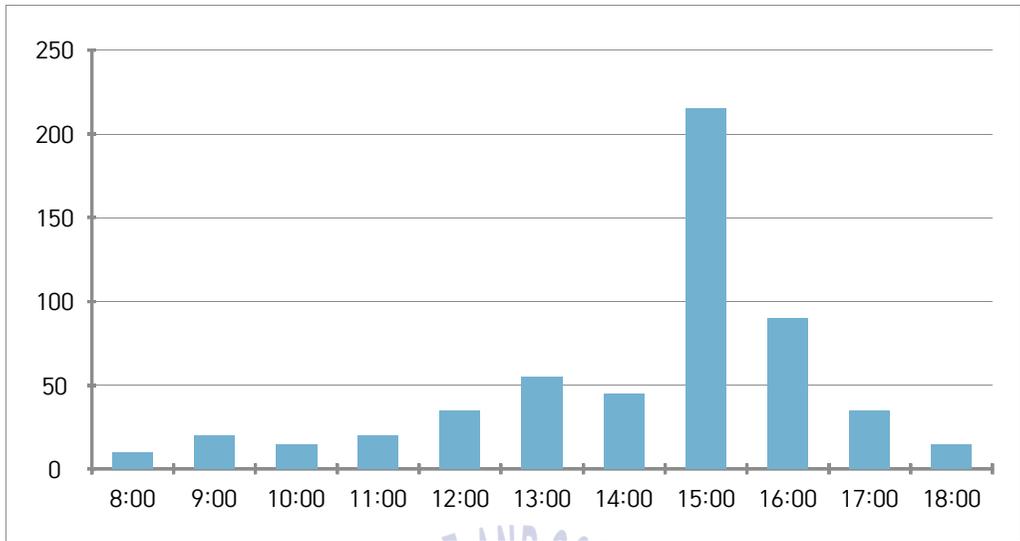


Fig. 6 스케줄에 따른 화물의 피크타임 도착 형태 예시

이 때, 화물의 도착 형태에 의한 입고작업과 출고 요청에 의한 출고작업의 피크타임에 따라 구분이 필요하다. 입고작업과 출고작업의 피크타임이 다른 시간대에 생기는 경우가 있을 수 있는 반면, 입고작업과 출고작업의 피크타임이 동일한 시간대에 몰리는 경우라면 크로스도킹, 포크리프트의 더블사이클링과 같은 운영방식의 효과가 크게 발휘될 가능성이 있기 때문이다.

#### 4) 운영관련 의사결정 문제

보관창고의 운영과 관련된 의사결정 문제 중 레이아웃과 화물 사이즈 결정 문제는 앞서 서술한 바와 같이 창고의 보관공간과 화물의 특성에 따라 결정된다. 창고의 레이아웃 설계까지 완료된 이후엔 실제로 화물을 입고하고 보관하고 출고하는 작업들과 관련된 문제들을 해결해야 하는데 이는 크게 보관위치 할당 문제, 입출고 순서 결정 문제, 작업 차량 이동 경로 문제 등이 있다. 보관위치 할당 문제는 입출고 화물의 특성에 따라 장기적, 단기적으로 해결해야 하는 문제인데 창고 내 화물의 입출고 빈도에 따라 ABC분석을 통해 구분하여

작업 경로를 최소화할 수 있는 위치로 보관위치를 할당하는 것이 가장 일반적인 형태이다. 시뮬레이션 모델에서는 최초 물량 생성시 A : 80%, B : 15%, C : 5% 등으로 속성값을 구분하여 할당하는 방법을 사용할 수 있다.



### 3.2 자동화 도입요소 - 자동화 수준

자동화 수준은 무인완전자동화와 부분자동화로 구분되는데 무인 완전자동화는 보관창고의 주요 작업에 인력의 개입을 최소화하거나 인력을 투입하지 않고 작업을 하는 범위를 지칭한다. 이는 보관창고의 입고에서 출고까지 완전 무인으로 작업하는 경우로써 보관창고의 형태와 화물의 속성, 운영방식에 따라 도입되는 장비가 달라진다.

부분자동화는 무인 완전자동화에 비해 투입되는 장비의 경우의 수가 훨씬 많아진다. 무인자동화는 정해진 창고의 규모에 장비가 모든 구역과 작업, 그리고 물량을 커버해야 하지만 부분자동화의 경우 일부 구역만 커버하거나 일부 프로세스만 자동화 하거나 일부 물량만 처리하는 형태이므로 시나리오의 분기가 늘어난다. 자동화 장비가 처리하지 못하는 구역은 인력이나 운전자가 필요한 포크리프트와 같은 수동 장비 등을 이용하여 처리하도록 한다. Fig. 7의 예시와 같이 무인자동화는 자동화 장비가 100% 창고에 적용되는데 반해 부분자동화의 경우 자동화 장비가 반 정도만 적용 될 수도 있고 일부분만 적용 될 수도 있다.



Fig. 7 무인자동화와 부분자동화의 적용 차이 비교 예시

현실적으로 자동화를 도입할 때 일관되게 한 가지 정도의 시스템을 도입하기 마련인데 한 창고에서 담당하는 프로세스가 중복되도록 장비를 선택하는 경우는 드물다. 가령 화물의 이동을 담당하는 컨베이어 시스템과 이동, 하역

및 적재를 담당하는 스택커 크레인을 도입한 창고에서 동시에 AGV와 천정운반설비를 도입하는 경우는 자주 생기지 않는다는 의미이다.

따라서 부분자동화를 위한 시나리오는 장비를 중심으로 프로세스를 고려하는 방식으로 시나리오를 도출하도록 한다. 더하여 장비의 종류도 중요한 요소지만 장비의 사용 대수 또한 많은 영향을 끼치게 될 것을 고려하여 무인 자동화 시나리오와는 다르게 부분 자동화 시나리오에는 장비의 대수를 변화시켜 자동화 장비가 차지하는 비율을 조정하고 나머지 처리해야 할 작업의 할당영역은 수동 장비와 인력이 차지하도록 한다.



### 3.3 시뮬레이션 모델

창고 자동화 도입의 효과를 확인하기 위해 창고의 프로세스를 모델링하여 시뮬레이션 하도록 한다. 창고의 기본 프로세스에 장비를 투입했을 때의 프로세스를 고려하여 모델을 구성한다. 모델의 유연성과 재사용성을 위해 장비에 따른 장비를 이용한 프로세스와 주문 프로세스, 장비의 작동 지점이 되는 장소에 따라 모델을 구분하도록 한다.

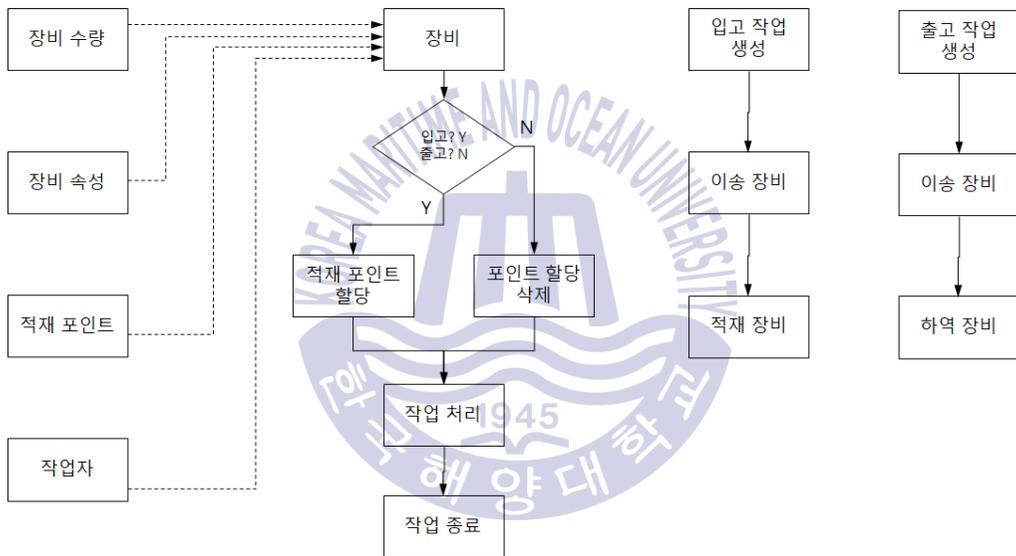


Fig. 8 시뮬레이션 기본 모델

시뮬레이션 모델에서 투입하고 교체하는 장비의 종류가 다양하며 모든 모델의 프로세스 형태가 동일하게 진행되지는 않기 때문이다. 그러나 기본적인 창고의 프로세스에 따라 입고 작업과 출고 작업의 기본 형태는 크게 변하지 않는다. 화물을 이동하고 적재하고 하역하는 작업의 진행 방식은 동일하되 장비의 선택에 따라 모델이 달라지도록 구성한다. Fig 8과 같이 본 연구에서 시뮬레이션 모델은 입고 작업과 출고작업을 구분하였고 장비의 속성에 따라 모델이 변화할 수 있도록 하였다. 이를 통해 입고와 출고의 분포의 이원화를 꾀할

수 있으며 자동화 장비와 같은 자원(Resource)의 배치에 따라 크로스도킹, 또는 Double Cycling의 효과를 확인 할 수 있다.

시뮬레이션 모델의 범위는 창고 내부의 작업으로 한정하도록 한다.

### 3.3.1 입고 작업 모델

입고 작업 모델의 세부 사항은 화물의 물량과 화물의 형태에 영향을 받게 된다. 화물의 물량은 창고의 규모와 속성을 따르며 화물의 품목 형태가 중량 화물인지, 부피화물인지에 따라 결정되는데 이는 변수와 속성으로 처리 할 수 있다. 만약 모든 입고 화물의 중량과 사이즈가 유닛로드화 되어 있다면 모든 화물의 aProductWeight, aProductSize속성을 동일하게 하면 된다. 그러나 화물의 종류별로 부피와 중량이 다른 경우에는 변수마다 값을 할당하여 부피와 중량화물을 구분할 수 있다. 마찬가지로 팔레트 화물의 경우 또한 팔레트 화물인지 아닌지에 따라 속성을 구분한다.

또한 화물의 보관위치를 ABC로 구분하는 방식을 표현하기 위한 속성이 필요한데 이 또한 확률변수를 통해 구현 가능하다. 입고 화물을 생성할 때 속성 값을 확률변수에 따라 부여함으로써 A그룹 70%, B그룹 20%, C그룹 10%, 또는 A그룹 80%, B그룹 15%, C그룹 5%와 같은 형태로 구현 가능하다.

이와 같은 형태로 입고 작업시 시뮬레이션 모델에서 고려되는 속성과 변수의 할당은 Table. 13과 같이 표현할 수 있다.

Table. 13 입고 작업 객체 속성 및 변수

화물 속성	변수	값/범위	속성 명
품종	-	-	aProductKind_n (n=1~100)
품목	vWeight_n (n=1~100)	실수	aProductWeight
	vSize_n (n=1~100)	실수	aProductSize
팔레트	-	T/F	aPalette
그룹	vA	70~80	aClass_A
	vB	10~20	aClass_B
	vC	5~10	aClass_C

최종적으로 입고 작업의 생성시 화물의 속성, 변수를 할당하는 모델은 Fig 8 과 같다.

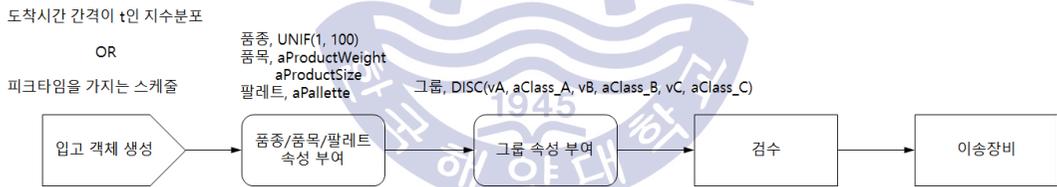
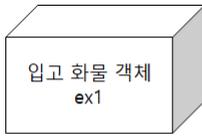


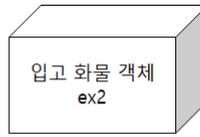
Fig. 9 입고 화물 생성 모델

Fig. 9에서 UNIF(1, 100)은 1에서 100사이 속성 구간에서 균등한 확률을 가지는 일양분포를 나타내며 DISC(vA, aClass\_A, vB, aClass\_B, vC, aClass\_C)는 ABC 구간을 변수 vA, vB, vC에 따른 이산확률분포를 나타낸다. 여기서  $vA + vB + vC = 1.0$  이다.

이와 같은 형태를 통해 입고 물량의 도착분포, 품목 종류, 품목당 개수를 정의할 수 있다. 입고 물량의 객체는 Fig. 10의 예시와 같은 형태로 생성되고 창고 내부 프로세스의 흐름을 따라 이동하게 된다.



1분마다 도착시간 간격이 지수분포  
 품종 : aProductKind\_3  
 품목 : vWeight\_5  
       vSize\_7  
 팔레트 : T  
 그룹 : aClass\_A



1분마다 도착시간 간격이 지수분포  
 품종 : aProductKind\_11  
 품목 : vWeight\_10  
       vSize\_5  
 팔레트 : F  
 그룹 : aClass\_C

Fig. 10 입고 화물 객체 예시 ex1, ex2

Fig. 10의 입고 화물 객체 ex1을 대표하는 속성은 aProductKind\_3라는 품종이 되고 ex2는 aProductKind\_11을 할당받았다. 이는 이후에 출고 모델에서 화물의 존재 여부를 판별하기 위한 이른바 화물을 대표하는 속성이 된다. 또한 화물 배치와 품목의 양의 조절을 위해 ex1의 경우는 vA의 확률(70%~80%)로 aClass\_A 그룹으로 할당을 받았고 ex2의 경우는 vC의 확률(5~10%)로 aClass\_C 그룹으로 할당 받았다. 이것은 A그룹에 속하게 될 화물의 종류가 다르더라도 결국 A그룹은 약 70~80% 정도의 화물로 채워지게 된다.

품목이 생성되고 도착하여 창고로 진입하면 검수/검품 과정을 거치는데 검수/검품 과정의 세부 프로세스는 Fig. 11과 같다. Fig 9에서 도착 시간 간격에 따라 도착한 화물이 품종과 그룹에 관한 속성을 부여받고 Fig. 11의 검수/검수 프로세스로 이동하게 되는데 작업의 처리를 위한 파라미터는 Table. 14와 같이 설정한다.

Table. 14 검수/검품 작업 입력 Parameter

작업	작업 처리 시간(분)	자원	작업 처리 규칙
해체작업	Exponential(1)	인력	FCFS
검품/검수작업	Exponential(2)	인력	
팔레타이저	Exponential(3)	팔레타이저	
수동 팔레타이징	Exponential(5)	인력	
바코드 처리	Exponential(1)	바코드 시스템	
수동 서류작업	Exponential(10)	인력	

이와 같은 형태로 검수/검품 프로세스에서 화물의 속성에 따라 팔레타이저 및 바코드 도입에 따른 차이를 확인 할 수 있다. 창고 내 인력에 따라, 장비의 도입 여부에 따라, 장비의 도입 대수에 따라 프로세스는 자원을 점유하거나 자원이 이용 가능할 때 까지 대기하게 된다. 이를 통해 프로세스의 효과를 확인할 수 있다. 검수와 검품이 완료된 작업은 이송장비로 이동하고 적재장비를 이용하여 창고 내에 적재하게 된다.

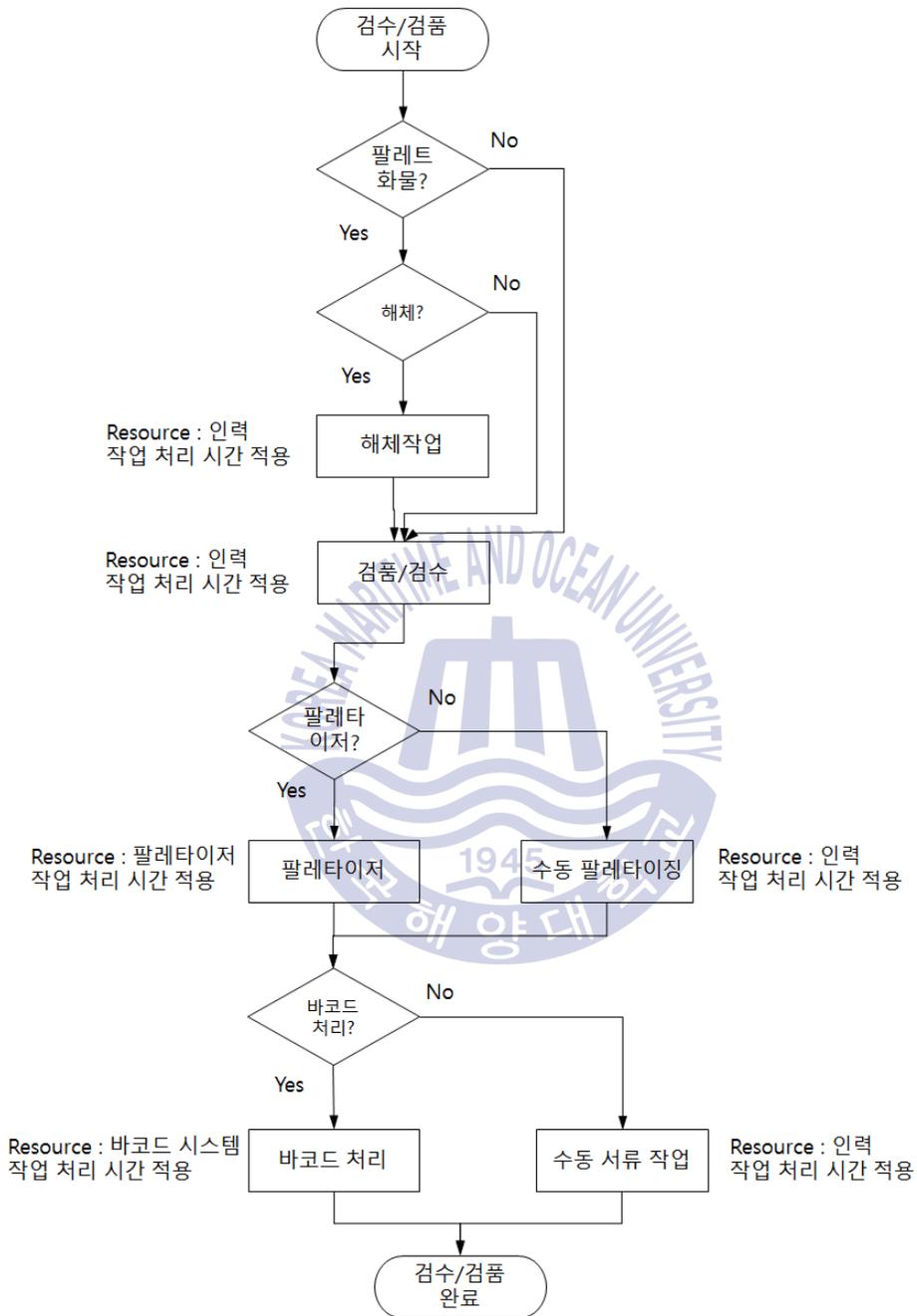


Fig. 11 검수/검품 작업 프로세스

### 3.3.2 출고 작업 모델

출고 작업 모델은 입고 작업 모델과 비슷한 형태를 가지는데 몇 가지 부분에서 차이가 있다. 우선 입고되는 물량을 최초 창고의 기대 물량 수준 내에서 생성하기 때문에 출고 물량 또한 동일하게 생성하면 된다. 그러나 창고에 입고 되지도 않은 화물을 요청할 수 있는 상황이 발생할 수 있다. 왜냐하면 모델에서 입고 물량을 최초로 생성할 때 무작위로 제품의 속성을 할당하고 수량 또한 할당되는 구조이기 때문에 출고 작업 모델에서 동일하게 생성을 할 경우에는 입고에서 할당된 속성과 일치하지 않는 물량, 즉, 현재 창고에서 존재하지 않는 속성값을 요구할 수 있게 된다. 따라서 Fig 12와 같이 현재 창고에 존재하는 속성값인지 확인하는 알고리즘이 필요하다.

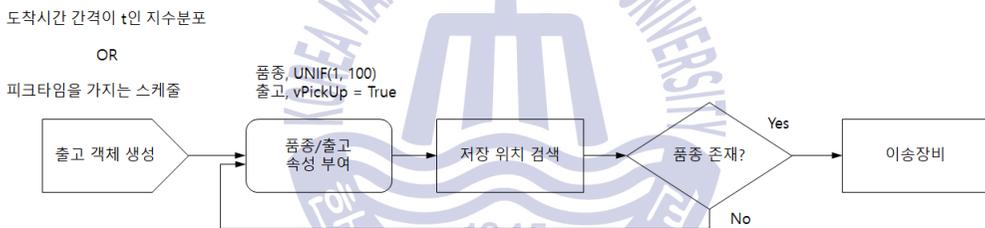


Fig. 12 출고 화물 생성 모델

입고 작업 생성 모델에서는 화물의 크기, 팔레트 여부, 그룹 등의 속성을 부과하였으나 출고 작업에서는 화물이 존재하는지 여부만 판단하면 된다. 화물이 존재하면 바로 이송장비 모델로 이동하여 저장공간으로 이동하면 되고 화물이 존재하지 않는다면 해당 객체에 다시 품종 속성을 할당하도록 한다. 따라서 저장 위치 검색은 작업 처리 시간을 할당하지 않도록 한다.

### 3.3.3 보관/픽업 모델

이송/하역 장비는 작업이 입고 작업인지 출고 작업인지에 따라 작업의 분기

가 발생한다. 입고작업인 경우 장비를 선택하고, 입고작업 객체, 즉 화물을 가지고 이동하여 보관장소의 좌표를 탐색하고 보관장소까지 이동하게 된다. 이때 화물의 형태와 종류에 따라 장비 선택이 달라질 수 있다. 또한 자동화 장비가 아닌 인력이 필요한 포크리프트, 카트, 수동 컨베이어와 같은 장비가 사용될 경우도 인력이 필요하게 된다.

적재 포인트는 보관창고의 기본 레이아웃에서 처리 가능한 물량을 기준으로 설정한다. 창고의 평면도가 가령 다음의 Fig. 13와 같다면 창고에서 저장 랙의 block은 3개이며 각 block 당 Sigle Deep의 5연 형태의 랙들이 있다고 할 수 있다.

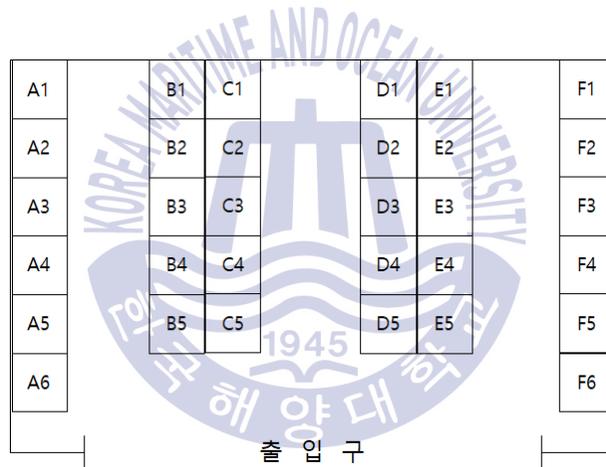


Fig. 13 블록별 적재 포인트

또한 각 블록의 한 열(row)에서 표준 팔레트 2개가 적재 가능한 3단, 5련의 Single Deep 랙이 Fig. 6과 같이 있다면 포인트는  $3 \times 10$ 개의 적재 포인트가 된다.

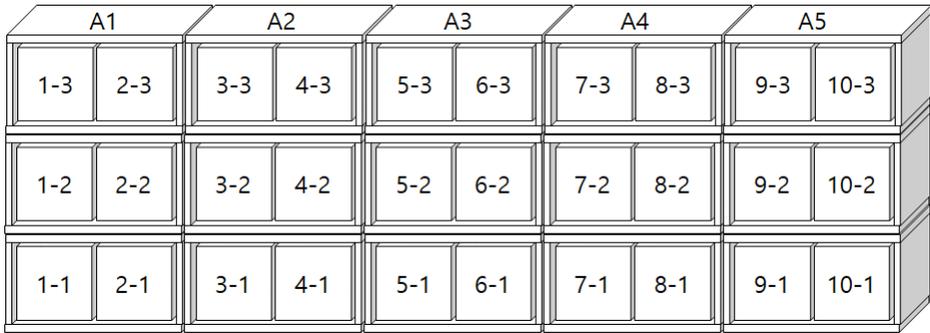


Fig. 14 블록 내 1열의 적재 포인트

이와 같은 상태에서 가령 B2-3-3와 같은 적재 포인트가 있다고 하자. 다음의 Fig. 15과 같이 음영으로 표시된 위치가 B2-3-3의 적재 포인트가 된다.

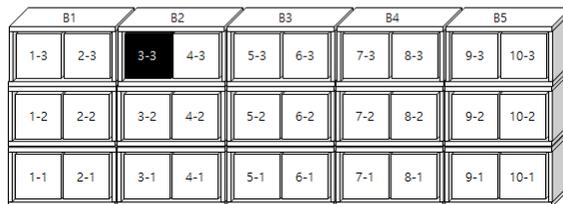
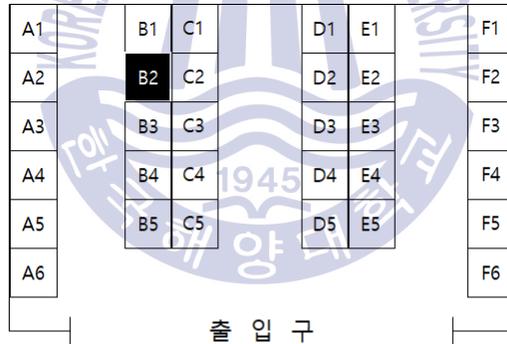


Fig. 15 적재 포인트 예시

이 때 적재 포인트로 이동 거리를 산출하기 위한 통로의 설정이 필요하다.

통로는 기본적으로 네트워크의 형식을 취하게 되며 Fig. 13의 예시와 같은 창고라면 통로는 Fig. 16과 같이 점과 선을 연결한 형태가 된다.

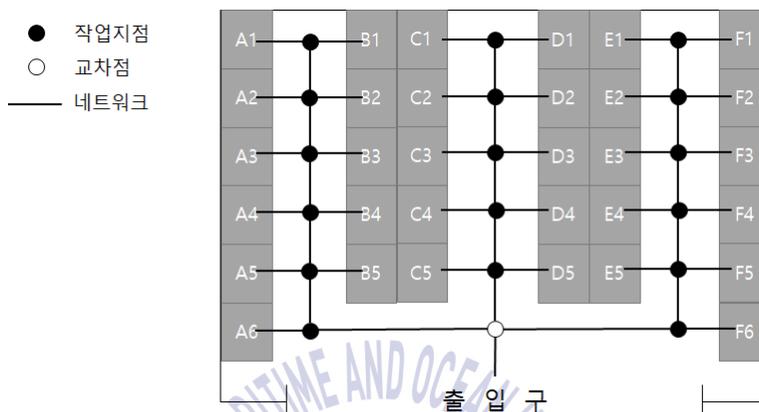


Fig. 16 보관창고의 작업지점, 교차점, 네트워크 예시

이송 장비의 이동 네트워크 교차점은 Fig 16의 선과 점으로 표시된 지점들로 이 교차점들 간에 네트워크로 연결한다. 교차점은 이동 포인트가 되며 네트워크는 이동 경로가 되는데 장비의 속성에 따라 이동 시간과 작업 시간을 다르게 지정하여 장비들의 차이를 구분한다. 여기서 작업지점과 교차점의 차이가 발생하는데 작업지점에는 속성을 할당하여 적재 장비가 작업을 하는 포인트가 되도록 한다. 교차점은 단순히 이동 경로를 연결시키기 위한 역할 뿐만 아니라 창고의 출입구 레이아웃에 따라서 입구와 출구의 속성을 부과할 수 있다. Fig 8과 같은 경우는 단순히 창고의 출입구가 하나로 통일된 형태이지만 출입구가 분리되어 있다면 각각의 교차점에 다른 속성을 부여하도록 한다.

시뮬레이션 Tool 마다 차이가 있을 수 있지만 이와 같은 형태로 적재 포인트, 작업지점, 교차점, 네트워크는 Table. 15와 같이 변수 또는 모듈을 할당함으로써 표현할 수 있다.

Table. 15 보관창고 좌표 설정 변수

구분	변수명	Index	
적재 포인트	Stations_B_R_T_P	Block	1~B
		Row	1~R
		Tier	1~T
		Pallette	0, 1
	속성	aCurrentSation	
		aClass_A, B, C	
작업지점	Intersections_A_R	Aisle	1~A
		Row	1~R
교차점	Intersections	<b>Intersections_2_6<sup>7)</sup></b>	
네트워크	Network	Network_11_to_AR	

자동화 이송 장비는 보관창고의 통로 네트워크를 따라 작업 지점으로 이동하여 적재 포인트에서 상·하역 작업을 하게 된다. 가령 이송 장비가 출입구에서 출발하여 Fig. 15의 음영으로 표시된 적재포인트인 B2-3-3으로 이동한다면 Fig. 17 와 같은 지점과 네트워크를 지나며 출입구인 Intersections\_2\_6에서 출발하여 적재 포인트인 Stations\_2\_2\_3\_0 으로 네트워크와 지점들을 거쳐 이동한 다음 적재 포인트에 도달 후 반대 경로를 거쳐 출입구인 Intersections\_2\_6로 돌아오게 된다.

**Intersections\_2\_6** → Network\_16\_to\_26 → Intersections\_1\_6 → Network\_15\_to\_16 → Intersections\_1\_5 → Network\_14\_15 → Intersections\_1\_4 → Network\_13\_14 → Intersections\_1\_3 → Network\_12\_13 → Intersections\_1\_2 → **Stations\_2\_2\_3\_0** → Intersections\_1\_2 → Network\_12\_13 → Intersections\_1\_3 → Network\_13\_14 → Intersections\_1\_4 → Network\_14\_15 → Intersections\_1\_5 → Network\_15\_to\_16 → Intersections\_1\_6 → Network\_16\_to\_26 → **Intersections\_2\_6**

7) Fig 8의 예시에 해당하는 인덱스

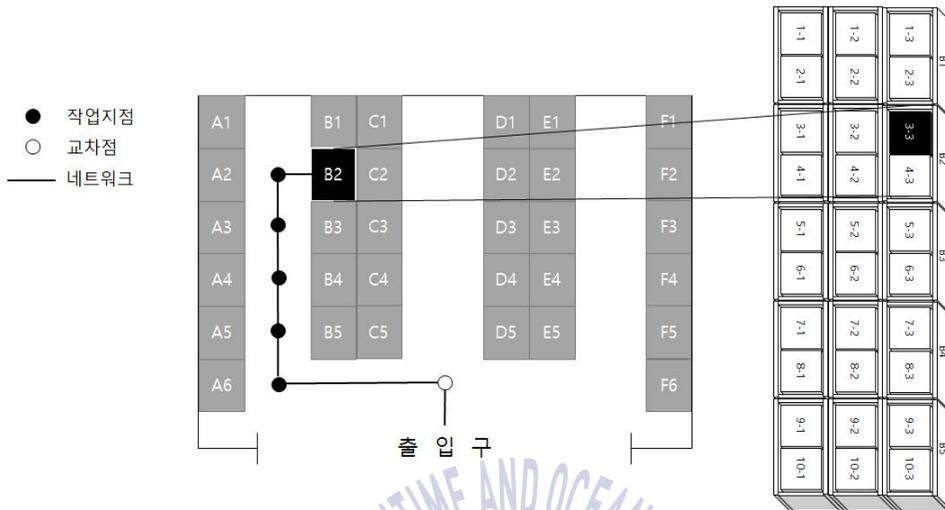


Fig. 17 적재 포인트의 이동 예시

적재 포인트 할당은 선입선출로 가까운 위치부터 차례대로 할당하도록 한다. 입고작업의 경우 출입구와 가까운 위치의 빈 공간부터 채워나가며 출고작업의 경우 출입구와 가까운 위치의 목표 화물부터 출고하도록 한다.

Fig. 18의 모델과 같이 팔레트 화물과 팔레트 화물이 아닌 경우를 구분하고 장비를 선택한다. 이후 장비의 가용상태를 확인 후 입고 또는 출고 작업을 실시한다. 입고 작업의 경우 저장공간을 확인하고 저장공간이 없는 경우 대기하고 저장공간이 있는 경우 장비를 점유한 후 보관위치로 이동한다. 작업이 완료되면 입고작업을 삭제하고 장비를 유힬상태로 바로 전환한다. 적재 포인트가 할당되어 있으므로 이 상태에서 출고 작업이 있을 경우 바로 이 장비를 선택할 수 있다. 이러한 방식으로 인해 더블사이클링이 가능해진다. 출고 작업은 화물의 존재 여부를 확인 후 존재하지 않으면 대기한다. 출고 화물이 존재하면 장비를 점유한 후 보관위치로 이동 후 화물을 싣고 출구로 이동한다. 이송장비를 유힬상태로 전환하고 이와 동시에 분류장비를 선택한다.

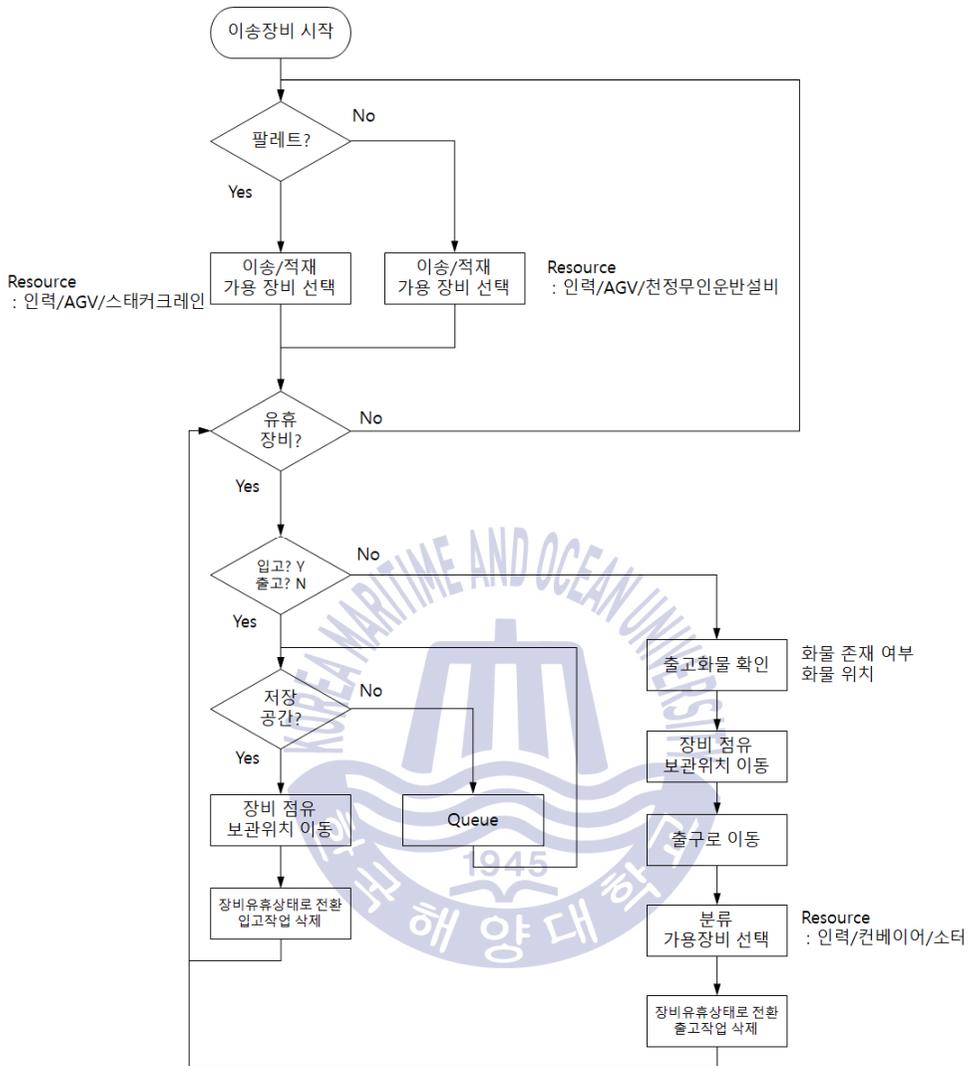


Fig. 18 이송장비 모델

■ 입력 파라미터

- 1) 장비 수량 : 장비의 수량은 각 시나리오에 적용된 장비에 따라 장비의 수를 변화시키며 변화를 살펴본다. 장비의 대수를 변화시키나 창고의 규모와 랙, 블록 개수 등에 따라 장비를 다르게 투입하도록 한다.

## 2) 장비 속성

- 장비 이동 속도 : 장비의 이동시간은 업체마다 차이가 있으며 제품과 모델마다 차이가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 현재 여기서는 일반적인 이송 및 적재 장비의 수평 방향의 이동 시간과 수직 방향의 이동 시간을 고려하도록 한다. AGV와 같은 이송장비의 경우는 수평 이동시간만 존재할 수 있지만 스택커 크레인이나 천정무인 운반설비의 경우는 수평 이동시간과 수직 이동시간이 동시에 필요하다. 각 장비별 수평 및 수직 이동속도는 삼각분포를 따르도록 가정 하며 다음의 Table. 16의 속도 데이터를 가정으로 실험 모형에 반영하도록 한다.

Table. 16 자동화 장비의 이동속도

단위 : m/분

장비	수평 이동속도			수직 이동속도		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
스택커 크레인	20	200	80	4	80	30
천정무인운반설비	20	240	120	5	70	35
하역가능 AGV	10	60	20	-	-	-
컨베이어 시스템	40	100	60	-	-	-

- 장비 작업 시간 : 장비의 작업 처리시간은 장비의 이동시간을 제외하고 작업을 처리하는 시간을 나타낸다. 바코드의 경우 바코드의 인식, 출력, 부착 등과 같은 작업 처리 시간의 총 시간을 나타내며 스택커 크레인과 천정무인운반설비는 상·하역 시간을 나타낸다.

Table. 17 자동화 장비의 작업 1회 처리 시간

단위 : 초

장비	작업시간		
	Min	Max	Avg
바코드 시스템	5	20	10
스태커 크레인	45	120	70
AGV	20	60	40

4) 작업자 : 부분자동화 시나리오의 경우 반자동 장비에 할당되는 작업자의 수를 설정한다. 무인자동화의 경우에도 무인자동화 장비를 운용하는 인원이 필요하나 이는 모델에 적용되지는 않고 향후 인건비 등의 비용에 국한하여 감안하도록 한다.

- 작업자 장비할당
- 작업자 수
- 수작업의 작업 처리시간 입력

5) 기타 : 하루 작업시간은 8시간으로 가정하고 시뮬레이션 기간은 총 30일 동안으로 한다.

## 제 4 장 보관창고의 자동화 도입 효과

### 4.1 시뮬레이션 시나리오

보관창고의 자동화를 위한 시뮬레이션 시나리오의 생성을 위한 구성요소는 다음과 같다.

- i) As-Is : 보관 창고의 특성
- ii) To-Be : 자동화 수준
- iii) Framework : 시뮬레이션 모델

우선 기존 보관창고의 특성들을 정리하고, 도입할 자동화 수준을 설정한 뒤 시뮬레이션 모델에 적용한다. 따라서 시뮬레이션 시나리오의 분기는 보관창고의 특성에 따라 나누고 자동화 수준에 따라 다시 나눌 수 있다. 보관창고의 특성은 규모, 레이아웃, 화물 종류 및 물량, 그리고 운영형태이다. 보관창고의 특성에 따른 시나리오를 다음과 같이 분류하였다.

- 1) 규모 : 면적, 모양, 물동량
- 2) 레이아웃 : 출입구 배치형태
- 3) 화물특성 : 팔레트, 중량, 부피, 신선/냉장/냉동화물
- 4) 화물 다양성 : 다품종, 소품종
- 5) 운영 관련 : ABC를 적용, 더블사이클 적용

보관창고의 특성에 따른 시나리오의 세부 구분은 Table. 18과 같이 수많은 분기로 나누어진다. 이들의 시나리오는  $4 \times 3 \times 3 \times 3 \times 4 \times 2 \times 4 = 3,456$ 개의 시나리오 분기로 구성된다.

Table. 18 보관창고의 특성 시나리오 분류

시나리오 구분	시나리오 내용	속성 값		
규모	면적	1,000m <sup>2</sup>		
		2,000m <sup>2</sup>		
		5,000m <sup>2</sup>		
		10,000m <sup>2</sup>		
	모양	좌우로 긴 직사각형		
		전후로 긴 직사각형		
		정사각형		
	물동량 분포	포아송 분포 형태		
		피크 타임 형태	입출고 동일 시간대	
			입출고 차이 시간대	
레이아웃	출입구	U-Turn형		
		입출고 구분형		
		One-Way형		
화물특성	팔레트	화물마다 중량, 부피 일정	신선/냉동	T
	중량, 부피	화물마다 중량, 부피 차이		F
화물 다양성	다품종	100종		
	소품종	10종		
운영 형태	ABC를 적용	True/False (False 일 경우 랜덤 적재)		
	더블사이클	True/False (False 일 경우 싱글사이클)		

또한 자동화 창고의 장비/설비 도입으로 인한 자동화 수준에 관한 시나리오는 다음과 같이 분류하였다.

- 1) 바코드 도입
- 2) 스택크레인 도입
- 3) 천정무인운반설비 도입
- 4) AGV 도입
- 5) 컨베이어 도입
- 6) 자동 소터 도입
- 7) 팔레타이저 도입

장비의 종류가 7가지이며 팔레트 화물인 경우 사용이 곤란한 장비가 존재한다고 가정하면 각 장비별 1대씩의 도입 여부만으로도 시나리오의 개수는 다음과 같이 96개가 된다.

바코드, 스택크레인, 컨베이어, 자동소터, 팔레타이저 조합 :  $2^5 = 32$

바코드, 천정무인운반설비, 컨베이어, 자동소터, 팔레타이저 조합 :  $2^5 = 32$

바코드, AGV, 컨베이어, 자동소터, 팔레타이저 조합 :  $2^5 = 32$

여기에 보관창고의 특성까지 변화시키며 실험을 진행하면  $3,456 \times 96 = 331,776$ 개의 시나리오가 생성되고 장비의 대수를 변화시키며 실험을 진행하면 시나리오의 개수는 기하급수적으로 늘어나 수 백, 수 천 만개의 시나리오를 실험해야 한다. 따라서 이러한 방식은 시간과 자원이 많이 소모되는 방식이므로 실험을 위한 기준이 필요하다. 우선 자동화 도입의 본질인 최대한 적은 비용을 투자하여 보다 짧은 시간 내에 더욱 많은 물량을 처리하기 위함인데 장비를 무작정 많이 도입한다면 분명 생산성은 증가하지만 장비의 도입 비용이

증가할 뿐 만 아니라 물량에 비해 필요 이상으로 많은 장비를 도입하게 되는 상황이 발생할 수도 있다. 따라서 주어진 물량에 필요한 적정 장비 조합과 대수를 도출하는 것이 관건이 된다.

창고의 면적은 물량과 직결되므로 창고의 면적에 따라 구간을 나누도록 한다. 나머지 요소들은 모두 동일한 조건으로 한다. 따라서 자동화 도입 전 시뮬레이션 결과는 모든 장비는 수동장비/인력으로 처리하고 최대 처리 가능한 물량을 산출하는데 그 시나리오들은 창고 면적별로 Table. 16~19와 같다.

Table. 19 자동화 도입 전 시나리오1 (1,000㎡ 규모)

시나리오 구분	시나리오 내용	속성값		
규모	면적	1,000㎡		
	모양	정사각형		
	물동량 분포	포아송 분포, 1분에 2개		
레이아웃	출입구	One-Way형		
화물특성	팔레트	화물마다 중량, 부피 일정	신선/냉동	F
화물 다양성	다품종	100종		
운영 형태	ABC를 적용	True		
	더블사이클	True		

Table. 20 자동화 도입 전 시나리오2 (2,000m<sup>2</sup> 규모)

시나리오 구분	시나리오 내용	속성값		
규모	면적	2,000m <sup>2</sup>		
	모양	정사각형		
	물동량 분포	포아송 분포, 1분에 4개		
레이아웃	출입구	One-Way형		
화물특성	팔레트	화물마다 중량, 부피 일정	신선/냉동	F
화물 다양성	다품종	100종		
운영 형태	ABC룰 적용	True		
	더블사이클	True		

Table. 21 자동화 도입 전 시나리오3 (5,000m<sup>2</sup> 규모)

시나리오 구분	시나리오 내용	속성값		
규모	면적	5,000m <sup>2</sup>		
	모양	정사각형		
	물동량 분포	포아송 분포, 1분에 10개		
레이아웃	출입구	One-Way형		
화물특성	팔레트	화물마다 중량, 부피 일정	신선/냉동	F
화물 다양성	다품종	100종		
운영 형태	ABC룰 적용	True		
	더블사이클	True		

Table. 22 자동화 도입 전 시나리오4 (10,000 규모)

시나리오 구분	시나리오 내용	속성값		
규모	면적	10,000m <sup>2</sup>		
	모양	정사각형		
	물동량 분포	포아송 분포, 1분에 20개		
레이아웃	출입구	One-Way형		
화물특성	팔레트	화물마다 중량, 부피 일정	신선/냉동	F
화물 다양성	다품종	100종		
운영 형태	ABC룰 적용	True		
	더블사이클	True		

창고의 규모와 별로 시나리오를 나눈 Table. 16~19의 창고 특성으로 자동화 장비 도입 없이 모두 수동으로 운영하도록 인원 수를 변화시키며 시뮬레이션을 수행하였다.



Fig. 19 시나리오1의 인력 변화에 따른 작업 처리량

자동화 장비를 도입하지 않고 시뮬레이션을 수행한 시나리오 1의 경우는 Fig. 19와 같이 인원을 1명에서 15명까지 투입했을 때 이러한 규모의 창고는 인원을 최대한 투입할 경우 약 9,700개 정도의 물량을 처리하는 것으로 나타났다. 물량은 1분에 약 2개꼴로 도착하여 1개월에 약 14,400개 정도의 물량이 들어옴에도 불구하고 인력과 수동 장비만으로는 작업 처리 능력에 한계가 있음을 보여준다. 이와 같은 상황에서 다른 조건들은 모두 동일하게 두고 자동화 장비를 도입했을 때 늘어나는 물량으로 자동화 도입의 효과를 확인할 수 있다. 마찬가지로 Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22는 각각 시나리오 2(창고 면적 2,000㎡ 수준), 시나리오 3(창고 면적 5,000㎡ 수준), 시나리오 4(창고 면적 10,000㎡ 수준)에 투입한 인원에 따른 작업 처리량을 나타낸다.

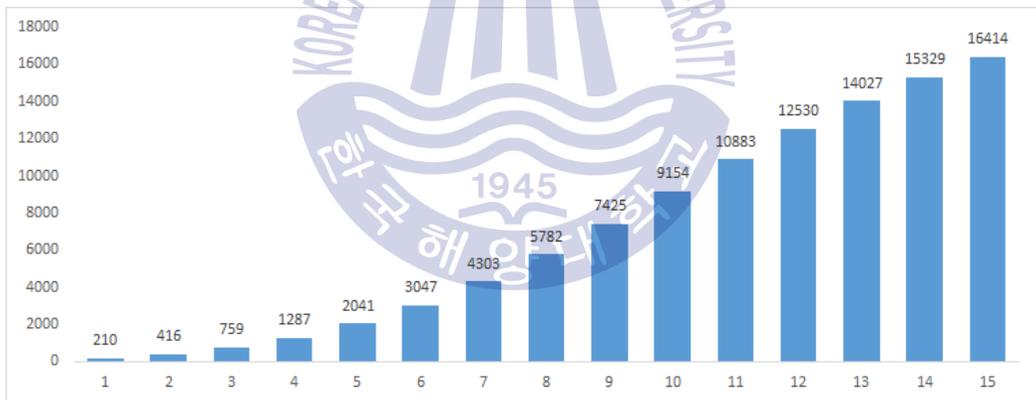


Fig. 20 시나리오2의 인력 변화에 따른 작업 처리량

시나리오 2의 경우는 Fig. 20과 같이 인원을 1명에서 15명까지 투입했을 때 최대 약 16,414개 정도의 물량을 처리하는 것으로 나타났다.

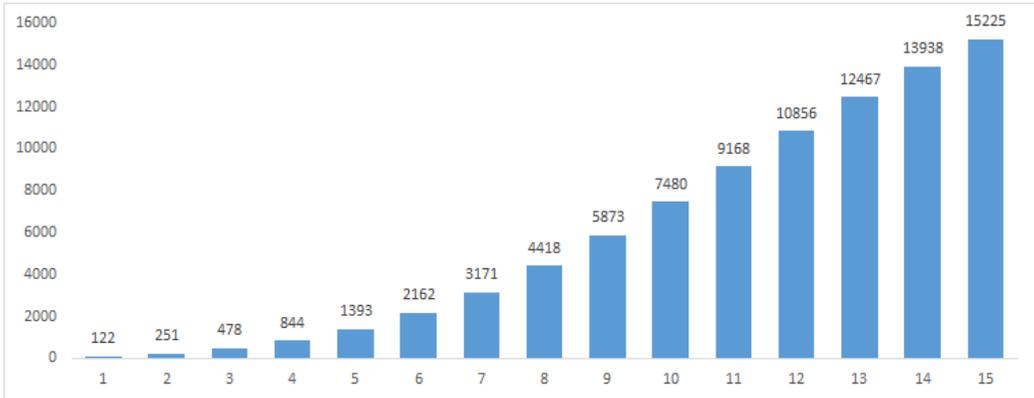


Fig. 21 시나리오3의 인력 변화에 따른 작업 처리량

시나리오 3의 경우는 Fig. 21과 같이 인원을 1명에서 15명까지 투입했을 때 최대 약 15,225개 정도의 물량을 처리하는 것으로 나타났다.

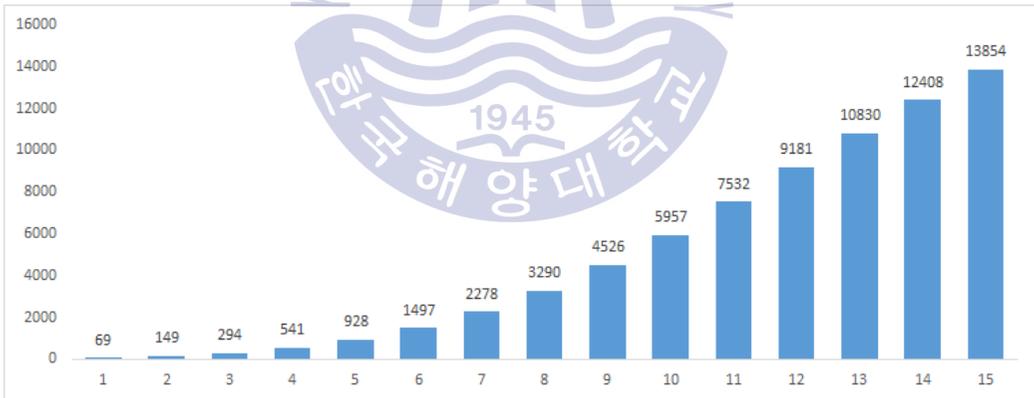


Fig. 22 시나리오4의 인력 변화에 따른 작업 처리량

시나리오 4의 경우는 Fig. 22와 같이 인원을 1명에서 15명까지 투입했을 때 최대 약 13,854개 정도의 물량을 처리하는 것으로 나타났다. 각각의 시나리오들을 살펴보았을 때 시나리오1의 경우는 약 10명 정도의 인원의 처리 물량이 최대 도착 물량에 근접하게 처리하는 것을 보여준다. 그러나 시나리오2, 3, 4

의 경우는 도착 물량이 증가함에도 불구하고 인력으로 처리하는 것의 한계를 보이고 있으며 오히려 창고의 규모가 커짐에 따라 이동거리와 작업동선이 늘어나는 등의 이유 때문에 처리 물량이 감소했음을 보여준다.



## 4.2 실험 결과 및 자동화 도입 효과

자동화 도입의 효과는 자동화 장비의 도입에 따른 처리 물량 증가 분 뿐만 아니라 자동화 장비/설비 도입 비용과 실제 처리해야 할 물량의 수준에 달려 있다. 따라서 자동화 도입은 자동화 장비의 조합에 따라 자동화 수준을 구분하도록 하는데 먼저 자동화 장비들을 각각 1종류씩만 도입했을 때의 결과는 시나리오별로 Fig. 23~26과 같다.

4개의 시나리오를 모두 보았을 때 처리 물량의 증가가 두드러지게 나타남을 보인다. 특히 스택커 크레인을 도입한 경우가 4개의 시나리오 모두 좋은 결과 값을 보여준다. 따라서 자동화 장비를 조합하는 시나리오는 스택커크레인을 기준으로 실험하도록 한다.

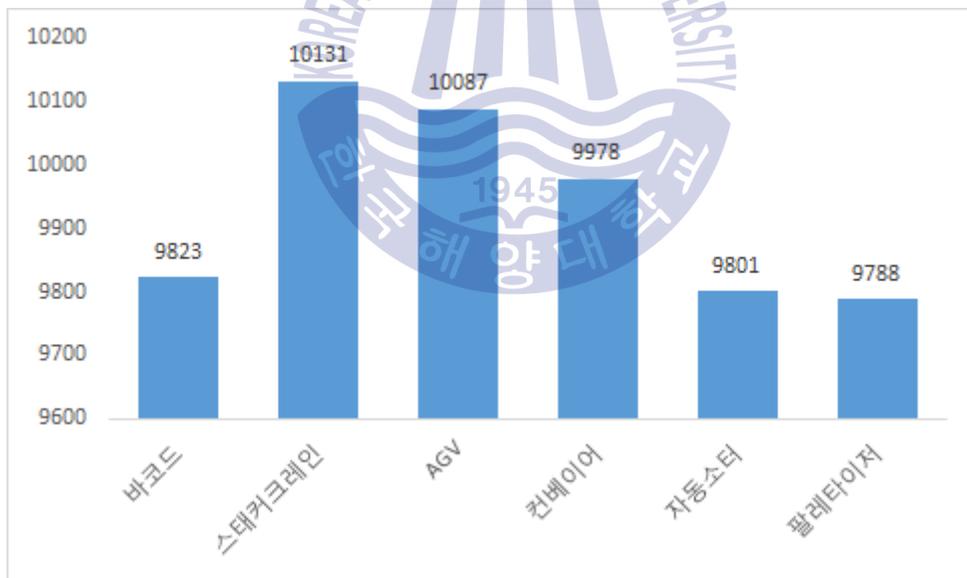


Fig. 23 시나리오1의 자동화 장비별 작업 처리량



Fig. 24 시나리오2의 자동화 장비별 작업 처리량

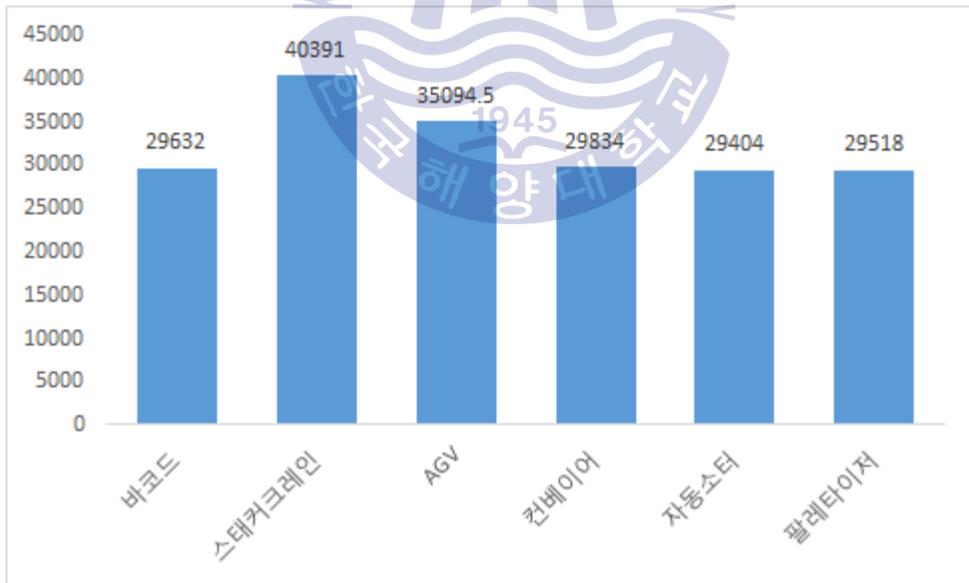


Fig. 25 시나리오3의 자동화 장비별 작업 처리량



Fig. 26 시나리오4의 자동화 장비별 작업 처리량

다음은 자동화 장비를 조합한 경우의 물량 변화이다. 먼저 스택크레인의 성능이 AGV에 비해 결과값이 좋으므로 스택크레인을 기준으로 장비를 조합 하도록 한다. 자동화 장비의 조합 표는 Table. 23과 같다.

Table. 23 자동화 장비 조합표

번호	장비 조합				
	바코드	스태커크레인	컨베이어	자동소터	팔레타이저
E1	○	○			
E2		○	○		
E3		○		○	
E4		○			○
E5	○	○	○		
E6	○	○		○	
E7	○	○			○
E8		○	○	○	
E9		○	○		○
E10				○	○
E11	○	○	○	○	
E12	○	○	○		○
E13	○	○		○	○
E14		○	○	○	○
E15	○	○	○	○	○

창고의 규모에 따라 나눈 시나리오 1, 2, 3, 4와 구분하기 위해 자동화 장비의 시나리오 번호는 E1 ~ E15로 구분하였다. 자동화 장비의 정정 도입대수 또한 산출해야 하나 여기서는 시나리오 1은 각 1대씩, 시나리오 2는 각 2대씩, 시나리오 3은 각 5대씩, 시나리오 4는 각 10대씩을 도입한 것으로 가정하였다.

시나리오 1에서 자동화 장비를 조합했을 때 시뮬레이션 결과는 Fig. 27과 같으며 이에 따라 자동화 장비를 도입하기 전과 비교했을 때의 물량 증가분은 Fig. 28과 같다.

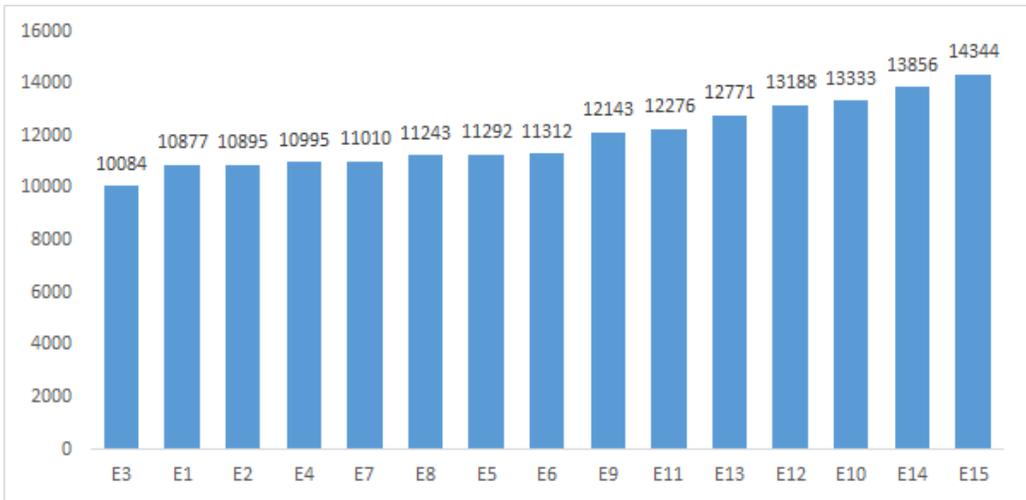


Fig. 27 시나리오1의 자동화 장비의 조합에 따른 작업 처리량

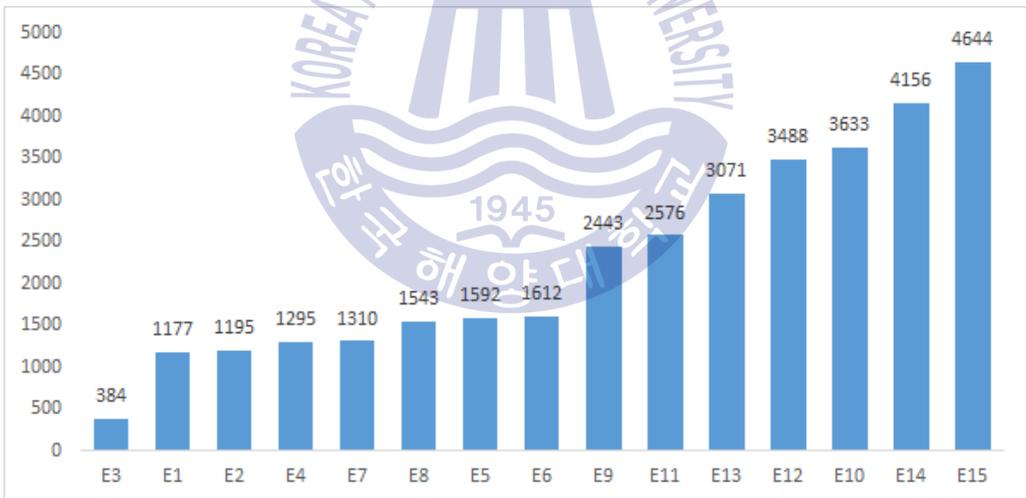


Fig. 28 시나리오1의 자동화 도입 이전 대비 처리물량 증가분

Fig. 27과 같이 자동화를 도입하기 이전의 처리물량인 9,788개와 비교하여 자동화 장비를 도입하고 처리물량이 적게는 384개에서 많게는 4,600개 까지 증가하는 모습을 보인다. 바코드, 스택크레인, 컨베이어, 자동소터, 팔레타이저 모두를 도입한 시나리오 E15번은 자동화 도입 전의 최대 처리 물량 대비

약 50% 가량 향상이므로 괄목할 만한 수치라고 할 수 있다. 그보다 장비를 부분적으로 도입한 시나리오들도 한 달 동안의 처리 물량이 높은 증가폭을 보여 준다. 이러한 형태로 시나리오2, 시나리오3, 시나리오4에 각각 자동화 장비를 조합하여 도입한 결과는 아래의 Fig. 29 ~ Fig. 34와 같다.

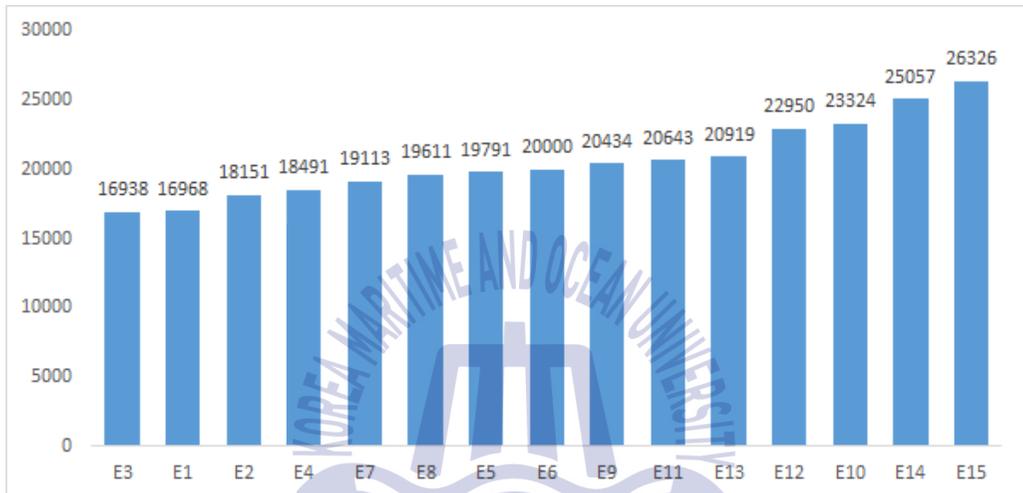


Fig. 29 시나리오2의 자동화 장비의 조합에 따른 작업 처리량

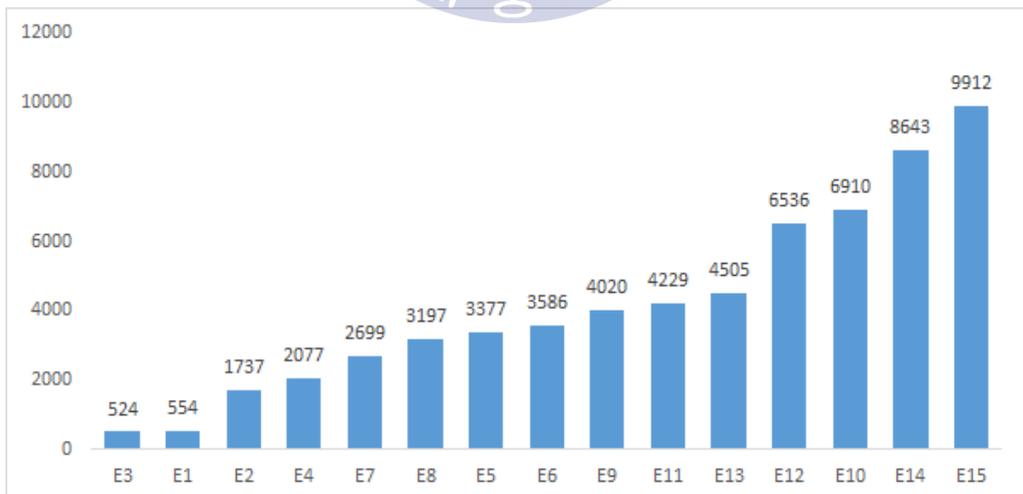


Fig. 30 시나리오2의 자동화 도입 이전 대비 처리물량 증가분



Fig. 31 시나리오3의 자동화 장비의 조합에 따른 작업 처리량

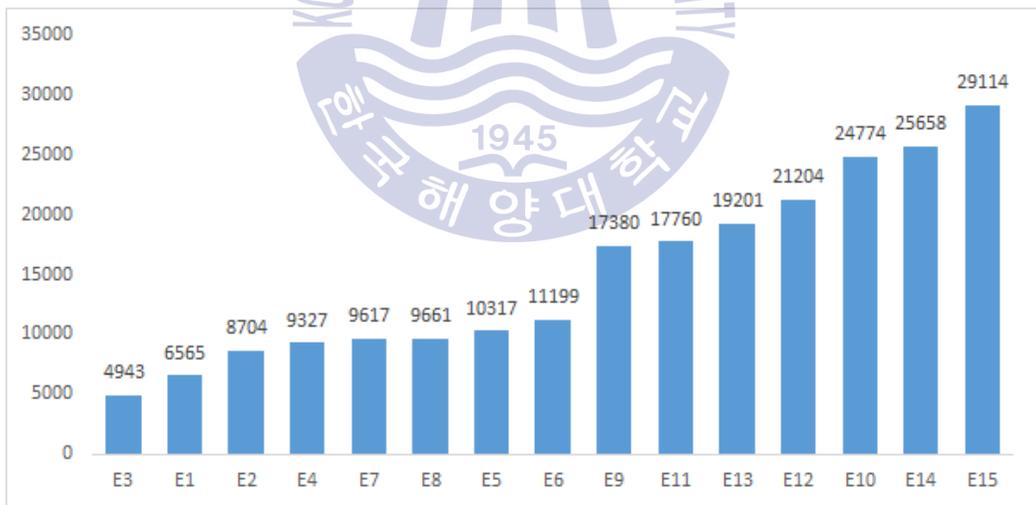


Fig. 32 시나리오3의 자동화 도입 이전 대비 처리물량 증가분

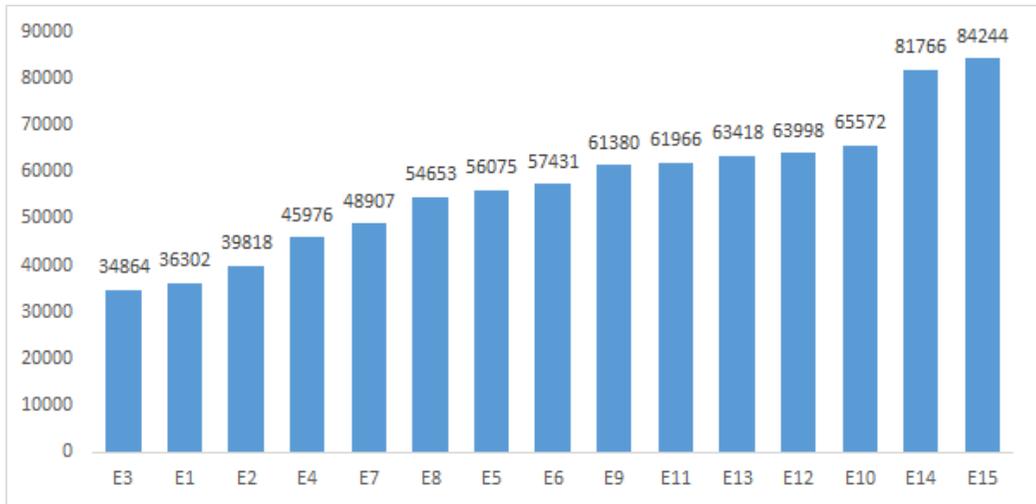


Fig. 33 시나리오4의 자동화 장비의 조합에 따른 작업 처리량

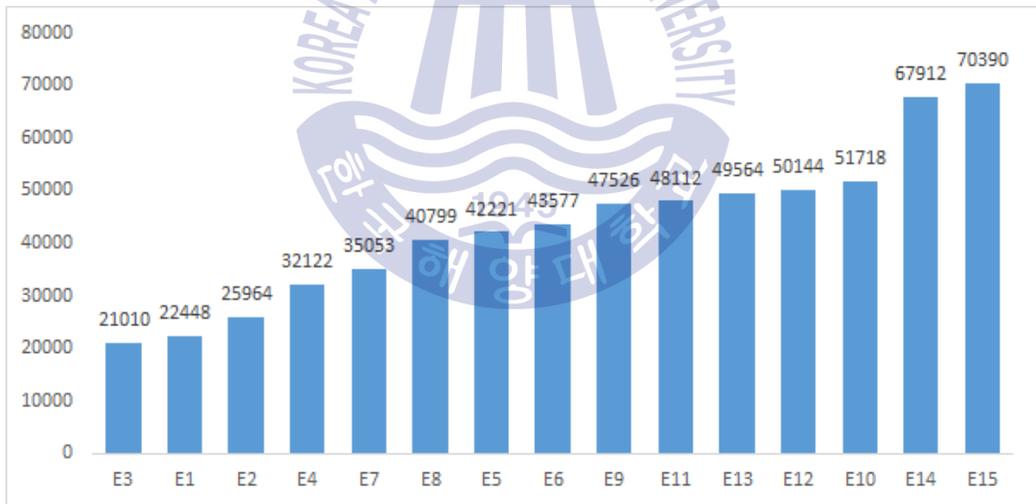


Fig. 34 시나리오4의 자동화 도입 이전 대비 처리물량 증가분

시나리오1에 비해 시나리오2, 3, 4의 물량 증가분은 많은 차이를 보이는데 이것은 시나리오 1은 수동 장비와 인력으로 15명 이내에서는 물량의 처리에 큰 무리가 없었으나 규모가 큰 창고일수록 해당 인력으로는 물량을 처리하는데 한계가 있으며 규모가 클수록 더 많은 장비를 투입했기 때문인 것으로 보

인다.

여기서는 단순히 장비의 대수를 모두 정하여 실험을 진행했으나 더욱 현실적인 결과를 도출하기 위해서는 각 장비별로 대수를 변화해가며 실험을 진행할 필요가 있다. 가령, 특정 규모의 창고에 바코드 1대, 스택커 크레인 5대, 컨베이어 5대, 자동소터 0대, 팔레타이저 1대와 같은 식으로 각 장비별 조합을 구성하는 식으로 실험을 진행할 수 있다.

따라서 Table. 23의 장비 대수 조합표에 장비의 대수 변화를 반영시켜 다음의 Table. 24와 같은 조합표를 얻을 수 있다.

Table. 24의 조합표에서 가령  $B_n$ 의 경우 바코드의 개수가 1대에서 10대로 변화됨을 뜻한다. 따라서 시나리오 F1의 경우는 바코드가 컨베이어와 자동소터는 도입하지 않고, 바코드의 도입 대수를 1대~10대 사이로 변화시키고 자동소터의 도입 대수를 1대~10대로 변화시키며 실험을 진행한다는 것이다. 여기서 시나리오 F1의 경우에는 결과값이  $10 \times 10$ 의 2차원 테이블의 형태로 생성이 될 것이다. 그러나 F15의 경우에는 가장 많은 장비의 조합이 발생하는데, 이는  $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$ 의 5차원 테이블이 된다.

Table. 24 자동화 장비 수량 조합표

번호	장비 조합( $n = 1 \sim 10$ )				
	바코드	스태커크레인	컨베이어	자동소터	팔레타이저
F1	$B_n$	$S_n$			
F2		$S_n$	$C_n$		
F3		$S_n$		$A_n$	
F4		$S_n$			$P_n$
F5	$B_n$	$S_n$	$C_n$		
F6	$B_n$	$S_n$		$A_n$	
F7	$B_n$	$S_n$			$P_n$
F8		$S_n$	$C_n$	$A_n$	
F9		$S_n$	$C_n$		$P_n$
F10		$S_n$		$A_n$	$P_n$
F11	$B_n$	$S_n$	$C_n$	$A_n$	
F12	$B_n$	$S_n$	$C_n$		$P_n$
F13	$B_n$	$S_n$		$A_n$	$P_n$
F14		$S_n$	$C_n$	$A_n$	$P_n$
F15	$B_n$	$S_n$	$C_n$	$A_n$	$P_n$

이와 같은 방식으로 각 장비별로 도입 적정 대수를 구하기 위해 장비의 수를 변화시키며 추가로 비용을 고려하여 실험을 진행한다면 적정 대수를 산정할 수 있을 것이다.

그러나 연구의 방향이 자동화 창고의 설계에 초점을 두고 있지 않으므로 자

동화 장비의 도입 대수를 고려한 최적 장비 조합을 구하는 것은 향후 연구의 필요가 있다. 여기에서는 1가지 케이스로 시나리오4의 경우 다른 장비들은 모두 10대씩 도입한 채로 고정하고 바코드만 1대~10대까지 도입했을 경우에 처리 물량의 변화를 살펴 보도록 한다.

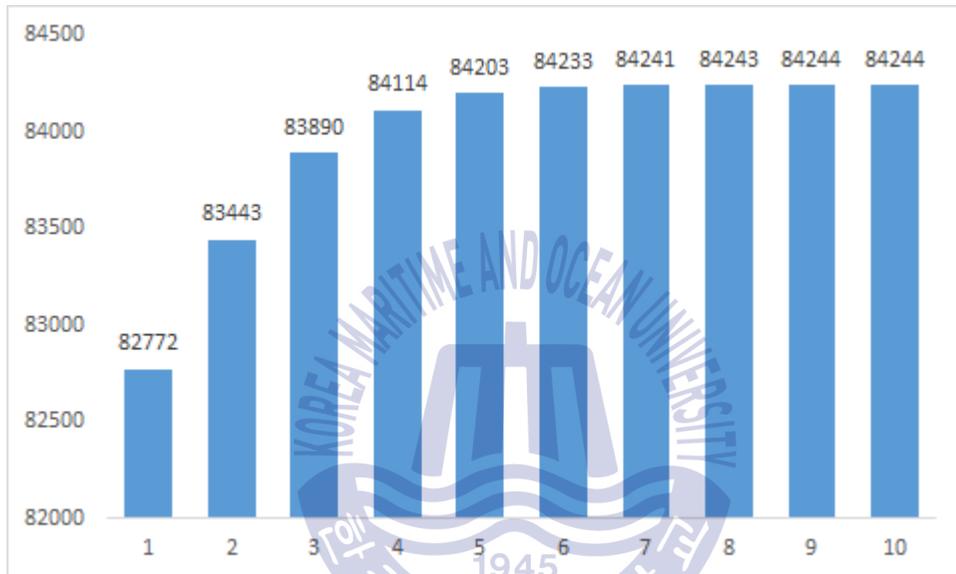


Fig. 35 시나리오4의 바코드 대수에 따른 처리물량의 변화 추이 예시

Fig. 35에 나타난 바와 같이 바코드의 개수를 10대까지 무작정 도입하는 것보다 약 5대 이하로 도입하는 것이 대략적인 적정선임을 보여준다. 바코드를 도입함에 따른 증가 물량을 이득 분으로 계산하고 바코드의 도입 비용을 고려한다면 보다 현실적인 도입 대수를 구할 수 있을 것이다. 가령 증가 물량으로 인한 이득분이 물량 1개당 1만원이고, 바코드 도입 비용을 개당 300만원으로 가정한다면 Fig. 36과 같은 결과를 얻을 수 있다.

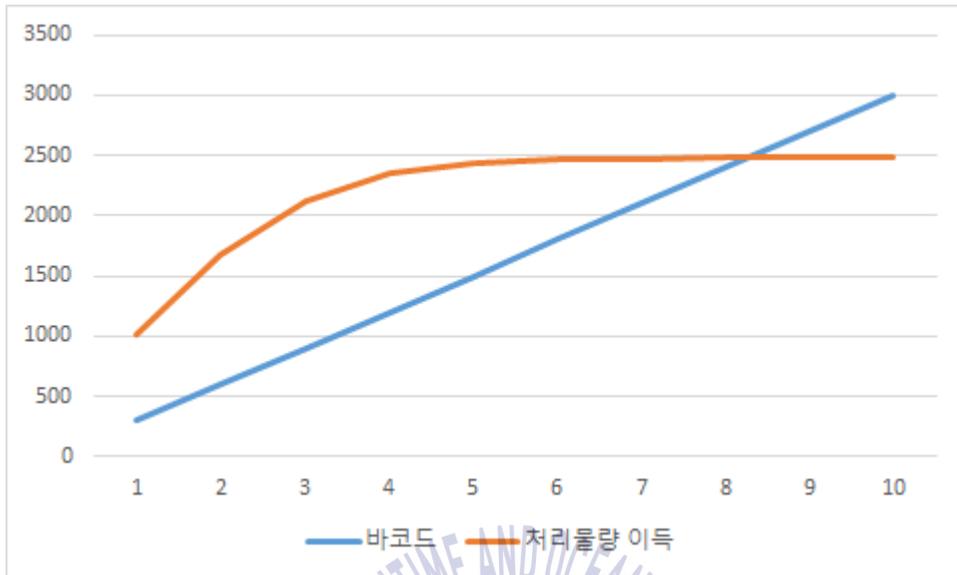


Fig 36 시나리오4의 비용 대비 적정 바코드 대수 예시

Fig. 36과 같이 바코드를 대략 8대 까지 도입하면 처리 물량 대비 경제적인 이득이 있다고 볼 수 있다. 마찬가지로 바코드 뿐만 아니라 다른 장비들의 도입 비용을 계산하면 각 시나리오 별로 총 물량 대비 최적의 도입 장비 대수를 구할 수 있게 된다.

## 제 5 장 결 론

기존에 운영 중이던 산업체에 새로운 장비나 기술을 도입하는 것은 언제나 위험이 따른다. 자동화 도입으로 인한 적응 문제, 인적 갈등 등의 문제들이 발생할 수 있고 새로운 장비도입에 대한 신뢰 여부에 관한 문제도 있어서 인식의 전환이 이루어지지 않으면 어려운 문제이며 실제 현장에서의 모습도 크게 다르지 않다. 지금도 잘 하고 있고 그것 이외에 신경 써야 할 문제들이 많다는 것이다.

그러나 자동화는 언젠가는 받아들여야 할 피할 수 없는 변화이다. 본 논문에서는 보관창고 중에서 중·소 규모의 보관창고에 도입이 가능한 자동화 장비 및 설비들의 종류와 도입 시 고려되는 사항들에 따라 시나리오를 생성하였다. 시나리오는 자동화 장비, 장비의 투입 개수, 자동화 수준이 고려되었다. 자동화 장비의 작동과 운영 형태의 차이가 존재하므로 시나리오별로 시뮬레이션 모델을 구분하여 변화를 주는 방식을 통해 모델에 현실이 반영되게끔 하였다. 입고와 출고 작업의 차이를 주는 동시에 실제 화물 객체의 보관 위치가 할당되도록 시뮬레이션 모델에 위치를 할당하도록 설계하였고 창고의 규모에 따라 면적, 모양, 물동량을 구분했으며 출입구의 형태가 반영되도록 설계하였으며 처리하는 화물의 특성과 다양성을 구현하였다. 운영 형태 또한 일부 반영되게 구현하여 보다 현실적인 시뮬레이션 모형을 개발하고자 하였다.

자동화 도입의 효과를 검증하기 위해 시뮬레이션 실험을 실시하였으며 도입 전후를 비교하기 위한 시나리오를 생성하고 자동화 장비 도입 효과에 대한 실험을 위한 시나리오에 장비의 도입 여부, 장비의 조합 형태, 도입 비용 등을 고려하였다.

향후 보관 창고들의 현재 운영 중인 장비의 수량, 인원 수, 실제 처리 물량 데이터 등에 쉽게 접근이 가능해 진다면 보다 현실적인 모델을 작성할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 업체마다 장비와 설비의 스펙이 다르므로 업체별로 차이가 나는 제품들을 비교해 가며 실험을 진행 할 수도 있을 것이다. 이와

같은 형태로 더욱 많은 제품과 더욱 많은 시나리오들의 결과들이 데이터로 축적되면 향후 데이터 마이닝 등의 기법을 사용하여 입력한 참고와 장비의 데이터를 통해 자동화 도입 방향의 결과를 얻을 수 있는 연구가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.



## 참 고 문 헌

- 경상남도(2010), “경상남도 물류기본계획”
- 국가물류통합정보센터 <http://www.nlic.go.kr/nlic/front.action>
- 국토교통부, 해양수산부(2017), “2017년도 국가물류시행계획”
- 한국교통연구원(2014), “국가물류비 조사 및 산정”
- 강락중(1995), “자동창고의 설계 및 운영에 관한 연구”, 서울대학원 경영학 박사학위 논문
- 강정윤, 이홍철, 엄인섭 (2006). 시뮬레이션과 메타모델을 이용한 자동물류센터 설계 최적화. 한국시뮬레이션학회논문지, 15(3), 103-114.
- 김문기(2014), “자동창고 시스템의 최적안 도출을 위한 모의실험적 연구”, 한국생산제조학회지, 23(5), 505-511
- 김용섭(2014), “제조·물류단지의 물류네트워크 설계를 위한 시뮬레이션 모형”, 한국해양대학교 대학원 물류학 박사논문
- 김영주(2010), “보관시설 내 지게차 작업통로 산정기준에 관한 연구”, 물류학회지 20(5) : 175-200
- 김정훈, 김연진, 이홍철 (2016). 편의점 유통물류센터의 AGV 도입에 대한 시뮬레이션 분석. 한국산학기술학회 논문지, 17(6), 61-69.
- 김창환(2007), “Lean Six Sigma 기반의 물류센터 물류 프로세스 개선 방법론”, 인천대학교 대학원 산업경영공학 석사논문
- 김창현(2009), “중량물 적재를 위한 자동창고의 주기시간 평가”, 경영과학, 26(1), 93-112.
- 김태복(2014), “물류 시뮬레이션 AutoMod 활용방법을 중심으로”, 박영사
- 김태성, 김초원, 임석철(2013), “물류센터에서 VNA 지게차로 대체시 경제성 분석 모형”, 대한산업공학회지 제39권 제1호, pp.55-60
- 김현경, 신광섭 (2014). Process Mining 기법을 이용한 물류센터 입출고 프로세스 분석 및 개선 방안 수립. 한국경영과학회지, 39(4), 1-17.
- 김현규(2014), “수산물 냉동·냉장 사업의 경제성 분석에 관한 연구 : 통영지역 수협 사례를 중심으로”, 경성대학교 대학원 석사논문

- 덕평물류(2013), “고속 자동 적재/반출 장비(Mini-Load AS/RS) 수요 및 경쟁력 분석”  
문미경, 최봉준(2011), “RFID 기반 냉동창고 시스템의 적재위치 관리 방안”, 한국정  
보통신학회논문지, 15(9), 1971-1978.
- 반재훈, 김동현(2013), “효율적인 냉동창고 재고관리를 위한 모바일 프레임워크의 설  
계 및 구현”, 한국정보통신학회논문지, 17(2), 341-346
- 박양병(2002), “통합 공급체인관리를 위한 생산/배송 스케줄링”, 대한산업공학회지  
제28권 4호, pp443-453
- 박태진, 남재현, 김태성, 류광렬(2012), “자동화 컨테이너 터미널의 장치장 재정을  
위한 다목적 협력 공진화 알고리즘”, 정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용  
제39권 제1호
- 박홍균(2012), “지역별 물류창고의 생산성 분석”, 한국항만경제학회지, 28(1), 143-157
- 배병곤(2007), “전자소재산업의 재고비용절감을 위한 스케줄링 시뮬레이션 모형개  
발”, 명지대학교 산업공학 박사학위 논문
- 백종관, 고효현(2013), “트래픽을 고려한 창고 시스템 시뮬레이션”, 한국시뮬레이션  
학회논문지, 22(4), 119-128
- 송용욱, 안병혁(2010), “의류 인터넷 쇼핑몰에서 브랜드를 고려한 상품 입고 및 재배  
치 방법 연구”, 지능정보연구, 16(2), 129-141
- 송인성(2013), “물류관리시스템(Warehouse Management System)의 재고 이동 및 적재  
방식의 최적화에 대한 연구”, 서울과학기술대학교 정보산업공학 석사학위 논  
문
- 엄인섭, 이홍철, 천현재 (2007). 설계 변수 선택을 위한 시뮬레이션 기반 최적화. 한국  
시뮬레이션학회논문지, 16(2), 45-54.
- 유창권(2017), “보관하역론”, 도서출판 두남
- 이찬희(2008), “양적하 작업에서의 야드 크레인과 야드 트럭의 통합 일정 계획”, 부  
산대학교 대학원 산업공학 석사학위 논문
- 전병학, 장성용 (2007). A-마트 상온 제품 종합물류센터 실시설계를 위한 시뮬레이션.  
산업공학 (IE interfaces), 20(1), 21-32.
- 정승일(2006), “유전 알고리즘을 이용한 다수 AGV 시스템 환경에서의 실시간 작업  
할당에 관한 연구”, 연세대학교 대학원 전기전자공학 석사학위 논문
- 조규성, 배석태, 변희준(2012), “물류센터 설계 및 운영”, 홍릉과학출판사

- 조규성, 이대욱, 이영준, 김호균(2010). “부산지역 냉동냉장창고시스템 운영 효율화 방안에 관한 연구. 대한산업공학회 추계학술대회 논문집”, 879-883
- 하태영, 최용석, 김우선(2004), “시뮬레이션을 이용한 자동화컨테이너터미널의 AGV 운영평가” -한국항해항만학회, 제8권제0호 2004
- 황은성, 백승원 (2014). 시뮬레이션과 계층분석법을 이용한 군 자동화 물류센터 최적 설계에 관한 연구. 한국산학기술학회 논문지, 15(2), 725-734.
- 황홍석, 김호균, 조규성 (2002). 냉장물류센터 내 운반장비 운영계획에 관한 연구. 산업공학 (IE interfaces), 15(4), 382-390.
- 황홍석, 조규성 (2003). 시뮬레이션 방법을 이용한 냉장물류센터 운반설비의 적정 계획. 산업공학 (IE interfaces), 16, 105-110.
- A. Ouhoud, A. Guezzen, Zaki. Sari(2016), “Comparative Study between Continuous Models and discrete models for Single Cycle Time of a Multi-Aisles Automated Storage and Retrieval System with Class Based Storage”, IFAC-PapersOnLine, Volume 49, Issue 12, Pages 1341-1346
- Ali Roozbeh Nia, Hassan Haleh, Abbas Saghaei(2017), “Dual command cycle dynamic sequencing method to consider GHG efficiency in unit-load multiple-rack automated storage and retrieval systems”, Computers & Industrial Engineering, Volume 111, Pages 89-108
- Anna Azzi, Daria Battini, Maurizio Faccio, Alessandro Persona, Fabio Sgarbossa(2011), “Innovative travel time model for dual-shuttle automated storage/retrieval systems”, Computers & Industrial Engineering, Volume 61, Issue 3, Pages 600-607
- Banu Y. Ekren, Sunderesh S. Heragu(2011), “Simulation based performance analysis of an autonomous vehicle storage and retrieval system”, Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 19, Issue 7, Pages 1640-1650
- Baker, P., Halim, Z.(2007), “An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. Supply Chain Management”, An International Journal, 12(2), 129- “138
- B.Y. Ekren, Z. Sari, T. Lerher(2015), “Warehouse Design under Class-Based Storage Policy of Shuttle-Based Storage and Retrieval System”, IFAC-PapersOnLine,

- Volume 48, Issue 3, Pages 1152-1154
- Ganeshan, Ram.(1999) “Managing supply chain inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model.” International Journal of Production Economics 59.1, Pages 341-354.
- Heung Suk Hwang, Gyu Sung Cho(2006), “A performance evaluation model for order picking warehouse design” , Computers & Industrial Engineering 51, 335-342
- Héctor J. Carlo, Iris F.A. Vis(2012), “Sequencing dynamic storage systems with multiple lifts and shuttles” , International Journal of Production Economics, Volume 140, Issue 2, Pages 844-853
- Héctor J. Carlo, Fernando L. Martínez-Acevedo(2015), “Priority rules for twin automated stacking cranes that collaborate” , Computers & Industrial Engineering, Volume 89, Pages 23-33
- I. Potrč, T. Lerher, J. Kramberger, M. Šraml(2004), “Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems” , Journal of Materials Processing Technology, Volumes 157-158, Pages 236-244
- Jana Lehnfeld, Sigrid Knust(2014), “Loading, unloading and premarshalling of stacks in storage areas: Survey and classification” – European Journal of Operational Research 239, 297-312
- Jason Chao-Hsien Pan, Po-Hsun Shih, Ming-Hung Wu, Jyh-Horng Lin(2015), “A storage assignment heuristic method based on genetic algorithm for a pick-and-pass warehousing system” , Computers & Industrial Engineering, Volume 81, Pages 1-13
- Jennifer A. Pazour, Russell D. Meller(2013), “The impact of batch retrievals on throughput performance of a carousel system serviced by a storage and retrieval machine” , International Journal of Production Economics, Volume 142, Issue 2, Pages 332-342
- Gagliardi, Jean Philippe, Jacques Renaud, Angel Ruiz(2007). “A simulation model to improve warehouse operations.” Proceedings of the 39th conference on Winter simulation. IEEE Press, Pages 2012-2018
- Kees Jan Roodbergen, Iris FA Vis(2006). “A model for warehouse layout.” IIE

- transactions 38.10, Pages 799-811.
- Kees Jan Roodbergen, Iris F.A. Vis(2009), “A survey of literature on automated storage and retrieval systems” , European Journal of Operational Research, Volume 194, Issue 2, Pages 343-362
- Latéfa Ghomri, Zaki Sari(2017), “Mathematical modeling of the average retrieval time for flow-rack automated storage and retrieval systems” , Journal of Manufacturing Systems, Volume 44, Part 1, Pages 165-178
- Manuel D.Rossetti(2009), “Arena를 활용한 시스템 모델링 및 시뮬레이션” , 텍스트북스
- Marta C.Mora, Leopoldo Armesto, JosepTorner(2006), “Management and transport automation in warehouses based on auto-guided vehicles” , IFAC Proceedings Volumes, Volume 39, Issue 15, Pages 671-676
- Paul Buijs, Iris F.A. Vis, Hector J. Carlo(2014), “Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework” , European Journal of Operational Research 239, 593-608
- Tone Lerher, Iztok Potrč, Matjaž Šraml, Tomaž Tollazzi(2010), “Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine” , European Journal of Operational Research, Volume 205, Issue 3, Pages 571-583
- Tony Wauters, Fulgencia Villa, Jan Christiaens, Ramon Alvarez-Valdes, Greet Vanden Berghe(2016), “A decomposition approach to dual shuttle automated storage and retrieval systems” , Computers & Industrial Engineering, Volume 101, Pages 325-337
- Vaggelis Giannikas\*, Wenrong Lu, Brian Robertson, Duncan McFarlane(2017), “An interventionist strategy for warehouse order picking: Evidence from two case studies” , International Journal of Production Economics 189, 63-76
- V.K. Dubey, D. Veeramani(2017), “A framework for sizing an automated distribution center in a retail supply chain” , Simulation Modelling Practice and Theory 75, 113-126
- W.David Kelton, Randall P.Sadowski, David T. Sturrock, “ARENA를 이용한 시뮬레이

선” , McGraw-Hill Education Korea

Zhao Ning, Luo Lei, Zhang Saipeng, Gabriel Lodewijks(2016), “An efficient simulation model for rack design in multi-elevator shuttle-based storage and retrieval system” , Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 67, Pages 100-116

Zhi-Hua Hu, Jiu-Biing Sheu, Jack Xunjie Luo(2016), “Sequencing twin automated stacking cranes in a block at automated container terminal” , Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 69, Pages 208-227

臼井秀彰, 田中彰夫(2013), “친환경지향 물류센터 & 물류관리 보관하역론” , 우용출판사



## 감사의 글

오랜 시간 부족한 저를 이끌어 주고 지도해 주신 저의 지도교수이신 신재영 교수님께 감사드립니다. 교수님의 가르침으로 한 걸음 더 성장할 수 있었고 현상을 여러 각도에서 보는 습관을 가지게 되었으며 항상 분석적이고 비판적으로 생각하려고 노력하게 되었다고 생각합니다. 제자가 방황할 때 마다 힘이 되어주시고 물심양면으로 도움 주신 것 잊지 않겠습니다.

물류시스템공학과 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다. 지금은 은퇴를 하신 이철영 교수님, 광규석 교수님, 권문규 교수님을 비롯해 심사를 맡아주신 남기찬 교수님, 김환성 교수님, 김율성 교수님께 감사드립니다. 또한 많은 가르침 주신 신창훈 교수님을 비롯한 학과 모든 교수님들께 감사드립니다.

심사위원을 맡아주시고 항상 부족한 후배를 챙겨주시는 종합물류경영지원센터 이재원 센터장님을 비롯한 류형근 박사님, 김유석 차장님, 안영모 박사님께 감사드립니다.

연구실 생활을 오래 하며 함께 지냈던 정보방 동료들께도 고마운 마음을 전합니다. 연구실 선후배님들, 창운이, 순철이, 성인이, 상진이, 응섭이형, 용이, 나현이, 형준이, 재운이, 필섭이, 상훈이, 인수, 장준이, 남경이 모두 감사합니다.

사랑하는 친구들, 저를 항상 아껴주시는 천태종 스님들, 혈육은 아니지만 혈육처럼 저를 챙겨주고 이끌어주신 형들, 누나들, 동생들 모두 감사합니다.

I devote this thesis paper to my beloved family.

인생의 동반자가 되어주고 곁에서 힘이 되어준 사랑하는 나의 아내 Tonya에게 감사합니다.

마지막으로 못난 아들의 오랜 학업으로 고생하신 부모님께 감사드립니다.