

유통물류센터의 최적 보관면적 산출 방법에 관한 연구

박정현¹, 김동명², 여기태^{3*}

¹인천대학교 동북아물류대학원 박사과정, ²인천대학교 동북아물류대학원 석사과정
³인천대학교 동북아물류대학원 교수

A Study on the Estimation of Optimal Storage Area in the Distribution Center

Jung-Hyun Park¹, Dong-Myung Kim², Gi-Tae Yeo^{3*}

¹Doctor's Degree, Graduate School of Logistics, Incheon National University

²Master's Degree, Graduate School of Logistics, Incheon National University

³Professor, Graduate School of Logistics, Incheon National University

요 약 유통물류센터는 재고를 보유하고 있어 효율적인 보관면적에 관한 설계는 매우 중요하다. 이에 본 연구는 표준 파렛트 유닛로드 이용을 고려한 유통물류센터의 최적 보관면적 산출방안 제시를 연구 목적으로 하며, 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 국내에서 주로 사용되는 T-11형과 T-12형 파렛트를 보관하는 표준 랙 모듈을 정의하였다. 둘째, 다양한 파렛트 운반 장비를 조사 및 분석하여, 유형별 표준 운반장비 작업통로를 정의하였다. 그리고 최종으로 보관 공간 내에서 랙 모듈 배치 시 발생할 수 있는 비활용 공간 최소화 방안 제시와 함께 유통물류센터 보관 공간에 대한 손쉬운 최적 면적 산출 방안을 제안하였다는 측면에서 큰 시사점을 갖는다. 향후 연구에서는 Mini-Load용 표준 랙 모듈 및 GTP(Goods to Person) 피킹 시스템 등 최근 물류 기술이 반영된 표준화된 전체 물류센터 레이아웃 배치에 관한 연구가 필요하다.

주제어 : 유통물류센터, 보관면적, 유닛로드, 공간최적화, T-12

Abstract The distribution logistics center has its own inventory, so designing an efficient storage area is very important. The purpose of this study is to present the optimal storage area calculation method for distribution logistics center considering the use of standard pallet unit load, and the results of this study are as follows. First, standard rack modules for storing T-11 and T-12 type pallet, which is generally used in Korea, were defined. Second, a variety of pallet transport equipments were investigated and analyzed to define the standard transport equipment's work passageway by type. Finally, it has great implications in terms of suggesting measures to minimize unused space that may occur during placement of pallet rack modules within storage space, as well as the easy and optimal calculation of the storage area for the distribution logistics center. Future research require a study on the layout of the entire distribution logistics center, which reflects the latest logistics technologies, such as standard rack modules for Mini-Load and GTP picking system.

Key Words : Distribution Logistics Center, Storage Space, Unit Load, Space Optimization, T-12

*Corresponding Author : Gi-Tae Yeo(ktyeo@inu.ac.kr)

Received April 30, 2019

Accepted July 20, 2019

Revised May 30, 2019

Published July 28, 2019

1. 서론

유통물류센터는 최근 물류 효율화와 비용 절감 위해 규모를 대형화 하고 있다. 이는 대량 보관과 수송은 물류 전체 관점에서 운영비를 절감할 수 있고, 작업 집약을 통해 생산성과 수배송 효율성을 향상시키고 균일한 물류서비스를 제공해 궁극적으로 물류 경쟁력을 확보할 수 있기 때문이다[1].

유통물류센터는 운영방식에 따라 일반적으로 TC(Transfer Center)와 DC(Distribution Center)로 구분할 수 있으며, 이 두 센터의 기능을 겸비한 CC(Complex Center)도 있다[2]. 또한 기능과 역할에 따라 유통형 물류센터와 재고형 물류센터로 구분할 수도 있으나 일반적으로 필요한 상품이나 화물을 보관하고 있다가 필요한 장소에 공급해주는 기능을 가지고 있기 때문에 대부분의 물류센터가 유통형에 속한다[3].

즉, 유통물류센터는 재고를 보유하고 있어 보관부인이 물류센터의 가장 많은 부분을 점유하고 있어 보관 능력을 최대화 하면서 입출고 처리능력도 향상시킬 수 있는 효율적 설계는 매우 중요한 과제이다. 이는 처음 잘 못된 설계를 통해 완공된 물류센터는 수정이 곤란하고, 수정할 수 있다 할지라도 이를 위해선 많은 비용과 시간이 발생하기 때문이다. 따라서 유통물류센터의 중심에 있는 보관 부분을 중심으로 한 최적화 설계는 필수과제이며, 센터 내부 물류활동과 관련 물류설비와의 정합성이 고려된 설계를 추진해야 효율성이 증가될 수 있다[4].

이러한 중요성으로 인해 보관 부문에 관해서는 유닛로드 기반의 물류 표준화 방안들이 연구되어 왔고, 그 효과와 중요성에 대한 인식으로 최근에는 파렛트 유닛 로드를 대부분의 유통물류센터에서 사용하고 있다. 특히 국토교통부에서 2012년 진행한 '국가물류표준 종합 시스템 개발'연구에서는 1,100mm x 1,100mm의 규격을 가진 T-11형 파렛트 대비 1,200mm x 1,000mm의 규격을 가진 T-12형 파렛트는 5톤 트럭기준으로는 적재효율이 약 7.5%, 40ft 컨테이너는 약 3.6% 증가시킨다는 것을 밝혀냈다. 이에 따라 국가기술표준위원회에서는 2013년 12월에 유통물류의 효율성 증대 측면에서 '유닛 로드 시스템 통칙(KST 0006)'에 T-12형 파렛트를 일관 수송용으로 추가해 개정 고시하였다.

하지만, 이렇게 표준화된 유닛로드를 사용하는 물류센터들은 각자 보관 및 처리해야 하는 상품의 종류나 특성 그리고 물류운영 환경에 따라 다양한 운영 프로세스를 구축하고 있어 표준화된 보관 설계 방안에 대한 제시는 지금도 어려운 분야로 여겨지고 있다. 물론 한국산업규격

에서 일부 물류센터와 관련된 설계방법론을 제시하고 있는 하나 간략한 창고 기둥간격이나 층고 그리고 보관 랙(Rack) 크기나 지게차 같은 운송장비의 이동 통로 설계 기준 제시가 대부분이었고, 이 또한 구체적이고 명확한 설계조건은 미비하여 현장에서 이를 적용하기엔 한계가 있다. 특히 보관 분야는 물류센터별 보관특성과 적용설비가 상이한 경우가 많아 기초 정보 수집이 힘들며, 설계 표준화나 보관면적 최적화는 어려운 분야로써 이를 해결하기 위한 연구는 절실한 상황이다[5].

또한 이재원(2015)이 국내 80개 물류센터를 대상으로 연구한 결과에서는 물류센터 운영 애로사항으로 '적재 공간 부족'이 34.8%를 점유하였고[6], 최상희 외 2인이 2018년도에 진행한 조사연구에서도 보관 부문 관련 애로사항으로 '보관기술'과 '공간부족'이 전체의 64%를 점유하고 있어 보관부문에 대한 최적화 연구가 필요한 시점으로 사료된다[7].

이에 본 연구에서는 유통물류센터에서 가장 큰 면적을 점유하고 있으며 핵심기능을 가진 보관공간에 대한 표준 설계방법과 최적 보관면적 산출 방안을 제시하여 보관공간을 최적화하고 고도화시킬 수 방안을 마련하고자 한다.

이를 위해 현재까지 많은 표준화가 이루어진 파렛트 유닛 로드를 보관한다는 전제조건으로 '유닛 로드 시스템 통칙(KST 0006)'에서 제시한 T-11형, T-12형 파렛트를 보관할 수 있는 표준 랙 설비 설계 기준도 본 연구를 통해 구체화 시키고, 이를 기반으로 최적화된 보관면적 산출 방안을 연구해 현장에서 용이하게 적용할 수 있는 가이드라인 제시를 목적으로 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 유통물류센터의 구축추세와 현황을 고찰해 보며, 3장에서는 선행연구를 통해 본 연구의 차별성을 제시한다. 그리고 유통물류센터의 최적 보관 면적 산출을 위해서는 우선적으로 파렛트를 보관하는 표준 랙 모듈에 관한 연구가 선행되어야 한다. 4장에서 이러한 표준 파렛트 랙 모듈 산정식과 운반 설비 유형별 표준 작업통로를 정의하고 이에 맞는 최적화된 표준 기둥간격 산출방안을 정립한다. 그리고 5장에서는 최적 보관면적 산출 수식을 개발해 보관설비 유형별 최적 보관 면적을 제시한다. 마지막 6장에서는 결론과 시사점을 제시한다.

2. 유통물류센터 구축추세 및 현황

2.1 유통물류센터 구축추세

2019년 2월 기준의 국가물류정보센터 통계자료에 따르면, Fig. 1과 같이 물류창고업으로 등록된 보관시설 2,269개 중 43%에 해당하는 984개가 수도권에 밀집되어 있다.

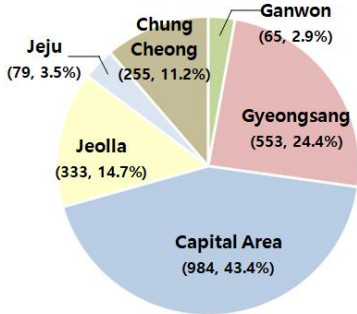


Fig. 1. Domestic Logistics Center Registration Status (Source) National Logistics Information Center (2019.02)

일반적으로 유통물류센터 입지 선정에 영향을 미치는 주요 요인들로는 토지비, 운송비, 노동력 확보 가능성 등으로 구성되나 최근 급격한 유통환경 변화에 따라 온라인 쇼핑 등의 전자상거래가 급증하면서 센터 운영비에 큰 영향을 미치는 운송비가 입지 선정에 중요한 요인으로 작용하고 있다. 특히 최저비용으로 고객이 만족할 수준의 배송 서비스를 제공해야 하기 때문에 유통물류센터 입지는 교통 인프라가 발달한 도심지 인근이 상대적으로 유리할 수밖에 없다. 따라서 물류비에 민감한 많은 유통업체들은 물류센터의 최적 입지로 70%이상의 경제가 발생하며 국내 인구의 50%이상이 거주하는 수도권을 선호하고 있다[8].

한편 국내 유통기업들의 최근 물류센터 구축 현황을 분석해 보면 Table 1과 같이 물류센터를 중심으로 인프라를 강화하기 위한 활발한 투자를 진행하고 있으며 특히 온라인 물류 대응과 신속 배송 위한 인프라 투자가 주를 이루고 있다.

그리고 Modern Materials Handling에서 발표한 글로벌 물류 자동화 시장을 살펴보면, 2016년도에 이어 2017년도에도 큰 폭으로 성장하였고 글로벌 상위 20개 업체의 실적만으로도 2017년에 196억 달러 이상의 시장을 형성하고 있어 물류센터 내 자동화 도입도 급속한 확대 추세를 보이고 있다[9]. Table 2는 Modern Materials Handling 추산 글로벌 Top20 물류자동화 설비 업체가 최근 구축한 유통물류센터 중, 사례연구가 제시된 12개 유통물류센터에 적용된 물류설비를 조사해 분석한 것이다.

Table 1. Current status of logistics system for Korean retailers

Company	Contents	Period (YY/MM)
Lotte	Lotte Super Fresh Center Operation	14/12
	Lotte Mart Online DC Open in Gimpo	16/05
	Lotte Super Online DC Auto System	19/03
	Considering the New Mega-Hub Terminal	-
Shinsegae	E-Mart 1 st Online DC Open	14/06
	E-Mart 2 nd Online DC Open in Gimpo	16/02
	E-Mart 3 rd Online DC(Under Construction)	19/12
	Expected 6 DC by 2020	-
Home plus	Expansion of Ansong DC	14/06
	Cheonan Meat Center(Under Construction)	20/03
Hyundai hmall	Expansion of Gunpo DC	14/08
	Upgrade DC Infra for Daily Delivery	19/02
GS	GS-Shop Mobil Dedicated DC Open	14/04
	GS-Shopping Integrated DC in Gunpo	19/12
	GS-Fresh Upgrade Online DC	19/06
CU	Integrated Hub DC Open in Jincheon	18/11
Cou pang	Established 8 No. of DC in 2014	14/12
	Expected 60 No. of DC	19/12
ebay Korea	Started DC operation by itself	14/12
	New DC Construction in Dongtan	19/06
Daiso	Yongin DC Open	12/12
	New Mega DC Open in Busan	19/05
Others	Food companies such as CJ, SPC, Ottogi and Bingrae are also considering to expand logistics infra for fresh delivery	-

(Source) The author reconstructed it by referring to M. S. Seo(2017) and the website and newspaper articles for each company.

이중 8개 물류센터는 Manual Pallet Rack을 사용하고 있었다. 자동창고 사용 비중은 Pallet보다는 Box나 Case단위 보관과 입출하를 할 수 있는 Mini-Load용 AS/RS 적용 비율이 67%(8개)로 높았고, 고성능 입출고 능력을 가진 Multi-Shuttle Type 자동창고도 3개 물류센터(25%)가 사용하고 있었다.

이러한 이유는 최근 유통과 소비패턴 변화로 물류는 더욱 다양한 서비스에 대응해야 하고 보다 체계적인 재고관리와 고객 서비스 신뢰성 확보가 중요한 시대로 이러한 현상에 대응하기 위해선 고효율의 물류 설비가 필요하기 때문이다.

즉, 이제는 파렛트 랙이나 소물 보관용 선반 랙과 같은 단순한 Manual Rack 운영만으로는 보다 다양하고 세분화된 상품 SKU와 고객 오더를 효과적으로 처리하는데 한계가 있기 때문에 고성능 자동화 설비의 적용빈도는 지속적으로 증가될 것으로 보인다. 또한, 운반이나 피킹

Table 2. Major Logistics Facility Analysis Results

Facilities		Applied Logistics Facility for each Distribution Center											Application Frequency	
		ICA Sverige	Lotte	Heiwado	Karl Storz	Benco	Digitec	ONNINEN	Alfred Karcher	Thomann	John Lewis	MASPEX		
		Sweden	Korea	Japan	Germany	U.S.A.	Switzerland	Finland	Germany	Germany	UK	Poland	Canada	Total
Storage	MNR	0		0		0	0	0	0	0			8	67
	PAS	0	0						0	0		0	5	42
	MAS	0	0				0	0	0	0		0	8	67
	MSA				0			0					3	25
	MR		0										1	8
Transportation	S/C	0	0					0	0	0	0		7	58
	C/V	0	0	0		0	0	0	0	0	0		10	83
	S/R				0			0	0			0	5	42
	R/F	0	0	0		0	0	0	0	0		0	10	83
	C/B	0		0								0	4	33
	P/T	0		0		0	0	0	0	0			7	58
	G/V	0											1	8
Picking	GTP	0			0	0	0	0	0	0	0	0	10	83
	DPS		0			0						0	4	33
	other		0			0				0	0	0	5	42
Sorting	A/S	0	0	0		0				0	0	0	7	58
	other									0	0	0	3	25

Note: MAR(Manual Rack), PAS(Pallet AS/RS), MAS(Mini Load-AS/RS), MSA(Multi Shuttle AS/RS), S/C(Stacker Crane), M/R(Moving Rack), C/V(Conveyor), S/R(Shuttle Robot), R/F(Reach Fork Lift), C/B(Counter Balance), P/T(Pallet Truck), A/S(Auto Sorter) G/V(Laser Guide Vehicle or Rail Guided Vehicle), GTP(Good to Person Picking System), DPS(Digital Picking System)

Source) Among the 20 Global Top company's website estimated by 'Modern Materials Handling', the author investigated and analyzed the case of the distribution logistics centers.

설비의 경우에도 이제는 대부분의 물류센터에서 컨베이어 시스템을 활용(83%)해 물류 이동 동선을 단축하고 있으며, 다양한 수요와 물동량을 신속하고 효율적으로 피킹할 수 있는 GTP(Goods to Person) 피킹 시스템도 조사된 12개 물류센터 중 83%에 해당하는 10개 물류센터가 적용하고 있어, 유통물류센터들은 작업효율과 생산성 향상 위한 고도화 작업을 추진하고 있다.

이러한 이유는 최근 급속히 성장한 전자상거래와 더불어 변화된 유통 패러다임에 물류센터들도 효율적으로 대응해야 하는 니즈가 증폭되었고, 경쟁우위를 점하기 위해 선 체계적이고 안정적인 물류시스템 확보가 선행되어야 하기 때문에, 물류를 효율적으로 개선하거나 새롭고 더 큰 유통시설에 지속적인 투자를 진행하고 있기 때문인 것으로 파악된다.

즉, 국내외 유통기업들은 대고객 서비스 제고와 최근 급속도로 성장한 온라인 쇼핑 물동량 및 다양한 유통채널에 대응할 수 있도록 물류인프라에 적극적으로 투자하고 있으며, 이는 과거와 달리 이제는 물류가 유통기업의 핵심 경쟁력이 되었기 때문이다[10].

2.2 유통물류센터의 문제점 및 애로사항

대한상공회의소에서 2018년에 조사한 유통산업 통계에 따르면, 2017년 무점포 유통업체 매출액은 전년대비 13.3% 증가한 61조 2천억 원으로 매년 10%대의 급속한 성장을 기록하고 있어, 오프라인 유통기업의 온라인 시장 확장은 불가피한 선택이 되고 있다[11]. 즉, 온오프라인 채널 경계 붕괴는 가속화 되고 있고 특히 개인화된 물류 서비스 수요가 지속적으로 확대될 것으로 예상되어 물류산업 경쟁 구도에도 많은 변화가 있을 것으로 판단된다. 이에 따라 유통물류센터는 다양한 형태의 수요와 서비스를 신속, 정확히 처리해야 하기 때문에 대형화와 고도화는 더욱 요구되고 있고 물류관리 또한 보다 세밀해져야 한다[12]. 하지만, 국토교통부에 등록된 물류시설(1,000m² 이상 기준)중에서는 지난 2000년 이전에 구축되어 심각하게 노후화된 물류센터가 전체의 36.3%를 점유하고 있어 최근 유통환경에 적합한 물류센터로의 개선이 시급한 상황이다[13]. 따라서 최근 변화된 유통환경을 반영해 우선적으로 이러한 물류센터부터 첨단화하고 효율화 위한 노력들이 이루어져야 할 것으로 보인다.

이재원(2015)이 2015년도에 80개 물류센터를 대상으로 진행한 연구에서도 센터 운영시 애로사항으로 Fig. 2. 와 같이 '적재공간 부족'이 34.8%로 '인력부족'이 27%로 높은 순위를 보였으며[6], 최상희 외 2인(2018)이 분석한 국내 물류기술 수요조사에서도 Fig. 3과 같이 '보관기술'과 '공간부족'에 관한 애로사항이 전체의 65%(29개 물류센터)를 점유하고 있다[7].

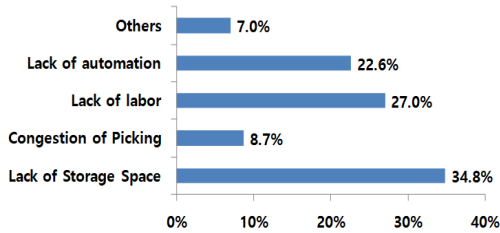


Fig. 2. Major pain points on operating distribution center

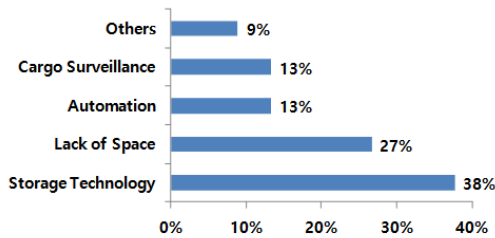


Fig. 3. Major weak points in storage area

즉, 이제는 온오프라인 채널이 공존하는 멀티채널이 보편화되고, 4차 산업혁명을 거치면서 유통환경이 급격히 변화하여 물류센터도 구조적으로 공간부족을 해결 및 개선 위한 공간 고도화와 합리화 추진 위한 연구가 필요한 시점으로 보인다. 이는 최근에 지속적으로 상승한 인건비와 지가에도 밀접한 관련성이 있으며 주어진 물류센터 내에서 공간 최적화는 전체적인 물류원가 절감을 실현할 수 있기 때문이다[12].

3. 선행연구 및 차별성

3.1 물류센터 보관면적 산출관련 선행연구

'KST 2004 물류시설의 설비 기준'에서 제시된 보관시설 관련 규격을 살펴보면 바닥 하중강도, 기둥간격, 보의 높이(층고) 등이 제시되었으나 물류센터 설계의 기초가 되는 보관공간 내 기둥간격은 센터에 진입하는 트럭기준

으로만 제시되어 있다[14]. 'KST 0005 물류 모듈의 체계'에서는 유닛로드 치수 부적합 방지에 관한 규격을 다루고 있으나 T-11형 파렛트에 국한되어 있다[15].

'KST 2007 창고 내 통로의 너비'에서는 일반창고에서 운반/하역장비의 회전반경을 고려한 통로 너비 계산 규칙을 200~300mm의 여유율을 반영해 제시하였으나, 표준화된 파렛트 유닛로드용 보관 랙 모듈에 대한 설계 및 배치방법에 대한 설명은 부족했다[16].

'KST 2010 물류센터 시설 기준'은 파렛트 랙 설치시 필요한 기둥 유효간격 산출 방법을 다루고 있으나, 유닛로드 보관 위한 파렛트 랙 모듈의 구체적 설계 조건은 없었다. 그리고 물류센터 내 운반 장비(지게차 외) 유형별 회전반경이 상이하므로 장비 변화에 따른 랙 간 통로폭도 변화가 필요하나 이에 대한 정의가 부족하였고 기둥은 가로 방향에 대해서만 정의 되어 있어, 세로 방향에 대한 추가 연구가 필요해 보였다[17].

이명복, 김웅진(2007)은 유닛로드 시스템과 물류 설비 모듈과의 연계성 연구를 진행해 23가지 모듈단위 박스와 파렛트 기준으로 유형을 분석하였으나 유닛로드는 T-11형 파렛트만을 기준으로 하였다[18].

최창호 외 3인(2009)은 보관설비 표준화 대상인 창고 높이, 기둥 간격, 바닥 강도, 랙 규격 등에 관한 KS규격이 제정되어 있지만, 실질적 표준은 부족함을 확인하고 보관시설 표준화 도입 필요성을 제안하였다[19].

김영주 외 2인(2010)은 물류센터 결정 기준과 고려사항을 입고, 보관, 피킹/분배 그리고 출고 영역으로 나누어 설명하고 이중 보관영역을 T-11형 파렛트 기준으로 랙을 활용한 보관영역 산정 방안을 제시하였다. 다만, T-12형 파렛트나 운반장비 변화에 따라 변동 가능한 기둥 배치 규격 등에 대한 설명은 반영되지 않아 추가 연구가 필요하다[20].

이석 외 2인(2010)은 보관시설을 DC(Distribution Center)형, TC(Transfer Center)형, CC(Complex Center)형으로 구분하고 각 보관시설의 보관공간과 작업공간을 구분하였다. 그리고 각 공간을 유닛 로드, 입출고 및 보관 물동량을 고려해 보관시설을 배치할 수 있는 알고리즘을 개발하였으나 보관 공간 배치시 필요한 기둥 간격 산정방식은 제시되어 있지 않았다[21].

2012년도 국토교통과학기술진흥원에서는 '국가물류 표준 종합시스템 개발'을 통해 보관시설에 대한 표준 레이아웃 설계 기준을 개발해 제시하였다. 표준화 대상으로는 'KST 20004'를 기반으로 선정하고 10개 대상에 16개 표준화를 선정해 진행하였다. 하지만 이중 보관 공간 설계의 중요 요소인 기둥 설계와 관련해서는 '랙의 보관

공간에 기둥을 넣는 경우'와 '랙과 랙사이에 기둥을 넣는 경우'의 2가지 경우에 대해서만 다루었고 두 방식 중 비교를 통해 효율적인 공간배치 방법을 사용해야 한다고 명시해 이에 대한 추가 연구가 필요해 보였다[22].

최세경 외 2인(2014)은 유닛로드를 사용하는 물류센터 보관공간을 기둥 간격 기준으로 모듈을 설정하고 작업시간 등의 물류환경을 고려한 3D 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 기본 파렛트 랙 모듈은 'KST 2010'에서 제시된 기둥간격 산정 규칙을 이용하였으나 시뮬레이션을 위해선 기둥 배치 기준을 11m(가로) x 11m(세로)로 가정하였고, 파렛트 유닛로드의 랙 모듈 크기는 가로길이를 2,800mm로 가정해 랙 모듈에 대한 최적화 연구는 부족하다[23].

김의기(2015)는 상온 다층물류센터 설계시 기초 자료로 활용할 수 있도록 문헌과 사례 연구를 통해 물류센터의 구체적인 작업통로와 기둥간격을 제시하였다. 다만 파렛트 운반장비는 리치형 지게차만을 고려해 분석하였고 보관 면적 계산 시에는 T-11형 파렛트만을 적용해 T-12형이나 다른 파렛트 유닛로드를 사용할 경우 발생할 수 있는 변동성은 고려되지 않았다. 그리고 기둥간격의 경우에도 몇 개의 범위와 기준을 제시해 한정함으로써 보관면적에 대한 최적화 연구는 부족하였다[4].

B. Rouwenhorst 외 5인(2000)이 진행한 선행 사례 연구를 살펴보면, 물류센터 설계는 이동 동선과 작업시간 최적화 위한 보관 랙 배치방법과 자동창고 보관시설의 설계를 다루고 있는 내용들이 주를 이루었다. 특히 설계부문은 전략/전술/운영적 수준으로 구분해 정리할 수 있었으나 보관면적 최적화 위한 구체적 연구는 찾기 어려웠다[24].

Thomas L.F.(2000)는 일반적인 물류센터 설계를 위해서 데이터 수집과 분석이 중요함을 명시하고 이에 대한 세부 사항들을 정리하였다. 그리고 설계 접근방법으로는 사전엔지니어링, 엔지니어링, 실행의 3가지 단계로 나누어 진행해야 한다고 제안하고 각 단계별 수행 업무와 내용을 전략적 측면에서 제시하였다[25].

Mohsen M.D. & Hassan(2002)는 물류센터 설계 프로세스를 정리해 설계자는 용이하게 작업을 수행할 수 있고, 사용자는 정보에 입각한 의사결정이 가능한 배치 설계 프레임워크를 개발하였다. 설계 프레임워크는 입고 요인과 운영별로 필요한 설계 결정 문제를 다루고 있으며, 설계조건 변화에 대응하고 공간 활용능력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대하였다[26].

Peter Baker & Marco Canessa(2009)는 물류센터 설계 방법에 관한 문헌연구와 다양한 기법들을 탐색해 포괄적 물류센터 설계 방향을 제시하였다[27].

V.K. Dubey & D. Veeramani(2017)은 최근 유통물류센터들은 자동화 도입에 대한 관심이 많음을 확인하고, 그 규모를 결정하는 문제와 관련해 RCHS(Regular Case Handling System), IRCHS(Non-regular Case Handling System), LCHS(Less-than Case Handling System)으로 크게 3가지 형태로 나누고 이에 대한 전략, 설계 및 운영에 관한 평가 분석을 진행하였다. 결과로, 설비와 레이아웃의 상관관계를 통해 전체 물류센터 규모를 예측할 수 있다고 주장하였다[28].

Rene 외 4인(2017)은 최근 물류센터 설계와 운영방법들이 전자상거래의 발전에 따라 더욱 복잡해지고 새로운 자동화 기술들이 속도와 운영 효율성을 향상시키고 있으나, 아직도 AS/RS같은 고전적인 자동화 시스템과 전통 주제에 초점을 맞춘 연구들이 많아 향후 새로운 자동화 기술이나 물류센터 성능 개선에 필요한 다른 요인들에 관심을 더 가져야 한다고 주장하였다[42].

Zhang 외 7인 (2018)은 급격한 산업의 발달로 방대한 택배 물동량 처리를 위해 자율로봇이 채택된 지능형 창고가 이용되고 있음을 확인하고, 이 창고에서는 레이아웃 설계가 운영 효율 개선에 중요한 역할을 한다고 보았으나, 여전히 설계는 인력에 의존하고 있어 비용이 많이 들고 최적의 결과를 낳지 못한다고 판단하였다. 따라서 이를 개선하기 위해 창고 레이아웃 설계 프로세스를 자동화 하는 것을 목표로 창고 배치 공간을 효율적으로 탐색하기 위한 알고리즘을 제안해 효율적으로 설계할 수 있음을 주장하였다[43].

M Tutam & JA. White(2019)는 직사각형 형태의 창고에서 하나의 벽면을 따라 배치되어 있는 도크와 문의 개수 사이에서 예상되는 이동거리 최소화에 관한 연구를 크게 세 가지 시나리오를 기반으로 진행하였다. 최적화 위한 요인들은 도크 문의 위치와 개수가 주요 영향을 미친다고 보았다[44].

F Yener & H. R. Yazgan(2019)은 데이터 마이닝 방법론을 적용하여 평균 오더 피킹 시간과 이동거리를 결정하기 위한 물류센터 설계의 효율성을 조사하였다. 물류센터에서 오더 피킹은 전체 운영 효율성에 가장 큰 영향을 미친다. 이를 위해 지게차 수, 작업자 수, 초과근무 수당 등을 최소화하는 내용들을 시뮬레이션 방법론을 통해 평가하고 제시된 수리 모델의 우수성을 설명하였다[45].

Mourtzis 외 3인 (2019)는 최근 심화된 경쟁 환경에서 물류비용이 많은 부분을 차지하기 있기 때문에 효율적인 창고 운영이 중요하다고 보고, 이에 따라 기업들은 물류센터의 운영비 절감을 위해 증강현실(AR: Augmented

Reality) 같은 새로운 기술들을 적응력과 유연성 측면에서 물류센터 설계에 반영하고 있다고 보았다. 그리고 이러한 AR시스템은 의미 있는 정보를 제공함으로써 효과적인 운영관리를 지원할 수 있음을 제지산업 사례를 기반으로 설명하였다[46].

3.2 본 연구의 차별성

지금까지 진행된 물류센터 설계나 보관면적 산출 관련 연구는 다양한 형태로 진행되어 왔다. 하지만, 유통물류센터는 센터별 운영 특성이나 조건이 상이하여 동일한 형태의 파렛트 유닛 로드를 사용한다 할지라도 다른 형태로 운영될 수 있어 보관 최적화 위한 표준화 연구는 현실적으로 어려운 분야로 여겨져 관련연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 그래서 최근에 진행된 물류센터 설계와 관련된 연구들도 표준화의 관점에서 설계에 관한 방법을 연구한 것이 아니고 몇 가지 요인과 사례를 중심으로 이루어진 내용들이 대부분 이었다.

이러한 측면에서 살펴 볼 때, 본 연구는 ‘유닛로드 시스템 통칙(KST 0006)’에서 제시한 T-11과 T-12형 파렛트용 표준 랙 모듈을 정립하고 이를 기반으로 한 유통물류센터 내 표준 보관면적 산출 방안을 제시한다는 관점과 보관 설비별로 상이하게 사용되는 파렛트 운반 설비별 이동통로가 고려된 최적화된 기둥 배치 규칙을 다룬다는 점, 그리고 기존 연구에서 T-11형 파렛트에 초점을 맞췄던 것 대비 T-12형 파렛트에 대해서도 분석범위를 확대했다는 측면에서 기존 연구들과는 차별성을 가진다.

즉, 본 연구에서는 표준 파렛트 유닛로드를 이용한 유통물류센터의 최적 보관면적 산출 방안 연구를 통해 적재 공간 부족현상을 해결하고 레이아웃 고도화 위한 표준화된 최적 보관면적 산출에 관한 연구를 진행해 현업에 유용한 정보를 제공할 수 있는 실질적 연구를 진행한다는 측면에서 기존 연구들과 차별성을 갖는다.

4. 전제조건 분석

4.1 표준 파렛트 랙 모듈의 정의

파렛트 랙 설비는 이미 많은 부분이 표준화 되어 있어 랙 제조업체들 또한 유사한 설계규격을 가지고 있다. 다만, 화물은 길이가 긴 방향으로 보관시 공간을 7% 절약할 수 있기 때문에[29], T-12형 파렛트의 경우 보관방향은 긴 쪽으로 하는 것으로 하며, 랙 설계는 화물 하중이

나 크기에 따라 변동성은 있으나 표준 파렛트 랙 조건 정의를 위해서는 랙을 생산/공급하는 국내외 업체들의 설계 기준을 조사해 공통 조건들을 종합해 분석하였다.

결과로 파렛트 랙은 포스트, 로드빔, 연결빔 그리고 브라켓과 브레싱 등으로 구성되어 있으며, 이를 정리하면 Table 3과 같다. 단, 자동창고에 사용되는 랙은 로드암(Load Arm)과 로드빔(Load Beam) 두 가지 형태가 있으나[30], 본 연구에서는 표준화 일환으로 일반 수동 파렛트 랙과 유사한 형태를 가진 로드빔을 전제로 하였다.

Table 3. Major configuration details of the pallet rack

Div.	Contents
Component	<ul style="list-style-type: none"> Post, load beam, connecting beam, bracket Incline bracing, straight bending
Material	<ul style="list-style-type: none"> Manual storage: SS400 (General structural steel) Automatic storage(AS/RS): Rolled steel for general structure of SS490 or higher
Specifications	<ul style="list-style-type: none"> Post Size (Width) : 80 ~ 100mm Connection beam size (height) : 100 ~ 150mm

Source) <http://www.cisco-eagle.com/catalog/c-3051-selective-rack-configuration.aspx> in addition to this site, 8 sites were surveyed[33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41]

조사된 파렛트 랙의 구성 내용 중 포스트는 랙 모듈 폭을, 연결빔은 높이를 결정하는 주요 요소이다. 하지만, 랙 재질의 두께는 전체 랙 모듈의 크기를 결정짓는 주요 요소가 아니므로 본 연구의 설정 조건에서는 제외하였다.

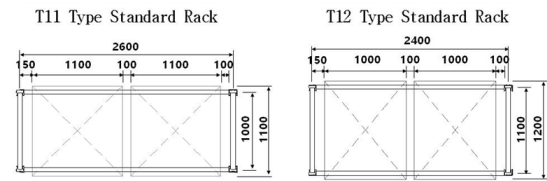


Fig. 4. Standard Pallet Rack Module by Type

이상의 조사된 결과에서 평균값으로 포스트는 90mm, 연결빔은 125mm를 적용해 표준 파렛트 랙 모듈을 Fig 4와 같이 정의하였다. 여기서 포스트 두께가 90mm임에도 랙과 포스트 간 여유간격이 140mm가 아닌 150mm인 이유는 포스트에 연결빔을 고정할 때 사용되는 브라켓의 두께가 추가로 반영되었기 때문이다. 여유간격은 일반적으로 파렛트에 박스 적재시 돌출되거나 기울어지는 경우를 고려해 포스트나 파렛트간에 간섭이 발생되지 않도록 반영된다. 여기서 포스트 중심을 기준으로, 2개의 파렛트가 적치되는 한 베이(Bay)를 1개의 표준 파렛트 랙 모듈이라 정의하면, T-11 파렛트용은 2,600L(mm) x 1,000W(mm)이

고 T-12형 파렛트용은 2,400L(mm) x 1,100W(mm)로 정의할 수 있다. 그리고 가로방향을 RM_L , 세로방향을 RM_w 라 정의하고 파렛트 유닛로드의 가로와 세로 길이를 각각 P_L 과 P_w 라 하면, 표준 파렛트 랙 모듈 산정 수식은 식 (1), (2)와 같이 간략히 정리할 수 있다.

$$\bullet RM_L(\text{mm}) = 2P_L + 400 \quad (1)$$

$$\bullet RM_w(\text{mm}) = P_w - 100 \quad (2)$$

T-11형과 T-12형 파렛트를 동시에 보관할 수 있는 공용 파렛트 랙 모듈의 크기를 이상의 수식에 적용해 계산해 보면, P_L 이 1,100mm이고 P_w 가 1,200mm임으로 표준 공용 파렛트 랙 모듈은 아래와 같이 간략히 계산될 수 있다.

$$\bullet RM_L(\text{mm}) = 2(1,100) + 400 = 2,600$$

$$\bullet RM_w(\text{mm}) = 1,200 - 100 = 1,100$$

단, 공용 랙 적용시엔 T-11형, T-12형 대비 각각 9.1%, 7.7%의 보관면적 효율이 저하되므로 랙 설치시엔 주로 사용되는 1개의 표준 파렛트 유닛 로드용으로 설치하는 것이 보관면적을 최적화 할 수 있다.



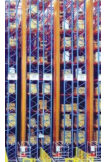
Table 4. Rack Module Area Comparison by Type

Div.	T-11	T-12	Common
Rack module size(mm)	2,600 x 1,000	2,400 x 1,100	2,600 x 1,100
Required area(m ²)/Rack Modules	2.60	2.64	2.86
Occupancy area (%)	90.9	92.3	100

4.2 파렛트 운반 장비의 표준 작업통로 정의

랙 보관공간 설계시엔 파렛트를 입고, 적치, 보관 및 출고 시키는 운반 장비 작업통로도 설계에 반영되어야 한다. 유통물류센터에서 활용되는 파렛트 운반 장비는 리치형 지게차(Reach Fork Lift), 카운트밸런스형 지게차(Counter Balance Type), 3방향 지게차(3-Way Fork Lift)가 주로 쓰이며[31, 32] 자동창고에는 스택커 크레인(Stacker Crane)이 사용된다. 이러한 장비들이 사용되는 보관설비별 특징을 정리하면 Table 5와 같다.

Table 5. Application of Storage Facilities by pallet Transport Equipment

Sortation	Manual warehouse		Automatic storage
	pallet rack ⁽¹⁾	VNA rack ⁽²⁾	Super-high level rack ⁽³⁾
picture			
Characteristics	4 ~ 5 th Level Rack	6 ~ 7 th Level Rack	18 ~ 45m High-Level rack
Space efficiency	Regular	High	Very High
Pallet equipment	Rich-type forklift, count balance	three-way forklift	Stacker Crane
Column	Necessary		Unnecessary

Source) (1) <http://www.almacemar.com.ar/producto/paletizacion-estanterias/> (2) <https://racksystemsinc.com/pallet-rack-products/vna-pallet-racking/> (3) <http://www.clarkmhc.co.kr>

김영주 외 3인(2010)은 수동창고에서 운영되는 지게차들을 조사해 작업통로 산정기준을 연구하였다[32]. 이 연구결과에서 운반 장비별 선회반경, 전방 오버행 등을 기반으로 재정리하고, 자동창고에 사용되는 스택커 크레인 작업통로를 추가로 분석해 파렛트 운반 장비별 작업통로를 종합 정리하면 Table 6과 같다.

물류센터에서는 다양한 형태의 파렛트 운반장비가 사용된다. 하지만 일반적으로 유통물류센터 내 파렛트 중량은 대부분 2톤 미만의 화물이 주를 이루고 있고, 카운트밸런스는 4륜을 사용하고 있다.

VNA(Very Narrow Aisle) 랙에서 사용 가능한 삼방향 지게차는 바닥 설치공사의 어려움으로 Rail Type이 일반적으로 사용되고 있다. 따라서 이러한 내용을 근거로 2톤 화물을 처리할 수 있는 지게차 사양(삼방향 지게차의 경우 2톤 사양은 없어 1.5톤 적용)을 작업통로 폭 기준으로 설정하고, 이동 통로의 최소값과 최대값의 평균값 적용을 위해 100mm단위로 반올림 한 후, 이 평균값을 운반 장비의 표준 작업통로 전제조건으로 선정해 Table 7과 같이 최종적으로 기준을 정리하였다.

Table 6. Standard aisle width criteria for each pallet transport equipment(forklift) type

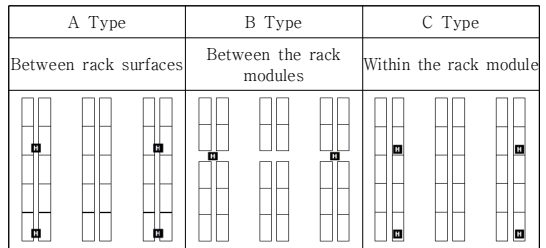
Pallet Rack Type	Transport Equipment Type			Required operation passageway width for forklift(mm)				Note
				T-11		T-12		
	Equip.	Type	Spec.(Ton)	Min	Max	Min	Max	
Pallet Rack	R/F (Reach Fork Lift)	Three wheels	1.50	2,550	2,752	2,650	2,852	Allowance rate(300mm) is reflected.
			2.00*	2,670	2,773	2,770	2,873	
			2.50	2,690	2,768	2,790	2,868	
	C/B (Counter Balance)	Four wheels	1.50	3,113	3,330	3,213	3,330	
			2.00	3,385	3,450	3,485	3,450	
			1.50	3,575	3,795	3,675	3,895	
		Four wheels	2.00*	3,545	3,990	3,645	4,090	
			2.50	3,720	4,045	3,820	4,145	
			3.00	3,861	4,175	3,961	4,275	
VNA Rack	3/FL (3 Way Fork Lift)	Rail Type	1.00	1,850	1,950	1,850	2,050	Additional allowance rate is reflected as below Forklift Carriage(+200 mm) Forklift slope (+100 mm) Pallet to pallet (+100 mm)
			1.25	1,800	1,950	1,900	2,050	
			1.35	1,850	1,900	1,950	2,000	
			1.50*	1,850	1,900	1,950	2,000	
		Wire Type	1.00	1,750	1,850	1,850	1,950	
			1.25	1,700	1,850	1,800	1,950	
			1.35	1,750	1,800	1,850	1,900	
	1.50	1,750	1,800	1,850	1,900			
Super-High Level Rack	S/C (Stacker Crane)	1.00 ~ 1.50*	1,400	1,500	1,500	1,600	Application of universal specifications of pallet stacker crane makers.	

source) Y.J. Kin et al(2010), Howard Zollinger(2001), Website(MIAS Group, Mecalux Group, ATS Group)
 Note : * Critical for determination of the number of transport equipment work aisle

Table 7. Standard working path criteria by type

DC Type	Equip-ment Type	Transport Equipment Passageway Width(mm) in the Rack Module					
		T-11			T-12		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
Manual	R/F	2,700	2,800	2,750	2,800	2,900	2,850
	C/B	3,500	4,000	3,750	3,600	4,100	3,850
	3/FL	1,900	1,900	1,900	2,000	2,000	2,000
Auto	S/C	1,400	1,500	1,450	1,500	1,600	1,550

Table 8. Column type in the rack storage



5. 보관설비별 최적 보관면적 산출방안

5.1 보관공간의 표준 기둥간격

파렛트 랙을 도입해 운영중인 유통물류센터의 기둥간격 분석을 위해 국내외 9개 물류센터를 조사한 결과, 기둥의 가로 간격은 10,300 ~ 21,000mm, 세로 간격은 8,000 ~ 37,500mm 사이의 다양한 규격을 가지고 있었고, 기둥 크기도 가로 및 세로 방향이 400 ~ 850mm로 물류센터별로 모두 상이한 설계 기준을 가지고 있었다. 이러한 물류센터들의 기둥 배치 형태를 분석해 보면 Table 8과 같이 크게 3가지 형태를 보였다.

여기서 A Type은 기둥이 랙의 배면 사이에 배치되는 구조로 기둥과 겹치지 않게 배치할 경우에는 기둥 폭 크기 만큼 보관공간에 Dead Space가 더 발생하게 되며, 기둥과 겹치게 배치해 Dead Space를 최소화 할 경우엔 해당 랙 모듈 내에 파렛트를 배치할 수 없어 C Type 대비 보관효율이 떨어지는 구조를 가지고 있다. B Type의 경우에도 랙 모듈이 기둥을 피해 배치함으로써 기둥 폭만큼의 추가 Dead Space가 발생해 A, B Type은 랙 모듈 내에 기둥을 배치하는 C Type 대비 비효율적 구조를 갖는다. 따라서 최적 보관 면적 설계를 위해서는 C Type의 형태가 가장 유리하다.

즉, 잘못된 기둥 간격은 랙 배치 시 모듈과 간섭하거나 불필요한 공간을 야기할 수 있고 기둥이 돌출되어 배치

될 경우엔 지게차 운영시 안전사고를 유발할 수 있다. 이에 따라 ‘한국산업표준 KST2010’에서는 파렛트 랙 설치를 고려한 표준화된 기둥 간격 규칙을 제시하였으나, 한 방향(가로 간격)에 대한 규칙만 설정되어 있어 세로방향에 대한 설정규칙은 없었다.

따라서 이러한 문제 해결을 위해 국토교통과학기술진흥원에서는 2012년 ‘국가물류 표준 종합시스템 개발’을 통해 ‘랙의 보관공간에 기둥을 넣는 경우’와 ‘랙과 랙 사이에 기둥을 넣는 경우’에 대한 기둥 간격 산출 규칙을 제안함으로써 기존의 단점을 보완하였다[22].

하지만, 이 연구에서는 파렛트 랙 모듈의 표준 설계방안은 제시되지 않았고 보관설비별로 다양하게 사용되는 지게차 작업 회전반경도 별도 조사해 적용해야 한다는 단점들이 있었으며, 특히 ‘랙과 랙 사이에 기둥을 넣는 경우’는 앞서 조사된 물류센터 기둥이 417~850mm의 크기를 가지기 때문에 이러한 배치 방법은 보관 공간 내 많은 Dead Space를 유발해 보관면적 최적화 위한 배치 방법은 아니다. 즉, 보관효율 극대화를 위해선 Table 8에서 제시된 C Type과 같이 ‘랙의 보관공간에 기둥을 넣는 경우’가 최선의 방법으로 추천될 수 있으며 이 경우 기둥이 삽입된 수만큼만 파렛트 보관량이 줄어들 수는 있으나, 보관공간 내 불필요한 Dead Space는 최소화시킬 수 있어 최적의 보관효율을 달성할 수 있는 기둥 배치 구조가 된다.

따라서 C Type을 기준으로 앞서 정의한 표준 파렛트 랙 모듈 산정 수식을 고려해 기둥의 가로간격(PL)과 세로간격(PW)에 대한 산정 수식을 개선해 적용하면 Table 9와 같다.

Table 9. New column Interval Setting Rule

<p>Column Layout Image</p>	
<p>New Column Interval Setting Rule</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PL = Multiple of the (2RMw + ALi + CR) • PW = Multiple of (RMI) In here, CR = 300 (Rack Module Interval) RMI = 2PI + 400, RMw = Pw - 100 Then, • PL = Multiple of the (2Pw + ALi + 100) • PW = Multiple of the (2PI + 400) <p>Here, Pw : Width of pallet PI : Length of pallet ALi: Aisle Width(Defined in the Table 7.)</p>

이상의 기둥 간격 산출 규칙을 적용해 표준 기둥 간격을 파렛트와 운반장비 Type별로 계산해 정리하면 Table 10과 같이 정리할 수 있다.

예를 들어 어떤 물류센터에서 T-11형 파렛트를 사용하고 운반 장비로는 C/B(Count Balance)를 적용할 계획을 가지고 있다면, 물류센터 설계시 가로방향의 기둥간격은 최소 6,050mm단위가 되며, 이 기준을 기반으로 센터 규모를 고려해 배수 단위 간격을 적용해 기둥배치를 하면 보관효율을 최적화 할 수 있는 랙 모듈을 배치가 가능하다

Table 10. Criteria for optimal column spacing for placement of pallet racks

Pallet Type	Transport Equip. Type	Width (PW) reference (mm)			Length (PL) reference (mm)				
		Minimum Spacing	x 2	x 3	Minimum Spacing	x 2	x 3	x 4	x 5
T-11	R/F	5,050	10,100	15,150	2,600	5,200	7,800	10,400	13,000
	C/B	6,050	12,100	18,150					
	3/FL	4,200	8,400	12,600					
	S/C	-	-	-	-	-	-	-	-
T-12	R/F	5,350	10,700	16,050	2,400	4,800	7,200	9,600	12,000
	C/B	6,350	12,700	19,050					
	3/FL	4,500	9,000	13,500					
	S/C	-	-	-	-	-	-	-	-
Common	R/F	5,350	10,700	16,050	2,600	5,200	7,800	10,400	13,000
	C/B	6,350	12,700	19,050					
	3/FL	4,500	9,000	13,500					
	S/C	-	-	-	-	-	-	-	-

Note : Stacker Crane(S/C) is an equipment used for automatic warehouses. Automatic warehouses are a building rack, and since the rack itself serves as a pillar, it was excluded from the separate column spacing calculation.

5.2 최적 보관면적 산출 방안

파렛트 랙에 화물을 보관할 경우 김영주 외 2인 (2010)은 보관면적을 다음과 같이 산출할 수 있다고 하였다[20].

- 필요바닥넓이 = 파렛트 보관량 x 파렛트당 바닥 소요면적
- 파렛트당 바닥소요면적 = 단위너비 x 단위깊이/적재 단수
- 단위 깊이 = 배면 간격/2 + 랙 깊이 + 통로너비/2
- 단위 너비 = 랙 너비/2

여기서, 필요한 바닥 넓이를 RA(Required Area), 파렛트 보관량을 Pc, 파렛트당 바닥소요면적을 Pa, 파렛트 적재단수를 Pn이라 정의하고, 앞서 제시한 표준 파렛트 랙 모듈의 산정 수식 (1), (2)를 적용해 재정리 하면 식 (3)과 같이 새로 정의할 수 있다.

$$RA = Pc \times Pa \tag{3}$$

여기서, $Pa = (RM_i/2) \times \{(CR/2) + RM_w + (AL_i/2)\}/P_n$, $CR = 300$, $RM_i = 2P_i + 400$, $RM_w = P_w - 100$ 이고, $Pa = \{(2P_i + 400)/2\} \times \{(300/2) + P_w - 100 + (AL_i/2)\}/P_n = (P_i + 200) \times \{150 + P_w - 100 + (AL_i/2)\}/P_n = (P_i + 200) \times \{P_w + 50 + (AL_i/2)\}/P_n$ 이므로, RA는 결국 식 (4)과 같이 간략히 정리 할 수 있다.

$$RA = Pc \times (P_i + 200) \times \{P_w + 50 + (AL_i/2)\} / P_n \tag{4}$$

여기서, P_i 의 $l = 0$ 이면 T-11형 파렛트, $l = 1$ 이면 T-12형 파렛트를 그리고 P_w 는 $w = 0$ 이면 T-11형 파렛트, $w = 1$ 이면 T-12형 파렛트를 의미한다.

AL_i 에서는 $i = 0$ 이면 R/F(Reach Fork Lift Type), $i = 1$ 이면 C/B(Counter Balance Type) 그리고 $i = 2$ 이면 3F/L(3-Way Fork Lift Type) 지게차를 의미하며 $i = 3$ 이면 S/C(Stacker Crane)을 의미한다.

최적 보관 면적 산출을 위해서는 이상의 기준에 대해 앞서 제시한 ‘표준 파렛트 랙 모듈 기준’과 ‘운영 장비별 이동 통로 기준’을 필요에 따라 적용하면 최적화된 보관 면적을 용이하게 산출 할 수 있다. 그리고 이 수식을 기준으로 앞서 정리한 파렛트 표준 랙 유형과 지게차별 운영특성을 반영한 최적화된 보관공간의 예상 소요면적을

산출해 정리해 정리하면, Table 11, 12와 같다.

Table 12에서는 R/F, C/B, 3/FL을 정리하지 않은 이유는 파렛트 랙이 7단 이상으로 설계될 경우 운반 장비 사양상 해당 높이까지 인상할 수 없기 때문이며, S/C은 자동창고의 고단의 랙에 적용하는 설비이기 때문에 S/C에 대해서만 분석해 정리하였다.

Table 11. Analysis results of required floor space by pallet type and rack level(1)

PLT Type	Equipment	Aisle (mm)	Required Floor Size(m ²) per pallet type and rack level						
			1 layer	2 layer	3 layer	4 layer	5 layer	6 layer	7 layer
T-11	R/F	2,750	3.283	1.641	1.094	0.821	0.657	0.547	0.469
	C/B	3,750	3.933	1.966	1.311	0.983	0.787	0.655	0.562
	3/FL	1,900	2.730	1.365	0.910	0.683	0.546	0.455	0.390
	S/C	1,450	2.438	1.219	0.813	0.609	0.488	0.406	0.348
T-12	R/F	2,850	3.210	1.605	1.070	0.803	0.642	0.535	0.459
	C/B	3,850	3.810	1.905	1.270	0.953	0.762	0.635	0.544
	3/FL	2,000	2.700	1.350	0.900	0.675	0.540	0.450	0.386
	S/C	1,550	2.430	1.215	0.810	0.608	0.486	0.405	0.347
Com mon	R/F	2,850	3.478	1.739	1.159	0.869	0.696	0.580	0.497
	C/B	3,850	4.128	2.064	1.376	1.032	0.826	0.688	0.590
	3/FL	2,000	2.925	1.463	0.975	0.731	0.585	0.488	0.418
	S/C	1,550	2.633	1.316	0.878	0.658	0.527	0.439	0.376

Table 12. Analysis results of required floor space by pallet type and rack level(2)

PLT Type	Equipment	Aisle (mm)	Required Floor Size(m ²) per pallet type and rack level						
			8 layer	10 layer	12 layer	14 layer	16 layer	18 layer	20 layer
T-11	S/C	1,450	0.305	0.244	0.203	0.174	0.152	0.135	0.122
T-12		1,550	0.304	0.243	0.203	0.174	0.152	0.135	0.122
Com mon		1,550	0.329	0.263	0.219	0.188	0.165	0.146	0.132

이상의 Table을 이용하면 현업에서는 손쉽게 최적화된 보관 면적을 산출할 수 있다. 예로 T-11형 유닛로드 파렛트 기준으로 5,000개의 파렛트를 보관할 수 있는 물류센터를 계획하고 있다고 가정하고 운반 장비로는 R/F Type을 사용하고, 건축비와 투자비를 고려해 4단 파렛트 랙을 적용할 것으로 센터 구축 방향을 잡았다면, 이 경우 최적화된 보관공간의 예상 소요면적 $RA = 5,000 \times 0.821 = 4,105 \text{ m}^2$ 가 필요함을 계산해 낼 수 있다.

6. 시사점 및 결론

본 논문에서는 최근 유통물류센터의 구축현황과 추세에 대해 살펴보고, 유통물류센터 고도화 위한 최적 보관면적 산출 방안 제시를 위해 표준 파렛트 랙 모듈, 표준 운반 장비 이동통로, 표준 기둥 배치 간격 규칙을 정의하였고, 이를 고려한 최적 보관 면적 산출 방안을 수식으로 개발하였다. 그리고 최종으로 보관설비별로 적용될 수 있는 유형별 최적 보관 면적 소요면적을 분석해 제시함으로써 현업에서 물류센터 계획시 필요한 최적화된 보관면적 산출위한 가이드라인을 제안하였다. 즉, 향후에는 별도의 복잡한 계산이나 레이아웃 설계 없이도 본 연구를 통해 제시된 조건표를 활용해 최적 보관 면적을 산출 할 수 있어, 센터구축 초기단계에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

하지만, 앞서 분석한 유통물류센터의 주요 물류설비 적용 추세에서 살펴보았듯 최근 물류센터들은 Box나 Case단위를 보관 및 운영할 수 있는 설비도 많이 적용하고 있기 때문에 이러한 Mini-Load용 랙 모듈에 대한 연구도 추진되어야 할 것으로 사료된다. 또한 지속적으로 적용되고 있는 GTP(Goods to Person) 피킹 시스템 등 다양한 피킹 설비도 물류센터의 최적 설계 방안과 같이 연구되어야 유통물류센터 설계에 필요한 모든 기능들이 조합된 최적 설계가 될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 센터 내 전체 물류 운영 프로세스 관점에서 최적화 시킬 수 있는 레이아웃 배치에 관한 확대 연구가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] S. G. Choi. (2016). *A Study on Efficient operations of the Commodities at Distribution logistics center*. Master dissertation. Seokyeong university, Seoul.
- [2] J. K. Shin, C. H. Lee & B. S. Son. (2010). A Study on Important Factors influencing Operation Efficiency of the Logistics Center. *Korea Logistics Reviews*, 20, 141-158.
- [3] L. S. Jeon. (2007). *A study planning a logistics center to operating*. Goyang : Bumhanp
- [4] E. K. Kim. (2015). *A study on the Determinants of ambient temperature multistory distribution center working aisle and column space*. Master dissertation. Hanyang university, Seoul.
- [5] G. S. Yun & J. S. Park. (2013). A Study on the Logistics Standardization Impact on Corporate Efficiency. *Korea Logistics Reviews*, 23(5), 167-188.
- [6] J. W. Lee. (2015). A Study on the Trends of Automated Logistics Equipment Market and Its Perception in Korea. *East Asian Logistics Trends*, 2015(86), 92-101.
- [7] S. H. Choi, K. M. Hong & H. J. Kim. (2018). A Study on Needs of the Logistics Technology in Korea, *Korea Maritime Institute*
- [8] S. D. Yeom & T. U. Rho. (2016). A Study on the Determinant of Logistics Warehouse Location. *reacademy*, 67, 73-86.
- [9] J. Bond. (2018). *Top 20 Material Handling System Suppliers in 2017*. Modern Materilas handling, https://www.mmh.com/article/top_20_material_handling_system_suppliers_in_2017
- [10] M. S. Seo. (2017). *Effect on Corporation's Performance and Logistics by developing Distribution Industry to Omni-Channel*. Master dissertation. Korea Aerospace University, Goyang.
- [11] M. J. Kim. (2018). *Distribution - Well done online company who good at Offline Company*. Mirae Asset Daewoo Research. 57-67.
- [12] J. H. Park, J. G. Oh, D. M. Kim & G. T. Yeo. (2019). A Study on the Establishment Direction of Smart Distribution Logistics Center in the era of the Fourth Industrial Revolution, *Journal of Digital Convergence*, 17(2), 59-71.
DOI : 10.14400/JDC.2019.17.2.059
- [13] J. I. Lee. (2018). *The 'Survival Era' of the Disgusting Logistics Center*, Gyotongnews paper : <http://www.gyotongn.com/news/articleView.html?idxno=216818>
- [14] KST. (2004). *Criteria for facilities of logistics facilities*. <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do>
- [15] KST (2005). *system of logistics module*. <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do>.
- [16] KST. (2007). *Width of aisle in warehouse*. <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do>
- [17] KST. (2010). *Criteria for Facilities of Logistics Center*. <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do>
- [18] M. B. Lee & W. J. Kim. (2007). A Study on the Standardization of Unit Load System. *Korea Logistics Reviews*, 17(3), 141-162.
- [19] C. H. Choi (2009). A New Evaluation Method for the Effectiveness of Standardized Storage Facilities. *The Korean society for railway*, 2009(5), 1924-1930.
- [20] Y. J. Kim, S. Lee & K. T. Kim. (2010). Study on Area Calculation in Warehouse. *The Korean society for railway*, 2010(7), 1567-1573.
- [21] S. Lee, Y. J. Kim & Y. J. Kwon. (2010). Development of Layout Design Algorithm for Warehouse. *The Korean society for railway*, 2010(7), 1574-1579.
- [22] Korea Railroad Research Institute. (2018). *Development*

of the National Logistics Standards System.

[23] S. K. Choi, H. S. Kim & W. S. Park. (2014). The simulation study on working time of unit load cargo in warehouse. *The Journal of shipping and logistics*, 81, 219-240.

[24] B. Rouwenhorst, B. Reuter, B. Stochrahm, G.J. Houtum, R.J. Mantel & W.H. Zijm. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122, 515-533. DOI : 10.1016/S0377-2217(99)00020-X

[25] L. F. Thomas. (2000). Warehouse Layout and Design, Freese & Associates, Inc.

[26] M.D. Mohsen. (2002). A Framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20(13,14), 432-440. DOI: 10.1108/02632770210454377

[27] P. Baker & M. Canessa. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 425-436. DOI : 10.1016/j.ejor.2007.11.045

[28] 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. DOI : 10.1016/j.simpat.2017.03.014

[29] B.M. Rene. (2010). Warehouse Math In: L.Kroon, T.L, R. Zuidwijk(Eds.), *Liber amicorum*, RSM-Dinalog, 179-186.

[30] B. D. Ahn. (1997). *Standardization of automatic warehouses*. Daejeon : Korea Research Institute of Standards and Science.

[31] M. S. Jeon (2004). Study on Aisle Width for Forklift Truck in Warehouse, *Korea Logistics Reviews*, 20(5), 175-200.

[32] Y. J. Kim, S. Lee, K. T. Kim & Y. J. Kwon. (2010). Study on Aisle Width for Forklift Truck in Warehouse, *Korea Logistics Reviews*, 20(5), 175-200.

[33] *Csico-Eagle, Pallet Rack Specification* : <http://www.cisco-eagle.com/catalog/c-3051-selective-rack-configuration.aspx>

[34] *Ridg-U-Rak* : <http://www.ridgurak.com/images/pdfs/RidgPalletRackBrochureWeb5503.pdf>

[35] *Carson* : <http://www.carsonrack.com/info.html>

[36] *Shinhanrack* : <http://shinhanrack.co.kr>

[37] *Daeyoung* : http://dy-rack.com/m_product1_1.php

[38] *Tlens Company Limited by Shares* : <http://www.tlens.co.kr/sub/product/pallet.html>

[39] *Hankukangle* : <http://www.hankookangle.co.kr/>

[40] *Pia Logistics* : <http://pialogis.com/?NVKWD=%EB%9E%99&NVADKW D=%EB%9E%99&NVAR=PL&NVADID=27950198+0ya1002KJcDhXJy4007Z>

[41] *Nex Logistics* : http://www.nextl.co.kr/keep_rack/pallet_rack.php?s=2&m=1

[42] B. M. Rene, D. Koster, L. Andrew & R. Debjit. (2017). "Warehouse design and management", *International Journal of Proudction Research*, 55(21), 6327-6330. DOI : 10.1080/00207543.2017.1371856

[43] H. Zhang, Z. Guo, H. Cai, C. Wang, W. Zhang, Y. Yu, W. Li & J. Wang (2018). *Layout design for intelligent warehouse by evolution with fitness approximation*, ArXiv.org, Cornell University.

[44] M. Tutam & J. A. White(2019). A multi-dock, unit-load warehouse design, *IIEE Transactions* 51(3), 232-247. DOI : 10.1080/24725854.2018.1488307

[45] F. Yener & H. R. Yazgan. (2019). "Optimal warehouse design: Literature review and case study application", *Computers & Industrial Engineering*, 129, 1-13. DOI : 10.1016/j.cie.2019.01.006

[46] D. Mourtzis, V. Samothrakis, V. Zogopoulos & E. Vlachou (2019). Warehouse design and operation using augmented reality technology: A papermaking industry case study, *Procedia CIRP*, 79, 574-579. DOI : 10.1016/j.procir.2019.02.097

박 정 현(Jung-Hyun Park)

[장학원]



- 2002년 2월 : 경희대학교 산업공학과 (학사)
- 2004년 2월 : 경희대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 동북 아물류대학원 박사과정
- 관심분야 : 유통물류, 물류센터 설계
- E-Mail : junghyun.park@sfa.co.kr

김 동 명(Dong-Myoung Kim)

[학사학원]



- 2018년 8월 : 홍익대학교 회계학(학사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 동북 아물류대학원 석사과정
- 관심분야 : 유통물류, 경영, 회계
- E-Mail : kdmzxx@naver.com

여 기 태(Gi-Tae Yeo)

[중산학원]



- 2007년 2월 : University of Plymouth (경영학 석사, 경영학박사)
- 2008년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 교수
- 관심분야 : 해운물류, 항만물류, System Dynamics, Fuzzy methodology
- E-Mail : ktyeo@incheon.ac.kr