



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](#)

物流學碩士 學位論文

컨테이너터미널 자동화 이송장비 도입에 관한 연구

A Study for introducing for Automated Yard Transportation Equipment in
Container Terminal



指導教授 金 煥 成

2020年 8月

韓國海洋大學校 글로벌物流大學院

海運港灣物流學科

李 晋 炯

本 論文을 李晉炯의 物流學碩士 學位論文으로 認准함

위원장 : 김 울 성 (인)

위 원 : 곽 규 석 (인)

위 원 : 김 환 성 (인)



2020년 07월 18일

한국해양대학교 글로벌물류대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vii
제 1 장 서 론	
1.1 연구의 배경과 목적	1
1.2 연구의 방법 및 구성	3
제 2 장 컨테이너터미널 자동화 개념 및 선행연구	
2.1 자동화 컨테이너터미널의 개념	5
2.2 컨테이너터미널 야드 형태	10
2.3 자동화 이송장비 현황	14
2.4 선행연구 고찰	20
제 3 장 자동화 컨테이너터미널 사례연구	
3.1 국내 자동화 컨테이너터미널 현황	34
3.2 국외 자동화 컨테이너터미널 현황	38
3.3 시사점	46
제 4 장 자동화 이송장비 도입을 위한 실증분석	
4.1 자동화 이송장비 개요	48
4.2 AHP 분석	50
4.3 실증분석 및 대안선정	55
4.4 시사점	64
제 5 장 결 론	
5.1 연구요약	66

5.2 연구의 한계점 및 향후 과제	67
참고문헌	68
<부록> 설문조사 문항	71



List of Tables

[표 2-1] 자동화 터미널의 유형 분류 및 특징	6
[표 2-2] 야드의 배치형태별 특성 비교	14
[표 2-3] 컨테이너터미널 자동화에 대한 연구	22
[표 2-4] 자동화 도입시 고려요인에 대한 연구	26
[표 2-5] 이송장비 자동화에 대한 연구	31
[표 3-1] 국내 자동화 컨테이너터미널 현황	34
[표 3-2] 인천신항 개발 계획	37
[표 3-3] APM Terminals Maasvlakte II Terminal 시설 현황	39
[표 3-4] LA(TraPac terminal), LBCT Infrastructure	40
[표 3-5] VICT Infrastructure	42
[표 3-6] QQCTN Infrastructure	43
[표 3-7] 상해 양산항 Infrastructure	45
[표 3-8] 자동화 이송장비 도입현황	47
[표 4-1] 자동화 장비 도입시 고려요인	49
[표 4-2] 정방행렬	52
[표 4-3] 쌍대비교 척도	52
[표 4-4] 난수지수(Random Index)	53
[표 4-5] AHP 응답 현황	55
[표 4-6] 야드 형태에 대한 중요도	56
[표 4-7] 평가요인별 상대적 중요도 및 우선순위	57
[표 4-8] 설문조사 대상에 따른 평가요인별 중요도	58
[표 4-9] 평가요인의 하위요소별 상대적 중요도 및 우선순위	59
[표 4-10] 자동화 이송장비 도입에 대한 AHP 평가	60
[표 4-11] 이송장비 대안	62
[표 4-12] 평가대안 우선순위 산정 결과	63

List of Figures

[그림 2-1] 컨테이너터미널 작업 개념도	5
[그림 2-2] 항만 물류기술 전망과 대응	6
[그림 2-3] 글로벌 항만자동화 기술 격차	7
[그림 2-4] OSS(Overhead Shuttle System)	8
[그림 2-5] 수평배열 컨테이너터미널	11
[그림 2-6] 수직배열 컨테이너터미널	12
[그림 2-7] AGV(Automated Guided Vehicles)	15
[그림 2-8] Lift AGV	16
[그림 2-9] ALV (Automated Lifting Vehicle)	17
[그림 2-10] S/C (Straddle Carrier)	18
[그림 2-11] A-Y/T (Automated Yard Tractors)	19
[그림 3-1] 완전 자동화, 부분 자동화 터미널	33
[그림 3-2] BNCT 야드구조 및 자동화 장비	35
[그림 3-3] 인천신항	37
[그림 3-4] ECT, APM 자동화 터미널	38
[그림 3-5] LA(TraPac terminal), LBCT	40
[그림 3-6] VICT 구조 및 장비	41
[그림 3-7] QQCTN 자동화 장비	43
[그림 3-8] 상해 양산항 4단계 터미널	44
[그림 3-9] 개발 중인 항만	46
[그림 4-1] AHP 단계	50
[그림 4-2] AHP분석 의사결정문제의 계층구조화	51
[그림 4-3] 연구모형	54
[그림 4-4] 야드 형태에 대한 중요도	57
[그림 4-5] 평가요인별 상대적 중요도	58
[그림 4-6] 설문조사 대상에 따른 평가요인별 중요도	59
[그림 4-7] 자동화 이송장비 도입에 대한 AHP 평가	61
[그림 4-8] 평가대안 우선순위 산정 결과	64

컨테이너터미널 자동화 이송장비 도입방안에 대한 연구

이진형

한국해양대학교 글로벌물류대학원
해운항만물류학과

초 록

초대형 선박의 등장 및 해운경기 악화로 인한 선사들의 인수, 합병 그리고 대형 얼라이언스 체제의 형성으로 인해 선사들의 요구사항은 더욱 다양해지고 있으며 이에 대한 컨테이너터미널의 경쟁은 점점 치열해지고 있는 상황이다. 이렇게 급속도로 변화하고 있는 글로벌 항만환경에서 경쟁력을 높이기 위하여 정부에서는 지속적으로 컨테이너터미널을 개발하고 있으며 고객의 요구사항을 충족하기 위하여 터미널 운영사 통합 및 자동화 장비와 시스템 도입을 위한 연구개발 등 다양한 노력을 진행 중에 있다.

4차 산업혁명으로 인해 스마트항만, 특히 자동화 장비의 도입을 위한 연구, 개발이 지속적으로 이루어지고 있으며 신규로 건설되는 컨테이너터미널에서 자동화 장비 및 시스템 도입은 필수적인 요소가 되고 있다. 하지만 우리나라의 컨테이너터미널 자동화 수준은 국외 선진 항만과 비교하여 많이 뒤쳐져 있는 상황이다. 국외 선진터미널의 경우 본선하역작업에서 이송장비 운영까지 모든 작업이 완전무인화로 운영중에 있으나 우리나라의 경우 부분 자동화 수준에 머무르고 있으며 개장을 준비하고 있는 신규 터미널의 경우

에도 노조와의 인력고용 문제 등으로 인해 유인으로 운영되는 이송장비를 도입할 계획이다.

본 연구에서는 컨테이너터미널의 운영에 있어 가장 많은 인력을 필요로 하는 이송장비 분야에 자동화 장비를 도입함에 있어 고려해야 되는 요인들을 분석하고, 그 분석 결과를 바탕으로 최적의 자동화 이송장비 대안을 선정하였다.

컨테이너터미널에서 자동화 장비를 도입하기 위하여 검토하여야 하는 평가 요인(경제성, 생산성, 안전성, 서비스 향상)을 선행연구를 통하여 도출하였으며 각각의 요인에 대한 세부요소들을 선정하여 AHP 분석을 실시하였다. AHP 분석을 통해 평가요소에 대한 상대적인 중요도와 우선순위를 선정하였으며 그 결과 안전사고 예방, 하역생산성, 시스템 오류의 순으로 중요도가 나타났다.

자동화 이송장비 도입을 위한 대안으로는 AGV와 A-S/C 그리고 자율주행 방식을 도입한 A-Y/T를 선정하였다. A-Y/T의 경우 현재 개발 진행 중에 있기 때문에 장비에 대한 구입비용 및 운영방식 등 구체적인 정보가 부족하지만 기존에 사용 중인 Y/T를 활용할 수 있다는 점에서 경제적인 측면에서 장점이 있고 야드 내부까지 이동이 가능하기 때문에 기존 수평형태의 컨테이너터미널에서 자동화 장비 도입을 검토함에 있어서는 좋은 대안이 될 수 있다. 하지만 신규로 개발되는 자동화 컨테이너터미널에서는 수직형태의 야드 구조를 선호하는 것으로 나타나 안전성, 생산성, 경제성 등 전반적인 요인들을 고려시, AGV 방식이 가장 효율적인 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 컨테이너터미널에서 자동화 이송장비를 도입하기 위하여 고려해야 하는 요인 및 대안 선정에 도움이 될 수 있을 것이다. 또한 자동화 이송장비의 장단점을 분석하여 국내 실정에 맞는 자동화 장비 도입방법 및 절차를 고려할 수 있을 것이며 고객의 만족도를 향상시킬 수 있는 방안을 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

A Study on introduction for Automated Yard Transportation Equipment in Container Terminal

Jin Hyeong LEE

Department of Shipping and Port Logistics
Graduate School of Global Logistics
Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Due to the merger of shipping companies, the formation of large alliances and the emergence of super-large vessels, the requirements of shipping companies are becoming more diverse, and the competition of the container terminals is getting fierce.

In order to increase competitiveness in this rapidly changing global port environment, various efforts such as developing new container terminals, integrating terminal operators, and introducing automation systems and equipment are focused.

In addition, along with the 4th industrial revolution, the port industry is also developing smart ports, especially automated equipment. And in the newly constructed container terminal, the introduction of automated equipment, automation system is becoming an essential element.

However, the level of automation of container terminals in Korea is far behind that of advanced ports overseas. In the case of advanced terminals abroad, all

work is being fully unmanned, but in Korea, container terminals are in semi automation status. and in the case of terminals that are preparing to open, the government plans to use manned transportation equipment due to problems of hiring labor.

In this study, we analyzed factors that should be considered when introducing automated transportation equipment in a container terminal and selected the optimal automated transportation equipment based on the analysis results. The evaluation factors (economic efficiency, productivity, safety, service improvement) for the introduction of automated transportation equipment were selected through case studies, and AHP analysis was used to measure the importance of the evaluation factors.

This study selected AGV, A-S/C and A-Y/T as alternatives for introducing automated yard transportation equipment. A-Y/T is a new method that introduces autonomous driving and is currently under development, so it lacks specific information such as the cost of equipment purchase and operation method. However, it has a cost advantage in that it can utilize the existing Y/T, and it can be moved inside the yard, so it can be a good alternative to introducing automation equipment in conventional horizontal container terminal. In addition, in the newly developed automated container terminal, it was shown that the vertical yard structure is preferred, and AGVs are most preferred as automated yard transportation equipment.

This study will help you select factors and alternatives to consider when introducing automated yard transportation equipment in container terminal. It is also expected that by analyzing the pros and cons of automated yard transportation equipment, it will be possible to consider the methods and procedures for introducing automation equipment suitable for domestic situations and to come up with measures to improve customer satisfaction.

Key Words: Automated Container Terminal, Automated yard transportation equipment, AGV, A-S/C, A-Y/T

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경과 목적

전 세계 항만은 급속도로 변화하면서 발전하고 있다. 해운산업의 경쟁 심화 및 해운경기 악화로 인한 어려운 상황을 극복하기 위하여 선사들은 합병 및 얼라이언스 형성을 통해 대형화를 진행하고 있으며 원가 경쟁력 향상을 위하여 24,000TEU급 이상의 초대형 선박을 도입하고 있다. 이러한 변화 속에서 대형 컨테이너선의 접안 및 대량의 컨테이너를 신속하게 작업할 수 있는 생산성을 향상시키기 위한 항만시설의 확충 및 개발이 항만경쟁력을 높이는 요인으로 작용되고 있다.

국내 항만도 경쟁력 강화를 위해 지속적으로 노력하고 있다. 특히, 부산항은 어려운 환경 속에서도 전체 물동량의 50% 이상을 차지하는 환적물동량의 증가로 인해 총 물동량이 꾸준히 증가하고 있으며 이러한 부산항의 특성을 활용하기 위한 다양한 노력과 지원이 이루어지고 있다. 하지만 최근 발생하고 있는 대내·외적인 이슈로 인하여 항만경쟁력 강화를 위한 노력이 더욱 필요한 상황이다. 중국의 카보타지 해제로 인한 대중국 물량 감소 및 국내 안전운임제 시행으로 인한 글로벌 대형선사의 환적물량 이탈에 대한 우려가 높아지면서 부산항 경쟁력 강화를 위한 다양한 연구와 정책발굴이 더욱 요구되고 있다.

지난 수년간 국내 컨테이너터미널 시장은 운영사간의 경쟁이 심화되면서 선사유치를 위한 하역료 인하로 인해 경영 악화 등의 문제가 발생하였고 이를 해결하기 위하여 하역요금 인가제 및 터미널 통합 등 다양한 방안이 진행되어 왔다. 또한 오늘날 항만은 온실가스 감축을 위한 친환경적인 요소 및 안전사고 예방 등 다양한 측면에서 평가 및 경쟁이 이루어지고 있어 국내뿐 아니라 국외 선진항만들과 경쟁하기 위해서는 다양한 측면에서 항만 발전을 위한 연구와 개

발이 필요한 시점이라 할 수 있다.

부산항은 물량증가 추세와 환경변화에 맞추어 부산항 신항 2-4, 2-5, 2-6단계 컨테이너터미널 개발을 진행 중이며 장기적으로는 제2신항 개발을 계획하고 있다. 신규 항만 개발과 함께 기존 터미널들은 항만 간 통합운영을 통해 항만 경쟁력을 높이기 위한 노력을 진행 중에 있다.

현재 부산항 북항의 경우 2006년 이후 수차례에 걸쳐 감만부두, 우암부두, 신선대 부두 통합이 단계적으로 이루어져 왔으며 2019년에는 부산항터미널과 동부부산컨테이너터미널의 통합이 합의되는 등 북항 터미널 통합이 지속적으로 진행되고 있다. 부산항 신항의 경우도 다수의 컨테이너터미널 운영사가 개별적으로 터미널을 운영하고 있어 대형 얼라이언스 물량처리에 어려움을 겪고 있을 뿐만 아니라, 타부두 환적 물량(ITT) 발생으로 인한 경쟁력 약화 등의 문제가 지속적으로 발생하고 있어 신항 내 터미널간의 통합 및 ITT 개선에 대한 연구가 필요한 실정이다.

이렇게 변화하는 항만환경 속에서 정부에서는 항만의 경쟁력을 높이기 위해서 ‘제2차 신항만 건설 기본계획(2019~2040)’, ‘스마트 해상물류 체계 구축 전략(2019)’ 등과 같이 차세대 스마트항만을 구축하기 위한 계획을 발표하고 있다. 스마트항만은 자동화, 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 정보통신기술(ICT) 등의 4차 산업혁명 기술을 통해 자동화, 첨단화, 에너지 효율화, 친환경 및 배후도시와의 연계성 강화를 지향하는 것으로, 관련된 모든 자원들을 유기적으로 연결하여 물류흐름을 최적화하는 항만을 의미한다. 컨테이너터미널의 자동화는 스마트항만의 기본이 되는 필수적인 요소로 ‘스마트항만 구축전략 수립 연구 용역(2020~2023)’ 등 이를 위한 연구와 개발이 지속적으로 이루어지고 있다.

하지만 해외 선진 터미널과 비교하면 우리나라는 아직 부분 자동화터미널로 운영되고 있어 완전 무인 자동화를 위한 기술개발 및 연구에 대한 투자와 노력이 필요한 상황이다. 특히 이송장비 분야에 대한 자동화는 해외 선진항만과 비교하여 많이 뒤쳐지고 있는 것이 사실이다. 이미 해외에서는 다양한 연구와 개발을 통하여 자동화 이송장비가 도입되고 있으며 특히 1993년 세계 최초로 자

동화 컨테이너 터미널을 도입한 네덜란드 로테르담 ECT의 경우, 1998년 무인 자동화 이송장비를 도입하였고, 이후 장단점을 보완한 다양한 형태의 자동화 이송장비를 개발하고 있다.

그러나 우리나라에서는 대부분의 터미널에서 유인으로 운영되는 야드트랙터(Y/T)가 이송장비로 이용되고 있으며 신규로 개발중인 터미널에서도 유인 스트래들캐리어(S/C)의 도입을 계획하고 있다. 이렇게 자동화 이송장비의 도입이 늦어지고 있는 원인은 자동화에 대한 전문 기술력 부족과 인력고용 문제라고 할 수 있다. 하지만 현재 정부와 여러 관련업계가 함께 자동화 이송장비 특히 자율주행 방식에 대한 연구 및 개발을 진행하고 있다. 특히, 강성노조로 유명한 미국 항만에서도 자동화 장비운영 및 설비분야 인력 재배치를 통해 자동화 이송장비 도입을 추진하여 완전 자동화 터미널 운영을 시작한 사례를 바탕으로 우리나라도 자동화 이송장비의 도입을 포함한 완전 자동화 컨테이너터미널의 운영을 준비하여야 한다.

본 연구에서는 우리나라 항만의 경쟁력 강화를 위하여 기존의 선진 해외 터미널에서 운영되고 있는 자동화 이송장비와 함께 현재 개발 중인 자율주행 방식의 야드트랙터(Y/T)를 비교하여 우리나라 실정에 맞는 최적의 자동화 이송장비를 선정하고자 한다. 이를 위하여 자동화 장비 도입을 위해 검토해야 하는 요인들을 선행연구를 통하여 도출하고 요인들 간의 관계를 분석하기 위해 전문가 집단에 대한 설문조사를 수행하여 우선순위를 결정함으로써 최적의 이송장비를 선택하기 위한 연구를 수행하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 구성

본 연구에서는 문헌조사, 선행연구 및 설문조사를 통하여 실증분석을 수행하였다. 자동화 컨테이너터미널 운영방식 및 이송장비 운영형태에 대한 문헌조사를 실시하고, 선행연구를 통해 자동화 이송장비 도입시 검토해야 하는 평가요소들을 도출하였으며 이를 계량화하기 위하여 AHP(Analytic Hierarchy Process) 방법을 적용하였다.

AHP 분석을 수행하기 위해 우선적으로 자동화 이송장비 도입시 고려해야 하는 평가요인과 요인별 세부요소를 구분하여 요인별 상대평가를 위한 설문조사를 실시하고 각각의 요소들에 대한 상대적 중요도 및 우선순위를 선정하였다. 이후, 대안 선정을 위하여 우리나라 항만에서 도입할 수 있는 자동화 이송장비 현황을 조사하고 평가 요소들에 대한 중요도를 종합적으로 분석하여 최선의 대안을 선정하였다.

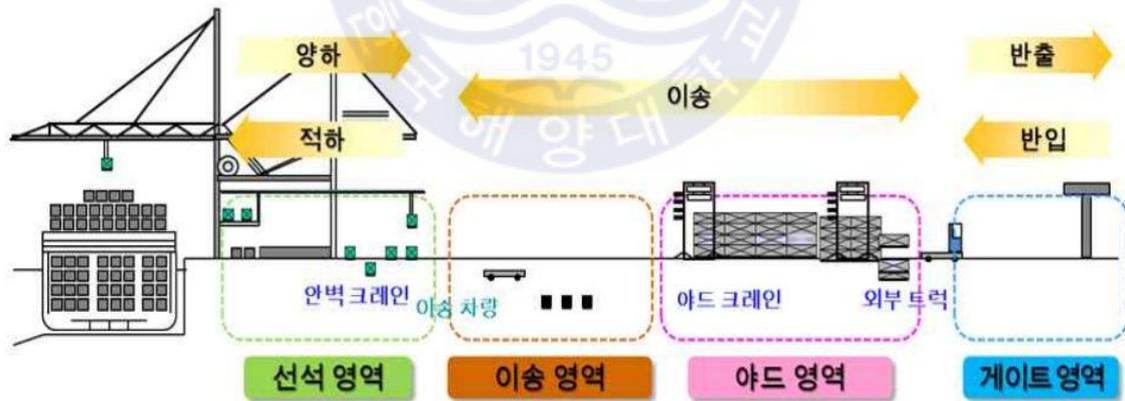
이 연구의 주요 내용을 살펴보면 제1장에서는 연구의 배경 및 목적, 연구의 방법 및 구성, 제2장에서는 자동화 컨테이너터미널의 개념, 운영방식과 자동화 이송장비 현황을 조사하고 컨테이너터미널 자동화와 관련된 선행연구를 수행하였다. 제3장에서는 국내외 자동화 컨테이너터미널 및 이송장비 도입 현황을 조사하여 시사점을 도출하였으며 제4장에서는 컨테이너터미널에서 자동화 이송장비를 도입함에 있어 고려해야 하는 요소를 선정하고 자동화 이송장비별 특성, 장단점에 대한 조사를 바탕으로 전문가 집단에 대한 설문조사 및 AHP 분석을 수행하였다. 마지막으로 제5장에서는 실증분석을 통한 결과를 바탕으로 자동화 이송장비에 대한 도입방안 및 연구의 한계점과 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

제 2 장 자동화 컨테이너터미널 개념 및 선행연구

2.1 자동화 컨테이너터미널의 개념

2.1.1 자동화 컨테이너터미널 정의

컨테이너터미널에서 이루어지는 작업을 운영적 측면에서 구분하면 본선 하역작업, 야드 하역작업, 그리고 본선과 야드를 연결하는 이송작업, 컨테이너의 반출입이 이루어지는 GATE 작업까지 4단계 작업으로 구분할 수 있다. 자동화 컨테이너터미널이란 이러한 각 부분에서의 작업을 더욱 효율적으로 수행하기 위하여 각 작업부분에 대해 자동화 장비를 도입하거나 작업 단계 전체에 대해 무인 자동화 시스템을 도입한 터미널을 의미한다.



[그림 2-1] 컨테이너터미널 작업 개념도

자동화 컨테이너터미널은 자동화의 범위에 따라 [표 2-1]과 같이 완전 자동화, 자동화, 부분 자동화 컨테이너터미널로 구분할 수 있다. 완전 자동화 터미널은 선석 하역장비부터 이송장비, 야드 하역장비까지 모든 작업이 전기 동력을 이용한 무인화로 이루어지는 터미널을 의미하며 자동화 터미널은 선석 하

역작업은 유인으로 운영되지만 야드 하역작업과 이송작업은 무인, 자동화로 수행되는 터미널을 의미한다. 그리고 부분 자동화 터미널은 야드 하역작업은 무인으로 운영되나 선석 하역작업과 이송작업은 유인으로 운영되는 터미널을 의미하는 것으로 구분한다.

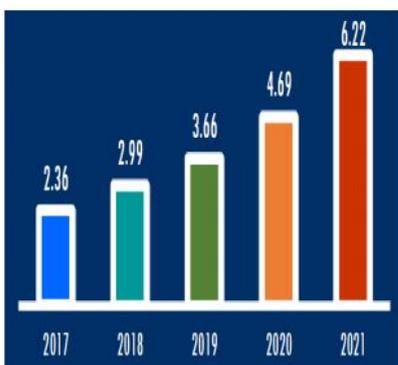
[표 2-1] 자동화 터미널의 유형 분류 및 특징

구분		선석 하역작업	이송작업	야드 하역작업
자동화 터미널	완전 자동화	무인(원격)운전 전기동력	무인운전 전기동력	무인운전 전기동력
	자동화	유인운전 전기동력	무인운전 전기동력	무인(원격)운전 전기동력
	부분 자동화	유인운전 전기동력	유인운전 전기동력	무인(원격)운전 전기동력

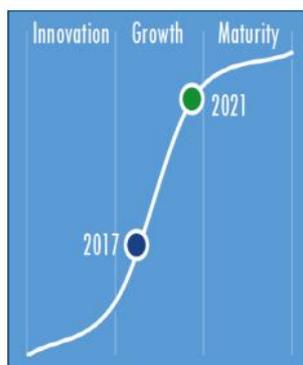
자료 : 한국해양수산개발원, 2017

컨테이너터미널 자동화 시장의 규모는 2017년 23.6억달러에서 2021년 62.2억달러로 연평균 27.4% 증가하고 있으며 자동화 분야별로는 GATE 자동화와 야드 하역장비 자동화에 이어 자동화 이송장비 및 선석 하역장비 자동화 도입이 진행되고 있다.

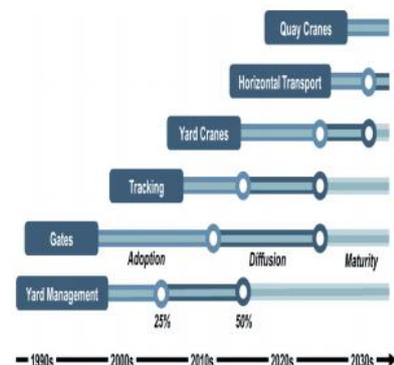
글로벌 컨테이너터미널 자동화 시장규모



자동화항만 시장 성숙도



자동화 분야별 시장 성숙도



자료 : 이연경, 한국해양수산개발원, 해양수산전망대회 2020

[그림 2-2] 항만 물류기술 전망과 대응

자동화터미널은 인건비가 비싸고 인력이 부족한 유럽에서 먼저 개발되었으나 현재는 중국을 비롯한 전 세계에서 자동화 항만에 대한 개발이 진행되고 있다. 1993년 네덜란드 로테르담 ECT(Europe container terminal)을 시작으로 독일, 미국, 중국 등에서 자동화가 도입되었다.

특히 중국은 11개 항만을 스마트항만 시범사업으로 지정하고 2016년 샤먼항, 2017년 5월 청도항, 2017년 12월 상해 양산항에서 자동화터미널을 도입하면서 터미널 운영 뿐 아니라 시스템에 있어서도 항만 자동화에 앞서나가고 있다. 이에 비해 우리나라는 부산항과 인천항에서 부분 자동화를 도입했지만 중국 등 해외처럼 완전 자동화가 도입된 항만은 없는 상황으로 지속적인 투자와 개발이 필요한 상황이다.

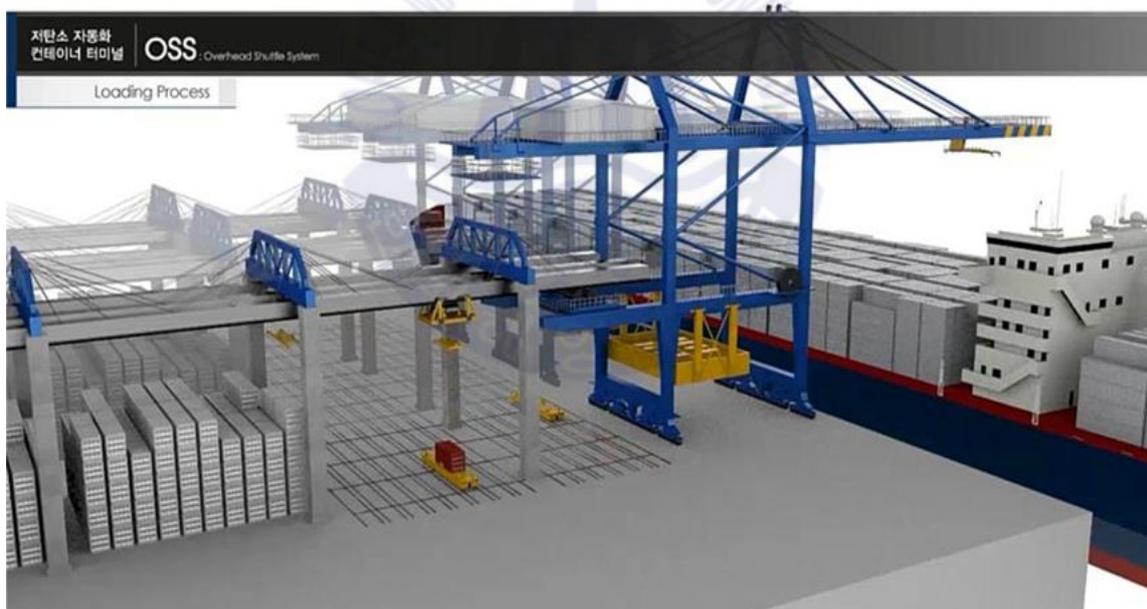


자료 : 한국해양수산개발원 2018

[그림 2-3] 글로벌 항만자동화 기술 격차

최근에는 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 빅데이터와 5G 등 4차 산업혁명 기술을 기반으로 하는 지능형 항만, 자동화 항만, 친환경 항만을 추구하는 스마트 항만에 대한 관심이 증가하고 있다. 스마트항만은 단지 항만의 경쟁력 뿐 아니라, 연관 산업으로 인한 새로운 시장 형성, 고부가가치의 일자리 창출 및 안전 사고 예방까지 다양한 측면에서의 개선효과를 기대할 수 있는데 이러한 스마트 항만의 시작이라 할 수 있는 가장 기본적인 부분이 항만 자동화라고 할 수 있다.

우리나라에서도 이를 위한 계획으로 AI기반 스마트 항만 구축 및 IoT 기반 지능형 항만물류 기술개발 사업 등을 추진하고 있으며 광양항을 스마트 자동화 항만의 테스트베드로 하는 한국형 항만 자동화 시스템을 위한 OSS(Overhead Shuttle System)¹⁾, 고성능 자동화 하역시스템에 대한 개발을 진행 중에 있다.



자료 : 한국해양수산개발원, 저탄소 자동화 컨테이너터미널 기술개발

[그림 2-4] OSS(Overhead Shuttle System)

1) OSS(Overhead Shuttle System): 기존 이송차량 및 야드 크레인 대신 공중 레일에 달린 최첨단 셔들을 이용해 대량의 컨테이너를 일시에 선박에서 야적장으로 이동·적재하는 시스템

2.1.2 자동화 컨테이너터미널의 목적

자동화 컨테이너터미널은 완전 무인화를 목표로 하고 있으며 최근에 개발되는 대부분의 터미널은 완전 무인화로 운영되고 있다. 완전 무인 자동화 컨테이너터미널의 장점은 인건비 절감, 운영비 절감, 생산성 향상, 친환경 및 안전한 터미널 운영이라 할 수 있다. 컨테이너터미널의 전체 운영비 중에서 인건비의 비중은 일반 재래식 터미널에서는 약 45%, 자동화 터미널은 약 25% 수준으로, 자동화 터미널로 운영 시 인건비 절감효과가 높으며 터미널 운영비 또한 약 16% 이상 저렴하다. 자동화 장비의 도입 초기에는 생산성 저하 및 초기투자비 등으로 인해 자동화 장비에 대한 도입을 보류하는 경우도 있었으나 최근에는 생산성 향상과 안전사고 예방 및 안정적인 터미널 운영이 가능하여 자동화 도입을 통해 경쟁력 향상을 기대하고 있다.²⁾

무인 자동화 터미널을 운영하고 있는 중국 샤먼항에서는 인건비, 동력비를 포함하여 기존 터미널 대비 운영원가가 선석당 37% 절감된다고 하였고, 2018년 개장한 QQCTN에서는 안벽크레인의 무인 자동화와 라이싱콘 제거 자동화 방식 도입 등을 통해 기존 터미널 대비 약 70%의 인건비 절감이 가능하다고 발표하였다. 운영적인 측면에서 완전 무인 자동화 방식을 도입하는 경우에 기존 터미널 대비 약 40%의 생산성이 향상될 것으로 예상하고 있다. 네덜란드의 APM 터미널에서는 50% 이상의 생산성 향상을 기대하고 있으며, RWG는 40moves 이상의 생산성을 기대하고 있고, 중국의 QQCTN와 양산항의 경우에도 40moves 이상, 약 30%의 생산성 향상을 기대하고 있다.³⁾

환경적인 측면에서 무인 자동화 터미널은 전기를 기본 동력으로 하여 모든 장비를 운영하고 있으며 바이오와 친환경 연료를 이용하는 친환경적인 항만이라 할 수 있다. 항만 내 온실가스 감축, 에너지 효율화, 신재생 에너지 도입 및 항만주변 환경을 고려하는 환경관리와 조성이 추진되고 있다.⁴⁾ 미국에서는

2) 송만순. 우리나라 자동화 컨테이너터미널 개발 계획. 국제학술대회 논문집, 제4호, 2004, pp. 515-535.

3) 최상희, 이연경, 강무홍, 4차 산업혁명의 침범!, 로보틱스.스마트 항만이 현실로, KMI 동향분석 제31호, 한국해양수산개발원, 2017

2017년 항만 지역의 대기환경 개선을 위해 더욱 강화된 Clean Air Action Plan(CAAP)를 발표하였으며 이는 2025년까지 항만의 온실가스 배출을 1990년 대비 80% 이하로 감소시키는 것으로 계획하고 있다. 네덜란드 APM 터미널은 윈드터빈을 이용한 풍력발전을 이용하고 있으며 세계 최초로 온실가스 배출량이 제로인 무인 자동화 컨테이너터미널을 지향하고 있다. RWG에서는 장비의 전기 동력화 뿐만 아니라 터미널 시설 운영에 있어서도 천연에너지를 사용하여 친환경 터미널을 구축하고 있다.

이외에도 기존의 재래식 컨테이너터미널에서는 유인으로 모든 장비가 운영되었기 때문에 작업자의 피로도 또는 실수로 인한 인적오류와 충돌, 교착과 같은 안전사고가 발생하고 있다. 하지만 완전 무인 자동화 터미널에서는 기존의 사람이 운전하고 작업하던 방식에서 모든 장비가 무인으로 운영되고 야드 내 사람의 이동이 불필요하기 때문에 안전사고 예방을 통한 안정적인 터미널 운영이 가능하다.

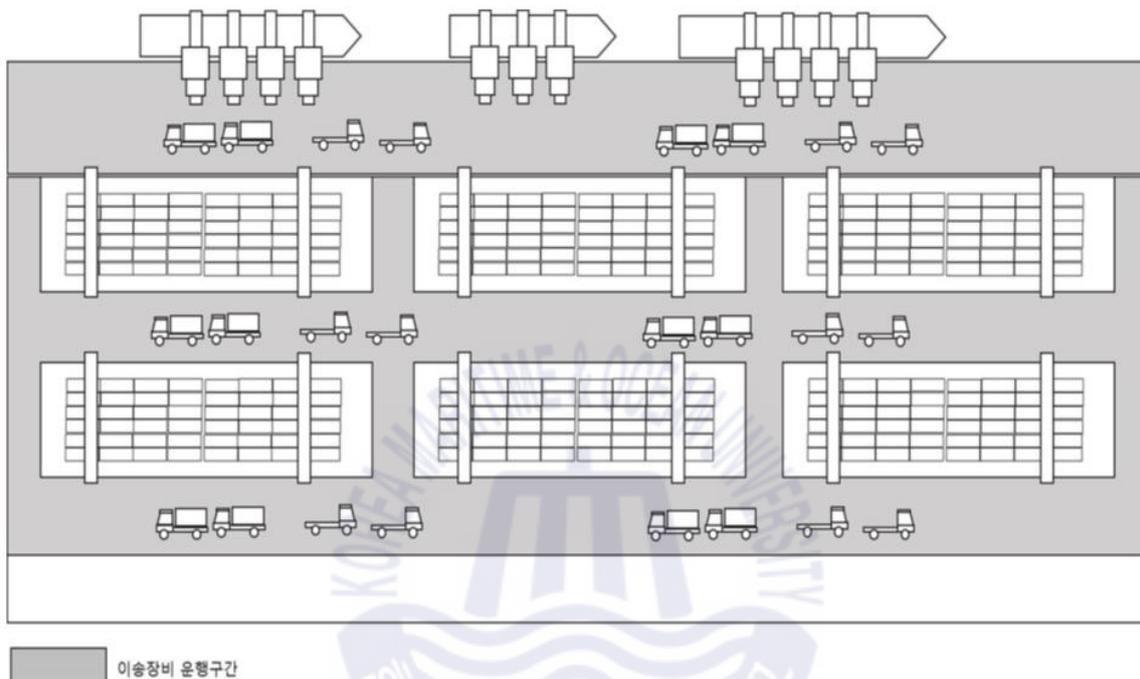
2.2 컨테이너터미널 야드 형태

컨테이너터미널은 야드 장치장의 형태에 따라 운영방식이 달라지며 운영방식에 따라 자동화 장비의 도입에 있어서도 많은 영향을 미친다. 컨테이너터미널의 야드 형태, 레이아웃은 장치장의 블록형태, 컨테이너를 장치하는 방식에 따라서 수평배열(Horizontal Layout)과 수직배열(Vertical Layout)로 구분된다. 기존의 재래식 및 부분 자동화 컨테이너터미널은 대부분이 수평배열로 되어있으나 최근에 개발되는 완전 자동화 컨테이너터미널에서는 안전사고 예방 및 자동화 장비의 효율성을 높이기 위하여 수직배열의 야드 운영방식을 도입하고 있다.

먼저 수평배열의 야드 형태는 기존의 컨테이너터미널에서 주로 사용하는 레이아웃으로 모선이 접안하는 선석과 수평으로 컨테이너를 장치하는 방식이다. 수평배열에서는 이송장비가 야드 내부의 목적하는 장치위치까지 직접 이동

4) 백종실, 스마트 친환경 항만이 대세다, 인천항만공사, 2017.8

하기 때문에 긴급한 상황에 유동적으로 대처할 수 있어 생산성 향상에 효율적이라는 장점이 있으나 외부차량이 야드 장치장 내부로 Y/T와 같은 이송장비와 함께 이동함에 따라 충돌 및 교착으로 인한 안전사고 발생 가능성이 높으며 피크시간에 차량의 집중으로 인한 야드 혼잡으로 생산성이 저하될 수 있다.

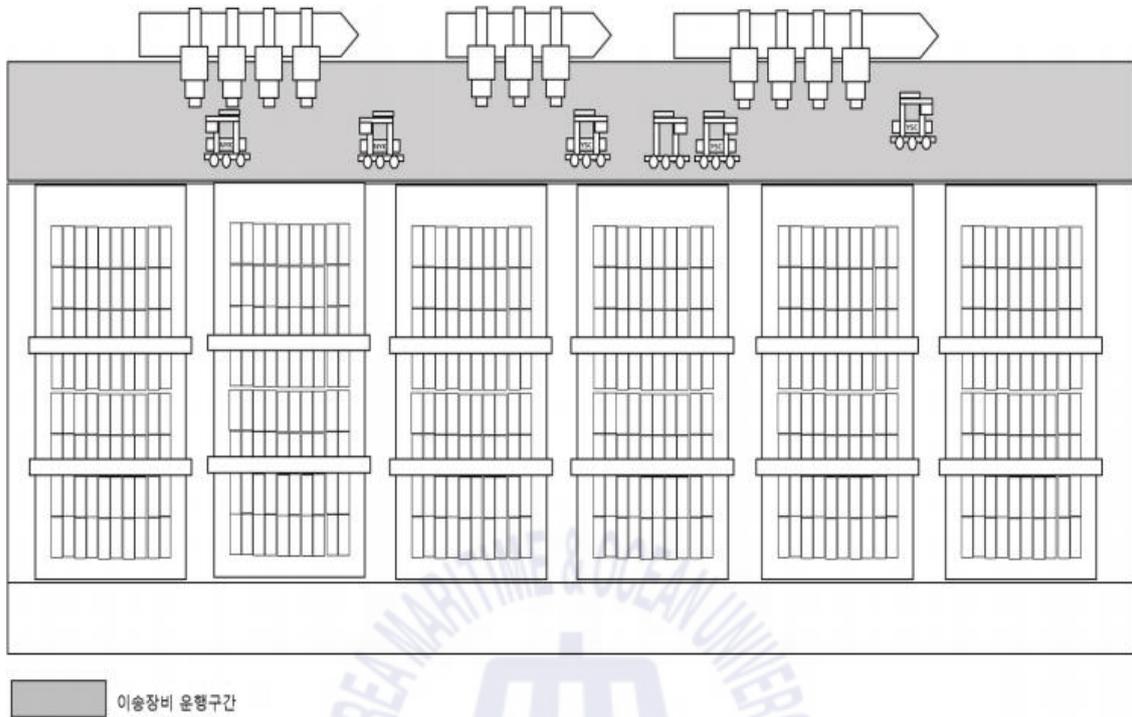


자료 : 장재환, 자동-유인 병행 작업 환경을 고려한 수직형 컨테이너 터미널 이송모델 연구, 2019

[그림 2-5] 수평배열 컨테이너터미널

또한 이송장비가 야드 내부까지 이동해야하기 때문에 이송장비의 이동거리가 증가하여 더 많은 장비 대수가 소요되며 야드 내 이송장비의 이동을 위한 공간이 필요하여 컨테이너 장치공간이 줄어들게 된다는 단점이 있다. 일부 수평배열 컨테이너터미널에서는 외부차량의 야드 내 진입을 통제하기 위하여 컨테이너 장치장 양측에 TP(Transfer Point)를 설치하여 내부차량과 외부차량이 함께 야드 내부를 이동하지 않도록 하는 방식으로 운영 중에 있다. 기존에 운영 중인 대부분의 컨테이너터미널은 수평배열 형태의 야드 구조로 되어 있으며 우리나라 부산 신항, 인천항과 영국의 TMP, 홍콩의 HIT, 싱가포르의 PPT 등 부분 자동화 터미널 방식으로 운영 중인 터미널에서도 수평배열 형태의 레이아웃

웃을 적용하고 있다.



[그림 2-6] 수직배열 컨테이너터미널

수직배열의 야드 형태는 모선이 접안하는 선석과 수직으로 컨테이너를 장치하는 방식이다. 야드의 양쪽 끝에 컨테이너 상하차를 위한 TP지점(Transfer Point)⁵⁾이 설치되어 있으며 수출화물의 경우 외부트럭이 LSTP 지점에서 대기하면 야드 하역장비(RMGC, ASC)⁶⁾가 컨테이너를 들고 이동하여 야드에 장치하는 방식이며 수입의 경우 선석에서 컨테이너 크레인으로 양하된 컨테이너를 이송장비가 WSTP 지점으로 이송하면 야드 하역장비가 컨테이너를 들고 이동하여 야드에 장치하는 구조로 되어 있다.

수직배열에서는 외부트럭이 야드 내부에 진입할 수 없으며 이송장비 또한 선석에서 TP지점까지만 이동하게 됨으로 야드 내부에서 안전사고 발생 가능성

5) Transfer Point : 이송장비와 야드 하역장비 간에 컨테이너를 인수인계하는 구역. WSTP(Water Side Transfer Point)는 자동화 야드 블록의 해측에 위치하며 LSTP(Land Side Transfer Point)는 블록의 육측 지역에 위치

6) RMGC(Rail Mounted Gantry Crane), ASC(Automated Stacking Crane)

이 줄어든다. 그리고 야드 내부에 이송장비의 진입이 불필요함으로 장치효율을 높일 수 있다는 장점이 있다. 하지만 야드 내부에 이송장비가 진입하지 않기 때문에 야드 내 재조작 작업 및 이적작업이 지속적으로 발생하게 되고 야드 하역장비가 장치장 양측 TP지점까지 컨테이너를 들고 이동해야 함으로 하역장비의 이동거리가 길어짐에 따라 생산성 저하의 원인이 될 수 있다. 또한 야드 내 장비의 고장이나 시스템 오류가 발생하였을 경우 한 블록 전체가 마비 될 수 있는 등 긴급한 상황에서 탄력적인 대응이 어렵다는 단점이 있다.

이러한 수직배열 구조의 단점을 보완하기 위하여 네덜란드 ECT에서는 외부 트럭 작업을 위해 ASC와 외부트럭 사이에 S/C(Straddle carrier)를 이용하고 있으며 Euromax 터미널에서는 블록당 2기의 ATC를 배치하여 생산성을 높일 수 있도록 하고 있다. 또한 독일의 CTA에서는 야드 블록에 크기가 다른 2기의 크레인 방식인 DRMGC(Double Rail Mounted Gantry Crane)을 도입하여 크레인들과의 간섭을 줄여 생산성을 높이고 고장으로 인한 긴급 상황에 대비하는 방식을 적용하고 있다.

또한 ZPMC에서는 야드 하역장비의 이동을 최소한으로 줄이고 장비고장 등의 상황에 대처하기 위하여 AGV를 야드 블록 내에 배치하여 블록 내부만 이동하는 AGV를 활용하는 방식을 개발하고 있다.

[표 2-2] 야드의 배치형태별 특성 비교

구분	수평배열	수직배열
특성	이송 주행속도가 빠름	이송 주행속도가 느림
	회전반경이 크고 비정형적인 운전 가능	회전반경이 작고 정형적 운전 가능
	이동제한 요소 없음	정해진 트랙만 가능
	유인운전(관제 쉬움) 운전범위 넓음	무인 운전(관제 어려움) 운전범위 좁음
	주로 횡행 및 권상운전	주로 주행 및 권상운전
	야드 유연성 : 변경용이	야드 유연성 : 재배치 불가
	이송경로 복잡 장거리 이송	이송경로 단순 단거리 이송
	야드 내 접근 용이	야드 내 접근 어려움

자료 : 김우선, 2003, 컨테이너터미널의 이송장비 유형과 블록배치형태 분석

2.3 자동화 이송장비 현황

2.3.1 AGV (Automated Guided Vehicles)

무인 이송장비인 AGV는 자동화 컨테이너터미널에서 안벽과 야드 사이에서 컨테이너를 이송하는 장비로, ECT에서 처음으로 사용되었으며 초기에는 유류를 사용하는 장비가 주로 이용되었으나 이후에는 전기를 이용하는 방식으로 발전하였으며 현재는 배터리를 이용하여 배터리가 소진되었을 때 자동으로 교체 장소로 이동하는 배터리 교환 방식과 TP지점에서 대기시간에 자동으로 배터리를 충전하는 충전방식으로 운영되고 있다.

AGV는 본선하역장비(C/C)에 의해 양하작업이 이루어진 컨테이너를 야드 끝

부분에 설치된 TP 지역으로 이송시키는 역할을 하며 반대로 수출컨테이너의 경우 야드에 장치된 컨테이너를 야드 하역장비가 TP지역으로 이동시켜 AGV에 상차하면 본선 하역 작업을 위해 안벽까지 이송하는 작업을 하게 된다.



자료:좌측 <https://www.vdlautomatedvehicles.com> 우측 <https://www.kalmarglobal.com>

[그림 2-7] AGV(Automated Guided Vehicles)

완전무인 자동화 이송장비인 AGV를 안전하고 정확하게 운영하고 장비의 위치를 실시간으로 확인하기 위하여 초기에는 무선을 바둑판처럼 매설(Induction cable grid system)하여 사용하였으나 매설한 전선 루프가 지반 침하로 인해 절단 되는 등 통신상의 어려움이 발생하여 땅속에 트랜스폰더(Transponder)를 매립하는 방식 등을 통해 보완, 개선하여 운영을 안정화 하였다.

또한 AGV의 경우 초기에는 느린 속도(6m/s, 곡선 3m/s)로 인한 생산성 저하와 높은 초기투자비용으로 인해 도입을 망설이기도 하였으나 현재는 이동속도 8m/s 이상의 장비가 상용화되고 있으며 장기적으로 운영할 경우 운영비 절감 효과로 인해 완전 자동화 터미널에서 가장 많이 사용 되고 있다. 하지만 AGV는 본선 하역장비와 야드 하역장비와의 연결 작업을 통해 컨테이너를 싣고 내릴 수 있는 이송장비이기 때문에 작업을 위하여 크레인을 기다리는 대기시간이 필요하다는 단점이 있다.



자료 : <https://www.konecranes.com>

[그림 2-8] Lift AGV

AGV의 발전된 형태로 Lift AGV가 운영되고 있다. Lift AGV는 컨테이너를 위로 올릴 수 있는 리프트 기능을 포함한 장비로 본선과 야드 TP 지점에 랙(Racks) 또는 플랫폼(Platform)을 설치하여 그 위에 컨테이너를 내려놓고 다음 작업을 위해 이동하거나 랙 위에 장치된 컨테이너를 Lift AGV가 자체적으로 들어 올려 이동하는 장비로 AGV의 단점인 대기시간을 보완할 수 있는 장비이다.

2.3.2 ALV (Automated Lifting Vehicle)

ALV는 AGV와 같이 본선에서 야드까지 컨테이너를 이송하는 역할을 수행한다. 하지만 ALV는 AGV와 달리 스스로 컨테이너를 집거나 내릴 수 있는 자체 하역기능을 가지고 있어 AGV와 S/C(Shuttle Carrier)의 기능을 합친 형태라고 할 수 있다. Y/T 및 AGV의 경우 크레인 아래에 차량이 도착해 있어야만 작업이 가능하지만 ALV는 하역장비가 컨테이너를 양하할 때 ALV가 대기 중이라면 실기 기능을 이용하여 컨테이너를 실고 이동할 수 있으며 ALV가 대기하지 않는 경우에는 컨테이너를 바닥에 내려놓은 후 ALV가 자체 하역기능을 이용하

여 컨테이너를 들고 이동하는 방식으로 운영할 수 있어 대기시간이 줄어든다는 가장 큰 장점이 있다.



자료 : 국토교통부(www.molit.go.kr)

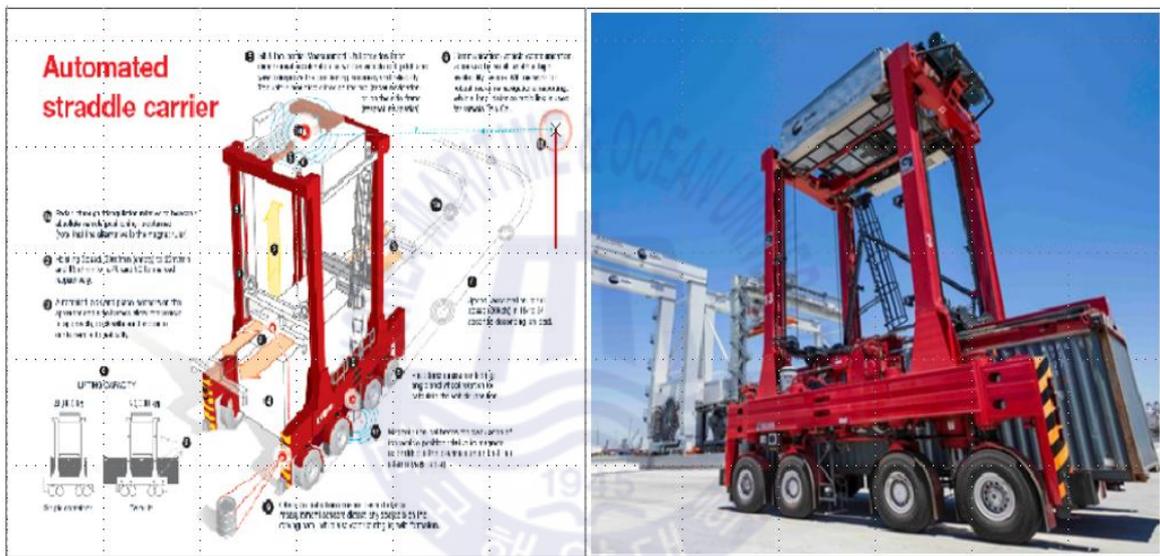
[그림 2-9] ALV (Automated Lifting Vehicle)

우리나라에서는 2008년에 국토해양부가 한국해양연구원, 한국해양수산개발원, 서호전기(주)와 공동으로 고정밀도 GPS 시스템, RFID를 이용한 위치인식, 충돌방지 시스템 등의 첨단기술을 이용한 ALV를 개발하였다. 하지만 ALV는 운영상의 유연성은 높으나 AGV와 비교시 큰 규격으로 인하여 다른 차량이나 크레인과의 충돌 등 안전사고 가능성이 높아지고 차량 간의 간섭으로 인해 교통 혼잡이 발생한다는 단점이 있어 상용화되지 못하고 있는 상황으로 부족한 부분에 대한 보완을 위해 추가적인 연구가 필요하다.

2.3.3 A-S/C (Automated Straddle Carrier, Shuttle Carrier)

S/C는 컨테이너를 싣고 이동하는 이송장비의 역할 뿐 아니라 자체적으로 컨

테이너를 싣고 내릴 수 있는 하역기능을 가진 장비이다. 기존의 다수 터미널에서 S/C는 RTGC, RMGC 등과 같이 야드 장치장 내에서 컨테이너를 내리고 싣고, 이동시키는 야드 하역장비의 역할로 많이 사용되었다. 하지만 새롭게 개장하는 자동화 터미널에서 S/C는 안벽에서 야드 장치장 입구까지 컨테이너를 이동시키는 이송장비로의 역할로 주로 활용되고 있다. 기존 이송장비인 Y/T, AGV와 비교하여 자체적으로 컨테이너를 하역할 수 있는 기능을 포함하고 있기 때문에 크레인 밑에서 작업순서를 기다려야 하는 대기시간을 줄일 수 있는 장비로서 생산성을 향상 시킬 수 있다는 장점이 있다.



자료 : <https://www.kalmarglobal.com>

[그림 2-10] S/C (Straddle Carrier)

최근에는 무인 자동화 S/C의 도입을 통해 완전 자동화터미널에 A-S/C를 운영하는 사례가 증가하고 있다. 기존의 A-S/C의 경우 AGV 방식과 유사하게 바닥에 Magnetic nails 또는 기반시설을 설치하여 그에 따라 이동하는 방식이었으나 2018년에는 ZPMC에서 AI기술을 바탕으로 하는 무인 S/C를 개발하였으며 기존에 운영 중인 S/C를 무인화로 전환하는 기술 또한 개발되어 정확도가 거의 100%에 가깝게 실현하고 있어 S/C 무인 자동화에 대한 기대가 높아지고 있다.

2.3.4 A-Y/T(Automated Yard Tractor)

야드트랙터(Yard Tractor)는 기존의 재래식 컨테이너 터미널에서 가장 많이 사용되고 있는 이송장비로 수평배치 야드 구조에서 컨테이너를 선석에서 야드 내부까지 이송하는 역할을 하고 있다. 기존의 야드트랙터(Y/T)는 유인으로 장비 기사가 탑승하여 운전하는 방식으로 긴급한 상황에 대한 대처하는 속도는 우수하지만 많은 인력이 필요하며 안전사고의 위험성이 높다는 단점이 있다.



자료 : <https://www.konecranes.com>

[그림 2-11] A-Y/T (Automated Yard Tractors)

우리나라의 재래식 컨테이너터미널과 대부분의 부분자동화터미널에서는 이송장비로 Y/T가 주로 사용되고 있으며 모두 경유를 연료로 사용하고 있어 항만 대기오염의 주요 원인으로 인식되고 있으며 이를 개선하기 위하여 교통안전공단에서는 Y/T 엔진을 개조하여 LNG를 주연료로 사용하기 위한 계획을 추진하고 있다. Y/T 연료의 LNG 전환 시, 경유대비 이산화탄소 42% 절감 및 연료비 27% 절감이 가능한 것으로 예상하고 있다.

기존 터미널의 경우 야드 내부에 Y/T와 외부트레일러가 같이 이동하기 때문에 자동화 방식을 도입하기에 많은 어려움이 있다. 이러한 부분을 보완하기 위한 자동화 이송장비 대안으로 자율주행 방식을 이용한 A-Y/T(Automated Yard

Tractor)에 대한 연구, 개발이 진행되고 있다. A-Y/T의 경우 기존의 재래식 컨테이너터미널에서 도입할 수 있는 자동화 이송장비로서 현장에서 활용할 경우 생산성 향상 및 인건비 절감 측면에서 많은 혁신적인 효과가 있을 것으로 예상된다.

하지만 A-Y/T의 도입을 위해서는 야드 내부에서 A-Y/T가 안전하게 움직이기 위한 방안, 시스템적인 인프라 구축이 우선적으로 진행되어야 한다. GPS, CCTV, 5G 등을 활용한 시스템 구축이 연구 중에 있으며 터미널 구조에 따라 GPS가 약한 지역이 발생할 수 있어 이러한 경우 터미널 내 RMGC 또는 외부 트럭과의 충돌 및 교착으로 인한 사고가 발생할 수 있다. 또한 생산성 향상을 위해서는 A-Y/T가 컨테이너 하역장비인 C/C, RMGC 아래에서 대기하는 시간을 최소한으로 줄이기 위한 최적의 배차방식과 원활한 운영을 위한 야드 폴딩 시스템 적용이 필요할 것이다.

국내에서는 2019년 부산항만공사에서 한국교통연구원과 함께 Y/T에 자율주행 기술을 접목하여 주변 인프라와 협력을 통한 운전자의 안전, 작업 효율성 제고 등 항만운영 효율을 높이기 위한 자율협력주행 야드트랙터 연구개발 추진 협약을 체결하였으며 2020년 내 시범운행 및 3~5년 내 개발 및 도입을 완료하기 위하여 기술개발을 진행 중에 있다.

2.4 선행연구 고찰

2.4.1 컨테이너터미널 자동화에 대한 연구

양창호 등(2000)의 연구에서는 자동화 터미널에 대한 경제적 타당성 분석을 수행하였다. 5만톤급 컨테이너선 4선석을 기준으로 자동화 터미널의 전체 공사비가 재래식 터미널 대비 약 6.2% 정도 많이 소요되는 것으로 나타났으며 특히 장비구입비는 자동화 터미널이 재래식 터미널 대비 약 14% 정도 더 투자비용이 필요한 것으로 산정되었으나 인건비가 재래식 터미널 대비 46% 수준으로 연간 약 214억원의 인건비 절감효과가 나타났다. 연간 운영비 전체기준으로는 자동화 터미널이 재래식 터미널 대비 약 25% 정도 절감되는 것으로 나타났으

며 연간비용 기준으로 터미널 개장 11년 이후부터는 자동화 터미널이 더 효율적인 것으로 보여진다.⁷⁾

하태영 등 (2004)은 수직배치형 컨테이너터미널의 운영에 있어서 안벽크레인(Q/C)에 대한 하역생산성을 비교분석 하였다. 서로 상이한 작업방식과 싸이클타임을 가지는 4가지 유형(싱글, 듀얼, 더블, 수직순환식)의 안벽크레인에 대한 생산성 비교분석 결과 기계적 생산성은 더블트롤리, 수직순환식, 듀얼, 싱글 순으로 생산성이 우수하였으며 순작업 생산성은 장비의 효율성 측면과 하역시스템 측면에서 더블트롤리와 수직순환식이 거의 동일한 수치를 나타냈다.⁸⁾

정지현과 이동석(2010)은 컨테이너 크레인의 자동화는 항만운영시스템의 효율성을 향상시키는 중요한 요인으로 항만자동화를 통한 효율성 제고를 위해서는 야드 크레인(RMGC, RTGC)의 화물 처리능력 향상을 위한 기술을 개발이 필요하다고 하였다. RTGC는 야드에서의 특별한 기반시설 없이도 장비운용이 가능하다는 장점을 가지고 있으나 타이어에 의해 이동하기 때문에 정확한 경로 및 위치검출에 고도의 계측기술 및 위치제어가 필요하다.⁹⁾

최상희와 하태영(2006)은 컨테이너터미널의 야드 배치 및 형태별 생산성 분석을 통해 수평배치 컨테이너터미널, 수직배치 컨테이너터미널, 굴입식 형태의 컨테이너 터미널에 대한 생산성을 도출하였고, 배치형태에 따른 생산성을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 컨테이너터미널의 야드 배치, 형태별 시뮬레이션 결과 굴입식 안벽 수평 배치가 가장 높은 생산성을 보였으며 수평배치가 두 번째로 우수하고 수직배치가 안벽에서의 물량이 증가될수록 많은 생산성 격차를 보이는 것으로 나타났다.¹⁰⁾

홍정욱(2018)은 4차 산업기술 도입으로 항만 작업 프로세스에 대한 정형화,

7) 양창호, 김영훈, 최상희 외2명, A Study on the System Design and Operations of Automated Container Terminal, 한국해양수산개발원, 2000, pp. 314~332

8) 하태영, 최용석, 김우선, 컨테이너 터미널의 차세대 안벽크레인 생산성 비교분석, 한국항해항만학회, 2005, pp. 297~302

9) 정지현, RTGC의 모델링 및 주행제어기 설계에 관한 연구, 부경대학교 박사학위논문, 2011.8

10) 최상희, 하태영, 컨테이너터미널의 야드배치 형태별 생산성 분석에 관한 연구, 한국해양수산개발원, 2006

무인화, 자동화를 통하여 작업효율 향상 및 시간과 비용절감이 기대된다. 또한 친환경 항만 구성 및 안전사고 예방 등 물류산업 외적인 부분까지 항만경쟁력에 영향을 미치고 있어 우리나라의 항만의 미래경쟁력을 갖추기 위해서는 스마트항만의 도입 및 우리나라의 독자적인 스마트항만 기술 개발이 필요하다. 또한 스마트 항만 건설이 끝이 아니라 이를 거점으로 다양한 사업 비즈니스를 발전시켜 나가야 한다.¹¹⁾

이언경과 이수영(2019)은 세계 주요 선진항만들은 완전자동화 뿐만 아니라 4차 산업혁명 기술을 접목시켜 해운, 항만, 내륙물류 정보를 실시간 연계하는 스마트 항만을 추진하고 있다. 이에 반해 우리나라는 항만물류분야의 4차 산업혁명 기술 도입이 미흡한 수준이다. 우리나라 항만이 4차 산업혁명 기술을 통한 스마트 항만으로 도약하기 위해서는 플랫폼 기반 비즈니스 모델의 구축과 스마트항만에 필요한 정보기술 개발 및 관련 법, 제도의 정비, 디지털 시대의 새로운 문화와 윤리 확립이 필요하다.¹²⁾

[표 2-3] 컨테이너터미널 자동화에 대한 연구

구분	연구내용
양창호, 김영훈, 최상희 외(2000)	<ul style="list-style-type: none"> • 자동화 컨테이너터미널에 대한 경제적 타당성 분석 수행 및 자동화 터미널과 재래식 터미널의 경제적 효과 비교
하태영, 최용석, 김우선(2004)	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 안벽크레인 방식에 대한 하역생산성 비교분석 • 더블트롤리, 수직순환식, 듀얼트롤리, 싱글트롤리 순으로 생산성 높음
정지현, 이동석 (2010)	<ul style="list-style-type: none"> • 야드 하역장비에 대한 자동화가 가장 발전 • 항만자동화를 통한 효율성 제고를 위한 야드크레인(RTGC)의 주행제어계 설계문제에 대해 고찰

11) 홍종욱, 스마트항만 도입 결정요인과 성과에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문 2018.2

최상희, 하태영 (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • 컨테이너터미널의 야드 배치 및 형태별 생산성 분석 • 굴입식 안벽, 수평배치, 수직배치의 순으로 생산성이 높게 나타남
홍종욱(2018)	<ul style="list-style-type: none"> • 4차산업 기술을 바탕으로 한 스마트항만 시대 • 스마트항만 도입과 형태, 효과 간 인과관계에 대한 실증 분석
이연경, 이수영 (2019)	<ul style="list-style-type: none"> • 우리나라 항만이 4차 산업혁명 기술을 이용한 스마트항만으로 도약하기 위한 방안 연구 • 정보기술 개발 및 관련 법, 제도의 정비 필요

2.4.2 자동화 도입시 고려 요인에 대한 연구

최상희 등 (2017)은 완전무인 자동화터미널로 항만물류의 경제성, 친환경성, 생산성을 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 전망하였다. 자동화를 도입하는 가장 핵심적인 요소 중의 하나는 비용절감과 생산성과 같은 서비스 향상이라 할 수 있다. 완전무인 자동화터미널은 기존 터미널에 비해 인건비와 동력비 등 운영비를 37% 이상 줄일 수 있고 생산성을 40% 가까이 향상시킬 수 있어 최근 등장하고 있는 2만TEU급 이상의 초대형선을 서비스하기 위한 필수조건으로 인식되고 있다. 또한 기존의 항만에서는 대다수의 장비가 디젤연료를 사용하고 있으나 완전무인 자동화터미널은 배터리 방식의 AGV와 전기 동력의 친환경 하역장비를 사용함으로써 항만 내 오염물질 발생을 최소화 할 수 있다.¹³⁾

전영환(2008)은 자동화 컨테이너터미널의 개념과 적용기술은 무엇이며, 어떠한 방식으로 운영되고 있는지 그리고 국내와 국외에 운영되고 있는 자동화 컨테이너터미널이 어떻게 계획되었으며 개발의 주체는 누구이며 그 역할은 무엇인지에 대한 내용분석을 기반으로 우리나라 자동화 컨테이너터미널 발전을 위

12) 이연경, 이수영, 4차 산업혁명시대 국내 스마트항만 수준 측정과 비교분석, 한국해운물류학회 제35호 제2권, 2019.6, pp. 323~348

13) 최상희, 이연경, 강무홍, 4차 산업혁명의 첨병!, 로보틱스스마트 항만이 현실로, KMI 동향분석 제31호, 한국해양수산개발원, 2017

해서 어떤 기관이 주체가 되어야하며 그 역할이 무엇인지에 대해 AHP 분석기법을 활용하여 연구하였다. 그 결과 자동화 컨테이너터미널의 발전을 위해서 주체가 되어야 하는 기관은 공공기관, 연구기관/학교, 산업체, 민간단체 순으로 중요하며, 공공기관에서 수행해야 하는 세부요인은 정책지원과 재정지원, 산업체에서는 기술개발, 연구기관/학교에서는 연구개발, 민간단체에서는 정책개발이 중요한 요소로 나타났다.¹⁴⁾

정권재(2019)는 컨테이너터미널 자동화와 관련하여 터미널 운영사와 기항 선사들의 입장에서 터미널 자동화가 필요한 이유에 대한 인식 차이를 연구하였다. 자동화 터미널은 기존의 터미널보다 생산성 향상, 서비스 향상, 자동화 기술축적, 비용 절감 등에서 경쟁력이 있으며 이는 터미널을 이용하는 고객에게 정시성, 신속성, 경제성을 제공할 수 있다는 기대를 하고 있는 것으로 판단된다. 그리고 안전성 요인에 대해서는 인식 차이를 보였는데 터미널 운영사는 터미널 자동화 도입을 통해 인적오류 예방 및 작업자 피로도 개선을 통한 터미널 내 안전사고 발생률이 현저히 낮아질 것으로 기대하지만, 선사는 터미널 자동화 시스템의 오류에 의한 터미널 작업 중단이 선박 출항 지연 등에 영향을 미칠 것을 우려하는 것으로 나타났다. 그리고 터미널 운영사는 사이버 보안이 향상될 것으로 기대하지만, 선사는 외부에서의 해킹 또는 내부의 시스템 오류 및 충돌 등의 자동화 시스템에 대한 내·외적인 요인에 의한 터미널 작업 지연 및 중단을 우려하는 등의 차이가 있는 것으로 판단된다.¹⁵⁾

최형림 등(2005)은 해외 선진 자동화 컨테이너터미널들의 현황과 자동화 장비, 운영의 특성 및 자동화 터미널 개발을 위해 추구한 전략을 분석하였다.¹⁶⁾ 해외 선진 터미널들이 완전자동화를 도입하게 된 주요원인은 생산성 향상에 대한 압박, 인건비 절감에 대한 압박, 안전성 확보, 자동화 기술 선점으로 요약할

14) 전영환, 우리나라 자동화 컨테이너터미널 발전을 위한 핵심요인 분석에 관한 연구, 동아대학교 박사학위논문, 2008

15) 정권재, 컨테이너 터미널 자동화에 대한 터미널 운영사와 선사들의 인식 차이 연구, 한국해양대학교 석사학위논문, 2019.2

16) 최형림, 유동호, 박남규 외 2명, 자동화 컨테이너터미널 개발 전략에 관한 연구, 한국해운물류학회, 2005.12, pp. 59~78

수 있다. 이를 국내 자동화 컨테이너터미널 개발에 이용한다면 국내환경에 적합한 방식으로 자동화 터미널을 개발할 수 있을 것이며 터미널 경쟁력을 강화할 수 있는 기회가 될 수 있을 것이다.

박남규와 최형림(2004)은 자동화 컨테이너터미널 운영 목표를 객관적으로 설명하기 위해 AHP 방법을 사용하였으며 운영목표를 도출하기 위한 요인으로 ‘초기투자비 절감’, ‘운영비 절감’, ‘자동화시스템 성능 향상’, ‘운영효율화 및 생산성 향상’, ‘고객서비스 제고’를 선정하였다.¹⁷⁾ 운영목표 요인에 대한 설문조사를 바탕으로 AHP 분석결과 전체적으로는 ‘운영비 절감’이 가장 중요한 운영목표로 나타났으나 설문조사 대상을 구분하면 운영자 측면과 이용자 측면에서 나타나는 운영목표의 중요도에 큰 차이가 발생함을 알 수 있었다. 운영자 측면에서는 ‘운영비 절감’이 가장 중요한 운영목표로 나타났으며 이용자 측면에서는 ‘고객서비스 제고’가 가장 중요한 운영목표 나타났다.

유지원와 김율성(2019)은 컨테이너터미널 자동화에 대한 주체별 인식차이를 분석하고자 개발 및 운영주체(항만공사 및 정부 기관), 운영 주체(운행사, 항운노조), 이용 주체(해운선사)를 중심으로 설문조사를 실시하고 그 결과를 분석하기 위하여 일원배치 분산분석을 수행하였다.¹⁸⁾ 분석결과 자동화 도입은 생산성 향상과 물류비용 절감을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 일자리 감소 등의 우려도 상존하고 있어 항운노조와의 갈등을 최소화 하려는 방안 마련이 필요하다.

원승환과 조성우(2020)는 전 세계적인 컨테이너터미널의 자동화 현황 및 자동화 기술을 정리하고 자동화로 인한 특징을 운영, 안전.보안, 환경.지속가능성, 경제.재무 관점으로 구분하였다. 자동화 컨테이너 터미널의 장비 관련 기술은 야드 장비, 이송 장비, 안벽 장비로 나누어 설명하고, 운영 관련 기술은 개체 식별, 위치 및 교통 통제시스템, 터미널 운영시스템, 시뮬레이션, 예외 관리, 운

17) 박남규, 최형림, AHP기법을 활용한 자동화 컨테이너터미널의 운영 목표 설정에 관한 연구, 한국해운물류학회, 2004.3, pp. 113~129

18) 유지원, 김율성, 컨테이너터미널 자동화 필요성에 대한 관련 주체별 인식차이 연구, 한국항해항만학회, 2019, pp. 216-217

영 유지보수로 나누어 설명하였다. 컨테이너터미널의 자동화를 성공적으로 구축하기 위해서는 기술숙성도, 사회적 수용성, 경제성을 모두 충족시켜야 한다.¹⁹⁾

유지원(2019)은 기존연구들은 주로 국내 항만의 경쟁력 제고를 위하여 컨테이너터미널 자동화의 생산성과 경제성을 고려한 연구 위주였기에 이 연구에서는 개발주체, 운영주체, 그리고 이용주체를 대상으로 연구모형을 설정하고 검증하였다.²⁰⁾ 선행연구를 바탕으로 외생변수는 비용, 생산성, 자동화 기술축적, 안전성, 서비스 향상과 내생변수를 성과향상, 만족도 향상으로 선정하여 SPSS, AMOS를 사용하여 구조방정식 모형을 활용하여 도출된 요인의 인과관계 결과를 검증하였다.

[표 2-4] 자동화 도입시 고려요인에 대한 연구

구분	연구내용
최상희, 이연경, 강무홍(2017)	<ul style="list-style-type: none"> • 완전무인 자동화터미널로 항만물류의 경제성, 친환경성, 생산성을 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 전망 • 자동화 도입으로 인건비, 동력비 등 운영비 37% 절감, 생산성 40% 증가, 오염물질 발생 최소화
전영환(2008)	<ul style="list-style-type: none"> • 자동화 컨테이너터미널 개발의 주체 및 역할에 대한 분석을 위해 AHP기법을 활용 • 자동화터미널 개발의 주체가 되어야 하는 기관은 공공기관, 연구기관, 산업체, 민간단체 순서
정권재(2019)	<ul style="list-style-type: none"> • 컨테이너터미널 자동화와 관련하여 터미널 운영사와 기항선사들의 입장에서 터미널자동화가 필요한 이유에 대한 인식차이를 연구 • 생산성 향상, 서비스 향상, 자동화 기술축적, 비용절감 등에서 경쟁력이 있는 것으로 기대

19) 원승환, 조성우, 컨테이너 터미널 자동화 기술 동향에 관한 연구, 중앙대학교 한국전자무역연구소, 2020, pp. 1-22

20) 유지원, 컨테이너터미널 자동화 도입선정 모형연구, 한국해양대학교 석사학위논문, 2019

<p>최형림, 유동호, 박남규(2005)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 해외 선진 자동화컨테이너터미널의 유형 및 특성을 파악하고 자동화터미널 유형 결정요인을 분석 • 해외 터미널들이 완전자동화를 추진하는 원인: 생산성, 인건비절감, 안전성확보, 자동화 기술 선점
<p>박남규, 최형림, (2004)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 자동화 컨테이너터미널 운영목표를 객관적으로 설명하기 위해 AHP방법을 사용 • 운영목표를 도출하기 위한 요인으로 '초기투자비 절감', '운영비 절감', '자동화 시스템 성능향상', '운영 효율화 및 생산성향상', '고객서비스 제고'를 선정
<p>유지원, 김울성 (2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 컨테이너터미널 자동화에 대한 주체별 인식차이를 분석하고자 개발 및 운영주체(항만공사 및 정부기관), 운영주체(운영사, 항운노조), 이용주체(해운선사)를 중심으로 설문조사 실시 및 일원배치 분산분석 수행 • 자동화 도입은 생산성향상과 물류비용 절감을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 일자리 감소 등의 우려도 상존하고 있어 항운노조와의 갈등을 최소화하려는 방안 마련이 필요
<p>원승환, 조성우 (2020)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 컨테이너터미널의 자동화 현황 및 자동화 기술을 정리하고 자동화로 얻을 수 있는 특징을 운영, 안전·보안, 환경, 지속가능성, 경제·재무 관점으로 구분 • 컨테이너터미널의 자동화를 성공적으로 구축하기 위해서는 기술숙성도, 사회적 수용성, 경제성을 만족
<p>유지원(2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 컨테이너 터미널 자동화의 도입을 통해 생산성 향상과 기술력 확보 및 질 높은 서비스의 제공 필요 • 이러한 노력을 바탕으로 향후 항만사고 건수 감소, 불특정 대기시간 감소, 효율적 자원이용, 운영비 절감, 처리 물동량 증가 등의 성과향상을 기대

2.4.3 이송장비 자동화에 대한 연구

컨테이너터미널에서 이송장비는 컨테이너를 야드에서 안벽까지 이동할 수 있도록 하는 역할로 생산성을 향상시키기 위한 중요한 역할을 하고 있다. 이송장비는 컨테이너터미널 운영 인력 중 가장 많은 인원이 필요한 장비 직무로 인건비 절감을 위하여 자동화에 대한 연구와 개발이 지속적으로 이루어지고 있다.

차상현과 노창균(2018)은 컨테이너터미널을 보다 효율적으로 운영하고 생산성을 높이기 위하여 터미널 장비의 실시간 위치와 상태확인 필요하며 항공 산업과 차량, 해상장비의 추적 및 위치 파악 기술에 사용되는 Differential Global Positioning System(DGPS)의 도입에 대한 효과를 분석하였다.²¹⁾

위의 연구에서는 국내 수동 컨테이너터미널과 DGPS를 이용하고 있는 중동의 자동화 컨테이너터미널을 비교하여 자동화 시스템의 구성요소와 기능을 살펴보고 실제로 운영되는 기존 야드 이송장비 시스템과 야드 이송장비 자동화 시스템을 비교 분석하였다. 이송장비의 정확한 위치를 파악함으로써 가장 적합한 위치의 장비에 야드 블럭을 할당함으로써 터미널 운영의 효율성을 높일 수 있다. 최적의 자동화 이송장비 시스템을 이용하여 컨테이너터미널의 생산성 및 이송장비의 효율성을 좀 더 높일 수 있다는 걸 알 수 있었다.

김우선과 최용석(2006)은 컨테이너터미널 내부에서 대량의 컨테이너를 이송하는 고효율, 고생산성의 이송차량 개발을 위해 기존의 컨테이너터미널 이송차량의 기술 대안을 분석하고 각 이송장비별 사이클 타임을 분석하여 대기 및 작업시간을 최소화할 수 있는 차세대 이송차량 모델 대안을 개발하고 사이클 타임 절감효과를 산정하였다.²²⁾ 대안 개발을 위하여 Y/T, S/C, SHC, AGV 등의 이송장비에 대한 기술적 사양을 분석하고 대기시간, 작업시간을 최소화하기 위해 자가하역기능을 보유한 이송장비를 대안으로 제시하였다.

21) 차상현, 노창균, 컨테이너터미널에서 야드 이송장비 자동화 적용방안에 관한 연구, 한국항해항만학회지 제42권 제3호, 2018.6, pp. 217~226

22) 김우선, 최용석, 고생산성 컨테이너 이송차량 모델 연구, 한국항해항만학회지, 2006, pp. 691~697

정승호와 임동석(2011)은 S/C 방식은 주로 컨테이너의 하역작업을 위해 사용되었으나 최근에는 이송장비로서 사용 중에 있으며 하역기능을 수행할 수 있어 Y/T, AGV보다 효율적이라고 하였다.²³⁾ 경제성 분석 결과에서도 AGV, Y/T 보다 S/C가 장기간 사용시 더 효율적이다.

배효영 등 (2007)은 AGV와 ALV의 차량대수별 CC 생산성을 비교하였다. 차량대수가 적을 때는 ALV가 우수하나, 차량대수가 많아질수록 AGV, ALV의 차이가 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있다. ALV는 차량대수가 늘어남에 따라 ALV간의 간섭이 심화되어 생산성 향상 효과가 낮아짐으로 간섭을 해소하기 위한 방식에 대한 연구가 필요하다.²⁴⁾

차상현과 노창균(2014)은 컨테이너터미널의 생산성 향상을 위하여 특정 선석 크레인에 야드트랙터를 고정으로 할당하는 방식에서 다수 선석크레인에 야드트랙터가 적절하게 분산 할당되는 방식으로 처리하는 Pooling System으로 전환하게 되면 터미널 생산성과 Y/T의 가용성을 높일 수 있다. 컨테이너터미널에서 생산성 향상을 위해 이송장비 운영을 더 효율적으로 할 수 있도록 Y/T Pooling System의 알고리즘을 제시하고 실제로 컨테이너터미널에 적용하여 Non Pooling System과 Pooling System 생산성을 비교 제시하였다.²⁵⁾

박지현(2016)은 전기 AGV와 배터리 스테이션을 도입한 컨테이너 터미널에서 적용 가능한 배터리 교체 시점 결정과 배차전략에 대한 방안을 제시하였다.²⁶⁾ 기존의 AGV는 디젤 엔진으로 구동되므로 CO2 배출로 인한 환경오염이 문제가 되고 있지만, 전기 AGV는 전기 배터리로 운행하기 때문에 오염 물질을 배출하지 않는다. 전기 AGV는 배터리가 방전되기 전에 터미널 내의 배터리 스테이션

23) Jung Sung-Ho, Lim Dong-Seok, An Economic Analysis of Transportation Equipments at Container Terminals, Journal of Navigation and Port Research International Edition Vol.35, No2, 2011, pp. 167~172

24) 배효영, 최이, 박태진, 자동화 컨테이너터미널의 AGV 및 ALV 기반 이송시스템의 생산성 비교, 한국항해항만학회 제31권 제2호, 2007.12, pp. 253-254

25) 차상현, 노창균, 터미널 생산성향상을 위한 풀링시스템 최적화 알고리즘 개발 연구, 한국항해항만학회, 2014, pp. 399~407

26) 박지현, 수평형 자동화 컨테이너 터미널을 위한 AGV 배터리 교체 전략 최적화, 부산대학교 석사학위논문, 2016.8

에서 소모된 배터리를 충전된 배터리로 교체해야 하며 소모된 배터리는 다음 사용을 위해 재충전되어야 한다. 소모된 배터리를 재충전하는 데는 많은 시간이 필요하지만 완전 충전된 배터리로의 교체는 상대적으로 매우 짧은 시간 내에 이루어질 수 있다.

Yvo Saanen(2016)는 AGV와 Lift AGV, ALV 방식을 Apron size, Wheel loads, Energy consumption, Maintenance, Interaction with GC, Interaction with ARMGC, Performance and Cost 의 관점에서 비교하였으며 그 결과 Lift AGV 방식이 가장 효율적인 것으로 나타났다.²⁷⁾

Iris F. A 등(2004)는 자동화 컨테이너터미널에서 컨테이너를 선석에서 야드까지 이송하는 장비로 AGV와 ALV를 비교하였다. ALV는 자체적으로 컨테이너를 들고 내릴 수 있으나 AGV는 하역크레인의 도움이 필요하여 크레인을 기다리는 대기시간이 소요된다. 연구결과 하역 생산성에서는 AGV와 ALV의 큰 차이가 없었으나 동일한 수준의 생산성을 달성하기 위해서는 대기시간으로 인해 AGV가 ALV보다 약 38% 더 많은 장비대수가 필요하였다.²⁸⁾

Berry Gerrits 등(2019)는 기존의 비자동화 컨테이너터미널에서 자동화터미널, 자동화가 혼용된 컨테이너터미널로 전환하기 위한 이송장비 방법으로 A-Y/T(Automated Yard Tractors)를 제시하였다.²⁹⁾ 현재의 AGV를 도입한 자동화 터미널은 자동화 구역과 비자동화 구역이 구분되어 있다. 이 연구에서는 야드 내부를 외부트럭과 함께 이동하는 기존 컨테이너터미널의 운영방식에서 효율적으로 운영이 가능한 A-Y/T 도입을 위하여 Digital transition process를 제안한다.

27) Yvo Saanen, AGV Versus Lift AGV Versus ALV : A qualitative and quantitative comparison, www.porttechnology.org, 2016.5

28) Iris F. A. Vis, Ismael Harika, Comparison of vehicle types at an automated container terminal, OR Spectrum, 2004, pp. 117-143

29) Berry Gerrits, Peter Schuur, Igor Ilin, Mixing Automated with Non-Automated Yard Traffic in Container Terminals: a Digital Transition, 2019

[표 2-5] 이송장비 자동화에 대한 연구

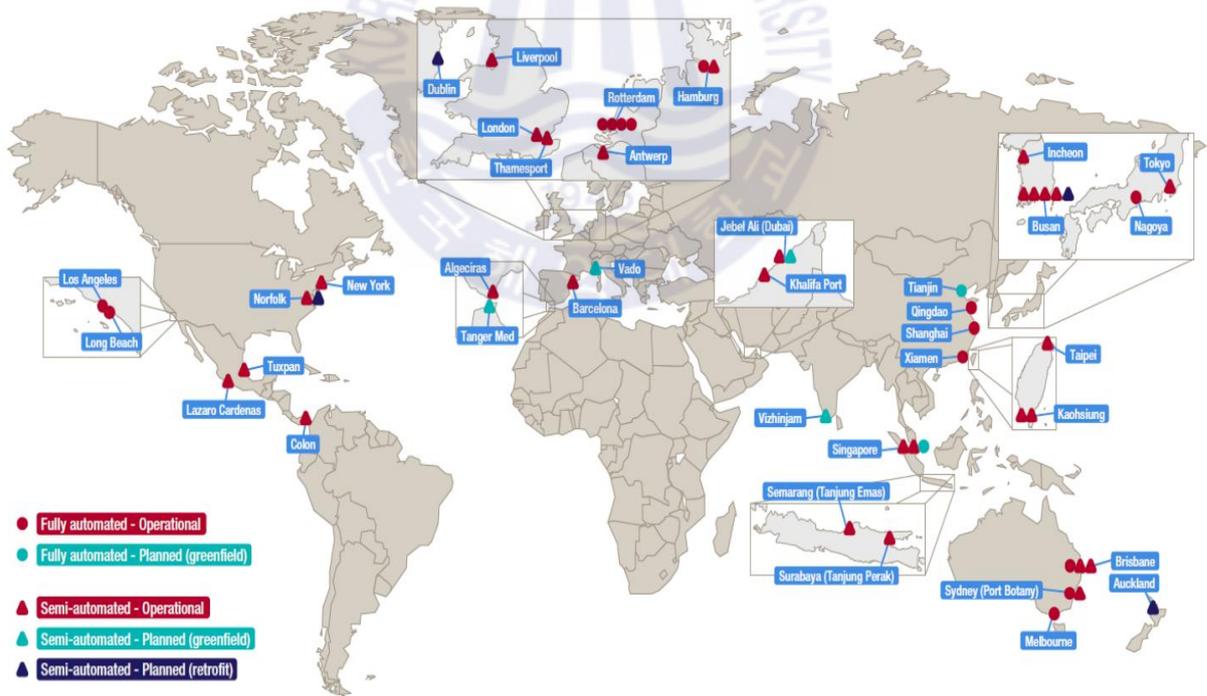
구분	연구내용
차상현, 노창균 (2018)	<ul style="list-style-type: none"> • 생산성 향상 및 이송장비의 효율성을 높이기 위해 장비의 실시간 위치와 상태확인 필요 • DGPS 기술을 활용하여 이송장비 효율성 및 생산성 향상 가능
김우선, 최용석 (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • 고효율, 고생산성의 이송차량 개발을 위해 기존 이송장비에 대한 기술적 사양 분석 • 대기시간, 작업시간을 최소화하기 위해 자가하역기능을 보유한 이송장비를 대안으로 제시
정승호, 임동석 (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • S/C 방식은 주로 컨테이너의 하역작업을 위해 사용되었으나 최근에는 이송장비로서 사용 • 하역기능을 수행할 수 있어 Y/T, AGV보다 효율적이며 경제성 분석에서도 S/C가 장기간 사용시 더 효율적
배효영, 최이, 박태진 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • AGV와 ALV의 차량대수별 C/C 생산성을 비교 • 차량대수가 작을때는 ALV가 우수하나 차량대수가 늘어남에 따라 ALV의 간섭이 심화되어 생산성이 낮아짐
차상현, 노창균 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • 컨테이너터미널 상황에 따른 적절한 작업할당 모형 및 Y/T Pooling System 방식 제시 • Y/T Pooling System의 Y/T 할당 알고리즘을 이용하여 하역 생산성 및 이송장비 효율성 향상
박지현 (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • 전기 AGV의 배터리 교체 방식이 효율적 • 배터리 스테이션을 도입하여 배터리 교체 시점 결정과 배차전략에 대한 방안을 제시

<p>Yvo Saanen, (2016)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • AGV와 Lift AGV, ALV 방식을 선석규모, 야드 연계작업, 에너지 효율, 하역장비 연계성 등의 관점에서 비교 • Lift AGV 방식이 가장 효율적인 것으로 나타남
<p>Iris F. A. Vis, Ismael Harika (2004)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 자동화 컨테이너터미널 이송장비로 AGV와 ALV를 비교 • 동일한 수준의 생산성을 달성하기 위하여 AGV가 ALV보다 약 38% 더 많은 장비대수가 필요
<p>Berry Gerrits, Peter Schuur, Igor Ilin(2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 기존의 터미널을 자동화로 전환하기 위한 이송장비 방법으로 A-Y/T 제시 • 야드 내부를 외부트럭과 함께 이동하는 기존의 터미널 운영방식에서 A-Y/T의 효율적인 운영을 위해 Digital transition process를 제안



제 3 장 자동화 컨테이너터미널 사례연구

해외 선진 컨테이너터미널의 경우 자동화 장비와 시스템이 많이 도입되어 운영되고 있다. 특히 유럽의 경우에는 높은 인건비로 인해 자동화 장비의 도입 및 개발이 활발하게 진행되어 왔으며 현재는 다수의 터미널들이 완전 무인화로 운영 중에 있다. 또한 중국 청도에서도 아시아 지역에서는 최초로 완전 자동화 터미널이 2017년에 오픈하여 운영 중에 있으며 미국, 싱가포르 등 많은 국가에서 완전자동화 터미널에 대한 개발을 진행 중에 있다. 전세계 항만을 완전자동화와 부분자동화 컨테이너터미널 로 구분하면 [그림 3-1]과 같다.



자료: Drewry Maritime Research, 2018

[그림 3-1] 완전 자동화, 부분 자동화 터미널

3.1 국내 자동화 컨테이너터미널 현황

우리나라에서는 부산 신항과 인천의 일부항만에서 자동화터미널을 운영하고 있으나 야드 운영에서만 자동화 장비를 도입하고 있는 부분자동화 컨테이너터미널 방식이 대부분이며 이송장비 또한 대부분이 수동으로 움직이는 Y/T 방식을 도입하고 있으며 부산 신항 BNCT에서만 S/C를 이송장비로 도입하여 운영하고 있다.

자동화 기술과 관련하여 2008년 신선대 부두에 최초로 도입된 ARMGC의 경우 우리나라 국내기술(현대중공업, 서호전기)을 이용하여 개발되었으나 이후 ZPMC 등 중국업체의 기술개발 및 가격경쟁력에 밀려 국내 장비산업은 쇠퇴하여 왔다. 현재는 서호전기에서 자동화와 제어분야 기술을 지속적으로 개발, 발전시키고 있으며 기존의 야드하역장비의 자동화 전환 및 신규 항만의 자동화 제어기술 수출 등을 통해 경쟁력을 높이고 있다. 현재 개발 중인 부산 신항 서컨테이너부두의 경우 국내 기술을 이용한 본선하역장비 등 완전자동화를 대비한 자동화 시스템 개발 및 도입을 준비하고 있다.

[표 3-1] 국내 자동화 컨테이너터미널 현황

항만	터미널	야드 배치	자동화 수준	안벽 장비	야드 장비	이송 장비	개장 연도
부산 신항	부산신항만 컨테이너터미널	수평	부분 자동화	수동 RMQC	ARMGC	수동 Y/T	2006
	한진해운 신항터미널	수평	부분 자동화	수동 RMQC	ARMGC	수동 Y/T	2009
	부산신항 국제터미널	수평	부분 자동화	수동 RMQC	ARMGC	수동 Y/T	2010
	현대 부산신항만	수평	부분 자동화	수동 RMQC	ARMGC	수동 Y/T	2010
	부산항신항 컨테이너터미널	수직	부분 자동화	수동 RMQC	ARMGC	수동 S/C	2012

인천 신항	선광신 컨테이너터미널	수평	부분 자동화	수동 RMQC	ARMGC	수동 Y/T	2015
	한진인천 컨테이너터미널	수평	부분 자동화	수동 RMQC	ARMGC	수동 Y/T	2015

출처 : 2017 한국해양수산개발원

3.1.1 부산항

부산항에서 자동화 장비의 도입은 2008년 신선대컨테이너터미널에서 야드 일부 블록에 자동화 야드하역장비인 ARMGC 5기를 설치하여 컨테이너의 상하차 작업을 원격으로 수행하면서 시작하였다. 2009년에 개장한 한진부산신항만(HJNC)은 2008년 야드 자동화 시스템 개발을 완료하여 개장 초기부터 무인자동화 야드크레인(ARMGC)을 이용한 운영을 시작하였으며 이후 개장한 터미널에서는 부분자동화 컨테이너터미널 방식으로 운영 중에 있다. 또한 PNIT에서는 유인으로 운영되는 RMGC방식을 무인 자동화 방식으로 전환하는 공사를 지속적으로 진행하고 있다.



출처 : <https://www.bnct.co.kr>

[그림 3-2] BNCT 야드구조 및 자동화 장비

BNCT의 경우 2012년에 아시아 최초로 수직형태 야드구조 및 S/C 기반의 자동화 컨테이너터미널을 개장하여 운영 중에 있다. 하지만 S/C의 무거운 중량으로 인한 주행로 및 관련시설의 파손이 발생하고 있으며 이로 인해 주행 성능 저하, 장비 손상 및 생산성 저하, 관리 비용 상승 등의 문제점이 발생되고 있다.³⁰⁾

부산항에서는 증가하는 물량과 세계 선진 항만과의 경쟁력 강화를 위하여 2-4, 2-5, 2-6단계에 이르는 신규항만 개발을 진행하고 있다. 현재 개발 중인 2-4, 2-5단계의 경우에는 완전자동화 컨테이너터미널로의 운영을 위하여 수직형 야드 구조를 도입할 예정이지만 개발초기에는 인력고용 등의 문제로 인해 유인이송장비 도입을 계획하고 있어 완전자동화가 아닌 부분자동화의 형태로 개발될 예정이다.

3.1.2 인천신항

2015년에 개장한 인천신항에서는 SNCT(선광신컨테이너터미널)과 HJIT (한진 인천컨테이너터미널)의 두 개의 컨테이너터미널이 운영되고 있다. 두 터미널 모두 수평형태의 야드 구조로 개발되었으며 부산항에서 검증된 자동화 야드하역 장비(ARMGC)를 도입한 부분자동화 방식으로 운영하고 있으며 이송장비로는 야드트랙터(Y/T)가 사용되고 있다.

인천신항 1-1단계는 SNCT와 HJIT 두 운영사가 1.6km의 부두를 나누어 사용하고 있어 대형 선박의 접안이 어렵고 야드 및 인력, 장비 사용의 효율성에 대한 문제가 제기되어 왔다. 인천신항에서는 이러한 문제를 해결하고 운영 효율성을 높이기 위하여 터미널을 공동으로 운영하는 합작회사를 설립하여 선석 및 야드, 장비를 공동으로 활용함으로써 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 기대하고 있다.

2025년 개장을 목표로 착공예정인 인천신항 1-2단계 컨테이너터미널은 완전

30) 전명길, 2015, SC 기반의 수직형 자동화 컨테이너터미널에 관한 연구- B사 사례를 중심으로

자동화 방식으로 운영을 준비하고 있다. 선석 하역장비는 원격으로 운영하고 자동화 이송장비로는 전기를 동력으로 하는 AGV를 도입할 예정으로 인천항만공사에서는 완전 무인자동화 컨테이너터미널 운영으로 항만생산성과 경쟁력을 높이고 운영비를 절감할 수 있을 뿐 아니라 친환경적이고 안전한 터미널 개발을 추진하고 있다.



자료:인천항만공사

[그림 3-3] 인천신항

[표 3-2] 인천신항 개발 계획

구분	총계	1-1단계(완료)		1-2단계	
		HJIT	SNCT	-	-
운영사	-	HJIT	SNCT	-	-
부두길이 (m)	3,700	800	800	1,050	350
CY면적 (천㎡)	2,220	480	480	630	210
하역능력 (TEU)	486만	105만	105만	138만	46만
개장시기	-	420m('16.3.) 380m('17.11.)	410m('15.6.) 390m('17.4.)	'30년	'40년

자료:인천항만공사

3.2 국외 자동화 컨테이너 터미널 현황

3.2.1 ECT, APM Terminal



자료 : 좌 <https://www.ect.nl>, 우 <https://www.apmterminals.com>

[그림 3-4] ECT, APM 자동화 터미널

네덜란드 로테르담항에 위치한 ECT는 1966년에 설립되었으며 1993년 6월에 세계 최초로 자동화 컨테이너터미널 DDN(Delta Dedicated North)을 개장하였으며, 물동량 증가 및 체계적인 계획에 따라 1996년에 DDE(Delta Dedicated East), 2003년에는 DDW(Delta Dedicated West)를 순차적으로 개발하였다.

ECT는 수직배열의 야드 형태를 운영하고 있으며 선측에서는 더블트롤리를 이용한 안벽크레인과 야드에서는 ASC(Automated Stacking Crane), 이송장비로는 AGV를 사용하여 자동화 컨테이너터미널을 운영하고 있다. ECT의 초기 AGV는 이동속도(4m/s)가 느려 물량이 작고 인건비가 비싼 유럽 항만에서만 사용이 가능한 장비라고 평가되었으나 현재는 8m/s 까지 이동속도가 증가하였다. 로테르담 항만은 자동화 장비와 영역에 대해 지속적인 연구를 진행하여 왔으며 현재도 차세대 자동화 항만을 개발하기 위하여 많은 투자를 하고 있다.

2015년에는 세계 최초로 안벽크레인까지 무인 자동화를 도입한 APM Terminals Maasvlakte II 터미널을 개장하여 운영 중에 있다. 원격으로 운영되

는 STS(ship-to-shore) 크레인과 배터리 방식의 Lift-AGV를 도입하였으며 AGV는 온보드 내비게이션 시스템을 이용하여 컨테이너를 선석에서 야드까지 자동으로 이송하고 있다. APM 터미널은 기술적, 환경적인 측면에서 우수한 터미널로서 특히 풍력발전을 이용하여 탄소 배출량 및 오염물질을 발생시키지 않는 친환경적인 터미널로 운영되고 있다.

[표 3-3] APM Terminals Maasvlakte II Terminal 시설 현황

구분		현황
Annual Capacity		270만TEU
Terminal Area		360,000m ²
Berth Length		1,000m
Equipment	QC (Quay Cranes)	10대
	ASC (Automated Stacking Crane)	54대
	Lift-AGV	72대

3.2.2 LA(TraPac Terminal), LBCT

세계에서 가장 강력한 항운노조로 인해 무인화가 어려웠던 미국에서도 LA(TraPac Terminal)과 LB(Long Beach Container Terminal) 터미널이 무인자동화 컨테이너터미널로 운영되고 있으며 미국으로 통하는 물량의 약 50%를 처리하고 있다. 기존 인력에 대한 원격운전 보조, 유지보수, 모니터링 등 고부가가치 항만인력으로의 전환을 통해 자동화 터미널로의 전환에 성공한 사례로 노조와의 공감대 형성과 준비에만 5년 이상의 시간을 투자하여 상호 이해와 협조를 통하여 자동화 터미널을 개발 할 수 있었다.



자료 : 좌 <https://www.trapac.com>, 우 <https://www.lbct.com>

[그림 3-5] LA(TraPac terminal), LBCT

TraPac Terminal은 북미지역 최초의 자동화 컨테이너터미널로 2015년 개장하였으며 본선 하역장비는 수동으로 운영되고 있으나 야드는 ARMGC, 이송장비는 배터리 방식의 A-S/C (Automated Straddle Carrier)를 도입하여 자동으로 운영하고 있다. 이 터미널에서는 작업 효율성 향상을 위하여 AGV 방식의 자동화 이송장비를 추가로 운영하여 AGV와 A-S/C가 함께 운영되고 있다.

[표 3-4] LA(TraPac terminal), LBCT Infrastructure

구분		LA(TraPac)	LBCT
Annual Capacity		230만TEU	330만TEU
Terminal Area		220 acres	311 acres
Berth Length		1,411m	1,280m
Equipment	STS (Quay Cranes)	10대	14대
	ASC (Automated Stacking Cranes)	40대	70대
	A-S/C / AGV	28대	72대

LBCT는 2016년에 개장하였으며 2019년까지 3단계에 걸쳐 개발된 북미지역에서 가장 앞선 기술을 보유한 친환경적인 터미널이다. 초대형 선박에 대한 하역작업이 가능한 고생산성 STS 크레인과 고성능의 야드 크레인이 운영되고 있으며 이송장비로는 배터리 방식의 AGV가 운영되고 있다.

3.2.3 VICT

오스트레일리아 멜버른에 위치하고 있는 VICT(Victoria International Container Terminal)는 2017년에 개장된 오스트레일리아 최초의 완전 자동화 컨테이너 터미널이다. VICT는 자동화 이송장비로 A-S/C 방식인 ACC (Automated Container Carriers)를 이용하고 있다. VICT의 경우 선석길이가 644m로 규모가 크지는 않지만 Neopanmax Quay Cranes 5기, Automatic container Carriers 11기, Automatic Stacking Crane 20기를 도입하여 완전 자동화 시스템으로 운영 중인 최신형 터미널이라고 할 수 있다.



자료 : <https://www.vict.com.au>

[그림 3-6] VICT 구조 및 장비

VICT는 다양한 소프트웨어 및 하드웨어 업체와 협력하여 야드 자동화 시스템, 자동화 게이트 시스템 및 차량 예약시스템을 적용 중에 있으며 이를 통해 고객에게 일관된 서비스 그리고 안전한 서비스를 제공하고 있다. 또한 항만에서 가장 위험한 작업 중에 하나인 트루스트 콘 제거 및 장착에 관련한 업무를

Automatic lashing platforms을 이용하여 자동화하기 위한 테스트 작업을 진행하고 있다.

[표 3-5] VICT Infrastructure

구분		현황
Annual Capacity		180만TEU
Terminal Area		354,000m ²
Berth Length		644m
Equipment	QC (Quay Cranes)	5대
	ASC (Automated Stacking Cranes)	20대
	ACC (Automated Container Carriers)	11대

3.2.4 QQCTN

중국 청도의 QQCTN (Qingdao New Qianwan Container Terminal)은 아시아 최초의 완전 무인자동화 컨테이너터미널이다. 2015년에 공사를 착수하여 총 6개의 선석으로 개발되었으며 2017년 5월 첫모선 작업을 시작하였다. 장치는 수직형 구조로 되어 있으며 총 7기의 더블트롤리 STS와 ASC(Automatic high speed rail crane) 38기, Lift AGV 38기를 도입하여 최신의 시설을 통한 높은 생산성을 기반으로 하는 서비스를 제공하고 있다. 이 터미널은 레이저 스캐너와 포지셔닝 시스템을 이용하여 무인 이송장비에서 컨테이너의 네 모서리를 정확하게 고정하고 이동할 수 있는 방식으로 운영되어진다. 이 기술을 통해 어떠한 어려운 상황에서도 작업이 가능하게 하여 인건비의 70%를 절감하고 효율성을 30% 향상시키는 효과를 가져왔다.



자료 : <http://www.en.qqctn.com.cn>

[그림 3-7] QQCTN 자동화 장비

QQCTN은 전기식 AGV를 운영하고 있으며 충전 필요 여부를 자체적으로 인지할 수 있는 인공지능 및 작업 중에 TP지점 정차시에 자동 충전이 가능한 방식이 도입되어 충전을 위한 별도의 시간 및 장비가 필요하지 않다. 그리고 기존 AGV의 대기시간을 줄이기 위한 상차 Platform을 운영하고 있으며 컨테이너 트위스트 콘을 자동으로 제거하고 장착하는 로봇 시스템과 사람과 장비를 구분하여 운영하는 게이트 자동화 시스템을 도입하여 안전한 터미널 서비스를 제공하고 있다.

[표 3-6] QQCTN Infrastructure

구분		현황
Annual Capacity		520만TEU
Berth Length		2,088m
Equipment	STS (Ship-To-Shore)	16대
	ASC (Automated Stacking Crane)	76대
	AGV (Automated Guide Vehicle)	83대

3.2.5 상해 양산항 4단계 터미널

중국 상해 양산항 4단계 터미널은 2017년 12월 개장하였으며 본선 하역작업에서 외부 트럭에 컨테이너를 싣고 게이트를 통과하는 반출입 작업까지 모든 과정이 자동으로 이루어지는 청도항, 샤먼항에 이어 아시아 세 번째로 개장한 완전 자동화 터미널이다.

중국 SIPG(Shanghai International Port Group)와 ZPMC(Shanghai Zhenhua Heavy Industry)가 상하이 양산도에 공동 개발한 터미널로 2.23백만㎡의 면적을 가진 세계에서 가장 큰 완전 무인자동화 컨테이너터미널이다. 총 길이 2,350m의 7개 선석(7만 톤급 2개, 5만 톤급 5개)을 가지고 있으며, 연간 화물처리능력은 초기에는 400만TEU이지만, 완전 개장 후에는 630만TEU를 처리할 계획이다.



출처 : <http://www.portshanghai.com.cn/>

[그림 3-8] 상해 양산항 4단계 터미널

양산항 4단계 터미널의 핵심기술은 중국 자체적으로 개발한 시스템으로 터미널 운영시스템은 SIPG에서, 장비제어시스템은 ZPMC에서 각각 개발하였다. 하역 크레인과 이송장비(AGV)를 모두 중국에서 생산한 제품을 사용함으로써 항만장비와 시스템 모두를 ZPMC에서 관리함에 따라 유지보수에 대한 비용과 시간을 절약하는 등 시스템 관리적인 부분에서도 장점이 있다. 현재 16대의 자동 STS(Ship-To-Shore) 크레인과 88대의 ASC(Automated Stacking Cranes), 80대

의 AGV(Automated Guide Vehicle)를 운영하고 있으며 완전 개장 시에는 26대의 STS 크레인과 120대의 ASC, 130대의 AGV로 운영할 예정이다. AGV는 완전 충전 시 12시간 운영이 가능한 배터리시스템을 사용하고 있으며, 배터리 충전과 교환을 위한 자동 배터리충전시스템도 도입하였다.³¹⁾

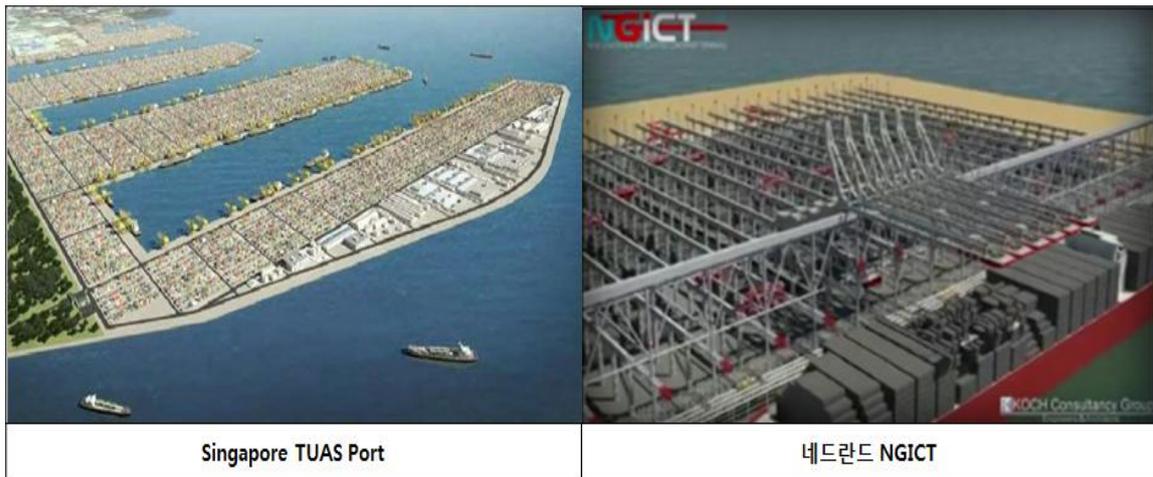
[표 3-7] 상해 양산항 Infrastructure

구분		현황
Annual Capacity (Full Build)		400만TEU (630만TEU)
Terminal Area		2,230,000m ²
Berth Length		2,350m
Equipment	STS (Ship-To-Shore)	10대
	ASC (Automated Stacking Cranes)	40대
	AGV	50대

3.2.6 개발 중인 항만

싱가포르에서는 TUAS 항만을 개발 중으로 2021년부터 단계적으로 개장하여, 2045년까지 6천5백만TEU를 처리할 수 있는 65개 선석을 모두 완전 무인 자동화시스템으로 운영할 예정이다. TUAS 항만은 자동화 이송장비로 전기식 AGV를 선정하여 발주한 상태로 공급되는 AGV는 적재하중 65톤, 최대속도 25km/h, 100% 전기 사용 및 자율주행이 가능한 장비를 운영할 계획이다. 이외에도 그린 기술, 드론기술, 선박추적 및 정시입항기술 등 스마트 기술을 동시에 실현할 계획이다.

31) Part4. 중국의 스마트항만, 물류신문
(<http://www.klnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=117886>)



자료 : 좌. <https://www.straitstimes.com>, 우. <https://ngict.eu/>

[그림 3-9] 개발 중인 항만

이외에도 항만 자동화를 넘어서는 신개념 항만개발에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 네덜란드에서 개발하고 있는 NGICT(New Generation Integrated Container Terminals)는 본선과 야드의 연결부분은 대형 오버헤드 크레인을 이용하고 야드, 이송구역은 AGV를 활용하는 방식이다. 이와 유사한 형태로 중국에서 연구중인 LMTT (Linear Motor based Transfer Technology)가 있으며 이 방식은 친환경 에너지를 활용한 터미널을 추구하는 것으로 ZPMC에서 주관하여 테스트베드를 진행하고 있다. LMTT는 AGV의 역할을 정해진 레일을 이동하는 자동화 셔틀 장비(Liner Motor Carrier)를 활용하는 방식으로 배기가스 감소 및 전기 에너지를 이용한 친환경적인 터미널 운영 방법이다. 이외에도 우리나라의 OSS 방식 및 Super Dock, Speed Port, 컨베이어 방식 등 다양한 형태의 친환경적이며 혁신적인 방안에 대한 연구가 진행되고 있다.

3.3 시사점

국내 자동화 컨테이너터미널은 부산, 인천 등 일부 항만에서 야드 자동화 장비를 도입하는 방식으로 운영되고 있다. 국외의 경우에는 네덜란드 APM터미널을 비롯하여 미국, 중국, 오스트레일리아 등에서 완전자동화 컨테이너터미널

이 운영되고 있으며 다수의 터미널들이 완전자동화 시스템은 아니지만 자동화 이송장비를 도입한 자동화터미널로 운영되고 있어 우리나라 터미널의 자동화 수준이 국외 선진항만 대비 낮은 수준임을 알 수 있었다.

자동화 컨테이너터미널을 이송장비 기준으로 구분하면 [표 3-8]과 같다. 완전자동화 컨테이너터미널의 경우에는 10개 터미널에서 AGV 방식을 도입하고 있으며 4개의 터미널에서 A-S/C 방법을 도입하고 있다. 부분자동화 컨테이너터미널에서는 15개 터미널이 Y/T를 이송장비로 도입하고 있으며 11개 터미널이 유인 S/C 를 이송장비로 운영하고 있다. 새롭게 개발되는 완전자동화 터미널에서는 AGV 방식이 많이 적용되고 있으나 부분자동화 터미널의 경우에는 기존의 재래식 터미널 방식에서 자동화 장비를 도입한 경우가 많이 있기에 기존에 운영하고 있는 Y/T를 이송장비로 사용하는 경우가 많았다.

[표 3-8] 자동화 이송장비 도입현황

구분	AGV	A-S/C	S/C	Y/T
완전자동화	10	4	-	-
부분자동화	-	-	11	15

해외 선진 컨테이너터미널의 사례를 보면 자동화 범위 및 운영방식에 따라 자동화 이송장비의 종류가 상이하게 도입되고 있는 것을 알 수 있었다. 이에 우리나라 컨테이너터미널의 자동화 개발에 있어 자동화 수준에 따른 이송장비의 선정에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

제 4 장 자동화 이송장비 도입을 위한 실증분석

4.1 자동화 이송장비 개요

4.1.1 자동화 장비 도입시 고려요소

선행연구를 통해 컨테이너터미널에서 자동화 장비를 도입하기 위해서 고려해야 하는 여러 가지 요소들에 대해 알아보았다. 다양한 선행연구를 통해 터미널 운영자 측면과 장비제조업체, 정부의 측면, 그리고 터미널을 이용하는 고객의 측면에서 입장의 차이에 따른 다양한 요소들을 도출할 수 있었다. 이렇게 도출된 요소들 중에서 경제성, 생산성, 안전성, 서비스 향상을 자동화 장비 도입을 위해 고려해야 하는 평가요인으로 선정하였으며 각각의 요인들에 대한 세부요소들을 아래와 같이 고려하였으며 관련내용은 [표 4-1]과 같다.

경제성은 비용적인 측면을 나타내는 것으로 장비구입비, 시설투자비, 운영비로 구분된다. 장비구입비는 자동화 장비의 구입하기 위한 비용으로 이는 장비의 종류와 운영방식에 따른 장비 소요대수를 함께 고려하여야 하며, 시설투자비는 자동화 관련 토목공사 비용과 장비 운영을 위한 센서 및 레이더 등의 설비비용을 포함한다. 운영비는 유류, 전기 등 동력비와, 장비의 정비비용 등 유지보수비 그리고 인력감소에 따른 인건비 절감효과를 포함하는 하는 것으로 정의하였다.

생산성은 이송장비의 이동속도, 이동거리를 고려한 이송장비 생산성과 컨테이너의 하역작업에 소요되는 시간 및 작업 효율성에 이송장비가 미치는 영향을 의미하는 하역생산성, 이송장비와 하역장비와의 연계를 통한 운영 및 야드, 장치장 활용에 대한 효율성을 의미하는 야드 효율성으로 정의하였다.

안전성은 컨테이너를 하역, 이송하는 과정에서 발생하는 장비의 추돌 및 교

착 등의 안전사고 발생 건수를 줄이기 위한 안전사고 예방에 대한 부분과 사고 등 긴급한 상황이 발생하는 경우에 신속하고 원활한 대처가 가능한지에 대한 유연성, 그리고 자동화 시스템의 오류 및 전산 문제 발생에 대한 위험성 정도를 의미하는 시스템 오류로 구분하였다.

서비스 향상은 컨테이너터미널 운영에 있어서 고객이 요구하는 항만 서비스가 적절하게 수행될 수 있는지 또는 제공하는 서비스가 그 목적에 적합한지를 의미하는 고객 만족도와 전기 동력 이용 및 온실가스 배출 감소를 통한 친환경적인 측면, 그리고 스마트 항만으로의 발전 및 미래의 항만 기술의 도입 등을 고려한 미래적합성으로 정의하였다.

[표 4-1] 자동화 장비 도입시 고려요인

평가요인	세부요소	내용 설명
경제성	장비구입비	장비대수를 고려한 이송장비를 구입하기 위해 필요한 비용
	시설투자비	각 이송장비를 원활하게 운영하기 위한 토목공사 및 기초설비 비용
	운영비	유류, 전기 등 동력비 및 정비 등 유지보수비, 인건비 절감 효과
생산성	이송장비생산성	이송장비 속도 및 이동거리를 고려한 이송장비 생산성
	하역생산성	이송장비로 인한 하역작업 생산성
	야드 효율성	하역장비와 연계한 이송장비의 운영 및 야드, 장치장 활용에 대한 효율성
안전성	안전사고 예방	충돌, 교착으로 인한 사고 및 컨테이너에 대한 훼손 등 안전사고 발생건수 감소
	유연성	긴급한 상황 발생시에 신속한 대처
	시스템 오류	자동화 시스템의 오류 및 전산 문제 발생에 대한 위험성

서비스 향상	고객만족도	터미널 서비스에 대한 내·외적인 품질, 고객의 서비스 만족도
	친환경	전기 동력 활용 및 온실가스 배출감소 등 친환경적 운영
	미래 적합성	스마트 항만 및 미래 항만 기술에 대한 미래 적합성

4.2 AHP 분석

4.2.1 개념

AHP(Analytic Hierarchy Process)는 1980년대 초에 Thomas Saaty에 의해 개발된 의사결정방법으로 최종 목표, 평가요인, 상세요소 등 다수의 기준 하에서 평가되는 다수의 대안들의 상대적 중요도와 우선순위를 정하기 위한 의사결정을 지원하는 방법이다. 정량적인 분석이 어려운 의사결정 분야에 대해 관련 분야의 전문가들의 정성적인 지식을 이용하여 내린 주관적인 판단을 종합하여 경쟁되는 요소의 중요도를 구하여 대안을 선정할 수 있도록 하는 계층화 분석법이다.

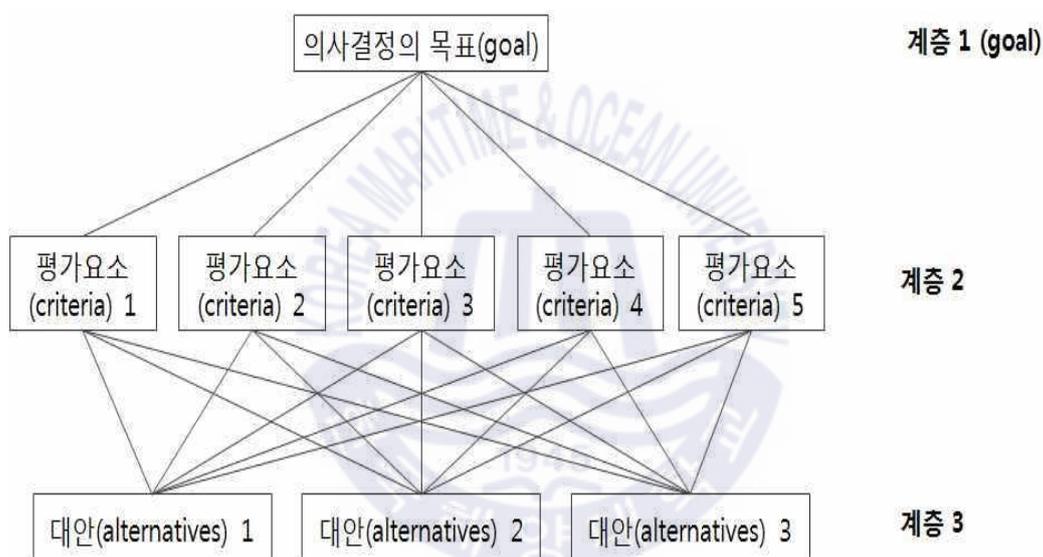


[그림 4-1] AHP 단계

AHP에 의한 분석방법은 1) 계층(Hierarchy)구조 수립 2) 쌍대비교 행렬 작성 3) 비교요인들에 대한 상대적 중요도 또는 가중치 측정 및 일관성 검증 4) 대안의 속성별 선호도 합산을 통한 최적의 대안 선택으로 설명할 수 있다. 구성요소들 사이의 관계를 표현하기 위하여 계층구조를 형성하며, 각 계층내의 요

소들의 상대적 중요도를 ‘쌍대비교(Pair-wise Comparison)’에 의한 측정 방식을 통해 평가자의 지식, 경험 및 직관을 통해 궁극적으로 최종대안에 대한 가중치와 우선순위를 구하는데 목적이 있다.

첫째 단계는 문제의 정의, 목표 설정 및 계층 구조 수립이다. 전문가 집단의 조사를 통해서 목표를 명확히 하고 목표달성을 위한 평가요인들을 도출한 뒤, 최상위 계층1에는 최종 목표를 나타내고, 그 다음 계층2에는 목표 달성에 영향을 미치는 평가요인들을 나타내며 계층3은 계층2에 영향을 미치는 세부요소들로 구성한다.



출처 : Saty, T. L. (190). How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 48(1), 14

[그림 4-2] AHP분석 의사결정문제의 계층구조화

두번째 단계는 각 요소 간의 쌍대비교 행렬을 작성하는 것으로 w_1/w_1 는 A1 자신에 비교한 것으로 그 값은 1이고 w_1/w_2 은 A2에 비교한 A1의 심각정도를 나타낸 값이고 w_1/w_n 은 An에 비교한 A1의 쌍대비교 값을 의미한다.³²⁾ n개의 평가요소들 간의 쌍대비교값을 정방행렬로 나타내면 [표 4-2]와 같다.

32) <https://lans.tistory.com/867> 계층화 분석법(AHP)이란

[표 4-2] 정방행렬

요인	A1	A2	A3	...	An
A1	1	w_1/w_2	w_1/w_3	...	w_1/w_n
A2	w_2/w_1	1	w_2/w_3	...	w_2/w_n
A3	w_3/w_1	w_3/w_2	1	...	w_3/w_n
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
An	w_n/w_1	w_n/w_2	w_n/w_3	...	1

세번째 단계는 쌍대비교를 통해 구한 행렬로부터 각 요인별 중요도를 산정하고 일관성 여부를 검증하는 단계이다. 계층구조의 각 요소 간의 쌍대비교를 통해서 상대적 중요도를 설정하는 것으로 평가요소 A1, A2, ..., An 간의 상대적인 중요도(가중치 w_i)를 쌍대비교를 통해 구할 수 있다. 예를 들어서 A1이 A2보다 3배 중요하다면 $w_1/w_2 = 3$ 으로 비교하는 것으로 일반적으로 1에서 9까지 사이의 점수를 사용하는 9점 척도를 사용한다.³³⁾

[표 4-3] 쌍대비교 척도

중요도	정의	설명
1	동일	A와 B의 중요도가 동일
3	조금 중요	A가 B보다 조금 더 중요함
5	보통 중요	A가 B보다 보통 이상으로 중요함
7	매우 중요	A가 B보다 매우 중요함
9	절대 중요	A가 B보다 절대적으로 중요함
2,4,6,8	위 값들의 중간 값	위 비교 값의 중간값에 해당

33) 김종열, 최민철, A Comparative Study on the Location of grade 1,2,3 Automotive Repair Shops, 한국정보통신학회논문지, 2014, pp. 973-985

일관성 검증은 전문가 집단이 주관적으로 판단한 요소간의 중요도가 얼마나 신뢰성 있고 일관성 있게 응답 하였는지 여부를 확인하기 위한 것이다. 일관성 여부 검증은 일관성지수(Consistency Index)를 난수지수(Random Index)로 나눈 값을 일관성 비율(Consistency Ratio)로 판단하며 일관성 비율이 10%이내의 경우에만 쌍대 비교 행렬의 일관성을 인정하였다.

$$C.R = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \cdot \frac{1}{R.I.}$$

[표 4-4] 난수지수(Random Index)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

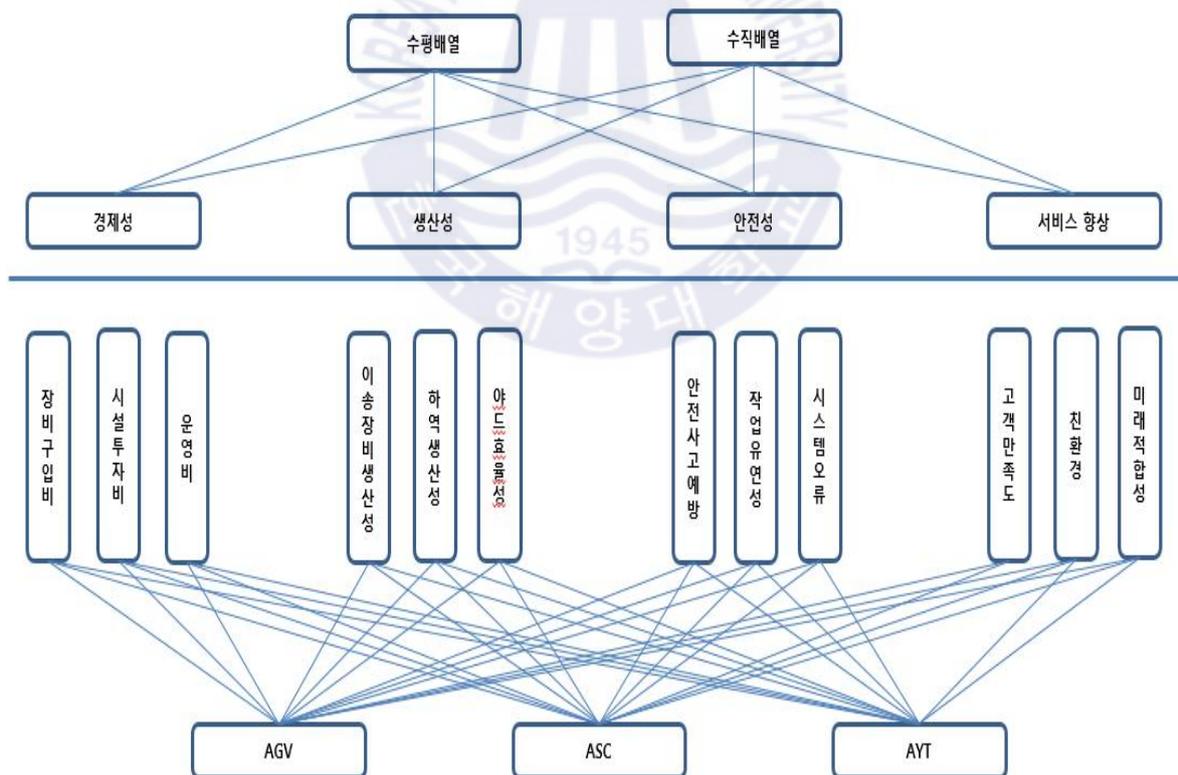
4.2.2 연구모형의 설계

AHP의 첫 단계로 우선 평가하고자 하는 문제와 관련된 요소들을 선정하고 각각의 평가요소들에 대한 기준을 확실히 규정하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 컨테이너터미널에서 자동화 이송장비를 도입하기 위한 상위기준을 선행연구에서 다양하게 제시된 요인들 중에서 경제성, 생산성, 안전성, 서비스 향상의 4가지 평가요인으로 선정하였으며, 각 평가요인에 대한 세부요소 역시 선행연구에서 제시한 다양한 선택속성을 본 연구에 맞게 평가요인별로 구분, 수정하여 사용하였다.

경제성 요인에서는 장비구입비, 시설투자비 그리고 동력비, 인건비 등을 포함한 운영비로 선정하였으며 생산성 요인에서는 이송장비의 속도, 이동거리를 고려한 이송장비 생산성, 이송장비 운영과 연계된 하역 생산성, 하역장비와의 연계 운영 및 야드 장치장 활용 등을 고려한 야드 효율성으로 구성하였다. 안전성 요인으로는 터미널 내 충돌 및 교착 등으로 발생하는 사고를 줄이기 위한

안전사고 예방, 긴급한 상황에 대한 대처 능력을 의미하는 작업 유연성 그리고 자동화 관련 전산 및 시스템적인 문제를 고려한 시스템 오류로 구성하였다. 그리고 서비스 향상 요인으로는 고객의 입장에서 평가를 의미하는 고객만족도, 전기 동력의 활용 등 배기가스, 탄소배출을 줄이기 위한 친환경성, 스마트 항만으로의 발전을 고려한 미래적합성으로 구성하였다.

대안평가는 선택의 대상이 되는 의사결정 대안들을 의미하며 본 연구에서는 자동화 이송장비로 제시되는 AGV, ALV, A-S/C, A-Y/T 중에서 현재 사용 중이거나 대안으로 거론되는 AGV, A-S/C, A-Y/T 를 대안으로 선정하였다. 위에서 언급한 평가요인, 세부요소 그리고 평가대안에 대한 상대적 중요도를 파악하기 위한 연구모형은 [그림 4-3]과 같다.



[그림 4-3] 연구모형

4.3 실증분석 및 대안선정

4.3.1 분석표본 및 자료수집

본 연구의 평가모형 분석 및 연구의 신뢰성과 타당성을 확보하기 위하여 컨테이너터미널 운영사, 장비·정비 관련 업계에서 운영 실무에 근무 중이거나 근무한 경험이 있는 관리자급 전문가와 기관, 학계 전문가를 대상으로 조사를 실시하였다. AHP 조사에서는 쌍대비교에 대한 일관성을 유지하는 것이 무엇보다 중요하기 때문에 설문조사 실시 전에 설문지에 대한 응답 및 평가 방법에 대하여 설명하였으며, 조사에 대한 응답방법을 숙지한 상태에서 설문조사를 진행하였다. 자료 수집은 각 평가요인에 대해 9점 척도를 이용한 쌍대비교 설문을 통해 실시하였고, 수집된 설문자료의 신뢰성을 확보하기 위해 일관성 검증을 실시하였고, 일관성 비율이 20% 미만인 설문자료는 분석에서 제외하였다.

조사는 직접방문과 e-mail을 통해 배포 및 수거하였으며, 2020년 4월 22일부터 5월 15일 까지 실시하였으며 설문지는 총 50부를 배포하여 41부를 회수하였다. 회수된 설문자료의 일관성 검증 확인 결과 41부 중 최종 30부를 분석에 사용하였고, AHP 구조화 원리를 바탕으로 각 단계별 상대적 중요도를 평가하기 위해 AHP 분석은 EXCEL과 DRESS 프로그램을 이용하였다. AHP 조사에 참여한 전문가들의 구체적인 응답 현황은 아래 [표 4-5]와 같다.

[표 4-5] AHP 응답 현황

구분	배포(명)	회수(명)	회수율(%)
터미널 운영사	30	27	90%
정비, 장비관련 업계	10	6	60%
정부, 기관	10	8	80%
계	50	41	82%

4.3.2 일관성 분석

AHP의 일관성 분석을 위하여 각 평가요인들 사이의 상대적 중요도를 평가하는 경우 각 개인별 판단성의 오차 정도를 측정하는 방법인 일관성 비율(C.R.: Consistency Ratio)을 계산하며 C.R. 값이 0.2 이하인 경우에 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 정의한다. 본 연구에서는 상위요소에 대한 각 계층별 상대적 중요도의 이원비교의 가중치 C.R 값은 0.126 으로 측정되었으며, 각 평가요소의 가중치에 대한 C.R 값 역시 경제성 0.069, 생산성 0.073, 안전성 0.084, 서비스 향상 0.071 로 나타났다.

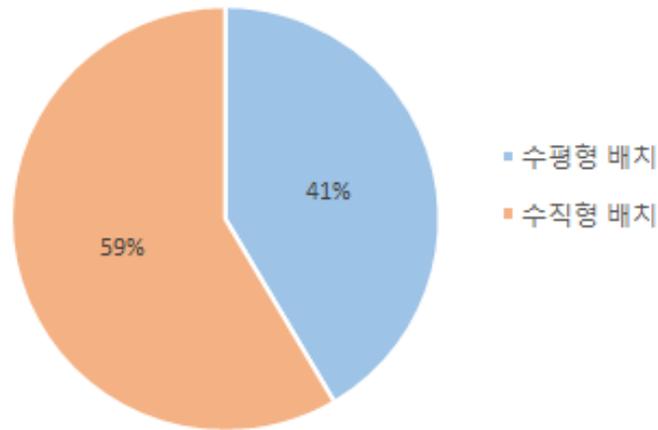
4.3.3 평가영역 및 평가요소의 결과

1) 야드 형태에 따른 중요도

자동화 컨테이너터미널 운영에 있어 효율적인 야드 형태에 대한 조사에서는 [표 4-6]에서와 같이 수직형 배치에 대한 중요도가 0.585로 수평형 배치에 대한 중요도 0.415에 비해 더 높은 것으로 나타났다. 이는 신규로 개장하는 유럽이나 중국의 자동화 컨테이너터미널이 수직형 배치의 야드 형태로 개발되고 있어 세계적인 추세가 반영된 결과라고 할 수 있다. 또한 생산성에 대한 중요도를 높게 평가 할수록 수평형 배치를 선호하는 것으로 나타났으며 안전성에 대한 중요도를 높게 선택하는 경우에는 수직형 배치가 더 중요하다고 평가하는 것으로 나타났다.

[표 4-6] 야드 형태에 대한 중요도

구분	수평형 배치	수직형 배치	계
중요도	0.415	0.585	1.000



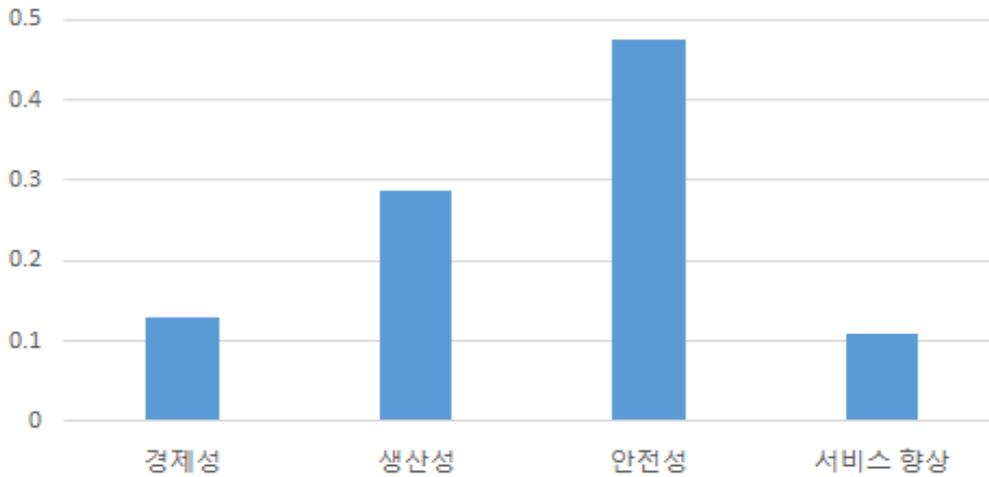
[그림 4-4] 야드 형태에 대한 중요도

2) 평가요인별 상대적 중요도 및 우선순위

자동화 이송장비 도입을 위한 평가요인 중 상위요소에 대한 상대적 중요도 및 우선순위의 측정결과는 [표 4-7]과 같다. 평가요소에 대한 상대적 중요도를 평가한 결과 안전성(0.473)이 가장 중요한 요인으로 나타났으며 다음으로 생산성(0.284), 경제성(0.142), 서비스 향상(0.102)의 순서로 나타났다.

[표 4-7] 평가요인별 상대적 중요도 및 우선순위

평가항목	중요도	우선순위
경제성	0.142	3
생산성	0.284	2
안전성	0.473	1
서비스 향상	0.102	4
계	1.000	

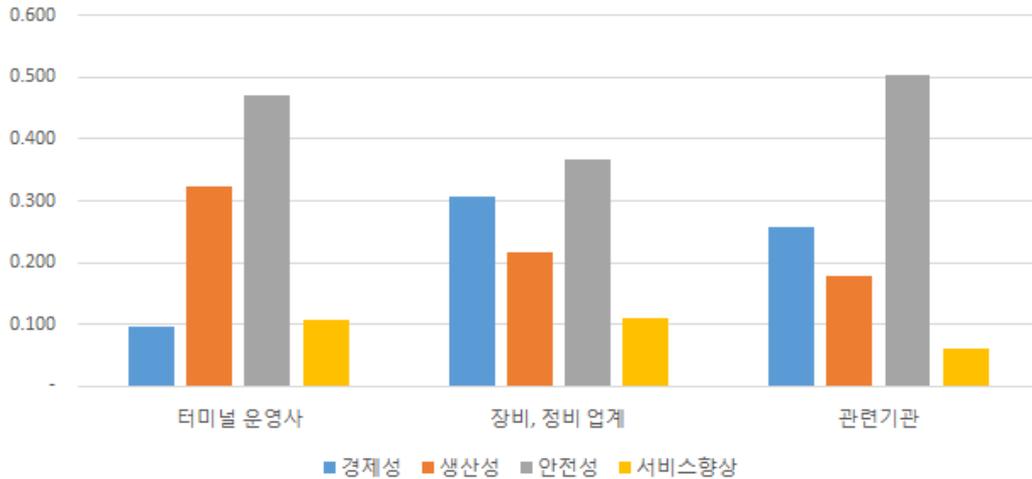


[그림 4-5] 평가요인별 상대적 중요도

[표 4-8] 설문조사 대상에 따른 평가요인별 중요도

평가항목	터미널 운영사	장비, 정비업체	관련기관
경제성	0.096	0.306	0.258
생산성	0.324	0.217	0.178
안전성	0.472	0.366	0.504
서비스 향상	0.108	0.111	0.061
계	1.000	1.000	1.000

설문조사 대상에 따른 평가요인별 중요도를 분석한 결과 컨테이너터미널 종사자의 경우에는 안전성, 생산성, 서비스 향상, 경제성의 순으로 중요도가 높게 나타났으며 장비, 정비 업체 종사자의 경우에는 안전성, 경제성, 생산성, 서비스 향상의 순으로 나타났으며, 관련기관의 경우에는 안전성, 경제성, 생산성, 서비스 향상의 순으로 나타났다. 전체적으로는 안전성에 대한 중요도가 가장 높게 나타났으나 장비, 정비 업체 종사자의 경우에는 장비의 구입비와 유지관리비에 대한 관심으로 인해 경제성에 대한 중요도가 높게 나타났으며 터미널 종사자의 경우에는 생산성에 대한 중요도가 상대적으로 높게 나타났다.



[그림 4-6] 설문조사 대상에 따른 평가요인별 중요도

자동화 이송장비 도입을 위한 평가요인의 각 하위요소에 대한 상대적 중요도 및 우선순위 측정결과는 [표 4-9]과 같다. 경제성 평가요인에서의 하위요소들에 대한 상대적 중요도와 우선순위는 운영비(0.463), 시설투자비(0.270), 장비구입비(0.267)의 순으로 나타났다. 생산성 평가요인에서의 하위요소들은 하역생산성(0.469), 야드 효율성(0.292), 이송장비 생산성(0.239) 순으로 나타났으며, 안전성 요인에 대해서는 안전사고 예방(0.680), 시스템 오류(0.204), 유연성(0.116), 서비스 향상의 하위요소들에서는 고객만족도(0.452), 미래적합성(0.378), 친환경성(0.171)의 순으로 나타났다.

[표 4-9] 평가요인의 하위요소별 상대적 중요도 및 우선순위

평가항목		중요도	우선순위
경제성	장비구입비	0.267	3
	시설투자비	0.270	2
	운영비	0.463	1
	계	1.000	(CR=0.07)

생산성	이송장비 생산성	0.239	3
	하역 생산성	0.469	1
	야드 효율성	0.292	2
	계	1.000	(CR=0.08)
안전성	안전사고 예방	0.680	1
	유연성	0.116	3
	시스템 오류	0.204	2
	계	1.000	(CR=0.08)
서비스 향상	고객만족도	0.452	1
	친환경	0.171	3
	미래 적합도	0.378	2
	계	1.000	(CR=0.07)

컨테이너터미널에서 자동화 이송장비를 도입하기 위한 평가요인 및 세부 하위요소들에서 도출된 중요도를 종합하여 산정한 평가항목 전체에 대한 중요도와 우선순위는 [표 4-10]과 같다. 전체 12개의 평가요소 중에서 안전사고 예방(0.321)이 우선순위가 가장 높게 나타났으며 하역생산성(0.133), 시스템 오류(0.096), 야드 효율성(0.088), 이송장비 생산성(0.068), 운영비(0.066)의 순으로 나타났다.

[표 4-10] 자동화 이송장비 도입에 대한 AHP 평가

평가항목		중요도	전체 중요도	우선순위
경제성 (0.142)	장비구입비	0.267	0.038	11
	시설투자비	0.270	0.038	10
	운영비	0.463	0.066	6

생산성 (0.284)	이송장비 생산성	0.239	0.068	5
	하역 생산성	0.469	0.133	2
	야드 효율성	0.292	0.083	4
안전성 (0.473)	안전사고 예방	0.680	0.321	1
	유연성	0.116	0.055	7
	시스템 오류	0.204	0.096	3
서비스 향상 (0.102)	고객만족도	0.452	0.046	8
	친환경	0.171	0.017	12
	미래 적합도	0.378	0.038	9



[그림 4-7] 자동화 이송장비 도입에 대한 AHP 평가

3) 평가대안 선정

자동화 이송장비의 대안에 대한 우선순위를 선정하기 위하여 우선 앞서 검토된 이송장비 중에서 상용화 및 개발진행 등을 감안하여 도입가능성이 높은 AGV, A-S/C, A-Y/T를 대안으로 선정하였다. [표 4-11]과 같이 대안들에 대한 개념을 정리하였고 이를 바탕으로 전문가 집단에 대한 2차 평가를 진행하였다.

[표 4-11] 이송장비 대안

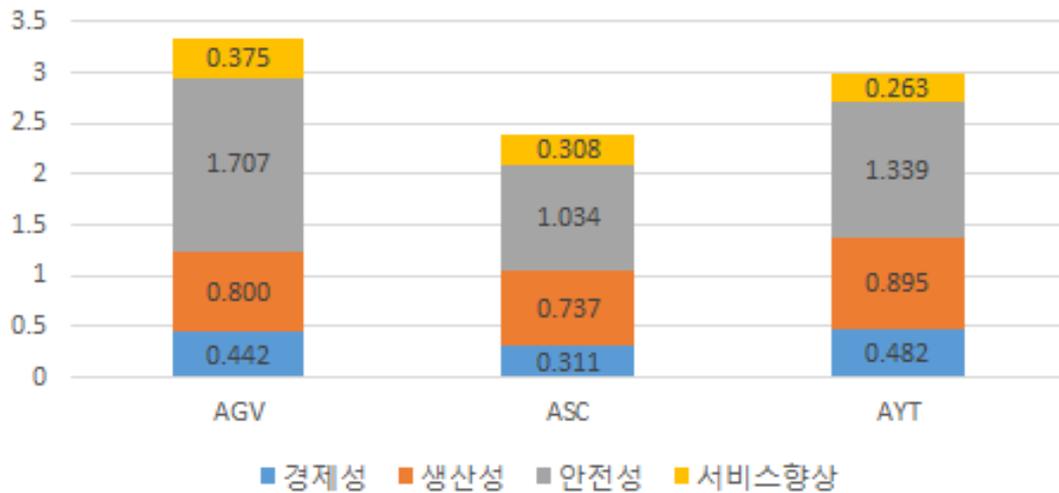
대안		설명
AGV		본선에서 야드까지 컨테이너를 운송하는 장비 구입비용 : 약 6억원 이동속도 : 6~8km/h 특성 : 배터리 충전 및 교환 방식 플랫폼에 컨테이너를 올려놓을 수 있는 Lift AGV 방식
A-S/C		본선에서 야드까지 컨테이너를 운송하는 장비 구입비용 : 약 8억원 이동속도 : 8km/h 특성 : 컨테이너를 집고 내릴 수 있는 하역기능
A-Y/T		본선에서 야드 내부까지 컨테이너를 운송 구입비용 : 약 1.5억원 이동속도 : 20km/h 특성 : 기존의 Y/T에 자율주행 방식 적용 야드트랙터 헤드와 샴시 구분

2차 평가 결과 평가요인들 중 경제성 요인에 대해서는 A-Y/T가 가장 우수하였으며 생산성 요인에서는 A-Y/T와 AGV가 높게 나타났으며 안전성, 서비스

향상 요인에서는 AGV가 높게 나타났다. 전체 평가 요인들에 대한 중요도와 각 대안들에 대한 2차 평가 점수를 종합적으로 산정한 결과는 [표 4-12]와 같으며 전체 평가점수로 우선순위를 산정하면 AGV, A-Y/T, A-S/C의 순으로 나타났다.

[표 4-12] 평가대안 우선순위 산정 결과

평가항목		AGV	A-S/C	A-Y/T
경제성	장비구입비	0.094	0.053	0.150
	시설투자비	0.103	0.083	0.150
	운영비	0.245	0.175	0.181
생산성	이송장비 생산성	0.193	0.168	0.211
	하역 생산성	0.355	0.354	0.404
	야드 효율성	0.252	0.215	0.280
안전성	안전사고 예방	1.295	0.713	0.881
	유연성	0.115	0.112	0.190
	시스템 오류	0.297	0.209	0.268
서비스 향상	고객만족도	0.138	0.135	0.127
	친환경	0.076	0.051	0.039
	미래 적합도	0.161	0.122	0.097
평가점수		3.324	2.389	2.979



[그림 4-8] 평가대안 우선순위 산정 결과

4.4 시사점

설문조사 결과, 자동화 컨테이너터미널에서는 수직배열 형태의 야드 구조를 선호하는 것으로 나타났으며 최근 새롭게 개발되는 대부분의 자동화 컨테이너터미널이 수직배열의 야드 형태로 운영하고 있다는 전반적인 추세가 반영된 결과라고 할 수 있다. 자동화 이송장비의 도입을 위한 평가요인으로 경제성, 생산성, 안전성, 서비스 향상을 선정하고 각 평가요인에 대한 세부요소를 선정하여 상대적 중요도와 우선순위를 평가 하였다. 그 결과 평가요인에서는 안전성, 생산성, 경제성, 서비스 향상의 순으로 우선순위가 나타났으며 세부요소들에 대한 우선순위는 안전사고 예방, 하역생산성, 시스템 오류, 야드 효율성 등의 순으로 나타났다.

이는 자동화 이송장비의 도입을 검토함에 있어 장비구입비와 인건비 절감과 같은 경제적인 측면보다 안전사고를 줄이기 위한 안전성과 생산성 향상의 운영적 측면이 더 중요한 요소라는 것을 의미하는 것으로 이는 최근에 컨테이너터미널에서 지속적으로 발생하고 있는 안전사고와 인명사고로 인해 안전성에 대한 중요성이 강조되고 있는 결과라고 할 수 있다. 또한 우리나라와 같이 협소한 장치공간에서 많은 물량을 처리하고 있는 경우에는 생산성에 대한 중요도

가 높은 것으로 나타났다. 이는 우리나라 항만의 특수한 상황을 잘 보여주는 결과로서 특히 설문 대상자 중 컨테이너터미널 종사자의 경우에 생산성에 대한 중요도가 더 높게 나타남을 알 수 있었다.

평가요인들에 대한 중요도와 이송장비 대안에 대한 평가를 종합적으로 분석한 결과 AGV가 가장 효율적인 대안으로 선정되었다. AGV 방식의 단점으로 인식되었던 대기시간과 느린 이동속도에 대한 부분이 지속적인 연구 개발을 통해 개선되고 있음을 의미하는 것이기도 하지만 현재 운영하고 있는 S/C 방식의 단점에 대한 부분과 아직 A-Y/T의 자율주행 방식이 개발단계에 있는 상황으로 그 효율성 및 장점에 대한 이해가 부족하다는 부분이 영향을 미치는 것이라고 할 수 있다.

자동화 이송장비 대안 선정에 대한 연구결과를 수평형태와 수직형태로 구분하여 산정하였을 때 두 형태 모두 안전성, 생산성, 경제성, 서비스 향상의 순으로 중요도가 나타났다. 하지만 대안선정에 있어서는 수평의 구조를 선택한 경우에는 A-Y/T에 대한 선호도가 AGV 보다 약간 높게 나타났다. 수평형태로 운영 중인 기존의 재래식 터미널에서는 이송장비가 야드 내부에 진입하고, 외부 차량과 함께 이동하기 때문에 충돌 등 안전사고에 대한 우려로 인해 무인과 유인 방식으로 운영이 가능한 A-Y/T에 대한 선호도가 가장 높게 나타났다. 또한 기존의 Y/T를 활용할 수 있다는 점에서 재래식 컨테이너터미널에서 자동화 이송장비 도입을 검토할 경우 A-Y/T방식이 경제적인 측면에서 가장 효율적이라는 기대가 반영된 결과라고 할 수 있다.

4차 산업혁명 시대에서 컨테이너터미널의 자동화는 필수적인 요소가 되고 있다. 일자리 감소로 인한 인력고용 문제, 시스템의 안정적인 운영 등 자동화 장비와 시스템 도입에 걸림돌이 되는 다양한 문제가 있겠지만 이러한 문제를 해결하기 위한 대안마련을 통해 빠른 시일 내에 자동화 컨테이너터미널을 안정적으로 운영하는 것이 글로벌 항만 경쟁력 강화를 통해 우리나라 항만을 발전시키고 미래 지향적인 항만으로 나아가는 방향이 될 수 있을 것이다.

제 5 장 결 론

5.1 연구요약

본 연구에서는 우리나라의 실정에 맞는 자동화 이송장비의 도입을 위하여 검토하여야 하는 요인들을 선행연구를 통해 선정하고 선정된 요인들에 대한 분석을 바탕으로 자동화 이송장비 대안을 선정하였다. 우리나라의 항만은 협소한 장치공간에 비해 많은 물량을 처리하고 있으며 다수의 운영사로 나뉘어져 있어 다양한 고객의 요구사항에 대응하기 어려운 구조로 되어 있다.

이러한 구조적인 특성 및 복잡한 시장 환경 속에서 항만의 경쟁력을 향상시키기 위해서는 많은 노력이 필요하다. 특히 4차 산업혁명 기술의 발전과 스마트항만의 등장으로 인해 자동화 장비와 시스템의 도입 및 친환경적인 항만에 대한 관심이 높아지고 있으며 이와 관련한 다양한 연구가 진행되고 있다. 자동화를 도입하는 목적은 기존의 연구에서는 인건비, 운영비 절감 등 경제적인 측면이 중요하였으나 본 연구에서는 안전사고 예방 및 시스템 오류 등 안전성에 대한 부분이 가장 중요한 요인으로 나타났다.

전문가 집단에 대한 설문조사를 이용한 실증분석을 통해 도출한 요인들을 바탕으로 자동화 이송장비 대안을 선정한 결과 AGV 방식이 가장 효율적인 장비로 선정되었다. 야드형태별로는 수직형태의 야드 구조에서는 AGV 방식에 대한 우선순위가 높았으나 수평형태의 경우에는 기존 Y/T를 활용할 수 있는 A-Y/T 방식에 대한 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 자동화 이송장비의 안정적인 운영을 위해서 AGV를 이용하는 수직형 구조의 컨테이너터미널에서는 생산성을 향상하기 위한 방안마련이 필요하고 수평형 구조에서 A-Y/T 를 도입하기 위해서는 안정적인 운영을 위한 기술 개발이 필요하다. 생산성 향상을 위해 이송장비와 야드하역장비의 적정 투입대수 산정이 검토되어야 할 것이며

야드 블록 내 AGV를 고정으로 배치하는 방식 등 다양한 방안에 대한 검토가 필요할 것이다. 또한 수평형태의 야드 구조에서 A-Y/T의 안정적인 운영을 위해서는 5G를 이용한 인터넷, GPS 설치 및 CCTV 방식, 카메라를 장착한 드론을 활용하는 방식 등 통신 기반설비에 대한 연구와 개발이 필요하다.

5.2 연구의 한계점 및 향후 과제

본 연구는 AHP 분석방법을 이용하여 자동화 이송장비 도입시 평가요인을 선정하고 자동화 이송장비 대안을 선정하였다. 기존 선행연구를 검토하여 평가요인을 선정하였으나 요인 선정에 있어 다양한 관점에서의 객관적인 기준을 반영하지는 못하였다. 설문조사 진행시 컨테이너터미널 자동화에 대한 인식수준이 높은 대상자를 선정하다 보니 컨테이너터미널 종사자에 편중될 수밖에 없는 한계가 있었다.

대안선정에 있어 최근에는 자율주행방식을 접목한 AGV와 이동속도 및 안전성이 향상된 고성능의 이송장비가 등장하고 있다. 이에 좀 더 다양한 대안들에 대한 비교와 분석이 필요하였으나 본 연구에서는 3가지 대안에 대해서만 비교를 진행하여 대안 선정에 한계가 있었다. 특히 A-Y/T는 아직 개발 중인 단계로 상용화를 위해서는 추가적인 연구와 개발이 필요하며 A-Y/T를 도입하기 위한 장비구입비 및 투자비용에 대한 근거가 부족한 상황이기에 정확한 비교분석을 실시하기에는 어려움이 있었다. A-Y/T에 대한 추가적인 연구 자료 및 상용화를 통한 운영 경험 등 다양한 데이터가 축적되어 이를 바탕으로 한 추가적인 실증분석이 수행된다면 현실적인 대안선택이 가능할 것으로 예상된다. 또한 A-Y/T 이외에도 최첨단, 고성능의 이송장비에 대한 연구와 개발이 진행되고 있으므로 향후에는 더욱 다양한 이송장비를 대상으로 한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 김아영, 광양항의 4차 산업혁명 기술 적용방안에 관한 연구, 2018
- 김우선, 컨테이너터미널의 이송장비 유형과 블록배치형태 분석. 월간해양수산 제225호, 2013, pp. 60-70.
- 김우선, 최용석, 고생산성 컨테이너 이송차량 모델 연구, 한국항해항만학회지, 2006, pp. 691~697
- 김종열, 최민철, A Comparative Study on the Location of grade 1,2,3 Automotive Repair Shops, 한국정보통신학회, 2014, pp. 973~985
- 란스1, 계층화 분석법(AHP)이란, <https://lans.tistory.com/867>, 2020,05,1 17:05
- 박남규, 최형림, AHP기법을 활용한 자동화 컨테이너터미널의 운영 목표 설정에 관한 연구, 한국해운물류학회, 2004.3, pp. 113~129
- 박지현, 수평형 자동화 컨테이너 터미널을 위한 AGV 배터리 교체 전략 최적화, 부산대학교 석사학위논문, 2016.8
- 배효영, 최이, 박태진, 자동화 컨테이너터미널의 AGV 및 ALV 기반 이송시스템의 생산성 비교, 한국항해항만학회 제31권 제2호, 2007.12, pp. 253~254
- 백종실, 스마트 친환경 항만이 대세다, 인천항만공사, 2017.8
- 석한글, Part 4. 중국의 스마트항만, 물류신문, 2018.07.18
- 송만순, 우리나라 자동화 컨테이너터미널 개발 계획, 국제학술대회 논문집 제4호, 2004, pp. 515-535.
- 양창호, 김영훈, 최상희 외2명, A Study on the System Design and Operations of Automated Container Terminal, 한국해양수산개발원, 2000, pp. 314~332.
- 유지원, 김율성, 컨테이너터미널 자동화 필요성에 대한 관련 주체별 인식차이 연구, 한국항해항만학회, 2019, pp. 216-217
- 유지원, 컨테이너터미널 자동화 도입선정 모형연구, 한국해양대학교 석사학위논문, 2019
- 원승환, 조성우, 컨테이너 터미널 자동화 기술 동향에 관한 연구, 중앙대학교 한국전자무역연구소, 2020, pp.1~22
- 원승환, 최상희, 컨테이너크레인의 개발 대안 선정을 위한 체계적인 절차, 2006
- 이교선, AHP기법을 활용한 머시닝센터의 최적 커터공구 결정, 2017
- 이연경, 이수영, 4차 산업혁명시대 국내 스마트항만 수준 측정과 비교분석, 한국해운물류학회 제35호 제2권, 2019.6, pp. 323~348
- 이연경, 항만물류기술 전망과 대응, 해양수산전망대회, 한국해양수산개발원, 2020

- 이정실, AHP를 이용한 패밀리 레스토랑의 선택속성에 따른 선택대안 평가에 관한 연구, 2015
- 장재환, 자동-유인 병행 작업 환경을 고려한 수직형 컨테이너 터미널 이송모델 연구, 부경대학교 석사학위논문, 2019
- 전명길, SC 기반의 수직형 자동화 컨테이너터미널에 관한 연구 - B사 사례를 중심으로, 2015
- 전영환, 우리나라 자동화 컨테이너터미널 발전을 위한 핵심요인 분석에 관한 연구, 동아대학교 박사학위논문, 2008
- 정권재, 컨테이너 터미널 자동화에 대한 터미널 운영사와 선사들의 인식 차이 연구, 한국해양대학교 석사학위논문, 2019.2
- 정지현, RTGC의 모델링 및 주행제어기 설계에 관한 연구, 부경대학교 박사학위논문, 2011.8
- 차상현, 노창균, 컨테이너터미널에서 야드 이송장비 자동화 적용방안에 관한 연구, 한국항해항만학회지 제42권 제3호, 2018.6, pp. 217~226
- 차상현, 노창균, 터미널 생산성향상을 위한 폴링시스템 최적화 알고리즘 개발 연구, 한국항해항만학회, 2014, pp. 399~407
- 최상희, 이연경, 강무홍, 4차 산업혁명의 첨병!, 로보틱스.스마트 항만이 현실로, KMI 동향분석 제31호, 한국해양수산개발원, 2017
- 최상희, 하태영, 컨테이너터미널의 야드배치 형태별 생산성 분석에 관한 연구, 한국해양수산개발원, 2006
- 최형림, 유동호, 박남규 외 2명, 자동화 컨테이너터미널 개발 전략에 관한 연구, 한국해운물류학회, 2005.12, pp. 59~78
- 하태영, 최용석, 김우선, 컨테이너 터미널의 차세대 안벽크레인 생산성 비교분석, 한국항해항만학회, 2005, pp. 297~302
- 황진희, 안영균, 김주현, 4차 산업혁명과 해운산업 정책방향. 한국해양수산개발원. 2017, pp. 47-48.
- 홍종욱, 스마트항만 도입 결정요인과 성과에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문 2018.2
- Alberto Camarero Orive, José Ignacio Parra Santiago, Strategic Analysis of the Automation of Container Port Terminals through BOT(Business Observation Tool), 2019

- Berry Gerrits, Peter Schuur, Igor Ilin, Mixing Automated with Non-Automated Yard Traffic in Container Terminals: a Digital Transition, 2019
- Fabian Koh, Tuas Port to be world's largest fully automated terminal when completed in 2040, THE STRAITSTIMES, 2019.10
- Iris F. A. Vis, Ismael Harika, Comparison of vehicle types at an automated container terminal, OR Spectrum, 2004, pp. 117-143
- Jung Sung-Ho, Lim Dong-Seok, An Economic Analysis of Transportation Equipments at Container Terminals, Journal of Navigation and Port Research International Edition Vol.35, No2, 2011, pp. 167~172
- Saaty, T. L., How to make a decision: The analytic hierarchy proces. European Journal of Operational Research, 48(1), 14, 1990
- Yvo Saanen, AGV Versus Lift AGV Versus ALV : A qualitative and quantitative comparison, www.porttechnology.org, 2016.5



<부록> 설문조사 문항

■ 제층 평가 구조 및 평가 내용

대분류	중분류	내용 설명
경제성	장비구입비	이송장비를 구입하는 비용
	시설투자비	각 이송장비를 원활하게 운영하기 위한 시설투자비
	운영비	유류, 전기 등 동력비 및 정비 등 유지보수비, 인건비 절감 효과
생산성	이송장비생산성	이송장비 속도 및 이동거리를 고려한 이송장비 생산성
	하역생산성	이송장비로 인한 하역작업 생산성
	야드 효율성	하역장비와 연계한 운영 및 야드활용에 대한 효율성
안전성	안전사고 예방	충돌, 안전사고 및 컨테이너에 대한 훼손 등
	유연성	긴급한 상황 발생시에 대처
	시스템 오류	전산 또는 무인화 시스템에 대한 오류로 인한 위험성
서비스 향상	고객만족도	터미널 서비스에 대한 내·외적인 품질, 고객의 서비스 만족도
	친환경	전기동력 활용 등 친환경적 운영
	미래적합성	스마트 항만을 위한 미래 적합성

■ 설문 응답의 예

측정 영역에 있어서 "경제성"이 "생산성"보다 매우 중요할 때 "경제성"의 7 번에 "√"를 표시하시면 됩니다.

비교 항목	절대 중요	매우 중요	보통 중요	조금 중요	중립	조금 중요	보통 중요	매우 중요	절대 중요	비교 항목								
경제성	9	8	√7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	생산성

■ 설문조사

1. 자동화 컨테이너터미널 개발시 아래의 야드형태(LAYOUT) 중 어느 형태가 효율적이라고 생각하십니까?

- 수평형 배치 수직형 배치

2. 1번 항목에서 답변해주신 형태의 자동화 컨테이너터미널을 개발하고자 합니다.

1) 자동화 이송장비 도입을 위한 요인으로 다음의 4 가지 (경제성, 생산성, 안전성, 서비스 향상) 를 선정하였습니다. 상대적인 중요도를 표시하여 주시기 바랍니다.

비교 항목	절대 중요		매우 중요		보통 중요		조금 중요		중립		조금 중요		보통 중요		매우 중요	절대 중요	비교 항목	
경제성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	생산성
경제성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	안전성
경제성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	서비스 향상
생산성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	안전성
생산성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	서비스 향상
안전성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	서비스 향상

2) 1차 요인에 대한 상세요인에 대해 중요도를 표시하여 주시기 바랍니다.

가. "경제성" 에 대한 상세요인 간 중요도 비교

비교 항목	절대 중요		매우 중요		보통 중요		조금 중요		중립		조금 중요		보통 중요		매우 중요	절대 중요	비교 항목	
장비 구입비	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	시설 투자비
장비 구입비	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	운영비
시설 투자비	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	운영비

나. "생산성" 에 대한 상세요인 간 중요도 비교

비교 항목	절대 중요	매우 중요	보통 중요	조금 중요	중립	조금 중요	보통 중요	매우 중요	절대 중요	비교 항목								
이송장비 생산성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	하역 생산성
이송장비 생산성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	야드 효율성
하역 생산성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	야드 효율성

다. "안전성" 에 대한 상세요인 간 중요도 비교

비교 항목	절대 중요	매우 중요	보통 중요	조금 중요	중립	조금 중요	보통 중요	매우 중요	절대 중요	비교 항목								
안전사고 예방	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	유연성
안전사고 예방	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	시스템 오류
유연성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	시스템 오류

라. "서비스 향상" 에 대한 상세요인 간 중요도 비교

비교 항목	절대 중요	매우 중요	보통 중요	조금 중요	중립	조금 중요	보통 중요	매우 중요	절대 중요	비교 항목								
고객 만족도	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	친환경
고객 만족도	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	미래 적합성
친환경	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	미래 적합성

■ 자동화 이송장비에 대한 대안으로 아래와 같은 3 가지 이송장비를 선정하였습니다.

대안		내용 설명
AGV		본선에서 야드까지 컨테이너를 운송하는 무인 이송장비 구입비용 : 약 4 억원 인건비 : 무인화 이동속도 : 6km/s 특성 : 전기 충전식 및 배터리 교환 방식으로 운영중
ASC		본선에서 야드까지 컨테이너를 운송하는 무인 이송장비 구입비용 : 약 8 억원 인건비 : 무인화 이동속도 : 8km/s 특성 : 컨테이너를 잡고 내릴 수 있는 하역작업 가능
AYT		본선에서 야드 내부까지 컨테이너를 운송하는 이송장비 구입비용 : 약 1.5 억원 인건비 : 유인, 무인 이동속도 : 20km/s 특성 : 기존의 YT(Yard Tractor)에 자율주행 방식을 도입

■ 자동화 이송장비 대안에 대하여 아래와 같이 각각의 요인에 대한 중요도를 좋음(5), 보통(3), 부족(1)으로 표시하여 주시기 바랍니다.

비교 항목	경제성			생산성			안전성			서비스향상		
	장비 구입비	시설 투자비	운영비	이송 장비 생산성	하역 생산성	야드 효율성	안전 사고	유연성	시스템 오류	고객 만족도	친환경	미래 적합성
AGV												
ASC												
AYT												