



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](#)

物流學碩師 學位論文

컨테이너터미널의 효율적인 야드 자동화
도입 방안

An Efficient Migration Plan for Yard Automation System of
Container Terminal



指導教授 申宰榮

2011年 2月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템 學科

金相津

목 차

Abstract

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 관련 문헌 연구	2
1.3 논문의 구성	3
제 2 장 자동화 컨테이너터미널의 특성	4
2.1 자동화 컨테이너터미널의 정의	4
2.2 자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널의 차이점	4
2.2.1 장비의 차이점	4
2.2.2 운영의 차이점	6
2.2.3 기타 차이점	6
2.3 자동화 컨테이너터미널의 구분	8
2.5 컨테이너터미널의 리모델링의 개념	9
제 3 장 시뮬레이션 모델링과 결과 분석	12
3.1 시뮬레이션	12
3.1.1 대상 터미널 현황	12
3.1.2 시나리오	13
3.1.3 Arena 모델링	15
3.1.4 학습 곡선	19

3.2 시뮬레이션 결과 및 분석	20
제 4 장 결 론	24
참 고 문 헌	25



표 목 차

<표 2-1> 자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널 장비의 차이점	5
<표 2-2> 자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널 운영의 차이점	6
<표 2-3> 자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널의 기타 차이점	7
<표 2-4> 컨테이너터미널의 자동화 정도에 따른 구분	8
<표 2-5> 리모델링의 개념	10
<표 2-6> 우리나라 항만 리모델링 유형 구분	11
<표 3-1> 대상 터미널 일반 현황	12
<표 3-2> 자동화 시스템 도입 시나리오	14
<표 3-3> 자동화 시스템 도입 시나리오별 예상 결과	14
<표 3-4> 블록 규모별 시뮬레이션 결과 비교	20
<표 3-5> 자동화 시스템 도입 시나리오별 결과 비교	22

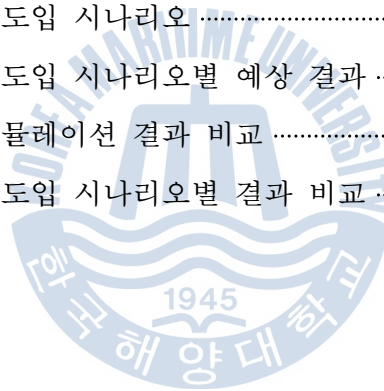


그림 목 차

<그림 3-1> 대상 터미널 배치도	13
<그림 3-2> Arena 시뮬레이션 모형	15
<그림 3-3> 컨테이너 반입 모듈	16
<그림 3-4> Lane 결정 모듈	17
<그림 3-5> Block 결정 모듈	17
<그림 3-6> 작업대기/처리 모듈	18
<그림 3-7> 학습 곡선 그래프	19
<그림 3-8> 블록 규모별 처리 물량	21
<그림 3-9> 시나리오별 처리 물량	23

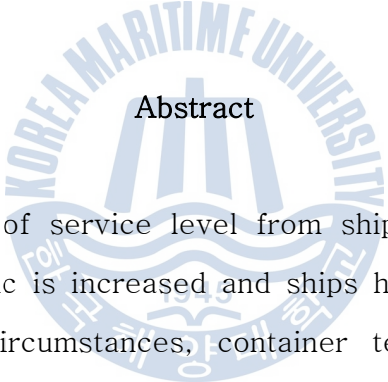


An Efficient Migration Plan for Yard Automation System of Container Terminal

Sang-Jin Kim

Department of Logistics

Graduate School of Korea Maritime University



Abstract

Recently the demand of service level from shipping company is risen because container traffic is increased and ships have become bigger and faster. Under these circumstances, container terminals are trying to improve service levels, but it would face the problems by the existing old equipments and systems. Some container terminals are considering to convert into automated container terminals to solve the problems. Automated container terminals can be classified fully automated container terminal and partial automated container terminal. It is performing for several steps to convert to automated container terminal, so it needs efficient plans. This paper researches the consideration of changing automated container terminal from the existing container terminal.

제 1장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

세계 컨테이너 물동량은 연평균 8.4%씩 지속적으로 증가하는 추세이다. 동북아 지역은 전 세계 평균보다 1~2% 높은 증가 추세를 보이고 있어 중심항만이 되기 위한 각국의 항만간 경쟁이 심화될 것으로 예상된다.¹⁾

여기에 선박의 대형화, 고속화로 인해 선사들은 높은 수준의 서비스를 요구하고 있다. 하지만 컨테이너터미널의 입장에서 기존의 노후화된 장비나 시스템으로는 높아져가는 선사들의 요구를 수용하기에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 최신의 자동화 장비 또는 시스템을 도입할 필요가 있다. 이에 대하여 국내의 몇몇 컨테이너터미널은 자동화 컨테이너터미널로의 변환을 통해 생산성과 서비스 수준을 향상하기 위해 노력하고 있다.

기존의 컨테이너터미널을 자동화 컨테이너터미널로 변환하기 위해서는 자동화 가능한 영역을 구분하고 각각에 대하여 장비와 시스템을 도입하여야 한다.

도입 방법으로는 장비와 시스템을 함께 도입하는 방법과 시스템만 도입하는 방법이 있다. 전자의 경우 최신의 장비와 시스템을 함께 도입함으로써 서비스 수준과 생산성의 향상을 극대화 할 수 있다. 하지만 충분한 검증을 거치지 못한 최신의 시스템 도입으로 인한 긴급 상황이나 여타 시스템과의 충돌 등 예상치 못한 문제가 발생할 수도 있다. 후자는 과거 새로운 장비를 도입하거나 신규 컨테이너터미널을 건설하면서 안정성이나 신뢰성 등의 문제로 최신의 시스템을 도입하지 않고 기존의 검증된 시스템으로 운영하는 경우이다. 이 방법은 전자의 단점에 대해 어느 정도 보완이 가능하다. 하지만 최신장비 도입의 이점인 서비스와 생산성 향상을 극대화 할 수 없으므로 가능한 신속하게 시스템을

1) 한국컨테이너부두공단, 컨테이너 화물 유통추이 및 분석, 2007년

교체하여야 한다.

본 논문에서는 기존 터미널이 자동화 터미널로 변환 시 고려해야할 사항에 대하여 연구하고 그 결과를 분석하여 터미널 관리자들의 의사결정에 도움을 줄 수 있는 방안을 제시한다.

1.2 관련 문헌 연구

컨테이너터미널의 자동화 변환에 대한 연구는 과거에는 자동화 컨테이너터미널 개발에 관한 연구로 신규 컨테이너터미널의 건설에 대한 연구가 있었고, 최근에는 항만의 리모델링 관점에서 연구되고 있다.

박경택(1997)은 자동화 컨테이너터미널의 장비와 운영 시스템에 대한 기술수준을 연구하고, 자동화 컨테이너터미널의 목표 우선순위와 필요한 선행 기술을 제시하였다. 박중배 외 2(2003)는 자동화 컨테이너 터미널의 해외 사례에 대하여 새로운 운영 추세에 대하여 소개하고, 자동화 컨테이너터미널 설계 시 고려 사항에 대하여 제시하였다. 송만순(2003)은 자동화 컨테이너 터미널을 소개하고, 재래식 컨테이너터미널과 자동화 컨테이너터미널의 비교하고 해외 사례를 소개하였다. 또, 건설예정인 광양항 자동화 컨테이너터미널의 현황에 대하여 소개하였다. 최형립 외 4(2004)는 해외 컨테이너터미널의 운영시스템의 유형을 통해 국내 자동화 컨테이너터미널의 개발을 위한 전략에 대하여 연구하였다. 전영환 외 3(2008)은 국내·외 컨테이너터미널의 개발 및 운영 현황에 대하여 관련 분야의 전문가 의견을 수렴하여 우리나라 컨테이너터미널 발전을 위한 주체와 주체들의 역할에 대하여 연구하였다. 송만순(2004)은 터미널의 리모델링에 대하여 기존 항만의 현대화를 통한 생산성 극대화 방안과 항만의 개방과 친수를 통한 환경 친화적인 항만의 개발방안을 제시하였다. 최용석 외 2(2005)는 컨테이너터미널을 위한 효과적인 리모델링을 위해 항만 시스템에서 안벽, 야드, 게이

트, IT 등의 서브시스템을 중심으로 생산성 향상에 직접적으로 영향을 주는 대안과 적용 방안을 제시하였다.

이상의 연구들은 주로 자동화 장비와 시스템의 기술을 검토하고 그 효율성을 측정하여, 어떤 장비와 시스템을 도입하는지에 대해서 연구하고 있다.

본 논문에서는 컨테이너터미널의 자동화 도입하는 과정에서 자동화 장비와 유인 장비가 함께 운영되는 상황을 시뮬레이션하고, 결과를 분석하여 효율적인 자동화 방안에 대해서 연구한다.

1.3 논문의 구성

본 논문의 구성을 살펴보면, 1장에서는 먼저 연구를 진행하게 된 배경과 연구 목적에 관하여 언급하고, 관련된 문헌 연구를 살펴보았다. 2장에서는 자동화 컨테이너터미널의 특성과 일반 컨테이너터미널과의 차이점을 살펴본다. 또 자동화 컨테이너터미널의 구성에 따른 분류를 하고 그 사례를 살펴본다. 3장에서는 실제 사례를 모델링하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석한다. 마지막 4장에서는 결론을 도출한다.

제 2장 자동화 컨테이너터미널의 특성

2.1 자동화 컨테이너터미널의 정의

자동화 컨테이너터미널이란 작업의 관점에서 “컨테이너터미널 운영의 핵심 프로세스인 선박 하역작업, 이송작업, 야드장치 작업의 일부 또는 전부를 자동화한 터미널”로 정의할 수 있다.

또 운영의 관점에서는 “컨테이너터미널에서 가장 많은 인원이 소요되는 작업인 안벽에서 장치장까지의 컨테이너 수송과 이송된 컨테이너를 작업자의 개입 없이 장비 스스로 야드에 장치하고, 컨테이너의 반출입 업무를 담당하는 게이트를 자동화 하는 것”으로 정의 내릴 수 있다. (전영환 외3, 2008)

2.2 자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널의 차이점

자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널 크게 장비와 운영 측면에서 차이점을 살펴볼 수 있다. 장비에서는 컨테이너 크레인(C/C : Container Crane), 야드의 이송장비, 야드 크레인, Layout, 게이트 등이 있다. 운영에서는 터미널 운영과 정보시스템 등이 있다.

2.2.1 장비의 차이점

<표 2-1>과 같이 컨테이너 크레인은 일반 컨테이너터미널은 Single Trolley C/C를 주로 사용하고 있다. 반면에 자동화 컨테이너터미널은 반자동(유인) 1st Trolley, 완전자동(무인) 2nd Trolley를 갖춘 Double Trolley C/C를 사용하고 있다. 야드의 이송장비는 일반 컨테이너터미널에서는 유인 Y/T를 이용하여 컨테

이너를 운반하고 있고, 자동화 컨테이너터미널은 무인 이송장비(AGV : Automated Guided Vehicle)를 사용하고 있다. 야드 크레인(일반 컨테이너터미널은 고무바퀴형 트랜스퍼 크레인(RTGC : Rubber Tired Gantry Crane)을 사용하고 있고, 자동화 컨테이너터미널에서는 레일형 트랜스퍼 크레인(RMGC : Rail Mounted Gantry Crane)을 사용한다. RMGC는 정확한 위치선정이 가능하고 자동화가 용이하다.

<표 2-1> 자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널 장비의 차이점

장비	일반 컨테이너터미널	자동화 컨테이너터미널
안벽장비 (컨테이너크레인)	<ul style="list-style-type: none"> • SINGLE TROLLEY • 시간당 생산성 : 30개 (이론: 40~50개) 	<ul style="list-style-type: none"> • DOUBLE TROLLEY • 해측: 유인, 육측: 무인 • 시간당 생산성 : 40개 (이론 : 60~70개)
야드 이송장비	<ul style="list-style-type: none"> • 유인 Y/T 	<ul style="list-style-type: none"> • 무인 AGV • 무인 ALV
야드 크레인	<ul style="list-style-type: none"> • 유인 크레인 • RTGC 	<ul style="list-style-type: none"> • 무인 크레인 • RMGC
야드배치	<ul style="list-style-type: none"> • 수평배치 • RTGC 활용도 제고 	<ul style="list-style-type: none"> • 수직배치 • AGV 운영을 단순화 시켜 AGV 수를 줄일 수 있음
게이트	<ul style="list-style-type: none"> • BAR CODE 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> • 영상인식, DSRC 등 첨단기술 적용을 통해 컨테이너 반·출입 소요시간 단축 및 터미널 생산성 제고

(자료 : 한국 컨테이너 부두공단)

Layout은 일반 컨테이너터미널은 RTGC의 활용도를 높이기 위해 수평배치를 사용하고 있고, 자동화 컨테이너터미널은 AGV의 운영을 단순화 시키고 주행거리를 최소화 시켜 AGV 수를 줄이기 위해 수직배치를 사용한다. 게이트는 일반 컨테이너터미널에서도 완전자동화는 아니지만 CCTV등을 이용하여 일부분 자동

화시스템을 도입하여 운영하고 있다. 자동화 컨테이너터미널에서는 DSRC (Dedicated Short Range Communication), 영상인식 기술 등을 사용하여 컨테이너 반·출입 소요시간을 단축시켜 빠른 게이트운영이 가능하다.

2.2.2 운영의 차이점

<표 2-2>와 같이 컨테이너터미널 운영에 있어서 일반 컨테이너터미널은 무선 단말기 또는 핸드 무전기를 이용하여 각종 정보를 주고받는다. 반면에 자동화 컨테이너터미널은 최첨단 지능형 계획/운영시스템으로 자동화 장비 작업지시 및 터미널 운영 제어를 컨트롤 룸에서 5~6명으로 운영하고 있다. 정보시스템은 일반 컨테이너터미널은 각 구성요소별로 작업이 진행되며 정보만 상호교환하고, 자동화 컨테이너터미널은 각 구성요소 간에 동기화(Synchronization)를 통해 유기적인 업무 협조로 터미널의 효율성을 증대시킨다.

<표 2-2> 자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널 운영의 차이점

운영	일반 컨테이너터미널	자동화 컨테이너터미널
터미널 운영	<ul style="list-style-type: none"> 무선단말기 및 핸드무전기를 이용하여 각종 DATA를 송수신 함 	<ul style="list-style-type: none"> 최첨단 지능형 계획/운영시스템 등을 통한 자동화장비 작업지시 및 터미널 운영제어 컨트롤 룸(5~6명) 운영
정보시스템	<ul style="list-style-type: none"> 각 구성요소 별로 작업이 진행되며 단지 정보만 상호교환 함 	<ul style="list-style-type: none"> 각 구성 요소간의 동기화가 필요하며 유기적인 업무협조로 터미널 효율성 증대

(자료 : 한국 컨테이너 부두공단)

2.2.3 기타 차이점

자동화 컨테이너터미널의 인건비 비중은 25%로 일반 컨테이너터미널의 45%보다 20%나 낮다. 자동화 컨테이너터미널은 무인화로 인한 24시간 운영으로 생산성이 일반 컨테이너터미널 대비 120~130% 이상을 보이고 있으며 현장의 인력감소로 안전사고는 감소하였다. 운영 효율과 작업 신뢰성 역시 무인화의 효과로 인해 일반 컨테이너터미널 보다 높게 나타났다. 컨테이너 장치율도 일반 컨테이너터미널보다 고단적하여 기존대비 130% 이상의 장치율을 보이고 있다. 투자비는 무인 장비가 유인 장비보다 고가이기 때문에 자동화 컨테이너터미널이 일반 컨테이너터미널의 116% 정도로 높게 나타났다. 하지만 운영비는 84% 수준으로 이는 터미널 개장 3~4년 후에는 일반 컨테이너터미널에 비해 경제적인 것으로 나타났다. (송만순, 2003)

<표 2-3> 자동화 컨테이너터미널과 일반 컨테이너터미널의 기타 차이점

기타 차이점	일반 컨테이너터미널	자동화 컨테이너터미널
인건비 비중	• 45%	• 25%
생산성	• 100%	• 120~130%
컨테이너 장치율	• 100%	• 130% 이상
운영효율	• 자동화 터미널 대비 낮음	• 일반 터미널 대비 높음
작업 신뢰성	• 자동화 터미널 대비 낮음	• 일반 터미널 대비 높음
안전사고	• 자동화 터미널 대비 높음	• 일반 터미널 대비 낮음
투자비	• 100%	• 116%
운영비	• 100%	• 84%
경제성	• 자동화 터미널 대비 투자비가 낮으므로 운영 초기에는 경제적이지만 운영비가 높으므로 이후에는 경제적이지 못함	• 일반 터미널 대비 투자비는 높지만 운영비가 낮으므로 3~4년 후에는 경제적임

<표 2-3>과 같이 대부분의 지표에서 자동화 컨테이너터미널이 일반 컨테이너터미널보다 우수한 것으로 나타났다. 하지만 자동화 장비와 시스템은 미리 만

들어진 운영방식으로만 운영되므로 유인 장비에 비해서 위급한 상황에서 유연한 대처가 부족하다. 또, 돌발 상황에서 터미널 전체가 마비될 수도 있다. 따라서 자동화 장비와 시스템에 대한 안전성, 안정성, 신뢰성은 철저한 검증이 이루어져야 한다.

2.3 자동화 컨테이너터미널의 구분

자동화 컨테이너터미널은 자동화 정도에 따라 <표 2-4>와 같이 완전 자동화 컨테이너터미널과 부분 자동화 컨테이너터미널로 구분할 수 있다.

<표 2-4> 컨테이너터미널의 자동화 정도에 따른 구분

ACT 유형	자동화 정도			주요 터미널
	하역	이송	장치	
완전 자동화	<ul style="list-style-type: none"> • 선박하역 유인 • 선측하역 무인 	<ul style="list-style-type: none"> • AGV 	<ul style="list-style-type: none"> • 무인 RMGC 	<ul style="list-style-type: none"> • 독일 CTA • 네덜란드 ECT
부분 자동화	<ul style="list-style-type: none"> • 유인 C/C 	<ul style="list-style-type: none"> • YT 	<ul style="list-style-type: none"> • 무인 RMGC 	<ul style="list-style-type: none"> • 영국 TMP • 싱가포르 PPT • 홍콩 HIT • 한국 PECT

(자료 : 전영환 외 3인, 2008)

완전 자동화 컨테이너터미널은 선박 하역작업을 제외한 선측하역작업, 이송작업, 장치작업을 자동화한 컨테이너터미널을 의미한다. 대표적으로 독일의 CTA, 네덜란드 ECT 등이 있다.

부분 자동화 컨테이너터미널은 하역작업과 이송작업, 장치작업 중 일부 작업에 대해 유인 장비를 이용하고, 일부 작업을 무인자동화한 컨테이너터미널을 의미한다. 국외의 경우 싱가포르의 PPT (Pasir Panjan Terminal), 홍콩의

HIT(Hongkong International Terminal) 등이 있고, 국내의 경우 부산의 P터미널 등이 있다.

특히 P터미널의 경우 게이트 시스템과 장치장의 일부를 자동화하여 운영하고 있다. 게이트 시스템은 1996년 기존의 인수도중 제출에서 COPINO 제출로 변경되어 서류상의 자동화를 시행하였다. 하지만 최근 ON-DOCK 컨테이너가 늘어나면서 게이트에서 컨테이너의 No. 확인, Size확인, Type 확인, damage 확인, booking No. 확인, Seal 확인 작업들을 하게 되었다. 이러한 작업들로 인해 게이트의 한 Lane당 필요인원은 3명이었으나 CCTV를 이용한 자동화 시스템의 도입으로 1명으로 감소하였다. 장치장에서는 무인 RMGC를 도입하여 24시간 운영하여 장비 가동률이 향상되었다. 또 유휴시간을 활용한 리핸들링, 구내이적 작업이 편리해졌다. 최소인력으로 운영이 가능하기 때문에 인건비가 감소하였고 유류비의 감소, 고장률 감소로 인한 유지비도 감소하여 전체적인 고정비가 감소하였다. 하지만 아직 일부만 자동화 하여 운영하고 있어 전체 장비수가 부족하여 장비의 효율성을 극대화시키지 못하고 있다. 긴급 상황이 발생한 경우에도 기존의 유인 시스템에 비해 유연하게 대처하기 힘들고, 발생 지점을 확인하기 어려운 단점이 있다. 이러한 단점들은 장비의 추가 도입, 작업 프로세스의 표준화, 통합관리 시스템을 통하여 극복하여야 한다.

2.4 컨테이너터미널 리모델링의 개념

우리나라에 비해 리모델링 사업이 빈번한 미국은 리모델링의 개념을 회복(Restoration), 역사적 보존(Historic Preservation), 복원(Rehabilitation), 리모델링(Remodeling), 변형(Transform)의 5가지로 정의하고 있다. 각각에 대한 설명은 <표 2-5> 와 같다.

<표 2-5> 리모델링의 개념

정의	설명
회복	• 최초 시공 당시의 상태와 근접하도록 개보수를 실시함
역사적 보전	• 역사적 가치가 높은 건물에 대해 부가적 보전 및 역사성에 초점을 맞춤
복원	• 건물의 일부 기능이 저하되어 부분 수선을 함
리모델링	• 최소한의 구조적 변형으로 공간을 변화시킴
변형	• 구조만 남겨놓고 새롭게 사용함

이러한 개념들을 항만시설에 적용한다면 노후한 항만시설의 원형을 보존하기 위한 보수 및 복원과 노후시설의 구조를 바탕으로 새롭게 사용하기 위한 변형 및 개조 등으로 정의될 수 있다. 또 항만공간측면을 고려하는 경우 기능 재배치, 재개발을 포함할 수 있다. 그러므로 항만 리모델링은 보수, 복원, 변형, 개조, 기능재배치, 재개발까지 포함하는 개념으로 보아야 한다.

우리나라에서 항만 리모델링은 <표 2-6>과 같이 기존 시설에 물양장, 안벽 등을 철삭하거나 장비를 보완하여 생산성의 향상과 환경 친화적인 친수공간을 통한 항만 주변 환경의 향상까지 포함한다.

이러한 항만 리모델링의 개념에 컨테이너터미널의 특성을 고려하여 현대화된 고효율의 장비를 설치하거나 운영시스템 및 하역시스템을 변화 시키는 등의 하드웨어상의 개조와 소프트웨어상의 개조를 고려하면 컨테이너터미널의 리모델링 개념으로 사용할 수 있을 것이다.

<표 2-6> 우리나라 항만 리모델링 유형 구분

유형구분	내 용
노후항만시설의 보수 및 개조	<ul style="list-style-type: none"> • 보수 및 복원 • 변형 및 개조
항만기능성의 효율성 제고	<ul style="list-style-type: none"> • 설계상 수심유지를 위한 준설/물양장에서 안벽으로 개축 • 접안능력 향상/보관능력 향상/관리부두에서 여객부두로 전환
유휴부지 활용	<ul style="list-style-type: none"> • 준설토 투기장, 배후부지, 불법점유시설 방치 • 미활용시설의 방치/기존 항만시설의 폐쇄
도시기능과의 상충 해소	<ul style="list-style-type: none"> • 소음, 분진발생 등 민원제기/교통문제 등 주변지역 불편 초래 • 시설미관상 문제/주민의 항만이용 및 교통유발에 대한 민원제기 • 배후 무허가 건물의 난립/항만기능 쇠퇴로 인한 도시기능 요구
친수성 기능의 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 방파제의 편의시설 미비/항만기능의 쇠퇴 및 유휴화 • 기존 호안 및 호안주변 부지의 유휴화
제반 항만기능 혼재 해소를 위한 정비	<ul style="list-style-type: none"> • 역무선 등의 선박계류지 혼잡 • 항만기능상 혼재/조선소 난립에 따른 항만 및 도시발전 저해
기타 항만시설의 안전성/편의성 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 불필요한 시설의 방치/부두 연결호안의 노후에 따른 붕괴 • 방파제 난간, 계단 등 안전시설의 미비/침수지역의 정비/기타

(자료 : 해양수산부, 2002, 노후항만시설물 조사 및 정비계획)

제 3 장 시뮬레이션 모델링과 결과 분석

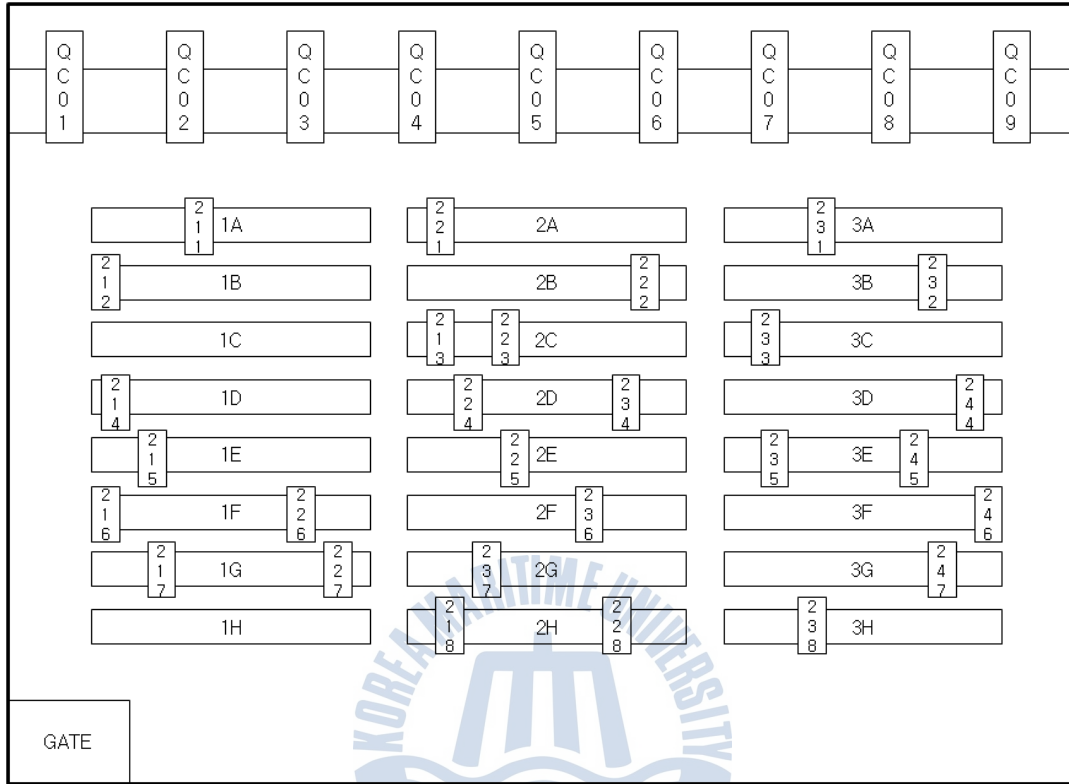
3.1 시뮬레이션

3.1.1 대상 터미널 현황

본 논문에서 시뮬레이션하는 터미널의 일반 현황은 부산 P터미널을 대상으로 한다. 야드 자동화 시스템 도입에 대해서만 고려하며, 대부분의 장비는 도입이 완료된 상태에서 현재 운영하고 있다. 대상 터미널의 일반 현황은 <표 3-1>과 같고, 터미널의 배치도는 <그림 3-1>과 같다.

<표 3-1> 대상 터미널 일반 현황

영역	구분	현황
선석	선석 수	3 선석
	안벽 수심	16m
	안벽 크레인	9 대
야드	Twenty Ground Slot	10,462 TGS
	최대 장치 능력	46,618 TEU
	일반 장치장	42,394 TEU
	냉동 장치장	3,024 TEU
	위험물 장치장	1,200 TEU
	야드 크레인	28 대
게이트	반입	4 Lane
	반출	2 Lane
이동장비	야드 트랙터	54 대
	야드 샷시	68 대
	지게차	6 대
	엠프티 핸들러	1 대
	리치 스택커	1 대



<그림 3-1> 대상 터미널 배치도

3.1.2 시나리오

대상 터미널은 타 터미널에서 사용되고 있는 검증된 IT시스템을 도입하기로 한다. 야드의 일정 영역에 대해서 자동화 시스템을 적용하며, 전체 야드 자동화 시스템의 도입은 1년 이내에 완료하는 것으로 가정한다.

자동화 시스템의 도입 시나리오는 적용 블록의 규모에 따라 <표 3-2>와 같이 3가지로 나누었다. 첫 번째 시나리오는 2개 블록씩 자동화 시스템을 도입하며, 이후 1개월마다 2개 블록씩 시스템을 적용한다. 두 번째 시나리오는 4개 블록씩 자동화 시스템을 적용하며, 이후 2개월마다 4개 블록씩 시스템을 적용한다.

세 번째 시나리오는 전체 블록에 대하여 자동화 시스템을 적용한다.

<표 3-2> 자동화 시스템 도입 시나리오

시나리오	월											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
시나리오 1	1개월마다 2개 블록씩 시스템 적용										완료	
시나리오 2	2개월마다 4개 블록씩 시스템 적용										완료	
시나리오 3	처음부터 전체 블록 시스템 적용										완료	

각 시나리오에 대해서는 <표 3-3>과 같이 결과가 예상된다.

<표 3-3> 자동화 시스템 도입 시나리오별 예상 결과

시나리오	장점	단점
시나리오 1	<ul style="list-style-type: none"> • 변환 초기 유인 블록이 많아 생산성 유지 가능 • 혼잡도 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템의 전체 적용 기간이 길어 짐 • 유인 운영 기간이 길어 전체 운영비가 높음
시나리오 2	<ul style="list-style-type: none"> • 변환 초기 유인 블록이 많아 생산성 유지 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템의 전체 적용 기간이 길어 짐 • 유인 운영 기간이 길어 전체 운영비가 높음
시나리오 3	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템의 전체 적용 기간이 짧음 • 유인 운영 기간이 짧아 전체 운영비가 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> • 변환 초기 생산성이 크게 하락함 • 혼잡도 높음

시뮬레이션에서 간략하게 야드 운영비를 계산한다. 야드 운영비는 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{12} (\text{Cost_ATCO}_i + \text{Cost_ATCM}_i + \text{Cost_MTCO}_i + \text{Cost_MTCM}_i)$$

($i = 1, 2, \dots, 12$)

Cost_ATCO_i : i 월 자동화 T/C 운영비

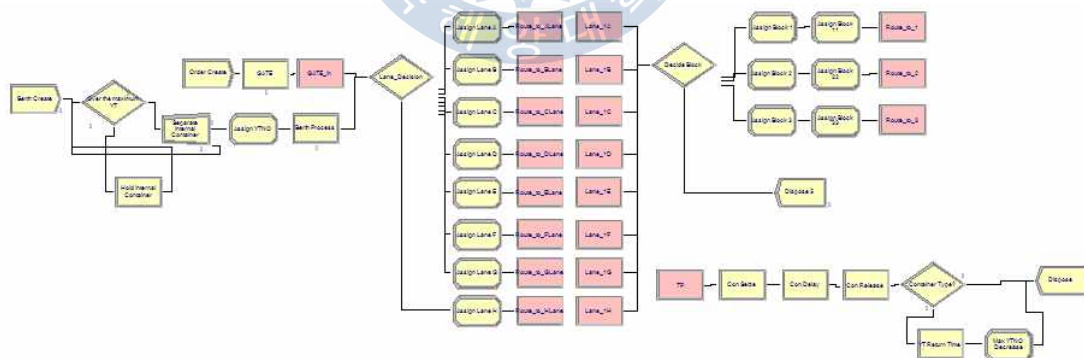
Cost_ATCM_i : i 월 자동화 T/C 기사 비용

Cost_MTCO_i : i 월 유인 T/C 운영비

Cost_MTCM_i : i 월 유인 T/C 기사 비용

3.1.3 Arena 모델링

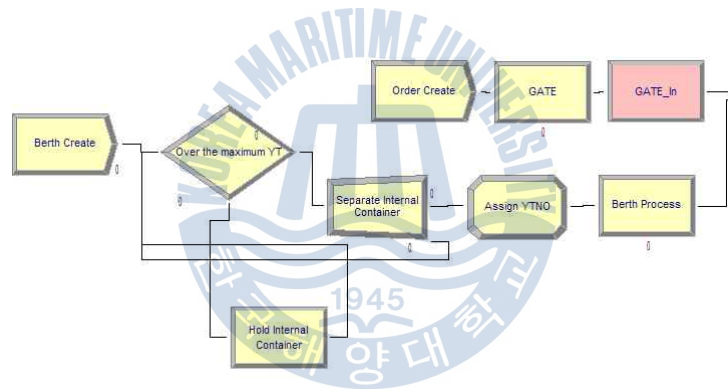
시뮬레이션 프로그램은 Arena를 이용하였다. 전체 모형은 <그림 3-2>와 같다. 전체 모형은 컨테이너 반입 모듈, Lane 결정 모듈, Block 결정 모듈, 작업대기/처리 모듈 부분으로 나눌 수 있다.



<그림 3-2> Arena 시뮬레이션 모형

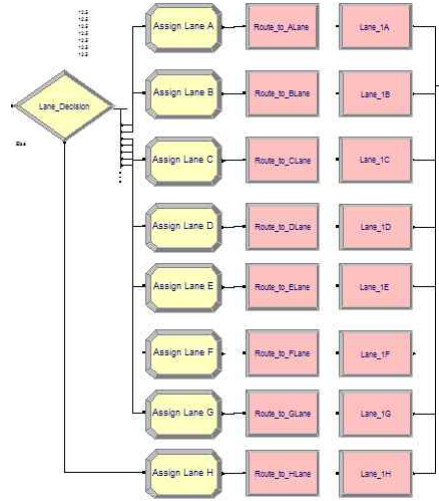
컨테이너 반입 모듈 부분은 <그림 3-3>과 같다. 생성되는 컨테이너는 게이트에서 반입되는 컨테이너와 선석에서 요청하는 컨테이너로 나누어진다. 게이트

에서 반입되는 컨테이너는 실제 데이터를 토대로 추정하여 평균이 1.4분인 지수분포 - 0.5분의 분포에 의해 Container 개체로 생성한다. 선석에서 요청하는 컨테이너도 같은 분포로 생성하지만 선석 작업에 할당된 Y/T 대수와 비교하여 최대 Y/T 대수 이하로 제한하고, 게이트에서 반입되는 컨테이너와 구분하기 위해 Container_Internal 개체로 생성한다. 게이트 반입 컨테이너의 경우 내부의 블록이나 장비가 변하더라도 생성되는 컨테이너의 개수는 크게 변하지 않는다. 하지만 선석에서 생성되는 컨테이너의 경우 컨테이너 처리가 빠르면 컨테이너의 생성도 빨라지므로 전체 처리된 물량으로 시나리오의 생산성을 파악할 수 있다.



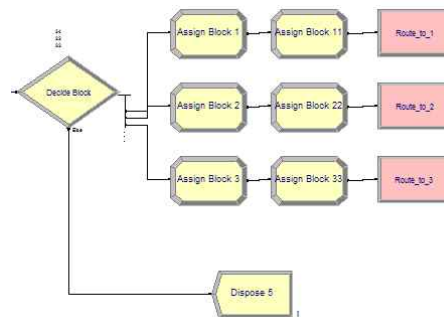
<그림 3-3> 컨테이너 반입 모듈

Lane 결정 모듈 부분은 <그림 3-4>와 같다. 컨테이너 반입 모듈에서 생성된 컨테이너들이 동일한 확률로 각 Lane에 할당된다. 각각의 Lane 별로 거리를 할당하여 컨테이너가 이동한 거리를 통해 추후 컨테이너가 시스템에서 머무른 시간을 계산할 때 사용한다.



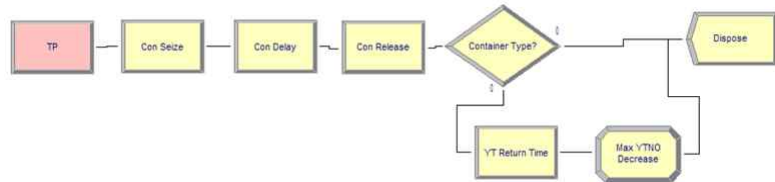
<그림 3-4> Lane 결정 모듈

Block 결정 모듈 부분은 <그림 3-5>와 같다. 이전의 Lane 결정 모듈에서 이동할 Lane이 결정된 컨테이너가 어느 Block No.으로 이동하는지 결정한다. Lane 결정 모듈과 마찬가지로 각각의 Block No.에 거리를 할당하여 컨테이너가 작업할 위치의 Block No.까지의 거리를 계산한다. 또 할당된 Lane과 Block No.을 통해 컨테이너 개체를 처리할 블록을 선정한다.



<그림 3-5> Block 결정 모듈

작업대기/처리 모듈 부분 <그림 3-6>과 같다. 선정된 블록에서는 컨테이너 개체가 처리된다.



<그림 3-6> 작업대기/처리 모듈

이전에 도착한 컨테이너 개체가 처리되기 전에 다음 개체가 도착하게 되면 나중에 도착한 컨테이너 개체는 대기하게 된다. 그 후 미리 도착한 컨테이너 개체가 작업 완료되면 대기하고 있는 컨테이너 개체에 대한 처리가 시작된다. 작업 시간은 자동화 블록인지 유인 블록인지에 따라 달라진다. 유인 블록은 최소 1.5분, 최빈 2분, 최대 3분인 삼각분포를 가진다. 자동화 블록은 자동화로 인해 처리시간이 증가함을 가정하여 유인 블록의 삼각분포에 추가로 처리시간을 더해준다. 추가된 처리시간은 처음 자동화가 도입됐을 때는 4분이 증가하는 것으로 가정하고, 블록이 컨테이너를 처리한 개수에 따라 <그림 3-7>의 학습 곡선 그래프와 같이 점차 줄어들어 자동화 완료 시 최소 1분까지 감소하는 것으로 가정한다. 블록이 컨테이너를 약 10000개 처리하면 자동화 변환이 완료되는 것으로 가정하여 학습 곡선에서 학습률은 0.9로 가정한다. 컨테이너 처리가 끝난 후 선석 작업 컨테이너였다면 YT가 다시 선석으로 돌아가는 시간을 계산하여 컨테이너 개체가 시스템에 머무른 시간에 더해준다.

3.1.4 학습 곡선

작업대기/처리 모듈에서 사용하는 학습 곡선은 한계시간모델 학습곡선이다. 한계시간모델 학습곡선은 작업수행 횟수가 두 배로 증가되는 시점의 작업 수행시간이 (1-R)만큼 감소된다는 것을 가정하여 다음과 같은 두 식을 유도할 수 있다.

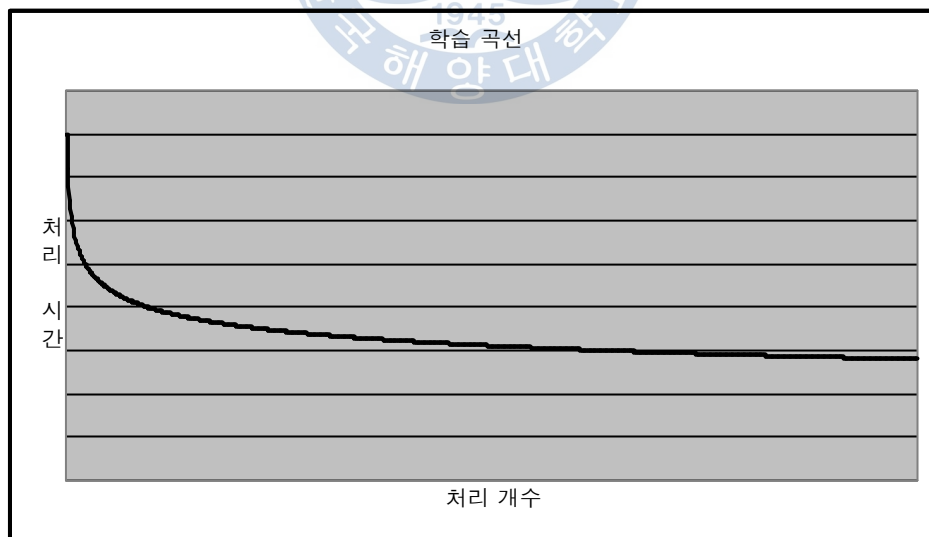
$$Z_x = aR^m, \quad \chi = 2^m$$

여기서 Z_x 는 χ 번째 반복에서의 작업 수행시간, a 는 첫 번째 작업의 수행시간, m 은 반복 작업 수행이 두 배로 증가된 횟수, x 는 작업의 반복 수행 횟수, R 은 학습률을 의미한다.

이 식으로부터 동일 작업을 χ 번 반복 수행했을 때의 χ 번째 반복 작업의 수행시간 U_x 는 다음과 같다.

$$U_x = a\chi^b, \quad \text{여기서 } b = \log R / \log 2$$

U_x 를 그래프로 나타내면 <그림 3-7>과 같다.



<그림 3-7> 학습 곡선 그래프

3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

<표 3-2>의 도입 시나리오의 시뮬레이션에 앞서 자동화 블록의 규모에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 블록의 규모에 따른 시뮬레이션은 2개 블록을 시작으로 2개 블록씩 증가 시키면서 최대 24개 블록에 대해서 최초 2개월에 대해서 2번씩 수행하였다.

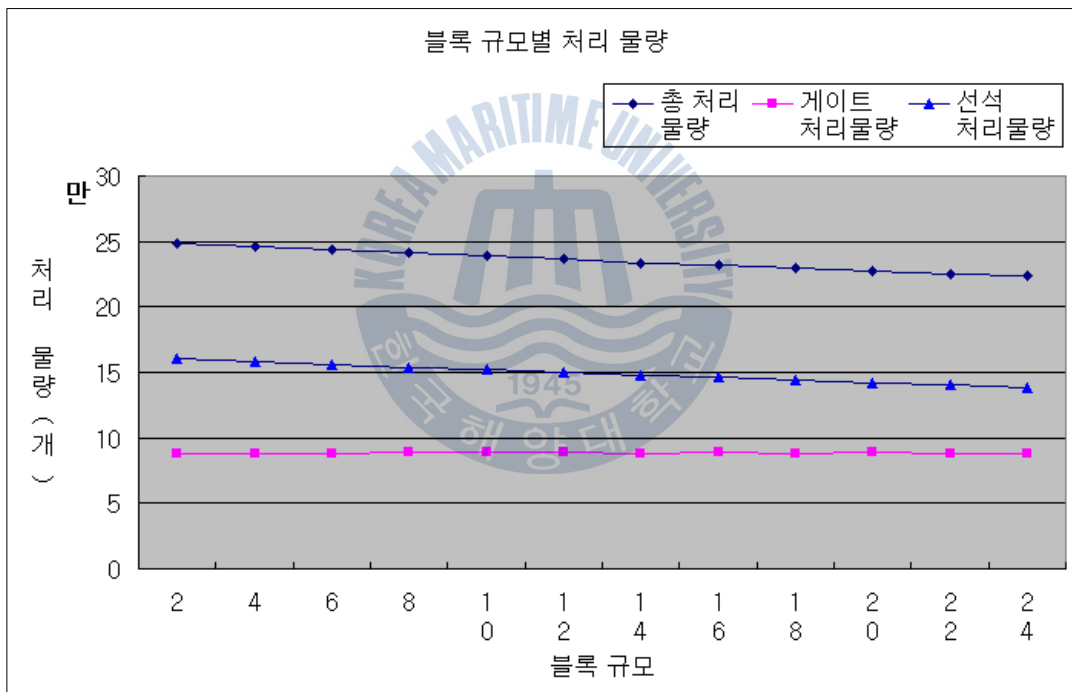
시뮬레이션에서 전체 생성 컨테이너 물량인 총 처리물량, 게이트에서 반입된 컨테이너물량인 게이트 처리물량, 선석에서 처리되는 선석 처리 물량, 자동화 블록에서 컨테이너가 작업처리를 위해 대기한 시간인 자동화 블록 대기시간, 자동화 블록에서 평균 컨테이너 대기 개수인 자동화 블록 대기열을 결과 값으로 <표 3-4>에서 비교하였다.

<표 3-4> 블록 규모별 시뮬레이션 결과 비교

결과 값 블록규모	총 처리 물량(개)	게이트 처리 물량(개)	선석 처리 물량(개)	자동화 블록 대기시간(초)	자동화 블록 대기열(개)
2	248,574	87,999	160,575	1.1352	0.1379
4	246,112	88,270	157,842	1.0858	0.1300
6	243,571	88,354	155,217	1.0594	0.1246
8	241,274	88,702	152,572	1.0506	0.1226
10	238,751	88,609	150,142	1.0366	0.1199
12	236,459	88,593	147,866	1.0148	0.1156
14	233,723	88,114	145,609	1.0070	0.1138
16	231,895	88,553	143,342	0.9938	0.1114
18	229,657	88,407	141,250	0.9796	0.1087
20	227,734	88,484	139,250	0.9649	0.1062
22	225,128	87,869	137,259	0.9560	0.1040
24	223,805	88,422	135,383	0.9438	0.1019

<그림 3-8>과 같이 게이트 처리물량은 자동화 블록 수에 의한 변화 없이 대체

로 일정하였으나, 총 처리 물량과 선석 처리물량은 자동화 블록 수가 많을수록 감소하였다. 총 처리물량의 감소는 자동화 블록의 처리시간의 증가로 생산성이 감소한 것으로 볼 수 있다. 이로 인해 지속적으로 발생하는 선석 처리 물량이 감소하면서 전체 처리 물량이 감소하게 되었다. 자동화 블록 대기시간과 자동화 블록 대기열 또한 자동화 블록 수가 많을수록 감소하였다. 자동화 블록의 개수가 많아지면서 자동화 블록에서 처리하는 컨테이너가 분산되어 대기시간과 대기열이 감소하였고 이는 곧 혼잡도가 감소한 것으로 볼 수 있다.



<그림 3-8> 블록 규모별 처리 물량

블록 규모별 시뮬레이션에서는 자동화 블록의 규모가 커질수록 전체 처리물량은 감소하지만 혼잡도 측면에서는 좋은 결과를 보이고 있다.

자동화 시스템 도입 시나리오별 시뮬레이션은 <표 3-3>의 시나리오에 대해서

학습률을 0.9로 하여 2번씩 수행하였다. <표 3-6>은 각 시나리오의 결과 값을 비교하였다.

운영비는 자동화 T/C 운영비는 200으로 산정하고 유인 T/C는 120%의 운영비가 드는 것으로 가정하였다. 운영 인원은 자동화 T/C는 한 명당 200의 비용이 필요하고 최대 4대까지 T/C를 운용할 수 있고, 유인 T/C는 한 명당 360의 비용이 필요하고 1대만 T/C를 운용할 수 있다고 가정하였다.

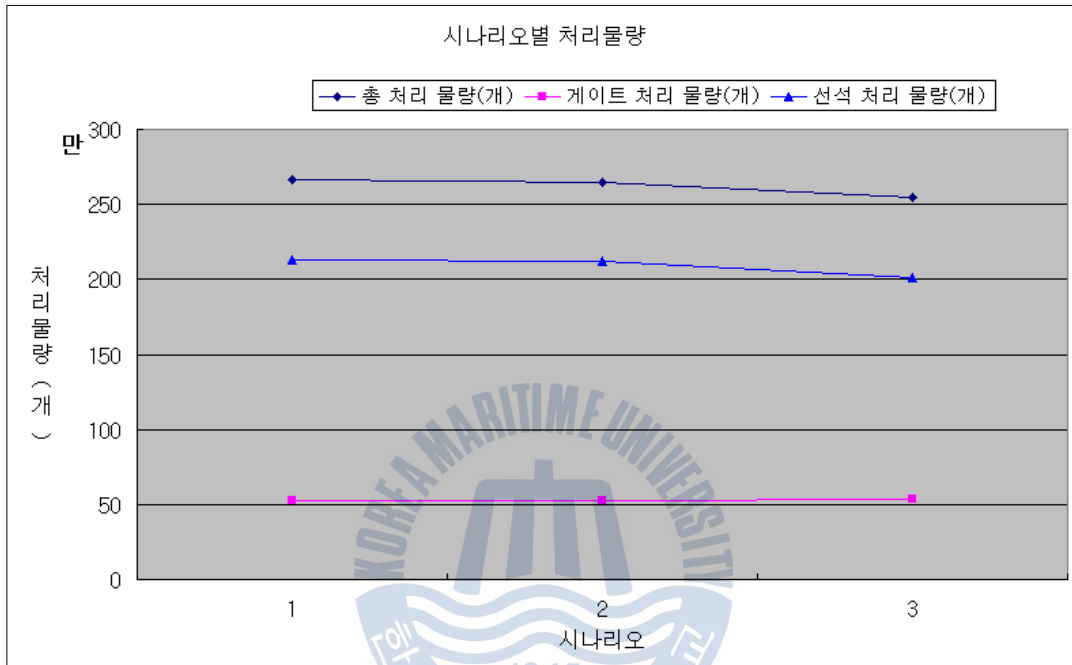
<표 3-5> 자동화 시스템 도입 시나리오별 결과 비교

시나리오 결과값	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
총 처리 물량(개)	2,661,354	2,648,261	2,543,313
게이트 처리 물량(개)	529,640	529,539	530,410
선석 처리 물량(개)	2,131,714	2,118,732	2,012,903
전체 운영비	118,800	114,000	72,000

<표 3-5>와 같이 자동화 시스템 도입 시나리오별 결과 값에서도 게이트 처리 물량은 각 시나리오별로 큰 차이가 없었다. 하지만 선석 처리 물량은 한 번에 자동화 변환하는 블록의 개수가 많을수록 줄어들었다. 전체 운영비는 <표 3-3>의 예상과 같이 시나리오 1이 가장 높았고, 시나리오 3이 가장 낮았다.

<그림 3-9>와 같이 2개 블록씩 변환하는 시나리오 1은 다른 시나리오에 비해서 처리 시간이 빠른 유인 블록의 운영 기간이 길었기 때문에 총 처리 물량이 많았지만, 유인 블록의 높은 운영비로 인해 전체 운영비는 가장 높았다. 4개 블록씩 변환하는 시나리오 2는 시나리오 1에 비해서 총 처리 물량과 전체 운영비가 약간 줄어들었다. 처음부터 전체 변환하는 시나리오 3은 유인 블록의 운영

이 없었기 때문에 전체 처리 물량이 가장 적었지만, 자동화 블록의 낮은 운영비로 인해 전체 운영비가 가장 낮았다.



<그림 3-9> 시나리오별 처리 물량

각 시나리오에 따른 결과를 비교하면, 자동화 블록의 도입 규모가 클수록 전체 생산성이 감소하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 생산성 감소는 자동화 변환 과정에서 추가적인 장비 투입으로 해결이 가능하다. 장비를 투입하는 시기는 변화 규모에 따라 변할 수 있는데, 큰 규모로 변환 할수록 생산성 감소의 폭이 크기 때문에 빠른 추가 장비 도입이 필요하다.

제 4장 결론

자동화 컨테이너터미널은 기존의 유인 컨테이너터미널에 비해 생산성과 비용, 운영 측면에서 효율적인 것으로 연구되었다. 완전 자동화 컨테이너터미널을 목표로 한다면 신규로 자동화 컨테이너터미널을 건설하는 방법이 가장 효율적이겠지만, 비용이나 토지, 환경 등 여러 가지 문제들로 인해 어려움을 가지고 있다. 그래서 기존의 컨테이너터미널에 대해 자동화 장비나 시스템을 도입하여 자동화로 변환하는 방법이 신규 건설에 비하여 비교적 효율적이라고 볼 수 있다.

본 논문에서 실행한 시뮬레이션에서는 자동화 시스템을 도입하는 블록의 개수가 클수록 전체 운영비는 줄어드는 반면 생산성의 감소로 인해 처리할 수 있는 컨테이너의 개수는 줄어들었다. 여기서 전체 운영비는 간략하게 계산되었으므로, 반영되지 못한 비용들로 인해 실제 운영비와는 다소 차이가 있을 것으로 보인다. 하지만 간략한 운영비 산정으로 결과를 봤을 때 작은 규모로 변환할 경우 전체 운영비가 상승하게 되므로 가능한 큰 규모로 변환하는 방법을 고려해야 한다.

마지막으로 본 논문에서는 야드의 자동화 시스템 도입에 대해서 시뮬레이션하였다. 게이트 반입 컨테이너의 분포나 각 블록간 거리의 계산은 실제 컨테이너터미널의 자료를 기반으로 하였다. 따라서 상황별로 일부 요소에 대하여 적합한 자료를 추가한다면 더욱 현실적인 시뮬레이션이 가능하다. 또한 부분 자동화 도입이 아니라 완전 자동화 컨테이너터미널을 목표로 한다면 자동화 변환 과정에서 각각의 영역 간에 이루어지는 간접 효과에 대해서도 연구도 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- 문일경, 조규갑, 조면식, 최원준(2007), “ARENA를 이용한 시뮬레이션”, 교보
문고
- 박경택(1997), “자동화 컨테이너터미널”, 대한조선학회지, 제 34권 1호,
pp.50-58
- 박중배, 이운한, 홍성대(2003), “자동화 컨테이너터미널 운영의 새로운 추세”,
대한토목학회지, 제 51권 5호, pp.4-15
- 송만순(2003), “우리나라 자동화 컨테이너터미널 개발 계획”, 대한토목학회지,
제 51권 9호, pp.20-30
- 송만순(2004), “리모델링에 의한 항만의 효율적 개발방안 연구”, 건국대학교
박사학위논문
- 양창호, 최종희, 최용석, 하태영(2003), “차세대 컨테이너터미널 운영시스템의
기술개발 방향과 전략수립에 관한 연구”, 한국해양수산개발원 연구보고
서
- 유동호, 최형림, 박남규, 이선용(2004), “컨테이너터미널 야드 운영의 자동화 방
식 결정에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제 28권 2호, pp.263-272
- 이성우(2005), “AHP기법을 활용한 항만리모델링사업 우선순위 선정에 관한 연
구, 대한국토·도시계획학회지, 제 40권 4호, pp.59-71

전영환, 최형립, 유동호, 윤수진(2008), “우리나라 자동화 컨테이너터미널 발전
을 위한 핵심요인 분석에 관한 연구”, 한국항만경제학회지, 24권 4호,
pp.97-114

정광태, 홍자인(2008), “제품의 학습성을 평가하기 위한 학습곡선 모델의 적
용”, 대한인간공학회지, 27권 2호, pp.59-65

최용석, 김우선, 하태영(2005), “컨테이너터미널의 리모델링 방안 연구”, 한국
해양수산개발원 연구보고서

최용석, 김우선, 하태영(2006), “컨테이너터미널의 리모델링 현황 및 기술검
토”, 한국항해항만학회지, 제 30권 1호, pp373-380

최용석, 김우선, 하태영(2006), “컨테이너터미널 리모델링 기술검토 : 부산항
사례”, 한국항해항만학회지, 제 30권 6호, pp.499-508

최용석(2010), “컨테이너터미널 리모델링 기술적용 인과분석 - 광양항 사례
-”, 한국항만경제학회지, 제 26집 1호, pp.105-130

최형립, 박남규, 박병주, 유동호, 권해경(2004), “자동화 컨테이너터미널 개발
전략에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 춘계학술대회 논문집,
pp.479-485

한국컨테이너부두공단 연구자료(2002), “우리나라 컨테이너부두 생산성 향상방
안 연구”