

工學碩士 學位論文

컨테이너 터미널 유형 평가

Evaluation of Container Terminal Types

指導教授 南 奇 燦

2003年 2月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

劉 明 鍾

本 論文을 劉明鍾의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 工學博士 郭 圭 錫



委員 工學博士 金 煥 成



委員 工學博士 南 奇 燦



2002年 12月
韓國海洋大學校 大學院
物流시스템工學科
劉 明 鍾

Evaluation of Container Terminal Types

Yoo, Myoung-Jong

Department of Logistics System Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

This study aims at evaluating the existing three different container terminal types, the conventional, the unmaned and the indented terminal, so called 'ship-in-slip', with respect to productivity and costs. For this the Pusan Newport under construction, ECT Delta Terminal and Ceres Paragon Amsterdam Terminal are taken as examples.

Particular features of the three terminal types are analysed with respect to the layout of terminal, the equipment type and fleet and operational aspects. Then, the productivity is evaluated and compared with respect to the area of terminal, length of berth, number of quay crane and number of yard equipment. Cost evaluation is also followed including infrastructure costs, labour costs and operation costs. Based on these the adaptability of each terminal type is evaluated with respect to the terminal environment such as labour availability, level of labor cost and level of lease.

제 목 차 례

1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 수행 방법 및 구성	1

2장 터미널 유형별 특성

2.1 부산신항만	4
2.1.1 계획터미널 규모	4
2.1.2 도입 장비	5
2.2 ECT	7
2.2.1 ECT DSL Terminal 규모	7
2.2.2 ECT DSL Terminal의 도입 장비	8
2.3 Ceres Paragon Terminal	10
2.3.1 Ceres Paragon Terminal의 규모	10
2.3.2 Ceres Paragon Terminal 장비	12

3장 터미널 유형별 생산성 평가 및 비용 분석

3.1 터미널 유형별 생산성 평가	14
3.1.1 부산신항만의 생산성	14
3.1.2 ECT DSL Terminal의 생산성	14
3.1.3 Ceres Paragon Terminal의 생산성	15
3.1.4 생산성 비교	16
3.2 터미널 유형별 비용 분석	17
3.2.1 유형의 분류 및 분석 방법	17
3.2.2 장비 비용	17
3.2.3 Infrastructure 비용	21
3.2.4 인건비	26
3.2.5 운영비	28
3.2.6 총 비용분석	29

3.2.7 TEU당 항목별 소요비용	30
---------------------------	----

4장 터미널 유형 선정을 위한 시사점

4.1 터미널 유형 선정 모형	31
4.1.1 고려점	31
4.1.2 터미널 유형 평가 모델	32
4.2 터미널 유형별 적합성 평가	34
4.2.1 터미널 비용 구조 측면	34
4.2.2 터미널 제약 요인	36
4.3 우리나라의 터미널 유형 도입 방안	38

5장 결론

표차례

<표 2-1> 터미널 규모	5
<표 2-2> 도입 예정 장비	5
<표 2-3> 컨테이너 별 장치 능력	6
<표 2-4> ECT DSL Terminal 현황	7
<표 2-5> ECT DSL Terminal의 도입 장비	8
<표 2-6> Ceres Paragon Terminal 규모	11
<표 2-7> Ceres Paragon Terminal 장비	12
<표 3-1> 부산신항만 제원 및 생산성	14
<표 3-2> ECT의 제원 및 연간 생산성	15
<표 3-3> Ceres Paragon Terminal의 제원 및 연간 생산성	15
<표 3-4> 터미널별 연간 생산성 비교	16
<표 3-5> Case별 투입 장비 규모	18
<표 3-6> Case 1의 장비비 및 감가상각비	19
<표 3-7> Case 2의 장비비 및 감가상각비	20
<표 3-8> Case 3의 장비비 및 감가상각비	21
<표 3-9> 운영시스템별 장비 비용의 합	21
<표 3-10> 주요 안벽공법의 단위 공사비	22
<표 3-11> 안벽공사비	23

<표 3-12> 상재하중에 따른 공사비 비교	23
<표 3-13> 지반개량 단위 공사비	24
<표 3-14> 지반개량공사비	24
<표 3-15> Case 1의 포장공사비	25
<표 3-16> Case 2의 포장공사비	25
<표 3-17> Case 3의 포장공사비	26
<표 3-18> 야드 조성 공사비	26
<표 3-19> 운영시스템별 인건비 비교	27
<표 3-20> Case별 연간 사용 시간	28
<표 3-21> Case별 연간 동력비용	29
<표 3-22> 운영시스템 총 비용	29
<표 3-23> TEU당 항목별 비용	30
<표 4-1> 터미널 유형 결정 시 고려점	31
<표 4-2> 국내 터미널의 채산성 비교(98년도 기준)	34
<표 4-3> 외국 터미널의 채산성 비교(98년도 기준)	35
<표 4-4> Port of Amsterdam에 입항 가능한 선박 규모	36
<표 4-5> 갑문 규격	36
<표 4-6> 터미널 유형별 적합성 종합 평가	37
<표 4-7> 터미널 유형 도입 단계	39

그림 차례

<그림 1-1> 연구 수행 체계도	2
<그림 2-1> 부산신항만 Terminal	4
<그림 2-2> ECT DSL Terminal	10
<그림 2-3> Ceres Paragon Terminal의 개념도	11
<그림 2-4> Ceres Paragon Terminal 배치도	12
<그림 4-1> 터미널 유형별 도입 목적에 따른 평가	32
<그림 4-2> 터미널 여건 특성에 따른 평가	33
<그림 4-3> 재래 터미널 유형의 인건비 증가에 따른 무인 터미널 유형 도입 타당성	35
<그림 4-4> 터미널 유형별 적합성 척도	37
<그림 4-5> Amsterdam North Lock	38

1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

컨테이너 터미널은 생산성 향상 및 비용 절감을 목표로 하여 형태, 운영, 규모 등의 측면에서 변천해오고 있다. 특히, 최근 들어서 자동화 관련 기술의 진전과 함께 하역 장비의 자동화에서 무인 터미널에 이르기 까지 다양한 형태로 변천하고 있다. 그 방향은 크게 인력을 절감하기 위한 자동화와 시간당 하역량을 증대시키기 위한 대용량 하역 시스템으로 나아가고 있다. 최근, 네덜란드 ECT의 무인 터미널에 이어 'Ship-in-Slip'으로 불리는 독크(dock) 식 터미널이 네덜란드 암스테르담에 개장하였다.

이들 터미널은 각 터미널이 처한 환경에 순응하거나 환경을 극복하는 측면에서 추진되었다고 할 수 있다. 즉, ECT 무인 터미널의 경우 높은 인건비와 숙련 기사 확보 문제를 해결하기 위한 것이 주 목적 중 하나이며, 항만물류를 국가 전략 산업으로 육성하려는 정부의 의지에 따른 차별화 방안의 산물이라고도 할 수 있을 것이다. Ceres 터미널은 1시간 거리에 입지한 로테르담항과 직접 경쟁이 불가능한 상태에 있기 때문에 차별화를 시도한 결과 겐트리 크레인 9기까지 할당할 수 있는 특수형태의 터미널을 개발하였다고 볼 수 있다.

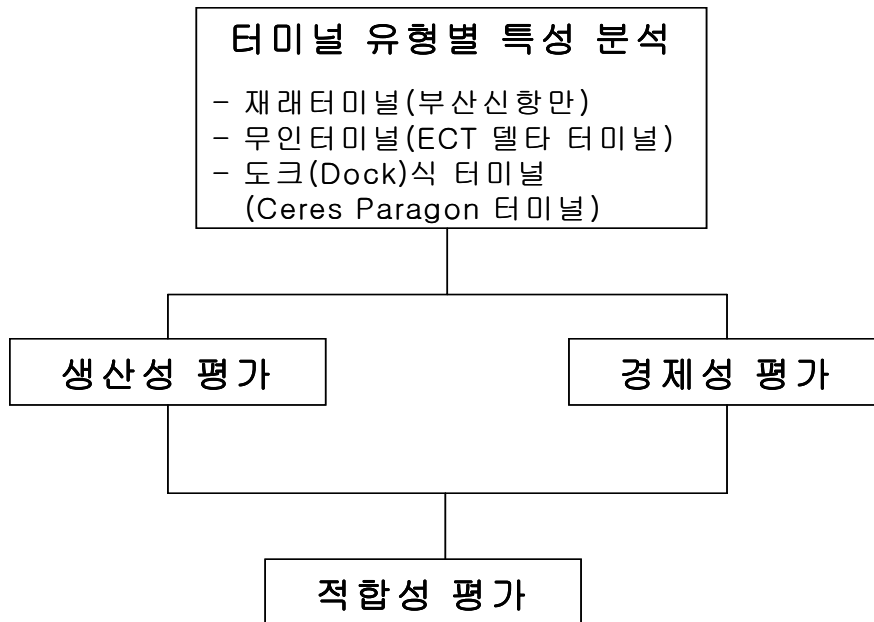
이들 각 터미널 형태는 터미널 배치 형태, 장비 종류 및 규모 등이 다르기 때문에 생산성 경제성 측면에서 차이가 있다. 따라서, 객관적인 기준을 바탕으로 하여 생산성 및 경제성을 평가함으로써 각 터미널 형태에 대한 이해를 높일 필요가 있다.

본 논문은 이러한 필요성에 따라 기존의 재래 터미널, ECT 무인 터미널 그리고 Ceres 도크 식 터미널 등 현재 개장 중인 3개 터미널 형태의 생산성과 경제성을 평가하고 도입의 타당성을 검토하고자 한다.

1.2 연구의 수행 방법 및 구성

본 논문의 연구 수행 방법은 선정된 3개 터미널 유형별 특성 분석, 생산성

및 경제성 분석 그리고 적합성 평가 등 세 가지 측면에서 제시될 수 있다. 먼저, 유형별 특성 분석의 경우 부산신항만 개발계획, ECT 델타 터미널 현황 그리고 Ceres 터미널 현황을 바탕으로 하여 상호 대조적인 측면을 중심으로 분석한다. 둘째, 생산성 평가의 경우 부산 신항만 계획 물동량 및 장비를 기준으로 하고 ECT의 경우 실제 처리량과 사용 장비를 기준으로 하며 아직 컨테이너 처리 실적이 없는 Ceres 터미널의 경우 계획 물동량과 설치된 장비를 기준으로 한다. 경제성 평가의 경우 부산 신항만 계획에 적용된 표준 공사비와 장비 단가를 적용하여 최종적으로 TEU당 원가를 도출한다. 마지막으로, 적합성 평가의 경우 각 터미널이 직면한 주요 환경을 도출하여 각 터미널의 적합성을 입증하며, 우리나라의 인건비 등 항만 운영 여건 변수를 바탕으로 하여 우리나라에 도입할 경우의 적합성을 평가한다.



<그림 1-1> 연구 수행 체계도

본 논문의 구성은 제 1장 서론에 이어 제 2장에서 각 유형별 터미널의 현황

을 살펴 보고, 제 3장에서 각 유형별 터미널의 설계 Capacity를 기준으로 하였을 때 안벽 m당, 장치장 m²당, 안벽 장비당, 야드 장비당 생산성을 비교하였으며, 더불어 각 유형별 터미널의 장비비, Infrastructure 비용, 인건비, 운영비 등을 비교하였다. 그리고 4장에서는 각 터미널의 유형들이 갖는 시사점에 대해서 언급하였으며, 마지막 5장은 결론으로 구성하였다.

2장 터미널 유형별 특성

2.1 부산신항만

2.1.1 계획 터미널 규모

부산신항만은 21세기 동북아 최대의 중심항만 (Hub Port) 개발을 목표로 민간 자본에 의하여 추진되는 사업으로서 안벽은 향후 예상되는 차세대 컨테이너 선박인 최대 8000TEU급 (100,000 DWT) 선박의 접안이 가능하도록 설계되었다.

부산신항만의 운영시스템은 기존 항만과 동일한 안벽시스템과 야드의 효율적인 운영과 생산성을 고려한 RMGC(Rail Mounted Gantry Cranes)시스템을 채택하여 2006년부터 조기 개장되어 운영될 예정으로 <표 2-1>와 같은 규모의 시설을 갖출 예정이다.

부산신항만은 안벽설계시 선박이 접안할 때 선박의 롤링(rolling)에 의한 선박과 안벽크레인의 충돌을 방지하기 위한 목적으로 안벽크레인의 해측레일에서 안벽끝까지의 크레인 셋백 (crane set-back)을 6.5m로 설계함으로써 안전한 접안을 위한 충분한 공간을 확보하였다.



<그림 2-1> 부산신항만 Terminal

<표 2-1> 터미널 규모

항 목		규 모	비 고
터미널 능력(TEU/yr)		3,900,000	3.2Km 안벽 기준
터미널 규모	안벽길이 (m)	3,200(L) x 55(W)	
	장치장 면적 (m ²)	132.8만	터미널 내 도로 포함
전면수심		-15 m	

자료 : 부산신항만(주), 『북 컨테이너 터미널 운영계획 보고서』 2000

2.1.2 도입 장비

부산신항만이 도입할 예정인 장비는 안벽 크레인 30대, 야드크레인 99대 등이며 세부 도입 예정 장비목록은 <표 2-2>와 같다.

안벽에는 최대 8,000 TEU급 컨테이너 선박의 양적하가 가능하도록 도입 크레인의 Outreach를 60m(갑판 위 22열까지 양적하 가능)로 설계하였으며, 정격하중은 특수화물을 고려하여 50.8톤으로 하였다. 부산신항만은 선박당 최대 5대의 안벽크레인을 양·적하 작업에 투입이 가능하도록 설계되었으며, 6개 선석에 총 30대의 안벽크레인이 배치될 예정이다.

<표 2-2> 도입 예정 장비

항 목		규 모	비 고
소요장비 규모	안벽크레인	30 대	22열 Outreach, Twin-lift
	야드크레인	99 대	9열 5단 RMGC
	Yard Tractors	210 대	
	YT Chassis	210 대	
	Rail Tractors	14 대	
	Reach Stacker (E)	8 대	
	Reach Stacker (F)	2 대	
	Breakbulk Chassis	1 대	
	Rail Cranes	4 대	철송용 RMGC

자료 : 부산신항만(주), 『북 컨테이너 터미널 운영계획 보고서』 2000

야드 장치장의 경우 각 블록은 안벽과 평행하게 배치되며, 컨테이너를 크게 4종류로 분류하여 장치한다. 적컨테이너는 레일주행 야드크레인 (RMG-Rail

Mounted Gantry Crane)에 의해 9열 5단 장치가 가능하며, 냉동 컨테이너는 전원을 공급할 수 있는 설비를 갖춘 별도의 장치 블록에 장치되고, 공컨테이너는 포크리프트 트럭을 이용하여 별도의 장치장(공컨테이너 장치장)에 12열 6단까지 장치할 수 있다. 비규격 컨테이너 (높이, 폭, 길이초과)는 장치장에 장치할 경우 장치장 효율을 상당히 저하시키므로 야시 위에 적재하는 온휠(On-Wheel)방식으로 장치한다. 컨테이너 종류별 최대 장치능력은 <표 2-3>와 같다.

<표 2-3> 컨테이너 종류별 장치 능력

구 분	피크시 소요량	최대 장치능력	사용장비
적컨테이너	47,920 TEU	64,670 TEU	레일주행 야드크레인
냉동컨테이너	1,800 TEU	2,390 TEU	레일주행 야드크레인
공컨테이너	12,160 TEU	7,620 TEU	포크리프트트럭
비규격컨테이너	-	330 TEU	On-Wheel
계	61,880 TEU	75,010 TEU	

자료 : 부산신항만(주), 『북 컨테이너 터미널 운영계획 보고서』 2000

2.2 ECT

컨테이너 전용부두운영회사가 운영하고 있는 ECT는 크게 HCD(Home Container Division)과 DCD(Delta Container Division)로 분리 운영되고 있다. HCD는 1970년부터 1980년 초에 걸쳐서 개발된 컨테이너 터미널로서 철송 및 내수면수송을 위한 Barge (내륙수송의 30%)를 이용하고 있다.

DCD는 1984년부터 Maasvlakte지역에 자동화로 건설된 현대식 컨테이너 터미널로서 크게 3개의 터미널과 BRC(Barge, Rail, Common)로 불리는 공동지역으로 분리 운영되고 있으며 DCD는 다음과 같이 운영체계가 다른 3개의 터미널로 운영되고 있다.

- DMU (Delta Multi User) 터미널 : DCD에 최초로 개장한 반자동화 터미널로서 안벽에 위치하는 안벽크레인, 야드 운영을 위한 스트래들 캐리어 및 안벽과 야드의 이송을 위한 Multi-Trailer 등의 운영체계를 갖추고 있다.

- DSL (Delta Sea-Land) 터미널 : 세계 최초의 무인 자동화터미널로서 Sea-Land사가 전용으로 사용하고 있으며 기존의 안벽 크레인에 야드 운영을 위한 자동화 장비 ASC, 야드와 안벽을 운영하는 AGV, 야드와 외부 차량을 연결하는 스트레들 캐리어 등의 운영체계를 갖추고 있다.
- DDE (Delta Dedicated East) 터미널 : 'Delta 2000-8' 프로젝트에 의거 6,000 ~ 8,000 TEU급 이상 초대형 선박의 취항이 가능한 터미널로 건설 완공 단계에 있으며, 항만설계는 DSL 터미널과 매우 유사한 무인 자동화 운영체계를 추진하고 있다.

야드 운영체계를 완전 무인 자동화 운영체계를 갖춘 터미널은 ECT(Europe Combined Terminal)가 유일하며, 함부르크 등에서도 현재 개발하고 있는 단계이다. 본 논문에서는 ECT DSL 터미널을 ECT 터미널의 대표 터미널로 선정하여 자료를 조사하였다.

2.2.1 ECT DSL Terminal 규모

ECT DSL Terminal의 총 면적은 62만 m²이며 안벽길이는 970m, 전면수심은 16.6m로써 8,000 TEU급 대형선박 접안이 가능하도록 설계되었다. ECT DSL Terminal은 부산신항만과 같이 안벽설계 시 선박이 접안할 때 선박의 롤링(rolling)에 의한 선박과 안벽크레인의 충돌을 방지하기 위한 목적으로 안벽크레인의 해측 레일에서 안벽 끝까지의 크레인 셋백 (crane set-back)을 8.5m로 확보하고 있다.

<표 2-4> ECT DSL Terminal 현황

항 목		규 모	비 고
터미널 능력 (TEU/yr)		1,250,000	
터미널	안벽길이 (m)	970	Set-back 8 m
규모	장치장 면적 (m ²)	62만	
수 심		16.6 m	

자료 : 부산신항만(주), 『선진항만 벤치마킹 보고서』 1997

2.2.2 ECT DSL Terminal의 도입 장비

ECT DSL Terminal이 사용하고 있는 장비는 안벽 크레인 8대로서 이중 4대는 Dual Trolley System이며, 야드 크레인은 28대 이고, 세부 도입 예정 장비목록은 <표 2-5>와 같다.

안벽 크레인은 수동으로 운영되고 있으며, 자동화 시스템을 탑재하고 있다. 안벽크레인의 육측과 해측의 레일 사이(rail span)에는 6개의 AGV레인과 1개의 비규격 lane이 요구되며, back reach에는 헤치커버 장치 영역과 긴급대피영역으로 3m를 확보하고 있다.

크레인의 제어시스템은 같은 작업영역에 있는 관련 장비와 실시간으로 위치 정보를 교환할 수 있는 시스템을 갖추고 있다.

<표 2-5> ECT DSL Terminal의 도입 장비

항 목		규 모	비 고
소요장비 규모	안벽크레인	8 대	4대는 Dual Trolley System
	ASC	28 대	
	AGV	58 대	
	Yard Tractor	4 대	
	Straddle Carrier	6 대	
	MT Tractor	2 대	
	Reach Stacker	5 대	

자료 : Containerization Year Book, 2002

ECT DSL Terminal은 안벽-장치장간의 이송과 장치에 AGV-ASC (Automated Guided Vehicle-Automatic Stacking Cranes)시스템을 이용하고 있다. 장치장은 안벽과 외부와의 접속점 역할을 하고 있어서 안벽에서 장치장(혹은 장치장에서 안벽)까지 이송장비인 AGV(Automated Guided Vehicle)에 의해 컨테이너가 이송되면, 이송된 컨테이너를 장치장에 배치된 ASC(Automatic Stacking Cranes)가 접속점에서 AGV로부터 컨테이너를 하역(하차 또는 상차)한다.

터미널에서 외부로 반출되는 컨테이너의 경우는 ASC가 장치된 컨테이너를 장치장 뒤쪽에 위치하는 외부 접속점까지 이동시키면 스트레들 케리어에 의해

외부 트럭에 상차되어진다.

컨테이너 장치장은 안벽과 수직 방향으로 배치되어 있으며, 52개의 ASC lane 이 있고 각 ASC lane은 6열 2단적으로 컨테이너를 장치할 수 있도록 되어있다. 일반 컨테이너와 냉동컨테이너만 ASC에 의해 취급되어지고, 비규격 컨테이너는 ASC-M에 의해 취급되어진다. ASC가 고장났을 경우에는 비상 크레인인 ASC-R에 의해 수리가 완료될 때까지 교체 투입한다. 사전 예약되어진 반출입 컨테이너에 대한 정보가 수집되면 PCS(Process Control System)는 실시간으로 monitoring된 야드 현황을 고려하여 자동으로 적절한 분배와 계획 수립을 한 후 장치장의 각 해당 ASC에 데이터를 전송하고 동시에 AGV에도 데이터가 전송되도록 시스템을 운영하고 있다.

앞서 언급된 ECT DDE Terminal의 야드 장비는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- AGV : AGV는 안벽과 장치장사이의 무인 컨테이너 이송 장비로서 AGV 이동 구간의 포장은 ILB(Inter-Locking Block)포장이 요구되며 이동로 추적장치인 트랜스ponder, GPS(Global Positioning System), WLAN(Wireless Local Area Network) 등의 부가적인 통신장비와 시스템이 요구된다. 또한 AGV를 시뮬레이션 할 수 있는 일정 규모의 Test Bed가 반드시 있어야 하며, 수작업으로 수행되는 급유를 위한 급유시설과 유지보수를 위한 별도의 정비공장을 갖추어야 한다.
- ASC, ASC-R, ASC-M : ASC는 장치장에서 무인으로 컨테이너를 취급하는 장비로서 AGV Docking 시스템, 위치제어시스템, 크레인제어시스템, 자기고장진단시스템, S/C(Straddle Carrier) Docking 시스템 등과 상호 인터페이스 되어야 하며, 관련된 모든 정보는 PCS에 의해 통제된다. ASC-R은 ASC 및 ASC-M의 고장이나 예방적인 유지보수를 위해 장비를 교체할 때 사용된다. ASC-R은 Control Cab을 갖추고 있으며 ASC-R을 이송하기 위한 ASC-lifter를 사용하기 위한 Sub-yard를 필요로 한다. 모든 정보 송수신은 무선 LAN시스템을 갖추고 있다. ASC-M은 ASC와 근본적으로 같으나 비규격화된 컨테이너를 취급하기 위한 것으로 운전자가 직접 조작한다.



<그림 2-2> ECT DSL Terminal

2.3 Ceres Paragon Terminal

2.3.1 Ceres Paragon Terminal의 규모

Ceres Paragon Terminal의 총면적은 63만㎡이며 전면수심은 13.5m이다. 안벽의 경우 도크(dock) 형태의 선석과 일반 컨테이너 터미널과 같은 형태의 두 가지가 있으며, 재래형인 Marginal Berth의 길이는 650m이고, 도크 형인 Indented Berth의 경우는 폭 50.5m, 길이 400m, 수심 19m이다.

기존의 대부분 컨테이너 터미널은 전면에 선박 접안을 위한 계류시설, 안벽크레인은 단일 방향에서 양적하 작업을 수행할 수 있는 터미널인 반면, Ceres Terminal이 채택하고 있는 ‘Ship - in - a slip’ 안벽시스템은 조선소의 도크처럼 기존 터미널 안벽과 수직방향으로 안벽을 건설한 “Indented Berth” 구조로 건설하여 Berth 양쪽에서 양적하 작업이 가능하다. 또한 일반 컨테이너 터미널에서는 흔히 볼 수 없는 안벽과는 직각으로 겐트리 주행이 가능한 Curved Rail 안벽크레인이 설치되어 있다.

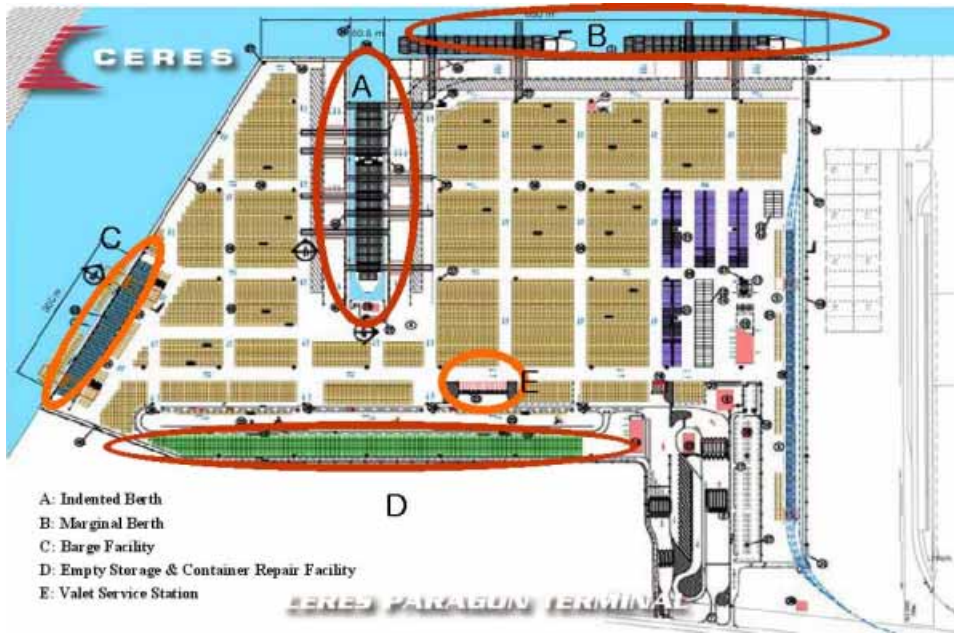
<표 2-6> Ceres Paragon Terminal 규모

항 목		규 모	비 고
터미널 능력 (TEU/yr)		950,000	
터미널 규모	Marginal Berth (m)	650	
	Indented Berth	50.5m(W)x400m(L)x19m(D)	
	장치장 면적 (m ²)	63만	
수 심		13.7 m	

자료 : Ceresglobal, 『The 21st Century CERES PARAGON TERMINAL』 ,
2001



<그림 2-3> Ceres Paragon Terminal의 개념도



<그림 2-4> Ceres Paragon Terminal 배치도

2.3.2 Ceres Paragon Terminal 장비

Ceres Paragon Terminal은 안벽장비로 Indented Berth에 Twin-lift가 가능한 22열 안벽크레인 9대(5대 : Curved Rail), Barge 크레인 2대와 야드장비로 3단 적이 가능한 Straddle Carrier 39대를 운영하고 있으며 향후 22열 크레인 3대를 재래식 Berth에 추가 설치예정이다.

<표 2-7> Ceres Paragon Terminal 장비

항 목		규 모	비 고
소요장비 규모	안벽크레인	9 대(5대: Curved Rail)	22열, Twin-lift
	Barge 크레인	2 대	16열 7단
	Straddle Carrier	39 대	1 over 3

자료 : Liftech, 『CERES CRANES』, 2000

Ceres Paragon Terminal의 Indented Berth는 재래식 안벽과 직각 방향으로 배치되어 있기 때문에 효율적인 안벽크레인을 운영하기 위하여 양쪽 Berth 모

두 접근 가능한 Curved Rail Gantry구조를 취하고 있다.

안벽 시스템은 충돌방지 등과 같은 안전제어시스템은 중앙컴퓨터제어실에서 실시간 감시되어야 하며 다음과 같은 상호 인터록 시스템이 요구된다.

- a) Crane-to-crane on both the straight and indented berths
- b) Crane-to-crane at the 90 degree corner
- c) Boom-to-boom clearances for cranes operating on opposite sides of the ship
- d) Boom-to-boom clearances for cranes passing on opposite sides of the ship
- e) Adjacent cell spreader protection for cranes operating on opposite side of the ship
- f) Curved rail orientation and interlock

3장 터미널 유형별 생산성 평가 및 비용 분석

3.1 터미널 유형별 생산성 평가

본 논문의 생산성 분석에 있어서 각 터미널의 하역 능력을 별도로 산출하지 않고, 각 터미널의 터미널 건설 시 적용된 능력과 현재 운영 중인 터미널의 실제 하역 능력을 적용하였다.

3.1.1 부산신항만의 생산성

부산신항만의 총 하역 능력은 3,900,000 TEU이며 부산신항만의 총면적, 총안벽 연장, 안벽 크레인수, 야드 크레인수 등은 2장에서 살펴 본 바와 같다. 각 구성요소간의 생산성을 살펴보면 부산신항만의 단위 면적(m²) 당 연간 생산성은 2.94 TEU로 나타났으며, 안벽의 단위 길이(m)당 연간 생산성은 1,219 TEU, 부산신항만의 안벽 크레인당 연간 생산성은 130,000 TEU, 야드 크레인당 연간 생산성은 50,000 TEU 정도인 것으로 나타났다.

<표 3-1> 부산신항만 제원 및 생산성

구 분	부산신항만	연간 생산성	비 고
총 Capacity	3,900,000 (TEU)		
Total Area	1,328,000 (m ²)	2.94 (TEU/yr,Tm ²)	
Total berth length	3,200 (m)	1,219 (TEU/yr,Bm)	
Berth equipment	30 (대)	130,000 (TEU/yr,Be)	
Yard equipment	78 (대)	50,000 (TEU/yr,Ye)	

3.1.2 ECT DSL Terminal의 생산성

ECT DSL Terminal의 총 하역 능력은 1,250,000 TEU이며 총면적, 총안벽 연장, 안벽 크레인수, 야드 크레인수 등은 <표 3-2>와 같다. 각 구성요소간의 생산성을 살펴보면 ECT DSL Terminal의 단위 면적(m²) 당 연간 생산성은 2.02 TEU로 나타났으며, 안벽의 단위 길이(m)당 연간 생산성은 1,289 TEU, 안벽

크레인당 연간 생산성은 156,250 TEU, 야드 크레인당 연간 생산성은 32,895 TEU 정도인 것으로 나타났다.

<표 3-2> ECT의 제원 및 연간 생산성

구 분	ECT DSL Terminal	연간 생산성	비 고
총 Capacity	1,250,000 (TEU)		
Total Area	620,000 (㎡)	2.02 (TEU/yr,T㎡)	
Total berth length	970 (m)	1,289 (TEU/yr,Bm)	
Berth equipment	8 (대)	156,250 (TEU/yr,Be)	
Yard equipment	38 (대)	32,895 (TEU/yr,Ye)	

3.1.3 Ceres Paragon Terminal의 생산성

Ceres Paragon Terminal의 총 하역 능력은 950,000 TEU이며 총면적, 총안벽 연장, 안벽 크레인수, 야드 크레인수 등은 <표 3-3>와 같다. 각 구성요소간의 생산성을 살펴보면 Ceres Paragon Terminal의 단위 면적(㎡) 당 연간 생산성은 1.51 TEU로 나타났으며, 안벽의 단위 길이(m)당 연간 생산성은 648 TEU, 안벽 크레인당 연간 생산성은 86,364 TEU, 야드 크레인당 연간 생산성은 23,171 TEU 정도인 것으로 나타났다.

<표 3-3> Ceres Paragon Terminal의 제원 및 연간 생산성

구 분	Ceres Paragon Terminal	연간 생산성	비 고
총 Capacity	950,000 (TEU)		
Total Area	630,000 (㎡)	1.51 (TEU/yr,T㎡)	
Total berth length	1,465.5 (m)	648 (TEU/yr,Bm)	
Berth equipment	11 (대)	86,364 (TEU/yr,Be)	
Yard equipment	41 (대)	23,171 (TEU/yr,Ye)	

3.1.4 생산성 비교

주어진 시설과 하역 능력을 기준으로 터미널별 연간 생산성을 비교한 결과 가장 일반적인 형태인 부산신항만의 경우가 단위 면적당 생산성이 2.94 TEU/m²로서 가장 높은 것으로 나타났으며, Ceres Paragon Terminal이 1.51 TEU/m²로 가장 낮은 것으로 나타났다. 그리고 안벽 생산성의 경우는 자동화 터미널인 ECT DSL Terminal이 1,289 TEU/m로 가장 높은 안벽 생산성을 가진 것으로 나타났으며, Ceres Paragon 터미널이 648 TEU/m로서 가장 낮은 생산성을 가진 것으로 나타났다.

안벽 장비당 생산성을 비교한 결과 ECT DSL Terminal이 156,250 TEU/C로 나타났으며, Ceres Paragon Terminal이 86,364 TEU/C로 가장 낮은 생산성을 가진 것으로 나타났다. 마지막으로 야드 장비당 생산성은 부산신항만이 50,000 TEU/C으로 가장 높게 나타났으며 Ceres Paragon Terminal이 23,171 TEU/C로 가장 낮게 나타났다.

<표 3-4> 터미널별 연간 생산성 비교

구 분	부산신항만	ECT DSL	Ceres Paragon
Total Area (TEU/yr,Tm ²)	2.94	2.02	1.51
Total berth length (TEU/yr,Bm)	1,219	1,289	648
Berth equipment (TEU/yr,Be)	130,000	156,250	86,364
Yard equipment (TEU/yr,Ye)	50,000	32,895	23,171

전반적으로 생산성면에서 볼 때 새로운 개념의 터미널인 Ceres Paragon Terminal의 경우 두 가지 유형의 터미널 보다는 생산성이 떨어짐을 알 수 있다. 다만 시간상의 개념에서 볼 때 Ceres Paragon Terminal이 시간당 250lift 정도로 매우 높게 나타난다고 볼 수 있으나, 이는 안벽길이가 총연장 850.5m 정도나 됨을 감안한다면 m당·시간당 생산성은 0.294lift로 나타남을 알 수 있다. 그러나 부산항의 순(net) 생산성이 크레인당·시간당 30lift 정도이고 선석당 크레인 3대와 안벽길이가 300m임을 감안한다면 안벽의 시간당 생산성은 90lift가 되어 m당·시간당 생산성은 0.3lift로 Ceres Paragon Terminal 보다 높다는 것을 알 수 있으며, 안벽장비 면에서 볼 때도 부산항의 순크레인 생산성이 30lift 임에 비해 Ceres

Paragon Terminal은 27.8lift 정도로 상당히 낮은 수준임을 알 수 있다.

3.2 터미널 유형별 비용 분석

3.2.1 유형의 분류 및 분석 방법

부산신항만, ECT, Ceres Terminal 등 세가지 유형을 각각의 Case로 하며, 부산신항만을 Case 1, ECT를 Case 2, Ceres Paragon Terminal를 Case 3으로 하여 각 Case 별 소요비용을 산정한다. 본 논문에서는 운영시스템별 조사된 현황을 기준으로 각 시스템에 관련된 비용을 계산하며, 다음과 같이 운영체계별로 분류한다.

- a) Case 1 : 안벽 + RMGC + 야드 트랙터 운영시스템(부산신항만 기준)
- b) Case 2 : 안벽 + ASC + AGV + S/C 운영시스템(ECT - DSL기준)
- c) Case 3 : Ship-in-a slip 안벽 + S/C 운영시스템(Ceres Paragon기준)

경제성 분석은 동일한 조건에서 다각도로 분석해야 하지만, 각 Case별 운영 조건 및 환경, 노동시장의 규모, 장치장 운영, 수단 분담 등이 다르기 때문에 각 조건에서 제시된 시설규모를 기준으로 추정되는 초기 투자비를 유추하여 어느 한 Case를 기준으로 변환하는 단순 비교방법으로 한다.

3.2.2 장비 비용

장비 비용은 국제 입찰가격과 부산신항만 계획 설계 시 조사된 비용을 적용하였으며, 내용연수를 고려한 감가상각비용까지 포함하였다.

(1) Case별 투입 장비 규모

Case 별 투입 장비 규모를 볼 때 Case 1의 경우 안벽 크레인 30대와 야드 크레인 78대 등 총 552대 규모이며, Case 2의 경우 안벽 크레인 8대와 야드 크레인 38대 등 총 139대가 투입되고, Case 3의 경우 안벽 크레인 9대와 야드 크레인 41대 등 총 50대 등이 투입된다. <표 3-5>는 3가지 Case별 투입 장비 규모를 나타낸다.

<표 3-5> Case별 투입 장비 규모

(단위: 대)

구분	Case 1	Case 2	Case 3
Quay Crane 1	30	4	4
Quay Crane 2	-	4(DT)	5
RMGC	78	-	2
ASC	-	33	-
ASC-M	-	1	-
ASC-R	-	2	-
ASC-Lifter	-	2	-
AGV	-	62	-
S/C	-	17	39
MT Tractor	-	2	-
Rail Tractor	14		
Reefer car	-	3	-
Reach Stacker	10	5	
YT Chassis	210	-	-
Yard Tractors	210	4	-
장비 수량 합계	552	139	50

(2) Case 1의 장비비 및 감가상각비

Case 1의 장비비는 총 5,415억원 규모로 안벽 크레인의 구입비용으로 약 2,100억원 정도, 야드장비의 구입비용으로 약 2,896억원 정도가 소요된다. 각 장비들의 내용연수는 <표 3-6>와 같다.

<표 3-6> Case 1의 장비비 및 감가상각비

(단위: 백만원)

구 분	수량	단가	가격	내용연수	감가상각비
Quay Crane	30	7,000	210,000	20	10,500
RMGC (야드)	78	2,925	289,575	20	14,479
Reach Stacker (E)	8	312	2,496	8	312
Reach Stacker (F)	2	553	1,106	12	92
YT Chassis	210	14	2,940	12	245
Yard Tractors	210	114	23,940	8	2,993
Rail Crane (RMGC)	4	2,380	9,520	20	476
Rail Tractors	14	130	1,820	8	228
Breakbulk샤시	1	59	59	12	5
합계			541,456	-	29,330

자료 : 부산신항만(주), 『부산신항만 터미널 계획 운영설비비』, 2000. 12

(3) Case 2의 장비비 및 감가상각비

Case 2의 장비비는 총 1,566억원 규모로 안벽 크레인의 구입비용으로 약 715억원 정도, 야드장비의 구입비용으로 약 402억원 정도, 그리고 이송장비인 AGV의 구입으로 228억원 정도가 소요된다. 각 장비들의 내용연수는 <표 3-7>와 같다. Case 1과 비교할 경우 Case 2의 경우는 자동화, 무인화 등으로 인해 안벽 크레인, 이송장비 등의 구입단가가 비교적 높게 나타나고 있다.

<표 3-7> Case 2의 장비비 및 감가상각비

(단위: 백만원)

구 분	수량	단가	가격	내용연수	감가상각비
Quay Crane #1	4	8,125	32,500	20	1,625
Quay Crane #2	4	9,750	39,000	20	1,950
ASC	33	1,219	40,227	20	2,011
ASC-M	1	1,235	1,235	20	62
ASC-R	2	1,612	3,224	20	161
ASC-Lifter	2	813	1,626	20	81
AGV	62	367	22,754	12	1,896
S/C	17	780	13,260	12	1,105
Terminal Tractor	2	111	222	8	28
Reefer car	3	62	186	5	37
Reach Stacker	5	312	1,560	8	195
Yard Tractor	4	195	780	8	98
합계			139	-	156574

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

(4) Case 3의 장비비 및 감가상각비

Case 3의 장비비는 총 1,148억원 규모로 안벽 크레인의 구입비용으로 약 717억원 정도, 야드장비의 구입비용으로 약 380억원 정도가 소요된다. 각 장비들의 내용연수는 <표 3-8>와 같다. Quay Crane #2(Curved Rail 안벽크레인) 5대는 일반 채래식 크레인 보다 비교적 구입단가가 높게 나타난다.

<표 3-8> Case 3의 장비비 및 감가상각비

(단위: 백만원)

구 분	수량	단가	가격	내용연수	감가상각비
Quay Crane #1	4	7,000	28,000	20	1,400
Quay Crane #2	5	8,750	43,750	20	2,188
S/C	39	975	38,025	8	4,753
Reach Stacker	2	553	1,106	12	92
Barge Crane	2	1,960	3,920	20	196
합계			52	-	114801

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

(5) 각 Case별 물동량과 장비비 비교

(1)~(3)에서 산출된 Case별 장비비와 각 운영시스템의 처리능력을 기준으로 TEU 당 장비비용을 산출하여 보면 다양한 장비가 소요되고 부가적인 시스템이 요구되는 자동화 시스템인 ASC-AGV 운영시스템이 125,259원/TEU로 Caes 1의 123,085원/TEU나, Case 3의 120,843원/TEU보다 TEU당 장비비용이 높다는 것을 알 수 있다.

<표 3-9> 운영시스템별 장비 비용의 합

구 분	Case 1	Case 2	Case 3
총 장비비용(백만원)	541,456	156,574	114,801
처리 물동량(TEU/yr)	3,900,000	1,250,000	950,000
비용(원)/TEU	123,085	125,259	120,843

3.2.3 Infrastructure 비용

Infrastructure 비용 구성은 토목, 건축, 전기통신 등 터미널 건설에 소요되는 비용으로, 적용하는 기술적인 공법 등에 따라 비용이 크게 좌우되며, 안벽부분

의 적용 공법, 야드 조성의 지반개량공법, 포장공법 등에 따라 비용이 매우 상이하게 산정됨으로 Infrastructure 비용을 분석하기에는 매우 어렵다.

이러한 이유로 본 논문에서는 부산신항만의 계획 설계에서 분석된 자동화 터미널과 반자동화 터미널의 적용 방법을 기준으로 하여 다른 두 가지 운영시스템의 Infrastructure 비용을 유추하여 분석한다.

(1) 안벽부분

부산신항만 실시설계에서 검토된 안벽 부분의 공법은 DCM(Deep Cement Mixing Method)+케이슨 공법, SCP(Sand Compaction Pile)+케이슨 공법, 육상SD(Sand Drain)+잔교공법, 해상SD(Sand Drain)+잔교공법, SCP(Sand Compaction Pile)+벽강관공법 등이며 안벽길이 당 공사비는 <표 3-10>와 같다.

<표 3-10> 주요 안벽공법의 단위 공사비

(단위 : 백만원/m)

구 분	DCM+케이슨 공법	SCP+케이슨 공법	해상SD+잔교공법
단위 공사비	214	159	183

자료: 부산신항만(주), 『북 컨테이너 터미널 축조공사 실시설계 보고서』,2000

각 운영시스템의 안벽 장비가 공통적으로 20열 이상의 장비가 설치되므로 최신의 기술로 제작된 설비로 안벽에 미치는 하중 조건이 같다는 전제 하에 SCP+케이슨 공법을 기준으로 공사비를 분석한다. 단, ‘Ship-in-a slip’의 경우 타 조건은 동일하다고 가정하고 준설공사비만 달리하여 분석한다.

준설공사의 경우 일반 안벽구조의 준설은 대형 장비(2000m³/h)를 투입할 수 있으나 ‘Ship-in-a slip’ 안벽구조는 작업조건 때문에 대형 장비를 투입할 수 없기 때문에 작업의 시간적인 제약이 따른다. 준설공사비용 산출을 위한 기본 단가는 대형장비를 기준으로 할 때 일반 안벽의 준설공사는 2,326원/m³ (자료: 부산신항만 실시설계 요약보고서)을 적용하였다. <표 3-11>는 운영시스템별 안벽 공사비를 나타낸다.

<표 3-1> 안벽공사비

(단위 : 백만원/m)

공 사 명		Case 1	Case 2	Case 3		
				일반안벽	Indented	계
안벽공사	길이(m)	3200	970	615	400	-
	공사비	5,088	1,542	978	1,272	2,250
준설공사	준설량(m ³)	9,600,000	3,220,400	1,685,100	689,700	2,374,800
	공사비	22,336	7,493	3,921	1,605	5,525
공사비 합계		27,424	9,035	4,898	2,877	7,775

자료 : 부산신항만(주), 『북 컨테이너 터미널 축조공사 실시설계 보고서』, 2000

<표 3-11>에서 보는 바와 같이 Indented Berth의 경우 준설선 투입을 위한 작업영역 확보 등 부가적인 공정이 요구되며, 준설선 투입 또한 일반 안벽과 비교할 경우 소형 준설선을 투입하여야 함으로 전체적인 공사기간 등이 공사비에 직접적인 영향을 미쳐 공사비가 상대적으로 높게 나타남을 알 수 있다.

(2) 야드 부분

야드는 크게 지반개량과 포장으로 구분되며, 지반개량은 상부 시설물의 중량, 즉 상재하중에 따라 공사비가 결정된다. <표 3-12>는 상재하중별 공사비에 대한 비율을 나타내고 있다. 일반적으로 3단적에 장치장의 상재하중은 2.5톤/m²을 적용하며, 5단적 장치장의 상재하중은 3톤/m²을 적용한다.

<표 3-2> 상재하중에 따른 공사비 비교

상재하중	공사비(백만원)	비율
2.5톤/m ²	457,149	100%
3.0톤/m ²	477,858	104.5%
3.5톤/m ²	498,567	109.1%
4.0톤/m ²	519,276	113.6%

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

A) 지반개량공사

지반개량은 토공사, PBD(Pile Board Drain), SCP(Sand Compaction Pile), 지반개량에 필요한 공사기간 등에 따라 다르나, 상재하중에 따른 공사비 비율은 <표 3-12>와 같다고 할 때, 부산신항만 실시설계 기준은 안벽 쪽 200m구간(2차 지반개량)과 장치장 쪽 400m 구간(1차 지반개량)에 적용 공법을 달리 할 경우, 이에 따른 m²당 지반개량공사비는 <표 3-13>와 같다.

<표 3-3> 지반개량 단위 공사비

구분	지반개량 구간	지반개량공사비 (원/m ²)
1차 지반공사비	400m	163,545
2차 지반공사비	200m	152,689
지반공사비 합계	-	316,234

자료 :부산신항만(주), 『북 컨테이너 터미널 축조공사 실시설계 보고서』,2000

이러한 지반 개량 단위 공사비를 적용할 경우 각 운영시스템별 지반개량공사비는 <표 3-14 >와 같다.

<표 3-14> 지반개량공사비

(단위 : 백만원)

구분	Case 1	Case 2	Case 3
장치장면적[m ²]	1,328,000	620,000	630,000
상재하중비	1.045	1.00	1.00
공사비 합	438,856	196,065	199,227

B) 포장공사비

운영체계가 ASC-AGV인 경우, AGV의 운하중 증가를 감안하여 포장비면에 있어서는 야드 이송장비의 주행로와 컨테이너 장치 구역에 대해 일반적으로 사용하고 있는 아스콘 포장법보다 견고한 블록포장(ILB 포장)을 적용하였다. <표 3-15> ~ <표 3-17>는 Case 1~ Caes 3에 대한 포장공법과 공사비를 나타낸다.

Case 1의 포장공법은 Yard 주행로 등에 ACON 포장공법이 이용되며, 장치장에 쇄석, 레일기초에 침목 등을 이용하여 총 공사비는 702억원 정도가 소요된다.

<표 3-15> Case 1의 포장공사비

적용 공법		면적(m ²)	단가 (원)	공사비 (백만원)
ACON	Yard 주행로	377,715	34,190	12,914
	기타지역	35,588	30,940	1,101
쇄석	장치장	851,947	8,260	7,037
침목	레일기초	62,750	783,910	49,191
합계		-	-	70,243

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

주) ASCON(Asphalt Concrete)

Case 2의 포장공법은 AGV Area에는 ILB, Yard 주행로와 S/C Area에는 ACON 공법, 장치장에 쇄석, 레일기초에 침목 등을 이용하는 것으로 할 때 총 공사비는 252억원 정도가 소요된다.

<표 3-16> Case 2의 포장공사비

적용 공법		면적(m ²)	단가 (원)	공사비 (백만원)
ILB	AGV Area	138,248	58,170	8,042
ACON	Yard 주행로	52,501	34,190	1,795
	S/C Area	78,161	34,190	2,672
쇄석	장치장	328,073	8,260	2,170
침목	레일기초	23,017	783,910	18,043
합계				25,220

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

Case 3의 포장공법은 장치장과 기타지역에 ACON 공법이 이용되며 총 공사비는 213억원이 소요된다.

<표 3-17> Case 3의 포장공사비

적용 공법		면적(m ²)	단가 (원)	공사비(백만원)
ACON	장치장	585,619	34,190	20,022
	기타지역	44,381	30,940	1,373
합계				21,395

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

부지조성 및 상부공사는 지반개량공법, 포장공법 등에 따라 다르고, 적용 장비에 따라서도 다르기 때문에 개략적인 분석을 실시했으며, 전체 야드 공사비는 <표 3-18>와 같으며 Case 1의 경우가 5,901억원 규모로 가장 높게 나타났다.

<표 3-18> 야드 조성 공사비

(단위 : 백만원)

구분	Case 1	Case 2	Case 3
지반개량	438,856	196,065	199,227
포장공사	70,243	25,220	21,395
합계	509,099	221,285	220,622

3.2.4 인건비

터미널의 운영 형태와 사업주체 등에 따라 관리 부문의 인력은 많은 차이가 있기 때문에 본 논문에서는 일반관리부문의 인력은 제외하고 순수 터미널의 직접 인력만 반영하였다. 추가적으로 자동화 터미널의 경우 기존 터미널의 운영인력 이외에 자동화 장비의 관리, 진단, 조작지침관리, 시뮬레이션 설비 등의 고급 엔지니어들이 요구된다.

터미널 운영은 3가지 유형 모두 3조 2교대(3-Groups, 2-shift System)로 근무한다고 가정하고, 인건비 중 추정이 불가한 복리 후생비 등을 기본급여에 30%를 고려하였을 때, 각 운영시스템 인건비는 <표 3-19>와 같다.

<표 3-19> 운영시스템별 인건비 비교

(단위 : 백만원)

구분	내역	단가 [천원]	Case 1		Case 2		Case 3	
			인원	비용	인원	비용	인원	비용
안벽 작업	QC기사	44,440	102	4,533	27	1,200	33	1,467
	신호수	30,690	180	5,524	48	1,473	54	1,657
	관리자	30,690	21	644	9	276	12	368
	T/T기사	30,690	-	-	9	276	-	-
이송	Y/T기사	36,080	536	19,339	11	397	-	-
야드작업	야드장비기사	40,700	297	12,088	-	-	99	4,029
	관리자	30,690	12	368	-	-	5	153
외부연결	S/C기사	36,080	-	-	18	649	12	433
	관리자	30,690	-	-	6	184	4	123
특수화물	터미널트럭기사	36,080	-	-	6	216	-	
	R/S기사	40,700	27	1,099	18	733	-	
	특수화물작업자	36,080	12	433	12	433	-	
	관리자	30,690	6	184	6	184	-	
합계			44,213		6,022		8,231	

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

주) 상기 인원은 장비 가동률 75% 반영

이 때 기존 운영시스템인 Case 1의 경우가 가장 높은 인건비를 나타냈고, 자동화 터미널인 Case 2가 가장 낮은 인건비를 지출하는 것으로 나타났다.

3.2.5 운영비

운영비용의 분석은 동력비, 유지관리비, 감가상각비 등을 고려해야 하지만 본 논문에서는 장비 사용에 따른 순수 동력비용만 고려하여 분석하였다. 장비 사용 시간당 동력비 단가는 부산신항만 계획설계에서 분석된(부산신항만 JWD 보고서 참조) 자료를 적용하였다. <표 3-20>는 Case별 장비 사용시간을 나타내며, <표 3-21>는 운영모델별 동력비용을 나타낸다.

주어진 물동량을 처리하기 위해서 안벽 장비와 야드 장비를 Case 1의 경우 각각 136,364 시간, 601,810시간 동안 사용하여야 하고, Case 2의 경우 50,000시간, 414,352시간 동안 사용하여야 하며, Case 3의 경우 27,143시간, 242,929시간 동안 사용해야 하는 것으로 나타났다.

<표 3-20> Case별 연간 사용 시간

(단위 : 시간)

구 분	Case 1	Case 2	Case 3
연간처리물동량 (TEU)	3,900,000	1,250,000	950,000
QC생산성 (Lift/hr)	28.6	25	35
QC 이용시간	136,364	50,000	27,143
이송장비수량/QC	7	6	4
안벽/야드 서비스 시간	954,545	300,000	108,571
Fraction of Load/ all lift	89.5%	89.5%	89.5%
Total Loaded Lift/yr	3,490,500	1,118,750	850,250
야드 장비 Lift수	6,981,000	2,237,500	1,700,500
야드장비생산성(Lift/hr)	11.6	5	7
야드장비이용시간	601,810	414,352	242,929

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

<표 3-20>와 같이 장비를 사용하였을 경우 Case 1은 약 335억원, Case 2는 약 161억원, Case 3는 약 76억원 정도가 연간 동력비용으로 지출된다.

<표 3-21> Case별 연간 동력비용

(단위 : 백만원)

적용장비	단가(원/시간)	Case 1	Case 2	Case 3
Quay Crane	64,000	8,727	3,200	1,737
RMGC	19,200	11,555	-	-
ASC	15,360	-	6,364	-
S/C	16,589	-	2,406	5,831
AGV	13,824	-	4,147	-
Yard Tractor	13,824	13,196	-	-
합 계		33,478	16,117	7,568

자료 : 한국해양수산개발원, 『부산신항 터미널계획 설계관리』, 1999. 4

3.2.6 총 비용분석

전술한 운영시스템 현황과 터미널별 규모를 바탕으로 하여 산출된 장비비용, 안벽·야드 Infrastructure 비용, 인건비, 운영비 등을 종합하면 각 Case 별 소요되는 총 비용은 <표 3-22>와 같다.

<표 3-22> 운영시스템 총 비용

(단위 : 백만원)

항 목		Case 1	Case 2	Case 3
연간처리물동량[TEU]		3,900,000	1,250,000	950,000
장비 비용		541,456	156,574	114,801
Infrastructure 비용	안벽	27,424	9,035	7,775
	야드	509,099	221,285	220,622
	소계	536,523	230,320	228,397
인건비		44,213	6,022	8,231
운영비		33,478	16,117	7,568
계		1,155,670	409,033	358,997

3.2.7 TEU당 항목별 소요비용

<표 3-23>은 각 Case별로 TEU당 항목별 소요비용을 나타내고 있다. 각 Case 별 비용구성을 개략적으로 살펴보면 Case 1은 장비비용과 인건비가 Case 2, 3에 비하여 높게 나타났으며, Case 2의 경우는 운영비 부분이 높게 나타났다. Case 3의 경우 장비비용이 가장 낮게 나타났으나 Infrastructure 비용이 Case 1, 2보다 높게 나타났다.

<표 3-23> TEU당 항목별 비용

(단위 : 원)

항 목		Case 1	Case 2	Case 3
연간처리물동량(TEU)		3,900,000	1,250,000	950,000
장비 비용		138,835	125,259	120,843
Infrastructure	안벽	7,032	7,228	8,184
	야드	130,538	177,028	232,234
	소계	137,570	184,256	240,418
인건비		11,337	4,818	8,664
운영비		8,584	12,894	7,966
계		296,326	327,226	377,892

<표 3-23>에서와 같이 초기 투자비와 운영부분에 대한 터미널 유형별 분석 결과로 볼 때 'Ship-in-a slip' 시스템(Case 3)의 TEU당 총 소요비용이 377,892원으로 일반 안벽 부두 + RMGC 시스템(Case 2)의 296,326원에 비해 약 1.3배 정도 높으며 앞서 생산성 면에서도 Case 1보다 낮게 나타났으므로 매우 비경제적임을 알 수 있다. 특히 'Ship-in-a slip'은 야드 운영시스템으로 Straddle Carrier를 채택하기 때문에 안벽 공사비뿐만 아니라 포장공사비가 높아 졌기 때문에 야드 장치장 공사비도 상대적으로 높게 도출되었다. 이 경우 Case 1 및 2와 같이 쇄석 포장 등과 같은 경제적인 공법을 적용하면 비용 절감이 예상된다.

4장 터미널 유형 선정을 위한 시사점

4.1 터미널 유형 선정 모형

4.1.1 고려점

컨테이너 터미널 유형을 선정할 때 고려해야할 여러 요소들이 있으나 이들은 도입목표, 터미널 여건, 사회·경제·문화 여건 등으로 대별할 수 있다<표4-1>. 도입목표는 터미널 운영 측면에서 우선적으로 고려되어야 하는 점으로서 생산성 향상, 비용절감, 서비스 수준 향상, 인력 절감 등을 들 수 있으며, 장비제조업체 혹은 정부 입장에서는 터미널 자동화 기술 축적이나 타 터미널과 차별화가 주목표가 될 수 있다.

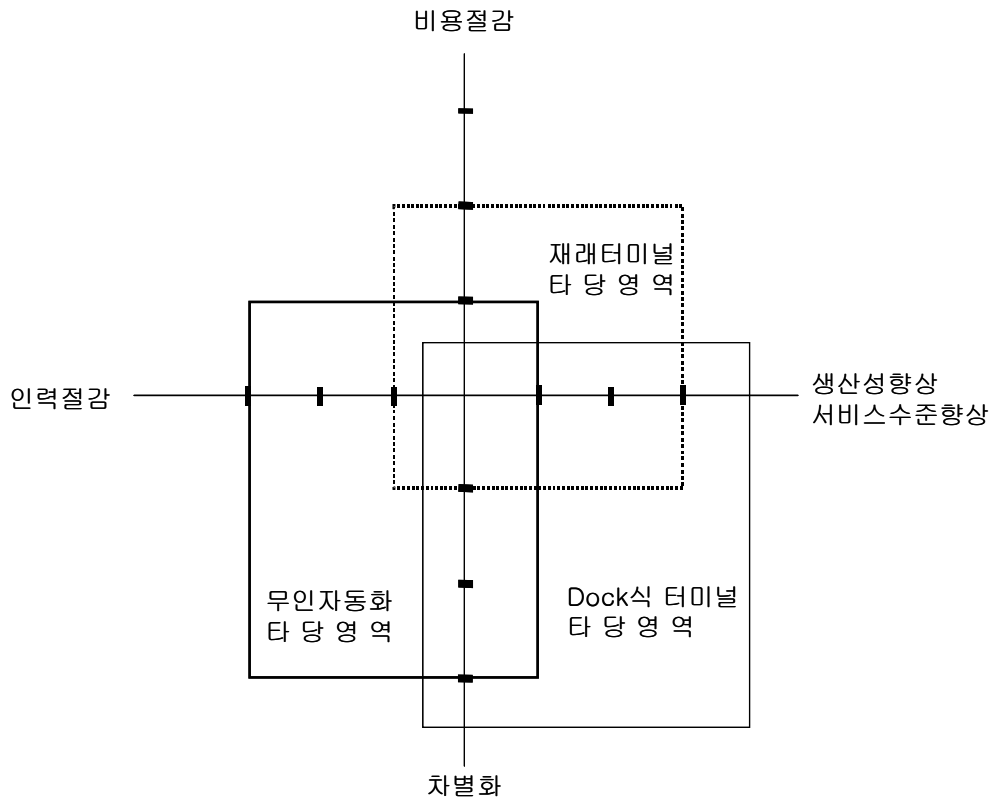
터미널 여건으로서는 해운회사가 직접 운영하는 자가 터미널 혹은 다수 해운회사를 대상으로 운영되는 공용 터미널, 기항하는 선박의 규모에 따른 소형 혹은 대형 터미널, 지가 수준 및 가용 부지 정도 등을 들 수 있다. 예로서, 시간당 300Box 이상의 생산성을 목표로 하는 Ceres 터미널의 경우 7,000TEU급 이상의 초대형선이 취항하는 항만에 적합하다. 이외에 인건비 수준, 노무 공급 수준, 숙련도 및 근면성, 개인주의 진전 등 사회 문화적 여건이 자동화 도입에 영향을 미치는 요소이다.

<표 4-1> 터미널 유형 결정 시 고려점

부 문	요 소
도입 목표	-생산성 향상 -비용절감 -서비스 수준 향상 -인력 절감 -자동화 기술 축적
터미널 여건	-자가 혹은 공용 -소형 혹은 대형 -지가 수준 및 터미널 부지 가용성
경제·사회·문화 여건	-인건비 및 인력 수급 정도 -작업자 기술력 및 근면성 -문화적 특성(개인주의 대 집단주의)

4.1.2 터미널 유형 평가모델

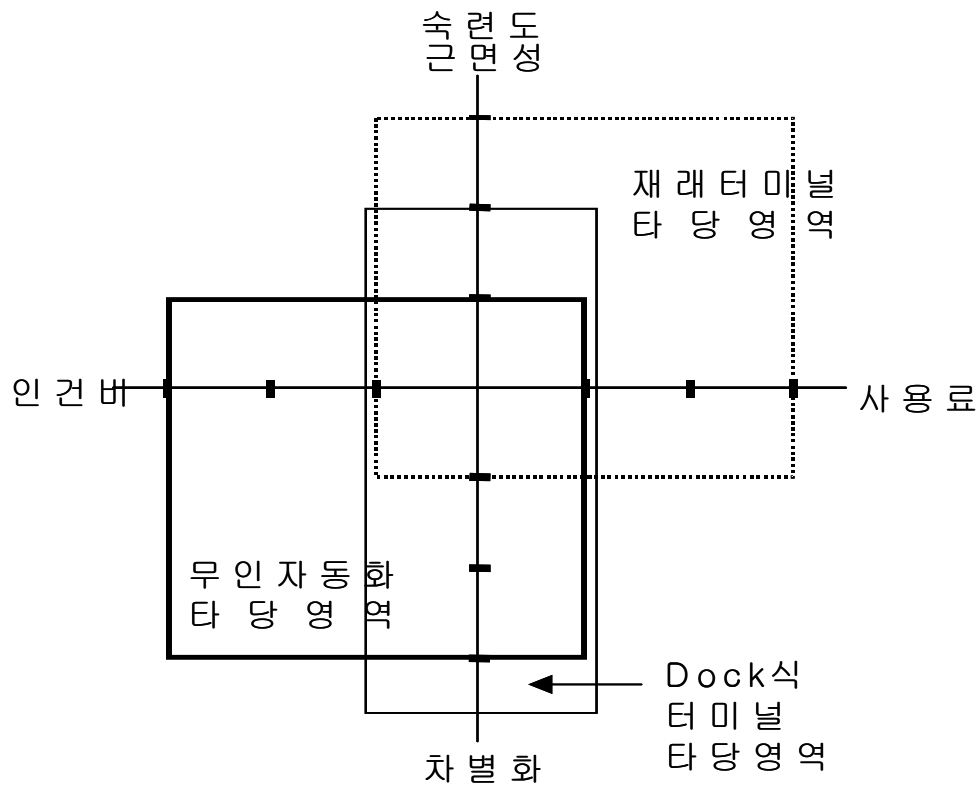
터미널 유형별 도입의 타당성 평가는 도입 목적에 따른 평가와 터미널 여건 특성에 따른 평가로 나눌 수 있다(그림 4-1, 4-2). 도입 목적의 경우 비용절감, 인력절감, 생산성 향상 및 서비스 수준 향상, 차별화 등을 들 수 있다. 인력 절감과 차별화가 주목적이 될 때는 ECT 무인 자동화 터미널이 타당하며, 비용절감이 주목적일 때는 기존 재래 터미널 유형이 타당하고, 생산성 향상이 주목적일 때는 도크식 터미널이 타당하다.



<그림 4-1> 터미널 유형별 도입 목적에 따른 평가

터미널 여건 특성의 경우 작업원의 숙련도 및 근면성, 전대 사용료 수준, 인건비 수준, 시장 장벽 등을 들 수 있다. 터미널 총 비용에서 차지하는 전대 사용료 비중이 아주 낮은 경우 대규모 상부구조에 대한 투자가 가능하고(유럽의

경우), 인건비가 상대적으로 높은 비중을 차지하는 경우 인건비 절감이 주목표가 되기 때문에 ECT 무인 자동화가 타당하다. 그러나 인력의 숙련도, 근면성 등이 높고 노사관계가 원만할 때는 무인 하역 방식보다는 작업원에 의존하는 재래시스템이 타당하다. Ceres 터미널과 같이 시장에 늦게 진입하면서 1시간 거리에 해당하는 인접지역에 이미 독보적인 경쟁력을 확보하고 있는 로테르담항이 입지하는 상황에 처한 경우 시장 장벽이 높기 때문에 차별화 전략이 최우선이 될 수밖에 없다.



<그림 4-2> 터미널 여건 특성에 따른 평가

4.2 터미널 유형별 적합성 평가

4.2.1 터미널 비용 구조 측면

우리나라 컨테이너 터미널의 특별한 차이점 중 하나는 터미널 총 비용에서 인건비가 차지하는 비율이 외국 터미널에 비하여 현저히 낮다는 점을 들 수 있다. <표 4-2> 및 <표 4-3>에서 보듯이 우리나라의 경우 터미널 총 비용 가운데 인건비의 비율이 30%대 이하이나 외국의 경우 60% 이상이다. 따라서, 우리나라의 경우 외국 항만과 달리 터미널 개발 및 운영의 주 목표가 인건비 절감이 될 수 없다. 즉, 인건비 절감을 주 목표로 하는 무인 자동화 터미널이 우리나라 실정에서는 적합하지 않다고 할 수 있다. ECT 무인 터미널의 경우 인건비의 비중이 터미널 총 비용 항목 가운데서 가장 높고 수련된 인력을 확보하기가 상대적으로 어려운 여건이기 때문에 무인 터미널 유형이 적합할 수도 있다. 또한 항만 물류 산업 부문이 국가의 핵심 전략 산업이기 때문에 인접 엔트워프, 브레멘, 함부르크 등의 항만과 차별화를 도모하는 것이 전략적으로 필요하다고 할 수 있을 것이다.

Ceres 도크식 터미널 역시 선박 당 최대 9기의 겐트리 크레인을 할당할 수 있는데 할당 장비 수가 증가할수록 인건비의 비중이 높아지기 때문에 유럽과 같이 인건비의 비중이 높은 지역에서는 부적합하다고 할 수 있다.

<표 4-2> 국내 터미널의 채산성비교(98년도 기준)

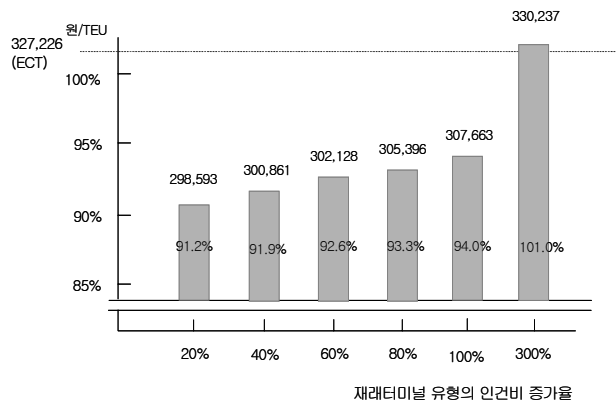
항 목		감만 터미널A	감만 터미널B	국내민간 터미널C	광양 터미널D	BCTOC
비 용	전대료	49%	46.2%	0.15%	62.6%	28%
	인건비	38%	22%	78%	21.2%	37%
	동력비	4.9%	5.3%	9.1%	6%	9%
	기타	8.1%	26.5%	12.75%	10.2%	26%
총 계		100%	100%	100%	100%	100%
수 익	하역비	100%	100%	100%	100%	100%
수익율	비용대비	5.7%	2.6%	3.3%	-3.6%	0%

<표 4-3> 외국 터미널의 채산성비교(98년도 기준)

항 목		도쿄 민간터미널	오사카 민간터미널	롱비치 민간 A사
비용	전대료	30.7%	26.6%	25.7%
	인건비	65%	68%	63.4%
	동력비	3.4%	5.1%	2.4%
	기타	0.9%	0.3%	8.5%
총계		100%	100%	100%
수익	하역비	100% (CFS임대수입포함)	100% (CFS임대수입포함)	100%
수익율	비용대비	30.4%	17.5%	15.3%

자료 : 정승호 (1999)

<표 3-23>에서 도출된 TEU당 비용(재래 터미널 유형 296,326원, ECT 무인 터미널 유형 327,226원)을 기준으로 하여 재래 터미널의 인건비 증가 정도에 따른 TEU당 총 비용 증가 정도를 ECT 무인 터미널 유형과 비교하면 <그림 4-3>와 같다. 여기서 흥미로운 점은 기존 재래 터미널 유형의 인건비 수준이 현재의 300%로 증가할 때 TEU당 비용은 ECT 무인 터미널 유형 수준과 유사하게 된다는 것이다. 즉, 우리나라의 경우 본 연구에서 가정한 인건비 수준을 기준으로 할 때 인건비가 300% 증가하면 ECT 무인 터미널 유형을 도입하는 것이 경제적이라고 추론할 수 있다.



<그림 4-3> 재래 터미널 유형의 인건비 증가에 따른 무인 터미널 유형 도입 타당성

4.2.2 터미널 제약 요인

Ceres Paragon 터미널은 입지적 특성으로 인하여 갑문을 통하여 대서양과 연결된다. 갑문 제약으로 인하여 Ceres Paragon 터미널에 수용 가능한 최대 컨테이너 선박은 흘수 기준 13.73m이다. 흘수 13.1m 선박의 경우 24시간 입출항이 가능하지만 흘수 13.75m 선박의 경우 1일 6시간 동안 입출항이 가능하다. 갑문과 Ceres Paragon 터미널 사이의 North Sea canal의 길이는 11.5km이며, 최대 보증 수심은 15m이다. 그러나 도크식 터미널은 수심 20m로 건설되어 있으며, 초대형 컨테이너 선박의 하역작업 시간을 기존 포트 파나마스급 수준으로 단축하기 위해서 최대 9기의 겐트리 크레인을 설치하였다. 이러한 터미널 특성 및 이점을 살리기 위해서는 기항하는 선박이 최소 8,000 TEU급이 되어야 하나 갑문 수심 제약은 이를 수용 할 수 없게 한다. 따라서, 접근 수로, 도크 여건 등 터미널 제약 요인을 고려하여 터미널 유형을 선정할 필요가 있다.

<표 4-4> Port of Amsterdam에 입항 가능한 선박 규모

길이	360m					
폭	40.0 m	43.0 m	43.5 m	44.0 m	44.5 m	45.0 m
흘수	13.73 (45')	13.73 (45')	13.55 (44' 06")	13.41 (44')	13.25 (43' 06")	13.10 (43')

자료 : Amsterdam Port Authority, 2002.

<표 4-5> 갑문 규격

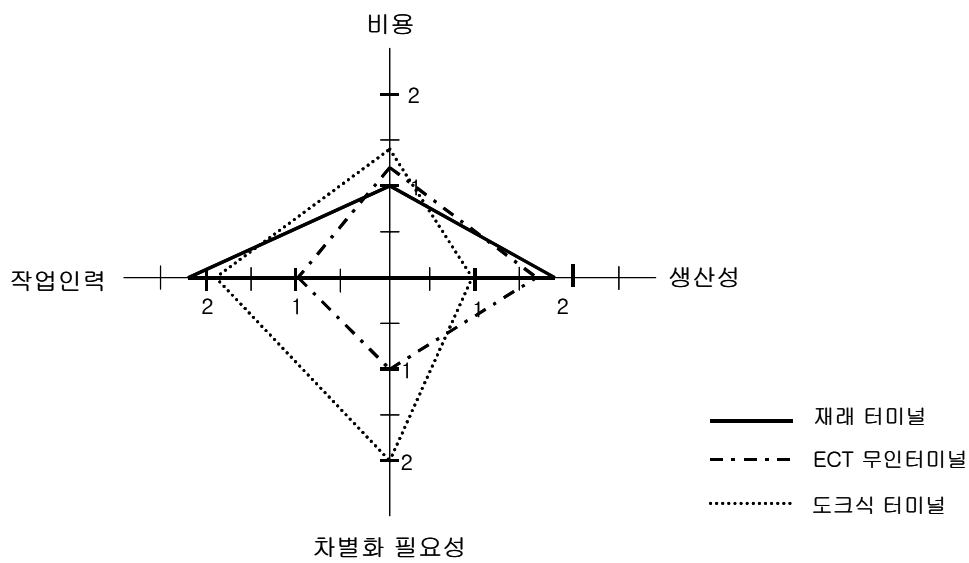
	Yacht lock	South lock	Middle lock	North lock
길이	110 m	120 m	200 m	400 m
폭	11 m	18 m	25 m	50 m (47m)
깊이	-3.75 m	-8.0 m	-10,0m	-15 m

자료: Amsterdam Port Authority, 2002.

<표 4-6> 터미널 유형별 적합성 종합 평가

	총비용 ¹	생산성 ²	작업인력 ³	차별화 필요성 ⁴
재래 터미널	1.00	1.88	2.36	0
무인 터미널	1.10	1.64	1.00	1
도크식 터미널	1.28	1.00	1.80	2

- 주: 1.총비용은 <표 3-23>을 기준
2.생산성은 <표 3-4>의 4개 생산성의 평균치 기준
3.작업인력은 <표 3-19> 기준
4.차별화 필요성은 인접 주요항 여부, 후발 항만에 각 1점 부여



<그림 4-4> 터미널 유형별 적합성 척도



<그림 4-5> Amsterdam North Lock

4.3 우리나라의 터미널 유형 도입 방안

우리나라의 경우 터미널 비용 구성 측면에서 볼 때 인건비의 비중이 상대적으로 낮고 대신 터미널 사용료 수준이 외국 터미널에 비하여 월등히 높다. 이는 곧 하역 장비 등 상부 구조물에 대한 투자의 여지가 적으며, 인력 절감을 주요 목표로 삼을 필요성이 낮음을 의미한다. 즉, 현재의 여건을 기준으로 할 때 우리나라의 여건을 볼 때 무인 자동화보다는 유인자동화가 타당하다고 할 수 있다.

터미널 생산성 측면에서 볼 때 아직까지 주요 선대를 구성하고 있는 선박은 5,000-6,000 TEU급이며, 부산항의 경우 평균 적·양하 컨테이너 수가 약 2,000 TEU에 달하는 수준이기 때문에 시간당 300 Box 하역이 가능한 Dock식 터미널

의 도입은 시급하지 않다고 할 수 있다. 특히, 3장에서 밝힌바와 같이 토목비 등 고정비용이 기존 터미널에 비하여 상당히 높기 때문에 경제성 측면에서도 재고의 여지가 있다.

이러한 점을 종합할 때 터미널 유형 선정은 터미널 수명 주기, 운영 기술 수준, 노무 공급 관계, 터미널 운영 목표 등의 측면에서 고찰할 수 있다. 터미널이 성숙기로 접어들고 운영 기술 수준이 어느 정도 축적되는 단계에 이르면 계획 시스템의 자동화가 이루어진다. 이는 전문 인력에 의하여 수행되던 선석 배정, 장치장, 본선하역 등의 계획 업무를 인공지능 기법 등을 이용하여 지능화를 하는 것이다.

한 단계 더 진전이 되면 운영 및 통제 시스템의 자동화가 추진된다. 즉, 계획 자동화를 바탕으로 하여 작업 지시 및 통제 부문을 계량 모형 및 인공지능 기법, 종합 관제시스템 등을 통하여 지능화하는 것이다. 하역 장비의 자동화는 인력 공급 관계가 결정적 요인이며, 특히 인건비가 지나치게 높거나 장비 기사 등 전문 인력을 확보하기가 어려운 상황에서 적극 도입하게 된다.

선박 규모가 포스트 파나막스급을 넘어서 초대형 컨테이너 선박(10,000 TEU - 15,000 TEU)이 등장 할 경우 도크식 터미널과 같이 선박 양측에서 하역 작업을 수행할 수 있는 유형이 적합할 것이다. 이 경우 터미널 운영의 주 목표는 초대형 선박의 체항 시간을 기존 포스트 파나막스급 수준으로 낮추는 것이 될 것이다.

<표 4-7> 터미널 유형 도입 단계

터미널 수명주기	도입기	성장기	성숙기		
운영기술 수준	낮음	중간	높음		
노무 공급관계		공급안정기		공급부족기	
선형	피더	파나막스, 포스트 파나막스		초대형 선박	
터미널 운영 목표	시설확충	생산성 증대, 비용절감	서비스 향상	인력절감	체항시간 단축
터미널 유형 도입단계	<p style="text-align: center;"><----- 계획시스템 자동화 -----></p> <p style="text-align: center;"><---운영시스템 자동화---></p> <p style="text-align: center;"><----장비자동화-----></p> <p style="text-align: center;"><-----양측 작업 방식-----></p>				

터미널 유형 도입은 다양한 요소기술을 필요로 하며 상호 밀접하게 관련되어 있기 때문에 기술 축적 정도 및 향후 환경 변화에 따라 단계별로 이루어지는 것이 타당하다. 크게 4단계로 나눌 수 있는데 제 1단계는 정보시스템을 도입하는 단계이다. 신속한 정보제공, 터미널 운영 및 관리 주체 전반의 통합화 등으로 작업 효율 증대를 꾀하는 것이 주목적이며, 투자규모가 상대적으로 낮기 때문에 우선 투자 대상이다.

제 2단계는 계획자동화 및 운영자동화시스템을 도입하는 것이다. 기존 시설, 장비, 인력의 이용 효율 극대화를 꾀하는 것이 주목적이며, 투자 규모가 상대적으로 낮다.

제 3단계는 장비 무인화를 도입하는 단계이다. 일반적으로 터미널 여건상 인력 공급에 문제가 있거나 인건비의 비중이 지나치게 높을 때 추진하게 된다. 각 장비의 인력 감축이 주목적이며, 기존 시설과 장비를 대체하는 대규모 투자를 요하기 때문에 신중한 생산성 및 경제성 검토가 필요하다.

마지막 단계는 현재 논의되고 있는 초대형 컨테이너 선박(10,000 TEU - 15,000 TEU)이 등장하는 시점에서 체항시간을 적정 수준으로 유지할 수 있는 도크식 터미널과 같은 새로운 유형을 고려하는 것이다. 이 경우 3단계에서 도입된 장비 자동화와 결합된 차세대 터미널 유형이 될 것이다.

5장 결론

본 논문에서는 현재 기존의 일반적인 형태로 개발 중인 부산신항만과 외국항만 중 자동화 터미널인 ECT(Europe Combined Terminals), 그리고 Dock 형 안벽시스템으로 운영되고 있는 Ceres Paragon Terminal 등 세가지 유형의 터미널에 대하여 생산성을 분석하였으며, 각 유형의 터미널에 소요되는 운영비, 인건비, 건설비 등 비용적인 부분을 검토하였다.

이 결과 총 면적의 단위면적 당 생산성과 야드 장비당 생산성은 부산신항만이 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 안벽의 단위 m당 생산성과 안벽 장비당 생산성은 자동화 터미널인 ECT 터미널이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 특히 Ceres Paragon Terminal의 안벽 생산성과 총면적의 단위면적당 생산성은 부산신항만의 1/2 수준 정도에 불과한 것으로 나타났다.

또한 총 비용적인 측면에서 볼 때 부산신항만이 가장 낮았으며, Dock형 터미널인 Ceres Paragon Terminal이 가장 높게 나타남을 알 수 있었다.

이로 미루어 볼 때 생산성이 낮고 Dock 개발로 인한 Infrastructure 비용이 높은 Ceres Paragon Terminal과 같은 유형의 경우는 국내와 같이 토지비용이 높고 인건비가 높은 국내에는 도입이 바람직하지 않다고 볼 수 있다.

그리고 앞서 4장에서 밝힌 바와 같이 우리나라의 경우 터미널 비용 구성 측면에서 볼 때 인건비의 비중이 상대적으로 낮고 대신 터미널 사용료 수준이 외국 터미널에 비하여 월등히 높기 때문에 하역 장비 등 상부 구조물에 대한 투자의 여지가 적으며, 인력 절감을 주요 목표로 삼을 필요성이 낮음을 의미하므로 현재의 여건을 기준으로 우리나라 여건에는 무인 자동화보다는 기존형태의 부산신항만과 같은 유인자동화가 타당하다고 할 수 있다.

현재 터미널의 개발 형태는 다양성을 띠고 있고, 각 유형별 도입 장비, Layout, 운영시스템에 따라서 개발비용에 상당한 영향을 미치기 때문에 도입되는 터미널 개발유형에 대한 생산성 및 경제성 검토가 절실히 필요하다.

본 논문에서는 부산신항만이 개발 중이고 Ceres Paragon Terminal은 정상 운영이 아니기 때문에 생산성을 분석하는 데 사용된 하역 능력 자료는 각 개발 주체에서 제공되어진 시뮬레이션 자료를 사용하여 실제 데이터 분석에는 한계가 있었다.

참고문헌

남기찬·하원익 (1998), "컨테이너 터미널 자동화의 개념적 모형 정립", 한국해양대학교 부설 물류연구센터 논문집, 제 2집, pp.71-80.

부산신항만 (2001), 부산신항만 실시설계 요약 보고서.

부산신항만 (2001), 부산신항만 운영계획 보고서.

부산신항만 (2001), 북 컨테이너 터미널 축조공사 실시설계 보고서.

정승호 (1999), 자가 컨테이너 터미널 생산성 분석, 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문

한국해양수산개발원 (1999), 부산신항 터미널계획 설계관리.

Amsterdam Port Authority (2002), 내부 자료

Ballis, A. Golias, J. Abakoumkin, C. (1997), "A comparison between conventional and advanced handling systems for low volume container maritime terminal," Marit. Pol. MGMT., Vol. 24, No. 73 - 92.

Ceresglobal (2001), The 21st Century CERES PARAGON TERMINAL.

Cargo System (2002), Containerization Year Book, 2002.

JWD(Jordan Woodman Dobson) (1999), Pusan Newport Co. Terminal Operating Systems, Studies and Reports Vol.2.

Liftech Consultants Inc, (2001), Cranes to serve ship in the slip.

KPC(Korean Port Consultants) (1999), Pusan Newport Planning Study.