

工學碩士 學位論文

컨테이너선 규모에 따른 컨테이너 크레인
적정 투입대수 산출에 관한 연구

A Study on the Estimation of Optimal Container Crane
Number according to Vessel's Size

指導教授 郭 圭 錫

2005年 12月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

李 康 元

本 論文을 李康元의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委 員 長 工學博士 南 奇 燦 ㉠

委 員 工學博士 金 煥 成 ㉠

委 員 工學博士 郭 圭 錫 ㉠

2005年 12月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

李 康 元

차 례

Abstract

제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 흐름	2
1.3 선행연구 고찰	3

제2장 해운 · 항만 시장의 환경변화

2.1 해운시장의 환경변화	5
1) 컨테이너 선박의 대형화	5
2) 항만에 미치는 영향	10
2.2 부산항 컨테이너터미널 현황	13
1) 일반현황	13
2) 안벽하역능력	14
2.3 해외 선진항만과의 시설 및 생산성 비교	16

제3장 분석대상 검토

3.1 부산항 A터미널 검토	19
1) 부산항 A터미널 시설현황	19
2) 부산항 A터미널 운영현황	19
3.2 분석대상 검토	20
1) 컨테이너선 규모별 입항선박 현황	20
2) 컨테이너선 규모별 화물처리실적 현황	21
3) 컨테이너선 규모별 선박당 화물처리실적 현황	22

제4장 컨테이너 크레인 적정 투입대수 분석

4.1 선박규모별 컨테이너 크레인 투입대수에 대한 생산성 분석	23
1) 컨테이너선 규모별 작업시간당 생산성	23
2) 컨테이너선 규모별 선석당 생산성	25
3) 컨테이너선 규모별 크레인당 생산성	27
4.2 선박규모별 적정 크레인 투입모형 설정	28
1) 변수 지정	28
2) 모형 설정	29
4.3 모형에 따른 적정 투입대수 도출	31

제5장 결론 및 향후 연구방향

5.1 결론	36
5.2 향후 연구방향	37
참고문헌	38
부록	39

표 차 례

<표 1-1> 항만효율성 관련 연구	4
<표 2-1> 주요 컨테이너선사의 선대크기 및 발주량 현황	5
<표 2-2> 포스트 파나막스급 이상 대표적 선형 및 제원	6
<표 2-3> 컨테이너선의 규모별 적재중량	7
<표 2-4> 8,000TEU급 이상 컨테이너선 발주현황	8
<표 2-5> 컨테이너선 대형화에 대한 전망	9
<표 2-6> 컨테이너 크레인의 제원	10
<표 2-7> 6,000TEU급 이상 선박의 On-Dock 적재 열수	11
<표 2-8> 2003년 발주 중인 컨테이너 크레인 현황	12
<표 2-9> 부산항 컨테이너터미널 시설현황	13
<표 2-10> 하역능력 결정을 위한 주요 변수 및 하역능력	14
<표 2-11> 부산항 컨테이너터미널의 처리능력	15
<표 2-12> 연도별 컨테이너터미널별 처리량	16
<표 2-13> 항만별 컨테이너처리량 및 시설 현황	17
<표 2-14> 항만별 컨테이너 크레인당 평균생산성 비교	18
<표 3-1> 부산항 A터미널 시설현황	19
<표 3-2> 부산항 A터미널 운영현황	20
<표 3-3> 부산항 A터미널의 5년간 컨테이너선 규모별 입항선박	21
<표 3-4> 부산항 A터미널의 5년간 컨테이너선 규모별 화물처리량	21
<표 3-5> 부산항 A터미널의 5년간 컨테이너선 규모별 선박당 화물처리량	22
<표 4-1> 컨테이너선 규모별 작업시간당 생산성	24
<표 4-2> 컨테이너선 규모별 선석당 생산성	26
<표 4-3> 컨테이너선 규모별 크레인당 평균생산성	28
<표 4-4> 모형 투입 변수별 가중치	31
<표 4-5> 선박규모 및 컨테이너 크레인 투입 대수별 효율성지표 분석결과	32
<표 4-6> 컨테이너 크레인 투입 대수에 따른 생산성지표	35

그림 차례

<그림 1-1> 연구의 흐름	2
<그림 2-2> 항만별 생산성 비교	17
<그림 4-1> 컨테이너선 규모별 작업시간당 생산성	23
<그림 4-2> 컨테이너선 규모별 선석당 생산성	25
<그림 4-3> 컨테이너선 규모별 크레인당 평균생산성	27
<그림 4-4> 1,000TEU급 이하 선박의 효율성 곡선	32
<그림 4-5> 1,000TEU~2,000TEU급 선박의 효율성 곡선	32
<그림 4-6> 2,000TEU~3,000TEU급 선박의 효율성 곡선	33
<그림 4-7> 3,000TEU~4,000TEU급 선박의 효율성 곡선	33
<그림 4-8> 4,000TEU~5,000TEU급 선박의 효율성 곡선	34
<그림 4-9> 5,000TEU급 이상 선박의 효율성 곡선	34

A Study on the Estimation of Optimal Container Crane Number according to Vessel's Size

Lee, Kangwon

Department of Logistics Engineering,
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

The volume of international trade has been increased. Especially, sea-borne trade has played an important part in trade among countries, and increasing maritime traffic causes economies of scale in the shipping and port market.

There are lots of changes in shipping market such as enlargement of vessels and the alliances among shipping companies. Due to these changes, there are many changes of operation and management in the port. One of the significant changes in the port market is that port become bigger according to bigger vessels, the result could cause hub port. To be hub-port and to survive in the market, they devise a lot of strategies.

Especially, the handling productivity is considered on important element in the competition. In addition it is become more important issue in the privatization of terminal. Because this improves the terminal of profitability and is an important element to reduces the port time. Studies in conjunction with the stevedoring productivity conducted at internal and external from the realistic need, but it is too hard to analyzes the whole productivity of terminal. Because of this reason, it isn't embossed with these studies up to recently.

In these days, Ports and terminals make an effort to attract large-sized vessels, because of the enlargement of the vessel and the deepen competition to become hub port. Finally, the efficient container handling capacity is demanded rather than unconditional expansion of equipment and facilities at the terminal side.

In this paper, we analyze the relationship between the enlargement of vessel and port productivity and derive optimal number of container crane by container ship size.

제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

세계 경제의 규모는 과거로부터 현재까지 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 특히 국가간 교역에서 큰 역할을 하고 있는 해상 운송 물동량의 증가는 해운·항만 시장의 규모의 경제를 불러왔다.

해운시장의 경우 선박의 대형화와 선사 간 제휴 등 많은 변화를 보이고 있다. 또한 항만의 경우 이러한 해운시장의 변화를 감안하여 운영 및 관리 활동 등의 환경 변화가 이루어지고 있다. 항만시장의 변화 중 가장 큰 특징은 선박 대형화에 따른 항만 대형화라 할 수 있으며, 이는 지역별 항만 중심화를 불러오고 있다. 이러한 중심항만이 되기 위해서 여러 경쟁 항만들은 시장에서의 생존을 위하여 많은 전략들을 수립하고 있다. 특히, 항만경쟁력의 중요한 요소로 고려되고 있는 터미널의 하역생산성은 터미널이 민영화되기 시작하면서부터 그 중요성이 더욱 증가하였다. 이는 터미널의 하역생산성이 터미널의 수익성향상과 직결되기 때문이며, 선사들에게도 선박체항시간을 줄일 수 있는 가장 중요한 요소이기 때문이다. 이러한 현실적인 필요에 기인하여 하역생산성과 관련한 연구들이 국내외에서 지속적으로 이루어지고 있지만, 터미널 전체의 생산성을 분석하는 것이 현실적으로 불가능하다는 이유로 최근에는 크게 부각되지 못하고 있다. 하지만, 선박이 대형화되고 중심항만을 위한 경쟁이 심화되면서, 항만 및 터미널들은 대형선박을 유치하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 결국, 대형선박에 대응하는 효율적인 하역처리능력이 요구되는데, 터미널 입장에서는 무조건적인 시설 및 장비 확충보다는 적정 하역능력이 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 부산북항의 실제 컨테이너터미널 운영자료를 바탕으로 선박의 대형화와 항만 생산성간 연관성을 분석하고, 분석된 결과를 통해 선박 규모별 적정 크레인 대수를 도출하고자 한다.

1.2 연구의 흐름

컨테이너선의 규모별 적정 컨테이너 크레인 투입 대수를 도출하기 위하여 사용되는 자료는 부산항 A터미널의 2000년부터 2004년까지 5년간의 실제 자료들로 구성된다. 이러한 실제 자료들과 안벽에서의 컨테이너 크레인 투입대수별 효율성을 살펴보기 위하여 다음과 같이 연구가 이루어졌다.



<그림 1-1> 연구의 흐름

따라서 본 논문의 2장에서는 해운시장 및 부산항의 환경변화를 살펴보았으며, 3장에서는 분석에 사용되는 각 자료들에 대한 설명 및 자료의 기초적 분석이 이루어졌다. 그리고 4장에서는 기초 분석된 자료들을 이용하여 본 논문의 목적이라 할 수 있는 컨테이너선의 규모별 적정 컨테이너 크레인 투입대수를 산출한다.

1.3 선행연구 고찰

본 절에서는 항만 생산성과 관련된 가장 큰 요소 중 하나인 안벽생산성에 관한 연구에 대하여 살펴보겠다. 기존의 컨테이너터미널 효율성을 높이기 위한 연구들은 크게 안벽과 야드 지역으로 구분되어 이루어져 왔다. 특히, 본 연구의 분석 대상인 안벽 지역에 관한 연구는 대부분 하역장비인 컨테이너 크레인에 대한 장비 기술적 측면에서 이루어지고 있다. 이는 선박 대형화가 컨테이너터미널의 직접적인 운영 시스템에 큰 영향을 미치기 때문이며, 이러한 환경변화에 대응하기 위하여 컨테이너터미널들과 많은 연구자들은 하역장비인 컨테이너 크레인에 대한 제원과 시스템들에 대하여 연구를 하고 있다. 또한 항만에서의 생산성과 관련된 연구들은 일반적으로 개념적 연구에서 벗어나질 못하고 있는 실정이다. 그러나 본 연구는 항만에서의 생산성과 관련된 컨테이너터미널 실제 데이터들을 이용하여 하역생산성에 대한 분석을 실시하고자 한다.

한편 이러한 선행연구의 고찰은 본 연구의 분석과정에서 사용될 변수들을 도출하기 위한 과정이며, 또한 도출된 변수들의 적합성을 검증하기 위한 과정이다.

전술한 바와 같이, 현재 해상물동량의 급격한 증가와 함께 선사들이 운영상의 규모의 경제를 실현하기 위해 컨테이너선의 대형화가 진행되고 있다. 결국 항만의 입장에서는 항만인프라를 개선하고 항만효율성과 하역생산성 향상 등을 통하여 선박의 재항시간을 단축시켜야 하는 문제로 귀결된다. 이와 관련된 연구를 살펴보면 먼저, 고용기(2000)는 항만효율성 평가지표의 개발 모형화에 관한 연구에서 효율성 평가의 주요 요인으로 선박당 평균 부두 접안 시간, 선석 이용률, 안벽 m당 처리물량, 하역시간당 크레인 당 처리물량 등으로 분류하여 분석하였다. 이 연구는 효율성 지표의 모형을 수립함으로써 본 연구에도 많은 영향을 주었으나, 이론적 연구와 연구 방법론에 의한 계량화에 중점을 둠으로써 실제 터미널 운영시스템에 적용하기에는 다소 한계가 있다. 양창호(2001)는 컨테이너터미널 선석처리능력 추정방안에 관한 연구에서 선박규모별 선형, 선박입항시점, 선박접안시간 등의 변수를 이용

시물레이션 분석과정을 통해 선석처리능력 산정 방법 대안을 제시하였다. 이 연구는 항만에서의 생산성은 거론되었으나, 대부분 컨테이너선 대형화에 따른 컨테이너터미널 운영시스템 변화를 위주로 연구가 이루어졌다.

하태영(2003)은 컨테이너 크레인 생산성 향상 과제로 대형선폭에 적합한 크레인 설계, 고성능의 크레인, 크레인 작업대수 증가 등으로 꼽았다. 이 연구 또한 컨테이너 크레인 제원 및 물리적 한계 등의 현황 분석을 토대로 새로운 개념의 하역장비를 개발하는데 중점을 두었다.

<표 1-1> 항만효율성 관련 연구

연구자	비고
고용기	선박 당 평균 부두접안 시간, 선석 이용률, 암벽m당 처리물량, 하역시간당 크레인 당 처리물량
양창호	선박규모별 선형, 선박입항시점, 선박접안시간
하태영	대형선폭에 적합한 크레인 설계, 고성능 크레인, 크레인 작업대수

따라서 본 연구는 앞서 살펴본 연구들에서 나타난 생산성에 관련된 지표들과 부산항 컨테이너터미널의 실제 데이터들을 접목하여 기존 연구의 이론적 한계를 극복하는데 의의가 있다. 한편, 지금까지 살펴본 항만 생산성 향상과 관련된 연구들에서 나타난 요인들로서 항만에서의 선박 재항시간과 선박규모별 처리물량 등으로 나타났다.

따라서 그에 따른 적정 크레인 투입에 관한 실제 데이터를 추출하여 본 논문의 분석에 사용하고자 한다.

제2장 해운 · 항만 시장의 환경변화

2.1 해운시장의 환경변화

1) 컨테이너 선박의 대형화

(1) 컨테이너선 운항 현황

정기 컨테이너 선사들은 컨테이너선의 대형화를 통하여 규모의 경제 (Economies of Scale) 효과를 추구하여 왔다.

〈표 2-1〉 주요 컨테이너선사의 선대크기 및 발주량 현황(2005년)

단위 : TEU, 척

순위	선사	선대규모		발주량	
		선복량	선박수	선복량	선박수
1	Maersk Sealand	857,470	308	431,266	77
2	MSC	665,613	253	336,607	45
3	P&O Nedlloyd	428,495	147	224,284	38
4	CMA CGM	357,164	126	241,134	44
5	Evergreen	338,305	120	53,698	9
6	APL	310,326	100	39,476	7
7	Cosco	296,976	119	191,840	25
8	Hanjin	273,722	69	89,275	13
9	CSCL	264,487	101	214,156	33
10	NYK	244,522	76	106,600	16
11	OOCL	235,661	69	106,380	18
12	MOL	213,735	68	125,491	20
13	K Line	209,032	71	72,642	12
14	Hapag Lloyd	207,911	55	77,300	9
15	CP Ships	192,354	81	39,877	10
16	Yang Ming	180,313	64	97,000	23
17	Zim	161,330	58	17,000	4
18	HMM	142,257	37	125,200	20
19	Hamburg Sud	116,932	58	58,614	18
20	PIL	104,808	66	62,558	20
-	합계	5,801,413	2,046	2,710,398	461

자료 : Containerisation International(2005)

그에 따라 1980년대에는 3,000TEU급 선박이 보편적이었으나 1996년 Maersk Line의 6,000TEU급 선박이 최초로 취항하였고, 2000년대에는 8,000TEU급 선박이 등장하였다.

한편, 조선관련 기술의 발달로 8,000TEU급, 심지어는 15,000TEU급 선박의 건조가 가능하다는 주장과 함께 향후 컨테이너선의 대형화는 지속될 전망이다. 또한 선박 대형화가 진전됨에 따라 컨테이너 선박들은 규모를 기준으로 1세대에서 8세대까지 분류되기도 하며, 선박 운항에 있어서 가장 큰 물리적 제약 요인인 Panama운하를 기준으로 하여 Panamax, Post-Panamax, Super-Panamax급 등으로 구분된다.

〈표 2-2〉 포스트 파나마스급 이상 대표적 선형 및 제원

단위 : m

구 분	4500TEU	4800TEU	5500TEU	6,500TEU	7000TEU	8000TEU	12,000TEU	15,000TEU
명칭	Post-Panamax			Super Post-Panamax			Suez-Max	Malacca-Max
길이	260.0	262.0	263.0	302.3	326.4	325.0	400.0	400.0
폭	39.4	40.0	40.0	42.8	42.8	46.0	50.0	60.0
깊이	23.6	24.3	24.3	24.1	24.1	27.1	35.0	35.0
흘수	12.5	14.0	14.0	14.0	14.5	14.5	17.0	21.0

자료 : Payer, H(1999), Feasibility and Practical Implications of Container Ships of 8,000TEU and Beyond, Terminal Operation Conference & Exhibition, Genoa
 Wijnolst, N., Schlotens, M., Waals, F.(1999), Malacca-Max; The Ultimate Container Carrier, Delft University Press
 한국컨테이너부두공단(2004), 상하이(대소양산) 및 북중국 항만의 발전이 미치는 영향과 대응방안 연구, 해당내용 재정리

최근 Suez 운하를 기준으로 하는 Suez-max급 선박 그리고 더 나아가서 Suez 운하 준설을 전제로 하고 Malacca 해협을 제약으로 하는 Malacca-max급 선박이 소개되었다.

또한, 현재 취항 중인 표준 대형 선박급인 5,500TEU 선박과 비교 시

8,000TEU 선박과 15,000TEU 선박은 각각 전장 62m, 137m, 폭 6m, 20m 정도가 큰 것으로 나타났다.

8,000TEU급 선박의 컨테이너 적재 능력은 화물창내 4,492TEU, 갑판 5단 적 3,268TEU, 갑판 6단적 392TEU로서 총 8,152TEU에 달하며, 15,000TEU급 선박의 적재 능력은 화물창 내 10~11단적, 갑판 6~7단 28열로써 기존 대형선인 6,000TEU 선박과 비교할 때 갑판 적재 열이 11열 증가한 것이 특징이라 할 수 있겠다.

<표 2-3> 컨테이너선의 규모별 적재증량

구 분	화물창 적재 단수	갑판 적재 단수	갑판 적재 열
2,000TEU	7	4	13
3,000TEU	7/8	4/5	13
4,000TEU	8/9	5/6	13
5,000TEU	9	5/6	16
6,000TEU	9	5/6/7/	17
8,000TEU	9/10	5/6	18
15,000TEU	10/11	6/7	28

자료 : Payer, H(1999), Feasibility and Practical Implications of Container Ships of 8,000TEU and Beyond, Terminal Operation Conference & Exhibition, Genoa
 McLellan, R. G(1997), Bigger Vessels; How Big is too Big, Maritime Policy Management, Vol.24, No.2, pp.193-211.

(2) 초대형 컨테이너선의 발주 현황

Maersk-Sealand, COSCO, P&O사 등 세계 주요 정기선사들의 8,000~10,000TEU급의 대형 컨테이너선에 대한 신조발주가 증가하고 있는 추세이며, 2005년을 기준으로 하여 건조중인 8,000TEU급 이상의 컨테이너선은 총 149척, 선복량은 128만 3,400TEU로써 평균선형이 8,613TEU에 이른다. 그리고 현재, 건조중인 8,000TEU급 이상 컨테이너선 가운데 최대 선형은 COSCO사의 10,000TEU급이며, 다음으로 CSCL사의 9,600TEU급과 COSCO사의 9,400TEU급 등의 순으로 나타났다.

<표 2-4> 8,000TEU급 이상 컨테이너선 발주현황

단위 : 척, TEU

선형	운항선사	척수	선복량	인도기간	조선소
10,000TEU급	Cosco	4	40,000	2008	Hyundai
9,600TEU급	CSCC	9	86,400	2006~2007	Samsung
9,400TEU급	Cosco	5	47,000	2006	Hyundai
9,200TEU급	Cosco	5	46,000	2008	Nantong KHI
	MSC	13	119,600	2005~2007	Samsung
	Maersk Sealand	4	36,800	2007~2008	Samsung
	CMA CGM	4	36,800	2006	Hyundai, Samho
8,700TEU급	Hapag Lloyd	2	17,400	2005	Hyundai
	NYK	4	34,800	2007	Hyundai
8,600TEU급	Hapag Lloyd	5	43,000	2007~2008	Hyundai
	HMM	4	34,400	2008	Hyundai, Samho
	P&O Nedlloyd	5	43,000	2008	Hyundai, Samho
8,500TEU급	CSCC	4	34,000	2007	Hudong Zhonghua
	P&O Nedlloyd	6	51,000	2005~2007	IHIMU
8,400TEU급	Hapag Lloyd	2	16,800	2005	Daewoo
	P&O Nedlloyd	3	25,200	2006	Daewoo
	MSC	4	33,600	2005~2007	Daewoo
	Maersk Sealand	6	50,400	2006~2008	Daewoo
8,200TEU급	MSC	6	49,200	2005~2006	Hyundai
	Cosco	3	24,600	2005~2006	Samho
	CMA CGM	10	82,000	2005~2007	Hyundai, Samho
	Yang Ming	5	41,000	2008~2009	CSBC
8,100TEU급	K Line	4	32,400	2006~2007	IHIMU
	NYK	4	32,400	2007~2008	IHIMU
	MOL	4	32,400	2007~2008	MHI
	Evergreen	5	40,500	2005~2006	Samsung
	Hatsu	1	8,100	2006	Samsung
	Lloyd Triestino	1	8,100	2005	Samsung
	Hatsu	1	8,100	2006	Samsung
	OOCL	4	32,400	2006~2007	Samsung
8,000TEU급	MSC	8	64,000	2005~2006	Hanjin
	Yang Ming	4	32,000	2006~2007	Hyundai
합계	-	149	1,283,400	-	-

자료 : Containerisation International(2005)

현재의 건조기술로도 최대 12,500TEU급의 선박 설계와 건조가 가능하며 이론적으로는 15,000~18,000TEU급 선박의 개발도 가능한 실정이며, 종합적으로 살펴볼 때 12,500TEU급 초대형 컨테이너선의 출현은 시간문제라 할 수 있다.

<표 2-5> 컨테이너선 대형화에 대한 전망

구 분	대형화에 대한 견해
Alfred J. Baird (1999)	- 2020년 : 10,000TEU급 이상 선박 출현 (세계 10위권 선사들 가운데는 2007년까지 10,000TEU급, 2015년까지는 12,000급, 2015년 이후에는 14,000TEU급 출현을 예상한 사례도 있음)
Hans J. Payer (2000)	- 2000년대초 : 12,000TEU급 출현 예상
Rijsenbrij (2000)	- 향후 15~30년 이내에 15,000~18,000TEU급 출현
Ocean Shipping Consultants (2000)	- 2005년 : 8,500TEU급 취항 (2008년 : 12,000TEU급 20~40척 운항) - 2010년 : 12,500TEU급 취항 (2012년 : 12,000TEU급 54척 내외 운항)
Lloyd's (2001)	- 향후 5~10년 내에 12,500TEU급 출현
Drewry Shipping Consultants (2001)	- 2005년 : 8,000~9,000TEU급 12척 내외 운항 - 2010년 : 12,000TEU급 24척 내외 운항
IAPH (2003)	- 2010년까지 · 회의적 견해 : 8,000TEU로서 충분 · 낙관적 견해 : 12,500TEU (해운산업의 요구) · 중도적 견해 : 9,000~9,300TEU (가장 실제적)

자료 : 한국컨테이너부두공단(2004), 상하이(대소양산) 및 북중국 항만의 발전이 미치는 영향과 대응방안 연구

2) 항만에 미치는 영향

컨테이너선의 최대선형은 항만시설 및 하역장비의 규모를 결정하는 기준이 되고 있으며, 컨테이너선의 최대선형은 다음과 같은 요인들과 밀접한 관계가 있으므로 지속적인 항만 개발 및 정비가 필요하다. 특히 수심 등 컨테이너터미널의 초대형선박 수용능력, 컨테이너터미널의 신속한 화물처리 능력, 컨테이너터미널의 신속한 배후연계수송능력 그리고 최대 단적수 제한 등 기술적 문제 등은 중요한 요인들로 나타날 수 있다.

또한 전 세계 항만의 5%만이 6,500TEU급 선박을 수용할 수 있기 때문에 선박대형화의 장애는 선박이 아닌 항만시설이라 할 수 있다. 12,000~15,000TEU급 초대형선의 기항 결정요인은 재항시간 단축이며, 따라서 항만의 접근항로수심, 안벽수심 및 길이, 안벽크레인, 야드 장비 등의 개선이 이루어져야 한다.

현재 운항 중인 선폭 35m 전후의 3,000TEU급 컨테이너선은 13열, 선폭 40m 전후의 5,000TEU급은 14열을 각각 수용할 수 있는 안벽 크레인을 필요로 한다. 그러나 선폭 60m 이상인 대형 컨테이너선이 기항하는 터미널의 경우에는 선폭과 갑판에 적재된 컨테이너의 열수를 고려하여 원활한 양·적하 작업이 가능하도록 대형 컨테이너 크레인이 설치되어야 한다.

〈표 2-6〉 컨테이너 크레인의 제원

크레인 기종	Outreach(m)	처리가능 열수(Row)
Standard Panamax	36~44	14~16
Post Panamax	44~48	16~18
Super Panamax	50~52	18~20
Ultra Post Panamax	54~56	20~22

자료 : 한국해양수산개발원(2002), 초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만 하역 시스템 기술 개발전략 연구

<표 2-7> 6,000TEU급 이상 선박의 On-deck 적재 열수

선박규모(TEU)	선폭(m)	갑판 적재 열수(열)	비고
6,000~7,600	42.8	17	운항 중
8,000~9,100	45.3-45.6	18	운항 중
12,000	50.0	19	Suez-Max
12,000	57.0	22-23	기술적 설계완료
15,000	69.0	28	American Shipper

자료 : 삼성중공업 내부자료(2001), 한국해양수산개발원(2002), 초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만 하역 시스템 기술개발전략 연구에서 재인용

컨테이너선의 대형화로 인한 규모의 이익을 실현하기 위해서는 항만의 하역생산성을 향상시켜 하역시간을 단축시켜야 되고, 이를 위해서는 안벽크레인의 능력 향상 및 추가 도입이 필요한 실정이다.

2003년 Cargo Systems가 안벽크레인 시장에 대하여 실시한 조사에 따르면 해측 도달거리(Out-Reach)가 60m 이상의 안벽크레인이 전체 발주량의 39%를 차지하는 것으로 나타났다.

2002년에는 해측 도달거리가 60m 이상인 안벽크레인 100기가 발주되었고, 2003년에 발주된 가장 큰 안벽크레인은 로테르담 항만에서 Kalmar에 주문한 해측 도달거리 70m의 안벽크레인이다.

또한, ZPMC에서 공급하기로 한 안벽크레인 중에는 스페인과 로테르담에서 발주한 해측 도달거리 70m의 안벽크레인 3기도 포함되어 있다. 청도와 로테르담에서 주문한 70톤급 크레인이 하역능력이 가장 크며 60톤을 초과하는 스프레더 용량을 가지며, 안벽크레인의 성능 면에서는 컨테이너 적재 시 분당 70~90m, 비적재시 분당 150~180m의 권상속도(Hoist Speed)를 가지는 것이 일반적이지만 중국의 천진에서 발주 중인 안벽크레인은 적재 시 분당 90m, 비적재시 220m로써 고성능에 대한 요구는 지속될 전망이다.

<표 2-8> 2003년 발주 중인 안벽크레인 현황

구 분	발주수량 (기)	최대 하역능력 (톤)	최대해측 도달거리 (Outreach)	최대육측 도달거리 (Backreach)	최대 권상속도 (m/min)	최대 횡행속도 (m/min)	인도년 (수량)
Doosan Heavy Industry	8	51	61	20	75/150 60/170	210	2003
Fantuzzi Reggiane	25	-	-	-	-	-	-
Hyundai	17	65	63	24.38	70/150 53/170	240	2003(11) 2003(6)
IMPSA Port Systems	8	65	51	18.3	70/160	210	2003(6) 2004(2)
Kalmar BV	5	70	70	20	-/180	220	2003
Konecranes	9	65	51	19	75/150	210	2003
Liebherr	11	65	51	17.5	70/175	240	2003(10) 2004(1)
Mitsui Eng. &Shipb'ldg	13	41	59.1	15	72/150	210	2003
Mitsubishi Heavy Industries	9	50.8	55	15.24	75/150	210	2003
Noell Cranes Systems	19	61	62.5	20	90/180	244	2003(10) 2004(9)
Paceco Espana	5	61	58.5	14	90/180	215	2003
SPMP	23	70	70	18	90/220	240	2003
ZPMC	67	65	65	-	90/180	244	2003
Total	219	70	70	24.38	90/220	244	

자료 : Cargo Systems(2003, 3)

Maersk-Sealand사의 6,600TEU급 'Sovereign Maersk' 선박에는 컨테이너 크레인 6대까지 배치할 수 있으나 대다수 항만이 선박 당 크레인 6대를 할당하기는 어려우며 평상시 4대 정도가 사용되고 있다.

향후 10,000TEU급 이상 초대형 컨테이너선이 기항하기 위해서는 선박의 선폭 증가에 따른 충분한 Outreach를 가진 하역장비가 설치되고, 요구되는

체항시간을 맞출 수 있는 하역생산성이 요구된다. 안벽에서의 하역생산성 증가와 더불어 이송장비 및 장치장에서의 장치장비 등에 대한 작업 생산성도 향상되어야 한다.

2.2 부산항 컨테이너터미널 현황

1) 일반현황

부산 북항의 전용터미널 접안 선석 수는 총21개로 5만톤급 16척, 2만톤급 1척, 1만톤급 1척, 5만톤급 3척이 접안할 수 있으며, 컨테이너를 장치하는 부두내 CY는 신선대터미널 672천㎡, 자성대터미널 462천㎡, 감만터미널이 336천㎡를 확보하고 있다.

〈표 2-9〉 부산항 컨테이너터미널 시설현황

구분	자성대	신선대	감만	신감만	우암	감천
접안능력	5만톤급 4척 1만톤급 1척	5만톤급 4척	5만톤급 4척	5만톤급 2척 5천톤급 1척	2만톤급 1척 5천톤급 2척	5만톤급 2척
부지면적	647천㎡ (196천평)	1,039천㎡ (315천평)	731천㎡ (221천평)	308천㎡ (93천평)	184천㎡ (55천평)	148천㎡ (45천평)
CY면적	462천㎡ (140천평)	672천㎡ (203천평)	336천㎡ (102천평)	153천㎡ (46천평)	156천㎡ (47천평)	105천㎡ (32천평)
건물면적	38천㎡ (11천평)	28천㎡ (8.5천평)	16천㎡ (4.8천평)	12천㎡ (3.7천평)	5천㎡ (1.6천평)	4천㎡ (1.2천평)
CFS	2동 20천㎡	1동 11천㎡	1동 8.4천㎡	1동 5.5천㎡	-	-
철도수송 인입선	980m	925m	1,032m	-	-	-

자료 : 부산항만공사(2005), 2004년도 부산항 컨테이너화물 처리 및 수송통계

2) 안벽하역능력

(1) 계획된 하역능력

<표 2-10>은 항만의 개발규모를 산정하기 위하여 제시된 대기율, 선석점유율 및 하역능력을 나타내고 있다. 컨테이너터미널의 선석당 하역능력을 결정짓는 중요한 요소인 C/C(Container Crane)대수는 3기, 선석점유율은 대기율에 따라, 30%~60%, 대기율은 1%~22% 수준에서 분석되었으며, 세부적인 요소는 <표 2-10>과 같다.

현재 터미널의 선석 당 하역능력 기준인 30만TEU는 서비스 수준 분류 등급 중 D등급으로 대기율 3%~7%, 선석점유율 42% 수준에서 결정되었고 이 하역능력을 본 연구에서는 계획하역능력으로 삼는다.

<표 2-10> 하역능력 결정을 위한 주요 변수 및 하역능력

구분	지표	대기율(%)							
		1~2	2~3	2~6	3~7	4~9	5~12	7~16	11~22
C/C대수	대수	3	3	3	3	3	3	3	3
연간작업 가능시간	연간작업일수 일일작업시간	365 24	365 24	365 24	365 24	365 24	365 24	365 24	365 24
크레인 작업 시간율	선석점유율	0.30	0.35	0.40	0.42	0.45	0.50	0.55	0.60
	선박이동계수	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	크레인작업계수	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	실작업시간율	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
크레인 작업효율	설계능력(VAN)	45	45	45	45	45	45	45	45
	손실조정계수	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	간섭계수	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
환산계수	TEU/VAN	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Overstow	계수	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
선석당 연간하역 능력	연간하역능력	216,864	253,008	289,152	303,610	325,296	361,440	397,585	433,729
	(천TEU)	216	253	289	303	325	361	397	433
서비스 수준(등급 분류)		A급	B급	C급	D급	E급	F급	G급	H급
1선석당 표준 하역능력		D급 적용 : 300(천TEU)							

자료 : 해양수산부(2001), 전국무역항 항만기본계획 용역보고서

주 : 대기율과 선석점유율은 1터미널 2~3선석 운영을 전제로 한 것이며 등급 분류의 서비스 수준은 대기율과 선석점유율을 기준으로 적정수준을 감안하여 구분한 것임

이를 기준으로 한 부산항의 각 터미널 안벽하역능력을 살펴보면 부산 북항의 일반부두를 제외한 컨테이너 전용터미널의 안벽하역능력은 자성대터미널, 신선대터미널, 감만터미널이 각각120만TEU, 신감만터미널 65만TEU, 우암터미널 27만TEU, 감천터미널이 24만TEU 등 총 486만TEU로 계획되었다.

〈표 2-11〉 부산항 컨테이너터미널의 처리능력

구분	자성대	신선대	감만	신감만	우암	감천
부두길이	1,447m	1,200m	1,400m	826m	500m	600m
전면수심	-15m	-14m	-15m	-15m	-11m	-13m
하역능력	120만TEU	120만TEU	120만TEU	65만TEU	27만TEU	34만TEU

자료 : 부산항만공사(2005), 2004년도 부산항 컨테이너화물 처리 및 수송통계

(2) 실제처리량

실제부산 북항의 경우 실증자료를 통하여 분석한 결과 자성대, 신선대, 감만 터미널 등의 선석당 처리량이 모두 계획하역능력 30만TEU를 상회하고 있으며, 특히 감만 터미널의 경우에는 고성능 크레인 설치와 대형선의 입항으로 설계능력의 2배가 넘는 물동량을 처리하고 있어서 30만TEU로 계획된 부산 신항만의 안벽하역능력은 보다 현실에 맞게 조정이 필요할 것으로 판단된다.

〈표 2-12〉 연도별 컨테이너터미널별 처리량

단위 : TEU

구분	자성대	신선대	감만	신감만	우암	감천
'00년	1,433,801	1,282,135	1,769,120	-	312,299	386,818
'01년	1,272,288	1,319,761	1,922,497	-	447,693	432,941
'02년	1,534,586	1,528,285	2,261,484	481,182	502,450	505,959
'03년	1,575,986	1,769,787	2,516,290	759,453	533,787	509,349
'04년	1,825,523	1,994,881	2,723,733	976,321	549,872	548,074
선석수	5	4	4	3	3	2
선석당 처리량 (2002년)	306,917.2	382,071.3	565,371	160,394	167,483.3	252,979.5
선석당 처리량 (2003년)	315,197.2	442,446.8	629,072.5	253,151	177,929	254,674.5
선석당 처리량 (2004년)	365,105	498,720	680,933	325,440	183,291	274,037

자료 : 한국컨테이너부두공단(2001~2004), 컨테이너화물 유통추이분석(각년호)
부산항만공사(2005), 2004년도 부산항 컨테이너화물 처리 및 수송통계

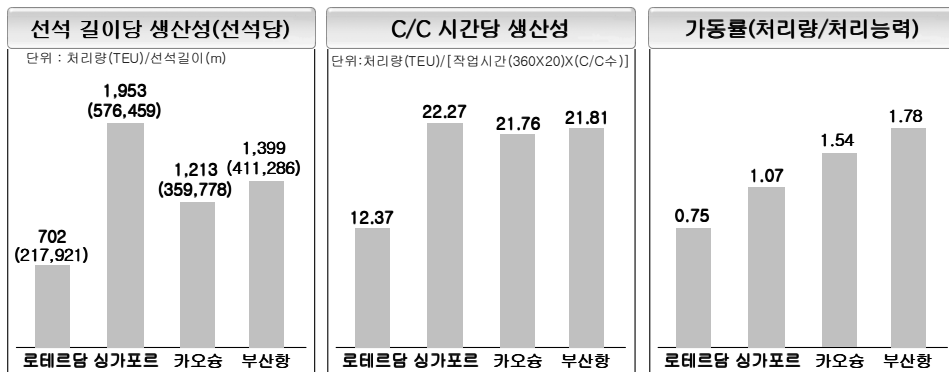
2.3 해외 선진항만과 부산항의 시설 및 생산성 비교

항만별 컨테이너 처리물량과 선석길이, 컨테이너 크레인 수, 처리능력으로 항만의 생산성을 비교한 결과 <표 2-13~14>와 같이 나타났다. 컨테이너 크레인의 작업시간당 생산성에서는 항만별로 큰 차이를 보이지는 않지만, 선석길이당 생산성에 큰 차이를 보이고 있다. 이는 선석에 투입되는 컨테이너 크레인 수에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다.

또한, 항만시설 가동률(처리량/처리능력)은 로테르담항과 싱가포르항이 약 100% 및 그 이하로써 적정규모의 시설능력을 보유하고 있는 반면 부산항과 카오슝항의 경우 가동률이 각각 178%와 154% 등으로 시설능력이 매우 부족한 상황임을 알 수 있다.

<표 2-13> 항만별 컨테이너처리량 및 시설 현황

구 분	로테르담항	싱가포르항	카오슝항	부산항
컨테이너물동량	828만TEU	2,133만TEU	971만TEU	1,149만TEU (870만TEU)
선석길이 (선석수)	11,790m (387개)	10,921m (377개)	8,005m (277개)	6,173m (217개)
장비(C/C)수	93기	133기	62기	55기
처리능력 (Design Capacity)	1,100만TEU	2,000만TEU	630만TEU	486만TEU



주 : 1). 로테르담항은 기존의 컨테이너 전용터미널이 모두 포함되었기 때문에 실제 생산성과 다소 차이가 발생할 수 있음
 2). 부산항의 경우 컨테이너 전용터미널의 처리물량과 시설을 기준으로 계산한 것임

<그림 2-2> 항만별 생산성 비교

선석 1m당 처리량을 나타내는 선석 길이당 생산성을 살펴보면, <그림 2-2>에서와 같이 싱가포르항이 1,953TEU로 가장 높게 나타난 반면 로테르담항은 702TEU로 가장 낮게 나타났다. 한편, 부산항은 1,399TEU로써 싱가포르항에 이어 두 번째로 높게 나타났다. 또한, 컨테이너 크레인당 평균생산성을 비교한 결과 로테르담항, 싱가포르항, 카오슝항의 경우 평균 순생산성은 22.3~23.8box로써 편차가 크게 나타나지는 않았다. 반면 부산항의 순생

산성은 27.6box로 가장 높은 것으로 나타났다.

선박이 항만에 머무는 시간을 나타내는 체항시간은 부산항을 제외하곤 20시간 전후로 비슷한 수준이다. 부산항의 경우 체항시간이 27.5시간으로 비교항만의 약 1.4배 수준이며, 이는 크레인당 순생산성은 부산항이 가장 높은 반면 당 하역작업에 투입되는 크레인 대수는 가장 적기 때문에 나타난 결과라 할 수 있겠다.

<표 2-14> 항만별 컨테이너 크레인당 평균생산성 비교

구 분	순생산성(Box/시간)	선박당 크레인 수	체항 시간
로테르담	22.2	5-6	21.0
싱가포르	23.1	5-6	18.8
카오슝	23.8	3-4	22.5
부산	27.6	2-3	27.5

자료 : H해운 내부자료(2003)

주 : 체항시간은 적양하 컨테이너 1,400moves를 기준으로 도출

제3장 분석대상 검토

3.1 부산항 A터미널 검토

1) 부산항 A터미널 시설현황

부산항 A터미널 실제 자료를 이용한 분석을 위하여 시설현황을 살펴보면, 총 선석수는 4.5선석, 총 안벽길이는 1,447m로 나타났다.

한편, 크레인 수는 2003년 9월까지 12기였으나, 태풍 매미로 인하여 2기가 파손된 후 3기가 추가 투입되어 2003년 10월 이후 13기가 되었다.

〈표 3-1〉 부산항 A터미널 시설현황

선석수	4.5선석
안벽길이	1,447m
총 크레인 수	12기(현재 13기)

자료 : 부산항 A터미널(2000~2004)

2) 부산항 A터미널 운영현황

2000년부터 2004년까지 5년간 A터미널에서 처리한 물량은 계속해서 증가하는 추세였다. 그러나 입항한 선박은 2000년(1,776척)과 비교하여 2004년에 1,493척으로 감소하였다. 이는 대형선박이 입항함에 따라 실제 선박수는 감소하였으나 선박 당 처리물량이 증가함에 따른 결과라 할 수 있다.

한편, 2004년 기준 크레인 1기당 연간 처리물량은 138,053TEU, 선석당 연간 처리물량은 398,821TEU 그리고 안벽길이당 처리물량은 1,240TEU로써 2000년 이후 계속해서 증가하였다.

〈표 3-2〉 부산항 A터미널 운영현황

구분	2000년도	2001년도	2002년도	2003년도	2004년도
총 처리물량(TEU)	1,285,759	1,260,545	1,544,294	1,594,928	1,794,693
총 입항선박(척)	1,776	1,279	1,336	1,418	1,493
선박당 처리물량(TEU)	724	986	1,156	1,125	1,202
총 크레인 수(기)	12.00	12.00	12.00	12.17	13.00
크레인 1기당 처리물량(TEU)	107,147	105,045	128,691	131,054	138,053
선석당 처리물량(TEU)	285,724	280,121	343,176	354,428	398,821
선석당 평균 크레인수(기)	2.7	2.7	2.7	2.7	2.9
안벽길이(m)	1,447	1,447	1,447	1,447	1,447
안벽길이당 처리물량(TEU)	889	871	1,067	1,102	1,240

자료 : 부산항 A터미널(2000~2004)

3.2 분석대상 검토

본 연구에서 이루어지는 분석 자료는 부산항 A터미널의 2000년부터 2004년까지 5년간의 실제자료를 사용하였다.

그러나 부산북항 특정 터미널의 실제자료를 이용한 분석이라는 특성상 타 터미널에 대한 자료에 대한 분석은 이루어지지 않았다. 또한 분석 대상 터미널의 수심문제에 따른 특성상, 대형선의 입항이 많이 이루어지지 않아 대형선에 대한 분석은 타 터미널에 대한 자료가 뒷받침되어야 하겠다.

1) 컨테이너선 규모별 입항선박 현황

부산항 A터미널의 지난 5년간 입항 및 작업을 한 선박은 총 7,301척인 것으로 나타났다. 또한 규모별 입항선박 수를 살펴보면, 가장 많이 입항한 선박의 규모가 1,000TEU~2,000TEU급 선박으로써 2,382척이 입항하였으며 특히, 대형선의 경우 주력 선박 규모인 4,000TEU~5,000TEU급 선박이 471척, 5,000TEU급 이상의 선박은 164척이 입항하였다.

〈표 3-3〉 부산항 A터미널의 5년간 컨테이너선 규모별 입항선박

단위 : 척

구분	2000	2001	2002	2003	2004	합계
1,000 이하	694	241	340	393	394	2,062
1,000~2,000	610	509	408	414	442	2,383
2,000~3,000	248	258	189	175	257	1,127
3,000~4,000	194	227	231	225	217	1,094
4,000~5,000	28	33	110	156	144	471
5,000 이상	2	11	58	55	38	164
합계	1,776	1,279	1,336	1,418	1,492	7,301

자료 : 부산항 A터미널(2000~2004)

2) 컨테이너선 규모별 화물처리실적 현황

본 연구의 분석대상인 A터미널 컨테이너선의 규모별 5년간의 화물처리량을 살펴보면, 1,000TEU~2,000TEU급 선박이 2,044,645TEU로 가장 많은 화물을 처리하였으며, 그 다음으로 3,000TEU~4,000TEU급 선박이 1,909,275TEU를 처리하였다.

〈표 3-4〉 부산항 A터미널의 5년간 컨테이너선 규모별 화물처리량

단위 : TEU

구분	2000	2001	2002	2003	2004	합계
1,000 이하	214,530	138,075	221,301	246,886	253,478	1,074,270
1,000~2,000	429,802	365,880	377,991	404,359	466,613	2,044,645
2,000~3,000	258,551	316,305	221,090	195,781	337,806	1,329,533
3,000~4,000	330,162	375,565	405,820	380,024	417,704	1,909,275
4,000~5,000	44,885	54,203	183,018	251,935	244,988	779,029
5,000 이상	5,811	12,535	135,074	115,943	70,009	339,372
합계	1,283,741	1,262,563	1,544,294	1,594,928	1,790,598	7,476,124

자료 : 부산항 A터미널(2000~2004)

3) 컨테이너선 규모별 선박당 화물처리실적 현황

A터미널의 5년간 선박 1척이 처리한 화물량을 살펴보면 5,000TEU급 이상의 선박이 2,065TEU를 처리하였고, 3,000TEU~4,000TEU급 선박이 1,745TEU, 4,000TEU~5,000TEU급 선박이 1,645TEU를 처리하였다. 반면, 2,000TEU~3,000TEU급 선박은 1,174TEU, 2,000TEU급 이하의 선박은 1,000TEU 미만의 화물을 처리함으로써 선박 규모가 커질수록 선박당 화물의 처리량이 증가하는 것으로 분석되었다.

<표 3-5> 부산항 A터미널의 5년간 컨테이너선 규모별 선박당 화물처리량

단위 : TEU

구분	2000	2001	2002	2003	2004	평균
1,000 이하	309	573	651	628	643	561
1,000~2,000	705	719	926	977	1,056	877
2,000~3,000	1,043	1,226	1,170	1,119	1,314	1,174
3,000~4,000	1,702	1,654	1,757	1,689	1,925	1,745
4,000~5,000	1,603	1,643	1,664	1,615	1,701	1,645
5,000 이상	2,906	1,140	2,329	2,108	1,842	2,065
평균	1,378	1,159	1,416	1,356	1,414	1,345

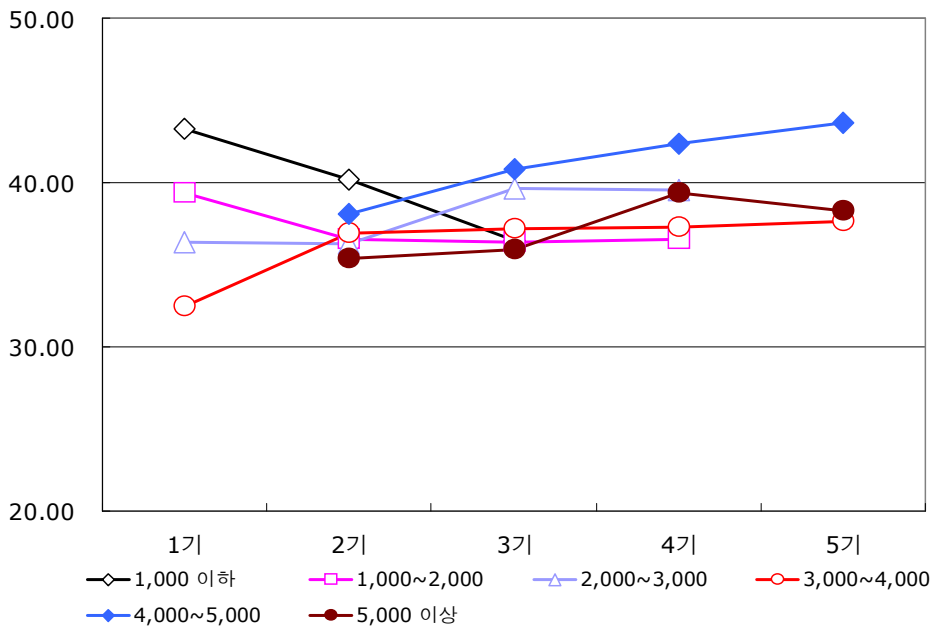
자료 : 부산항 A터미널(2000~2004)

제4장 컨테이너 크레인 적정투입대수 분석

4.1 선박규모별 컨테이너 크레인 투입대수에 대한 생산성 분석

1) 컨테이너선 규모별 작업시간당 생산성

컨테이너 선박의 규모에 따른 작업시간당 화물처리량을 살펴보면, 소형선박 규모인 2,000TEU급 미만의 경우 크레인대수가 증가할수록 작업시간당 화물처리량이 감소하였다. 반면, 3,000TEU급 이상의 선박 규모에서는 크레인 대수가 증가할수록 화물처리량이 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 5,000TEU급 이상의 선박규모는 <그림 4-1>에서 보는 바와 같이, 컨테이너 크레인의 대수가 4기까지는 화물처리량이 증가하고, 5기에서는 다소 감소한 결과가 나타났다. 이는 A터미널의 특성에 기인한 결과로 볼 수 있는데, 부산항의 다른 컨테이너터미널에 비해 대형 컨테이너 선박의 입출항이 원활하지 않고, 입출항 척수가 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 4-1> 컨테이너선 규모별 작업시간당 생산성

구체적으로 1,000TEU급 이하 선박의 경우 작업시간당 화물처리량을 살펴 보면, 컨테이너 크레인이 2기 이상 투입되었을 때보다 1기가 투입되었을 때 더 많은 화물(43.30TEU)을 처리한 것으로 분석되었고, 1,000TEU~2,000TEU급 선박 역시 1기의 컨테이너 크레인이 투입되었을 때 가장 많은 화물을 처리한 것으로 나타났다. 반면, 2,000TEU~3,000TEU급 선박의 경우 3기, 3,000TEU~4,000TEU급 및 4,000TEU~5,000TEU급 선박의 경우 5기, 5,000TEU급 이상의 선박의 경우 4기의 컨테이너 크레인이 투입되었을 때 작업시간당 가장 많은 화물을 처리한 것으로 나타났다. 여기서도 마찬가지로, 5,000TEU급 이상의 선박에서 4기의 컨테이너 크레인의 작업시간당 화물량이 5기보다 높게 나타난 것은 A터미널이 가지는 특성에 기인한 결과로 볼 수 있다.

〈표 4-1〉 컨테이너선 규모별 작업시간당 생산성

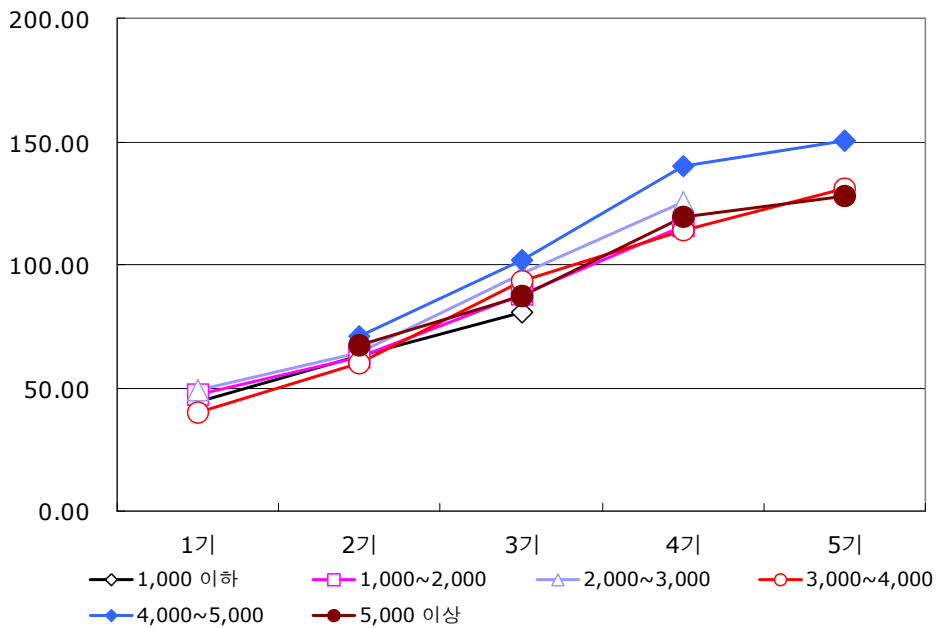
단위 : TEU

구분	1기	2기	3기	4기	5기
1,000 이하	43.30	40.20	36.48	-	-
1,000~2,000	39.40	36.55	36.40	36.53	-
2,000~3,000	36.36	36.26	39.61	39.53	-
3,000~4,000	32.43	36.89	37.22	37.31	37.61
4,000~5,000	-	38.10	40.82	42.40	43.68
5,000 이상	-	35.36	35.89	39.37	38.27

자료 : 부산항 A터미널(2000~2004)

2) 컨테이너선 규모별 선석당 생산성

컨테이너선의 규모별 선석에서의 평균생산성을 살펴보면 크레인의 투입대수가 늘어날수록 선석에서의 생산성 또한 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 분석대상 컨테이너선의 규모에 관계없이 나타났다. 그러나 컨테이너 크레인이 4기까지 투입될 경우 선석당 생산성이 지속적으로 증가하였으나, 5기의 크레인이 투입되는 시점에는 생산성이 증가는 하되, 증가율은 3기에서 4기가 투입되는 시점보다 감소하는 것으로 분석되었다.



〈그림 4-2〉 컨테이너선 규모별 선석당 생산성

〈표 4-2〉에 나타난 결과를 구체적으로 살펴보면, 1,000TEU급 이하의 선박은 컨테이너 크레인이 최대 3대가 투입되어서 선석당 생산성이 80.64TEU였다. 이 결과가 의미하는 바는 1,000TEU급 이하의 선박이 A터미널 안벽에 접안했을 경우, 3개의 컨테이너 크레인이 투입되면 선석 시간당 평균 81TEU를 처리한다는 것이다. 마찬가지로 2,000~3,000TEU급의 선박이 접안했을 경우에는 최대 4기의 컨테이너 크레인이 투입되어 선석 시간당

125TEU를 처리하고 있다. 4,000~5,000TEU급 선박의 경우에는 최대 5기의 컨테이너 크레인이 투입되어 선석 시간당 평균 131TEU의 생산성을 보이고 있다. 이러한 결과는 컨테이너터미널에서 대형 모선 위주로 선석을 운영하고 있는 현 상황을 고려할 때 당연한 결과로 판단된다. 즉, 2,000TEU 이하의 소형선박보다는 대형선박이 선석 시간당 생산성이 높기 때문에 컨테이너 터미널 운영자 입장에서는 수익성을 고려해서 대형선 위주로 운영하게 되는 것이다. 하지만, 터미널 운영자 입장이 아니라 부산항 전체의 운영차원에서 본다면, 환적중심항만의 기본 요건이 되는 피더네트워크 확충을 위해서는 중소형 선박의 운영도 반드시 필요하다. 본 연구에서는 이러한 두 가지 측면을 동시에 고려하기에는 한계가 있기 때문에, 선박 대형화에 따른 컨테이너 크레인 투입 대수와 그에 따른 생산성만 살펴보고자 한 것이다.

〈표 4-2〉 컨테이너선 규모별 선석당 생산성

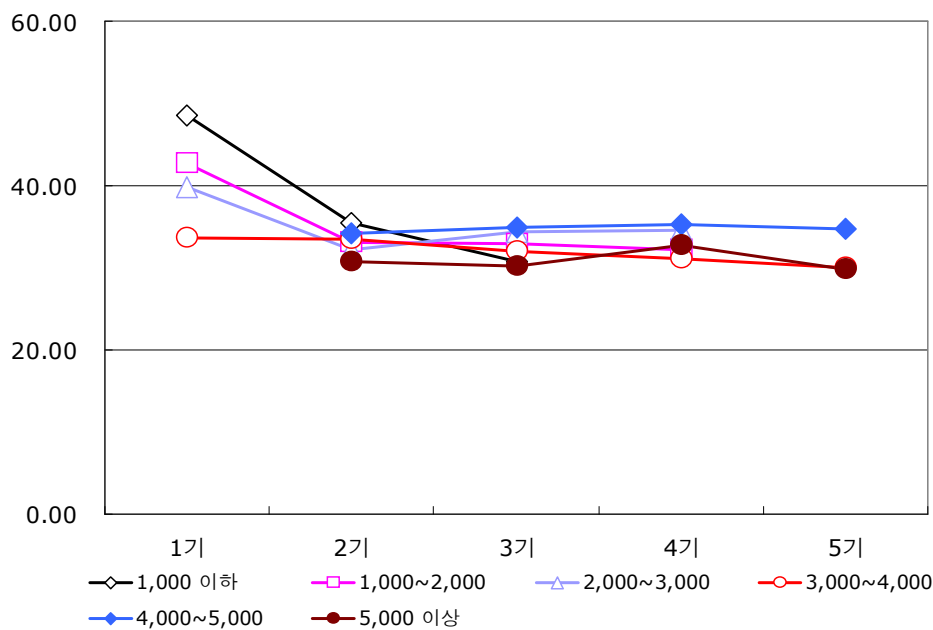
단위 : TEUs

구분	1기	2기	3기	4기	5기
1,000 이하	44.06	62.76	80.64	-	-
1,000~2,000	47.50	62.31	87.60	116.06	-
2,000~3,000	48.80	64.44	96.11	125.21	-
3,000~4,000	39.92	60.28	93.62	113.86	130.92
4,000~5,000	-	70.93	102.08	139.97	150.25
5,000 이상	-	67.02	87.51	119.64	127.69

자료 : 부산항 A터미널(2000~2004)

3) 컨테이너선 규모별 크레인당 생산성

앞서 살펴본 바와 같이 컨테이너 크레인이 많이 투입될수록 작업시간당 생산성과 선석 시간당 생산성이 높아짐을 알 수 있었다. 그러나 개별적인 크레인당 생산성은 <그림 4-3>와 같이 낮아지는 형태로 나타났다. 이는 크레인간 간섭효과가 크레인이 많이 투입될수록 높아지는 것이라 할 수 있겠다. 특히, 소형선박에 크레인 투입수가 증가되었을 경우의 간섭효과가 더욱 높아 크레인당 생산성이 더욱 떨어지는 것을 알 수 있다. 하지만, 4,000TEU 급 이상의 선박에서는 5기의 컨테이너 크레인이 투입되었을 경우에도 크레인당 생산성은 크게 떨어지지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대형선박의 경우 소형선박보다 컨테이너 크레인의 투입 수가 증가하더라도 간섭효과가 적어 크레인의 생산성은 떨어지지 않는다는 것이다. 다만, 터미널 내부의 여러 가지 연계서비스에 의해서 크레인의 생산성에는 다소 차이는 발생할 것으로 판단된다.



<그림 4-3> 컨테이너선 규모별 크레인당 평균생산성

<표 4-3>에서와 같이 컨테이너 크레인의 투입대수가 1기일 경우, 4,000TEU급 이하의 선박의 컨테이너 크레인당 평균생산성이 가장 높게 나타났으며, 4,000TEU~5,000TEU급, 5,000TEU급 이상의 선박의 경우에는 각각 3기 및 4기의 컨테이너 크레인이 투입되었을 때 가장 높은 생산성이 나타났다.

<표 4-3> 컨테이너선 규모별 크레인당 평균생산성

단위 : TEUs

구분	1기	2기	3기	4기	5기
1,000 이하	48.59	35.47	30.79	-	-
1,000~2,000	42.70	33.16	32.95	32.24	-
2,000~3,000	39.86	32.15	34.31	34.46	-
3,000~4,000	33.57	33.37	32.08	31.08	30.05
4,000~5,000	-	34.12	34.86	35.27	34.80
5,000 이상	-	30.66	30.17	32.77	29.85

자료 : 부산항 A터미널(2000~2004)

4.2 선박규모별 적정 크레인 투입모형 설정

1) 변수 지정

앞서 분석한 선박규모별 컨테이너 크레인 투입대수에 대한 생산성 분석결과와 본 연구의 이론적 배경에서 언급한 하역작업 효율성 모형을 고려하여, 최종적으로 본 연구에서 도출하게 될 선박규모별 적정 크레인 투입모형을 산정해 보았다. 우선, 본 연구모형에 투입되는 변수는 앞서 언급한 바와 같이, ‘컨테이너선의 규모별 처리물량’, ‘컨테이너선 규모별 작업시간 생산성’, ‘컨테이너선 규모별 선석 생산성’, 그리고 ‘컨테이너선 규모별 크레인 당 생산성’ 등의 변수이다. 각 변수에 대한 구체적인 모형과 그에 따른 기호는 아래에서 보는 바와 같다.

우선, 컨테이너선의 규모를 i , 컨테이너 크레인을 j 라 할 경우, 모형에 투

입되는 각 변수들은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$ER_{q(i)}^{(i)} = \text{선박 규모 및 크레인 투입 대수별 효율성}$$

$$BT_{q(i)}^{(i)} = \text{선박 규모 및 크레인 대수별 작업시간당 생산성}$$

$$BP_{q(i)}^{(i)} = \text{선박 규모 및 크레인 대수별 선석당 생산성}$$

$$QP_{q(i)}^{(i)} = \text{선박 규모 및 크레인 대수별 크레인당 생산성}$$

$$c(i) = \text{컨테이너선의 규모, } \forall i = [1, 6]$$

$$c(1) = \sim 1000\text{TEU}$$

$$c(2) = 1000 \sim 2000\text{TEU}$$

$$c(3) = 2000 \sim 3000\text{TEU}$$

$$c(4) = 3000 \sim 4000\text{TEU}$$

$$c(5) = 4000 \sim 5000\text{TEU}$$

$$c(6) = 5000\text{TEU} \sim$$

$$q(j) = \text{크레인 투입 대수, } \forall j = [1, 5]$$

2) 모형 설정

투입된 네 가지 투입변수에 대해서 각 변수의 중요도를 고려한 종합적인 선박규모별 컨테이너 크레인 투입모형은 아래의 함수식과 같이 나타낼 수 있다. 모형에서의 W 는 터미널 운영자 입장에서 선박규모에 따른 컨테이너

크레인 추가 투입 시 처리물량, 작업시간당 생산성, 선석당 생산성 및 크레인당 생산성 중에서 어떠한 변수가 가장 중요한지를 평가한 것이다.

$$ER_{\rho(i)}^{(i)} = W_1 BT_{\rho(i)}^{(i)} + W_2 BP_{\rho(i)}^{(i)} + W_3 QP_{\rho(i)}^{(i)}$$

$$W_i = (W_1, W_2, W_3)$$

$$0 \leq W_i \leq 1, \forall [1, 3]$$

$$\sum_{i=1}^3 W_i = 1$$

W_1 = 작업시간당 생산성에 대한 가중치

W_2 = 선석당 생산성에 대한 가중치

W_3 = 크레인당 생산성에 대한 가중치

모형에 투입될 가중치를 산출하기 위하여 전문가 설문조사를 실시한 결과 각 변수들에 대한 가중치는 <표 4-4>와 같이 나타났다. 우선, 전문가 조사를 위해서 부산북항 컨테이너터미널에 근무하는 과장이상의 직위를 가지고 있고, 근무경력도 5년 이상인 사람만을 한정하여 조사하였다. 총 조사대상인원은 15명이었으며, 대부분의 사람들이 판단하는 각 변수들의 가중치는 비슷하게 나타났다. 변수별 가중치를 간략히 살펴보면, 선석 생산성이 가장 중요한 38%의 가중치, 다음으로 작업시간당 생산성이 36%, 크레인당 생산성이 26%의 가중치를 가진다.

〈표 4-4〉 모형 투입 변수별 가중치

구분	작업시간당 생산성 (W_1)	선석당 생산성 (W_2)	크레인당 생산성 (W_3)
가중치	0.36	0.38	0.26

4.3 모형에 따른 적정 투입대수 도출

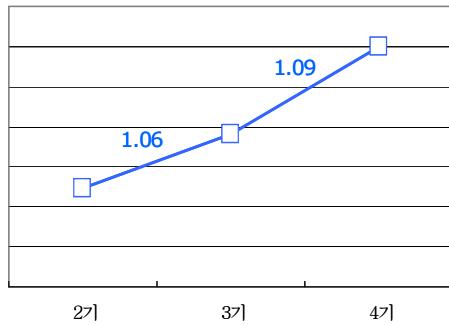
세 가지 생산성 변수와 가중치를 바탕으로 선박규모에 따른 컨테이너 크레인 투입대수별 가중치 분석결과는 〈표 4-5〉에 나타난다. 〈표 4-5〉의 결과는 앞 절의 모형 설정에서 최종적으로 나온 함수식의 분석 값으로, 세 가지 생산성 변수들과 전문가 조사에서 얻어진 가중치 값을 곱해서 더한 값으로 도출한 결과이다.

분석 결과를 보면, 컨테이너 크레인의 투입대수 증가에 따라 효율성 역시 함께 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구의 목적은 특정터미널의 제한된 장비와 선석으로부터 생성된 데이터를 통해 컨테이너선박 규모별 컨테이너 크레인의 투입대수를 도출하였기에 효율성 자체의 꾸준한 증가를 보기 위함이 아니라 장비 투입에 따른 효율성 변화 기울기에 주목하여 변화가 심한 정점, 다시 말해 효율성 기울기가 가장 큰 구간을 장비투입에 있어서의 기준으로 활용하고자 한다. 즉, 규모가 다른 선박이 동시에 접안하였을 경우, 터미널에서는 분석결과를 이용하여 컨테이너 규모별 효율성을 극대화할 수 있는 최소치 장비 투입대수를 배정하고, 그 이후 규모에 따른 효율성 기울기를 통해 효율성을 향상할 수 있도록 추가 장비를 배치할 수 있을 것으로 생각된다.

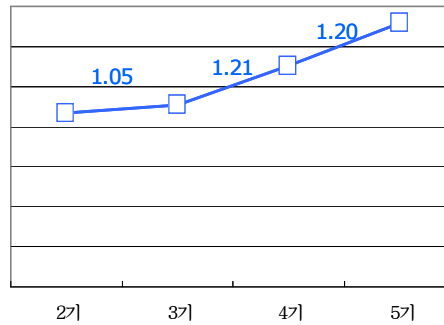
이러한 과정을 통한 구체적인 분석결과와 해석은 〈그림 4-4〉~〈그림 4-9〉을 통해 설명하고자 한다.

<표 4-5> 선박규모 및 컨테이너 크레인 투입 대수별 효율성지표 분석결과

구분	1기	2기	3기	4기	5기
1,000 이하	44.94	47.65	51.97	-	-
1,000~2,000	43.35	45.57	55.16	65.95	-
2,000~3,000	42.03	46.02	59.93	71.11	-
3,000~4,000	35.60	44.96	57.55	65.09	71.48
4,000~5,000	-	49.68	62.80	78.02	82.30
5,000 이상	-	46.31	54.23	68.48	70.43



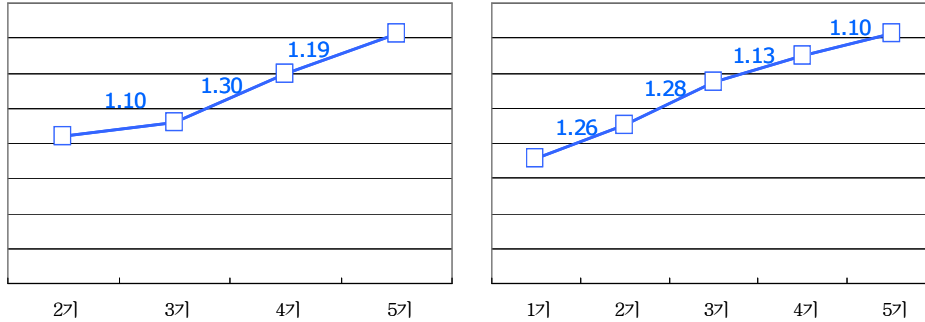
<그림 4-4> 1,000TEU급 이하 선박의 효율성 곡선



<그림 4-5> 1,000TEU~2,000TEU급 선박의 효율성 곡선

<그림 4-4> 1,000TEU급 이하 선박규모의 효율성곡선에서는 컨테이너 크레인 1기에서 2기 투입시 기울기가 1.06이고, 2기에서 3기 투입시에는 1.09로 나타났다. 이는 컨테이너 크레인 2기를 투입했을 경우, 1기 때보다 효율성이 6%정도 증가하고 3기를 투입하였을 경우에는 9%가 증가한다는 의미로 해석할 수 있다. 따라서 1,000TEU급 이하의 선박규모에서는 2기나 3기의 컨테이너 크레인을 투입시켜도 효율성은 크게 높아지지 않는 것을 나타낸다. 마찬가지로 1,000~2,000TEU급의 선박의 효율성곡선에서는 컨테이너

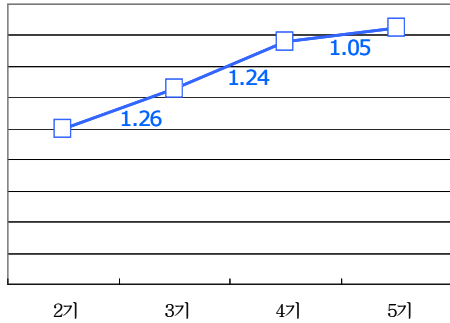
크레인 1기에서 2기 투입시 5%의 효율성 증가, 2기에서 3기 투입시 21%의 효율성 증가, 3기에서 4기 투입시 20%의 효율성이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 2,000TEU급의 선박에서는 컨테이너 크레인을 3기 또는 4기를 사용하는 것이 효율성이 높은 것으로 판단할 수 있다.



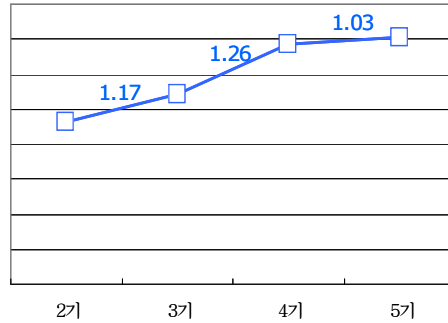
〈그림 4-6〉 2,000TEU~3,000TEU급 선박의 효율성 곡선 〈그림 4-7〉 3,000TEU~4,000TEU급 선박의 효율성 곡선

〈그림 4-6〉 2,000~3,000TEU급 이하 선박규모의 효율성곡선에서는 컨테이너 크레인 1기에서 2기 투입 시 기울기가 1.10이고, 2기에서 3기 투입 시에는 1.30, 3기에서 4기 투입 시에는 1.19으로 나타났다. 이는 컨테이너 크레인 2기를 투입했을 경우, 1기 때보다 효율성이 10%정도 증가하고, 3기를 투입하였을 경우에는 30%가 증가, 4기는 19%가 증가한다. 따라서 2,000~3,000TEU급 이하의 선박규모에서는 반드시 2기 이상의 컨테이너 크레인이 투입되어야 효율성을 높일 수 있으며, 여건에 따라 3기의 투입도 고려되어야 할 것이다. 이는 선사들에게 중요한 선박 체항시간을 줄일 수 있는 구체적인 방안이 되기 때문이다. 마찬가지로 3,000~4,000TEU급의 선박의 효율성곡선에서는 컨테이너 크레인 1기에서 2기 투입 시 26%의 효율성 증가, 2기에서 3기 투입 시 28%의 효율성 증가, 3기에서 4기 투입 시 13%, 4기에서 5기 투입 시 10%의 효율성이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 4,000TEU급의 선박에서는 컨테이너 크레인을 반드시 3기 이상을 투입하는 것이 효율성을 극대화시킬 수 있다. 하지만, 4기를 투입하였을 경우에는 13%, 5기를 투입하였

을때 10%정도의 효율성이 증가하므로 여건에 따라 최대 5기의 컨테이너 크레인을 투입하여도 좋을 것을 판단된다.



<그림 4-8> 4,000TEU~5,000TEU급 선박의 효율성 곡선



<그림 4-9> 5,000TEU급 이상 선박의 효율성 곡선

<그림 4-8> 4,000~5,000TEU급 이하 선박규모의 효율성곡선에서는 컨테이너 크레인 2기에서 3기 투입 시 기울기가 1.26이고, 3기에서 4기 투입 시에는 1.24, 4기에서 5기 투입 시에는 1.05으로 나타났다. 이는 컨테이너 크레인 3기를 투입했을 경우, 2기 때보다 효율성이 26%정도 증가하고, 4기를 투입하였을 경우에는 24%가 증가, 5기는 5%가 증가한다. 따라서 4,000~5,000TEU급 이하의 선박규모에서는 3기와 4기 정도의 컨테이너 크레인이 투입되어야 효율성을 높일 수 있다. 마찬가지로 5,000TEU급 이상의 선박의 효율성 곡선은 컨테이너 크레인 투입수의 증가에 비해 효율성이 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이, A터미널이 가지고 있는 특성에 의해 5,000TEU급 이상의 대형선박입항 척수가 상대적으로 빈약하여 나타난 결과로 추정된다. 만약, 부산북항에서 안벽수심이 비교적 안정적인 타 터미널의 실제자료를 바탕으로 분석하면 5,000TEU급 이상의 선박에 대한 보다 정확한 분석이 가능할 것이라고 판단된다.

<표 4-6> 컨테이너 크레인 투입 대수에 따른 생산성지표(기율기)

단위 : %

구분	2기	3기	4기	5기
1,000 이하	1.06 (47.65/44.94)	1.09	-	-
1,000~2,000	1.05	1.21	1.20	-
2,000~3,000	1.10	1.30	1.19	-
3,000~4,000	1.26	1.28	1.13	1.10
4,000~5,000	-	1.26	1.24	1.05
5,000 이상	-	1.17	1.26	1.03

제5장 결론 및 향후 연구방향

5.1 결론

본 연구에서는 2000년부터 2004년까지 부산항 A터미널의 실제 컨테이너 처리 자료를 바탕으로 선석당 처리물량, 작업시간당 처리물량, 컨테이너 크레인당 처리물량 등을 분석하였다. 또한, 컨테이너선의 규모에 따른 적정 컨테이너 크레인 대수를 산출하기 위하여, 컨테이너선 규모별 처리자료를 계량화하여 연구모형을 제시하였으며, 모형을 토대로 컨테이너선 규모별 적정 컨테이너 크레인 투입대수를 도출하였다. 본 연구에서 분석된 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, A터미널의 컨테이너 선박의 규모에 따른 작업시간당 화물처리량을 살펴보면, 소형선박 규모인 2,000TEU급 미만의 경우 크레인대수가 증가할수록 작업시간당 화물처리량이 감소하였다. 반면, 3,000TEU급 이상의 선박 규모에서는 크레인 대수가 증가할수록 화물처리량이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 컨테이너터미널에서 대형 모선 위주로 선석을 운영하고 있는 현 상황을 고려할 때 당연한 결과이며, 본 연구결과와 같이 소형선박보다는 대형선박이 선석 시간당 생산성이 높게 나타나기 때문이다.

둘째, A터미널의 선석 시간당 생산성을 살펴보면 크레인의 투입대수가 늘어날수록 선석에서의 생산성 또한 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 분석 대상 컨테이너선의 규모에 관계없이 나타났다. 그러나 컨테이너 크레인이 4기까지 투입될 경우 선석당 생산성이 지속적으로 증가하였으나, 5기의 크레인이 투입되는 시점에는 생산성이 증가하는 하되, 증가율은 3기에서 4기가 투입되는 시점보다 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 A터미널의 특성에 기인한 결과로 볼 수 있는데, 부산항의 다른 컨테이너터미널에 비해 대형 컨테이너 선박의 입출항이 원활하지 않고, 입출항 척수가 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다.

셋째, 소형선박에 크레인 투입수가 증가되었을 경우의 간섭효과가 더욱 높아 크레인당 생산성이 더욱 떨어지는 것을 알 수 있다. 하지만, 4,000TEU급 이상의 선박에서는 4기의 컨테이너 크레인이 투입되었을 경우에도 크레인당 생산성은 크게 떨어지지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대형선박의 경우 소형선박

보다 컨테이너 크레인의 투입 수가 증가하더라도 간섭효과가 적어 크레인의 생산성은 떨어지지 않으나 일정 수 이상의 크레인이 투입되었을 때 소형선박과 마찬가지로 간섭효과가 일어나 크레인 생산성이 떨어지는 것으로 나타났다.

마지막으로, 컨테이너 선박규모별 적정 컨테이너 크레인 투입대수를 산정하기 위해 3가지의 생산성변수와 가중치를 통해 효율성 지표(기율기)를 도출해서 분석한 결과, 1,000TEU급 이하의 선박에서는 컨테이너 크레인 2기만을 투입하는 것이 효율성이 가장 높았다. 2,000TEU와 3,000TEU급 선박에서는 최소 2기는 투입되어야 하며 작업여건에 따라 3기를 동시에 사용하는 것이 효율성이 높았다. 4,000TEU급과 5,000TEU급에서는 최소 3기는 투입되어야 하며 여건에 따라 4기가 투입되었을 때 효율성이 가장 높게 나타났다. 그러나 분석된 적정 컨테이너 크레인의 투입대수보다 더 많이 투입될 경우에도 효율성 지표는 감소되지 않고 증가를 하였다. 그러나 컨테이너터미널 운영은 터미널 여건에 따라 컨테이너 크레인의 선석당 적절한 분배를 통한 투입을 필요로 한다. 따라서 본 연구에서 나타난 컨테이너 크레인 투입대수에 대한 효율성 지표의 적정 수준에 따라 컨테이너를 투입시켜야 할 것이다.

5.2 향후 연구방향

본 연구는 실제자료를 바탕으로 분석하였지만, A터미널의 특성과 투입변수 등에 따라 다음과 같은 몇 가지 한계점을 가진다.

첫째, A터미널의 특성에 의해 5,000TEU급 이상의 대형선박입항 척수가 상대적으로 빈약하여 대형선박에 대한 적정 컨테이너 크레인 대수를 산정하기에 다소 무리가 있었다. 따라서 부산 북항에서 안벽수심이 비교적 안정적인 타터미널의 실제자료를 바탕으로 추가분석이 필요할 것이다.

둘째, 컨테이너선박 규모별 적정 크레인 대수 산정만을 연구 범위로 하여 네 가지 생산성 변수만 사용하였지만, 실제 터미널에서는 크레인 대수와 더불어 장치장 및 연계시스템 등을 동시에 고려해야 보다 현실적인 연구가 될 것이다.

따라서 향후 연구에서는 이러한 한계점을 보완하여 좀 더 구체적이고 실증적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 고용기(2000), 항만효율성평가 지표의 개발 모형화에 관한 연구, 한국무역학회지, 25권 1호, pp.89-107.
2. 부산항만공사(2005), 2004년도 부산항 컨테이너화물 처리 및 수송통계.
3. 한국컨테이너부두공단(2001~2004), 컨테이너화물 유통추이분석(각년호).
4. 한국컨테이너부두공단(2004), 상하이(대소양산) 및 북중국 항만의 발전이 미치는 영향과 대응방안 연구.
5. 한국해양수산개발원(2003), 기존 터미널의 안벽생산성 향상을 위한 방안, 월간 해양수산, 통권 제230호, pp18-26.
6. 한국해양수산개발원(2002), 초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만 하역 시스템 기술개발전략 연구.
7. 한국해양수산개발원(2003), 컨테이너 크레인 생산성 향상과제, 월간 해양수산, 통권 제231호, pp.27-40.
8. 해양수산부(2001), 전국무역항 항만기본계획 용역보고서.
9. Cargo Systems(2003).
10. Containerisation International(2005), <http://www.ci-online.co.uk/>
11. McLellan, R. G(1997), Bigger Vessels; How Big is too Big, Maritime Policy Management, Vol.24, No.2, pp.193-211.
12. Payer, H(1999), Feasibility and Practical Implications of Container Ships of 8,000TEU and Beyond, Terminal Operation Conference & Exhibition, Genoa.
13. Wijnolst, N., Schlotens, M., Waals, F.(1999), Malacca-Max; The Ultimate Container Carrier, Delft University Press.

부 록

< 모형 변수별 가중치에 대한 조사결과 >

번호	W_1	W_2	W_3
1	30	50	20
2	40	40	20
3	30	50	20
4	40	30	30
5	20	40	40
6	30	40	30
7	50	20	30
8	40	30	30
9	30	20	50
10	40	40	20
11	30	30	40
12	30	40	30
13	50	40	10
14	40	50	10
15	40	50	10