고효율 컨테이너 크레인의 개념 모델 및 적용효과 분석

Analysis of Conceptual Model and Application Effects for High Efficiency Container Crane

최용석* · 양창호 · 최상희*** · 원승환******
Choi, Yong Seok · Yang, Chang Ho · Choi, Sang Hei · Won, Seung Hwan

〈목 차〉

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 컨테이너 크레인 발전과정 및 개념변화
Ⅲ. 고효율 컨테이너 크레인의 개념 정의
Ⅳ. 생산성 분석
Ⅴ. 서비스 향상 및 경제적 타당성 분석
Ⅵ. 결 론

Abstract : Scaling up in the container trade resulted in container vessels with a maximum capacity of 12,000 to 15,000 TEU. All over the world, terminal operators are very much interested in the introduction of container crane with high productivity. In order to improve the productivity, we present a HECC(High Efficiency Container Crane) with high productivity to respond a very large container vessel. In this study the conceptual model of the HECC using separated trolley is used to reduce the cycle time. It is focused on the move of containers between sea-side on a container vessel and land-side on an apron during the loading and unloading operation. We analyze the mechanical productivity,

* (교신저자) 순천대학교 경영통상학부 물류학 전공 조교수
** 한국해양수산개발원 정책동향연구실 선임연구위원
*** 한국해양수산개발원 항만연구본부 부연구위원
**** 한국해양수산개발원 항만연구본부 연구원

net productivity, and gross productivity of the HECC to handle a large quantity of containers in very large container vessel. The results of analysis show that under simplifying assumptions the developed concept of HECC satisfies the productivity requirements. In terms of the service level and the economic feasibility, the performance of the HECC is better and requires considerable lower costs.

Key Words : container vessel, productivity, container crane, efficiency

Ⅰ. 서 론

세계 해운항만산업은 국가간의 교역량 증대에 따라 급속하게 성장하고 있으며, 그 중 컨테이너물동량의 증가율은 향후 10년 동안 5~6% 증가될 것으로 예측되고 있다. 특히 동북아지역은 중국의 경제성장에 힘입어 컨테이너물동량의 증가세가 연평균 6.2%가 될 것으로 전망되고 있다. 이러한 추세가 지속된다면 향후 2011년 이후에 동북아 컨테이너물동량은 전세계 교역량의 32%를 차지할 것으로 예측된다.

이러한 컨테이너물동량의 증가에 따라 Baird(1999)는 차세대 컨테이너선에 대한 전망, 대형화가 항만에 미치는 영향 및 제약조건, 항만의 필요조건 등에 관한 사항을 해운선사를 대상으로 설문 분석하였다. 분석결과를 보면 응답선사의 54%가 차세대 컨테이너선형으로 8,000~10,000TEU급을 예상했고, 대형화의 결과 기항 항만수가 줄어들며(77%), 처리비용이 감소할(46%) 것으로 기대하는 한편, 컨테이너터미널 생산성이 대형화의 주요 제약조건이 될 것으로 전망하였다(62%). 그리고 선박 대형화를 위한 항만의 조처로서 안벽 크레인 설치 확대(77%), 안벽 크레인의 대형화 및 속도 향상(96%), 컨테이너터미널 적재능력 증대(69%) 등이 지적되었다. 또한 김창곤(2002)은 컨테이너선의 대형화와 관련된 전문가들의 의견을 조사하는 한편, 시계열 분석을 이용하여 최대선박의 크기를 예측했다. 그러나 단순 회귀분석에 의하면 선박크기가 시간흐름에 비례하여 무한히 증대된다는 문제가 있다. 더불어 컨테이너선의 대형화가 화물확보를 둘러싼 선사간 과당경쟁을 유발하며, 하역시스템을 변화시키고, 중심항과 피더항의 차별화를 심화시킨다는 점 등을 그 영향으로 지적하였다.

실제로 최근에 세계 정기선 해운업계는 초대형 메가 캐리어와 초거대 전략적 얼라이언스로 구분되는 양상을 보이고 있다. 이들 메가 캐리어와 거대 전략적 제휴선사 그룹이 기항하지 않는 항만은 피더 화물이 창출되는 중심항 경쟁에서 도태될 가능성이 높은 현실에 놓여 있다.

또한 선사 중심의 초대형 컨테이너선의 발주가 향후 컨테이너터미널

에도 많은 변화를 가져올 전망이다. 2007년 8월 기준으로 10,000TEU급 이상 컨테이너선이 약 120척 이상 발주되어 컨테이너선의 극초대형화 추세가 심화되고 있다.

초대형화된 컨테이너선이 기항하는 항만이 중심항만이 될 것이라는 예측과 함께 초대형선을 기항하게 하려면 항만의 안벽을 늘리고 수심을 증가시키는 시설투자가 선행되지만 일시적인 물동량 처리능력을 높이기 위한 하역시스템의 개선이 필요하다고 지적되고 있다.

국내외적으로 컨테이너선의 대형화에 따라 컨테이너터미널에서의 하역생산성이 중요한 이슈로 대두되고 있으며, 컨테이너터미널의 역량을 하역생산성 향상에 집중하고 있다. 특히 하역생산성을 대표하는 컨테이너 크레인(Container Crane; C/C)의 성능 향상, 투입대수 증가, 멀티 리프트 스프레더 등을 이용하여 기계적 생산성을 향상시키는 방법 등이 다양하게 시도되고 있으며, C/C의 생산성을 지원하기 위한 이송차량의 풀링 시스템(Pooling System)과 듀얼 사이클(Dual Cycle)[1] 시스템의 도입을 통한 생산성 향상도 보급이 확산되고 있다(최용석 외, 2006).

따라서 컨테이너터미널의 주고객인 선사의 서비스 요구에 부응하는 서비스 수준을 확보하기 위해 C/C의 생산성을 향상시키고자 하는 노력이 필요하며, 대량의 컨테이너화물을 더 짧은 시간에 처리하기 위한 고생산성의 하역시스템에 대한 기술적 검토가 필요하며, 검증된 기술을 바탕으로 고생산성을 발휘하는 고효율의 C/C가 개발되어야 한다.

즉, 컨테이너선의 대형화 추세가 가속화됨에 따라 컨테이너터미널의 변화가 요구되며, 결국 C/C를 중심으로 한 하역시스템 자체가 고생산성을 위한 형태로 변화되어야 한다. 현재의 C/C 생산성은 자연성장률을 따라 점진적인 향상이 이루어지고 있으나 지난 10년 사이 시간당 5개 정도의 향상에 그치고 있는 실정이다(최용석 외, 2005). 따라서 초대형 컨테이너선에 대응한 기계적 생산성에 대한 향상과 이에 대응하는 생산성 향상 전략이 요구된다. 또한 2006년 기준으로 중국 ZPMC의 컨테이

1) 안벽크레인의 양하와 적하 작업시 반사이클에서 발생하는 빈이동을 줄이고 하역생산성을 향상시키기 위해서 양하작업 후 적하작업을 위한 컨테이너를 작업하여 양하와 적하작업을 하나의 사이클에서 수행하는 방식.

너 크레인 세계시장 점유율이 64%에 다다르고 있으며 국내 중공업업체 3사의 시장점유율은 7%대에 머무르고 있어 국내 항만장비 산업의 입지는 더 좁아지고 있는 상황이다.[2)]

본 연구에서는 안벽크레인의 운영생산성을 향상시키기 위해서 기존 C/C의 개념적 발전 과정을 살펴보고, 기술적 타당성을 가지도록 C/C의 기계적 구조를 분석하여 초대형 컨테이너선에 대응하는 생산성 향상을 위한 대안으로 고효율의 C/C의 개념과 개발 타당성을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 컨테이너 크레인 발전과정 및 개념변화

컨테이너터미널에서 안벽이 중요한 시설영역으로 인지되는 것은 고객인 선박의 서비스가 직접적으로 이루어지는 공간이며, 안벽에서 이루어지는 하역작업이 1차적으로 터미널의 생산성을 좌우하기 때문이다. 안벽에서의 하역생산성은 직접적으로 선박의 재항시간을 단축시키고 고객서비스 수준을 향상시키는 역할을 한다. 또한 간접적으로는 안벽장비와 연계되는 이송 및 야드장비의 운영효율을 높여 연료비 및 인력비용을 절감하는 효과를 유발하기 때문에 미래의 안벽장비 개발방향은 비용 절감형으로 기술개발이 진전되고 있다.

1. 컨테이너 크레인의 미래 변화추세

지속적인 화물의 컨테이너화와 항만물동량의 증가에 따라 평균 컨테이너선형은 1980년대 975TEU급에서 현재 2,229TEU급[3)]으로 증가되었다. 최대 컨테이너선형은 1980년대 3,057TEU급에서 현재는 14,300TEU급[4)]으로 증가되었으며, 국내 조선업체의 10,000TEU급 이상의 수주가

2) Cargo systems, 2007의 세계 컨테이너 크레인 발주현황 참조.
3) Drewry Shipping Consultant Ltd, *The Drewry Annual Container Market Review and Forecast* 2006/07, 2007.
4) Emma Maersk호.

114척(2007년 8월 기준)에 이를 정도로 컨테이너선의 초대형화는 급속도로 진전되고 있다.

이러한 컨테이너선의 변화추세에 따라 C/C의 기술적 사양에도 많은 변화를 일으키고 있다.

1959년 세계 최초의 C/C가 개발된 이후 선박의 대형화에 따라 C/C의 규모와 성능면에서 많은 발전이 이루어졌으며, 생산성 향상을 위해 현재 다양한 신개념의 C/C가 개발되고 있다. 기술적 변경에 대한 현재 상태의 C/C와 미래의 C/C를 비교하면 다음 <표-1>과 같다. 향후 10년 이후인 2010년대 중반에는 15,000TEU급 컨테이너선이 출현할 것으로 예상되어 미래의 C/C에 대한 기술적 사양을 현재와 비교했을 때 요구되는 생산성은 1.84배, 레일스팬은 1.2배, 아웃리치 1.2배 등 성능이나 규모면에서 상당히 증가될 것으로 예측된다. 정현수 외(2005)의 연구에서는 최대선형을 18,000TEU급으로 하여 C/C의 성능 및 규격을 제안한 연구도 있었으나 구조가 트리플 트롤리(triple trolley)를 가지면서 아웃리치가 75m 규모이므로 비교대상에서는 제외하였다.

〈표-1〉 **C/C의 기술적 변경 비교**

구분	현재	미래
C/C 생산성(lifts/h)	25	46[5]
스프레더	Single or Twin	Tandem or Triple
레일스팬(m)	30~35	35~42
아웃리치	60m이상(22열)	70m이상 (15,000TEU급 이상)
구조	SHST	DHST
트롤리(호이스트) 최대주행속도(m/min)	210~240	300 이상

주 : 1. 현재 C/C 생산성의 값은 2005년 부산항 평균치임
2. SHST(Single Hoist Single Trolly), DHST(Dual Hoist Second Trolly)

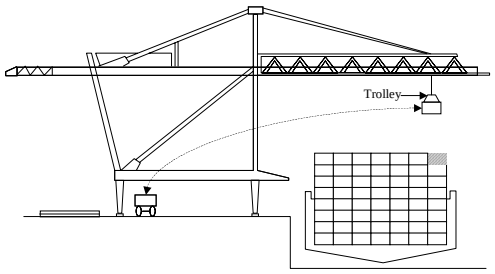
5) 미래 C/C 생산성의 값은 15,000TEU 선박이 3개 항만 기항시 C/C 1대당 요구되는 총시간당 생산성임.

2. 기존 컨테이너 크레인

현재 국내의 컨테이너터미널에 설치·운영되고 있는 안벽장비는 모두 싱글트롤리(Single Hoist Single Trolley, SHST)형의 크레인에 해당하며, 크레인에 부착된 1개의 트롤리가 선박의 컨테이너를 양·적하하는 방식을 취한다. 이러한 크레인은 1개의 트롤리에 의한 단독선회작업으로 기계적인 성능이 시간당 50개 정도에 이른다. 실제 현장 작업에서는 순작업 생산성과 총작업 생산성이 국내 터미널의 경우 2005년도에 각각 시간당 30.0개와 25.8개로 집계되고 있다.[6)]

다음 <그림-1>은 현재 국내에 설치된 싱글트롤리형 C/C의 작업방식을 개략적으로 나타낸 것으로, 선박과 안벽에 위치한 야드 트랙터 간의 먼 작업거리를 1개의 트롤리가 선회하는 작업을 반복적으로 수행하기 때문에 선박이 대형화될수록 작업거리가 멀어져 동일한 기계적 성능(트롤리/호이스트 속도)에서는 생산성 저하현상이 커질 것으로 전망된다.

〈그림-1〉 **싱글트롤리형 C/C 동작원리 및 특징**



- 국내외 장비제작업체 다수
- 현재 기계적 성능상 최대 50개 처리 가능함
- 대다수 터미널에서 사용 중이며, 국내의 경우 최대급은 광양 2단계 2차(한진중공업)에 설치된 크레인임

3. 생산성 향상을 위한 개념의 변화

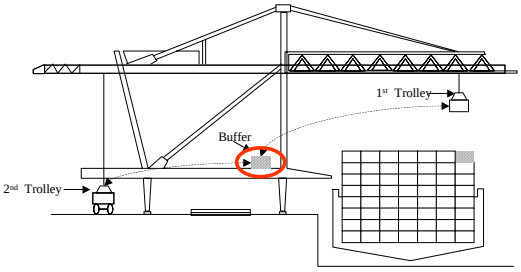
최근에는 이러한 싱글트롤리형 C/C의 취약점을 보완한 신개념의 C/C 개발이 가속화되고 있다. 그 대표적인 것으로 듀얼트롤리(Dual Trolley)

6) 한국컨테이너부두공단, 「2005 컨테이너화물 유통추이 및 분석」, 2006년 8월.

형, 더블트롤리(Double Trolley)형, 슈퍼테이너(Supertainer)형 등이 있으며 이들 유형에 대한 주요 특징을 각각 살펴보면 다음과 같다[7].

<그림-2>의 듀얼트롤리형 C/C는 중앙부분에 컨테이너 버퍼공간(Buffer)을 두고 2개의 트롤리가 전체 작업거리를 분담하는 형식이다. 따라서 버퍼하역작업이 추가로 발생하며, 버퍼공간의 크기에 따라 트롤리 간의 작업간섭이 발생될 수 있다. 현재 독일의 CTA(Container Terminal Altenwerder)를 비롯한 일부 터미널에 도입되어 운영 중이다.

〈그림-2〉 **듀얼트롤리형 컨테이너 크레인의 동작원리 및 특징**

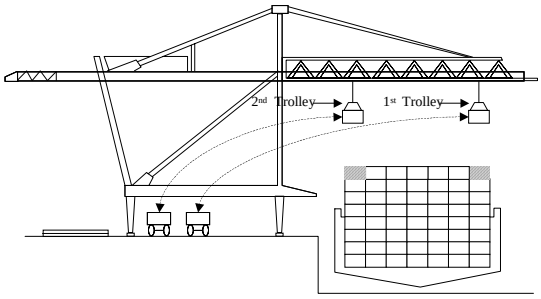


- 독일 Noell사, 중국 ZPMC사 등에서 개발 및 운영
- 이론적으로 시간당 60개의 컨테이너 양·적하 가능
- 싱글에 비해 20% 정도의 성능 향상이 기대됨
- 독일 CTA 터미널에서 현재 운영중

<그림-3>의 더블트롤리형 C/C는 2개의 트롤리가 독립적으로 하역하는 작업방식을 취하고 있다. 이 크레인은 붐 섹션(Boom Section)을 2층 구조로 설계하여 트롤리의 선회시 순환(Rotate)이 가능하도록 되어 있어 이론상 시간당 90개의 컨테이너를 양·적하할 수 있다. 그러나 현재 운영항만이 없고 운영시스템 및 장비 개발의 기술적 어려움이 있어 터미널의 도입에 대해서는 검증이 필요한 장비라 할 수 있다.

7) 듀얼트롤리형, 더블트롤리형, 슈퍼테이너형 등에 대한 분류와 개념은 “차세대 컨테이너 크레인 생산성 비교분석”(하태영, 2004) 참조.

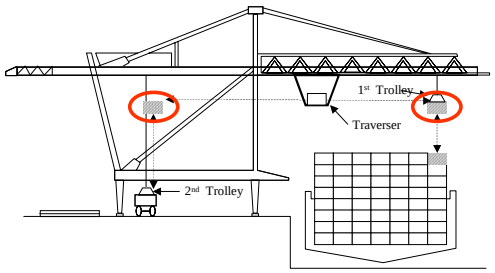
〈그림-3〉 **더블트롤리형 C/C의 동작원리 및 특징**



- 국내외 소수 업체에서 개념 수립중
- 이론적으로 시간당 90개의 컨테이너 양·적하 가능
- 싱글에 비해 2배 이상의 생산성이 기대됨
- 운영항만이 현재 없어 검증이 미흡한 상황임

<그림-4>의 슈퍼테이너형 C/C는 2개의 트롤리와 1개의 트래버서(Traverser)가 장착되어 있으며, 2개 트롤리는 해측과 육측에서 수직동작만으로 컨테이너를 선박 또는 차량에만 양·적하한다. 반면에 수평이동작업은 트래버서가 전담하여 작업한다. 결국, 전체 이동거리를 2개 트롤리와 1개 트래버서가 분담하기 때문에 작업생산성이 기존 장비에 비해 높다. 이론적으로 시간당 90개의 컨테이너 처리가 가능하여 2배 이상의 생산성 효과를 기대할 수 있는 장비유형이다.

〈그림-4〉 **슈퍼테이너형 C/C의 동작원리 및 특징**

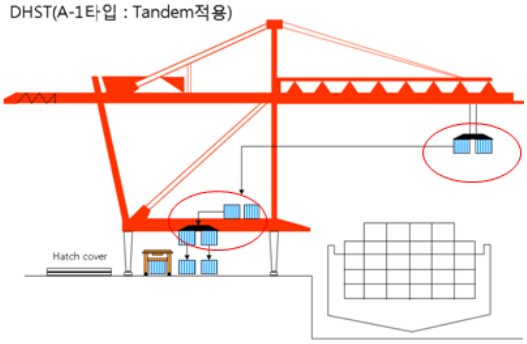


- 미국 Paceco사에서 개발 진행중
- 이론적으로 시간당 90개 이상 컨테이너 양·적하 가능
- 운영항만이 현재 없으며 검증이 미흡한 상태임

<그림-5>의 탠덤(Tandem)형 크레인은 해측에 2개의 스프레더를 장착하여 1회 작업당 40′ 2개, 20′ 4개, 또는 40′ 1개와 20′ 2개가 동시에 작업 가능하다. 이는 기존의 1회 작업 사이클당 40′ 1개, 또는 20′ 2개

작업보다 2배 많은 작업을 수행하기 때문에 작업생산성이 기존 장비에 비해 높다. 이론적으로 시간당 100개의 컨테이너 처리가 가능하여 2배 이상의 생산성 효과를 기대할 수 있는 장비유형이나 40′ 2개 또는 20′ 4개를 동시에 작업해야 하므로 전 기항지 및 후 기항지의 선박 양·적하 계획과 연동되어야 하며 터미널 내 이송장비의 할당계획이 정확해야만 그 효과를 볼 수 있다(원승환 외, 2007). 따라서 현재 중국, 두바이 등 일부 소수 터미널에서는 양하작업이나 공컨테이너 작업 등 특수한 경우에 많이 이용하고 있는 상황이다.

〈그림-5〉 **탠덤형 C/C의 동작원리 및 특징**



- 현재 ZPMC사에서 지속적으로 기술 업그레이드 중
- 이론적으로 시간당 100개 이상 컨테이너 양·적하 가능
- 중국, 두바이 등 일부 항만에서 운영중이나 선박적재계획과 이송장비 운영계획으로 인하여 탠덤 운영비율은 20% 내외에 머무르고 있음

C/C의 유형별로 동작원리에 따라 산출된 기계적 성능은 다음 <표-2>와 같다.[8] 기계적 생산성은 탠덤형 C/C가 주어진 조건에서 시간당 112개를 처리할 수 있어 가장 생산성이 높으며, 그 다음으로 더블트롤리 C/C, 슈퍼테이너, 듀얼트롤리형 순으로 나타나 이론적 생산성 측면에서 기존의 싱글트롤리형에 비해 1.39~2.43배의 생산성 향상 효과를 기대할 수 있다.

8) C/C의 유형별 기계적 성능은 C/C가 선박↔이송장비 간 컨테이너 이송시 C/C의 작업동작을 구분하여 1개 컨테이너 작업시 걸리는 이론적인 사이클 타임을 분석하여 산출.

〈표-2〉 **C/C 유형별 기계적 성능 비교**

구 분	이론적 사이클타임(sec.)	기계적 생산성(lifts/h)	상대비교
싱글트롤리형 C/C	79.00	46.00	-
듀얼트롤리형 C/C	56.50	63.72	1.39배
더블트롤리형 C/C	75.00	96.00	2.09배
슈퍼테이너형 C/C	41.00	87.80	1.91배
탠덤형 C/C	75.00	112.00	2.43배

듀얼트롤리형 C/C는 이미 독일의 CTA에서 적용하고 있으나 생산성 수준이 초대형 컨테이너선에 대응하기에는 낮으며, 더블트롤리형 C/C와 슈퍼테이너형 C/C는 개념이 발표된 이후 운영항만이 없고 기술적 검증이 완료되지 않았다. 이에 반해, 탠덤형 C/C는 탠덤 방식을 중국과 두바이에서 적용하고 있어 기술적 검증은 된 상태이며, C/C 자체를 탠덤 방식을 적용하기에 효과적인 방식으로 구조를 설계하여 개발하는 방안은 기술적 타당성 및 경제성이 검토된다면, 국내에서 연구 개발이 가능한 분야이다.

Ⅲ. 고효율 컨테이너 크레인의 개념 정의

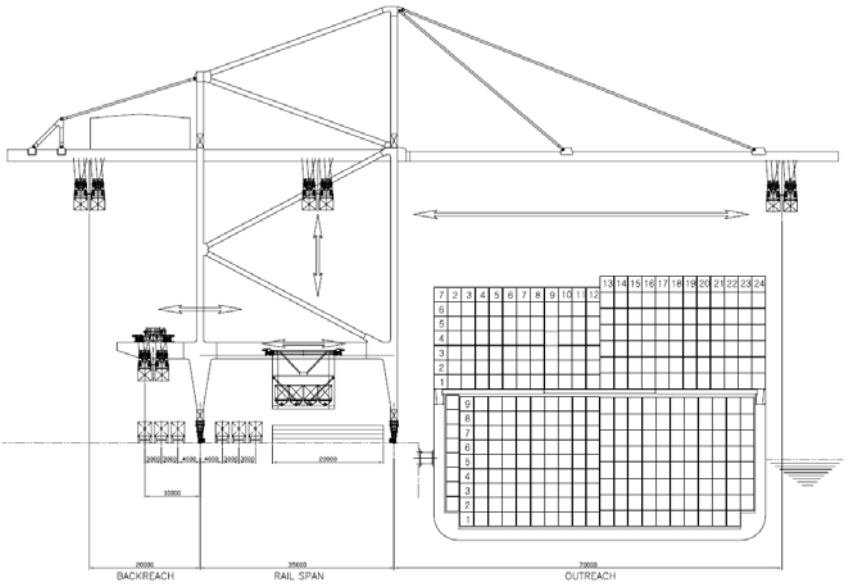
본 연구에서는 C/C의 생산성을 보다 향상시킬 수 있는 새로운 개념 모델로 고효율 컨테이너 크레인(High Efficiency Container Crane; HECC)을 제시한다. 기존의 C/C와 구별되는 HECC의 개념 모델과 하역작업의 특징을 정리하였다.

1. HECC의 개념 모델

HECC는 작업 사이클을 둘로 분리하는 듀얼 호이스트 듀얼 트롤리 메

커니즘을 채택하면서, 각 트롤리의 작업이 버퍼 플랫폼(Buffer Platform)에서 연계되도록 하였다. 버퍼 플랫폼은 포털 빔에 걸려 있어서 포털 빔 상에서 이동 가능하며, 피딩(feeding) 기능을 보유하고 있으므로 버퍼 플랫폼에 놓인 컨테이너는 자동으로 수평이송이 가능하다. 또한 포털 빔은 백리치 영역까지 연장되어 있으며, 메인 트롤리(Main Trolley)와 세컨드 트롤리(Second Trolley)는 모두 탠덤 리프트 스프레더를 사용한다. 이송장비와의 컨테이너 연계작업은 백리치 영역과 레일스팬의 육측 부분에서 이루어지며, 해치커버는 레일스팬의 해측 부분에 적재된다. <그림-6>은 24열 컨테이너선을 작업하는 HECC의 측면도를 나타낸다.

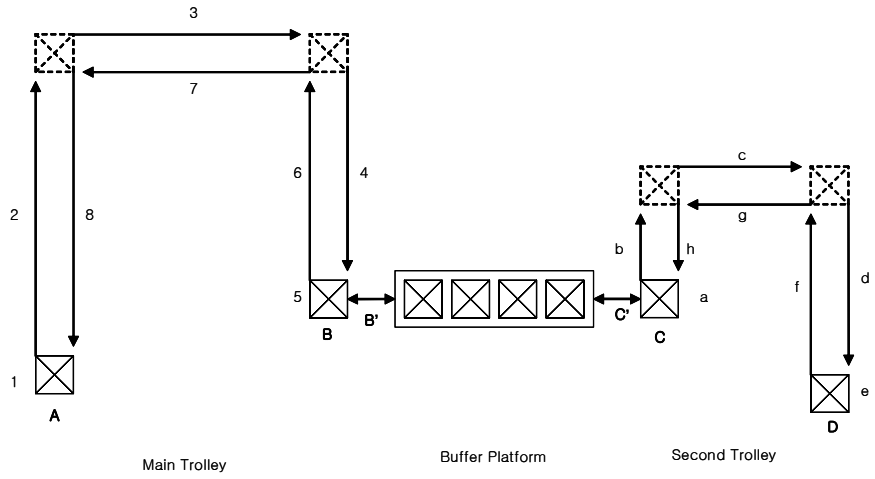
〈그림-6〉 **HECC의 측면도**



메인 트롤리와 세컨드 트롤리는 사이클 타임이 다르고 실제 운영에 들어가면 다양한 변수가 존재하므로 작업의 동기화를 이루기 위한 완충 역할이 필요하며, 버퍼 플랫폼이 이 역할을 담당하게 된다. <그림-7>은 HECC의 요소작업과 연계작업을 수직 및 수평운동으로 정의한 것이다.

버퍼 플랫폼은 포털 빔에 걸려서 이동 가능하므로 버퍼 플랫폼 아래 영역을 해치커버 적재공간으로 활용할 수 있다. 즉, 해치커버를 취급할 때는 버퍼 플랫폼이 육측으로 이동하여 작업이 가능하도록 피해주고, 해치커버 취급이 완료되면 버퍼 플랫폼은 원위치로 복귀하여 컨테이너 취급 작업을 재개하게 된다.

〈그림-7〉 **HECC의 요소작업 및 연계작업**

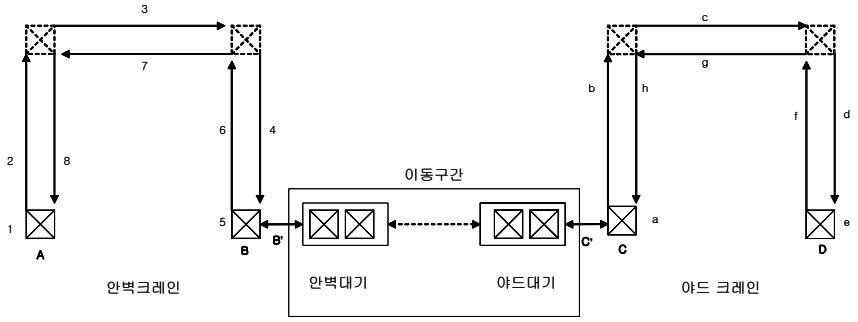


일반적으로 C/C의 운전실은 트롤리 위에 장착되어 트롤리와 함께 움직이므로 트롤리 속도 증가가 운전자에 의해 제약을 받게 된다. HECC에서는 운전실을 트롤리와 독립시켜 해측 레그(leg) 상에 설치하도록 하였다. 따라서 HECC는 작업자의 저항을 줄이면서 트롤리의 속도를 증가시킬 수 있다. 또한 세컨드 트롤리의 작업은 메인 트롤리의 작업에 비해 작업지점이 제한적이고 변수가 적으므로 자동화 가능성이 높을 것으로 예상된다.

2. HECC 하역작업의 특징

C/C의 성능은 자체의 기계적인 능력뿐 아니라 연계장비와의 인터페이스와도 관련된다. 안벽에서 C/C의 성능이 향상되더라도 안벽장비-이송장비-야드장비 사이의 순환적인 연계구조가 원활해지지 않으면 터미널의 생산성은 향상될 수 없기 때문이다. <그림-8>은 컨테이너터미널의 순환적인 하역구조를 나타낸다.

〈그림-8〉 **컨테이너터미널의 하역구조**



HECC는 기존 C/C에 비해 성능이 높아지므로 단위시간당 처리해야 하는 물량이 증가하고, 이에 따라서 이송장비와 야드장비의 단위시간당 작업부하가 증가하게 된다. 따라서 HECC가 터미널 생산성 향상에 기여하기 위해서는 이송장비와 야드장비의 지원이 필수적이다.

HECC는 탠덤 리프트 스프레더를 사용한다. 탠덤 리프트 스프레더는 40피트 컨테이너 2개를 너비 방향으로 집을 수 있도록 한 장치이다. 탠덤 리프트 스프레더는 구성되는 스프레더의 속성과 조합 그리고 운영방식에 따라서 다양한 종류의 취급이 가능하다(20′×1, 20′×2, 40′×1, 20′×1+40′×1, 20′×3, 20′×2+40′×1, 20′×4, 40′×2). 탠덤 리프트 스프레더를 사용하면 한번에 2개 이상의 컨테이너를 동시에 취급할 수 있으므로 싱글 리프트 스프레더에 비해 컨테이너를 취급하는 횟수가 감소하게 되어 크레인의 생산성을 향상시킬 수 있다. 그러나 C/C 작업은 선박의 적

재계획(stowage plan)을 기반으로 진행되므로 적재계획이 탠덤 리프트 작업과 조화를 이루지 못한다면 예상보다 낮은 효과를 낼 수도 있다. 적재계획은 컨테이너의 다양한 속성들, 즉 양·적하 구분, 적재 위치, 무게, 크기, 출발항, 도착항 등에 기초한다. 또한 HECC의 세컨드 트롤리가 탠덤 리프트 스프레더를 사용하므로 이송장비의 배차문제도 보다 복잡해진다. 복수의 컨테이너를 동시에 하역하기 때문에 이송장비가 동시에 도착하도록 배차해야 하는 경우가 발생하기 때문이다.

따라서 HECC의 도입을 통하여 생산성 향상을 얻기 위해서는 하드웨어적인 보완과 운영적인 특징을 동시에 고려하여야 한다.

Ⅳ. 생산성 분석

1. 생산성 분석 절차

국내에서 가장 일반적으로 적용되는 컨테이너터미널의 생산성 지표는 C/C의 생산성이며, 기준 시간에 따라 기계적 생산성, 순작업 생산성(순 크레인 생산성), 총작업 생산성(총 크레인 생산성)으로 표현하며, 작업인자에 대한 고려에 따라 달리 기준을 적용한다. 본 연구에서의 생산성 분석 절차는 기계적 생산성, 순작업 생산성, 총작업 생산성 등의 단계를 따르며, 단계별로 현실적인 제약조건이 추가되어 생산성이 낮아지게 된다(<표-3> 참조).

기계적 생산성으로부터 순작업 생산성을 분석할 때는 이송장비별 대기구조를 반영하고, 총작업 생산성을 분석할 때는 하역물량과 안벽생산성 범위에 대해 고려하였다.

C/C 생산성에 대한 개념은 시간당 컨테이너 양·적하개수라 할 수 있으며, <표-3>과 같은 3가지 유형의 생산성이 평가척도로 많이 사용되고 있다.

일반적으로 기계적 생산성은 장비의 제원을 토대로 1회 작업 사이클

을 계산함으로써 쉽게 산출이 가능하나, 순작업 생산성과 총작업 생산성은 C/C의 단독작업이 아니며, 하역시스템 및 하역작업 여건이 관련되어 있어 산술적인 계산이 용이하지 않다.

특히, 총작업 생산성은 터미널의 환경적인 요소를 추가로 고려해야 한다는 점에서 객관적인 산출에 어려움이 많다. 따라서 본 연구에서는 먼저 기계적 생산성을 추출하기 위해 작업 사이클에 기준한 산술계산을 하며, 이를 바탕으로 계수조정을 통해 순작업 생산성과 총작업 생산성을 산출한다.

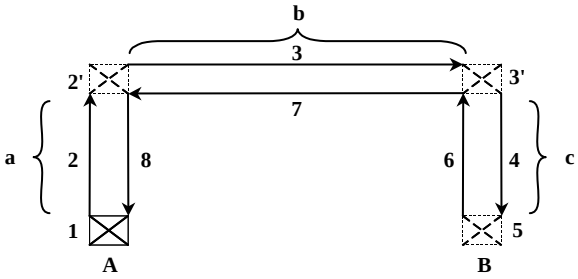
〈표-3〉 **C/C의 생산성 구분**

구분	산출근거
기계적 생산성	기계적인 성능만을 기준으로 산출된 시간당 하역량
순작업 생산성	양·적하 작업시 장비간 대기시간을 추가로 고려하여 산출된 시간당 하역량
총작업 생산성	크레인의 고장률, 작업자 교대, 작업크레인간 간섭계수 등 터미널 환경 등을 고려하여 산출된 시간당 하역량

2. 기계적 생산성 분석

C/C의 기계적 생산성은 기계적인 성능을 기준으로 하며, 기준은 스프레더 장치의 양하작업과 적하작업의 1회 사이클 타임을 산출하는 것이다. <그림-9>와 같이 컨테이너를 집는 장치인 스프레더가 A 위치의 컨테이너를 B 지점으로 옮긴 후, 다시 A 지점으로 돌아오는 데 걸리는 시간을 사이클 타임이라고 정의하고, 그 경로를 사이클 경로(cycle path)라고 정의한다.

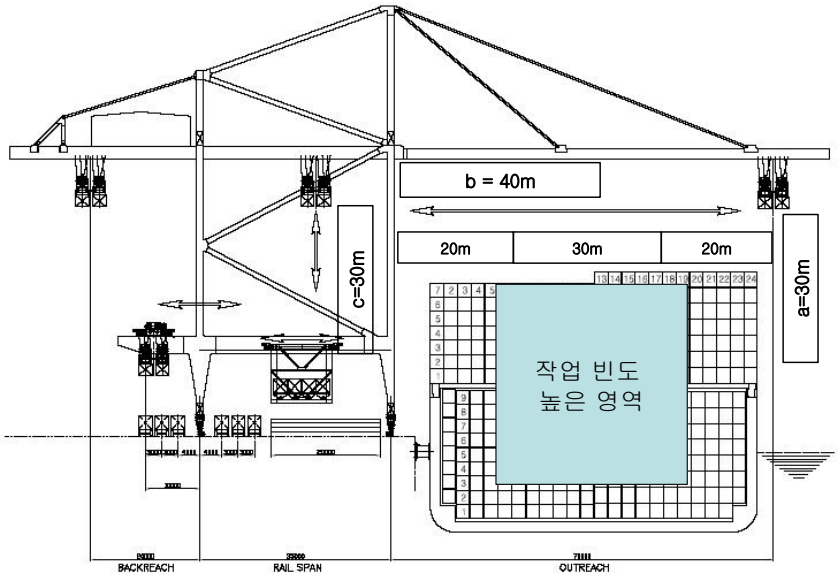
〈그림-9〉 **스프레더의 사이클 경로**



스프레더의 사이클 경로를 결정하기 위한 HECC의 사양을 정리하면 다음과 같다.

메인 트롤리의 경우 <그림-10>과 같이 작업빈도가 높은 영역을 고려하여 거리를 산정하며, 기계적인 가감속 등을 고려하여 생산성을 분석하기 위한 기준값 a, b, c의 값을 추정하여 사용한다.

〈그림-10〉 **HECC 개념 모델의 사이클 경로값 결정**



메인 트롤리와 세컨드 트롤리의 사양에 대한 속성 값들은 <표-4>와 같이 추정된 값을 사용한다.

〈표-4〉 **HECC 개념 모델의 사양**

트롤리 구분	메인 트롤리		세컨드 트롤리	
부하구분	부하시	무부하시	부하시	무부하시
호이스트속도(m/min)	90	180	35	70
트롤리속도(m/min)	300	300	150	150
안착/탈착시간(sec.)	1.5	1.5	1.5	1.5
Distance a(m)	30		12	
Distance b(m)	40		18	
Distance c(m)	30		4	

<표-4>의 HECC 사양을 바탕으로 하여 속도와 거리를 시간으로 변환하여 산출한 사이클 타임은 다음과 같다.

먼저, 메인 트롤리의 사이클 타임은 79초이며, 싱글 리프트(single lift) 기준으로 45.57Boxes/h가 산출된다. 세컨드 트롤리의 사이클 타임은 60.83초이며, 싱글 리프트 기준으로 59.18 Boxes/h가 산출된다.

기계적 생산성을 추정하기 위해서는 스프레더 사용시 컨테이너 다중 취급에 따라 탠덤과 트윈(Twin)에 따른 효과를 반영하여야 한다. 실제 선박의 적재물량에 대해서 탠덤 효과와 트윈 효과를 발휘할 수 있는 가능물량 비율을 추정하여 사용하며, 본 연구에서는 보수적인 값을 적용하여 생산성의 과대산출을 방지하도록 하였다. 따라서 탠덤 효과와 트윈 효과를 반영하여 기계적 생산성을 산출하기 위해 작성한 적용비율별 효과는 다음 <표-5>와 같다.

〈표-5〉 **탠덤과 트윈의 적용비율별 효과**

적용 비율[9] (%)	메인 트롤리				세컨드 트롤리			
	탠덤 효과	트윈 효과	생산성 향상	생산성 (Boxes/h)	탠덤 효과	트윈 효과	생산성 향상	생산성 (Boxes/h)
10	2.28	4.56	6.84	52.41	5.92	11.84	17.75	76.94
20	9.11	18.23	27.34	72.91	11.84	23.67	35.51	94.69
30	13.67	27.34	41.01	86.58	17.75	35.51	53.26	112.45
40	18.23	36.46	54.68	100.25	23.67	47.35	71.02	130.20
50	22.78	45.57	68.35	113.92	29.59	59.18	88.77	147.96
60	27.34	54.68	82.03	127.59	35.51	71.02	106.53	165.71
70	31.90	63.80	95.70	141.27	41.43	82.86	124.28	183.47

주 : 1. 적용비율은 컨테이너 적재량 전체에 대해 작업에 적용될 수 있는 물량의 비율을 의미함
2. 표에서 탠덤효과는 전체 탠덤효과 중에서 트윈효과를 제외한 효과를 표시함

HECC의 생산성 적용기준은 메인 트롤리의 경우 탠덤 적용비율 20%, 트윈 적용비율 20%를 가정하여 탠덤효과 9.11Boxes/h와 트윈효과 18.23 Boxes/h를 고려할 경우 생산성이 72.91 Boxes/h로 산출되며, 세컨드 트롤리의 경우 탠덤 적용비율 20%, 트윈 적용비율 20%를 가정하여 탠덤효과 11.84Boxes/h와 트윈효과 23.67Boxes/h를 고려할 경우 생산성이 94.69Boxes/h로 산출되었다.

메인 트롤리와 세컨드 트롤리의 기계적 생산성 차이로 인해 생산성이 낮은 메인 트롤리의 생산성으로 결정이 되므로 72.91Boxes/h로 산정하였다.

3. 순작업 생산성 분석

순작업 생산성은 기계적 생산성에서 하역시스템의 사용조건에 따라

9) 현재 중국 및 두바이의 항만에서 탠덤 운영비율이 20%대에 머무르고 있으므로 향후에는 점차 증가하여 탠덤효과와 트윈효과를 합치면 상당한 증가가 발생할 것으로 예측하여 적용비율로 적용하였음.

달라지며, 그 중 상이한 이송차량을 사용할 경우 이송장비별 대기구조에 따라 순작업 생산성이 달라진다. 따라서 이송차량의 유형별 대기구조를 반영하여 순작업 생산성을 분석하였다.

컨테이너터미널 내부의 컨테이너 이송차량은 가장 일반적으로 컨테이너터미널에서 많이 사용 중인 YT(Yard Tractor)와 자동화 컨테이너터미널에서 사용 중인 AGV(Automated Guided Vehicle)로 구분될 수 있는데, YT와 AGV는 컨테이너의 싣기 기능을 위주로 하는 수동형 이송차량으로 분류되고 있으나 싣기 기능 이외에 집기와 놓기 기능을 가진 ALV(Automated Lifting Vehicle)를 국내에서 개발 중이므로 이를 반영하였다.

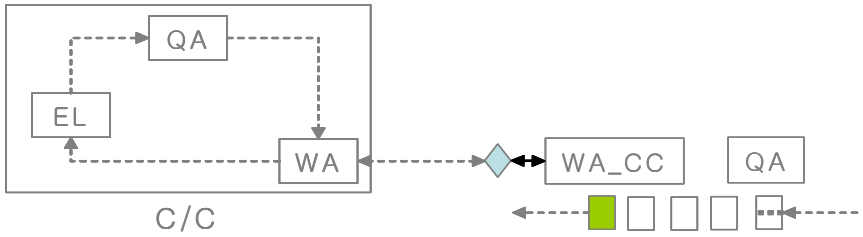
1) YT 및 AGV 적용시 대기구조

기존의 이송차량인 YT(Yard Tractor) 및 AGV(Automated Guided Vehicle)는 크레인에 의한 하역이 이루어지는 수동형 이송차량이다. 수동형 이송차량을 대상으로 할 경우 <그림-11>의 (a)의 대기구조는 에이프런에서의 대기현상을 서버인 C/C만 풀 수 있으므로 평균대기시간이 현재와 같이 동일할 것이다.

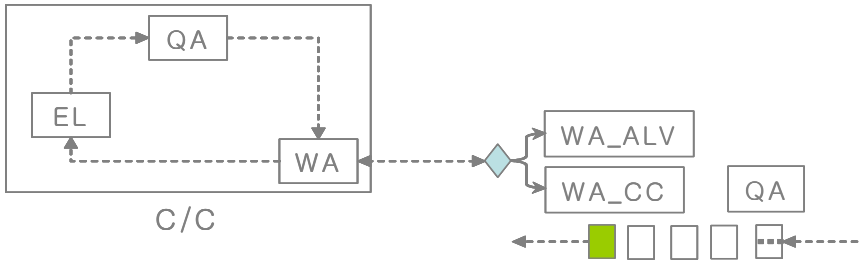
양하작업의 경우, 세컨드 트롤리에서 탠덤 작업을 하여 2열의 컨테이너가 양하될 경우 2대의 수동형 이송차량이 동시에 배차되어 도착할 수 있다면 수동형 이송차량에 상차하는 것이 가능하다. 그러나 이 경우 동시에 배차되어 도착시키기 위한 실시간 배차의 어려움이 있으며, 세컨드 트롤리의 자체적인 작업지연 발생시 수동형 이송차량의 순수 대기시간이 증가할 수 있다.

적하작업의 경우, 세컨드 트롤리에서 탠덤 작업을 하여 2열의 컨테이너를 적하할 경우에도 2대의 수동형 이송차량이 동시에 도착하여 적하작업을 하는 것은 가능하지만 이러한 동시배차를 위해 세컨드 트롤리의 대기시간이 발생할 수 있다.

〈그림-11〉 **이송차량별 대기구조**



(a) 이송차량이 YT 또는 AGV인 경우



(b) 이송차량이 ALV인 경우

2) ALV 적용시 대기구조

고생산성 이송차량인 ALV(Automated Lifting Vehicle)를 대상으로 할 경우 <그림-11>의 (b)의 대기구조는 에이프런에서의 대기현상을 서버인 C/C와 ALV가 풀 수 있으므로 평균대기시간이 줄어들게 되어 고생산성의 안벽 크레인에 유리한 대기구조를 가지게 된다.

양하작업의 경우, 세컨드 트롤리에서 탠덤 작업을 하여 2열의 컨테이너가 양하될 경우 2대의 ALV가 동시에 상차하기 어려우므로 한 개씩 순차적으로 도착순에 따라 ALV에 상차하는 방식을 따르게 된다. 그러나 이 경우 ALV의 자가하역기능을 이용하기 위해 바닥에 내려놓더라도 ALV 집기 기능의 작업시간이 84초(설계시 사양)이므로 세컨드 트롤리의 사이클보다 많은 시간이 소요되므로 생산성을 저해하는 요인으로 작용할 수 있다.

적하작업의 경우, 세컨드 트롤리에서 탠덤 작업을 하여 2열의 컨테이너를 적하할 경우에도 2대의 ALV가 동시에 도착하여 적하작업을 하기 어려우므로 세컨드 트롤리가 순차적인 작업을 하게 된다. 이 경우 ALV가 놓기 작업을 하여 놓은 후 세컨드 트롤리가 적하작업을 하는 것이 가능하므로 생산성에서의 저해요인이 양하작업시보다는 줄어들 수 있다.

따라서 ALV를 이송차량으로 할 경우 대기구조에서는 양하시에 시간손실이 발생할 가능성이 높아 생산성에서 손실이 일부 발생하게 되며, 적하시에는 양하시보다 생산성 손실이 적게 발생할 가능성이 높다.

3) HECC의 순작업 생산성

기계적 생산성에서 버퍼 플랫폼을 기점으로 두 개의 사이클로 구분되어 있으므로 이에 의한 연계시 생산성에서 저해되는 수준을 약 10% 정도로 순작업 생산성에서 약 10%의 낭비를 주는 것으로 전제하여 순작업 생산성 산출을 위한 기계적 생산성은 65.62Boxes/h로 산정한다.

버퍼 플랫폼이 완충공간으로 작용하여 생산성 향상을 위한 요인으로 작용하는 경우의 향상도는 시뮬레이션 분석을 통하여 분석되어야 하며, 구체적인 운영방안이 수립되지 않은 상태이므로 경험적인 판단에 따라 낭비 요인이 발생한다는 전제를 하였다.

순작업 생산성의 경우에는 장비 간의 대기시간을 고려해야 하며, 이는 하역작업시 이송, 야드장비와의 연계상황에서 발생하므로 수리적인 분석에 매우 어려움이 있다.

야드장비와의 연계성은 직접적인 분석이 어려우며, 고생산성의 C/C를 사용할 경우 야드장비의 추가 소요가 발생할 가능성이 높다는 경험적인 판단이 가능하며, 시간과 물량을 산술적으로 분석해보면, 야드장비의 수량은 고정될 가능성이 높은 것으로 판단하였다.

그러나 이송차량은 직접적으로 연계되므로 생산성에서 감소요인에 대한 검토가 필요하며, 주요 감소요인은 세컨드 트롤리의 탠덤 적용시 필요한 이송차량 2대의 동시배차인데 현실적으로 달성하기 어려우므로, 이송차량의 대기시간 및 스프레더의 대기시간이 복합적으로 발생하여

생산성의 저해요인으로 작용할 수 있다.

HECC와 이송차량 간의 연계작업시 탠덤 스프레더에 의한 효과는 이송차량의 배차시스템에서 동시배차를 지원한다는 가정을 하였다. 즉, 동일시점에 인접한 2개 레인으로 이송장비의 작업준비가 가능하도록 배차할 수 있다고 전제할 경우의 생산성을 산정한다.

컨테이너터미널이 수직배치형태의 레이아웃인 경우에 ALV를 이송차량으로 적용할 경우 C/C와 ALV 간의 대기구조가 평균대기시간을 단축시키는 효과(ALV의 자가하역기능을 사용할 경우 놓기 기능이 대기시간을 단축시키는 효과가 있음)가 있으므로 순작업 생산성은 기계적 생산성의 90% 수준인 59.1Boxes/h로 가정하였다.

컨테이너터미널이 수평배치형태의 레이아웃인 경우에 대해서 YT를 적용할 경우 ALV보다는 수동적이므로 이송차량의 대기시간이 상대적으로 많이 발생하게 되므로 순작업 생산성은 기계적 생산성의 80% 수준인 52.5Boxes/h로 가정하였다.

4. 총작업 생산성 분석

1) 하역물량 추정 분석

초대형 컨테이너선의 본선작업 컨테이너량을 추정하기 위해 하역물량(call size) 모델을 이용하며, 모델은 아래와 같이 가정한다(Bottema, 2003).

call size = vessel size / TEU/Box ratio * load factor
* port market share * 2(discahrge & load)

위 식에서 로드 팩터(load factor)는 컨테이너 적재율이고, 항만 시장배분(port market share)은 항만 기항수를 의미하므로 50%일 경우는 2

개 항만 기항(port calling), 33%일 경우는 3개 항만 기항(port calling)을 의미한다. 그리고 TEU/Box 비율은 1.6을 가정하였다.

하역물량 추정 모델을 이용하여 기존의 최대선형인 8,800TEU급 선박에 대한 하역물량을 구하면 다음과 같이 2,987개의 하역량이 구해진다.

하역물량 = 8,800TEU/1.6 * 80% * 35% * 2 = 2,904(moves)

위에서 적용한 작업크기 모델 산출식을 12,000TEU급과 15,000TEU급에 적용한 결과는 다음 <표-6>과 같다.

항만 시장 배분은 메가 허브(mega hub), 지역항(regional port), 직기항(direct port), 피더항(feeder port)에 따라서 달리 적용한다. 초대형선은 메가 'hub-spoke' 운영에서는 허브항과 허브항 간을 운항하므로 항만 시장 배분은 33% 또는 50%가 된다.

〈표-6〉 **선형별 하역물량 추정값**

모수	기준안	2 항만 기항		3 항만 기항	
선박크기(TEU)	8,800	12,000	15,000	12,000	15,000
TEU/Box 비율	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
컨테이너 적재율(%)	80	100	100	100	100
항만 시장 배분(%)	33	50	50	33	33
하역물량(Boxes)	2,904	7,500	9,375	4,950	6,188

주 : 적재율(Load factor)은 최대 적재량을 기준으로 범위를 산정하기 위해 100%를 기준값으로 적용함

2) 안벽생산성 범위

초대형 컨테이너선에 대한 안벽생산성의 범위를 산정하기 위해 12,000TEU급과 15,000TEU급에 대한 기존 C/C의 물리적인 할당가능성에 따른 총작업 생산성을 검토하였다.

12,000TEU급 선박을 대상으로 할 경우 선장을 350m로 가정한다면, 최대 할당가능 C/C 대수는 7대이다.

이 경우 선박의 재항시간에 대한 요구조건이 24시간 이내이고 2 항만 기항을 할 경우(하역물량은 7,500개) C/C의 총작업 생산성은 시간당 45개이며, C/C의 컨테이너 1개당 평균처리시간은 81초이다.

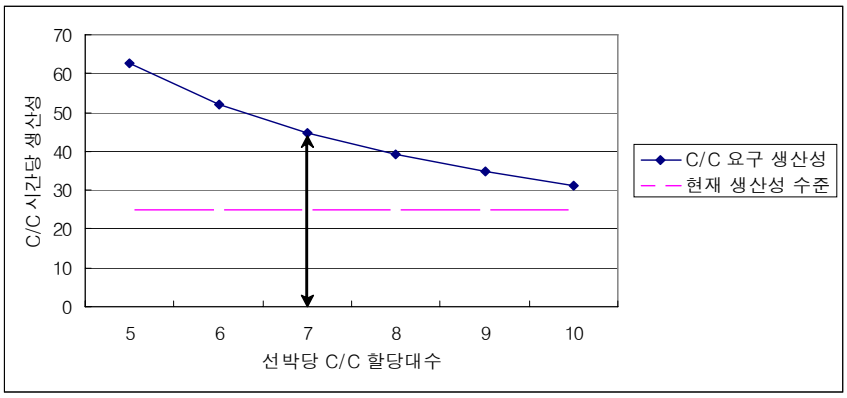
C/C의 컨테이너 1개당 처리시간은 요구되는 이송차량의 평균 도착시간간격에 해당되며, 이송차량의 사이클 타임이 평균 도착시간간격 이내로 들어오면 이론적으로 안벽에서 대기는 발생하지 않으므로 이 시간을 만족시킨다면 총작업 생산성으로 산정할 수 있다.

〈표-7〉 **12,000TEU급 선박의 24시간 재항시 생산성 범위**

선박크기 (TEU)	하역물량 (Boxes)	C/C 대수	C/C당 물량 (Boxes)	C/C 생산성 (Boxes/h)	개당 처리시간 (sec.)
12,000	7,500	5	1,500	63	58
		6	1,250	52	69
		7	1,071	45	81
		8	938	39	92
		9	833	35	104
		10	750	31	115

따라서 현재의 생산성 수준을 기준으로 할 때, 최대 7대의 C/C를 할당하더라도 C/C의 요구 생산성과는 많은 차이가 발생하여 그 차이만큼의 생산성 향상이 요구된다고 판단할 수 있다.

〈그림-12〉 **12,000TEU급에 대한 기존 C/C의 요구생산성**



15,000TEU급 선박을 대상으로 할 경우 선장을 400m로 가정한다면, 최대 할당가능 C/C 대수는 8대이다.

이 경우 선박의 재항시간에 대한 요구조건이 24시간 이내이고 2 항만 기항을 할 경우(하역물량은 9,375개) C/C 총작업 생산성은 시간당 49개이며, C/C의 컨테이너 1개당 평균처리시간은 74초이다.

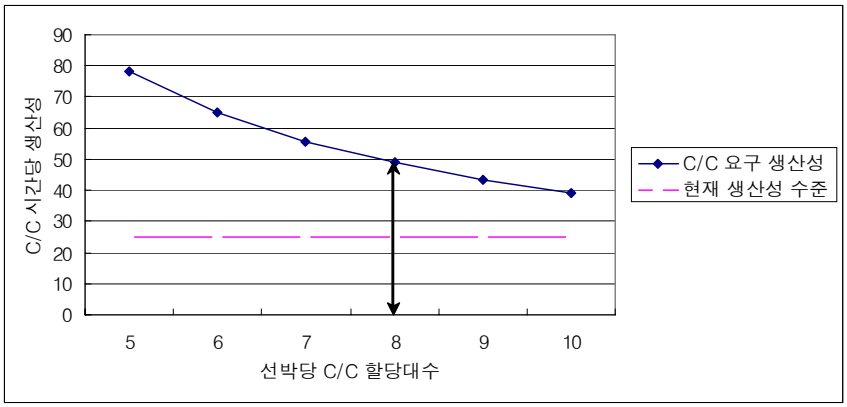
C/C의 컨테이너 1개당 처리시간은 이송차량의 최소 도착시간간격을 의미하며, 이송차량의 사이클 타임이 최소 도착시간간격 이내로 들어오면 안벽에서 대기는 발생하지 않으므로 이 시간을 만족시킨다면 총작업 생산성으로 산정할 수 있다.

〈표-8〉 **15,000TEU급 선박의 24시간 재항시 생산성 범위**

선박크기 (TEU)	하역물량 (Boxes)	C/C 대수	C/C당 물량 (Boxes)	C/C 생산성 (Boxes/h)	개당 처리시간(sec.)
15,000	9,375	5	1,875	78	46
		6	1,563	65	55
		7	1,339	56	65
		8	1,172	49	74
		9	1,042	43	83
		10	938	39	92

따라서 현재의 생산성 수준을 기준으로 할 때, 최대 8대의 C/C를 할당하더라도 C/C의 요구 생산성과는 2배 정도의 차이가 발생하여 2배 정도의 생산성 향상이 요구되는 것으로 판단할 수 있다.

〈그림-13〉 **15,000TEU급에 대한 기존 C/C의 요구생산성**



3) HECC의 총작업 생산성

기존의 컨테이너 크레인에 대한 실적자료에서 총작업 생산성은 순작업 생산성에서 크레인의 고장, 작업자 교대 등 터미널 환경 등을 고려하므로 시간당 약 5Boxes의 차이를 보이고 있으나 HECC는 고속으로 많은 하역작업을 하므로 하역물량의 증가에 따라 그 차이가 시간당 약 7Boxes 정도 발생할 것으로 전제하였다.

여기에서 컨테이너터미널의 레이아웃을 수직배치형태와 수평배치형태로 구분하면, 수직배치형태에서 ALV를 적용할 경우 총작업 생산성은 54.1Boxes/h로 추정되며, 수평배치형태에서 YT를 적용할 경우 총작업 생산성은 47.5Boxes/h로 추정된다.

Ⅴ. 서비스 향상 및 경제적 타당성 분석

1. 서비스 향상 효과

컨테이너터미널이 제공하는 서비스 수준을 선사의 선박 재항시간 요구사항이 24시간이고 이를 충족시키기 위한 하역장비를 투여하는 것을 전제로 하였다. 그리고 초대형선에 대한 물동량은 앞에서 안벽생산성 범위에서 제시한 2개 항만 기항보다 현실적인 상황인 3개 항만 기항을 가정하여 서비스 수준 효과를 다음 <표-9>와 같이 산정하였다.

12,000TEU급 선박에 대한 하역물량을 24시간 이내에 서비스하기 위해서는 HECC 4대가 할당되어야 하며, 이 경우 이송차량으로 YT를 사용할 경우 재항시간이 22시간, ALV를 사용할 경우 재항시간은 19시간이 산출된다.

그러나 동일한 작업조건에서 3대의 HECC를 할당할 경우 총작업 생산성 55Boxes/h를 만족시키지 못하며, 이 경우 이송차량의 선회시간을 5.8분으로 하여 4대를 할당하면 서비스 수준을 만족시킬 수 있다.

15,000TEU급 선박에 대한 하역물량을 처리하기 위한 HECC 생산성의 경우에는 4대가 할당될 경우 이송차량이 ALV라면 재항시간 24시간을 만족시킬 수 있다. 즉, HECC를 적용할 경우 ALV 4대를 할당하여 ALV의 선회시간이 4.7분을 만족시킨다면 서비스 수준을 만족시킬 수 있다.

〈표-9〉 **하역물량에 대한 C/C 요구생산성**

선박크기 (TEU)	하역물량 (Boxes)	하역장비 구성		C/C 요구생산성 (Boxes/h)	이송차량 선회시간(min)
		C/C 대수	이송차량 대수		
12,000	3,960	2	8	83	2.9
		3	12	55	4.4
		4	16	41	5.8
		5	20	33	7.3
		6	24	28	8.7
		7	28	24	10.2
15,000	4,950	2	8	103	2.3
		3	12	69	3.5
		4	16	52	4.7
		5	20	41	5.8
		6	24	34	7.0
		7	28	29	8.1

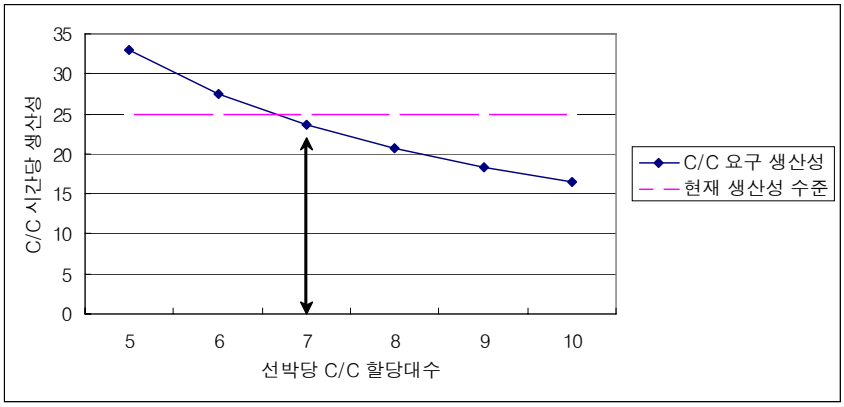
2. 장비투입 절감효과

HECC의 투입으로 인한 장비절감효과는 선박당 할당되는 기존 C/C의 투입대수 대비 HECC의 투입시 장비투입 대수를 기준으로 절감효과를 분석하였다.

먼저, 대상 컨테이너선에 대해서 동일한 하역물량을 처리할 경우, 이송차량 및 야드장비가 같은 조건으로 주어질 때를 전제로 하였다.

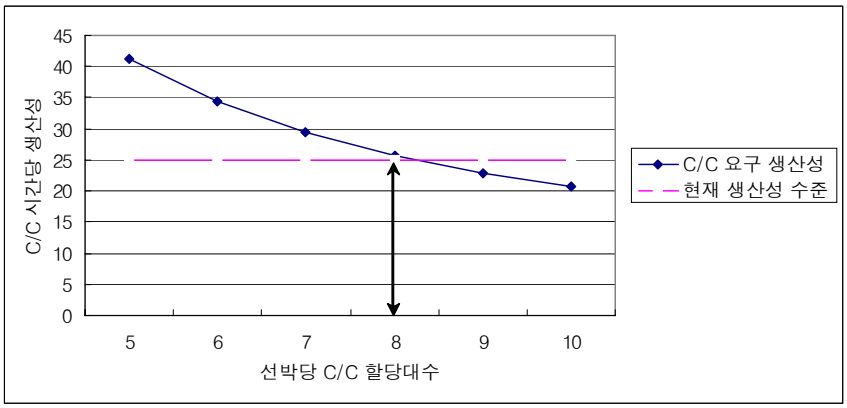
12,000TEU급 선박에 대해서 현재 총작업 생산성 수준인 25Boxes/h로 24시간 재항시간을 만족시키려면, 7대의 C/C가 필요하므로 3대의 절감효과가 있다. 그리고 이송차량은 YT와 ALV를 적용하더라도 C/C 3대의 절감효과가 발생할 것으로 추정된다.

〈그림-14〉 **12,000TEU급 선박에 대한 기존 C/C 필요대수**



15,000TEU급 선박에 대해서 현재 생산성 수준인 25Boxes/h로 24시간 재항시간을 만족시키려면, 8대 이상의 C/C가 필요하므로 C/C 4대 이상의 절감효과가 있다. 이 경우 이송차량이 ALV일 경우 C/C 4대의 절감효과가 발생하며, YT를 적용할 경우에는 C/C 4대 이상의 절감효과가 발생한다.

〈그림-15〉 **15,000TEU급 선박에 대한 기존 C/C 필요대수**



따라서 <표-10>과 같이 초대형 컨테이너선별로 기존 C/C 대비 절감

효과가 발생하며, 이송차량의 사용조건에 따라 약간의 차이가 있다. 이송차량의 사용조건은 기존의 YT보다 ALV를 적용할 경우 대기시간의 절감효과로 생산성이 약간 향상되는 것을 전제로 하였다.

〈표-10〉 **기존 C/C 대비 HECC의 장비대수 절감효과**

선박크기(TEU)	기존 C/C	HECC	이송차량 조건
12,000	7대	4대	YT, ALV 사용
15,000	8대	4대	ALV 사용

3. 시설투자비 절감효과

HECC의 시설투자비를 한 선석을 기존 C/C 설치시 4대에 대한 시설투자비와 비교하여 절감효과를 산출하면 다음과 같다.

하역시스템을 구성하는 하역장비 조합[10]은 실제 작업에 투입되는 일반적인 상황을 고려하여 C/C : YT(C/C당) : TC[11](C/C당) = 1 : 4 : 2.5로 가정하였다.

HECC를 설치할 경우 YT와 TC에 대한 절감효과는 없으므로 HECC : YT(HECC당) : TC(HECC당) = 1 : 8 : 5를 가정할 수 있다.

C/C 제조업체의 판매가격은 2005년까지 22열 이상은 약 75억원선이었으나 이후 중국의 항만장비제조업체인 ZPMC사의 가격인하 요인으로 가격이 하락한 상태이므로 최소 60억원에서 70억원 이하로 산정을 할 수 있다. HECC가 기존 C/C에 비해서 약 50%의 제작비 증가가 발생하더라도 100억원 이상의 가격은 시장성이 떨어진다는 의견이 많으므로 대당 목표가격을 90억원으로 고려하였다.

따라서 선석당 4대의 기존 C/C를 2대의 HECC로 대체하더라도 생산성 수준을 유지할 수 있으므로 시설투자비 절감효과는 약 60억원이 될

10) 하역장비 조합은 C/C를 기준으로 작업조(Gang)를 편성할 경우 C/C : YT : TC로 하여 각각의 비율을 구성함.

11) TC는 Transfer Crane을 일반적으로 사용하는 야드크레인으로 하여 통칭하였음.

것으로 추정된다.

결과적으로 4선석을 가진 컨테이너터미널을 대상으로 할 경우 약 240억원의 시설투자비 절감효과를 기대할 수 있다.

〈표-11〉 **장비투자비 절감효과(한 선석 기준)**

비교 기준	기존 C/C	HECC	절감효과	비용절감
안벽크레인 대수	4	2	2대	60억원
하역장비 조합	1 : 4 : 2.5	1:8:5	-	-
합계				60억원/선석

주: HECC의 장비제작비는 목표가격대를 맞출 수 있을 경우를 전제로 함

4. 운영비 절감효과

C/C의 투입대수 감소에 따른 운영비에 대한 절감효과는 한 선석 기준으로 기존 C/C 4대를 적용하는 경우에 이를 HECC 2대로 대체한다는 전제하에 분석하였다.

1) 인력비 절감효과

기존 C/C 1대를 운영하기 위한 연간 인건비는 <표-12>와 같이 4억 9,460만원이 소요되는 것으로 가정하였다.

1선석에서 기존의 C/C 4대를 운영할 경우 연간 19억 7,084만원이 소요되는 반면에 HECC 2대를 운영할 경우 연간 9억 8,920만원이 소요되어 기존 C/C 대비 연간 9억 8,920만원의 절감효과가 발생한다.

〈표-12〉 **C/C 운영 인건비**

항목		비용(만원)	비고
C/C 기사	1인당 연봉	3,900	간접비 30% 포함
	소계	15,600	2조 2교대 : 4명
신호수	1인당 연봉	3,900	간접비 30% 포함
	소계	27,360	반장 1명, 3명 3개조 : 7명
언더맨	1인당 연봉	3,250	간접비 30% 포함
	소계	6,500	2명
합계		49,460	기타 인원의 비용은 제외

HECC의 적용시 육측작업(세컨드 트롤리 하역작업)이 자동화되어 C/C당 최소 1명의 인력절감효과가 추가로 발생할 수 있으며, 1선석에 HECC 2대 기준으로 보면 2명이 절감될 수 있다.

그리고 인력운영방식이 3조 2교대인 경우 6명의 인력이 절감되어 인력비가 연간 약 2억 4천만원(1명당 약 4천만원 전제)이 절감될 수 있어 추가적인 인력절감으로 선석당 연간 약 2억 4천만원의 인력비용이 절감된다.

C/C 투입대수 감소로 인한 인력비 절감효과 9억 8,920만원과 자동화로 인한 추가 인력절감 2억 4천만원을 합산하면, 인력비는 연간 총 12억 2,920만원의 절감효과를 기대할 수 있다.

2) 감가상각비 및 유지보수비 절감효과

감가상각비는 기존 C/C 4대를 사용할 경우 2.45억원/년이며, HECC의 경우 감가상각비가 약 1.8억원/년이 될 것으로 추정되어 감가상각비는 6,500만원의 절감효과가 있다.

C/C의 보유대수가 줄어들게 되어 유지보수 대상이 감소하게 되므로 예비부품의 보유량이 감소하고, 유지보수비용도 절감된다.

일반적으로 유지보수비는 감가상각비의 10%를 계상[12]하므로 기존

C/C 4대의 경우 약 0.245억원/년이며, HECC의 경우 유지보수비가 약 0.18억원/년이 될 것으로 추정되어 유지보수비는 연간 650만원의 절감효과가 있을 것으로 기대된다.

3) 동력비 절감효과

HECC를 적용할 경우 선박의 재항시간 동안 처리해야 하는 하역물량이 동일하므로 YT와 TC의 성능이 동일하다면, 투입되는 YT와 TC의 대수는 동일하다.

그러므로 YT와 TC의 대수 감소가 발생하지 않으므로 유류비 절감효과는 발생하지 않는다. 그리고 HECC는 전기를 동력원으로 사용하므로 유류비 절감효과는 발생하지 않으며, 투입대수가 감소하므로 전기료에서 절감효과가 발생한다.

동력비는 감가상각비의 10.1%를 계상[13]하므로 기존 C/C 4대의 경우 약 0.248억원/년이며, HECC의 경우 약 0.186억원/년이므로 동력비는 연간 620만원의 절감효과가 있을 것으로 기대된다.

4) 연간 운영비 절감효과

연간 운영비에서 인력비, 감가상각비, 유지보수비, 동력비 등에 대해서 절감효과를 분석하면, <표-13>과 같이 선석당 연간 총 13억 690만원의 절감효과가 있다.

---

12) 한국해양수산개발원에서 수행한 항만하역장비 현대화 자금조달 방안 연구(2005. 3)에서 사용한 계수를 적용함.

〈표-13〉 **운영비 절감효과(한 선석 기준)**

비교기준		비용절감
연간운영비	인력비	12억 2,920만원
	감가상각비	6,500만원
	유지보수비	650만원
	동력비	620만원
	소 계	13억 690만원

비용별로 살펴보면, 인력비는 연간 총 12억 2,920만원의 절감효과가 있고, 감가상각비는 6,500만원, 유지보수비는 650만원, 동력비는 620만원의 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

Ⅵ. 결 론

컨테이너선의 지속적인 대형화에 따라 컨테이너터미널의 고객인 선사와 화주의 재항시간 요구조건에 맞는 항만 하역생산성을 확보하는 것이 중요한 이슈로 대두되고 있으며, 선사에서는 선박의 회전율을 높이기 위해서 본선작업 시간의 단축이 가능한 컨테이너터미널을 선호하고 있다. 따라서 국내외 컨테이너터미널들은 모든 역량을 집중하여 하역생산성 향상에 주력하고 있다.

하역생산성 향상을 위해서 본 연구에서는 안벽크레인의 하역 작업시 안벽크레인의 대기를 최소화하여 하역생산성을 향상시킬 수 있는 새로운 고효율 컨테이너 크레인의 개념을 정의하고, 제시된 개념의 고효율 컨테이너 크레인의 생산성, 서비스 향상 및 경제적 타당성을 분석하였다. 분석결과, 12,000TEU급 및 15,000TEU급의 초대형선에 대한 생산성 수준을 만족시키면서, 서비스 향상 효과를 기대할 수 있고, 경제적으로 개발 타당성이 있는 것으로 나타났다.

추후 연구로는 본 연구에서 제시하고 있는 고효율 컨테이너 크레인의 개념을 바탕으로 한 하드웨어적인 기술개발이 필요하며, 효과적으로 운영이 가능하도록 개선해 나가는 운영논리 및 운영시스템의 개발이 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김우선・최용석, “다기능 컨테이너 이송차량 운영논리 개발”, 「해양정책연구」, 제21권 제2호, 2006.
2. 김창곤, “해운물류비 절감을 위한 컨테이너선 대형화의 전망과 한계”, 「해운연구」, 2002.
3. 원승환・최상희, “멀티 리프트가 가능한 컨테이너 크레인의 생산성 분석”, 한국항해항만학회 2007 춘계학술대회논문집, 2007. 4.
4. 정현수・이숙재・홍금식, “차세대 컨테이너 크레인에 대한 고찰”, 「한국항해항만학회지」, 제29권 제3호, 2005.
5. 최용석・김우선・하태영, “컨테이너터미널 리모델링 기술검토 : 부산항 사례”, 「한국항해항만학회지」, 제30권 제6호, 2006.
6. 최용석・하태영, “운영시스템의 도입에 따른 컨테이너터미널의 생산성 향상 평가”, 「한국항해항만학회지」, 제29권 제1호, 2005.
7. 하태영, “차세대 컨테이너 크레인 생산성 비교분석”, 「해양수산동향」, 243호, 2004.
8. 한국컨테이너부두공단, 「2005 컨테이너화물 유통추이 및 분석」, 2006. 8.
9. 한국해양수산개발원, 「항만하역장비 현대화 자금조달 방안 연구」, 2005. 3.
10. Alfred J. Baird, “Container Vessels of the Next Generation: Are Seaports Ready to face the Challenge?”, 21st IAPH Conference (Theme : Global Trade through Port Cooperation), Kuala Lumpur, Malaysia, May 15~21, 1999.
11. *Cargo Systems*, 2007.
12. Drewry Shipping Consultant Ltd, *The Drewry Annual Container Market Review and Forecast 2006/07*, 2007.
13. Ulco Bottema, “Berth Capacity & Container Vessel Size”, Managing Marine Terminal Capacity & Productivity Seminar, Informa Maritime & Transport, 2003.