

차세대 컨테이너크레인에 대한 고찰

정현수* · 이숙재* · 홍금식**

*부산대학교 대학원 지능기계공학과, **부산대학교 기계공학부 교수

A Study on Future Container Cranes

Hyun-Soo Jung* · Suk-Jae Lee* · Keum-Shik Hong**

*Graduate School, Pusan National University, Busan, Korea

**School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

요 약 : 본 기술논문에서 18,000 TEU급 초대형 선박에 대응하는 차세대 컨테이너크레인의 규격 및 성능을 검토하였다. 컨테이너선의 발달 과정을 연대순으로 살핀 후에, 기존에 설치되어 운영중인 컨테이너크레인의 특성을 파악하였고, 세계각처에서 수행되고 있는 컨테이너크레인 에 관한 연구동향을 분석하였다. 분석한 결과를 토대로 2014년 이후에 등장할 차세대 컨테이너크레인의 규모 및 성능을 예측하였다. 검토된 사항은 컨테이너크레인의 구조, 트롤리와 호이스트의 메커니즘, 제어방식, 아웃리치, 백리치, 레일게이지, 하역능력, 안정성 및 내구성 등이다.

핵심용어 : 컨테이너크레인, 성능규격, 설계기준, 부두운영, 항만자동화, 초대형 컨테이너선박

Abstract : In this article, the specifications of a future container crane for a 18,000 TEU megaship are investigated. After studying the transitions of containerships through the past half century, the characteristics of the past and current container cranes are outlined, together with various research trends throughout the world. Upon these results, the size and performance of the container crane that will be used beyond the year 2014 are forecast. Specifically, the structure, trolley and hoist mechanism, control method, outreach, backreach, rail gauge, loading capacity, stability, durability, and others are summarized.

Key words : Container crane, Performance specification, Design criteria, cargo handling, Port automation, Mega container ship

1. 서 론

세계무역경제가 활성화됨에 따라 컨테이너선을 이용한 물동량은 매년 5~8% 수준으로 신장세가 지속되고 있으며 우리나라의 경우에도 1994년부터 2003년까지 10년간 3,836,000 TEU(Twenty-foot Equivalent Units)에서 13,186,000 TEU로 항만 컨테이너 취급량이 3.5 배 가량 늘었고 점진적 증가 추세에 있다(해양수산부, 2004). 이러한 경향은 최근 중국 경제의 비약적인 성장에 따라 더욱 가속화되고 있다. 이에 따라 각 선사들은 선박의 대형화에서 오는 규모의 경제(economies of scale) 효과를 추구하고 있는데 선박의 대형화는 TEU당 선박 건조비용 및 운항비용 등의 절감효과를 가진다. 그러나 대형화된 선박은 소수 거점항만에 한정하여 기항하므로 피더수송비, 내륙수송비 등이 추가되어 컨테이너당 비용 절감액이 예상보다 크지 않을 것이라는 우려가 있다(박 등, 2002). 따라서 선박의 초대형화로 발생하는 부대비용에 대한 채산성을 확보하기 위해서는 터미널운영을 신속하고, 효율적으로 수행하여 운영비용을 절감해야 한다. 통합화, 자동화된 컨테이너터미널 시스템의 구축이 이에 대한 대안으로 떠오르고 있는데 그중 안벽크레인 컨테이너터미널의 생산성에 가장 큰 영향을 주

는 장비로 현재 국내와 세계 각처에서 활발하게 논의되고 있다(양 등, 2002).

컨테이너를 이용한 물류수송은 미국 Sea Land사가 1957년 휴스턴과 뉴욕항 사이의 연안수송에 소형 탱크선을 개조한 최초의 컨테이너선 Gate Way City호를 투입함으로써 시작되었다. 이후 Sea Land사는 1966년 4월 대서양 항로(뉴욕~유럽)에 완전한 컨테이너 전용선인 Fairland호를 투입함으로써 국제해상의 컨테이너 수송시대를 열었다.

이후 컨테이너선의 크기는 1960년대 후반에 700~1,500 TEU, 1970년대에 1,800~2,500 TEU, 1980년대에 2,500~4,400 TEU급으로 규모가 점차 증가되어 운항되었다(남 등, 2002). 한편 1988년까지 건조된 모든 컨테이너선박들은 파나마운하를 통과하기 위해 그 크기가 제한되었는데, 이들을 파나마스(Pana-max)라고 부른다. 그러나 컨테이너 물동량이 증가함에 따라서 1980년대 후반에 미국의 APL(American President Lines)은 갑판에 16열을 가진 C10 컨테이너선을 취항시켰는데, 이것은 파나마스에 비해 전장이나 선폭이 현저히 컸으므로 파나마운하를 통과할 수 없었다. 이것을 포스트-파나마스(Post-Panamax)라고 구분한다. 이후에 Regina Maersk는 갑판에 17열을 가진 컨테이너선을 취항시켰으며, Liftech Inc

* 대표저자 : 정현수(정회원), sjlee@pusan.ac.kr 051)510-1481

** 정회원, kshong@pusan.ac.kr 051)510-2454

는 수에즈운하를 기준으로 하는 갑판에 23열을 가진 컨테이너 선을 설계하였다(Jordan, 2001). 이러한 컨테이너선박을 수에즈막스(Suezmax)라고 구분한다. 1999년에는 네덜란드 Delft University에서 말라카막스(Malacca-max)라고 구분된 24열의 컨테이너선박을 "Ultimate Container Carrier"로 소개하였다(Jordan, 2001). 이처럼 정기 컨테이너 선사들은 대형 컨테이너선으로부터 규모의 경제효과를 추구하여 왔기 때문에 선박의 대형화는 기술과 경제성이 보장되는 한 지속될 전망이다.

또한 1999년 6월초 이탈리아 제노바에서 열린 TOC (Terminal Operations Conference)회의에서 향후 10년 이내에 등장하게 될 15,000 TEU에 달하는 초대형 컨테이너선과 이를 위한 메가 항만에 대한 개념이 소개되었다. 이는 초대형 선박이 접안되는 항만에서는 많은 컨테이너를 단기간에 처리할 수 있는 능력을 가진 새로운 하역시스템의 필요성이 대두됨을 시사한다(Bhimani et al., 1996). 새로운 하역시스템의 연구는 대형 선박의 제항시간을 기존의 포스트-파나막스 선박과 동일하게 하기 위해서 충분한 하역능력을 갖춘 새로운 하역시스템의 개발에 초점을 맞추고 있다. 선행된 연구의 주요 관심사는 야드에서 컨테이너의 원활한 소통을 위한 자동화된 터미널의 개발과 크레인의 성능 향상으로 나뉜다. 자동화터미널에서 그리드 단위의 제어에 기반한 AGV(Automatic Guided Vehicle) 시스템의 운영방안이 연구되었고(이 등, 2003), 컨테이너크레인에 있어서 1993년에 듀얼-호이스트(dual-hoist) 엘리베이팅-거더 크레인의 개념이 소개되었으며, 2001년에는 갑판상에 18열을 적재하는 8,000 TEU급 선박과 22열을 적재하는 12,000 TEU급 선박에 대응하는 컨테이너크레인에 대한 연구가 진행되었다(Jordan, 2001). 그러나 향후 등장하게 될 28열 규모의 18,000 TEU급 선박을 수용할 수 있는 컨테이너크레인은 아직까지 활발하게 고려되지 않고 있다.

18,000 TEU급 선박에 대응하는 컨테이너의 성능을 검토하기 위해서는 복수의 항만에 걸쳐 선적 및 하역하는 경우와 초대형 중심항에 입항하는 허브앤스포크(hub-and-spoke)의 해상수송 시스템을 갖는 경우로 나누어 고려해야 한다(양 등, 2002). 전자의 경우, 선적지와 양하지를 각각 2개 항으로 고려하면 만재 시 양적하물동량이 36,000 TEU가 되고, TEU/lift 환산계수 1.6을 적용할 때, 입항 항만당 처리해야 할 컨테이너의 수는 대략 5,630 LPC(Lifts Per Call)가 된다. 이에 비해 후자의 경우는 선적지와 양하지를 합쳐 2~3개 항을 가정하여 입항 항만당 7,500~11,250 LPC가 된다. 최근, 선주는 선박의 입출항 시간 및 여유시간을 제외한 20시간 내에 모든 선·하역작업이 완료되기를 원하므로, 선석당 6대의 크레인이 운행된다고 가정할 때, 50~100 moves/hr의 하역생산성이 요구되며 평균처리속도는 75 moves/hr에 해당된다.

컨테이너크레인은 컨테이너터미널의 생산성에 가장 큰 영향을 주는 장비로서, 현재 설치된 컨테이너크레인의 하역속도가 평균 30 moves/hr임을 감안할 때 앞으로 출현하게 될 초대형 컨테이너선(18,000 TEU급)에 대응하기에 턱없이 부족하

다. 따라서 평균 75 moves/hr로 작업할 수 있는 차세대 컨테이너크레인이 개발되어야 하겠다. 본 논문에서는 기존에 설치된 컨테이너크레인의 특성을 파악하고 세계 각처에서 논의되고 있는 새로운 개념의 컨테이너크레인의 구조를 분석하여 28열 규모의 18,000 TEU급 초대형 선박을 수용할 수 있는 차세대 컨테이너크레인 구조와 규격을 제시하려 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 기존의 컨테이너크레인의 현재 운용상황을 분석하고, 3절에서 세계 각처에서 제안한 새로운 컨테이너크레인의 구조를 비교하고, 4절에서는 차세대 컨테이너크레인의 연구동향을 알아 본다. 5절에서는 차세대 컨테이너크레인의 구조 및 규격을 제안하며 결론은 6절에 기술한다.

2. 컨테이너크레인의 과거 및 현재

컨테이너크레인은 컨테이너선과 트럭 또는 AGV 사이에 컨테이너를 이송하는데 사용되는 하역장비이다. 세계 최초의 컨테이너크레인은 Matson Navigation Company가 1958년에 Paceco사와 함께 개발하였다. 이 컨테이너크레인의 outreach는 23.8 m이고, 22.7 ton의 컨테이너를 레일로부터 15.6 m의 높이에서 하역할 수 있었다(Paceco website, [18]).

세계 최초의 컨테이너 크레인이 개발된 이후로 지난 45년 동안 컨테이너크레인의 크기와 하역능력은 두 배 이상 증가되었으며, 설계기준은 하역생산성 증가 및 안전성 향상을 위해 지속적으로 발전되어 왔다. 1960~1970년대에는 outreach가 30~35 m이고 총 중량이 450~600 ton인 제1세대 컨테이너크레인이 사용되었으며, 1971~1985년에 파나막스급의 선박에 대응하는 제 2세대 컨테이너크레인이 개발되어 사용되었고, 1986~1995년에는 포스트-파나막스급 선박에 대응하는 제 3세대 컨테이너크레인이 개발되었다. 현재는 outreach가 48~55 m, 하역능력이 40~50 long tons, 총 중량이 950~1,250 ton으로 슈퍼-포스트-파나막스급의 컨테이너선에 대응하는

Table 1 Specifications of container cranes (past and future).

	1st generation	2nd generation	3rd generation	4th generation	future
Year	1960~1980	1984~1994	1994~2003	2004~2013	2014~
Ship size	Panamax	Post Panamax	Super Post Panamax	Maersk	-
Rated load (long ton)	35	Over 40.6	40.6~50.8	50~60	60~75
Outreach (m)	39	45~47	48~55	65	70~75
Span (m)	16~30	30	30	30.48	40
Lift (m)	21~28	32	34~36	40	50
Hoist speed (mpm)	36~45	55	60~75	90~180	200~300
Trolley speed (mpm)	120~150	180~210	180~210	240~300	300~400
Weight of crane (ton)	450~850	900~1000	950~1250	1100~1450	1550~1850



Fig. 1 The conventional A-frame container cranes (Port of Oakland).

제 4세대 컨테이너크레인이 사용되고 있다. Table 1은 컨테이너크레인 규격의 변화과정을 요약한다. 이처럼 해상을 이용한 물류수송이 증가함에 따라 컨테이너크레인의 크기 역시 증가하고 있으며, 더욱 빠르고 큰 하역능력을 가지는 구조로 개발되는 추세이다.

3. 컨테이너크레인의 구조

3.1 The Conventional A-frame Crane

Fig. 1은 전통적인 A-frame 구조의 컨테이너크레인을 보인다. 전통적인 컨테이너크레인은 A-형의 골격과 각각 1개의 트롤리와 호이스트, 그리고 1명의 운전자에 의해 작동된다(Jordan, 2002). A-frame 컨테이너크레인은 트롤리 또는 프레임 상부에 마련된 기계실에 주요 호이스팅부가 위치하며 컨테이너는 싱글-사이클모드 혹은 듀얼-사이클모드로 작업한다. 싱글-사이클모드란 한 사이클 동안에 선적 혹은 하역 한 작업만 수행하는 것을 말하며, 듀얼-사이클모드는 한 사이클 동안에 양적하 작업을 동시에 수행하는 것을 말한다. 현재, 대부분의 A-frame 컨테이너크레인은 backreach 15 m, rail gage 30 m, outreach 50 m를 가지며 16~18열의 포스트-파나막스급 컨테이너선에 대응하여 하역작업을 수행하고 있다. 포스트-파나막스급 컨테이너크레인의 하역시간은 이상적인 조건에서 평균 72초이나, 터미널운영 상에서 나타나는 장애요소(트럭의 지체, 바람, 선박의 흔들림 등)로 인하여 실제 하역시간은 평균 120초로 파악된다. A-frame 컨테이너크레인은 대부분의 항만에서 사용되고 있으며, 대략 시간당 25~30 moves/hr의 컨테이너를 처리할 수 있다.

3.2 Dual-Hoist Single-Trolley Crane

듀얼-호이스트 싱글-트롤리 컨테이너크레인은 앞서 소개한 A-frame 컨테이너크레인의 부두 쪽에 하나의 호이스트를 추가한 것이다. 호이스트를 듀얼로 설치하면 생산성을 약 50% 증가시킬 수 있지만, 초기자본 역시 30~50% 증가하게 된다. 또한 추가된 호이스트를 작동할 또 다른 운전자가 필요하므로

운영비용 역시 증가한다(Jordan, 1995).

듀얼-호이스트 싱글-트롤리 컨테이너크레인의 하역작업은 다음과 같이 이루어진다. 먼저 해측의 트롤리가 컨테이너선으로부터 컨테이너를 인출(hoisting)하여 육측 호이스트부로 이송하면 육측 호이스트가 컨테이너를 넘겨받아 트럭으로 내려 놓는다. 트럭에서 컨테이너선으로의 선적은 반대로 이루어지는데 이러한 듀얼-호이스트 싱글-트롤리 컨테이너크레인의 하역작업은 오직 싱글-사이클로만 이루어진다.

3.3 Dual-Hoist Elevating Platform Crane

듀얼-호이스트 엘리베이팅-플랫폼 컨테이너크레인은 서틀이 엘리베이터에 의해 육측 호이스트로 이송되는 차이점을 제외하고는 듀얼-호이스트 싱글-트롤리 컨테이너크레인과 유사하다(Jordan, 1995). 운전실은 트롤리와 같이 위치하지 않고 플랫폼 위에 별도로 위치하여 하역작업을 지시한다. 듀얼-호이스트 엘리베이팅-플랫폼 컨테이너크레인의 하역성능은 듀얼-호이스트 싱글-트롤리 컨테이너크레인과 비슷하나 엘리베이터의 설치와 운전실의 변형에 따른 추가 비용이 발생한다.

3.4 Dual-Hoist Elevating Girder Crane

듀얼-호이스트 엘리베이팅-거더 컨테이너크레인은 붐과 트롤리의 거더가 컨테이너와 컨테이너선의 위치에 따라 위아래로 움직인다(Jordan and Rudolf III, 1993). 즉, 컨테이너선에 컨테이너가 낮게 적재되어 있을 경우에는 거더를 낮게 이동시켜 끌어올리는 거리를 감소시키는 장점이 있다. Fig. 2는 듀얼-호이스트 엘리베이팅-거더 컨테이너크레인을 나타낸다. 싱글-사이클과 듀얼-사이클로 선택적 운용이 가능하며, 현재 VIT사에서 실행가능성이 검토되고 있다. 듀얼-호이스트 엘리베이팅-거더 컨테이너크레인은 포스트-파나막스급 컨테이너선뿐만 아니라 다양한 선폴을 가진 바지선에서까지 하역작업을 수행할 수 있다. 하지만 듀얼-호이스트 엘리베이팅-거더 컨테이너크레인은 싱글-호이스트 컨테이너크레인에 비해서 제작 및 운영비용이 약 50~70% 정도 더 많이 소요될 것으로 예상된다(Jordan and Rudolf III, 1993). 그럼에도 불구하고 엘리베이팅-거더에 의해 사이클 타임(cycle time)과 끌어올리는 거리가 감소하므로 하역생산성은 분명히 증가할 것으로 기대된다.

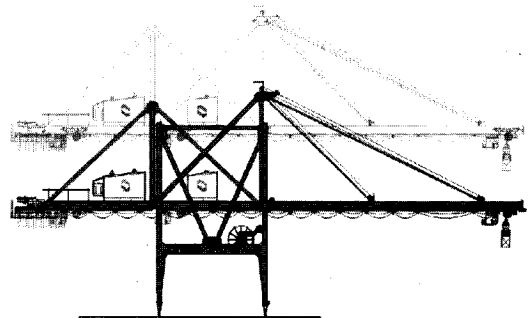


Fig. 2 An elevating girder crane (Virginia Port).

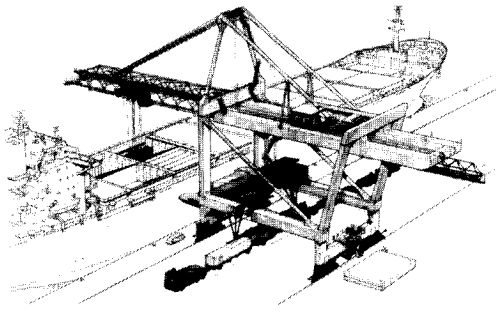


Fig. 3 A dual-hoist and dual-trolley crane (Paceco Inc).

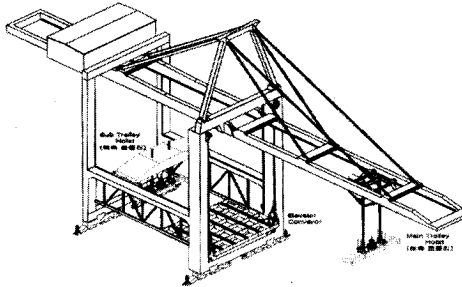


Fig. 4 A two-trolley elevator conveyor system (CIIPMS).

3.5 Dual-Hoist and Dual-Trolley Crane

듀얼-호이스트 듀얼-트롤리 컨테이너크레인은 Paceco사에 의해 고안되었다. 싱글 트롤리 컨테이너크레인과의 기본구조는 같지만 서틀이 붐 대에 위치하고 있고, 두 번째 트롤리가 육측의 중간 붐에 위치하여 유기적으로 하역작업을 수행한다 (Jordan, 1995). 듀얼-호이스트 듀얼-트롤리 컨테이너크레인은 적어도 두 명 이상의 운전자가 필요하며, 하역작업은 다음과 같이 이루어진다. 컨테이너선박으로부터 트럭으로 컨테이너를 하역하는 경우에 먼저 해측 트롤리가 컨테이너선으로부터 컨테이너를 서틀이 위치하고 있는 붐 대까지 들어올려서 서틀에 내려놓는다. 다음단계로 서틀이 육측 트롤리가 위치하고 있는 중간 붐 대까지 컨테이너를 운반한다. 마지막으로 육측 트롤리가 컨테이너를 집어서 트럭으로 내려놓으면 작업이 완료된다(박, 1991). 한편 트럭에서 컨테이너선박으로의 선적작업은 반대로 이루어진다. Fig. 3은 듀얼-호이스트 듀얼-트롤리 컨테이너크레인을 보인다. 듀얼-호이스트 듀얼-트롤리 컨테이너크레인은 싱글 사이클로만 하역작업이 이루어지며, 하역생산성은 시간당 50~70 moves/hr로 일반적인 싱글-트롤리 컨테이너크레인에 비해 적어도 두 배가량 증가할 것으로 기대된다.

3.6 Two Trolley Elevator Conveyor System

Fig. 4는 two-trolley-elevator-conveyor-system 나타낸다. 컨테이너크레인은 두 대의 트롤리와 엘리베이터를 접목하여 하역효율을 극대화 하였으며, 해측 및 육측의 하역작업을 분리하여 생산성 향상을 실현하였다. 또한 트럭과 트롤리의 작

업시간이 일치하지 않아 트럭이 지상에서 대기하는 시간이 발생하는 것이 듀얼-트롤리의 문제점으로 지적되었는데 이를 해결하여 작업흐름을 원활하게 하는 장점을 가진다. 시간당 70~95 moves/hr의 컨테이너를 처리할 수 있으며, 컨테이너 랜딩문제 중의 하나인 흔들림을 방지하는 장치를 포함하고 있다(양 등, 2002). 이 컨테이너크레인의 동작원리는 다음과 같다. 먼저 해측 트롤리가 컨테이너선에서 하역할 컨테이너를 인출 후 이송하여 엘리베이터 위에 올려놓는다. 다음, 컨테이너는 엘리베이터의 수직 이동에 의해 아래의 컨베이어체인으로 이송된 후 육측 트롤리가 있는 곳으로 수평 이동하게 된다. 마지막으로 육측 트롤리가 컨테이너를 집어서 트럭으로 내려놓으면 작업이 완료된다. 트럭에서 컨테이너선으로의 선적작업은 하역의 역순으로 이루어진다. Table 2는 진보된 개념을 적용한 컨테이너크레인의 하역성능을 비교하고 있다.

Table 2 Performance characteristics of container cranes.

Technology	Moves/hr	Backreach (m)	Outreach (m)	Cycle mode	Development status
Conventional crane	20~35	20	43.5~48	Single and double	Currently in use
Dual-hoist single-trolley crane	30~55	20	45~55	Single	Currently in use
Dual-hoist elevating-platform crane	30~55	20	45~55	Single	Currently in use
Dual-hoist elevating-girder crane	30~40	20	45~55	Single and double	Design stage
Dual-hoist dual-trolley crane	50~70	20	45~55	Single	Currently in use
Two-trolley elevator-conveyor or system	70~95	20	45~55	Single and double	Design stage
Megacrane	40~50	25	55~60	Single and double	Currently in use

4. 차세대 컨테이너크레인의 연구동향

4.1 Paceco Buffer Station

Fig. 5는 Paceco Buffer Station을 보인다. Paceco사는 해측 트롤리로 운반된 컨테이너를 적재할 수 있는 Buffer Station을 개발하였다(Jordan, 2002). 이 시스템은 듀얼-트롤리의 단점으로 지적된 트롤리와 트럭간의 상호 기다림 시간을 해소하여 생산성을 향상하려는 목적으로 개발되었다. 그러나 Buffer Station은 고무타이어 구조로 되어 이동성이 뛰어나지만, 운전자의 조작을 필요로 하므로 운용비용이 증가된다. 이 시스템의 가장 큰 장점은 기존의 컨테이너터미널의 컨테이너크레인에 바로 활용이 가능하다는 것이다.



Fig. 5 Paceco Buffer Station (Paceco Inc).

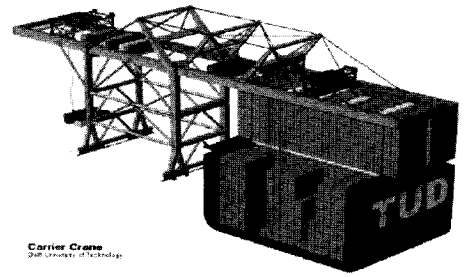


Fig. 7 Delft University Carrier Crane (Delft University).



Fig. 6 Paceco Supertainer (Paceco Inc).

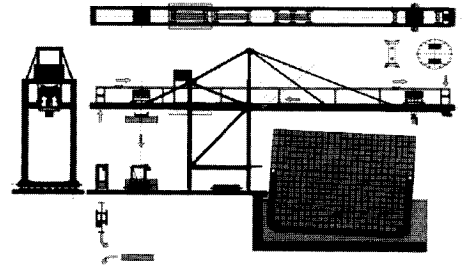


Fig. 8 Liftech Supercrane (Liftech Consultants Inc).

4.2 Paceco Supertainer

Fig. 6는 Paceco Supertainer를 보인다. Supertainer는 듀얼-트롤리 및 듀얼-호이스트 시스템을 사용하여 전체 하역작업을 세 개의 하위작업으로 구분하고 있다. 이는 배로부터 컨테이너를 인출하는 작업, 트래버서(traverser)가 붐을 따라서 컨테이너를 이동시키는 작업, 붐에서 트럭으로 컨테이너를 내리는 작업으로 구성된다. 이 크레인은 듀얼-사이클로도 작업이 가능 하지만 선박에서의 컨테이너 인출작업이 트럭으로의 해체작업보다 오래 걸리므로 상호 흐름이 맞지 않아 용이하지 않다. 트롤리는 컨테이너 인출 시 움직이지 않으며 트래버스에 의해 해측 트롤리에서 육측 트롤리로 컨테이너를 전달한다. 육해측 트롤리가 목표 컨테이너에 대하여 위치할 때를 제외하고는 대부분 자동으로 운전되며 선박의 크기에 관계없이 끌어올리는 거리를 감소시켜 사이클 시간을 향상 시킬 수 있도록 트래버스의 높이를 조절할 수 있다(양 등, 2002).

4.3 Delft University Carrier Crane

네덜란드 Delft 공대에서 연구 중인 컨테이너크레인은 붐에 별도의 컨베이어를 설치하여 컨테이너를 이송시키는 시스템이다. Fig. 7은 Delft University Carrier Crane을 나타낸다. 일단 컨테이너선으로부터 컨테이너가 들어올러지면 셔틀카와 컨베이어 시스템에 의해 컨테이너는 육측 트롤리로 이송되고 육측 트롤리가 컨테이너를 대기 중인 트럭 위로 내린다. 모든 이동경로가 직선이므로 이송 중에 컨테이너의 흔들림이 발생하지 않으나, Createch사의 Technotainer나 Paceco사의 Supertainer보다 사이클 주기가 짧은 게 장점이다. 하지만 일반 싱글-트롤리 컨테이너크레인보다 30~50% 더 무거우며 초기자본과 운영자본이 많이 소요된다(Jordan, 2002).

4.4 Liftech Supercrane

Fig. 8은 Liftech사의 Supercrane을 보이는데 Supercrane은 붐에 컨베이어 시스템을 적용한 형태로 Createch사의 Technotainer와 유사한 구조이다(Jordan, 2002). 이 시스템의 하역순서는 다음과 같다. 먼저 해측 트롤리가 컨테이너선으로부터 컨테이너를 들어올림과 동시에 스프레더가 90도 회전을 하여 붐에 설치된 셔틀에 컨테이너를 내려놓는다. 다음 2개의 모터로 움직이는 셔틀에 의해 육측 트롤리로 컨테이너가 운반되면, 육측 트롤리가 컨테이너를 넘겨받아 트럭으로 내려놓는다. 주요한 특징은 스프레더의 회전을 통해 붐에 무리를 주지 않는 범위 내에서 어떠한 크기의 컨테이너도 효과적으로 하역할 수 있으므로 터미널의 효율성을 높이는 메커니즘이다.

4.5 Advanced Robotic Crane

미국의 August사는 극한의 날씨에도 자동으로 하역작업을 수행할 수 있는 컨테이너크레인을 개발하였다(August Design website, [10]). Advanced Robotic Crane은 큰 규모의 스카라 로봇, 링크로 이루어진 호이스팅부, 및 6자유도 병렬형 머니플레이터 구조의 스프레더로 구성된다. Advanced Robotic Crane은 스카라 로봇시스템과 링크구조의 호이스팅부를 적용하여 기존의 컨테이너크레인이 가지고 있는 흔들림을 해결하였고, 비전시스템을 이용하여 완전자동으로 컨테이너를 양적하 하도록 하였다. 6자유도의 병렬형 머니플레이터 구조로 이루어진 스프레더는 컨테이너선박이 흔들리거나 바람이나 날씨 등 외부요인에 의한 열악한 작업환경에서도 정확한 하역작업을 할 수 있게 고안되었다. Advanced Robotic Crane의 시간당 하역생산성은 75 moves/hr로 예상된다.

5. 차세대 컨테이너크레인

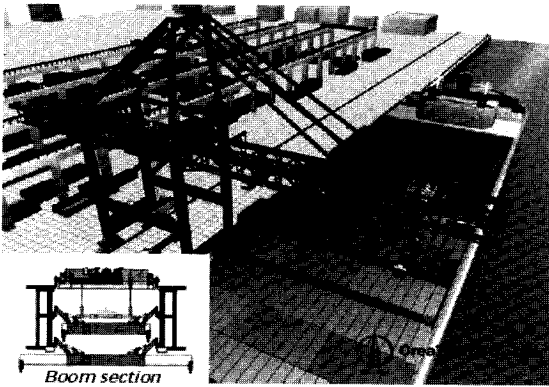


Fig. 9 CreaTech Technotainer (CreaTech Co.).

미래의 컨테이너 물류수송은 대부분 10년 이내에 출현하게 될 초대형 컨테이너선(18,000 TEU급)에 의해 이루어질 것으로 예상된다. 이러한 컨테이너선박이 접안하는 허브항만에서는 단시간에 많은 컨테이너를 처리할 수 있도록 자동화된 부두운영시스템이 요구되는데 이러한 시스템을 구현하기 위해서는 안벽에서의 하역시간절감이 주요하므로 차세대 컨테이너크레인이 필수적이다. 차세대 크레인의 요구사항은 야드에서 항만운영시스템과의 상호연계성, 고속의 양적화 성능, 작업의 정확도 및 편리성, 경제적인 유지보수비용, 안정성 및 내구성 등이다. 특히 시간당 평균 75 moves/hr을 처리할 수 있는 고속의 하역성능이 필수적이다.

5.1 Dual-Hoist and Triple-Trolley System

시간당 평균 75 moves/hr의 컨테이너 처리를 실현하기 위한 차세대 컨테이너크레인의 구조로 듀얼-호이스트 트리플-트롤리 시스템을 제안한다. 컨테이너크레인이 대형화되면 트롤리의 작업이동거리와 호이스트의 끌어올리는 거리가 증가하여 이송시간이 길어지고 흔들림이 발생하여 하역생산성에 악영향을 끼칠 수 있다. 호이스트와 트롤리의 개수를 추가함으로써 이러한 문제를 불식하고 작업속도 및 공정 효율을 높일 수 있다. Fig. 10은 듀얼-호이스트 트리플-트롤리 시스템을 보인다. 제안된 구조는 트롤리의 작업경로를 삼단계로 분업화하여 작업시간을 줄이고, 기존의 컨테이너크레인의 문제점으로 지적되었던 트롤리와 트럭간의 상호 기다림에 의한 작업증지시간을 버퍼능력을 갖는 시스템을 이용하여 감소함으로써 하역생산성을 증가시킨다. 이러한 시스템은 추가된 장비로 인해 컨테이너크레인의 중량이 증가하는 탓에 추가적인 토목공사가 수반되어야하므로 기존의 부두에는 적용이 불가하다.

5.2 트롤리 및 호이스트

실용 가능한 일반적인 트롤리의 형태는 로우프트롤리(ropo-towed trolley)와 기계식 트롤리(machinery trolley)이다. 현재 대부분의 컨테이너크레인에서는 로우프트롤리가 사용되고 있다. 그러나 차세대 컨테이너크레인은 규모가 대형화됨에 따라 로우프트롤리의 적용 시 트롤리의 주행거리와 호이스트의 끌어올리는 거리의 증가로 인해 컨테이너의 흔들림 제어가 어렵게 된다(Bhimani and Kerenyi, 1995). 따라서 차세대 컨테이너의 트롤리는 자체 구동력 및 끌어올리는 힘을 갖춘 기계식 트롤리가 적합하다. 한편, 붐 위에서 트롤리가 주행하는 거리와 끌어올리는 길이는 각각 100 m, 70 m인데, 선사들의 운항채산성 요구를 만족시키기 위해서는 시간당 평균 75 moves/hr로 처리하여야 한다. 따라서 트롤리와 호이스트의 속도를 각각 300~400 mpm, 200~300 mpm로 제한한다.

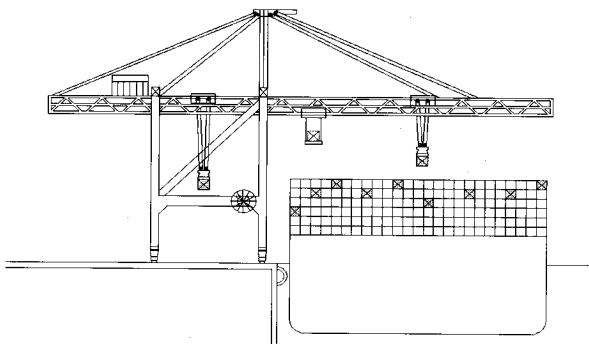


Fig. 10 A dual-hoist and triple-trolley crane.

4.6 Two Trolley Elevator Conveyor System

동아대학교 지능형통합항만관리연구센터(CIIPMS)에서 개발한 Two Trolley Elevator System(TTES)은 두 대의 트롤리와 엘리베이터를 접목하여 시간당 약 70~95 moves/hr의 컨테이너를 처리할 수 있는 크레인으로 주장되고 있다. 아직 실용화 단계는 아니지만 개발 완료 단계에 있으며, 컨테이너 랜딩문제 중의 하나인 흔들림을 방지할 수 있는 방법을 개발하였다는 측면에서 평가를 받고 있다. 또한 하역작업을 분업화하여 생산성향상과 함께 듀얼-트롤리의 문제점으로 지적되었던 트롤리와 트럭 간 상호 기다리는 시간을 없애어 작업흐름을 원활하게 하는 장점을 가진다.

4.7 CreaTech Technotainer

국내 CreaTech사의 Technotainer는 연속식 크레인의 개념을 부두용 컨테이너 크레인에 적용한 것으로, 3개의 롤러 스프레더가 2개의 호이스팅 트롤리 사이를 왕복하면서 수직 및 수평이동을 분리하여 화물의 선적 또는 하역속도를 대폭 증가시킨 크레인이다. Fig. 9는 CreaTech사의 Technotainer를 보여주고 있다. Technotainer는 반자동으로 운전되며, 트롤리의 위치보다 스프레더의 조정이 주임무가 된다. 2인의 작업자가 필요하고, 시간당 처리능력은 70~90 moves/hr로 예상되며, 이 동시 트롤리-컨테이너-스프레더가 일체화되어 있으므로 진동이나 흔들림 발생이 일어나지 않는다(CreaTech website, [13]).

5.3 아웃리치

미래에 등장할 초대형 컨테이너선(18,000 TEU)은 선폭은 70 m, 선장은 400 m, 흘수는 20 m, 그리고 갑판열수는 28열의 규격을 가지게 될 것이다. 이에 대응하여 트롤리의 속도를 최적으로 제어하기 위한 오버런(overrun)을 2 m로 가정하고, 해측의 레일에서 부두 끝까지의 거리와 패널의 크기를 각각 2 m로, 컨테이너의 폭을 2.45 m로, 선박 끝과 컨테이너 사이의 간격을 2 m로 감안하여 차세대 컨테이너크레인의 아웃리치(outreach)를 75 m로 제안한다. 제안근거는 아래의 식(1)과 같다(Paceco website, [18]).

$$\begin{aligned} OR &= SP + FC + SC + (CW \times NC) - 0.5 CW + overrun \\ &= 2m + 2m + 2m + (2.45m \times 28) - 0.5 \times 2.45m + 2m = 75m \quad (1) \end{aligned}$$

여기서,

OR : 아웃리치

SP : 해측에서 부두까지의 거리

FC : 펜더의 길이

SC : 컨테이너와 선박끝 사이의 간격

CW : 컨테이너폭

NC : 컨테이너의 적재열수

5.4 백리치

헤치커버나 컨테이너를 육측 레일 바깥쪽으로 이송할 경우에 필요한 거리로 크레인의 안정성을 고려하여 통상 outreach의 3분의 1로 한다(이 등, 2004). 따라서 백리치를 25 m로 제안한다.

5.5 레일게이지(Crain Rail Gage)

컨테이너크레인의 레일게이지는 지반의 건설성과 풍동에 의한 동적영향 등을 고려하여 통상 아웃리치의 반을 레일 게이지로 선정한다(한진중공업, 2005). 이에 따라 차세대 컨테이너크레인의 레일 게이지를 40 m로 제안한다.

5.6 Clearance Between Legs

현재 컨테이너의 길이는 12 m~14 m이지만 미래의 컨테이너는 16 m까지 증가할 것이다(Jordan, 2001). 컨테이너의 각 사이드가이드(sideguide)의 동작범위를 1.8 m로 감안하여 컨테이너크레인의 다리 사이의 거리는 컨테이너를 안정하게 하역할 수 있는 21 m로 제안한다.

5.7 하역높이(Lift above rail)

컨테이너크레인의 대형화에 따라 부두의 레일에서 트롤리까지의 높이가 증가하여 컨테이너의 흔들림 제어를 어렵게 한다. 흔들림 제어를 용이하게 하기 위해 차세대 컨테이너크레인은 가능한 최소의 높이를 가져한다(이와홍, 2004). 미래에 출현할 28열의 18,000 TEU급 컨테이너선은 선창의 깊이가 35

m, 최대흘수는 20 m로 예상된다. 이에 따라, 헤치커버의 높이와 탱크톱의 두께를 감안하고, 높이 2.6 m 또는 2.9 m의 컨테이너를 적재한다고 가정했을 때, 선창 내에 10~11단의 적재가 이루어질 것으로 예상된다(개인적 e-mail 서신, Prof. Rijssenbrij). 또한 갑판 위는 7~8단의 적재가 이루어질 것이다. 따라서 갑판 6열의 C10 컨테이너선보다 선창깊이는 12 m, 갑판적재 높이는 11 m정도 더 클 것으로 예상되고 있다. 그러므로 현재 부두에서 운영중인 16열의 C10 컨테이너선에 대응하는 컨테이너크레인의 높이가 40 m임을 감안할 때, 차세대 컨테이너크레인의 부두레일에서 트롤리까지의 하역높이는 50 m, 배 밑바닥부터의 높이는 최소 70 m 정도가 되어야 하겠다.

5.8 하역능력(Capacity)

일반적으로 컨테이너 선박에서 20 ft, 40 ft 컨테이너 하나당 최대평균이송중량은 각각 12 long tons, 24 long tons로 컨테이너크레인의 하역중량과 비슷하다. 그러나 미래의 컨테이너 규격은 16 m까지 증가하여 적재중량이 40~50 long tons에 육박할 것으로 예상된다(이 등, 2004). 따라서 트윈포티 스프레더(twin forties spreader)를 기준으로 안전을 고려하여 각 스프레더당 60 long tons, 총 120 long tons의 하역성능을 가지도록 제안한다.

5.9 제어방식

차세대 컨테이너크레인의 제어방식은 기존의 크레인이 사용하고 있는 PLC 대신 PC를 이용한 실시간제어방식이 적용되어야 하겠다. PC를 기반으로 크레인의 작업공정을 제어하면 각종 센서의 측정치를 바탕으로 기존의 PLC나 PC-PLC 복합 시스템만으로는 구현하기 어렵던 완전한 실시간성과 무인자동화를 보장받을 수 있다. 또한 네트워크로의 강력한 연결을 통하여 게이트, 야드, 안벽 등 컨테이너 터미널의 제반 시스템과 연계하여 유기적인 작업을 효율적으로 수행할 수 있다.

5.10 안정성 및 내구성

수송선의 기항시간을 줄이기 위해 컨테이너크레인은 고장이나 잦은 정비로 인한 휴지시간 없이 하역작업을 계속해서 수행하여야 한다. 일반적으로 컨테이너크레인의 수명은 설계 시에 약 30년 정도를 고려하나 실무에서는 약 20년 정도를 실제 수명으로 간주한다. 따라서 차세대 컨테이너크레인은 20년 동안 매년 약 20 만개의 컨테이너를 처리할 수 있어야 하며 사용기간 동안 적어도 200 만회 이상의 작업주기에 견딜 수 있을 정도의 내구성을 지녀야 한다. 한편 대형화로 인한 중량의 증가에 따라 토목기반의 건설한 조성이 요구되며 같은 이유로 발생하는 풍동에 의한 영향도 면밀히 고려해야 한다(한진중공업, 2005). 상기 검토한 내용을 Table 3에 요약한다.

Table 3 The present and future container crane.

Specification	현재 (2003)	10년 후 (2014)
컨테이너 처리속도	30 moves/hr 미만 (평균, 부산항)	100 moves/hr (최대), 75 moves/hr (평균)
크레인 구동 메커니즘	Single trolley (부산항)	Dual-hoist and triple-trolley
크레인 제어방식	PLC	PC Control
크레인 outreach	53 m (6,400 TEU급)	75 m (18,000 TEU급)
트롤리 구동방식	Rope-towed type	Machinery type
트롤리(호이스트) 최대주행속도	90 mpm (72 mpm)	350 mpm (250 mpm)
트롤리(호이스트)위치 허용오차	± 20 mm (± 50 mm)	± 10 mm (± 10 mm)
선박접안 시 위치보정 유무	×	○

6. 결 론

본 논문에서는 18,000 TEU급의 초대형 컨테이너선을 신속하고 효율적으로 양적하 하기 위한 차세대 컨테이너크레인의 성능 및 규격을 제안하였다. 요약하면 차세대 컨테이너크레인은 트립플-호이스트 듀얼-트롤리 시스템을 갖추고 있으며, 규격은 아웃리치가 75 m, 백리치는 25 m, 호이스트와 트롤리의 평균 속도는 각각 250 mpm, 350 mpm이다. 크레인은 각종 센서를 통해 PC를 기반으로 트롤리, 호이스트, 스프레더 등의 위치 및 속도 등을 실시간으로 관측, 제어하며 전체 터미널 운영시스템과 연동하여 완전한 자동화를 이룬다. 상기 제안된 메커니즘을 바탕으로 시간당 평균 75 moves/hr의 하역성능을 기대할 수 있다. 한편, 크레인의 대형화에 따른 풍동의 영향, 초기설치 시 토목기반공사의 고비용 등이 우려가 되므로 이에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 하겠다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업(과제번호 : M1-0302-00-0039-03-J00-00-023-10) 및 교육인적자원부 지정 차세대물류IT기술연구사업단의 지원으로 연구되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 남기찬, 이재현(2002), "초대형 컨테이너선박에 대한 이론적인 고찰", 한국항해항만학회지, 제26권 제4호, pp. 455-463.
 [2] 박병인(1991), "신형 컨테이너크레인에 대한 고찰-Dual Hoist Crane을 중심으로", 월간해양수산, 제86권, 제1호, pp. 38-58.

[3] 박태원, 정봉민(2002), "컨테이너선 대형화의 경제적 효과 분석", 한국해양수산개발원, pp. 43-73.
 [4] 양창호, 김창곤, 최종희, 최상희, 최용석, 이주호(2002), "초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만하역시스템 기술개발전략 연구", 한국해양수산개발원, pp. 5-69.
 [5] 이숙재, 홍금식(2004), "초대형 선박용 차세대 컨테이너크레인의 설계기준", 한국해양공학회지, 제18권 제6호, pp. 101-107.
 [6] 이숙재(2005), "컨테이너크레인의 슬라이딩모드제어", 석사학위논문, 부산대학교, pp. 36-38.
 [7] 이용환, 박은경, 박태진, 류광렬, 김갑환(2003), "그리드 단위의 제어에 기반한 자동화터미널의 AGV시스템 운영방안", 한국항해항만학회지, 제27권 제2호, pp. 223-231.
 [8] 한진중공업(2005), Triple-Trolley Dual-Hoist 컨테이너크레인 검토서(내부자료).
 [9] 해양수산부(2004), 2004년 해양수산 통계연보, Available at <http://www.momaf.go.kr/doc/2004%20stat/index.html>.
 [10] August Design, LLC, "Advanced robotic crane for container handling", Available at <http://www.august-design.com>.
 [11] Bhimani, K. and Kerenyi, J.(1995), "Rope-towed trolley or machinery trolley which is better?", The Facilities Engineering Seminar American Association of Port Authorities, San Pedro, CA, Nov., pp. 15-17.
 [12] Bhimani, K., Morris, C. A., and Karasuda, S.(1996), "Dockside container crane design for the 21st century", Container Efficiency Conference World Trade Center, Singapore, March.
 [13] Createch Co., "High Performance Continuous Crane (in Korean)", Available at <http://www.createch.co.kr>.
 [14] Jordan, M. A. and Rudolf III, C. D.(1993), "New container crane concepts", The Facilities Engineering Seminar American Association of Port Authorities, Savannah, Georgia, April, pp. 14-16.
 [15] Jordan, M. A.(1995), "Dockside container cranes", PORT'95 Proceedings, Tempa, Florida, March, pp. 13-15, pp. 826-837.
 [16] Jordan, M. A.(2001), "Future-proof your crane", Terminal Operation Conference Americas, Miami, October.
 [17] Jordan, M. A.(2002), "Quay crane productivity", Terminal Operation Conference Americas, Miami, November.
 [18] Paceco Inc, "Paceco's company profile", Available at <http://www.pacecocorp.com>.

원고접수일 : 2004년 5월 6일
 원고채택일 : 2005년 3월 24일