

# 초대형 선박용 차세대 컨테이너 크레인의 설계기준

이숙재\* · 홍금식\*\*

\*부산대학교 대학원 메카트로닉스협동과정

\*\*부산대학교 기계공학부

## Design Criteria of a Future Container Crane for Megaships

SUK-JAE LEE\* AND KEUM-SHIK HONG\*\*

\*Interdisciplinary Program in Mechatronics of Pusan National University, Busan, Korea

\*\*Division of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Container Crane 컨테이너 크레인, Performance Specification 성능규격, Design Criteria 설계기준, Cargo Handling 하역작업, Port Automation 자동화 항만

**ABSTRACT:** In this paper, the design criteria of future container crane for megaships are investigated. The current loading/unloading capacity of a typical container crane, roughly 30 moves/hr, is too low to meet the requirements of future super containerhips, which are expected over 15,000 TEU. After examining the transition of containerhips through the years and studying the research trend in developed countries, the specifications of the container crane that can meet a 15,000 TEU containerhip are proposed. The structure, trolley and hoist mechanism, outreach, backreach, capacity, speeds, durability, and stability of the future container crane are described.

### 1. 서 론

1950년대 후반 컨테이너를 이용한 물류수송이 시작된 이래로 세계적으로 컨테이너 물동량은 매년 5~8%씩 증가하고 있다. 이러한 물류수송량의 증가로 인해서 컨테이너 선박의 크기는 파나막스(Panamax, ≤ 4,000 TEU)급에서 전장이나 선평이 더 큰 포스트-파나막스(Post-Panamax, ≤ 6,000 TEU)급 및 수퍼-파나막스(Super-Panamax, ≤ 8,000 TEU)급으로 발전하였으며, 미래에는 수에즈막스(Suezmax, ≤ 12,000 TEU), 말라카막스(Malaccamax, ≤ 15,000 TEU)라고 구분되는 초대형 컨테이너 선박들이 출현할 것으로 예상되고 있다(남기찬과 이재현, 2002). 이처럼 세계 유수의 컨테이너 선사들은 허브항을 정기적으로 운항하는 대형의 컨테이너 선박으로 인한 규모의 경제효과를 추구하여 왔기 때문에 이러한 선박의 대형화는 기술과 경제성이 보장되는 한 지속될 전망이다.

따라서 초대형 컨테이너 선박이 접안되는 항만에서는 많은 컨테이너를 단기간에 처리할 수 있는 능력을 가진 새로운 하역시스템의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 새로운 하역시스템의 연구는 초대형 컨테이너 선박의 재항시간을 기존의 포스트-파나막스급 선박과 동일하게 하기 위해서 자동화 및 고속화에 초점을 맞추고 있다. 그 중 항만 크레인인 초대형 컨테이너 선박에 대응할 항만 하역장비 자동화시스템에서 가장 대표적인 장비로서, 부두에 정박된 선박으로부터 직접 컨테이너를 양하역하는 컨테이너 크레인과 컨테이너 터미널의 야드에서 운용되는 트랜스퍼 크레인으로 크

게 구분될 수 있다. 특히, 컨테이너 크레인은 컨테이너 터미널의 생산성에 가장 큰 영향을 주는 장비로서, 현재 국내외에 설치된 컨테이너 크레인의 평균 하역속도가 30 moves/hr인데, 최근에 등장하고 있는 초대형 컨테이너 선박에 대응하기 위해서는 적어도 100 moves/hr로 작업해야 한다는 점에서 컨테이너 크레인의 자동화 및 고속화 연구가 시급한 과제임을 직면할 수 있다.

컨테이너 크레인에 대한 선행연구들을 살펴보면 제어분야와 메커니즘 분야로 나눌 수 있다. 먼저 제어분야를 살펴보면 홍금식 등(1997a, b)은 기준선도 오차 피드백제어와 트롤리 주행속도 조절을 통한 크레인 시스템의 흔들림제어를 제안하였고, 이진우 등(1998)은 2자유도 서보제어기를 이용한 크레인의 anti-sway제어를 소개하였다. 홍금식(1999) 및 Hong et al. (2000)은 컨테이너 시스템에서 트롤리의 시간최적주행과 비선형 잔류흔들림제어에 관한 연구를 소개하였으며, 손유식과 김영복(2000)은 스프레더 위에 컨테이너 크레인의 흔들림을 제한할 수 있는 방지장치에 관한 연구를 발표하였다. Hong et al. (2003)은 컨테이너 크레인의 트롤리가 주행할 때 흔들림각을 제한하는 입력성형기법을 제안하였고, 강민우와 홍금식(2004)은 시간제적제어를 이용한 지브크레인의 흔들림제어를 수행하였다. 다음으로 크레인 시스템의 메카니즘에 관한 선행연구를 살펴보면, Jordan and Rudolf III (1993)는 컨테이너 크레인에 dual-hoist elevating girder 시스템을 소개하였고, Jordan(1997)은 기존의 컨테이너 크레인의 생산성을 향상시킬 수 있는 방안으로서 wide gantry crane, elevated gantry rail, elevated landside platform, elevated traffice lanes 등을 소개하였다. 또한 기존의 단일트롤리 대신 두 개의 트롤리를 설치하는 더블트롤리를

제1저자 이숙재 연락처: 부산광역시 금정구 장전동 산30

051-510-1481 sjlee@pusan.ac.kr

제안하였다. 더블트롤리 크레인 은 무게가 55 ~ 75 ton인 단일트롤리 크레인에 비하여 10 ~ 20 ton정도 더 무겁고, 두 개의 트롤리를 통제하는 정교한 제어시스템이 필요한 반면, 생산성은 시간당 45 ~ 70 moves라고 주장하고 있다. Ward(1998)는 네덜란드 Ceres Amsterdam Terminal 계획과 관련된 two-side container ship operations의 연구결과를 소개하였다. Ship in Slip 또는 Indented Berth라고 불리는 이 개념은 선박을 도크(dock)형태의 부두에 접안시키고 선측 양방향에서 하역작업을 수행하여 시간당 300 moves의 생산성 달성을 목표로 하고 있다. 신민생 등(1998)은 두 개의 트롤리를 도입하여 컨테이너를 고속 하역하는 시스템을 제안하였고, Rankine(1999)는 창고형 자동화 컨테이너 터미널인 Docking System이라는 혁신적인 터미널 디자인을 제안하였다. 도크형태인 Ship in Slip과는 달리 본 시스템은 기존 안벽부두의 수면 쪽에 잔교(jetty)를 설치하여 선박의 양방향에서 하역작업이 이루어지게 하는 것이 그 특징이다. 그리고 Jordan(1995, 1996, 2001, 2002)와 Morris and Hoite(1997)은 수퍼-파나막스급과 수에즈막스급 컨테이너선박에 대응할 수 있는 컨테이너크레인에 대한 연구 및 설계기준을 제안하였다. 최근 국내에서는 해양수산부 주관으로 첨단항만 핵심기술 사업(1999 ~ 2003)이 한국기계연구원과 현대중공업 등에 의해 수행되었으며, 이 국책사업은 자동 컨테이너운송차(automated guided vehicle, AGV), 자동 트랜스퍼 크레인(automated transfer crane), 항만시물레이션, 통합운영시스템으로 구분되며, 특히 2과제인 "자동 트랜스퍼 크레인의 설계 및 제어기술 개발"은 터미널내의 야드에서 운영되는 트랜스퍼 크레인의 자동화 및 제어기술 개발 중심으로 수행되었다.

그러나 대부분의 선형연구들은 앞으로 등장하게 될 25 ~ 28열 규모의 15,000 TEU급 초대형 컨테이너 선박에 대응할 수 있는 컨테이너 크레인의 구조나 규격에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 특히, 컨테이너 크레인 은 컨테이너 터미널의 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 하역장비임을 감안한다면 앞으로 출현하게 되는 초대형 컨테이너 선박에 대응하기 위한 차세대 컨테이너 크레인에 대한 연구가 활발히 진행되어야 한다. 따라서 본 논문은 기존의 컨테이너 크레인에 대한 논문 및 보고서에 나타난 내용들을 분석하여 새로운 개념의 차세대 컨테이너 크레인에 대한 연구방향 및 초대형 컨테이너 선박에 대응할 수 있는 새로운 구조를 소개하고 설계기준을 제시하는 것을 그 목적으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 현재의 컨테이너 크레인의 상황을 분석 및 컨테이너 크레인의 구성요소 현황을 분석하고, 3절에서는 15,000 TEU급의 초대형 컨테이너 선박에 대응하는 차세대 컨테이너 크레인의 구조 및 규격을 제안한다. 결론은 4절에 기술된다.

## 2. 컨테이너 크레인의 변천 및 구성요소 현황

컨테이너 크레인 은 컨테이너 선박과 트럭(혹은 AGV) 사이에 컨테이너를 이송하는데 사용되는 하역장비이다. 세계 최초의 컨테이너 크레인 은 Matson Navigation Company가 1959년에 Paceco사와 함께 개발하였으며, outreach는 23.8 m 이었고, 22.7 ton의 컨테

Table 1 Trend of container cranes: the 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	American Shipper
Rated load (t)	35	Over 40.6	40.6 ~ 50.8	50 ~ 60	60 ~ 75
Outreach (m)	39	45 ~ 47	48 ~ 55	65	78
Span (m)	16 ~ 30	30	30	30.48	30.48
Lift (m)	21 ~ 28	32	34 ~ 36	40	50
Hoist speed (m/min)	36 ~ 45	55	60 ~ 75	90 ~ 180	200 ~ 300
Trolley speed (m/min)	120 ~ 150	180 ~ 210	180 ~ 210	240 ~ 300	300 ~ 400
Weight of crane (t)	450 ~ 850	900 ~ 1000	950 ~ 1250	1100 ~ 1450	1550 ~ 1850

이너를 하역할 수 있었다(www.pacecocorp.com). 최초의 컨테이너 크레인 이 등장된 이후로 지난 45년 동안 컨테이너 크레인 의 크기와 하역능력은 두 배 이상으로 증가되었으며, 하역생산성 증가 및 안전성 향상을 위해 지속적으로 발전되어 왔다. 1960 ~ 1970년 대에는 outreach가 30 ~ 35 m 이고 총 중량이 450 ~ 600 ton인 제 1세대 컨테이너 크레인 이 사용되었으며, 1971 ~ 1985년에는 파나막스급의 선박에 대응하는 제 2세대 컨테이너 크레인 이 개발되어 사용되었다. 1986 ~ 1995년에는 포스트-파나막스급 선박에 대응하는 제 3세대 컨테이너 크레인 이 사용되었으며, 현재는 수퍼 포스트-파나막스급의 컨테이너 선박에 대응하는 outreach가 48 ~ 55 m, 하역능력이 40 ~ 50 ton, 총 중량이 950 ~ 1,250 ton 인 제 4세대 컨테이너 크레인 이 사용되고 있다(Kim, 2002). Table 1은 컨테이너 크레인 의 세대별 규격의 변화과정을 보이고 있다(Kim, 2002). 이처럼 해상을 이용한 물류수송이 인터넷 무역의 증가와 함께 증가함에 따라 컨테이너 크레인 역시 더 빠르고, 더 큰 하역능력을 가지며, 더 자동화된 컨테이너 크레인 이 개발되어야 한다.

초대형 컨테이너 선박에 대비한 새로운 개념의 컨테이너 크레인 의 개발은 현재 국내외적으로 다양한 형태로 연구되고 있다. 국외에서는 대표적으로 미국, 핀란드, 독일, 일본을 비롯한 네덜란드가 선두로 활발한 연구를 진행하고 있다. 그 중에서 컨테이너 크레인 의 각 부분별 연구현황을 살펴보면 다음과 같다.

### 2.1 트롤리(Trolley)

트롤리는 호이스트부를 이용하여 컨테이너를 선박이나 트레일러로부터 들어 올리거나 적재하고 또한 봄 위를 이동하여 컨테이너를 선박에서 트레일러로 이송케 하거나 혹은 반대로 이송하는 장비이다. 일반적으로 트롤리는 로프 트롤리와 기계식 트롤리가 있으며, 기존의 대부분의 컨테이너 크레인 은 로프 트롤리를 사용하고 있다. 트롤리 아래쪽에 운전석이 설치되어 있어서 운전자가 트롤리를 운전하면서 호이스트부를 조종하여 컨테이너를 들어올

Table 2 Comparison of rope-towed trolley and machinery trolley

	Rope-towed Trolley (RTT)	Machinery Trolley (MT)	Advantage
Reeving assemblies	Main hoist, trolley drive, catenary trolley drive	Main hoist	MT
Trolley positioning	Movement due to trolley travel rope stretch	Movement due to skidding	MT
Festoon	Spreader power only	Power for main hoist <sup>1</sup> , trolley drive, and spreader	RTT
Trolley accelerations	2 ft/s <sup>2</sup>	2 ft/s <sup>2</sup>	—
Rope lubricant	Exposed to environment, oil spillage on ground	Enclosed, spillage contained	MT

<sup>1</sup>Including trim, list, skew and snag device

리거나 적재한다. 로프 트롤리와 기계식 트롤리는 장단점을 Table 2에 나타내었으며, 각각의 특징들을 아래에서 자세히 설명하기로 한다(Bhimani and Kerenyi, 1995).

2.1.1 로프 트롤리(Rope-Towed Trolley)

Fig. 1은 로프 트롤리의 개략도를 나타낸다. 로프 트롤리는 1959년에 미국의 Paceco사에서 제작되었다. 또한 과거의 컨테이너 크레인의 항만에서의 작업은 부두암벽의 작업하중에 제한을 받았다. 따라서 크레인에서 붐 위의 트롤리는 안정성을 위해 중량이 가벼워야 했다. 이를 위해 로프 트롤리는 주요 호이스트부와 트롤리의 이동모터부가 붐대 위의 육축에 위치하고 있는 기계실 안에서 작동되기 때문에 트롤리 자체의 중량은 가볍기 때문에 대부분의 컨테이너 크레인에 사용되고 있다. 하지만 향후 10년 이내에 출현하는 초대형 컨테이너 선박이 접안하게 되는 부두의 컨테이너 크레인인 아웃리치가 길어짐에 따라서 트롤리의 이동거리 또한 늘어나게 된다. 이것은 호이스트부의 로프길이와 양이 상대적으로 증가하기 때문에 이송하는 컨테이너의 흔들림을 제어하기가 기존의 컨테이너 크레인보다 더 어려워질 것으로 예상된다. 이러한 컨테이너의 흔들림을 제어하기 위해서는 새로운 개념의 흔들림 제어시스템이 추가되어야 하기 때문에 비용이 증가되는 단점이 부각되고 있다. 이처럼 로프 트롤리는 제 1세대 컨테이너 크레인에서부터 현재의 대부분 컨테이너 크레인에 사용되고 있지만, 앞으로 출현하게 되는 초대형 컨테이너 선박에 대응하는 차세대 컨테이너 크레인에서는 한계를 드러낼 것으로 예상된다 (Bhimani and Kerenyi, 1995).

2.1.2 기계식 트롤리(Machinery Trolley)

기계식 트롤리는 자체 구동력과 호이스트부를 플랫폼에 구비하고 있다. 기계식 트롤리는 플랫폼 위에 호이스트부와 4개의 휠을 구동하는 모터부를 가지고 붐의 레일을 이동하기 때문에 로프 트롤리보다는 무겁다. 또한 구동부를 통해 모두 4개의 휠이 트롤리를 움직이며 각각의 휠은 브레이크, 모터, 감속기를 가지고 있다 (Bhimani et al., 1996).

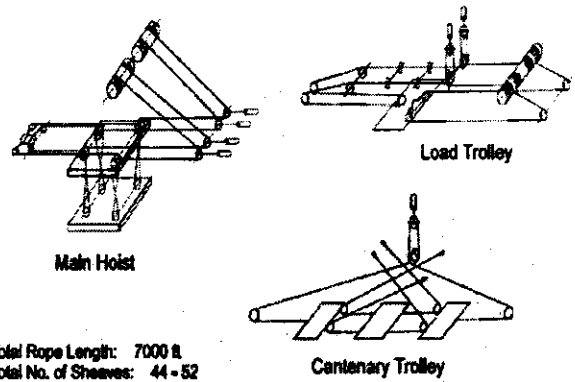


Fig. 1 Reeving diagram for rope-towed trolley(Bhimani and Jordan, 2003)

미래에 등장하는 초대형 컨테이너 선박에 대응하기 위해서는 컨테이너 크레인의 트롤리 방식을 기계식 트롤리로 사용할 것을 추천한다. 왜냐하면 차세대 컨테이너 크레인은 대형화로 인한 각 부분별 부재들이 길이가 증가하거나 커지게 된다. 특히, outreach 길이의 증가는 트롤리의 이동거리를 증가하게 만든다. 이것은 로프 트롤리에 가장 큰 문제점을 발생시킨다. 이러한 문제점을 기계식 트롤리는 플랫폼 위에 호이스트부와 자체 구동력을 가진 4개의 휠이 있기 때문에 로프의 길이와 가닥수가 로프 트롤리보다 줄어들어 컨테이너의 흔들림 제어를 더 용이하게 만든다. 이것이 기계식 트롤리가 로프 트롤리보다 중량이 더 무겁지만, 로프 트롤리를 사용할 때보다 시간당 하역생산성을 더 높일 수 있기 때문에 기계식 트롤리를 선택하는 하는 가장 중요한 이유인 것이다(Bhimani and Hoite, 1998).

2.1.3 하이브리드 트롤리(Hybrid Trolley)

앞에서 설명한 두 가지 형태의 트롤리시스템의 문제점을 보완하는 것이 하이브리드 트롤리시스템이다. 하이브리드 트롤리시스템은 붐 위의 기계실 안에는 호이스트부 만이 안에서 작동하고 트롤리는 자체 구동력을 가지고 붐 위를 이동하게 만든 것이다. 하이브리드 트롤리는 각각의 문제점으로 지적된 로프 트롤리의 로프의 양의 증가와 길이의 증가에 따른 컨테이너 흔들림 제어의 어려움과 기계식 트롤리의 중량의 증가에 따른 부두암벽하중의 제약울 절충 하는 시스템이라고 할 수 있다 (Bhimani and Kerenyi, 1995).

2.2 스프레더(Spreader)

스프레더는 컨테이너를 선박이나 트레일러로부터 집거나 내리는 컨테이너 크레인의 주요 장비 중에 하나이다. 기존의 컨테이너 크레인의 스프레더는 20 ft 컨테이너의 경우에는 평균 약 12 ~ 15 long tons, 40ft 컨테이너의 경우는 평균 약 24 ~ 30 long tons을 하역할 수 있다.

2.2.1 Direct Acquisition Rail to Ship Spreader

Fig. 2는 rail-to ship 스프레더를 나타내며, rail-to-ship 스프레더는 항만운영의 효율성과 하역생산성을 높이기 위해 개발된 것으로

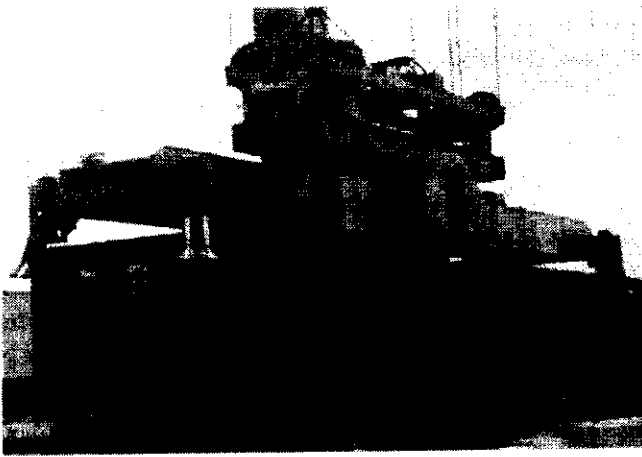


Fig. 2 Direct Acquisition Rail to Ship Spreader  
(<http://www.august-design.com>)

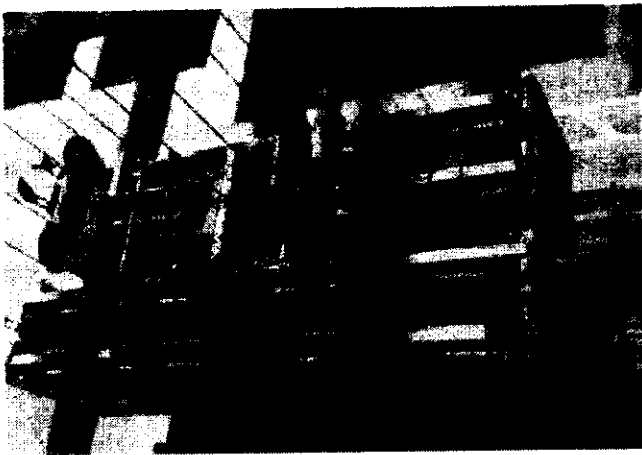


Fig. 3 A tandem forties spreader (Bhimani and Jordan, 2003)

서, 컨테이너 크레인인 컨테이너를 레일카에 정확하고 빠르게 하역할 수 있는 시스템이다. 게다가 이 시스템은 레일카 위의 20 ft 컨테이너 두 개를 한번에 집거나 적재할 수 있다. 즉, 기존의 싱글 스프레더는 한번에 하나의 컨테이너를 처리할 수 있지만 rail-to-ship 스프레더는 한번에 두 개의 20 ft 컨테이너를 처리할 수 있는 장점이 있다. 현재 이 시스템은 노스캐롤라이나의 서니 포인트의 Military Ocean Terminal의 컨테이너 크레인에 사용되고 있다.

2.2.2 Tandem Twin Spreader

Fig. 3는 tandem forties 스프레더를 나타낸다. tandem twin 스프레더는 20 ft 컨테이너 두 개를 집을 수 있는 것과 40 ft 컨테이너 두 개를 집을 수 있는 것이 있다. 이 시스템은 Fig. 3에서 보듯이 중 방향으로 컨테이너를 두 개 집어서 처리할 수 있으므로 두 대의 독립적인 트레일러에 하역이 가능하다는 장점이 있다. 현재 tandem twenties 스프레더는 사용 중에 있으며, tandem forties 스프레더는 중국의 ZPMC사가 두바이항의 컨테이너 크레인에 적용시키기 위해 설계되고 있다 (Bhimani and Jordan, 2003).

2.2.3 Intelligent Robotic Spreader

미국의 August사의 지능로봇 스프레더는 6자유도의 로봇구조

로 되어 있기 때문에 조류의 영향이나 바람의 영향 등 외부환경에 관계없이 하역작업이 가능하다([www.august-design.com](http://www.august-design.com)). 지능로봇 스프레더는 두 가지의 큰 특징이 있다.

첫 번째는 전자제어에 의한 6자유도의 스프레더에 의해 앞뒤, 좌우 흔들림이나 비틀림 현상에 대해서도 선형적인 작업을 할 수가 있다. 이것은 기존의 컨테이너 크레인이 할 수 없었던 작업환경에서도 작업이 가능하게 한 것이다. 두 번째는 레이저 센서를 사용하여 컨테이너의 정확한 방향과 위치 파악이 가능하기 때문에 이를 바탕으로 6자유도의 스프레더가 정확하게 자동으로 컨테이너를 양하역할 수 있다.

3. 차세대 컨테이너 크레인

미래의 컨테이너 물류수송은 10년 이내에 출현하게 될 것으로 예상되는 초대형 컨테이너선(15,000 TEU급)에 의해서 대부분 이루어질 것으로 예상되고 있다. 이러한 컨테이너 선박들이 접안하는 허브항만에서는 단시간에 많은 컨테이너를 처리할 수 있는 차세대 컨테이너 크레인이 요구된다. 즉, 기존의 컨테이너 크레인보다 더 빠르고, 더 정확하며, 최대시간당 100 moves/hr의 하역성능을 가지는 고속의 차세대 컨테이너 크레인이 개발되어야 하겠다.

3.1 차세대 컨테이너 크레인의 구조

본 논문에서 제안하는 수평-수직 순환하는 컨테이너 크레인은 dual-hoist dual-trolley 시스템을 기본으로 하고 있으며, 가장 큰 특징은 기존의 크레인에서 트롤리가 이동하는 범을 차세대 컨테이너 크레인에서는 3단 트러스트 범의 구조를 갖도록 하는데 있다. 즉, 상단 범은 해측트롤리의 이동을 위해서, 중단과 하단 범은 자체 구동력을 가진 스프레더의 순환이동을 위해 구성된다. 그리고 제안된 컨테이너 크레인은 기존의 크레인의 portal 범을 육측트롤리가 이동하는 범과 자체 구동력을 가진 스프레더가 위치하는 2단으로 설치한다. Fig. 4는 수평-수직 순환하는 차세대 컨테이너 크레인의 개념도를 보이고 있다.

먼저, 컨테이너 선박으로부터 트레일러로의 하역작업을 살펴보면, 3단 트러스트 범 구조 중에서 상단범의 트롤리의 호이스트부가 스프레더를 통해 컨테이너 선박의 컨테이너를 하단범까지 들어 올

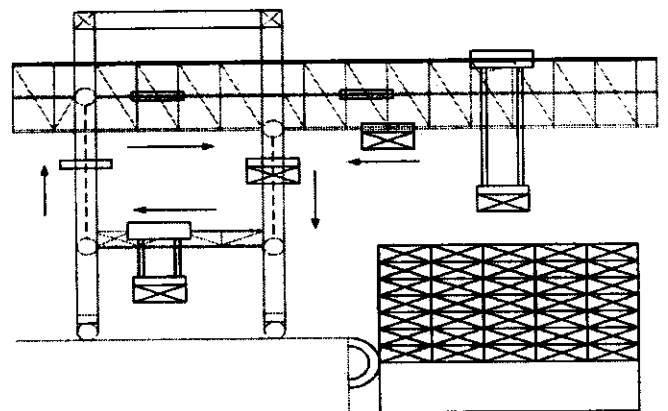


Fig. 4 A horizontal-vertical rotative container crane

리면 스프레더와 호이스팅부의 헤드블럭간에 결합이 해제되고 이때 스프레더는 하단봄과 주탑기둥을 통해서 육축트롤리가 있는 2단의 portal봄 구조 중에서 하단으로 컨테이너를 가지고 이동하게 된다. 이후 육축트롤리의 헤드블럭부와 스프레더와 결합한 후 컨테이너를 트레일러로 내려놓게 된다. 트레일러에서 컨테이너 선박으로의 하역작업은 반대로 행해진다. 수평-수직 순환하는 차세대 컨테이너 크레인은 다수의 자체 구동력을 가진 스프레더를 사용함으로써 하역능률을 극대화하고 전체의 하역작업을 분업화함으로써 하역효율을 최대화시켰다고 할 수 있다.

### 3.2 Dual-Hoist and Dual-Trolley System

최대 시간당 100 moves/hr를 실현시키기 위한 차세대 컨테이너 크레인은 듀얼-호이스트 듀얼-트롤리 시스템을 갖춰야 하겠다. 그 이유는 컨테이너 크레인의 대형화에 따른 트롤리의 작업이동거리 및 호이스팅 거리의 증가 및 호이스팅 거리의 증가에 따른 컨테이너의 흔들림이 하역생산성을 나쁘게 하는 주된 요인으로 분석되고 있다. 따라서 수평-수직 순환하는 차세대 컨테이너 크레인은 듀얼-호이스트 듀얼-트롤리 시스템을 통해 기존의 컨테이너 크레인의 트롤리의 작업경로를 분업화하여 작업시간을 줄임으로써 하역생산성을 극대화하고, 컨테이너의 모든 하역작업이 선형으로 이루어지기 때문에 컨테이너의 흔들림이 발생하지 않는다는 장점도 가지고 있다.

### 3.3 주요 치수

#### 3.3.1 Outreach

컨테이너 크레인의 outreach는 컨테이너 선박의 선폭에 가장 큰 영향을 받는다. Table 3은 컨테이너 선박의 대형화에 따른 컨테이너 크레인의 outreach 길이의 변화를 나타내고 있으며, 본 논문에서 목표로 하는 미래의 초대형 컨테이너 선박(15,000 TEU)은 선폭이 69 m, 길이 400 m, 갑판열수는 28열의 규격을 가지게 될 것이며, 적재 능력은 화물창 내 10 ~ 11 단적, 갑판 6 ~ 7 단이 될 것이다. 따라서 제안된 컨테이너 크레인의 outreach 길이는 초대형 컨테이너 선박의 선폭이 69 m이고, 트롤리의 속도를 제어할 위한 overrun 거리를 1 m로 가정하고, 해측의 레일에서 접안되는 선박까지의 거리(setback)가 8 m임을 감안한다면 78 m로 제안한다.

#### 3.3.2 Backreach

해치커버 혹은 컨테이너를 육축 레일 바깥으로 이송할 경우 필요한 거리로서, 크레인의 안정성을 위해 outreach의 3분의 1인 25 m로 제안한다.

#### 3.3.3 다리 간극(Clearance between the legs)

현재 컨테이너의 길이는 12 m ~ 14 m이지만 미래의 컨테이너는 16 m까지 증가할 것이다 (Jordan, 2001). 그리고 컨테이너의 각 사이드 가이드의 동작범위가 1.8 m이므로 컨테이너 크레인의 다리 사이의 거리는 컨테이너가 안정하게 하역될 수 있는 21 m로 제안한다.

Table 3 Variation of outreach length of container cranes

선박의 크기	별칭	선박의 규격				크레인의 outreach (m)
		길이(m)	깊이(m)	홀수(m)	선폭(m)	
4,000 TEU	Panamax	260	23.6	12.5	35.0	39
6,000 TEU	Post-Panamax	263	24.0	14.0	40.0	45-47
8,000 TEU	Super-Panamax	325	27.1	14.5	46.0	48-55
12,000 TEU	Suezmax	400	31.0	17.0	50.0	65
15,000 TEU	Malacamax	400	35.0	21.0	69.0	78

Partial source : Payer (1999) and Wijnolst et al. (1999)

#### 3.3.4 레일 위 높이(Lift above rail)

컨테이너 크레인의 대형화에 따른 부두의 레일에서 트롤리까지의 높이의 증가는 컨테이너의 흔들림제어를 어렵게 만들고 있다. 그러므로 차세대 컨테이너 크레인은 최소의 높이를 가져야 할 것이다. 미래에 출현할 25열의 15,000 TEU급 컨테이너 선박은 16열의 APL (American President Lines)사의 C10 컨테이너 선박보다 깊이는 12 m, 높이는 8 m정도 더 클 것으로 예상되고 있다. 따라서 현재 부두에서 16열의 APL사의 C10 컨테이너선박에 대응하는 컨테이너 크레인의 높이가 40 m이므로 미래의 차세대 컨테이너 크레인의 부두레일에서 트롤리까지의 높이는 48 m, 배 밑바닥부위의 높이는 최소 75 m가 되어야 할 것이다.

#### 3.4 하역 성능

일반적으로 컨테이너 선박의 20 ft 컨테이너 하나당 최대 평균이송 중량은 약 12 long tons, 40 ft 컨테이너의 최대 이송중량은 약 24 long tons이기 때문에 컨테이너 크레인의 하역중량 역시 컨테이너 선박의 이송중량과 비슷하다. 그리고 컨테이너 크레인은 최대하역 중량은 설계된 부두암벽하중 및 레일하중에도 제약을 받는다. 하지만 미래의 컨테이너의 길이는 16 m까지 증가할 것으로 예상되고 있고, 총 적재중량도 40 ~ 50 long tons으로 증가할 것으로 예상된다. 따라서 자동화 항만을 위해 제안된 수평-수직 순환하는 컨테이너 크레인은 약 60 long tons의 하역성능을 가지고 있으며, twin forties spreader를 사용할 경우에는 각 스프레더당 60 long tons, 최대 120 long tons의 하역성능을 가지도록 제안한다.

#### 3.5 트롤리와 호이스트의 속도

컨테이너 크레인에서 생산성을 높이는 가장 좋은 방법은 컨테이너를 하역하는 한주기 시간을 최소화 하는 것이다. 컨테이너를 선박의 홀 안이나 트레일러로부터 얼마나 빨리, 정확하게 포착하고 집어서 하역하려는 곳으로 정확하고 빠르게 이송하면서도 비용 또한 최소화해야 한다 (Bhimani et al., 1996). 그 중에서 트롤리의 이동속도와 호이스트의 속도는 생산성 향상에 직접적인 영향을 미친

Table 4 Present and future container cranes

Specification	Present (2003)	After 10 years (2013)
Moves per hour	30 moves/hr (average, Busan)	120 moves/hr (max), 75 moves/hr (avg)
Trolley and hoist mechanism	Single trolley (Port Busan)	Dual-hoist and dual-trolley
Outreach	53 m (6,400 TEU급)	78 m (15,000 TEU급)
Trolley type	Rope-towed type	Machinery type
Average speed of the trolley (hoist)	90 mpm (72 mpm)	350 mpm (250 mpm)
Position accuracy of the trolley (hoist)	± 20 mm (± 50 mm)	± 10 mm (± 10 mm)
Position calibration of the containership	No	Yes

다. 초대형 컨테이너 선박에 대응하면서 최대시간당 100 moves/hr를 실현하기 위해서 수평 수직 순환하는 컨테이너 크레인의 호이스트 평균 스피드는 250 mpm, 트롤리의 평균 스피드는 350 mpm로 제안한다.

### 3.6 내구성

일반적으로 컨테이너 부두의 컨테이너 크레인은 고장시간 없이 계속해서 작업할 수 있어야 한다. 일반적인 컨테이너 크레인의 수명은 설계 시에는 약 50년이지만 실제 운영되는 수명은 30년 정도이다 (Jordan, 2001). 차세대 컨테이너 크레인은 적어도 2백만 번의 들어 올리고 내리는 사이클 및 약 30년 동안 200,000개의 컨테이너를 처리할 수 있는 내구성을 가지도록 설계되어야 한다. 또한 구조물의 피로 및 진동에 대한 영향을 조사하고 분석하여 컨테이너 크레인의 수명을 최대화 시켜야 하겠다.

### 3.7 안정성

컨테이너 크레인은 안정성을 위해서 랜트리스시스템에 평형장치를 설치하고 있으며, 진동이나 피로에 의한 뒤틀림 등을 보강하기 위해서 보조링크시스템을 설치하고 있다. 또한 컨테이너 크레인의 안정성 기준은 outreach 길이와 rail gage 길이의 비가 2대 1 또는 3대 1이 되어야 한다 (Bhimani and Jordan, 2003). 그리고 대부분의 컨테이너 크레인의 사고는 붐의 중량 및 트롤리의 중량을 과소평가하여 운행하는 중에 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근에는 소프트웨어를 통한 시뮬레이션으로 컨테이너 크레인의 진동특성 및 피로해석을 통해 안정성을 평가하고 있다.

이제까지 검토된 내용들을 Table 4에 요약한다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 10년 이내에 출현하게 될 것으로 예상되는 초대형 컨테이너 선박(15,000 TEU급)에 대응하기 위한 차세대 컨테이너 크레인에 대한 설계기준을 기존의 컨테이너 크레인에 대한 논문 및 보고서에 나타난 문헌들을 분석하여 제시하였다. 제안된 수평-수직

순환이 가능한 차세대 컨테이너 크레인은 듀얼- 호이스트, 듀얼-트롤리스시스템을 갖추고 있으며, 자체 구동력을 가진 다수의 스프레더의 순환에 의해서 컨테이너를 고속, 자동으로 양하역한다. 각 부분별 규격은 outreach가 78 m이고, backreach는 25 m이고, 호이스트 평균속도는 250 mpm, 트롤리의 평균속도는 350 mpm로써, 평균 75 moves/hr의 하역생산성을 실현할 수 있으므로 목표로 하는 초대형 컨테이너 선박에 대응할 수 있다. 향후 연구는 제안된 차세대 컨테이너 크레인의 구조해석을 통한 안정성 및 안전성 문제를 평가할 것이다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실사업 (과제번호: MI-0302-00-0039-03-J00-00-023-10)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

본 논문의 내용 전개를 초대형 선박의 관점에서 다시 살펴볼 수 있도록 세심하게 심사하여 주신 익명의 심사위원님께 감사의 말씀을 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 강민우, 홍금식 (2004). "시간체적제어를 이용한 지브크레인의 흔들림제어", 한국해양공학회지(심사중).
- 남기찬, 이재현 (2002). "초대형 컨테이너 선박에 대한 이론적인 고찰", 한국항해항만학회지, 제26권, 제4호, pp 455-463.
- 손유식, 김영복 (2000). "컨테이너 크레인의 흔들림 방지장치 개발에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제14권, 제4호, pp 35-42.
- 신민생, 이충환, 김상봉 (1998). "컨테이너 하역장에서 고속운송을 위한 크레인시스템의 개발", 한국해양공학회지, 제12권, 제4호, pp 124-131.
- 이진우, 여태경, 안휘웅, 김상봉 (1998). "2자유도 서보제어를 이용한 크레인의 Anti-Sway 제어", 한국해양공학회지, 제12권, 제4호, pp 17-23.
- 홍금식, 손성철, 이만형 (1997a). "컨테이너 크레인의 흔들림제어 (part I): 모델링, 제어전략, 기준선도틀 통한 오차 피이드백 제어", 제어.자동화.시스템공학논문지, 제3권, 제1호, pp 23-31.
- 홍금식, 손성철, 이만형 (1997b). "컨테이너 크레인의 흔들림제어 (part II): 트롤리 주행속도 조절을 통한 진자운동의 제어", 제어.자동화.시스템공학논문지, 제3권, 제2호, pp 132-138.
- 홍금식 (1999). "컨테이너 기중기의 제어: 수정된 시간체적주행과 비선형 잔류흔들림 제어", 제어.자동화.시스템공학논문지, 제5권, 제5호, pp 630-639.
- 한국기계연구원, 현대중공업(2004). 첨단항만 핵심기술 개발보고서, 해양수산부.
- August Design, LLC., Advanced Robotic Crane for Container Handling, <http://www.august-design.com>
- 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, No 15-17 pp 1-9.

- Bhimani, K., Morris, C.A. and Karasuda, S. (1996). "Dockside Container Crane Design for the 21st Century", Container Efficiency Conference World Trade Center, Singapore.
- Bhimani, K. and Hoite, S. (1998). " Machinery Trolley Cranes", PORT'98 Poceedings of the Conference American Society of Civil Engineers, Long Beach, pp 603-613.
- Bhimani, K. and Jordan, M.A. (2003). A Few Facts about Jumbo Cranes, <http://www.liftech.net>
- Jordan, M.A. and Rudolf III, C.D. (1993). "New Container Crane Concepts", The Facilities Engineering Seminar American Association of Port Authorities, Savannah, Georgia, pp 1-15.
- Jordan, M.A. (2001). Future-Proof Your Crane, <http://www.liftech.net>.
- Kim, Y.S. (2002). Control Systems for Suppressing Sway of a Suspended Load without a Vision System, Ph.D. Dissertation, Department of Electrical Engineering, Seoul National University.
- Hong, K.T., Huh, C.D. and Hong, K.S. (2003). "Command Shaping Control for Limiting the Transient Sway Angle of Crnae Systems", International Journal of Control, Automation, and Systems, Vol 1, No 1, pp 43-53.
- Hong, K. S., Park, B. J. and Lee, M. H. (2000). "Two-Stage Control of Container Cranes", JSME International Journal, Series C, Vol 43, No 2, pp 273-282.
- Morris, A. and Hoite, S. (1997), "The Future of Quayside Container Cranes", China Ports'97 Post Conference WorkShop.
- Paceco INC., Paceco's Company Profile, <http://www.pacecocorp.com>.
- Payer, H. (1999), "Feasibility and Practical Implications of Container Ships of 8000 TEU and Beyond", Terminal Operation Conference and Exhibition, Genoa.
- Rankine, G. (1999), "Innovative Terminal Design-Developing Docking Systems", Terminal Operation Conference and Exhibition, Genoa.
- Ward, T. (1998), "Two-sided Container Ship Operations", Terminal Operation Conference and Exhibition, Dubai.
- Wijnolst, N., Schlotens, M. and Waals, F. (1999), Malacca-Max The Ultimate Container Carrier, Delft University Press.

---

2004년 6월 10일 원고 접수

2004년 10월 27일 최종 수정본 채택