

ATC의 Anti-Sway를 위한 기구적 고찰

김두형* · 박경택* · 박찬훈* · 신영재*

A Study on a Structure of Obstacle Detection System of AGV for Port Automation

D. H. Kim · K. T. Park* · C. H. Park* · S. H. Kim**

Key Words : Container Crane, Container, Automatic Transfer Crane, Anti-Sway

Abstract

Productivity of container cranes and gantry cranes is influenced by the performance of crane hardware and cycle time. Cycle time in container handling is influenced by the path of containers and relative positioning of containers. So we have to minimize the sway of containers and spreaders to minimize relative positioning time. And sway minimization is influenced by the skill of workers in manual gantry cranes. In this paper, we will survey some anti-sway systems. Each system has some merits and some shortages. And we will show our choice and its experimental equipment which is under construction.

1. 서론

TC(Transfer Crane)의 생산성은, 장비 자체의 성능과 더불어 개별 컨테이너 핸들링의 Cycle Time

에 크게 영향을 받는다. 컨테이너 이/적재시의 Cycle Time은 컨테이너의 이/적재 궤적과 이/적재 직전의 컨테이너와 스프레더, 또는 컨테이너와 컨테이너 사이의 상대위치 조정시간에 의해 좌우된다.

* 한국기계연구원

이중 가장 많은 영향을 받는 쪽은 후자라고 할 수 있다. 따라서 상대위치 조성시간의 단축을 위해서는 스프레더, 또는 스프레더와 컨테이너의 흔들림을 최소화해야 하고 이 흔들림 최소화는 작업자에 의한 수동조작 크레인의 경우 작업자의 기술 및 기능에 의존하고 있다. 따라서 크레인의 무인화는 이러한 흔들림의 최소화가 핵심이 된다. 이러한 흔들림 최소화에 관한 연구는 매우 많은 연구자들에 의해서 진행되어온 연구 테마이기도 하다. 그러나 현재로서는 만족할 만한 연구 결과가 얻어지지 않고 있다. 본 논문에서는 Anti-Sway를 위한 다양한 Systeme 들을 소개하고 또한 이들의 장단점을 분석하고자 한다. 또한 이 결과를 바탕으로 우리들이 선택하고 결정된 구조를 바탕으로 제작중인 실험 장치에 관해서도 소개하고자 한다.

2. 로우프식 크레인

대부분의 기존의 크레인은 컨테이너의 이송을 로프 구동에 의해서 수행한다. 즉 일반적으로 로프를 컨테이너에 걸고 이것을 감아 올림으로써 컨테이너를 들어 올리고 반대로 감아 내림으로써 컨테이너를 내려놓는다(Fig. 1). 이러한 구조는 기구적으로 매우 단순할 뿐만 아니라 매우 큰 하중의 컨테이너도 쉽게 다룰 수 있다는 장점이 있다. 그러나 로프는 수평방향의 외란 및 컨테이너의 관성력을 지지할 수 없으므로 컨테이너의 취급 중에 흔들림이 반드시 발생하며 이 흔들림을 얼마나 신속히 감쇠하느냐가 크레인 제어의 핵심이 되어왔다. 흔들림의 감쇠를 위해서는 주로 흔들림 발생시에 컨테이너에 묶여있는 보조 로프의 장력 변화를 측정해서 그 장력을 적절히 조절해서 흔들림을 억제하거나 미리 막아 보려는 노력이 진행되고 있다. 로프 권상 장치를 싣고 있는 트롤리의 가속도를 조절해서 흔들림을 억제하려는 노력을 비롯해서 다양한 방식의 시도 또한 활발히 이루어져 오고 있다[1][2]. 최근에 와서 제어 이론과 동력원 기술의 발달로 로프 구동 방식을 사용함으로써 필연적으로 발생하는 컨테이너의 흔들

림 제어에 있어서 많은 발전이 이루어져서 생산성이 상당한 수준까지 향상되었다. 그러나 이것이 완전한 무인 운전을 가능하게 하지는 못하고 있다. 흔들림을 최대한 억제하기 위해서 컨테이너의 수직 상승, 수평 이동, 수직 하강 등의 극단적인 운전 전략이 행해짐으로 해서 컨테이너의 흔들림을 상당한 수준까지 줄여 줄 수는 있지만 근본적인 해결책이 될 수는 없다.

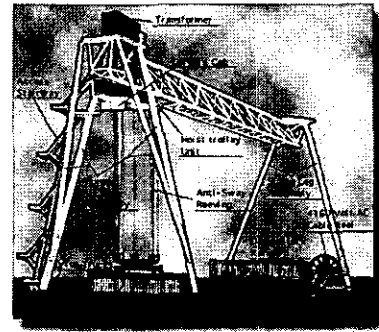


Fig. 1 기존의 로우프식 크레인

3. ECT/Sea-Land Crane

외란 및 컨테이너의 관성력을 이기기 위해서는 기본적으로 컨테이너를 지지하는 장치가 수평 방향의 힘을 지지할 수 없는 로프보다는 수평방향의 힘을 지지할 수 있는 강체에 가까운 장치가 유리하다. ECT/Sea-Land 터미널에서 사용되는 크레인은 기구식 크레인의 좋은 예이다. Fig. 2에서 보이는 것처럼 2 자유도의 팔 2 개를 사용해서 컨테이너를 들어 올리는 장치로 구성되어 있다. 로프를 이용하는 권상 장치와는 달리 큰 강성을 가지는 구조물을 이용하는 장치이므로 관성력에 의한 컨테이너의 흔들림을 원천적으로 막는 것이 가능하다. 그러나 크레인의 전체 무게가 매우 무거워지며 따라서 제작비 또한 상승한다는 단점이 있다. 이러한 단점에도 불구하고 로프 구동 크레인에 비해 무인 운전을 위한 요

구 조건들을 비교적 충분히 만족시킬 수 있으므로 ECT/Sea-Land 터미널에서 상용화되어서 성공리에 사용되고 있다. 그러나 이 모델은 3단 이하의 적재만이 가능하다는 근본적인 단점을 가지고 있다. 3단 이상의 이재 및 적재에서는 지상의 컨테이너들과 크레인 팔의 간섭이 발생하게 된다(Fig. 3). 따라서 고단적재를 목적으로 할 경우에는 적절하지 못하다.

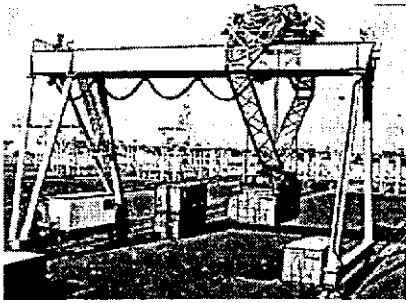


Fig. 2 ECT/Sea-Land의 크레인

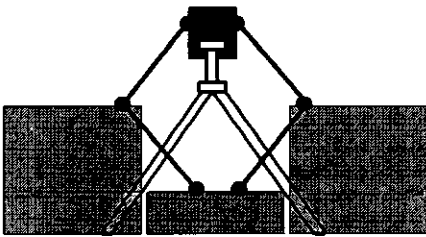


Fig. 3 컨테이너와 크레인 팔의 간섭

4. 수직 Beam을 이용한 방식

3장에서 소개된 ECT/Sea-Land Terminal의 ATC의 단점을 극복하고자 본 논문의 저자들은 문헌[3]을 통해서 새로운 형태(Fig. 4,5)의 기구적으로 스프레더를 구축하는 크레인을 제안하고 간단히 해석해본 바가 있다. Fig. 4는 크레인이 컨테이너를 들어올리기 위해서 최대한 아래로 내려간 자세이고 Fig. 5는 컨테이너를 최대한 들어 올린 형상이다.

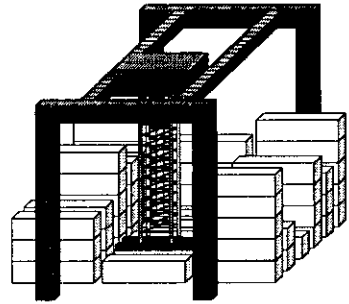


Fig. 4 수직 Beam을 이용한 방식의 개념도

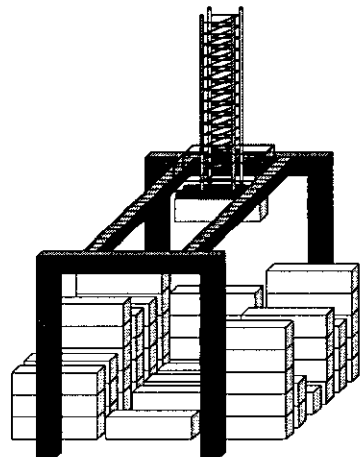


Fig. 5 수직 Beam을 이용한 방식의 개념도

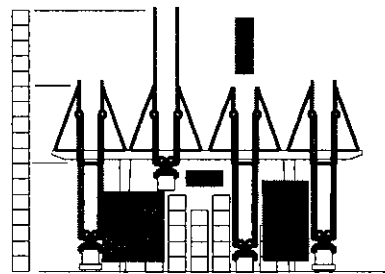


Fig. 6 포물선 상승, 포물선 하강

로프 구동 크레인과 달리 수직 방향으로 설치된 강체에 의해서 컨테이너의 흔들림을 방지하는 특징을 가진다. 또한 ECT/Sea-Land 터미널의 크레인과의 달리 관절형이 아니기 때문에 고단 적재의 경우에도 컨테이너와 크레인의 팔이 간섭을 일으키지 않는다. 새로운 구조의 크레인의 좀더 세부적인 구조가 Fig. 6, 7에 잘 설명되어있다. 우선 Fig. 7을 살펴보자.

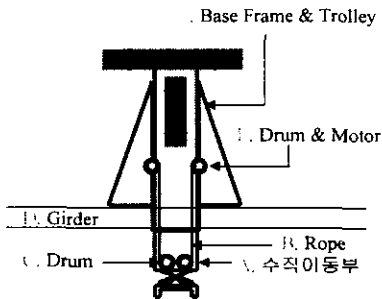


Fig. 7 상송·하강 장치의 개념도

기존의 크레인과의 유사하게 트롤리(F)는 거더(G)를 따라서 횡행 운동을 한다. 그러나 기존의 크레인과는 달리 트롤리의 중심에는 수직 이동부(A)가 수직 방향으로 자유로이 움직일 수 있도록 가이드하는 장치가 있다. 또한 트롤리와 수직 이동부에는 각각 드럼(E, C)이 부착되어 있고 트롤리에 부착된 드럼에는 모터가 연결되어 있다. 두 개의 드럼(E, C)은 로우프로 연결되어 있어서 드럼E가 모터에 의해서 감기거나 풀리면 수직 이동부(A)가 상승되거나 하강된다. Fig. 6은 AGV가 도착했을 경우부터 컨테이너를 야드에 실어 내리기까지의 작업(혹은 반대의 작업)을 간단히 보여준다. Fig. 6에서 실제 크레인의 크기를 컨테이너의 크기와 비교할 수 있도록 그림의 좌측에 컨테이너를 수직으로 쌓아 두었다. 요약하면 컨테이너의 상승 및 하강은 로우프를 감아주거나 풀어주는 작업에 의해서 이루어지고 컨테이너의 관성력에 의해 수평 방향으로 발생하는 힘은 수직 이동부의 강성에 의해서 억제된다. 기하

학적인 형상을 생각해보면 쉽게 알 수 있겠지만 ECT/Sea-Land 터미널의 크레인과의 달리 고단 적재시에 주위의 컨테이너와 수직 이동부(크레인의 팔)가 간섭을 일으키지 않으므로 고단 적재에 적합한 구조이다. 다만 적재 단수가 많아질수록 수직 이동부의 길이가 길어져서 수평 방향의 강성을 키우기 위해서는 수직 이동부의 중량이 지나치게 무거워진다는 단점이 있다.

5. Scissor 방식

4장에서 설명된 방식이 수직이동부의 무게가 지나치게 무거워 지는 단점을 가지는 것을 극복하기 위해서 문헌[4]에서는 Fig. 8에 보이는 것과 같은 Scissor 방식이 검토되었다.

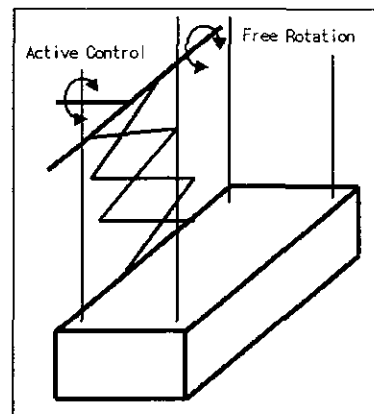


Fig. 8 Scissor 방식

이 방법은 4장에서 설명된 방식과 유사하지만 수직이동부가 Scissor Type으로 설계되어 스프레더의 상승시 접혀지고 하강시 펼쳐지게 되어있다. Spreader의 4면에 모두 설치 되는데 각각의 Scissor는 수직방향으로는 구동력을 받지 않고, 평면 방향으로는 큰 특징으로는 우선 기구적으로 흔들림을 구속할수 있을 뿐만아니라 Spreader의 4면에 모두 설치 할 경우 미소 위치 조정이 가능하다는 것이다.

더욱이 4장에서 제안된 방식에 비해서 중량이 줄어 든다는 장점이 있다. 실제로 적재안내장치(Stacking Guidance)의 설계이 이러한 Scissor Type의 구조물 이용된 사례도 있다. 그러나 10~20m의 Stroke를 가지는 Scissor Type의 수직 이동부를 설계하는 것은 매우 어려운 일이다.

6. Vertical Multi-Guidance 방식

이 방식은 4장과 5장의 단점을 극복하고자 문헌 [4]에서 제안되고 검토된 방식이다. Fig. 9,10 에서와 같이 Vertical Multi-Guide 방식은 수직 Guide를 겐트리의 Girder에서 시작하여 수직으로 매달고 Spreader의 위치를 기계적으로 구속시켜 정확한 Positioning을 하게할 수 있다는 것이 장점이다. Vertical Multi-Guide 는 겐트리가 주행시에 컨테이너 사이를 빠져 다닐 수 있는 굵기와 스프레더의 진동시 이를 구속할 수 있는 강도를 가질 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 Horizontal Guide Bar 는 네 곳의 끝단에 Vertical Multi-Guide를 따라서 Sliding 할 수 있는 소형모듈을 고안하여 설치하여야 한다.

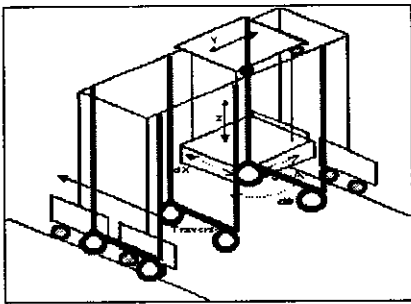


Fig. 9 Vertical Multi-Guidance

이 방식에 있어서의 문제점으로는 다수의 Vertical Guide가 Gantry의 주행시 지면과의 접촉부분이 원활하게 구름운동이 가능해야 하나, 지면의 수평도를 확보하기가 곤란하고 지면의 요철을 흡수하기 위한 Vertical Guide 부의 설계가 복잡해지고 운전의 신뢰성 확보와 강도 면에서 이의 실현이 어

렵다는데 있다.

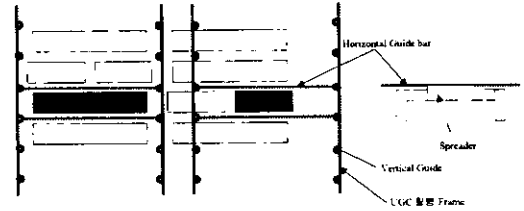


Fig. 10. Vertical Multi-Guidance의 평면도

7. Separated Anti-Sway Rope 방식

3,4,5,6장에서 언급된 것처럼 기구적으로 스프레더를 구속하는 방식은 스프레더 흔들림의 원천적인 봉쇄가 가능하다는 점에서 매우 유리하다. 그러나 3장에서 검토된 방식은 고단적재가 불가능하고, 4,5,6장에서 검토된 방식은 실제 제작에 있어서 경제적 측면, 혹은 기술적 측면에서 어려움이 있었다. 따라서 문헌[4]에서는 이러한 기구적인 구속방법 대신 현재 항만에서 사용되는 크레인과 마찬가지로 로프로 구동되는 형태의 크레인을 발전시킨 형태의 크레인을 Fig. 11과 같이 제안하고 검토했다.

이 방식은 Fig. 11에서와 같이 권상 Main Rope의 Trolley는 현재의 시스템과 같고 보조 Rope부분만이 분리되어 움직일 수 있도록 하며 분리 Rope의 구동에는 Rack-Pinion을 사용한다. 이것은 제안된 시스템은 두 개의 분리된 보로로프 구동 Trolley와 메인 Trolley 간의 동기가 매우 중요하기 때문이다. 원리를 간단히 설명하면 Container의 이동 시작 시에는 Container가 뒤로 치지므로 선두 Rope가 앞으로 나가 끌어당기게 하고, 목표한 위치에서 정지 시에는 Container가 앞으로 나가므로 뒤의 Rope가 뒤에서 끌어 당겨 항상 주 권상 Rope가 수직 평행을 유지하도록 제어한다. 이 방식에서 가장 큰 문제는 메인 트롤리와 2개의 분리된 트롤리간의 동기 문제이다. 제작비용의 측면에서, 기술적 측면에서 이

것은 어려운 문제가 된다.

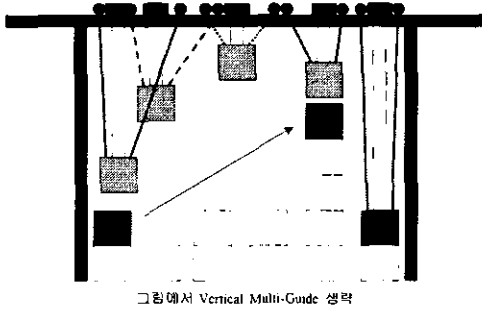


Fig. 11 Separated Anti-Sway Rope 방식

8. Canonical Pivot 방식

이 장에서 소개하는 방법은 스프레더가 컨테이너를 잡은후에는 어떤 경우든지 스프레더를 크레인의 최상부까지 들어 올려서 흔들림을 억제하는 방식이다. Conical Pivot 방식의 기본적인 개념도를 Fig. 12에서 보여주고 있다. Container는 직각운동, 즉 Container의 적재위치에 관계없이 Spreader는 최 상단까지 Lifting되는 것을 전제로 하고 Trolley의 이동시 Trolley와 Spreader 사이를 기구적으로 구속함으로써 Spreader의 흔들림을 방지하는 기구 형태이다. 이 구조의 실현을 위해서는 Rope의 Reeving 형태를 변경하고, Trolley의 고정 Sheave를 가능한 한 위로 이동시켜 Trolley와 Spreader 사이의 간격을 좁혀줄 필요가 있다. 그림에서와 같이 Spreader에는 원추 Bar를 설치하고 Trolley에는 원추 Bar의 Holding용 구멍을 설치하여 Spreader가 최 상단까지 상승했을 때, 서로 기구적으로 결합되도록 한다. Fig. 13, 14는 Conical Pivot의 변형 형태이다. Fig. 13, 14의 개념은 Spreader가 최 상단까지 상승했을 때 바람 등 외부의 요인에 의해 Spreader에 진동이 발생하여 Spreader의 Cone 형태의 Bar가 Trolley의 구멍에 결합되지 못할 경우를 방지하기 위하여, Bar의 상측 선단부를 Rope에 의해 Trolley의 구멍으로 유도함으로써 결합구속을 확

실하게 보장할 수 있다.

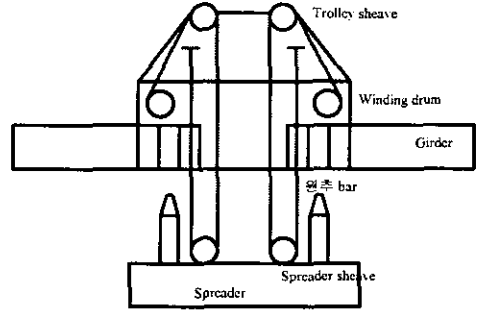


Fig. 12. Conical Pivot의 개념

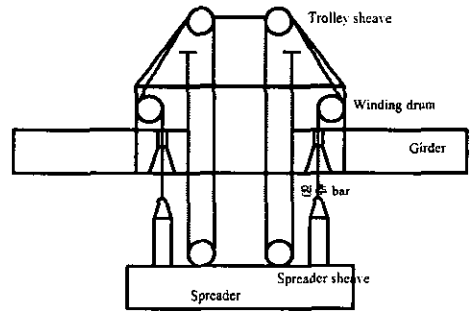


Fig. 13. Conical Pivot의 변형(I)

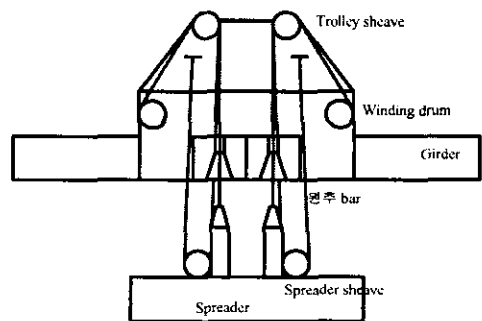


Fig. 14. Conical Pivot 변형(II)

Fig. 13은 Guide Rope가 Drum에 직접 감기는 형태이며 이는 Spreader의 상승 및 하강에 따라 Drum 에서의 감기는 위치가 이동함으로써 Guide

Rope의 길이 변화가 발생하게 된다. 이의 보완을 위해서 보조 Rope를 고정된 또 하나의 Sheave를 통과시켜 Main Drum에 감기게 한 것이 Fig. 14이다. 이 방식은 구조적으로도 간단하고 제작도 용이할 뿐만 아니라 흔들림 억제 성능도 매우 뛰어날 것으로 생각된다. 그러나 이 방식은 컨테이너 핸들링시에 포물선 운전이 아니라 수직운전을 해야하며 이것은 생산성의 약화로 이어진다는 단점을 가지고 있다.

9. 보조로프 직접 구동 방식

보조로프 직접구동 방식은 그림15에서 구조를 볼 수 있는데 가장 큰 특징의 4개의 메인 로프 외에 추가로 4개의 보조로프가 부착되며, 이 보조로프들이 각각 모터에 의해서 별도로 구동된다는 것이다. 이 방식의 가장 큰 장점은 바람등의 외란에도 불구하고 흔들림을 억제하는 것이 가능하며, 보조로프의 개별 구동을 통한 스프레더의 미소운동이 가능하다는 것이다.

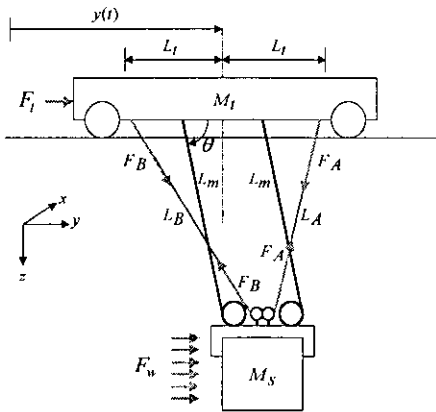


Fig. 15 보조로프 직접구동방식

Fig. 15에는 보조로프 제어방식을 사용하는 크레인인 트롤리와 스프레더에 대한 간단한 구조를 보여준다. 보조로프는 스프레더에 수평방향으로 힘을 가하기 위한 도구일 뿐 컨테이너의 상승 및 하강에는 기여하지 않는다. 즉, 보조로프에 연결된 모터의

토크를 제어함으로써 보조로프에 장력 F_A, F_B 를 가하게 된다. Fig. 15에서 각각의 기호의 의미는 아래와 같다.

$F_t(t)$: Trolley를 구동하는 외력

$F_w(t)$: 운반물에 가해지는 풍력

$F_A(t), F_B(t)$: 보조로프에 걸리는 장력

L_m : Hoisting Rope의 길이

L_A, L_B : 보조로프의 길이

L_t : 보조로프의 편심량

M_t : Trolley의 질량

M_s : Container, headblock 및 spreader의 질량

$y(t)$: Trolley의 위치

θ : Spreader의 흔들림 각

이제 관한 상세한 해석 결과는 문헌 [5][6]을 참고하기 바란다. 특징을 요약하면 다음과 같다.

- ① 발생된 Sway의 상태를 검출하여 Trolley에 의해 Sway를 제어하는 다른 방식과 달리 장력 검출에 의한 Sway의 사전 방지하는 구조이다.
- ② Main Rope는 항상 Vertical 하게 직선운동을 유지한다.
- ③ 장력제어를 위한 보조 구동원으로는 AC Motor를 사용한다. 따라서 유압기구를 사용하는 다른 모델과 달리 유지보수가 간편하고 시스템의 외관을 산뜻하게 유지할 수 있다.
- ④ Container의 Loading시 Spreader 자체의 미소이동과 Unloading시 Container를 잡고 있는 Spreader의 미소이동을 $\pm 250\text{mm}$ 이내에서 Fine Motion으로 이동할 수 있다.

본 연구에서는 보조로프 직접구동 방식이 여러 가지 면에서 가장 적합하다고 생각되었다. 따라서 최종적으로 보조로프 직접구동 방식을 채택했다. 다음 장에서는 채택된 방식의 타당성을 검증하기 위해

제작된 실험장치를 소개한다.

10. 실험장치의 설계

보조로프 직접 구동 방식을 실험하기 위해서 실험 장치를 디자인하였다. 실제로 상용화될 제품과 동일하게 4개의 보조로프로 구동되도록 설계되었다. 각각의 보조로프는 4개의 서보 모터에 의해서 구동된다. Fig. 16, 17, 18은 각각 실험장치의 평면도를 보여주고 있다.

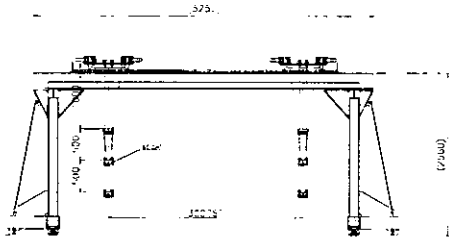


Fig. 16 실험장치의 정면도

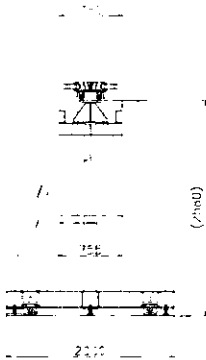


Fig. 17 실험장치의 측면도

실험장치는 횡방향의 운동만 가능하며, 횡방향으로는 3m까지 횡행할 수 있다. 트롤리부의 무게가 70kgf, 컨테이너의 무게가 30kgf 정도이다. 메인 로프의 길이는 1m, 1.5m, 2m로 단계별로 변화시켜가

면서 실험할 수 있다. 그러나 실험장치의 구성을 간단하게 하기위해서 메인 로프의 길이를 연속적으로 변화시킬 수는 없도록 했다. Fig. 18에는 4개의 서보 모터를 사용하는 보조로프 장력 제어부를 상세히 나타나 있다. 보조로프의 기하학적 배치는 실제 시스템과 유사하도록 디자인되었다. 실험장치의 완전한 제작은 다음해에 이루어질 계획이다. 현재 부분적으로 제작이 완료되어있다.

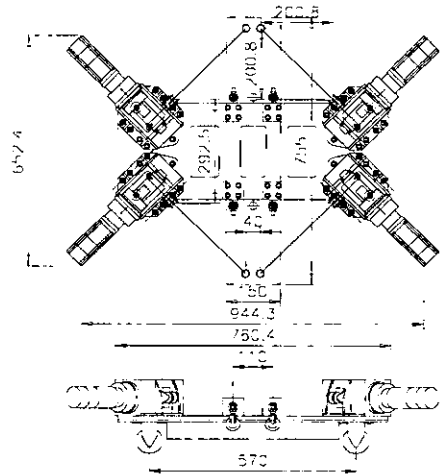


Fig. 18 트롤리부의 상세도

11. 결론

이상 검토한 바와 같이 Anti-Sway 장치의 기계 구조를 검토하고, 이를 바탕으로 보조로프 직접구동 방식을 최종적으로 선택하였다. 또한 선택된 최종 결론의 적합성을 검증하기 위한 실험장치를 설계하였다. 개발이 완료되면 문헌 [5][6]에서 본 저자들이 제안한 알고리즘을 개발된 실험장치를 사용해서 테스트 해 볼 것이다.

본 연구는 해양수산부 및 과학기술부에서 시행하는 중점국가과제 내용의 일부분입니다.

참고문헌

- [1] Alessandro Giua, Carla Seatzu, Giampaolo Usai, Observer-Controller Design for Cranes via Lyapunov Equivalence, *Automatica*, Vol. 35, No. 4, 1999, pp. 669-678.
- [2] K. S. Hong, S. C. Sohn, M. H. Lee, Sway Control of a Container Crane (Part I): Modeling, Control Strategy, Error Feedback Control via Reference Velocity Profiles, *Journal of Control, Automation and Systems engineering*, Vol. 3, No. 1, February, 1997, pp. 23-31.
- [3] 박찬훈, 박경택, 김두형, 신영재, 새로운 형태의 컨테이너 크레인의 개발에 관한 연구, 한국항만학회 춘계학술대회논문집, pp. 273~280, 1999
- [4] 한국기계연구원, 무인 갠트리 크레인 설계 및 제어 기술 개발, 2000
- [5] 박찬훈, 박경택, 김두형, 신영재, 야드 크레인의 컨테이너 흔들림 제어에 관한 연구, 한국항만학회 춘계학술대회논문집, pp. 64~71, 2000
- [6] 박찬훈, 박경택, 김두형, 보조로프를 이용한 갠트리 크레인의 흔들림 제어에 관한 연구, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 343~346, 2000