

UGC의 복합식 Anti-sway에 관한 연구

김두형* · 신영재* · 박경택* · 박찬훈* · 김태우**

A Study on the Anti-sway System of the UGC

D. H. Kim · Y. J. Shin · K. T. Park · C. H. Park · T. W. Kim

Key Words : 컨테이너 크레인(Container Crane), 컨테이너(Container), 트롤리(Trolley), 스프레드(Spreader), 흔들림 방지(Anti-sway), 무인 갠트리 크레인(Unmanned Gantry Crane)



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 develop anti-sway system using mechanical and electrical method. Proposed hybrid system uses the basic structure of general manual gantry crane. So, it is very useful and effective. Electrical methods are main methods and mechanical methods are auxiliary methods.

1. 서 론

컨테이너 크레인(CC) 또는 갠트리 크레인(GC)에서 컨테이너 핸들링의 생산성은, 장비자체의 성능과 더불어 개별 컨테이너 핸들링의 cycle time에 크게 영향을 받는다.

컨테이너 이적재시의 cycle time 은 컨테이너의 이적재 제적과 이적재 직전의 컨테이너와 스

프레더, 또는 컨테이너와 컨테이너 사이의 상대 위치 조정시간에 의해 좌우된다. 이중 영향을 많이 미치는 요인은 후자라 할 수 있다.

따라서 상대위치 조정시간 단축을 위해서는 스프레더, 또는 스프레더와 컨테이너의 흔들림을 최소화해야 하고, 이 흔들림 최소화는 작업자에 의한 수동조작 GC의 경우 작업자의 기술 및 기 능에 의존하고 있다. 본 연구에서 개발하고자 하

* 정회원, 한국기계연구원

** 현대중공업 플랜트 사업부

는 무인 갠트리 크레인(UGC)은 작업시 발생하는 sway 량을 최소화할 수 있는 anti-sway 시스템으로는 기계 및 전기식의 혼합방식이 현재로서는 가장 적합한 해결책이며, 본 연구에서는 이에 대한 연구 고찰을 한다. 여기서는 기계식이 주 기능 역할을 하게되고, 전기식은 보조적인 anti-sway 기능을 하게된다.

2. 연구 현황

Anti-sway 에 관하여 수집된 기존의 연구내용 및 현황을 아래에 정리한다.

2.1 Anti-sway 제어방법

- Trolley의 속도 제어(전기적 방법)

컨테이너 핸들링의 최적시간 속도선도를 도출하여 입력한다. System parameter (wire의 길이 등) 변화와 환경영향(바람등)은 외란으로 취급하며 주로 CC 에 적용되고 수직평면상의 거동을 모델링하고 해석하고 있다.

- Spreader의 장력 제어(전기적 방법)

스프레더의 상하 구동용 rope의 장력을 제어하여 sway 발생시 damping을 부여하거나, 주 rope의 지지점을 이동하여 container 의 anti-skew 및 강제 tilting 에 사용한다거나, 보조 rope의 장력을 검출하여 유압모터에 의한 제어를 수행한다.

- Spreader를 연결하는 보조 link 기구에 의한 강제구속(기계적 방법)

기구적인 link 관절의 백래쉬 및 강성 해석과 link의 구동방법이 연구되었고 telescopic link의 sliding guide 기구 및 강성 해석과 link 기구의 배치문제 및 경량화 설계가 중요 문제로 된다.

2.2 관련 논문

- 시간 최적제어

Trolley의 속도선도를 스프레더의 길이변화에 따라 가속-최대정속-감속형, 계단형, 사다리꼴, 노치형 속도선도등 미리 계산하여 open-loop으로

입력 지령하는 방식

- 최적 궤적제어

컨테이너의 이동궤적을 여러 단계로 분리하여 각 구간에서의 흔들림 각이 최소가 되도록 최적궤적을 계산하고 이들이 각각 주어진 경계조건을 만족하도록 최적 속도 기준입력 생성한다.

- 비선형 제어

Sliding Mode Control, Feedback Linearization Control, Adaptive Control 등이 발표되었다.

- 퍼지제어

크레인의 복잡하고 불확실한 거동에 대한 수학적 모델이 필요하지 않으며 운전자의 복잡한 운전 습관을 제어기로 모델링한다. 예전 퍼지제어 방식도 발표되고 있다.

- 유전알고리즘

Global optimization solver로서 사용되고 자동 학습기능 응용 및 개인 튜닝을 실시한 예도 있다.

2.3 관련 특허

컨테이너 크레인의 anti-sway에 관한 특허는 다음과 같은 것이 있다.

- Rope의 지지점 변경에 의한 Anti-sway 조정

- 기계실에서의 유압 및 모터에 의한 rope 장력제어

- 진동방지 속도형상의 계산 및 이의 구현 (open loop)

- Closed loop 에 의한 Trolley 의 속도 및 구동 torque 제어

- 기구적 가이드(Rigid gripper) 에 의한 강제 구속장치

- Roller chain 이용

- Sway 발생시 reel 의 brake 동작에 의한 sway 제어

- Trolley에서 rope 의 장력조정에 의한 방법

- Trolley에서 rope 지지점 변경에 의한 container 위치 미소조정

3. 겐트리 크레인 모델링 및 진동 해석

3.1 겐트리 크레인 모델링

진동해석에 사용된 시스템의 모델링 파라미터는 다음 표와 같다.

Parameter 명		Data
Main Frame	총 중량	105 T
	무게중심	
	주행속도	70/120(m/min)
Trolley	자체중량	6 T
	횡행속도	150(m/min)
	Motor 용량	30Kw, 1750rpm, 400V
Hoist	Lifting 속도	50/130(m/min)
	Drum 직경	1m
	Motor 용량	160Kw, 2600rpm, 400V
Spreader	자체중량	10 T
Container	최대중량	40 T

대부분의 논문에서는 크레인 시스템을 다음 그림 1과 같이 단순화하여 취급하고 있으나, 실제 모델인 그림2의 경우는 해석적인 방법으로 진동방정식을 구하기가 거의 불가능할 정도로 어렵다. 따라서 실제모델의 진동해석에는 컴퓨터에 의한 simulation이 불가피 하다. 그림3에 실제모델을 simulation 한 진동양상을 보여주고 있다.

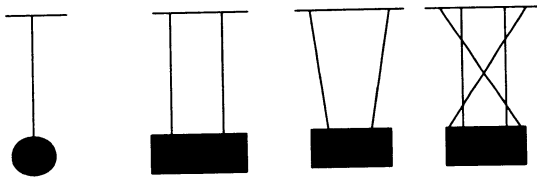


Fig. 1. Simple Model

Fig. 2. Actual Model

그림3의 a와b는 anti-sway rope의 sheave/drum 간 거리를 9m로 하고 a는 엇걸기, b는 평행걸기의 경우이다. c와 d는 sheave/drum간의 거리를 12m로 하고 c는 main rope를 중앙에 d는 좌우끝단에

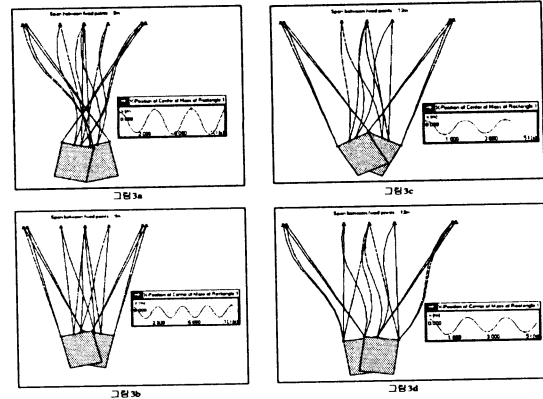


Fig. 3. Motion simulation

고정한 경우이다. c와d의 진동주기가 a와 b보다 약 반으로 줄어든 것을 알 수 있으며 또한 a와 c의 걸기방법 보다는 b또는 d의 걸기방법이 진동의 양상에서 양호함을 알 수 있다.

3.2 Crane의 3차원 Dynamic Simulation

해석하고자 하는 crane을 modeling한 것을 다음 그림 4에 나타낸다.

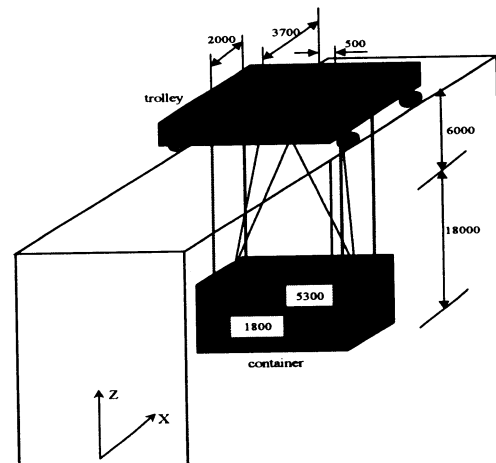


Fig. 4. Crane Modeling

해석의 조건 및 가감속 구간에서의 해석 궤적은 다음 그림5와 같다.

해석조건

하중조건
 Container Weight = 50 ton
 구동조건
 Trolley(x) ; $V_{max} = 2.5m/s$
 $A_{max} = 0.8m/s^2$
 Container(z) ; $V_{max} = 0.5m/s$
 $A_{max} = 0.2m/s^2$
 Elements Property
 Main rope K = 83,400N/mm²
 Aux rope K = 8,000N/mm²

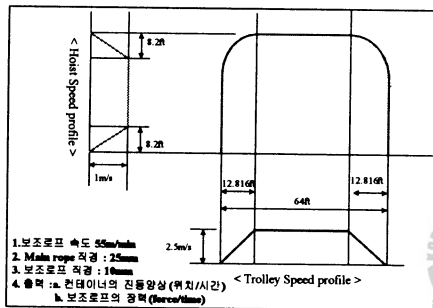


Fig. 5. Given Trajectory of Spreader

Simulation 에서는 다음의 사항을 출력하고 검토한다.

- Container의 진동 양상(position/time)
- Aux(보조)rope의 장력(force/time)

아래 그림6과 7은 container의 운동상태를 나타낸다. 여기서 0-10sec구간은 정적 평형상태를 위한 구간이다. Rope가 충분히 인장된 후에 동작을 개시하도록 하였다.

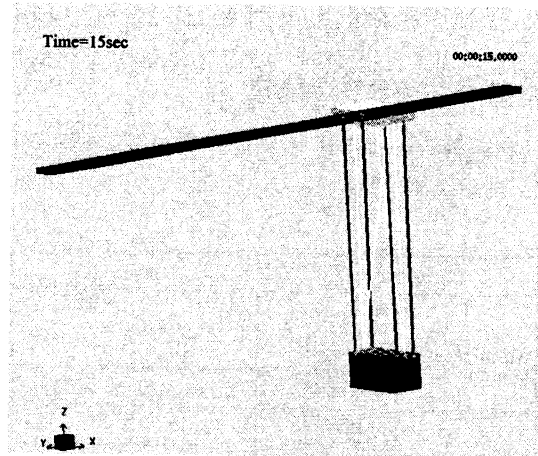


Fig. 6. Container Motion after 15sec

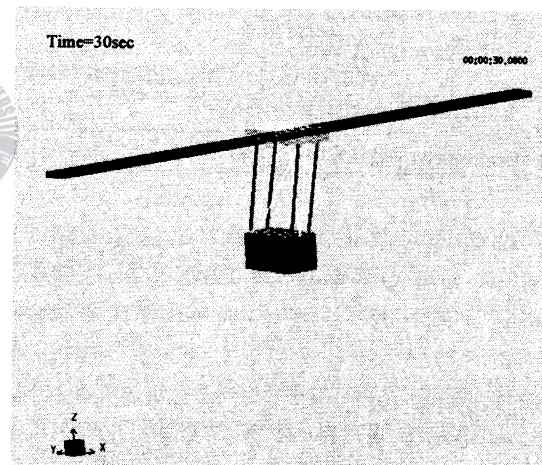


Fig. 7. Container Motion after 30sec

보조 rope를 제어하지 않았을 경우의 simulation의 결과는 다음 그림8,9,10과 같다.

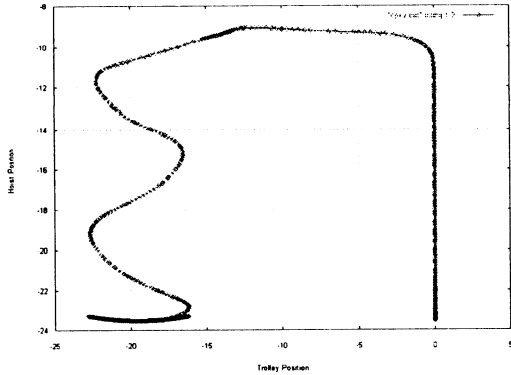


Fig. 8. Sway of Container

위의 그림8은 container를 좌에서 우로 이동 적재시킬 때의 trolley(x방향)와 hoist(z방향)으로의 container의 진동이다. 외부 힘의 영향(바람등)이 없을 때는 상승시 진동이 없음을 알 수 있다.

아래 두 개의 그림9, 10에서는 trolley와 hoist 방향의 동작을 각각 구분하여 표시하였다. Trolley의 동작이 정지한 약 40초 후에는 sway 및 rope의 탄성영향으로 잔류진동이 연속된다.

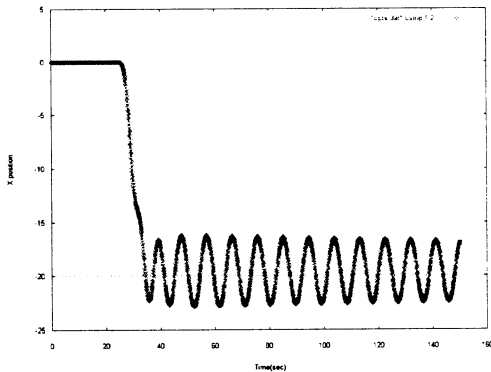


Fig 9. Container Motion along Trolley

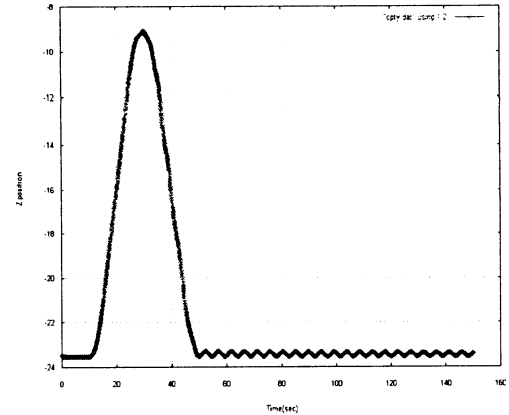


Fig. 10. Container Motion along Hoist

다음 그림11은 main rope의 장력변동이다. 초기 hoisting 동작시 그 변화가 심하고 trolley 동작시는 일정값으로 안정되며 정지후 container의 sway 발생으로 장력변화가 크다.

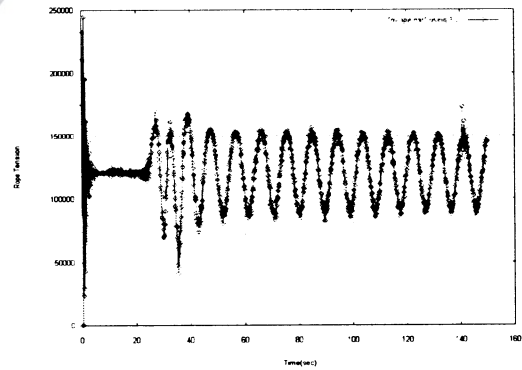


Fig. 11. Tension of the Main Rope

위의 simulation을 보다 자세히 분석하고, system의 model을 보완하여 계속적인 simulation을 수행할 것이며, 여기에 user program을 추가하여 장력을 feedback하는 제어를 simulation 상에서 시도할 것이다.

4. Anti-sway System 구성

진동방지 또는 억제 시스템을 순수 전기적인 방식과 기계적인 방식을 고려할 수 있으나 이는 다음과 같은 이유로 실제 UGC 에의 적용은 곤란하다.

- 순수 전기적인 방식
 - Trolley에 대한 Spreader의 상대위치 검출에 의한 제어
 - Sway rope의 장력변화 검출에 의한 제어
⇒ 바람등의 외란에 의한 위치편차 제어 곤란
- 순수 기계적인 방식
 - Telescopic, Scissor 방식 ⇒ 기존 특허
 - Moving part가 고 중량 구동원 및 구동속도 문제
⇒ Fixed Guide 필요

따라서 기계와 전기의 단독에 의한 anti-sway는 위의 이유로 사용하기 곤란하며 따라서 아래와 같은 혼합방식을 제안하였다.

분류	방식
기계	- Vertical Multi-guide 방식
	- Separated Trolley/Rope 방식
	- Conical Pivot 방식
전기	- 보조 Rope에 의한 Anti-sway 방식

위의 표에서와 같이 기계적인 방식과 전기적인 방식을 조합한 혼합방식이 적절하다. 다음에 이의 각 방식에 대하여 설명한다. 단 전기적인 방식에 있어서는 특허내용을 중심으로 설명한다.

4.1 Vertical multi-guide 방식

다음의 그림12, 13에서와 같이 vertical multi-guide 방식은 수직 guide를 겐트리의 girder에서 시작하여 수직으로 매달고 spreader의 위치를 기계적으로 구속시켜 정확한 positioning을 하

게 하고 있다. 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.

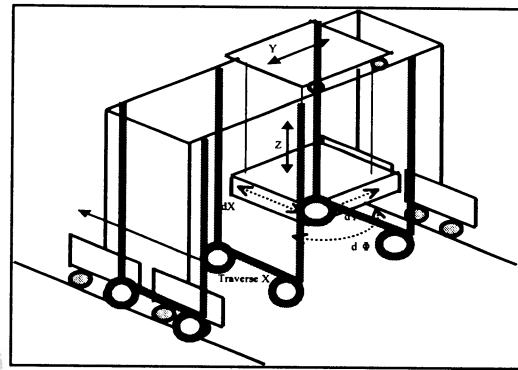


Fig 12. Conceptual Structure

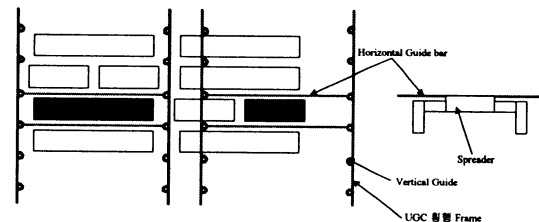


Fig. 13. Structure of Vertical multi-guide

이 방식에 있어서의 문제점으로는 다수의 vertical guide가 gantry의 주행시 지면과의 접촉 부분이 원활하게 구름운동이 가능해야 하나, 지면의 수평도를 확보하기가 곤란하고 지면의 요철을 흡수하기 위한 vertical guide 부의 설계가 복잡해지고 운전의 신뢰성확보와 강도면에서 이의 실현이 어렵다.

4.2 Separated Trolley/Rope 방식

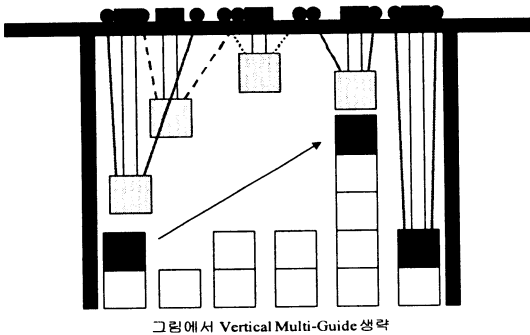


Fig. 14. Separated Anti-sway Rope Method

위의 그림14에서와 같이 권상 main rope의 trolley는 현재의 시스템과 같고 보조 rope부분만이 분리되어 움직일 수 있도록 하며 분리 rope의 구동에는 rack-pinion을 사용하여야 한다.

Container의 이동 시작시에는 container가 뒤로 처지므로 선두 rope가 앞으로 나가 끌어 당기게 하고, 목표한 위치에서 정지시에는 container가 앞으로 나가므로 뒤의 rope가 뒤에서 끌어 당겨 항상 주 권상 rope가 수직 평행을 유지하도록 제어한다. 이를 위해서 보조 rope의 제어에는 다음의 항목을 고려하여야 한다.

- 최적 container의 궤적 설정
- 분리 rope의 위치 설정
- 분리 rope의 장력 제어

4.3 Conical Pivot 방식

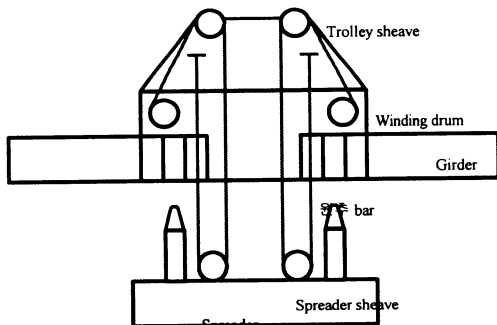


Fig. 15. Concept of Conical pivot

Conical Pivot 방식의 기본적인 개념도를 위의 그림15에서 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.

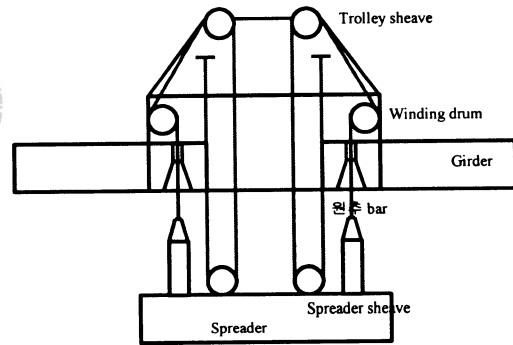


Fig 16. Guide of Conical Pivot

위의 그림16에서는 conical pivot의 변형 형태이다. 그림에서의 개념은 spreader가 최 상단까지 상승했을 때 바람등 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 확실하게 보장할 수 있다.

4.4 보조 Rope에 의한 Anti-sway 방식

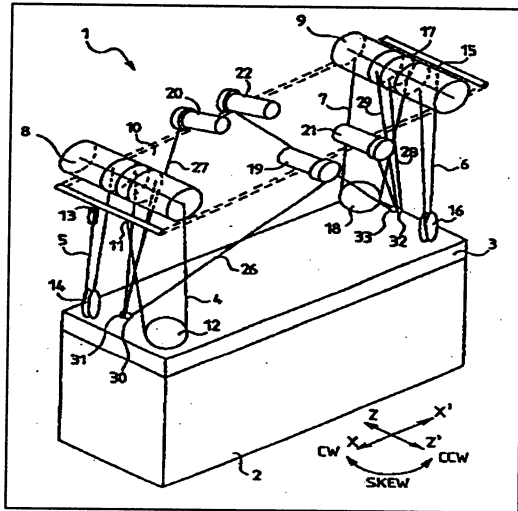


Fig. 17. Structure of Aux. rope System

보조 rope에 의한 anti-sway system의 특징은 다음과 같다.

- 발생된 sway의 상태를 검출하여 trolley에 의해 sway를 제어하는 다른 방식과 달리 장력 검출에 의한 sway의 사전 방지하는 구조이다.
- Main rope는 항상 vertical 하게 직선운동을 유지한다.
- 장력제어를 위한 보조 구동원으로는 AC motor를 사용한다. 따라서 유압기구를 사용하는 다른 모델과 달리 유지보수가 간편하고 시스템의 외관을 산뜻하게 유지할 수 있다.
- Container의 loading시 spreader 자체의 미소 이동과 unloading시 container를 잡고 있는 spreader의 미소이동을 $\pm 250\text{mm}$ 이내에서 fine motion으로 이동할 수 있다.

한편 보조 rope의 장력제어 방식은 다음과 같다.

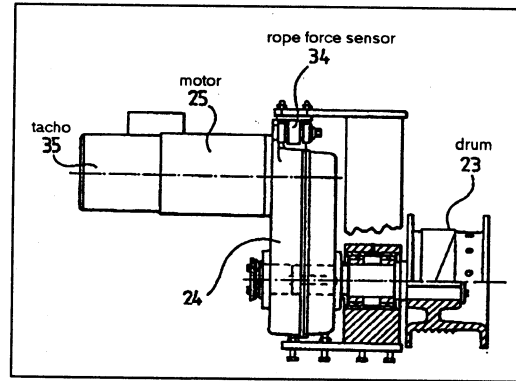


Fig. 18. Driving Unit of Aux. Rope

위의 그림18 에서와 같이 보조 rope 에 장력이 걸리면 drum이 회전중심선을 중심으로 좌측으로 회전하고자 하는 힘이 발생한다.

이는 motor의 rotor가 stator에 의해 고정되어 있다고 생각하면 drum+감속기+motor가 일체로 되어 좌측으로 회전력이 발생하고, 결국 압축 link를 통하여 load cell에 압축력이 인가된다.

이 압축력을 4개의 ACM(보조 rope unit)에서 각각 검출하여 그 차이를 일정한 값이 되도록 보조 rope를 감거나 풀어줌으로서 spreader의 흔들림(sway)을 조정하고, fine motion (spreader의 미세이동) 시에 joystick에서 주어지는 조정량으로 보조 rope의 장력에 차이를 주어 이동시키는 형태의 기구로 되어 있다.

이의 제어 알고리즘은 다음 그림에서 설명한다.

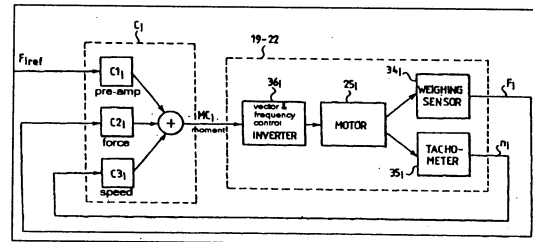


Fig. 19. Block Diagram of Control Unit

Control Input : MC (Moment)
 Feedback : Rope tension(F), Rope speed(n)
 Control Method
 Rope tension : PD, Rope speed : P
 Motor driver
 Torque : Vector control, Speed : Frequency

여기서 제어 방법으로는 Fref를 설정하여 두고 parameter C를 적절히 선택함으로써 모터의 torque에 의해서 sway를 제어하고 모터의 회전수를 제어하여 skew를 제어하게 된다.

정지시의 Fref는 $F_{26} = F_{27} = F_{28} = F_{29} = F_{ref}$ 를 만족하도록 load의 무게에 따라 변경 설정한다. 단 외란(바람)에 의해 unstable하게 될 가능성이 있다고 판단된다.

가감속시의 Fref는 $F = ma$ 의 식을 만족하고 $F_{26} - F_{27} = F/2$, $F_{28} - F_{29} = F/2$ 및 $F_{26} = F_{28}$, $F_{27} = F_{29}$ 가 되도록 조정한다.

Parameter C의 값은 load의 무게 및 높이에 따라 변경하고 실험적 또는 동역학 해석에 의해 결정하게 된다

5. 연구결과

Gantry crane의 anti-sway방안을 도출하기 위한 본 연구에서는 기존 crane에서 실현하고 있는 기술에 관하여 논문과 특허 및 관련 잡지등의 자료를 통하여 조사하였고, 본 연구의 결과로서 다음과 같은 방식의 anti-sway 방안을 제시한다.

- 1) Hoist와 trolley의 motion은 동시운전이 아닌 단독운전으로서, container의 이동궤적은 직각을 전제로 한다.
- 2) 기계적인 방식으로도 anti-sway 자체는 가능하다고 판단되나, 외부의 요인(바람등)에 의해서 발생하는 진동억제와 landing 시의 위치조정을 위해서 전기적인 방식을 보조로 개발한다.
- 3) 기계적인 방식은 spreader에 cone type의 bar를 설치하고, trolley에 이에 대응하는

hole을 설치한 conical pivot 방식으로 결정한다.

단 bar의 hole 내부로의 안전하고 확실한 결합을 유도하기 위해서 bar의 선단에 보조 rope를 매달고 이를 reeving하는 방안도 추가로 고려한다. 이는 시제품 실험후 필요에 따라 제거할 수 있도록 한다.

- 4) 전기적인 방식은 보조 rope에 의한 anti-sway 시스템을 도입한다.

6. 향후 연구계획

1) 실험 계획

Gantry crane의 anti-sway의 방법 및 효과를 시험하기 위한 진동실험을 실시할 것이다. 실험에 필요한 센서 및 장비로서 gyro sensor, telemetry, data 기록용 computer로 구성된 측정 장치의 setup 상태를 보여준다.

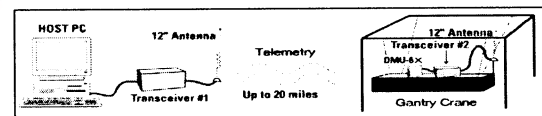


Fig. 20. Sway Measuring System

실험시 고려해야 할 조건으로는 hoist의 load, hoisting 속도, trolley 속도 및 풍속 등이다. 실험의 결과로서 hoist와 trolley 단독운전시의 최소 가감속 시간이 결정되어질 수 있고 풍압에 의한 spreader의 drift가 계산되어 보조 rope에서 필요로 하는 최대 장력과 최대 미소위치조정 범위를 계산할 수 있을 것이다.

2) Simulation

실험에서 얻은 결과와 비교하여 modeling한 gantry crane의 parameter의 근사성을 검토하고 향후 보조 rope의 장력제어를 위한 보다 근접한 계의 parameter를 결정한다.

기본 모델에 근거한 simulation을 먼저 실시하여 시스템의 parameter를 identify 하고 개발하고자 하는 UGC의 시스템을 정의하고 modeling 한다.

3) 보조 rope의 제어 알고리즘 개발

UGC의 제어를 PLC로 실현해야 되는 만큼 단순하고 실용적인 제어 알고리즘이 필요하다. 따라서 위의 simulation에서 결정된 개발 시스템의 parameter를 기준으로 제어 알고리즘을 개발한다.

7. 결론

UGC의 개발에 있어서 anti-sway에 관한 현재의 국내외 기술현황을 분석하고, 본 연구에서 개발하고자 하는 기계·전기 복합식의 anti-sway system을 설명하였다. 기계적으로는 conical-pivot 방식과 전기적으로는 보조 rope에 의한 장력변동의 제어를 채택하였다. 향후 제어방식의 개발과 실제 젠트리 크레인에서의 적용실험을 계획하고 있다.

※분 야 : 응용기술 및 구현에 관련된 연구,항만 하역장비

※연락처 : 한국기계연구원자동화연구부,
042-868-7125

※Email: kdh649@mailgw.kimm.re.kr

본 연구는 해양수산부 및 과학기술부에서 시행하는 연구개발사업인 중점국가과제 내용의 일부 분입니다.

참고문헌

- Keum-Shik Hong, Bae-Jeong Park and Man Hyung Lee, "Two-Stage Control of a Container Crane: Time Optimal Travelling and Nonlinear Residual Sway Control", 한국항만학회 '98 추계학술대회논문집, pp. 159~165
- 정승현, 박정일, "퍼지제어기를 이용한 크레인의

진동억제 및 위치제어", J of Control, Automation and Systems Engineering, Vol. 3, No. 5, Oct. 1997

- Y. SAKAWA and Y. SHINDO, "Optimal Control of Container Crane", Automatica, Vol. 18, No. 3, pp. 257~266, 1982
- Giorgio Corriga, Alessandro Giua and Goampaolo Usai, "An Implicit Gain-Scheduling Controller for Cranes", IEEE Trans. on Control Systems Technology, Vol. 6, No. 1, Jan. 1998
- ARTO MARTTINEN, JOUKO VIRKKUNEN and RIKU T. SALMINEN, "Control Study with a Pilot Crane", IEEE Trans. on Education, Vol. 33, No. 3, Aug. 1990
- A.J. Ridout, "Anti-Swing Control of the Overhead Crane Using Linear Feedback", J of Electrical and Electronics Engineering, Australia, Vol. 9, No. 1/2, Mar/Jun, 1989
- 村田 五雄, 中島 正道, "Container Crane의 자동화", 일본기계학회논문집(C편), 59권 564호, (1993-8)
- 相良 慎一, 大川 不二夫, "Crane의 적응제어", 일본기계학회논문집(C편), 56권 526호, (1990-6)
- 田村 捷利, 常川 聰, 小林 正人, "적응동정기구를 가진 권상식 천장크레인의 제어", 일본기계학회논문집(C편), 54권 504호, (1988-8)
- 白井 潤二의 5인, "컨테이너 크레인의 진동방지 제어기술의 실용화", 일본기계학회논문집(C편), 59권 561호, (1993-5)
- Masamichi Nakajima, Osamu Umefuji, Kenji Takeuchi, Itsuo Murata, "Automatic Control System of Container Cranes", Mitsubishi Heavy Industries, Technical Review, Vol. 27, No. 2, Jun. 1990
- Method and Apparatus for Moving Containers between a Ship and a Dock, 미국, US5456560
- Method and Apparatus for Moving Containers between a Ship and a Dock, 미국, US5478181
- Telescoping Shuttle for a Cargo Container

UGC의 복합식 Anti-sway에 관한 연구

- Handling Crane, 미국, US5515982
- Variable Level Lifting Platform for a Cargo Container Handling Crane, 미국, US5538382
- Anti-sway Device for Hoists and Cranes, 미국, US4227677
- Electronic Anti-sway Control, 미국, US5443566
- 크레인에 있어서 로우프 구동 트롤리 대차의 횡행장치 제어방법, 일본, 特開平6-1589
- 크레인의 트롤리 대차 위치제어방법, 特開平6-271280
- Method and Apparatus of Damping the Sway of the Hosing Rope of a Crane, 미국, US5495955
- Method and Apparatus for Controlling the Loading Element and Load of a Crane, 미국, US5769250
- Bi-planar Cable Cross Reeving System, 미국, US5257891
- 컨테이너 크레인의 스프레더 경사 및 회전장치, 일본, 特開平5-186180
- 컨테이너 크레인에서 스프레더를 위치결정하는 장치 및 방법, 일본, 特開平5-286690
- Wire Rope Tensioning and Reeving System for Cargo Container Handling Cranes, 미국, US5765981
- Speaker's Notes, KONECRANES



