Proceedings of the 11th
KACC, October 1996

비전센서에 의한 컨테이너 크레인 스프레더의 흔들림 제거에 관한 연구

A Study on Remove of a Swing in Spreader of Container Crane with Vision Sensors.

* 손 정 기*, 배 종 일**, 이 만 형***

*한국항만연수원 (Tel: (051) 621-0551; Fax: (051) 621-0553)
**부경대학교 (Tel: (051) 620-1437; Fax: (051) 620-1426)
***부산대학교 (Tel: (051) 510-1456; Fax: (051) 510-2331)

Abstract The main purpose of this study is to achieve the effective port works by using of container-crane, to disposer of many containers rapidly by using of vision sensor in order to control the swing of spreader. It is examined the possibility of automation in container-crane through a test in the field.

1. 서론

최근 항만의 물동량 증가로 인하여 물류비용이 큰 폭으로 증가하고 있으며 새로운 항만의 건설 혹은 항만 장비의 증설과 현대화를 꾸준히 추진하고 있다.

항만을 통하여 수출입되는 화물의 대부분이 컨테이너를 이용하여 이루어지고 있으며 이러한 방법이 국제적인 추세이며 또한 경쟁력 확보라는 차원에서 많은 국가에서 항만의 중요성을 인식하여 대형화 또는 효율을 극대화하는데 많은 투자를 하고 있다. 그러나 하역장비의 부족과 노후로 인하여 하역효율이 많이 떨어지고 있는 것이 우리의 실정이며 컨테이너 크레인의 조종방법이 조종자의 숙련도에 의존하고 있기 때문에 안전에 심각한 문제를 야기시키는 요인으로 작용하고 컨테이너 크레인의 흔들림 현상으로 운송물이 훼손되는 경우가 발생되며 이 흔들림 현상으로 적·양하하는데 많은 부담이 되고 있다.

컨테이너 크레인은 항만에서 컨테이너화물을 컨테이너전용선에서 츄레라의 샤시에 적·양하하는 하역장비이다. 하루가 다르게 증가하는 물동량과 작업효율의 향상이라는 측면에서 빠른시간 내에 많은 양의 컨테이너화물를 빠르게 이송시키고자 할 경우 가장 큰 문제는 트롤리를 목표지점에 정지시켰을 때 트롤리 밑에 고정된 와이어로프(Wire Rope) 끝에 매달린 스프레더(Spreader)와 컨테이너화물이 계속하여 흔들리고 있기 때문에 정확한 착지가 어렵기 때문에 흔들림이 제거되어야 한다.

본 연구는 트롤리의 수평이송으로 인한 스프레더의 흔들림을 이송속도 제어를 통하여 트롤리가 목표지점에 도달 했을 때 와이어로프 끝에 매달려 있는 스프레더의 흔들림을 제거하고 정확한 착지가 되도록 제어법칙을 설계하는 데 있다.

컨테이너 크레인 흔들림 제어에 있어서 가장 큰 특징은 시스템이 보유하고 있는 자유도의 수가 시스템이 구사할 수있는 제어입력의 수보다 많다는 데 있다. 일정 와이어로프 길이로서 트롤리가 수평 이동할 경우 컨테이너화물의 위치를 나타내기 위해서는 트롤리의 위치 및 컨테이너화물의 트롤리에 대한 회전운동을 알아야만 하는데 비하여, 제어입력으로는 트롤리 전동기에 가하는 입력뿐이다. 일반적으로 컨테이너 크레인시스템은 비선형성이 매우 크며, 또한 항만에서 사용되는 컨테이너 크레인의 경우에는 자연현상등과 같은 외란을 극복해야 하는 문제점이 있다.

컨테이너 크레인의 구성부분은 다음과 같다. 주행장치는 2대의 전동기로서 각각 4개의 차륜을 구동하여 계류 및 작업을 시작할 때 알맞는 위치에 정차한다. 트롤리(Trolley)는 전동기의 정·역회전에 의해 와이어로프를 통하여 트롤리를 바다 또는 육지쪽으로 이동시키는 장치로 구동부를 기계실에 장치하고 있다. 호이스트(Hoist)는 전동기의 정·역회전에 의하여 와이어로프를 통하여 운송물의 권상, 권하를 행하는 장치로 트롤리 상부에 설치되어 있다. 항만크레인에 설치된 동요방지 시스템은 오히려 작업속도가 늦어 지금은 사용하지 않으며, 컨테이너의 적·양하 및 이송의 자동화나 무인화를 위해서 조종자를 대신하여 스프레더가 컨테이너를 인식하여 자동

으로 컨테이너를 착상할 수 있어야 하며 크레인으로 컨테이너를 이동시킬 때 스프레더의 흔들림을 가능한 최소화하여 빠른 시간내에 많은 양의 컨테이너를 처리할 수 있어야 한다. 이러한 기능을 만족시키기 위해 항만크레인이 갖추어야 할 가장 중요한 문제는 흔들림을 가장 정확하게 측정할 수있는 센서를 채택하고 외란에 대해 강한 센서를 부착해야한다.

본 논문에서는 트롤리상단에 비전센서를 부착하여 트롤리가 목표지점에 도달하면 반드시 거치는 저속구간에서 스프레더의 흔들림을 센서를 통하여 감지하고 그 흔들리는 정도에 따라 가속도로 제어할 수 있도록 고안하였다.

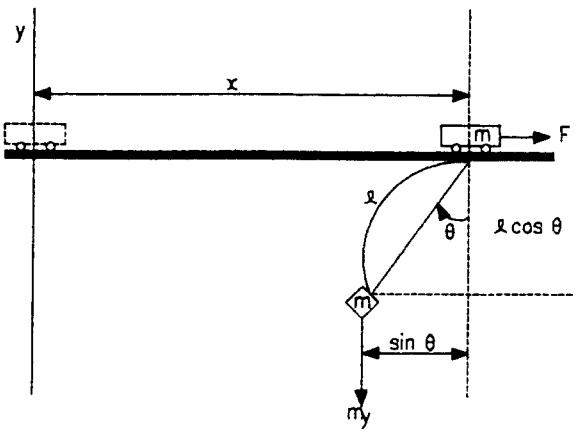


그림 1. 크레인의 구조
Fig. 1. The container crane structure

2. 시스템 구성

컨테이너 크레인 장비로 통한 컨테이너(20, 40) 적·양하를 신속하고 정확하게 운송 및 착지를 위해 트롤리의 동작에 의한 스프레더 흔들림이 제거되어야 한다. 트롤리가 정지하고 있을 때는 스프레더의 흔들림이 없으며 운동(가속-등속-감속)을 개시하면 매순간 가속도가 상승하여 흔들림이 증가하게 될 것이다. 목표지점에 도달하기 위해 필연적으로 감속구간이 만들어지므로 이 감속구간에서 흔들림을 제거하는 것이 가장 좋은 방법이 될 것이다. 그리고 트롤리의 이동으로 생긴 흔들림을 제거한 후에 정확한 착자(호이스트 감속)를 위해 스프레더의 끝단에 센서를 설치하여 스프레더를 저속으로 권하가 가능하도록 구성하였다.

본 논문에서 주 목표는 컨테이너 크레인이 움직임에 따라 물체의 진동각도는 변화하는데 트롤리의 속도로 제어함으로써 진동각도를 작게 유지하면서 목표지점까지 최대한 빠른시간내에 이동시키고자 하는 것이다.

컨테이너 크레인 스프레더의 흔들림 제어를 위한 시스템 구성을 그림 2과 같이 블럭 다이어그램으로 나타내었다.

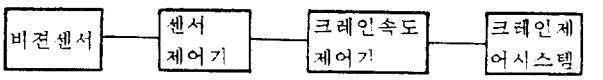


그림 2. 시스템 구성도
Fig. 2. The container crane system

한개의 비전센서로 스프레더의 흔들림을 측정하여 센서제어기를 통하여 측정량을 크레인 속도제어기에 전송하는 부분과 그 값을 읽어 대응값으로 크레인 제어시스템에 의해 구동부에 전달하는 부분으로 나눈다.

2.1 측정센서

비전센서는 트롤리의 하부에 부착하여 스프레더의 움직임을 측정하게 구성하였다. 비전센서는 다른 센서에 비하여 광범위하게 측정이 가능하며 흔들림에 대한 오차를 충분히 줄일 수있지만 바람과 진동에 의해 원점이 틀어지는 경우가 있으므로 고정방법과 센서자체의 충격을 최소화해야 하므로 내구성이 우수한 제품을 선정해야 한다. 그리고 야드의 조도에 의한 감도가 떨어질 수 있으므로 300[lx]이상 유지해야 하고 렌즈의 청결상태도 주기적으로 점검해야 하는 난제가 있다.

사용된 비전센서는 약 20^{0}(원점에 -10, +10)의 측정각을 가지고 최대 25[m]에서 2[cm]간격의 해상도를 가진다.

2.2 크레인 속도제어기

크레인 속도제어기는 트롤리의 수평이동 혹은 스프레더의 수직이동속도를 조종자의 레바에 의해 결정된다. 그러나 본 연구에서는 자동화를 실현하기 위해 트롤리 속도를 가속-등속-감속구간으로 3등분하여 최초 가속구간은 트롤리의 이동으로 가속도가 증가되며 최대속도에서는 가속도가 증가하지 않으므로 최대속도로 운행하여 목표지점에 도달하기 위해 감속구간에서 스프레더의 흔들림을 제어하여 크레인 구동부에 속도값을 전송한다.

그림 3은 3등분한 속도의 그래프를 나타내고 있다

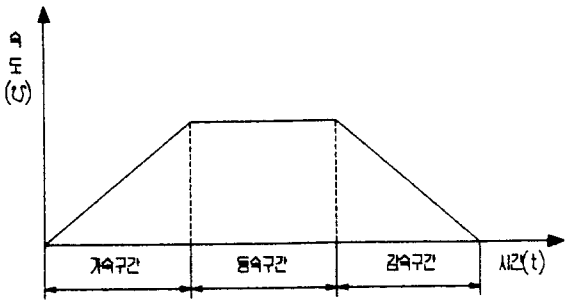


그림 3. 트롤리의 속도궤적
Fig. 3. A speed variation of trolley

3. 스프레더의 흔들림 산출

트롤리가 목표지점에 도달하기 위해 감속구간을 통과할 때 가속도에 의한 관성으로 스프레더는 트롤리의 뒤에서 앞으로 이동할 것이다. 이때 비젼센서의 원점을 지나게 되며 이 원점이 평형조건이 되므로 관성력이 제거되는 시간만큼 트롤리는 전진방향으로 스프레더를 따라 이동시키면 흔들림이 제거된다. 그림 3과 같이 크레인이 작용할 때 시스템의 수학적 모델은 다음과 같이 표현할수 있다.

$$(M+m)\ddot{x} + m\ell(\sin\theta)\ddot{\theta}^2 - m\ell(\cos\theta)\ddot{\theta} = F \quad (1)$$

$$m\ddot{x}\cos\theta = mg\sin\theta + m\ell\ddot{\theta} \quad (2)$$

x : 목표지점까지의 거리
M : 트롤리의 질량
ℓ : 와이어로프의 길이
F : 트롤리의 구동력
m : 운송물의 질량
θ : 운송물의 진동각

식(1), (2)는 컨테이너 크레인의 와이어로프 길이 변화가 없는 상태에서의 수학적 모델을 나타낸다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험장치

그림 4과 같이 4[t] 컨테이너 크레인을 이용하여 자동으로 야드에 있는 20[피트] 컨테이너를 착상하여 가속-등속-감속을 통하여 목표지점인 호울드에 내려놓는 과정을 실시하였다.

그림 4. 실험장치로 사용된 스프레더의 흔들리는 모습
Fig. 4. A spreader swing in an experiment

4.2 결과

그림 5는 트롤리가 최대속도로 이동하여 목표지점에 도달하기 위해 감속할 때 스프레더의 최대 흔들림을 보여주고 있다.

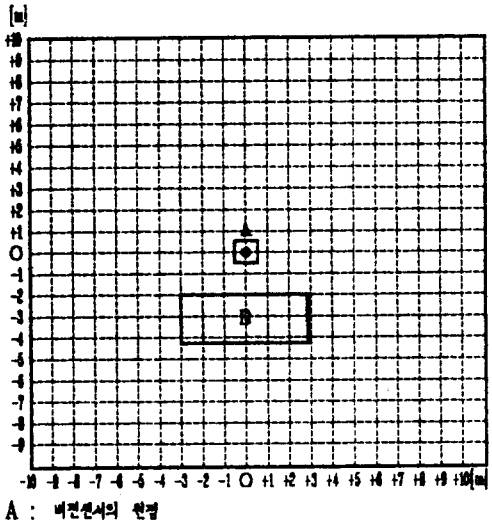
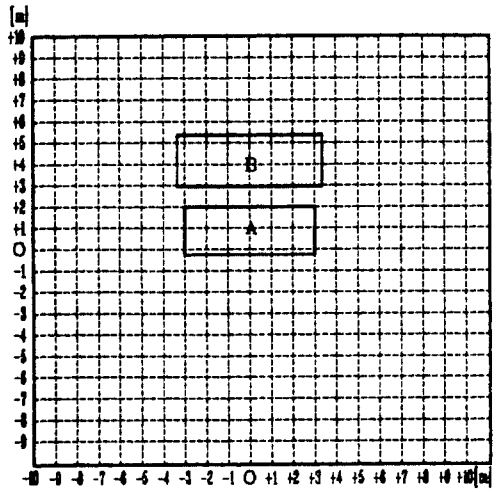


그림 5. 최대속도로 이동할 때 스프레더의 흔들림
Fig. 5. A spreader swing in the maximum speed

그림 6은 트롤리 아래부분에 설치된 비젼센서를 원점으로 x축 좌표에 흔들림이 센서를 통해 측정되므로 스프레더가 감속구간 초기에 센서의 원점을 통과한다. 이때 프로그램된 시간만큼 1단 속도값으로 스프레더를 따라가는 모습을 보여주고 있다.



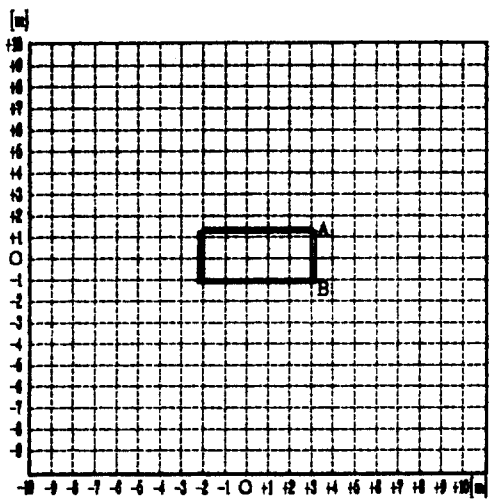
A : 원점을 지나는 스프레더

B : 목표지점

그림 6. 비젼센서로서 원점을 감지하여 트롤리가 따라가는 모습

Fig. 6. A trolly follow of zero point senserd by vision sensor

그림 7은 스프레더의 흔들림에 대해 트롤리가 1단속도로 목표지점에 정지된 모습을 보여주고 있으며 트롤리 관성에 의해 조금 밀려 있는 상태를 나타낸다. 목표지점에서 권하를 개시하고 관성에 의해 흔들림은 하강하는 스프레더의 자중에 의해 중심을 잡는다.



A : 스프레더의 흔들림이 자기관측의 모습

B : 오름드의 모습

그림 7. 목표지점에서 스프레더 흔들림

Fig. 7. A Spreader swing at a target

5. 결론

본 논문은 항만 장비중 컨테이너를 운송하는 컨테이너 크레인을 대상으로 실험하였다. 컨테이너 화물을 이송하는 도중에 발생하는 스프레더의 흔들림은 전동기의 가속도에 의해 발생되고 와이어 로프의 장력과 길이에 따라 흔들림이 더욱 커지게 되며 이외에 많은 외란에 의해 발생하게 된다. 트롤리의 가속으로 발생되는 흔들림을 비젼센서에 의해 측정을 하여 신속한 대응값으로 크레인 제어기에 전송하여 스프레더의 흔들림을 제거하는 방식을 제안하였다.
그러나 항만에는 자연현상으로 의한 태풍, 해풍 그리고 안개등으로 주변환경이 시시각각으로 변화하므로 이러한 것도 고려하여 연구가 되어야하며 자동화 또는 무인화를 위하여 꾸준한 실험을 통한 연구가 이루어지면 항만 물류비용도 큰폭으로 감소시킬 수 있다고 사료된다.

참고 문헌

[1] C.F. Alsop, G.A. Foster and F.R. Hoimes. "On Unloader Automation - A Feasibility Study, IFAC 東京大會論集, 1966

[2]J.W. Auernig, H. Troger, "Time Optimal Control of Overhead Cranes with Hoisting of the Load," Automatica, Vol. 23, No.4, pp. 437-447, 1987.

[3] 박병석, 윤지섭, 이재설, "무진동 크레인을 이용한 흔들림 제어에 관한 연구," KACC, Vol. 1, pp. 292-297, 1990.

[4] 이태영, "퍼지이론을 적용한 Overhead Crane의 Anti-swing 제어," 경북대학교 석사논문, 1994.

[5] 정경채, "크레인의 진동저감을 위한 제어기 개발용 시뮬레이터," 대한전기학회 논문지, 제B권, pp. 1161-1163, 1996.

[6] 홍형주, "크레인 진자계의 최적제어," 대한전기학회 95년 춘계논문집, pp. 832-837, 1995.