

천정크레인 설비의 자동화를 위한 반진동 제어 알고리즘

(Anti-Swing Control Algorithm for the Automation of Overhead Crane)

배상욱* · 노철균 · 배영호 · 이득기

(Sang - Wook Bae · Chul - Kyun Rho · Young - Ho Bae · Deuk - Kee Lee)

요 약

천정크레인 설비의 자동화에 사용될 수 있는 반진동 제어알고리즘을 제안하였다. 제안하는 제어알고리즘은 1) 복잡한 비선형계통 제어에 유용한 것으로 알려진 보상 FLC를 갖는 FLC, 2) 화물의 진동을 적게 하도록 가속도, 속도, 위치 기준 궤적을 발생하는 기준패턴발생기, 3) 속도, 위치 오차를 궤환하는 가속도 궤환제어기로 구성된다. 특히, 제안한 알고리즘은 화물의 진동각 정보를 제어에 활용하지 않으므로 고가의 진동각 센서가 필요 없다는 특징을 갖는다. 시뮬레이션에 의한 연구와 모형 크레인에 대한 실험 연구에 의해 제안하는 알고리즘의 유용성을 보인다.

Abstract

In this paper, is proposed an anti-swing control algorithm for the automation of overhead crane. The algorithm consists of three parts, the FLC with compensatory FLC which is known to be useful for controlling complex nonlinear system, reference pattern generator which generates acceleration, velocity and position reference to reduce swing angle and acceleration feedback controller which feedback control errors. Especially the algorithm does not need angular sensor which detect swing angle of payload and requires high cost. By the simulation study and experiment with prototype crane, we showed the usefulness of the proposed algorithm.

Key Words : crane, anti-swing control, FLC(fuzzy logic controller), acceleration control

1. 서 론

천정크레인(over-head crane)은 철강, 제지 등 산업체의 제품 생산 현장 및 물류 창고에서 대형 기구물과 제품의 이송 작업, 항만에서의 대형 화물 선적/하역 작업을 수행하는 설비로서, 대형 제품을 생산

또는 취급하는 산업체에서 없어서는 안되는 매우 중요한 설비이다. 현재 국내외에서 운용되는 대부분의 천정크레인의 운전은 자동화되어 있지 않으며, 전문적인 숙련된 운전자에 의해 조작되고 있는 형편이다. 이러한 사실은 대형 기구물들을 취급하는 산업체 현장에서의 물류자동화에 의한 물류비용 절감을 막는 하나의 중요한 걸림돌이 되고 있다.

* 주저자 : 경일대학교 제어계측공학과 부교수
Tel : 053-850-7323, Fax : 053-850-7612
E-mail : swbae@kiu.ac.kr
접수일자 : 2002년 4월22일
1차심사 : 2002년 4월26일, 2차심사 : 2002년 9월 3일
심사완료 : 2003년 1월15일

실제 산업현장에서의 대부분 크레인 설비는 와이어 현수방식으로서, 운전제어방식은 대부분 기계적인 접점의 노치(Notch) On/Off 조작에 의한 것이 대부분이다.(일부 인버터 제어 또는 싸이리스터 제어

전정크레인 설비의 자동화를 위한 반진동 제어 알고리즘

도 사용하고 있으나 극소수임) 이로 인하여 이송작업시 화물의 진동 발생은 피할 수 없으며 크레인의 원활하고 안전한 운전을 위해서는 전문적으로 숙련된 운전자가 필요하다. 특히 철강이나 제지 산업 등에서와 같이 24시간 가동해야 하는 상황하에서는 많은 숙련 운전자를 항상 확보하여야 하므로 물류처리비에서의 인건비 부담이 많은 형편이다. 이러한 인건비 절감을 위해 크레인의 자동화/무인화 또는 비숙련자라도 쉽게 운전할 수 있는 크레인 제어시스템이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이러한 요구에 따라 최근까지 화물의 진동각을 최소화하는 최적속도 기준입력법, 크레인예견퍼지제어, 흔들림각 피드백제어법, 피이드백선형화기법 등의 많은 크레인 반진동 제어기법들이 연구 발표되었다[1~7]. 또한 상업화와 관련하여 독일의 Siemens는 최근에 부분적인 패키지를 발표하였으며, 일본의 Omron사도 개발 중에 있고 국내에는 몇몇 업체에서 시스템을 제공하고 있으나 현재까지 개발된 시스템은 성능상 불충분하거나 도입비용이 너무 많이 들어 보편화되기가 쉽지 않으므로, 설비 비용이 보다 저렴하면서 실질적 적용성이 높은 제어 시스템의 개발이 요구되고 있다.

본 논문에서는 크레인 운전 자동화에 활용될 수 있는 크레인 반진동 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 제어알고리즘에서는 크레인 화물의 진동을 감소시킬 수 있는 크레인 트롤리의 가속도, 속도, 위치 기준제어를 발생시키는 기준패턴 발생기와 복잡하고, 불확실한 비선형계통의 제어에 효과적으로 적용되고 있는 퍼지논리제어기를 이용하여 크레인을 제어한다. 크레인 운전시 발생하는 화물 진동각의 크

기는 화물의 중량과 호이스트선의 길이에 의해 거의 모든 영향을 받는다. 실제 산업현장에서 운전되고 있는 크레인의 경우 화물의 중량과 호이스트선의 길이 정보를 알 수 있는 경우가 대다수인데, 대부분의 반진동 제어알고리즘에서는 이러한 유용한 정보를 제어에 활용하지 않고 있다. 본 논문에서 제안하는 제어알고리즘의 기준패턴발생기에서는 이들 정보를 활용하여 진동발생이 최소화될 수 있는 패턴을 미리 발생하도록 하고, 퍼지논리제어기가 트롤리의 위치, 속도, 가속도를 동시에 강인하게 제어할 수 있도록 제어계를 구성함으로써 트롤리가 목표위치에 도달하였을 때 진동각이 최소화되도록 한다는 것이 제안하는 반진동제어알고리즘의 핵심이다. 이러한 특성으로 인해 제안하는 제어알고리즘을 이용한 크레인 제어계에서는 고가의 복잡한 센서를 사용해야만 검출할 수 있는 크레인의 진동각 정보를 사용하지 않으므로, 크레인 자동화 설비비용을 저감할 수 있다는 특징을 갖게 된다.

2. 크레인 반진동 제어 알고리즘

크레인은 비선형성이 매우 강한 계통이므로 일반적으로 선형제어기로는 잘 되지 않는 특성을 갖는다. 그리고 크레인 화물의 진동을 억제하기 위해서는 트롤리의 가속도를 제어할 필요가 있다. 본 논문에서 제안하는 크레인 반진동 제어계에서는 복잡한 비선형 계통의 제어에 유용한 퍼지 논리 제어기(Fuzzy Logic Controller: FLC)를 이용하여 트롤리의 가속도를 제어하도록 하며, 전체 크레인 반진동제어계는

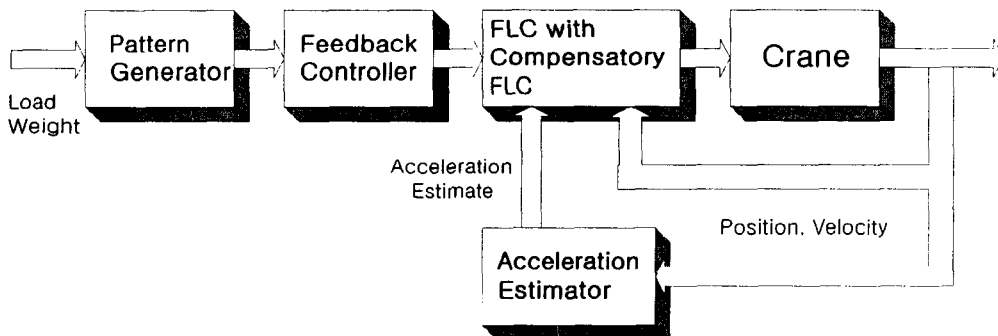


그림 1. 제안하는 반진동 제어계
Fig. 1. Proposed anti-swing control system

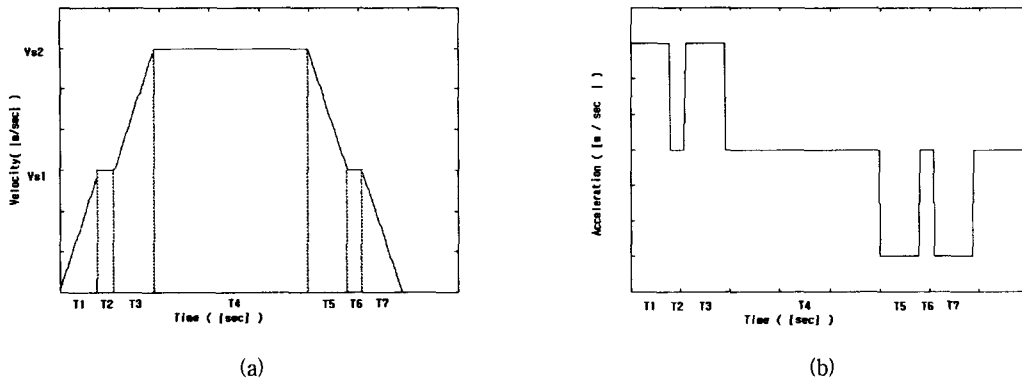


그림 2. 속도와 가속도 패턴 (a) 속도패턴 (b) 가속도 패턴
 Fig. 2. Velocity and acceleration pattern (a) velocity pattern, (b) acceleration pattern

패턴발생기와 패턴발생기 출력을 크레인의 트롤리가 추종하도록 제어하는 퍼지논리제어기, 화물의 진동과 밀접하게 관련된 트롤리의 가속도를 추정하는 가속도 추정기 세 가지로 구성되며, 그 구성을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

각 구성의 역할을 간략히 기술하면 다음과 같다. 패턴발생기(pattern generator)는 지상국의 호스트 컴퓨터로부터 주어지는 이송 화물의 하중, 이송거리 크레인의 트롤리 구동 특성 정보를 활용하여 화물의 이송에 적합한 가속도, 속도, 위치 패턴을 발생하도록 한다. 가속도 추정기(acceleration estimator)는 트롤리의 위치정보로부터 트롤리의 속도와 가속도를 추정하도록 한다. 퍼지논리제어기로는 일반적인 퍼지논리제어기보다 더 강한 제어특성을 갖는 것으로 알려진 보상 FLC를 갖는 퍼지논리제어기(FLC with compensatory FLC)를[9] 사용하여 트롤리의 위치, 속도, 가속도가 패턴발생기에서 발생된 기준궤적을 강인하게 추적할 수 있도록 트롤리를 제어하도록 한다.

2.1 패턴 발생기

패턴 발생기는 호스트 컴퓨터로부터 화물의 중량과 위치, 목표 이송거리를 입력받아 트롤리의 목표위치 도달시 진동이 작게 유지되는 트롤리의 가속도, 속도, 위치 패턴 발생하여 퍼지논리제어기의 기준입력으로 제공한다. 이와 같은 패턴 발생기를 도입하면

크레인 트롤리 제어기의 반진동 제어 부담을 크게 줄여줄 수 있다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 속도와 가속도 패턴을 발생하는 패턴 발생기를 사용한다.

본 논문의 제어알고리즘에서는 화물의 진동각을 제한하지 않으므로 목표위치 도달시 화물의 진동크기는 가속도 패턴의 $T_1 \sim T_7$ 와 트롤리 제어기의 제어 정밀도에 의해 결정된다. 따라서 제어에 앞서 우선적으로 목표위치 도달시 화물의 진동을 작게 유지되도록 하는 시간구간 $T_1 \sim T_7$ 를 결정하여야 한다. 본 논문에서는 이송화물의 하중과 화물을 이송하여야 할 목표위치, V_{s1} , V_{s2} 가 지상국 컴퓨터에 의해 결정되어 전송되면, 패턴발생기에서는 아래에 기술하는 방식에 의해 각 시간구간 $T_1 \sim T_7$ 을 계산하여 결정한다.

먼저 가속 및 감속 시간은 다음과 같이 식(1)에 의해 결정된다.

$$T_1 = T_3 = T_5 = T_7 = \frac{T}{6},$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{M + M_t} \frac{l}{G}} \quad (1)$$

여기서 M 은 화물의 중량, M_t 는 트롤리의 중량, l 은 운행중 호이스트선의 길이, G 는 중력이며, T

전정크레인 설비의 자동화를 위한 반진동 제어 알고리즘

는 화물의 하중을 고려한 화물의 고유진동주기이다.

T_2, T_5 는 화물의 진동을 감쇄하기 위한 시간으로서, 다음 사항을 고려하여 결정하도록 하였다. 일반적으로 크레인에 의한 화물의 이송시 화물 진동 발생 크기에 가장 큰 영향을 주는 요소는 호이스트 선의 길이와 화물의 중량이다. 호이스트 선의 길이가 같은 경우 화물의 중량이 무거우면 진동 주기가 길며, 가벼우면 진동주기가 짧게 된다. 따라서 이송 중 호이스트선의 길이는 일정하다고 했을 때 T_2, T_6 는 화물의 중량이 무거우면 짧게, 가벼우면 길게 되도록 선정하면 화물의 진동을 줄일 수 있다. 그러나 중량의 무겁고 가벼움의 기준은 크레인 트롤리의 이송 능력에 의존하게 된다. 따라서 트롤리가 무리없이 이송할 수 있는 화물의 중량을 M_s 라고 할 때 T_2, T_6 는 다음과 같이 결정되도록 하였다.

$$T_2 = T_6 = \frac{M}{M_s} \times T_s \quad (2)$$

여기서 T_s 는 하중이 M_s 인 화물을 그림 2의 패턴으로 이송할 때 진동이 가장 작게되는 시간으로서, 이는 알고리즘 적용 크레인 설비에 대한 실험으로 결정할 수 있다.

2.2 궤환제어기

궤환제어기는 패턴 발생기의 기준 궤적과 트롤리의 위치 및 속도 센서로부터 계측된 출력으로부터 크레인 트롤리를 직접 제어하는 퍼지논리제어기의 기준 가속도 입력 \ddot{x}_{ref} 을 결정하는 역할을 한다.

패턴발생기에 의해 발생된 기준가속도, 기준 속도, 기준위치를 각각 $\ddot{x}_d, \dot{x}_d, x_d$ 계측된 트롤리의 가속도, 속도, 위치를 \ddot{x}, \dot{x}, x 라 할 때 기준 가속도 입력은 다음과 같이 결정된다.

$$\ddot{x}_{ref} = \ddot{x}_d + K_1(\dot{x}_d - \dot{x}) + K_2(x_d - x) \quad (3)$$

위의 식으로부터 제어기의 트롤리 속도 및 위치추적편차특성을 도출할 수 있다. 즉, 트롤리의 가속도

가 완전히 제어되어 트롤리의 가속도 \ddot{x} 가 \ddot{x}_{ref} 를 완전히 추적하였을 경우, 즉, $\ddot{x} = \ddot{x}_{ref}$ 인 경우 식 (3)으로부터 다음과 같은 추적편차의 특성방정식을 얻을 수 있다.

$$s^2 + K_1s + K_2 = 0 \quad (4)$$

따라서, 위의 특성방정식이 안정한 극점을 갖도록 K_1, K_2 를 선정하면 식(3)의 궤환제어기에 의해 트롤리의 속도 및 위치추적편차를 제거할 수 있게 된다[8].

2.3 보상 FLC를 갖는 퍼지논리제어기

복잡한 계통의 경우 일반 FLC는 속응성과 정밀성을 동시에 만족하는 제어 성능을 얻을 수 없다. 이는 속응성과 정밀성을 동시에 만족할 수 있는 FLC의 환산계수 선정이 매우 어렵기 때문이다. PI형 또는 PD형 FLC들 중 한 형태의 FLC만을 사용하여 프로세스를 제어하는 경우, 예를 들어 PD형 FLC만을 사용하는 경우 정상상태 편차가 발생하는 문제가 있을 수 있으며, PI형 FLC만 사용하는 경우 정상상태 편차가 작게 되도록 FLC의 환산계수들을 선정하게 되면 속응성이 저하되는 문제가 흔히 발생한다. 이러한 사실들은, 기존의 PID 제어제와 마찬가지로, FLC 제어제에서도 서로 상호보완 관계에 있는 정상 상태 특성과 과도 상태 특성을 동시에 만족할 수 있는 환산계수들을 선정하기가 매우 어렵다는 사실에 기인한다[9].

특히 크레인 계통은 비선형성이 매우 강한 계통으로서, 트롤리의 위치를 정밀 제어하기 위해서는 FLC의 입력 환산계수가 작은 값을 유지해야 한다. 그러나 크레인을 신속히 이송하면서 화물의 진동을 억제하기 위해서는 순간적으로 큰 제어입력이 필요하게 된다. 따라서 크레인 계통의 진동을 억제하는 위치제어에서는 하나의 FLC로 크레인을 제어하기는 어렵게 된다.

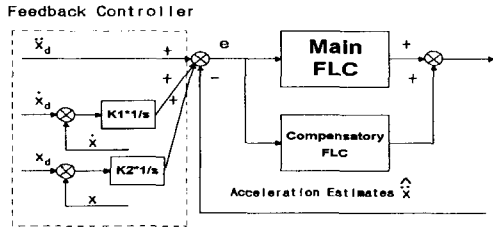


그림 3. 궤환제어기와 보상 FLC를 갖는 FLC 제어계
Fig. 3. FLC control system with compensatory FLC and feedback controller

따라서 본 논문에서는 보상 FLC를 도입함으로써 주 FLC에 대한 환산계수 선정을 용이하게 하며, 정밀성과 속응성을 동시에 보장하고 진동을 작게 유지할 수 있도록 하기 위해 보상 FLC를 갖는 퍼지논리 제어계를 구성하여 크레인의 트롤리 가속도를 제어하도록 하였다. 식(3)의 궤환제어기를 포함한 FLC 제어계의 구성을 그림 3에 도시하였다. 주 FLC와 보상 FLC의 입력은 식(3)에 의해 발생하는 기준가속도와 트롤리 가속도 간의 편차와 그 증분으로서, 편차는 식(5)와 같이 정의한다.

$$e = \ddot{x}_{ref} - \ddot{x}_d \quad (5)$$

여기서 트롤리의 가속도는 [8]에서 사용된 다음의 가속도 필터

$$F(s) = \frac{s}{1 + T_\alpha s} \quad (6)$$

를 Bilinear Transform에 의해 변환된 디지털 필터에 의해 추정된 값 $\hat{\ddot{x}}$ 를 궤환하게 된다.

주 FLC와 보상 FLC에 사용된 제어규칙표는 각각 표1, 2와 같다. 주 FLC의 제어규칙표는 일반적인 제어규칙이며, 보상 FLC의 제어규칙은 진동 억제를 위해 제안한 것이다.

주 FLC와 보상 FLC의 퍼지화기로는 싱글톤법을, 퍼지추론기로는 일반적인 합성추론규칙을, 비퍼지화기로는 무게중심법을 사용한다[8,10]. 표 1, 2의 언어값 NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB에 해당하는 퍼지집합으로는 삼각형 퍼지집합을 사용한다. 주 FLC와 보상 FLC에 의해 결정된 제어입력을 각각 u_m ,

u_c 이라 할 때, 트롤리의 서보부에 투입하는 최종 제어입력 u 는 식(7)과 같이 결정된다.

$$u = u_m + u_c \quad (7)$$

표 1. 주 FLC의 제어규칙표
Table 1. Control rules of main FLC

		CHANGE IN ERROR				
		NB	NS	ZO	PS	PB
E	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
R	NS	NS	NB	NM	NS	ZO
R	ZO	ZO	NM	NS	ZO	PS
O	PS	PS	NS	ZO	PS	PM
R	PB	PB	ZO	PS	PM	PB

표 2. 보상 FLC의 제어규칙표
Table 2. Control rules of compensatory FLC

		CHANGE IN ERROR				
		NB	NS	ZO	PS	PB
E	NB	NB	NB	NM	NS	PS
R	NS	NS	NB	NM	NS	PM
R	ZO	ZO	NB	NS	ZO	PB
O	PS	PS	NM	ZO	PS	PM
R	PB	PB	NS	PS	PM	PB

3. 시뮬레이션에 의한 연구

본 장에서는 제안된 크레인 반진동 제어계의 유용성을 보이기 위해 시뮬레이션한 결과에 대해 기술한다.

3.1 크레인 모델

시뮬레이션에 사용된 크레인의 상태공간 모델은 다음과 같다[5].

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{m_p L}{m(x_3)} x_4 \sin x_3 + \frac{m_p G \sin(x_3) \cos x_3}{m(x_3)} \\ &\quad - \frac{B_d}{m(x_3)} x_2 + \frac{1}{m(x_3)} F \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= -\frac{G}{L} \sin x_3 - \frac{1}{L} \cos x_3 \left(\frac{m_p L}{m(x_3)} x_4 \sin x_3 \right. \\ &\quad \left. + \frac{m_p G \sin(x_3) \cos x_3}{m(x_3)} - \frac{B_d}{m(x_3)} x_2 \right) \\ &\quad + \frac{1}{m(x_3)} F \end{aligned} \quad (8)$$

전정크레인 설비의 자동화를 위한 반진동 제어 알고리즘

여기서 x_1 은 트롤리의 위치, x_3 는 화물의 흔들림 각,

$$m(x_3) = m_t + m_p \sin^2 x_3 \quad (9)$$

m_t 는 트롤리 하중, m_p 는 화물의 하중, L 은 호 이스트선의 길이, G 는 중력이다. F 는 트롤리에 가해지는 힘이다.

3.2 시뮬레이션 환경 및 결과

가정한 크레인에서 $m_t = 30$ [kg], $B_d = 10$ [N·sec/m] 이다. 화물의 하중이 25 [ton]인 경우와 30 [ton] 2 가지 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 각각 그림 4, 5에 나타내었다. 시뮬레이션에서 가정한 하중은 실제 제철소에서 운영되는 크레인설비에서의 화물의 일반적인 하중값이다.

두 가지 경우 모두에서 위치와 속도는 매우 잘 추종되고 있음을 보이고 있으며, 진동각을 케환하고 있지 않은데도 불구하고, 크레인 화물의 진동이 작게 유지하고, 목표위치 도달후 빨리 진동이 감쇄됨을 알 수 있다.

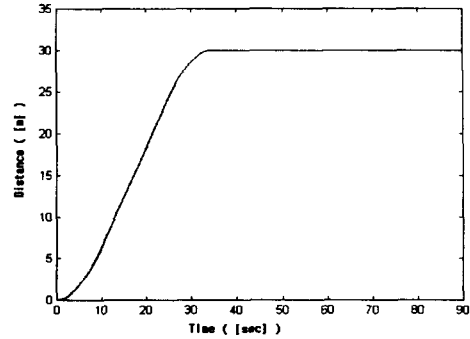
4. 실험결과 및 검토

본 장에서는 제안된 크레인 반진동 제어 알고리즘을 1축 모형 크레인시스템에 대해 적용하여 실험한 결과와 그 실용적 유용성에 대해 기술한다.

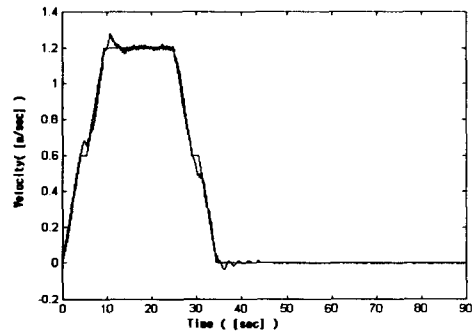
4.1 모형크레인 제어시스템

적용 실험을 위해 제작한 모형크레인 제어시스템의 구성도는 그림 6과 같으며, 실험에 적용한 모형크레인을 그림 7에 보였다. 모형크레인의 주행축 길이는 600[mm]이며, 트롤리는 DC 서보모터에 의해 구동된다. 엔코더에 의해 부하의 진동각을 계측하도록 되어 있으나, 진동각은 본 논문에서 제안한 제어알고리즘의 유용성을 확인하기 위한 것이며, 제어를 위한 정보로는 활용되지 않는다. 그림 8은 실험에서 호스트 컴퓨터로 사용한 노트북 컴퓨터, 제어용 DSP 제어보드, DC 서보모터 구동 서보드라이버의

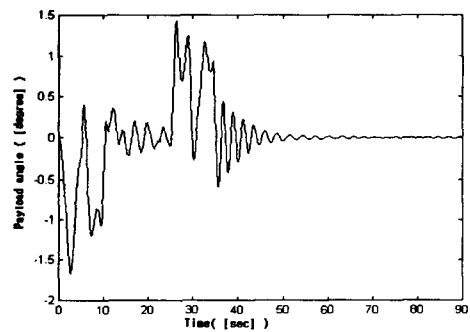
실제 사진이다.



(a)



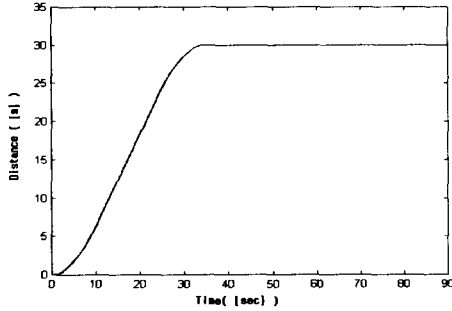
(b)



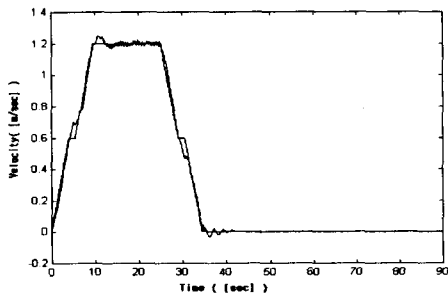
(c)

그림 4. 부하하중 25 (ton), (a) 위치, (b) 속도, (c) 진동각

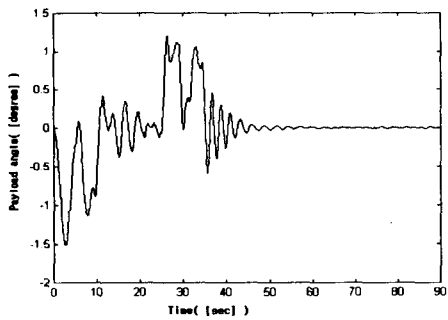
Fig. 4. Control performance M=25 (ton), (a) position, (b) velocity, (c) payload angle



(a)



(b)



(c)

그림 5. 부하하중 30 (ton),
 (a) 위치, (b) 속도, (c) 진동각
 Fig. 5. Control performance $M=30$ (ton),
 (a) position, (b) velocity, (c) payload angle

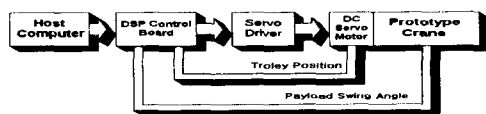


그림 6. 모형크레인 제어시스템 블록도
 Fig. 6. Block diagram of prototype crane control system

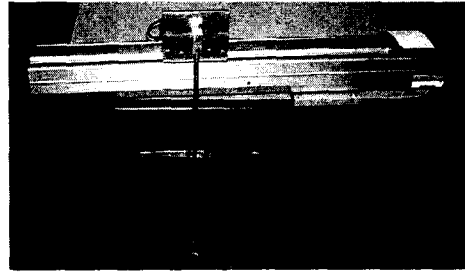


그림 7. 모형크레인
 Fig. 7. Prototype crane

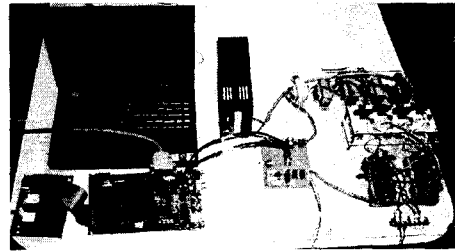


그림 8. 모형크레인 제어시스템
 Fig. 8. Prototype crane control system

4.2 실험 결과 및 검토

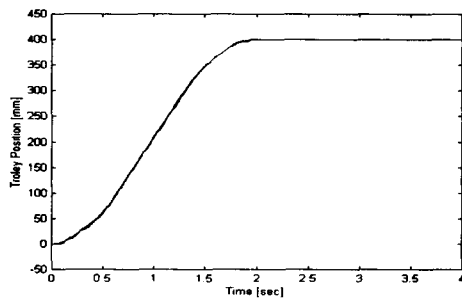
제어 알고리즘의 실험적 검증에 사용한 호이스트 선의 길이는 500 [mm] 이며, 화물의 하중은 1.5 [kg] 이다. 그리고 목표 이송거리는 400 [mm], 설정한 가속도는 $500 \text{ [mm/sec}^2]$ 이다. 2.1절에서 기술한 패턴 발생기에 의해 결정된 패턴과 가속도 제어를 위한 퍼지논리제어기에 의해 제어한 결과를 그림 9에 보였다. 추적 특성방정식 (4)의 K_1 , K_2 는 각각 150, 500 으로 선정하여 사용하였다.

그림에서 보이는 바와 같이 트롤리의 위치는 패턴 발생기에서 발생한 기준궤적을 정확하게 추적하고 있음을 알 수 있다. 트롤리가 목표위치에 도달하였을 때, 부하의 진동각은 매우 작은 값을 유지하고 있으며, 1.5 초내에 정지하였다. 부하의 진동각이 3장의 시뮬레이션 연구에서와 다른 양상을 보이는데, 이는 트롤리의 길이에 비해 모형크레인의 주행거리가 짧아서 발생하는 현상이다.

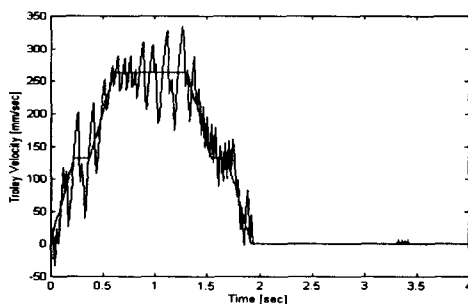
트롤리의 속도의 변동이 심한 것으로 보이나, 이는 속도 출력을 직접 측정하지 않고 측정된 위치 정

천장크레인 설비의 자동화를 위한 반진동 제어 알고리즘

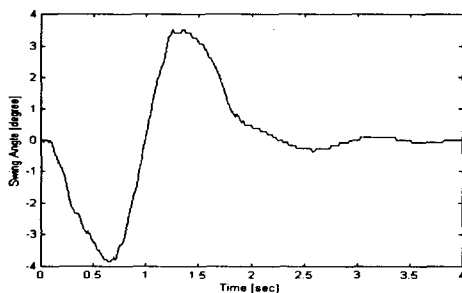
보로부터 미분하여 출력한 것이므로 측정 잡음의 영향이 증폭된 것으로 볼 수 있으며, 그 평균치는 기준 속도궤적을 잘 추적하고 있음을 알 수 있다. 제어입력에서 스위칭 형태의 입력은 가속도제어를 위한 FLC 중 PD 형 FLC에 의해 발생된 것으로서, 기준 위치, 기준속도를 신속히 추적하도록 하는 역할을 한다. 화물의 하중을 변화하며 실험하였으나 본 실험환경에서는 주행거리가 짧은 관계로 화물하중에 따른 응답특성의 차이는 거의 보이지 않았다.



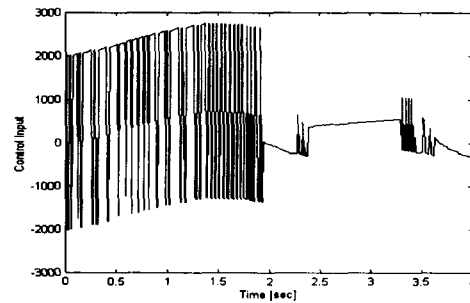
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 9. 부하하중 1.5 [Kg]

(a) 위치, (b) 속도, (c) 진동각,
(d) 제어입력

Fig. 9. Control performance M=1.5 [Kg]

(a) position, (b) velocity, (c) payload angle,
(d) control input

5. 결 론

본 논문에서는 각종 산업체에서 대형 물류 이송에 많이 사용되고 있는 천장 크레인의 운전 자동화에 활용될 수 있는 크레인 반진동 제어 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션 연구와 모형크레인에 대한 실험 연구를 통하여 그 유용성을 보였다. 제안된 반진동 제어 알고리즘은 비선형 계통의 제어에 효과적으로 응용되고 있는 퍼지논리제어기와 크레인 화물의 진동을 줄이기 위한 크레인 트롤리의 가속도, 속도, 위치 기준궤적을 발생시키는 기준패턴 발생기, 가속도 제어기로 구성되었으며, 시뮬레이션 연구 결과 크레인 화물의 진동각 정보가 없음에도 불구하고 화물의 진동을 작게 유지하면서 목표위치 도달후 신속히 화물의 진동이 감쇄되는 특성을 보였다. 또한 실험 결과에 있어서도 크레인이 정지후 화물을 신속히 하강할 수 있을 정도의 진동만이 존재함을 확인할 수 있었다.

특히 제안되는 알고리즘은 고가의 복잡한 센서를 사용해야만 검출할 수 있는 크레인의 진동각 정보를 사용하지 않으므로, 기존의 제어설비에 반진동 제어 알고리즘만을 탑재함으로써 크레인 자동화 설비 경비 부담을 줄일 수 있다는 특징을 갖는다. 그리고, 향후 본 논문의 결과를 2축 이송 크레인에의 확대 연구가 필요하다.

Reference

- [1] Toshio Okawa, Osamu Yamaguchi, Hiroshi Sekine, "Computer Control of Overhead-Cranes", NHK Technical Reports, No.149, pp.40-45,1995.
- [2] Mitsuhiro Ohto, Seiji Yasunobu, "A Rotary Crane Control Method Based on a Skillful Operator's Knowledge", SICE, Vol.33, No.9, pp.923-929, in Japanese, 1997.
- [3] J.S.Yoon, B.S.Park, "Velocity Trajectory Planning for the Implementation of Anti-swing Crane", Journal of the Korean Society of Precision Engineering(KSPE), Vol.11, No.5, pp.143-152, 1994.
- [4] H.H.Lee, S.K.Cho, "Position and Swing Angle Control for Loads of Overhead Cranes", Journal of Korean society of Mechanical Engineers(KSME), Vol.21, No.2, pp.297-304, 1997.
- [5] 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 ", J. of Control, Automation and Systems Engineering, Vol.3, No.1, pp.23-30, 1997.
- [6] B.Vikramaditya, R.Rajamani, "Nonlinear Control of a Trolley Crane System", Proc. of the 2000 American Control Conference, Vol.2, pp.1032-1036, 2000.
- [7] K.Matsuki, N.Kikuti, S.Ouchi, Y.Todaka, "The Control System Design of a Traveling Crane using H-infinity Control Theory", 6th International Workshop on Advanced Motion Control - Nagoya, Japan, pp.131-134, 2000.
- [8] S.W. Bae, K.S. Lee, T.H. Park, G.T. Park, "Robust Position Control of DC Motor using Fuzzy Acceleration Control", '91 Korea Automatic Control Conference(KACC), pp.451-456, 1991.
- [9] S.W. Bae, T.H. Park, G.T. Park, "Model Reference Self-Organizing Controller with Compensatory FLC", Journal of Korean Institute of Electrical Engineers(KIEE), Vol.47, No.12, pp.2188-2196, 1998.
- [10] S.W. Bae, C.K. Kwon, G.T. Park, "Reference Model Following Self-Organizing Fuzzy Logic Controller", Journal of Fuzzy Logic and Intelligent systems, Vol.4, No.1, pp.24-34, 1994.

◇ 저자소개 ◇

배 상 욱 (裴相旭)

1963년 4월 21일생, 1985년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 단국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 경일대학교 제어계측공학과 부교수.

노 철 균 (盧澈均)

1951년 4월 21일생, 1974년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1980년~현재 경일대학교 제어계측공학과 부교수.

배 영 호 (裴英鎬)

1952년 4월 21일생, 1978년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1981년~현재 경일대학교 전기공학과 교수.

이 득 기 (李得耆)

1967년 8월 15일생, 1991년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년~1996년 LG산전(주) 빌딩시스템연구소 주임연구원. 현재 구미 1대학 컴퓨터응용전기전공 전임강사.