

## 퍼지제어 기법을 이용한 컨테이너 크레인의 제어기 설계

소명옥<sup>†</sup> · 유희한\* · 박재식\* · 남택근\*\* · 최재준\*\*\* · 이병찬\*\*\*\*  
(원고접수일 : 2002년 12월 20일, 심사완료일 : 2003년 7월 16일)

### Design of a Container Crane Controller Using the Fuzzy Control Technique

Myung-Ok So<sup>†</sup> · Heui-Han Yoo<sup>\*</sup> · Jae-Shik Park<sup>\*</sup> · Taek-Kun Nam<sup>\*\*</sup> ·  
Jae-Jun Choi<sup>\*\*\*</sup> · Byung-Chan Lee<sup>\*\*\*\*</sup>

**Key words** : Fuzzy controller(퍼지 제어기), Membership function(소속 함수), Fuzzy rule(퍼지규칙), Weighted average(가중 평균), Container crane(컨테이너 크레인)

#### Abstract

The amount of container freight continuously has been increased, and the low efficiency of container crane causes jamming frequently in transportation and cargo handling at port. The conventional control techniques based on a mathematical model are not well suited for dealing with ill-defined and uncertain systems. Recently, Fuzzy control has been successfully applied to a wide variety of practical problems as robots, automatic train operation system, etc. In this paper, a fuzzy controller for container crane is proposed to accomplish a design of improved control system for minimizing the swing motion at destination. In this scheme a mathematical model for the system is obtained in state space form. Finally, to exhibit the tracking performance and robustness of the proposed controller, computer simulations were carried out with various references, parameter variations and disturbances.

#### 1. 서 론

세계무역기구의 창설과 더불어 국가나 지역간의 경제 블록화가 사라지면서 교역량은 해마다 증가

하고 있으며, 운송과 하역에 있어서의 컨테이너가 갖는 장점 때문에 교역화물은 컨테이너화되고, 선박은 대형 컨테이너선으로 대체되는 추세에 있다.

<sup>†</sup> 책임저자(한국해양대학교 선박전자기계공학부), E-mail : smo@mail.hhu.ac.kr, T : 051)410-4248

\* 한국해양대학교 선박전자기계공학부

\*\* 목포해양대학교 기관시스템공학부

\*\*\* 한국항만연수원 교수실

\*\*\*\* 서울디지털대학교

이로 인해 항만에서는 컨테이너 크레인의 하역 부분에서 화물의 병목현상이 심하게 나타나 이 장비에 의해 항만의 가장 중요한 서비스 지표인 선박의 체항시간이 좌우되고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로는 현재 세계 각국의 항만에서는 항만 하역장비의 대형화, 자동화 및 무인화를 통하여 항만운영 효율을 높이는 것과, 컨테이너 크레인의 하역효율을 높이는 방향으로 진행되고 있다. 크레인의 작업효율을 높이는 방법으로는 크레인의 권상·권하 및 횡행동작의 속도를 높이는 것과 트롤리가 목표지점에 도달했을 때 스프레더의 흔들림을 짧은 시간내에 감쇄시키는 것을 생각할 수 있다. 화물의 흔들림을 짧은 시간에 제어하게 되면 컨테이너 처리시간을 단축하게 되고 화물 파손 등의 안전사고를 방지함으로써 하역효율을 높이고 항만의 서비스를 개선하여 막대한 경제적 효과를 가져올 수 있을 것이다.

컨테이너 크레인의 제어에 관련된 연구로는 미국의 Goertz가 크레인 운전자동화에 대해 연구하여 최초로 특허를 받았으며<sup>[1]</sup>, Yamaguchi는 화물의 목표 흔들림 제과과 실제 흔들림 각과의 차이를 피드백하여 오차를 최소화하는 방법을 발표하였다<sup>[2]</sup>. Yeun은 크레인의 제어를 위해 “최고속도 이송 및 흔들림 제어구간-예비 감속구간-정지 위치 제어구간”으로 할 것을 제안하였고<sup>[3]</sup>, Hong과 Lee는 세 가지 성능지수를 최소화하는 최적제어에 관한 연구를 하였다<sup>[4]</sup>. 이러한 논문의 대부분은 최적제어 기법을 이용한 것들이며, 와이어 로프의 길이나 화물의 질량이 변하면 다시 최적해를 구해야 하는 단점이 있다. 이에 반해 퍼지제어 기법은 규칙베이스 제어의 특수한 형태로서 불명확한 정보를 효율적으로 취급할 수 있고 전문가의 지식에 기초한 언어적 제어전략을 구체적으로 표현할 수 있는 언어적 제어의 특징을 가지고 있다. 특히, 논리와 추론의 기능을 가지고 있고, 병렬형 제어기로서 기존의 제어기에 비해 간단하면서도 외란에 대하여 강인하며 비선형 시스템에 적용이 용이한 제어 기법이다. 퍼지제어 기법을 이용한 연구는 대부분 80년대 후반부터 주로 발표되기 시작했다<sup>[5]-[7]</sup>.

본 연구에서는 컨테이너 크레인의 위치제어 및 흔들림 제어에 퍼지이론을 적용하여 트롤리의 횡행속도를 높이면서 목표위치 도달시 필연적으로 존재하게 되는 화물의 흔들림을 짧은 시간 내에 제어할 수 있는 계층구조의 퍼지제어기를 제안하고, 계단상 기준입력 변화에 대한 추종성과 외란에 대한 강인성 등을 모의실험을 통해 입증하고자 한다.

## 2. 컨테이너 크레인의 수학적 모델링

트롤리의 구동부를 포함한 컨테이너 크레인 시스템의 수학적 모델링은 참고문헌<sup>[8]</sup>에서 상세히 언급하였으므로 상기 논문을 참고하기 바람에 여기서는 간단히 설명한다. 트롤리와 컨테이너의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\ddot{z} = \frac{F + m(\ddot{\theta} \cos \theta - \dot{\theta}^2 \sin \theta) - c_1 \dot{z}}{M + m} \quad (1)$$

$$mgl \sin \theta - ml^2 \ddot{\theta} + ml \ddot{z} \cos \theta + c_2 \dot{\theta} = 0 \quad (2)$$

위 식에서  $\theta$ [rad]와  $\dot{\theta}$ [rad/s]는 각각 호이스 트용 와이어 로프의 수직에 대한 각도와 각속도,  $z$ [m]와  $\dot{z}$ [m/s]는 각각 트롤리의 수평방향 위치와 속도,  $m$ [kg]과  $M$ [kg]은 각각 컨테이너의 질량 및 트롤리의 질량,  $l$ [m]은 트롤리에서 컨테이너 중심까지의 거리,  $c_1$ [kg/s]과  $c_2$ [kg·m<sup>2</sup>/s]는 각각 트롤리 마찰계수와 컨테이너의 회전모멘트 계수,  $g$ [m/s<sup>2</sup>]는 중력가속도,  $F$ [N] 트롤리에 가해지는 힘이다.

(1)과 (2)로부터  $\ddot{\theta}$ 와  $\ddot{z}$ 에 관하여 정리하면 (3)과 (4)와 같다. 이 때,  $\theta$ 의 변동이 미소하다고 가정하고  $\theta \cong 0$ 근방에서 선형으로 근사화 하였으며 ( $\sin \theta \cong \theta$ ,  $\cos \theta \cong 1$ ,  $\cos^2 \theta \cong 1$ ,  $\dot{\theta}^2 \cong 0$ ), 트롤리의 이동속도에 비례한 마찰력  $c_1 \dot{z}$ 와 호이스 트용 와이어 로프가 흔들림으로써 발생하는 계수  $c_2 \dot{\theta}$ 는 미소하므로 무시하였다.

$$\ddot{\theta} = -\frac{(M+m)g}{Ml} \theta + \frac{1}{Ml} F \quad (3)$$

$$\ddot{z} = -\frac{mg}{M}\theta + \frac{1}{M}F \quad (4)$$

그리고 모터에 전압을 가하면 회전력이 발생되고 기어박스를 거쳐 와이어 드럼을 회전시킴으로써 힘  $F$ 가 작용하게 된다. 트롤리에 미치는 힘  $F$ 와 구동 모터에 인가되는 전압  $u$ 의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$u = \frac{R_a r_d}{K_g K_m} F + \frac{K_g K_m}{r_d} \dot{z} \quad (5)$$

여기서,  $u[V]$ 는 직류전동기의 인가전압,  $R_a[\Omega]$ 는 전기자 저항,  $K_m[V/\text{rad/s}]$ 은 모터의 토크 상수,  $K_g$ 는 기어박스의 기어 비,  $r_d[m]$ 는 와이어 드럼의 반경이다.

조작부인 모터 및 기어박스도 제어대상에 포함시키기 위해 (5)를 (3)과 (4)에 대입해서  $z$ 와  $\theta$ 에 관한 2계 미분방정식으로 정리하면 구동부를 포함한 전체 운동방정식은 다음과 같다.

$$\ddot{z} = -\frac{K_g^2 K_m^2}{M R_a r_d^2} \dot{z} - \frac{mg}{M}\theta + \frac{K_g K_m}{M R_a r_d} u \quad (6)$$

$$\ddot{\theta} = -\frac{K_g^2 K_m^2}{M R_a r_d^2} \dot{z} - \frac{(M+m)g}{Ml}\theta + \frac{K_g K_m}{M R_a r_d} u \quad (7)$$

(6)과 (7)에서  $x_1 = z, x_2 = \dot{z}, x_3 = \theta, x_4 = \dot{\theta}$ 로 상태변수를 정의하고 모든 상태를 정확히 관측할 수 있다고 하면 다음과 같은 상태방정식으로 간단히 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{단, } A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{K_g^2 K_m^2}{M R_a r_d^2} & -\frac{mg}{M} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{K_g^2 K_m^2}{M R_a r_d^2} & -\frac{(M+m)g}{Ml} & 0 \end{pmatrix}$$

$$B^T = \begin{pmatrix} 0 & \frac{K_g K_m}{M R_a r_d} & 0 & \frac{K_g K_m}{M R_a r_d} \end{pmatrix}$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$$

### 3. 퍼지제어기 설계

화물의 흔들림을 짧은 시간 내에 제어하고, 컨테이너 화물의 질량 변화와 돌풍 등과 같은 외란을 극복할 수 있는 강인한 퍼지제어기를 설계한다.

본 논문에서는 실험실용 모형 컨테이너 크레인 을 사용하며, 트롤리 질량  $M=0.455[\text{kg}]$ , 컨테이너 화물의 질량  $m=0.21[\text{kg}]$ , 트롤리와 컨테이너의 거리  $l=0.305[\text{m}]$ , 중력가속도  $g=9.8[\text{m/s}^2]$ , 모터의 전기자저항  $R_a=2.6[\Omega]$ , 모터의 토크 상수  $K_m=0.00767[V/\text{rad/s}]$ , 기어비  $K_g=3.7$ , 와이어 드럼의 반지름  $r_d=0.00635[\text{m}]$ 이다.

#### 3.1 퍼지화부와 지식베이스부

퍼지화부에서는 입력측정에 잡음이 많이 포함되어 있지 않는 것으로 가정하여 퍼지 단일값(Fuzzy singleton) 방법을 사용한다.

그리고 지식베이스부에서는 우선, 전진부의 퍼지변수를  $\Delta x_j(j=1,2,3,4)$ 로 네 개를 정의하고, 후진부는 전진부의 퍼지변수  $\Delta x_j$ 와 파라미터  $\beta_{j,i}$ 의 1차 결합으로 되어있는 1차 Sugeno 퍼지모델을 사용한다.  $\Delta x_1$ 은 트롤리의 위치  $y$ 와 그 정상상태 값인  $y_r$ 과의 차를,  $\Delta x_2$ 는 트롤리의 속도  $x_2$ 와 그 정상상태의 값인  $x_{2r}$ 의 차를,  $\Delta x_3$ 는 권상·권하용 와이어 로프의 회전각도  $x_3$ 와 그 정상상태의 값인  $x_{3r}$ 의 차를,  $\Delta x_4$ 는 수직방향에 대한 와이어 로프의 회전각속도  $x_4$ 와 그 정상상태의 값인  $x_{4r}$ 의 차를 나타낸다. 그리고  $\Delta x_1$ 의 입력공간은  $-1 \sim 1[\text{m}]$ 로 정의하여 NE, ZE, PO로,  $\Delta x_2$ 의 입력공간은  $-0.9 \sim 0.9[\text{m/s}]$ 로 정의하여 NE, PO로,  $\Delta x_3$ 의 입력공간은  $-0.3 \sim 0.3[\text{rad}]$ 로 정의하여 NE, PO로,  $\Delta x_4$ 의 입력공간은  $-1.8 \sim$

1.8[rad/s]로 정의하여 NE, PO로 각각 퍼지분할한다.

또한, 각 입력변수에 대한 전건부의 소속함수  $A_{j,i}(\Delta x_j)$ 는 (9)와 같이 가우스형으로 취하여 각 입력공간에 배치하며 가우스형의 모양과 위치는  $\sigma_i$ 와  $c_i$ 의 값에 따라 달라진다.

$$A_{j,i}(\Delta x_j) = e^{-\frac{(\Delta x_j - c_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (9)$$

Fig. 1 ~ Fig. 4는 각 퍼지입력 변수에 대한 퍼지분할과 소속함수를 도시한 것이고, 여기서, NE는 Negative, ZE는 Zero, PO는 Positive를 의미한다.

퍼지규칙은 전건부가 퍼지변수이고 후건부는 입력변수  $\Delta x_j$ 에 대한 1차 결함으로 이루어진 Takagi와 Sugeno가 제안한 (10)과 같은 "If-then" 형을 사용하였으며, 숙련자의 경험적 지식과 제어전문가의 지식을 기반으로 총 24개의 퍼지규칙을 작성하였다.

$$R_i: \text{ If } \Delta x_1 \text{ is } A_{1,i} \text{ and } \Delta x_2 \text{ is } A_{2,i} \\ \text{ and } \Delta x_3 \text{ is } A_{3,i} \text{ and } \Delta x_4 \text{ is } A_{4,i} \\ \text{ then } \Delta u_i = \sum_{j=1}^4 (\beta_{j,i} \Delta x_j + \beta_{0,i})$$

단,  $i=1, 2, \dots, 24$  (10)

여기서,  $R_i$ 는  $i$ 번째의 퍼지제어 규칙을 나타내고,  $\Delta x_j$ 는 전건부에 있는 변수이며  $A_{j,i}$ 는 소속함수에 의해 특성이 주어지는 전건부 변수의 퍼지집합을 나타낸다.  $\Delta u_i$ 는  $i$ 번째 제어규칙  $R_i$ 에 대한 출력이고,  $\beta_{j,i}$ 와  $\beta_{0,i}$ 는 후건부에 포함되어 있는 파라미터이다.

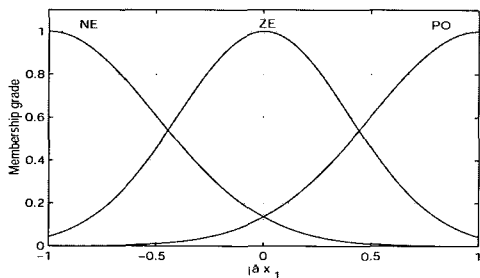


Fig. 1 Membership functions of the fuzzy sets on  $\Delta x_1$

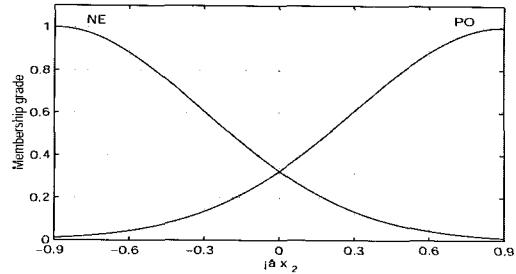


Fig. 2 Membership functions of the fuzzy sets on  $\Delta x_2$

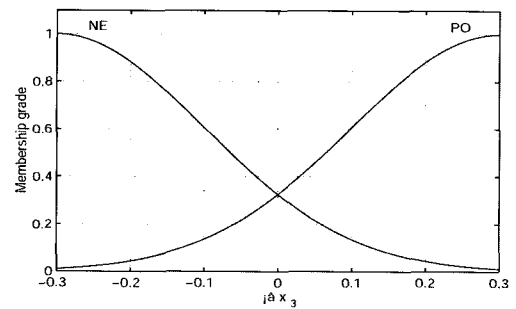


Fig. 3 Membership functions of the fuzzy sets on  $\Delta x_3$

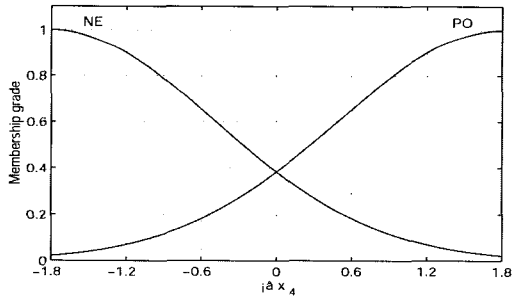


Fig. 4 Membership functions of the fuzzy sets on  $\Delta x_4$

### 3.2 퍼지추론부와 비퍼지화부

퍼지 단일값으로 된 4개의 퍼지입력은 각각의 소속함수에 의해 소속정도가 정해지며, 이 소속정도의 값을 (11)과 같이 모두 대수적으로 곱하여  $i$ 번째 규칙의 적합도  $w_i (i=1, 2, \dots, 24)$ 를 구한다.

$$w_i = A_{1,i}(\Delta x_1) \cdot A_{2,i}(\Delta x_2) \cdot A_{3,i}(\Delta x_3) \cdot A_{4,i}(\Delta x_4) \quad (11)$$

입력의  $i$ 번째 규칙의 각 입력신호들에 대한 적합도  $w_i$ 와 전체 규칙의 적합도의 합과의 비인 정

규화된 적합도를 (12)와 같이 구한다.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{2A} w_i} \quad (12)$$

다음은 (10)의  $i$ 번째 퍼지 제어규칙의 후건부 값  $\Delta u_i$ 를 구한다.

$$\Delta u_i = \sum_{j=1}^4 (\beta_{j,i} \Delta x_j + \beta_{0,i}) \quad (13)$$

퍼지규칙의 후건부가 다항식으로 이루어져 있으므로 (14)와 같이 규칙에 있는 후건부의 값을 적합도  $w_i$ 로 가중평균하여 퍼지제어기의 출력으로 내보내며, 제어대상에 가해지는 실제 제어입력은 (15)와 같이 그 정상상태의 값  $u_r$ 을 합한 것이 된다.

$$\Delta u = \sum_{i=1}^{2A} \bar{w}_i \cdot \Delta u_i = \frac{\sum_{i=1}^{2A} w_i \cdot \Delta u_i}{\sum_{i=1}^{2A} w_i} \quad (14)$$

$$u = u_r + \Delta u \quad (15)$$

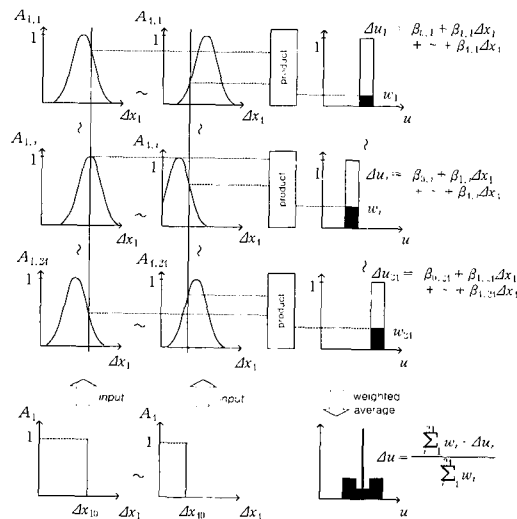


Fig. 5 Inference process of a Sugeno fuzzy model

Fig. 5는 Sugeno 모델의 일반적인 추론과정을 나타내고 있다. Fig. 6은 이렇게 구성한 컨테이너

크레인의 퍼지제어시스템을 나타내고 있다. 여기서, 블록 속의 각 계수는 시스템 행렬  $A$ 와 구동행렬  $B$ 의  $i$ 행  $j$ 열의 요소인  $a_{ij}$  및  $b_{ij}$ 를 나타내고 있으며, 그 값은 각각  $a_{22} = -16.9$ ,  $a_{23} = -4.5$ ,  $a_{42} = -55.4$ ,  $a_{43} = -46.9$ ,  $b_{21} = 3.8$ ,  $b_{41} = 12.4$ 이다. 그리고 정상상태  $x_{1r} = y_r$ 이고,  $x_{2r}$ ,  $x_{3r}$  및  $x_{4r}$ 은 0이다. 입력의 정상상태  $u_r$ 은 0이다.

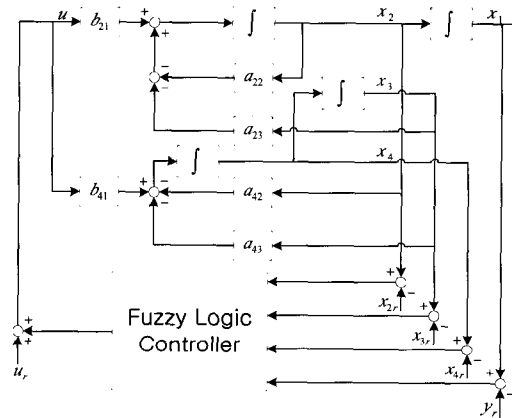


Fig. 6 Block diagram of fuzzy control system for container crane

## 4. 모의실험 및 결과 고찰

### 4.1 계단상의 기준입력 변화에 대한 검토

기준입력 변화에 대한 제어시스템의 추종성능을 알아보기 위하여 계단상의 기준입력을 변경시켜 보았다. 제어 시작과 동시에 초기위치 0[m]에서 전진 방향으로 목표위치 1[m]의 기준입력을 가하고, 4초 경과 후 다시 같은 방향으로 1[m]의 기준입력을 가하여 총 목표위치가 2[m]가 되도록 하였다. 8초 경과 후에는 후진 방향으로 1[m]의 기준입력을 가하고, 12초 경과 후 다시 같은 방향으로 1[m]의 기준입력을 가하여 목표위치가 초기위치인 0[m]가 되도록 정했다.

Fig. 7은 계단상의 기준입력에 대한 퍼지제어기에 의한 응답곡선으로 (a)는 대차의 위치를, (b)는 컨테이너 화물의 흔들림 각도를, (c)는 구

동모터에 인가되는 제어입력인 전압을 각각 나타내고 있다. Fig. 7의 (a)를 보면 약 2.1초에 목표 위치에 도달하며 큰 오버슈트나 정상편차 없이 안정한 제어결과를 얻고 있다. (b)를 보면 이동중의 최대 흔들림 각은 대략 0.22[rad]이며 흔들림 각도가 0(rad)으로 되는 시간은 2.2초이다.

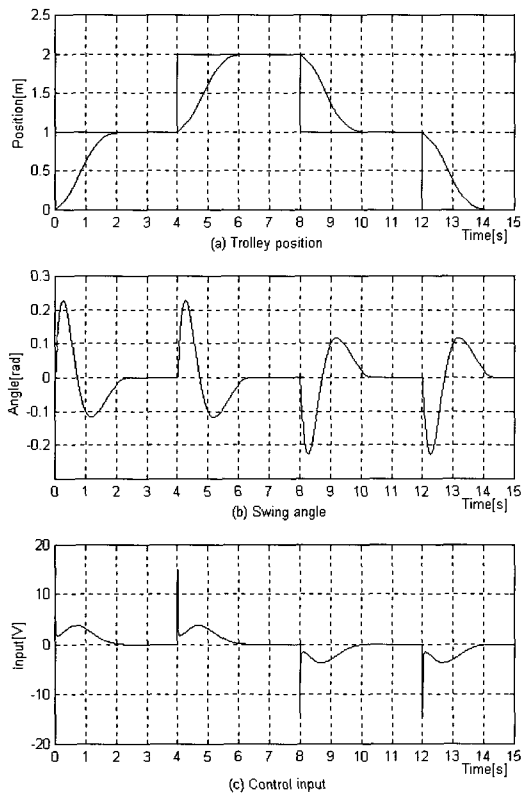


Fig. 7 Step response and control input using fuzzy controller

#### 4.2 파라미터 변화와 외란에 대한 검토

일반적으로 제어시스템은 운전중 외란이 가해지거나 부하가 변동될 수도 있고, 제어기 설계시 파라미터의 값이 정확하게 선정된다 하더라도 주위 환경에 따라 운전중 파라미터의 값이 변할 수도 있다. 따라서, 본 논문에서 운전중 시스템의 파라미터 값의 변화와 외란에 대해서도 강인하다는 것을 보이기 위해서 돌풍과 같은 강한 외란이 작용하여 컨테이너 화물이 아주 급격하게 흔들린다고

가정하여 제어 시작 후 1초와 11초 시점에서 각각  $+0.05[\text{rad}]$ 과  $-0.05[\text{rad}]$  크기의 흔들림을 0.02초 동안 가하였으며, 동시에 컨테이너 크레인의 파라미터를 변화시켜 모의실험을 하였다. 컨테이너 크레인에 대한 파라미터에는 여러 가지 있으나 가장 변화가 자주 일어나는 화물의 질량을  $+30[\%]$  변화시켰다.

1초에서의 외란은 대차가 앞으로 진행중일 때 진행방향과 같은 쪽으로 가해지는 경우이고, 11초에서의 외란은 뒤로 진행중일 때에 진행방향과 같은 쪽으로 가해지는 경우이다.

Fig. 8의 (a)를 보면 약 1.9초에 목표 위치에 도달하며 큰 오버슈트나 정상편차 없이 안정한 제어 결과를 얻고 있다. (b)를 보면 이동중의 최대 흔들림 각은 대략 0.22[rad]이며, 흔들림 각도가 0(rad)으로 되는 시간은 2.6초이다.

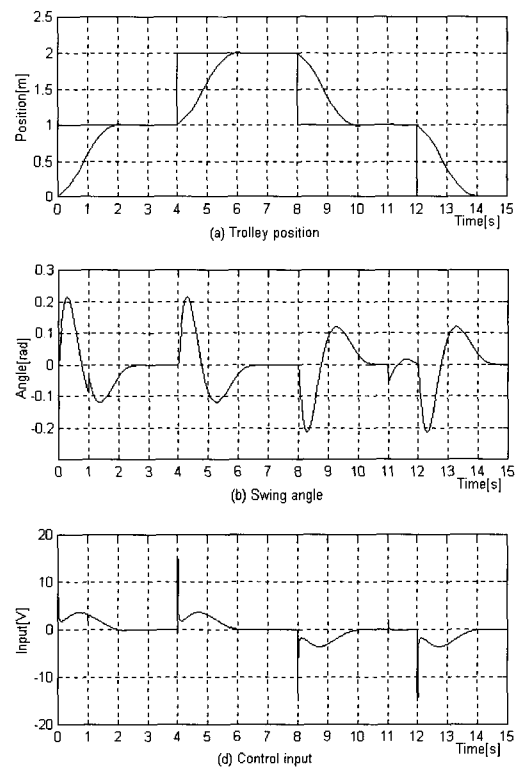


Fig. 8 Step response and control input using fuzzy controller (Cargo mass change  $+30[\%]$ , Disturbance  $\pm 0.05[\text{rad}]$ )

### 5. 결 론

본 논문에서는 하역효율을 높이기 위해서 트롤리를 가능한 고속으로 주행시키고, 트롤리가 목표 위치에 도달했을 때 화물의 흔들림을 가능한 빨리 제어하는 퍼지제어기의 설계 기법을 제안하였다. 그리고 제안한 퍼지제어기를 여러 가지 모의실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 제안한 퍼지제어기는 계단상의 목표위치 변경에 대하여 추종능성이 양호하며 빠른 응답특성을 가지며 목표점 도달시 컨테이너 화물의 흔들림이 거의 없다.

- 또한, 돌풍과 같은 강한 외란과 화물의 질량 변화로 야기되는 시스템의 파라미터 변화에 대해서도 적응성이 있고 강인하다.

이와 같은 결과를 종합해볼 때, 본 연구에서 제안한 컨테이너 크레인의 퍼지제어기를 좀 더 개선하여 실용화하면 항만 물동량의 하역효율 향상에 도 큰 도움을 주리라 생각한다.

향후 과제로는 실제적인 컨테이너 크레인의 비선형적인 요소를 충분히 고려한 시스템에 적용하여 그 응답특성을 구하고, 학습이론을 이용하여 지식베이스에 있는 각 파라미터 값을 결정하는 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한, 전체 하역 시스템과 연계된 컨테이너 크레인 시스템의 자동화에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] R. C. Goertz, "United State Patent Office 2806610", 1957.  
 [2] O. Yamaguchi, "Anti-swing control of overhead crane", 材料また Process, Vol. 7, pp. 347, 1994.  
 [3] 윤지섭, 박병석, 이재설, "무진동 크레인을 이용한 흔들림 제어에 관한 연구", KACC, Vol. 1, pp. 292-297, 1990.  
 [4] 홍금식, 이신섭, "크레인 진자계의 최적제어", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 832-837, 1995.  
 [5] S. Yamada, H. Fujikawa, O. Takeuchi,

"Fuzzy Control of the Roof Crane", IEEE Industial Electronic Conference Proceedings, Philadelphia, Nov., 1989.  
 [6] S. Yasunobu, T. Hasegaw, "Evaluation of an Automatic Container Crane Operation System Based on Predictive Fuzzy Control", Control Theory and Advanced Technology, Vol. 2, No.3, pp. 419-432, 1986.  
 [7] M. Nakatsuyama, et. at. "Automatic Operation of an Overhead Crane based on Fuzzy Algorithm with Matrix Representation", Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and System, Vol. 6, No. 6, 1994.  
 [8] 손정기, 최재준, 소명옥, 남택근, 권순재, "LQ 제어 기법을 이용한 컨테이너 크레인의 제어기 설계", 한국박용기관학회지, Vol. 26, No. 5, pp. 544-552, 2002.

### 저 자 소 개



**소명옥 (蘇明玉)**  
 1958년 6월생. 1997년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(박사). 한국항만·운송노동연구원 연구위원, 한국박용기관학회 총무이사, 현재 한국해양대학교 선박전자기계공학부 부교수.



**유희한 (柳熙漢)**  
 1956년 1월생. 1997년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(박사). 1982-1989년 한국기계 연구소 선임연구원, 1991-1998년 포항공대 가속기 연구소 선임연구원, 현재 한국해양대학교 선박전자기계공학부 조교수.



**박재식 (朴在植)**  
 1962년 9월생. 2000년 고베상선대학 대학원 해양기계/에너지전공 졸업(박사). 현재 한국해양대학교 강사.



### 남택근 (南澤謹)

1968년 10월생. 2001년 일본 동경공업 대학 대학원 졸업(박사), 2002-2003년 한국전기연구원 기계제어응용그룹 선임 연구원, 현재 목포해양대학교 기관시스 템공학부 전임강사.



### 최재준 (崔在俊)

1959년 3월생. 2002년 한국해양대학교 대학원 졸업(박사), 한국항만·운송노동 연구원 연구위원, 현재 한국항만연수원 부산연수원 교수부장.



### 이병찬 (李秉燦)

1970년 9월생, 1993년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 2000년 한국해양대학교 대학원 졸업(석사), 현재 서울 디지털 고등학교 교사.