⊙ 研究論文

유전알고리즘을 이용한 컨테이너 크레인 시스템의 위치제어 및 흔들림 억제를 위한 퍼지 제어기 설계

정형환* · 허동렬* · 오경근* · 주석민** · 안병철***

Design of a Fuzzy Controller for Position Control and Anti-Swing in Container Crane Systems Using Genetic Algorithms

H-H Chung · D-R Hur · K.-G Oh · S-M Joo · B-C An

Key words : Container Crane System(컨테이너 크레인 시스템), Fuzzy Controller(퍼지 제어기), Optimal Controller(최적 제어기), Genetic Algorithm(유전알고리즘)

Abstract

In this paper, we design a GA-fuzzy controller for position control and anti-swing at the destination point. A genetic algorithm is used to complement the demerits such as the difficulty of the component selection of the fuzzy controller, namely, scaling factors, membership functions and control rules. Lagrange equation is used to represent the motion equation of trolley and load in order to obtain mathematical modelling. Simulation results show that the proposed control technique is superior to a conventional optimal control in destination point moving and modification.

1. 서 론

컨테이너 크레인은 항만에서 컨테이너 화물을 운반하는데 사용되는 하역장치로 운전자가 운전 경로에 의해서 화물을 목표지점까지 운반하는 화물 이송 시스템이다. 또한, 화물 이송시 효율성을 극대화하기 위하여 최단 시간내에 화물을 가장 안정한 상태로 원하는 목적지에 이송하여야 한다. 그러나 크레인 시스템은 복잡한 구조로 인하여 많은 비선형 요소를 내포할 뿐만 아니라, 단진자 운동을 하며 다양한 하중의 화물을 이송하여야 하기 때문에 만족스러운 성능을 유지하는 제어기를 설계하는 것은 매우 어렵다. 이러한 문제점을 극복하고 효과적인 제어를 위해 많은 연구들이 진행되어 왔

* 동아대학교 공대 전기전자컴퓨터공학부(원고접수일 : 2000년 7월)
** 동아대학교 정보기술연구소
*** 부산울산지방중소기업청

다. 크레인에 대한 연구사례를 살펴보면, 무진동 제어기를 이용한 크레인의 흔들림 제어에 관한 연구[1], 퍼지추론을 이용하여 진동방지 알고리즘을 제시한 연구[2], 빠르고 부드러운 이송을 위한 최적의 속도기준을 만드는 연구[3]가 있으며, 불안정한 오버헤드 크레인 시스템을 위해 제어기를 설계한 연구[4], 물체를 들어올리는 동작을 포함하는 경우의 시간-에너지 최적 제어[5], 컨테이너 기중기의 수정된 시간최적주행과 비선형 잔류 흔들림의 제어에 관한 연구[6]가 있다. 이러한 제어기법들은 우수한 제안임에도 불구하고, 최적 제어기는 정해진 시스템에서는 우수한 제어성능을 가지나, 파라메타 값이 변할 경우 시스템을 재구성해야하는 단점이 있고, 퍼지 제어기는 구성요소에 대한 부분적 최적화로 인한 탐색시간이 과다 소요되는 문제점을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 비선형성이 매우 강한 컨테이너 크레인의 위치제어 및 흔들림 제어를 위하여 외부 환경 변화에 적절하게 대응할 수 있는 퍼지 이론을 적용하여 목표치 도달시 항상 존재하는 화물의 흔들림을 짧은 시간내에 제어할 수 있는 퍼지 제어기를 제안하였다. 또한 퍼지제어기의 퍼지규칙과 퍼지변수의 소속함수 모양을 동조해야 하는데, 종래에는 전문가의 지식과 경험을 바탕으로 퍼지규칙과 퍼지변수의 소속함수 모양을 결정하는 것과는 달리 본 논문에서는 자연의 진화를 모의한 확률적인 최적화 탐색알고리즘인 유전알고리즘을 이용하여 자기동조하였다. 그리고 시뮬레이션을 통하여 화물을 이송시 발생하는 바람의 영향이나 외부충격에 인한 외란 적용, 화물의 파라메터 값 변경 및 목표치 변경시 제안한 GA-퍼지 제어기가 고전적인 방법보다 크레인의 위치 및 흔들림 제어에서 강인함을 입증하고자 한다.

2. 크레인 시스템 모델링

2.1 시스템 모델

본 논문에서 제시한 크레인은 호이스트 드라이버와 트롤리 드라이버로 나눌 수 있다. 트롤리의 수평방향으로의 이동은 트롤리 드럼을 원하는 방향으로 회전하여 이동하게 되며, 컨테이너의 수직방향으로의 상승이동은 호이스트 드라이버를 이용하여 원하는 높이만큼 이동시키고, 하강이동은 컨테이너와 스프레더의 자중에 의해 자유 낙하하게 된다. 그림 1은 크레인의 개략적인 그림이다.

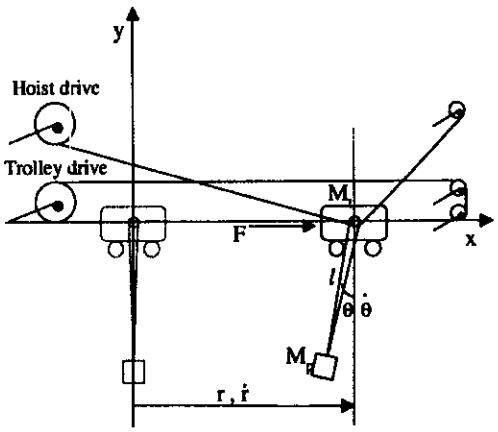

Fig. 1. Schematic diagram of a crane

여기서 r은 트롤리의 이동거리, l은 트롤리와 화물 사이의 길이, θ는 수직방향에 대한 로프의 흔들림 각도, Mt는 트롤리의 질량, Mp는 화물의 질량, g는 중력가속도, Br은 등가점성마찰계수, F는 트롤리에 작용하는 힘으로 정의한다.

2.2 시스템 운동방정식

화물과 트롤리 사이의 연결로프는 변동이 없으며, 연결 관절 부의 마찰은 무시한다고 가정한다. 이 가정에 따라 Lagrange 운동방정식을 적용하여 크레인계의 운동방정식을 유도한다. Lagrange 운동방정식은 식(1)과 같다.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right)-\frac{\partial T}{\partial q_i}+\frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i}+\frac{\partial U}{\partial q_i}=Q_i \qquad (1)$$

여기서 q_i=일반좌표(i=1, 2, 3, …),
T=운동에너지
D=점성마찰에너지
U=위치에너지

트롤리와 화물에 대한 운동방정식은 식(2), (3)과 같다.

$$(M_t+M_p)\ddot{r}+M_p l\ddot{\theta}\cos\theta-M_p l\dot{\theta}^2\sin\theta+B_r\dot{r}=F \qquad (2)$$

$$M_p l^2 \ddot{\theta} + M_p l \cos\theta \ddot{r} + M_p g l \sin\theta = 0 \quad (3)$$

이를 정리하면 식(4),(5)와 같은 크레인의 수학적 모델로 표시할 수 있다.

$$\ddot{\theta} = -\frac{M_p l \cos\theta \ddot{r} + M_p g\, l \sin\theta}{l^2 M_p} \quad (4)$$

$$\ddot{r} = \frac{F + M_p l \sin\theta \dot{\theta}^2 + M_p g \cos\theta \sin\theta - B_r \dot{r}}{M_t + M_p - M_p \cos^2\theta} \quad (5)$$

2.3 모델의 선형화

위의 운동방정식은 비선형 방정식으로서 선형 제어기의 설계를 위해서 다음과 같은 가정을 한다. 먼저, 화물은 평면운동만을 한다. 즉, 화물의 흔들림은 트롤리의 이동방향과 수직선이 이루는 평면 안에서만 발생한다고 가정한다. 다음은 화물의 흔들림 각도 θ의 변동이 매우 작다고 간주하여 $\theta \cong 0$에서 근사화하여 $\sin\theta \cong \theta$, $\cos\theta \cong 1$, $\sin^2\theta \cong 0$, $\cos^2\theta \cong 1$로 표시할 수 있다. 이 때 식(6)과 같이 선형화된 상태방정식을 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}} &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u} \\ \boldsymbol{y} &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{x} \\ \boldsymbol{z} &= \boldsymbol{D}\boldsymbol{y} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 상태벡터를 $\boldsymbol{x}=[r\ \dot{r}\ \theta\ \dot{\theta}]^T$로 정의하고, $\boldsymbol{y}$는 관측 출력벡터, $\boldsymbol{z}$는 출력이며 계수행렬은 다음과 같다.

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{B_r}{M_t} & -\frac{M_p g}{M_t} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{B_r}{M_t l} & -g\left(\frac{M_t + M_p}{M_t l}\right) & 0 \end{bmatrix}, \boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{M_t} \\ 0 \\ -\frac{1}{M_t l} \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \boldsymbol{D} = [1\ 0]$$

3. GA-퍼지제어기 설계

3.1 최적 제어기

외란이 인가되는 시스템에서 목표지점에 정상편차 없이 잘 추종하도록 다음과 같이 서보 제어계를 설계한다. 여기서 식(7)의 시스템에 대한 오차 $\boldsymbol{e}$를 적분한 변수 η를 새로이 도입한다.

$$\dot{\eta} = \boldsymbol{e} = \boldsymbol{DC}\,\mathbf{x} - z_r \quad (7)$$

식(6)과 식(7)을 이용해 확장시스템으로 쓰면 식(8)과 같다.

$$\dot{\bar{\boldsymbol{x}}} = \bar{\boldsymbol{A}}\,\bar{\boldsymbol{x}} + \bar{\boldsymbol{B}} - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} z_r \quad (8)$$

여기서, $\bar{x} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{x} \\ \eta \end{bmatrix}$, $\bar{\boldsymbol{A}} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{DC} & \boldsymbol{0} \end{bmatrix}$, $\bar{\boldsymbol{B}} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{0} \end{bmatrix}$

식(8)에서 행렬($\bar{\boldsymbol{A}}$, $\bar{\boldsymbol{B}}$)는 식(6)의 시스템이 가제어이고 동시에 식(9)의 관계가 성립되어 역시 가제어이다.

$$rank \begin{bmatrix} \boldsymbol{B} & \boldsymbol{A} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{DC} \end{bmatrix} = 5 \quad (9)$$

식(8)로부터 2차 형식의 평가함수를 식(10)으로 정의한다.

$$\boldsymbol{J} = \frac{1}{2}\int_0^\infty [\bar{\boldsymbol{x}}^T \boldsymbol{Q}\,\bar{\boldsymbol{x}} + \boldsymbol{u}^T \boldsymbol{R} \boldsymbol{u}]dt \quad (10)$$

단, Q : 상태가중치행렬, R : 제어가중치행렬

식(10)을 최소로 하는 최적 제어입력은 식(11)과 같이 얻어지며 이는 선형 상태공간에서만 취급한다.

$$\boldsymbol{u} = -\boldsymbol{R}^{-1} \bar{\boldsymbol{B}}^T \boldsymbol{K}\,\bar{\boldsymbol{x}} \quad (11)$$

시스템이 시불변이라고 가정하면 식(12)와 같이 대수 Riccati 방정식이 구해진다.

$$\boldsymbol{K}\,\bar{\boldsymbol{A}} + \bar{\boldsymbol{A}}^T \boldsymbol{K} - \boldsymbol{K}\,\bar{\boldsymbol{B}} \boldsymbol{R}^{-1} \bar{\boldsymbol{B}}^T \boldsymbol{K} + \boldsymbol{Q} = 0 \quad (12)$$

최적제어 이론을 크레인 시스템에 적용할 경우 상태 가중 행렬 Q와 제어 가중 행렬 R은 식(13)과 같다.

$$\boldsymbol{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{R} = 1.0 \quad (13)$$

3.2 유전 알고리즘을 이용한 퍼지제어기의 최적 설계

일반적인 퍼지 제어기의 구성은 퍼지화부(fuzzifier), 지식베이스부(fuzzy rule base), 퍼지추론부

(Inference engine) 및 비퍼지화부(defuzzifier)의 4부분으로 구성되어 있고, 퍼지모델은 식(14)의 형태를 가지는 구현규칙들로 구성된다.

$$R_n : \text{IF } e(k) \text{ is } A_n \text{ and } \Delta e(k) \text{ is } B_n, \text{ THEN } U(k) \text{ is } C_n \tag{14}$$

여기서, $e(k)$와 $\Delta e(k)$는 오차 및 오차의 변화량이며, $U(k)$는 제어량을 표시한다. 또한 A_n과 B_n은 입력변수의 퍼지변수, C_n은 출력변수의 퍼지변수를 나타낸다. 크레인의 위치제어 및 흔들림 억제를 위해 본 논문에서 제안하는 GA-퍼지 제어기의 블록선도는 그림 2와 같다. 여기서, 퍼지 제어기의 각 구성요소를 시행착오법이 아닌 자동으로 최적화하기 위해 유전 알고리즘을 이용하였다. 이에 대한 흐름도는 그림 3과 같다.

그림 2에서 퍼지 제어기는 식(15)와 같이 기준점 yref 와 크레인 시스템의 출력 y를 사용하여 방정식을 세운다.

$$\begin{aligned} e(k) &= y_{ref} - y(k) \\ \Delta e(k) &= e(k) - e(k-1) \\ u(k) &= F[e(k), \Delta e(k)] \end{aligned} \tag{15}$$

이때, $e(k)$는 기준점 yref 와 크레인 시스템 출력 $y(k)$ 사이의 오차, $\Delta e(k)$는 오차의 변화량이다. 또한 $F[e(k), \Delta e(k)]$는 퍼지논리에 의한 $e(k)$와 $\Delta e(k)$의 비선형 함수로 $u(k)$가 되며 이는 크레인 시스템의 제어입력이 된다.

여기서 최적화하고자 하는 퍼지 제어기의 구성요소는 스케일링 계수, 멤버쉽함수, 제어규칙이다. 본 논문에서 제안한 염색체는 실수 스트링을 사용하여 표현하였다. 염색체의 길이는 다음과 같다. 퍼지 제어기의 입출력인 e, Δe와 u에 대해 스케일링 계수는 각각 GE, GCE, GU로서 3개, 멤버쉽함수는 전건부의 경우 퍼지 제어기의 입력인 e와 Δe에 대해 입력 분할 수가 Negative, Zero, Positive 이고, 각 멤버쉽함수를 표현하는데 필요한 변수는 폭이므로 전건부 스트링의 총 길이는 $2\times3\times1=6$개가 된다. 마지막으로 제어규칙의 스트링의 길이는 9개이다. 따라서 각 구성요소에 대한 총 스트링 길이는 18개이다. 이 염색체를 사용하여 유전 알고리즘이 수행된다. 새롭게 생성된 개체들도 모두 같은 구조를 따르며, 각 개체를 평가할 때에는 퍼지 제어기의 구성요소를 추출하고 추출된 구성요소에 대한 퍼지 제어기를 이용하여 평가하게 된다. 각 개체의 적합도를 평가하는 적합도 함수는 보통 풀고자 하는 최적화 문제의 목적함수나 다른 주관적 평가함수에 의해 결정된다. 일반적으로 퍼지 제어기의 최적화는 평가함수값을 최소화시키는 퍼지 제어기의 구성요소를 찾아내는 것이다. 따라서 본 논문에서 사용된 평가함수는 식(16)과 같고, 적합도 함수는 식(17)과 같이 정의하였다.

$$J_a = \int_{t0}^{tf} (|y_{ref} - y| \cdot \alpha + |\theta| \cdot \beta + |u| \cdot \gamma) dt \tag{16}$$

$$Fitness(J_a) = \frac{1}{1+J_a} \tag{17}$$

식(16)의 t_0, t_f는 적분시간이며, α, β, γ는 가중치

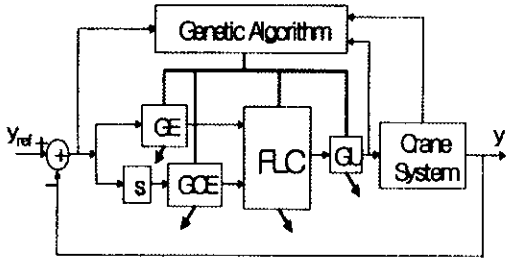

Fig. 2. Proposed GA-fuzzy controller

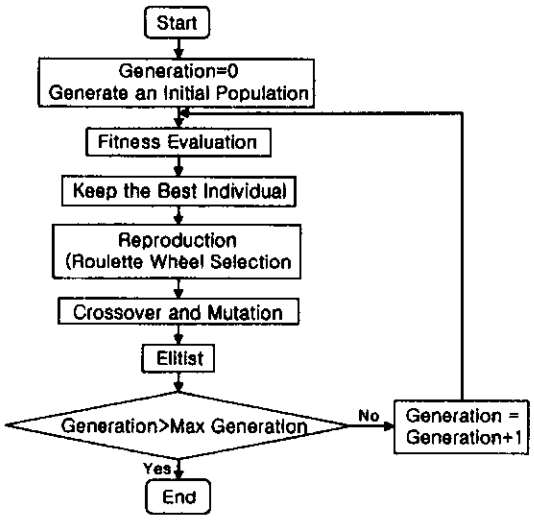

Fig. 3. Auto-tuning of fuzzy components using a genetic algorithm

이다. 식(17)의 적합도 함수는 퍼지 제어기가 기준 신호에 빨리 도달하고 정상상태 오차가 최소가 될 때 최대의 값을 갖는다. 이렇게 정의되어진 적합도 함수는 각 개체가 다음 세대에 생존할 가능성의 척도가 되며 이 적합도 함수의 값이 큰 개체는 다음 세대에 생존할 가능성이 크게 되며 이와 반대로 값이 작은 개체는 가능성이 작게 된다.

4. 시뮬레이션

본 논문에서는 최적제어기로 설계된 종래의 제어기와 GA-퍼지제어기로 설계된 제안된 제어기를 이용하여, 설계된 제어기의 효과적 입증을 위하여 화물의 목표점 이동시 외란이 발생하였을 경우(사례 1)와 화물의 질량을 변동시킬 경우(사례 2) 그리고 목표치를 변경하여 화물을 이동시킬 경우(사례 3)에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 화물의 위치와 흔들림 각도를 측정하여 동특성을 최적 제어기와 비교 · 고찰하였다. 시스템 파라미터, GA에 사용된 파라미터는 표 1, 2와 같고, 최적화된 퍼지제어기의 각 구성요소의 값들은 표 3, 4, 5와 같다. 또 각 세대에 따른 적합도는 그림 4에서 보여주고 있다.

Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
중력가속도 (g)	9.8 [m/sec²]
트롤리 질량 (Mt)	2.0 [kg]
화물의 질량 (Mp)	3.5 [kg]
로프의 길이 (l)	0.5 [m]
등가점성 마찰계수(Br)	2.0 [N · sec/m]

Table 2. Initial Parameters

Parameters	Values
Population size	40
Number of generation	100
Crossover rate	0.85
Mutation rate	0.01

Table 3. Optimal scaling factors

	GE	GCE	GU
Crane	4.843871	0.010000	5.256223

Table 4. Optimal fuzzy rules

e \ Δe	N	Z	P
N	P	P	P
Z	Z	Z	N
P	N	N	N

Table 5. Optimal width values of membership functions

	N	Z	P
e	1.193548	1.387096	2.032258
Δe	2.612904	3.000000	2.741936

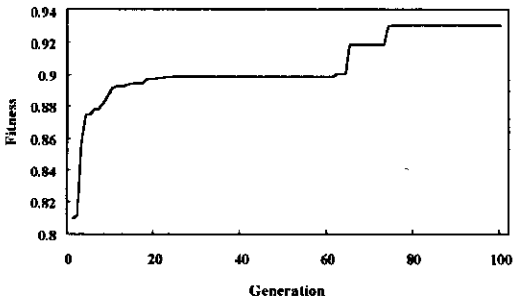

Fig. 4. Fitness

사례1. 화물의 목표점 이동시 외란이 발생한 경우

크레인의 운전중 외란이 가해지거나 부하가 변

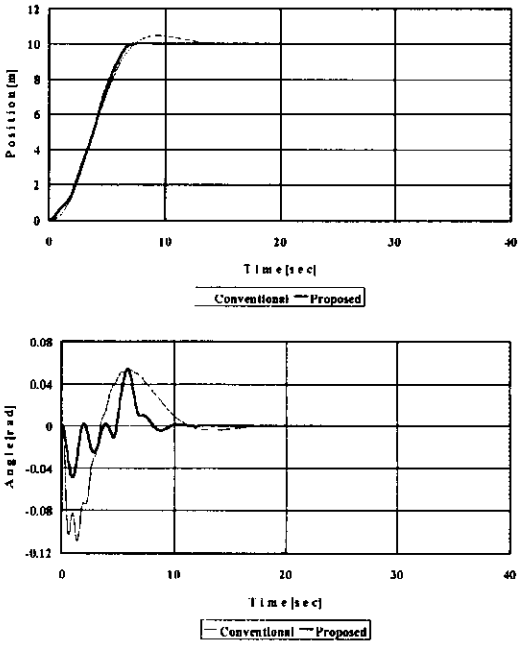

Fig. 5. Simulation results to a step-type reference input change

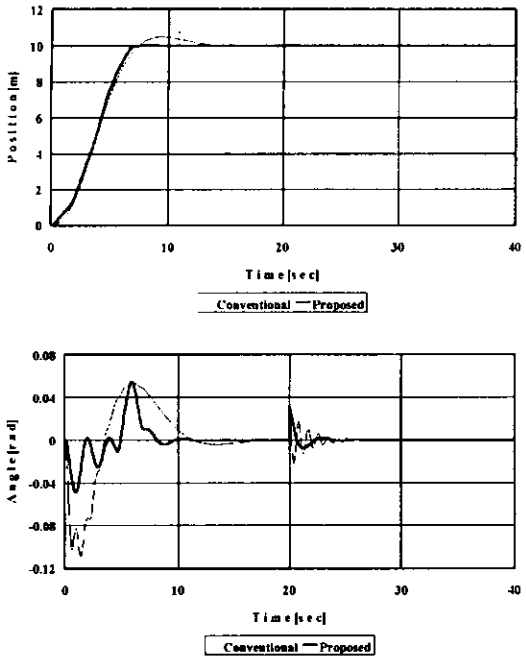

Fig. 6. Simulation results to a disturbance change

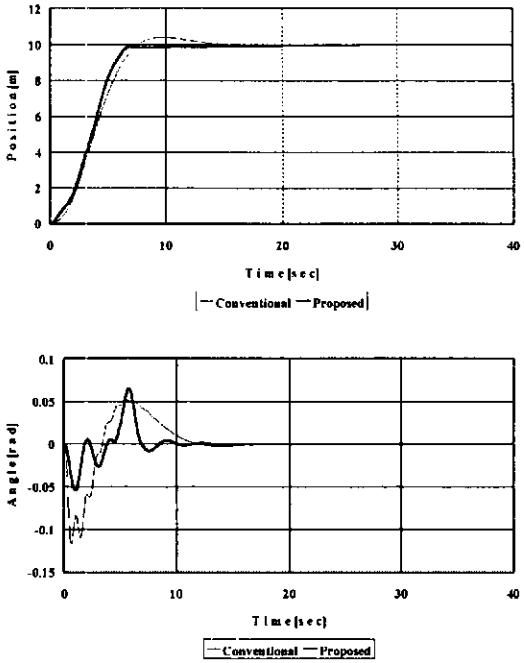

Fig. 7. Simulation results to the cargo weight change (−20%)

동될 수 있는 상황을 고려하여 시뮬레이션한 결과는 그림 5, 6과 같다. 그림 5에서는 목표치 추종을 나타내고 있고, 그림 6에서는 목표점 이동시 20초 지점에서 바람의 영향이나 외부에서 충격에 의한 화물의 흔들림으로 각도 변화가 0.03[rad] 발생한 경우를 나타내고 있다. 그림 5와 같이 일반적으로 목표치 추정시 제안된 제어기가 종래의 제어기보다 Angle에서 2배의 최대 편차량 차이를 나타내 보였고, 정정시간에서도 우수한 속응성을 나타내 보였다. 또한 그림 6에서와 같이 이동시 발생한 외란에 대해서도 흔들림 각도 및 정정시간에서 제안된 제어기가 종래의 제어기보다 안정적인 제어를 보여 주었다.

사례2. 화물의 질량을 변동하여 이동시킬 경우

제어기 설계시 파라미터 값이 선정된 이후 부하 변동에 따라 운전중 변할 수 있는 파라미터 값을 화물 질량의 +20%, −20%로 주었는데, 이 경우를 시뮬레이션한 결과는 그림 7, 8과 같다. Position에 있어서 도달시간은 거의 비슷하나, Angle에서는 제안된 제어기의 성능에서 빠른 정정시간 및 우수한 속응성을 나타내고 있다.

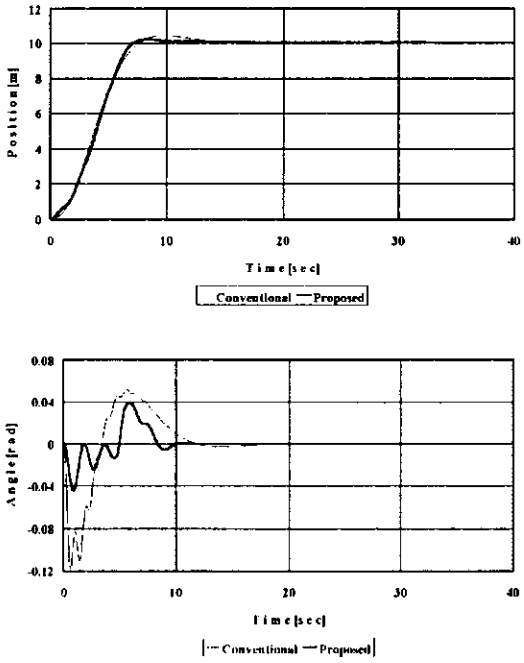

Fig. 8. Simulation results to the cargo weight change (+20%)

사례3. 목표치를 변경하여 화물을 이동시킬 경우

목표지점에 발생한 외란은 무시한 채, 목표치를 변경하여 화물을 이동시키는 경우로, 기준입력 변화에 대한 제어기의 추종성능을 알아보기 위해 시뮬레이션한 결과는 그림 9와 같다. 역시 제안된 제어기가 종래의 제어기보다 위치 및 흔들림에서 우수한 속응성을 보였다.

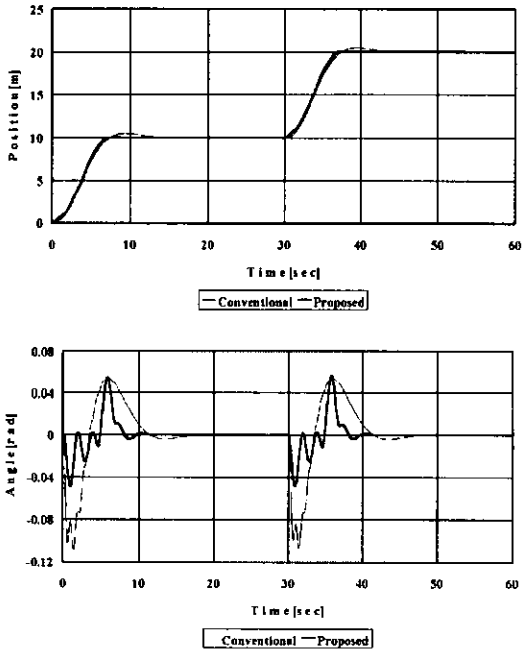

Fig. 9. Simulation results to a step-type reference change

5. 결 론

본 논문에서는 크레인 시스템에서 화물의 흔들림을 최소화 하면서 트롤리를 목표지점까지 신속하게 이동시키기 위해 유전 알고리즘을 이용한 최적의 퍼지 제어기를 설계하였다. 본 논문의 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 퍼지 제어기 설계시 최적화에 강인한 유전알고리즘을 이용하였으며, 종전의 퍼지 제어기 구성요소인 스케일링 계수, 멤버쉽함수, 제어규칙 선정시 사용되었던 시행착오법이나 부분적인 최적화와는 달리 자동으로 모든 퍼지 제어기의 구성요소를 최적화시켰다.

둘째, 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 제안은 시스템의 외란이나 화물의 질량 변동, 목표치 수정에도 불구하고 트롤리가 정상편차 없이 목표위치를 정확히 추종하고 화물의 흔들림을 효과적으로 감쇄시키는 강인함을 보여주는 제어기임을 시뮬레이션을 통해 보였다.

향후, 크레인 시스템에서 로프 길이 변화에 대한 연구와 퍼지 제어기의 다양한 룰 변화에 대해서 계속해서 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] 박병석, 윤지섭, 이재설, "무진동 크레인을 이용한 흔들림 제어에 관한 연구", '90.한국자동제어학술회의논문집, pp. 292~297, 1990.

[2] 이태영, "퍼지이론을 적용한 Overhead Crane의 Anti-swing 제어", 경북대 기계공학과 석사학위, 1994.

[3] J. J. Hamalainen, A. Mattinene, I. Baharova and J. Virkkunen, "Optimal path planning for a trolly crane : fast and smooth transfer of load", IEE Proc.—control Theory Appl., vol. 142, No. 1, pp. 51~57, 1995.

[4] C. C. Cheng and C. Y. Chen, "Controller design for an overhead crane system with uncertainly", Control Eng. Practice, Vol. 4, No. 5, pp. 645~653, 1996.

[5] 김 섭, 양현석, "물체를 들어올리는 동작을 포함한 천장크레인의 강인한 시간—에너지 최적제어", 한국자동제어학술회의논문집, pp. 708~711, 1998.

[6] 홍금식, "컨테이너 기중기의 제어 : 수정된 시간최적주행과 비선형 잔류흔들림 제어", 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제5권, 제5호, pp. 630—639, 1999.

[7] 신민생, 이동철, 김상봉, "콘테이너 크레인의 자동화에 관한 기초연구", 韓國舶用機關學會誌, 제 18권, 제 2호, pp. 83~90, 1994.

[8] 김길태, 최형식, 진강규, "유전알고리즘을 이용한 크레인 시스템의 최적제어", 韓國舶用機關學會誌, 제 22권, 제 4호, pp. 80~86, 1998.

[9] M. Gen, R. Cheng, "Genetic Algorithms and

Engineering Design", John, Wiley & Sons,Inc. 1997.[10] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Co. Inc. 1989.

저 자 소 개

정형환(鄭亨煥)
1941년 1월 19일 생. 196년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 동아대 공대 전기전자컴퓨타공학부 교수. 당학회 정회원

허동렬(許東烈)
1969년 11월 10일 생. 1995년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정. 당학회 정회원

오경근(吳京根)
1967년 12월 28일생. 1993년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1993년~1998년 LG산전(주) 근무. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정. 당학회 정회원.

주석민(朱碩珉)
1965년 5월 11일 생. 1992년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 동아대 정보기술연구소 특별연구원. 당학회 정회원

안병철(安秉喆)
1963년 6월 2일생. 1988년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 부산·울산지방중소기업청 시험검사과 공업연구사. 당학회 정회원