

생체면역알고리즘을 이용한 크레인의 자율주행 제어에 관한 연구 An Autonomous Traveling Control of Crane Using Humoral Immune Algorithm

이권순·이영진

K. S. Lee and Y. J. Lee

Key Words : Crane(크레인), Humoral Immune Algorithm(생체면역알고리즘), 2-DOF PID controller(2 자유도 PID 제어기), Anti-sway(진동억제)

Abstract : While the crane system operate in port, one of main objective is to transport containers to the goal position as soon as possible. Because this is one of the biggest problem in terms of productivity of port, the container crane is operated by an expert operator until now. However recently an automatic control system with high performance is required to improve the performance of the crane system and to make high productivity. Therefore we developed an optimal controller based on Humoral Immune Algorithm with PID controller. The proposed system has a real time structure and can improve the performance such as anti-sway problem. Some computer simulations are implemented to assess the characteristics of the proposed controller.

기호설명

- x : the fixed coordinate which is trolley position [m]
- \dot{x} : the velocity of trolley[m/sec]
- l : the length of rope[m]
- \dot{l} : the velocity of rope winding[m/sec]
- θ : the swing angle of the load in an arbitrary direction in space[deg]
- g : the gravitational acceleration[m/sec²]
- M : the mass of trolley[kg]
- m : the mass of load[kg]
- F_T : the driving force toward trolley[N]
- F_H : the driving force toward hoist[N]

1. 서 론

최근 초대형 컨테이너선의 출현에 따라 컨테이너 터미널의 운영효율을 향상시키고 해상수송 물류비

용을 절감하기 위하여 항만시설의 자동화에 관한 필요성이 전세계적으로 증가되고 있는 추세에 있다. 이에 따라 초대형 컨테이너선(Super Post-pamax Vessel)의 출현에 따른 재항시간의 최소화는 동북아 메가 허브항(Mega Hub-port)의 최대관건으로서 국가전략사업으로 추진 중에 있다. 특히, 최근에 싱가포르의 PSA의 신규 컨테이너 터미널에는 무인 자동운전 크레인인 OHBC(Overhead Bridge Crane)을 개발하여 적용함으로써 항만 운용효율을 극대화시키고 있다.

이와 같은 크레인 시스템은 항만 하역장비뿐만 아니라 일반 산업현장에서도 다양한 중량의 물체를 이송시키는데 이용되는 시스템으로서, 주위의 작업환경에 따라서 크레인을 이송하는 트롤리(Trolley)의 이동속도, 운반하고자 하는 물체의 무게 및 이송거리 변화에 의하여 진자운동과 같은 흔들림과 그에 따른 위치오차도 함께 발생되므로, 생산성이 저하되거나 작업성이 크게 떨어지는 문제를 발생시키고 있다.^{1,2)} 특히, 항만에서는 해풍에 의한 스프레더(Spreader)의 흔들림으로 인하여 시설물과의 충돌은 물론이고 운반물체의 파괴 및 손상을 초래할 뿐 아니라 인명피해를 야기시킬 수 있는 원인이 되기도 한다.

더구나 제어이론의 눈부신 발달로 인하여 여러 가지 이론들이 크레인 시스템에 적용되고 있지만, 대부분의

접수일 : 2006년 4월 30일, 채택확정 : 2006년 8월 24일
이권순(책임저자) : 동아대학교 전기공학과
E-mail : kslee@dau.net.kr Tel. 051-200-7739
이영진 : 한국폴리텍 항공대학 항공전기과

연구결과들은 크레인의 비선형성(Nonlinearity)을 고려하지 않은 선형시스템에 대한 해석과 설계에 관한 많은 연구가 이루어졌다. 따라서 주어진 시스템에 대한 수학적 표현이 단순하면서도 비선형 시스템에 대한 동적 특성을 잘 표현하는 지능제어(Intelligent Control)에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 이러한 연구들에는 신경회로망(Neural Network, NN), 퍼지 이론, 그리고 유전자 알고리즘 등을 제어이론에 응용한 것을 의미한다.²⁻⁴⁾

특히, 크레인 시스템을 제어하는 방법에는 속도제어에 의한 방법과 토크 제어에 의한 두 가지 제어 방법으로 나눌 수 있는데, 이는 제어입력이 각각 속도와 토크인 경우로서 두 가지 제어시스템 모두 위치제어와 진동억제(Anti-sway)제어 변수를 갖는다. 크레인이 화물을 이송시킬 때 발생하는 진동각과 위치오차는 서로 연관된 관계로서 위치제어에 비중을 두게 되면 진동제어에 소홀해지고 진동제어에 비중을 두게 되면 위치제어에 문제가 될 수 있는 관계로서 이 두 가지 제어변수를 함께 제어하기란 쉽지 않은 문제이다.³⁻⁵⁾

따라서, 본 연구에서는 자율이송 스택킹 크레인(Stacking Crane) 시스템을 위하여 다양한 설정위치와 주위의 외란이 인가되었을 경우에도 효과적인 제어가 될 수 있도록 위치오차 및 진동각의 두 가지 제어변수를 동시에 제어할 수 있는 최적의 제어를 설계하고자 한다.

즉, 이송 물체의 진동을 최소화하면서 최소의 시간 내에 설정된 위치에 도달할 수 있는 제어기로서는 설정값 변화와 외란제어에 강인한 2 자유도 PID(2-DOF PID) 제어기를 적용하였으며, 제어기 파라미터(Parameter) 자동동조를 위하여 생체면역 알고리즘(Humoral Immune Algorithm; HIA)을 이용하여 구현하여 보았다.

특히, 면역알고리즘은 최근에 생체의 면역시스템을 모델링한 최적화 알고리즘으로서 그 우수성이 입증되고 있어 본 연구의 방향도 기존 제어방식의 단점인 국부수렴으로 인한 한계점과 외란에 강인하지 못한 단점을 극복할 수 있는 좋은 계기가 될 수 있을 것으로 기대하고 있다. 또한, 본 연구에서 시뮬레이션(Simulation)한 결과 면역알고리즘으로 동조된 제어기의 제어특성이 우수함이 확인됨에 따라 실제 산업현장에서도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. Crane 모델링

항만에서 이용되는 컨테이너 이송용 크레인을 아래 그림과 같이 2 자유도(2 D.O.F) 구조의 크레인 시스템으로 고려할 수 있다. 이때, 크레인 시스템 제어계는 Fig. 1과 같이 x 축 방향의 트롤리 횡행 속도 조작과 θ 방향의 흔들림과 로프 조작으로 크게 나누어 생각할 수 있다.

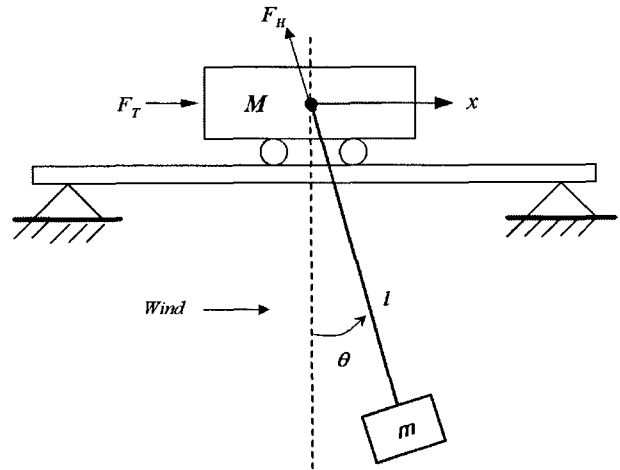


Fig. 1 2-D.O.F. crane system

이러한 크레인 시스템의 운동방정식은 Lagrange 방정식을 이용하여 다음의 식 (1)~(3)과 같은 3개의 비선형 운동방정식으로 나타낼 수 있다.²⁾

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

$$m\ddot{x}\cos\theta - m\dot{\theta}^2 - 2m\dot{l}\dot{\theta} - mgl\sin\theta = 0 \quad (2)$$

$$m\ddot{x}\sin\theta - m\dot{l} + m\dot{\theta}^2 + mg\cos\theta = F_H \quad (3)$$

이러한 크레인 시스템에 있어서 제어되어야 할 대상으로는 트롤리의 위치 x , 로프 길이 l 및 화물의 진동각 θ 가 있으며, 제어 입력으로는 트롤리와 호이스트에 각각 인가되는 입력 F_T 와 F_H 가 있다.

본 논문에서는 이상과 같은 제어계에 대하여 로프의 길이는 변하지 않고 고정되어 있다고 가정한 2 자유도의 시스템으로 선형화하여 트롤리의 속도만으로 주어진 위치까지 운반물체를 최소의 진동으로 이송시킬 수 있는 시스템으로 구성하였다.

$$(M+m)\ddot{x} - m\dot{\theta}\cos\theta + m\dot{\theta}^2\sin\theta = F_T \quad (4)$$

$$m\ddot{x}\cos\theta - m\dot{\theta} = mg\sin\theta \quad (5)$$

아울러, 운반물체의 진동각이 아주 작다고 가정

한다면, $\sin\theta \cong \theta$ 및 $\cos\theta = 1$ 로 가정할 수 있으며, 이로부터 다음과 같은 선형 운동방정식을 얻을 수 있다.

$$(M+m)\ddot{x} - ml\ddot{\theta} = F_T \quad (6)$$

$$l\ddot{\theta} + g\theta = \ddot{x} \quad (7)$$

3. 면역알고리즘을 이용한 제어기 설계

3.1 2-DOF PID 제어기

일반적으로 PID 제어기는 비교적 구조가 간단하면서도 구현하기가 쉽다는 장점을 가지고 있으므로 현재 산업현장에서 널리 사용되고 있다.⁶⁾ 본 논문에서 연구한 크레인 제어기에 대하여, 외란을 고려하지 않은 일반적인 경우에는 P나 PI제어기와 같은 단순화된 제어 기능만으로도 충분히 제어할 수 있지만, 설정값이 변화되거나 바람과 같은 주위의 예측할 수 없는 환경변화에 대해서는 원활한 제어가 어렵게 됨에 따라 운전자의 작업환경에 그만큼의 부담을 주게 된다.⁷⁾ 따라서, 본 논문에서는 설정값 추종 성능뿐만 아니라 외란 제거능력도 매우 우수한 2-DOF PID제어기를 Fig. 2와 같이 피드백(Feedback)형으로 구성하여 크레인의 위치 및 운반물의 흔들림 제어기에 적용하는 문제를 연구하였다.

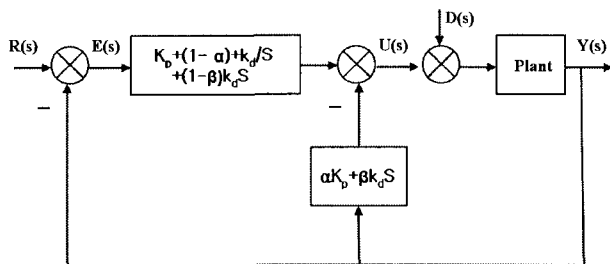


Fig. 2 A block diagram of the 2-DOF PID controller

먼저, Fig. 2의 제어기 출력 $U(s)$ 는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있으며,

$$U(s) = E(s) \left\{ k_p(1-a) + \frac{k_i}{s} + (1-\beta)k_d s \right\} - (\alpha k_p + \beta k_d s) Y(s) \quad (8)$$

여기서, k_p, k_i, k_d 는 PID제어기 이득이며, $R(s)$ 는 트롤리의 최종위치 및 운반물의 진동각으로 설정하였으며, α 와 β 는 여러 가지 형태의 PID제어기 변형

을 유도하는 파라미터이다.

따라서, 본 논문에서는 2-DOF PID 제어기 설계에 필요한 파라미터 k_p, k_i, k_d 및 α, β 를 면역알고리즘으로 자동동조 하였으며, 위치오차 및 흔들림 오차에 대한 2대의 제어기로 각각 구성하여 총 10개의 파라미터를 추정하였다. 또한, 외란 $D(s)$ 는 식 (9)와 같이 상시 일정한 주기를 가지는 강풍과 갑작스런 돌풍의 두 가지 외란에 대하여 고려하였다.

$$F_w = 0.02 (3 \sin \omega t + 7 \sin 2 \omega t + 5 \sin 3 \omega t + 4 \sin 4 \omega t) \quad (9)$$

3.2 면역알고리즘

면역 시스템의 항원(Antigen), 항체(Antibody) 반응에 기초한 면역알고리즘은 외부에서 침입하는 여러 가지 항원을 인식할 수 있는 능력을 가진 항체의 다양성(Diversity)과 항원, 항체의 반응 정도를 나타내는 척도로서 다양성을 구현하기 위한 기반이 되는 친화도(Affinity)가 주요 특징이라 할 수 있다.⁸⁾ 이러한 면역알고리즘을 최적화 문제와 대응시켜 보면, 항원은 최적화 문제의 제약 조건인 목적함수, 항체는 최적화 문제의 해, 항원과 항체의 친화도는 탐색된 해에 대한 목적함수의 평가값으로 대응될 수 있다. 즉, 이러한 면역알고리즘의 과정은 항원의 인식, 항체의 생성, 기억세포의 분화 및 친화도에 따른 항체의 촉진과 억제 과정으로 설명될 수 있다.^{2,9)} 면역알고리즘의 절차는 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

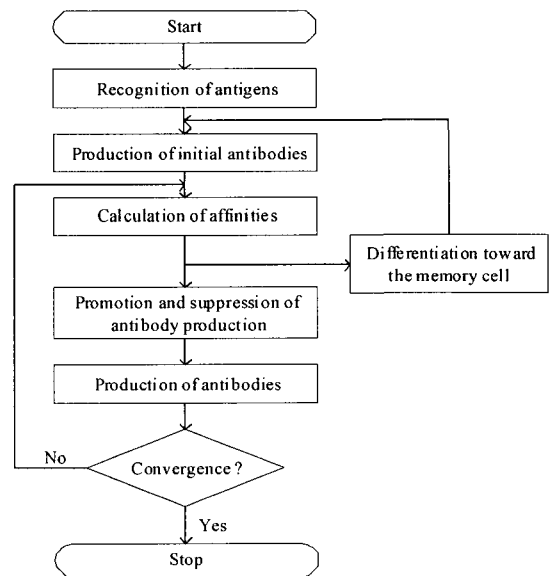


Fig. 3 Flowchart of humoral immune algorithm

면역알고리즘에서 항원은 시스템에서 발생하는 오차함수나 평가함수로 대별될 수 있으므로 Fig. 3의 항원의 인식(Recognition of Antigens)은 시스템의 출력에 대하여 센서로부터 얻은 신호와 설정값과의 오차로 나타낼 수 있다. 항체는 제어기의 매개변수로 PID 제어기의 경우에 K_p , K_i , K_d 및 α , β 를 의미하므로 항체의 생성과 기억세포로의 분화과정은 제어기 파라미터를 생성하고 이를 평가하여 시스템에 가장 적절한 값으로 동조하는 역할로 설명될 수 있다. 이때, 기억세포로의 분화 시에는 항원과의 친화도가 높은 항체를 기억세포로 추가되는데 이는 오차를 보다 최소로 할 수 있는 제어기 파라미터가 저장됨을 의미한다. 하지만, 친화도가 높은 항체는 새로운 개체생성에서 다양성을 저하시키는 원인이 됨으로 새롭게 추가되는 항체와 기억세포에 이미 저장되어 있는 항체들 간의 친화도를 계산하여 친화도가 가장 높은 항체는 제거하기도 한다. 각 세대의 항체-항원간의 친화도를 평가하기 위한 평가함수는 시스템의 시간에 따른 위치오차 및 진동각 오차를 고려하여 식 (10)과 같이 설정하였다.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \{ e_x(t) \cdot t \cdot w_1 + e_\theta(t) \cdot t \cdot w_2 \} \quad (10)$$

여기서, $e_x(t)$ 는 위치오차, $e_\theta(t)$ 는 진동각오차, w_1 과 w_2 는 각각 위치 및 진동각의 가중값으로서 경험적으로 결정하였으나, 위치오차가 진동각보다 일반적으로 작게 나타나므로 $w_1 \ll w_2$ 이 되도록 1:100 정도로 선정하였으며, 위치최적이냐 흔들림 최적이냐에 따라 원하는 제어방향에 맞게 적절하게 바꾸어서 선정할 수도 있다.

3.3 최적제어기의 구성

2-DOF PID 제어기의 경우 설정값 변화에 대해서는 기존의 P, I, D 파라미터를 적절히 조정하고 외란에 대해서는 α , β 를 조정하면 되므로 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 2-DOF PID 제어기의 파라미터를 면역알고리즘으로 자동동조하여 위치오차 및 진동각을 최소로 하면서 외란에도 강인한 제어기가 되도록 구성하였으며, 향후 이를 실시간으로 응용할 수 있도록 온라인 구조로 구성하였다.

따라서, 제어기 파라미터의 탐색과정은 면역알고리즘을 이용하여 Fig. 5에서 나타내어진 것처럼 PID 제어기의 파라미터를 하나의 개체로 구성하여 유전자적 연산과정과 의사 면역과정을 통하여 최적

의 PID 파라미터를 결정할 수 있다. 이와 같은, 오프라인을 통한 제어기 파라미터의 근사적 탐색은 추후 실시간 적용 시에도 처음부터 광범위한 탐색으로 인해 자칫 제어 범위를 벗어나는 문제점을 해결할 수 있고, 초기 탐색 시간을 줄여 효율성을 보다 증대시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

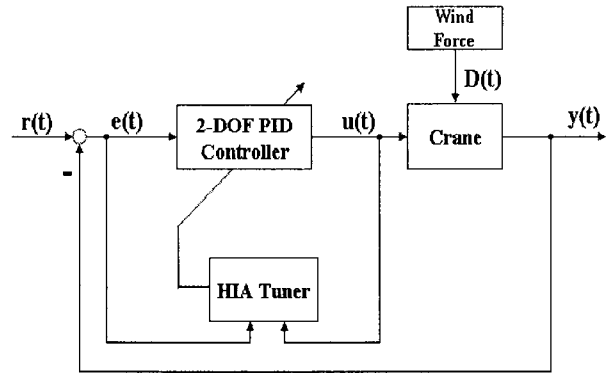


Fig. 4 A block diagram of the proposed control systems

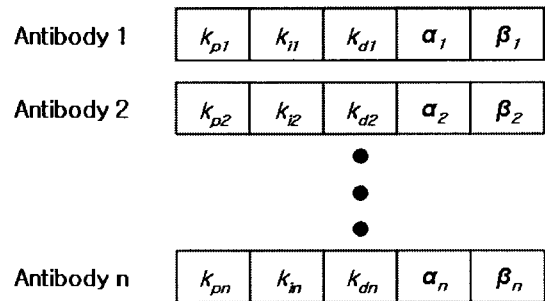


Fig. 5 The population structure of PID parameters

우선, 본 연구에서는 2-DOF PID 제어기의 성능 평가 및 면역알고리즘의 자동동조 특성을 파악하기 위하여 면역알고리즘으로 먼저 동조된 파라미터를 제어기에 적용하기 위하여 off-line으로 파라미터를 동조하여 적용하였다. 하지만, 실제 시스템의 경우 컨테이너의 중량 등의 변화 등으로 인하여 시스템 및 주변의 상황이 실시간으로 변화하는 것이 예상되므로 이를 보완하기 위하여 Fig 6과 같이 실시간으로 구현하였다. Fig 6에서 보는 바와 같이, 이러한 방법을 적용하기 위해서는 첫째, 실제 모델과 동일한 수학적 모델 또는 다이나믹스(Dynamics)이 필요하나, 본 연구에서는 아직 실험단계가 아니므로 실제 모델도 수학적 모델을 대상으로 하여 실시간 동조에 필요한 모델과 함께 사용하였다. 또, 실제 자동동조에 소요되는 시간이 약 15초 이내에서 거의 최적의 값을 찾고 있으므로 크레인 시스템 기동 시에

소요되는 시간 내에 충분히 제어가 파라미터를 실시간으로 동조할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이상의 알고리즘을 바탕으로 시뮬레이션을 구현하여 보았다.

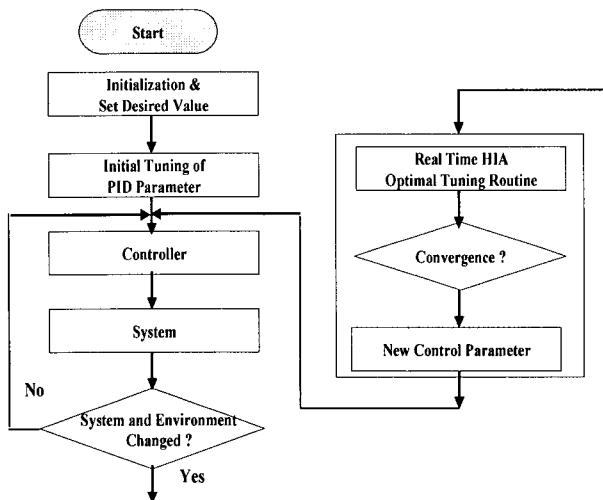


Fig. 6 A block diagram of the real time tuning control systems

4. 시뮬레이션 결과

4.1 시뮬레이션 방법

설계된 제어기의 성능 평가에 대한 시뮬레이션을 위하여 다음과 같은 3가지 경우에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

- Case I: 일반 PID 제어기
- Case II: 신경회로망 PID 제어기
- Case III: HIA tuned PID 제어기

상기 제어기의 특성과 성능을 평가하기 위하여 다음과 Table 1과 같이 두 가지 경우에 대한 시뮬레이션을 구현하였다.

Table 1 Simulation condition

	Simulation I	Simulation II
Set Value	4[m]	2[m]
Disturbance	Sudden wind at time 15[sec]	Strong wind of equation (9)

시뮬레이션에 사용된 설계 파라미터는 Table 2와 같이 하였다. 이상의 조건을 갖는 크레인을 대상으로 Fig. 3과 같이 구성된 자동동조 2-DOF PID 제어기를 적용하여 다음과 같이 운반물의 위치 및 진동

을 구하여 제어성능을 관찰하여 보았다.

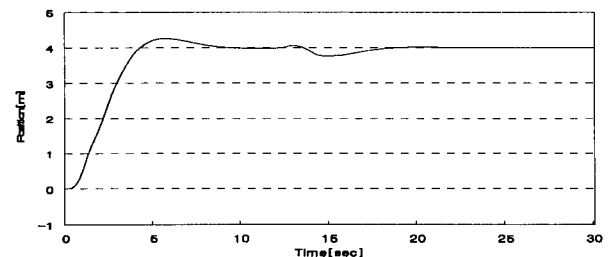
Table 2 A Simulation data of the crane system

Parameter	Values
중력 가속도 (g)	9.8[m/sec ²]
트롤리 질량 (M)	4.2[kg]
운반물의 질량 (m)	5.6[kg]
로프의 길이 (l)	0.86[m]

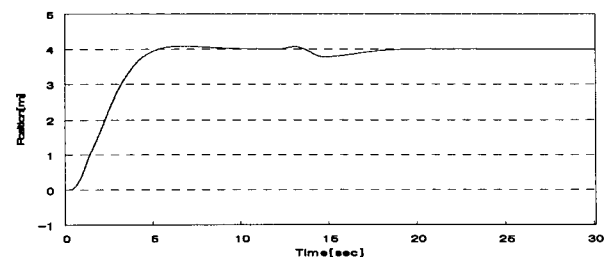
4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 시뮬레이션 I

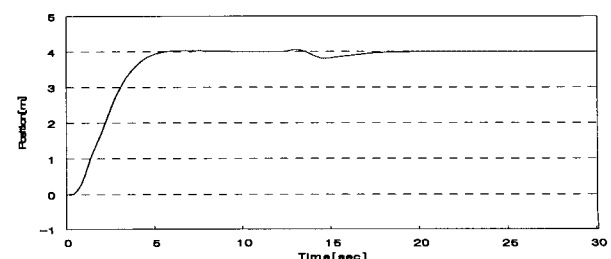
시뮬레이션 I에서는 목표위치를 4[m]로 하고 초기 진동각을 약 2[deg]로 설정하여 10초 후에 갑작스런 돌풍으로 인한 외란이 부가된 경우에 대하여 고려하여 보았다. Fig. 7은 목표값에 대한 크레인의 이동거리를 나타낸다. Case I은 Matlab으로 이용하여 ZN법을 이용하여 동조하였다. 초기 목표값 도달 시부터 약 0.3[m] 범위에서 오버슈트가 발생함을 알 수 있다.



(a) Case I



(b) Case II



(c) Case III

Fig. 7 Distance variation of crane

Fig. 8은 목표값에 대한 크레인 추종오차에 대한 RMS(Root mean Square)값을 나타낸다. Case III이 Case I과 Case II에 대하여 추종오차가 약 6% 정도 향상됨을 확인할 수 있었다. 이는 시간에 따른 오차의 누적분을 의미하는 만큼 결과적으로 제안 제어기법이 전체 범위에서 오차를 적게 가져감을 볼 수 있으며, 이는 제안한 제어기의 경우가 우수함을 의미한다고 볼 수 있다.

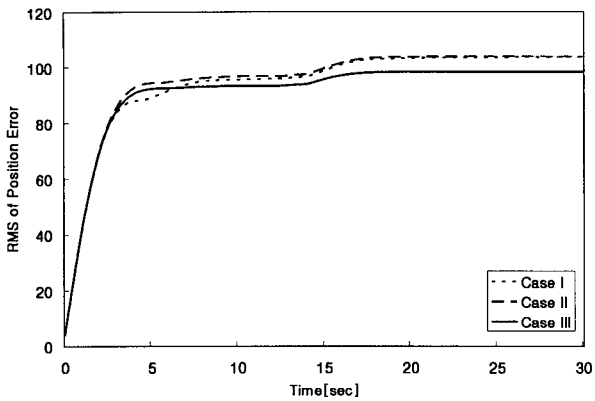
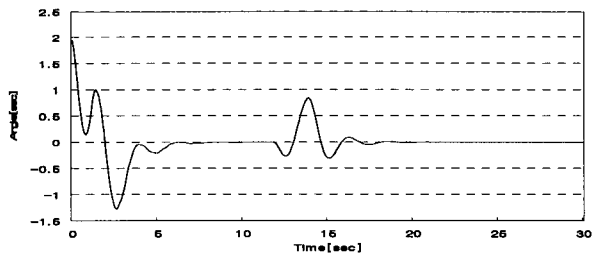
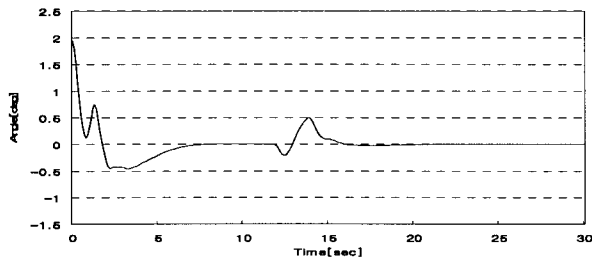


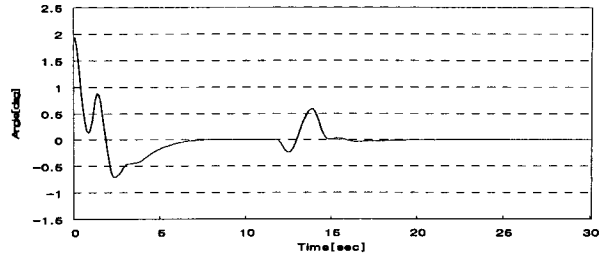
Fig. 8 RMS value of position error



(a) Case I



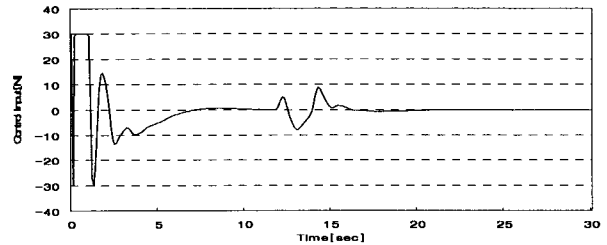
(b) Case II



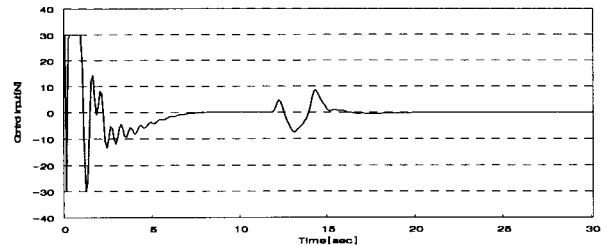
(c) Case III

Fig. 9 Spreader angle of crane

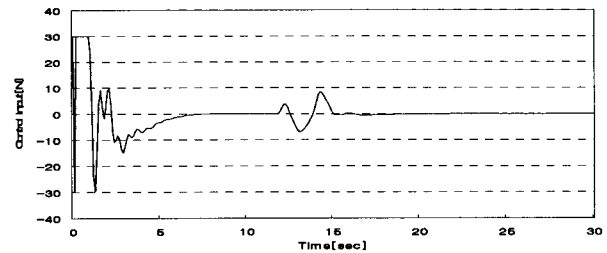
Fig. 9는 크레인 이동에 따른 스프레더의 흔들림을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 목표 지점 도달 후에도 약 1.27[deg]에 달하는 폭의 스프레더의 흔들림이 발생하였으며, 돌풍이 불었던 15[sec]부근에서 Case I은 최대 0.7[deg] 이상의 진동과 함께 수초간 오실레이션을 수반하고 있는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 제안한 제어기의 경우는 최대 0.5[deg] 범위 내에서 비교적 안정된 수렴을 보이며, 과도한 진동도 수반하지 않음을 알 수 있다.



(a) Case I



(b) Case II



(c) Case III

Fig. 10 Control input

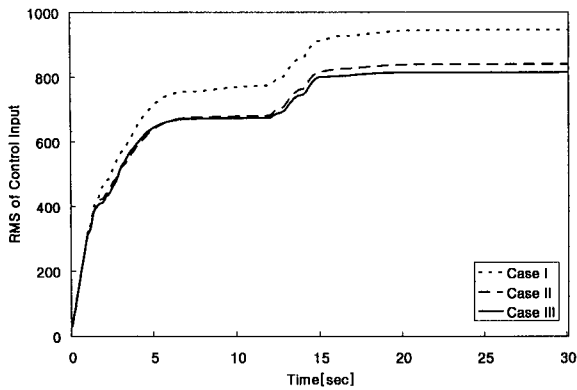


Fig. 11 RMS value of control input

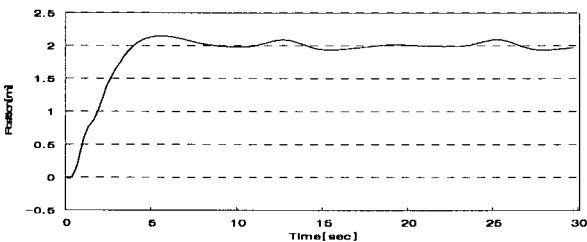
Fig. 10과 11은 시뮬레이션 I에 대한 각 제어기별 제어입력을 나타내고 있다. Fig. 11은 제어입력에 대한 RMS 값으로서 제안한 제어기가 Case I과 Case II에 비해 각각 13%, 4% 개선됨을 알 수 있었다. 이는 실제로 제어 입력에서도 제안한 제어방법이 종래의 제어기법에 비하여 보다 효과적으로 입

Table 3 Simulation result(simulation I)

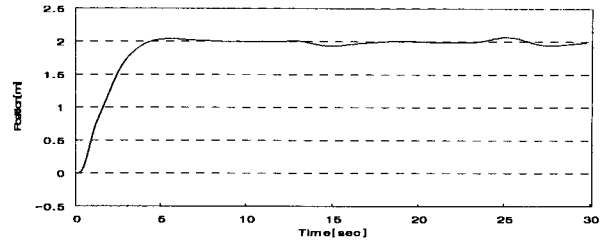
	Case I	Case II	Case III
Average position error[m]	0.3464	0.3456	0.3281
RMS of position error	103.68	103.62	98.44
Average control input[KN]	3.1531	2.8015	2.7199
RMS of control input	945.95	840.46	815.39
Max sway angle[deg]	1.2761	0.54	0.72
RMS of sway angle	151.93	150.73	150.37

4.2.2 시뮬레이션 II

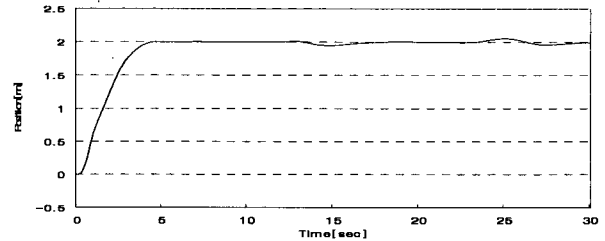
시뮬레이션 II에서는 목표위치를 2[m]로 하고 강풍이 지속적으로 분다고 가정하였을 경우에 대하여 평가하였다. Fig. 12는 지속적인 목표위치에 대한 추종결과를 나타내고 있다.



(a) Case I



(b) Case II



(c) Case III

Fig. 12 Distance variation of crane

력되고 있음을 알 수 있다. 이상의 시뮬레이션 I에 대한 시뮬레이션 결과를 Table 3에 나타내었다. 결과적으로 제안한 제어기는 외란에 대해서도 강한 특성을 보이고 있으며, 목표지점에 도달 후에도 불필요한 잔류 흔들림이 없으므로 이송차량과 컨테이너의 도킹(docking)이 보다 용이해짐에 따라 생산성이 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 13은 목표값 추종에 대한 오차의 RMS값을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 Case III의 경우가 Case I에 비해 약 17%의 성능 개선을 확인할 수 있다.

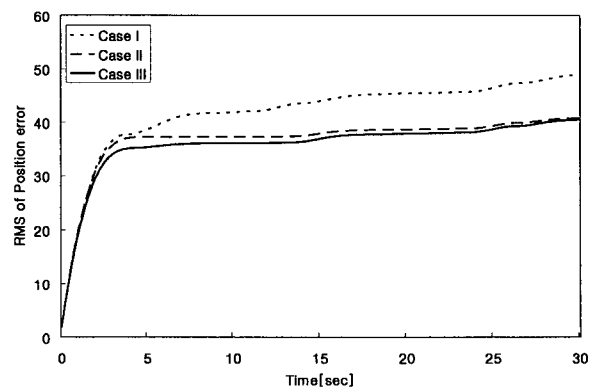
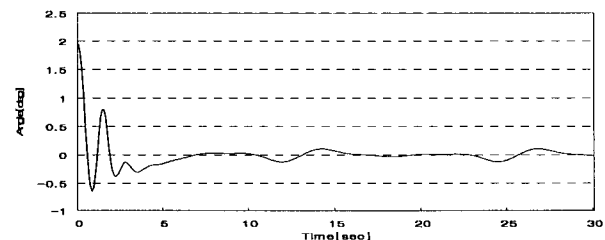
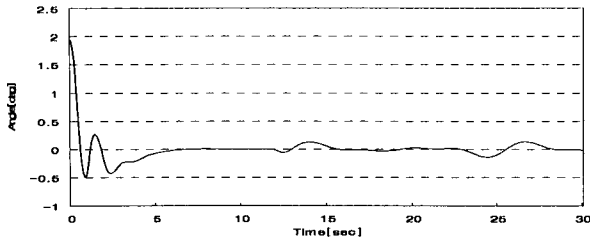


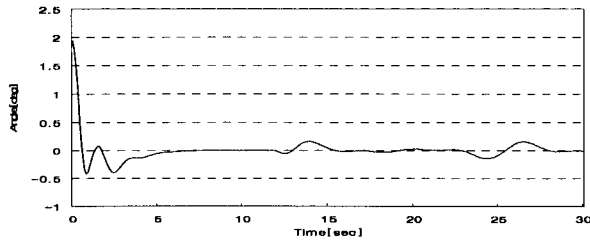
Fig. 13 RMS value of position error



(a) Case I



(b) Case II

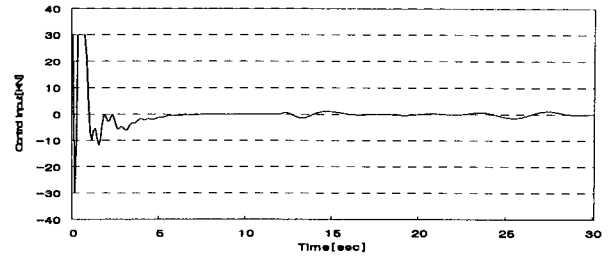


(c) Case III

Fig. 14 Spreader angle of crane

Fig. 14는 크레인 이동에 따른 스프레더의 흔들림을 나타낸다. 지면상 그래프로는 나타나지 않았지만 스프레더 흔들림 RMS값에 있어서도 Case III가 Case I에 비하여 약 22% Case II에 비해서는 약 7%의 오차가 개선됨을 확인하였다.

Fig. 15와 16은 제어 입력과 제어입력에 대한 RMS 값을 나타낸다.



(c) Case III

Fig. 15 Control input

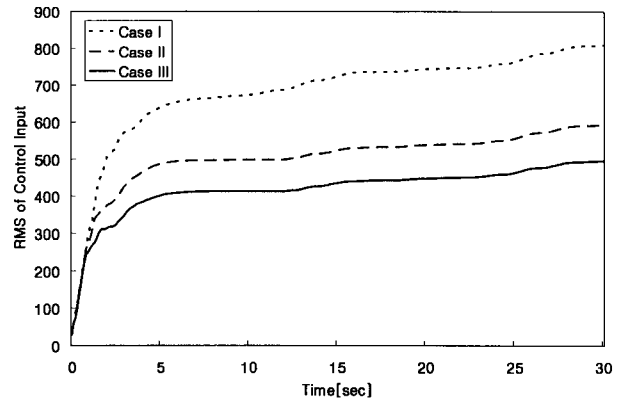
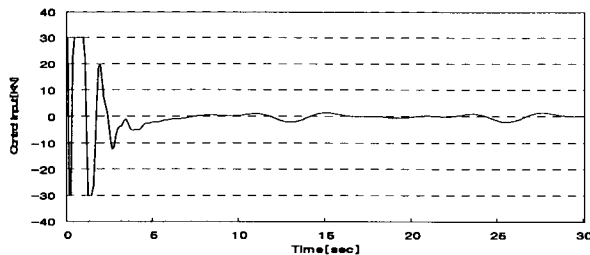
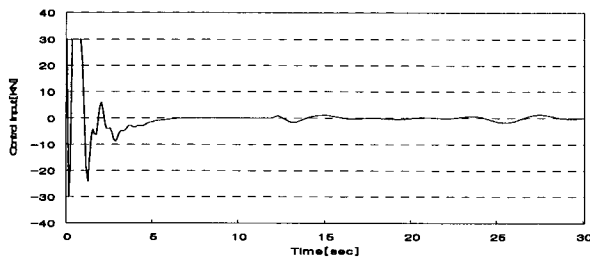


Fig. 16 RMS value of control input

Fig. 16에서 알 수 있듯이 제안한 Case III가 Case I과 Case II에 비하여 각각 39%, 16% 향상된 것을 알 수 있으며, 이는 제안한 제어기가 보다 효과적으로 제어 입력을 인가하고 있음을 알 수 있다. 이상의 시뮬레이션 II에 대한 시뮬레이션 결과를 Table 4에 나타내었다.



(a) Case I



(b) Case II

Table 4 Simulation results(simulation II)

	Case I	Case II	Case III
Average position error[m]	0.1635	0.1361	0.1351
RMS of position error	49.07	40.83	40.83
Average control input[KN]	2.6921	1.9749	1.6512
RMS of control input	807.63	592.47	495.36
Max sway angle[deg]	160.84	50.64	47.56
RMS of sway angle	151.93	150.73	150.37

상시 바람이 불고 있다고 가정한 시뮬레이션 II에 대한 시뮬레이션 결과 일반적인 PID 제어기에 비해서는 매우 우수한 결과를 나타냈으며, 위치 오차 추정 면에서는 신경회로망 PID 제어기와 거의 동등한

성능을 보였지만 제어 입력과 흔들림을 모두 고려할 경우 제안한 제어기가 충분히 효과적으로 제어한다고 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서 추구하고자 하는 바는 실제 산업현장에서 발생하는 다양한 환경변화와 같은 외란에 강인하고 보다 안정된 최적의 크레인 제어시스템을 개발하는데 있다. 따라서 본 연구에서는 생체면역알고리즘을 이용하여 2-DOF PID 제어기를 설계한 후 Pilot 크레인 모델에 대하여 위치 및 진동을 동시에 고려하여 시뮬레이션을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 생체면역알고리즘을 이용하여 PID 제어기 파라미터를 복잡한 수식을 거치지 않고도 짧은 시간 내에 최적의 파라미터를 동조할 수 있으므로, 이를 실시간으로 구성할 수 있는 가능성을 제시하였다.

둘째, 크레인 제어변수는 크게 위치와 진동각으로 나누어 생각할 수 있는데 본 논문에서 제안한 식(10)의 평가함수를 사용함으로써 가변적 구조를 갖는 제어기를 설계하여 적용함으로써 위치오차 및 제어에너지 그리고 흔들림을 함께 효과적으로 제어할 수 있었다고 사료된다.

후 기

이 논문은 2002학년도 동아대학교 학술연구비(공모과제) 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. 김영복, 장지성, 2005, "구조계와 제어계의 통합적 설계법을 이용한 크레인의 Swing-Motion 제어계설계", 대한기계학회 논문집 A권, 제 29권, 제 5호, pp. 777~785.
2. 서진호, 이진우, 이영진, 이권순, 2005, "신경회로 망예측 PID 제어법을 이용한 컨테이너 크레인의 자동주행제어", 한국정밀공학회지, 제 22권, 제 1호, pp. 61~72.
3. 소명옥, 유희한, 박재식, 남택근, 최재준, 이병찬, 2003, "퍼지제어기법을 이용한 컨테이너 크레인의 제어기 설계", 한국마린엔지니어링학회 제 27권, 제 6호, pp. 759~766.

4. Diantong Liu, Jianqiang Yi, Dongbin Zhao, and Wei Wang, 2004, "Swing-free Transporting of Two-dimensional Overhead Crane using Sliding Mode Fuzzy Control", America Control Conference, Vol. 2, pp. 1764~1769.
5. Y. S. Kim, K. S. Hong, and S. K. Sul, 2004 "Anti-Sway Control of Container Cranes: Inclinometer, Observer, and State Feedback", International Journal of Control, Automation, and Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 435~449.
6. Y. Mitsukura, T. Yamamoto and M. Kaneda, 1999, "A Desing of Self-Tuning PID Controllers using a Genetic Algorithm", Proceedings of the American Control Conference, pp. 1361~1365.
7. 김동화, 이원규, 1998, "신경망 2-자유도 PID제어기를 이용한 원자력 발전소용 증기 발생기 수위 제어", Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol. 4, No. 3, pp. 320~328.
8. S. Endoh, N. Toma, and K. Yamada, "Immune algorithm for n-TSP, 1998", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 4, pp. 3844~3849.
9. 이권순, 서진호, 이영진, 2005, "생체면역알고리즘 적응제어기를 이용한 AGV 주행제어에 관한 연구", 한국동력기계공학회논문지, 제 9권, 제 4호, pp. 194~201.