

생체면역알고리즘 적응 제어를 이용한 AGV 주행제어에 관한 연구 A Study on Driving Control of an Autonomous Guided Vehicle Using Humoral Immune Algorithm(HIA) Adaptive Controller

이권순 · 서진호 · 이영진

K. S. Lee, J. H. Suh and Y. J. Lee

Key Words : Humoral Immune Algorithm(HIA, 생체면역알고리즘), Adaptive Control(적응제어), Autonomous Guided Vehicle(AGV, 무인운반차), Neural Network Identifier(NNI, 신경회로망동정기).

Abstract : In this paper, we propose an adaptive mechanism based on humoral immune algorithm and neural network identifier technique. It is also applied for an autonomous guided vehicle (AGV) system. When the immune algorithm is applied to the PID controller, there exists the case that the plant is damaged due to the abrupt change of PID parameters since the parameters are almost adjusted randomly. To solve this problem, we use the neural network identifier technique for modeling the plant humoral immune algorithm (HIA) which performs the parameter tuning of the considered model, respectively. Finally, the experimental results for control of steering and speed of AGV system illustrate the validity of the proposed control scheme. Also, these results for the proposed method show that it has better performance than other conventional controller design method such as PID controller.

1. 서 론

산업기술의 발전과 더불어 화물 수송량이 증가하고 있으며, 특히 컨테이너가 가지는 하역 및 운송의 장점 때문에 컨테이너 화물량이 급증하고 있다. 그러나 국내 항만시설은 수출입 컨테이너의 물동량이 급증함에 따라 전용 항만의 사용 밀도가 이미 포화상태로써, 한정된 항만 부지에서 더 많은 물동량을 처리함은 물론이고 급증하는 인건비를 절약하는 여러 가지 방안이 제안되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 기존의 트레일러 운송에서 AGV (Automated guided vehicle) 기술을 이용한 무인운송 시스템에 관한 연구도 그 중의 한 가지 방법으로써 활발히 진행되어지고 있다.^{1,2)}

현재 산업현장에서 널리 이용되고 있는 AGV는 정해진 주행경로를 따라 이동하여, 물류를 이송하는 시스템으로써 산업현장의 생산성 향상이 그 목적이 라고 할 수 있다. 따라서 AGV를 운행함에 있어서

이러한 목적을 성취하기 위해서는, 먼저 가급적 고속으로 주행하여 물류 운반에 소요되는 시간을 최소화함으로써 전체적인 생산성을 향상시키는 것이 요구되어진다. 하지만, AGV 차량이 고속으로 주행하게 되면 곡선 주행시 전복이나 탈선으로 인한 안정성 문제가 야기될 수 있고, 이러한 문제는 AGV의 조향 및 속도 제어기의 성능에 의하여 결정되어 짐을 알 수 있다. 따라서 각 제어기들은 다양한 운행환경과 부하변동 등의 주위 환경변화에도 적응적으로 대처할 수 있도록 설계되어야 할 것이다.³⁾

따라서, 이러한 AGV 시스템의 제어를 위한 가장 일반적인 방법은 제어대상인 AGV 시스템의 모델해석을 통하여 요구하는 조건에 가장 적합한 제어기를 설계하는 것이다. 그러나 일반적으로 AGV 시스템은 비선형성이 강하여 정확한 모델을 구성하기 어렵고 또한 비홀로노믹(Nonholonomic) 시스템으로써 구속조건이 만족되어짐을 가정해야한다. 더구나, 정확한 모델이나 파라미터를 알고 있다고 가정하더라도 옥외에서 운행될 경우에 도로의 변화 또는 컨테이너와 같은 여러 가지 부하변동을 포함하는 각종 외부환경 변화요소를 고려해야하므로 이러한 시스템을 제어하기란 쉽지 않다고 할 수 있다.^{2,3)}

그러므로, AGV 시스템과 운행환경의 비선형적

접수일 : 2005년 7월 1일
이권순(책임저자) : 동아대학교 전기공학과
E-mail : kslee@dau.ac.kr Tel. 051-200-7739
서진호: 동아대학교 전기공학과 국가지정연구실 Post-Doc.
이영진: 항공기능대학 계측제어과

요소들을 포함하는 경우를 고려하여 기존의 제어기 설계법인 자기동조(Self-tuning), 슬라이딩 모드(Sliding mode), 강인제어(Robust control) 등과 같은 방법들이 있지만, 그 구조가 복잡하고 제한된 불확실성 범위가 넓게 변화하는 경우에는 또 다른 제어방법을 제안해야 하는 문제점들을 가지고 있다. 따라서 최근에는 제어기 자체의 최적설계를 위하여, GA(Genetic algorithm), SA(Simulate annealing), ES(Evolution strategy) 및 HIA(Humoral immune algorithm) 등과 같은 최적화 알고리즘을 부가한 결합구조의 연구 결과들이 발표되고 있다.⁴⁾

본 논문에서는, AGV 시스템 및 비선형적 주행환경 요소들을 고려한 복잡한 비선형 제어기 설계문제를 해결하기 위하여 일반적인 PID 제어기에 최적화 알고리즘인 HIA 적용제어기를 도입하여 선형화에 따른 문제점과 비선형적 요소들을 능동적으로 대처할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 특히, 본 논문에서 제안되어지는 방법은 NNI를 이용한 예측 및 모델 추종기법을 이용함으로써 제어기 파라미터들을 온라인으로 미세 조정하는 구조로 설계하여 종래의 동조기법에 비하여 성능이 우수하고 주위 외란에 강인성을 가지는 적응형 제어구조를 제안하고자 한다. 또한, AGV 시스템 설계를 통하여 조향 및 속도제어 시스템을 표현하고, 제안되어진 시스템을 고려하여 구동되는 AGV 시뮬레이터 시스템을 실제 제작하여 설계된 HIA 적용제어기의 실현 가능성도 함께 검증하고자 한다.

2. AGV 시스템의 모델링

본 논문에서, AGV 시스템의 구동 및 조향장치의 효과적인 제어와 실제 시스템의 구현 가능성을 검증하기 위하여 동역학적 특성을 함께 분석할 수 있는 동적 방정식으로 접근하여 구동모터의 특성과 기구학적 관점에서 AGV 시스템을 모델링하였다. 따라서, 본 단원에서는 후륜 구동방식의 자동차형 AGV 시스템은 Fig. 1과 같이 나타내어지고, 고려되어진 AGV 시스템의 동적 방정식은 후륜 구동바퀴의 선속도와 전륜 조향바퀴의 회전각으로부터 간단하게 기술되어질 수 있다. 이때, 전륜 조향바퀴의 중심좌표 R 에서 AGV 시스템의 기구학적 벡터를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\xi = (x_r \ y_r \ \phi_r)^T \quad (1)$$

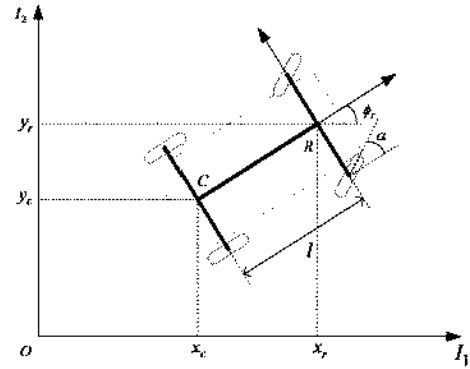


Fig. 1 Kinematics scheme of a 4-wheeled AGV

여기서, x_r 와 y_r 는 기준점 R 의 좌표이고, ϕ_r 는 관성기저(Inertia basis)에 대한 기저 $\{X, Y\}$ 의 방향을 나타낸다. 따라서, 후륜 구동바퀴의 속도방향 성분은 다음과 같이 표현되어질 수 있다.

$$\dot{x}_c = v_c \cos \phi_r, \quad \dot{y}_c = v_c \sin \phi_r \quad (2)$$

여기서, v_c 는 고려되어진 AGV 시스템의 속도이다. 이때, 전륜 조향바퀴의 좌표는 후륜 구동바퀴 좌표와 전륜과 후륜바퀴 사이의 길이 l 을 고려함으로써 다음과 같이 나타내어진다.

$$x_r = x_c + l \cos \phi_r, \quad y_r = y_c + l \sin \phi_r \quad (3)$$

따라서, 전륜 조향바퀴의 선속도는 식(3)을 시간 미분함으로써 알 수 있다.

일반적으로, AGV 시스템은 대표적인 비홀로노믹 시스템임으로 기구학적 구속력을 만족한다는 가정 아래에서 후륜 구동바퀴에 대하여 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\dot{x}_c \sin \phi_r - \dot{y}_c \cos \phi_r = 0 \quad (4)$$

따라서, 전륜 조향바퀴를 중심으로 하는 AGV 시스템의 기구학적 동적 방정식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$\dot{x}_r = v_r \cos(\phi_r + \alpha) \quad (5)$$

$$\dot{y}_r = v_r \sin(\phi_r + \alpha) \quad (6)$$

$$\dot{\phi}_r = (v_r / l) \sin \alpha \quad (7)$$

여기서, α 는 AGV의 전륜 조향바퀴의 조향각, v_r 는 전륜 조향바퀴의 속도를 의미하며, 다음과 같은 식에 의하여 계산되어진다.

$$\alpha = \sin^{-1}(l\dot{\phi}/v_r), \quad v_r = \pm\sqrt{\dot{x}_r^2 + \dot{y}_r^2} \quad (8)$$

또한, 식(4)에서 표현되어진 비홀로노믹 시스템의 구속조건을 고려하여, AGV 전륜 조향바퀴를 중심으로 하여 구속조건이 만족되어짐을 가정함으로써 다음과 같은 식이 유도되어질 수 있다.

$$\dot{x}_r \sin(\phi_r + \alpha) - \dot{y}_r \cos(\phi_r + \alpha) = 0 \quad (9)$$

더구나, AGV 시스템은 2대의 DC모터로써 구동되어짐으로 구동을 위한 후륜 DC모터의 상태방정식과, 조향에 필요한 각도 α 를 고려함으로써 조향을 위한 전륜 DC모터의 상태방정식을 고려함으로써 표현되어질 수 있다.^(3),5) 특히, 이러한 상태방정식에서 정의되어진 각 파라미터들은 이전의 연구^(5),6)들에서 상세히 기술되어져 있고, 이러한 연구들에서 제안되어진 방법들을 바탕으로 본 논문에서 고려되어진 AGV 시스템의 주행제어 알고리즘은 Fig. 2로써 나타낼 수 있다.

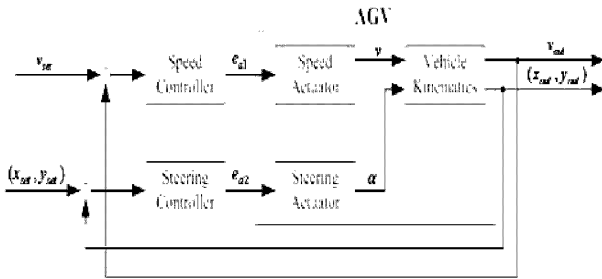


Fig. 2 Steering and speed control system of AGV

여기서, v_{set} 와 (x_{set}, y_{set}) 는 설정속도 및 주행경로의 설정좌표, e_{a1} 및 e_{a2} 는 제어기들에 입력되는 전압, v_{out} 와 (x_{out}, y_{out}) 는 출력속도 및 AGV의 위치좌표를 의미한다.

3. HIA 적응 제어기의 설계

3.1 HIA의 기본이론 및 문제설정

면역 시스템의 항원·항체 반응에 기초한 HIA는 외부에서 침입하는 여러 가지 항원을 인식할 수 있는 능력을 가진 항체의 다양성과 항원·항체의 반응정도를 나타내는 척도로써 다양성을 구성하기 위한 기반이 되는 친화성이 주요특징이라고 할 수 있다. 특히, HIA는 확률론적 탐색을 수행하는 알고리즘으로써 기존의 다른 알고리즘과 같이 하나의 기능해를 가지고 최적화 과정을 수행하는 것이 아

니라, 최적화를 병렬로 진행함으로써 수렴성이 개선될 수 있다는 것이 특징이다. 따라서 이러한 HIA를 최적화 문제와 대응시켜 보면, 항원은 최적화 문제의 제약조건인 목적함수, 항체는 최적화 문제의 해, 항원과 항체의 친화도는 탐색된 해에 대한 목적함수의 평가값으로 대응될 수 있다.⁷⁾

일반적으로 PID 제어기는 구조가 간단하면서도 구현하기가 쉽다는 장점을 가지므로 현재 산업현장에서 널리 사용되어지고 있고, PID 제어에 필요한 제어기 파라미터들의 설계를 위하여 고전적 기법에서부터 지능 제어법에 이르기까지 많은 방법들이 고안되어 적용되어지고 있다. 하지만, 고전적 기법을 이용한 제어기 설계법이 간단함에도 불구하고 정밀하거나 적응성을 요구하는 시스템에서는 다소 부족한 제어기이고, 지능 제어법의 경우에서처럼 비교적 넓은 범위에서 동작하지만 불확실성이나 비선형성이 강한 경우에는 또 다른 방법을 강구해야 한다는 문제점을 내포하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 기존 문제점들을 해결하고자 지능형 최적화 알고리즘인 HIA와 신경회로망 동정기법(Neural network identifier, NNI)을 이용하여 제어기를 구성하고자 한다. 즉, 해의 탐색 능력과 수렴특성은 HIA를 이용함으로써 파라미터 탐색능력을 향상시킬 수 있고, 더불어 NNI를 이용함으로써 시스템 모델링과 복잡성의 어려움을 함께 해결하고자 한다. 본 연구에서 제안되어질 제어기의 설계과정은 다음과 같이 간단하게 기술되어지고, 이러한 설계과정은 Fig. 3과 같이 표현할 수 있다.

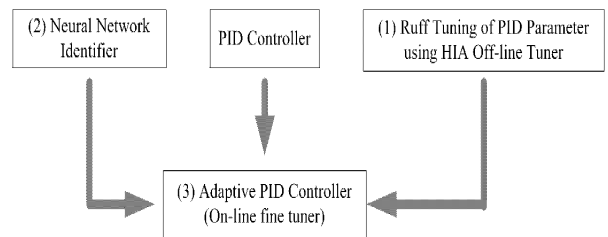


Fig. 3 Design procedure of adaptive PID controller

- 1) 고려되어진 AGV 시스템에 대한 동적 모델이 구해지면 이를 바탕으로 오프라인(Off-line)으로 PID 제어기의 초기 파라미터의 근사해를 구한다.
- 2) AGV 시스템의 신경회로망 모델을 구하고, 앞서서 얻어진 근사값을 바탕으로 실제 AGV 시스템에 적용하여 실시간 동조할 수 있는 동정

기를 설계한다.

- 3) HIA와 NNI를 결합하여 실시간으로 PID 제어기 파라미터를 미세 조정할 수 있는 적응형 PID 제어기를 설계한다.

3.2 제어기 파라미터의 근사해 동정

AGV 시스템의 동적 모델이 구해지면 HIA를 이용하여 제어기의 파라미터를 오프라인으로 근사적으로 동조한다. HIA에서 항원은 시스템에서 발생하는 오차함수나 평가함수로 구별될 수 있으므로, 항원의 인식(Recognition of antigens)은 시스템의 출력에 대한 센서로부터 얻은 신호와 설정값의 오차로 나타낼 수 있다.⁸⁾

항체는 제어기의 파라미터로 PID 제어기의 경우에 K_p, K_i, K_d 의 비례, 미분, 적분 이득을 의미함으로 항체의 생성과 기억세포의 분화과정은 제어기 파라미터를 생성하고 이를 평가하여 시스템에 가장 적절한 값으로 동조하는 역할로서 설명될 수 있다. 이때, 기억세포로의 분화시에는 항원과의 친화도가 높은 항체를 기억세포로 추가되는데 이는 오차를 보다 최소화 할 수 있는 제어기 파라미터가 저장됨을 의미한다.⁹⁾

본 논문에서는, 이러한 최적화 알고리즘을 이용하여 식(10)과 같은 PID 제어기 설계에 필요한 이득값을 동조하였다.

$$u_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (10)$$

또한, 주어진 시스템 모델과 HIA를 이용하여 식(10)에서 필요한 PID 이득을 동정하는 구조는 Fig. 4와 같이 나타내어진다.

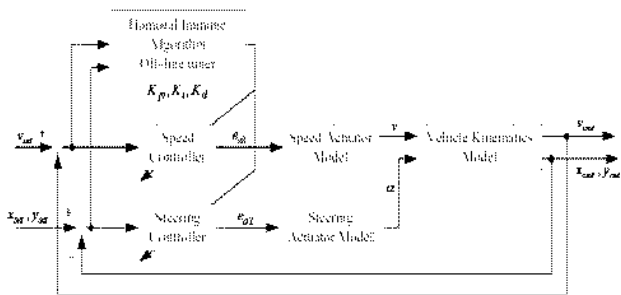


Fig. 4 An off-line tuning scheme using HIA

Fig. 4에서, 제어기의 입력은 AGV 시스템의 주행에 필요한 속도 지령치 v_{set} 와 주행경로(Driving path) 설정치인 (x_{set}, y_{set}) 이고, 플랜트(Plant)의 출

력벡터가 $y = \{v_{out}, x_{out}, y_{out}\}$ 일 때 시스템의 출력 오차는 $e = \{v_{set} - v_{out}, x_{set} - x_{out}, y_{set} - y_{out}\}$ 이며, 제어입력은 $u = \{e_d, e_w\}$ 이다.

따라서, 제어기 파라미터의 탐색과정은 HIA를 이용하여 Fig. 5에서 보여지는 것처럼 PID 제어기의 파라미터를 하나의 개체로 구성하여 유전자적 연산 과정과 의사 면역과정을 통하여 어느 정도 최적화 파라미터를 결정할 수 있다. 이와 같이, 오프라인을 통한 제어기 파라미터의 근사적 탐색은 추후에 실시간 적용시에도 처음부터 광범위한 탐색으로 인하여 제어범위를 벗어나는 문제점을 해결할 수 있고 또한 초기탐색 시간을 줄여서 보다 효율성을 증대시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

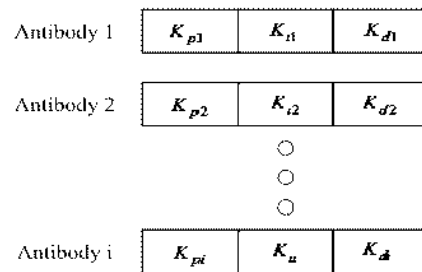


Fig. 5 The population structure of PID parameters

본 논문에서, 오프라인 동조시 사용된 HIA의 세대는 100세대로 하였고, 각 세대당 개체수는 40, 아울러 새로운 개체의 생성방법으로는 무작위 추출법 50%와 기존개체의 복제 50%를 수행한 후에 유전자적 교배를 통하여 생성시켰으며, 0.25%의 돌연변이를 적용하였다. 이러한 결과로부터 얻어진 각 제어기 파라미터는 표 1과 같이 표현되어진다.

Table 1 PID control parameters using off-line tuning

	Velocity control	Steering control
K_p	106.356	50.083
K_i	2.604	0.046
K_d	2.482	0.246

3.3 HIA 적응 제어기 설계

앞 단원에서 기술되어진 방법에 의하여, 일차적으로 제어기 파라미터가 근사적으로 동조되었으나 실제 시스템을 수학적으로 모델링할 경우에는 시스템 동정오차가 발생하게 된다. 따라서 동정오차를 고려

하지 않고서 제어기를 설계할 경우에는 이러한 파라미터에도 모델링 오차가 포함되게 됨으로써 최적치라고 할 수 없고 또한 최적치를 얻었다고 가정하더라도 실제 AGV 시스템의 구동시에 발생하는 여러 가지 불확실성으로 인한 요소가 작용할 때에는 최적설계가 되었다고 할 수 없을 것이다.

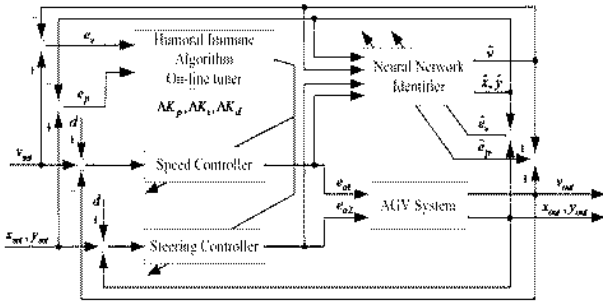


Fig. 6 Adaptive PID controller using HIA for AGV system

그러므로, 본 논문에서는 오프라인 과정에서 근사적으로 얻어진 파라미터를 기본으로 하여 NNI를 이용하여 Fig. 6과 같은 실시간 미세 동조 구조를 제안하고자 한다. 특히 신경회로망은 과거의 정보로부터 미래의 시스템 출력을 예측할 수 있는 특징을 가지고 있으므로, 시스템의 다양한 동적 특성을 학습하고 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 NNI 모델은 Narendra와 Parthasarathy 등에 의하여 여러 가지 방법들이 제안되어졌다.¹⁰⁾

본 논문에선, 식(11)과 같은 병렬구조의 NNI를 이용하여 시스템으로부터 정보를 획득하여 독립적으로 AGV 시스템을 예측할 수 있는 구조를 적용하였다. 이러한 구조는 신경회로망이 학습되면 독립적으로 AGV 시스템의 출력을 예측할 수 있으므로 실시간으로 파라미터 동정시 예측 출력을 활용할 수 있다는 장점을 가진다.

$$\hat{y}_p(k+1) = N^p[\hat{y}_p(k), \dots, \hat{y}_p(k-n+1)] + N^d[u(k), \dots, u(k-m+1)] \quad (11)$$

본 논문에서 제안되어진 제어기의 경우에도, 신경회로망의 예측출력과 과거의 정보를 이용함으로써, HIA를 이용한 제어기 파라미터를 실시간으로 동조할 수 있도록 하였고 일정한 샘플링 주기마다 PID 제어기 파라미터를 미세 조정할 수 있도록 구성하였다. 적용된 PID 제어기의 경우에, 식 (10)에 Fig. 6과 같은 온라인 HIA 동조기에 의한 보상신호 Δu 을 고려하면 식(12)와 같은 보상된 제어출력을 구할

수 있다.

$$u_{HIA PID}(t) = u_{PID}(t) + \Delta u(t) = (K_p + \Delta K_p)e(t) + (K_i + \Delta K_i) \int e(t)dt + (K_d + \Delta K_d) \frac{d}{dt} e(t) \quad (12)$$

특히, AGV의 경우에는 속도 및 조향 두 가지 모드의 제어기가 필요하므로 다음과 같은 각각의 제어기에 필요한 평가함수를 설정하여야 한다.

$$f_v = \frac{1}{a_{11}e_v^2(t) + a_{12}e_p(t)} \quad (13)$$

$$f_s = \frac{1}{a_{21}e_p^2(t) + a_{22}e_p(t)} \quad (14)$$

여기서, 식 (13)은 속도제어기를 위한 평가함수로서 속도추정오차 e_v 는 설정속도와 신경회로망 출력 속도 오차 $v_v - \hat{v}$ 를 나타내고, 식(14)는 조향제어를 위한 평가함수로서 위치추정오차 e_p 는 설정위치 (x_r, y_r) 와 신경회로망 출력 (\hat{x}, \hat{y}) 의 편차를 나타낸다. 또한 $\{a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}\}$ 는 경험적 값으로써 각각 10, 5, 10, 5로 선택하였다. 또한 온라인 동조시 사용된 HIA의 세대당 개체수는 20, 기억세포에 저장되는 개체의 수는 5로 하였다. 아울러, 새로운 개체의 생성방법으로 무작위 추출법 50%, 기존개체의 복제 50%를 수행한 후에 유전자적 교배를 통하여 생성시켰으며, 0.25%의 돌연변이를 적용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 AGV 시스템

본 논문에서 고려되어진 AGV 시스템은 항만 컨테이너 수송차량인 UCT의 20:1의 축소모델로 제작되었다. 제작된 AGV 시스템의 구동과 조향은 DC 모터로 제어되어지고, 각 시스템은 Fig. 7과 같이 구성되어졌다.

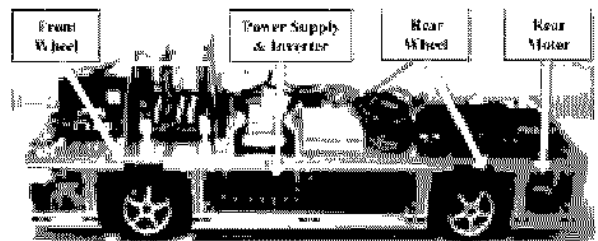


Fig. 7 The configuration of AGV system

또한, 주행에 필요한 정보는 CCD 카메라를 통하여 얻을 수 있고, 충돌안전장치로써 초음파 센서를 전후방에 각각 설치하였다.

Table 2 The specification of AGV system

Contents		Specification	
AGV system	overall length [m]	1	
	overall width [m]	3	
	overall weight [kg]	3	
	wheel radius [m]	0.05	
	weight [kg]	deadweight	payload
Driving parts	steering	Model: JC-35L-H/Gear Rated voltage: 20[A]	
	speed	Model: DCM-213-2A Rated voltage: 20[A]	
Battery		7[AH], 12[V]*3EA	

이와 같이 구성된 AGV 시스템의 사양은 표 2와 같이 나타내어지다. 특히, 구성되어진 AGV 시스템은 가이드라인과 AGV의 상대적 위치와 각도에 대한 오차를 얻기 위하여 CCD 카메라를 센서로 활용하였고 실험에 사용된 경로는 흑색 배경에 백색의 가이드 라인으로 구성하였다.

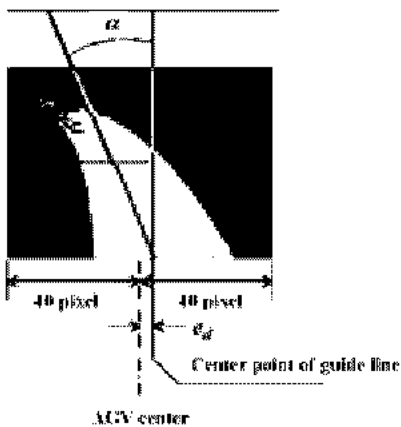


Fig. 8 The relative errors of distance and angle between AGV and guide line

Fig. 8에서 나타내어진 것처럼, 영상정보에 참조 조향각 δ 를 결정하기 위한 상대적 거리오차 e_d 와 각도오차 α 를 구할 수 있다. 이때 조향각 δ 는 식(15)로써 계산되어질 수 있다.

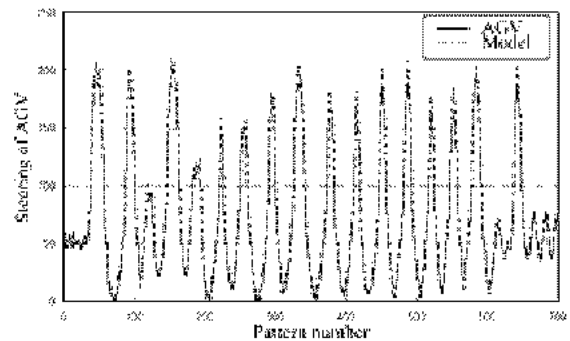
$$\delta = K \left\{ \left(\frac{e_d}{R_{speed}} \right) + (R_{speed} \cdot \alpha) \right\} \quad (15)$$

여기서, R_{speed} 을 조절하여 AGV 시스템의 속도가 증가하면 거리오차보다 각도오차가 차지하는 비율이 증가하고, 속도가 감소하면 상대적으로 거리오차에 비중을 두어 계산되도록 하였다. 또한, 이득 K 에 피드포워드와 피드백되는 부분의 전체값을 스텔링하여 δ 를 구하도록 구성하였다.

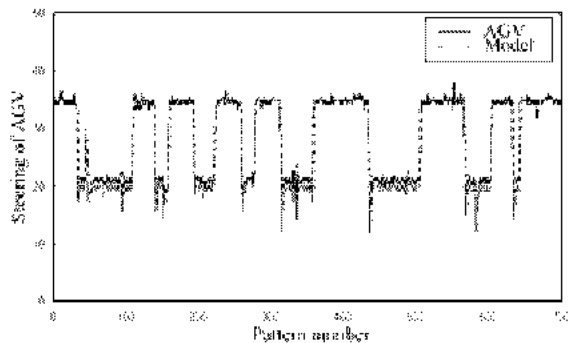
4.2 실험결과

본 연구에서, AGV 시스템의 실제 주행경로는 진폭이 1[m]인 정현파 경로로써 검정색 바탕에 폭이 약 1[cm]인 흰색 라인을 추종하도록 하였다. 또한 제작된 제어기의 구현은 AGV에 탑재된 컴퓨터에 제어 루틴을 내장하고 주행정보는 CCD 카메라로부터 입력받도록 하였다.

Fig. 9는 조향 및 속도부에 대한 모델링 학습과정을 나타낸 실험 결과이다. 동정결과 조향부 오차의 평균이 약 15%이지만, 실제값의 최대값에서는 모델링 오차가 크게 나타났으며 그 외의 경우에는 오차가 거의 없음을 알 수 있다. 또한, 속도부의 오차 평균이 6.9%이며 음의 최대값에서 오차가 다소 많이 발생한 것으로 분석된다.

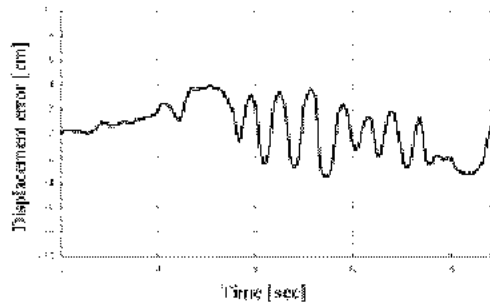


(a) steering parts

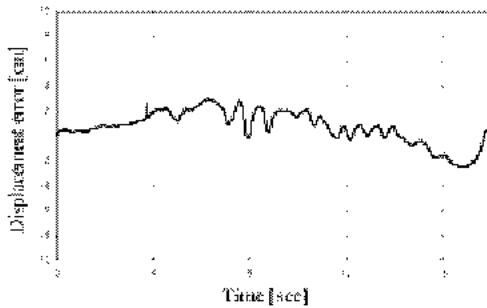


(b) speed parts

Fig. 9 Results of neural network modeling

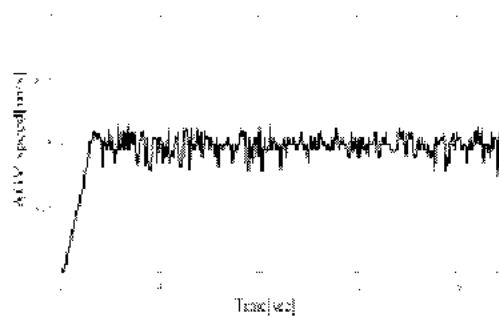


(a) PID control

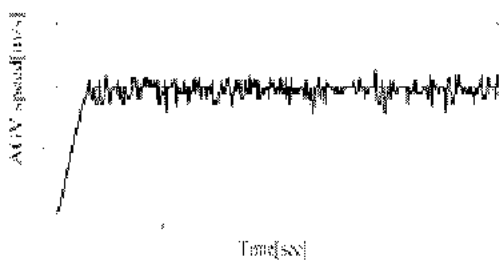


(b) HIA adaptive PID control

Fig. 10 The displacement error of AGV system



(a) PID control



(b) HIA adaptive PID control

Fig. 11 The experimental results of driving speed for AGV system

본 논문에서 제안되어진 제어기의 성능평가를 위하여, Fig. 10과 Fig. 11에서 보여지는 것처럼 PID 및 HIA 적응 PID 제어기의 성능을 비교 평가하였

다. 제안한 HIA 적응 PID 제어기의 미세조정은 매 50[msec]마다 새로운 PID 파라미터값을 자기동조하도록 구성하였다. 특히, Fig. 10과 Fig. 11에서는 약 25[kg]의 부하가 탑재된 상태에서 주행속도를 0.5[m/s]로 하였을 때의 주행변위오차 및 주행속도를 나타내었다.

이러한 실험 결과에서, 일정한 부하가 인가되는 상태에서 최대변위 오차들을 비교해보면 제안되어진 HIA 적응 PID 제어기가 PID 제어기에 비하여 약 23% 정도가 개선되어짐을 알 수 있었다. 또한 주행시에도 평균적으로 발생하는 변위오차도 약 29% 정도가 개선되어 PID 제어기보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다. 더구나, 주행속도의 경우에도 PID 제어기가 약 5.5%의 오버슈트가 발생한 반면에 제안되어진 HIA 적응 PID 제어기는 약 2.5%로써 60% 정도가 개선되어짐을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서, 우리는 생체면역반응체계에 근거한 HIA 적응 PID 제어기를 설계하였고, 실제 AGV 시스템을 통한 주행실험을 통하여 제안되어진 제어기의 유효성을 검증하였다. 특히, 제안되어진 제어기의 특징은 다음과 같이 요약되어질 수 있다.

- 1) PID 제어기 파라미터를 오프라인으로 동조하여 실시간 동조시 불특정한 제어입력에 따른 문제를 사전에 방지하도록 하였다.
- 2) 특히, 실시간 동조시에는 NN을 이용함으로써 시스템 모델링에 대한 편의성도 함께 제시하였다.
- 3) 제안되어진 제어기의 성능평가는 실제 실험결과로써 외란 및 부하운전에 대한 강인성을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2000학년도 동아대학교 학술연구비(공모과제) 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. A. Gallet, 1981, "Optical automatic guidance system of a mobile robot for industrial manufacturing", Proc. of International Conf. on

- AGVs, pp. 79-81.
2. 신두진, 허옥열, 2001, “무인반송 차량시스템의 정밀 위치제어”, 대한전기학회 논문지 제 50D권 제 7호, pp. 313-317.
 3. 윤경식, 이동훈외 3인, 2000, “조향 함수를 고려한 UCT/AGV 설계 및 구현”, 한국항해항만학회 논문지 제 14권 제 2호, pp. 199-207.
 4. M. Moore, J. Musacchio and K. Passino, 1999, “Genetic adaptive control for an inverted wedge”, Proc. of ACC, pp. 400-404.
 5. Y. J. Lee, K. S. Lee, J. M. Lee and M. H. Lee, 2000, “Adaptive control of nonlinear system using immune response algorithm”, Proc. of Asian Control Conference, pp. 1789-1793.
 6. 이영진, 이권순외 1인, 2000, “면역알고리즘 적용제어기를 이용한 AGV의 주행제어에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지 제 49D권 제 4호, pp. 201-212.
 7. J. S. Chun, J. P. Lim, H. K. Jung and J. S. Yoon, 1999, “Optimal design of synchronous motor with parameter correction using immune algorithm”, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, pp. 610-615.
 8. S. Endoh, N. Toma, K. Yamada, 1998, “Immune algorithm for n-TSP”, Proc. of ICSMC, Vol. 4, pp. 3844-3849.
 9. 이영진, 이권순, 2004, “면역시스템에 기반한 적응제어기 설계에 관한 연구”, 제어·자동화·시스템공학회지 제 10권 제 12호, pp. 1137-1147.
 10. C. T. Lin and G. Lee, 1996, “Neural fuzzy systems”, Prentice Hall.