

AGV의 주행 제어를 위한 면역 알고리즘 적응 제어기 실현에 관한 연구⁺

이영진* · 이진우* · 손주한** · 이권순***

A Study on Implementation of Immune Algorithm Adaptive Controller for
AGV Driving Control

Y. J. Lee · J. W. Lee · J. H. Sohn · K. S. Lee

Key Words : 면역알고리즘(Immune Algorithm), PID 제어기, NNPID(Neural Network PID)
제어기, 신경회로망 동정기(NN Identifier), AGV(Autonomous Guided Vehicle)

Abstract

In this paper, an adaptive mechanism based on immune algorithm is designed and it is applied to the driving control of the autonomous guided vehicle(AGV). When the immune algorithm is applied to the PID controller, there exists the case that the plant is damaged by the abrupt change of PID parameters since the parameters are adjusted almost randomly. To solve this problem, a neural network used to model the plant and the parameter tuning of the model is performed by the immune algorithm.

After the PID parameters are determined through this off-line manner, these parameters are then applied to the plant for the on-line control using immune adaptive algorithm. Moreover, even though the neural network model may not be accurate enough initially, the weighting parameters are adjusted more accurately through the on-line fine tuning. The experiment for the control of steering and speed of AGV is performed. The results show that the proposed controller provides better performances than other conventional controllers.

+ 본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터의 지원에 의한 것입니다.

* 정회원, 동아대학교 전기공학과 박사과정

** 정회원, 동아대학교 전기공학과 석사과정

*** 정회원, 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

1. 서 론

최근 전세계적으로 항만 운송 서비스에 있어서 Supper Post-Panamax급 선박이 증가하면서 수·출입 컨테이너의 물동량이 급증하여 항만의 사용 밀도가 상대적으로 포화상태에 도달하고 있으며, 한정된 항만 부지에서 더 많은 물량을 처리하고 물류비용을 절감하기 위하여 항만 자동화에 많은 노력을 기울이고 있다. 이를 위한 대표적인 자동화 장비로서 자동화 크레인, 트레일러에 무인 운반차(Autonomous Guided Vehicle; AGV) 기술을 이용한 무인 컨테이너 반송차량 등을 들 수 있으며, 이미 네덜란드, 싱가포르 등에서는 항만 내에서의 물류 자동화에 많은 연구가 진척되어 실용화되고 있는 실정이다^{1),2)}.

특히, 항만 내에서 컨테이너 이송에 사용되는 AGV는 장애물 인식 시스템, 조향 제어 시스템, 속도 제어 시스템, 통제실, 크레인 및 AGV간의 양방향 무선통신, 차량 네비게이션, 교통 제어, 컨테이너 도킹 위치 인식 및 크레인에서 Twist lock시 AGV의 정 위치 제어 등과 같은 제어시스템이 기본적으로 요구된다²⁾. 이와 같은 복합적인 AGV 시스템을 제어하기 위하여 실제로 비전 센서(Vision Sensor)를 이용하거나, 자장 센서(Magnetic Sensor)를 이용하여 이동경로를 감지하고 레이저, 초음파 및 적외선 센서 등을 이용하여 장애물을 인식, 차량간의 거리와 상대속도, 그리고 자신의 속도를 측정한다. 더우기, 이러한 여러 가지 센서로 구성된 AGV의 주행제어는 주어진 경로와 속도를 정확히 추종할 수 있는 고정밀 조향 및 속도 제어 시스템이 요구되고 있는 실정이다^{3),4)}.

따라서, 요구되는 AGV의 제어목적을 수행하기 위하여 선행되어야 할 과제는 우선 가장 적절한 제어기를 선정하고, 그 시스템의 우수한 응답특성을 고려한 제어기의 파라미터를 최적화하는 것이다. 이를 해결하는 종래의 방법은 먼저 제어 대상 시스템인 AGV에 대한 해석 모델을 구하고, 그 성능을 수학적으로 직접 분석 및 평가하여 구하는 것이다.

그러나, 일반적으로 시스템이 동특성 및 시변 특성을 가짐으로 인해 해석 및 수학적 모델링이 어려울 뿐만 아니라, 적절한 모델이 구해진다 하더라도 그 구조가 매우 복잡해진다. 또한, AGV의 경우 운전 조건이 다양하고, 주행시 주위환경의 변화에 따른 시스템 파라미터의 변동으로 인해 정량적인 분석 및 설계기법만으로는 해결하기가 쉽지 않다.

따라서, 본 논문에서는 AGV 모델링시 과거의 정보를 학습하여 미래의 출력을 예측할 수 있는 기능을 가진 신경회로망을 이용함으로써 기존의 복잡한 수학적 모델링 과정을 거치지 않고도 AGV의 동적 시스템을 보다 실제 시스템에 근사적으로 모델링 할 수 있도록 설계하고자 한다⁵⁾. 또한, 비결정론적 최적화 알고리즘(Nondeterministic Optimization Algorithm)인 면역 알고리즘(Immune Algorithm; IA)을 도입하여 제어기 파라미터를 최적 설계함과 동시에 실시간으로 보상 동조할 수 있는 적응제어기를 구성하고자 한다.

2. 면역 알고리즘

면역 시스템의 항원·항체반응에 기초한 IA는 외부에서 침입하는 여러 가지 항원을 인식할 수 있는 능력을 가지는 항체의 다양성(Diversity)과 항원·항체의 반응의 정도를 나타내는 척도로서 다양성을 구현하기 위해 기반이 되는 친화성(Affinity)이 주요 특징이라 할 수 있다^{6),7)}.

이러한 IA는 비결정론적 탐색을 수행하는 알고리즘으로써 기존의 다른 알고리즘과 같이 하나의 가능해를 가지고 최적화 과정을 수행하는 것이 아니라, 동시에 여러 개의 가능해로서 최적화를 병렬로 진행함으로써 해의 수렴성이 개선될 수 있다. 또한, 다른 비결정론적 알고리즘과는 달리 최적해로의 수렴을 보장하기 위하여 기억 세포(Memory Cell)를 이용하고 있으며, 항원에 대한 기대치의 계산에 의하여 면역 시스템의 자기 조절기능을 수행하여 내부 시스템을 항상 안정된 상태로 유지할 수

있다는 것이 특징이다⁸⁾. 이러한 IA를 최적화 문제와 대응시켜 보면, 항원은 최적화 문제의 제약 조건인 목적함수, 항체는 최적화 문제의 해, 항원과 항체의 친화도는 탐색된 해에 대한 평가 값으로 대응될 수 있다. 즉, 이러한 과정을 단계별로 나타내면 다음의 6단계로 설명될 수 있다.

단계 1) 항원의 인식

먼역 시스템이 항원을 입력 정보로서 인식한다. 제어 시스템에서 항원이라 함은 평가함수 및 제한 조건을 들 수 있다.

단계 2) 초기항체의 생성

사전에 기억된 세포들로부터 항체를 선택한다. 기억세포에는 우수한 항체들이 보존되어 있으며, 항원·항체반응에서 우수한 개체는 다시 기억세포로 분화되기도 한다. 본 논문에서 항체는 PID 제어기의 파라미터로서 k_p , k_i , k_d 를 의미한다.

단계 3) 친화도의 계산

① 항원 a와 항체 b사이의 친화도를 계산한다.

$$aff_{a,b} = 1/(1 + H(2)) \quad (1)$$

여기서, $aff_{a,b}$ 는 항원·항체간의 친화도로서 평가함수를 의미한다.

② 항체간의 친화도를 계산한다.

$$aff_{b,b} = 1/(1 + H(2)) \quad (2)$$

여기서, $H(2)$ 는 항체 및 항원이 가지는 정보 엔트로피로서 이 값이 0이면 항체간 혹은 항원·항체간에 유전자가 완전히 일치하는 것을 의미한다. 본 논문에서 식 (1)의 항체가 항원과 친밀한 정도는 평가함수의 정도로서 나타내었다.

단계 4) 기억세포의 분화

식 (1)의 항원과의 친화도가 높은 항체를 기억세포로 분화한다. 또한, 기억공간이 제한되어 있으므로 식 (2)에 의거 새로이 추가되는 항체와 기억세포에 저장된 항체들간의 친화도를 계산하여 친화도가 가장 높은 항체를 제거한다.

단계 5) 항체생성의 촉진과 억제

항원·항체간의 친화도 및 항체의 농도에 근거한 식 (3)의 기대치를 계산한다.

$$Expt_i = \frac{aff_{a,b}}{c_i} \quad (3)$$

여기서, c_i 는 항체의 농도 식으로서 식 (4)와 같다.

$$c_i = \frac{N_{Same}}{N_{Total}} \quad (4)$$

여기서, N_{Same} 은 i 번째 항체와 동일한 친화도를 갖는 항체의 수이며, N_{Total} 은 항체의 총 수를 나타낸다.

식 (3)과 (4)로부터 항원과 항체의 친화도가 높은 항체일수록 차세대에 남을 확률이 높고, 농도가 높은 항체일수록 차세대에 남을 확률이 낮다는 것을 알 수 있다. 따라서, 이러한 먼역 시스템은 친화도가 높은 항체의 생산을 촉진함과 동시에 전체에서 차지하는 비율이 높은 항체의 생성을 억제 하는 다양성의 조절기구의 기능도 갖는다는 것을 알 수 있다.

단계 6) 항체의 생성

단계 5)에서 소멸된 항체를 새로이 생성하는 것으로서, 본 논문에서는 유전자의 복제 및 돌연변이 연산을 이용하여 새로운 항체를 생성한 후 교배 과정을 거쳐 단계 3)으로 다시 돌아가며, 최적 조건이 만족되면 알고리즘 수행을 끝내도록 한다.

3. IAAPID 제어기

본 장에서는 지금까지 기술된 AGV의 주행시스템을 제어하기 위하여 IA를 이용한 적응 PID 제어에 관하여 기술하고자 한다. 본 논문에서는 신경회로망으로 AGV 시스템을 모델링하여 제어기 파라미터의 온라인 및 오프라인 설계가 용이하도록 하였다. 또한, 이렇게 얻어진 신경회로망 모델은 실시간 제어시에도 플랜트의 응답 특성을 온라인으로 학습할 수 있는 구조로 설계하여 항시 시스템 모델링 오차를 최소화 되도록 하였다.

신경회로망 모델이 AGV의 각 제어부와 기구학적 특성을 충분히 내포할 수 있도록 학습이 완료되면 신경회로망은 AGV의 모델로서 이용될 수 있으며, 이를 이용하여 IA로 오프라인 및 온라인 파라미터 동조를 구현하였다.

이상과 같이 기술된 IA와 신경회로망 모델을 이용하여 1차적으로 제어기 파라미터가 동조되었으나, 실제 차량 모델을 신경회로망으로 동조할 때에는 시스템 동정 오차가 발생하게 되고, 이를 이용하여 제어기를 설계하게 되면 그 파라미터에도 시스템 모델링 오차가 포함되게 되므로 최적의 값이라 할 수 없다. 물론 보다 정확한 모델링을 구하여 많은 시간동안 오프라인 자동 동조기를 구동하면 보다 나은 값을 얻을 수 있지만, 이는 실용적이지 못할 뿐만 아니라 생산성을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 그러나, 최적의 값을 얻었다 하더라도 실제 플랜트 구동시 발생하는 여러 가지 불확실성으로 인한 비선형적 요소가 작용할 때에도 최적의 설계가 되었다고 할 수 없다.

따라서, 본 논문에서는 1차 동조된 파라미터를 기본으로 하여 이를 실시간으로 동조할 수 있는 구조로서 면역알고리즘 적응 PID(Immune Algorithm Adaptive PID; IAAPID) 제어기를 그림 1과 같이 구성하였다. IAAPID제어기의 구성은 IA에 의한 오프라인 자기동조기, 신경회로망 시스템 동정기 및 면역알고리즘에 의한 온라인 자기동조기로 구성된다.

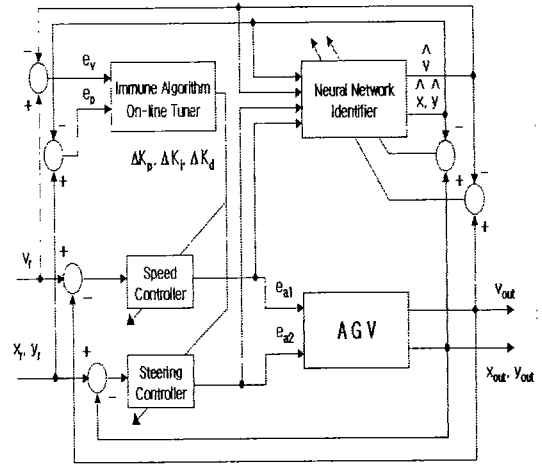


Fig.1 An adaptive PID controller using Immune Algorithm

4. AGV 시스템

4.1 AGV 시스템 하드웨어

AGV의 구성은 크게 제어부, 구동부, 통신부 및 센서부로 나눌 수 있다. 먼저, 제어부는 다시, PC와 C196으로 나누어 AGV 시스템을 제어하도록 구성하였다. PC는 펜티엄 586III를 채용하였으며, 영상 정보를 처리할 수 있는 메인 프로그램과 제어기 파라미터 동조 프로그램을 구동하도록 되어있다. 또한, PC에서 취득된 영상이나 얻어진 결과는 RS232 통신을 통하여 C196으로 전송되어 주 구동 프로그램에 필요한 정보를 교환하도록 구성하였으며, AGV의 전체 시스템 구성은 그림 2와 같다.

이때, 구동부는 전륜 조향 모터와 후륜 주행 모터로 구성되었다. 각각의 모터는 L298 드라이버로 구동되도록 설계하였으며, 조향각은 포텐시미터로, 주행 속도는 엔코더로 측정하도록 하였다.

통신부는 크게 AGV 내부에서 PC와 C196간의 통신 프로토콜과 AGV와 외부간(다른 AGV 및 통제실)의 프로토콜로 나뉘어진다. 본 논문에서는 AGV 내부의 통신만을 이용하고 있으며, RS232 통

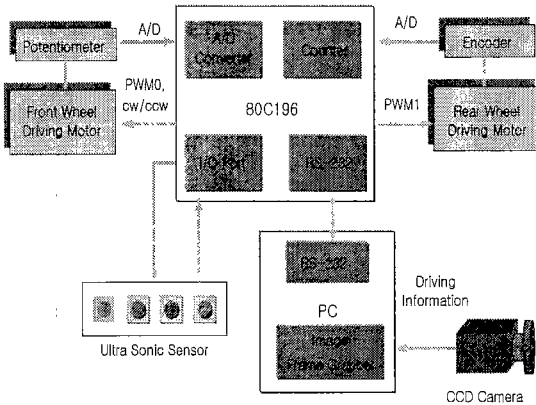


Fig. 2 AGV system scheme

신방식을 채용하고 있다. AGV 주행을 위하여 적용된 센서는 조향각 정보 취득을 위한 포텐시옴터와 주행 속도 측정을 위한 엔코더, 전방의 장애물 감지를 위한 초음파센서로 구성된다. 이외에도 충전보호회로와 음의 전압을 공급하기 위한 DC/DC converter 모듈도 함께 제작하였다. 이상과 같은 AGV 시스템의 사양은 표 1과 같다.

Table 1 Specification of AGV system

Contents		Specification	
AGV Spec.	Overall Length[m]	1	
	Overall Width[m]	3	
	Overall Height[m]	3	
	Wheel radius[m]	0.05	
	Weight [kg]	Deadweight	Payload
		30	25
Driving Parts	Steering	Model:JC-35L-H/Gear Motor (Made in Taiwan) Gear rate ⇒ 1 : 35(10[rpm]) Max. Steering Angle ⇒ 30±4 [°] Rated Voltage ⇒ 20 [V]	
	Speed	Model:DGM-213-2A (Toshiba, Made in Japan) Gear rate ⇒ 1 : 16 Max. Speed(211[rpm]) ⇒ 0.5~0.7[m/s] Rated Voltage ⇒ 20 [V]	
Sensor	Potentiometer	0~2[kΩ], ±5~10[%]	
	Ultrasonic Sensor	Polaroide 650 Series	
Battery		7[AH], 12 [V]×3EA	

4.2 경로오차생성 시스템

비전시스템(Vision System)은 함축된 영상정보에서 동시에 여러 가지 정보를 얻을 수 있는 이점이 있다^{9),10)}. 따라서, 본 연구에서는 설계 제작된 AGV의 주행경로 상의 위치 정보를 얻기 위하여 CCD 카메라를 설치하였다. 즉, 가이드라인(Guide Line)과 AGV와의 상대적 위치와 각도에 대한 오차를 얻기 위한 센서로 활용하였다.

CCD 카메라에서 획득된 신호는 프레임 그래버(Frame Grabber)를 통해 디지털 신호로 변환되고, 이를 이용하여 가이드 라인을 인식하고, 현재 가이드 라인과 AGV간의 거리와 각도에 대한 오차를 얻을 수 있다. 다시 이 신호는 시뮬레이터에 장착된 PC 기반 주 제어기에서 연산되어 모터 제어기에 입력될 명령 신호를 생성하게 된다.

한편, 가이드 라인과 AGV간의 거리와 각도에 대한 오차를 구하기 위해서는 입력 영상에서 가이드 라인의 검출이 필요하다. 실험에 사용된 바닥면은 약간의 잡음 성분을 가지는 흑색 배경에 백색의 가이드 라인으로 구성하였다. 가이드 라인을 검출하기 위하여 입력되는 컬러 영상에서 배경으로 볼 수 있는 잡음 성분을 제거하고, 설정된 경계치를 이용하여 이진화하면 배경과 라인 부분이 선명하게 구분된다. 추출된 가이드 라인의 중심선은 설정된 좌표 상에서 현재의 AGV 위치와 상대적인 가이드 라인과의 기울어진 각도를 측정하도록 하였다. 획득되는 영상 정보는 처리과정을 거쳐 AGV의 상태를 읽기까지 평균 초당 20 프레임(Frame)의 처리 속도로 주행한다.

그림 3에서 보는 바와 같이 영상정보에서 참조 조향각 δ 를 결정하기 위한 상대적 거리오차 e_d 및 각도오차 α 를 구할 수 있다. 그리고, 조향각 δ 를 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = K \left\{ \left(\frac{e_d}{R_{speed}} \right) + (R_{speed} \cdot \alpha) \right\} \quad (5)$$

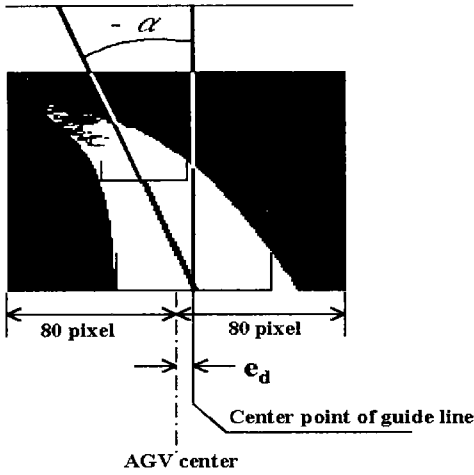


Fig. 3 Relative errors of distance and angle between AGV and guide line

R_{speed} 를 조절하여 AGV의 속도가 증가하면 거리 오차 보다 각도 오차가 차지하는 비율이 증가하고, 속도가 감소하면 상대적으로 거리오차에 비중을 두어 계산하도록 하였다. 그리고 이득 K에 의해 피드 포워드와 피드백 되는 부분의 전체 값을 스케일링하여 δ 를 구하도록 하였다. 그림 4는 AGV 주행 제어를 위하여 PC에서 구동되는 프로그램의 실행 화면을 나타낸다.

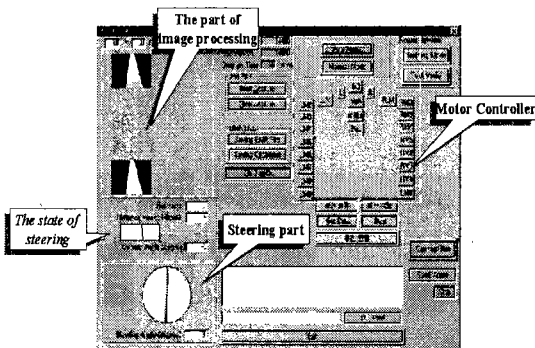


Fig. 4 The application program of AGV main controller(PC)

5. AGV 신경망 동정기 구현

AGV에 대한 신경회로망 모델링은 조향 시스템과 속도 시스템에 대해 각각의 모델링을 구현하였다. 조향 시스템에 대한 입력은 12V에 대하여 0-255 비율을 갖는 PWM 값으로 하였고, 출력은 포텐시오미터로부터 A/D변환된 0-255 출력을 이용하였다. 속도 시스템에 대한 입력과 구동시스템에 대한 입력은 12V에 대하여 0-255 비율을 갖는 PWM 값을 입력신호로 하였으며, 출력은 AGV의 속도 0.5[m/sec]에 대한 카운터 0-35를 출력으로 하였다. 그리고 학습에 사용된 패턴 수는 700개로 하였다.

본 논문에서 적용한 신경회로망 동정기는 병렬 모델 구조를 적용하였다. 식 (6)은 병렬 모델 구조의 신경회로망 동정기의 출력을 나타낸다¹¹⁾.

$$\hat{y}_b(k+1) = N^2[\hat{y}_b(k), \dots, \hat{y}_b(k-n+1)] + N^1[u(k), \dots, u(k-m+1)] \quad (6)$$

이때, 식 (6)의 N^2 와 N^1 은 플랜트의 방정식으로 대체될 수 있으며, 동적 오차 역전파(Dynamic Error Back Propagation) 학습 알고리즘에 의해 가중치가 갱신되는 구조를 갖는다. 즉, 병렬 구조는 플랜트에 대한 학습이 완료되면 동정기가 독립적으로 구동되어 플랜트의 출력을 예측할 수 있는 구조를 갖는다. 신경회로망 동정기에 사용된 층수는 각각 3개로 하였으며, 학습율과 모멘트 계수 및 기울기 등의 설계 파라미터는 표 2와 같다.

그림 5는 조향 시스템에 대한 모델링 학습 과정을 나타낸다.

전체적인 퍼센트(%) 오차의 평균이 약 15%이지만, 실제 값의 최대 값에서 모델링 오차가 크게 나타났으며, 그 외의 경우는 오차가 거의 없음을 알 수 있다. 속도 시스템에 대한 모델링 과정은 그림 6과 같으며, 퍼센트(%) 오차의 평균이 6.9%이며, 음의 최대 값에서 오차가 다소 많이 발생한 것으로 분석된다.

Table 2 Parameters of the neural network modeling

		Steering parts	Speed parts
Pattern No		700	700
Node No.	Input	5	5
	Hidden	7	7
	Output	1	1
Learning ratio		0.9	0.5
Momentum factor		0.3	-0.08
Input parameter		$u(t), u(t-1), u(t-2)$ $\hat{y}(t-1), \hat{y}(t-2)$	$u(t), u(t-1), u(t-2)$ $\hat{y}(t-1), \hat{y}(t-2)$
Slope	Hidden	0.0025	0.005
	Output	0.0025	0.005

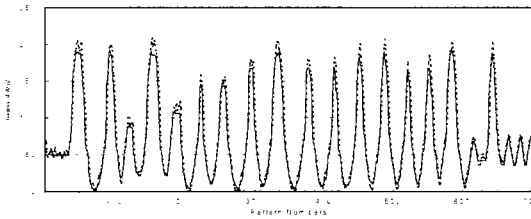


Fig. 5 Results of the neural network modeling for the steering system

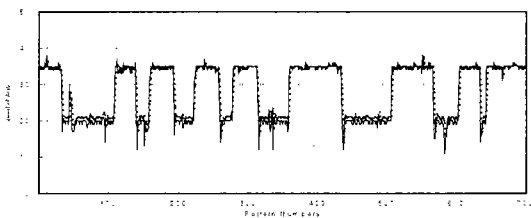


Fig. 6 Results of the neural network modeling for the speed system

6. IAAPID 제어기 구현

AGV 제어 시스템은 기능면에서 PC부와 C196부로 나눌 수 있다. C196은 전체 소프트웨어 시간을

50[msec]로 하고 기본 PID 제어를 수행하도록 하였다. PC부는 CCD 센서에서 획득한 경로 데이터를 이용하여 조향각을 결정하여 제어하도록 하였다. 아울러, 그림 7은 AGV 구동을 위한 제어 프로세스를 나타내고 있다.

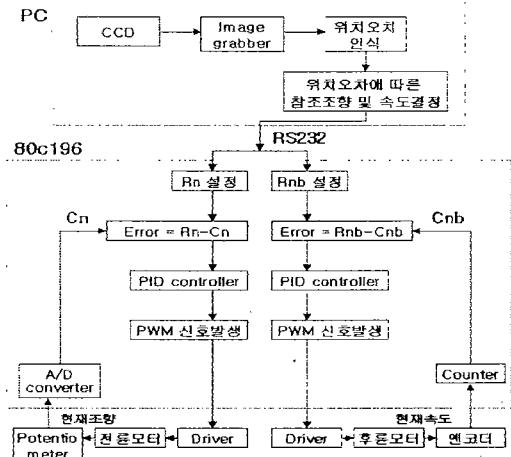


Fig. 7 A flow chart of AGV control scheme

여기서, Rn은 참조 조향각, Rnb는 참조 속도를 각각 나타내며, 이들 설정치와 센서로부터 피드백되어 오는 실제값과의 편차를 PID 제어기에 입력하여 제어기가 구동되도록 하였다. PC로부터 취득된 CCD정보는 RS232 통신을 통하여 C196으로 주어진 경로에 대한 위치정보를 전달하는 구조로 구성하였다.

7. 실험 결과 및 고찰

먼저, AGV의 주행 상태를 알기 위하여 조향각 및 속도는 C196을 통하여 각각 A/D 및 카운터 된 값으로 데이터를 취득하였다. 또한, 주행중의 경로에 대한 위치 오차는 PC에 장착된 CCD 카메라로부터 얻은 좌우로 각각 최대 40개의 화소(Pixel)로 취득하였다. 주행 실험을 위하여 AGV의 속도는 실

제 제작된 차량의 속도와 동일한 0.5[m/sec]의 속도로 진폭이 1[m]인 정현파 경로를 주행하도록 하였으며, 실험에 사용된 경로는 그림 8과 같다.

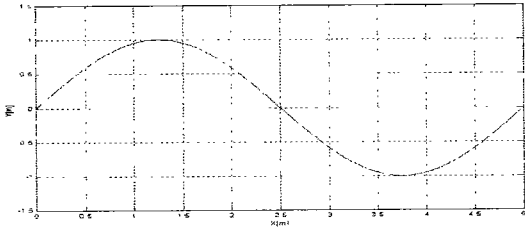


Fig. 8 A sinusoidal trajectory for AGV simulation and experiments

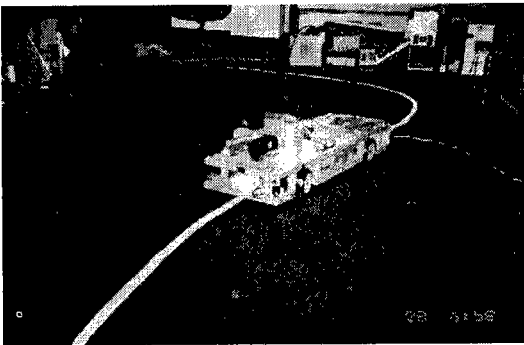
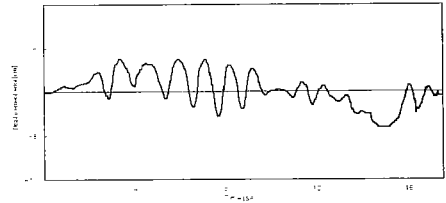


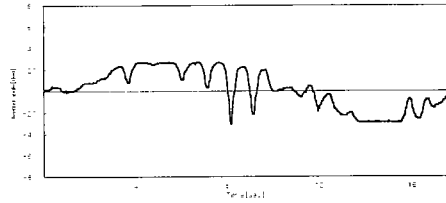
Fig. 9 A photograph of AGV driving experiments

그림 9는 실제 주행실험에 사용된 경로와 주행 장면을 나타내고 있다. 아울러, 설계된 IAAPID 제어기의 제어 성능을 평가하기 위하여 부하가 인가된 상태에 대하여 주행 시험을 하였다.

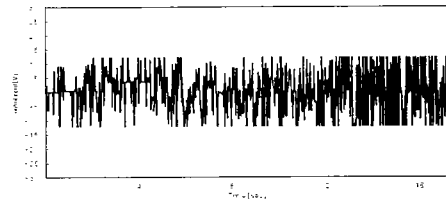
그림 10~12는 약 15[kg]의 부하가 인가된 상태에서 주행 속도를 0.5[m/sec]로 하였을 때의 PID, NNPID 및 IAAPID 제어에 대한 주행 위치오차, 조향각, 조향 제어입력, 주행 속도 및 속도 제어입력을 각각 나타낸 파형이다.



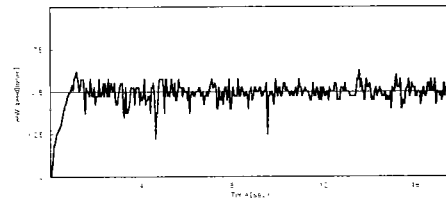
(a) Displacement error



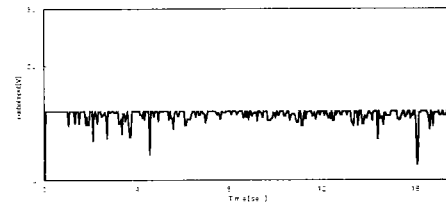
(b) Steering angle



(c) Control input of steering

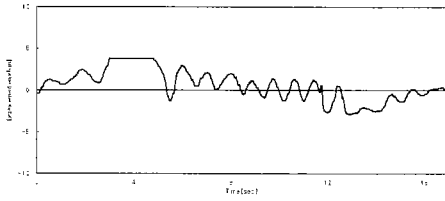


(d) AGV speed

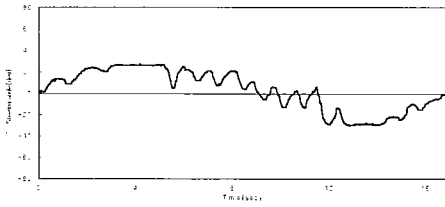


(e) Control input of speed

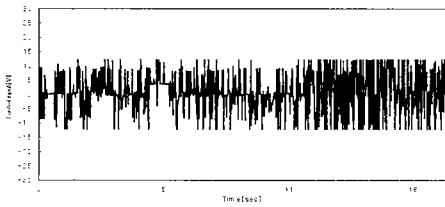
Fig. 10 Experiment results of PID controller



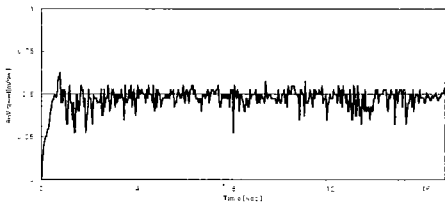
(a) Displacement error



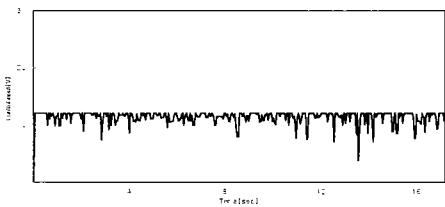
(b) Steering angle



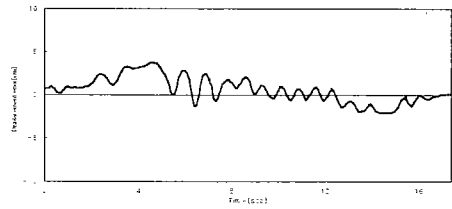
(c) Control input of steering



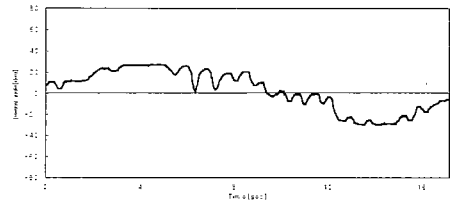
(d) AGV speed



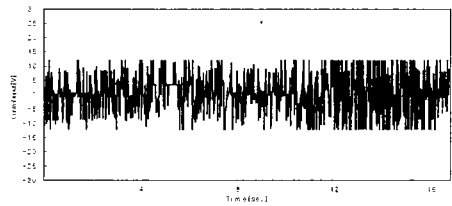
(e) Control input of speed



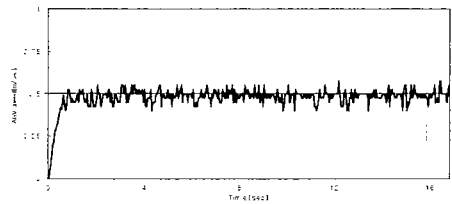
(a) Displacement error



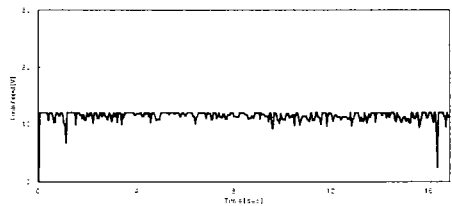
(b) Steering angle



(c) Control input of steering



(d) AGV speed



(e) Control input of speed

Fig. 11 Experiment results of NNPID controller

Fig. 12 Experiment results of IAAPID controller

일정한 부하가 인가되는 상태에서 실험을 수행한 결과, 최대 변위 오차의 경우, 잘 동조된 PID 제어기에 비하여 16[%], NNPID 제어기에 비해서는 대략 12[%]정도 개선된 것을 알 수 있다. 또한, 주행시 평균적으로 발생된 변위 오차의 경우에는 PID 제어기에 비하여 67[%]정도 NNPID 제어기에 비해서는 47[%] 개선됨을 알 수 있었다. 또한, 속도 추종의 경우 제안한 제어기가 PID 제어기에 비해서는 37.5[%]의 개선된 성능이 나타남을 알 수 있었다. 부하가 인가되었을 때에 대한 각 제어기의 실험결과를 요약하면 표 3과 같다.

Table 3 Driving experiment results of AGV

		PID	NNPID	IAAPID
Maximum displacement err.[cm]		3.97	3.80	3.40
RMS of displacement err. [cm]		2.155	1.902	1.291
RMS of speed tracking err. [m/sec]		0.0497	0.0465	0.0362
Aver. control input[V]	Speed	11.65	11.32	11.41
	Steering	7.091	6.648	6.985

특히, 최대 변위 오차가 모두 크게 나타난 것은 부하로 인해 AGV 차체의 중량이 증가함에 따라 관성이 커졌기 때문인 것으로 분석되며, 이상과 같은 일련의 실험을 통하여 본 논문에서 제안된 제어기의 우수한 응답 특성을 알 수 있었다.

8. 결 론

본 논문에서는 과거의 정보에 대한 학습을 통하여 비교적 시스템의 다양한 동특성을 표현할 수 있으며, 과거의 정보로부터 미래의 시스템 출력을 예측할 수 있는 기능을 가지고 있는 신경회로망 기법을 이용하여 AGV 시스템을 모델링하였다. 이러한 모델링 과정을 통하여 기존의 복잡한 수학적 모델

링 과정을 거치지 않고 비선형 시스템을 보다 정확하게 모델링할 수 있었다. 뿐만 아니라, 비선형 시스템의 제어를 위하여 넓은 범위의 동작모드에 대응하여 적응성이 높고, 파라미터의 변동과 외란에 강인한 IA를 on-line 구조로 PID 제어기 파라미터를 동조할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서는 이상과 같이 설계된 제어기 성능 평가를 위하여 AGV의 경로 및 속도 추정에 대한 주행실험을 수행하였으며, 그 결과 제안한 제어기가 보다 견실하고 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

이러한 일련의 실험 결과를 통하여 제안한 IAAPID 제어 구조가 우수한 특성을 나타낼 수 있었던 것은 다음과 같은 이유로 분석된다. 먼저, 지능형 알고리즘인 IA를 이용함으로써 종래의 최적화 기법들에서 문제점으로 지적되었던 2진 표현에 의한 파라미터 표현에 대한 어려움과 세대간의 친화성으로 인한 탐색 범위가 상대적으로 좁아 국부해에 도달하는 문제점을 극복함으로써 해결될 수 있었다. 특히, IA가 가진 면역성을 제어기 파라미터의 기억 세포로 적용함으로써 시스템 변화에 따라서 새로운 탐색을 할 필요 없이 기억된 세포 군을 이용함으로써 기존의 알고리즘보다 탐색을 보다 속응적으로 수행할 수 있었던 것으로 분석된다.

참고문헌

- 1) H. F. Durrant-Whyte, "An Autonomous Guided Vehicle for Cargo Handling Applications," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 15, No. 5, pp. 407-440, 1996.
- 2) 한국해양수산개발원, *자동화 컨테이너터미널 개발사업 타당성 검토 최종보고서*, 1998. 12.
- 3) A. B. Will, M. C. M. Teixeira, "Four Wheel Steering Control System Design using Fuzzy Models," *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Control*

- Applications, pp. 73-78, 1997.
- 4) N. Kehtamavax, N. Griswold, K. Milley, and P. Lescoe, "A Transportable Neural-Network Approach to Autonomous Vehicle Following," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 47, No. 2, pp. 694-702, 1998.
 - 5) K. S. Narendra and K. Parthasarathy, "Identification and Control of Dynamical Systems using Neural Networks," *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 1, pp. 4-27, 1990.
 - 6) N. K. Jerne, "The Immune System," *Scientific American*, Vol. 229, No. 1, pp. 52-60, 1973.
 - 7) J. S. Chun, J. P. Lim, H. K. Jung, and J. S. Yoon, "Optimal Design of Synchronous Motor with Parameter Correction using Immune Algorithm," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, No. 3, pp. 610-615, 1999.
 - 8) D. W. Patterson, *Artificial Neural Networks: Theory and Application*, Prentice Hall, 1996.
 - 9) G. Cheng and A. Zelinsky, "Real-time Visual Behaviours for Navigating a Mobile Robot," *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 2, pp. 973-980, 1996.
 - 10) I. Masaki, *Vision-based Vehicle Guidance*, Springer-Verlag, 1991.
 - 11) C. T. Lin and C. S. George Lee, *Neural Fuzzy Systems*, Prentice Hall, 1996.