

MR센서를 이용한 AGV의 신경회로망 조향제어

○손석준 · 유영재\* · 김의선\*\* · 임영철 · 김태곤

전남대학교 전기공학과 & RRC  
 \*목포대학교 제어계측공학과  
 \*\*서남대학교 전기전자 멀티미디어공학부

Neural Network Steering Controller of AGV Using MR Sensor

○Seok-Jun Son · Young-Jae Ryoo\* · Eui-Sun Kim\*\* · Young-Cheol Lim · Tae-Gon Kim

Dept. of Electrical Eng. and RRC, Chonnam Nat'l Univ.

\*Dept. of Electrical Eng., Mokpo Nat'l Univ.

\*\*Dept. of Electrical Eng., Seonam Univ.

**Abstract** - This paper describes neural network steering controller for an AGV using MR sensor. The analytical magnetic fields model was compared with measured data and found to have less than 1 % difference. The neural network was also used to learn the steering behaviour of the AGV relative to the magnetic field values(Bx, By, Bz). A computer simulation of the AGV (including AGV's dynamics and steering) was used to verify the steering performance of the controller using the neural network. Good results were obtained. Also, the handmade AGV using neural network controller verified good results.

1. 서 론

현대 산업사회의 발달과 정보통신의 발달이 어우러져 자율주행 시스템의 연구가 응용분야에 따라 자율주행 차량시스템[1-9], 자율이동 로봇[10], AGV[11]등으로 진행되고 있다. 이러한 자율 주행 시스템에 적용되는 조향 알고리즘으로는 고전적 PID 제어기, 퍼지 논리 제어기, 신경회로망 제어기, H $\infty$ 제어기, 칼만 필터 모델링 등이 연구되고 있다. 또한 자율주행 시스템에 사용되는 센서로는 비전센서, 초음파 센서, MR센서, 레이저 스캐너[12], microwave transponders, inertia gyros, 근접센서[13], 포토센서 등이 있다. 고속의 자율주행 시스템으로 적용되는 자율주행 차량시스템의 경우는 적용되는 범위가 고속도로이기 때문에 이는 곡률 반경이 매우 크게되고 그 곡선을 직선으로 근사화하여 주행 할 수 있다. 그러나 공장이나, 항만, 공원, 골프장의 카트 등에서는 곡률반경이 작기 때문에 이를 직선으로 근사화하여 주행을 하게 되면 오차가 발생하게 된다.

본 논문에서는 저속으로 곡률반경이 작은 곳에서 적용되는 AGV에 대한 연구를 수행하였다. 현재 공장 자동화에서 사용되고 있는 AGV는 이동 경로에 전선을 설치하고 전류를 흘려 자기장이 발생하면 그 자기장을 검출하여 이동하는 AGV가 상용화되어 사용되고 있다. 그러나 이는 항상 전류를 흘려주어야 하므로 에너지를 낭비하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이동로 바닥에 일정간격의 영구자석을 설치하여 이동하는 AGV에 설치된 MR센서에서 자계를 검출하여 주행하는 연구를 수행하였다. 적용된 주행 알고리즘으로는 획득한 자계값과 AGV의 진

행방향의 관계가 매우 비 선형적이므로 일반적인 선형제어기를 사용하여 제어하기가 어렵다. 따라서 비 선형 제어에 강한 신경회로망 제어기를 사용하여 설계하였다. 먼저 컴퓨터 시뮬레이션을 제작하여 제한한 신경회로망 제어기의 우수성을 검증한 후 실제 제작한 AGV에 적용한 결과 일반적인 선형 제어기보다 신경회로망 제어기가 보다 나은 성능을 나타냄을 확인하였다.

2. 자기장의 모델식

먼저 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램에서 데이터 획득 부분으로 사용하기 위해 자기저항 센서와 이동경로에 설치된 영구 자석 사이에 수학적인 모델링이 필요하다. 따라서, 영구자석을 자기 쌍극자로 가정하면 자기장 분포는 식(1)과 같이 수학적으로 모델링할 수 있다[4].

$$B = -\frac{M}{4\pi r^3} (3xz a_x + 3yz a_y + (2z^2 - x^2 - y^2) a_z) [wb/m^2]$$

여기서, M : 자기 쌍극자 모멘트

$$r : \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$$

그림 1은 모델 식을 이용하여 얻은 자계 값과 실제 실험을 통하여 측정된 값을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 식에 의한 값과 실제 측정된 값 사이의 오차는 무시할 정도로 작은 것임을 알 수 있다. 모델 식은 자석을 일정 간격으로 배치한 자석열의 경우에도 적용될 수 있다. 따라서 이 모델 식은 시뮬레이터에서 데이터 획득 부분으로 사용할 수 있음을 검증하였다.

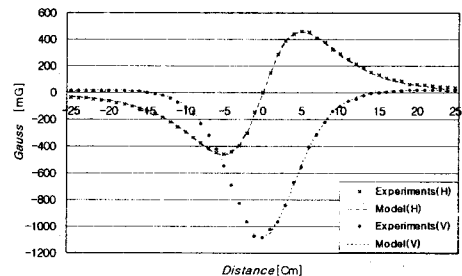


그림 1. 실측값과 모델식에 의한 결과 비교.

### 3. 조향각 제어기의 설계

#### 3.1 제어기의 구조

AGV가 이동경로를 따라 이동하려면 센서에서 측정된 자기장 세기( $B_x, B_y, B_z$ )에 따라서 조향각 제어기는 적절한 출력을 내보내야 한다. 그러나 자기장의 세기와 조향각의 관계는 비 선형적이므로 일반적인 선형제어기로는 정밀제어가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 비 선형 제어에 우수한 성능을 보이는 신경회로망의 역 전파 알고리즘을 이용하여 조향각 제어기를 설계하였다. 설계된 제어기의 구조는 그림 2와 같다. 제어기의 입력은 자기장 값이고 그에 따른 출력은 조향각이다. 또한 은닉층의 노드 수는 10개로 하였다.

TABLE 1. Specification of Neural networks.

변수	값
입력층	3
은닉층	10
출력층	1
학습률	0.025
학습패턴수	703
학습반복수	40,000

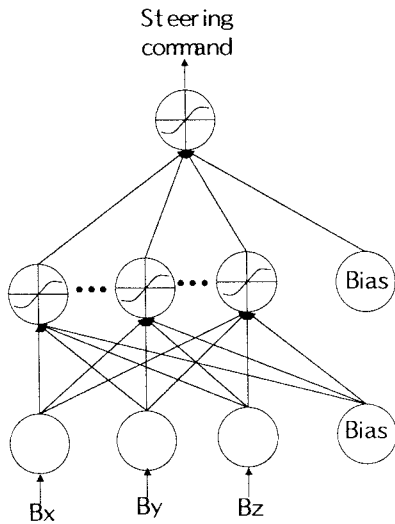


그림 2. 조향각 제어기의 구조.

#### 3.2 학습패턴의 획득 및 학습

제한한 신경회로망 제어기의 학습은 오프-라인으로 수행하였다. 먼저 AGV의 이동경로를 평탄하다고 가정 한 후 학습을 위한 학습패턴은 시뮬레이션 상에서 알고 있는 AGV의 변위오차와 방향오차를 최소화하는 방법으로 그 때의 자기장 값과 조향명령을 얻었다. 그리고 초기의 AGV의 변위와 방향오차를 가지고 출발하여 AGV의 이동경로의 중심을 향해 진입하는 다양한 조건을 수행하면서 학습패턴을 획득하였다.

학습 종료 후, 신경회로망 내의 연결 가중치들은 제어기의 성능을 나타내며, 학습에 포함되지 않았던 조건이 제어기에 입력되더라도 신경회로망 조향 제어기는 적절한 조향 명령을 출력한다.

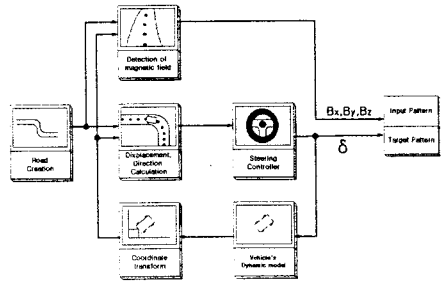


그림 3. 학습패턴 획득의 블록 다이어그램.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\max} (y_o - y_d)^2}{\max - 1}} \quad (2)$$

한편 신경회로망 시뮬레이션의 학습 성능은 식(2)와 같이 Root mean-squared error(RMSE)로 비교하였고 그 결과 RMSE=0.02의 우수한 학습특성을 얻었다.

### 4. 시뮬레이터

자율주행 시뮬레이션의 블록 다이어그램을 그림 4에 나타내었다. 먼저, AGV의 각종 요소들을 모델링하고, 동적 모델을 구한 다음, 이동경로와 AGV의 관계를 해석하여 좌표변환 모델을 얻는다. 이를 바탕으로 윈도우즈98 환경에서 비주얼 베이직을 이용하여 시뮬레이터를 완성하였다.

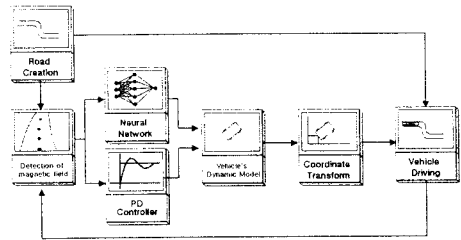


그림 4. 시뮬레이터의 블록 다이어그램.

직선 부분과 곡선 부분이 포함되어 있는 이동 경로를 생성하고, 이동로 중앙에 영구자석을 일정간격으로 배치한다. AGV의 초기 위치와 방향을 설정하고 이동을 시작하면, 자석에 의한 자기장 값을 모델식을 이용하여 얻는다. 얻어진 자기장 값  $B_x, B_y, B_z$ 가 조향각 제어기인 신경회로망에 입력되면, 제어기는 적절한 조향각을 출력한다. 조향각과 AGV의 동적 모델에 의하여 AGV의 다음 위치가 결정되면, 화면상의 그 위치에 AGV를 그린다. 이상의 과정을 반복하여 AGV는 이동 경로를 따라 이동하게 된다. 또한 선형제어기인 PD 제어기를 통하여 이동 할 때 생기는 측면 오차와 제한한 신경회로망을 통하여 주행 했을 때 생기는 측면 오차를 비교하기 위하여 PD제어기를 설계하였는데 PD 제어기 또한 획득한 자기장값을 이용하여 그에 상응하는 조향각을 출력한다. 출력한 조향각 명령에 따라 AGV의 동적 모델과 좌표변환을 통하여 AGV가 이동하게 된다.

### 5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

AGV의 이동속도는 2[m/s]이고, 샘플링 시간은 50[ms]로 하였다. 이동로 폭은 1.20[m]로 하고 영구자석은 0.10[m]의 간격으로 설치하였다. AGV폭은 0.62[m], 길이는 1[m]로 하였으면 센서는 AGV의 앞 지상으로부터 0.15[m]위치에 장착하였다.

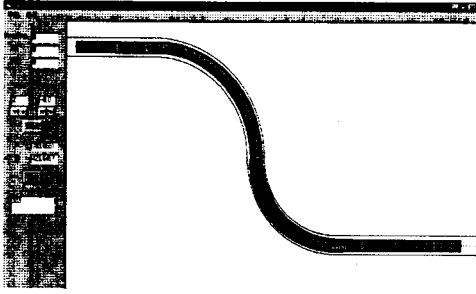


그림 5. 곡선도로에서의 주행.

그림 5는 왼쪽과 오른쪽으로 휘어진 곡선부분이 포함되어 있는 경우의 주행 화면인데, 곡선부분에서도 잘 주행하는 것을 보여준다. 그림6은 직선 및 곡선부분을 포함한 이동경로를 이동시 PD 제어를 통해서 주행할 때의 측면 거리변화와 신경회로망 제어기를 통해서 이동할 때의 측면 거리변화를 나타낸 것이다. 이는 1차 곡선과 2차 곡선에서 신경회로망 제어기를 통해서 이동할 때 발생하는 측면거리가 PD제어기를 통해서 이동할 때보다 안정된 작은 오차 값을 가지고 주행함을 알 수 있다.

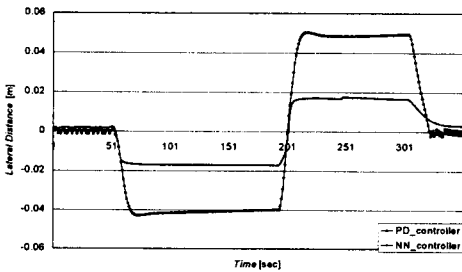


그림 6. 직선과 곡선부분 이동시의 측면 방향 오차.

## 6. 실험

설계된 AGV는 CEVA-II 로써 그림 7에 나타내었다.

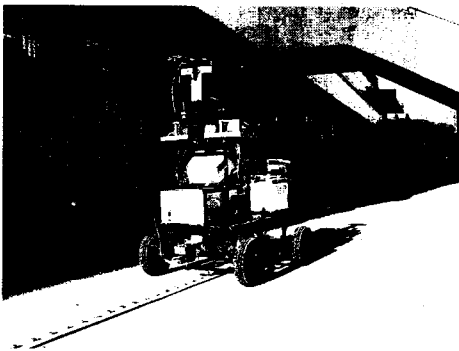


그림 7. 제작된 AGV 외관.

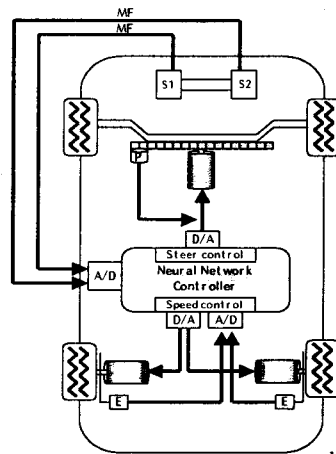
### 6.1 AGV의 기계적인 구조

AGV의 크기는 일반 승용차의 1/3이며, 조향 시스템은 일반 승용차의 구조와 같다. 다만 구동력은 유압 장치 대신 전기 에너지를 사용하는 AC 서보 모터를 이용하여 위치제어를 하였다. 최대 조향 각도는 좌 20[deg]에서 우 20[deg]이다. AGV는 후륜구동형이며

구동력은 기어비 18: 1의 감속기어가 내장된 3상 유도 전동기에 의하여 발생된다.

### 6.1 조향 제어시스템의 구조

AGV의 제어 컴퓨터는 전체 시스템을 총괄 관리하는 기능을 가지며 주로 주행 중에 측정된 자기장값을 입력으로 하는 신경회로망 제어기에 의해 조향각을 제어한다. 컴퓨터 사양은 CPU (Pentium 200MHz) 이다. 제어 시스템은 자기장 센싱부, 조향 제어부로 이루어졌다. 자기장 센싱부는 이동로에 설치된 자석에서 형성되는 자기장값을 측정하여 조향제어부에 값을 보낸다. 조향 제어부는 현재의 조향각을 읽어 들이는 Potentiometer, 신경회로망 제어기가 출력하는 조향각 명령을 아날로그 값으로 변환하는 D/A 변환기, 조향각 명령과 현재의 조향각을 비교하여 증폭하는 차동증폭기, PC controller로 구성되어 이동로의 중심을 따라서 주행 할 수 있도록 조종한다. 이를 그림 8에 나타내었다.

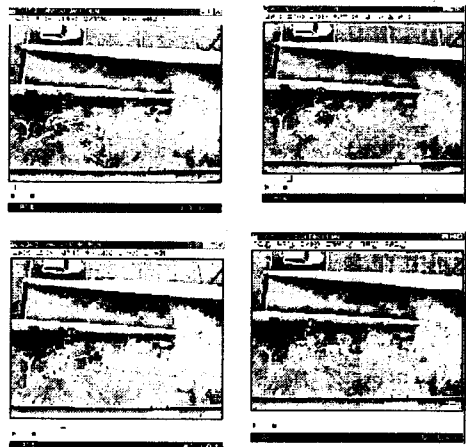


S1 : Sensor 1 S2 : Sensor 2  
MF : Magnetic Field E: Encoder

그림 8. 조향 제어 시스템 구조.

### 7. 주행 실험 및 고찰

그림9는 직선 및 곡선부분이 포함된 이동로 중심을 따라 이동하는 궤적을 나타내었다. AGV이 2.0[m/sec]의 속도로 이동할 때 6초마다 캡처한 것을 나타낸다.



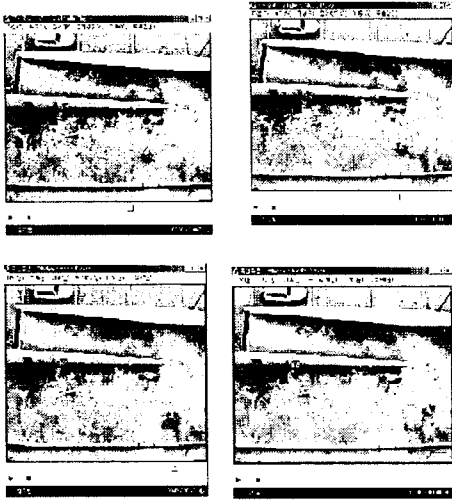


그림 9. 곡선도로로 주행시 궤적.

## 8. 결 론

본 논문에서는 MR센서를 이용한 자율 AGV의 조향 제어에 대해서 연구하였다. AGV에 설치된 MR센서에서 자계값을 획득하기 위하여 이동 경로에 영구자석을 설치하였고 센서로부터 획득한 데이터를 이용하여 이동 경로를 추적하기 위한 제어기를 설계하였다. 특히, 획득한 자계값과 AGV의 진행방향의 관계는 매우 비 선형적이므로 일반적인 선형제어기를 사용하여 제어하기가 어렵다. 따라서 비 선형 제어에 강인한 신경회로망 제어기를 사용하여 설계하였다.

먼저 컴퓨터 시뮬레이션을 제작하여 제안한 신경회로망 제어기의 우수성을 검증한 후 실제 제작한 AGV에 적용한 결과 일반적인 선형 제어기보다 신경회로망 제어기가 보다 나은 성능을 나타냄을 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1]James G. Bender, "An Overview of System Studies of Automated Highway Systems", *IEEE Transaction on vehicular Technology*, vol, 40. No.1, february 1991
- [2]Ronald K and Jurgen, "Smart cars and highway go global," *IEEE Spectrum*, pp. 26-36, 1991.
- [3]Young-jae Ryoo, et al, "Neuro -fuzzy control system for vision-based autonomous vehicle," *1999 IEEE Fuzzy Systems conference Proceedings*, pp.III-1643~1648, 1999.
- [4]Wei-bin Zhang and Robert E.Parsons, "An intelligent roadway reference system for vehicle lateral guidance/control," *PATH report*, pp. 96-100, 1992.
- [5]Gregory F. Jacobs, "A magnetic pavement marking and sensor system for lateral control/guidance of vehicle," *VERTIS*, pp. 1236-1241, 1995.
- [6]Angus P. andrews, "The accuracy of navigation using magnetic dipole beacons," *Science center*,
- [7]Han-Shue Tan, "Development of an Automated Steering Vehicle Based On Roadway Magnets- A Case Study of Mechatronics System Design," *IEEE/ASME Transactions on mechatronics*, VOL, 4, NO.3, september 1999
- [8]Jurgen Guldner, "Study of Design Direction for Lateral

Vehicle Control", *Proceedings of the 36th Conference on Decision & Control*, December 1997

- [9]Seok-Jun Son, et al "The Lateral Guidance System of an Autonomous Vehicle Using a Neural Network Model of Magneto-Resistive Sensor and Magnetic Fields", *ICCE2K*, pp477-480, 2000.
- [10]주영훈, 이석주, 차상엽, 장화선, 김성권, 김광배, 우광방 "이동로봇의 자율주행", *93한국 자동제어 학술회의 논문집*, pp94-99,1993
- [11]이수정, 성학경, 김성권, "Development of An AGV Control System", *99 Korean Automatic Control Conference*, pp. A255-257, October, 1999.
- [12]E.Freund, F.Dierks, "Laser Scanner Based Free Navigation of Autonomous Vehicle", *Control Eng. practice*, pp.299-304,1994
- [13]J.Cox, "Balanche-An Experiment in Guided and Navigation of an Autonomous Robot Vehicle", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, pp.193-204, 1991