

# 신경회로망을 이용한 자율주행차량의 속도 및 조향제어

## Speed and Steering Control of Autonomous Vehicle Using Neural Network

임영철\*, °류영재\*, 김의선\*\*, 김태곤\*, 김이곤\*\*\*

Young-Cheol Lim, Young-Jae Ryoo, Eui-Sun Kim, Tea-Gon Kim, Yi-Gon Kim

\*전남대학교 전기공학과, \*\*서남대학교 전기공학과, \*\*\*여수대학교 전기공학과  
Chonnam National University, Seonam University, Yosun National University

Abstract : This paper describes a visual control of autonomous vehicle using neural network. Visual control for road-following of autonomous vehicle is based on road image from camera. Road points on image are inputs of controller and vehicle speed and steering angle are outputs of controller using neural network. Simulation study confirmed the visual control of road-following using neural network. For experimental test, autonomous electric vehicle is designed and driving test is realized

Key words : neural network, road-following, autonomous vehicle, visual control.

### I. 서론

카메라 영상에 의하여 자율적으로 주행하는 차량의 제어는 비선형적이고 복잡하여 수학적 으로 적절히 나타내는데는 한계가 있다. 이러한 한계상황에서 비선형 또는 복잡한 제어가 요구 되는 곳에 적용하여 우수한 효과를 나타낸 퍼 지 또는 신경회로망과 같은 지능제어분야의 도입이 필요하게 되었다[1-4].

시각센서 기반 자율주행시스템의 일반적인 제어기법은 카메라에서 입력받은 도로영상을 분석하여 도로지도도를 생성하고 차량의 위치와 도로의 관계를 파악하여 적절한 제어 알고리즘을 적용하여 주행한다. 반면 신경회로망 등의 지능적인 제어기법이 등장하면서 도로지도도를 생성해야 하는 복잡한 과정을 생략하고 인간이 도로영상을 보고 차량을 조작하는 방법과 같은 도로영상기반 제어기법이 발전하게 되었다[5]. 도로영상을 기반으로 주행 명령을 결정하는 대표적인 방법은 도로영상의 특징 요소인 도로의

소실점 위치와 소실선 각도를 이용하는 시각 제어기법이다[6,7]. 이와같은 시각제어기법은 도로의 특징 요소를 추출하는데 복잡한 기하학적 처리가 요구되고, 도로의 곡률이 커서 카메라의 영상에 한쪽 도로 경계선이 나타나지 않으면 특징요소 추출에 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 곡률이 큰 도로를 자율주행할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법은 도로의 곡률에 따라 속도를 제어할 수 있을 뿐 아니라 도로의 특징 요소 추출 시에도 기존에 사용되었던 기하학적 방법이 필요하지 않다. 자율주행 제어를 위하여 비선형 함수관계에 적합한 신경회로망을 이용한다. 컴퓨터 상에서 차량과 도로에 따른 카메라의 도로영상을 분석할 수 있는 시뮬레이션을 통하여 제시한 도로영상기반 제어기의 우수성을 확인한다. 실제 자율주행을 위해 설계된 전기자동차에 제안된 제어기를 탑재하여, 카메라로부터 얻어진 도로영상에서 도로의 특징요소를 검출하고 제어기의 명령에 따라 인식한 도로를 추적

하여 주행하는 결과를 얻음으로써 제안된 방법의 유용성을 검증한다.

## II. 도로곡률을 고려한 시각제어

### 2.1 기존의 자율주행 제어기법

#### 2.1.1 도로지도기반 제어

무인차량의 자율주행 시스템은 카메라와 같은 시각 센서를 이용하여 도로영상을 입력받아 주행하고자 하는 방향을 결정한다. 차량을 제어하는 일반적인 방법은 카메라로부터 입력받은 도로의 영상에서 도로지도를 생성한 후, 차량의 위치와 도로의 상호 관계를 파악하고, 적절한 제어 알고리즘을 적용해서 주행하는 도로지도에 기반한 방식이다. 이때 2차원 영상으로부터 실제 도로 지도를 추론해야 하는데, 그 과정은 기하학적으로 상당히 복잡하고 많은 계산 시간을 필요로 한다. 실시간 제어가 이루어져야 하는 자율주행에서 영상처리 시간이나 계산시간이 길어지면 차량의 주행 성능에 막대한 영향을 미치게 된다. 따라서 도로지도 추론과정을 생략하고, 카메라 영상을 그대로 차량제어에 사용할 수 있는 도로영상기반 시각제어기법이 제안되었다.

#### 2.1.2 도로영상기반 시각제어기법

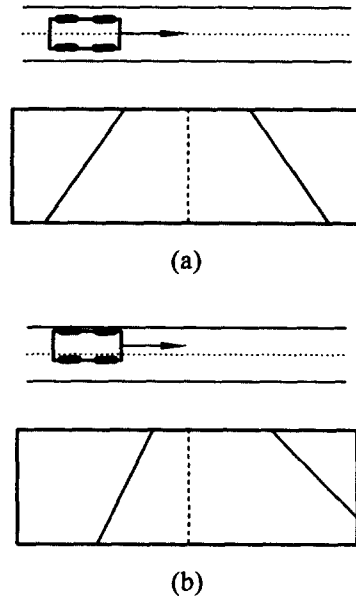
도로영상기반 자율주행은 도로지도 추론과정이 필요하지 않고, 도로 영상으로부터 도로의 특징요소, 예를 들면 도로 소실점 위치, 도로 경계선의 기울기 등을 추출하여 그 값을 차량의 제어에 직접 이용하는 방법이다. 즉 근접한 거리에서 도로의 노면은 평면이고 평행하다고 가정을 한다면, 차량과 도로와의 기하학적인 관계를 통하여 도로영상에서는 도로의 특징요소인 소실점과 소실선을 찾을 수 있다. 이 데이터는 기하학적 추론을 통하여 차량이 도로상에서 어떠한 위치와 방향을 가지고 있는가를 파악하게 한다. 이러한 관계에 근거하여 소실점과 소실선을 차량의 시각제어에 적용한다. 숙련된 운전자가 주행할 때 도로영상을 살펴보면 도로의 중앙에서 벗어난 도로영상에서 차량이 도로의 중앙에 위치하고 차량의 방향이 도로방향과 일

치한 도로영상으로 변화된다. 이와같은 도로영상에서 소실점의 위치와 소실선의 기울기는 도로영상을 파악하는 특징요소이며, 이것에 따라 차량의 조향각을 결정한다. 이러한 방법은 근접한 도로를 직선화해야 하므로 도로곡률에 따른 영향을 처리할 수 없는 한계점을 내포하고 있다.

### 2.2 도로곡률을 고려한 시각제어기법

#### 2.2.1 도로영상의 특징점

카메라에 입력된 도로 영상의 예를 그림 1에 나타냈다. (a)는 직선도로에 차량이 도로의 중앙에 위치하고 차량의 진행방향과 도로의 방향이 일치한 경우의 영상인데, 도로 경계선은 차량으로부터 멀어질수록 중앙에 접근하고 좌우 대칭인 형태를 보여준다. (b)는 도로의 좌측에 차량이 위치하고 진행 방향이 도로의 방향과 일치한 경우의 영상이다. (c)는 차량이 도로의 중앙에 위치하나 진행 방향이 오른쪽으로 향한 경우이다. 그림에서 본 것처럼 카메라에 나타난 도로영상에서 도로경계선의 위치와 기울기는 차량의 위치와 방향에 따라 무한히 많은 경우가 존재하고, 경우에 따라서는 한쪽 경계선이 화면에 나타나지 않을 수도 있다.



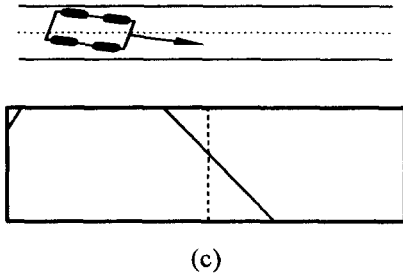
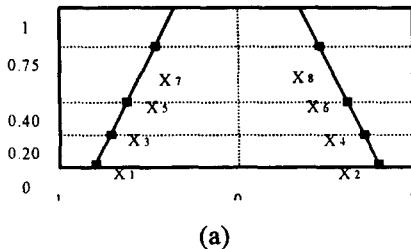


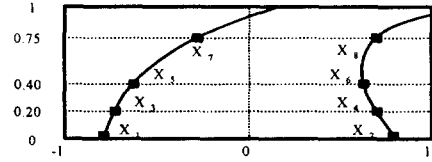
그림 1. 도로 영상의 특징.  
Fig. 1. Characteristic of road image.

### 2.2.2 도로영상의 특징점 추출

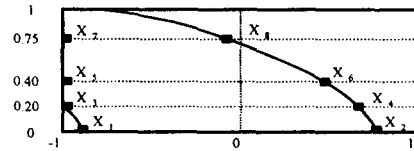
카메라 영상에 나타난 도로의 정보 전체를 차량의 제어 입력으로 사용하기에는 많은 난점이 있다. 도로의 경계선을 추출하는데 매우 많은 영상 처리시간이 걸리고, 제어기의 입력변수도 너무 많아져서 제어기의 구성에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 도로의 특징을 나타낼 수 있는 8개의 도로 특징점을 선정하여 그 좌표를 제어기의 입력으로 사용한다. 도로의 특징점들을 추출하기 위하여 그림 2와 같이 카메라 영상 하반부의 좌표를 수직축의 하단은 0으로 상단은 1로 설정한다. 수평축에서는 중앙의 좌표를 0으로 좌측 끝은 -1, 우측 끝은 1로 설정한다. 차량의 속도와 카메라의 특성을 고려하여 수직 좌표 0, 0.2, 0.4, 0.75지점에 수평선을 그어 도로 경계선과 만나는  $x_1, x_2, \dots, x_8$ 점들의 수평 좌표 값을 얻는다. 만약 그림 (c)와 같이 곡률이 매우 커서 도로 경계선이 나타나지 않는 경우는 최소값인 -1로 놓는다. 반대로 오른쪽 경계선이 나타나지 않으면 최대치인 +1로 놓는다. 더 많은 점의 좌표를 구하면 더 정확한 도로의 특징을 나타낼 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 도로영상 특징점의 검출.  
Fig. 2. Detection of character points on road image.

### 2.2.3 도로곡률에 따른 속도제어

자율주행의 목적은 도로의 경계선을 벗어나지 않고 주행하는 것이다. 따라서 운전자가 경계선을 벗어나지 않고 주행할 수 있는 최대 속도는 '현재의 차량 진행방향으로 직선을 그었을 때, 좌 또는 우측의 도로 경계선과 만나는 점까지의 거리가 얼마나 떨어져 있는가?'와 상관 관계가 있다. 예를 들어 직선도로의 중앙을 도로와 평행한 방향으로 주행하고 있을 경우, 도로 경계선과 만나는 점까지의 거리는 무한대가 된다. 이것은 차량이 최대 속도로 주행할 수 있음을 의미한다. 그러나 직선도로라고 할지라도 진행방향이 좌 또는 우측으로 벗어날수록, 또는 곡률 반경이 작은 도로일수록 도로 경계선까지의 거리는 짧아진다. 즉, 속도를 낮춰야함을 의미한다. 본 연구에서는 주행 중에 도로 경계선과 만나는 점까지의 거리를 측정하였다. 그래서 그 거리가 충분히 길어 차량이 최대속도로 주행할 수 있는 상태의 길이를 실험적으로 설정하였다. 따라서 설정된 길이보다 경계선까지의 거리가 멀면 최고 속도로 주행을 하고, 길이가 작을 경우는 그 길이에 비례하여 속도를 낮춘다. 그림 3은 그 예를 보여주는데 (a)의 경우는 최대 속도로 주행할 수 있는 경우이고, (b)는

경계선까지의 거리에 비례한 속도로 늦추어야 하며, (c)는 곡선도로이지만 곡률 반경이 매우 커서 최대 속도 그대로 주행할 수 있는 경우이다.

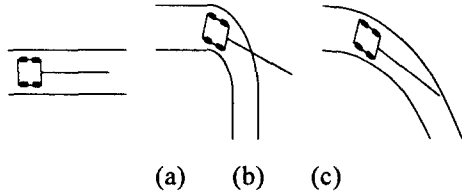


그림 3. 곡률에 따른 경계선까지의 거리.

Fig. 3. Distance of road boundary according to road curvature.

### III. 신경회로망 제어기의 설계

#### 3.1 학습을 위한 입출력 패턴의 획득

언어야 할 입력 패턴은 도로의 특징점  $x_1 \sim x_8$ 의 8개 좌표이고, 출력 패턴은 속도와 조향각이다. 먼저 직선도로와 곡선도로를 혼합하여 임의의 도로를 생성한다. 생성된 도로의 형상과 현재의 차량위치 데이터를 가지고 카메라 좌표 변환을 통하여 특징점을 검출하고, 도로 경계선까지의 거리를 검출하여 속도 데이터를 얻는다. 도로중심과 차량중심간의 측면 변위오차, 그리고 도로 방향과 차량 방향의 차이인 각도오차를 조향각 제어기에 입력하여 조향제어값을 산출한다. 도로의 각종 파라미터를 바꾸어 가면서 다양한 도로에 대하여 이상의 과정을 반복하여 입출력 패턴을 획득한다.

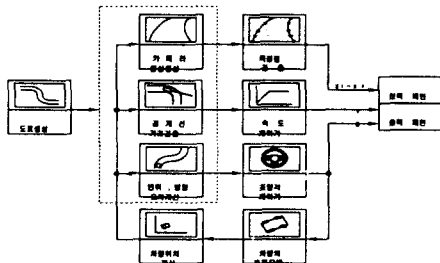


그림 4. 학습 패턴 획득시의 구성.

Fig. 4. Construction in acquisition of

learning patterns.

#### 3.2 신경회로망 제어기의 구성

카메라의 도로영상으로부터 획득한 8개점의 좌표( $x_1, x_2, \dots, x_8$ )를 입력으로 하고 조향 제어명령( $\delta$ ) 및 차량의 지령속도( $v$ )를 출력으로 하는 구조를 갖는다. 제어기를 구성하는 다층 신경회로망의 구조는 입력층 8개, 은닉층 64개 그리고 출력층은 2개의 세포로 구성하였다. 입출력의 패턴 데이터는 정규화하여 바이폴라로 변환하였고, 입력층과 출력층의 활성화함수로는 시그모이드 함수를 사용하였다. 신경회로망의 학습률은 0.1로 하였으며 10,000회 학습하였다. 학습종료 후 신경회로망 내의 연결 가중치들은 제어기의 성능을 나타내며, 학습에 포함되지 않았던 도로 조건이 신경회로망에 입력되더라도 제어기는 적절한 출력을 생성한다.

#### 3.3 학습후 신경회로망 제어기

주행코자하는 도로의 형태를 생성한다. 차량의 최초 위치에서 카메라에 비친 도로의 영상을 생성한다. 생성된 카메라 영상으로부터 특징점 8개를 검출한다. 특징점의 좌표들은 신경회로망 제어기로 입력된다. 신경회로망은 입력에 따른 조향 명령과 속도 명령을 출력한다. 이 명령들을 조향모델과 속도모델을 통하여 차량의 동적 모델에 인가하면 차량의 새로운 위치와 방향이 산출되고, 좌표변환을 통하여 새로운 카메라 영상이 생성된다. 이러한 과정이 반복되어 자율주행이 수행되며 차량의 주행 궤적은 화면에 표시된다.

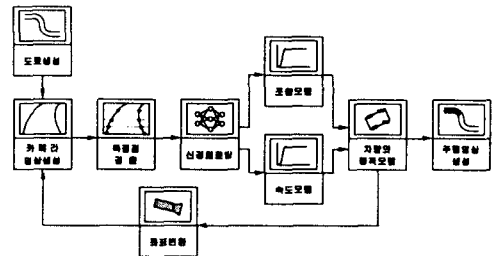


그림 5. 자율주행 시뮬레이션 환경의 구성.

Fig. 5. Configuration of simulation.

## IV. 자율주행 시뮬레이션

설계된 제어기의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이터를 개발하였다. 먼저 차량을 구성하는 각종 요소들을 모델링하고, 도로와 차량, 카메라와의 관계들을 해석한 다음, 요소들을 이용하여 제작할 차량과 도로 환경에 맞도록 시뮬레이터를 구성하였다. 프로그램 환경은 Windows 95이고 언어로는 C++을 사용하였다.

### 4.1. 차량의 모델

#### 4.1.1 동역학적 모델

일반적으로 차량의 동역학적 특성을 모델링하기 위해서, 4륜 차량을 간단한 2륜 차량과 동일하게 취급한다. 이의 특성을 나타내면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= \frac{1}{L_v} v \sin \delta \\ \dot{x}_c^W &= v \cos \theta \cos \delta \\ \dot{y}_c^W &= v \sin \theta \cos \delta. \end{aligned} \quad (2)$$

이때  $(x_c, y_c)$  는 차량의 뒷바퀴 중앙을 기준으로 하는 점이며,  $L_v$  는 앞바퀴와 뒷바퀴 간의 거리,  $\theta$  는 방향각(heading angle), 그리고  $\delta$  는 조향각(steering angle)을 나타낸다.

#### 4.1.2 조향제어 장치 및 차량속도의 모델

조향제어 장치는 모터에 워엄기어를 부가하여 회전 운동을 왕복운동으로 바꿔서 바퀴의 조향각을 조절하는 장치이다. 모터는 바퀴의 현재각과 지령각을 차동증폭한 신호에 의하여 구동된다. 그리고 기계적인 관성때문에 바퀴가 지령치까지 추종하는데는 필연적으로 시간적인 지연이 따른다. 차량의 속도는 차량을 구동시키는 모터의 속도에 비례한다. 그래서 차량 시스템을 속도의 관점에서 보면, 모터자체와 차량의 무게를 부하로 하는 모터로 근사화하여 생각할 수 있다.

그림 6. 차량의 동역학적 모델.  
Fig. 6. Dynamic model of vehicle.

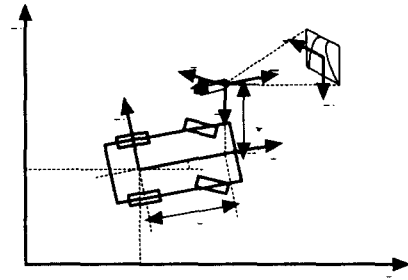
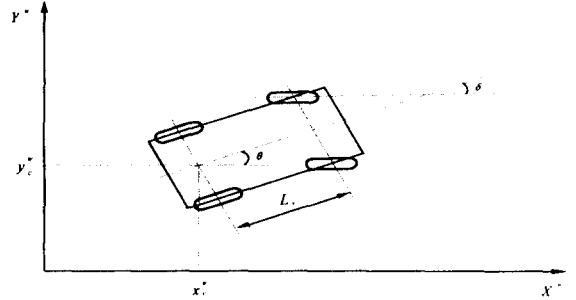


그림 7. 카메라의 좌표변환 모델.  
Fig. 7. Transformation of coordinate system of camera.

### 4.2 카메라의 좌표변환 모델

#### 4.2.1 실세계 좌표에서 차량 좌표로 변환

차량의 후륜 중심점을 차량의 기준 위치점  $(x_c^W, y_c^W)$ 으로 가정한다. 실세계 좌표에서 차량의 전진방향각  $\theta$  와 조향각  $\delta$  를 그림 7과 같이 정의한다. 실세계 좌표의  $(x_c^W, y_c^W)$ 는 차량 좌표를 원점으로 하면 다음과 같이 변환된다.

$$\begin{bmatrix} X^V \\ Y^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^W \\ Y^W \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -x_c^W \\ -y_c^W \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $(X^V, Y^V)$  는 차량 좌표에 있는 점이며,  $(X^W, Y^W)$ 는 실세계 좌표에 있는 점이다.

#### 4.2.2 차량 좌표에서 카메라 좌표로 변환

카메라가 차량에 장착되는 위치는 실험을 통하여 적절한 곳으로 정해지므로 차량의 중심에서 카메라의 중심으로 다음과 같이 좌표 변환한다.

$$\begin{bmatrix} X^C \\ Y^C \\ Z^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^V \\ Y^V \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ H_{vc} \\ L_{vc} \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $(X^C, Y^C, Z^C)$ 는 카메라 좌표의 점이고,  $(X^V, Y^V)$ 는 차량 좌표의 점이다.  $H_{vc}$ 는 지면에서 차량에 장착된 카메라의 높이이고,  $L_{vc}$ 는 차량의 기준점과 카메라의 기준점 사이의 전후방향 차이이다.

#### 4.2.3 카메라 좌표에서 영상 좌표로 변환

카메라는 yaw angle, roll angle, pitch angle  $(\theta, \phi, \psi)$ 의 각도를 가지고 차량에 장착된다. 또 카메라는  $Z^C$ 축을 따라 초점 거리  $f$ 에 의하여  $X^C, Y^C$  평면상에 사상된다. 이를 회전 행렬  $R$ 과 초점 행렬  $F$ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X^I \\ Y^I \end{bmatrix} = [F] \left( [R] \begin{bmatrix} X^C \\ Y^C \\ Z^C \end{bmatrix} \right)$$

단,  $[F] = \begin{bmatrix} f/Z^C & 0 & 0 \\ 0 & f/Z^C & 0 \end{bmatrix}$

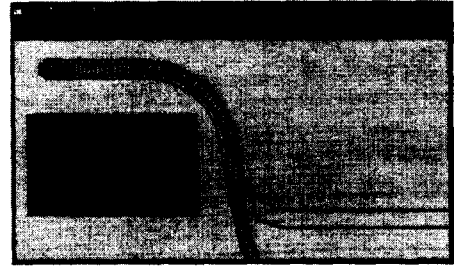
$$[R] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서  $(X^I, Y^I)$ 는 영상 좌표에 있는 점이고,  $(X^C, Y^C, Z^C)$ 는 카메라 좌표에 있는 점이다.

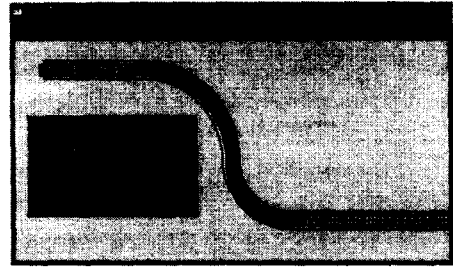
#### 4.3 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 8은 개발된 시뮬레이션 도구를 이용하여 속도제어를 하지 않은 경우와 속도제어를 한 경우의 주행결과를 나타낸다. 속도제어를 한 경우 곡선도로에서 차량의 진행간격이 좁아진 것을 볼수 있으며 이는 속도가 낮아져 주행가

능함을 나타낸다.



(a)



(b)

그림 8. 속도제어 유무에 따른 주행성능의 비교

(a) 속도를 제어하지 않은 경우

(b) 속도를 제어한 경우.

Fig. 8. Comparison of driving performance

(a) without speed control

(b) with speed control.

그림 9는 그림 8과 같은 주행도로에서 속도제어를 하여 주행한 경우 속도명령과 조향명령에 따른 속도출력 및 조향 출력을 나타낸다.

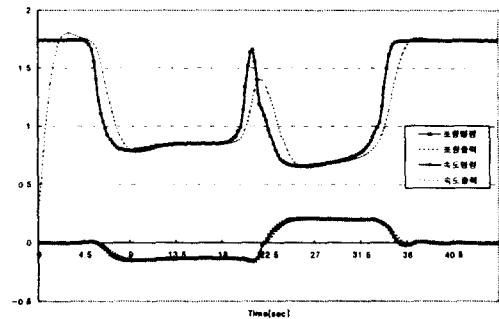


그림 9. 자율주행시 속도와 조향의 제어결과.

Fig. 9. Control results of speed and steer during autonomous driving.

## V. 차량의 자율주행

### 5.1 차량의 제작

설계 제작한 전기자동차는 4바퀴를 가지는 승용차의 구조를 가지며, 크기는 소형 승용차의 1/3로 축소하여 제작하였다. 주행을 위한 구동력은 뒷바퀴에 각각 장착한 200W의 유도전동기로부터 얻었으며, 진행방향의 조절을 위한 앞바퀴의 조향은 직류모터에 워엄기어를 부가하여 구현하였다. 또한 6V의 배터리 4개를 직렬로 연결하여 에너지원으로 사용하였으며, 유도전동기를 구동하기 위한 AC는 인버터를 사용하여 얻었다. 그리고 도로정보를 얻기 위한 시각센서로는 CCD카메라를 이용하였다.

전기자동차의 제어 컴퓨터는 전체 시스템을 총괄관리하는 기능을 가지며 주로 주행 중에는 도로인식 알고리즘 및 신경회로망 제어를 실행하여 입력된 카메라 영상에서 도로방향을 인식하고 조향각과 속도 제어신호를 발생한다. 또 각종 신호로부터 입력되는 정보를 처리, 관리하며 시스템의 상태를 점검하거나 감시하는 기능을 수행한다. 본 실험에 사용되는 컴퓨터는 시스템의 확장과 자유로운 프로그램을 고려하여 범용 IBM-PC를 채택하였고, 모든 주변 장치들은 일반 PC와 호환성을 유지하고 있으므로 PC 확장버스를 통해 연결된다. 제어부는 시각 시스템부, 조향 제어부, 속도 제어부의 3부분으로 구성되어 있다. 시각 시스템부는 도로의 영상을 받아들이는 카메라와 그 영상을 처리하는 이미지 처리 보드(IVP-150)로 구성되어 있다. 조향 제어부는 현재의 조향각을 읽어들이는 Potentiometer, 도로추적 제어기가 출력하는 조향각 명령을 아날로그 값으로 변환하는 D/A 변환기, 조향각 명령과 현재의 조향각을 비교하여 증폭하는 차동 증폭기로 구성되어 있다. 또한 A/D 변환기는 차량을 이용한 학습 시 학습 데이터를 획득하기 위한 장치이다. 속도 제어부는 현재 속도에 비례하는 개수의 펄스를 출력하는 엔코더, 엔코더의 펄스출력을 계수하는 16비트 카운터, 제어기의 속도 지령치를 아날로그 값으로 변환하는 D/A 변환기, 3상 유도전동기를 구동하기 위한 인버터로 구성되어 있다. 이상과

같이 설계되어 제작된 전기자동차의 전체적인 외관은 그림 12와 같다.

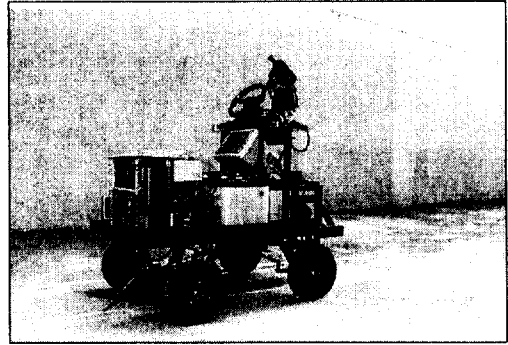


그림 12. 제작 차량의 전체적인 외관.

Fig. 12. Photograph of developed vehicle.

### 5.2 주행 실험

실험한 도로의 환경은 그림 13과 같이 도록 폭이 1.2[m]이고, 경계선의 두께는 5[cm]이며, 도로의 길이는 직선부분과 좌우로 굽은 곡선부분을 혼용하여 30[m]로 설정하였다. 곡선부분의 곡률 반경은 7[m] 이상으로 하였다. 그림 13은 동일 조건에 5회 주행한 결과를 보여준다. 도로 중앙의 흰색선은 차량의 궤적을 나타낸다. 자율주행차량은 도로영상의 특징요소를 이용하여 조향각을 제어함으로써 직선 및 곡선도로에서 완벽한 주행을 확인하였다.

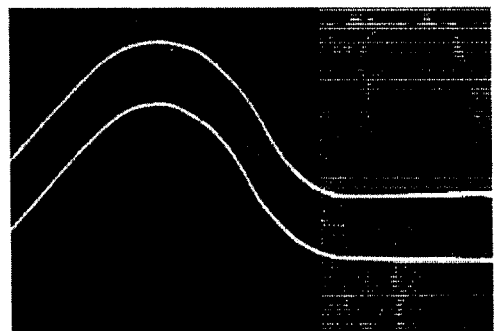


그림 13. 자율주행동안 차량의 궤적.

Fig. 13. Trajectories of vehicle during autonomous driving.

## VI. 결론

본 논문에서는 곡률이 큰 도로를 자율주행할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 도로의 곡률에 따라 속도를 제어할 수 있을 뿐 아니라 도로의 특징 요소 추출 시에도 기존에 사용되었던 기하학적 방법이 필요하지 않았다. 자율주행 제어를 위하여 비선형 함수관계에 적합한 신경회로망을 이용하였다. 컴퓨터 상에서 차량과 도로에 따른 카메라의 도로영상을 분석할 수 있는 시뮬레이션을 통하여 제시한 도로영상기반 제어기의 우수성을 확인하였다. 실제 자율주행을 위해 설계된 전기자동차에 제안된 제어기를 탑재하여, 카메라로부터 얻어진 도로영상에서 도로의 특징요소를 검출하고 제어기의 명령에 따라 인식한 도로를 추적하여 주행하는 결과를 얻음으로써 제안된 방법의 유용성을 검증하였다.

## 참고문헌

- [1] Ronald K. Jurgen, "Smart cars and highways go global," *IEEE Spectrum*, pp. 26-36, May 1991.
- [2] Seung-Hak Yang, Fumio Harashima, Young-Cheol Lim, Kyeung-Young Cho, Young-Jae Ryoo, "Steering control system for autonomous road vehicle using fuzzy neural network," *Trans IEE of Japan*, Vol. 115D, No. 11, pp.1373-1379, Nov. 1995.
- [3] Kevin M. Passino, "Intelligent control for autonomous systems", *IEEE Spectrum*, pp. 55-62, June 1995.
- [4] Thomas Hessburg and Masayoshi Tomizuka, "Fuzzy logic control for lateral vehicle guidance", *IEEE Control Systems*, pp. 55-63, August 1994.
- [5] Shumeet Baluja, "Evolution of an artificial neural network based autonomous land vehicle controller," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B:*

*Cybernetics*, Vol. 26, No. 3, pp. 450-463, June 1996.

- [6] Young-Cheol Lim, Young-Jae Ryoo, Jong-Kun Park, Eui-Sun Kim, Tae-Gon Kim, "Visual Control of An Autonomous Vehicle Using Neural Networks," *IEEE Proc. of the IECON'96*, pp.1064-1069, Aug. 1996.
- [7] Young-Jae Ryoo, Young-Cheol Lim, Seung-Hak Yang, Jin-Young Cho, Fumio Harashima, "Neural networks for visual-based road following of autonomous vehicle", *Proc. of the 1997 IEEE AIM*, 1997.