

# GPS 와 비전시스템을 이용한 무인 골프카의 자율주행

## Autonomous Traveling of Unmanned Golf-Car using GPS and Vision system

정병목<sup>1</sup>, 여인주<sup>2</sup>, 조지승<sup>3,✉</sup>

Byeong Mook Jung<sup>1</sup>, In Joo Yeo<sup>2</sup> and Che Seung Cho<sup>3,✉</sup>

<sup>1</sup> 영남대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Yeungnam Univ.)

<sup>2</sup> ㈜화신 (R&D Department, HWASHIN)

<sup>3</sup> 대구기계부품연구원 지능로봇연구팀 (Intelligent Robot Researcher Team, Daegu Machinery Institute of Components & Materials Foundation)

✉ Corresponding author: okrobo@yumail.ac.kr, Tel: 053-341-7935

Manuscript received: 2008.12.2 / Accepted: 2009.3.2

*Path tracking of unmanned vehicle is a basis of autonomous driving and navigation. For the path tracking, it is very important to find the exact position of a vehicle. GPS is used to get the position of vehicle and a direction sensor and a velocity sensor is used to compensate the position error of GPS. To detect path lines in a road image, the bird's eye view transform is employed, which makes it easy to design a lateral control algorithm simply than from the perspective view of image. Because the driving speed of vehicle should be decreased at a curved lane and crossroads, so we suggest the speed control algorithm used GPS and image data. The control algorithm is simulated and experimented from the basis of expert driver's knowledge data. In the experiments, the results show that bird's eye view transform are good for the steering control and a speed control algorithm also shows a stability in real driving.*

Key Words: Unmanned Vehicle (무인차량), Path Tracking (경로추종), Bird's Eye view Transform (버드아이뷰변환), GPS (Global Positioning System:위성항법장치), Lane Tracking (차선추종)

### 1. 서론

미래형 자동차의 개발과 관련하여 자동차 스스로 도로 주행 환경을 인식하여 운전자를 돕거나 운전을 대신하는 지능형 차량(Intelligent Vehicle) 개발이 ITS(Intelligent Transportation System)의 중요한 연구 분야로 인식되면서 활발한 연구성과를 보이고 있다. 특히 자율주행차량 관련 연구는 비전을 이용하여 차선을 인식하며 주행하는 자동 조향 시스템에 관한 연구<sup>1-3</sup>와 계획된 주행 경로를 따라 GPS 위치정보를 이용하여 목표지점까지 도달하는 자율주행에 대한 연구 등이 있다.<sup>4,5</sup> 자율주행차량의 연구에서는 횡방향 제어(lateral control)와 종방향 제어(longitudinal control)가 중요하며 종방향 제

어란 차량의 주행 속도를 제어하는 것으로 대표적으로 순항제어 시스템(cruise control system)을 들 수 있고 고속, 저속 주행에 있어서 선행 차량과의 안전 거리를 유지하는 시스템을 말한다. 횡방향 제어는 조향제어(steering control)라고도 하며 운전자의 조향 조작을 도와주는 보조 조향 시스템과 무인 자율 주행 차량에서 사용되는 자율 조향 시스템이 있다.

차량의 주행위치에 대한 정보는 GSP로부터 구할 수 있는데 DGPS와 RTK GPS는 측량을 위한 목적으로 많이 사용되며, 수 ms의 샘플링과 수 cm 정도의 오차율을 가지지만 가격이 고가이다. 반면 일반적인 차량항법용으로 사용되는 GPS는 1초 단위로 데이터를 수신하며 5~30m로 오차율이 많이

높지만 가격이 저렴하다. 따라서 차량의 위치오차를 줄이기 위해 GPS, 추측항법(Dead reckoning, DR), Map 매칭 및 비이콘항법 등 2 가지 이상의 항법기술을 함께 사용하는 혼합항법시스템을 구성하여 저가의 차량항법용 GPS 의 정확도와 신뢰도를 높일 수 있다.<sup>6</sup> 주행 차선의 인식에 관한 연구는 카메라를 통하여 차선라인 추출 후 차선 간의 관계를 통한 중심위치를 인식하는 방법,<sup>7-9</sup> 도로모델을 이용한 템플릿 매칭법,<sup>10,11</sup> 무한원점 추출,<sup>12</sup> 역원근 변환<sup>13,14</sup> 및 bird's eye view 변환<sup>15,16</sup> 을 이용하여 주행 차선을 인식하는 방법들이 있다.

본 연구에서는 주행차선 인식의 강인성을 높이며 원근효과를 제거하고자 bird's eye view 변환을 통하여 차선을 인식하고, 영상평면의 위치정보를 실좌표계의 위치정보로 변환을 통해 쉽고 간단히 횡방향 조향제어 알고리즘을 구성할 수 있음을 보인다. 또한, 저가의 차량항법용 GPS 와 추측항법 센서를 이용하여 차량의 주행방향을 보정하고, 곡선길이나 갈림길에서는 GPS 데이터와 영상데이터의 차선정보를 이용하여 이동할 방향을 판단하여 경로를 추종하며, 가감속/브레이크 시스템을 제어 통한 중방향 제어알고리즘도 제시한다. 제안된 시스템은 실제 주행 실험을 통해 기준경로에 대해 목적지까지 주행 성능을 보이고 자율주행 시험결과를 나타낸다.

**2. 차선 검출을 위한 Bird's eye view 변환**

카메라를 통하여 도로를 촬영하면 Fig. 1 과 같이 도로는 Y 평면에 있지만 영상은 Z 평면으로 나타난다. 영상처리에서는 에지 검출과 Labeling 을 통해 차선 데이터를 추출하게 되는데 이렇게 얻어진 차선 데이터는 Z 평면 데이터로서 영상의 위쪽은 멀고 아래쪽은 가까운 원근을 가지고 있다. 따라서 도로영상을 동일거리에서 묘사하기 위해서는 하늘에서 바라본 도로영상으로 변환하는 것이 필요하다. 이러한 변환을 bird's eye view 변환이라고 하는데 이렇게 하면 차량과 차선의 상태를 쉽게 확인할 수 있다. Fig. 1 은 bird's eye view 변환의 원리를 나타낸다. 이 원리는 영상에서 나타난 픽셀의 z 좌표 값을 식(1)의 Y 축 변환식을 통하여 y 좌표 값으로 변환하는 것이다. 즉, 지면에서 카메라까지의 높이 h 와 각도 ψ 를 알면 Fig. 1 과 같은 기하학적 원리에 의해 거리 y 는 식(1)과 같이 구할 수 있다.

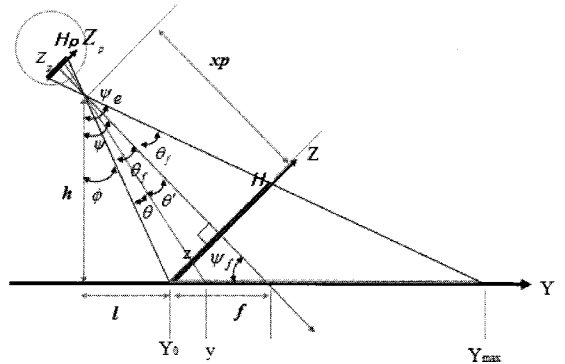


Fig. 1 Bird's eye view transform(direction of Y)

$$y = h \tan(\psi - \theta') - l$$

$$= h \tan\left(\text{atan}\left(\frac{l+f}{h}\right) - \text{atan}\left(\frac{H/2-z}{xp}\right)\right) - l \quad (1)$$

여기서,

$$f = h \tan(\psi) - l$$

$$\begin{cases} \psi = \theta_f + \phi \\ \theta_f = (\psi_e - \phi) / 2 \\ \psi_e = \text{atan}\left(\frac{Y_{\max} + l}{h}\right) \\ \phi = \text{atan}\left(\frac{l}{h}\right) \end{cases}$$

X 축 변환은 y 값에 따라 x 값이 옆으로 퍼지는 비율로 변환하면 되는데, Fig. 2 에서 보는 바와 같이 X 축 변환 관계는 다음과 같은 식(2)로 구할 수 있다.

$$x_{\text{new}} = \frac{f_y}{B} \cdot x \quad (2)$$

여기서,  $f_y$  는  $A \cdot y + B$  로 직선의 기울기와 절편을 나타낸다. 식(1)과 (2)를 이용하여 카메라의 영상을 Bird's eye view 변환한 결과를 Fig. 3 에서 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 bird's eye view 변환을 한 영상에서는 도로 정보로부터 차량의 위치와 방향을 정확하게 추정할 수 있다.

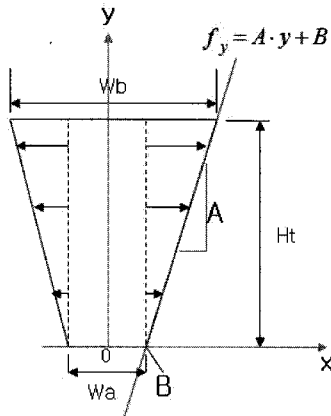


Fig. 2 Bird's eye view transform(direction of X)

$$\phi_{cmd} = K_1 \cdot \theta + K_2 \cdot d \quad (3)$$

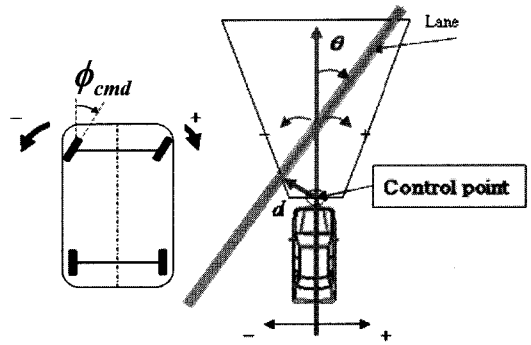


Fig. 4 Definition of control parameters

여기서,  $\theta$  는 차와 차선간의 각도,  $d$  는 거리, 그리고  $\phi_{cmd}$  는 조향 각을 나타낸다. 조향제어를 위한 비례상수  $K_1$ ,  $K_2$  값을 추정하기 위해서는 실제 차량의 주행을 통하여 식(4)와 같이 최소평균자승오차를 최소화 하도록 구한다.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (K_1 \theta[n] + K_2 d[n] - \phi_{cmd}[n])^2 \quad (4)$$

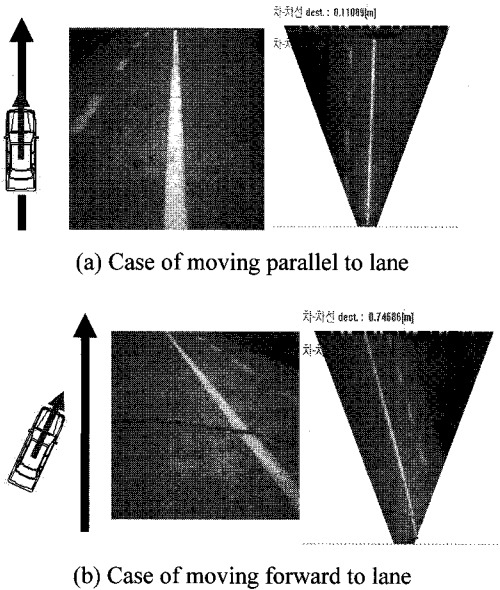


Fig. 3 Example of bird's eye view transform

### 3. 제어기 설계

횡방향 제어에서는 Fig. 3 과 같이 차의 방향을 중심으로 차선이 기울어진 각도를  $\theta$  라 두고 시계 방향을 양(+)의 방향, 반 시계방향을 음(-)의 방향으로 정의한다. 차의 제어 중심점을 차의 중심선 상에서 차의 앞부분으로 정의하고 차에 대해 차선이 떨어진 거리  $d$  를 차의 제어 중심점에서 차선에 수직으로 만나는 점까지의 거리로 정의한다.  $\phi_{cmd}$  를 조향각으로 나타내면 조향 제어기는 다음과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

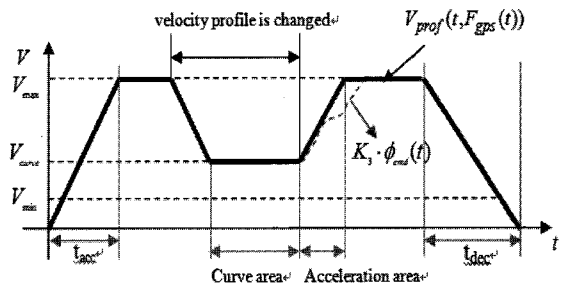


Fig. 5 Block Diagram for Vehicle Control

종방향 제어에서는 일반적인 속도 프로파일이 직선구간에서는 최대속도로, 곡선구간에서는 곡률 반경에 따라 속도를 줄여야 하므로 Fig. 5 와 같이 나타낼 수 있다. 이것을 핸들의 조향각도에 대한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V_{cmd}(t) = V_{prof}(t, F_{gps}(t)) - K_3 \cdot \phi_{cmd}(t) \quad (5)$$

즉, GPS 의 정보에 의해서 커브길이 나타나면  $F_{gps}(t)$  에 의하여 목표속도를 줄이고 또한 조향각,  $\phi_{cmd}$  이 크면 감속하게 된다. 여기서,  $K_3$  는  $\phi_{cmd}$  에 대한 가중치 값이다.

Fig. 6 은 전체 제어 블록 다이어그램을 나타낸다. GPS 와 Compass 를 이용하여 교차로에서 어느 차선을 따라 갈 것인지를 판단을 하고 비전센서를 이용하여 차선을 인식하여  $\theta$  와  $d$  를 구하여 조향각  $\phi_{cmd}$  를 결정한다. GPS 와 Compass 로부터 속도 프로파일이 생성이 되는데 현재 위치와 목적지 위치가 동일해질 때까지 이 속도 프로파일은 계속 생성된다. GPS 로부터 현재위치와 목적지와의 관계 정보를 얻고 Compass 와 더불어 커브를 틀어야 할 시점에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이 커브 정보에 의해 속도 프로파일이 수정된다. 예를 들어 교차로에서 커브를 틀어야 하면 정해진 위치에서부터 감속을 하는 프로파일로 바뀐다. 또한  $\phi_{cmd}$  가 커지게 되면 속도가 떨어진다. 속도 컨트롤에 해당하는 블록 다이어그램은 이 속도 프로파일을 잘 추종할 수 있도록 가속과 브레이크를 컨트롤하는 제어 알고리즘을 나타내고 있다.

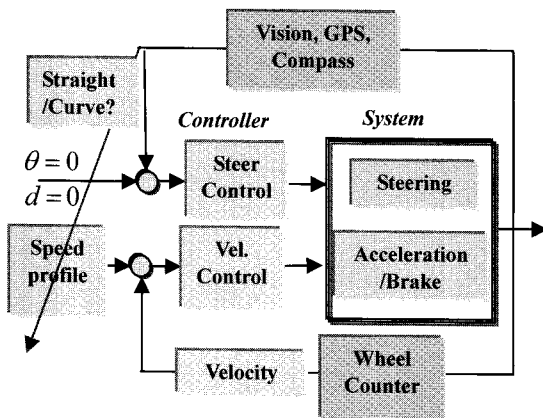


Fig. 6 Block Diagram for Vehicle Control

#### 4. 제어기 시뮬레이션

자동차의 운동방정식을 유도하기 위해서 Fig. 7 과 같이 4 륜 자동차 모델을 구성하고, 측 방향 미끄럼이 발생하지 않는다는 가정을 하면 운동방정식은 다음과 같다.<sup>15</sup>

$$\dot{x} = u_0 \cos \theta \quad (6)$$

$$\dot{y} = u_0 \sin \theta \quad (7)$$

$$\dot{\theta} = u_0 \frac{\tan \phi}{L_1} \quad (8)$$

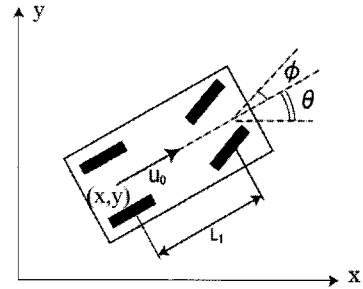


Fig. 7 Vehicle model

Fig. 8 은 차의 초기 위치에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 앞에서 설계한 제어 게인 값을 적용한 결과 차선의 좌측에서 1m 떨어진 위치에서 초기속도 5m/s 로 약 3 초 만에 빠르고 안정되게 X 축 차선으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

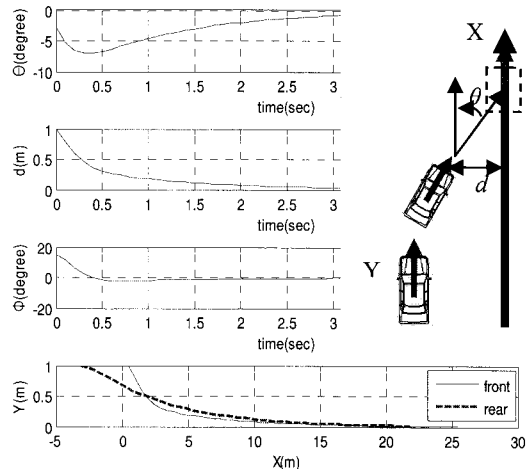


Fig. 8 Simulation result for  $d = 1m$  &  $\theta = 0$

#### 5. 주행 실험

##### 5.1 시스템 구성

자율 경로추적을 위해 실험에 사용한 시스템은 Fig. 9 에서 보는 바와 같이 전동 골프차를 기본으로 다음과 같이 개조하였다. 먼저, 차량의 위치를

구하기 위한 GPS(RoadmateIII, 유니모 디바이스)와 차량의 진행방향을 측정하기 위한 지자기 센서(CMPS03, Robot Electronics)를 탑재하였고, 차량의 속도 측정과 자율조향을 위해 휠 카운터(PR18-8DN, Autonics)와 조향용 모터, 그리고 브레이크 시스템을 추가로 설치하였다. 전체 제어기로는 Pentium4 1.4Ghz 의 Laptop PC 를 사용하였고 카메라의 영상획득 속도는 프레임당 50msec 이다. 전동차의 속도는 전동모터와 브레이크 시스템으로 조절되며, 컨트롤러에서 DA 컨버터를 통해 아날로그 신호로 전동차 모터 속도를 조절한다. Fig. 10 은 Visual C++ 기반으로 실험에서 사용한 프로그램을 보여주는데 차의 방향, 속도와 핸들의 각도, 그리고 bird's eye view 변환에 의한 영상까지 한 눈에 관찰할 수 있도록 하였다.

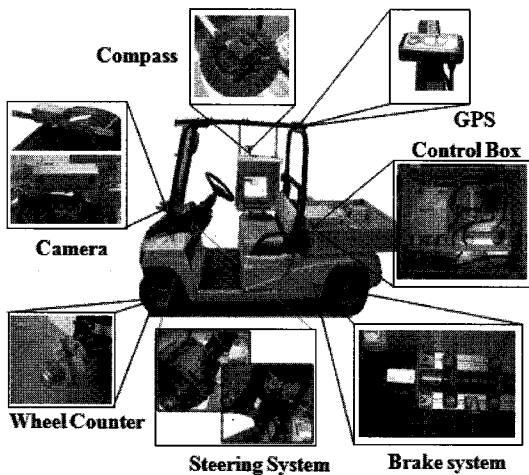


Fig. 9 Unmanned vehicle for Experiment

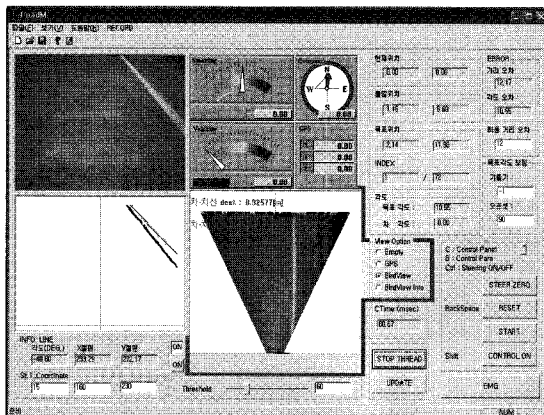


Fig. 10 Developed software for Experiment

5.2 조향성능 실험

Fig. 11 은 조향 각도에 따른 반응 속도 실험 결과를 나타낸다. 0° 에서 15° 로 다시 0° 로 이동했다가 -15° 로 움직이는 테스트를 한 결과를 나타내고 있다. 정착시간이 거의 0.5sec 이내이고, 방향 전환을 0.1sec 이내에 하는 것을 볼 수 있다.

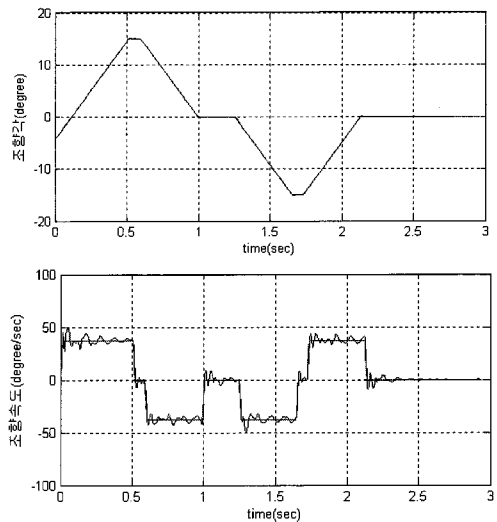


Fig. 11 Experiment result for steering control

Fig. 12 는 외란에 대한 조향각과 조향속도에 대한 제어 실험을 보여준다. 정상적으로 주행중인 차에 인위적인 외란을  $\theta = 20^\circ$ ,  $d = 0.8m$  가 되도록 가했다. 초기속도 4m/s 에서  $\theta = 20^\circ$  인 차의 방향을 돌리는 과정에서 차선으로부터의 거리가 순간적으로 1.5m 가량 더 벗어났지만 거의 5 초 만에 차선을 제대로 수렴해 따라가는 것을 알 수 있다.

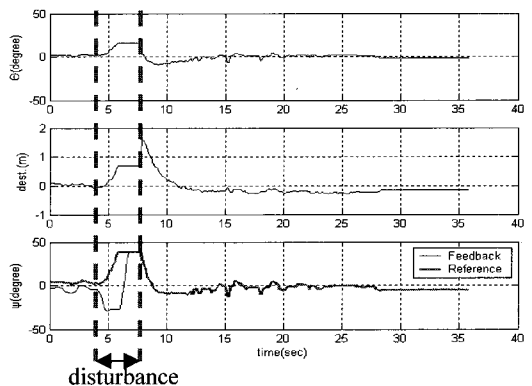
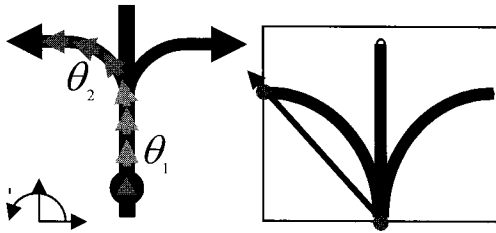


Fig. 12 Steering control for disturbance

### 5.3 갈림길에서의 자율주행



(a) Curve detection from GPS information (b) Lane selection from Image

Fig. 13 Selection a driving lane at a crossroads

차가 차선을 따라 진행하는 과정에서 GPS 경로로부터 좌회전이나 우회전의 정보가 감지되면 Fig. 13 에서 보여주는 영상정보에서처럼 해당방향의 차선을 검출한다. 여러 개의 갈림길이 있으면 경로계획에 맞는 방향의 차선을 선택한 후, 그 차선을 따라 가도록 하였다.

이동해야 할 GPS 경로를 보여주는데, 아래쪽 게이지는 핸들의 조향각과 차의 진행방향을 나타낸다. 그리고 1 번 그림은 교차로 10m 전방에서의 영상이고 2 번은 5m 전방에서의 영상이다. 그림에서처럼 GPS 가 좌측 경로를 안내하면 교차로에서 왼쪽으로 갈라진 차선을 찾아내고 속도를 줄이게 된다. 영상에서 추출한 차선의 각도가 증가함에 따라 핸들의 조향각이 점점 더 왼쪽으로 많이 돌아가는 것을 보여주고 있다.

Fig. 15 와 Fig. 16 은 주행실험 동영상의 일부를 사진으로 기록한 것으로 차량이 갈림길이 있는 주행경로에서 좌회전과 직진할 때 자율 조향 시스템에 의해서 차량핸들이 조향되는 모습을 보여준다.



Fig. 15 Left turn result at the crossroads

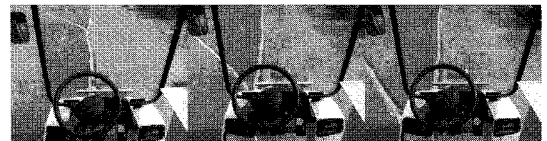


Fig. 16 Straight Driving result at the crossroads

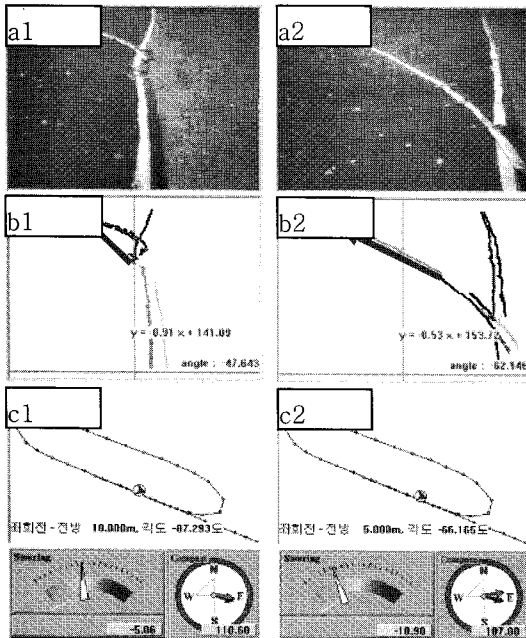


Fig. 14 Left turn selection at the crossroads

Fig. 14 는 갈림길이 있는 주행경로에서 골프카가 가야 할 길을 어떻게 선택하는지를 보여준다. Fig. 14(a)는 카메라가 찍은 도로의 영상이고 (b)는 카메라영상에서 차선만을 추출한 이미지이다. (c)는

### 6. 결론

본 연구에서는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 저가의 차량항법용 GPS 와 추측항법 센서를 이용하여 차량의 주행방향을 보정하였다. 주행차선 인식의 강인성을 높이며 원근효과를 제거하고자 bird's eye view 변환을 통하여 차선을 인식하고, 차선 및 차량의 위치를 검출하여 횡방향 조향제어 알고리즘을 구성하였다. 영상평면의 위치정보를 실좌표계의 위치정보로 변환을 통해 쉽고 간단히 횡방향 조향제어 알고리즘을 구성한 결과를 보였다. 차량의 조향제어기는 시뮬레이션에서 구한 제어 파라미터를 이용하여 실제 자율주행제어시험에 이용하였다. 곡선길이나 갈림길에서는 GPS 데이터와 영상데이터의 차선정보를 이용하여 이동할 방향을 판단하여 경로를 추종하며, 가속/브레이크 시스템을 통하여 종방향 제어를 수행함으로써 전체 경로를 추종할 수 있음을 보였다. 직선, 곡선 및 갈림길로

이루어진 주행경로를 주행 실험을 통해 주행 성능을 보이고 자율주행 시험결과를 나타내었다.

앞으로 위치추정의 정밀도 향상을 위해 맵매칭 방법을 이용하거나 주행경로상의 차량 및 장애물을 검출하여 이를 회피하고 주행경로를 수정할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것으로 본다.

## 참고문헌

1. Wit, J., Crane, C. D. and Armstrong, D., "Autonomous Ground Vehicle Path Tracking," *Journal of Robotic Systems*, Vol. 21, No. 8, pp. 439-449, 2004.
2. Hajjaji, A. E. and Bentalba, S., "Fuzzy path tracking control for automatic steering of vehicles," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 43, No. 4, pp. 203-213, 2003.
3. Urbano, N. and Conde vento, L., "Data Fusion and Path-following controller comparison for Automotive Vehicle," *Nonlinear Dyn.*, Vol. 49, No. 4, pp. 445-462, 2007
4. Broggi, A., Bertozzi, M., Fascioi, A., Bianco, C. and Piazzi, A., "The ARGO autonomous vehicles vision and control systems," *International Journal of Intelligent Control and Systems*, Vol. 3, No. 4, pp. 409-441, 1999.
5. Nebot, E. M. and Durrant-Whyte, H., "A high integrity navigation architecture for outdoor autonomous vehicles," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 26, No. 2-3, pp. 81-97, 1999.
6. Chung, B. M., Seok, J. W., Cho, C. S. and Lee, J. W., "Autonomous Tracking Control of Intelligent Vehicle using GPS Information," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 25 No. 10, pp. 58-66, 2008.
7. Kim, S. G., Lim, H. Y. and Kim, J. H., "Research of the Unmanned vehicle control and modeling for Lane tracking," *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 6, pp. 213-221, 2003.
8. Choi, D., Moon, I. and Lee, K., "Lane Tracking Control of Electric Vehicle with Autopilot," *Proc. of KSAE Spring Conference*, pp. 1087-1092, 2003.
9. Noh, K. H. and Bruno, S., "Development of Vision-based Lateral control system for an autonomous navigation vehicle," *Transactions of KSAE*, Vol. 13, No. 4, pp. 19-25, 2005.
10. Chen, K. H. and Tsai, W. H., "Vision-Based Autonomous Land Vehicle Guidance in Outdoor Road Environments Using Combined Line and Road Following Techniques," *Journal of Robotic Systems*, Vol. 14, No. 10, pp. 711-728, 1997.
11. Eiji, M., Masahiko, S. and Mikio, U., "Vision-based Navigation System for Autonomous Transportation Vehicle," *Precision Agriculture*, Vol. 6, No. 3, pp. 239-254, 2005.
12. Jeong, J. I. and Rho, D. H., "Real time GPS position data correction using the vanishing point and a monocular vision system for autonomous land navigation," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea SP*, Vol. 41, No. 6, pp. 187-194, 2004.
13. Huh, K. S., Park, J. S., Rhee, K. W. and Park, J. H., "A Study on Lane Sensing System Using Stereo Vision Sensors," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 28, No. 3, pp. 230-237, 2004.
14. Jeong, S. G., Kim, I. S., Kim, S. H., Lee, D. H., Yun, K. S. and Lee, M. H., "Real-Time Lane Detection Based on Inverse Perspective Transform and Search Range Prediction," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18 No. 3, pp. 68-74, 2001.
15. Inoue, T., Minh, Q. D. and Liu, K. Z., "Development of an Auto-Parking System with Physical Limitations," *SICE Annual Conference*, Vol. 2, pp. 1015-1020, 2004.
16. Jung, H. G., Kim, D. S., Yoon, P. J. and Kim, J. H., "3D Vision system for the recognition of free parking site location," *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 7, No. 3, pp. 361-367, 2006.