

# DGPS 를 이용한 자동 운항 제어기 설계 및 개발

## Design and Development of Automatic Maneuvering Controller Using DGPS

김기영, 이명일, 허석, 곽문규\*  
(Ki-Young Kim, Myoung-Il Lee, Seok Heo, and Moon-Kyu Kwak)

**Abstract :** This is concerned with the development and design of automatic maneuvering system using Differential Global Positioning System(DGPS). To achievement of autonomous maneuvering controller for giant ship, first, we investigated automatic maneuvering controller using DGPS in motor car. The sensors are configured with DGPS and digital compass. We calculated velocity and steering angle of motor car based on sensor signal. To design the controller, we derived the bicycle model and developed critically damped controller. The critically damped controller can be tracing previously appointed position in the fastest time. We are used a laptop computer to realize and the control algorithm is programmed by visual basic software. The obtained experimental results from developed system show unmanned motor car is good tracing planed positions. Hence, the system is looking forward to use the autonomous maneuvering control for giant ship.

**Keywords :** DGPS, automatic maneuvering, critically damped control

### I. 서론

GPS(Global Positioning System)는 미 국방성에서 군사적인 목적으로 사용하기 위해 개발된 것으로 인공위성을 이용한 위치 측정 시스템이다. 2000년 5월 1일부로 사용자 계약(SA) 즉, 위치 정확도를 낮추는 방법을 중지시킴으로써 민간부분에서 일반인들이 이동시 차량의 위치와 속도, 차량간의 위치 변화 등의 자료가 보다 정확한 수집이 가능해 졌다. 또한, DGPS(Differential Global Positioning System) 수신기를 통해 보정된 위치데이터는 차량 및 선박의 자동운항의 가능성을 보여주고 있다. 그러나 이와 같은 가능성에도 불구하고, 이를 실제로 구현한 연구 사례는 많지 않다. DGPS 신호를 이용한 무인 차량 자동 운항 제어에 대한 연구로는 GPS를 이용해 지상 차량의 무인 운항제어기 설계[1], CP-DGPS신호를 이용해 각도 감지기의 도움 없이 곡물 차량의 자동운항에 관한 연구[2], 자동운항 제어에 적합한 강인제어기의 설계[3], beacon 또는 visual sensor 등을 이용한 평야지대에서의 곡물수확용 차량[4] 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 DGPS 신호와 디지털 나침반을 이용해 선박 및 차량에 응용 가능한 자동 운항 제어기를 개발하고자 한다. 본 연구의 최종목적은 무인 선박 자동 운항 제어 시스템의 개발에 있지만 선박에 직접 적용하기 전에 실험 환경과 비용 등을 고려하여 먼저 지상 차량을 대상으로 연구를 수행하였다. 소형 무인 자동차에 대해 제어시스템을 설계하고 이를 실제로 적용하여 개발된 제어시스템의 타당성과 유용성 그리고 시스템의 안정성을 조사하였다. 이를 위해 소형 무인 자동차의 주행 및 조향 모델을 유도하고 이를 바탕으로 임계

감쇠 제어기를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 임계감쇠 제어기는 가장 빠른 시간 내에 사용자가 지정한 노선으로 수렴할 수 있는 제어기이다.

본 연구에서는 또한, 무인자동차가 주행하면서 지나가야 할 way point를 지정하고 각 way point를 연결하는 직선을 추적할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이와 같은 알고리즘을 사용하면 무인 자동차는 자신의 위치를 DGPS 신호를 바탕으로 실시간으로 계측하여 사용자가 지정한 궤적과의 이탈과 way point와 접촉여부 등을 확인하게 된다. 또한, 디지털 나침반을 이용해 주행각을 계측하여 DGPS 위치 신호와 같이 제어력 계산에 사용하였다. 최종적인 제어력은 소형 자동차의 구동 모터와 조향장치 모터를 움직이는 신호로 바뀌게 된다.

본 연구에서 개발된 제어 시스템을 소형 무인 자동차에 적용한 결과 사용자가 지정한 궤적을 성공적으로 추적할 수 있음을 입증하였다. 따라서, 이 제어 시스템을 선박의 자동운항에도 유효하게 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

### II. 제어시스템의 구성

본 연구에서 구성한 제어 시스템은 그림 1과 같다. 그림 1을 살펴보면 제어 알고리즘은 Visual Basic 언어로 노트북 컴퓨터에 저장되어 있다. GPS 신호는 시리얼 통신으로 노트북 컴퓨터에 전달되며 디지털 나침반 신호는 OOPic 마이크로 컨트롤러에 전달되고 이 신호가 labjack USB data acquisition system에 전달된 후 최종적으로 USB포트를 통해 노트북 컴퓨터에 전달된다. GPS 위치값과 디지털 나침반 값을 이용해 계산된 차량의 주행속도와 주행각은 USB 포트를 통해 OOPic에 전달되고 각각의 신호는 조향을 위한 서보모터와 주행모터를 구동하게 된다. 이를 간략하게 정리하면 전체 제어시스템이 다음 표와 같은 세 부분으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 사용한 DGPS 수신기는 San Jose NAVIGATION 사[5]의 DGPS-220-PC로서 그림 2(a)에 보이는 시스템이다. 이

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 4. 24., 채택확정 : 2006. 6. 10.

김기영, 이명일, 허석, 곽문규 : 동국대학교 기계공학과

(k-5-k-5@hanmail.net/hapumlee@hanmail.net/manwoo@dgu.edu/kwakm@dgu.edu)

※ 본 연구를 위하여 지원해주신 한국해양연구원 GNSS 연구센터의 서상현 박사께 감사의 말씀을 드립니다.

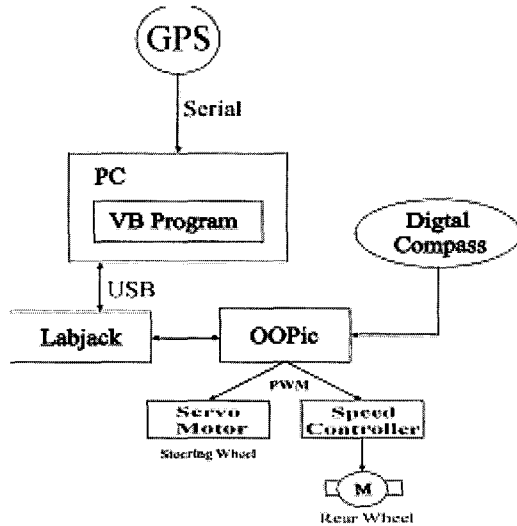


그림 1. 제어시스템 구성도.  
Fig. 1. Control system block diagram.

표 1. 제어시스템의 구성요소.  
Table 1. Hardware configuration for control system.

Part	Device
Sensor	DGPS/GPS Beacon receiver, Digital Compass
Controller	Notebook PC/DAQ(Labjack), micro controller(OOPic)
Actuator	RC servo motor, Speed Controller

DGPS 수신기의 위치 정확도는 1~5m로 알려져 있으며 4800bps 속도로 RS-232통신을 하고 12~245V에서 동작하며 data update는 1sec이다.

NMEA는 National Marine Electronics Association의 약자로, 해양관련 장비의 인터페이스 프로토콜의 표준으로 사용되고 있다. GPS장치에 있어서도 이 NMEA 0183 프로토콜이 국제 표준으로 되어있다. GPS 수신기가 시리얼 통신으로 전송하는 데이터는 많은 정보를 포함하고 있는데, 그 중에서 위치 정보를 추출하기 위해 GPBGA로 시작하는 데이터를 이용한다. 위도와 경도값을 추출한 다음에는 이로부터 원점으로부터의 절대위치를 계산해 진행방향에 대한 이탈거리를 계산하였다. 조향각을 예측하기 위해서는 본 연구에서는 디지털 나침반 [6]을 사용하였다. 디지털 나침반은 PNI(Precision Navigation)사의 vector 2x로써 그림 2(b)에 보이는 시스템이다. 이 나침반은 1도의 해상도를 가지고 있으며 사용자 지정에 의해 출력값을 BCD나 Binary 코드로 출력한다. 본 연구에서는 360도를 8bit로 계산했기 때문에 약 1.4도의 해상도를 갖는다. 그림 2(c)에 보이는 OOPic사[7]의 OOPic2는 객체 지향형의 마이크로 컨트롤러로서 현재 마이크로 로봇에 많이 활용되고 있다. OOPic2의 구동 프로그램은 Visual Basic, C, Java와 동일한 문법구조를 가지고 있기 때문에 프로그램 하기가 매우 편하며, 일반적인 하드웨어에 대한 해결방안이 동시에 제공되기 때문에 사용자가 간단하게 응용하여 새로운 시스템을 형성할 수 있다.

본 연구에서는 서보 모터구동을 위한 PWM 파형 생성과 디지털 콤파스에서 들어오는 신호를 처리하기 위하여 OOPic2

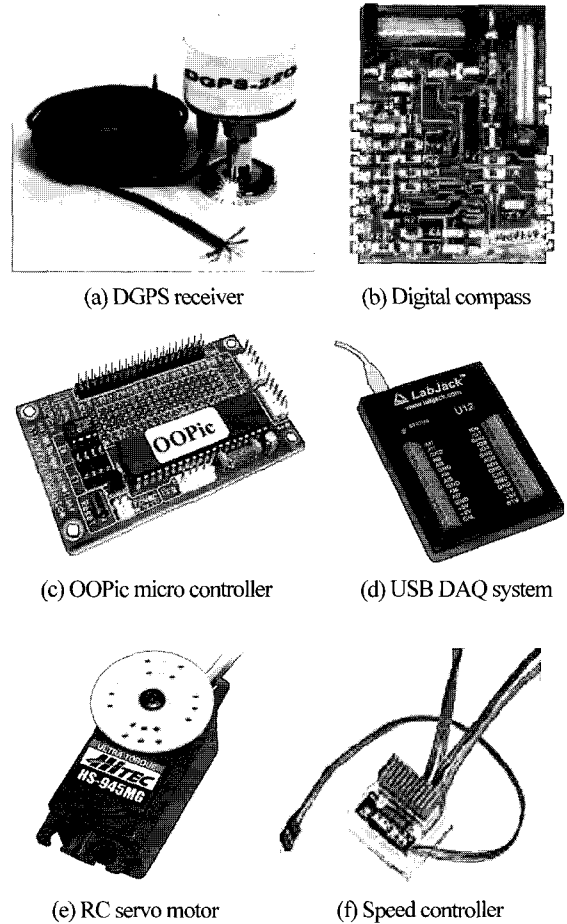


그림 2. 자동운항제어를 위한 장비구성.  
Fig. 2. Electronic components for automatic maneuvering control.

를 사용하였다. Labjack Co.사[8]의 labjack USB장비는 그림 2(d)에 보이는 장비로서 2개의 analog output과 20개의 digital I/O를 가지고 있고 Visual C++이나 Visual Basic에서 사용할 수 있도록 ActiveX control이 제공된다. 더구나, 병렬포트가 있기 때문에 8bit의 데이터를 처리할 수 있다. 본 연구에서는 labjack을 노트북과 OOPic2를 연결하는 인터페이스 장치 및 DAQ를 사용함으로써 PC에서 조향 데이터를 OOPic2로 전달하고 OOPic2에서 계산된 heading 데이터를 PC로 보내는 역할을 담당하도록 하였다.

조향장치의 구동을 위해서는 그림 2(e)에 보이는 Hitec사의 HS-945MG RC서보모터를 사용하였다. 서보모터의 토크는 5V에서는 8.8kg/cm이고 6V에서는 11kg/cm이다. PWM파형으로 제어 가능하며, 내부 기어가 메탈로 구성되어 있기 때문에 큰 부하가 걸려도 기어가 깨지지 않는다는 장점이 있다. 회전각도는 중앙을 기준으로 좌우로 약 90°이다. 모터구동을 위한 속도제어기로는 그림 2(f)에 보이는 Acatron사의 ASC-01R를 사용하였다. 이 장치는 RC모형차량에 쓰는 속도 제어기로써 최대 160A까지 견딜 수 있다. 구동전압은 약 5V에서 12V이며 또한, 서보모터처럼 PWM파형으로 제어를 한다. 과부하 보호기능이 있기 때문에 control board를 보호할 수 있다. OOPic2에서 생성한 PWM파형(high level:5V)을 입력하면 high level이 구동전압과 같은 PWM파형이 구동모터에 전달된다.

III. 자동운항 임계감쇠 제어기 설계

소형 무인 자동차의 운동 방정식을 유도하기 위해 그림 3 과 같은 bicycle model을 이용[1]하였다.

여기서,  $X, Y$  는 절대좌표,  $x, y$  는 뒷 바퀴 중앙에서의 로컬좌표,  $\psi$  는 차축과  $x$  축사이의 각도(heading angle),  $\delta$  는 조향각(steering angle),  $L$  은 앞뒤 차축간의 거리,  $V$  는 차량의 속도를 의미한다. 저속 주행을 고려할 경우 차량의 운동방정식은 다음과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$\dot{x} = V \cos \psi, \quad \dot{y} = V \sin \psi, \quad \dot{\psi} = \frac{V}{L} \tan \delta \quad (1)$$

여기서,  $\dot{\psi}$  은  $x$  축과 연계된 각속도(angular velocity)벡터,  $\dot{y}$  은  $y$  축과 연계된 선속도(linear velocity)를 의미한다.  $\delta = 0$  일 때 차량은 병진운동을 하여 위에서 가정한 두 가지 조건을 만족함을 알 수 있다.  $\psi \ll 1$  로 가정할 경우 (1)은 다음과 같이 선형화해서 나타낼 수 있다.

$$\frac{dy}{dt} = V\psi, \quad \frac{d\psi}{dt} = \frac{V}{L}\delta \quad (2a,b)$$

(2b)를 (2a)에 대입하면 다음과 같은 미분방정식이 유도된다.

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{V^2}{L}\delta \quad (3)$$

제어기의 목적은  $y$ , 즉 way point 간의 직선상으로부터의 이탈거리를 0 으로 만드는 것이다. (3)의 운동방정식을 관찰한 결과 본 연구에서는 다음과 같은 형태의 제어기를 제안하였다.

$$\delta = -g_1\dot{y} - g_2y \quad (4)$$

이 식은 조향각이 이탈거리와 이탈속도에 비례하는 것을 의미한다.(4)를 (3)에 대입하면 다음과 같은 식이 유도된다.

$$\ddot{y} + \frac{V^2}{L}g_1\dot{y} + \frac{V^2}{L}g_2y = 0 \quad (5)$$

(5)는 일자유도 스프링-질량-댐퍼 진동계의 운동방정식과 동일함을 알 수 있다. 일자유도 진동계의 특성을 고려하여 본

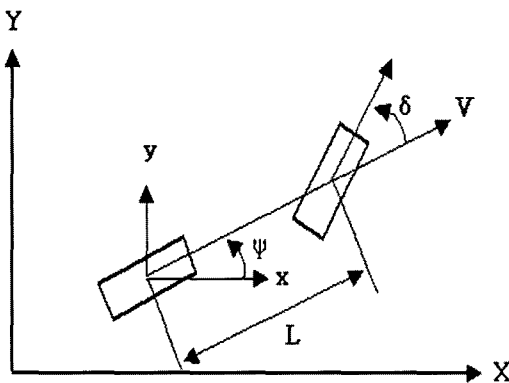


그림 3. 자전거 모델.  
Fig. 3. Bicycle model.

연구에서는 다음과 같은 임계감쇠제어기(critically damped controller)의 사용을 제안하였다. 이 경우 (5)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\ddot{y} + 2\omega_n\dot{y} + \omega_n^2y = 0 \quad (6)$$

계수를 비교해보면 다음과 같은 관계식이 유도된다.

$$2\omega_n = \frac{V^2}{L}g_1, \quad \omega_n^2 = \frac{V^2}{L}g_2 \quad (7)$$

(7)로부터  $g_1$  과  $g_2$  의 관계식을 유도하면 다음과 같다.

$$g_2 = \frac{V^2}{4L}g_1^2 \quad (8)$$

따라서, (2a)와 (8)을 (4)에 대입하면 최종적인 임계감쇠 제어기가 다음과 같은 형태로 유도된다.

$$\delta = -g_1V\psi - \frac{V^2}{4L}g_1^2y \quad (9)$$

본 연구에서 이용한 무인 소형자동차의 경우에는 주행 속도는  $V = 0.4m/s$ , 축간거리  $L = 0.6m$  이다. 이 경우 다음과 같은 제어식이 생성된다.

$$\delta = -0.4g_1\psi - 0.067g_1^2y \quad (10)$$

$g_1$  에 의해 수렴도가 결정되는데 본 연구에서는  $g_1 = 1$  을 사용하였다.

III. 실험

실험을 위하여 그림 5와 같은 소형 자동차에 자동 운항 제어기를 장착하였다. 그림 5(a)는 소형자동차에 그림 5(d)의 제어시스템을 장착한 완성된 전체 시스템을 보여주며, 그림 5(b)는 방향을 제어하기 위한 앞바퀴 조향 부분으로서 마이크로 컨트롤러에서 보내주는 PWM신호를 받아 서보모터를 구동하여 설정된 좌표로 이동하게 한다. 그림 5(c)는 제어시스템의 구성을 보여주는데 제일 위에 위치한 노트북을 통해서 DGPS신호를 받아 데이터를 처리한 뒤 제일 아래 위치한 labjack을 통해서 서보모터구동을 위한 마이크로 컨트롤러인 OOPic에 연결되어 하나의 시스템을 구성한다. 차량 앞쪽에 GPS/DGPS Beacon Receiver를 장착하고 제어부와 digital compass는 운전석에 탑재를 하였다. 구동축은 뒷바퀴이며(속

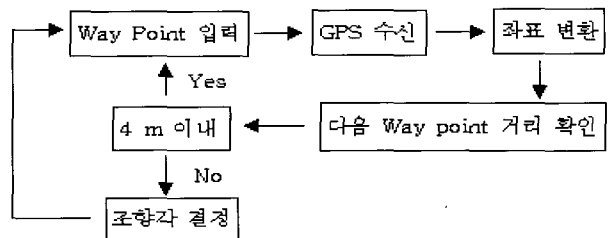
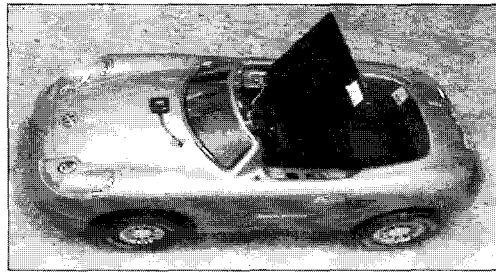
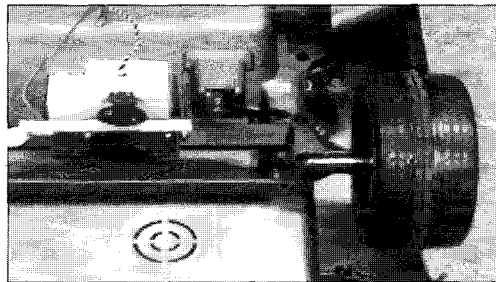


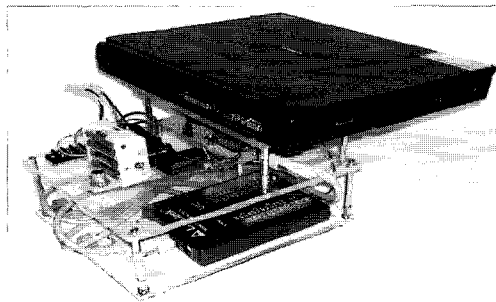
그림 4. 알고리즘 개략도.  
Fig. 4. Schematic of the algorithm.



(a) Autonomous vehicle

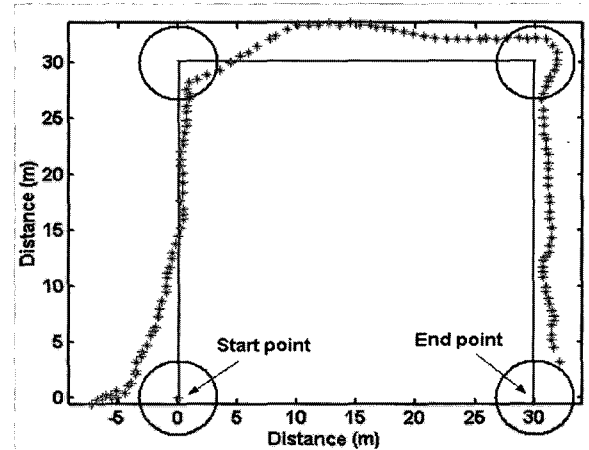


(b) Motor drive system

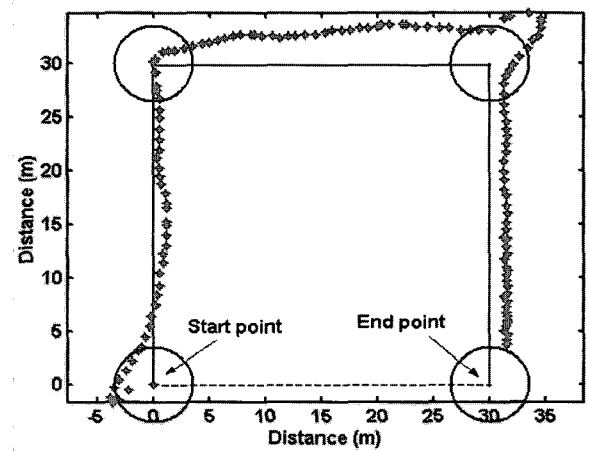


(c) Control unit

그림 5. 자동운항 시스템의 각부 요소.  
Fig. 5. Configuration of autonomous vehicle control system.



(a) Experiment result 1



(b) Experiment result 2

그림 7. 자동운항시스템의 궤적추적.  
Fig. 7. Trajectory curves of autonomous vehicle.

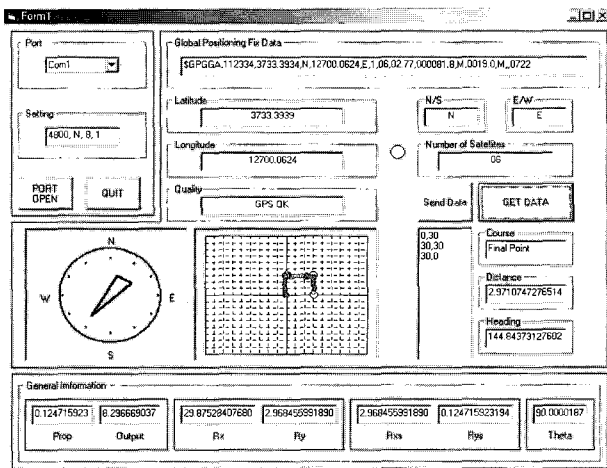


그림 6. 개발된 GUI 환경.  
Fig. 6. GPS receive program.

도: 0.4m/s) 앞바퀴에서 조향이 되도록 하였다. 그림 4는 개략적인 구동 알고리즘을 나타낸다.

운영시스템은 그림 6과 같이 Visual Basic으로 구현되었는

데 DGPS 신호의 수신을 위한 통신 프로그램, 그리고 그래픽 처리 프로그램 등으로 구성되었다. 프로그램상에서 원하는 위치를 절대 좌표로 지정하면 각각의 지리적 위치정보가 동시에 출력됨과 동시에 운동 방향과 궤적등과 같은 시스템의 상태가 표시될 수 있다.

실험은 신호가 잘 잡히는 넓은 공터에서 한 번의 길이가 30m 인 정사각형의 꼭지점을 way point로 지정하고 실험을 수행하였다. 프로그램이 시작되면 quality box에 “GPS OK”가 출력되고 차량이 위치하고 있는 지점이 (0,0)으로 초기화 된다. 만약, quality box에 “Invalid”가 출력되면 GPS 또는 DGPS가 수신될 때까지 운영시스템은 대기모드가 된다. 차량이 이동할 궤적은 (0,0)을 기준으로 그려진 것이고 (0,0)과 첫 번째 way point사이의 기울기는 “Atan2()” 함수를 이용하여 얻어낸다. Visual Basic에서는 Atan2() 함수를 지원하지 않기 때문에 사용자 함수를 정의하여 사용하였다.

진자컴파스에서 들어오는 값은 정북을 기준으로 하여 반시계 방향으로 (0 ~ 360°) 값이 들어온다. 결국 간단한 계산을 통하여 차량의 heading 값은 진행방향을 기준으로 하여 좌측으로 회전되어 있으면 0 ~ 180°의 값을 반환하고, 우측인 경우는 0 ~ -179°의 값을 반환한다. 진행방향에 대한 차량의 거

리는 way point 간에서 얻어진 기울기 값(Atan2) 함수에서 얻어진 각도)을 이용하여 국소 좌표계로 좌표변환을 한다. 여기서, y 좌표값을 읽어들이면 차량의 떨어진 거리를 알 수 있다. 들어온 heading 값과 차량의 떨어진 거리값은 (10)에 입력되고, 그 출력 값은 0에서 5 V의 범위를 갖도록 맵핑된다. 여기서, 맵핑된 값은 labjack의 D/A 단자를 통하여 OOPic의 A/D 변환단자로 입력되고, 서보모터를 구동하기 위한 PWM 파형으로 변환된다. A/D 입력값이 2.5 V이면 차량의 조향은 중앙에 위치하며 0 ~ 2.5 V 사이이면 좌로 회전하고, 2.5 ~ 5 V이면 우측으로 회전하게 된다. 입력값이 0 V나 5 V에 가까울수록 조향각은 커진다. 그리고, 차량과 첫번째 way point 간의 거리는 두 점간의 거리공식을 이용하여 측정을 하게 된다. 차량이 원점에서 출발하여 첫번째 way point를 기준으로 하는 반경 4m 원안에 진입하면 첫번째 way point가 기준 (0,0)이 되는 좌표계로 변환이 된다. 위의 차량 이동 궤적 데이터의 way point는 (0,30), (30,30), (30,0) 이고 회전방향은 시계방향이다.

실험조건으로 장소는 교내 운동장이며 5 ~ 9월 오후 7시 ~ 9시 사이에 실험을 실시하였다. 초기 DGPS 신호가 좌표값 (0,0)으로 초기화 된 후 신호가 좌로 floating 되는 현상이 일어났다. 이는 센서 특성의 영향으로 보인다. 하지만 차량이 처음 주어진 궤적에 수렴해 가는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고, 반경 4m 원안에 들어오면 차량의 방향이 다음 way point로 향하는 것을 볼 수 있다. End point의 반경에 들어오면 "final point" 신호가 출력되고 시스템을 정지시켰다. 진행방향에 있어 약간의 진동과 원만한 방향 회전이 이루어지는 것을 그림 7(a),(b)에서 확인할 수 있으며, 결과들이 유사함으로 제어기 설계에는 그리 큰 무리가 없는 것으로 판단된다.

#### IV. 토의 및 결론

본 연구에서는 GPS를 이용한 선박의 자동운행 제어시스템을 구현하기 위한 선행 연구를 위해 소형 무인 자동차를 대상으로 제어시스템을 구현하고 실험을 통해 구축된 제어시스템의 타당성을 조사하였다. 정밀한 위치 데이터의 추출을 위해 DGPS 수신기와 디지털 나침반을 감지기로 사용하였으며, way point 간의 직선상을 효율적으로 추적하기 위해 임계 감쇠제어기를 제안하였다.

본 연구에서 제안한 제어기의 구현을 위해 Visual Basic언어

를 사용하였으며 모든 입출력은 노트북컴퓨터의 시리얼 통신과 USB통신으로 구현되었다. 모터제어와 디지털 입출력을 위해 별도의 마이크로 컨트롤러가 사용되었다.

실험을 통해 관찰된 문제점은 다음과 같다. DGPS 신호를 수신하는 경우에 지상환경조건으로 인해 신호가 불안정해지거나 floating 되는 경우가 발생하였다. 그러나 오차가 수십cm 이내에서 발생하기 때문에 실제 선박에 적용하는 경우 대형 선박의 크기에 비해 이 오차는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 소형 무인 자동차를 대상으로 제어실험을 수행한 결과 way point를 이용한 차량의 궤적제어가 가능하고 들어오는 GPS 신호로도 충분히 차량운행이 가능하였다. 그러나, 만일 차량이 고속주행을 하는 경우에는 신호가 들어온 후 다음 신호가 들어오기 전 사이에 차량의 위치와 거리를 보간 할 수 있는 다른 센서나 알고리즘이 필요하다. 또한, 예상하지 못한 신호의 중단이나 변화가 생겼을 경우 적절한 대응을 할 수 있도록 프로그램을 수정해야 하는 과제가 남아 있다. GPS/DGPS 신호를 보다 정확하고 신뢰성 있게 수신할 수 있는 방법도 차후 해결해야 할 과제이다.

#### 참고문헌

- [1] L. Cordesses, P. Martinet, B. Thuilot, and M. Berducat, "GPS-based control of a land vehicle," *Proc. of the 16<sup>th</sup> IAARC/IFAC/IEEE Int. Symp. Automation Robotics Construction*, pp. 41-46, 1999.
- [2] L. Cordesses, C. Cariou, P. Martinet, and C. Thibaud, "CP-DGPS based combine harvester control without orientation sensor," *Proc. of the ION-GPS Meeting*, pp. 2041-2046, 1999.
- [3] P. Martinet, C. Thibaud, B. Thuilot, and J. Gallice, "Robust controller synthesis in automatic guided vehicle applications," *Proc. of the Int. Conf. on Advances in Vehicle Control and Safety*, pp. 395-401, 1998.
- [4] P. Martinet, P. Bonton, J. Gallice, M. Berducat, C. Debain, and R. Rouveure, "Automatic guided vehicles in agricultural and green space fields," *Proc. of the 4<sup>th</sup> French-Israeli Symp. on Robotics*, pp. 87-92, 1998.
- [5] DGPS beacon receiver, [www.sanav.com](http://www.sanav.com)
- [6] Digital compass, "vector 2x," [www.hanitech.co.kr](http://www.hanitech.co.kr)
- [7] Micro controller, "OOPic II," [www.oopic.com](http://www.oopic.com)
- [8] Labjack homepage, [www.labjack.com](http://www.labjack.com)



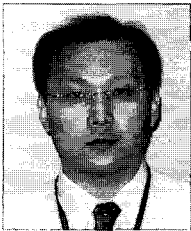
**김기영**

2006년 동국대학교 기계공학과 석사. 현재 현대 엘리베이터 연구소 연구원 재직 중. 관심분야는 Vision Control, Robotics.



**이명일**

2006년 동국대학교 기계공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 Motion Control, Robotics.



**허석**

1998년 동국대학교 기계공학과 학사. 2000년 동국대학교 기계공학과 석사. 2003년 동국대학교 기계공학과 박사. 2003년~2005년 University of Nevada, Reno 기계공학과 Post-doc. 2005년~현재 건국대학교 인공근육연구센터 연구교수. 관심분야는 Biomimetics, EAP actuator, Mechatronics, Smart Structure.

심분야는 Biomimetics, EAP actuator, Mechatronics, Smart Structure.



**곽문규**

1981년 서울대학교 조선공학과 학사. 1983년 서울대학교 조선공학과 석사. 1989년 Virginia Polytechnic Institute and State University 기계공학과 박사. 1989년~1992년 Virginia Polytechnic Institute and State University 기계공학과 조교수. 1994년~1995년 University of New Mexico 기계공학과 조교수. 1995년~현재 동국대학교 기계공학과 교수. 관심분야는 Flexible Multi-body Dynamics, Mechatronics, Smart structure.

년~현재 동국대학교 기계공학과 교수. 관심분야는 Flexible Multi-body Dynamics, Mechatronics, Smart structure.