

# GPS 기반의 초소형 무인선박을 위한 자율항법 알고리즘 개발

김효일\* · 전승환†

\* 한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 항해시스템공학부 교수

## Development of Autonomous Navigation Algorithm for Very Small Unmanned Surface Vehicle based on GPS

Hyo-Il Kim\* · Seung-Hwan Jun†

\* Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

† Division of Navigation System Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

**요 약 :** 최근 항공기, 자동차, 선박을 포함하여 다양한 분야에서 무인시스템에 관한 연구 개발이 이루어지고 있다. 우리나라에서도 IT기술의 발달과 함께 무인시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있지만 아직 개발 실적은 미미한 수준이다. 이 연구에서는 바지(barge)선형의 초소형 자율 무인선박(USV)을 개발하고자 하였다. 자율항법 알고리즘 개발에 GPS 센서의 위치 정보를 기반으로 대권항법 계산식을 적용하였으며, 프로그래밍은 NI사의 LabVIEW 8.2를 이용하였다. 조타제어는 펄스폭변조 방식으로 하였다. 또한, 엔진시스템은 전동모터 및 전자변속기로 구성하였고, 엔진시스템 냉각방식으로 DC모터펌프를 이용한 해수 직접냉각방식을 채용하였다. 무인선박을 자체 설계 제작하고, 해상실험을 통해 자율항법 알고리즘의 유효성을 검증하였다.

**핵심용어 :** 무인선박, 자율항법, 항법 알고리즘, GPS, 대권항법, 램프

**Abstract :** Recently, unmanned systems have been studied and developed in various areas including aircrafts, automobiles and vessels. In addition, many researches about unmanned systems in Korea have been studying actively with the advancement of IT. However, it is not satisfied with the result of the researches and developments. Because of the reason we've here tried to make a very small USV which is a barge type. We applied the Great circle navigation calculation based on GPS to the autonomous navigation algorithm and used the LabVIEW 8.2 developed by NI corp. for programming. The engine and rudder were controlled by pulse width modulation method. The engine system was composed of the DC motor and ESC(Electronic Speed Controller). It was also applied by the direct cooling system using DC motor pump. A very small USV was designed and made by ourself and it was verified the effectiveness of autonomous navigation algorithm through the tests at the sea.

**Key words :** USV, autonomous, navigation algorithm, GPS, Great circle navigation, LabVIEW

### 1. 서 론

세계적으로 무인시스템에 관한 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 우리나라에서도 최근 들어 무인시스템에 관한 연구가 비교적 활발히 이루어지고 있다. 그러나 무인비행기, 무인자동차의 개발 실적과 비교하면 무인선박(Unmanned Surface Vehicle : USV)에 관한 연구 성과는 아직 미흡하다. 연구사례로서 우리나라 해군에서는 USV의 필요성을 인식하고, 그 활용방안으로 한국형 무인경비정의 NLL에서의 배치 및 주요 탑재장비를 Fig. 1 및 Fig. 2와 같이 제시한 바 있다(부, 2004). 또한 무인수상선의 동적 위치제어를 위한 신경회로망 PID제어기의 설계기술을 제안하기도 하였다(심 외, 2008). 해저 무인잠수정(UUV)과 육상 또는 선박간의 통신을 중계하기 위한 목적의 소형 무인수상선 개발이 보고되었으며(이, 2006), 방위사업청 주도하에

민군겸용기술개발사업의 일환으로 무인선에 관한 연구가 진행되기도 하였다(한국해양연구원, 2008). 아울러, 선박의 자동항법을 위한 다양한 알고리즘이 연구 개발되었으며, 최근에는 인공지능기술을 적용한 연구도 보고되고 있다(강 외 2000).

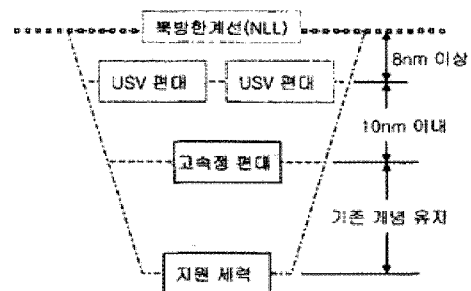


Fig. 1 Disposition of USV at the NLL

\* 대표저자 : 김효일(정회원), likim@hanmail.net 051)410-4881

† 교신저자 : 전승환(중신회원), korjun@hhu.ac.kr 051)410-4245

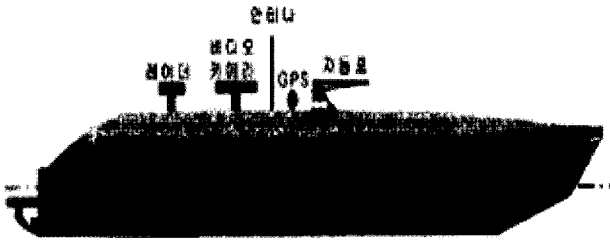


Fig. 2 On-board armament of Korean USV

USV와 같은 무인시스템의 연구 개발에는 많은 비용이 소요되기 때문에 초기엔 주로 군사적 목적이 주를 이루었다. 하지만, 점차 기술이 보편화되고 상용화 되면서 민간에서도 다양하게 응용될 것으로 예상되는데, 대표적으로 Remote sensing이 그러한 예가 될 것이다. 실제로 해양기상 또는 수심의 영향으로 유인선이 접근하기 어려운 해안의 해양유류오염 실태를 파악하기 위한 목적의 초소형 무인방재보트 및 원격조종장치 개발이 시도된 바 있다(강 외, 2003). 이처럼 USV의 Remote sensing 기능을 좀 더 응용하면 마리나 건설 또는 어촌마을의 어항 개발시 수심 측정을 통한 해저 지형도를 작성할 수 있으며, 호수, 강, 바다의 특정 지역의 수질 검사를 위한 샘플 채취 및 수중 영상 촬영 등에 활용할 수 있다. 특히 무인자율운항이 가능하면 비용 절감에도 상당한 기여를 할 것으로 여겨진다. USV는 기술적인 완성도에 따라 다음 3단계로 구분할 수 있다.

- ① 지상 또는 해상에서 원격 조종하는 기법
- ② 사전에 입력된 프로그램을 따르는 기법
- ③ 스스로 주위환경을 인식하고 자율적으로 항해하는 기법

1단계인 원격조종의 경우, 시판되고 있는 무선 RC키트 및 조종기를 이용하여 비교적 용이하게 구축하고 성능 확인할 수 있었으므로, 이 논문에서는 언급을 생략하고, 2단계 기술개발에 대해 서술하기로 한다. 아울러, 2단계 기술개발은 기반연구차원에서 이루어졌으며, 초소형 USV를 대상으로 하였다. 운항은 GPS센서 정보를 기반으로 자율항법 알고리즘에 따라 미리 입력된 변침점(Waypoint)을 순차적으로 찾아가도록 하였다. USV 개발 프로그램으로는 NI사의 LabVIEW 8.2를 이용하였다. 이 언어는 데이터가 흐르는 순서에 따라 진행되며, 주어진 태스크를 여러 개의 서브태스크로 나눈 후 이들을 각각 실행할 수 있어 프로그램 모듈화가 가능하다.

## 2. 무인선박 시스템

### 2.1 무인선박 운영체계

무인선박의 제원 특성상 자체 동력원만으로 원거리 또는 장시간 항해를 하는 것은 불가능하며, 많은 장비를 탑재하는 것도 어렵다. 그러므로 무인선박을 효과적으로 활용하기 위해서는 특정한 목적 및 임무를 수행할 수 있도록 설계되어야 하며, 단독으로 임무를 수행하기 보다는 유인선이 접근하기 어렵거나

위험이 따르는 상황을 대신하는 역할이 보다 효과적일 것이다. Fig.3은 USV 운영체계를 나타낸다. 선박국에서는 임무의 성격에 따라 감시(Surveillance), 원격감지(Remote sensing), 인명구조(Life-saving) 활동보조 등 특정목적의 USV를 출동시켜 임무를 수행하도록 원격 제어한다. USV가 획득한 데이터는 실시간으로 선박국로 보내지게 되며, 이렇게 수집한 데이터를 분석하여 얻은 정보를 바탕으로 USV를 제어함과 동시에 육상국으로 전송하여 상황판단 및 의사결정을 하는데 도움을 준다.

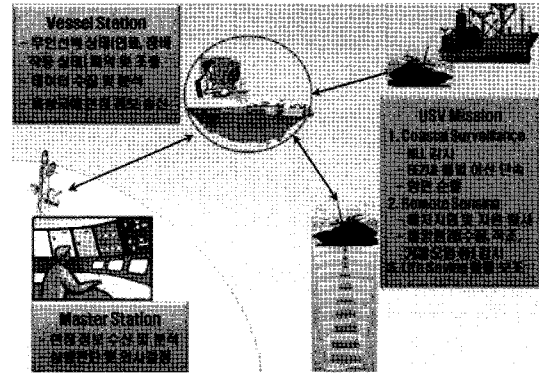


Fig. 3 Operating system of USV

### 2.2 자율항법을 위한 알고리즘 개발

USV에 있어서 가장 핵심은 자율항법기능이라고 할 수 있다. 즉, 장애물을 발견하여 스스로 회피동작을 취한다던가, 미리 설정한 변침점을 찾아가는 기능이다. 이 연구에서는 후자의 기능을 개발하고자 하였다. 즉, 미리 입력한 변침점 3곳을 차례로 찾아가도록 하였다. 자율항법을 위한 알고리즘 개발은 다음의 3 단계를 통해 구현하였다.

- ① 자선의 위치 정보 획득
- ② 변침점과 자선과의 진침로(TC : True course) 및 거리 계산
- ③ TC와 COG(Course of ground)사이의 편각을 구하고, 이를 제거하기 위한 알고리즘 설계

①단계에서 자선의 위치정보는 Fig. 4와 같이 GPS센서로부터 NMEA 0183프로토콜에 의해서 획득한 데이터를 파싱(parsing)하여 경위도 좌표, COG(Course of ground) 및 SOG(Speed of ground)를 추출한다.

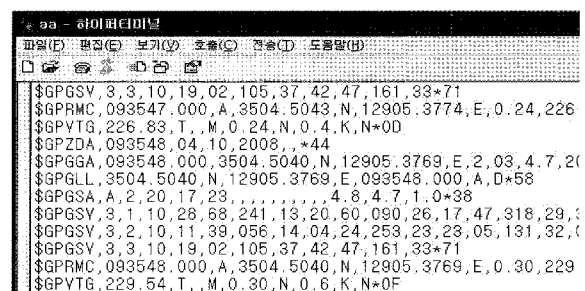


Fig. 4 Data from GPS sensor

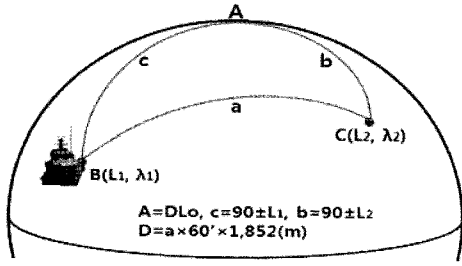


Fig. 5 Great circle navigation

②단계에서는 미리 입력한 변침점 좌표와 ①단계에서 얻은 경위도 좌표를 이용하여 대권항법(Fig.5) 계산식에 의해서 진침로(True course)와 항정거리(자선과 변침점까지의 거리)를 구한다(윤과 전, 2005, 박 외, 2000). 식(1)~식(3)은 대권항법 계산식이다. Fig. 6은 대권항법 계산식을 LabVIEW로 프로그래밍한 것으로 C언어와 같은 텍스트 기반의 프로그램과 달리 블록다이어그램에서 각종 터미널과 함수 아이콘을 와이어링(wiring)함으로써 프로그램이 작성된다.

(1) 대권항정거리(D) 계산

$$\cos(a) = \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A) \quad (1)$$

$$D = a \times 60 \times 1,852 (m)$$

(2) 출발침로 계산

$$\cos(B) = \frac{\cos(b) - \cos(a)\cos(c)}{\sin(a)\sin(c)} \quad (2)$$

$$\cos(C) = \frac{\cos(c) - \cos(a)\cos(b)}{\sin(a)\sin(b)} \quad (3)$$

if ( $L_2 > L_1$ ) then  $TC = B$ , otherwise  $TC = 360^\circ - C$

A : 북극, B : 출발점, C : 목표점  
a : 항정거리, b : C지점의 극거, c : B지점의 극거

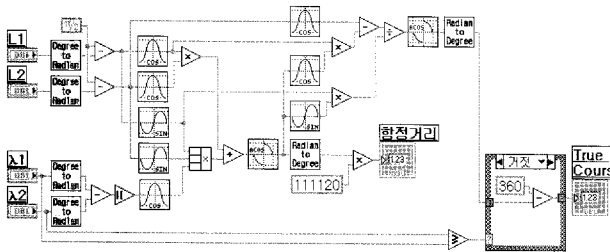


Fig. 6 LabVIEW program for the Great circle navigation calculation

③단계에서는 ②단계에서 구한 TC와 ①단계에서 얻은 COG를 비교하여 편각(DA)을 구하고, 이 DA를 제거하기 위한 복원타각(U)을 계산한다.

$$U = -K_P \cdot DA \quad (4)$$

여기서,  $K_P$ 는 조정 가능한 상수로서 타각비(비례게인)라고 하며, (-)부호는 타각의 방향이 편각(DA)의 방향과 반대임을 나타낸다(윤 외, 2003). 이러한 알고리즘에 따라 매 1초 간격으로 복원타각을 계산하여 타를 제어할 경우 끊임없이 타를 움직이기 위해서 서보모터를 돌려줘야 하므로 서보모터 및 타의 피로도 증가와 함께 전원의 급격한 소모가 발생한다. 따라서 본 조타제어시스템에서는 Table 1과 같이 계산된 복원타각을  $-35^\circ$ 에서  $+35^\circ$ 까지  $5^\circ$  간격으로 나누어,  $5^\circ$  간격 내에서는 타각의 움직임이 없도록 설계하였다. Fig. 7은 ③단계인 조타제어시스템의 흐름도를 나타낸다.

Table 1 Rudder angle in accordance with restoration angle ( $U_2$ )

$U_2$ (deg.)	Rudder angle(deg.)	$U_2$ (deg.)	Rudder angle(deg.)
-180~-35	Port 35	+5~+10	Stbd 5
-35~-30	Port 30	+10~+15	Stbd 10
-30~-25	Port 25	+15~+20	Stbd 15
-25~-20	Port 20	+20~+25	Stbd 20
-20~-15	Port 15	+25~+30	Stbd 25
-15~-10	Port 10	+30~+35	Stbd 30
-10~-5	Port 5	+35~+180	Stbd 35
-5~+5	Midship		

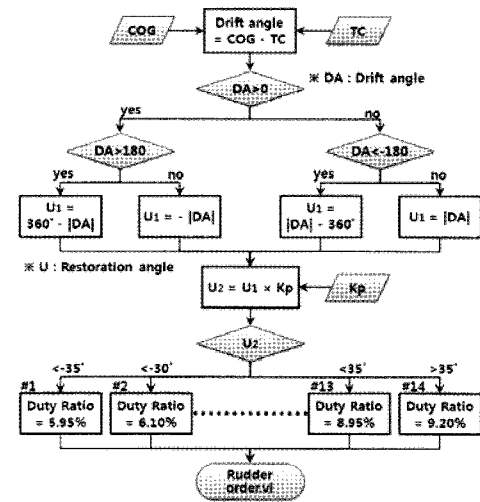


Fig. 7 Flow chart of steering control system

Fig. 8에 ①~③단계 전체 과정의 자율운항 제어프로세스를 나타낸다.

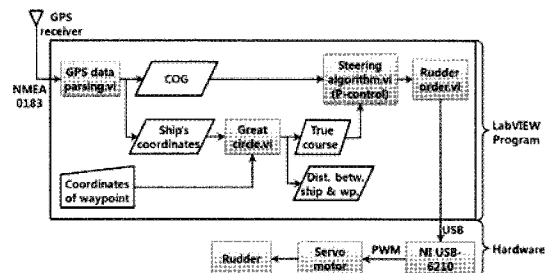


Fig. 8 Control process of autonomous navigation

2.3 초소형 USV 구성

1) 시스템 구조

USV시스템 구조를 Fig. 9에 나타낸다. 컨트롤러로서 아톰(N270)을, 데이터획득보드는 NI USB-6210을 사용하였다.

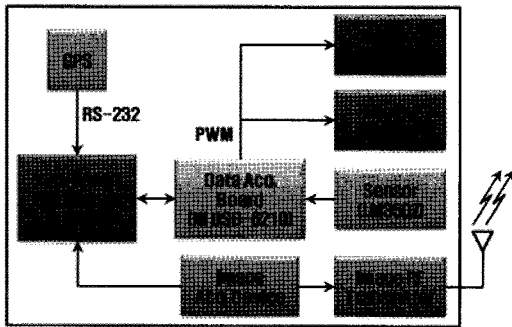


Fig. 9 Schematic diagram of USV

2) 보침성능 개선

USV의 선형은 직육면체 평저형 구조를 갖는 바지(Barge)선 타입으로 제작하였으며, 해상(Fig. 12)에서 수밀성 및 조종성능 테스트를 하였다. 실험결과 수밀은 완벽했으나 타를 정중앙(Midship)으로 고정된 상태에서 엔진만 구동하여 직진 시켰을 때, 바람, 황파 등의 외력에 의해 보침성능이 떨어지는 것이 눈으로 확인되었다. 이를 보완하기 위해서 선박의 빌지킬(Bilge keel)에 해당하는 직사각형의 안정화 판(stabilization plate, 가로 84mm, 세로 100mm, 두께 3mm)을 선수 중앙 및 선미 양현에 추가로 부착하였으며, 재실험결과 롤링 및 요잉이 감소하여 보침성능이 상당히 개선되었음을 확인할 수 있었다.

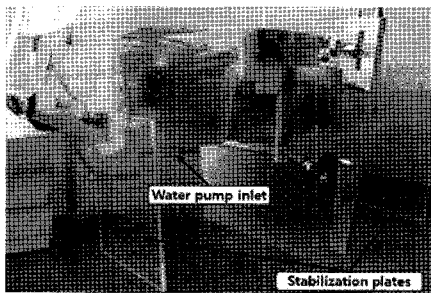


Photo 1 Stabilization plates

3) 엔진 및 조타 시스템

엔진 및 조타 시스템은 PWM(Pulse Width Modulation : 펄스폭변조)방식으로 제어하였다. 엔진시스템에 사용된 DC모터는 최대출력 300W의 3상 브러쉬리스 타입으로, 모터의 제어는 DC 11.1V 전원을 3상 전원으로 변환시켜주며, 펄스폭변조 신호에 따라 DC모터에 전원공급량을 조절하여 RPM을 제어해주는 전자변속기(Electric Speed Controller : ESC)를 이용하였다. LabVIEW를 이용하여 펄스폭변조신호 발생 프로그램을 만들면 데이터 수집 보드(DAQ Board)에 의해서 50Hz(20ms)의 펄스파가 생성된다. 이 신호는 엔진시스템의 ESC로 전달되어 엔진

(DC모터)의 RPM을 제어한다. 샤프트(Shaft)는 토크를 프로펠러에 전달하며 최종적으로 추력으로 전환된다. 또한, 데이터 수집 보드에서 보내진 펄스폭변조 신호는 서보모터(Servo motor)로 전달되어 펄스 듀티비(Duty ratio)에 따라 일정한 각도를 추종하게 된다. 서보모터의 회전은 커넥팅로드(Connecting rod)를 통해서 타로 전달되어 최종적으로 선박의 방향을 제어한다.

Table 2는 펄스폭변조 신호 듀티비에 따른 타각을 나타내며, Photo 2는 데이터 수집 보드에서 출력된 펄스폭변조 신호 파형 및 그에 따른 실제 타각을 보여주고 있다.

Table 2 Rudder angle in accordance with PWM duty ratio

Duty ratio (%)	Rudder angle (deg.)	Duty ratio (%)	Rudder angle (deg.)
5.95	Port 35	9.20	Stbd 35
6.10	Port 30	8.95	Stbd 30
6.30	Port 25	8.75	Stbd 25
6.45	Port 20	8.55	Stbd 20
6.70	Port 15	8.30	Stbd 15
6.85	Port 10	8.15	Stbd 10
7.50	Midship	7.95	Stbd 5

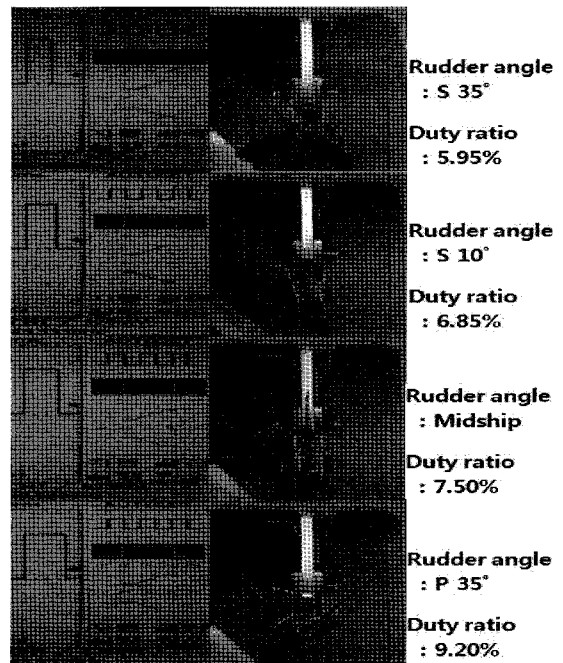


Photo 2 PWM signal(left) & rudder angel(right)

4) 냉각 시스템

엔진시스템에 사용된 전자변속기는 최대전류 70A, 정격전류 35A를 공급한다. 이 때문에 전자변속기와 엔진에서 많은 열이 발생하고, 기기 보호 및 안정적인 동작을 위해서 반드시 냉각시스템이 필요하다. 엔진 및 전자변속기가 밀폐된 USV 내부에 있기 때문에 DC모터 펌프를 이용한 해수 직접냉각방식을 적용하였다. Fig. 10에 냉각시스템 구조를 나타낸다. 선미 좌측에 위치한 DC모터 펌프를 이용하여 선체바닥(Photo 1)으로부터 끌어올린 해수를 ESC 및 엔진 워터자켓을 차례로 통과시키며,

이 과정에서 엔진 및 전자변속기와 해수 사이에 열교환이 일어난다.

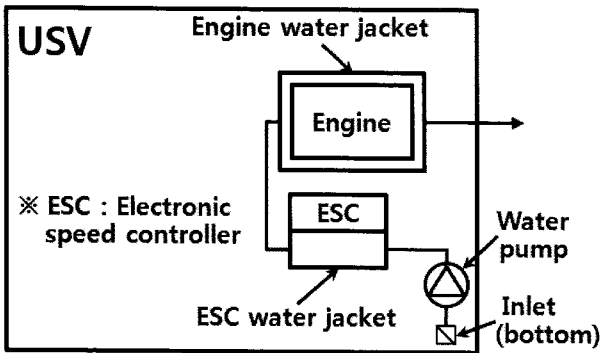


Fig. 10 Diagram of cooling system

Photo 3은 위의 과정을 통해 최종적으로 완성된 초소형 USV의 실물사진이며, 전장(LOA)은 512mm이며, 전폭(Beam)은 292mm이다.

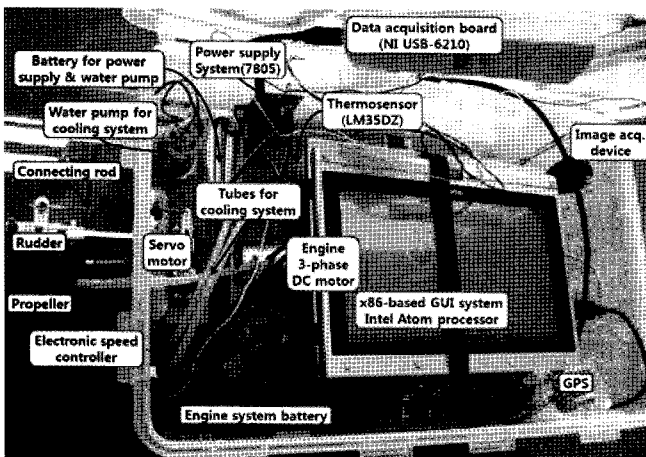


Photo 3 Manufactured USV

#### 2.4 자율항법 알고리즘 검증실험 및 결과

Fig. 11에 LabVIEW 8.2 프로그램으로 구현한 제어화면을 나타낸다. 화면구성은 서보모터, 엔진 및 변침점 입력을 위한 설정부분과 GPS좌표 및 알고리즘에 따라 계산된 진침로, 대지침로, 항정거리, 편각 등을 표시해주는 지시부로 구성되며, 지시부 맨 하단에는 현재위치를 좌표상에 그래프로 표시해서 USV의 항적을 시각적으로 나타내게 하였다.

자율항법 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해서 해상실험을 수행하였다. 실험은, Fig. 12에서 보듯이 해면의 사방이 구조물로 둘러싸여 있고, 한쪽 면 일부가 외부로 트인 비교적 잔잔한 해면상에서 이루어졌으며, 변침점으로서 Table 3과 같이 3곳을 설정하였다. ②단계에서 구한 항정거리가 임의의 설정값 이하로 작아질 경우 변침점에 도착한 것으로 간주하여, 다음 변침점으로 넘어가도록 프로그래밍하였다.

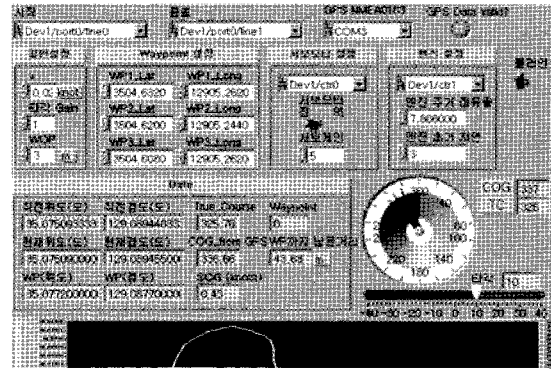


Fig. 11 Monitoring window realized by LabVIEW

Table 3 Waypoints

	Latitude	Longitude	Dist.(m)
start	35° 4.618'N	129° 5.283'E	41.01
Wp1	35° 4.632'N	129° 5.262'E	32.86
Wp2	35° 4.620'N	129° 5.246'E	32.94
Wp3	35° 4.608'N	129° 5.262'E	

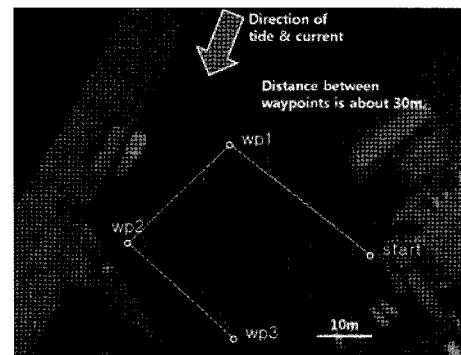


Fig. 12 USV tracking

Fig. 12에 보이는 직선은 두 지점을 단순히 연결한 선이며, 붉은색 곡선은 USV의 실제 항적을 나타낸다. 이날의 바람 및 해상상태는 비교적 잔잔하였으나, 외부로 트인 곳에서 파가 약하게 밀려들어오는 형태였다. 실험을 위한 프로그램 초기 설정은 타각 계인( $K_p$ )을 1로 하였으며, 엔진 rpm을 일정하게 유지시키기 위해서 펄스폭변조 듀티비를 7.87%로 하였다. WOP(Wheel Over Point : 변침점 도달 여부를 판단하기 위한 거리 값)는 3m로 설정하였다.

실험결과, 항적곡선에서 알 수 있듯이 USV는 변침점 3곳을 통과하였으나, 항적이 안정하지 못하고 사행하였음을 볼 수 있다. 이러한 실험 결과에 대해서 원인을 고찰해보면, 첫째 본 제어알고리즘이 비례제어만을 사용하였기 때문으로 사료된다. 비례제어만을 적용할 경우 복원타각은 편각이 0°가 될 때까지 어떤 값을 지속적으로 주게 되므로, 편각이 0°가 되어도 선체를 계속 회두시키게 된다. 따라서 편각이 0°가 되는 시점이 되면 선박의 회두타각에 의하여 목표 침로에 정침하지 못하고, 반대현으로 넘어가버리는 오버슈트가 발생한다. 이로 인해 항적이 곡선을 그리게 된다.

들때, 앞서 설명하였듯이 서보모터 및 타의 피로를 줄이고, 전원 소모를 최소화하기 위해서 5° 간격의 타각만 사용했기 때문에 알고리즘에 따라 계산된 복원타각을 그대로 적용하지 못한 구조적 원인이 가장 큰 이유로 생각된다.

셋째, 선형에 따른 조종성능의 저하를 들 수 있다. 제작한 초소형 USV가 바지선 형태의 직육면체 구조를 하고 있기 때문에 구조적으로 보침성능이 좋지 못하다. 또한 선체가 매우 작고 가볍기 때문에 파도와 바람의 영향을 비교적 많이 받는다.

마지막으로, 외부로 트인 곳에서 밀려들어오는 파가 어떠한 형태로 USV의 움직임에 영향을 미친 것으로 보여지며, 또한 WOP 설정거리에 따라 침로선과의 이격 거리가 발생할 것으로 여겨진다. 이상과 같이 여러 요인들이 복합적으로 작용함으로써 USV가 침로선상에 정침하지 못하였으며, 항적 또한 곡선을 그린 것으로 판단된다.

### 3. 결 론

국내·외적인 무인선박(USV)의 개발 필요성에 따라 기초 연구차원에서 바지선 타입의 초소형 USV의 자율항법 알고리즘을 개발하고 이를 근거로 실물 제작하여 해상실험을 통해 유효성을 검증하였다. 특히, 알고리즘 개발에 있어서 C언어와 같은 텍스트 기반의 프로그래밍언어가 아닌 그래픽컬 프로그래밍 언어인 LabVIEW를 이용하였다. 그 결과 알고리즘을 직관적으로 표현할 수 있어서 프로그램 제작 및 디버깅에서 개발 기간 단축이라는 매우 강력한 효과를 얻을 수 있었다.

엔진 및 조타 시스템의 제어는 펄스폭변조방식을 이용하였다. 펄스폭변조 신호는 타각신호 발생 프로그램이 데이터 수집 보드에 명령하여 생성되며, 만들어진 펄스폭변조 신호는 엔진 시스템의 ESC 및 조타시스템의 서보모터에 전달된다. 엔진 시스템은 최대출력 300W의 3상 DC모터와 전자변속기로 구성되는데, ESC는 데이터 수집 보드로부터 전달받은 펄스폭변조 신호의 듀티비에 따라 DC모터에 전원공급량을 조절하여 속도제어를 한다. 한편, 엔진시스템이 작동하는 과정에서 DC모터 및 전자변속기에서 상당한 열이 발생하며, 기기보호를 위해 DC모터 펌프를 이용한 해수 직접냉각방식을 적용하여 시스템의 안정적인 작동을 도모하였다. 조타시스템의 타제어는 서보모터를 통해서 이루어지는데, 서보모터는 모터 자체에 위치와 속도를 검출하는 센서가 내장돼 있어 센서의 신호를 명령값(PWM 신호)과 비교하여 일정한 각도를 추종하게 된다. 또한, 정·역 회전이 가능하고 응답성이 좋으며 저속에서도 동작이 원활한 장점이 있다.

이 연구에서 개발한 USV의 완성도는 아직 낮은 수준이다. 그 원인으로 알고리즘 또는 선박구조를 들 수 있다. 현재의 조타제어시스템은 비례제어만을 사용한 것으로 PID제어 또는 적응제어 등을 적용할 경우 불필요한 타의 사용이 개선될 것으로 여겨진다. 또한 자율항법 알고리즘에 지자기센서와 가속도센서 등을 추가로 탑재하여 선박의 선수방향 및 선체에 미치는 외력을 고려한다면 사행항적을 줄일 수 있을 것으로 여겨지며, 이

연구가 USV 개발을 위한 기반연구차원에서 이루어진 만큼 이번 결과를 바탕으로 더 많은 연구와 실험이 지속되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 강근호, 고운용, 김대현, 김현희, 김환성, 문제은, 민경식, 최문성, 하윤수(2003), “초소형 무인 방제보트를 위한 원격 조종장치 개발”, 한국박용기관학회 춘계학술대회, pp. 173~177.
- [2] 강성인, 이상배, 이재현(2000), “인공지능 방법을 이용한 선박 자동 항해에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, v.24, no.4, pp.235~246.
- [3] 광두영(2007), 컴퓨터 기반의 제어와 계측, Ohm사.
- [4] 박계각, 양원재, 전승환(2000), “PC를 이용한 GPS Simulation System 개발”, 한국항해항만학회지, v.24, no.4, pp.219~225.
- [5] 박홍복(2006), LabVIEW 8 그래픽컬 프로그래밍, 정익사.
- [6] 부성윤(2004), “한국형 무인 경비정(USV)의 개념설계에 관한 연구”, 한국군사과학기술학회지 제7권 제3호, pp. 64~65.
- [7] 심형원, 이지홍, 이판목, 임용곤, 전봉환(2008), “두 개의 고정 추진기를 갖는 무인수상선의 동적 위치 제어”, 한국해양환경공학회 학술대회, pp. 2286~2289.
- [8] 윤명오, 이희용, 임정빈(2003), 선박자동화, 도서출판 오비, pp. 3-4~3-5.
- [9] 윤여정, 전승환(2005), 지문항해학, 한국해양대학교 해사도서출판부, pp. 235~243.
- [10] 이동근(2006), “U-기반 탐사선단의 스마트 운용기술 개발, 한국해양연구원 보고서”, UCE00114A-06077.
- [11] 한국해양연구원(2008), 연구성과, “http://www.kordi.re.kr”.

원고접수일 : 2009년 2월 18일

심사완료일 : 2009년 6월 22일

원고채택일 : 2009년 6월 30일