

---

# 소나 영상 촬영을 위한 자율항법 시스템 구현

류재훈\* · 류광렬\*

\*목원대학교

## Implementation of AUSV System for Sonar Image Acquisition

Jae-Hoon Ryu\* · Conan K R Ryu\*

\*Mokwon University

E-mail : conan@mwu.ac.kr

### 요 약

본 논문은 소나 영상 촬영을 위한 무인자율항법(AUSV Autonomous Unmanned Surface Vehicle) 시스템 개발에 관한 연구이다. 자율항법 시스템은 선체에 모션센서, DGPS에 의한 현재 경위도 좌표와 목표지 경위도 좌표의 차를 가지고 선체의 추진체(Thrusters)를 FF-PID 알고리즘으로 제어한다. 실험결과, 목적지 좌표에 대한 제어좌표 오차는 전체 항법거리 1km 에서 6 meter 이하이며, 자율항법 모드에서의 Sonar Image 촬영 결과물은 유인선 촬영 결과물과의 차이는 12 pixel 이하로 전체 영상 차이는 거의 식별할 수 없이 동일하다. 개발된 시스템은 유인선으로 촬영 불가능한 해저 지형에 대한 Sonar Image 촬영을 위한 새로운 방법으로 활용 가능하다.

### ABSTRACT

This paper describes the implementation of AUSV system for Sonar Image acquisition. The system be controlled by FF-PID algorithm for the thrusters using motion sensor and DGPS. As experimental results, the control performance is that the error distance from the destination positions are under 5m in total survey track of 1km, and the image deviation is under 12 pixel from the manned survey method, which the comparison with the total image quality is almost the same as the manned survey one. Thus the AUSV system is a new method of system can be utilized on the limited survey area as the surveyor should not be able to approach on sea surface.

### 키워드

AUSV, Sonar Image, 자율항법 시스템, FF-PID, Side Scan Sonar

### 1. 서 론

자율항법(Autonomous Control)은 사용자가 의도한 목적지로 자율로 이동하는 기술이다. 해상에서 무인자율항법 시스템 (AUSV : Autonomous Unmanned Surface Vehicle)은 군사나 조사를 위해서 연구 되어 왔다. 해외에서는 대부분 장기간의 해양 조사에 관련된 시스템을 연구해 왔으며, 인명 피해가 없는 적진 정찰용으로도 활용 되어 왔다.[1] 또한, 연구 목적에 따라 선체의 종류도 다양하다. 속도가 빠르고 길이 6m 이상의 쾌속정

을 이용한 자율항법 선박은 주로 목적지 좌표의 영상 촬영이 목적이었으며, 해양의 생태 변화 조사에는 바지(Barge ship) 선박, 쌍동선(Catamaran ship)을 사용하였다.[2] 국내에서도 알고리즘 개발, 조사 분야의 자율항법 시스템 개발이 진행 되고 있으나 아직 미미한 수준이다.[3]

본 연구에서는 Side Scan Sonar를 선체 하부에 장착하여 해저면 영상 촬영 목적으로 하는 자율항법 시스템 개발에 관한 논문이다. 따라서 주행 안정성과 Sonar 영상 촬영에 적절한 속도 3~4노트를 유지할 수 있는 시스템 개발을 목적으로 개

발되었다. 2장에서는 AUSV System의 전체 구성에 대해서 기술하였고, 3장에서는 자율항법 항로 생성 및 제어 알고리즘에 관하여 기술하였다. 4장에서는 알고리즘의 실험과 결과에 대해서 기술하였고, 5장에서는 본 연구의 결론으로 구성한다.

## II. AUSV System Implementation

본 논문에서 구현된 Side Scan Sonar의 해저 영상 촬영을 위한 시스템 AUSV는 그림 1과 같이 사용자가 지정하는 위치에 도달하기 위한 추진체를 구동할 경위도 좌표계와 선체의 Heading을 Input 값으로 하는 FF-PID (Feed Forward Proportional Integral Derivative) 선체 제어 시스템 및 알고리즘이다.

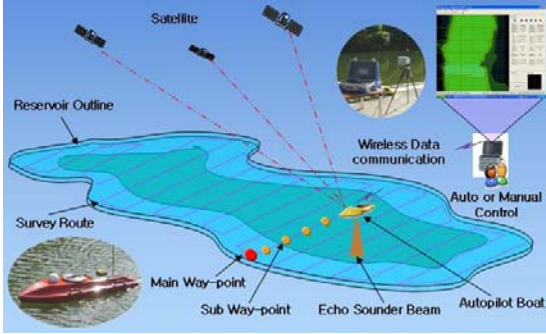


그림 1. AUSV 시스템 구성도.

AUSV Software System은 Boat Unit(선체 제어 시스템)과 Land Unit(육상 제어 시스템)으로 나뉜다.

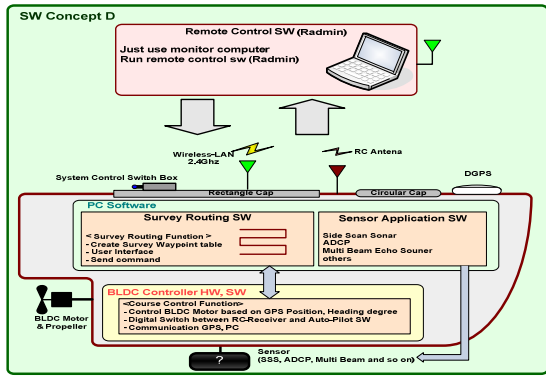


그림 2. AUSV Software 구성도

그림 2.에서와 같이 Boat Unit은 PC 기반 제어 시스템, DGPS (Differential Global Positioning System), Motion sensor, Wireless Lan, RC module, Battery가 탑재 될 수 있는 선체로 구성하였고 여기에 선체 하부에 Side Scan Sonar를

장착하였다.

육상 Land Unit은 Wireless Lan과 선체의 Data를 모니터링, 자율항법 항로 탐사 계획 등을 할 수 있는 software로 구성한다.

## III. 항로 생성 및 제어

이러한 선체가 자율항법으로 이동하여 목적지 좌표까지 도달하기 위해서는 목적지 경위도 좌표에 대해서 현재 선체의 경위도 좌표와의 항로거리는 식 (1)으로 계산하고, 방위각 차에 의해서 선체의 항로각(Bearing)은 그림 3과 같이 계산한 후 이를 추진체(Thrusters)에 전달하는 자율항법 시스템이다.

$$\alpha = \cos\Phi_f \sin\Delta\lambda_{fs} \quad (1)$$

$$\beta = \cos\Phi_s \sin\Phi_f - \sin\Phi_s \cos\Phi_f \cos\Delta\Phi_{sf}$$

$$\gamma = \sin\Phi_s \sin\Phi_f + \cos\Phi_s \cos\Phi_f \cos\Delta\lambda_{sf}$$

$$\Delta\sigma = \arctan\left(\frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\gamma}\right)$$

$$\therefore Distance(m) = r\Delta\sigma$$

where

- $\Phi_s, \Phi_f, \lambda_s, \lambda_f$  : Geographical Latitude, Longitude of two points.
- $\Delta\sigma$  : the angular difference
- $r$  : the radius in Earth (6,378,137m)

$$P_s = \sin\Delta\lambda_{fs} \cos\Phi_f \quad (2)$$

$$P_f = \cos\lambda_s \sin\lambda_f - P_s \cos\Delta\lambda_{fs}$$

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{P_s}{P_f}\right)$$

if  $P_f < 0$

$$\theta_i += 2\pi$$

where

- $\theta_c$  : Initial Course

식 (1)에 의해 선체 자신의 좌표와 목적지 좌표 사이에 거리를 계산하고, 식 (2)에 의해서 방위각을 구한 후 그림 3.과 같이 식 (3)으로 항로각을 구한다.

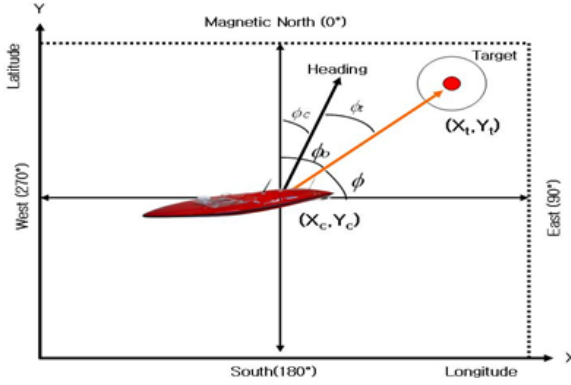


그림 3. 항로각 2D Chart

$$\theta_x = \theta_o - \theta_c \quad (3)$$

$$\text{if } \theta_x > 180 \\ \theta_x = 360 - \theta_x$$

자율항법의 제어는 그림 4.에서처럼 Motion Sensor의 Heading, 항로각(Bearing)의 차(error)를 활용하여 Thruster의 Steering, Driving을 제어하는 FF-PID 제어로 구성된다.

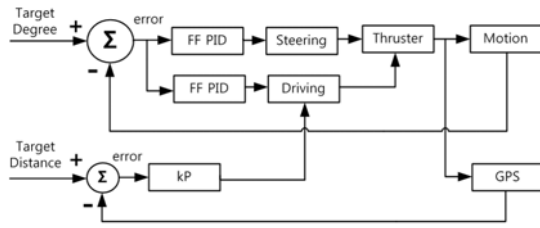


그림 4. FF-PID 항법 제어 구조

$$P(\text{Proportional pulse}) = K_p e(t) \quad (4)$$

$$I(\text{Integrate pulse}) = K_i \int_{t_0}^i e(t') dt'$$

$$D(\text{Derivative}) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$ff_s = e \left[ \frac{|\Delta A|}{\kappa_{s1}} \right] \kappa_{s2} \quad (5)$$

$$ff_d = \kappa_{d1} h - \left( \frac{|\Delta A|}{\kappa_{d2}} \right) \quad (6)$$

where

-  $\kappa_{s1}, \kappa_{s2}, \kappa_{d1}, \kappa_{d2}$  : Constant of Steering, Driving

FF-PID 제어 시스템의 Feed Forward 제어는 일반적으로 시스템에 맞게 구현이 된다. 식 (5), (6) 과 같이 구현된 선체의 Thruster 의 출력에 맞추어 계산되었다.

#### IV. 시스템 실험 및 고찰

본문에서 제안한 항로생성 및 자율항법 제어를 위해서 두 경위도 좌표에 의한 Distance 와 Bearing 의 도출 방식과 다른 방식과의 비교 계산이 필요하다. 비교 검증에 사용된 방식은 국토 지리원에서 배포하여 사용되는 계산시트와 구글 사에서 제공하는 Google Earth 거리 측정 기능으로 하였다. 표 1.에서와 같이, 다른 두 방식에 대해서 최소 0.2m 의 거리와 각도 0.87°로 제안된 도출 방법이 자율항법 제어에 사용 가능한 수치임을 알 수 있다.

표 1. Distance, Bearing 비교표

검토 지역	국토지리원 계산시트	Google Earth	제안한 algorithm	상대 차
미산 저수지	172.043m	171.48m	171.68m	< 0.2m
	271.02 °	270.90 °	270.2 °	< 0.7 °
뉴질랜드 호수	2059.493m	2057.28m	2058.34m	< 1.06m
	137.47 °	138.56 °	137.69 °	< 0.87 °
미국 뉴욕 자유의 여신상	13,453.81m	11,226.36m	11,256.17m	< 29.81m
	188.43°	187.75°	186.92°	0.83°



그림 5. 개발된 AUSV System

자율항법시스템의 선체는 보트제작에 사용되는 FRP 재질로 제작되었으며, Pitch와 Roll 운동 특성이 0.5° 이하로 우수한 동작을 갖는다. 선체의 하부에는 해저 영상 촬영을 위한 Side scan Sonar를 장착하였다. 선체 내부에는 소형 PC 본체, DGPS Receiver, Motion Sensor, Wireless Lan AP 그리고 Battery를 넣어 자율항법으로 제어 할 수 있도록 하였다. 선체 후면에는 60W BLDC Motor, Water Cooling Housing, Propeller 로 구성된 Thruster 2대를 장착한다.

선체의 운동특성 계측 결과, Steering, Driving 출력(PWM) Y는 제어 각도 (Δangle) X에 대해서 그림 7.과 같은 특성 곡선을 갖는다.

육상의 시스템은 그림 7.과 같이 목적지 좌표를 설정하고 선체의 모든 데이터를 Wireless Lan 으로 모니터링 할 수 있도록 개발된다.

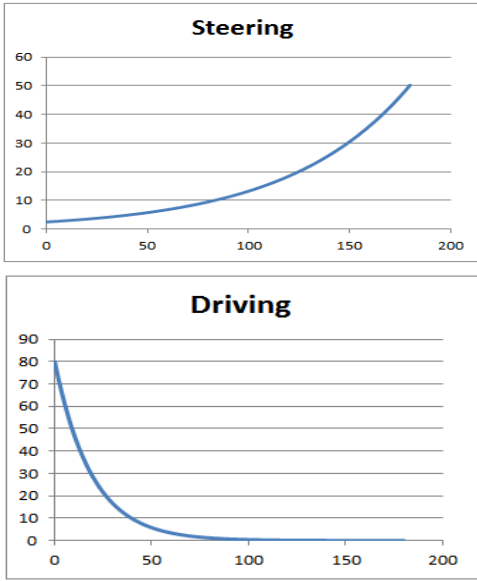


그림 6. Thruster (Steering, Driving) 출력 특성곡선

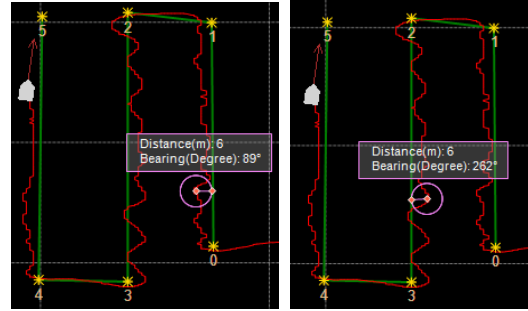
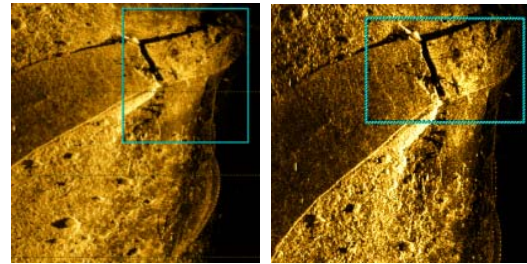


그림 8. 자율항법 시스템 실험



a. 유인선 영상      b. AUSV 영상

그림 9. Sonar 촬영 영상

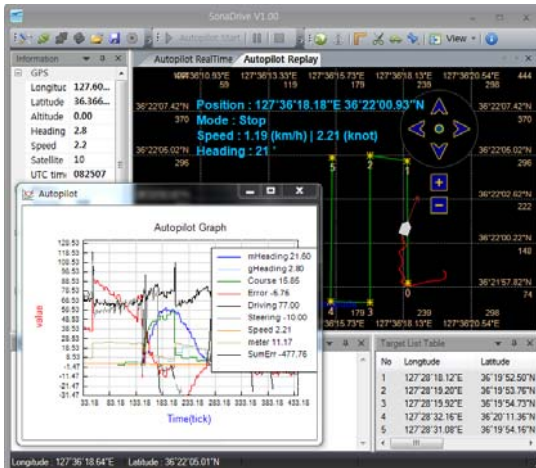


그림 7. ASUV Land Unit Software

자율항법 시스템의 실험은 약 1km 거리에 목적지 좌표 6개를 선정하였으며, 실험 당시 조류의 방향은 우에서 좌로 약 0.5 m/s 흐르고 있었다. 그림 8. 과 같이 선정된 6개의 좌표를 지나 최종 목적지에 도달하는데 약 20분여분이 지났으며 측정된 자율항법 시스템의 거리 오차는 최대 6m로 나타났다.

Side Scan Sonar 촬영 영상은 무너진 다리 부분의 영상을 비교하기로 하였으며, 그림 9의 a. 유인선으로 촬영한 영상과 구현된 b. AUSV 영상과의 차이는 약 12 pixel 정도였으며 두 촬영 방식의 큰 차이는 구별 될 수 없음을 알 수 있어, AUSV system이 새로운 Sonar 촬영 방식으로 활용 가능함을 보여준다.

## V. 결 론

본 논문은 Sonar 촬영을 위한 자율항법 시스템 개발 연구이다. 실험 결과, 자율항법 시스템의 거리 오차는 최대 6m, 유인선으로 촬영한 영상과 구현된 AUSV 영상과의 차이는 약 12 pixel 정도이다. 따라서 AUSV 시스템은 비교적 우수한 항법제어가 가능하였으며 사람이 직접 승선하여 촬영할 수 없는 제한된 지역, 즉 유인선으로 불가능한 지역에서의 촬영이 가능하여 그 활용도가 높다 할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development. Justin E. Manley. Battelle Applied Coastal and Environmental Services.
- [2] The Design of a Control System for an Unmanned Surface Vehicle. Wang Guo<sup>1</sup>, Song Wang<sup>2</sup>, and Wenqiang Dun The Open Automation and Control Systems Journal, 2015, 7, 150-156.
- [3] GPS 기반의 초소형 무인선박을 위한 자율항법 알고리즘 개발, 김효일, 전승환, 한국해양학회.