

무인선 스마트 운항제어기 개발 및 성능시험용 HILS 구축

천종민*, 박영식*, 이정욱*, 홍도관*, 김홍주*
한국전기연구원*

Development of USV smart voyage controller and construction of HILS for performance test

Jong-Min Cheon*, Young-Sik Park*, Jung-Wook Lee*, Do-Kwan Hong, and Hong-Ju Kim
Korea Electrotechnology Research Institute*

Abstract - 본 논문은 무인선박용 스마트 운항제어기를 개발하고, 실시간 시뮬레이터 기반의 HILS를 구축하여 스마트 운항제어기에 대한 성능시험을 수행한 결과를 다룬다. 실수역 시험 전에 HILS를 활용하여 실제 무인선박과 운항 상황을 모의하여 다양한 조건과 항목들로 성능시험을 수행할 수 있으므로 시험경비 절감과 개발 기간 단축의 장점이 있다.

1. 서 론

최근 자율주행 자동차, 모바일 로봇 등의 기술 발전과 더불어 자율운항 선박에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 그동안 주로 국방, 무기체계로서 연구되었던 자율운항 선박 기술은 최근 친환경 전기추진 선박과 에너지 효율화가 대체를 이루면서 민·관에서도 실질적인 수요를 보이고 있다. 특히 선박 운용에 대한 인건비 절감과 선원들을 위한 부대시설 운용비용 감소, 저속주행을 통한 연료 절약이 가져오는 경제적 효과가 크기 때문에 상용 자율운항 무인선박에 대한 연구개발 사례가 증가하고 있다.

IMO(국제해사기구)는 온실가스 배출로 인한 지구 온난화를 방지하기 위한 대처로 2050년까지 선박 배출 온실가스를 2008년 대비 50% 감축하는 규제 강화를 발표하였다. 이에 기존의 화석연료 기반의 내연기관 대신에 전기모터를 사용하는 전기추진 선박이 주목받고 있다. 선박의 전기추진화가 빠르게 진행되면서 전기추진시스템의 장점인 속응성과 신뢰성을 바탕으로 효과적인 자율운항 선박 기술 개발이 가능해졌고, 자율운항 전기추진선박 시장 전망은 매우 밝다[1].

본 논문은 전기추진 기반 USV(Unmanned Surface Vehicle)에 탑재되는 스마트 운항제어기를 개발하고 HILS(Hardware-In-the-Loop Simulation) 설비를 구축하여 스마트 제어시스템의 경우점 추종 등 자율운항 기능에 대한 성능 시험을 수행하였다.

자율운항 USV의 실수역 운항 시험을 수행하기 전에 USV를 구성하는 스마트 운항제어기와 전기 추진시스템 등에 대한 신뢰성과 안전성을 확보하기 위하여, HILS를 활용하여 선박 동역학 모델로 USV 동작을 모의하고 운항 환경을 임의로 조절하여 다양한 조건과 항목들로 성능시험을 수행할 수 있도록 하였다[2].

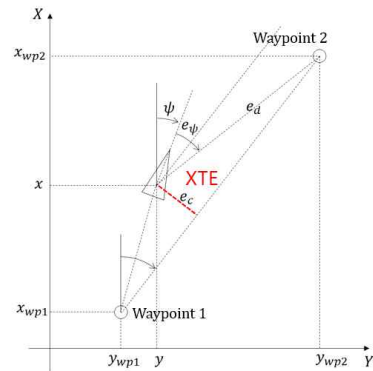
본 논문의 USV의 전기추진시스템은 azimuth 구동부와 비접촉 상반회전 프로펠러 일체형 선외기이며 스마트 운항제어기는 HILS에서 실시간 시뮬레이터로부터 선박 위치 정보를 GPS 신호 생성기를 통해 입력받고, 경로추종 제어 알고리즘을 실행하여 azimuth 조타각과 프로펠러 회전 속도 지령치를 생성하여 전기추진시스템으로 전달한다.

2. 본 론

2.1 스마트 운항제어기

본 논문의 스마트 운항제어기는 윈도우 OS PC에서 Visual Studio 2019 도구를 이용하여 구현되었으며 그림 1과 같이 거리 오차(e_d), 요 오차(e_ψ), XTE(cross track error) 오차(e_{XTE})를 최소화하여 경로 추종 제어를 수행한다.

그림 2와 같이 선미에 azimuth 추진기를 설치한 구조에서 경로 추종 제어를 위하여 프로펠러 추진력(F)와 azimuth 조타각(α)을

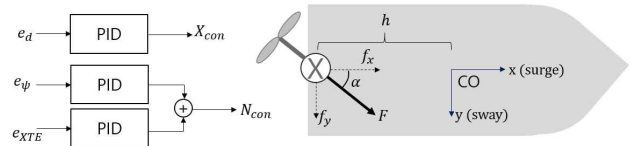


〈그림 1〉 경로 추종 제어

구하는 식은 각각 식 (1)과 (2)와 같다[3].

$$f_x = X_{con}, \quad f_y = \frac{N_{con}}{-h}, \quad F = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{f_y}{f_x} \quad (2)$$



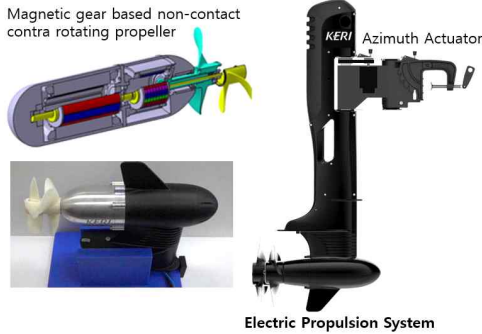
〈그림 2〉 USV 추진시스템 구조

그림 2에서 보듯이 식 (1)과 (2)의 X_{con} 은 거리 오차(e_d)의 PID 제어값이고 N_{con} 은 요 오차(e_ψ) PID 제어값과 XTE 오차(e_{XTE}) PID 제어값의 합이다. 식 (1)에서 계산된 추진력(F)를 프로펠러 회전속도 관계식을 통하여 회전속도 지령치를 계산한다.

기지국(Ground Control Station) PC에는 HMI가 구현되어 USV와 통신을 통하여 자율 또는 수동 모드 설정, 수동 제어 그리고 스마트 운항제어기의 경로 추종 제어 게인값을 실시간으로 조절하거나 스마트 운항제어기에 의한 경로 추종 제어 상태를 모니터링한다.

2.2 전기추진시스템

본 논문의 USV에 설치되는 전기추진시스템은 azimuth 구동부와 비접촉 상반회전 프로펠러로 구성된 일체형 선외기 형태이다. 선외기 상부에 azimuth 구동부를 설치하여 rudder 대신 스마트 운항제어기로부터 전달되는 azimuth 조타각 명령에 따라 USV의 방향을 제어한다. Azimuth 구동부에 의하여 프로펠러 회전 중인 추진기가 스티어링하는 경우 자이로스코픽 모멘트가 발생할 수 있는데 상반회전 프로펠러를 사용하면 이를 상쇄할 수 있으므로 선외기 형태에서 azimuth 구동과 상반회전 프로펠

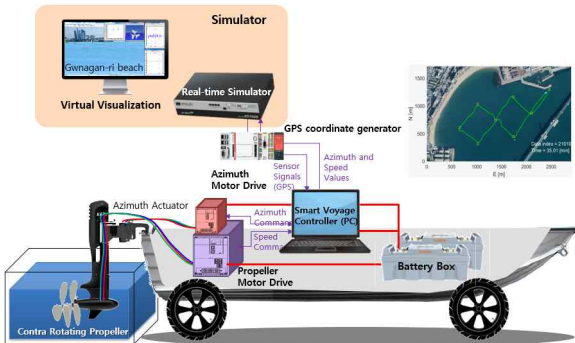


〈그림 3〉 전기추진시스템

러는 페어(pair)로 구성하는 것이 효율면에서 유리하다. 상반회전 프로펠러를 사용하면 단일 프로펠러 구조에 비하여 에너지 회수가 가능하기 때문에 추진효율을 약 6~7% 향상시킬 수 있다. 특히 본 논문의 상반회전 프로펠러는 그림 3과 같이 한국전기연구원에서 개발한 자기 기어 기반 비접촉 상반회전 프로펠러로서 기존 기계식 유성 기어에 비하여 소음 및 진동 저감, 유지 보수 비용 절감, 신뢰성 향상, 자체적인 과부하 보호기능, 기계적 비접촉에 의한 고효율화 등의 장점을 가진다.

2.3 HILS 구축

HILS는 실시간으로 시뮬레이션되는 루프 안에서 실제 하드웨어가 시뮬레이터와 연계되는 구조이다. 여기서 실제 하드웨어는 2.1 절의 스마트 운항제어기와 2.2 절의 전기추진시스템이며 시뮬레이터는 USV의 동역학을 수치적으로 실시간 모의하는 장치이다. 그림 3은 본 논문에서 구축된 HILS 구성도를 보여준다.



〈그림 3〉 HILS 구성

전기추진시스템의 azimuth 동작 조타각과 프로펠러 회전 속도 값이 실시간 시뮬레이터의 선박 동역학으로 입력되면 동역학 계산 결과에 의한 선박 거동 위치 정보가 GPS 좌표 생성기로 전달되고, 실시간 GPS 좌표값이 운항제어기로 입력되면 경로 추종 제어를 위한 azimuth 조타각과 프로펠러 회전 속도 명령을 계산하여 전기추진시스템으로 전달하는 형태이다.

그림 4는 실제로 구축된 HILS 환경을 보여준다. 부산 광안해수욕장 앞 바다를 가상으로 운항하는 USV의 스마트 운항제어기에 의하여 전기추진시스템이 동작하고 그 결과가 실시간 시뮬레이터의 USV 동역학으로 모의되는 결과를 가상 시각화로 보여주고 있다.

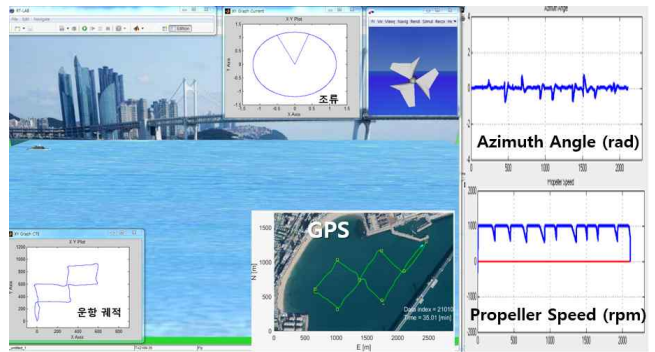


〈그림 4〉 구축된 HILS 환경

2.4 HILS 기반 실험 결과

광안해수욕장 앞 바다의 실제 GPS 좌표를 기반으로 목표 경유점들을 설정하고 이 경유점들을 XTE 오차를 최소화하면서 추종하여 운항하는 스마트 운항제어기의 성능을 2.3 절의 HILS 기반으로 실험하였다.

그림 5는 가상 시각화 HMI 화면을 보여준다. 선박 운항의 저항 요소로 조류가 1.2 m/sec로 12분 주기로 360도 회전하면서 방향이 바뀌는 상황에서 USV의 스마트 운항제어기와 azimuth 상반회전 전기추진시스템에 의하여 총 10개의 경유점을 거쳐서 충분히 작은 XTE 조건을 만족하면서 출발지점으로 다시 복귀하여 성공적으로 경로 추종 제어를 수행하는 것을 알 수 있다.



〈그림 5〉 HILS 실험 결과

3. 결 론

본 논문에서는 USV 용 스마트 운항제어기를 개발하고 실수역 실험 전에 HILS를 구축하여 다양한 운항 조건에서 경로추종 제어 성능 시험을 수행한 결과를 보여준다. 최대한 실제 상황과 유사하게 모의된 HILS 환경에서 충분한 시험을 통하여 개발품에 대한 신뢰성과 성능 향상을 도모할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술 연구회의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원의 주요사업(22A01015)에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김진, 장화섭, “자율운항선박 기술동향 및 준비”, 대한조선학회지, 제 56권, 제 4호, pp4-7, 2019.
- [2] J. Cheon, J. Kim, J. Lee, K. Lee and Y. Choi, “Development of Hardware-in-the-Loop-Simulation Testbed for Pitch Control System Performance Test”, Energies 2019, 12, 2019.
- [3] T. R. Torben, A. H. Brodtkorb and A. J. Sorensen, “Control Allocation for Double-ended ferries with full-scale experimental results,” Control Applications for Marine Systems (CAMS) conference, 2019.