

HNS 광역 탐지 및 모니터링을 위한 부유식 무인이동체 시스템의 실험적 성능 검증

박진욱* · 김진식** · 김진환**** · 김용명**** · 이문진*****

*, ** 한국과학기술원 기계공학과 박사과정, *** 한국과학기술원 기계공학과 교수,
**** 선박해양플랜트연구소 연구원, ***** 선박해양플랜트연구소 책임연구원

Experimental Performance Validation of an Unmanned Surface Vessel System for Wide-Area Sensing and Monitoring of Hazardous and Noxious Substances

Jinwook Park* · Jinsik Kim** · Jinwhan Kim**** · Yongmyung Kim**** · Moonjin Lee*****

*, ** PhD Candidate, Department of Mechanical Engineering, KAIST

**** Professor, Department of Mechanical Engineering, KAIST

***** Researcher, Maritime Safety and Environmental Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

***** Principal Researcher, Maritime Safety and Environmental Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

요약 : 본 논문에서는 해상 위험유해물질(Hazardous Noxious Substances, HNS) 사고의 효과적인 대응을 위해 개발된 부유식 무인이동체 기반 광역탐지 및 모니터링 시스템의 운용 시나리오 설계와 실험 검증 내용을 보인다. 광역탐지 및 모니터링 시스템은 장시간 운용이 가능하되 제한적 이동이 가능한 무계류형 부이 형태를 갖는 부유식 무인이동체 플랫폼을 기반으로 개발되었으며 임무 수행에 필요한 열화상 카메라, 레이더, 부유 및 대기 HNS의 탐지를 위한 센서가 탑재되었다. 실험 검증 과정에서는 탐지 센서 성능을 야외 환경에서 실험적으로 검증하기 위해 이동식 가스 유출 시스템(Portable Gas-exposure System, PGS)을 추가로 설치하였다. 무인 시스템의 원격 및 자율 운용을 위해 전체 운용 소프트웨어는 로봇운영체제(Robot Operating System, ROS) 프레임워크를 기반으로 통합되었다. 내수면 및 실해역에서의 실험을 통해 개발된 시스템의 운용 및 활용 가능성을 실험적으로 검증하였다.

핵심용어 : 위험유해물질, 부유식 무인이동체, 광역 탐지 및 모니터링, 로봇운영체제, 필드 실험

Abstract : In this study, we address the development of a floating platform system based on a unmanned surface vessel for wide-area sensing and monitoring of hazardous and noxious substances (HNSs). For long endurance, a movable floating platform with no mooring lines was used and modified for HNS sensing and monitoring. The floating platform was equipped with various sensors such as optical and thermal imaging cameras, marine radar, and sensors for detecting HNSs in water and air. Additionally, for experiment validation in real outdoor environments, a portable gas-exposure system (PGS) was built and installed on the monitoring system. The software for carrying out the mission was integrated with the Robot Operating System (ROS) framework. The practical feasibility of the developed system was verified through experimental tests conducted in inland water and real-sea environments.

Key Words : Hazardous Noxious Substances, Unmanned Surface Vessels, Wide-Area Sensing and Monitoring, Robot Operating System, Field Experiment

* First Author : qkrwlsdnr10@kaist.ac.kr, 042-350-1519

† Corresponding Author : jinwhan@kaist.ac.kr, 042-350-1519

1. 서론

첨단 무인시스템의 발전으로 무인이동체를 통한 해양 수색 구난 시스템(Cubber et al., 2013) 등의 기술들은 각종 해양 응용 분야에 활용 되고 있다. Hazardous and noxious substances (HNS) 사고 또한 무인시스템이 활용될 수 있는 분야로, 기존의 인력 중심 대응 방식을 대체해 보다 사고를 안전하고 효율적으로 대응할 수 있다. 세계 수준의 IT 기술과 로봇 기술을 가지고 있음에도 아직까지 관련 기술의 실제적 유용성이 확인된 응용 사례가 많지 않았으며, 본 연구에서는 HNS 사고 대응에 첨단 무인시스템 기술을 활용함으로써 유용성을 효과적으로 드러내고자 한다. 이를 위해 해상 HNS 사고 발생 시, 광역 탐지 및 모니터링을 위한 부유식 무인이동체를 개발하고 HNS 스칼라장의 형태에 따라 설계된 각 시나리오에 대해 내수면 및 실험역 환경에서의 실제적 검증을 진행하고자 한다. HNS의 분포를 특정 지역에 집중되어 있는 형태(집중형)와, 분산적으로 흩어져 있는 형태(분산형)를 가정하였고, 집중형에 대해 위치 유지 알고리즘과, 분산형에 대해 잔디깎이 경로의 알고리즘을 설계하였다. 집중형과 분산형이 혼재되어 있는 형태에 대해서는 Portable Gas-exposure System(PGS)를 활용하여 인위적으로 HNS를 생성하여 위 상황을 모사하고 두 알고리즘을 동시에 사용해 HNS 사고에 대응하고자 하였다. 또한, 부유식 플랫폼의 단독 운용이 아닌 협업 시나리오를 설계하여 간단한 운용을 통해 검증을 시도하였다. HNS의 측정을 위한 이온 및 가스 센서들과, 상황 모니터링을 위한 레이더 및 열상카메라, 운용을 위한 제어 모듈을 하나의 시스템으로 통합하였고, 설계한 시나리오들은 통합한 시스템을 통해 대전 내의 방동저수지(내수면)

와 거제도 한국해양과학기술원 남해연구소 앞(실험역)에서 실험적으로 검증되었다.

2. 본론

2.1 부유식 무인 이동체 플랫폼

HNS 사고 모니터링을 위해 플랫폼은 다음 조건을 만족해야 한다. 모션 진/회수 운용을 전제로 플랫폼 소형화 및 5km 반경 내 실시간 모니터링 운용 및 제어가 가능해야 하고, HNS 탐지 센서를 탑재하고 재충전/재급유 없이 최소 24시간 연속 운용이 가능해야 하며, Sea-state 3 조건에서 운용할 수 있어야 한다. 이 조건을 만족하는 플랫폼으로 C-stat II를 선정하게 되었으며 C-stat II의 기본제원은 Table 1에서 확인할 수 있다.

Table 1. Specifications of C-stat II

Size	2.70m(L) x 1.44m(B) x 3.19m(H)
Weight	945 kg (Fully loaded)
Operating conditions	Sea-state 3
Endurance	7 days
Propulsion	Diesel, Electric motor
Mobility	Twin propeller (Maximum 3.7 knots)
Fuel capacity	172L (86L, two oil tanks)
Wi-Fi range	5km

C-stat II에는 기본적으로 항법용 PC 및 통신 장비와 Magnetic compass가 있는 Simrad GPS가 장착되어 있고, 추가

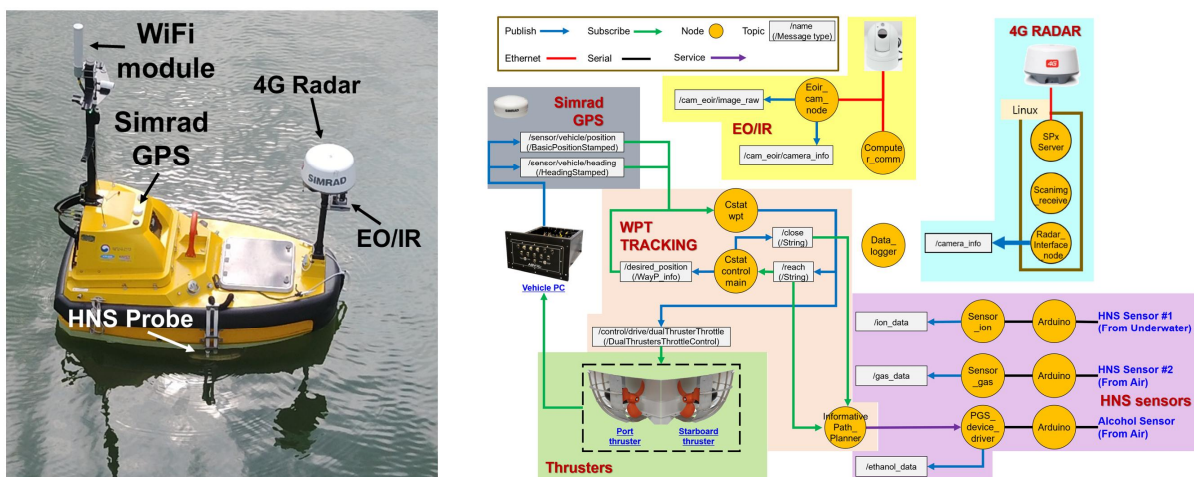


Fig. 1. Overall schematic diagram of HW and SW system.

로 HNS 사고 모니터링을 위한 열상 카메라, 광역 탐지용 4G 레이더, 부유 및 대기 중의 HNS 탐지를 위한 센서, 계측 값 처리 및 운용을 위한 임무용 PC를 추가 탑재하였다. 장착된 센서들은 ROS(Quigley et al., 2009) 미들웨어로 통합하였고, 임무용 PC를 core로 하여 항법용 PC에서 처리하는 GPS 및 부유식 무인이동체의 status 등의 정보 또한 관리하였다. SW 및 HW의 통합 모식도는 Fig. 1에 보인다. 통합 모식도는 Wang et al.(2018)의 연구 결과를 참조한다.

모식도에 보이듯이, ROS에서 노란색 원은 노드라고 불리며 각 하드웨어를 구동하는 소프트웨어 단위를 뜻하고 각각의 노드에서 주고받는 정보를 토픽이라고 하며, 노드 간 토픽들을 주고받으며 전체 시스템을 통합하였다. Simrad GPS를 통해 플랫폼의 heading과 위경도의 토픽을 받아 플랫폼의 경유점 추종 등의 운용을 진행하였고, 4G 레이더 및 EO/IR의 이미지 토픽과 HNS 센서들의 계측값들에 대한 토픽 등을 통해 원격으로 상황을 모니터링하였다.

2.2 운용 시나리오 설계 및 운용 방법

HNS 스칼라장의 형태에 따라 집중형, 분산형, 집중 및 분산 혼재형, 협업형의 4가지의 운용 시나리오를 설계할 수 있고, 각 시나리오에서 부유식 무인이동체의 모니터링 방법을 다르게 적용시켜야 한다. 구체적인 각 시나리오의 설계 방법과 대응방법은 다음과 같다.

2.2.1 집중형

먼저 집중형의 경우 HNS 사고 초기에 발생하며 특정 위치에 집중적으로 HNS가 분포되어 있는 시나리오로 이에 대한 대응방식으로 적절한 반경 내에서 바람 및 파도 등의 외란을 이겨내면서 설정된 영역 내를 탐사해야 하는데, 이는 hovering 및 weathervaning(Kjerstad and Breivik, 2010)의 운용 알고리즘을 사용하였다. Hovering은 특정 반경 내에 무인이동체가 위치하면, 추진기를 끄고 나가면 추진기를 작동시켜 반경 내에 들어오게 하는 알고리즘인 반면, weathervaning은 존재하는 외란을 맞서보는 방향으로 특정 반경의 원의 경계

를 따라 위치했을 때, 비교적 추진기를 약하게 사용하여 위치를 유지할 수 있다는 효율적인 알고리즘으로 알려져 있다. 두 알고리즘의 간단한 운용방식은 Fig. 2에 간단히 보여진다. 먼저 Hovering 알고리즘은 다음과 같다.

$$F_L = \begin{cases} C - k_\alpha \alpha, & \sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2} \geq r_c \\ 0 & \sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2} < r_c \end{cases} \quad (1)$$

$$F_R = \begin{cases} C + k_\alpha \alpha, & \sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2} \geq r_c \\ 0 & \sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2} < r_c \end{cases} \quad (2)$$

F_L, F_R 은 플랫폼의 좌, 우 추진기에 인가되는 힘의 크기이며, C 는 추진기를 일정 속도로 움직이게 하는 상수이고 α 는 Fig. 2의 hovering 그림에서 표시된 각도로 원의 중심을 바라보는 벡터와 플랫폼의 heading 방향 벡터 사이의 각도이며 k_α 는 α 를 줄이기 위한 제어 이득이다. \tilde{x} 와 \tilde{y} 는 각각 $\tilde{x} := x_c - x$, $\tilde{y} := y_c - y$ 이며 x_c, y_c 는 설정한 원의 중심을 의미하고 x, y 는 플랫폼의 위치이며 r_c 는 원의 반경이다. 플랫폼이 원의 반경 내에 들어오면 추진기의 값을 인가하지 않고 반경 밖에 위치하면 α 를 줄이면서 직진하기 때문에 원의 반경 내로 들어오게 된다. 이런 기동을 통해 8자를 그리는 운용을 보여준다.

Weathervaning을 통해 플랫폼 자체 좌표계에 작용하는 힘은 다음과 같다.

$$\tau = \begin{bmatrix} K_{d,x}(u_d - u) + K_{i,x} \int_0^t \kappa_{i,x} e_{b,x} d\tau \\ 0 \\ K_{d,\psi}(r_d - r) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$u_d = u_{d,\max} \tanh\left(\frac{e_{b,x}}{\Delta u}\right) \quad (4)$$

$$\kappa_{i,x} = 1 - \left| \tanh\left(\frac{e_{b,x}}{\Delta \kappa}\right) \right| \quad (5)$$

$$\mathbf{e}_b = \begin{bmatrix} e_{b,x} \\ e_{b,y} \\ e_{b,\psi} \end{bmatrix} = \mathbf{R}^\top(\psi) \begin{bmatrix} (\sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2} - r_c) \cos(\psi_c) \\ (\sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2} - r_c) \sin(\psi_c) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$r_d = r_{d,\max} \tanh\left(\frac{\psi_c - \psi}{\Delta r}\right) \quad (7)$$

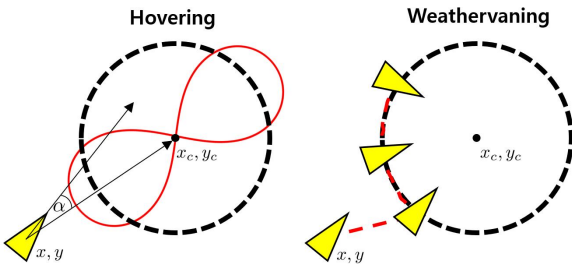


Fig. 2. Hovering and weathervaning operation.

플랫폼 좌표계에 작용하는 힘 τ 는 (3)로 정리되고, 각 항에 대한 수식은 (4) ~ (7)로 표현된다. $\tilde{x}, \tilde{y}, x_c, y_c, r_c$ 는 hovering 알고리즘에서 사용된 값들과 동일하고, ψ 는 플랫폼의 heading, ψ_c 는 원의 중심을 바라보는 각도, $K_{d,x}, K_{i,x}, K_{d,\psi}$ 는 surge와 heading의 제어 이득이며, $u_{d,max}$ 와 $r_{d,max}$ 는 플랫폼의 운동 특성을 반영하는 surge 방향 최대 속도와 최대 각속도를 나타내고, u 와 r 은 플랫폼의 surge 방향 속도와 각속도를 의미하고 u_d 와 r_d 는 목표 surge 방향 속도와 목표 각속도이다. 또한 Δu 와 Δr 은 각각 u 와 r 의 변화량에 대한 파라미터이며, $\Delta \kappa$ 는 적분 영역에 관한 파라미터이고 ψ_c 는 원의 중심을 바라보는 각도, $R(\psi)$ 는 회전행렬, $e_{b,x}$ 는 오차 벡터인 e_b 의 surge 성분이다. (3)에 작용하는 힘을 통해 설정한 원의 반경을 따라 외란을 마주보는 방향으로 위치를 유지하는 모습을 보여준다.

2.2.2 분산형

다음으로는 분산형의 경우 HNS 사고가 발생하고 시간이 경과함에 따라 HNS가 넓은 범위의 영역에 분포하는 시나리오로 최대한 골고루 탐사를 진행해야 한다. 본 연구에서는 실제적 운용에서 흔히 사용되는 잔디깎이 패턴을 사용하여 분산형 시나리오에 대해 운용하였다. 잔디깎이 패턴을 운용하기 위해 기본적으로 경유점 추종 알고리즘을 설계해야 하며 경유점 추종 시, 전 경유점과 다음 경유점을 잇는 직선의 각도(ψ_{wp})와, 직선으로부터 무인이동체의 횡방향 오차(CTE)를 고려하여 경유점 추종 알고리즘을 구성하였다. 구성한 추종 알고리즘은 Fig. 3에 보여진다. 하늘색의 점들은 wp_1 , wp_2 로 각각 전 경유점과 다음 경유점을 의미하고, 초록색 점은 두 경유점을 잇는 선분의 연장선에 위치하는 특정 좌표이다. 횡방향 오차의 부호를 결정하기 위해 초록색의 좌표와 플랫폼을 잇는 벡터인 v_2 와 초록색 좌표와 다음 경유점을 잇는 벡터인 v_1 사이의 외적 연산이 이루어진다. 외적

결과의 z성분인 V_z 의 값이 양수인지 음수인지에 따라 플랫폼이 경유점을 잇는 선분에서 왼쪽에 위치하는지 오른쪽에 위치하는지 알아낼 수 있다. $V_z < 0$ 이면 플랫폼이 왼쪽에 위치하여, 플랫폼의 목표 heading은 $\psi_d = \psi_{wp} - \psi_{CTE}$ 로 구하게 되고 $V_z > 0$ 이면 플랫폼이 오른쪽에 위치하여, 플랫폼의 목표 heading은 $\psi_d = \psi_{wp} + \psi_{CTE}$ 가 된다. CTE에 따라 ψ_{CTE} 는 $k_{CTE}CTE$ 로 구하게 되는데 CTE가 과도하게 커져 특정 ψ_{th} 의 임계값을 넘어가면 ψ_{CTE} 의 값을 ψ_{th} 로 두어 임계값을 넘어가지 않게 하였다. ψ_d 와 현재 heading(ψ_{ship})의 오차 heading인 ψ_e 를 좌, 우 추진기에 일정 입력인 C 와 함께 differential하게 값을 인가하여 경유점 추종을 진행하였다. k_ψ 는 ψ_e 를 줄이기 위한 제어 이득이다.

2.2.3 집중 및 분산 혼재형

앞 두 가지 형태가 혼재된 시나리오의 경우 HNS 유출 원천이 여러 곳이며, 시간이 경과함에 따라 발생할 수 있고 위치유지(Hovering, Weathervaning)와 잔디깎이 패턴을 동시에 사용하여 대응하였다. 이를 모사하기 위해 PGS 시스템을 각 경유점마다 작동시켜, 집중 및 분산 혼재형의 스칼라장을 임의로 발생시켰다. 원천지에 가까울수록 위치유지 알고리즘을 활용하고 다음 원천지까지는 잔디깎이 패턴의 경로를 사용하였다.

2.2.4 협업형

마지막으로 무인기와와의 협업 시나리오도 간단한 운용 방법을 통해 고려되었다. 해수의 HNS 뿐만 아니라 비교적 고도가 높은 대기 중의 HNS 도 존재할 수 있으며, 이 경우 부유식 플랫폼 뿐만이 아닌 무인기도 같이 운용하여 해수의 HNS는 부유식 플랫폼이, 대기의 HNS는 무인기 플랫폼이 탐지한다. 이종 플랫폼들의 특성을 반영하여 무인기의 탐지 영역을 부유식 플랫폼의 탐지 영역보다 넓게 설정하고 각 영역에 대해 탐사를 진행하였다.

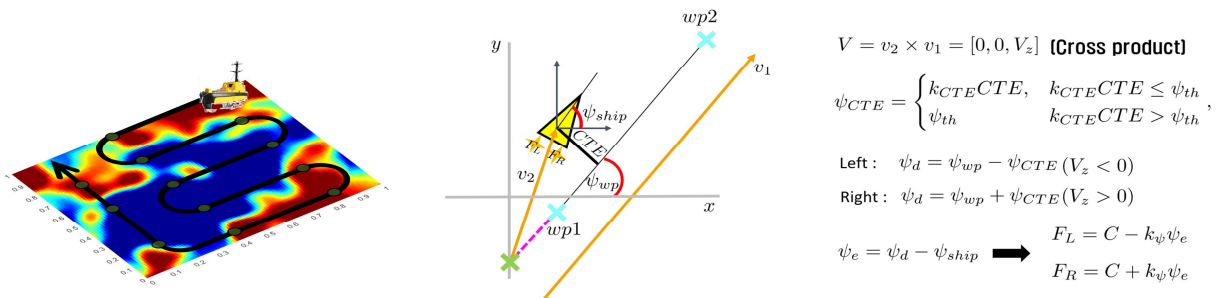


Fig. 3. Waypoint following algorithm.

3. 결과 및 고찰

설계한 운용 시나리오 및 운용 방법들은 내수면과 실해역에서 실험적으로 검증되었으며, 내수면 실험은 대전 내의 방동 저수지, 실해역 실험은 거제도에 위치한 한국해양과학기술원 남해연구소에서 진행되었다.



Fig. 4. Left (Bang dong reservoir in Daejeon), Right (Sea in Geoje Island).

3.1 집중형 시나리오

Hovering과 weathervaning 알고리즘을 통하여, 집중형 시나리오에 대한 내수면 및 실해역 운용 검증 결과는 Fig. 5와 같다. Hovering은 특정 반경에서 8자를 그리며 추진기를 계속 켜다 켜다 반복하는 것을 확인할 수 있었고, weathervaning 알고리즘은 반경에 진입하는 것을 적색 화살표 1, 반경에 다시 들어오면서 헤딩을 외란에 맞서는 동시에 원의 중심을 향하는 방향으로 맞추는 것을 적색 화살표 2로 표시하였다. 최종적으로 검은 화살표처럼 헤딩 방향이 원의 중심을 향하는 것과 동시에 플랫폼이 원의 경계에서 위치를 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 시간적으로 전의 자취는 투명하게 현재 자취는 불투명하게 부유식 플랫폼을 표현하였다.

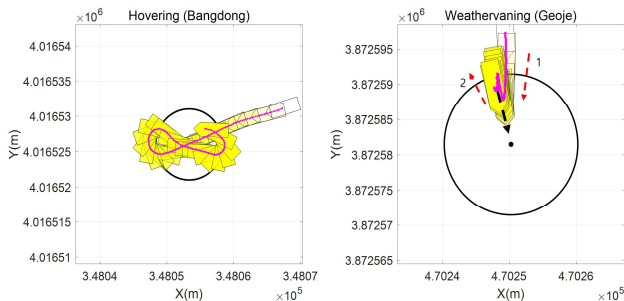


Fig. 5. Validation of hovering and weathervaning in concentrated HNS scenario.

3.2 분산형 시나리오

잔디깎이 패턴 알고리즘을 통하여 분산형 시나리오의 운용 검증에 대한 결과는 Fig. 6과 같다. 왼쪽 결과는 내수면에서의 실험 결과이고, 오른쪽 결과는 실해역에서의 실험 결과이다. 설정한 경로에 횡방향 오차를 줄이면서 잘 붙는 것을 확인할 수 있었고 외란이 더 큰 실해역에서도 경유점 추종 알고리즘이 견고하게 작동하였다.

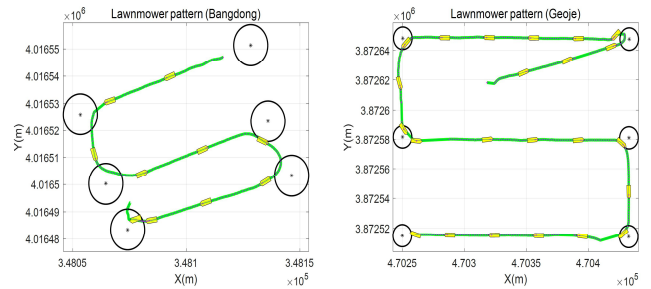


Fig. 6. Validation of lawnmower pattern in decentralized HNS scenario.

3.3 집중 및 분산 혼재형 시나리오

앞 두 가지의 시나리오가 혼재된, 집중 및 분산 혼재형 시나리오는 앞서 언급한대로 PGS를 사용하여, 설정된 각 경유점 순서대로 HNS 분출 세기를 키워가며, 각 경유점에서의 집중형 스칼라장을 임의로 만들었다. 사용된 HNS는 알코올로, 각 경유점마다 PGS를 켜고 일정시간 동안 위치유지를 하면서 알코올을 분출한다. 일정시간이 지나면 그 다음 경유점으로 PGS를 끄고 운용한다. 각 경유점마다 PGS의 분출 세기를 다르게 하여 단계적인 스칼라장을 생성하는데, 위와 같은 운용방식으로 자연스럽게 집중 및 분산 혼재형의 HNS 스칼라장이 생성된다. 혼재형 시나리오의 경우에는 hovering 알고리즘과 잔디깎이 패턴 알고리즘을 사용하여 운용하였다. Fig. 7 우측의 알코올 결과에서 확인할 수 있듯이, 분출 세기를 올린대로 계측 값이 커지는 것을 확인하였다.

3.4 협업 시나리오 (부유식 무인이동체 + 무인기)

마지막으로, 무인기와 부유식 무인이동체의 협업 시나리오에 대한 결과는 Fig. 8과 같다. 집중형 시나리오를 가정하고, 무인기와 부유식 무인이동체를 운용하였으며, 협업의 가능성을 간단하게 검증하기 위해 간단히 원형의 모션을 취하는 방법을 통하여 검증하였다. Fig. 8에 보이듯이 각 플랫폼의 특성을 반영하여 무인기는 부유식 무인이동체의 반경보다 큰 적색 궤도에서 선회하고, 부유식 무인이동체는 작은 반경인 청색 궤도에서 선회한다. 두 플랫폼은 협업하면서

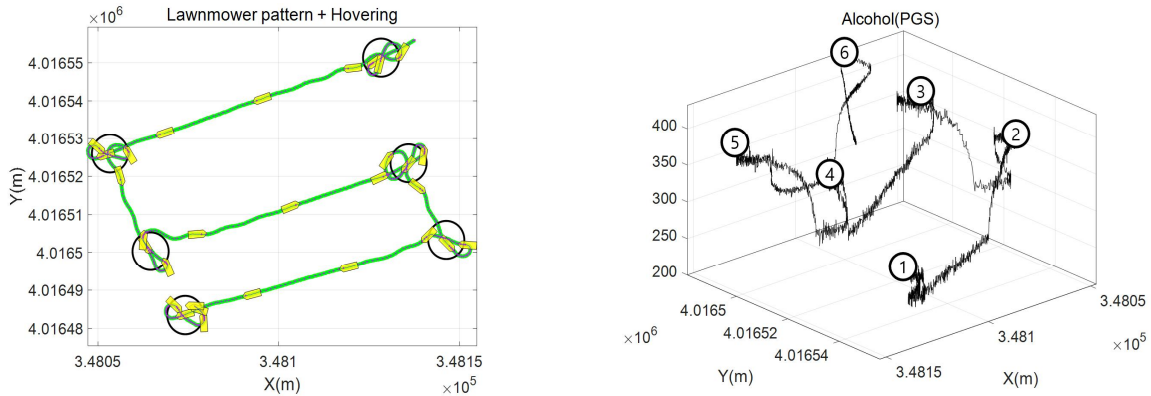


Fig. 7. Validation of lawnmower pattern and hovering in concentrated and decentralized (mixed) HNS scenario.

무인기는 대기 중 HNS를 무인선은 해수 근처의 대기 중 HNS를 측정하였다. 협업 시나리오에서의 무인기와 부유식 무인이동체의 경로는 아래 그림에서 확인할 수 있고, 협업 운용 동안 측정된 HNS의 종류는 대기 중 NH₃, C₆H₆, C₇H₈의 가스로 아래 그림을 통해 각 경로에서의 무인기와 무인선이 취득한 HNS 가스의 값을 확인할 수 있다.

3.5 모니터링 및 각 HNS 센서의 계측결과

가스, 알코올뿐만 아니라, 수중의 이온 관련 HNS 및 pH, 부유식 무인이동체에 탑재된 열상카메라, 레이더 등의 모니터링 센서들의 탐지 결과와 원격 인터페이스 화면은 Fig. 9에 보인다. 모니터링 및 탐지 결과는 거제도에서의 실험역 계측 결과이다. 시나리오 운용 동시에 레이더와 열상카메라, HNS 센서들의 동기화 된 계측 값을 확인할 수 있었고 HNS 탐지 및 모니터링이 원격으로 가능함을 검증하였다.

무인이동체 플랫폼의 운용 시나리오 설계 및 그에 해당하는 대응 알고리즘의 실험적 검증을 시도하였다. 설계한 시나리오 오는 크게 집중형, 분산형, 집중 및 분산 혼재형이 있고 이 시나리오들에 대해 실험적 검증을 내수면 및 실험역에서 진행하였다. 내수면 장소는 방동저수지, 실험역 장소는 거제 남해연구소로 선정하였으며 설계한 시나리오에 따른 대응 알고리즘의 결과 분석을 통하여 각 시나리오들에 대해 적절하게 운용이 가능함을 확인하였다. 그리고 부유식 무인 이동체의 단독 운용이 아닌, 무인기와 협업 시나리오도 간단한 운용을 통하여 가능성을 확인할 수 있었다. 또한, 탑재된 모니터링 및 HNS 센서들도 운용 동시에 계측이 되는 것을 확인함으로써, 통합된 시스템이 실제 HNS 사고 현장에서 충분히 효율적으로 대응할 수 있을 것이라 판단된다.

사 사

이 논문은 2022년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(20150340, 위험·유해물질(HNS)사고 관리기술개발).

4. 결론

본 연구에서는 HNS 광역 탐지 모니터링을 위한 부유식

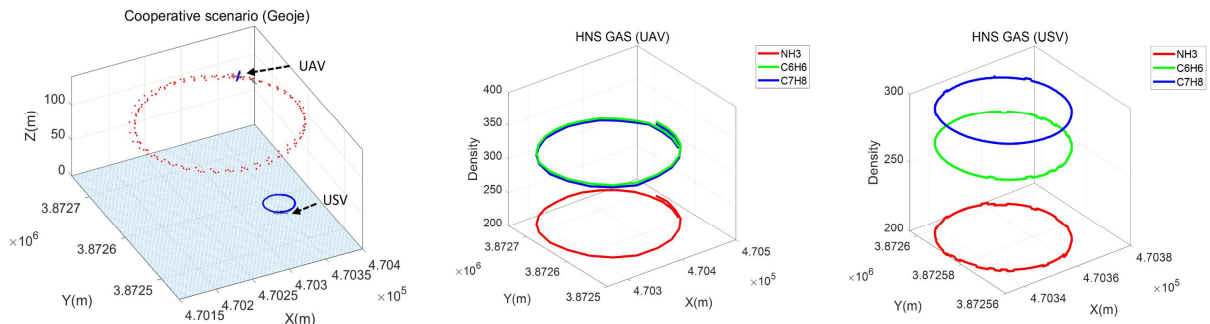


Fig. 8. Validation of cooperative scenario between unmanned aerial vehicle and floating unmanned vehicle

HNS 광역 탐지 및 모니터링을 위한 부유식 무인이동체 시스템의 실험적 성능 검증

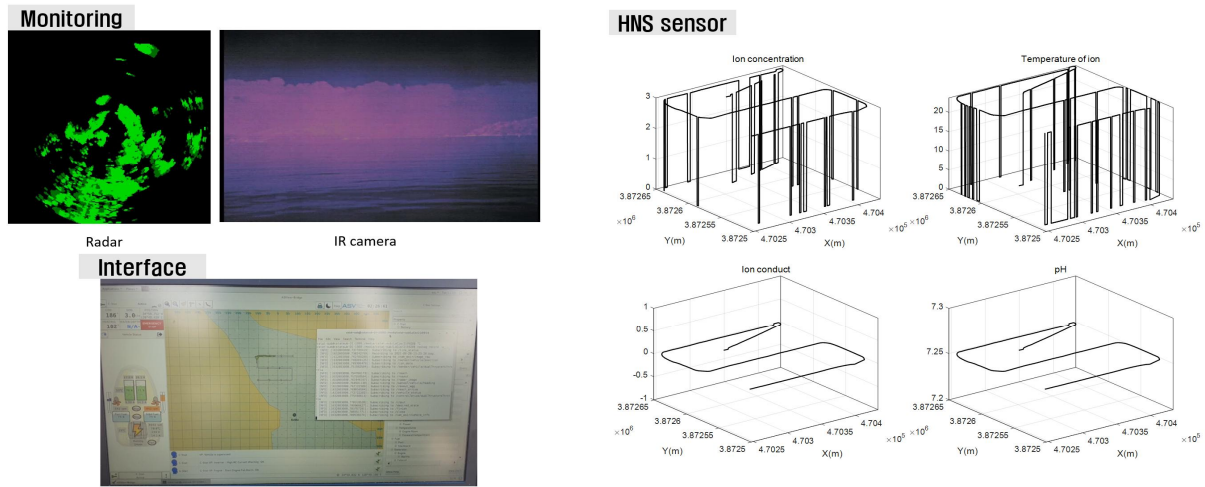


Fig. 9. Monitoring sensor, Interface and HNS sensor measurement result

References

- [1] De Cubber, G., D. Doroftei, D. Serrano, K. Chintamani, R. Sabino, and S. Ourevitch(2013), The EU-ICARUS project: developing assistive robotic tools for search and rescue operations. Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2013 IEEE international symposium on. pp. 1-4
- [2] Kjerstad, Øivind K. and M. Breivik(2010), Weather optimal positioning control for marine surface vessels, IFAC Proceedings, Vol. 43, No. 20, pp. 114-119.
- [3] Quigley, M., K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Ng(2009), ROS: an open-source Robot Operating System. In ICRA workshop on open source software, Vol. 3, No. 3.2, p. 5.
- [4] Wang, J. H., J. W. Kim, T. H. Fang, and M. J. Lee(2018), Design and Implementation of Unmanned Surface Vessel for Wide-area Monitoring of Hazardous Noxious Substances. The Korean Society For Marine Environment & Energy, p. 49.

Received : 2022. 10. 14.

Revised : 2022. 12. 09.

Accepted : 2022. 12. 28.