

논문 2021-16-17

하천 시설물 균열 검사를 위한 수중 ROV 개발 (Development of Underwater ROV for Crack Inspection of River Facilities)

성 호 환, 이 장 명*

(Ho-Hwan Seong, Jang-Myung Lee)

Abstract : River facilities and port structures require a regular inspection and diagnosis due to obsolescence. Currently, most river facilities are undergoing indirect inspection and diagnosis by divers. The underwater inspections are not feasible due to safety issues of divers and restrictions on working hours and environment. To overcome these issues, it is intended to conduct inspections of river facilities using underwater drones. In this research, an underwater ROV (Remote Operated Vehicle) has been developed, which is a kind of drone with propellers. As a key device of this research, an injection device has been attached to the underwater drone to conduct an operation test, a stable operation test of an underwater drone, and a test of attached sensors. The river facility inspection can be carried out optimally using the hovering control of the drone and injection systems. With the developed ROV system, hovering test and injection test have been performed to verify the feasibility of this development.

Keywords : Hovering Control System, Injection System, ROV System

I. 서 론

국내에는 1960년대부터 경제성장과 산업 발전이 급격히 이루어지게 되었고 댐, 교량 등 대형 SOC의 건설이 시작되어 경제성장 기인 1970 ~ 80년대에는 그 속도가 급격히 증가하게 되었다. 현재 국내에 준공 후 30년 이상 경과한 수중 노후시설물들이 급격히 증가하고 있는 추세이며, 수중조사 및 진단의 필요성이 증대될 수 밖에 없다. 대표적인 수리 시설물인 댐의 경우에는 수중 조사하여야 할 수심이 수십 m에 이르고 탁도 역시 불량하여 작업환경이 열악하여 인명사고의 위험이 클 뿐만 아니라 잠수 심도 및 잠수 시간의 한계 때문에 조사의 내용 및 범위가 제한적일 수밖에 없다. 또한, 조사 결과 구조물의 안전성 평가는 비전문가인 잠수사의 기술이나 경력의 차이에 따라서 주관적으로 판단되어서 질 수 밖에 없기 때문에 진단 결과가 달라질 수 있다는 문제점이 있다. 따라서 대부분의 수중 구조물 검사는 잠수부에 의해서 수중 카메라로 촬영 후 전문가와 육상에서 영상을 확인하는 형태의 간접 검사로 진행되고 있다. 잠수부에 의한 수중 구조물 검사는 작업 범위와 시간에 제약이 있으며, 안전성의 문제도 발생하기 때문에 수중로봇의 수요는 현재 점점 증가하는 추세이다.

수중 로봇은 ROV (Remotely Operated Vehicle) 와 AUV (Autonomous Underwater Vehicle)로 분류할 수 있다. ROV는 선박이나 육상에서 연결된 케이블을 통하여 전력 공급과

통신을 연결하여 육상의 운전자에 의해서 제어가 수행된다. ROV는 케이블이 연결되어 있어서 주로 가까운 지역에서 작업이 수행된다. 이와 달리 AUV는 연결된 케이블이 없으며 스스로 움직일 수 있다 [1-3]. 하지만 전력을 케이블이 아닌 배터리로 공급을 받고 있으므로 장시간의 작업에는 제약이 따른다.

본 논문에서는 댐과 하천 시설물에 대한 유지 보수와 균열 검사를 위하여 수중 드론을 ROV 개념을 바탕으로 개발하였다. 또한, 기존의 ROV를 사용하는 경우 단순 영상 촬영을 통하여 구조물의 안전진단을 행하였으나, 본 연구에서는 ROV에 Injection System을 부착하여 댐 및 하천구조물의 진단 정확도를 향상하고자 하였다.

II. 설계 목표 전체 시스템

본 논문에서 개발한 ROV는 대 수심 환경이 아닌 근해의 항만시설물이나 하천 시설물 등의 조사/점검 작업을 수행한다. 개발한 ROV는 약 20 kg으로 휴대하기 편리하고 복잡한 프레임이 아닌 간단한 모듈형으로 제작해 유지 보수가 용이하게 제작 진행하였다. 또한, 작업 시 획득한 수중 영상의 실시간 모니터링 및 실시간 저장 기능으로 영상분석이 가능하다. ROV는 AHRS (Attitude Heading Reference System) 및 수심 센서를 이용하여 수중 상황에서 원활한 작업을 위한 수심 및 헤딩 제어가 가능하다 [4]. ROV는 수중에서 자유로운 구동을 위해 중성 부력 상태가 필수적이며 ROV 운용 환경에 따라 달라지는 부력에 따라 추를 이용하여 중성 부력을 가변적으로 조절할 필요가 있다. 개발된 ROV의 전

*Corresponding Author (seonghohwan@pusan.ac.kr)

Received: Jun. 2, 2021, Revised: Jun. 24, 2021, Accepted: Jul. 19, 2021

H.H Seong: Pusan National University (M.S.)

J.M Lee: Pusan NationalUniversity (Prof.)

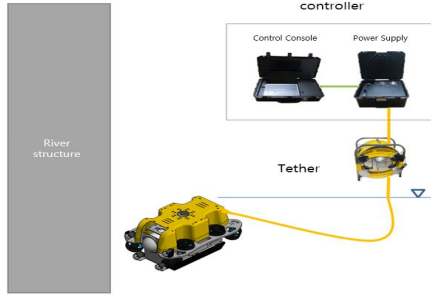


그림 1. ROV 운용 개념도
Fig. 1. Operating concept of ROV

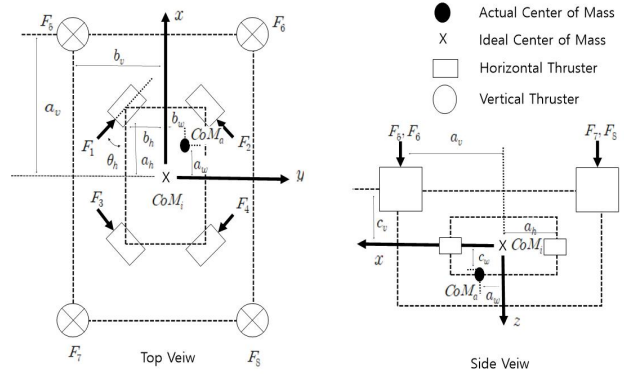


그림 3. 추진기 구성
Fig. 3. Thruster Configuration

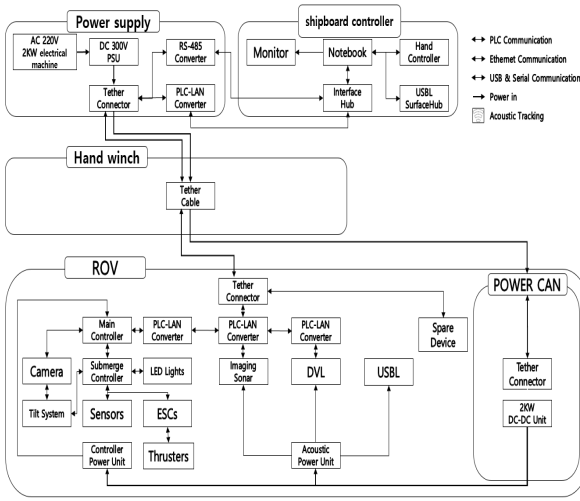


그림 2. ROV 시스템
Fig. 2. Overall schematic diagram

체 운용 개념도는 그림 1과 같다. 육상의 운전자는 ROV에 설치된 카메라와 소나를 이용하여 다양한 작업 환경을 효율적으로 안전하게 모니터링하며 육상에서 구조물의 안전에 대한 판단이 가능하다.

육상과 ROV의 전체 제어 구성도는 그림 2와 같으며 육상의 운영자는 수중에 있는 ROV에 장착된 각종 수중 센서 데이터 및 소나 영상 등을 실시간 확인이 가능하다. 육상 운영자와 ROV는 Tether를 통하여 연결되며 중성 부력 Tether 케이블을 사용한다. 이 중성부력은, ROV가 수심 깊이가 내려갈수록 길어진 Tether 케이블로 인해 케이블이 양성 또는 음성 부력을 가지게 되면 그 부력 때문에 케이블이 조류의 영향을 받아 ROV의 운영을 방해할 수도 있기 때문에 필요하다. 때로는, 이러한 이유로 깊은 수심 환경에서는 별도의 luncher를 두어 작업을 수행하기도 한다. 육상의 선상 통제기와 수중 ROV 간의 통신은 이더넷 [5] 통신으로 수행된다. 운전자는 육상이나 배에서 PLC를 이용하여 동작 신호를 전달하며 전달된 동작 신호는 ROV의 픽스 워크와 라즈 베리 파이에서 취합하여 육상으로 송신하고 육상의 PLC에서 GUI 화면으로 디스플레이된다.

III. 수중드론 설계

1. 추진 시스템설계

이론적으로, 6자 유도 운동체를 제어하기 위해서는 적절히 배치된 6개의 추진기로 제어가 가능하다 [6-8]. 그러나 본 연구에서는 구조물 검사를 위한 안정적인 운동 제어를 위해 4개의 수평 추진기와 4개의 수직 추진기를 이용한 과구동 시스템을 적용하였다. 따라서 8개 추진기의 추진력을 적절히 분배하는 것이 필요하며, 추진력 분배를 위한 제어력 분배 식은 (1) 과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tau_c &= C_T F; \\ \tau_c &= [F_x \ F_y \ F_z \ M_x \ M_y \ M_z]^T, \\ F &= [F_1 \ F_2 \ F_3 \ F_4 \ F_5 \ F_6 \ F_7 \ F_8]^T. \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 τ_c 는 ROV 시스템의 운동 제어를 위해 필요한 제어력 벡터이며, F는 8개 추진기의 추력 벡터를 나타낸다. 또한 C_T 는 추력 벡터와 제어력 벡터 사이의 관계를 나타내는 추력분배 행렬로 그림 3에 나타난 추진기들의 기구학적 배치 정보를 이용하면 식 (2) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_T = \begin{pmatrix} \cos\theta_v & \cos\theta_v & -\cos\theta_v & -\cos\theta_v & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\theta_v & \sin\theta_v & \sin\theta_v & \sin\theta_v & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\bar{l}_1} & \frac{1}{\bar{l}_2} & \frac{1}{\bar{l}_3} & \frac{1}{\bar{l}_4} \\ -c_w \sin\theta & -c_w \sin\theta & c_w \sin\theta & c_w \sin\theta & \bar{b}_5 - \bar{b}_6 & -\bar{b}_7 & \bar{b}_8 & 0 \\ \bar{l}_1 & \bar{l}_2 & \bar{l}_3 & \bar{l}_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

여기서 $\bar{b}_5 = b_v + b_w$, $\bar{b}_6 = b_v - b_w$, $\bar{b}_7 = b_v + b_w$, $\bar{b}_8 = b_v - b_w$, $\bar{a}_5 = a_v - a_w$, $\bar{a}_6 = a_v - a_w$, $\bar{a}_7 = a_v + a_w$, $\bar{a}_8 = a_v + a_w$, $\bar{l}_1 = (b_h + b_w)\cos\theta_h - (a_h + a_w)\sin\theta_h$, $\bar{l}_2 = -(b_h - b_w)\cos\theta_h - (a_h - a_w)\sin\theta_h$, $\bar{l}_3 = -(b_h + b_w)\cos\theta_h - (a_h + a_w)\sin\theta_h$, 그리고 $\bar{l}_4 = (b_h - b_w)\cos\theta_h + (a_h + a_w)\sin\theta_h$ 이다.

6 자유도의 제어입력 τ_c 를 발생시키기 위한 추력 벡터 F 는 무수히 많이 존재할 수 있다. 따라서 이러한 과 구동 시스템에 대한 해를 구하기 위한 최적화를 통해 추력 벡터를 결정하는 과정이 추가적으로 필요하다 소비되는 에너지를 최소화하는 최적해를 구하면 각 추진기에 필요한 추력 벡터 F 는 식 (3) 과같이 의사 역행렬 C_t^+ 을 통해 구할 수 있다.

$$\tau_c - C_t^+ F = 0 \quad (3)$$

여기서 $F = C_t^+ \tau_c$ 이다.

2. 수중드론 하드웨어 시스템

내압 용기는 전면부, 후면부, 하부로 구분된다. 전장 부를 고정시키기 위한 파트는 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 소재를 CNC 가공하여 제작하였고, 후반부 플랜지에 고정하였다. 전면부에는 카메라 영상 촬영을 위해서 투명한 PMMA DOME를 부착하였고 후면부는 추진기 전선, 작동 지시등, 수심 측정 센서, 전원 케이블 등을 사용하기 위해 알루미늄 엔드 캡으로 구성하였다. 내압용기 내부는 다음 그림 4와 같다. 내압 용기 구성은 1. ESC (Electronic speed control) 9개 2. Pixhawk 3. USB 카메라 4. 라즈베리 파이, 5. Fathom-X 2개 6. 수심 측정 센서 모듈 (Depth sensor module)이 부착되어 있다. 이를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

1.ESC는 (1) ESC는 BlueRobotics사의 Basic ESC를 사용하였다. Basic ESC는 추진기를 작동시키는데 사용된다. 가로 32 mm 세로 17.1 mm의 크기로서 작고 양방향 회전이 가능하게 해주며, ESC의 같은 경우 발열이 심하게 발생한다. 따라서 상부 지지봉과 ABS를 CNC 가공하여 공중에 ESC를 띄우는 형태로 만들어 공냉을 할 수 있게 하였다.

2. Pixhawk는 일반적으로 드론에서 사용되는 제어 모듈이다 라즈베리 파이와 통신을 해야 하기 때문에 라즈베리파이 상부에 배치하였다.

3. USB 카메라는 Sony 사의 IMX322 이미지 센서를 사용하고 있다. 1/2.9" 의 큰 이미지센서와 저 해상도의 픽셀을 사용하여 저조도에서 적합한 카메라이다. 카메라는 수직 방향의 관측 시야의 증가를 위해 서보모터 (HS-5050MG Servo)를 이용하여 틸트 시스템을 구성하였다. 기존 카메라의 수직 방향 관측 시야는 64°이고 틸트 시스템을 사용 시 총 90° 상하 전환이 가능하다.

4. 메인 컴퓨터로는 라즈베리 파이를 사용하였다. 저전력과 고성능을 내어주며 원하는 성능을 만족하도록 선정하였다.

5. Fathom-X는 BlueRobotics 사의 PoE (Power over Ethernet) 통신장비이다. 무인잠수정은 운용 장비와 플랫폼을 테더 케이블을 이용하여 통신한다. 이때 테더 케이블의 길이가 길면 일반적인 통신이 불가능해 PoE 장비를 사용하였다. Sonar와 통신 시스템을 위해서 Fathom-X는 2개를 사용하였다.

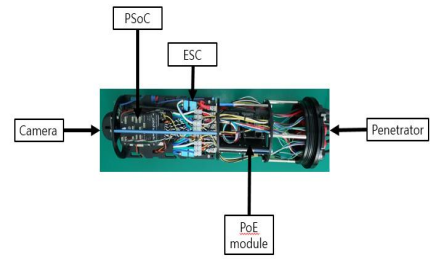


그림 4. 내부구조 구성
Fig. 4. Configuration of inner structure

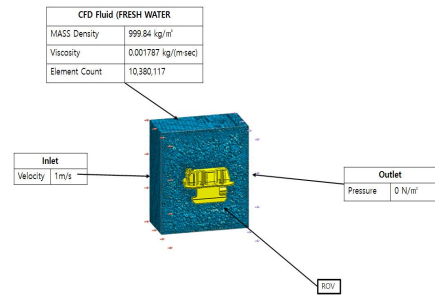


그림 5. ROV 유동해석 모델 및 경계조건
Fig. 5. ROV Flow Analysis Conditions

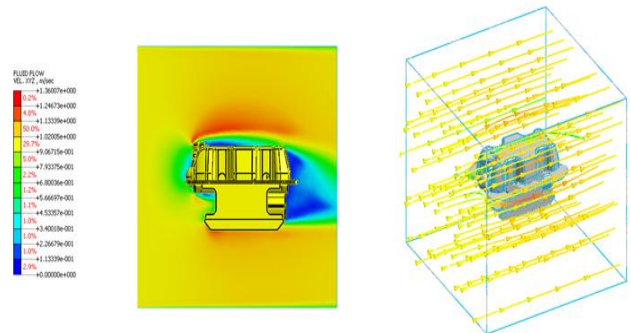


그림 6. ROV CFD 유동해석
Fig. 6. ROV Fluid Flow for CFD at 1 m/s

6. 수심 측정 센서 모듈은 엔드 캡에 부착된 수심 측정 센서의 데이터를 받는 데 필요하다. I2C level converter를 사용하여 Blue robotic사의 Bar30 Ultra High Resolution 300 m Depth 센서의 데이터를 받을 수 있게 하였다.

3. 전산 해석 및 내압시험

ROV Body Frame은 경량화를 위하여 ABS (8T) 소재의 CNC 가공으로 간단한 공구를 이용하여 조립 가능하게 제작 진행하였다. 또한 ROV의 주행 방향에 대한 영향을 최소화하기 위하여 유선형 Fairing을 SLA 3D프린터 ABS 소재를 이용하여 제작하였다.

그림 5는 수중 드론의 [9-10] 유동해석 모델 및 경계조건을 설정한 값이며, 1 m/s의 환경에서 수중 드론의 전방 최대 저항력이 그림 6과 같이 9.3 kgf로 나타났다. 본 연구에

서는 수평 추진기 4개를 45도 방향으로 대칭으로 구성되어 있으며, 추진기의 정회전시 최대 추력이 10.5 kgf, 이며 후방에 배치한 2개의 추진기가 역회전 시 최대 추력이 8.2 kgf 이므로, 직진 방향 최대 추력은 18.7 kgf이다. 이는 1 m/s에서의 최대 항력보다. 두 배가량 높은 값으로, 목표 속도를 충분히 만족할 수 있음을 확인할 수 있다.

내압 용기는 ROV에 구동을 필요를 위한 여러 장치들을 내장하는 부위로서 20 bar 이상의 내압성을 만족할 수 있어야 한다. 이는 기본적으로 시스템의 전체적인 크기의 결정과 중량을 결정하게 되며, 전장부들을 보호하는 내압 용기는 핵심 부분이다.

본 연구에서는 2개의 내압 용기를 제작 진행하였다. 비강도와 밀도를 고려하여 알루미늄 (6061 6T)를 이용하여 내압 용기를 설계하여 제작 진행하였다. 진력 분배 보드가 들어있는 내압 용기와는 다르게 제어 보드가 들어있는 내압 용기는 영상카메라가 추가되어야 하므로 PMMA (polymethyl meth-acrylate) 재질의 DOME 형태가 추가 되는 그림 7과 같이 복합 형상을 가지고 있다.

물체의 파괴를 가장 정확하게 예측하는 기준으로 알려져 있는 본 마이 제스 응력 (von Mised Stress)를 기준으로 검토하였다. 20 bar의 외부 압력을 인가하였을 경우 PMMA 재질의 DOME 부분은 그림 8과 같이 응력분포와 변위 분포를 나타내었다.

재료별 물성치에 따른 최대 응력은 16.7 Mpa로 인장 응력의 22 %로 해석되었으며, Aluminum 6061부분인 전 장부 하우징은 그림 9와 같이 26.7 Mpa로 약 9 %로 해석되어 20 bar의 환경에서 내압 성능을 만족할 수 있음을 확인하였다.

지금까지 해석 결과를 이용하여 전장 부와 전원부를 보호하는 2개의 내압 용기를 직접 제작 진행하여 내압시험 그림 10과 같이 진행하였다. 시험은 외압시험기를 이용하여, 이상 유무 확인하는 방법으로 수행되었으며 표 1은 외압시험 조건을 보여준다. 시험 종료 후 내압 용기의 외형 변화와 내부 누수는 발견되지 않았으며, 설계 목표였던 수심 200 m의 내압 성능을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

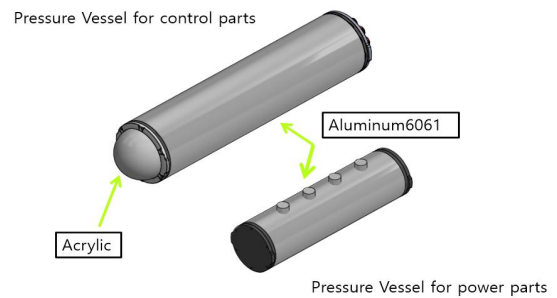


그림 7. 내압용기

Fig. 7. Shape and Material of Pressure Vessel

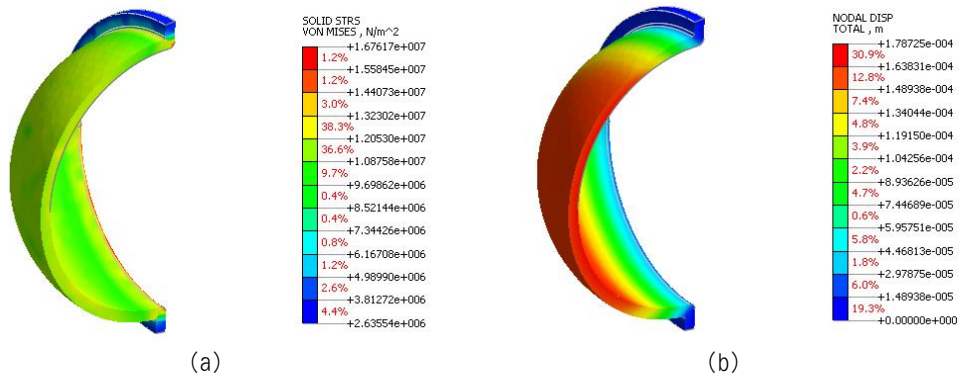


그림 8. DOME 구조해석

Fig. 8. Stress (a) and Deformation (b) of Dome

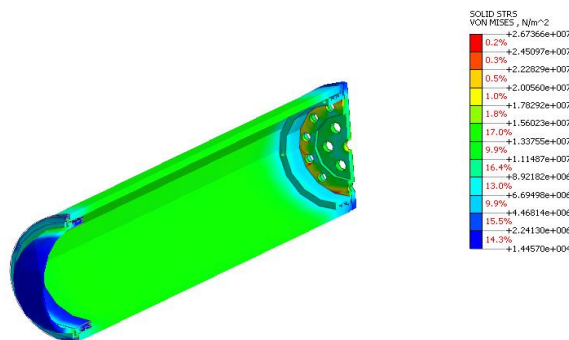


그림 9. 전장부 구조해석

Fig. 9. Structural Analysis of Pressure Vessel

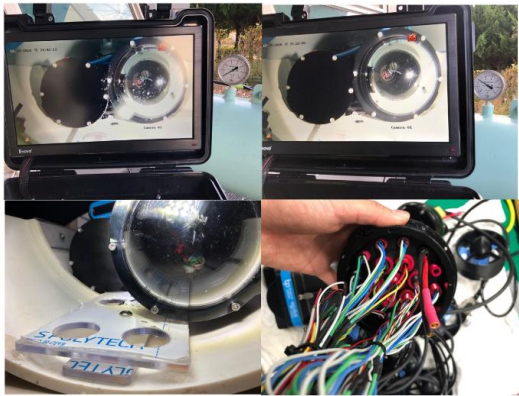


그림 10. 압력 테스트 진행
Fig. 10. Pressure vessel in chamber

표 1. 외압시험 조건

Table 1. Exclusive Pressure Test Condition

first time ~ 5 Bar	Raise for 3 minutes and keep the 5 bar pressurized for 5 minutes.
5 ~ 10 Bar	Raise for 3 minutes and maintain 10 bar pressure for 5 minutes.
10 ~ 15 Bar	Raise for 3 minutes and maintain 15 bar pressure for 10 minutes.
15 ~ 20 Bar	Raise for 3 minutes and keep the 20 bar pressurized for 10 minutes.

4. 시약주입 장치

시설물 균열 지점 탐색을 위하여 Camera와 Sonar를 이용하여 시설물에 접근하여 시약 주입을 통한 균열 검사를 하기 위하여 시약 주입 장치를 설계하여 제작 진행하였다. 시약 주입 장치 시스템은 그림 11과 같으며 시약 주입 장치 모터는 표 2과 같은 Spec의 모터를 선정하여 제작 진행하였다.

그림 11은 Injection module 의 형상을 보여준다.

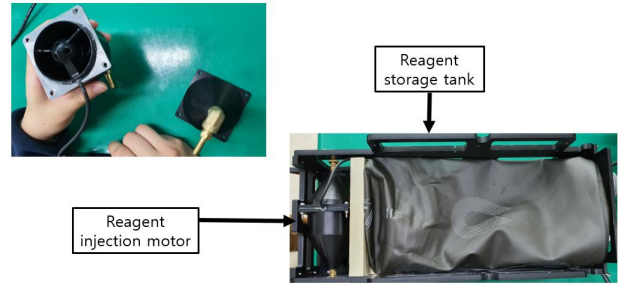


그림 11. 인젝션 모듈
Fig. 11. Injection module

표 2. 시약주입 장치 모터 제원

Table 2. Injection Motor Spec.

	Specification
Input volt	12-24 V
Trottle Current	17A
Full Throttle power@Nominal	100W
Full Throttle power@Maximum	300W
Motor	1450Kv

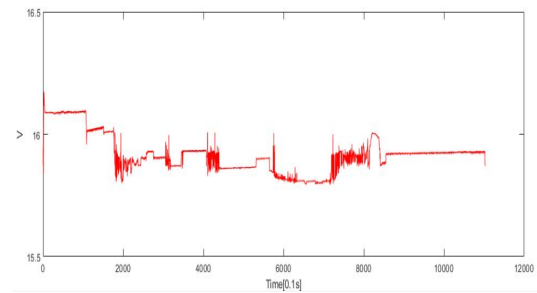


그림 12. 전압 변화
Fig. 12. Voltage variations

IV. 실험 결과

1. 전원공급 테스트

본 논문의 수중 드론은 배터리 방식이 아닌 상시전원공급 수중 드론이다. AC 200 V를 DC 300 V로 변환시켜 Tether를 통하여 수중 드론 DC/DC Convert를 이용하여 수중 드론으로 전원을 공급하는 시스템이다. 그림 12과 같이 데이터 주기는 0.1 초로 15 V~16 V로 안정적으로 공급되는 것을 확인할 수 있었다.

2. 시약주입 테스트

시설물 균열 검사는 목표 지점에 찾아가 카메라를 통하여 육안 검사를 통해 위치를 파악하고 의심 지점에 시약 주입 장치를 이용하여 시약을 주입하여 균열 검사를 수행한다. 필드 테스트 이전 테스트용 수조에서 시약 주입 장치 검증 TEST를 진행하였다.



그림 13. 스펀지 돔 ROV
Fig. 13. Sponge Dome ROV

균열 지점에 밀착이 이루어지지 않는 경우 시약이 주입되더라도 유실되는 현상을 개선하기 위하여 균열 지점 밀착을 위하여 Acrylic Dome에 저밀도 고탄력을 가지는 스펀지를 그림 13과 같이 부착하여 작업 지점에 대한 밀착력을 높였

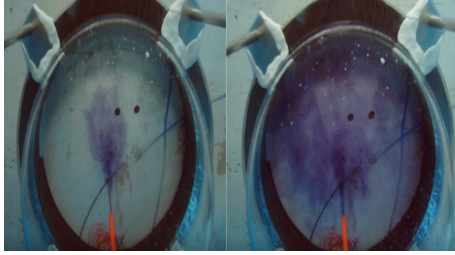


그림 14. 스폰지 돔 검정잉크 시험
Fig. 14. injection Sponge Dome and black ink Test

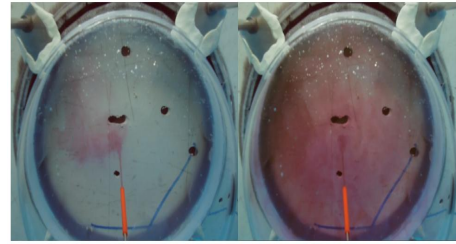


그림 16. 브러시 돔 주향잉크 시험
Fig. 16. Injection brush Dome and Orange ink Test



그림 15. 브러시 돔 ROV
Fig. 15. Brush Dome ROV

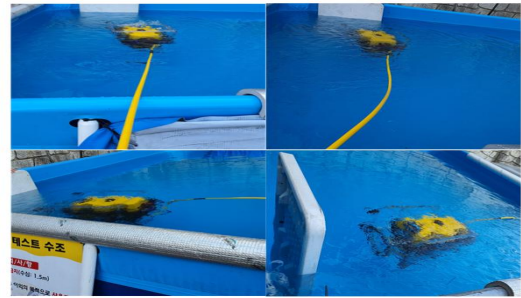


그림 17. Hovering 실험 진행
Fig. 17. Hovering Control Test

다. 또한, 일반 물은 영상으로 식별이 어려워 시약 탱크에 검정 잉크를 주입하여 테스트를 진행하였다.

그림 14와 같이 Acrylic Dome 스폰지를 부착하여 작업 지점에 밀착이 이루어져 시약 주입 시 시약이 유실되는 현상은 사라지게 되었다. 하지만, 그러나, 하천 시설물들은 테스트용 벽과 같이 매끄럽지 않은 형태의 시설물로스핀지의 쓸림으로 유실이 발생할 가능성도 존재한다. 따라서, 그림 15와 같이 유실 방지를 위하여 Acrylic Dome에 브러시 타입의 구조물을 부착시켜 테스트를 진행하였다.

검정 잉크는 물속 탁도에 의하여 식별이 어려울 듯하여 검은색 잉크 대신 오렌지 색상의 잉크를 주입하여 그림 16과 같이 카메라를 통한 식별을 높였다. 브러시 타입의 구조물로 이용하여 작업 지점과 균일하게 밀착하여 잉크의 유실이 없음을 확인하였으며, 쓸림으로 인한 밀착용 구조물의 유실 방지됨을 확인하였다.

3. 수중드론 호버링 제어 실험

본 논문의 수중 드론은 하천시설물 균열을 검사하기 위한 수중 드론이다. 하천 시설물을 균열 의심 지점에 도착 후 호버링 제어를 이용하여 시약 주입을 이용하는 하천시설물 균열 검사 수중 드론이다. 인위적으로 Tether를 당겨 센서 값이 유지하는지 알아보는 호버링 제어를 실험하였다. 그림 17의 모습은 호버링 제어 실험 [11-12] 모습이다.

그림 18는 수중드론의 호버링 제어 AHRS 센서에서 얻은 값을 이용하여 얻은 Roll의 값이며 평균 0.45°이다.

그림 19은 수중드론의 호버링 제어 AHRS센서에서 얻은 값을 이용하여 얻은 Pitch 값이며 평균 0.78°이다.

그림 20은 수중드론의 호버링 제어 AHRS센서에서 얻은 값을 이용하여 얻은 Yaw의 값이며 평균 271.1°이다.

그림 21은 수중 드론의 호버링 제어 당시 얻은 Depth의 값이며 평균 0.82 m를 유지하였다 [15]. 수중 드론의 호버링 제어 당시 센서 값들은 인위적으로 Tether를 당겨 변동의 폭이 크게 작용하였으나, 시간이 지남에 따라 기존 안정화 상태로 복구되었으나, Depth 센서가 민감하게 반응하여 변동의 폭이 크다.

4. Field Test

Field Test 실험은 그림 22과 같이 울산 대암댐에서 실험을 수행하였다. 시약 주입기의 시약은 기존 테스트를 통하여 확인하였던 잉크는 댐의 물에 영향이 생기기 때문에 점성이 있고 물에 영향을 끼치지 않는 우유를 사용하였다.

이기와 불순물이 조사 벽면에 붙어 있으나, 그림 23, 그림 24과 같이 조사면 밀착을 통하여 시약을 유실이 방지되는 것을 확인하였으며, 촬영 거리 균일화를 통한 영상 정보를 통하여 조사 면을 효율적으로 조사하여 운용될 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결론

본 연구에서는 하천시설물의 균열 검사를 위한 점검용 ROV의 설계 및 개발을 수행하였다. 이를 통하여, 기존 방식인 잠수부에 의해서 진행되던 하천시설물 검사를 수중 드론을 이용하여 장시간 작업으로 효율적으로 하천시설물의 균열 검사를 가능하게 하였다. 수중 드론은 선상 통제기, 수중

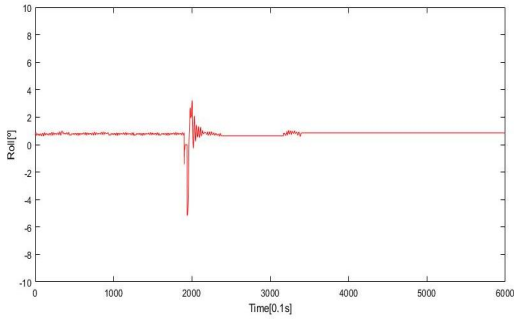


그림 18. 호버링시 Roll 자세 결과

Fig. 18. Roll result of Hovering based on object detection

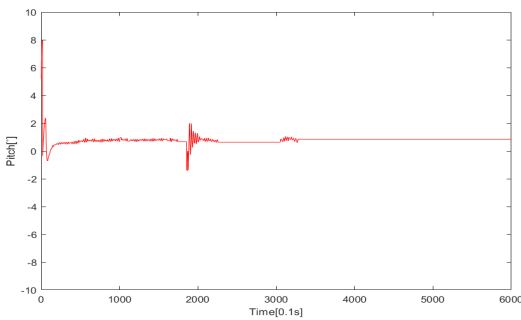


그림 19. 호버링시 Pitch 자세 결과

Fig. 19. Pitch of Hovering for object detection

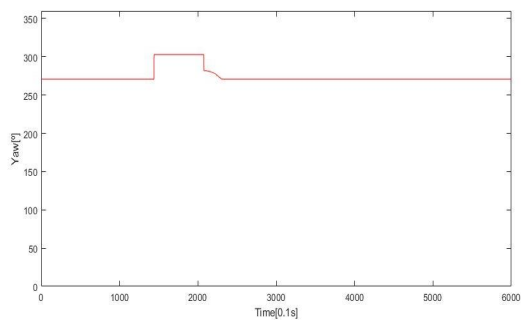


그림 20. 호버링시 Yaw 자세 결과

Fig. 20. Yaw result of Hovering based on object detection

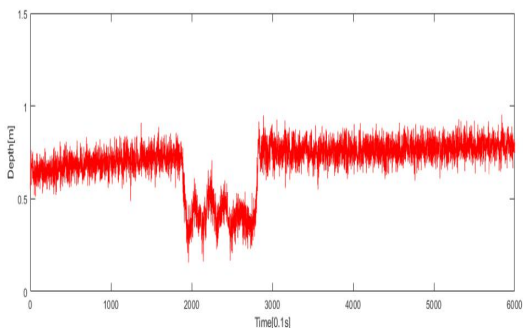


그림 21. 호버링시 Depth 제어 결과

Fig. 21. Depth result of Hovering based on object detection



그림 22. 대암댐 사진

Fig. 22. Field Test: Deam Dam



그림 23. ROV 테스터 진행

Fig. 23. ROV Test

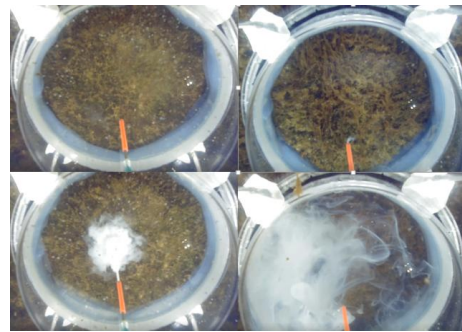


그림 24. 시약주입 테스트

Fig. 24. Injection Test

케이블, 수중 드론 본체로 구성되며, 수중 케이블 (Tether)는 영상, 통신, 전원 라인으로 구성되어 선상 통제기와 로봇 본체를 연결하며, 수중에서는 미약한 양성 부력 상태이다. 균열 지점 파악을 위한 촬영 각도를 유지하기 위하여 호버링 제어가 가능한 6 자유도 수중 드론을 설계하고 제작하였으며, 수중 드론은 3D 설계를 통한 구조해석과 CFD 해석을 통하여, 유속 1 m/s의 환경에서 수중 드론의 전방으로는 최대 9.8 kgf 추력이 요구되며, 실제 추진기가 정회전시 최대 추력이 10.5 kgf를 가졌다. 또한, 후방 배치 추진기는 최대 8.2 kgf가 요구되며, 실제 최대 추력은 18.7 kgf로 유속 1 m/s의 환경에서 호버링 조건을 만족함을 확인하였다. 추후에는 댐이나 하천 같은 구조물의 더욱 정확한 검사를 위하여 균열 조명 기술과 영상 정보의 선명화 기술을 추가할 예정이다.

References

- [1] T.S. Kim, C.H. Kim, M.K. Lee, "Study on the Design and the Control of an Underwater Construction Robot for Port Construction," Proceeding of Journal of Navigation & Port Research Vol. 39, No. 3, pp. 253-260, 2015. (in Korean)
- [2] M.J. Kim, "Implementing Hovering Autonomous Submersible and Designing a 6-degree PID Controller," Pukyong National University Graduate School, Busan. pp. 24-34, 2016. (in Korean)
- [3] S.K. Jeong, "A Study of HAUV type Hovering Control and Underwater Navigation System of Variable ROVs." Master's thesis in Korea, Graduate School of Maritime University, pp. 44-57, 2013. (in Korean)
- [4] K.G. Kim,, "Development of Unmanned Submarine for Offshore Investigation," Master's thesis in Korea, Graduate School of Maritime University, Busan, pp. 36-42, 2008.
- [5] J.H. Lee, "Design and Development of ROVs for Inspection of port Facilities," A domestic master's thesis, Changwon University, pp. 5-9, 2015.
- [6] J.S. Lee, P.M. Lee, J.M. Lee, S.W. Hong, "300 m Class. A Study on the Development of Water-China ROVs," Korea Marine Engineering Association, Vol. 8, No. 1. pp. 50-61, 1994. (in Korean)
- [7] D.C. Hong, P.M. Lee, seven others, "Design and Development of Unmanned Submersible (ROV)." Journal of Marine Engineering, Vol. 7, pp. 62-72, 1993.
- [8] T.I. Fossen, "Guidance and Control of Ocean Vehicles," University of Trondheim, Norway, Printed by John Wiley & Sons, Chichester, England, ISBN: 0 471 94113 1, Doctors Thesis, pp. 6-56, 1999.
- [9] Y.S. Jung, K.W. Lee, S.Y. Lee, M.H. Choi, B.H. Lee, "An Efficient Underwater Coverage Method for Multi-AUV with sea Current Disturbances." Int. J. Control Autom. Syst. 7, pp. 615 - 629, 2009.
- [10] Jedoo Ryu, K.S. Nam, K.N. Ha. "A Study of ROV System Design for Underwater Structure Inspection." Journal of the Korean Society of Industry Convergence, Vol. 23, No. 3, pp. 463-471, 2020. (in Korean)
- [11] W.C. Park, "Design of an Underwater Robot System for Cleaning Ships," Domestic doctoral thesis, Pusan National University, 2013. (in Korean)
- [12] Jin Sol. "Deep Learning-based Underwater Object Detection and Hovering Control of Unmanned Submarines," Master's thesis in Korea, Graduate School of Maritime University, pp. 5-18, 2021. (in Korean)

Ho-Hwan Seong (성 호 환)



2013 Department of Electronic Materials Engineering, Shilla University (B.S.)

2021 Division of Robotics Convergence, Pusan National University (M.S.)

Field of Interests: intelligent robot system design underwater robot control

Email: seonghohwan@pusan.ac.kr

Jang-Myung Lee (이 장 명)



1980 Department of Electronic Engineering Seoul National University (B.S.)

1982 Department of Electronic Engineering Seoul National University (M.S.)

1990 Doctor of Engineering at USC (Ph.D.)

1992~Electronic Engineering at Pusan National University (Prof.)

Field of Interests: Intelligent robot system design and control, microprocessor application

Email: jmlee@pusan.ac.kr