Regular paper

Journal of the KIECS. pp. 959-966, vol. 15, no. 5, Oct. 31. 2020, t. 103, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2020.15.5.959

양식장 생육 환경관리를 위한 수중 드론 설계 및 개발

유승혁* · 주영태** · 김종실** · 김응곤**†

Design and Development of Underwater Drone for Fish Farm Growth Environment Management

Seung-Hyeok Yoo* · Yeong-Tae Ju** · Jong-Sil Kim** · Eung-Kon Kim**†

요 약

수산업의 중요성이 커지고 양식 산업이 급성장한 가운데 수산 양식 분야 ICT 융합을 통한 스마트 양식장에 대한 연구가 진행되고 있다. 양식장 현장에서 생육 환경 모니터링이 가능하도록 수중 드론의 구동부, 영상 수집 장치, 자세 안정화를 위한 통합 컨트롤러, 실시간 수중 영상을 통한 드론 조정 및 제어가 가능한 원격 관제 장치를 제안하고 설계, 개발 및 시험을 진행하였다. 수중 드론 활용을 통해 양식 산업에서 문제 되는 인력 수급 및 고비용 작업을 대체 할 수 있으며, 양식 폐사 확률을 줄여 안정적인 양식장 관리가 가능하다.

ABSTRACT

With the growing importance of the fishery industry and the rapid growth of the aquaculture industry, research on smart farms through ICT convergence in the aquaculture field is in progress. To enable monitoring of the growing environment at the farm site, an underwater drone drive unit, an image collection device, an integrated controller for posture stabilization, and a remote control device capable of controlling and controlling drones through real-time underwater images were proposed, and design, development, and tests were conducted. By utilizing underwater drones, it is possible to replace the supply and demand of manpower and high-cost work in the aquaculture industry, and to manage fish farms in a stable manner by reducing the probability of farming deaths.

키워드

Embedded Hardware, Fish Farm, Growth Environment, Monitoring, Underwater Drone
임베디드 하드웨어, 양식장, 생육 환경, 모니터링, 수중 드론

Ⅰ. 서 론

세계적으로 수산물을 통한 동물성 단백질 섭취 비중은 15%에 달하며, 수산업은 미래 식량 산업으로서의 중요성이 커지고 있다. 수산자원 남획에 따른 어선어업의 정체 속에 양식 산업이 급성장하였으며 수산물 생산방식의 변화를 가져왔다[1].

전라남도는 대한민국 제1의 수산도(道)로서 2019년

* 한국전자기술연구원(yoosh@keit.re.kr)
** 순천대학교 컴퓨터공학과 (niea@daum.net)
**† 교신저자 : 순천대학교 컴퓨터공학과 (kek@sunchon.ac.kr)
· 접 수 일 : 2020. 08. 26
· 수정완료일 : 2020. 09. 20
· 게재확정일 : 2020. 10. 15
· Received : Aug. 26, 2020, Revised : Sep. 20, 2020, Accepted : Oct. 15, 2020
· Corresponding Author : Eung-Kon Kim
Dept. of Computer Engineering, Sunchon National University
Email : kek@sunchon.ac.kr

기준 수산물 192만 톤을 생산해 전국 최대인 58%의 생산량을 차지, 전국에서 가장 많은 어업법인과 최대 규모의 양식장이 설치 운영되고 있다[2].

하지만 양식업을 포함한 국내 수산업은 어업인구 감소와 고령화로 인한 노동력 부족, 기후 변화 및 수산자원 감소에 따른 어업생산량 감소, 고비용·저효율 구조에 따른 경영악화가 심화 되고 있다[3].

대외적으로는 신종 코로나바이러스감염증의 세계적 '대유행' 사태가 쉽사리 진정될 기미가 보이지 않는 가운데, 일부 국가에서 발생하고 있는 '식품 사재기'나 이른바 '식량보호주의'적 현실 인식에 근거한 식량 수출 제한 조치, 이동 제한과 확진자의 증가 탓에 세계 곳곳에서 빚어지는 식량생산 산업부문 노동 인력 공급의 차질 등으로 인해 자칫 코론나19 발(發) 식량위기가 현실화 될 수도 있다[4].

4차 산업혁명시대에 발맞춰 세계적 수준의 ICT기술력을 양식업에 접목하여 수산 양식의 첨단화를 통해 세계 시장에서 국산 수산물의 경쟁력을 인정받는 것은 물론 양식어가의 소득수준 향상에 기여하고자 해양수산부와 국립수산과학원, 한국해양수산개발원 등 정부기관을 중심으로 스마트 양식장 클러스터, 수산양식 분야 ICT기반 융합 기술을 연구중에 있다[5].

양식장은 폐사확률을 줄이기 위해 주기적으로 양식생육 환경 확인 및 관리 작업이 필요하다. 이를 위해 선박에 장착된 크레인을 이용해 배양판, 먹이판 등을 들어 올려 확인하거나 전문 잠수부를 고용하여 확인 작업을 하고 있어 많은 시간이 소요되며, 잦은 인력투입으로 인해 비용적으로 매우 비효율적이다.

이에 본 논문은 양식장 생육 환경 관리에 최적화된 수중 드론을 제안한다. 2장에서는 수중 드론을 구성하는 H/W, S/W 및 구성 모듈의 설계 및 제작 기술에 대한 내용을, 3장에서는 드론 성능 측정 결과, 4장에서는 본 논문의 결과를 기술 한다.

II. 양식장 생육 환경관리를 위한 수중 드론 설계 및 개발

2.1 수중 드론 구동부 하드웨어 설계 및 제작

어장에 설치된 그물망 등 드론 운영 장애요소를 고려하여 양식장 작업 환경에 적합하고 해면 유속의 저항을 최소화하기 위해 타원형 드론 형태로 외형 케이스를 설계 하였다.

드론 내부에는 중앙 컨트롤부를 배치, 좌/우 하단에 배터리를 장착이 가능 하도록 구성하였다. 상/하 제어용 모터는 수중 드론의 중앙부에 설치하여 드론의 무게중심에 맞춰 배치하였다.

물의 방향성 및 수중 드론의 추진 방향 안정화를 위한 빗살형 취배수부를 설계하고 수중에 투입 시 드론 내부의 공기가 외부로 배출되지 않아 부력이 내부 부력이 형성되어 잠수 및 수평 유지가 어려운점을 고려하여 외부 케이스 공기 배출구를 설계하였다.

그림 1은 양식장 환경에 최적화된 수중 드론의 설계 디자인 형상이다.

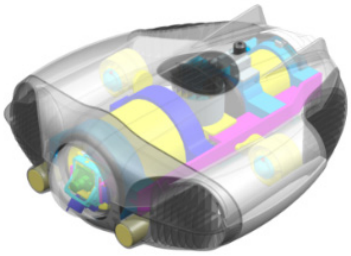

그림 1. 수중 드론 외부케이스 디자인 형상 설계
Fig. 1 Design of underwater drone external case

그림 2와 같이 수중 드론의 수평모터, 수직모터 및 전자 컨트롤부는 내부 기초 모듈로 구성 될 수 있도록 내부를 설계하였으며, 내부 프레임은 상/하 바디와 앞면, 수평 추력부, 상/하 추력부가 결합 되는 방식으로 조립이 가능 하도록 구성 설계하였다.

수중 촬영을 위한 팬/틸트 기능이 내장된 전방 카메라, 수중 시야 확보를 위한 LED 조명장치등의 드론 부가 장치들의 장착이 용이하도록 드론 전방에 돔 형태의 전면케이스를 설계 하였다.

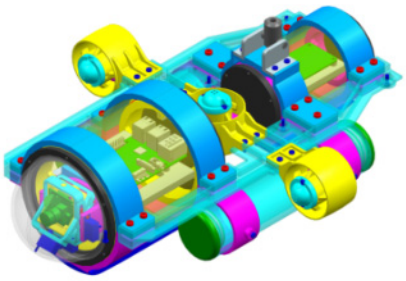

그림 2. 수중 드론 내부 배치 형상 설계
Fig. 2 Design of underwater drone internal case

3D프린팅 기반 수중 드론 외형 케이스 및 내부 기구물 시제품 목업 제작을 하였으며, 내/외부 케이스 및 장착 모듈을 조립하였다. BLDC 방수 모터는 상하 구동을 위한 수평형 2개, 전후구동을 위한 수직형 1개를 장착하였다.

그림 3은 수중 드론의 시제품의 내부 케이스, 장치 모듈, 수평 모터, 상/하 모터, 전자부 컨트롤러로 구성은 표1과 같다.

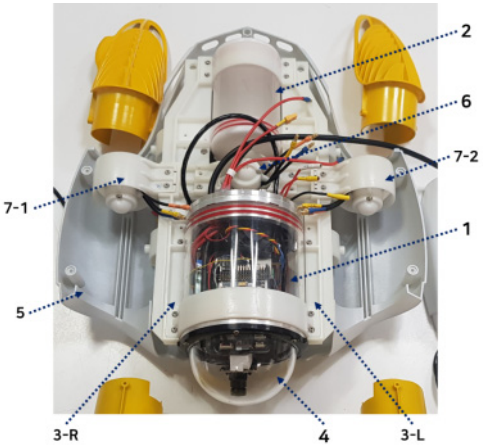

그림 3. 수중 드론 시제품 제작(내부) 결과물
Fig. 3 Underwater drone prototype production result (internal)

표 1. 수중 드론 내부 구성표
Table 1. Structure of underwater drone (internal)

No	Part Name
1	Main Control Box
2	Sub Box
3-L	Battery Left
3-R	Battery Right
4	Camera & Front Case
5	Bottom Case Body
6	Vertical Motor
7-L	Horizontal Motor Left
7-R	Horizontal Motor Right

그림 5은 수중 드론의 시제품의 외부 케이스, 취배수구 및 외부 장치 모듈로 구성은 표2와 같다.

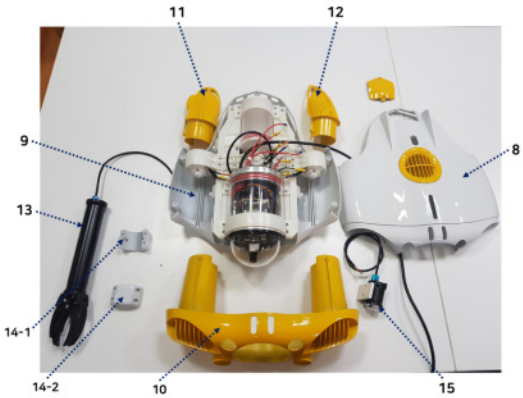

그림 4. 수중 드론 시제품 제작(외부) 결과물
Fig. 4 Underwater drone prototype production result (external)

표 2. 수중 드론 내부 구성표
Table 2. Structure of underwater drone (external)

No	Part Name
8	Top Case Body
9	Bottom Case Body
10	Ductpan Front Guard
11	Ductpan Left Rear Guard
12	Ductpan Right Rear Guard
13	Drone Robot Arm
14-1	Top Arm Guide
14-2	Bottom Arm Guide
15	LED Light

그림 5는 수중 드론의 주요 부품 및 모듈에 대한 최종 조립 결과 시제품이다.

그림 5. 수중 드론 최종 시제품
Fig. 5 Final prototype of underwater drone

2.2 수중 드론 전자부 메인 컨트롤러 설계 및 개발

수중 드론 전체 시스템 제어를 위한 메인 컨트롤러는 센서 데이터 기반 제어를 위해 가속도 센서, 자이로 센서(MPU-600), 지자계센서(HMC5883L), 압력센서(MS-5611)을 장착하고 센서 이중화를 통한 데이터의 신뢰성 및 안정성을 확보되도록 설계하였다[6].

전체 시스템 관리를 위한 메인 컨트롤용 마이컴은 STM32F427을 사용하며, 모터 제어만을 전담하는 보조 마이컴 STM32F103을 사용하였다. 타 제어부와 연계를 위한 다수의 통신 포트 및 추가 확장을 위한 외부 I/O Port를 구성하고 MicroSD 장착을 통해 자체 데이터 수집 및 저장이 가능하도록 구성하였다.

그림 6과 같이 메인 컨트롤러 회로 및 PCB를 설계하였으며 메인보드 시제품을 제작 하였다.

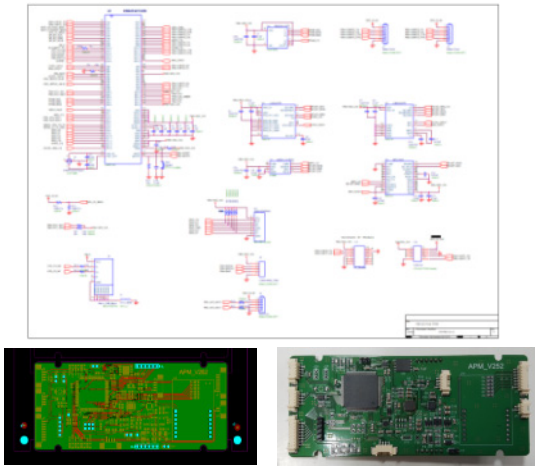

그림 6. 메인 컨트롤러 설계 및 제작
Fig. 6 Main controller design and manufacturing

메인 컨트롤러의 부하를 방지하고 수중 드론 운용 안정성 증대를 위하여 개별 모터 제어를 위한 전용 컨트롤러를 설계 하였으며 모터 제어를 위한 전용 Motor Driver Chip인 FD6288Q 제품을 활용하여 BLDC 모터 컨트롤의 안정성을 증대 하였다.

UART를 통하여 제어용 시스템과 통신을 하며, 자체 전원 안정화 장치를 내장하여 고장시 교체가 용이하도록 하였으며, 보호용 다이오드 및 전원 퓨즈를 내장하며, BLDC 모터에 많이 활용되는 MOSFET를 장착하였다.

2.3 수중 드론 전자부 메인 컨트롤러 펌웨어 개발

메인 컨트롤러의 펌웨어는 공개 소스 하드웨어 기반 PX4를 적용하여 장착된 센서 제어가 가능하고, 다수의 확장 포트의 I2C 통신이 가능하도록 구성, 외부 모듈과의 확장이 용이하도록 개발하였다.

내장 센서에 의해 수집되는 데이터를 활용하여 수중 드론의 수직/수평 상태 파악으로 3개의 BLDC 모터 제어를 통해 자세 안정화 기능을 구현하였으며, 수중이라는 특수성을 고려하여 BLDC 모터의 정/역방향 추진 최적화를 진행하였다[7].

그림 7과 같이 수중 드론 운용 프로그램은 공개 소스 Q-Ground를 기반으로 하여 수중 드론 상태 모니터링, 센서 세부 설정, 장착 BLDC 설정, 카메라 관리 등의 기능을 구현하였다.

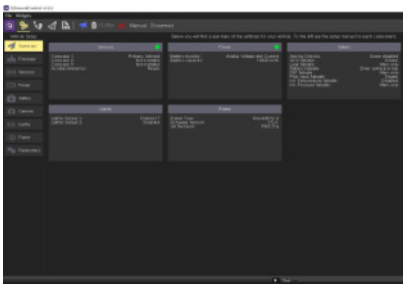

그림 7. 수중 드론 운용 소프트웨어
Fig. 7 Underwater drone operating S/W

2.4 수중 영상 데이터 수집 장치 설계 및 개발

수중 영상 데이터 취득을 위한 수집 장치는 라즈베리파이를 기반으로 USB 카메라를 이용하여 장착하여 오픈 소스형 영상 출력 프로그램과 연동으로 카메라를 통해 촬영된 수중 영상을 장착 보드에서 TCP to PLC로 전환되어 유선 케이블로 전송되며 변환 보드를 통해 PC로 데이터를 전송하여 실시간으로 확인할 수 있도록 설계 및 제작하였다[8].

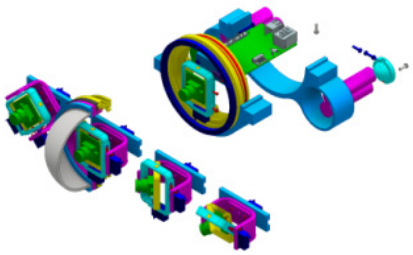

그림 8. 팬/틸트 기능이 적용된 수중 드론 카메라
Fig. 8 Underwater drone camera with fan/tilt function

2.5 원격 운용을 위한 관제 장치(Ground Control System) 설계 및 제작

수중 드론을 원격에서 사용자가 운용 및 제어를 할 수 있고 카메라에서 취득한 영상 데이터를 실시간으로 볼 수 있는 원격 관제 장치를 설계 및 개발하였다.

사용자가 원격 관제 장치를 통해 실시간 모니터링 및 드론 조정을 위한 컨트롤러는 드론 세부정보 출력을 위한 전면 모니터, 실시간 카메라 영상 출력을 위한 후면모니터를 중앙에 배치, 영상을 통해 수중 드론을 조정하기 위한 조이스틱과 세부 기능 수행을 위한 기능 버튼을 그림 9과 같이 설계하였다[9].

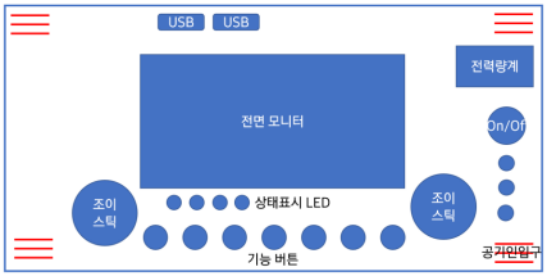

그림 9. 원격 관제 장치 제어부 설계
Fig. 9 Design of ground control system unit

그림 10과 같이 수중 드론 원격관제 장치는 양식장이라는 특수한 사용환경을 고려하여 전자부 보호를 위하여 박스형 방수 케이스를 설계하고 제어부에 부착되는 여러 장치를 고려하여 프레임을 설계 및 제작하고 산업용 PC를 내장하여 장치들과 연결하였다.

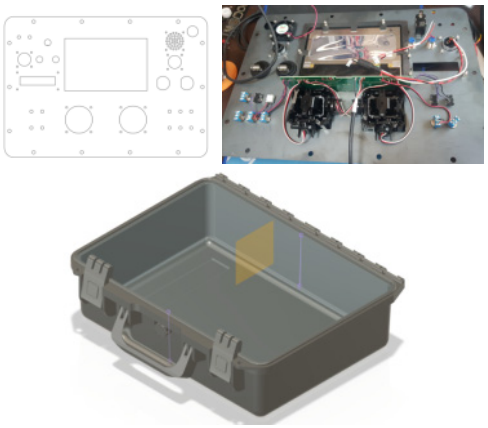

그림 10. 사용환경을 고려한 원격 관제 장치 제작
Fig. 10 GCS considering the environment of use

그림 11과 같이 수중 드론용 원격 관제 장치를 제작하였으며 구성도는 표 3과 같다.

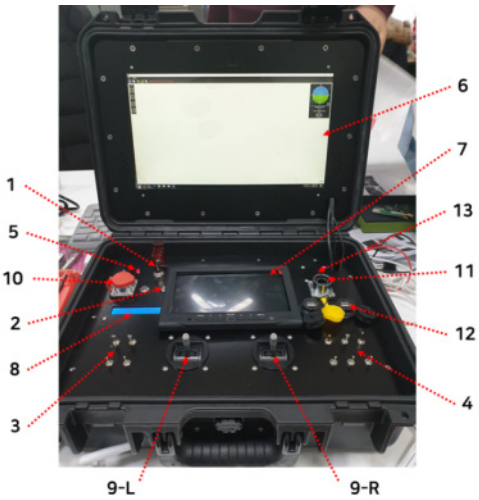

그림 11. 원격 관제 장치 제어부 설계
Fig. 11 Design of ground control system unit

표 3. 원격 관제 장치 구성도
Table 3. Diagram of GCS

No	Part Name
1	Main Power Switch
2	Power Switch
3	Switch(Startup On/Off, AUX)
4	Switch(Gripper, LED ON/OFF)
5	Power LED
6	Main Monitor
7	Drone Status Monitor
8	V/A Gauge
9-L	Left Joystick
9-R	Right Joystick
10	Charge Connector
11	Comm Connector
12	USB Port
13	Cooling fan

III. 수중 드론 성능 측정 및 검증

3.1 수중 드론 요구 성능

해양수산개발원에서는 '해양수산분야 드론 활용 확대방안 연구'를 시행 다양한 현장의 문제점을 기반으로 한 드론 활용에 대한 연구를 수행하였다. 해양수산분야에서 수산양식 분야 양식 수산물 모니터링을 위한 수중 드론을 제시하였으며 요구 성능은 표 4와 같다.

표 4. 해양수산개발원 제시 수중 드론 요구 성능
Table 4. Diagram of underwater drone required performance

Target	App Field	Performance	Funcition
Aquaculture products	Monitoring	20~100kPa	Video Collection

일반적으로 요구되는 수중 드론의 하드웨어 사양과 개발한 수중 드론의 사양은 표5와 같다.

표 5. 수중 드론 요구 및 제작 사양
Table 5. Underwater drone requirements and production specifications

Spec.	Requirements	Dev. Drone
Comm. method	cable/wireless	cable
Protocol	TCP/Wifi/RF	TCP
Control	Auto/Manual	GCS Manual
Operation Time	Min 2H	4H
Weight	5~10kg	8kg

3.1 수중 드론 방수 및 수압 성능 측정 및 결과

수압에 따른 방수 성능 테스트 표준 시험방법 METHOD 512.6 IMMERSION 시험 절차에 의해 500kPa(수심50M) 환경에서 30분을 유지한 결과 그림 10 시험성적서 결과와 같이 외형 변형 및 누수 없음을 확인하였다.

그림 12. 수압 성능측정 시험성적서
Fig. 12 Water pressure test report

IV. 결 론

본 논문에서는 양식장 생육 환경 관리를 위한 수중 모니터링이 가능한 특수목적용 드론을 제작하기 위해, 양식장 작업 현장에 최적화된 구동부 외형 디자인과 바닷속에서의 안정적인 구동을 위한 모터제어 및 통합컨트롤시스템, 수중 영상 촬영을 위한 카메라 장치, 실시간 통신이 가능한 원격 관제 장치의 설계 및 개발을 진행하였다.

크레인 인양이나, 잠수부 투입과 같은 사람 손에 의해 이루어지는 양식장 생육 환경 확인 작업은 수중 드론을 통해 적은 인원으로 빠르게 진행 할 수 있으며, 위험요소가 적어 안정적인 작업이 가능하다.

이를 통해 양식장 생육 환경에 대한 효율적인 관리 및 분석을 통해 양식장 폐사 위험을 줄이고 생산성을 향상할 수 있어 양식 어가의 안정적인 수익을 가져다 줄 수 있다.

수중 모니터링 기술은 스마트 양식장에서의 필수적인 핵심 기술로 최근 스마트 양식장 운용시스템에 수중 드론이 포함되어 관련 추가 연구가 진행되고 있으며, 양식장뿐만 아니라 다리 교각 하부 모니터링, 레저 낚시용 어군 탐지 등 다양한 곳에서 활용될 것으로 기대되며 이에 따른 수중 모니터링 기술이 적용된 제품에 대한 시장이 형성될 것으로 예상한다[10].

References

[1] Y. Chang, "Analysis of Promising Sectors in the Aquaculture Industry," *Korea Maritime Institute*, May 2017.

[2] "Fishery production trend," *Korean Statistical Information Service*, 2019.

[3] J. Yu, "Current Status and Future Tasks of the Smart Aquaculture Industry," *National Assembly Research Service*, December 2019.

[4] K. Kim, "The Rise of the Food Crisis Theory from Corona 19 and Response Tasks," *National Assembly Research Service*, April 2020.

[5] S. Hwang, O. Kim and S. Lee, "A Case Study on the ICT-Based Smart Aquaculture System by Applying u-Farms," *The Journal of Korea*

Information and Communications Society, vol. 39C, no. 2, July 2014, pp 173-181.

[6] J. Kim and E. Kim, "Design of Drone for Underwater Monitoring and Net Cleaning for Aquaculture Farm," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 6, Dec. 2018, pp. 1379-1386.

[7] D. Yoon, K. Lee, S. Han, Y. Kim and S. Lee, "A Study on Flight Stabilization of Drones by Gyro Sensor and PID Control," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 4, Aug. 2017, pp. 591-598.

[8] J. Choi, B. Kim, J. Yu, J. Choi, and S. Lee, "PID Controled UAV Monitoring System for Fire-Event Detection," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 1, Feb. 2020, pp. 1-8..

[9] Y. Moon, S. Roh, K. Jo and Y. Bae, "Robot Localization and Monitoring using OpenRTM in Outdoor Environment based on Precision GPS," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, April 2012, pp. 425-431.

[10] T. Lim, "Artificial Intelligence Technology Trends for Smart Aquaculture," *The Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 37, no. 4, Mar. 2020, pp 39-45.

저자 소개

유승혁 (Seung-Hyeok Yoo)

2012년 8월 : 순천대학교 석사
2015년 8월 : 순천대학교 박사 수료
2016년~ 현재 : 한국전자기술연구원 재직중

※ 관심분야 : 임베디드 시스템, 영상처리, 스마트가전, IoT 시스템

주영태 (Yeon-Tae Ju)

2006년 2월 : 순천대학교 졸업
2018년 3월 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과전공 박사과정

※ 관심분야 : 임베디드 시스템, 에너지 ICT, 영상처리, 멀티미디어

김종실 (Jong-Sil Kim)

2000년 2월 : 순천대학교 졸업
2018년 3월 ~ 현재 : ㈜휴인텍 대표이사 재직중
2018년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 컴퓨터공학과전공 박사과정

※ 관심분야 : 임베디드 시스템, 영상처리, 무선통신 기술

김응곤 (Eung-Kon Kim)

1980년 2월 : 조선대학교 공학사
1986년 2월 : 한양대학교 공학석사
1992년 2월 : 조선대학교 공학박사
1993년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어, HCI