Regular paper
Journal of the KIECS. pp. 1379-1386, vol. 13, no. 6, Dec. 31 2018, t. 92, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.6.1379

# 양식장 수중 모니터링 및 그물망 청소용 드론 설계

김진하* · 김응곤**

# Design of Drone for Underwater Monitoring and Net Cleaning for Aquaculture Farm

Jin-Ha Kim* · Eung-Kon Kim**

요 약

양식장에서 사용되는 기존의 수중 카메라는 제한된 구역만 촬영할 수 있으며, 수중 오염으로 인해 훼손되기 쉽다. 또한 양식장 그물망에 사료 공급에 따른 잉여 찌꺼기가 퇴적되어 양식장을 오염시키는 문제점이 있다. 이에 본 논문은 양식장 수중 모니터링과 그물망 청소를 위한 수중 드론을 제안한다. 수중 드론을 이용한다면 수중 영상 촬영, 모니터링과 양식장 그물망 청소가 가능하다. 이를 활용하면 양식장 환경 변화를 감지해 데이터를 수집할 수 있고 그 데이터를 기반으로 양식장 내에서 발생하는 변화에 대응할 수 있다. 더불어 통합 관제 시스템을 구축하게 되면 이를 통해 효율적이고 안정적인 스마트 양식장 구축이 가능할 것이다.

ABSTRACT

Conventional underwater cameras used in fish farms can only shoot limited areas and are vulnerable to underwater contamination. There is also a problem with contaminated farms as surplus residues are deposited as a result of feed supply to farms′ nets. This paper proposes underwater drones for underwater monitoring of fish farms and cleaning nets. If underwater drones are used for management of fish farms, underwater imaging, monitoring and cleaning of fish farms′ nets can be possible. By using this technology, data can be collected by detecting changes in the environment of a fish farm and responding to changes that occur within a fish farm based on the data. In addition, the establishment of an integrated control system will enable to build efficient and stable smart farms.

키워드

Aquaculture Farm, Embedded, Image Processing, Monitoring, Underwater Drone
양식장, 임베디드, 영상 처리, 모니터링, 수중 드론

## Ⅰ. 서 론

양식 산업은 우리나라 국민의 식량 공급에 중요한 역할을 담당하고 있다. 국토 면적이 좁고, 산지가 많은 대신 3면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 지형적 특성상 수산물을 통한 동물성 단백질 공급의 의존이 크고 이에 맞는 식문화가 형성되어 있으며 세계적으로 수산물을 통한 동물성 단백질 섭취 비중은 15%에 달한다[1].

하지만 남획과 해양 환경의 악화로 잡는 어업을 통한 수산물 공급이 제한되고 있는 것이 현실이다. 그 결과 양식 산업의 중요성은 더욱 커지고 있다.

이에 따라 잡는 어업에서 기르는 어업으로 변화되었고 양식 산업이 크게 발전해왔으며 2017년 기준 어

* 순천대학교 컴퓨터공학과(jinha1914@naver.com)
** 교신저자 : 순천대학교 컴퓨터공학과
· 접 수 일 : 2018. 11. 23
· 수정완료일 : 2018. 12. 04
· 게재확정일 : 2018. 12. 15
· Received : Nov. 23, 2018, Revised : Dec. 04, 2018, Accepted : Dec. 15, 2018
· Corresponding Author : Eung-Kon Kim
Dept. of Computer Engineering, Sunchon National University.
Email : kek@scnu.ac.kr

업 생산의 61.7%를 차지했다[2].

수산 선진국인 노르웨이, 덴마크 등의 국가들 또한 양식 산업에 투자하여 큰 성과를 얻어내 왔다. 현재는 1인 제어가 가능한 스마트 양식 기술을 도입하여 생육 환경 모니터링 및 제어, 먹이 공급 등을 홀로 관리할 수 있게 되었다. 그 결과 세계 수산 시장을 주도하고 있다[3].

이와 같은 변화에 대응하여 국내 수산업도 좀 더 발전할 필요가 있다. 4차 산업혁명 시대에 발맞춰 세계적 수준의 ICT 기술력을 양식업에 접목하여 IoT 기반 양식 데이터 수집 기술과 통합관제 기술 등 각 요소에 대한 기술을 연구 및 발굴하는 등의 노력을 통해 수산 양식을 첨단화해야 한다. 이를 통해 세계 시장에서 국산 수산물의 경쟁력을 인정받는 것은 물론 양식 어가의 소득 수준 향상에도 기여할 수 있을 것이다[4].

이렇듯 양식 산업이 발전함에 따라 정부에서는 그물망의 주기적은 청소를 권장하고 있으나 어업의 특성상 청·장년층의 유입이 적고 국내 어가인구는 13만7천명으로 지속적 감소추세이며, 노령인구의 비중은 30%에 달해 양식장 관리에 어려움이 많다.

이에 반해 현재 드론의 경우 90% 이상이 군사용이다. 그러나 최근에는 원격탐사, 정보통신, 환경 감시, 교통, 치안, 재난구조, 물류, 농업, 영화 촬영 등 공공 및 상업용 다목적 드론으로 활용되고 있다[5]. 또한 무인 항공기 시장 전망에 대해 미국 방산업 전국 컨설팅 업체인 틸 그룹은 세계 드론 시장 규모가 2015년 40억 달러에서 2024년 147억 달러 규모로 급증할 것으로 예상하고 있고 소형 드론 시장은 급성장해 전체 시장 규모가 2024년까지 연평균 15% 성장할 것이라고 전망하고 있다[6]. 그러므로 양식장 관리에 드론을 활용하여 수중 작업을 한다면 보다 효율적인 양식장 관리가 가능할 것이다.

양식장 모니터링 기술은 스마트 양식장의 핵심 요소이다. 하지만 기존에 모니터링을 위해 사용하던 카메라와 센서들은 장시간 수중 오염으로 인한 훼손 등의 문제가 발생하며, 타미머 또는 사용자 제어에 의해 필요시 카메라 및 센서가 수중에 삽입되는 형태로 발전되어 왔다.

또한 고정형 설치로 인해 해당 구역의 영상만 획득 가능하기에 사각지대는 사람이 직접 촬영하여야 하므로 인명 및 재산 피해가 발생하고 있다. 또한 문제 발생을 최소화하기 위해선 24시간 상시 모니터링을 필요로 한다[7].

이에 본 논문은 수중 모니터링에 최적화된 수중 드론 개발을 목적으로 하여 수중 모니터링에 최적화된 수중 드론 개발을 목적으로 한다. 임베디드를 기반으로 한 베이스보드를 개발하고 수중 자유 유형을 위한 하드웨어를 개발한다.

자세 제어를 위한 센서 장착 및 설계를 통해 고정되어 있지 않고 움직이며 수조 내 상황을 모니터링 할 수 있는 시스템과 원격 모니터링 및 제어 소프트웨어 설계를 통해 영상을 실시간으로 전송하고 분석할 수 있는 양식장 수중 모니터링 시스템을 개발한다.

더불어 드론에 오염물질 제거를 위한 로봇 암 장치 연계 기능 개발 접목한 그물방 청소용 드론 개발을 제안한다.

## II. 양식장용 수중 모니터링

### 2.1 사용 환경을 고려한 드론 외형 개발

현재 국내·외에는 다양한 수상, 수중 활동에 사용되는 수중드론 제품들이 개발되거나 출시되고 있다. 이러한 드론들의 경우 각자의 특징을 가지고 출시되고 있다.

아래에 제시된 그림 1, 2, 3은 기존에 개발되어 있는 수중드론을 나타내는 것이다.

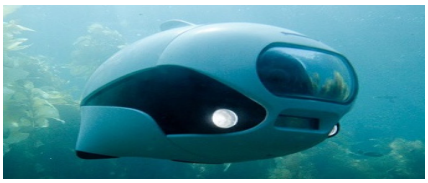

그림 1. 물고기를 형상화한 비키
Fig. 1 Fish-shaped biki

그림 2. 유선형 방식의 글라디우스
Fig. 2 Streamlined gradius

그림 3. 팔로우미 기능의 아이버블
Fig. 3 Follow me in ibubble

그림 1의 비키(Biki)의 경우 물고기를 형상화한 제품으로 무선형 구조이며 꼬리지느러미를 사용해 최대 시속 1.8km로 유영이 가능하다. 최대 수심 60m까지 잠수가 가능하며, IMU 센서와 적외선 감지 센서로 균형을 유지하고 장애물을 회피할 수 있다는 특징이 있다. 화면 떨림 방지 기능을 갖춘 105도 4K 카메라도 장비하고 있다.

그림 2의 글라디우스(Gradius)는 유선형 구조이며 4개의 스러스트를 사용해 최고 시속 7km 속도로 유영이 가능하다. 최대 3시간 동안 잠수가 가능하고 최고 100m 아래 바다에서도 활동이 가능하며, 16MP 카메라를 장비해 4K 영상 활영이 가능하다.

그림 3의 아이버블(Ibubble)은 무선형 제품이라는 것과 손목시계형 조종장치를 인식해 사용자를 따라다니는 팔로우 미 기능을 갖추고 있으며 고프로 액션캠을 사용하고 360도 회전 촬영 및 장애물 회피 하는 기능을 갖추고 있다.

각각의 제품의 경우 해양 탐사의 목적으로 만들어져 있거나 스쿠버 다이버 보조용으로 수중 촬영 및 여가 활동을 위한 수중 드론이기 때문에 실질적으로 양식장 관리 및 모니터링, 그물망 청소와 같은 기능을 기대하기 어렵다.

그림 4는 본 논문에서 제안하는 라운드형 드론이다.

기존 제품들의 실직적인 양식장 관리 적용 문제를 극복하기 위해 양식장이라는 작업 장소의 특수성을 고려하였다. 최소 작업자로 운용이 가능하도록 소형화하였고 총 중량 5Kg 미만의 가벼운 제품으로 개발하였다.

수상에서 수중으로 투척이 가능하도록 라운드 외형으로 설계되었으며, 수상으로 올릴 때 주변 그물망에 간섭이 없는 디자인이다. 수심 30M까지 방수가 가능하며, 최대 유속 1m/sec 내 작동이 가능하도록 고안하였다.

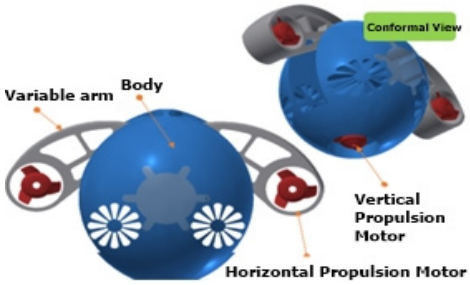


그림 4. 라운드 외형 드론
Fig. 4 Round shape drone

원가 절감을 위한 좌/우/상하 모터는 최소한의 수량 즉, 4개의 수중 모터 장착으로 구동이 가능하며 유지 보수가 용이한 제품으로 구성하였다. 협소한 공간에서 자유로운 유영을 위한 방안으로 상하 이동을 위한 수직 방향 모터 2개, 수평방향 모터 2개를 장착하였다.

### 2.2 방수식 모터 개발

수중 드론의 핵심 부품인 방수 모터는 모듈로 개발하여 장착 및 교환이 편리하도록 구성하고 부식에 강한 소재를 적용한다. 이를 위해 BLDC 모터를 채택하였다.

그림 5는 BLDC 모터를 나타낸 것이고 BLDC 모터의 사양은 표 1과 같다.

그림 5. BLDC 모터
Fig. 5 BLDC motor

BLDC 모터는 기존의 DC 모터에 비해 Brush의 마모가 없으므로 전기적, 기계적 잡음이 적고 반영구적이다. 따라서 유지보수가 필요 없고 고속회전에 무리가 없다.

표 1. 송풍모터 스펙
Table 1. Specifications of blowing motor

| Item | Spec |
|---|---|
| type | Open-type motor |
| Outer diameter | 50~65mm(Fan size) |
| Length | 55~65mm |
| Volume | 20~25A |
| thrust | 1.2~1.5kg |
| Operating flow rate | Within 1m / sec |

또한 기계적 접점이 없으므로 고속화가 용이하고 스파크(아크)나 잡음 등의 에너지 손실이 없어 축전지 효율이 개선되며 신뢰성이 높고 모터의 소형화와 경량화가 가능하다.

그리고 홀센서로부터 모터의 속도를 정확히 알 수 있으므로 일정속도제어 및 가변속제어가 용이하고 자석을 이용하기 때문에 전력 밀도와 효율성이 상대적으로 높다.

추가적으로 사용 환경을 고려한 최적의 방수 기능 구현 및 성능 보장이 가능하도록 모터 코일 부분에 대한 방수기능을 최우선적으로 고려한 제품을 설계하고자 한다.

### 2.3 센서 기반 시스템 제어용 메인 컨트롤러 개발

전체 시스템 관리과 그 하위 시스템과의 연계를 담당하는 메인 컨트롤러를 설계하였다. ARM Cortex-M4 기반으로 제작되었으며, 자세정보와 탐사정보를 획득하기 위한 가속도 센서, 지자기 센서, 자이로 센서를 포함하고 있다. 이들은 각각 Roll, Pitch, Yaw 값을 수집한다. 또한 AHRS 모듈이 포함되어 9Dof 센서 데이터를 수집할 수 있다.

그리고 수심 측정을 위한 수압 데이터 수집용 센서 장치를 장착하고 데이터 수집용 모듈을 설계 및 제작하였다.

외부 모터 컨트롤러, 전원공급장치, 카메라 등 다수의 시스템을 제어하기 위해 UART 통신포트, CAN 통신포트, I2C, SPI 통신 포트를 내장하였다.

그림 6은 센서 기반 시스템 제어용 메인 컨트롤러의 구성도이다.

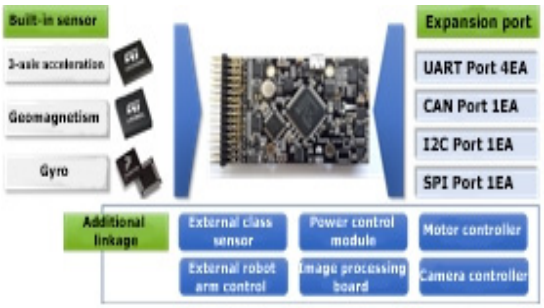


그림 6. 센서 기반 시스템 제어용 메인 컨트롤러 구성도
Fig. 6 Main controller based on sensor

### 2.4 제어용 메인 컨트롤러 펌웨어 개발 및 개별 모터 제어를 위한 컨트롤러 개발

아래 그림 7은 표준 PID 제어 알고리즘을 나타내는 것이다.

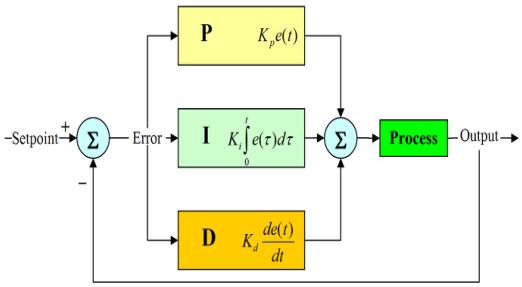


그림 7. 표준 PID 제어 알고리즘
Fig. 7 Standard PID control algorithm

드론의 경우 움직임에 상하좌우 움직임에 따른 기울기에 맞추어 모터의 회전속도를 조절하는 것이 매우 중요하다. 이때 필요한 것이 PID 제이이며 PID 제어기는 설정 값과 현재 값의 오차를 각각 비례, 적분, 미분한 값을 제어기의 출력으로 내는 제어이다. 식 (1)은 PID 제어기의 기본 식이다.

$$u(t) = K_{(pe)}(t) + K\int_0^t e(t)dt + K_D\frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

PID 제어기에서 P, I, D의 각각 이득 값은 고유한 역할을 가진다. P 제어기는 일종의 스프링과 같은 역할을 하는데, P의 이득 값이 증가하면 시스템의 응답속도가 빨라지나 동시에 불안정성이 증가하는 경향이 있다. I의 제어기는 정상상태 오차를 없애주는 역할을 하지만 I의 이득 값이 커지면 오버슛이 증가하고 시

스템이 불안정해지는 효과가 있다. D의 제어기는 일종의 저항기와 같은 역할을 하는데 D의 이득 값을 증가시키면 시스템이 Stable 해지는 효과가 있지만 값이 너무 커지면 오히려 시스템을 급격히 불안정하게 만들 수 있다[8].

그리고 이러한 정보를 센서에서 수집된 데이터를 기반으로 하여 필터링 알고리즘 도입을 통한 위치/상태 값 분석용 프로그램 개발하였다.

상태 값 데이터를 활용한 수중 드론의 수직/수평 상태 파악 및 자세 안정화 기술을 개발하고 상태 데이터 기반 모터 제어용 프로그램과 BLDC로 설계된 방수형 모터를 제어하기 위한 모터 컨트롤러 설계 및 개발하였다.

BLDC 모터 컨트롤러는 교체의 편리성과 A/S 비용 절감을 위해 단일 모듈 방식으로 개발하였고 모듈화로 구성된 모터 컨트롤러의 장착과 컨트롤러 전원 공급을 위한 베이스 보드를 설계 및 제작하였다.

### 2.5 영상 데이터 수집용 카메라 시스템 개발

기존에는 수중 음향 탐지기나 스킨 스쿠버에 의해 어망의 손상이나 움직임 등을 관리되었다. 그러나 양식장의 규모가 커져 그러한 방식으로는 한계가 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해서는 영상 촬영 장치를 이용한 모니터링과 이를 위한 영상 수집 시스템이 필요하다.

이에 따라 수중 드론의 전방에 카메라를 장착하여 영상 데이터를 수집, 저장 및 전송이 가능한 시스템을 개발하였다.

상하좌우 영상을 취득할 수 있도록 팬틸트 기능을 내장한 카메라 제어용 보드를 개발하고 내장한 카메라는 배율 조정이 가능한 카메라를 사용하였다.

카메라 제어용 보드는 UART 또는 I2C 통신을 통하여 메인 컨트롤러와 연동되며, Micom이 내장된 보드로 개발하였다.

그림 8은 본 논문에서 제안하는 드론의 외형과 카메라 위치이다.

### 2.6 취득 영상 기반 양식어류 크기 측정 기술 개발

기존 수중음파탐지기를 이용하여 추정하던 양식 어류의 크기 측정을 영상 데이터 기반 크기 측정 기술로 전환하였다.

그림 8. 카메라와 드론 외형
Fig. 8 Drone and camera

고배율 카메라에서 수집된 영상 데이터를 기반으로 양식 어류의 크기를 측정할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

카메라에서 취득한 동영상을 스틸컷 영상으로 변환하고 이를 기반으로 객체들의 크기 측정하여 그 크기의 평균값 표시하는 프로그램을 개발하였다.

또한, 스틸컷 영상 자동 보정하고 원격으로 전문가에게 문의할 수 있도록 스틸컷 자동 저장 및 전송 시스템도 구현했다.

### 2.7 양식 시설 위생관리를 위한 로봇 암 개발

양식 특성상 인위적인 사료 공급에 따른 잉여 찌꺼기와 양식 생물의 배설물이 발생하여 그물 및 바닥에 퇴적된다. 이는 용존산소를 부족하게 하고 황화수소를 발생시켜 양식장 대량 폐사의 주요 원인이 되며, 주변 환경까지도 오염시킨다.

그물망에 쌓인 퇴적물은 바닷물의 이동을 방해하며 오염된 사료 찌꺼기 섭취로 인한 양식 어류의 질병 발생 가능성도 있어 이를 주기적으로 제거해야 한다. 이러한 양식장 그물 수중청소는 민간 잠수부의 수작업으로 청소가 이루어지고 있다.

그림 9, 10은 양식장의 오염된 그물과 수작업을 통해 그물망을 청소하는 모습이다.

하지만 수중과 같은 제한된 환경에서의 작업은 언제 돌발 상황이 발생할지 모르기 때문에 주위의 환경 변화를 항상 주시해야 하며 그에 대한 적절한 대응을 해주어야 한다[9]. 따라서 높은 비용을 필요로 하며 안전 문제에 따른 작업기피로 잘 이루어지지 않는 문제점이 있다.

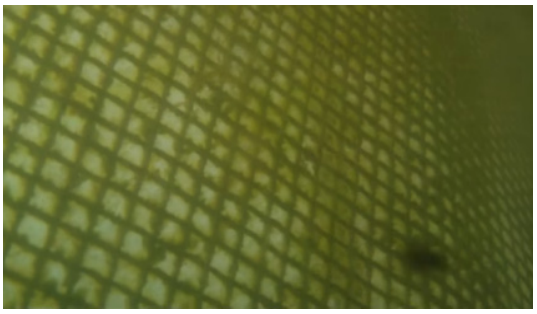

그림 9. 양식장의 오염된 그물
Fig. 9 Contaminated net in the farm

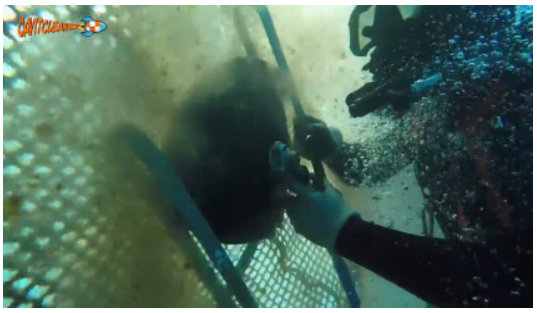

그림 10. 오염된 양식장 그물을 청소하는 모습
Fig. 10 Cleaning contaminated farm net

이에 반해 수중 드론은 수작업과 비교하여 안전성이 보장된다. 드론의 경우 수중 환경에 맞춰 원격으로 제어가 가능하며 인명피해나 안전 문제 등의 발생을 최소화 할 수 있다.

그리고 수작업의 경우 일정 시간의 수중 작업을 하고 난 후에는 휴식이 필요하지만 드론의 경우 휴식의 개념 없이 지속적인 수중 작업을 통해 보다 빠른 작업이 가능하다.

또한 수작업의 경우 높은 비용을 필요로 함은 물론이고 정기적으로 청소 할 경우 그 부담은 더 커지게 된다. 하지만 드론의 경우 하나의 제품을 유지·보수를 통해 지속적으로 사용 가능하며 수시로 청소가 가능하여 효율적이다.

이에 본 논문에서는 수작업의 문제점을 보완하기 위해 양식장 어망에 붙은 사료와 어망에 걸려서 부패가 발생되는 어류폐사 제거를 위한 원격 제어 가능한 탈착형 제품을 설계하였다.

수중에서 사용이 가능하도록 방수 기능이 포함되며, 내부 드론 컨트롤러와 연계되어 제어가 가능한 장치 방수형 서보모터 2개 이상으로 구성되고 500g의 견인력을 가지는 접이식 로봇 암을 개발하였다.

## III. 결론

수중 드론 구동 부를 제안했다. 양식장 환경을 고려하여 드론 외형을 제안하였고 방수식 모터를 사용하였다. 수상에서 수중으로 투척이 가능하고 수상으로 올릴 때 주변 그물망에 간섭이 없다. 협소한 공간에서 자유로운 유영이 가능하다.

센서 기반의 시스템 제어용 메인 컨트롤러를 개발하였다. 전세 시스템을 관리할 수 있으며 하부 시스템과의 연계를 담당한다.

영상 데이터 수집용 카메라 시스템을 개발하였다. 모니터링을 위한 영상 수집용 시스템으로 영상 데이터를 수집, 저장 및 데이터 전송이 가능하다. 취득 영상을 기반으로 양식 어류의 크기 측정이 가능하며 그 평균값을 표시할 수 있다.

수중 드론을 통해 기존 카메라와 센서들이 지닌 한계를 극복할 수 있고 여러 추가 비용들을 획기적으로 절약할 수 있다. 또한 그물망 청소 기능으로 인해 그물망 관리 비용을 절약할 수 있으며 인명 사고를 줄일 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역특화산업육성(R&D) 기술개발사업으로 수행된 연구결과입니다.

한국전자통신학회 2018년도 가을철 학술대회 우수 논문임

## References

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

[2] Statistical Office, “Fishery production trend survey,” 2017.

[3] M. Chang, L. Yun, L. sang, A. Ji, and Y. Mi, “Industrialization of advanced aquaculture technology,” *Korea Maritime Institute*, 2015.
[4] H. Sung, K. Oe, and L. Seok, “A Case Study on the ICT-Based Smart Aquaculture System by Applying u-Farms,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 39, no. 2, Feb. 2014, pp. 173-181.
[5] O. Se, “A Case Study Civilian Drone,” *Summer Conf. of Korean Broadcasting Engineering Society*, July 2015, pp.315-318.
[6] Y. Dan, L. Kyu, H. Sang, K. Yong, and L. Seung, “A Study 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.
[7] L. Jae, K. Han, K. Jun, B. Jea, and R. chan “Remote Control Robot Arm Using Leap Motion Sensor and Bluetooth Communication,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences,* vol. 12, no. 6, Dec. 2017, pp. 1127-1134.
[8] C. Joon and L. Dong, “Android-based Implementation of Remote Monitoring System for Industrial Gas Turbines,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, Apr. 2018, pp. 369-376.
[9] L. Jae, K. Han, K. Jun, B. Jea, and R. chan “Remote Control Robot Arm Using Leap Motion Sensor and Bluetooth Communication,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences,* vol. 12, no. 6, Dec. 2017, pp. 1127-1134.

## 저자 소개

**김진하(Jin-Ha Kim)**

2015년 3월 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과 재학

※ 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 그래픽스

**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