

다중 드론 및 드론스테이션을 이용한 순환임무 시스템 구현

김영규^{*1}, 김송현^{**1}, 신성균^{**2}, 이민재^{**3}, 한상수^{**4}, 양희철^{***1}, 강병환^{***2},
강태창^{****1}, 정호현^{****2}, 김대년^{*2}, 김건우^{*3}, 백승현^{*****}

Implementation of Shift-Rotating System Employing Multi Drones and Drone-Stations

Young-Kyu Kim^{*1}, Song Hyun Kim^{**1}, Sung Gyun Shin^{**2}, Minjae Lee^{**3}, Sangsoo Han^{**4},
Hee Chul Yang^{***1}, Byung Hwan Kang^{****2}, Tae Chang Kang^{****1}, Ho-Hun Jung^{****2},
Dae-Nyeon Kim^{*2}, KunWoo Kim^{*3}, and Seung Hyun Paik^{*****}

본 연구는 국토교통부 ‘공공혁신조달 연계 무인이동체 및 SW 플랫폼 개발사업’의 연구비지원(21DPIW-C164947-01) 및 국토교통부 ‘국토교통 기술사업화를 위한 이어달리기 사업’의 연구비지원(RS-2022-00154686)에 의해 수행되었습니다.

요 약

회전익 드론(Rotary-wing drone)은 제자리비행(Hovering)이 가능하기 때문에 다양한 산업분야에 활용되고 있다. 하지만 회전익드론은 에너지 효율이 좋지 않으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 무인 드론스테이션(Drone-station)이 개발되고 있다. 본 논문은 드론 순환임무 시스템을 구현하고 기능을 검증하였다. 드론 순환임무 시스템은 다수의 드론과 무인 드론스테이션, 그리고 관제시스템으로 구성된다. 본 논문은 자율비행 드론, 자동 배터리 교체식 드론스테이션, 그리고 관제시스템을 실제로 제작하였으며, 드론 순환임무 시스템의 검증을 위해 드론과 드론스테이션을 대신할 수 있는 더미(Dummy) 프로그램을 함께 개발하였다. 본 논문은 제작된 실제 드론 및 드론스테이션, 그리고 더미 드론 및 드론스테이션을 이용하여 드론들의 임무중단 및 임무재개 상황을 모의실험 하였다. 실험결과, 드론 순환임무 시스템의 드론들은 끊임없이 비행이 연속되는 것을 확인했다.

Abstract

Since rotary-wing drones have an ability for hovering, various industry sectors utilize rotary-wing drones. However energy efficiency of rotary-wing drones is major drawback, thus unmanned drone-stations have been developed in order to overcome the weakness. This paper implements a drone shift-rotating system, and verifies functions of the system. The system consists of multi drones, unmanned drone-stations, and a ground control station(GCS). We actually produced the automatic fly drones, the automatic exchangeable-battery drone-station, and the GCS. Moreover dummy programs alternated the drones and drone-stations, and were made for checking consistency of the operation of the drone shift-rotating system. This paper simulated a situation about mission interruption and assignment among drones by combining the produced drone and drone-station with the dummy drone and drone-station. Experimental result showed the flight of drones in the drone shift-rotation system constantly continued.

Keywords

Multi drone, drone, drone-station, drone mission, drone GCS

* 경북IT융합산업기술원

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-8328-0671>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-3887-573X>
- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0007-8409-5156>

** (주)시에라베이스

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0003-0305-3266>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-4431-412X>
- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0001-7977-6810>
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0002-4767-8076>

*** (주)그리폰다이나믹스

- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0004-7900-2961>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0004-6249-3709>

**** (주)대류

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-2350-1807>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-6382-9196>

***** 경북IT융합산업기술원(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5624-554X>

• Received: Aug. 01, 2023, Revised: Dec. 01, 2023, Accepted: Dec. 04, 2023

• Corresponding Author: Seung Hyun Paik

Gyeongbuk Institute of IT Convergence Industry Technology, 106-ho, 25, 12-gil,
Gongdan 9-ro, Jinrang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongbuk, 38463, S. Korea
Tel:+82-53-245-5051, Email: shpaik@gitc.or.kr

1. 서 론

드론은 무선 전파를 이용해서 지상 또는 외부에서 조종할 수 있는 무인항공기(Unmanned aerial vehicle)이며, 최근에는 입력된 프로그램에 따라 조종사가 탑승하지 않은 채 원격 조종이 가능하거나 자율비행 할 수 있는 비행체로 개념이 확대되고 있다. 드론은 날개의 형태에 따라 고정익 드론(Fixed wing drone)과 회전익 드론(Rotary wing drone)으로 분류할 수 있으며 최근에는 고정익과 회전익이 결합된 전기수직이착륙기(eVTOL, electric Vertical Take-off and Landing aircraft)도 많이 개발되고 있다[1].

고정익 드론은 비행기와 같이 날개가 고정된 형태의 드론을 말한다. 고정익 드론은 기체가 이동하면서 날개에 발생하는 공기의 저항을 아래쪽으로 향하게 하여 추력을 얻는 드론으로서 활강이 가능하여 에너지 효율은 좋지만, 이륙과 착륙 시 넓은 활주로가 요구되는 단점이 있다[1]. 회전익 드론은 헬리콥터(Helicopter)와 같이 모터에 연결된 프로펠러(Propeller)를 회전시켜서 추력을 얻는 드론이다. 회전익 드론은 제자리비행(Hovering)과 수직 이·착륙이 가능하므로 고정익 드론과 같은 활주로는 요구하지 않지만 비행 중에는 중력과 끊임없이 줄다리를 계속해야 하므로 에너지 효율이 좋지 않다. 회전익 드론은 제자리 비행을 하면서 안정적인 자세를 유지할 수 있기 때문에 다양한 응용분야에 적용가능하고 산업용으로 많이 사용되고 있다[2].

회전익 드론이 다양한 산업·사회 분야에서 사용됨에 따라 최근에는 도시 단위의 광활한 임무 수행반경이 요구되고 있으며, 이를 충족할 수 있는 장시간 비행이 가능한 드론제조 기술에 관심이 집중되고 있다. 하지만 드론의 임무 복잡도가 함께 높아지고 드론에서 처리해야할 데이터양이 증가함에 따라 고성능 병렬처리 임무컴퓨터(Mission computer), 고해상도 카메라, 열화상카메라, 스테레오카메라(Stereo-camera), 라이다(LiDAR, Laser imaging, Detection, and Ranging) 등 드론 임무장비의 종류와 중량이 함께 증가하고 있다[3]. 따라서 회전익 드론의 비행시간 및 임무중량은 임무수행 적합도를 판단하는 중요한 지표가 된다.

회전익 드론은 전기에너지를 주로 사용하므로,

회전익 드론의 비행시간은 드론 전장부품들의 전력관리능력 뿐만 아니라, 배터리팩(Battery-pack)의 용량과 경량화 기술에 크게 영향을 받는다[2]. 특히 배터리의 무게와 용량은 비례관계이며, 배터리 무게를 고려한다면 드론 비행시간과 배터리 용량은 이율배반 관계가 된다. 최근 배터리 기술은 모빌리티 산업의 활성화와 함께 많은 발전을 이루고 있으며, 에너지 밀도가 더욱 높은 배터리를 안정적으로 드론에 사용할 수 있기를 기대하고 있다.

회전익 드론의 임무수행 반경을 넓히거나 복잡한 임무를 수행하기 위해 다수의 드론이 협업하여 임무를 수행하는 기술이 연구되고 있다[4]. 장시간 수행되어야 할 임무에 여러 대의 드론들이 순환근무 형태로 임무교대를 하며 작업을 수행하는 방식이 있으며, 편대 비행을 통해 분배된 작업을 각각 수행하는 방식도 있으며, 순환 방식과 편대 방식을 결합한 방식도 가능하다. 다수의 드론이 협업을 하더라도 임무가 교대된 드론은 다음 임무를 위해 배터리를 보충해야 하므로 배터리 제약에서 완전히 자유로워지는 것은 아니다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 드론스테이션이 대안으로 제안되었다[5]. 드론스테이션을 임무에 도입하면 드론의 비행시간 및 임무반경이 확장될 수 있다. 본 논문은 다중 드론 및 드론스테이션을 이용한 순환임무 시스템에 대한 연구이다.

본 논문은 다중 드론 순환임무 시스템 개발을 위해 선행 연구된 결과들을 실제 구현하여 기능을 검증하였다[2][5]-[8]. 각각의 드론은 LTE통신 기반으로 자율비행이 가능하며, 다중 드론의 협업 과정에서 배터리 제약을 해결하기 위해 본 논문은 배터리를 자동으로 교체해 줄 수 있는 드론스테이션을 구현하였다. 또한 드론스테이션과 드론들의 상태관리, 그리고 드론들의 임무교대 및 배터리교체를 원활하게 관리하기 위해 선행 연구된 결과들을 활용하였으며 선행 연구된 결과들을 통합하여 관제할 수 있는 관제 프로그램을 함께 개발하였다. 본 논문의 2장에서는 다중 드론 순환임무 시스템을 구성하는 세부 장치 및 기술들에 대한 설명하고, 3장에서는 실제 구현된 시스템을 상세히 설명한다. 4장에서는 구현된 시스템의 기능 검증 과정과 결과를 설명하고 5장에서는 본 논문과 기존 연구들의 차별성을 설명하였으며, 6장에서는 결론을 맺는다.

II. 다중 드론 순환임무 시스템 요소 기술

본 장에서는 드론 순환임무 시스템을 구성하고 있는 세부 시스템 및 핵심 기술들에 대해 설명한다. 드론 순환임무 시스템은 자율주행 드론, 드론스테이션, 관제시스템(GCS, Ground Control Station)으로 구성되며, 핵심 세부기술로는 드론정밀착륙기술, 드론 정렬기술, 목표지점 마커인식기술, 통합관제기술 등이 있다.

2.1 드론스테이션

드론스테이션은 드론에게 안전한 착륙 장소를 제공하고 착륙한 드론이 다시 비행을 할 수 있게 전기에너지를 보충하는 역할을 한다. 무인 드론스테이션은 드론의 착륙 및 전기에너지 보충을 자동으로 할 수 있기 때문에 임무 수행 지역에 드론스테이션이 있으면 드론의 임무수행 반경이 넓어 질 수 있으며 다중 드론 및 드론스테이션을 운영하면 넓은 반경의 임무 지역에 장시간 임무 수행이 가능하다[5].

드론스테이션의 설치 환경과 목적에 따라 덮개가 필요한 경우가 있으며 덮개의 개폐를 자동으로 해야 할 경우에는 개폐 시스템이 드론스테이션에 내장되어 있어야 한다. 드론스테이션의 전기에너지 보충은 배터리 충전 방식과 배터리 교체방식이 있다. 배터리 충전 방식은 비접촉식과 접촉식으로 다시 구분된다. 비접촉 배터리 충전 방식은 유도기전력을 이용한 충전 방식이며 접촉식에 비해 드론의 정밀착륙을 요구하지는 않지만 오랜 충전시간이 필요한 단점이 있다. 접촉식 배터리 충전 방식은 고속충전이 가능하지만 충전 단자에 정확히 접촉하기 위해 드론의 정밀착륙기능이 요구되며, 정밀착륙 오차를 보정하기 위한 드론 정렬 장치가 드론스테이션에 요구된다. 배터리 교체방식은 드론스테이션에 준비되어 있는 배터리를 드론에 자동으로 교체하고, 교체된 배터리는 충전해서 준비하는 방식으로서 드론의 임무 재개를 준비하는 시간이 극단적으로 짧은 장점이 있지만 드론스테이션과 배터리팩의 기계적 구조가 복잡해지는 단점이 있다. 배터리 교체방식 역시 교체될 배터리가 기계장치에 정확히 물려야하

기 때문에 정밀착륙 후 착륙오차 보정을 위한 정렬장치가 요구된다. 그림 1은 본 논문의 선행연구에서 설계한 드론 정렬장치의 3D 설계 도식이다.

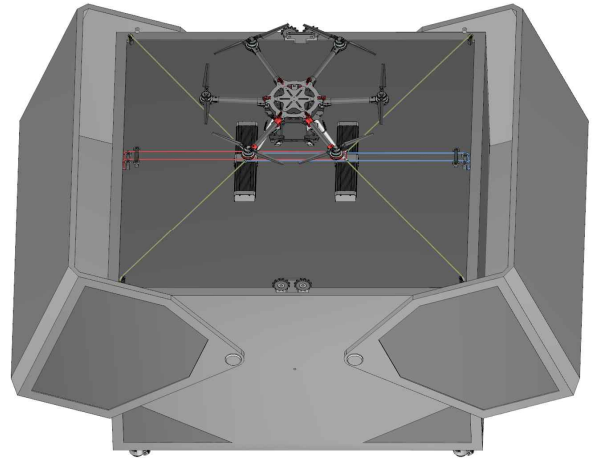


그림 1. 드론 정렬 완료 후 드론 위치 및 와이어 상태[5]
Fig. 1. Drone position and wires status after the drone position adjustment[5]

2.2 드론 정밀 착륙

드론으로 수행하는 임무의 종류가 다양해짐에 따라 목표지점에 정확하게 착륙할 수 있는 정밀착륙 기술이 중요성이 부각되고 있다. 드론 정밀착륙은 위성항법시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)을 이용하는 방법과 영상으로 착륙환경을 인식하는 방법으로 구분된다.

위성항법시스템을 이용하는 방법은 GPS(Global Positioning System)와 같은 항법센서를 기반으로 자신의 위치를 측위하고, 사전에 기억된 목표 지점의 좌표와 측위 된 자신의 좌표를 실시간으로 비교하며 목표지점에 착륙하는 방식이다. 현대의 회전익 드론은 GPS 정보를 이용하여 안정된 비행을 유지하기 때문에 위성항법시스템을 사용하는 방식은 별도로 추가 장비나 비용 없이 구현가능한 장점이 있다. 하지만 GPS의 오차범위는 착륙베드(Landing bed)의 드론정렬 장치를 벗어날 정도로 크기 때문에 GPS만 의존하는 정밀착륙은 신뢰성이 떨어진다. 이러한 문제를 보완하기 위해 GPS의 오차를 보정해 주는 RTK(Real Time Kinematic) 기반의 정밀착륙에 대한 연구가 진행되었다[7].

하지만 RTK가 드론 정밀착륙에 적용할 수 있을 만큼 높은 정밀도의 자가 측위 값을 가지기 위해서는 며칠 동안의 연산 시간이 반드시 필요하기 때문에 설치 시간이 오래 걸리고 한번 설치되면 위치이동이 쉽지 않은 단점이 있다.

영상으로 착륙환경을 인식하는 방법은 드론의 광학카메라를 이용하여 착륙베드를 인식하고 영상 픽셀 기반의 자가 측위를 통해 정밀 착륙을 진행하는 방식이다. 영상 기반의 정밀착륙은 드론 임무컴퓨터가 실시간 영상처리를 할 수 있을 정도로 처리속도가 빨라야 하며, 착륙과정에서 지상에 가까워질수록 영상이 변화하는 상황에 대비되어 있어야 한다[2][6][7]. 뿐만 아니라 드론은 야외 개활지에서 주로 이·착륙한다는 점을 감안하여 드론스테이션의 착륙베드는 햇볕에 의한 빛 반사가 카메라 영상을 왜곡하지 않도록 표면처리가 되어야 한다.

2.3 마커 인식

영상을 이용하여 드론착륙지점을 인식할 때 인식을 돕기 위해 특정 모양의 마커(Marker)를 사용한다. 드론의 영상처리 시스템은 딥러닝(Deep learning) 기술로 마커를 학습하고 비행 중 학습된 마커가 영상에 들어오면 목표지점으로 인지한다. 드론스테이션은 관련법령과 안전상의 이유로 주거환경에서 동떨어진 외딴 곳에 설치되는 경우가 많기 때문에 마커의 모양을 결정할 때는 자연계에서 흔하게 볼 수 없는 인위적인 모양으로 결정하게 된다. 나선형, 격자형 등 단순하지만 규칙적인 모양을 사용하는 경우 외에 QR코드와 같이 마커가 드론의 목표지점 인식 혹은 정밀 착륙에 도움이 되는 정보를 전달할 수 있는 의미를 마커에 부여하기도 한다. 드론스테이션은 배터리 보충 방식에 따라 드론의 착륙 방향이 중요한 경우가 있다. 특히 착륙베드에 오차 없이 정밀착륙 했다고는 하나 방향이 180도 틀어져 있으면 충전단자 접촉 혹은 배터리교체와 같이 기계장치가 정상 동작하기 어려운 경우가 발생한다. 본 논문의 선행연구에서는 그림 2와 같이 Diamond ArUco를 마커로 사용하여 드론에게 3차원 좌표 정보를 제공하여 위치보정을 보조하고 드론이 착륙해야 할 방향을 알리는 연구를 수행하였다[8].

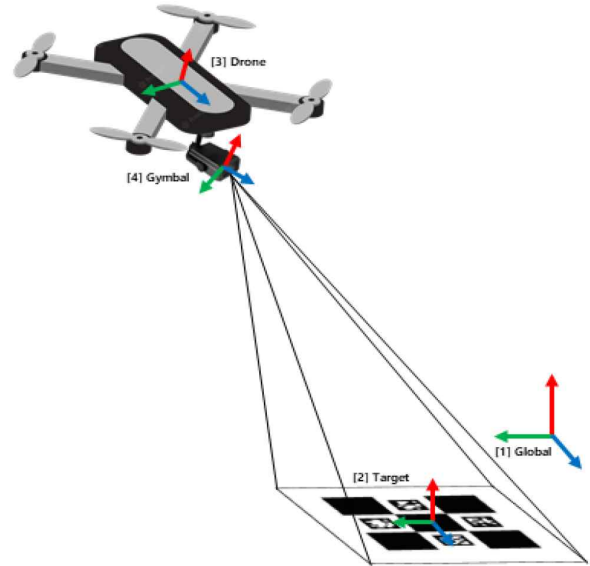


그림 2. 드론 착륙지점의 Diamond ArUco 인식[8]
Fig. 2. Recognition of the Diamond ArUco on the landing position[8]

III. 실험

본 장에서는 논문에서 구현한 드론 순환임무 시스템의 상세한 시스템 구성과 시스템의 기능 검증을 위한 실험 방법에 대해 설명한다.

3.1 실험 환경

본 논문에서 구현한 드론 순환임무 시스템은 자율주행이 가능한 두 대 이상의 무인 드론스테이션, 두 대 이상의 회전익 드론, 그리고 관제시스템으로 구성된다.

본 논문의 드론스테이션은 1,100mm 크기의 드론이 착륙하고 적재할 수 있게 착륙베드 크기가 1800×1800mm이고 높이가 1500mm이다. 드론스테이션은 장시간 무인으로 운영되는 상황을 고려하여 덮개가 자동으로 개폐될 수 있게 제작하였으며, 착륙 베드에는 정밀착륙 오차를 보정할 수 있는 드론 정렬장치가 그림 3과 같이 있다. 드론 정렬장치는 1500×1500mm 크기로 제작되었으며 드론의 두 랜딩기어가 정렬장치 이내에 위치한다면 그림 4와 같이 와이어(Wire)를 이용하여 드론의 랜딩기어를 밀어서 드론을 착륙패드의 중앙으로 정렬할 수 있다[5].

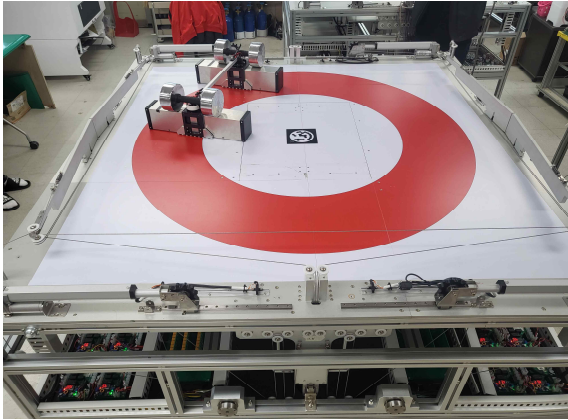


그림 3. 드론 정렬장치 구현[5]
Fig. 3. Implementation of the aligning machine[5]

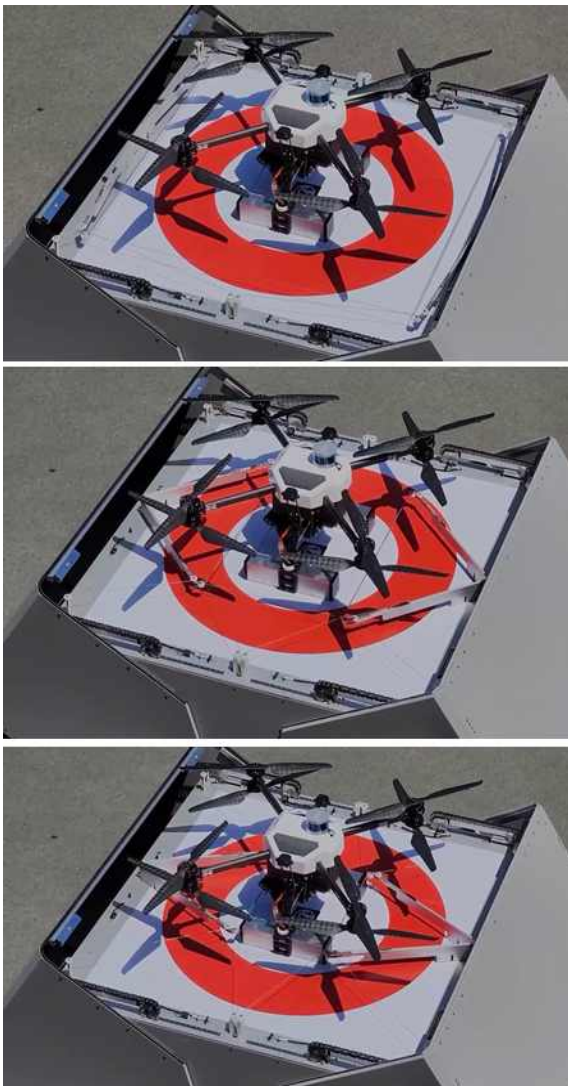


그림 4. 착륙베드의 정밀착륙 오차 보정
Fig. 4. Correcting of the error resulting from drone precision landing on the landing bed

배터리 보충방식은 드론이 착륙 후 위치 보정(정렬)이 완료되면 엘리베이터(Elevator)가 동작하면서 그림 5와 같이 드론을 스테이션 아래로 내려서 배터리를 교체하는 방식이다.

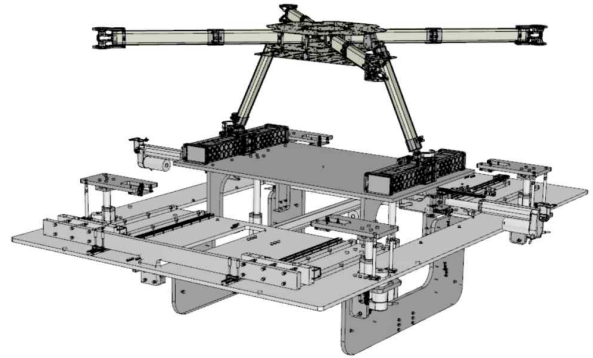


그림 5. 드론스테이션의 배터리 교체 장치
Fig. 5. Battery replacement machine in the drone-station

그림 6은 배터리 교체장치가 실제로 구현되어 동작하는 사진으로서, 기존에 장착되어 있던 배터리는 탈거되어 급속충전기에 연결되고 새로운 배터리는 드론에 장착된다. 이때 배터리가 탈거되는 상황에서 드론의 FC(Flight Controller) 및 임무컴퓨터가 재시작(Reset)되는 것을 막기 위해 배터리 탈거 동작 전에 드론 배터리 결합부에 마련된 DC 48V 전원단자를 통해 상시 전원이 먼저 연결된다. 덮개 개폐, 드론 정렬, 배터리 교체 등 드론스테이션의 모든 동작은 관제시스템의 통제에 의해 자동으로 진행된다. 드론스테이션은 관제시스템과의 통신을 위해 이더넷(Ethernet) 통신이 가능한 고성능 컴퓨터가 탑재되어 있다.

드론은 1,100mm 크기 기체에 장애물 회피 및 자율비행을 위한 라이다, 스테레오카메라, 광학카메라 등을 임무장비로 장착하고 있으며, 영상처리와 자율비행을 위한 임무컴퓨터가 탑재되어 있다. 임무수행 현장의 영상데이터를 관제시스템에 실시간으로 전송하기 위해 LTE 통신 모듈을 사용하며, LTE 통신을 통해 조종기의 신호가 닿지 않는 광범위한 임무반경을 가지면서도 관제시스템의 통제를 받을 수 있다. 본 논문의 드론은 무인 드론스테이션의 자동 배터리 교체 기능을 위해 두 가지 특별한 기술을 가지고 있다. 첫 번째는 영상 기반 정밀착륙 기능이다. 드론이 드론스테이션 주변에 도착하면 영상으로 착륙베드의 마커를 인식한다.

마커를 인식한 드론은 영상의 픽셀좌표를 기반으로 정밀착륙을 할 수 있으며 드론스테이션의 착륙베드 중앙을 기준으로 300mm 이내 오차범위로 정밀착륙 할 수 있다[6]. 만약 드론이 착륙베드 중심에서 최대오차 300mm로 착륙 하더라도 드론의 두 스킴드(Skid)는 드론정렬장치의 와이어가 동작하는 범위 이내에 위치하므로 착륙오차 보정에는 문제가 없다.



그림 6. 드론스테이션의 배터리 교체 장치 사진
Fig. 6. Pictures of battery replacement machine in the drone-station

두 번째는 자동 교체형 배터리이다. 일반적인 회전익 드론의 배터리는 드론 기체의 중앙에 장착되며 사람이 직접 교체하게 되어 있다. 하지만 본 논문의 드론은 배터리 교체를 위하여 그림 7과 같이 회전익 드론의 스킴드를 대신할 수 있게 제작되었다[5].

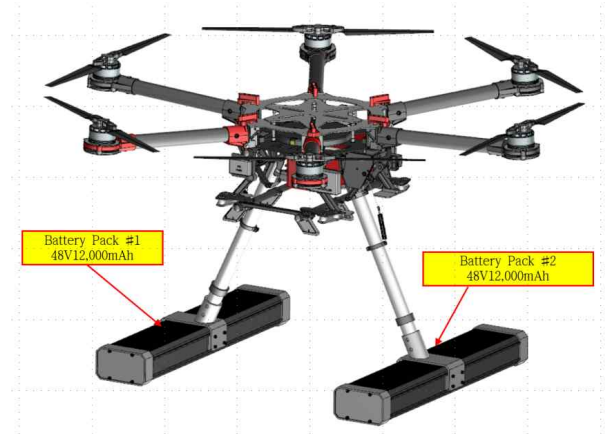


그림 7. 드론의 교체형 배터리[5]
Fig. 7. Replaceable battery of the drone[5]



그림 8. 교체형 배터리 기계적 장치
Fig. 8. Mechanism of the replaceable battery

뿐만 아니라, 배터리의 탈착을 자동으로 할 수 있게 그림 6 및 8과 같이 슬라이드(Slide) 방식으로 배터리가 탈착되는 기계구조를 가지게 제작하였다. 슬라이드를 고정하는 걸쇠는 드론에 DC 48V 상시전원을 공급할 수 있게 그림 8과 같이 단자로 설계하여 배터리 교체에 위해 슬라이드 걸쇠가 누르고 있는 동안 DC 48V 상시전원이 드론에 공급되게 하였다. 그림 9는 제작된 드론 및 드론스테이션 사진이다.



그림 9. 구현된 드론 및 드론스테이션 사진
Fig. 9. Picture of the implemented drone and drone-station

본 논문의 관제시스템은 그림 10과 같은 동작 흐름을 가진다. 구현된 순환임무 시스템은 드론, 드론스테이션, 관제시스템이 서로 긴밀하게 통신을 주고받아야 하는데, 하나의 노드가 나머지 두 노드와 동시에 통신해야하는 경합상황을 피하기 위해 드론과 드론스테이션 간의 직접적인 통신은 허용하지 않고 모든 통신은 그림 10과 같이 관제센터를 통하게 구현하였다. 임무 수행 중인 드론의 배터리 잔량이 사전에 설정된 임계값에 도달하면 관제시스템에 배터리 교체 요청 메시지를 보낸다. 드론스테이션은 주기적으로 자신의 식별번호, 좌표정보, 보유 배터리 상태, 드론 적재 여부 등의 상태정보 메시지를 관제시스템에 보내고, 관제시스템은 배터리 교체 요청을 보낸 드론과 가장 가까운 비어있는 드론스테이션의 위치정보를 전송함과 동시에 대기 중인 드론에게 임무재개 메시지를 보내어 임무를 이어받게 한다. 드론스테이션 위치 정보를 수신한 드론은 드론스테이션으로 비행하고 목적지에 도착하면 도착 메시지를 관제센터에 보낸다.

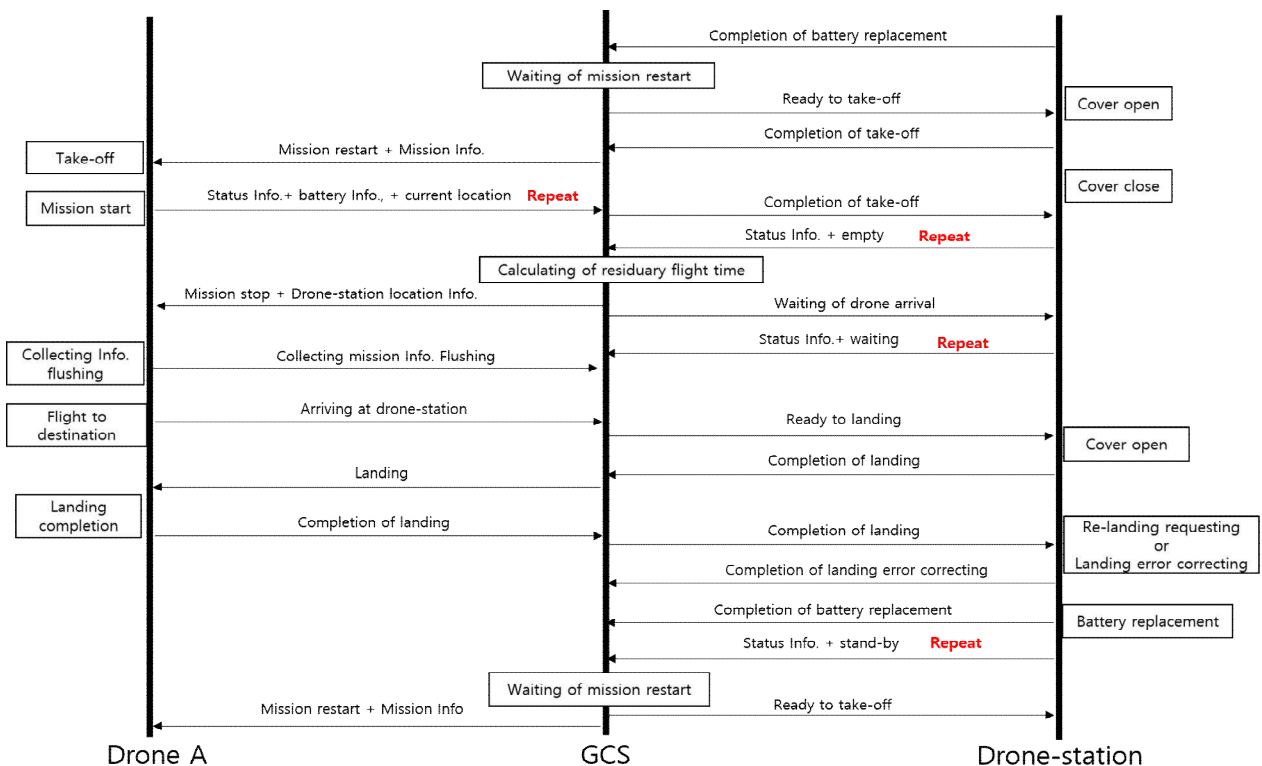


그림 10. 관제시스템의 동작 흐름도
Fig. 10. Flowchart of the GCS

관제시스템은 드론스테이션에게 착륙준비 메시지를 보내고, 드론스테이션은 덮개 개방 후 착륙준비 완료 메시지로 관제시스템에 응답한다. 드론은 관제시스템에게 착륙 메시지를 받으면 정밀 착륙을 실시하고 착륙이 완료되면 착륙완료 메시지를 응답한다. 관제시스템에게 드론 착륙완료 메시지를 받으면 정밀착륙에 오류가 있는지 검사 후 드론정렬을 시작한다. 정렬이 완료되면 덮개를 닫음과 동시에 배터리 교체를 시작한다. 배터리 교체가 완료되면 드론스테이션은 관제센터에게 이륙준비가 완료된 드론이 적재되어 있다는 상태정보를 보낸다. 이후 관제센터로부터 임무재개 명령을 수신하면 드론스테이션은 덮개를 개방하고 드론은 이륙 후 임무를 재개한다.

3.2 실험 방법

본 논문에서 구현한 드론 순환임무 시스템의 기능을 검증하기 위하여 초경량비행장치의 비행이 허가된 공역에서 모의실험을 실시하였다. 인구가 밀집된 도심지 비행 및 비가시권 비행 실험은 하지 못했지만, 법령이 허락하는 범위에서 검증 방법을 강구하여 시스템의 기능을 검증하였다.

비행 공역에는 한 대의 드론스테이션과 한 대의 드론을 준비하였고, 드론 및 드론스테이션과 동일한 명령어 패킷을 송수신 할 수 있는 LTE 모듈이 탑재된 컴퓨터 두 대를 그림 11과 같이 각각 준비하여 드론과 드론스테이션의 더미(Dummy)로 대신하였다. 이는 실제 드론과 드론스테이션의 기계적 부분이 완벽하게 동작하는 것을 확인함과 동시에 다중 드론 및 드론스테이션의 임무가 연속적으로 계속 이어지게 운영되는지를 모의실험하기 위함이다.



그림 11. 더미 드론 및 더미 드론스테이션
Fig. 11. Dummy drone and dummy drone-station

관제시스템은 관제프로그램을 옥외용 컴퓨터에 이식하여 준비하였으며, 임무가 시작되면 사람의 개입 없이 자동으로 드론과 드론스테이션을 관제한다. 관제시스템은 덮개 개방 및 임무비행 시작 메시지를 전송하여 실험을 시작한다. 드론은 가상의 임무를 수행하기 위해 비행을 시작하고 배터리 교체 시점이 되면 배터리 교체 메시지를 관제시스템에 보낸다. 관제시스템은 비행 중인 드론을 배터리 교체를 위해 드론스테이션으로 안내함과 동시에 더미 드론에게 임무교대를 지시한다. 임무교대 과정에서 드론스테이션 더미와 드론 더미가 정의된 메시지 패킷을 정상적으로 송·수신하는지 여부와 메시지에 따른 현재 동작과 상태가 모니터에 표출되는 것을 확인한다. 더미 드론의 배터리수치가 임계값에 도달하면 관제시스템에 배터리 교체 메시지를 보내고 배터리교체 절차에 들어간다. 이와 동시에 배터리 교체를 마치고 대기 중인 실제 드론에게 임무교대 메시지를 보내고 임무를 재개시킨다. 이러한 과정을 지속적으로 수행하여 임무가 지속적으로 연속됨을 확인하는 것으로 실험을 종료한다.

IV. 실험 결과

관제시스템은 더미를 포함한 각각 두 대의 드론과 드론스테이션을 운영하여 임무가 겹치거나 끊어짐 없이 연속되게 수행되는지를 검증하였다.

드론은 배터리 교체 요청 후 안내 받은 드론스테이션에 정확하게 도착하였고 드론스테이션 덮개가 개방된 오차범위 이내로 정밀착륙 하는 것을 확인하였다. 배터리 교체는 기계적 결합 없이 탈착 및 장착되었고, 드론은 대기 후 임무 재개 명령을 받고 이륙하였다. 드론스테이션은 덮개 개방과 드론 정렬을 정해진 절차에 따라 정확하게 수행하였다. 배터리 교체 후 교체된 배터리는 드론스테이션에 내장된 BMS(Battery Management System)에 의해 충전되는 것을 확인하고, 현재 상태에 대해 정확한 정보를 관제시스템에 송신하는 것을 확인하였다. 배터리 교체가 필요한 드론에게 비어있는 드론스테이션의 위치를 안내하기 전 대기 중인 드론에게 임무교대 메시지를 보내어 순환임무가 유지되는 것을 그림 12와 같이 확인하였으며, 이러한 절차를 10회 반복하

면서 드론 순환임무 시스템의 기능이 모두 정상 동작하는 것을 확인 하였다. 그림 13은 모의실험을 위한 드론 비행 현장 사진이다.

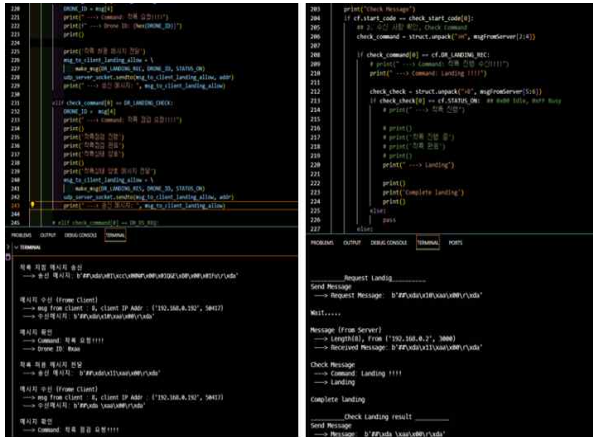


그림 12. 더미 드론 및 더미 드론스테이션의 패킷 모니터링

Fig. 12. Packet monitoring of the dummy drone and drone-station



그림 13. 모의실험에서 드론 비행 사진

Fig. 13. Pictures of the drone flight at the simulation

V. 관련 연구

본 장에서는 드론스테이션을 이용한 드론 임무와 관련된 선행연구들을 소개하고 본 논문과의 차별성을 알아본다. 회전익 드론의 가장 중요한 장점은 제자리비행 능력과 정밀한 수직 이·착륙 능력이며, 이러한 능력을 적극적으로 활용하는 산업분야는 드론 촬영과 물류 드론 분야이다. 드론 촬영 분야는 넓은 임무 반경이 요구되지 않는 반면 물류 드론은 임무 반경이 광활하기 때문에 회전익 드론의 낮은 에너지 효율은 짧은 비행시간을 초래하여 물류 드론의 큰 제약사항이 되고 있다[9]-[11]. 물류 드론 분야에서는 목적지와 드론의 비행 가능 거리를 고려하여 적시 적소(適時適所)에 드론스테이션을 위치시키는 것이 중요한 논점이다. 관련 연구로는 드론의 최적 위치 선정을 위해 외판원 문제(Travelling salesman problem) 알고리즘 및 개미 군집(Ant colony) 알고리즘과 같은 그래프(Graph) 기반 기법들을 이용하는 연구들이 있으며[9]-[11], 드론의 에너지 보충 방법을 완전 충전, 최적 충전, 요구치 충전, 배터리 교체 등으로 구분하고 각각의 경우에 따른 드론스테이션의 최적위치를 시뮬레이션(Simulation)한 연구가 있다[12]. 접촉식 충전방식의 드론스테이션은 복잡한 메커니즘(Mechanism)이 필요하기 때문에 기계적 구조가 단순해지는 비접촉 충전 방식 드론스테이션이 많이 연구되었다[13]-[15]. 비접촉 충전 방식은 코일에서 발생하는 유도기전력을 이용하여 배터리에 에너지를 전달하는 방식으로 충전 단자 간의 물리적 접촉이 없어도 에너지 전달이 가능하기 때문에 드론 정밀착륙, 착륙오차 보정, 단자 접촉 메커니즘 등에 대한 기술이 없어도 드론이 착륙하여 배터리 충전이 가능하다. 하지만 드론 배터리팩에 유도기전력을 받을 수 있는 장치가 반드시 마련되어야 하고, 무엇보다 충전효율이 접촉식 충전 방식에 비해 매우 좋지 않다.

물류드론 분야는 하나의 임무를 다수의 드론이 이어서 수행하는 것이 아닌 각각의 드론에게 목적지가 다른 각각의 임무가 할당되는 개념이기 때문에 본 논문의 순환임무와는 차이가 있다. 또한 드론이 착륙하면 새로운 배송지와 물류를 드론에 탑재

해야하기 때문에 본 논문과 같은 무인 드론스테이션 및 관제시스템의 기능들이 요구되지 않는다. 무선 충전 방식의 무인드론스테이션은 본 논문의 정밀 착륙 및 착륙오차 보정 기능들을 무색하게는 하지만, 오랜 충전시간이 요구되는 무선 충전 방식으로는 순환임무 시스템을 구현하는 것이 현실적으로 어렵다.

VI. 결 론

본 논문은 두 대 이상의 다중 드론 및 드론스테이션을 이용하여 드론 순환임무 시스템을 구현하였다. 드론 순환임무 시스템의 핵심요소인 배터리 교체 방식의 드론스테이션을 실제 제작하였으며, 드론스테이션의 기계장치에 맞는 교체형 배터리팩을 함께 제작하여 드론의 스킴에 장착하였다. 드론은 자율비행을 할 수 있는 임무장비와 소프트웨어를 탑재하여 제작하였으며, 드론과 드론스테이션을 자동으로 운영하여 순환임무를 유지하는 관제시스템을 구현하였다. 임무교대 및 드론 배터리 자동 교체가 정상적으로 진행되는지 확인하기 위해 실제 비행과 시뮬레이션을 겸비한 모의실험을 통해 순환임무 시스템의 모든 기능이 정상 동작하는 것을 확인하였다. 본 논문에서 구현한 시스템은 방법·순찰임무와 같이 끊임없이 상시 수행되어야 할 임무수행에 적합하게 개발되었을 뿐만 아니라 두 대 이상의 드론이 협업하는 편대 비행 환경에도 활용 가능하다. 이러한 연구가 드론 서비스산업의 발전에 기여할 수 있기를 기대한다.

References

- [1] P. Pradeep and P. Wei, "Energy Optimal Speed Profile for Arrival of Tandem Tilt-Wing eVTOL Aircraft with RTA Constraint", 2018 IEEE CSAA Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC), Xiamen, China, pp. 1-6, Aug. 2018. <https://doi.org/10.1109/GNCC42960.2018.9018748>.
- [2] Y. K. Kim, D. Choi, S. H. Paik, S. Jung, and D. N. Kim, "Implementation of Deep Learning based Automatic Landing System for Docking on Rotary Wing Drone Contact Charging Stations", Journal of KIIT, Vol. 18, No. 10, pp. 45-53, Oct. 2020. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.10.45>.
- [3] J. A. Besada, et al., "Drone Mission Definition and Implementation for Automated Infrastructure Inspection Using Airborne Sensors", Sensors, Vol. 18, No. 4, 1170, Apr. 2018. <https://doi.org/10.3390/s18041170>.
- [4] Z. Liu, et al., "Robust Multi-Drone Multi-Target Tracking to Resolve Target Occlusion: A Benchmark", IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 25, pp. 1462-1476, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1109/TMM.2023.3234822>.
- [5] Y. K. Kim, H. H. Jung, D. N. Kim, and T. C. Kang, "Design and Implementation of Drone Station Charging Bed Structure for Rotary Wing Drones", Journal of KIIT, Vol. 20, No. 6, pp. 41-50, Jun. 2022. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.6.41>.
- [6] M. Lee, S. G. Shin, S. Jang, W. Cho, S. Kim, S. Han, C. Choi, J. Kim, Y. Kim, and S. H. Kim, "Visual-based Landing Guidance System of UAV with Deep Learning Technique for Environments of Visual-detection Impairment", International Journal of Control, Automation and Systems, pp. 1735-1744, May 2022. <https://doi.org/10.1007/s12555-020-0586-3>.
- [7] Y. K. Kim, J. W. Jang, J. H. Lee, J. H. Yoo, S. H. Paik, and D. N. Kim, "Experiments of RTK based Precision Landing for Rotary Wing Drone", IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol. 18, No. 2, pp. 75-80, Apr. 2023. <https://doi.org/10.14372/IEMEK.2023.18.2.75>.
- [8] D. Choi, S. H. Paik, Y. K. Kim, J. H. Yoo, S. W. Jung, T. H. Kim, and D. N. Kim, "A Study on Estimating the 3D Coordinates of the Drone Landing using the Diamond ArUco Marker", Journal of KIIT, Vol. 20, No. 12, pp. 75-81, Dec. 2022. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.12.75>.

- [9] S. Kim and I. Moon, "Traveling Salesman Problem With a Drone Station", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, Vol. 49, No. 1, pp. 42-52, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2018.2867496>.
- [10] X. Luo, Z. H. Sun, and S. Qiu, "Ant Colony System Based Drone Scheduling For Ship Emission Monitoring", 2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Kraków, Poland, pp. 241-247, Jun. 2021. <https://doi.org/10.1109/CEC45853.2021.9504944>.
- [11] A. Mrzaenia, S. Bradley, and M. Hassanalain, "Drone-Station Matching in Smart Cities through Hungarian Algorithm: Power Minimization and Management", Conference: AIAA Propulsion and Energy 2019 Forum, Indianapolis, IN, Aug. 2019. <https://doi.org/10.2514/6.2019-4151>.
- [12] C. Huang, Z. Ming, and H. Huang, "Drone Stations-Aided Beyond-Battery-Lifetime Flight Planning for Parcel Delivery", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 2294-2304, Oct. 2023. <https://doi.org/10.1109/TASE.2022.3213254>.
- [13] C. H. Choi, H. J. Jang, S. G. Lim, H. C. Lim, S. H. Cho, and I. Gaponov, "Automatic Wireless Drone Charging Station Creating Essential Environment for Continuous Drone Operation", 2016 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), Ansan, Korea (South), pp. 132-136, Oct. 2016. <https://doi.org/10.1109/ICCAIS.2016.7822448>.
- [14] A. Rohan, M. Rabah, M. Talha, and S. H. Kim, "Development of Intelligent Drone Battery Charging System Based on Wireless Power Transmission Using Hill Climbing Algorithm", Applied System Innovation, Vol. 1, No. 4, pp. 44, Nov. 2018. <https://doi.org/10.3390/asi1040044>.
- [15] R. K. Rangel, A. L. Maitelli, J. L. Freitas, and R. F. Araújo, "Smart Drone, Wireless Charge Station and Management System applied to air mobility", 2023 IEEE Aerospace Conference, Big

Sky, MT, USA, pp. 1-19, Mar. 2023. <https://doi.org/10.1109/AERO55745.2023.10115650>.

저자소개

김 영 규 (Young-Kyu Kim)



2005년 2월 : 경주대학교
전자공학과(공학사)
2011년 2월 : 경북대학교
모바일통신공학과(공학석사)
2016년 8월 : 경북대학교
전자공학부(공학박사)
2020년 ~ 현재 :

(재)경북IT융합산업기술원 선임연구원

관심분야 : 컴퓨터 아키텍처, SoC, 드론

김 송 현 (Song Hyun Kim)



2008년 2월 : 한양대학교
원자력공학(공학사)
2014년 2월 : 한양대학교
원자력공학(공학박사)
2023년 12월 현재 :
(주)시에라베이스 대표
관심분야 : 딥러닝 및 드론 자율주행

신 성 균 (Sung Gyun Shin)



2012년 2월 : 경희대학교
원자력공학(공학사)
2017년 2월 : 포항공과대학교
첨단원자력공학(공학박사)
2023년 12월 현재 :
(주)시에라베이스 이사
관심분야 : 드론 자율주행 및 제어

이 민 재 (Minjae Lee)



2017년 2월 : 경희대학교
원자력공학(공학사)
2019년 2월 : 경희대학교
원자력공학(공학석사)
2023년 12월 현재 :
포항공과대학교 박사과정
관심분야 : 드론 자율주행 및 제어

한 상 수 (Sansoo Han)



2011년 2월 : 영남대학교
기계공학(공학사)
2020년 2월 : 포항공과대학교
첨단원자력공학부(공학박사)
2023년 12월 현재 :
(주)시에라베이스 이사
관심분야 : 하드웨어 설계 및 제어

정 호 헌 (Ho-Hun Jung)



2001년 5월 : 대류정보통신 사원
2002년 2월 : 영진전문대
전자과(전문공학사)
2019년 2월 : 대구대학교
정보통신학과(공학사)
2019년 5월 ~ 현재 : (주)대류
개발3팀 팀장

관심분야 : 3D-CAD, CAM, FA

양 희 철 (Hee Chul Yang)



1995년 2월 : 영남대학교
토목공학과(공학사)
1996년 ~ 2008년 : 삼성물산
2010년 ~ 2015년 : 그리폰 대표
2015년 ~ 현재 :
(주)그리폰다이나믹스 대표이사
관심분야 : 산업용 드론,
배터리시스템, BEC

김 대 년 (Dae-Nyeon Kim)



2001년 2월 : 울산대학교
제어계측(공학사)
2003년 2월 : 울산대학교
전기전자정보시스템공학
(공학석사)
2010년 2월 : 울산대학교
전기전자정보시스템공학
(공학박사)

2023년 12월 현재 : (재)경북IT융합산업기술원
책임연구원

관심분야 : 임베디드 시스템, 드론, 머신러닝

강 병 환 (Byung Hwan Kang)



2019년 2월 : 수성대학교
드론공학과(공학사)
2015년 ~ 현재 :
(주)그리폰다이나믹스 드론 개발
팀장
관심분야 : 산업용 드론

김 건 우 (KunWoo Kim)



2001년 8월 : 경북대학교
전자전기공학부(공학사)
2004년 8월 : 경북대학교
전자공학과(공학석사)
2023년 2월: 경북대학교
정보보호학과 박사수료
2023년 12월 현재 :

(재)경북IT융합산업기술원 책임연구원

관심분야 : 정보통신, 정보보호, 정보관리

강 태 창 (Tae Chang Kang)



1988년 2월 : 대구미래대
전자계산학(전문학사)
2000년 1월 : 대류정보통신 대표
2010년 4월 ~ 현재 : (주)대류
대표이사
관심분야 : 2차 전지, 측정 및 계측
기술, 메카트로닉스

백 승 현 (Seungh Hyun Paik)



2006년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
2009년 8월 : 경북대학교
전자공학부(공학석사)
2016년 8월 : 경북대학교
전자공학부(공학박사)
2023년 12월 현재 :

(재)경북IT융합산업기술원 선임연구원

관심분야 : 임베디드 시스템, 드론, 머신러닝