

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.5.103>  
JIIBC 2021-5-14

## 관제 공역 다중 드론 운행 충돌 방지 방안 연구

### A Study on Method to prevent Collisions of Multi-Drone Operation in controlled Airspace

유순덕\*, 최태인, 조성원

Soonduck Yoo\*, Taein Choi, Seongwon Jo

**요약** 본 연구목적은 관제 공역 다중 드론의 운행 충돌 방지 방안에 대한 연구이다. 연구 결과 드론 충돌을 회피하는 방안으로 관제 시스템에서 드론 예상 경로와 시간을 기반으로 추정되는 ROI 영역에 대한 정확한 정보를 설정 후 드론 충돌을 제어 할 수 있는 방안으로 적절하다는 것을 입증하였다. 실험분석 결과, 운행하는 드론의 항로 직경은 충돌 위험을 줄일 수 있는 규모를 선정해야 하며, 운행하는 드론의 출발시간과 운행 속도의 변화는 충돌에 영향요인으로 작동하지 않았다. 또한, 충돌을 회피하기 위한 대응 방안으로 비행 우선 순위 제공이 적절한 방법 중의 하나임을 실증하였다. 충돌 회피 방안에 대해 드론 센서기반 충돌회피뿐만 아니라 관제 시스템에서 충돌을 모니터링 및 예측하고 실시간 제어를 수행하여 이종으로 충돌을 보완 할 수 있다. 본 연구는 관제 기반으로 운행되는 드론의 충돌 방지 방안에 대한 아이디어를 제공하고 이를 실질적인 테스트를 진행했다는 것에 의의를 두고 있다. 이는 관제 기반으로 이기종 드론들이 다수 운행시 등장하는 충돌 문제 해결에 도움이 된다. 본 연구는 드론의 충돌로 인한 사고 방지와 안전한 드론 운행 환경 제공을 통한 관련 산업의 발달에 기여 할 것이다.

**Abstract** The purpose of this study is to study a method for preventing collisions of multiple drones in controlled airspace. As a result of the study, it was proved that it is appropriate as a method to control drone collisions after setting accurate information on the ROI (Region of Interest) area estimated based on the expected drone path and time in the control system as a method to avoid drone collision. As a result of the empirical analysis, the diameter of the flight path of the operating drone should be selected to reduce the risk of collision, and the change in the departure time and operating speed of the operating drone did not act as an influencing factor in the collision. In addition, it has been demonstrated that providing flight priority is one of the appropriate methods as a countermeasure to avoid collisions. For collision avoidance methods, not only drone sensor-based collision avoidance, but also collision avoidance can be doubled by monitoring and predicting collisions in the control system and performing real-time control. This study is meaningful in that it provided an idea for a method for preventing collisions of multiple drones in controlled airspace and conducted practical tests. This helps to solve the problem of collisions that occur when multiple drones of different types are operating based on the control system. This study will contribute to the development of related industries by preventing accidents caused by drone collisions and providing a safe drone operation environment.

**Key Words** : Drone., Ground Control System, Ground Control Platform, Collision avoidance, Airspace, Droneway, GIS

\*정회원, 한세대학교 국제경영학과  
접수일자 2021년 8월 9일, 수정완료 2021년 9월 9일  
게재확정일자 2021년 10월 8일

Received: 9 August, 2021 / Revised: 9 September, 2021 /  
Accepted: 8 October, 2021

Corresponding Author: koreasally@gmail.com  
Dept. of International Business, Hansei University, Korea

## I. 서 론

드론을 활용한 서비스가 도로교통 등 스마트시티 영역, 건설현장 감시, 재난관리에 따른 방재 현장 등 여러 분야에 적용되어 업무 효율성을 제공하고 있다.<sup>1)2)</sup> 현재 기술은 드론 제조 기업들이 내부에 충돌 회피센서를 통해 고정된 장애물과 충돌 회피 기능을 탑재하고 있다. 그러나 이 기종의 드론이 여러 목적으로 동시에 활용되고 있는 환경으로 진입하게 되었을때, 드론간 충돌 가능성은 증가한다.<sup>3)4)</sup> 따라서 충돌 방지하는 기술에 대한 관심은 증가하고 있다. 이를 위해 기기에 장착된 기능을 통한 제어뿐만 아니라 관제 등 통합 모니터링 하는 시스템을 통한 지원이 필요하다.

일반항공기의 경우 국제민간항공기구에서 정한 표준으로 항공기 충돌방지시스템(ACAS: Airborne Collision Avoidance System)을 통해 충돌 위험이 있는 다른 항공기의 존재를 조종사들에게 알리는 장치로 지상 기반 장비(ground-based equipment) 및 항공 교통 관제와 독립적으로 작동한다. 그러나 드론의 경우 무인 비행기 기로서 ACAS 방식을 적용할 수 없다.

본 연구는 관제기반 다중드론 운영시 충돌 방지 방안에 대해 연구 하였다. 이는 관제 기반으로 이기종 드론들이 다수 비행 시 등장하는 각종의 문제를 해결하는데 도움이 될 것이다. 본 연구는 드론의 충돌로 인한 사고 방지와 안전한 드론 비행 환경 제공을 통한 관련 산업의 발달에 기여 할 것이다.

## II. 다중 드론 비행 충돌 방지

### 1. 다중 드론 비행 충돌 방지

드론의 장애물 충돌 방지의 경우를 살펴보면, 1) 외부 기기 장착으로 드론이 장애물 회피, 2) 드론 내부에 장착된 장애물 회피센서를 사용하여 장애물 회피, 3) 전용 운용공역을 제공하여 충돌을 회피하는 방안, 4) 관제기반으로 충돌을 회피 하는 방안, 5) 드론의 내외부 기능 뿐만 아니라 관제 기반 시스템과 혼합하여 드론 충돌을 회피하는 방안으로 분류 할 수 있다.

첫째, 드론이 고정된 장애물을 회피하기 위해 드론에 외부기기를 장착하여 고정된 장애물의 위치를 인식하여 회피할 수 있도록 하는 것이다. 이 경우는 움직이는 드론에 외부 탐부착용 다양한 기기(ex. 레이더, 라이다 등)를 장착하여 해당 장애물의 위치 및 접근 시 소요시간을 산

정하여 회피하는 경우이다.<sup>5)</sup>

둘째, 드론 내부에 센서를 장착하여 고정형 또는 이동형 장애물 탐지하여 대응하는 방안이다. 이 경우는 드론을 제작하는 기업들이 기능을 추가하고 있다. 비행하는 드론 내부에 센서가 장착되어 드론끼리 센서를 통해 충돌 회피 조건( 멈춤 또는 이동 경로 변경 등)을 만든다. 이 경우에는 드론내부에 장애물 인식센서가 장착된 경우에 회피가 가능한 상황이다.

셋째, 운행 중인 드론에 서로 교차 되지 않는 공역을 제공하여 충돌을 회피하는 원리이다. 드론이 진행하는 경로를 설정하여 해당 경로만으로 운행하도록 관제에서 프로그램을 설정하고 같은 시간대에 지정된 공역에 다른 드론이 진입하지 않도록 S/W를 설계하는 방식이다.<sup>6)7)</sup> 이 경우에는 관제에 등록된 기기의 경우는 충돌방지가 가능하나 등록되지 않은 드론의 경우는 이용할 수 없는 경우이다. 따라서 이 경우는 현실 서비스에서 적용하기에는 한계가 있다.

넷째, 관제에서 드론 비행의 예상 경로를 추적하여 충돌이 예상되는 영역에 접근 시 관제에서 프로그램화된 정보를 통해 우선 진행 또는 정지 방법으로 서로 충돌을 회피하는 방안이다.

다섯째, 이동하는 드론이 내부 센서 뿐만 아니라 관제 통제를 동시에 적용하여 드론의 충돌을 회피하는 방식이다.

표. 1 드론 충돌 방지 분류

Table 1. Drone Collision Prevention Classification

| 구분 | 경우 #1 : 외부기기 장착                             | 경우 #2 : 드론 센서                                      | 경우 #3 : 운용공역제공                               | 경우 #4 : 관제시스템  | 경우#5 : 인식장비, 센서, 관제                                 |
|----|---|--|--|--|---|
| 사례 | 전봇대, 나무와 충돌                                 | 드론 간 충돌  | 드론간 충돌                                       | 드론간 충돌   | 드론간 또는 장애물과 충돌                                      |
| 적용 | 드론에 외부기기를 장착하여 장애물을 인식하는 방법(ex. 레이더, 라이다 등) | 드론내부에 센서가 내장되어 서로 간의 밀접 여부를 판단하여 회피하는 방식           | 드론이 정해진 경로만 운행하고 해당공역을 다른 드론이 침범하지 않도록 하는 경우 | 관제시스템은 비행하는 드론으로부터 수신받는 실시간 위치정보를 통해 충돌을 산출하여 설정한 경고 수준에 따라 상황을 인지하고 제어를 수행하는 방식 | 드론에 인식장비, 센서, 관제 시스템과 연동하여 충돌이 발생할 수 있는 경우를 회피하는 경우 |
| 한계 | 드론에 장애물을 인식하는 장비 장착                         | 센서통신이 가능한 드론간 충돌방지에 적용 가능하고 이동형 장애물을 인식 기능이 확보된 경우 | 특수목적의 경우에 활용 가능                              | 관제 시스템에 등록된 드론만 적용이 가능함  | 고비용 발생  |

## 2. 외부 기기 장착 활용

레이더, 라이다 등 기기를 드론 외부에 장착하여 수집된 정보를 바탕으로 장애물 정보를 회피하는 방식으로 운영되었다. 이 경우는 주로 고정된 장애물인 전봇대 또는 나무들을 회피하는 방안으로 테스트 되었다.

정준호 외 7인(2016)은 LiDAR를 이용한 농업용 무인헬기 충돌방지시스템 개발 연구에서 농업용 무인헬기를 위한 LiDAR 기반 충돌방지시스템을 제안하였다.<sup>8)</sup>

충돌방지시스템은 장애물 검출 시스템, 매핑 알고리즘, 충돌회피 알고리즘으로 구성된다. LiDAR 기반의 장애물 검출 시스템은 무인헬기에 탑재되어 실시간으로 장애물 정보를 획득하며, 이를 통해 획득한 정보와 무인헬기 자세/위치 정보를 융합하여 충돌 위험성이 있는 장애물에 대해 격자 지도 기법을 적용한 매핑을 수행한다. 무인헬기가 장애물에 접근할 시 확보된 지형정보를 기반으로 충돌방지 경고 생성을 위해 종/횡방향 기동을 고려한 충돌방지 알고리즘을 구현하며, 이를 통해 운용자에게 전달해 회피 기동을 수행한다. 이 경우는 라이다(LiDAR) 기기를 활용하여 연구를 한 것으로 인식된 장애물을 서버에서 확인하여 이동 경로를 변경하거나 자동 착륙을 진행 하였다.

## 3. 드론 내장형 장애물 회피 센서 활용

현재 제작되고 있는 드론에 다양한 기능과 장애물 감지 센서가 장착되어 장애물 회피 기능이 탑재되어 있다.<sup>9)10)</sup> 이 경우는 드론기에 회피 센서를 4-8개 까지 내장하여 고정 또는 이동하는 장애물을 회피하고 있다. 고정 장애물과 이동장애물을 회피하는 기술의 경우 EvoII를 살펴보면, 기기에 장착된 장애물 인지 센서를 통해 비행시 장애물 감지 방향은 전면, 후면, 위, 아래, 왼쪽, 오른쪽으로 가능하나 한계는 대각선 방향의 경우 인지가 적을 수 있다. 예를 들면, 조명이 불충분하거나 작은 물체(그물 등), 움직이는 물체, 투명한 표면(창문) 또는 반사 표면(거울 등)이 있는 곳에서 조사를 피해야 한다. 각 감지 센서가 장애물로 인식하여 오작동이 가능하기 때문이다.

사용고도 한계는 30m-800m 이며 후방과 전방 시스템이 작동되면 장애물이 감지될 때 장애물을 피하기 위해 상승한다. 홈복귀 모드(30-800m)는 항공기는 홈 복귀 고도 또는 현재 항공기 고도 중 큰쪽을 사용하여 복귀한다.

DJI 기업에 제공하는 메빅 드론의 경우, APAS(Advanced

Pilot Assisatance System, 고급 파일럿 보조 시스템)가 2018년부터 장착되어 기기 내부에 보유한 비전 센서 기능을 통해 장애물 회피 비행을 진행한다. 즉 조종자의 요청과 비행환경을 종합 고려하여 타원형 구조를 그려가면 어떤 쪽으로 회피해야 할지를 결정하여 드론 자체가 비행경로를 수정 보완하여 장애물 회피 비행을 진행한다. 피할 수 없는 경우는 장애물 가까이에서 자체 호버링을 진행으로 정지 모드가 작동한다. APAS 기능은 장애물을 회피하기 위해 어떤 경로가 적절한지 색깔로 구분하여 제공한다.

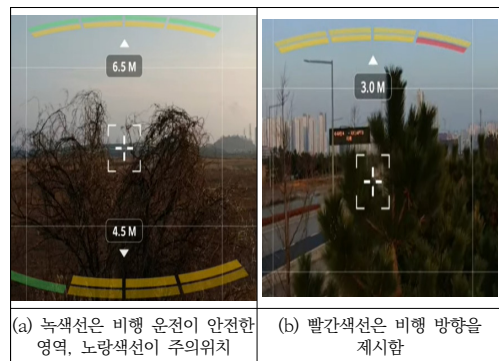


그림 1. 장애물 발견시 대응 현황

Fig. 1. How the drone responds when it finds an obstacle

## 4. 절대 공역 운영 활용

절대 공역 방법은 드론을 운영하는 경우 동시에 여러대의 드론이 계획된 공역을 운영시 서로가 충돌하지 않고 운영을 할 수 있는 것을 말한다. 즉 이 경우는 드론이 운영하는 지정된 공역을 제공하여 해당 공역에 다른 드론이 진입하지 못하도록 설계한 후 운영한다. 여러대의 드론을 동시에 운영하면서 서로가 충돌하지 않게 하기 위해 지정된 공역을 벗어나거나 침범하지 않고 운영하는 방안으로 이론적으로 가능하지만 실제환경에서 다양한 요인으로 서로에 운행공역에 침입 할 수 있다. 이를 위해 운행 위치 정확도를 확보하기 위해 지상에서 위치를 보정해주는 기기를 장착하여 브로드 캐스팅 방식으로 위치 정보를 제공한다 이 사례는 드론 아트쇼 등에 적용되어 이용된다.

김종권과 정영지(2019)<sup>11)</sup>의 멀티드론 통신을 위한 라우팅 프로토콜 연구에서 2대 이상의 멀티 드론을 동기화 및 군집화 시키기 위한 라우팅 프로토콜을 설계 방안을 제시하였다. 이 연구는 AODV(Ad hoc on-demand

distance vector) 라우팅 프로토콜을 통해 이웃 드론과 통신하여 마스터 드론의 비행 정보를 다른 노드들에게 브로드 캐스트하여 위치 추정을 통해 통신 가능 거리를 계산하여 비행하도록 하는 것이다.

### 5. 드론 관제 시스템 연계

드론을 모니터링하는 관제 시스템을 통해 드론이 운행 시 서로의 길과 방향과 충돌 예상되는 정보를 제공시 각 드론의 속도저하 및 정지 등의 명령어를 이용하여 진행 하고 충돌 환경에 접근시 운행 드론의 이동 우선 순위를 제공하는 방식이다. 본 연구는 이 사례에 대해 직접 테스트 환경을 구축하여 운영 하였다.

### 6. 혼합형 장애물 회피 방안

장애물감지 센서가 내장된 드론을 사용하는 경우 동일 기종에 대해서는 서로가 충돌회피를 진행할 수 있다. 또한 지정된 공역 운영시 ROI(Region of interest) 영역에서 관제와 연계하여 충돌회피 기능을 수행하는 방안으로 기술발달로 충돌회피 방안으로 가장 적절한 방법이다. 그러나 이 환경을 구축하기 위해 상대적으로 고비용이 발생하는 환경을 가지고 있다.

## III. 연구 설계

### 1. 연구 내용

본 연구는 다중드론 운영시 관제 기반 충돌 방지에 대해 연구로서 관제시스템 연동을 통해 자율 비행하는 드론을 대상으로 연구하였다. 관제 서버에서 지정한 운행 공역을 제공하여 운영시 해당 공역 통과시 서로 충돌 위험이 발생하는 경우 회피 방안을 제시하는 것이다.

드론에 내장된 APAS(Advanced Pilot Assisatance System, 고급 파일럿 보조 시스템)기능의 경우 장애물이 인식되는 경우 회피하는 기술이지만 이 경우는 지정된 공역을 운행시 드론간 충돌 상황이 발생시 관제에서 프로그램화된 우선 순위에 따라 운행을 하는 방법에 대해 연구하였다.

### 2. 연구 환경 및 조건

연구의 가정 조건은 1) 드론 3대가 동시에 지정된 공역을 통해 운영하는 경우, 2) 운행하는 지상 20m 상공에 고정된 장애물이 존재하지 않는다는 전제, 3) 이동 드론

공역은 직경 50m로 설정, 4) GPS 수신 상태는 0.5m 정확도 유지, 4) 이동 드론을 경로를 이탈 시킬 수 있는 바람 등 외부 환경요인이 없는 환경에서 이루어졌다. 운용 고도는 지면으로부터 20m이상 이며, 총 3대의 드론으로 10분 내의 공동 비행을 진행하였으며 총 6회 테스트를 진행 되었다.

표 2. 테스트 환경

Table 2. Test environment

| 구분        | 내용  |
|-----------|---|
| 연구 가정     | 1) 드론 3대가 동시에 지정된 공역을 통해 운영하는 조건<br>2) 운행하는 지상 20m 상공에 고정된 장애물이 존재하지 않는다는 전제<br>3) 이동 드론 공역의 직경은 50m로 설정<br>4) GPS 수신 상태는 50cm 정확도 유지<br>5) 이동 드론을 경로를 이탈 시킬 수 있는 바람 등 외부 환경요인이 없는 환경 |
| 운용 고도     | 지면으로부터 20m 이상 위치  |
| 충돌민감기준    | 지정된 위치에서 회피대상과 거리가 경로 이탈모드에 충족할 시   |
| 동시운행 드론수  | 3대  |
| 관제센터 통신규격 | 무선 통신 (ethernet 규격)   |
| 전원        | 배터리   |
| 운용기기 스펙   | Pixhawk Drone   |
| 테스트 횟수    | 총 3회 진행   |
| 테스트 시간    | 각 10분 내외  |
| 지상시험장치    | 위치 및 자세 정보 획득용 RF 또는 LTE Drone 및 조종기 등 주변 기기, 현장 제어 노트북, 전원부 (전원제공장치)   |

업무수행단계를 살펴보면, 1) 항행 운행경로 공역 설계 알고리즘 적용, 2) 지정된 항행 경로에 따라 드론이 운영 여부 확인, 3) 충돌 회피 알고리즘 작동, 4) 테스트 결과 분석 단계로 정리하였다.

### 3. 테스트 시나리오

3대 드론을 사용하여 각 드론이 운행경로에 교차로에 접근시 충돌을 회피하는 방안에 대해 제시하였다. ROI(Road of interest) 중심 공역을 직경 25m로 설정하고 ROI 공역에 먼저 접근한 드론에게 운행 우선권을 제공하고 나머지 드론이 ROI 공역에 접근 후 정지 모드를 수행하도록 하였다. 우선 순위의 드론이 ROI 공역을 벗어나고 진행 방향으로 진행하게 되면 다음 우선 순위로 배정된 드론이 운행하는 것으로 설계하였다. 각 드론의 출발 시간과 운행속도가 다르게 진행하여 ROI 영역

도착 시간이 다르게 제공 되었다. 각 드론의 경우 지정된 프로그램에 맞게 자율 비행을 수행하는 임무를 수행하는 방식을 사용하였다.

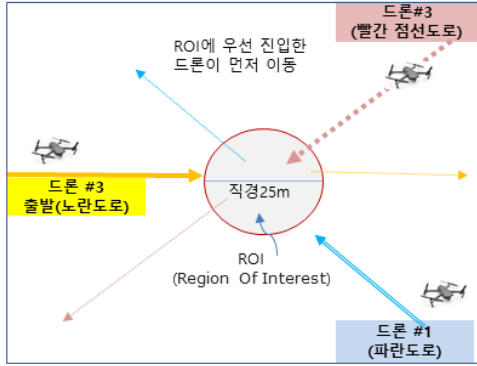


그림 2. 드론 운행 시나리오 경로  
 Fig. 2. Drone operation scenario

#### 4. 항행 운행경로 공역 설계

3대의 드론이 서로 다른 위치에서 출발하여 ROI에 도달하는 경우에 드론 간 충돌이 발생할 수 있다. 이 경우에 드론이 충돌을 회피하는 방안에 대한 설계를 진행하였다.

꼬깔콘 모양으로 각 드론의 이동 예상 공역을 설정하고 빨강색도로(드론 #1), 파란색도로(드론#2), 노란색도로(드론#3)으로 표시하였다. 각 드론이 교차 예상되는 중앙 부분은 직경이 25m 형태의 ROI(region of Interest) 반경을 설정하였다.

동시에 3대의 드론을 운행하는 경우 각 드론이 움직이는 항행 경로 공역을 지정할 사항을 꼬깔콘 모양으로 표시 후 그 경로대로 운영할 수 있도록 관제 시스템에서 지정하였다. 이동시 각 드론의 운행 공역 반경은 드론 위치 기준 원형 기준으로 5m, 직경 기준으로 10m를 지정 하였다. 시험 비행 길이는 100m로서 지정된 항행 경로로 운영하는 경우이다.

항행 경로 설정시 지표면의 좌표를 2D로 고려하여 바둑판 모양으로 지점을 분할하여 해당 지점에서 공역을 원형으로 그리도록 했으며 좌표계의 분할 간격은 각 0.5m \* 0.5m 기준으로 분류하였다. 관제와 통신 상황은 2Hz(0.5초) 간격으로 진행하였다. 운행하고 있는 드론은 현재의 위치를 관제에 전송하고 이동 경로를 관제 시스템은 표시하였다.

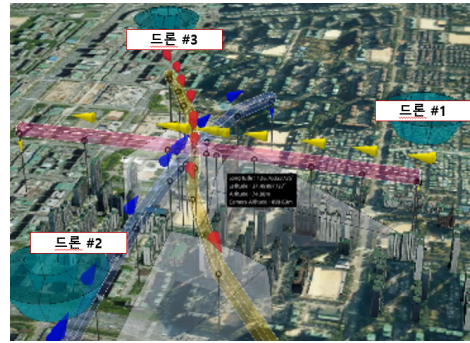


그림 3. ROI 영역과 각 드론의 출발지점을 설정  
 Fig. 3. Set the ROI area and the starting point of each drone

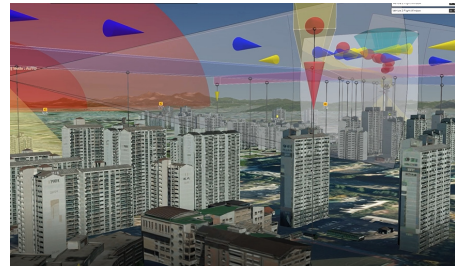


그림 4. 드론의 예상 경로를 GPS 좌표로 매칭  
 Fig. 4. Matching the predicted path of the drone with GPS coordinates

#### 5. 지정된 공역 기반 드론 운영 검증

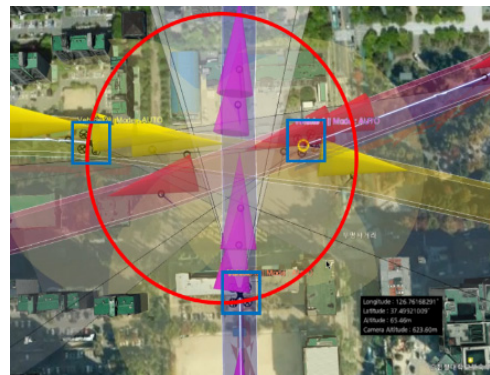


그림 5. 지정된 공역에서 드론 운행 현황  
 Fig. 5. Drone operation status in designated airspace

3대의 드론이 지정된 공역을 운행하는 것을 확인하고 실시간으로 ROI 영역으로 접근시 위치와 시간을 계산하여 정상 접근하는 것에 대해 테스트 하였다. 이 경우 운

행 후 지정된 경로와 실제 운행 경로와 오차를 측정하고, 이 영역은 지정된 공역 범위 내에 존재하거나 경계선에 걸치는 경우 동일 경로로 인식하여 측정하였다. 영역을 벗어나는 요인은 첫째, 외부적인 환경 요인(ex. 강풍 등)에 공역을 이탈하는 경우가 발생하고, 둘째, GPS 위치 오류 인식이지만 본 테스트의 경우 테스트 환경은 이 환경이 발생하지 않는 경우에 진행하였다.

### 6. 충돌 회피 알고리즘

ROI 지점에접근함에 따라 실시간으로 각 드론이 움직이는 거리 계산을 통해 진행시 충돌 가능성을 관제 신호에 제공하고 통신을 통해 서로 우선 순위와 정지 여부를 결정하여 진행한다. 이 기준은 드론의 ROI에 도착순서에 따라 먼저 도착한 드론이 우선 통과 순위를 제공하고 해당 드론이 ROI 영역을 통과하는 동안 다른 드론은 정지를 한다. 우선 순위의 드론이 ROI 지역을 벗어난 후 다른 순위의 드론이 해당 지역을 통과한다. 이 과정을 통해 각 드론이 서로 충돌하지 않고 원하는 임무 수행을 진행한다.

운행하던 드론이 다른 공역인 다른 드론의 운행 공역에 진입하는 경우 운행 속도를 줄이고 호버링을 유지하는 것을 원칙으로 하고 다시 원래 지정된 위치로 복귀하는 것으로 정했다. 운행기기의 이동속도와 진행 거리를  $S(\text{이동거리})=V(\text{속도}) \times T(\text{시간})$  규격으로 위치와 시간에 따른 이동정보를 측정한다. 이는 위치정보와 이동속도 정보와 GPS를 통해 확보된 위치 정보로 자세 정보를 이용한다. 맵핑은 기본적인 격자 지도법에 따라 관제 서버에서 진행하고 각 운용되는 드론의 위치정보는 관제서버에 통신으로 저장된다. 따라서 관제서버의 정보처리 속도가 중요한 요인이다.

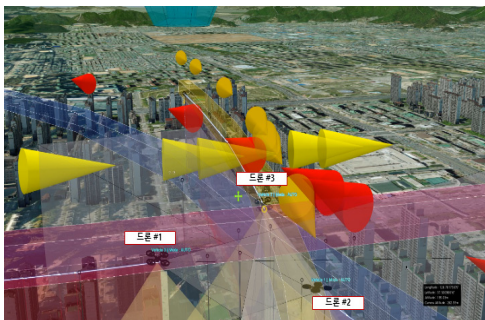


그림 6. ROI 영역에서 운행 현황  
Fig. 6. Operational status in the ROI area

표 3. 드론간 충돌 제어 모드 단계  
Table 3. Drone Collision Control Mode Steps

| 구분 | 경고수준 | 거리* | ETO (sec) | 대응 현황             |
|----|------|-----|-----------|-------------------|
| 충돌 | 4    | 30  | 0-5       | 이탈회피 및 착륙 제어      |
| 주의 | 3    | 50  | 5-10      | 임의 한 대 정지 및 재개 제어 |
| 관심 | 2    | 80  | 10-15     | 관제 시스템 운용자 경고 표출  |
| 인식 | 1    | 100 | 15초이상     | 무반응               |

\* 두 기체 사이 or 3대 이상은 공역 ROI

운행 역역을 이탈하는 경우 다음과 같이 4단계로 구분하여 정보를 제공한다.

드론 간 충돌인식 과정의 단계는 총 4단계로 분류하여 관제시스템과 통신시 현재의 환경에 대해 정보를 제공하도록 설계되었다. 1단계는 인식, 2단계는 관심, 3단계는 주의, 4단계는 충돌로 구분하였다.

본 연구 환경에서는 외부 환경적 요인으로 경로 이탈하는 경우는 외부 환경인 바람 등에 영향을 받거나, GPS의 오류를 통해 지정된 위치가 다른 경우로 위치 정보를 통해 지정된 운항경로로 복귀하도록 설계되었다.

경로 이탈 주의 모드가 발생하면 주행속도를 10km로 줄이고 이탈모드에 진입하면 정지 호버링이 진행된다. 다시 경로 정보를 관제 시스템으로 수령하여 업로드 후 비행을 진행한다.

## IV. 연구 결과 분석

### 1. 시험 비행 내용 분석

경기도 부천시 중동에 소재하고 있는 경기국제통상 고등학교 중심의 야외 현장에서 비행 테스트를 진행하였다. 테스트 공역의 규모는 경기국제통상고등학교 중심 반경 733m(가장 먼 드론 기준)으로 진행되었다. 야외 현장에서 비행한 데이터를 시각적으로 이해를 돕기 위해 자료를 3D GIS (Geographic Information System) 데이터 기반으로 연계하여 분석하였다. 각 드론의 경우 지정된 공역을 자율비행하는 방식을 사용하였다. 본 연구에서 선정한 시나리오는 드론이 운행시 서로의 목적에 따라 동일한 공역을 교차 비행하는 경우를 채택하였다. 실험을 위한 준비 테스트는 수차례 진행했으며, 실제 분석에 활용된 자료의 테스트 시간은 11분 20초 진행되었다.

GCS(Ground Control System) 기반 드론에 활용한

관제 시스템은 CLROBUR DROW4D GCP(Ground Control Platform)가 제공하는 플랫폼을 사용하였다.

실제시험 테스트의 결과 지정한 ROI 공역에 접근시 먼저 접근한 드론 #1은 정지 없이 진행하고 두 번째로 ROI에 접근한 드론 #2는 ROI 접근 영역에서 정지를 하였다. 첫 번째 접근한 드론 #1이 ROI 영역을 벗어나자 드론 #2가 다시 진행을 하고 3번째로 ROI에 도착한 드론 #3 이 정지모드를 진행하였다. 그리고 드론 #2가 ROI 영역을 벗어나고 바로 드론 #3이 진행을 하였다.

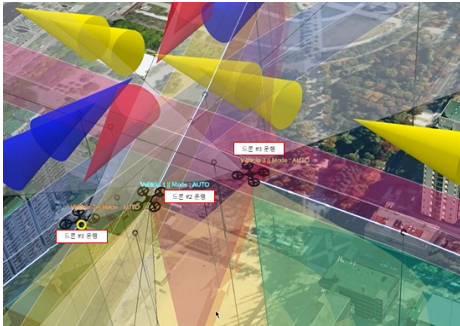


그림 7. ROI 영역에 접근하여 순차별 운행  
Fig. 7. Sequential operation by approaching the ROI area

이 결과 드론 충돌을 회피하는 방안으로 관제 시스템에서 드론 예상 경로와 시간을 기반으로 추정되는 ROI 영역에 대한 정확한 정보를 설정후 드론 충돌을 제어 할 수 있는 방안으로 적절하다는 것을 실증하였다.

## 2. 시사점

본 연구는 관제 기반으로 운행되는 드론간 충돌 방지 방안에 대한 아이디어를 제공하고 이를 실질적인 테스트를 진행했다는 것에 의의를 두고 있다.

본 연구를 통해서 다음과 같은 시사점을 확보하였다.

첫째, 운행하는 드론의 항로 직경은 충돌 위험을 줄일 수 있는 규모를 선정 해야 한다. 본 연구에서는 운행하는 항로 직경은 10m로 지정하여 테스트를 진행하였다. 운행공역을 설계 하는 경우 운행 직경이 클수록 충돌 위험이 적어 유리 하지만 실제 환경에서는 운행하는 드론의 목적에 따라 운행 직경은 결정되어야 한다.

둘째, 분석 결과 운행하는 드론의 출발 시간과 운행속도의 변화는 충돌에 영향요인으로 작동하지 않았다. 다만 ROI 영역 선정의 크기를 얼마가 적당한 것인지에 대해서는 드론의 운행속도에 중요한 영향을 제공한다.

셋째, 충돌을 회피하기 위한 대응 방안으로 비행 우선 순위를 제공하는 것이 적절한 방법중의 하나로 조사 되었다. 또 다른 아이디어 측면으로 동시에 운행하면서 운행고도를 변경하는 것이 있지만 이 부분에 대해서는 테스트가 이루어지지 않았다. 이 경우는 향후 연구과제로 다루어 보는 것으로 남겨 두었다.

드론 및 무인 이동체들은 자율주행, 충돌방지 및 지상 통제 센터에서의 운항정보 수집, 통제의 목적으로 위치, 속도, 방향을 포함하는 항법정보를 주기적으로 전달한다.

관제 시스템은 드론이 송신하는 데이터에 따라 충돌 제어를 진행하기 때문에 실시간 위치 정보 취득 실패 또는 GPS 오류 및 부정확한 위치 정보 등이 발생하게 되면 관제 시스템에서 그에 따른 예외 처리 및 추가 알고리즘이 필요할 수 있고, 일반적인 충돌 회피제어에 어려움이 있다.

관제시스템 통신 기반으로 이동에 따른 경로를 구성하기 위해서는 라우팅 방식은 가능한 상태 정보를 확인할 수 있어야 하고 라우팅 프로토콜의 오버헤드를 최소화해야 한다. 관제의 개입 없이 드론 자체로 충돌을 회피하는 것과 비교하여 관제에서 통제가 진행되는 것은 통신에 대한 부담감이 존재한다.

한계요인은 드론을 여러 가지 환경과 장소에서 테스트 할 수 없었으며, 이에 따라 등장하는 다양한 제약 요인에 대해 검증은 향후 과제로 남겨두었다.

## V. 결 론

본 연구는 다중드론 운영시 관제 기반 드론간 충돌 방지 방안에 대해 연구하였다.

드론의 장애물 충돌방지의 경우를 살펴보면, 1) 외부 기기 장착으로 드론이 외부 장애물 회피, 2) 드론 내부에 장착된 장애물 회피센서를 사용하여 장애물회피, 3) 전용 운용 공역을 제공하여 충돌을 회피하는 방안, 4) 관제기반으로 충돌을 회피 하는 방안, 5) 드론의 내외부 기능뿐만 아니라 관제 기반 시스템과 혼합하여 드론 충돌을 회피하는 방안으로 분류 할 수 있다.

본 연구는 관제 공역 다중 드론 운행 충돌 방지 방안에 대한 연구로서 드론 충돌을 회피하는 방안으로 관제 시스템에서 드론 예상 경로와 시간을 기반으로 추정되는 ROI 영역에 대한 정확한 정보를 설정 후 드론 충돌을 제어 할수 있는 방안으로 적절하다는 것을 실증하였다. 실험분석 결과에서 운행하는 드론의 항로 직경은 충돌 위

험을 줄일수 있는 규모를 선정 해야 하며, 운행하는 드론의 출발시간과 운행속도의 변화는 충돌에 영향요인으로 작용하지 않았다. 또한, 충돌을 회피하기 위한 대응 방안으로 비행 우선 순위를 제공하는 것이 적절한 방법 중의 하나로 실증되었다.

본 연구는 관제 공역 다중 드론 운행 충돌 방지 방안에 대한 아이디어를 제공하고 이를 실질적인 테스트를 진행했다는 것에 의의를 두고 있다.

충돌회피 방안에 대해 드론 내부 센서 기반 회피뿐만 아니라 기존에는 없던, 관제 시스템에서 충돌을 모니터링 및 예측하고 실시간 제어를 수행으로 이중으로 충돌을 보완 할수 있다.

이는 관제기반으로 이기종 드론들이 다수 운행시 등장하는 각종의 문제를 해결하는데 도움이 될 것이다. 본 연구는 드론의 충돌로 인한 사고 방지와 안전한 드론 운행 환경 제공을 통한 관련 산업의 발달에 기여 할 것이다.

## References

- [1] Ministry of Science, ICT and Future Planning, "The 4th Industrial Revolution Technology Incorporation: 10-Year Roadmap for Technology Innovation and Growth of Unmanned Vehicles", 2018
- [2] Geographical Information Service, "Study on Policy Preparation for Promotion of Utilization of Unmanned Aerial Vehicle Spatial Information Field", 2020
- [3] Myung-Il Kim, Dae-Yong Jung, Su-Min Kim, Jin-Kyu Lee, Mun-Hyun Choi, and Ho-Yoon Kim. "A Collision Simulation Study on the Structural Stability for a Programmable Drone." Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 20, no. 5 (2019): 627-635.
- [4] Jun-Mo Jo.. "Communication Network Topology and Performance Evaluation of the Drone Delivery System for Collision Avoidance." The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences 10, no. 8 (2015): 915-920.
- [5] Dentler, Jan, Somasundar Kannan, Miguel Angel Olivares Mendez, and Holger Voos. "A real-time model predictive position control with collision avoidance for commercial low-cost quadrotors." In 2016 IEEE conference on control applications (CCA), pp. 519-525. IEEE, 2016.
- [6] Kumar, Adarsh, Rajalakshmi Krishnamurthi, Anand Nayyar, Ashish Kr Luhach, Mohammad S. Khan, and Anuraj Singh. "A novel Software-Defined Drone Network (SDDN)-based collision avoidance strategies for on-road traffic monitoring and management." Vehicular Communications 28 (2021): 100313.
- [7] Zhang, Na, Mingcheng Zhang, and Kin Huat Low. "3D path planning and real-time collision resolution of multirotor drone operations in complex urban low-altitude airspace." Transportation Research Part C: Emerging Technologies 129, 2021.
- [8] Junho Jeong, Hakseong Gim, Dongwoo Lee, Jinyoung Suk, Seungkeun Kim, Jingu Kim, Si-dae Ryu, Sungnam Kim. "Development of Collision Prevention System for Agricultural Unmanned Helicopter", J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Vol44, No7, pp463-467, 2016.  
DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2016.44.7.1  
ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)
- [9] Sato, Shido, and Takashi Anezaki. "Autonomous flight drone for infrastructure (transmission line) inspection (2)." In 2017 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS), pp. 294-296. IEEE, 2017.
- [10] Chitanvis, Rajas, Niranjana Ravi, Tanmay Zantye, and Mohamed El-Sharkawy. "Collision avoidance and Drone surveillance using Thread protocol in V2V and V2I communications." In 2019 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON), pp. 406-411. IEEE, 2019.
- [11] Jongkwon Kim, Yeongjee Chung, A Study on Multi-Drone Communication Routing Protocol, 2019 Fall Conference, Vol 26, No2, 2019.

## 저 자 소 개

### 유 순 덕(Yoo Soonduck)



- 1991년 2월 : 국민대학교 수화(학사)
- 1994년 2월 : 연세대학원 수화 (이학석사)
- 1995년 12월 : 영국뉴카슬 대학 응용수화 (석사)
- 2010년 3월~2013년 2월 : 한세대학교 IT융합 박사
- 2013년 9월~현재 : 한세대학교 조교수
- 관심 분야 : 전자금융, 창업 및 벤처, 빅데이터, 정부 정책, 개인정보 및 보안



### 최 태 인(Taein Choi)



- 1995년 2월 : 한밭대학교 학사
- 2012년 3월~2016년 12월 : NIPA SW공학센터 품질위원
- 2017년 6월~2019년 5월 : 인천스마트시티 부장
- 2019년 7월~현재 : 클로버스튜디오 대표

- 관심분야 : 드론 관제 시스템, 군집비행, 3D 그래픽스, 인공지능

### 조 성 원(Seongwon Jo)



- 2019년 2월 : 한서대학교 항공소프트웨어공학과(학사)
- 2019년 1월~7월 : 인천스마트시티(주) 기업부설연구소 연구원
- 2019년 7월~현재 : 클로버스튜디오 기업부설연구소 책임연구원

- 관심분야 : 드론 관제 시스템, 군집비행, 3D 그래픽스, 인공지능, 웹, 앱 응용시스템, 드론 임베디드, 영상 처리, 통신보안

※ 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(21CTAP-C163557-01)에 의해 수행되었습니다.