

Self-Drop을 이용한 드론의 비행 금지구역 진입 제한에 관한 연구

김장원*

A Study on Restrictions on Entry of Drones into No-Flight Zones using Self-Drop

Jang-Won Kim*

요약 최근 드론을 엔터테인먼트 도구로 이용하는 문화생활이 다양하게 만들어지고 있고, 이를 실현하기 위해 비행 금지 구역을 침범할 정도로 성능이 좋은 드론을 이용하는 사용자가 많아지고 있다. 만족도가 높은 엔터테인먼트 활동을 위한 드론은 체공 시간도 길어야 하고 장거리 비행도 가능해야 하는데, 이것이 종종 비행 금지구역을 침범하거나 또는 원하지 않는 비행 충돌 문제가 발생하여 큰 피해가 날 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 GCS(Ground Control System)로 비행 금지구역을 설정하고, 임계속도 10km/h 이하로 비행할 경우 비행 금지구역으로부터 10m 떨어진 임계거리 안으로 들어오지 않게 하여 안전하게 드론을 조종하게 하고, 임계속도 이상으로 비행해서 임계거리 안으로 진입할 경우 드론이 GCS 제어에 의해 self-drop 하도록 하여 비행 금지구역 안으로 들가지 못하도록 하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법으로 특정 실험 지역에서 총 44번의 반복실험을 한 결과 한두번 제한구역을 넘어간 경우를 제외하고는 드론이 안전하게 self-drop한 결과를 얻었으며 제안한 방법으로 드론을 제어할 경우 비행 금지구역으로 넘어가는 것을 막을 수 있는 적절한 방법임을 확인할 수 있었다.

Abstract Recently, a variety of cultural life using drones as an entertainment tool has been created, and in order to realize this, more and more users are using drones with good performance enough to invade the no-flight zone. Drones for satisfying entertainment activities must have long flight times and be able to fly long distances, which can often cause great damage by invading no-flight zones or causing unwanted flight crashes. In this study, in order to solve this problem, a no-flight zone is set with GCS(Ground Control System), and when flying at a critical speed of 10km/h or less, the drone is safely operated by not entering the critical distance 10m away from the no-flight zone, and the critical speed A method was proposed to prevent the drone from entering the no-flight zone by allowing the drone to self-drop by GCS control when it flies beyond the threshold and enters the critical distance. As a result of a total of 44 repeated experiments in a specific experimental area with the proposed method, the drone safely self-dropped except for the case where it crossed the restricted area once or twice. It was found to be an appropriate way to prevent this.

Key Words : Drone, Self-Drop, GCS, No-Flight Zone, GPS

1. 서론

최근 짧은 거리가 아닌 비행 금지구역[1]을 침범할 정도로 성능이 좋은 드론으로 야외활동을 하는 이용자가 많아지고 있으며, 동시에 드론으로

인하여 문제가 발생하는 것을 방지하기 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 목적을 달성하기 위한 드론은 체공 시간도 길어야 하고, 장거리 비행도 가능해야 하는데, 이것이 종종

*Department of Electronic Engineering, Gachon University(jwkim@gachon.ac.kr)

Received December 04, 2022

Revised December 11, 2022

Accepted December 15, 2022

비행 금지구역을 침범하거나 또는 원하지 않는 비행 충돌[2]의 문제가 발생하여 큰 피해가 나타날 수 있다.

현재 대한민국은 드론을 임의의 장소에서 불법정하게 누구나 비행시킬 수 있는 것은 아니고, 일정 성능 이상의 드론은 반드시 비행할 장소와 시간을 신고한 뒤에 비행시킬 수 있다. 하지만 이를 허가하는 관청 입장에서는 비행 제한구역을 임의의 조종기술로 침범하지 않을거라는 보장이 없고, 실제로 빈번하게 비행금지 구역을 침범하고 있다. 따라서 이러한 문제를 근본적으로 예방하고, 실령 일어난다 해도 매우 짧은 시간에 제한구역을 벗어나게 하거나, 문제가 발생하기 이전에 스스로 비행 멈춤이 될 수 있도록 할 필요가 있다. 이러한 기능이 드론 사용자에게 제공이 된다면 관할 관청 입장에서는 매번 반복되는 비행 금지구역 침범 방지를 위해 항상 실시간으로 감시하고 긴장해야 하는 문제로부터 자유로워질 수 있으며, 드론 이용자 입장에서는 간단하게 비행 금지구역 좌표 입력만으로 편리하게 비행 자유구역 내에서 드론을 이용할 수 있게 될 것이다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 GCS(Ground Control System)[3~5]에 비행 금지구역의 좌표를 설정하고, 이를 이용한 비행 금지구역 경계값을 만들어서, 드론 조종으로 그 경계에 접근했을 때, GCS가 이를 판별하여 드론이 경계값을 넘지 않도록 하는 방법을 제안하고, 실험을 통하여 확인하고자 한다. 또한 만약 전자기적 영향이나 급박한 일기상황에 의하여 임계 속도 이상으로 경계에 접근하게 될 때는 조종자의 판단보다 더 빠르게 드론이 스스로 비행 멈춤 하도록 하여 조종 불가능한 상태에서 비행 금지구역으로 들어가지 않도록 하는 self-drop 방법을 제안하고 실험을 통하여 동작의 우수성을 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 비행 금지 구역

비행을 할 수 없는 구역을 항공안전법 제78조

(공역 등의 지정), 79조(항공기의 비행제한 등)로 정하고 있으며, 이 구역 내에서 비행을 할 경우 지방 항공청이나 국방부의 허가를 받아야 한다. 현재 항공법상의 P-73 수도권 비행 금지구역은 그림 1과 같다. P-73은 서울시 대부분 지역, 휴전선 부근 및 기타 지정한 비행 금지구역이 있고, 비행장 기준 반경 9.3km 이내, 그리고 모든 지역에서 150m 이상의 고도 제한, 인구 밀집지역 또는 사람이 많이 모인 곳에서 비행을 제한하고 있으며 드론도 이 규정에 따라 비행해야 한다.

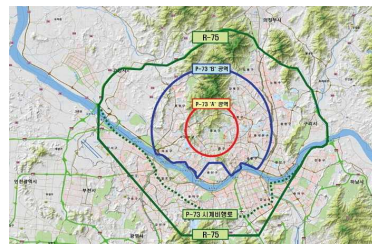


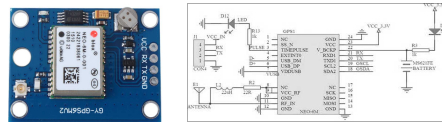
그림 1. P-73 비행 금지 구역

Fig. 1. P-73 No-flight zone

2.2 GPS(Global Positioning System) 신호처리

2.2.1 GY-GPS6MV2

GPS[6~7] 신호를 처리하기 위해 사용한 센서는 NEO-6M GPS 모듈이며 메인 칩은 GY-GPS6MV2이다. 이 모듈에는 방위각을 측정하는 compass가 포함되어있고, CAN 통신을 통하여 FC(Flight Controller)와 통신한다. 그림 2(a)는 NEO-6M GPS 모듈이며, 그림 2(b)는 GY-GPS6MV2 칩을 기준으로 구성된 회로도이다. 여기서 핀번호 20/21에 해당하는 TX/RX가 NEO-6M GPS 모듈의 RX/TX에 연결되어 있고, FC가 이 포트를 통하여 GPS 신호를 받는다.



(a) Module (b) Circuit diagram

그림 2. NEO-6M GPS 센서

Fig. 2. NEO-6M GPS sensor

2.2.2 실험에 사용된 drone system

본 연구에 사용된 그림 3의 드론 시스템은 HUINS 사의 Blueys-1K 모델이며, GPS 신호 수신을 위해 NEO-6M GPS 모듈을 추가로 장착하였고, 이 모듈이 GPS 신호를 수신하여 FC에 전달하고 GCS가 이 GPS 신호를 이용하여 제안한 드론의 동작 제어를 수행하도록 한다.

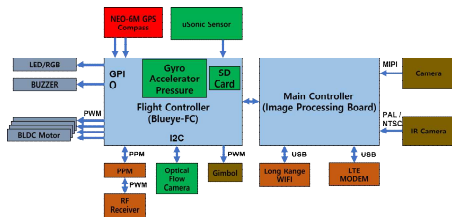


그림 3. 드론의 블록 다이어그램
Fig. 3. Block diagram of drone

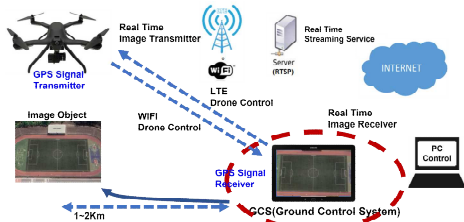


그림 4. GCS 운용
Fig. 4. GCS operation

2.2.3 GCS(Ground Control System)

MAVLink 프로토콜을 사용하는 GCS는 지상 관제 시스템이라고도 하며 그림 4에 나타내었고, 드론과 명령 및 데이터를 송수신하는 시스템이며, 드론의 비행 궤적과 속도 고도 등의 자료를 받고 이를 분석하여 드론을 제어하게 된다. 즉, 비행 전후 또는 비행 과정의 모든 상태를 통제할 수 있다. GCS에서 드론의 비행 금지 좌표를 설정하고, 드론의 현재 좌표를 받아 적절한 위치에 있는지를 판단하게 되며, 적절하지 않은 경우에는 제안한 방법으로 드론을 제어하게 된다.

2.2.4 MAVLink를 이용한 GCS 동작

GCS는 드론을 MAVLink(Micro Air Vehicle)[8] 통신 프로토콜을 이용하여 비행 및 제어가 가능하도록 한다. 즉, 드론과 GCS 사이에 MAVLink 프로토콜이 통신 인터페이스 역할을 하게 된다. 여기서 드론으로부터 GPS 신호를 받아서 GCS에게 보내고 이를 처리하여 다시 드론을 제어하는 알고리즘을 그림 5에 나타내었다.

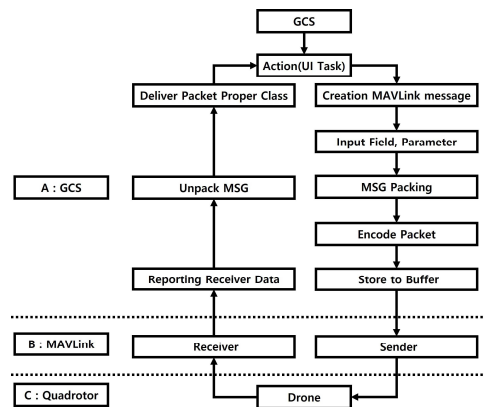


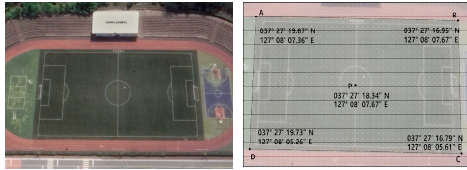
그림 5. GCS를 이용한 드론 제어 알고리즘
Fig. 5. Drone control algorithm using GCS

2.3 드론의 동작 제어

드론이 조종기를 통하여 정상 제어되고 있는 동안에는 비행 금지구역으로 이탈하지 않는다. 만약 비행 금지구역 부근으로 접근하고 있을 때, 임계속도 이하로 접근하게 되면 드론은 GCS로부터 계산된 동작 흐름에 따라 경고 메시지를 통하여 드론 조종자가 방향을 바꿀 수 있고, 다른 한편 임계속도 이상으로 접근하게 되면 DCS로부터 계산된 self-drop 동작 흐름에 따라 스스로 안전한 위치에 착륙하게 된다.

제안한 방법으로 드론의 동작을 확인하기 위하여 그림 6(a)로 나타낸, 본교에 있는 규격화된 축구장에서 실험을 진행하였으며, 드론의 기준 좌표를 축구장의 중앙으로 설정하고, 사각 모서리까지의 기준 거리를 모두 계산하였고, 이 기준 지역 외부는 비행 금지구역으로 설정하였다. 그

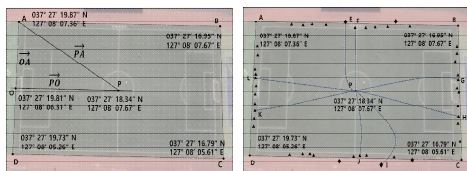
리고 경계에 접근할 때 드론의 임계속도를 10km/h로 설정하고, 비행금지 경계와의 임계거리는 10m로 하였으며 고도는 5m로 유지하도록 하였다. 각 모서리 GPS 좌표는 기준점이 되는 모서리와 중앙에 드론을 착지시키고 획득한 좌표 값이다. 이 GPS 값을 그림 6(b)에 나타내었다.



(a) soccer field (b)GPS coordinate values
 그림 6. 실험 진행 구역
 Fig. 6. Experiment area : soccer field

2.3.1 위도와 경도를 이용한 거리 계산

위도는 지구를 종으로 한바퀴 돌면서 각도를 나타낸 값이고, 경도는 지구를 횡으로 한바퀴 돌면서 각도를 나타내었다. 그러나 위도는 모든 방향에서 동일한 거리값을 갖지만, 경도는 위도에 따라 경도 기준 한바퀴 도는 값이 바뀌게 된다.



(a) Distance (b) drone self-drop
 그림 7. 거리 계산과 drone의 self-drop 한 결과
 Fig. 7. Distance calculation and drone self-drop

그림 7(a)에서 드론이 있는 위치 P는 북위 37° 27' 19.73', 동경 127° 08' 07.67"이다. 모서리 A까지의 거리를 벡터 \vec{PA} 로 표시한다면 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{PA} = \vec{PO} + \vec{OA} \quad (1)$$

여기서 \vec{PO} 는 두 지점간의 경도 차를 나타내

고, \vec{OA} 는 두 지점간의 위도차이다. 동일한 방법으로 드론이 있는 지점 P로부터 거리를 모두 구할 수 있고, 경계로 설정한 위치의 거리를 모두 구할 수 있다.

실제 GPS 값을 해석할 때 지구 둘레가 약 4만 Km이고, 수평으로 나타낸 것이 위도이므로 1도간의 거리를 경도에 상관 없이 일정하다고 볼 수 있다. 즉, 1도는 40000/360이면 약 111km, 1분은 111/60이므로 약 1.85Km, 1초는 18.5/60이므로 약 30.8m이다. 그러나 경도는 위도가 커질수록 경도 사이는 좁아지기 때문에 위도별로 다르게 구해야 한다. 삼각함수를 이용하여 임의의 위도에서 경도간의 간격은 우리나라가 표준된 중앙위선인 38도를 기준으로 구하면, $\cos(38^\circ)$ 은 0.7880이므로 다음과 같이 쉽게 북위 38도에서의 경도간의 간격을 구할 수 있다. 즉, 1도는 40000*0.77880/360이므로 약 87.5Km이고, 1분은 87.5/60이므로 1.45Km, 1초는 1.45/60이므로 약 24.1m이다. 이를 이용하여 두 GPS 지점간의 거리를 쉽게 구할 수 있다. 이와 같은 방법으로 \vec{OP} 에 해당하는 위도차이는 1.47이며 거리로 환산하면 35.427m이다. 같은 방법으로 위도를 계산하면 1.36이며 거리로 환산하면 33.32m이다. 따라서 \vec{PA} 의 거리는 다음 식 (2)로 구할 수 있다.

$$\vec{PA} = \sqrt{(\vec{OP})^2 + (\vec{OA})^2} \quad (2)$$

식 (2)에 의해 구한 실제 \vec{PA} 의 거리는 48.63m임을 알 수 있다.

2.3.2 Self-Drop

드론이 비행 금지구역의 경계를 기준으로 임계속도 이하로 접근하면서 정상 동작한다면 경계에 도달하기 전에 GCS가 인지하여 비행 금지구역으로 넘어가지 않지만, 만약 비행 금지구역의 경계에 접근하면서 임계 속도 이상으로 들어온다면 문제가 발생하기 전에 드론의 비행을 강제로

멈추게 해야만 한다. 본 연구에서는 GCS가 이를 인지하여 드론이 self-drop 할 수 있게 하였다. 그림 7(b)는 각각의 사분면에 대하여 self-drop 한 결과를 나타내었다.

표 1. 비행 금지 경계와의 거리(\overline{AB} 방향)

Table 1. Distance from the no-flight boundary(\overline{AB} direction)

No	Latitude	Longitude	Distance
1	37°27'19.40" N	127°08'07.39" E	3.01m
2	37°27'19.18" N	127°08'07.40" E	2.77m
3	37°27'19.05" N	127°08'07.43" E	0.08m
4	37°27'18.79" N	127°08'07.47" E	1.08m
5	37°27'18.56" N	127°08'07.54" E	0.60m

표 2. 비행 금지 경계와의 거리(\overline{BC} 방향)

Table 2. Distance from the no-flight boundary(\overline{BC} direction)

No	Latitude	Longitude	Distance
1	37°27'16.94" N	127°08'07.39" E	2.15m
2	37°27'16.94" N	127°08'07.26" E	2.15m
3	37°27'16.97" N	127°08'07.11" E	3.08m
4	37°27'16.92" N	127°08'06.94" E	0.05m
5	37°27'16.90" N	127°08'06.83" E	0.92m

표 3. 비행 금지 경계와의 거리(\overline{CD} 방향)

Table 3. Distance from the no-flight boundary(\overline{CD} direction)

No	Latitude	Longitude	Distance
1	37°27'17.50" N	127°08'05.51" E	1.80m
2	37°27'17.64" N	127°08'05.55" E	2.77m
3	37°27'17.91" N	127°08'05.42" E	0.07m
4	37°27'18.09" N	127°08'05.51" E	1.80m
5	37°27'18.19" N	127°08'05.49" E	1.32m

표 4. 비행 금지 경계와의 거리(\overline{DA} 방향)

Table 4. Distance from the no-flight boundary(\overline{DA} direction)

No	Latitude	Longitude	Distance
1	37°27'19.73" N	127°08'05.72" E	2.15m
2	37°27'19.73" N	127°08'05.86" E	2.16m
3	37°27'19.74" N	127°08'05.98" E	1.84m
4	37°27'19.74" N	127°08'06.07" E	1.84m
5	37°27'19.75" N	127°08'06.24" E	1.54m

표 1~표 4는 드론이 임계속도 이상으로 진입

했을 때 강제로 self-drop한 11번 횟수중 5회의 결과만을 나타내었다. 실험에 사용한 임계거리와 임계 속도는 조건에 따라 바뀔 수 있다.

2.3.3 결과 및 고찰

표 1~표 4 사이에서 4방향 모두 만족할만한 결과를 얻었다. 드론이 임계거리 10m 전으로 진입할 때, 임계속도 10km/h 이하로 진입하는 경우는 대부분 GCS가 대응하여 조종이 이루어졌고, 임계속도 이상으로 진입하는 경우는 GCS가 드론이 self-drop 하도록 대응하였으며, 경계값을 기준으로 임계값인 10m 이내에 착륙하였다. 또한 드론의 속도가 10km/h보다 과도하게 빠른 경우도 self-drop 하더라도 경계값을 넘어갔으나, 오차 범위 10m 내에서 착륙하였으므로 문제가 없다고 판단하였다.

\overline{BC} 경계와 \overline{DA} 경계에서는 상대적으로 드론의 출발점 P와 거리가 멀어서 임계속도를 조절하는데 무리가 없었고, 항속을 유지할 수 있어서 경계를 넘어가는 경우가 없었으나, \overline{AB} 경계와 \overline{CD} 경계는 상대적으로 짧은 거리에서 드론의 항속이 잘 유지되지 않은 문제로 인하여 항속 조절의 실패로 경계값을 넘어가는 경우가 발생하였다.

3. 결론

드론을 이용하여 다양한 취미활동을 하는 이용자가 증가되고 있고, 무분별한 드론의 비행으로 인하여 보안이나 안전문제가 꾸준히 발생하고 있으며, 관리자 등은 비행 금지구역으로 진입해서 위험한 상황을 초래하거나 보안상의 문제를 발생시키는 문제를 감지하기 위해 실시간으로 관리해야 하는 어려움이 발생하고 있다.

본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 드론이 비행 금지구역으로 진입하고자 할 때, DCS를 이용한 안전 비행 유도 및 self-drop 기능을 이용하여 비행 금지구역으로 드론이 진입할 수 없도록 하는 방법을 제안하였다.

제안한 방법을 이용하여 특정 실험지역에서 4분면 방향으로 각각 11번씩 총 44번 반복실험을 한 결과 한 두번의 비행 제한구역을 넘어간 경우를 제외하고는 드

론이 안전하게 self-drop한 결과를 얻을 수 있으며 제한된 방법으로 드론을 제어할 경우 비행 금지구역을 넘어가지 않는 적절한 방법임을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

[1] Yeho Kee, "Research about Designation of Restricted Area Dedicated for Remote Piloted Aircraft Flight Test", *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol.9, No.2, pp.25-33, 2015.

[2] S.M. Lee, M.J. Moon, H.I. Chun, W.K. Lee, "Adaptive CFAR implementation of UWB radar for collision avoidance in swarm drones of time-varying velocities", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.25, No.3, pp.456-463, Mar. 2021.

[3] B.K. Kim, S.H. Hong, J.H. Kang, "The proposal of a cryptographic method for the communication message security of GCS to support safe UAV operations", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.25, No.10, pp.1353-1358, Oct. 2021.

[4] H.J. Ahn, Hoang C. Anh, Do T. Tuan, "Design of a GCS System Supporting Vision Control of Quadrotor Drones", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.41, No.10, pp.1247-1255, 2016.

[5] J.Y. Yoon, H.J. Lee, K.J. Park, "UAV System Security Enhancement in Wi-Fi Communication Between UAV and GCS", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.45, No.04, pp.686-690, 2020.

[6] H.Y. Shim, H.T. Joo, H.N. Kim, "Minimizing GPS Clock Synchronization Error for PX4-Based Unmanned Aircraft", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.46, No.04, pp.679-687, 2021.

[7] J.W. Kim, "A Study on Movement Control of Drone using Reference Posture Mapping", *Journal of Korea Institute of Information,*

Electronics and Communication Technology, Vol.14 No.6, pp.461-466, 2021.

[8] M.J. Shin, S.G. Kim, "A Study on the Security Framework in IoT Services for Unmanned Aerial Vehicle Networks", *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.21, No.8, pp.897-908, August, 2018.

저자약력

김 장 원 (Jang-Won Kim)

[중심회원]



<관심분야>

- 2001년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수

영상신호처리, 영상이해, 임베디드 시스템, 인터넷 통신, IPTV, IoT, Drone