

드론을 이용한 송전탑의 연선공사에서 다중 조종 수신장치를 이용한 조종신호 손실의 대처기법에 관한 연구

김 동 영*, 김 경 배^o

A Study on the Countermeasures against Control Signal Loss in Messenger Line Construction of Transmission Tower Using Drone

Dong-young Kim*, Gyoung-bae Kim^o

요 약

드론을 이용한 연선공사 기법은 송전선로의 공사에서 송전선로의 가설을 위한 메신저 연선을 시공하는 최신 기술로 시작 송전탑에서 목표 송전탑까지 최대 850m의 구간에 메신저 연선을 드론을 이용하여 연결하는 방법이다. 드론의 섬세한 조종이 필요한 이 기법에서 조종신호의 손실은 드론 추락의 주요원인 중에 하나이며, 높은 위치에서 비행하는 드론의 추락은 인적, 물적 사고로 이어질 가능성이 매우 높다. 본 논문에서는 조정신호 손실에 대처하기 위한 기법으로 Wi-Fi 신호기반의 드론조정신호를 Wi-Fi 증폭기를 이용하여 연장하는 기법과 다수의 조종기의 조정신호를 수신할 수 있는 다중조종 수신장치를 사용하는 기법을 제안하였다. Wi-Fi 증폭기를 이용하는 기법은 드론 조정신호의 증폭기를 이용하여 드론의 조정 거리를 확장하였고 실험을 통해서 2~3배정도의 드론 조정거리가 확장됨을 보였다. 다중 조정신호 수신기를 사용하는 기법에서는 여러 개의 조정기로 한 대의 드론을 안전하게 제어할 있는 다중 조종신호 수신기를 개발하였다. 개발된 장치를 이용하면 드론이 제어범위를 벗어난 지점에서 새로운 조종기를 이용하여 드론을 제어할 수 있어 드론의 안정성을 크게 높일 수 있다.

Key Words : Drone, Loss of Control Signal, Power Transmission, Messenger Line Construction, Relay Drone

ABSTRACT

The messenger line construction method using drone is the latest technology for constructing transmission power lines. This technique is a method of connecting a messenger strand using a drone in a section of up to 850m from the starting tower to the target tower. In this technique, which requires fine control of the drone, loss of control signals is one of the main causes of drone fall, and the fall of drones flying at high positions is very likely to lead to human and material accidents. In this paper, we propose a scheme to extend the drone signal based on Wi-Fi signal using Wi-Fi amplifier and a method that use multiple control signal receiver that can control one drone with multiple transmitters. The technique using the Wi-Fi amplifier extends the drone's control distance by using the drone control signal amplifier, and the experiment shows that the drone's control distance is extended by 2~3 times. In the technique using multiple control signals receiver of drone, we developed a multi-control signal receiver that can safely control one drone with multiple transmitters. The developed device allows drones to be controlled using a new controller at points outside the control range, which greatly improves drone stability.

* First Author : Seowon University Department of Information Security, ehddudasd@gmail.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Seowon University Department of Information Security, gbkim@seowon.ac.kr, 정교수, 종신회원
논문번호 : 201911-270-D-RN, Received November 2, 2019; Revised March 2, 2020; Accepted April 13, 2020

I. 서 론

발전소에 생산된 전력을 송전하여 수요지까지 장거리 수송하는 것을 송전(transmission)이라 하고, 송전은 첩탑을 건설하여 송전선의 전선을 지지하도록 건설된다. 우리나라에서 154kV 송전선이 운전되기 시작한 때는 1935년부터 이었으며, 1970년대에 들어와서 전력수요가 급격히 증가하여 대량전력수송을 위하여 1976년부터 154kV 송전선의 6배의 송전능력이 있는 345kV 송전선이 운전되기 시작하였다. 765kV 송전선의 지지물은 높이가 100m 이상이 많이 있고, 하중이 많이 걸리므로 안전하게 설계되어야 된다. 2020년 통계청의 자료에 따르면 2018년을 기준으로 우리나라의 송전설비는 34,155 c-km (c-km; circuit kilometer)의 회선공장, 4만개의 첩탑, 그리고 2.15억km의 선로로 구성되어 있다¹⁾.

한국전력공사에서 진행 중인 “8차 송변전설비계획²⁾”에 따르면 2031년까지 송전선로 1만2794c-km, 변전소 270개(변전용량은 16만9177MVA)를 확충해 2031년 송전선로 4만6762c-km, 변전소 1115개(변전용량 48만2966MVA)를 확보하는 것을 목표로 하고 있다²⁾. 이를 위해서 2027년까지 최대수요 1억1089만 kW를 지원하기 위한 전력시설은 계획하고 있으나, 전체수요의 70%를 수도권과 영남권이 점유하고 있어 지방에 위치한 발전소에서 생산된 전력을 소비가 집중되는 대도시로 전송해야 하고 이로 인해 송전탑의 건설과정에서 지역주민들의 민원과 안전사고가 빈번하게 발생하고 있다.

4차 산업의 핵심 분야로 등장하고 있는 드론은 무선전파로 조종할 수 있는 무인항공 비행기로 초기 군사용 목적으로 개발된 드론은 개발과 보급이 가속화되고 있다. 드론시장의 성장은 드론 컨트롤 기술, 드론 통신 기술, 컴퓨팅 기술, 그리고 센서 기술과 같은 핵심 기술의 발전과 함께 이루어지고 있다. 이러한 기술을 바탕으로 다양한 응용들에서 드론을 적극적으로 활용하고 있어 드론은 이제 전력설비, 건설, 교통, 물류, 농업용, 기상관리, 재난재해, 인명 구조 등에서 활용되고 있다³⁻⁷⁾.

드론의 보급 및 안전성의 증가로 응용분야가 활성화됨에 따라서 최근에는 송전선로의 건설과정 중 연선공사에 드론을 이용하는 공사 기법을 적용하고 있다. 연선공사는 송전선로 및 통신선로의 설치에 사용되는 선로의 건설을 위해서 무게가 무거운 전력선을 설치하기 전에 가벼운 연선을 단계적으로 설치하는 방법으로 기존에는 헬기를 이용하나 인력을 이용하는

방식을 사용하고 있다. 드론을 이용한 연선공사 기법은 드론에 연선을 연결하여 헬기나 사람대신 목표지점의 송전탑까지 운반하는 기법으로 헬기연선기법에 비해서는 비행소음 및 피해로 인한 민원발생 및 추락의 위험을 감소시키고, 인력연선기법에 비해서는 공사기간을 크게 단축시킬 수 있는 장점을 지니고 있다⁸⁾. 이러한 장점에도 불구하고 드론 연선 기법은 송전선로 건설 작업이 지방과 대도시를 연결하기 위해 민원이 적게 발생하는 산악지형을 중심으로 건설하기 때문에 송전선로 작업 구간에서는 드론과 드론 조정장치의 수신거리 문제와 산악지형에서의 장애물 등으로 인한 신호단절 현상(signal loss)현상들이 발생하여 드론의 추락과 같은 문제를 발생시킨다.

따라서 본 논문은 드론의 통신 안정성 확보와 드론을 이용한 작업 중에서 발생하는 신호단절을 해결하기 위한 기존의 기법을 분석하고, 이를 해결하기 위한 Wi-Fi증폭기를 이용한 신호 확장 기법과 다중 조종 수신장치를 이용한 신호 확장 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구로 기존의 드론에서 제어와 통신을 위해 사용한 드론의 조종제어 방식에 대하여 알아본다. 3장에서는 송전선로의 연선공사에 대하여 설명하고, 연선공사에서 드론의 추락을 유발하는 신호단절 문제 원인에 대하여 분석한다. 4장에서는 송전선로의 연선공사에서 조종신호 손실의 대처기법으로 신호증폭기를 이용한 신호연장 방식과 다중 조종수신장치를 이용한 연장 방식을 제안한다. 5장에서는 제안된 두 가지 방식에 대한 성능평가와 실제 공사현장에서 적용 예를 설명하고, 6장에서 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 드론의 조종제어 방식

2.1.1 Wi-Fi 기반의 드론 제어

Wi-Fi란 Hi-Fi (High Fidelity)에 무선 기술을 접목한 것으로 근거리 컴퓨터 네트워크 방식인 랜(LAN, Local Area Network)을 무선화한 것이다. 랜을 무선화 하려고 한 초기에는 각 기기 제조사들 마다 각기 다른 무선랜 규격을 사용하여 호환성이 없었지만 미국의 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)에서 무선랜 표준인 IEEE 802.11을 제정하였다. 도입 초기에는 개인용 컴퓨터를 중심으로 사용되었으나 최근에는 스마트폰, 프린터, TV, 냉장고, 세탁기 등의 다양한 기기에 적용되어 Internet of

Things(IoT) 환경을 구축하고 있다⁹⁾.

최근 민간에서의 드론 수요는 급격히 증가추세인 것에 비해 국내 무인 항공기 제어 전용 주파수 할당 및 표준화 작업은 부족한 실정이다. 또한 드론 관련 규제로 인해 개인의 취미, 연구, 산업에 드론을 활용하는 것에 제한이 존재한다. 현재 국내외에 출시되는 대부분의 드론은 주로 Wi-Fi에서 사용하는 비면허 ISM 대역인 2.4 GHz 또는 5.8 GHz 대역을 사용한다¹⁰⁾. 그러나 우리나라에서는 이대역은 누구나 사용할 수 있기 때문에 상호전파간섭을 방지하기 위해 출력이 10mW로 제한되어 있어 드론을 활용하기에는 조종 거리가 2km 이내로 한정된다. 또한, 출력제한이 존재하지 않는다 하더라도 Wi-Fi는 비 허가대역인 ISM 대역을 사용하기 때문에 통신범위가 넓어지면 같은 채널을 사용하는 기기들과의 간섭문제가 발생한다¹¹⁾.

2.1.2 400MHz 또는 900MHz 기반의 드론제어

400MHz나 900MHz는 원구용 드론의 제어나 해외에서 비행중인 드론의 비행 상태 정보 등을 원거리에서 얻기 위해 사용하는 방식이다. 드론의 원격 데이터 측정을 위해서 원격 측정 안테나에 433MHz 또는 900MHz 대역을 사용하지만 국내에서는 이동통신용 대역 등에 이미 할당되어있어 대역이 겹치는 문제가 있다. 또한, 이 방식은 일정수준 이상의 데이터 전송 속도를 지원할 수 없어 드론의 조종을 위한 실시간 영상이나 드론에서 촬영된 고화질의 실시간 영상 또는 사진 데이터를 보낼 수 없는 단점이 있다.

2.1.3 LTE 기반의 드론 제어

LTE 기반의 드론 제어는 LTE 무선망을 이용한 드론의 제어 방식으로 대단위로 구축되어 있는 LTE 무선망을 이용하는 방식으로 최근에 이동통신사를 중심으로 국내외에서 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다^{11,12)}. 이 방식은 드론의 배터리만 충분하다면 LTE 무선망 내에서는 비행거리가 무한으로 늘어나 실시간 영상스트리밍, 고용량 데이터 송수신이 가능하다는 장점을 지닌다.

LTE 무선망을 기반으로 드론을 제어 하는 경우 다음과 같은 문제점이 발생한다.

첫째, 통신방법으로 적용된 TCP는 무선 환경에서 기지국과 기지국 간의 핸드오프 때문에 손실과 지연이 발생하여 성능저하가 일어날 수 있다.

둘째, 대부분의 LTE 기지국 안테나는 지상의 스마트폰 사용자들을 위해 하향링크 방식으로 설치되어 있어 드론의 고도가 높아지는 경우 높은 고도로 비행

하고 있는 드론과의 통신이 불안정하다는 문제가 발생한다.

셋째, 해양이나 산악지형과 같은 곳은 LTE 기지국이 적거나 없어서 LTE 기반의 드론 제어통신 방법을 사용할 수 없다는 문제가 발생한다.

2.1.4 위성통신 기반의 드론 제어

위성통신이란 인공위성이 중계소 역할을 담당하는 장거리 통신방법으로 대기권 밖의 상공에 쏘아 올린 정지위성의 하나인 통신위성을 통해 통신신호를 중계하는 방식이다⁹⁾.

통신위성은 통신가능 범위가 넓고(특정국가 전역), 전리층을 통과하기 위해 주파수가 1GHz 이상으로 높은 마이크로파를 사용하기 때문에 고속, 대용량 통신이 가능하다. 또한 재해가 발생해도 통신의 제약을 받지 않는다는 장점이 있다. 위성통신의 경우 대부분 지상에 망이 구축되는 LTE 시스템, Wi-Fi 환경과 다르게 재해 혹은 전시와 같이 지상의 기반 통신시설이 붕괴된 상황에서도 사용이 가능하다. 특히 위성통신 방식의 드론은 일부 선진국에서 군사용이나 재난재해용으로 많이 사용되고 있으나, 위성발사 및 기지국건설에 막대한 비용이 소요되어 송전선로 공사와 같은 일반 상업용 드론에는 사용하기 어렵다.

2.2 중계드론을 이용한 신호 확장 기법

중계드론을 이용하는 기법은 드론을 이용한 중계시스템으로 그림 1과 같이 장애물이나 거리의 문제로 드론을 제어하기 위한 조종신호가 도달하지 않는 먼 거리의 목표지점에 있는 드론에 조종신호를 보내기 위해서 지상통제시스템(GCS: Ground Control System)의 신호를 중계드론이 수신해서 목표지점의 드론에 전달하는 방식이다¹³⁾.

Boyang Li¹³⁾의 논문에서는 쿼터형 드론을 제어하기 위해 쿼터형 중계드론을 테스트하는 시범시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 실험 결과 수신된 신호에서의 일부 노이즈 값이 측정되었으나, 통신장애물을 극복하여 통신을 설정할 수 있고 통신의 거리를 확장

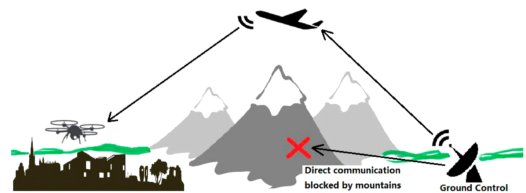


그림 1. 무인항공기의 통신중계 시스템의 응용 예
Fig. 1. Application of UAV communication relay system

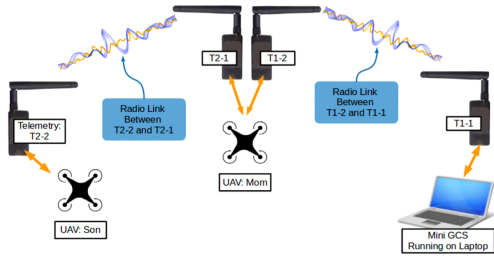


그림 2. 통신 중계 설정[13]
Fig. 2. communication relay setup[13]

할 수 있다는 것을 증명하였다. 또한, 이 시스템은 동일한 중계구조를 이용하여 다수의 무인기를 제어하기에 유용하다는 것을 보여주었다.

제안된 기법의 구현을 위해서 그림 2와 같이 원거리 신호 중계를 위한 장치로 4개의 3DR 915MHz 무선 원격측정기(telemetry)를 사용하였다. 중계드론(Mon)은 T1-2를 이용하여 지상통제시스템(GCS)의 T1-1과 통신을 설정한다. 중계드론의 T2-1 무선 원격측정기는 목적 드론의 무선 원격측정기 T2-2와 연결을 설정한다. 중계드론을 이용한 통신이 설정되면 T1-2로 수신되는 지상통제시스템의 드론에 대한 조정신호를 T2-1을 통해서 목적드론에 전달하는 과정으로 구현되었다.

실험실환경에서 수행된 실내와 실외 실험을 통해서 신호오류와 데이터의 분실 비율이 데이터전송을 위한 적절한 전송률을 얻을 수 있음을 보였다. 실외에서 지상관제시스템과 중계드론과의 기본거리가 70m이고 이 중계드론을 이용하여 조종거리를 확장하여 90m에 있는 드론을 조종할 수 있도록 확장하여 총 160m로 통신거리가 확장됨을 보였다. 또한, 최대 확장거리를 측정하는 실험에서는 지상관제시스템에서 중계드론까지 거리가 200m, 중계드론에서 드론까지 거리가 400m로 총 600m로 확장되는 것을 보여주었다.

Sangjun Park^[14]은 육군에서 미래 전장 환경의 변화에 대비하기 위해 지상 위주의 전술정보통신체계를 다계층 통합통신망 구조로 발전시키기 위한 방안으로 지상에서 통신 제약사항을 해소하고, 제대간의 실시간 지휘통제 및 상황인식을 보장하기 해서 공중 중계용 드론을 이용한 전투무선망의 운용 방안을 제시하고 있다. 또한 성층권 비행선을 중계드론의 형태로 운영하여 백본간선망의 운용 방안을 제시하였다. 중계 비행선을 이용한 공술망의 운용은 지상에서 발생하는 통신의 제약사항을 보완하고 산악 지형과 노드통신소의 기능 장애에 구애받지 않고 임무에 따라서 불규칙으로 기동하는 전술제대들이 빠른 템포를 유지하면서

보다 확장된 범위에서 성공인 작전 수행을 할 수 있도록 지원을 가능하게 한다.

III. 송전선로의 연선공사와 드론의 신호단절 문제

3.1 송전선로의 연선 공사

발전소에서 생산된 전력은 송전망을 통해 공급되는 전기은 안정적이고 경제적으로 이루어질 수 있도록 구축되어야 한다. 그러나 송전선로 건설은 장거리에 걸쳐 다수의 경과지를 필요로 하지만, 민원문제로 인하여 경과지 확보에 어려움을 겪고 있다.

가공송전용 철탑 설계기준(DS-1111)에 의하면 가공송전선로의 장경간 개소는 표준경간에 150m를 가산한 값을 초과하는 개소로 규정하고 있다. 표 1은 우리나라에 건설되어 있는 154kV, 345kV, 그리고 765kV 초고압 가공송전선로의 표준경간 및 장경간의 기준을 나타낸 것이다^[15].

그림 3과 같이 연선구간의 한쪽에는 전선드럼 및 연선차를 설치하고 다른 한쪽은 엔진을 설치하여 미리 늘어놓은 메신저(messenger lines) 와이어 끝에 전선을 연결한 후 엔진을 사용하여 철탑마다 설치해 놓은 블록 위로 와이어를 끌어당겨 철탑에 전선을 걸어 놓는 작업을 말한다. 송전탑 건설에서의 연선공사는 가공지선과 전력선을 철탑에 가선하는 공사를 말하며, 송전탑이 산, 바다, 강, 호수 등을 횡단하는 경우 공사의 어려움이 발생한다.

표 1. 표준경간 및 장경간 규정
Table 1. regulation for standard and long span

voltage	standard span	long span
154kV	400m	550m 이상
345kV	450m	600m 이상
765kV	550m	700m 이상

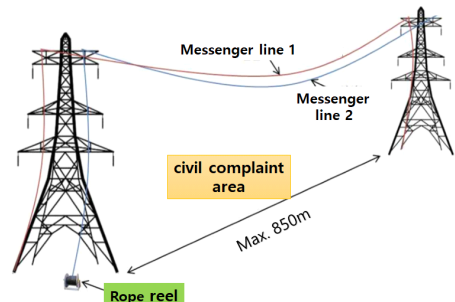


그림 3. 송전선로에서 연선공사
Fig. 3. messenger line construction in power tower

기존의 기법은 작업자가 직접 연선을 연결하는 인력연선 기법과 헬기를 이용하는 연선을 전달하는 헬기연선 기법이 있다. 인력연선은 작업 시간이 많이 소요되고 작업자의 안전사고 위험을 지니고 있으며, 헬기연선 기법은 산악지형에 많이 사용되는 방식이나, 날씨, 지형 등의 영향을 많이 받고 헬기가 추락하는 경우 대형 사고의 위험성이 있고 비용증가 및 공사장 주변 주민들의 민원 문제가 발생한다.

3.2 드론을 이용한 송전선로의 연선공사

기존의 인력연선 기법과 헬기연선 기법의 문제를 해결하기 위해 제안된 기법이 드론을 이용한 드론연선기법이다¹⁶⁾. 그림 4는 드론을 이용한 연선작업의 과정의 예를 보여주고 있다. 드론의 조종사는 로프 릴에 감겨있는 연선을 드론에 연결하고 드론을 이륙시킨다. 이륙한 드론을 출발 송전탑으로 이동시켜 출발지점의 송전탑 작업자가 연선을 연결할 준비를 한다. 출발 송전탑을 출발한 드론은 목표 송전탑으로 이동하여 목표지점의 송전탑에서 작업하고 있는 작업자가 도달한 연선을 잡을 수 있도록 드론을 섬세하게 조종해야 한다.

드론을 이용한 연선 작업은 항공허가서를 담당하는 지방항공청에서 시계비행만을 허가해주기 때문에 비행허가 거리 기준이 900m 이내로 제한된다. 따라서 연선공사에서는 시계비행을 기준으로 하고 있기 때문에 출발지점의 송전탑에서 드론을 조정하고 있는 조종사가 원거리에 위치한 목표지점의 송전탑 근처로 드론을 비행하는 경우에 드론 조종의 어려움이 발생한다. 최대 850m나 떨어져 있는 목표지점 송전탑 근처의 작업자에게 연선을 전달하는 작업은 최고수준의 드론 조종사가 아니면 수행할 수 없다.

특히, 산악지형에서 작업을 하는 경우에 비행하는 드론의 위치를 확인하면서 조종하는 것은 더욱 힘들다. 거리로 인해서 조종사가 드론의 비행 상황을 확인

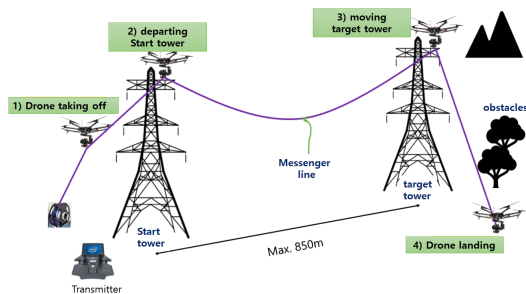


그림 4. 드론을 이용한 연선작업 과정
Fig. 4. process of messenger line construction using drone

하는 것이 어렵고, 송전탑 주변에 있는 수십 미터 높이의 나무는 시계조종을 불가능하게 한다. 또한, 송전탑과 송전탑의 중간에 높은 산이 존재하는 경우에는 신호가 전달되지 않는 심각한 문제가 발생한다.

3.3 송전선로 공사에서 드론 조종신호의 단절 현상

드론 조종사가 조종기를 이용하여 드론을 조종하는 과정 중에 드론조종기와 비행중인 드론 사이에 조종을 위한 통신이 두절되어 드론이 조종기의 신호를 인식하는 못하는 현상을 조종신호의 단절현상(loss of control signal)이라고 한다. 드론의 조종신호 단절현상은 다음과 같은 이유로 발생한다.

첫째, 드론의 제어를 위한 조종 거리의 한계를 벗어난 경우에 발생한다. 현재 대부분의 제품들은 드론의 조종을 위해서 주로 2.4GHz나 5.0GHz의 Wi-Fi를 사용하고 있다. 이로 인해 드론은 조종거리가 2km 이상을 초과하기 어렵고, 이 거리를 벗어나는 경우 조정기와 드론 간의 통신이 이루어지지 않아서 조종신호가 전달되지 않는다. 이를 해결하기 위한 방법으로 LTE와 같이 다양한 주파수대를 활용한 방안이 제시되고 있으나 실시간 제어가 어렵고 LTE신호가 약한 산악지역이나 해양지역에서는 적용하기 어렵고 추가적인 비용이 소요된다¹⁷⁾.

둘째, 드론을 이용한 작업 도중에 지형에 따라 신호 단절 현상이 자주 발생한다. 이러한 현상은 콘크리트 벽, 전파환경, 금속 성분의 장애물, 타전 파의 간섭 등으로 인해 발생한다. Wi-Fi 신호에서 경로 손실(path loss) 또는 RF 신호감쇠는 거리에 따라 자연스럽게 발생한다. 감쇠량은 방해 물질 유형 및 밀도나 RF 신호의 주파수에 따라 다르게 나타나며, 주파수가 낮을수

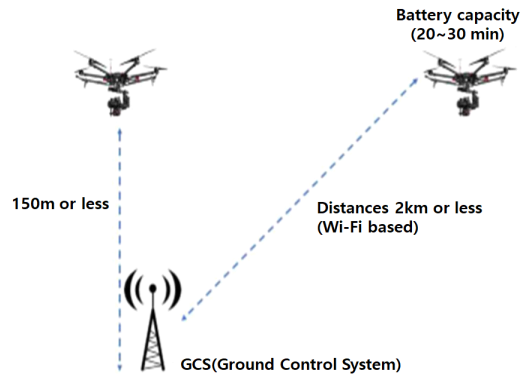


그림 5. 드론의 문제점
Fig. 5. problems of using drones

록 전송신호가 공기를 통하거나 물체를 통과 할 때 더 좋다¹⁸⁾.

드론을 이용한 작업 중에 다양한 이유로 인해 신호 단절은 주로 조종 신호의 불특정 방해로 인한 신호 변조뿐만 아니라 인근 전파에 의한 방해나 기체의 불안정한 펄웨어로 인한 기기의 오류 등으로 인해서 발생한다. 드론은 이러한 신호단절이 발생하면 추락하거나 이동방향으로 계속해서 비행하여 드론을 분실하는 경우가 발생하여 드론의 파손뿐만 아니라 인적, 물적 손해가 발생할 수 있다. 따라서 최근 대부분의 드론은 처음에 드론이 이륙한 좌표인 GPS 위치 정보를 저장하고 있다가 신호단절 발생하면 돌아가는 RTL(Return To Launch)모드를 지원한다. 그러나 드론의 RTL기능은 송전선로 작업에서는 치명적인 문제가 발생한다. 드론에 연선이 매달려 있기 때문에 드론의 이륙 위치로 되돌아가는 경우 송전탑과 같은 장애물에 충돌하거나 늘어진 연선이 시설물 등에 걸리는 경우 드론이 바로 추락하게 된다¹⁹⁾.

IV. 연선공사에서 조종신호 손실의 대처기법

드론의 안전성을 지원하기 위한 기법으로 본 논문에서는 Wi-Fi 신호기반의 드론조종신호를 Wi-Fi 증폭기를 이용하여 연장하는 기법과 다수의 조종기의 조정신호를 수신할 수 있는 다중조종 수신장치를 사용하는 기법을 제안한다.

첫 번째 방법은 Wi-Fi 드론 조종신호를 확장하기 위한 증폭기를 중계드론에 장착하여 조종신호를 먼 거리까지 연장하는 방법이다.

두 번째 방법은 다수의 조종기 신호를 받을 수 있는 다중 조종 수신장치를 이용하여 드론의 신호가 끊

기는 반대편에서 별도의 드론 조종기를 이용하여 드론을 제어하는 기법이다.

4.1 신호증폭기를 이용한 신호연장 방식

신호증폭기를 이용한 신호연장 방식은 Wi-Fi를 이용하는 드론 조종기의 조종신호를 Wi-Fi 신호 증폭기를 이용하여 신호를 강화하여 조종거리 밖에 있거나 장애물로 인해 신호를 받지 못하는 드론에게 조종 신호를 보내는 방식이다. 이 방식은 Wi-Fi 신호를 증폭하는 증폭기의 성능과 드론 조종을 위해 사용하는 조종기의 조종범위에 크게 영향을 받는다. 기존 드론에 사용되는 조종기의 신호는 Wi-Fi 방식을 활용하기 때문에 증폭기에서 지원되는 확장 범위에 따라 중계드론의 무선범위확장 범위는 결정이 되나 상업용 대형 드론인 경우 조종기의 조정 범위가 넓어서 고출력의 증폭기를 사용하는 경우 1km 이상 까지도 확장이 가능한 방식이다.

Wi-Fi신호를 증폭하는 장치는 주로 실내에서 Wi-Fi가 도달하지 않는 지역을 해결하기 위해 개발이 되어 판매가 되고 있다. 표 2는 현재 판매되고 있는 대표적인 Wi-Fi 증폭기로 건물 내의 Wi-Fi 신호 음영 지역을 없애주는 역할을 하고 작동 전원도 대부분이 AC 100-240V, 50/60Hz라서 건물의 벽전원을 이용하면 쉽게 Wi-Fi 영역을 확장할 수 있다. 다만, 이 장치들은 실내용을 개발되어 최대 300m 정도의 신호 연장효과를 지원한다.

본 연구에서는 신호증폭기를 이용한 신호연장 방식 검증하기 위해 USB로 전원을 공급해서 야외에서 쉽게 사용할 수 있는 Xiaomi Mi WiFi Repeater 2를 사용하였다. 드론 조종 및 드론의 비행을 조종하기 위한 지상통제장치와 Xiaomi 증폭장치를 연결하고 연결된

표 2. 대표적인 Wi-Fi 신호 증폭기 제품(출처: PCMag Reviews참조)
Table 2. Wi-Fi Signal Amplifier Repeater Products (source : PCMag Reviews)

Model Name	Wi-Fi type	Frequency	Signal Rate	Power type
TL-WA855RE	802.11b/g/n	2.4GHz	300Mbps/2.4GHz	AC 100-240V, 50/60Hz
Amped Wireless Athena-EX RE2600M	802.11a/b/g/n/ac	2.4GHz, 5GHz	800Mbps/2.4GHz, 1,733Mbps/5GHz	AC 100-240V, 50/60Hz
Netgear Nighthawk X4 AC2200 Wi-Fi Range Extender (EX7300)	802.11 b/g/n 2.4GHz 802.11 a/n/ac 5GHz	2.4GHz, 5GHz	450Mbps/2.4GHz, 1,733Mbps/5GHz	AC 100-240V, 50/60Hz
D-Link Wi-Fi Dual Band Range Extender DAP-1650	802.11 a/b/g/n/ac	2.4GHz, 5GHz	300Mbps/2.4GHz, 867Mbps/5GHz	AC 100-240V, 50/60Hz
Xiaomi Mi Wi-Fi Repeater 2	802.11b/g/n	2.4GHz	300Mbps/2.4GHz	5V/1A(USB)

증폭기를 통해서 지상통제장치의 조종신호를 드론에 전달할 수 있도록 구성하였다.

4.2 다중 조종수신 장치를 이용한 연장 방식

4.2.1 협업을 지원하기 위한 다중 조종수신 장치

다중 조종수신 장치는 한 대의 드론을 여러 대의 조종기를 이용하여 조종할 수 있도록 하는 수신장치이다²⁰⁾. 이 장치는 드론 전문 기업인 ㈜스카이텍과 공동으로 연구 개발한 장치로 고가의 산업용 드론을 여러 명의 조종사가 협업을 하면서 조종할 수 있도록 하는 장치이다.

한 대의 드론을 다수의 조종자가 협업하기 위해서는 그림 6과 같이 드론을 조종 중인 조종기 1(ground transmitter 1)이 드론의 제어범위 또는 임무범위를 벗어나는 경우 드론 조종의 제어권한을 조종기 2(ground transmitter 2)로 넘기는 핸드오버(hand-over)의 기능이 필요하다. 산업현장에서 드론을 운영하는 과정에서 발생하는 협업 작업은 두 명의 드론 조종자가 한 대의 드론을 공유하여 원거리 작업을 지원하는 형식으로 조종사 1은 드론을 이륙과 작업의 시작을 담당하여 목적지까지의 이동을 담당하고, 조종사 2는 주로 원거리 목적지에서 드론 업무의 마무리와 착륙을 담당한다.

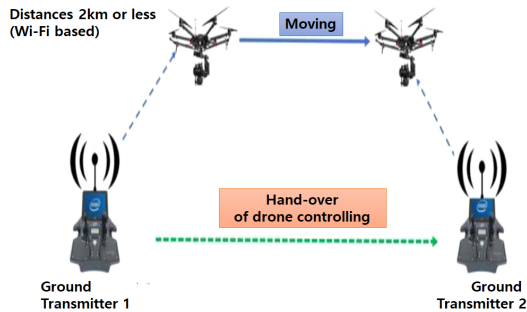


그림 6. 다중 조종장치를 이용한 드론의 핸드오버
Fig. 6. drone hand-over using multiple control device

4.2.2 다중 조종 수신기

다중 조종수신기는 여러 대의 조종기 중에서 선정된 조정기의 드론에 대한 조정신호를 신호를 선택적으로 수신하여 드론의 FC(Flight Controller)에 전달하여 드론을 조정할 수 있는 장치이다.

그림 7은 다중 조종수신기와 다중 조종수신기 선택기(selector)는 S-BUS로 연결된다. 드론 FC는 다중 수신기 선택기와 S-BUS로 연결되어 4개의 조종기 중

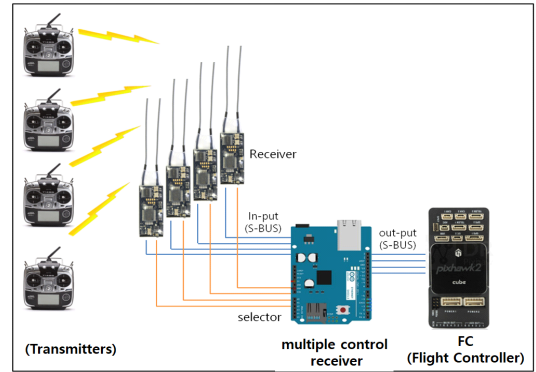


그림 7. 다중 조종수신기의 구조
Fig. 7. a structure of multiple control receiver

최초로 하나의 조종기는 드론 FC와 연결이 되어 드론을 조종하기 위한 제어를 획득한다. 제어를 획득한 조종기가 연결을 끊게 되면 다른 하나의 조종기에 제어 권한이 넘어가게 되고 새로운 조정기가 드론을 조정할 수 있다.

그림 8에서 다중 조종수신기 제작을 위한 S-BUS 기반의 핸드오버 기능을 갖는 다중 조종수신기의 PCB(Printed Circuit Board)기판에 실장되는 부품 파트넘버, 부품 설명, 핀번호, 부품 수량과 PCB 기판에 인쇄되는 명칭 등과 각 부품들이 PCB 기판에서 전기적으로 연결되는 NET를 나타내는 PCB 도면을 보여주고 있다.

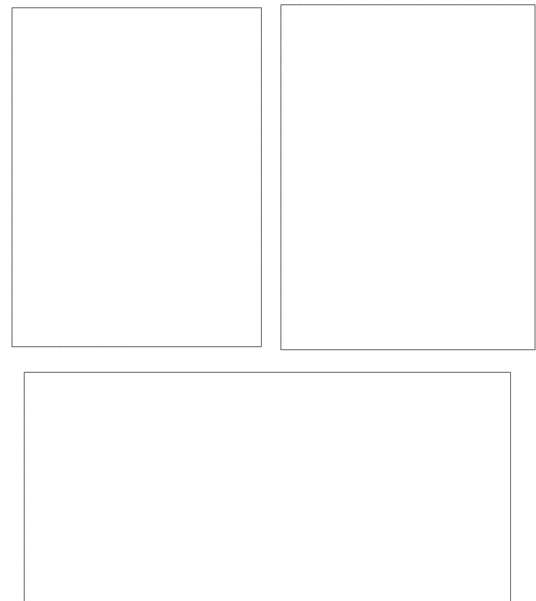


그림 8. 다중 조종수신기의 PCB 도면
Fig. 8. PCB of multiple control receiver

완성된 다중 조종수신기가 정상적으로 작동하는지를 확인하기 위해서 조종기가 보내는 송신 신호를 받는 수신기를 연결하여 테스트를 수행하였다. 실제 테스트를 통해 잘 작동하는 것을 확인하였고, 다중 조종 수신기용 케이스에 장착한 후 송전선로 작업용 접이식 옥토펙 드론에 설치하여 드론의 비행 상태에서 조종기의 우선권을 바꾸는 실전 비행 테스트도 실시하였다.

다중 조종 수신기를 사용하기 위해서는 드론 FC의 펌웨어의 일부를 수정해야 한다. 드론의 제어를 핸드오버하기 위해서 현재 조종중인 조종기의 신호를 정지시키는 순간에 드론은 이를 감지하고 드론의 안전성을 위해 드론이 처음에 이륙한 지점으로 돌아가는 RTL(Return To Launch mode) 기능을 수행한다.

RTL기능은 일반 드론에서는 드론의 안전성을 보장하는 기능이지만 송전선로의 연선작업과 같은 경우에는 치명적인 추락의 위험이 발생한다. 연선작업용 드론은 최대 850m의 연선이 연결되어 있기 때문에 RTL 기능을 수행하면 드론이 이륙한 장소로 되돌아가는 도중에 연선이 송전시설이나 숲의 나뭇가지와 같은 장애물에 걸리게 됨으로 드론이 추락하는 대형 사고가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 표 3과 같은 개발환경에서 공개소프트웨어인 드론 FC(Pixhawk 2)의 코드를 수정하여 안전한 핸드오버가 가능하도록 구현하였다.

본 논문에서 구현된 다중 조종 수신장치의 특성은 다음과 같다.

다수의 조종장치(최대 4개)들이 드론 제어가 가능하며, 이중에 선택된 드론 조종장치가 작업용 드론을 조종할 수 있도록 하는 기능을 지원함

RC(Radio Control)라디오 수신 방식인 S-BUS (Serial Bus) 프로토콜은 하나의 케이블을 사용하여 최대 14개의 채널을 지원할 수 있는 최신의 방식임
기존의 조종장치에서 새로운 조종장치로 제어기능을 넘길 수 있도록 조종장치의 신호가 단절되어도 RTL(Return To Launch mode)의 제어를 통한 핸드오버 기능을 제공할 수 있도록 FC 펌웨어를 개선하였음

표 3. 핸드오버 구현을 위한 FC 개발환경
Table 3. FC environments for implementing hand-over

H/W	S/W
FC: Pixhawk 2 transmitter: Tarantula X9D receiver: Tarantula X8R Battery: 3Cell 2200mAh	PX4 1.9.0 open source (C,C++) OS: windows 10 builder: cygwin simulator: SITL

기존 드론은 하나의 조종기와 드론에 장착되어 있는 하나의 수신기만이 바인딩(binding)되어 작동하는 방식으로 조종기를 변경하는 경우 드론에 장착된 수신기를 리셋(reset)하는 별도의 바인딩 절차를 거쳐야만 사용할 수 있음

여러 개의 조종장치를 이용하여 작업용 드론을 제어하는 기능을 제공함

드론이 한쪽 조종장치의 제어 거리(최대 2km)를 벗어나도 반경 내의 다른 쪽 조종장치에서 제어가 가능하여 연속적이고 지속적인 작업이 가능함

V. 실험 및 실증적용

5.1 신호증폭기를 이용한 신호연장 기법의 성능 평가

신호증폭기를 장착하여 드론의 조종을 위한 Wi-Fi 제어신호를 증폭하여 조종신호 단절현상의 해결 및 확장성에 대한 성능평가를 위해 수행한 실험환경 및 사용된 드론과 증폭기는 표 4와 같다. 실험에는 드론의 비행관련 규제로 인해 소형 드론인 Bebop2 FPV를 사용하였다.

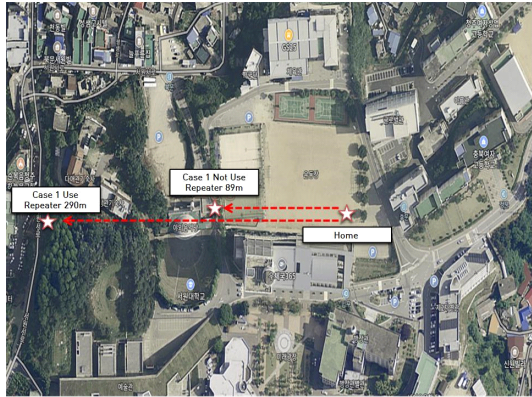
제안된 기법에 대한 성능평가에서는 지상통제센터(조종기)와 드론의 주변에서 발생하는 Wi-Fi 신호에 영향을 받을 수 있기 때문에 Wi-Fi의 영향을 많이 받는 도심지역과 상대적으로 Wi-Fi 신호가 적은 외곽지역에서 진행하였고, 지상통제센터(조종기)의 조종에 따라 드론이 정상적으로 작동되는 거리를 측정하였다.

표 4. 실험 장치 사양
Table 4. Test device specification

device name	company	product name
Test drone	Parrot	Model: Bebop2 FPV · Wi-Fi 802.11a/b/g/n/ac · Network: MIMO Dual band · Wi-Fi Aerials: 2.4 and 5 GHz dual dipole aerials · Output power: Up to 21dBm · Signal range: 300m · Max horizontal speed:16 m/s · Max upward speed: 6m/s
Repeater	Xiaomi	Model: Mi Wi-Fi repeater 2

5.1.1 도심지역에서의 테스트

실험 장소는 도시에 있는 대학교 캠퍼스 운동장에서 실험을 진행하였다. 본 실험에 앞서 실험을 진행한 주변 환경을 Wi-Fi 신호 분석기를 이용하여 측정한다



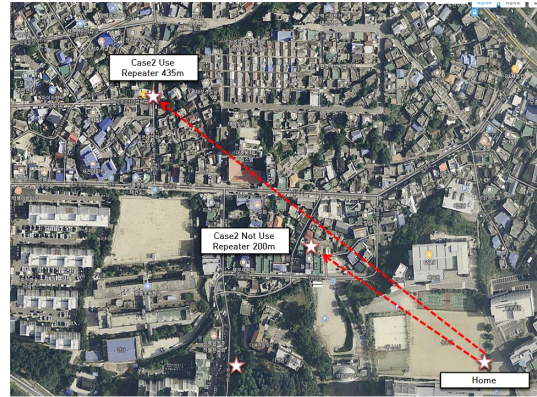
Case 1. High WiFi interferences(City area)			
case	distance	height	wind direction
1) no repeater	89m	27m	7.5m/s
2) repeater	290m	27m	8m/s

그림 9. Wi-Fi신호의 간섭이 많은 도시에서의 결과
Fig. 9. Test result of high interferences of Wi-Fi signal in city area

결과 실험 주변 환경의 Wi-Fi 신호는 기본적으로 56~70여개 정도의 신호가 측정되었다. 이는 대학 건물 내에 설치되어 있는 무선 Wi-Fi AP(Access Point)의 신호가 잡힌 것으로 일반적인 도심지역의 전파 환경과 비슷한 것으로 판단된다.

첫 번째 실험환경은 그림 9와 같이 학교 운동장에서 Wi-Fi 신호의 간섭과 신호단절이 많이 발생할 수 있도록 대학 건물 주변으로 드론의 비행하였다. 1)번 실험에서는 증폭기가 없이 지상통제센터(조종기)에서 직접 드론을 조종하여 신호가 정상적으로 도달하여 작동하는 거리의 평균값을 측정했다. 시험에 사용된 Bebop2 FPV 드론의 제품 사양에는 300m까지 신호가 제어되는 것으로 되어 있었으나, 실험에서는 안정적인 제어거리가 27m의 고도에서 89m로 측정되었다. 이는 도심에서 주변의 Wi-Fi 신호들과의 충돌과 도시의 빌딩과 같은 장애물로 인해서 제어신호 전달이 간섭받아 신호단절 현상이 심하게 나타난 것으로 판단된다.

2)번 실험에서는 Wi-Fi 증폭기를 사용하여 지상통제센터(조종기)의 제어 신호를 증폭기에 전달하고 증폭기가 드론에 전달하도록 하였다. 실험의 결과 거리가 27m의 고도에서 290m로 증가하여 증폭기를 사용하지 않는 경우보다 약 3배 정도 증가함을 보였다. 이러한 결과는 주변의 Wi-Fi 신호의 영향을 증폭기를



Case 2. Medium WiFi interferences(City area)			
case	distance	height	wind direction
1) no repeater	200m	30m	10m/s
2) repeater	435m	25m	8m/s

그림 10. Wi-Fi신호의 간섭이 중간정도인 도시에서의 결과
Fig. 10. Test result of medium interferences of Wi-Fi signal in city area

통해서 극복하였고, 빌딩과 같은 장애물이 있는 경우에도 신호단절의 효과를 차단한 것으로 판단된다.

두 번째 실험환경은 그림 10과 같이 첫 번째 실험과 동일한 시작 위치에서 Wi-Fi 신호의 간섭과 신호단절이 상대적으로 적게 발생할 수 있도록 대학 건물 주변이 아닌 운동장 중앙으로 드론의 비행하였다. 증폭기가 없이 지상통제센터(조종기)에서 직접 드론을 조종하여 신호가 정상적으로 도달하여 작동하는 거리의 평균값을 측정 1)번 실험의 결과 안정적인 제어거리가 30m의 고도에서 200m로 측정되어 첫 번째 실험의 89m 보다 2배 이상 증가되었다. 이러한 결과는 도심에서의 Wi-Fi 신호의 간섭과 신호단절이 Wi-Fi방식을 사용하는 드론의 제어거리에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

2)번 실험에서 Wi-Fi 증폭기를 사용한 실험의 결과는 거리가 25m의 고도에서 435m로 증가하여 증폭기를 사용하지 않는 경우보다 약 2.2배 정도 증가함을 보였다. 이러한 결과는 도심에서 신호의 간섭이 심하게 있는 경우보다 1.5배 더 신호가 연장되어 전달된 것으로 실험에 사용한 Bebop2 FPV 드론이 제공하는 신호전달 사양보다 1.45배 더 멀리 신호를 전달한 것이다.

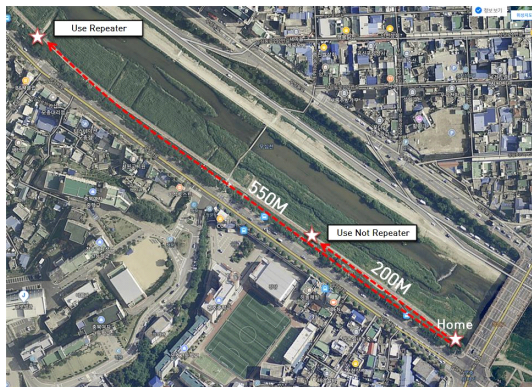
5.1.2 장애물이 적은 외곽지역에서의 성능평가

세 번째 실험은 그림 11과 같이 지상통제센터(조종

기)와 드론 간에 비교적 장애물이 적은 천변에서 Wi-Fi 증폭기의 성능을 평가하였다. 전파환경이 비교적 좋은 위치에서 실험을 진행하였으며, 실험 시 데이터 오염을 막기 위하여 드론을 옮긴 실험자는 무전기를 제외한 어떠한 무선기기를 소지하지 않고 데이터를 측정하였으며 측정 장소의 Wi-Fi 신호는 도심의 30% 수준인 11~19여개의 신호가 잡히는 것으로 측정되었다.

증폭기가 없이 지상통제센터(조종기)에서 직접 드론을 조종하여 작동하는 거리의 평균값을 측정 1)번 실험의 결과 안정적인 제어거리가 200m로 측정되어 Wi-Fi간선이 중간정도인 도심에서의 제어거리와 동일하게 측정되었다. 2)번 실험에서 Wi-Fi 증폭기를 사용한 실험의 결과는 거리가 2m의 고도에서 550m로 증가하여 증폭기를 사용하지 않는 경우보다 약 2.75배 정도 증가함을 보였다. 실험결과를 통해서 장애물이 적은 외곽지역에서 더 신호가 연장되어 전달되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 실험에 사용한 Bebop2 FPV 드론이 제공하는 신호전달 사양인 300m 보다 1.83배 더 멀리 신호를 전달되는 것으로 측정되었다.

실험결과 드론의 조종기가 제공하는 제어거리인 200m를 넘는 200m부터 550m까지 신호단절현상이 발생하는 구간을 Wi-Fi 증폭기를 이용하여 해결할 수 있음 보여 주는 것이다.



case 3.	distance	height	wind direction
1) no repeater	200m	2m	2~3m/s
2) repeater	550m	2m	5~7m/s

그림 11. 외곽지역에서 증계드론을 이용한 드론의 안정성 실험 결과
Fig. 11. Test result of drone stability using relay drone in rural zone

5.2 다중 조종수신 장치의 실험 및 실증

다중 조종수신 장치의 실험은 대형 기종인 DJI의 매트릭스 1000이상의 드론으로 수행하였다. 실험 및 실증을 위해서는 핵심기능인 드론의 조종 제어권을 다른 조종기로 이양하는 핸드오버의 기능에 대한 실험과 제어 거리의 확장에 대한 실험 및 검증이 필요하다.

본 논문에서는 다중 조정 수신기를 위한 드론의 핸드오버 실험을 위해서 FITI(Friend of Industry, Technology, Information)시험 연구원(KOLAS 인증기관)을 통한 공인시험을 수행하였다. 제어거리의 확장은 실험에 사용하는 대형기종의 지방항공청의 초경량비행장치에 대한 항공운행허가 승인과 1.2km이상의 제어를 실험할 수 있는 실험 환경 및 지역의 확보가 어려워 ㈜스카이텍과 공동으로 공사현장에서 다중 조종수신장치의 실증을 수행하였다.

실험을 위해서 4대의 드론 조종기를 이용하여 각각의 조종기 간에 차례대로 핸드오버가 진행되어 드론에 대한 제어가 넘어가는 것을 검사하였다. 드론의 제어를 이양 받은 조종사는 조종기를 이용하여 드론의 비행에 문제가 없는 것을 비행을 통해서 확인하였다. 각 조종사는 60m 간격으로 4회 이상 운행하면서 다중 조정 수신기의 동작 유무 및 성공적인 핸드오버의 작동을 검증하였다.



그림 12. 다중 조정 수신기를 활용한 공사현장 적용사례
Fig. 12. the construction field applications of using multiple control receiver

다중 조정 수신기의 제어거리에 대한 테스트를 위해서 (주스카이텍과 공동으로 공사현장에서 다중 조정 수신장치의 실증을 수행하였다. 그림 12는 드론을 이용한 송전탑 건설 및 관련 현장에서의 적용사례와 다중 조정 수신기를 활용한 공사현장에서의 적용사례를 보여주고 있다.

- 공사명:345kV 세종분기 T/L 건설공사(2016년)
- 공사명:154kV 시랑분기 T/L 건설공사(2019년)
- 공사명:대둔산 집라인 설치 주호전력(주)(2019년)

실증작업은 송전선로 및 관련 공사에서 드론을 적용한 예를 보여주고 있으며, 345kV 세종분기 작업은 전 구간에서 드론을 활용한 예로 첫 번째 사진은 고속도로를 통과하여 송전선로를 건설하는 현장을 보여주고 있다. 특히, 대둔산 집라인 설치공사에서는 다중 조정 수신기를 이용하여 국내최장 1.2km의 거리를 다중 릴레이 공법 시공을 적용하여 성공적으로 수행하였다.

VI. 결 론

송전선로 건설 작업에서는 송전탑과 송전탑 사이에서 송전선로를 건설하기 위한 산악지형과 같은 송전선로 작업 구간에서는 조정장치의 수신거리 문제와 장애물 등으로 인한 수 전파방해 및 신호단절 현상 (signal loss)현상들이 발생하고 이는 드론 조정에 치명적인 추락의 문제를 야기한다.

드론의 안전성을 지원하기 위한 기법으로 본 논문에서는 Wi-Fi 신호기반의 드론조정신호를 Wi-Fi 증폭기를 이용하여 연장하는 기법과 다수의 조종기의 조정신호를 수신할 수 있는 다중조정 수신장치를 사용하는 기법을 제안하였다. 첫 번째 방법은 Wi-Fi 드론 조정신호를 확장하기 위한 증폭기를 중계드론에 장착하여 조정신호를 먼 거리까지 연장하는 방법이고, 두 번째 방법은 다수의 조종기 신호를 받을 수 있는 다중 조정 수신장치를 이용하여 드론의 신호가 끊기는 반대편에서 다른 드론 조종기를 이용하여 제어하는 기법이다.

성능평가를 통해서 빌딩과 같은 장애물이 있는 경우에 드론의 조정 신호 도달하는 거리가 89m에서 290m로 증가하여 약 3배 정도 증가를 하였다. 전파를 방해하는 장애물이 상대적으로 적은 경우 증폭기가 없는 경우에는 200m로 측정되었고, 증폭기를 사용하면 435m로 약 2.2 정도 증가하였다. 지상통제센터(조

종기)와 드론 간에 비교적 장애물이 적어 Wi-Fi 신호의 충돌 및 간섭이 적은 외곽지역에서의 측정값은 증폭기를 사용하는 경우200m에서 550m로 증가하여 증폭기를 사용하지 않는 경우보다 약 2.75배 정도 증가함을 보였다. 실험결과를 통해서 장애물이 적은 외곽 지역에서 더 신호가 연장되어 전달되는 것을 확인할 수 있었다. 실험 결과 실험드론의 조종기가 제공하는 제어거리인 200m를 넘는 200m부터 550m까지 신호 단절현상이 발생하는 구간을 Wi-Fi 증폭기를 이용하여 해결할 수 있음 보여 주는 것이다. 본 연구에서는 여러 개의 조정기로 한 대의 드론을 안전하게 제어할 있는 다중 조정신호 수신기를 개발하였고, 개발된 장치를 이용하면 드론이 제어범위를 벗어난 지점에서 새로운 조종기를 이용하여 드론을 제어할 수 있어 드론의 안정성을 크게 높일 수 있다. FITI 시험 연구원의 공인시험을 통해서 다중 조정 수신기 기능의 정확성을 보였고, 제어거리에 대한 테스트를 위해서 (주스카이텍과 공동으로 공사현장에서 다중 릴레이 공법 시공을 적용하여 실증을 성공적으로 수행하였다.

References

- [1] Korea Electric Power Corporation, “Korea Electric Power Statistics,” Korean Statistical Information Service, 2020.
- [2] Korea Electric Power Corporation, “8th power supply and demand basic plan: Long-term transmission and substation facility plan,” Jul. 2018.
- [3] BI Intelligence, *The drones report: market forecasts, regulatory barriers, top vendors, and leading commercial applications(2016)*, 2017.
- [4] *Top 10 drones with follow me mode in 2017*, Retrieved Dec. 26, 2017.
- [5] Newsweek, “Pizza delivery by drone launched by domino’s,” <http://www.newsweek.com/pizza-a-delivery-drone-dominos-493371>
- [6] B. Insider, “Amazon and ups are betting big on drone delivery,” <http://www.businessinsider.com/amazon-and-ups-are-bettingbig-on-drone-delivery-2018-3>
- [7] Fortune, “CNN just got approved to fly drones over crowds of people,” <http://fortune.com/2017/10/18/cnn-drones-faa-crowds/>, 2017.
- [8] G.-B. Kim, H.-M. Park, J.-S. Lee, and C.-H.

Nam, "A construction method of drone transmission in power line," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 360-361, 2017.

[9] S. So, J.-H. Kang, and K.-J. Park, "Overview and issues of drone wireless communication," *KICS Info. and Commun. Mag.*, vol. 33, no. 2, pp. 93-99, 2016.

[10] IEEE Computer Society Lan Man Standards Committee, "*Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications*," 1997.

[11] X. Lin, V. Yajnanarayana, S. D. Muruganathan, S. Gao, H. Asplund, H.-L. Määttänen, M. Bergström, S. Euler, and Y.-P. Eric Wang, "The sky is not the limit: LTE for unmanned aerial vehicles," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 4, pp. 204-210, Apr. 2018.

[12] Qualcomm, *LTE Unmanned Aircraft Systems*, Trial Report v1.0.1, May 12, 2017.

[13] B. Li, Y. Jiang, J. Sun, L. Cai, and C.-Y. Wen, "Development and testing of a Two-UAV communication relay system," *Sensors 2016*, vol. 16, no. 10, p. 1696, 2016.

[14] S. Park, H. Park, H. Ahn, and Y. Kim, "Operational concept and effectiveness for aerial tactical network in TICN," *J. KICS*, vol. 45, no. 02, pp. 458-466, 2020.

[15] KEPCO, "*For overhead transmission tower design standards*," DS-1111, 2013.

[16] G.-B. Kim, H.-M. Park, J.-S. Lee, and C.-H. Nam, "A construction method of drone transmission in power line," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 360-361, Jan. 2017.

[17] J. Lee, "Long range communication module implementation in Sub-GHz band for Inter-Drone ad hoc networks," *J. KICS*, vol. 43, no. 10, pp. 1670-1675, Oct. 2018.

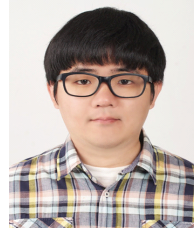
[18] TRANZEO Wireless, "*Wireless Link Budget Analysis*," http://www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo_Link_Budget_Whitepaper.pdf, whitepaper 2019.

[19] D. Y. Kim, H.-M. Park, J.-S. Lee, and G.-B. Kim, "A study on the improvement of safety for collaborative work of transmission route using drones," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 249-

250, Jan. 2019.

[20] G.-B. Kim, H.-M. Park, and J.-S. Lee, "A study on the development of multiple control receivers for drone collaboration," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 1056-1057, Jun. 2018.

김 동 영 (Dong-young Kim)



2014년~현재 : 서원대학교 정보보안학과
<관심분야> 무인 항공기, 정보보안, 지리정보시스템
[ORCID:0000-0001-7562-9530]

김 경 배 (Gyoung-bae Kim)



1994년, 2000년 : 인하대학교 전자계산공학과 석사/박사
2000년~2004년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
2004년~현재 : 서원대학교 정보안학과 교수
<관심분야> 무인항공기, 재난재해, 정보보안, 빅데이터

[ORCID:0000-0001-6131-8846]