

발간등록번호

11-1541000-001382-01

저가형 농약살포 무인비행선 상용화 시제품 개발

(Development of Commercial-type Low-cost Unmanned
Airship for Agricultural Spray)

한국항공대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “저가형 농약살포 무인비행선 상용화 시제품 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012년 4월 9일

주관연구기관명 : 한국항공대학교

주관연구책임자 : 송 용 규

세부연구책임자 : 송 용 규

연 구 원 : 김 중 열

연 구 원 : 김 중 권

연 구 원 : 노 정 호

연 구 원 : 박 균 법

연 구 원 : 김 윤 환

연 구 원 : 현 규 리

요 약 문

I. 과제명 : 저가형 농약살포 무인비행선 상용화 시제품 개발

II. 연구개발 목표 및 필요성

본 과제의 목표는 저렴한 비용으로 농약을 살포할 수 있는 새로운 형태의 무인비행선을 설계 제작하고 운용시스템을 개발하여 비행시험 및 살포시험을 거쳐 양산이 가능한 상용화 시제품을 제작하되, 일반인들도 쉽고 안전하게 조종할 수 있는 농약살포용 무인비행선을 개발하는 것임. 기존의 무인헬기를 이용하는 농약살포시스템은 매우 고가이며 조작시 위험성이 높고 운용비용도 높기에 저렴한 자동 농약살포시스템을 개발할 필요가 있었음.

III. 연구개발 내용 및 범위

비행선은 무선으로 조작하며 일회 30L의 농약을 탑재하고 일일 40ha(12만평)의 면적을 방제할 수 있고 약 4000만원 정도로 저가이며 조종이 매우 편리하고 안전한 농약살포용 무인비행선을 개발하는 것임. 이를 위해 농약살포에 적합한 무인비행선을 설계/제작하고 비행선에 탑재할 분무장치를 설계/제작하며 비행선을 쉽게 운용할 수 있는 비행제어시스템을 설계/제작하고 지상에서 편리하게 모니터링하며 운용할 수 있는 태블릿 PC 기반 운용시스템을 설계/구현하는 것임.

IV. 연구개발결과

농약 30L를 탑재할 수 있는 13m급 농약살포용 무인비행선을 가솔린 엔진형과 배터리 구동형을 설계/제작하고 비행선에 탑재할 수 있는 경량의 분무장치를 설계/제작하였으며 무인비행선을 쉽게 운용할 수 있는 비행제어시스템을 설계/제작하였음. 이렇게 제작한 비행선에 분무장치를 탑재하고 정밀 고도제어를 하며 비행시험과 분무시험을 성공적으로 완료하였으며 태블릿 PC를 이용하여 쉽게 운용할 수 있도록 지상운용시스템을 구현하여 일반인도 편리하고 안전하게 사용할 수 있게 하였음.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

과제 수행을 하면서 2개의 관련된 특허를 취득하였으며 이를 포함하여 농약살포용 무인비행선 설계/제작 기술을 (주)에어콤에, 무인비행선 탑재용 분무장치 설계/제작 기술을 (주)준성이엔알에, 블릿 PC를 이용한 비행선 운용시스템 설계/제작 기술을 디앤에스기업에 일년내로 기술이전을 실시하고 콘소시움을 구성하여 상품화를 추진할 것임.

SUMMARY

The goal of this project is to develop a new low-cost unmanned airship for agricultural spray which an ordinary person can handle easily and safely. The developed airship is able to carry 30 Kg chemicals and crop dust 40 ha field for a day and is expected to cost 40,000,000 Won. For cropdusting a 4m wide light sprayer was developed. Furthermore flight control system for precision height control was developed. For comfortable operation of an ordinary person a tablet PC-based ground control system was developed which provides the position and state of the airship. The developed airship with the sprayer was flight tested and the spraying performance was examined. The results show that the developed airship for cropdusting can be used easily and safely in the field.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the project	1
Chapter 2. Current status of research	2
2.1 Level of technology of current products	2
2.2 Level of technology of Other institutions	2
Chapter 3. Results	4
3.1 Development of 30L engine type unmanned airship	4
3.2 Development of 30L motor type unmanned airship	15
3.3 Development of 12L motor type small unmanned airship	22
3.4 Development of Spray Equipment	25
3.5 Development of flight control system	36
3.6 Flight test results	67
Chapter 4. Achievements and contributions	79
Chapter 5. Application of results	81
Chapter 6. Information obtained from foreign countries	85
Chapter 7. References	86

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	1
제 2 장	국내의 기술개발 현황	2
2.1	현 제품의 보유기술 수준	2
2.2	타 기관의 기술 수준	2
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	4
3.1	가솔린 엔진을 이용하는 30L급 농약살포용 무인비행선 개발	4
3.2	전기모터를 이용하는 30L급 농약살포용 무인비행선 개발	15
3.3	전기모터를 이용하는 소형 12L급 농약살포용 비행선 개발	22
3.4	분무장치 개발	25
3.5	정밀 비행제어시스템 개발	36
3.6	비행시험 결과	67
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	79
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	81
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	85
제 7 장	참고문헌	86

제 1 장 연구개발과제의 개요

본 과제의 목표는 저렴한 비용으로 농약을 살포할 수 있는 새로운 형태의 무인비행선을 설계 제작하고 운용시스템을 개발하여 비행시험 및 살포시험을 거쳐 양산이 가능한 상용화 시제품을 제작하되, 일반인들도 쉽고 안전하게 조종할 수 있는 농약살포용 무인비행선을 개발하는 것이다. 기존의 무인헬기를 이용하는 농약살포시스템은 매우 고가이며 조작시 위험성이 높고 운용비용도 높기에 저렴한 자동 농약살포시스템을 개발할 필요가 있었다.

비행선은 무선으로 조작하며 일회 30L의 농약을 탑재하고 일일 40ha(12만평)의 면적을 방제할 수 있고 약 4000만원 정도로 저가이며 조작이 매우 편리하고 안전한 농약살포용 무인비행선을 개발하는 것이며 이를 위해 농약살포에 적합한 무인비행선을 설계/제작하고 비행선에 탑재할 분무장치를 설계/제작하며 비행선을 쉽게 운용할 수 있는 비행제어시스템을 설계/제작하고 지상에서 편리하게 모니터링하며 운용할 수 있는 태블릿 PC 기반 운용시스템을 설계/구현하였다. 개발결과 농약 30L를 탑재할 수 있는 13m급 농약살포용 무인비행선을 가솔린 엔진형과 배터리 구동형을 설계/제작하고 비행선에 탑재할 수 있는 경량의 분무장치를 설계/제작하였으며 무인비행선을 쉽게 운용할 수 있는 비행제어시스템을 설계/제작하였으며 이렇게 제작한 비행선에 분무장치를 탑재하고 정밀 고도제어를 하며 비행시험과 분무시험을 성공적으로 완료하였으며 최근에 급속하게 상용화된 태블릿 PC를 이용하여 쉽게 운용할 수 있도록 지상운용시스템을 구현하여 일반인도 편리하고 안전하게 사용할 수 있게 하였다. 기대효과로는 본 개발품이 널리 사용되면 농민들이 농약살포의 중노동과 농약중독의 위험성으로부터 벗어나게 되고 방제비용도 줄어들어 농업생산성도 증가할 것으로 예상된다.



그림 1. 본 과제에서 개발한 농약살포용 비행선

제 2 장 국내외 기술개발 현황

2.1 현 제품의 보유기술 수준

- ① 무인 비행선 비행제어 시스템 개발
- ② 무인 비행선 추적 안테나 시스템 개발
- ③ 무인 비행선 자동 항법 및 살포 시스템 개발
- ④ 농약 살포를 위한 정밀 고도제어 개발
- ⑤ 태블릿 PC를 이용한 지상제어 시스템 개발

2.2 타 기관의 기술 수준

농약 살포와 관련된 국내외 기술현황 비교는 표1 과 같다.

개발기술명	관련기술 보유국	개발사	가격	현재 기술수준	비고
농약살포용 무인비행선	한국	항공대학교	4천만원	99%	외국에 없음
농약살포 무인 헬기	일본	야마하	2억	100%	세계 최초
농약살포 무인 헬기	한국	성우	1억5천~2억	100%	국산화

표 1, 국내외 기술개발 현황

무인 헬리콥터를 이용한 농약 살포 방식은 이미 일본의 야마하 사에서 RMAX가 있으며 가장 많이 사용되고 있다. 그리고 국내에서는 성우 엔지니어링과 원신 스카이텍에서 개발하여 상용화 하였다. 본 과제에서 개발한 독특한 점으로는 상용화를 하기 위해 자동 비행 시스템과 농약 살포를 위한 제어 기술을 비행선에 맞추어 자체 개발 하였으며 최초로 IT기술인 태블릿 PC를 이용한 지상제어 시스템 연동으로 운용자의 편의성을 증가시키고 제작 비용을 감소시켰다는 것이다. 농약 살포 방식에 따른 기체를 그림 2에 나타내었다.

미국의 경우 그림 2의 상단(좌)와 같이 유인 항공기를 이용하여 농약을 살포하거나 상단(우)와 같이 무인 헬리콥터를 이용하여 살포 하기도 한다. 일본 및 국내외 대다수의 국가가 그림2 하단(좌)에 있는 R-Max를 이용하고 있다. 현재 농약살포용 무인 비행선은 한국항공대에서 세계 최초로 개발하고 있으며 9m, 13m 급 및 엔진/모터용으로 연구 및 개발하고 있으며 유일하다.



그림 2. 농약 살포 방식에 따른 분류

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

본 과제에서는 총 3대의 비행선을 제작하였는데 연차별로 개선을 해가며 1차년도에는 가솔린 엔진을 이용하는 30L급 농약살포용 비행선을 개발하였고 2차년도에는 전기모터를 이용하는 30L급 농약살포용 비행선을 개발하였으며 마지막으로 3차년도에는 운용성을 높이기 위해 전기모터를 이용하는 12L급 소형 농약살포용 비행선을 개발하였다. 아래에서는 이 3대의 설계/제작에 관한 설명과 분무장치의 개발/개선, 그리고 비행시험/분무시험 결과에 관해 설명한다.

3.1 가솔린 엔진을 이용하는 30L급 농약살포용 무인비행선 개발

1차년도에는 엔진을 이용한 농약살포 무인비행선을 개발하였고 운용제원은 표 2와 같다.

항목	규격	비고
자체중량	60 kg	
탑재 유상하중 (농약)	30 kg (33,000 m ² 살포)	YAMAHA 헬기와 동급
비행선 크기	전장 13m, 전폭 5m, 전고 4m	
엔진수	전진용 2개, 부상용 1개	추진용, 부상용 별도
운용속도	5 m/sec 내외 (시속 18 km)	YAMAHA 헬기와 동일
비행고도	3-5 m	작물과 분무기 사이 거리
운용풍속	3 m/sec 이하	YAMAHA 헬기와 동일
분무기 너비	4 m	YAMAHA : 2.5 m
무선인식거리	500 m	
총 비행거리	일회비행시 25Km	

표 2. 무인비행선 운용제원

3.1.1 형상 설계

기존의 비행선들은 별도의 장비를 탑재하기 위한 곤돌라의 공간이 협소하여서 농약 살포를 위한 분무장치의 장착과 농약 탑재에 적합하지 않다. 따라서 농약을 탑재하고 농약 살포를 위한 분무장치 설치가 적합하도록 비행선을 설계하였다. 비행선의 기낭크기는 농약과 분무장치를

탑재할 경우 비행선의 자중이 증가하기 때문에 이러한 하중에 맞추어 적합한 크기로 설계하였다. 또한, 구조물을 설계할 때 최종적으로 고도제어와 경로제어를 수행하기 위해서 내부 장비 위한 공간의 확보가 필요하기 때문에 곤돌라의 모양도 기존의 비행선들과는 다르게 구조 변경하였고, 양력 및 분무 효과를 얻기 위한 프로펠러의 장착과 프로펠러를 구동 시켜주는 엔진, 분무장치 장착, 농약을 탑재할 수 있도록 고려하여 구조물을 설계 및 변경하였다. 이러한 구조물 변경으로 곤돌라, 엔진, 분무장치, 농약 저장 공간이 전반적으로 구조물 안에 위치하게 하여 기존의 노출되었던 장비들이 지상 장애물에 대해 보호 되도록 설계하였다. 이러한 고려 사항을 토대로 하여 그림 3과 같이 비행선 곤돌라 구조물의 기초 설계를 하였고 좀더 상세한 설계도는 그림 4,5,6에 나타내었다.

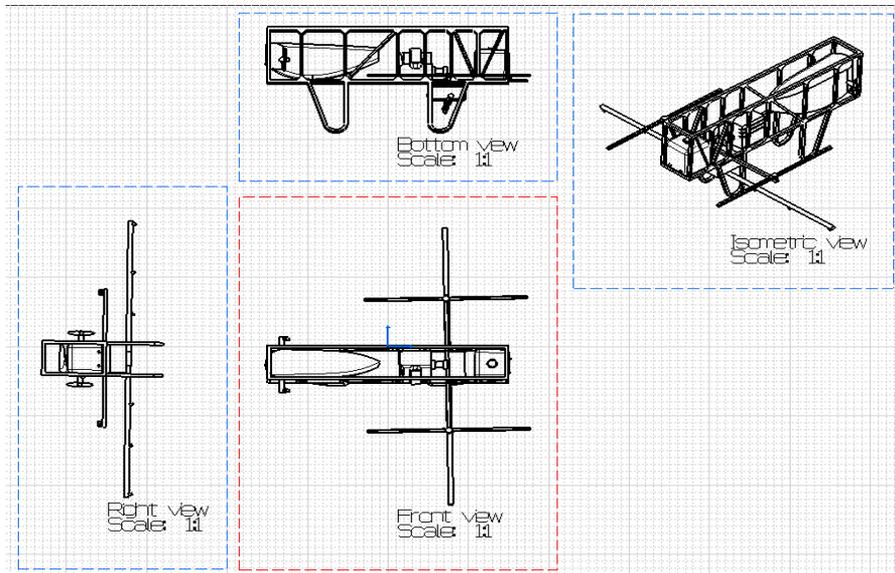


그림 3. 비행선 곤돌라 구조물 설계도

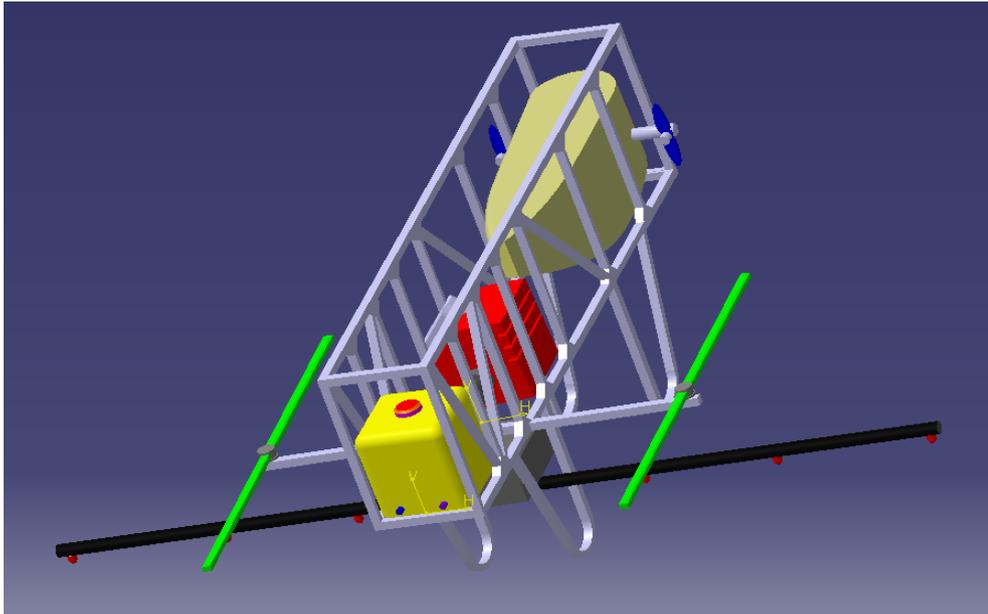


그림 4. 구조물 상세 설계

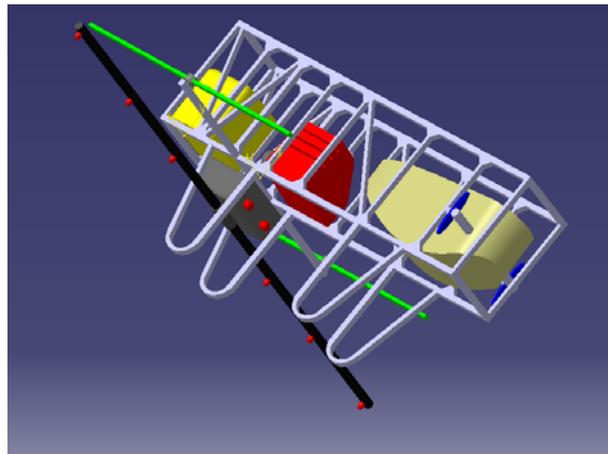


그림 5. 구조물 측면 모습

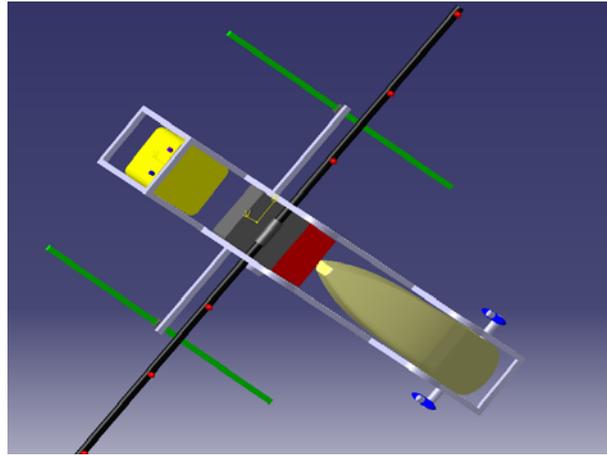


그림 6. 구조물 아래에서 바라 본 모습

프로펠러의 위치는 구조물의 중심에서 약간 뒤쪽으로 위치하게 하였다. 이는 농약 분사 시 무게 변경에 따라 비행선의 무게중심이 변경되기 때문에 프로펠러의 위치를 최대한 무게 중심 위치에 가깝게 하기 위해서이다. 분무 장치의 장착 위치는 분사력이 최대 효과를 얻을 수 있도록 프로펠러 아래에 장착하였다. 이를 통해 분무장치의 펌프 압력과 부가적으로 프로펠러에서 발생하는 내리흐름(Downwash)이 농약을 효과적으로 살포할 수 있는 장점을 얻기 위해 장착 위치를 결정하였다. 농약 저장 공간은 기존의 여러 공간을 이용하는 구조에서 한 공간으로 구조 변경하였는데 이는 구조의 복잡성에 따른 무게 증가와 한쪽 저장 공간에서 농약이 원활하게 방출 되지 않을 때 무게 중심이 그쪽으로 이동하여 비행선 자세가 전체적으로 불안정을 가져올 수 있기 때문에 변경하였다. 추력용 프로펠러는 기존의 설계지점보다 좀 더 앞쪽에 위치하도록 변경하였다. 이러한 변경은 추력용 프로펠러에서 발생된 공기의 후류가 부상용 프로펠러의 양력생성에 미치는 영향을 좀 더 줄이기 위한 이유로 장착 위치를 설계하였다. 착륙 장치 역시 기존의 방식에서 크게 변화를 주지는 않았지만 단지 지지대가 하나인 것보다는 두 개의 지지대를 이용함으로써 착륙 시 착륙 장치에 가해지는 충격량에 따른 변형을 줄일 수 있도록 하였다. 이를 토대로 해서 곤돌라 구조물과 기낭을 연결하여 설계한 전체 모습은 그림 7과 같다.

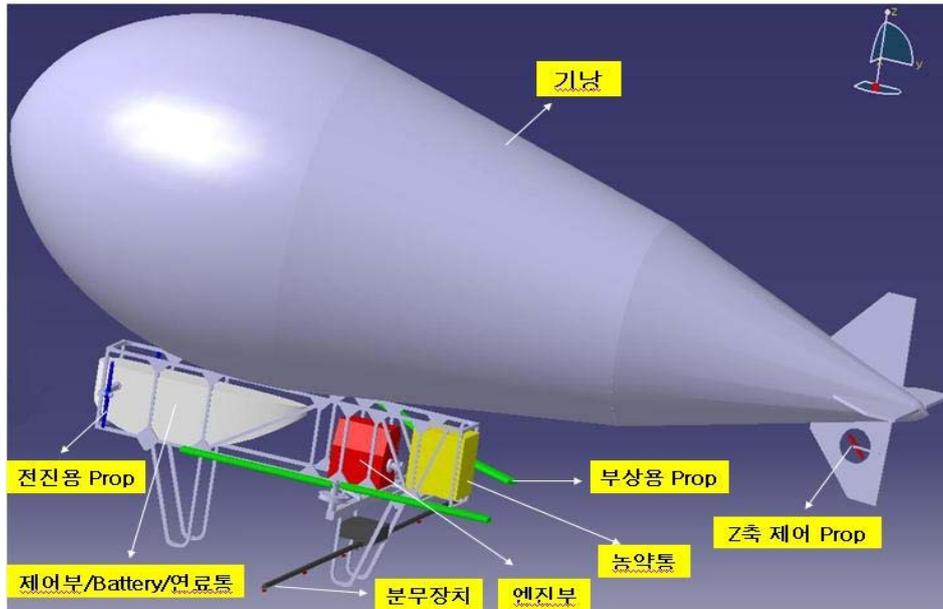


그림 7. 비행선 최종 설계도

3.1.2 비행선 제작

위에서 설계한 대로 1차년도에 가솔린 엔진을 이용한 농약살포용 비행선을 제작하였는데 기존의 비행선과 가장 큰 차이점은 분무장치와 농약을 탑재하기 때문에 전체 시스템의 하중변화가 증가하게 된다. 따라서 분무장치 및 농약 탑재에 따른 하중변화 증가에 의하여 정적양력을 이용하는 기낭의 경우 크기를 초기 설계치보다 크게 제작하였다. 또한, 별도의 부상용 엔진을 장착하고 로터를 설계하여 동적 양력을 발생시켜 추가 하중변화에 대한 양력을 얻을 수 있도록 제작하였다. 그리고 비행선의 전진 방향 추력을 얻기 위하여 전동 모터를 추가 장착함으로써 비행선의 기동하는데 좀 더 효율적이도록 설계/제작하였다. 그림 8-14는 제작된 농약살포용 비행선과 각 부품을 보여준다.



그림 8. 1차년도에 제작된 가솔린 엔진형 비행선



그림 9. 부상용 로터

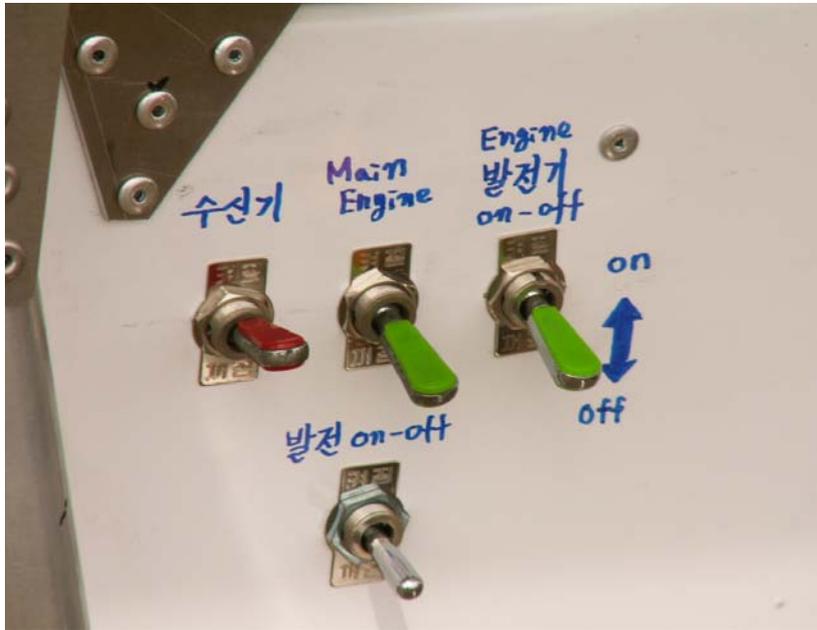


그림 10. 각종 계통 전원 공급 스위치



그림 11. 부상용 동력 전달 케이블



그림 12. 부상용 로터와 구조물



그림 13. 전진용 전동 모터



그림 14. 연료 및 전원 케이블

추력을 제공하는 전동 모터의 전원 공급은 기초 설계 시 발전기에서 리튬폴리머 배터리로 변경하였다. 배터리로 교체한 이유는 구조물 변경에 의한 중량 증가와 발전기의 무게에 비해 낮은 발전 효율로 인한 전동 모터의 전원 공급이 안정적이지 않았기 때문이다. 이러한 발전기를 리튬폴리머 배터리로 변경함으로써 비행선의 중량 감소와 무게에 비해 안정적인 전원 공급

을 유지할 수 있었고, 그로 인해 비행시간을 좀 더 연장할 수 있었다. 분무장치 내의 펌프 전원 공급은 전체 시스템의 전원 공급과 분리하여 비행선의 운용 비행을 좀 더 유지시킬 수 있도록 하였다. 농약 살포 비행 시 비행선이 제자리에서 방향 전환이 가능하도록 하여야 한다. 이미 설계 장착된 전진 추력용 프로펠러의 회전수 제어로 방향 전환이 가능하지만 비행선 기낭 수직 꼬리 날개 부분에 프로펠러를 설치하여 보다 확실한 방향 전환이 가능하도록 설계하였다. (그림 15-18)

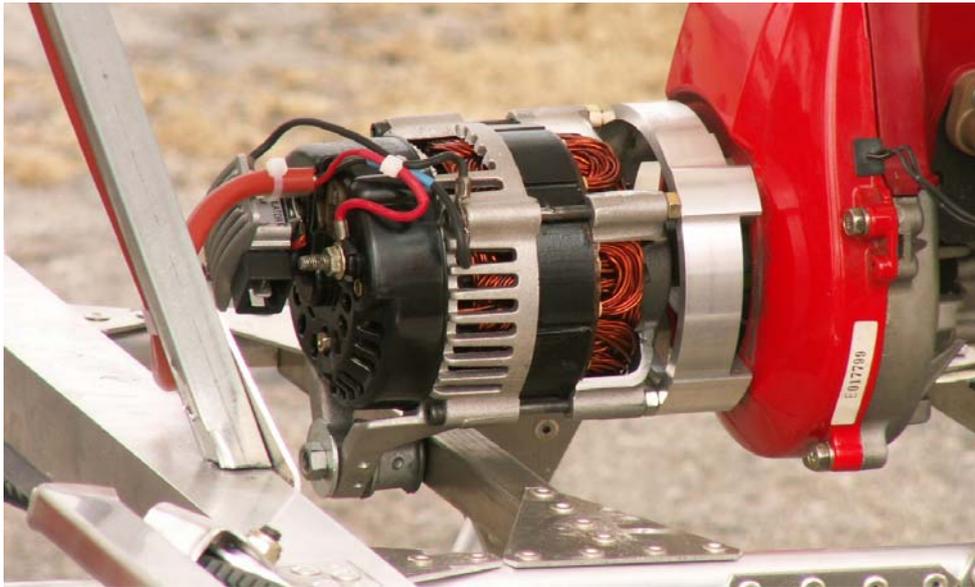


그림 15. 부상용 로터 전원 공급 장치(발전기)

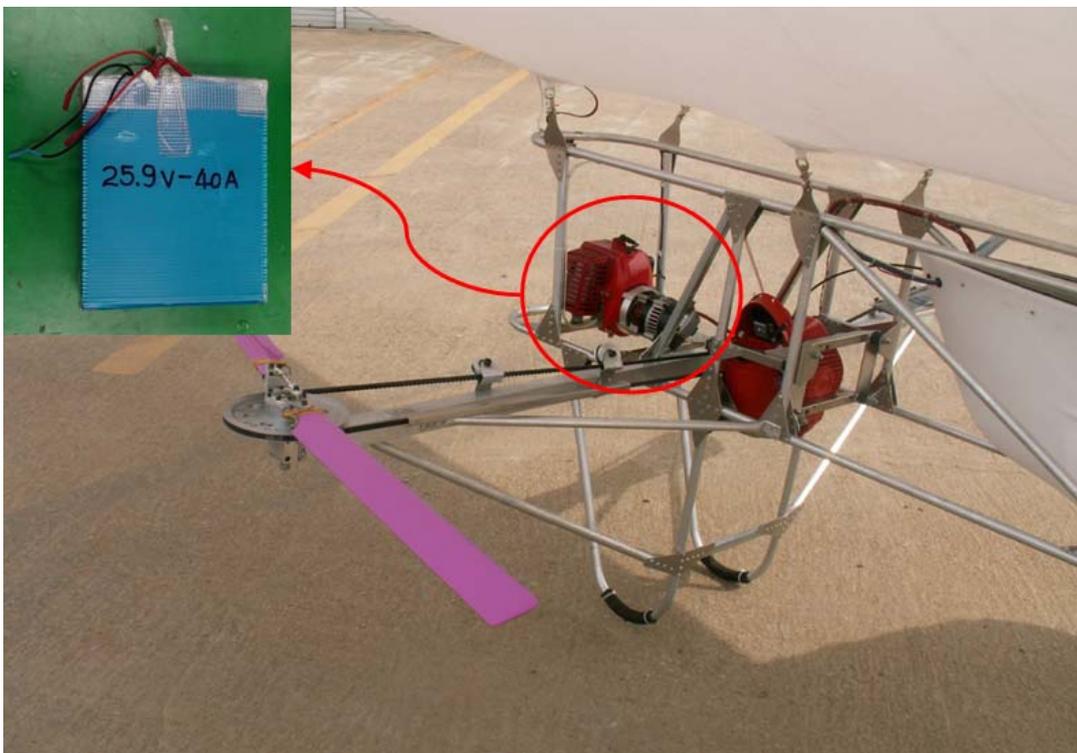


그림 16. 전동 모터 전원 공급 장치



그림 17. 수직 꼬리 날개 1



그림 18. 수직 꼬리 날개 2

3.1.3 로터 회전면 개선

비행 시험 중 비행선의 착륙 시 구조물의 하중에 따른 충격으로 로터와 곤돌라 구조물의 예상 간격보다 부족하여 충격을 일으켜 로터와 기낭이 파손되는 경우가 있었다. 이러한 현상이 일어나게 된 원인은 낮은 로터 구동 속도로 인한 Roll 방향 동적 불안정성과 회전 속도 감소

로 인하여 회전면의 높이가 낮아진 로터가 복합적으로 발생하여 생긴 원인으로 판단하였다. 문제 해결을 위하여 전체적인 구조물 설계 변경 보다는 로터 회전면의 높이를 증가시키는 방법을 선택하여 비행선 착륙 시 발생 가능한 사고를 예방할 수 있도록 하였다. (그림 19-22)

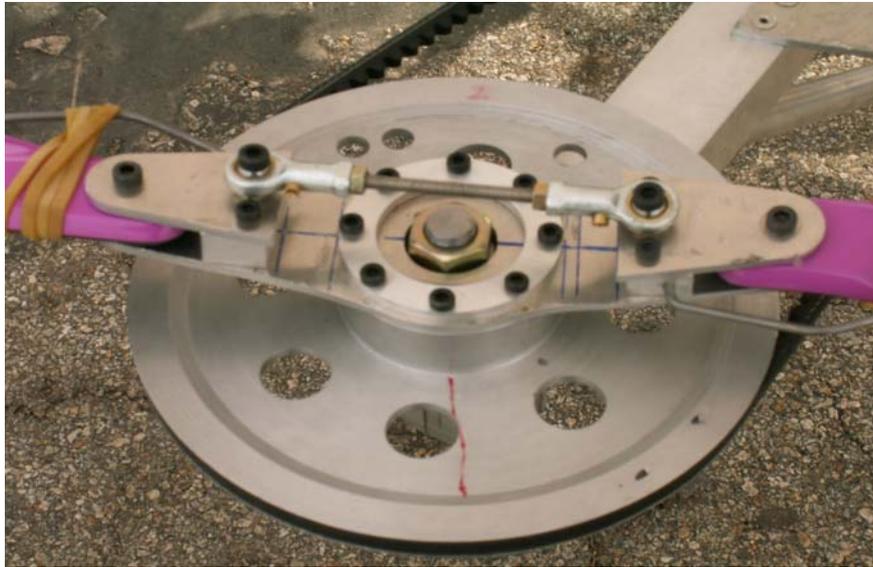


그림 19. 부상용 로터 기어



그림 20. 로터 회전면 높이 변경

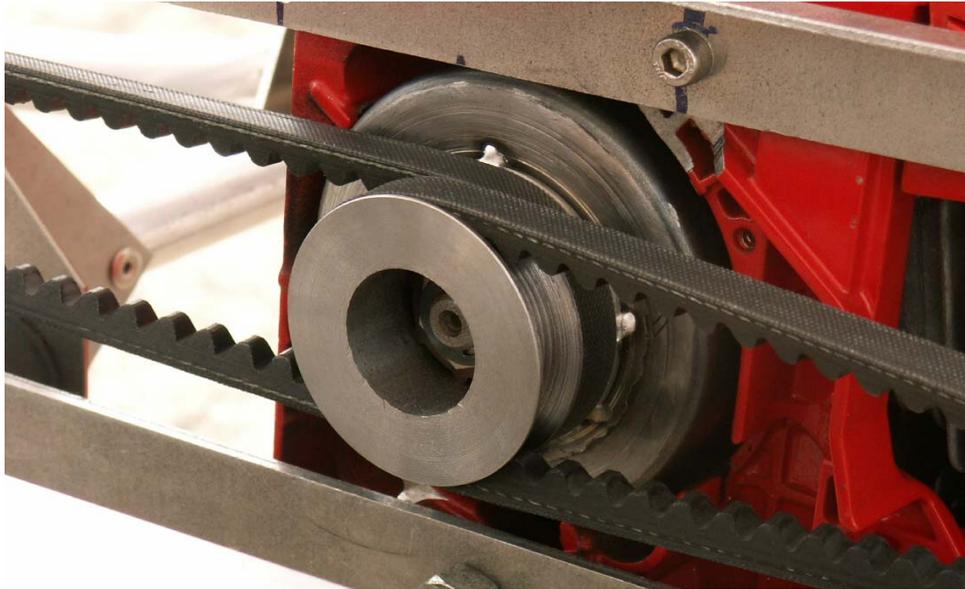


그림 21. 부상용 로터 동력 전달 장치

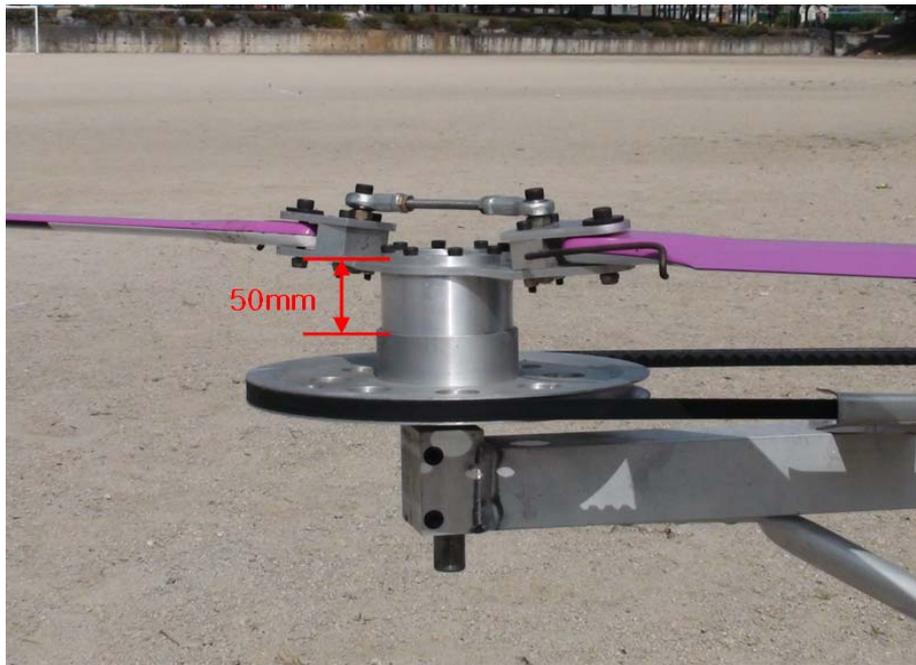


그림 22. 설계 변경된 로터 회전면

3.2 전기모터를 이용하는 30L급 농약살포용 무인비행선 개발

3.2.1 형상 설계 개선

1차년도에 개발한 가솔린 엔진형 비행선은 30L의 농약을 탑재하고 비행할 경우 충분한 추력을 발생함을

비행시험을 통해 확인 할 수 있었다. 또한 부상용 로터에서 발생하는 강한 하향풍을 통해 농약 살포시 농약이 벼의 곳곳에 묻어 충분한 방제 효과를 확인 할 수 있었으나 메카니즘이 복잡하고 시동이나 운용에 복잡한 점이 많아 배터리를 전원으로 하는 전기모터 구동형으로 개선하였다. 전진용 추력원의 경우 두 개의 브러시리스 모터를 사용하였으며 비행선이 전진 비행을 하는데 있어서 충분한 추력을 발생함을 비행시험을 통해 확인 할 수 있었다. 또한 방향제어 특성을 확인하기 위하여 두 가지의 실험을 동시에 실시하였다. 첫 번째로 기존의 비행선들과 같이 Rudder만을 이용하여 방향전환을 실시한 결과 농약살포용 무인비행선은 방제작업을 실시하기 위하여 농경지 위에서 저속으로 비행 특성에 따라 저속으로 비행하면서 Rudder만을 이용하여 방향전환을 실시한 결과 선회반경 약 10m정도로 매우 크게 발생하여 그 효과가 매우 미미함을 확인 할 수 있었다. 두 번째로 단방향제어용 추력원을 이용하여 방향전환을 실시한 결과 헬기와 같이 제자리에서도 선회가 가능함을 확인 할 수 있었으며 Rudder만을 이용한 방향제어보다 효과 적임을 확인할 수 있었다. 하지만 방향제어의 경우 단방향 방향 전환을 실시하기 때문에 비행선이 방향 전환을 실시하는데 있어서 많은 제약이 따름을 확인 할 수 있었다.

곤돌라의 경우 경량화를 위하여 알루미늄 파이프를 이용하여 곤돌라의 구조를 제작하였다. 그 결과 곤돌라의 제작 기간을 단축할 수 있었으며, 다량의 장비가 장착되었음에도 충분한 강도를 가질 수 있었다. 또한 장비의 장탈착을 쉽게 할 수 있다는 장점을 가질 수 있게 되었다. 하지만 알루미늄 파이프를 이용한 구조 때문에 장비들이 외부에 장착되어 있어 무인비행선이 비행을 하는 동안 항력을 발생할 것으로 예상되며, 농약 살포시 장비가 외부로 노출되어 있기 때문에 장비 손상이 우려됨을 확인 할 수 있었다.

엔진타입의 농약 살포용 무인 비행선을 개발하여 비행시험을 통하여 비행 특성 및 제어 특성을 확인 할 수 있었으며 이를 통하여 개선 사항을 적용하여 배터리를 이용한 농약 살포용 무인 비행선을 개발 하였다. 문제 점 및 개선 사항은 표 3에 나타내었다.

그림 23과 24는 비행선의 형상 개선 전후를 나타낸 것이다.



그림 23. 개선 전



그림 24. 개선 후

내용 추력원	문제점	개선사항
부상용	1. 엔진 사용을 통한 진동 발생 문제 2. 로터의 고정피치를 이용한 추력발생으로 인한 엔진의 손상 문제 예상	1. 추력원을 대용량 브러시리스 모터로 교체 2. 로터의 피치 변화를 통해 추력발생을 통해 기계적인 결합발생문제 해소
전진용	1. 두 개의 브러시리스모터를 사용으로 인한 추력 불균형 및 배터리 사용시간 단축	1. 단일 대용량 브러시리스 모터 장착
방향제어용	1. 단방향 제어용으로 인한 방향제어 특성에 있어 제약사항 발생	1. 양방향으로 역피치 프로펠러장착을 통한 양방향 제어용 추력원으로 변경
곤돌라	1. 장비의 외부장착으로 인한 항력 발생 2. 장비 외부 노출로 인하여 농약 살포시 장비 손상 예상	1. 몰드 작업을 통한 곤돌라의 유선형 단일 동체화 실시 2. 몰드 작업을 통해 장비를 곤돌라 내부 장착 실시

표 3. 개선 사항

표 4는 설계 개선 후 비행선의 제원을 정리한 것이다. 기낭의 전장은 13m, 전폭은 3m이며 기낭의 중량은 약 5Kg, 곤돌라의 전장은 2m, 전폭 0.8m이며 탑재 중량은 30Kg 이다. 평균 순항 속도는 약 5m/s정도로서 현재 장착된 배터리의 용량을 기준으로 약 30분 정도 비행이 가능하다. 기낭의 크기가 약 1m정도 늘어났으며 추력원의 경우 엔진에서 전동형으로 변경되어 1차년도에 비해 30L 농약을 탑재하여 보다 안전하게 농약살포 비행을 할수 있도록 설계 개선을 실시하였다.

기낭	전폭	13 m
	직경	3 m
	무게	5 kg
곤돌라	전장	2 m
	직경	0.8m
	무게	15 kg
추력원 (부상용)	모터	6500W, 20~48V
	프로펠러	62inch 대칭형
추력원 (전진용)	모터	6500W, 20~48V
	프로펠러	30×10
추력원 (방향제어용)	모터	1900W, 20~30V
	프로펠러	16×10

표 4. 비행선 제원

3.2.2 곤돌라 개선

그림 25와 그림 26은 농약살포용 무인비행선의 곤돌라의 개선 전후 상태를 나타낸 것이다. 개선 후의 큰 특징은 몰드 작업을 통한 동체의 일체화에 있다. 1차년도에의 경우 알루미늄 골조를 바탕으로 동체를 구성함으로써 동체에서 발생하는 항력 발생과 농약 살포시 엔진 및 전진용 추력원의 장비의 손상이 우려되었으나 개선 후 동체를 유선형의 일체형으로 제작하여 항력을 감소시킬 수 있었으며 몰드 작업을 통하여 동체 내부에 충분한 탑재 공간을 확보 할 수 있었으며 장비를 외부에 노출 시켰던 1차년도와는 달리 장비들을 내부 탑재하여 농약 살포시 발생하는 장비의 손상 문제들을 해결 할 수 있었다.



그림 25. 개선 전 곤돌라



그림 26. 개선 후 곤돌라

3.2.3 추력 시스템 개선

그림 27과 그림 28은 부상용 추력원의 개선 전·후의 모습을 나타낸 것이다. 개선 후의 추력은 크게 3가지로 나누어진다. 첫 번째로 추력원을 휘발성 연료를 사용하는 엔진형에서 배터리를 사용하는 전동형으로 변경한 것이다. 기존의 경우의 엔진 작동 시 엔진에서 발생하는 진동으로 인하여 무인비행선의 탑재 장비의 손상이 예상되었으나 전동형으로 교체함으로써 예상 문제점을 제거 할 수 있었다. 또한 엔진형의 경우 고무 벨트 등을 사용함으로써 기계적인 결합 위험을 존재하였으나 개선 작업을 통해 제거 할 수 있었다. 두 번째로 부상용 로터의 경우 가변피치형으로 교체 작업을 실시하였다. 가변피치형으로 변경함으로써 RPM은 일정하게 유지하면서 피치변화를 통해 추력을 발생함으로써 브러시리스 모터의 부하를 줄일 수 있었으며 안정적으로 부상용 추력원을 얻을 수 있었다. 세 번째로 엔진형의 경우 비행 중 엔진이 OFF되었을 경우 재시동을 걸 수 없기 때문에 추락의 위험성을 가지고 있었다. 하지만 전동형의 경우 배터리 잔량이 충분할 경우 비행 중에 ON/OFF를 쉽게 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.



그림 27. 개선 전 부상용 추력원



그림 28. 개선 후 부상용 추력원

그림 28과 그림 29는 방향제어용 추력원의 개선 전 · 후를 나타낸 것이다. 기존의 방향제어용 추력원의 경우 단방향으로만 방향전환이 가능하기 때문에 방향전환에 있어서 많은 제약을 따랐다. 개선 후의 경우 한 개의 브러시리스모터에 역방향 프로펠러를 장착하고 특수 제작된 베어링을 장착하여 양방향으로 방향 전환이 가능하도록 제작하여 방향전환에 있어 뛰어난 성능을 가지게 되었으며 이를 바탕으로 선회 특성의 경우 저속 또는 정점 체공상태에서 양방향으로 방향전환이 가능하게 되었다.



그림 28. 개선 전 방향제어용 추력원



그림 29. 개선 후 방향제어용 추력원

그림 30과 그림 31의 경우 전진용 추력원의 개선 전 · 후를 나타낸 것이다. 기존의 경우 2개의 소형의 브러시리스모터를 사용하여 전진용 추력을 발생하였다. 하지만 변속기의 특성에 따라서 좌우의 추력이 달리 발생할 우려가 예상되었다. 하지만 대용량의 브러시리스모터를 장착하여 이와 같은 문제를 해결할 수 있었다.



그림 30. 개선 전 전진용 추력원



그림 31. 개선 후 전진용 추력원



그림 32. 모터 방식 무인 농약살포용 비행선



그림 33. 비행시험

3.3 전기모터를 이용하는 12L급 소형 농약살포용 비행선 개발

2차년도에의 개선 작업을 통하여 1차년도에 비하여 급격한 성능 향상을 가져 올 수 있었지만 30L의 농약을 탑재한 후 안정적인 비행을 하기 위하여 무인비행선의 크기가 증가하였고 좁은 경작지에서 운용하기에는 다소 어려움이 있다고 판단되었다. 따라서 3차년도에는 좁은 경작지에서 운용의 편의성을 증대시키기 위하여 9m급의 무인비행선을 제작하였는데 9m급의 무인비행선 시스템의 경우 2차년에 개발하였던 비행선의 제어 시스템을 바탕으로 제작이 이루어졌다. 소형 농약 살포 비행선 개발과 함께 운용시스템과 비행제어 장치 또한 소형화 개발을 진행하였다. 소형 농약살포용 비행선 개발에서는 곤돌라 부분의 소형화와 제어 시스템의 소형화 및 성능 검증 그리고 비행시험을 중점적으로 진행하였다. 1,2,3차년도에 제작한 비행선들의 제원을 표 5에 나타내었다.

추력 시스템	엔진형(1차년도)	모터형(2차년도)	소형 모터형 (3차년도)
기낭(길이)	13m	13m	9m
곤돌라 무게	25kg	15kg	10kg
농약 탑재량	30L	30L	12L
시스템 무게	1.5kg	1kg	0.2kg

표5. 제작된 비행선들의 제원

3.3.1 곤돌라 제작

소형 농약 살포용 비행선의 곤돌라는 그림 34와 같다. 전방 추력용 모터와 비행선 부상을 위한 모터가 소형으로 교체되었으며 부상용 추력부분의 틸팅 시스템에 기어박스를 적용한 모터를 이용하여 소형화 하였다.



그림 34. 소형 농약 살포용 비행선 곤돌라

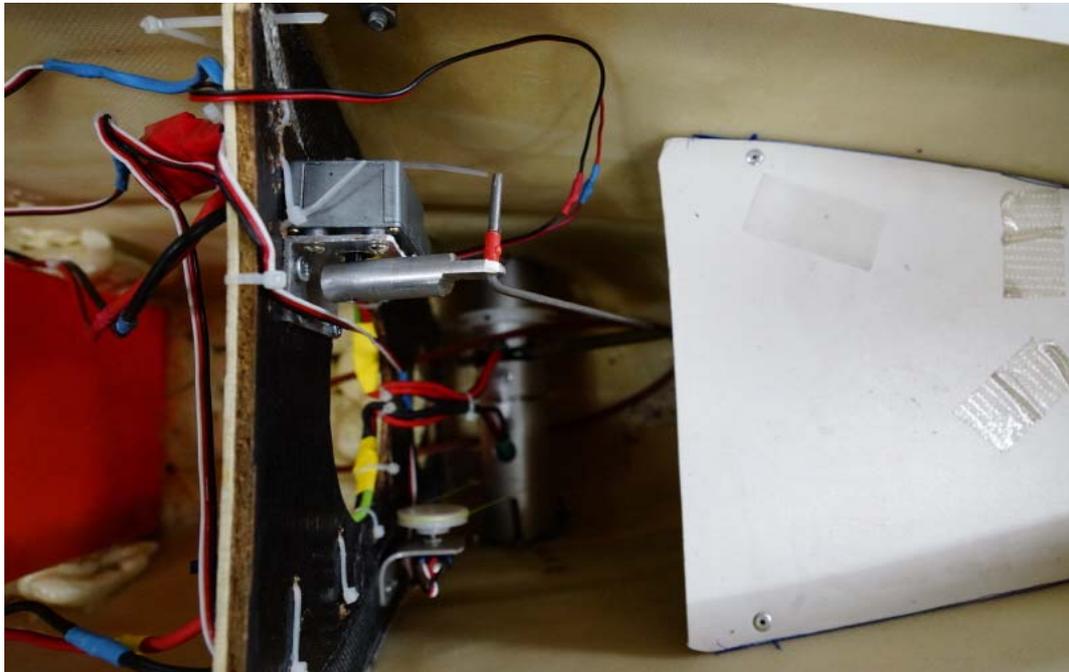


그림 35. 부상용 추력의 시스템의 틸팅 시스템

3.3.2 추력 시스템 제작

비행선 추력시스템은 이전의 모터 타입의 곤돌라를 개량하여 부피 및 크기를 50%정도 소형화 하였으며 이에 따라 모터 및 전진, 부상용 프로펠러들의 크기 및 무게도 감소하였다. 그림 36에 대형 기체와 소형 기체의 추력시스템 부분을 나타내었다.



그림 36. 비행선 추력시스템의 소형화

3.3.3 비행 테스트



그림 37. 소형 농약살포용 비행선

비행선의 기낭의 부피 및 길이가 작아지고 곤돌라의 폭이 작아 졌기 때문에 이전 비행선보다 좁은 장소에서 이륙이 가능하였고 비행선을 날리기 위하여 목적지 까지 이동시에 일반 1톤 트럭으로도 이동이 가능해져 운반이 용이하였다. 비행선은 바람이 2m/sec 미만에서 안정적인 비행이 가능하였는데 실제 농약 살포시 에도 이 이상의 바람에서는 방제 효과가 적기 때문에 무

리는 없다고 판단하였다.

초기에는 곤돌라에 최종 탑재 시스템의 무게를 맞추기 위하여 농약 살포통에 물을 채워 넣어 비행을 하였고 수동 비행 및 자동비행이 안정적으로 이루어진 이후에는 그림 37과 같이 실제 농약 살포시 와 같은 조건으로 자동 및 수동 비행을 하였다.



그림 38. 소형 농약살포 비행선 테스트(농약 살포 장치 장착)

3.4 분무장치의 개발

3.4.1 1차년도 비행선 분무장치 시스템 개발

무인 비행선을 이용하여 농약을 살포하는 방제 작업에 쓰인 예가 없기 때문에 헬기를 이용하여 방제액을 살포하는 방법에서 착안하여 비행선에 적합하게 장착될 수 있으며, 한번 비행으로 좀 더 넓은 면적을 방제할 수 있도록 파이프의 길이를 펌프 성능에 적절하게 최대한 증가시켜 설계하여 제작하였다. 또한, 비행선의 하중 부담을 줄이기 위하여 최대한 가벼우면서도 튼튼한 재질의 파이프를 사용하였다.

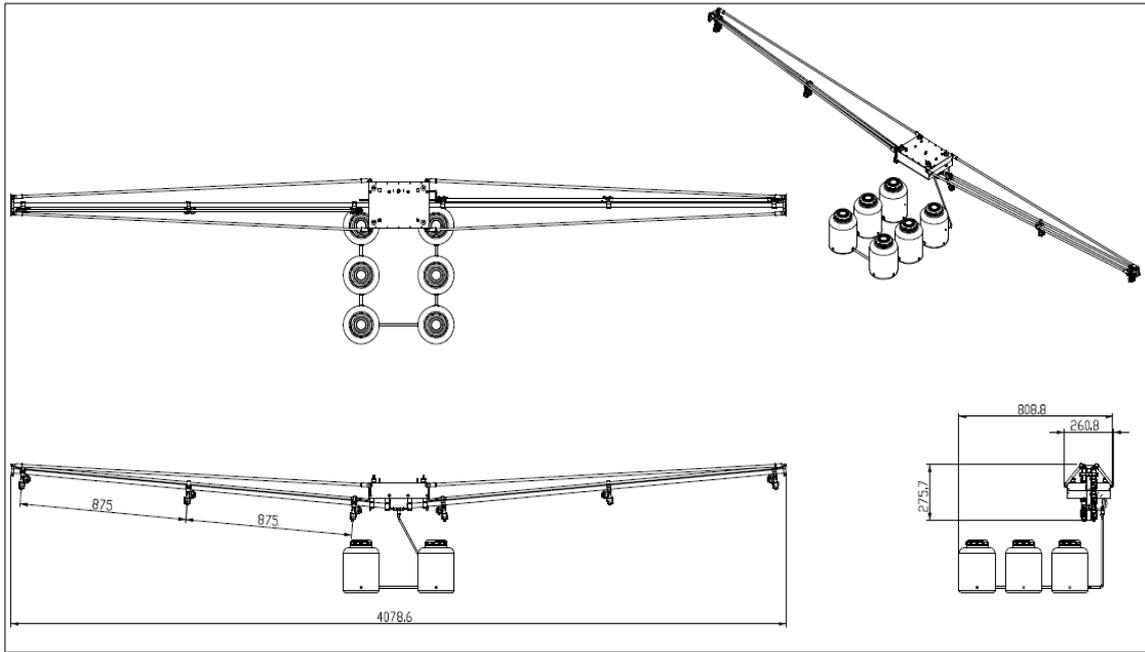


그림 39. 분무장치 설계 도면

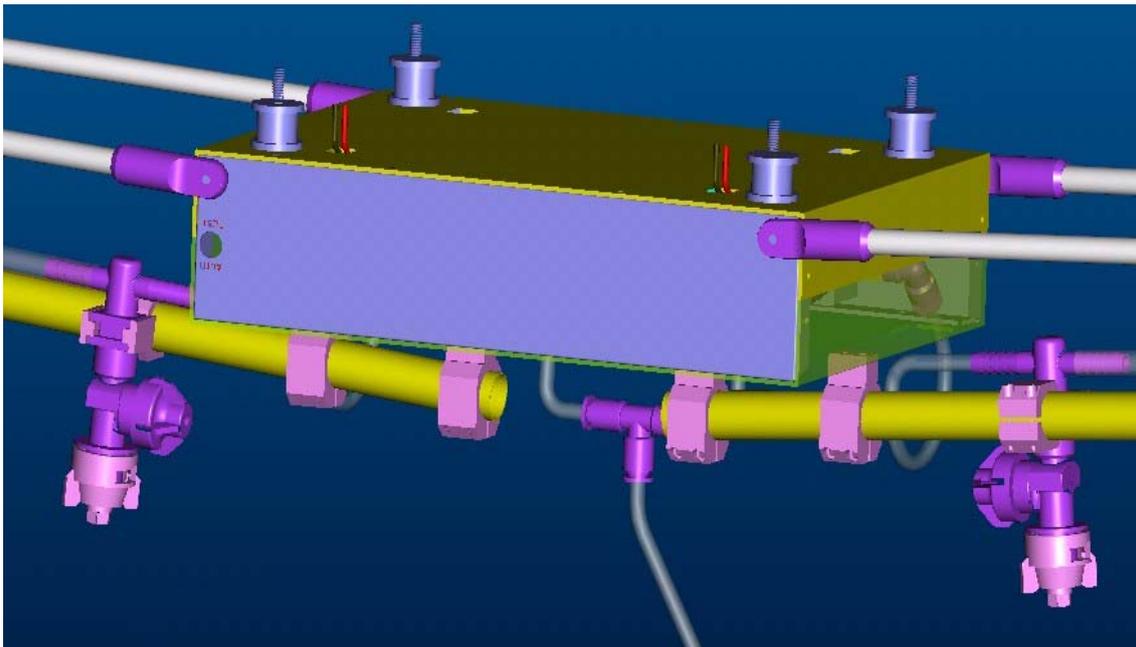


그림 40. 분무장치 제어 박스

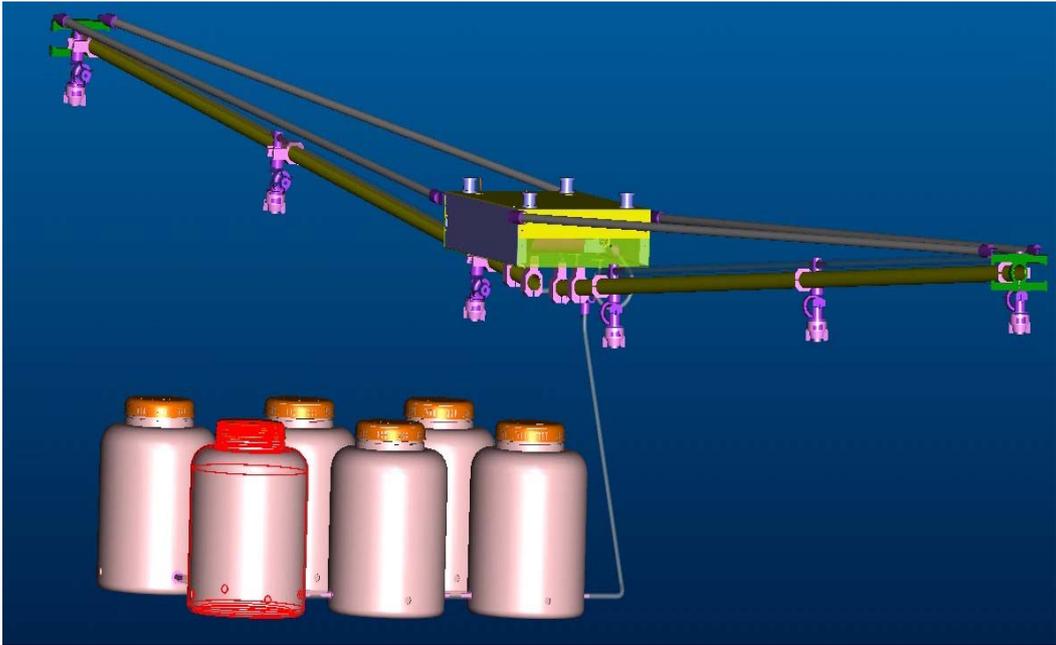


그림 41. 분무장치 설계 이미지 개념도

지상에서 사람이 직접 농약을 뿌리는 것이 아니라 공중에서 비행하는 비행선이 농약을 살포하기 때문에 농약의 흡착력을 높이려면 분사된 농약 입자의 운동량을 증가시키거나 비행선의 고도를 최대한 낮추어 정밀하게 고도를 유지하는 비행하여야 한다. 분사된 농약 입자의 운동량을 증가시키는 방법을 우선 시험 비행 하였고, 이를 위해 분사압을 높이는 방법과 분사 입자 크기를 증가시키는 방법을 고려할 수 있다.

현재 제작한 비행선의 경우 추력용 전동 프로펠러와 부상용 프로펠러의 복합적 구동으로 생성하는 와류에 농약 입자를 편승시켜 운동량을 증가시키는 것이 가능하였다. 이러한 근거를 토대로 분무장치의 장착 위치를 결정하여 제작할 수 있었고, 농약 살포용 분사 노즐을 부상용 프로펠러 하부에 장착하여 분사력을 증가시키기 위한 별도의 장비를 장착하여 생기는 중량 증가를 유발시키지 않으면서 노즐을 통하여 살포된 농약 입자의 흡착력을 높일 수 있었다.



그림 42. 실제 제작된 분무장치



그림 43. 최종 제작된 비행선 하부 구조물

3.4.2 2차년도 비행선 분무장치 시스템 개발

엔진 비행선 분무장치를 이용하여 지상 및 비행시험을 통한 성능 테스트를 진행하면서 분무장치 개선을 위한 연구를 진행하였다. 기존의 분무 장치는 내부의 펌프가 2개로 구성되어 있고 리튬이온 배터리 전원을 이용하여 장치를 구동하였다. 비행선이 농약을 살포해야 하기 때문에 농약을 제외한 모든 시스템이 경량화 되어야 기량의 부피를 줄일 수 있다. 그렇기 때문에 비행선의 하중 부담을 줄이기 위하여 분무장치를 개량하여 기존의 장치와 성능은 유사하되 무게는 줄일 수 있도록 개선하였다.

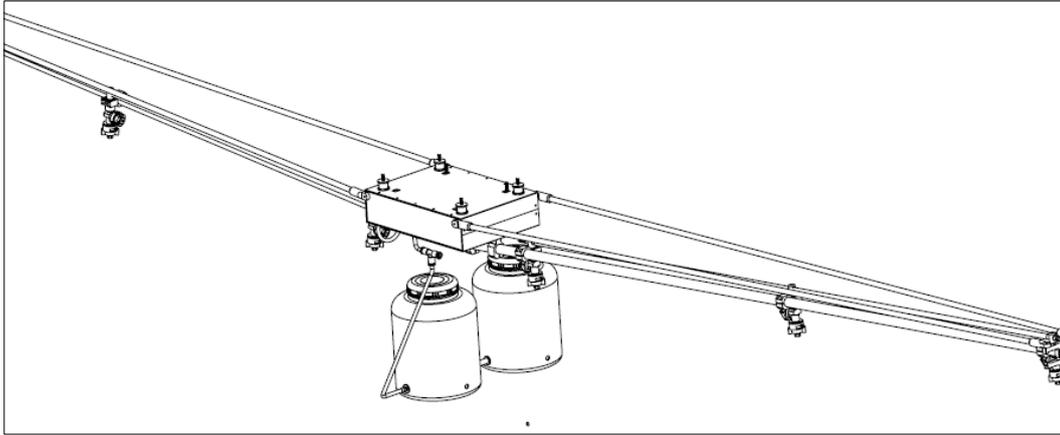


그림 44. 개선된 분무장치 구성도



그림 45. 기존 분무장치 무게

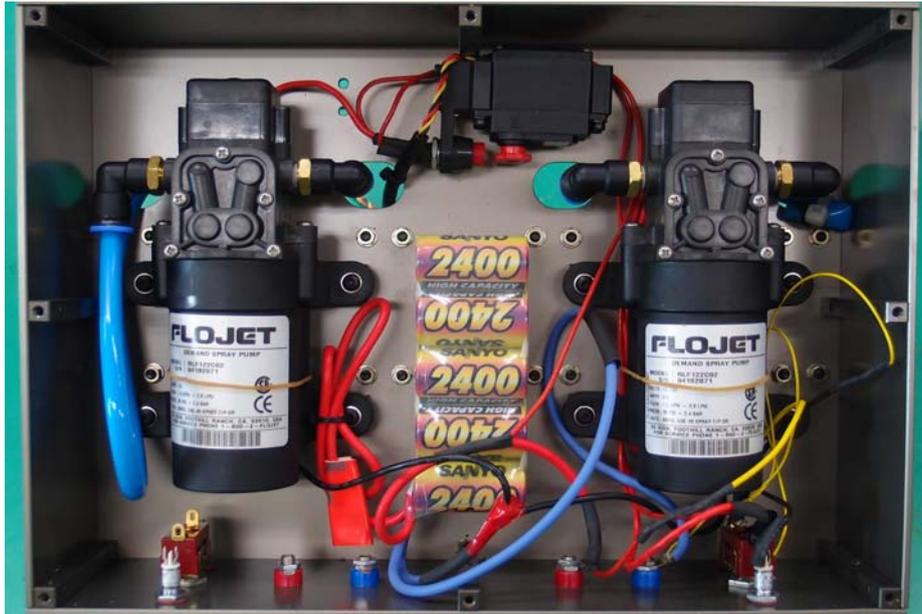


그림 46. 기존 분무장치 제어 박스 내부

개선된 분무장치는 기존 2개였던 펌프를 1개로 줄였다. 테스트 결과 기존 분무장치와 유사한 성능을 보여 주었다. 그리고 리튬이온 배터리에서 리튬폴리머 배터리로 변경하면서 배터리 용량 증가로 인하여 운용시간을 늘렸으며, 충전이 용이하도록 하였다. 그리고 내부 구조가 단순화 되면서 혹시 모를 약품의 누수를 대비한 보강도 기존 장비보다 간단히 할 수 있도록 하였다.

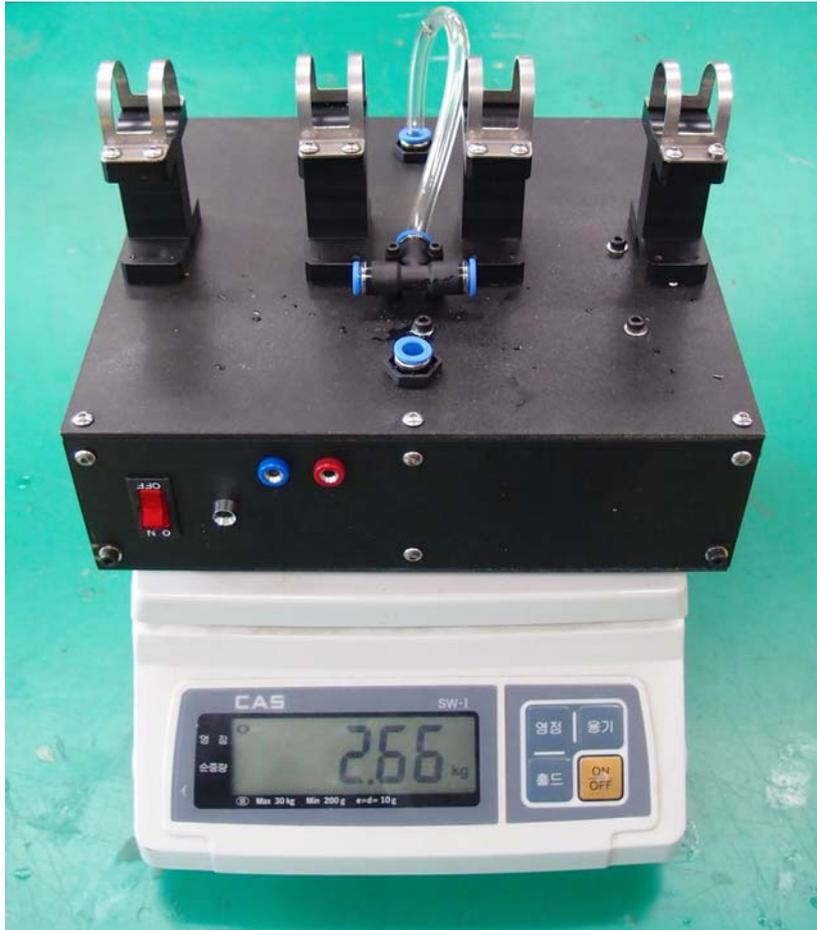


그림 47. 개선된 분무장치 무게



그림 48. 개선된 분무장치 제어 박스 내부

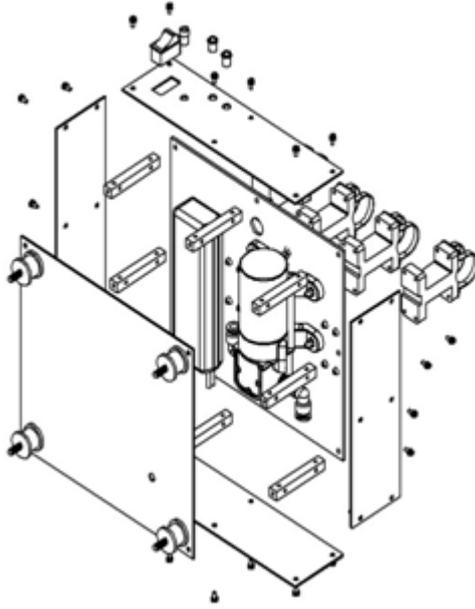


그림 49. 개선된 분무장치 조립도

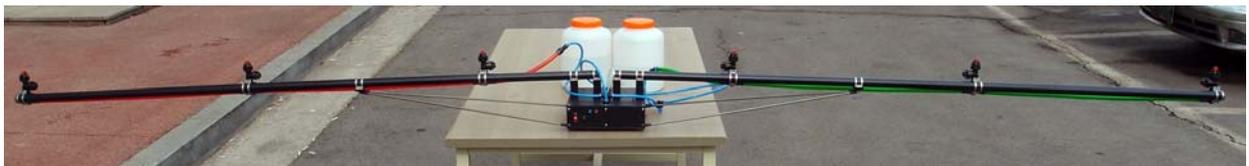


그림 50. 개선된 분무장치



그림 51. 농약 살포 노즐



그림 52. 농약 살포 시연

개선된 농약 살포 장치는 기존의 농약 살포 장치에 비해 무게, 사용성, 장착 시간, 유지 보수 등 전반적으로 개선을 하고 단점을 보완하였으며 무게를 가볍게 하여 비행선의 하중에 부담을 덜었다는 것을 확인할 수 있다.

3.4.3 3차년도의 개선된 비행선 분무장치 시스템 개발

최종 비행선 분무장치 시스템은 1,2차 때에 개발하였던 시스템보다 경량화를 목표로 개발되었다. 펌프 성능은 2차로 개발된 시스템과 같으나 장비의 무게가 감소하였고 농약 살포 노즐을 지지해주는 파이프의 경우에도 카본을 이용하여 무게를 대폭 감소 할 수 있었다.

	1차년도 분무장치	2차년도 분무장치	3차년도 분무 장치
가로(mm)	320	250	250
세로(mm)	230	230	230
높이(mm)	85	78	78
무게(Kg)	4.68	2.66	2.07

표 6. 분무장치 시스템 크기 및 무게

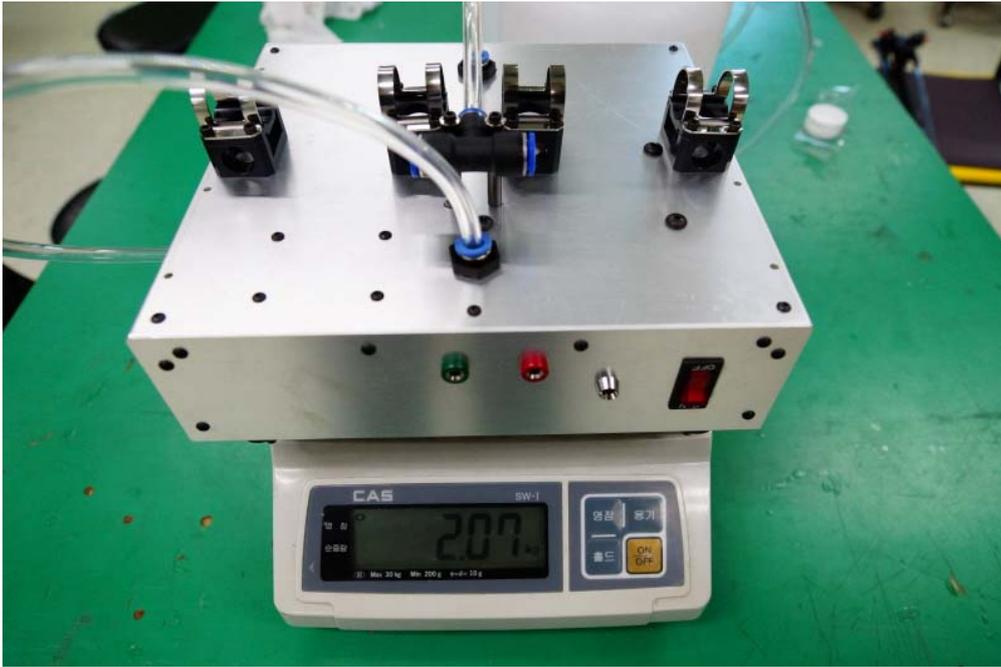


그림 53. 최종 분무 장치 무게

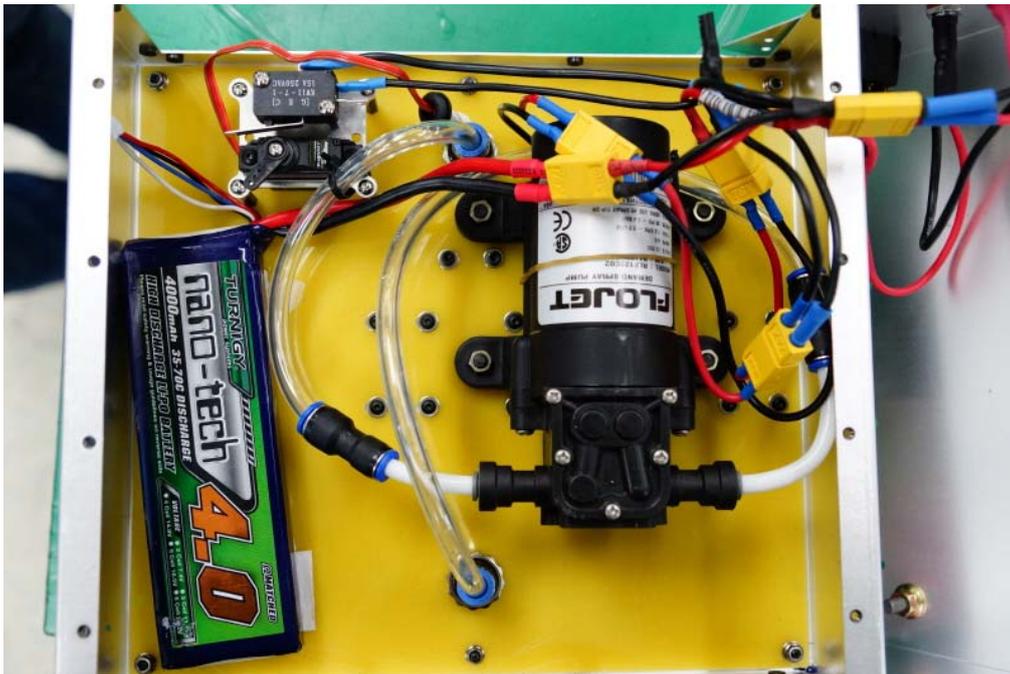


그림 54. 최종 분무 장치 내부 구성

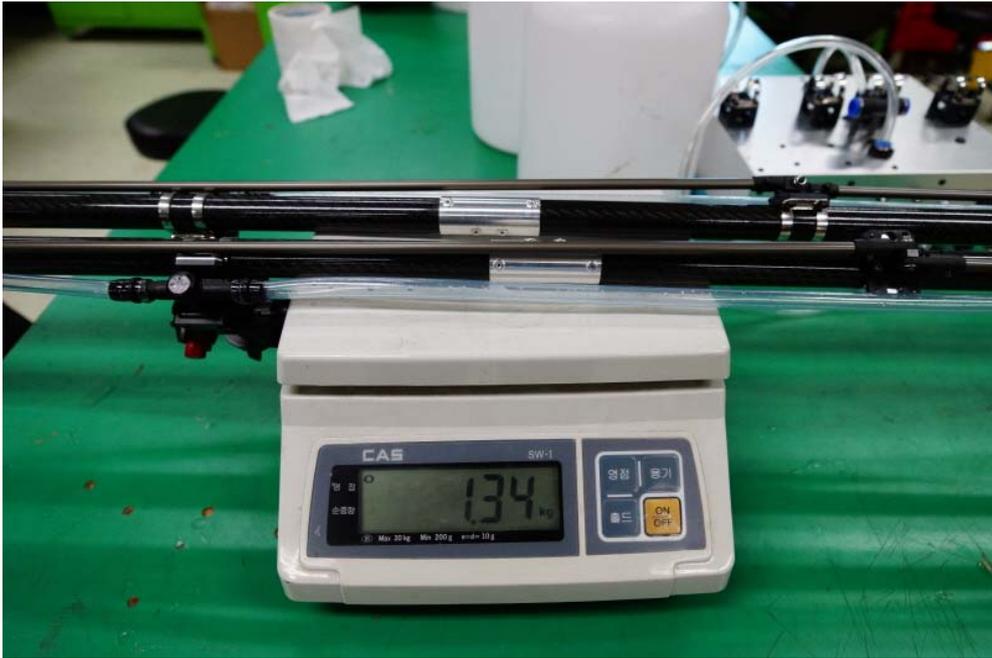


그림 55. 카본 제작 분무 파이프



그림 56. 지상 분무 테스트



그림 57. 비행시험중인 무인 농약살포 비행선

그림 56과 같이 먼저 지상에서 분무 장치가 제대로 작동되고 있는지 테스트를 하였으며 그림 57과 같이 비행선에 장착되어 지속적인 성능 테스트를 진행하였다. 총 3종류의 분무장치 시스템 중에서 최종적으로 개발된 시스템이 비행에 가장 적절한 것을 확인 하였다.

3.5 정밀 비행제어시스템 개발

3.5.1 비행제어 시스템

3.5.1.1 제어 알고리즘 개발

농약살포를 위한 비행선의 운용을 쉽게 하기 위하여 비행제어시스템을 개발하였으며 H/W개발 과 S/W개발을 아래와 같이 진행하였다. 비행제어 시스템의 경우 S/W를 개발하고 시뮬레이션을 수행한 후에 H/W를 연결한 비행시험을 진행하였다. 제어기의 종류와 개발 차수는 표8에 나타 내었다.

제어기 종류	개발 연차
고도제어기(Elevator)	1차
항법제어기	2차-3차
고도제어기(메인 프로펠러)	2차-3차
방향제어기	3차

표 8. 비행제어 시스템 제어기 및 개발 차수

비행선의 시스템 구동과 정밀 비행 제어를 위하여 비행선의 고도 제어와 방향각 유도를 통한 경로 제어 시뮬레이션을 수행하였다. 비행선의 고도제어는 그림58과 같이 알고리즘을 구현하여 시뮬레이션을 수행하였다. 농약 살포시 비행선의 설정 고도명령을 입력하면 비행선은 설정 고도명령 수치와 고도센서로부터 얻어진 현재 고도 수치를 비교하여 차이가 생긴 만큼 양력 구동부에 명령을 인가하여 입력된 설정 고도를 유지하는 비행을 하도록 하였다. 비행선의 고도는 엔진의 회전수 증감을 통해 프로펠러의 회전수를 제어함으로써 비행선의 고도 제어를 수행 하도록 하였다. 고도센서의 성능은 비행선의 정밀한 고도 유지와 긴밀한 관계를 가지므로 초음파 센서와 압력 고도센서에서 동시에 사용하여 고도 정보를 얻어낼 수 있도록 하였다. 이러한 정보를 이용하여 PID제어기로 고도 제어를 할 수 있도록 시뮬레이션을 하였다. 그림 59는 비행선이 설정고도를 유지하기 위하여 PID제어기를 이용한 고도 유지를 시뮬레이션을 한 결과이다. 그래프에서 도시 된 것처럼 설정 고도 2m을 시간이 경과함에 따라 설정 고도를 유지하는 것을 보아 PID제어기에 사용된 Gain이 적절함을 알 수 있었다. 이번 시뮬레이션에서는 Noise를 추가하지 않은 결과와 추가된 결과를 각각 시뮬레이션을 실행하여 결과를 그래프로 도시하였다. 그림60은 Noise를 추가하여 시뮬레이션 수행한 결과인데 PID제어기에 Noise를 추가하더라도 시간 경과됨에 따라 설정된 허용범위 내에서 잘 추종하는 것을 알 수 있었다.

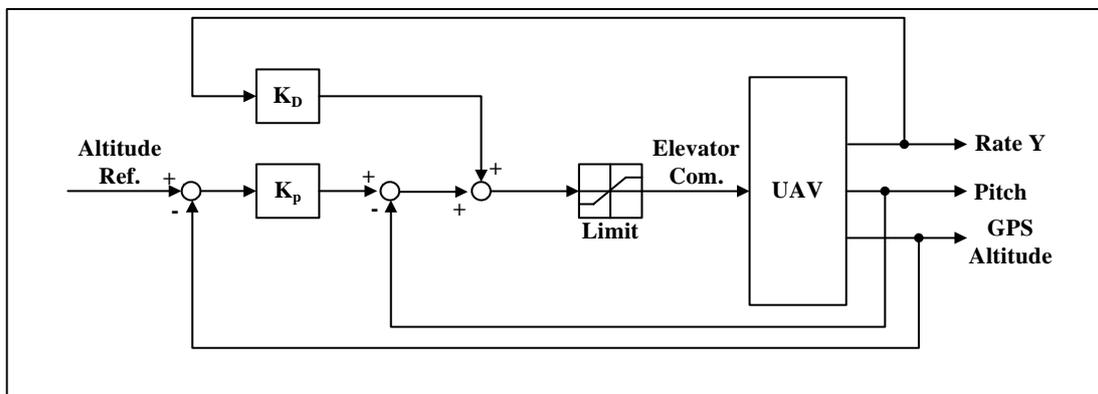


그림 58. 고도 제어 Block Diagram

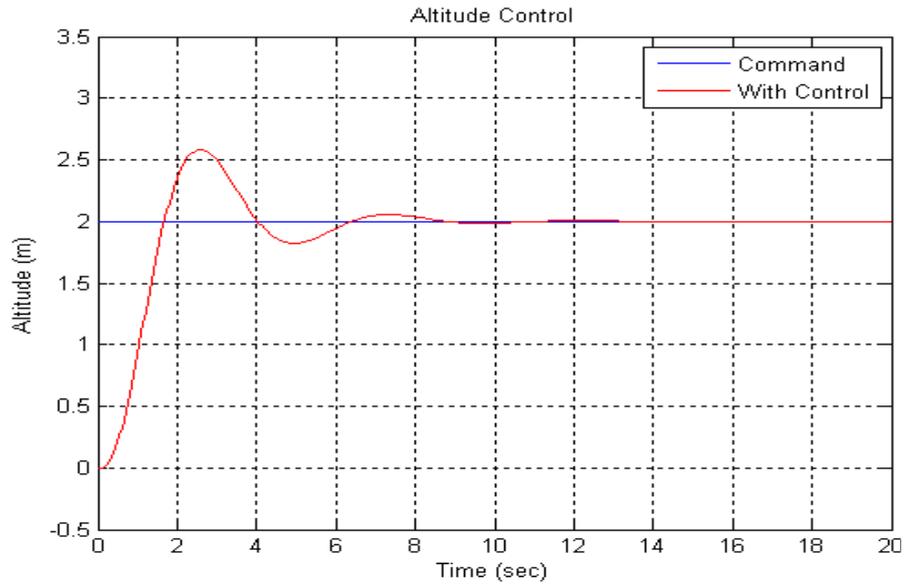


그림 59. PID제어기에 Noise를 추가하지 않은 시뮬레이션 결과

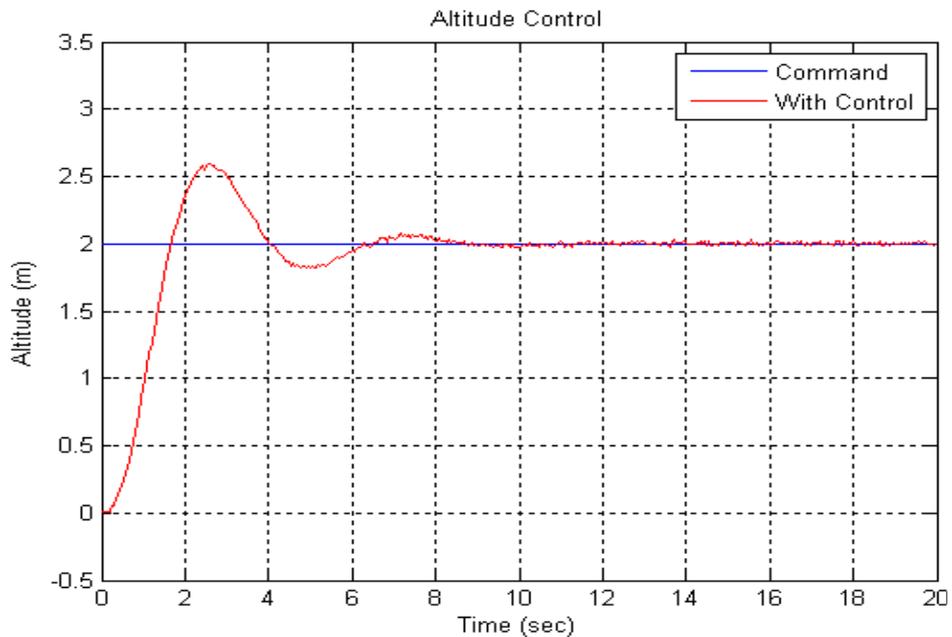


그림 60. PID제어기에 Noise를 추가한 시뮬레이션 결과

고도제어 알고리즘을 검증하기 위하여 비행선의 양력장치와 유사한 고도제어 실험장치를 그림 61과 같이 제작하여 지상에서 고도제어 알고리즘 검증을 실시하였다. 위의 장치는 실제 비행선과 같은 시스템과 같이 두 대의 전동헬기를 이용하여 추력원의 Pitch 변화를 통해 고도제어를 시스템을 모사해 제작하였다. 또한 5m 이내의 저고도 비행 시 GPS를 대체 가능성을 판별하기 위하여 초음파센서를 장착하여 고도를 측정하였으며 그에 측정된 고도를 바탕으로 고도 유지 알고리즘을 검증하였다. 본 논문에서 사용한 센서와 같은 경우에는 cm단위로 측정이 가

능하며 최대 5m까지 거리 측정이 가능하다.



그림 61. 고도제어용 장비

또한 헬기 제어 방식을 이용하므로 주 추력원을 일정RPM으로 유지하는 것이 필요로한다. 따라서 RPM을 유지할 위한 제어 보드를 제작하여 일정 RPM을 유지하는 거버너로 사용하였다. 원리는 브러시리스 모터에서 발생하는 모터에서 발생하는 역기전력을 측정하여 그 값을 RPM으로 환산하여 사용하였다. 주 추력원의 Pitch각과 RC조종기 입력에 따라 RPM을 측정하였으며 측정된 데이터를 바탕으로 오리진을 이용하여 Curve Fitting을 실시하였다. 결과 그래프는 그림62와 같으며 특정지역을 제외한 나머지 지역에서 허용오차 $\pm 5\%$ 범위에 사용할 수 있는 수식을 만들어 낼 수 있었다.

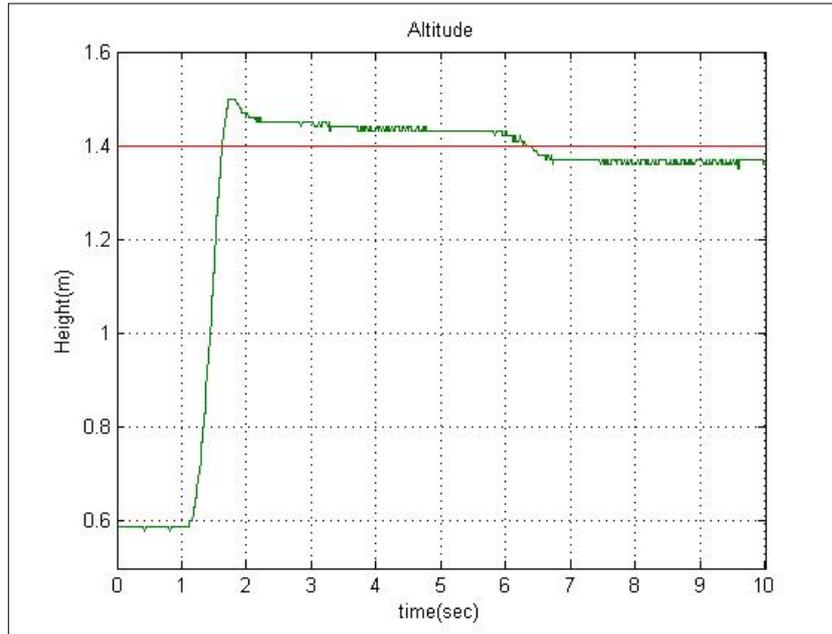


그림 62. 지상실험장치를 이용한 고도 제어

방위 유도를 이용한 합법제어는 방위 센서 즉, GPS에서 수신된 비행선의 현재의 위도, 경도 정보로 위치를 알아내고 이미 설정된 경로점까지의 거리 차이와 비행선의 안에 있는 AHRS 센서에서 얻어진 비행선의 현재 기수방향 정보를 이용하여 경로제어를 할 수 있도록 알고리즘을 구현하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 64는 경로제어를 하기 위해 비행선의 방위를 1deg로 유지하도록 하여 PID제어기의 Gain에 따른 시뮬레이션을 수행 결과를 그래프로 도시한 것이다. 그림 65는 그림 60과 같은 PID제어기에 Noise를 추가하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 그래프로 도시한 것이다. 결과 그래프에서 Noise를 추가하였지만 시간이 경과함에 따라 설정된 값을 잘 추종하는 것을 알 수 있었다.

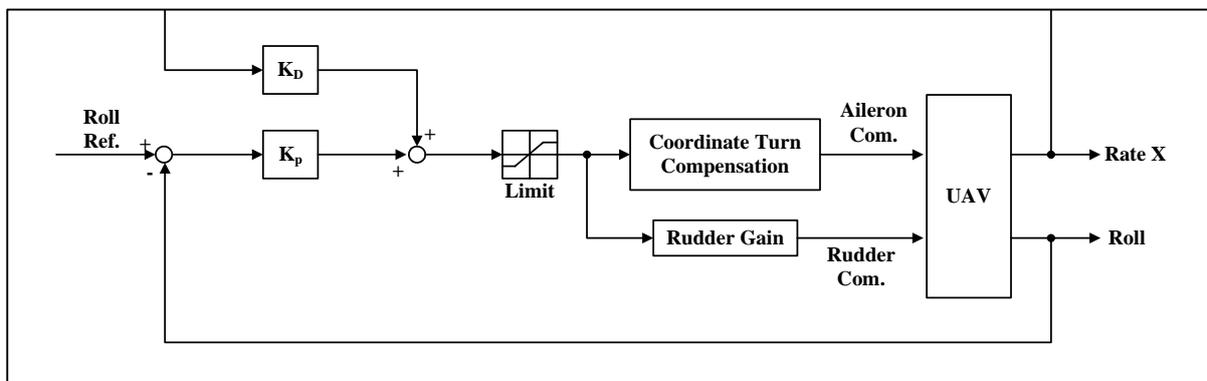


그림 63. 경로제어 Block Diagram

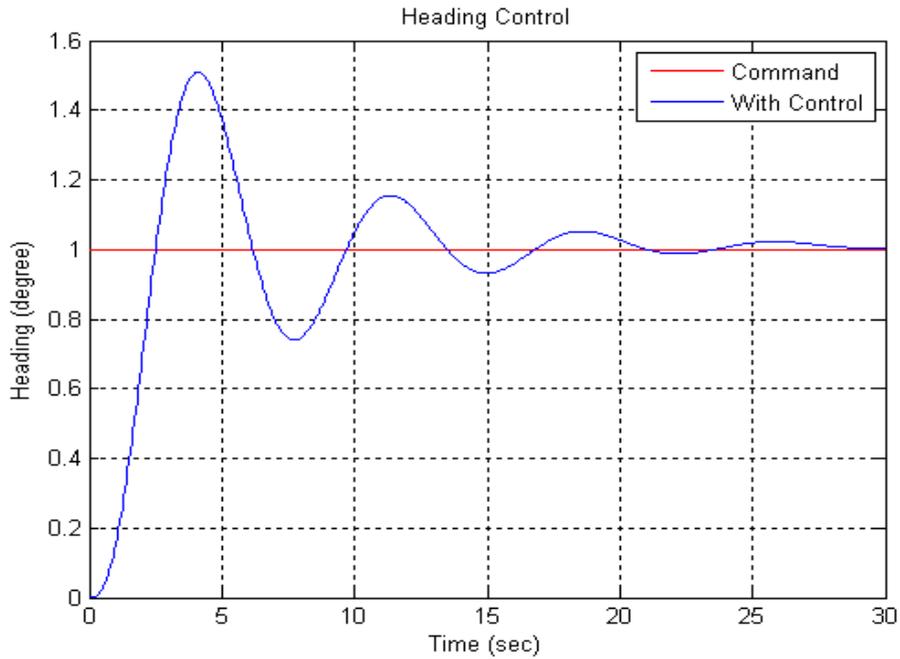


그림 64. PID제어기에 Noise를 추가하지 않은 시뮬레이션 결과

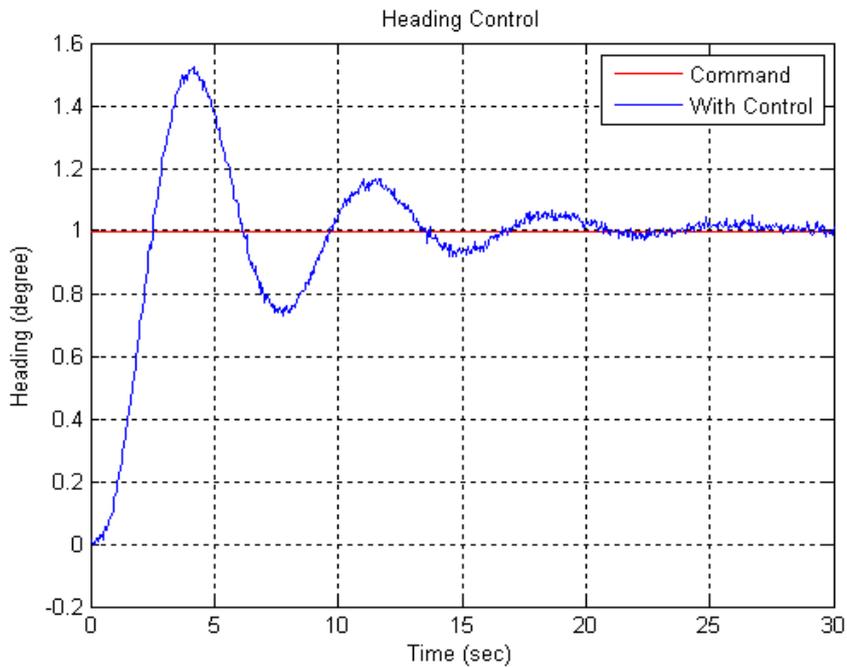


그림 65. PID제어기에 Noise를 추가한 시뮬레이션 결과

고도제어의 경우 그림 66과 같이 노란색 원안에 있는 엘리베이터를 이용하였을 경우에는 경로점 비행시 사용을 하게 된다. 이 때에는 고도 오차가 ± 10 이내에서 비행을 하게 되는데 보통 100m이상의 고도에서 비행을 하게 됨으로 문제가 없다. 그러나 농약 살포시에는 보통 고도 5m~10m사이에서 비행을 해야 함으로 정밀한 고도 제어가 필요하다. 그렇기 때문에 빨간색 원

안에 있는 부상용 프로펠러를 이용하여 수직 방향으로 정밀한 고도 제어를 할 수 있는 제어를 설계하여 비행시험을 하였다.



그림 66. 무인 농약살포 비행선 고도제어부

무인비행선의 자세제어를 위해 먼저 기체의 타각을 측정하였다. 기체의 조종면은 서보 모터와 링케이지로 연결되어 있다. 비행 제어 컴퓨터에서 자세 제어를 할 때에 PWM Processor에 마이크로세크(μs) 값으로 데이터를 보내 주기 때문에 PWM에 따른 조종면 타각의 크기를 알고 있어야 정확한 자세 제어가 가능하다.

타각 측정기를 이용하여서 기체의 타각을 측정 하는 방법이 있지만 사람이 측정하는 시야각에 따른 오차도 있을 수 있기 때문에 지체의 조종면 하중에 무리를 주지 않는 소형의 AHRS를 조종면에 장착하여 타각을 측정 하였다. 표9는 조종면과 PWM값을 측정한 값을 나타낸 것이다. 그리고 Matlab의 CurveFitting Toolbox를 이용하여 값을 Fitting 하였다.

Control Surface	Aileron(Left)	Aileron(Right)	Elevator	Rudder
-30	1969	2001	1893	
-25	1900	1929	1840	1797
-20	1846	1826	1773	1733
-15	1783	1726	1721	1678
-10	1731	1659	1645	1627
-5	1659	1593	1578	1576
0	1591	1522	1512	1508
5	1528	1438	1440	1453
10	1449	1390	1369	1408
15	1394	1315	1297	1353
20	1277	1262	1205	1308
25	1174	1198	1113	1238
30	1011	1112	1009	

표 9. 비행선 타각 측정 값

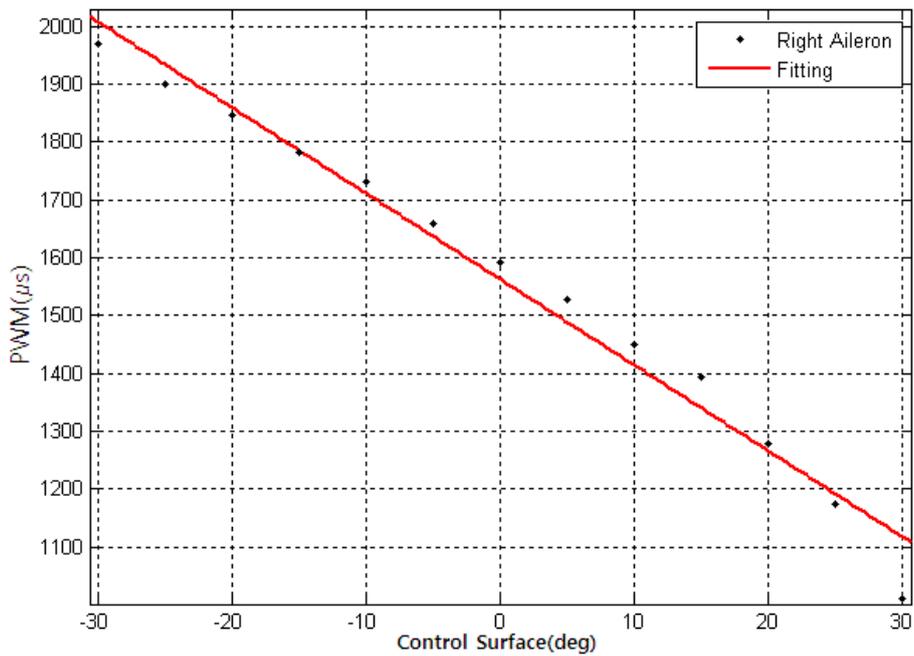


그림 67. 우측 에일러론 PWM 측정값

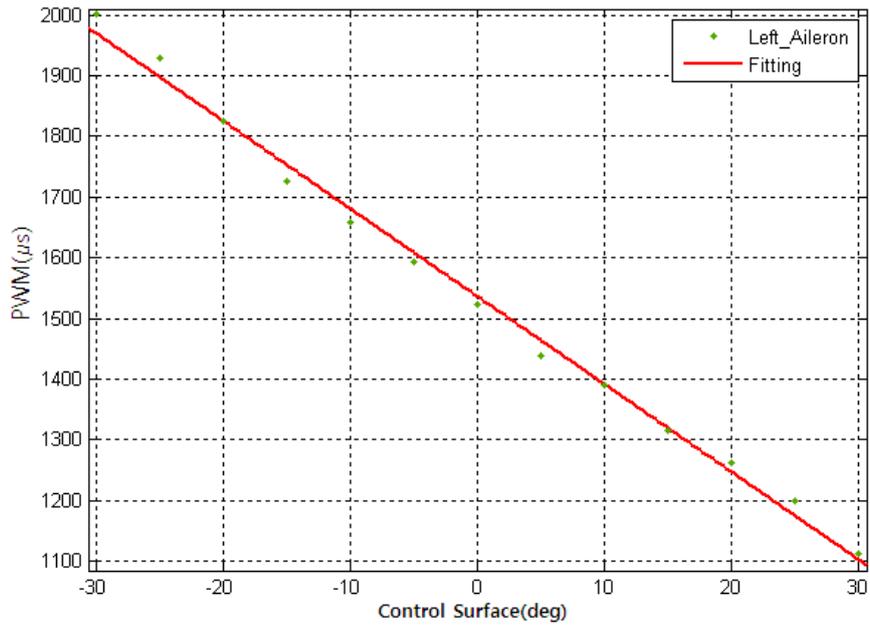


그림 68. 좌측 에일러론 PWM 측정값

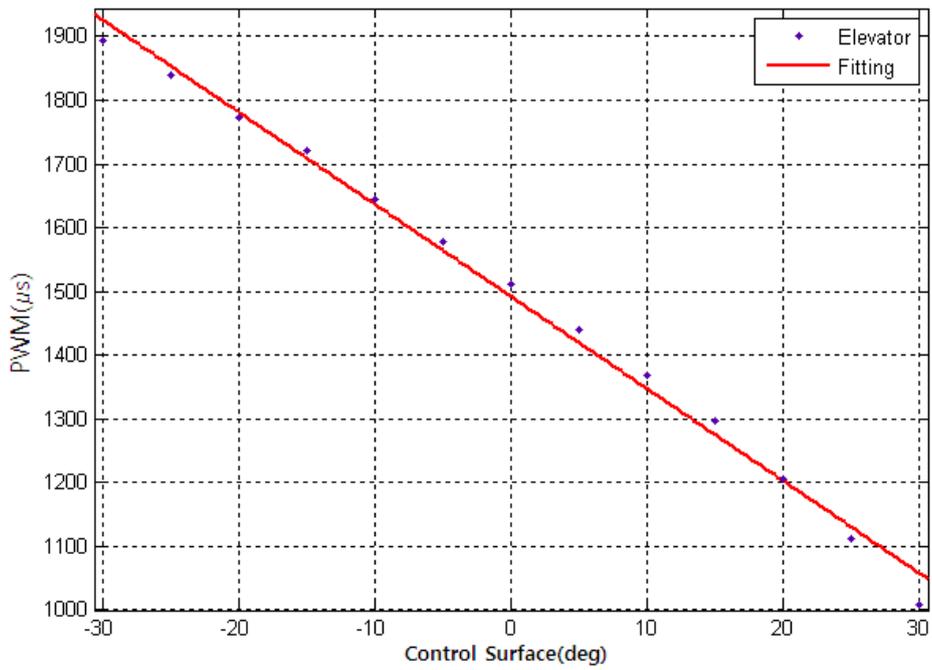


그림 69. 엘리베이터 PWM 측정값

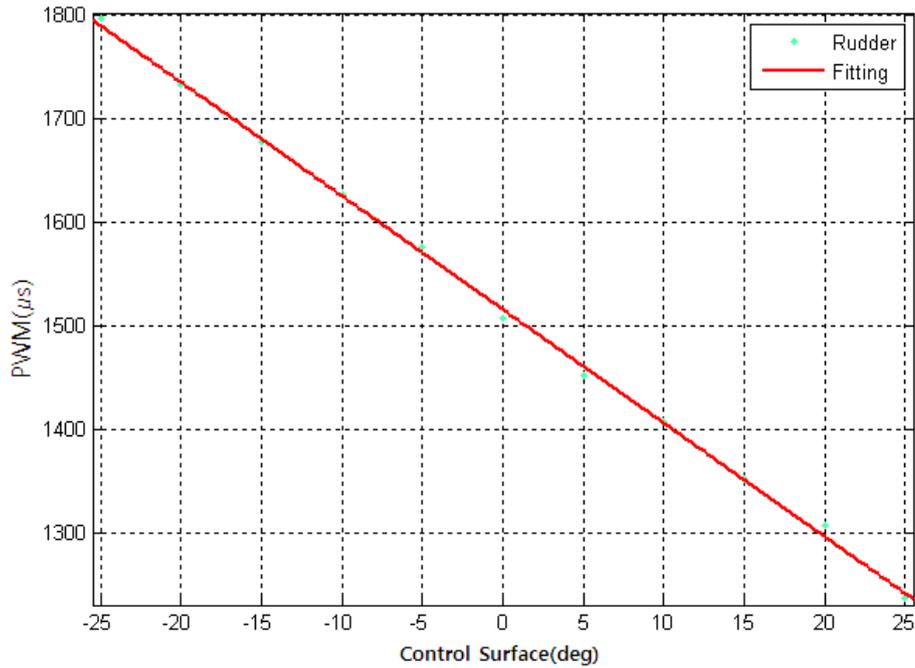


그림 70. 러더 PWM 측정값

3.5.1.2 비행제어 컴퓨터 개발

비행 제어 컴퓨터는 Main Process와 함께 AHRS, GPS, RF Modem 을 연결하여 자동비행에 필요한 정보를 수집할 수 있고 기체의 조종면을 제어하기 위한 PWM Generator도 필요하기 때문에 고려하여 제작하였다. 비행 제어 컴퓨터의 작동 개념도는 그림 3.3에 도시하였다. AHRS에서 전송되는 각 축의 각도, 각속도, 선속 가속도와 같은 자세 정보들과 GPS에서 전송되는 위도, 경도, 고도, 속도, Heading과 같은 위치 정보들을 수신하여 저장하며, 동시에 설정된 임무에 따라 자동 제어 명령을 생성하여 PWM Generator로 전송하여 비행선을 제어하게 된다. 지상에서는 수동 조종 명령을 수신하여 저장하며, 동시에 사용자가 전송하는 임무 번호를 수신하여 FCC에 설정된 임무에 반영하여 다양한 설정에 따른 비행선의 반응을 사용자가 실시간으로 확인할 수 있도록 구성하였다. 또한 항공기에서 측정한 각종 비행 Data들을 지상으로 송신하여 실시간으로 비행선의 상태 확인이 가능하도록 하였다.

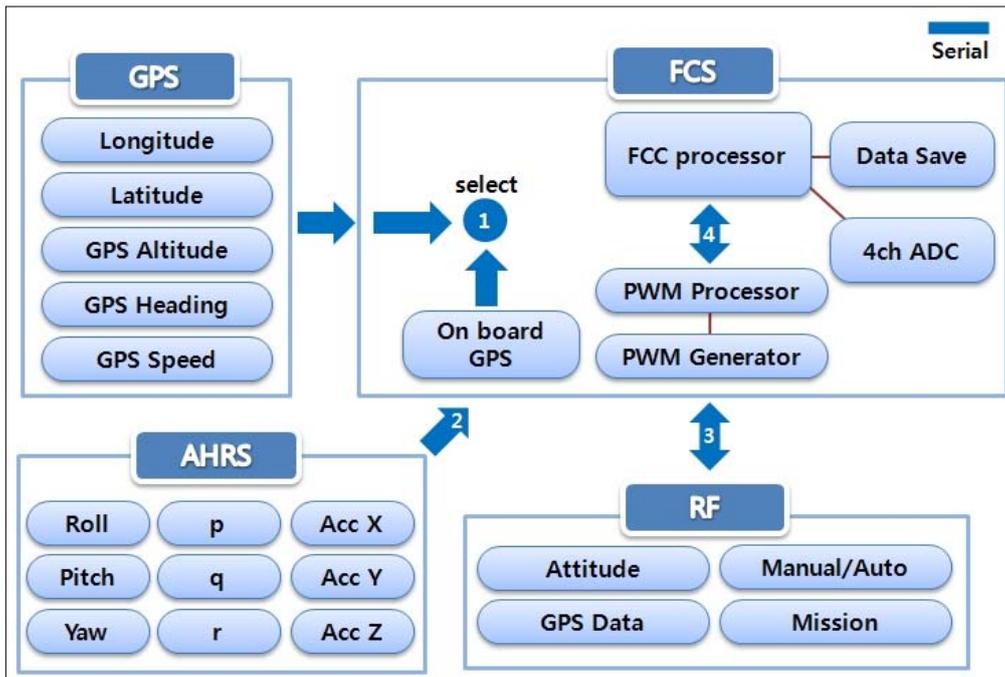


그림 71. 비행제어 컴퓨터 작동 개념도

그림 71에 비행 제어 컴퓨터의 작동 방식을 도시하였다. AHRS에서 전송되는 각 축의 각도, 각속도, 선속 가속도와 같은 자세 정보들과 GPS에서 전송되는 위도, 경도, 고도, 속도, Heading과 같은 위치 정보들을 수신하여 저장하며, 동시에 설정된 임무에 따라 자동 제어 명령을 생성하여 PWM Generator로 전송하여 항공기를 제어하게 된다. 지상에서는 수동 조종 명령을 수신하여 저장하며, 동시에 사용자가 전송하는 임무 번호를 수신하여 비행 제어 컴퓨터에 설정된 임무에 반영하여 다양한 설정에 따른 항공기의 반응을 사용자가 실시간으로 확인할 수 있도록 구성하였다. 또한 항공기에서 측정된 각종 비행 Data들을 지상으로 송신하여 실시간으로 항공기의 상태 확인이 가능하도록 하였다. PWM Generator는 별도의 Processor를 사용하여 안전성을 높였다. FCC의 프로그램이 오류가 나더라도 조종사가 비행모드를 수동으로 변경하면 FCC와는 상관없이 수동 조종이 가능하다. GPS의 경우 보드에 내장된 GPS와 외부의 GPS를 선택하여서 사용 할 수 있도록 하였다. 내부 GPS를 사용하다가 파라미터 추정이나 정밀한 유도항법 비행시 보다 정밀한 GPS를 외부에서 사용할 수 있도록 하기 위해서이다.

표 10에는 제작된 비행 제어 컴퓨터의 제원을 나타내었다. Autopilot Algorithm과 자세제어, 비행 데이터 수집은 ARM9의 고성능 Processor에서 이루어지며 자동,수동 변환 그리고 서보모터 제어는 STM32 Processor에서 이루어진다.

FCC CPU	ARM926EJ-S(210 MHz)
PWM CPU	STM32F103_ARM7(72 MHz)
Memory	8MB Data Flash, 32 MB SDRAM
Serial Port	4 Serial(AHRS, GPS, PWM, RF Modem)
ADC	4-Channel 10 Bit ADC (Max 30V)
PWM	Input 10ch, Output 10ch
GPS	5Hz GPS
Data Save	Micro SD card(Max 16Gb)
Power Input	5 V
Dimensions	53.8 x 96 x 10 mm
Weight	60g

표 10. 비행제어 컴퓨터 제원

현재 제작된 무인항공기 시스템의 경우 모든 제어 신호가 Digital 값으로 출력되기 때문에 이를 Servo Motor에서 사용할 수 있는 PWM 파형 형식으로 변환해 주는 장비가 별도로 필요하게 되며, 이를 위하여 PWM Generator를 탑재 하여야 한다.

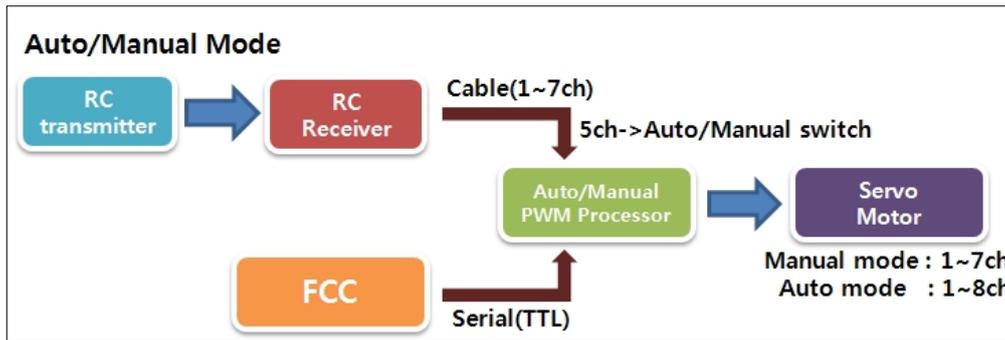


그림 72. FCC 장착 PWM Generator 개념도

PWM Generator의 기능은 크게 두 가지로서, 수동 및 자동 제어 신호를 PWM 파형으로 변환해 주는 기능과, 통신 Modem이나 비행 제어 컴퓨터가 동작하지 않는 경우 자동으로 비행 상태를 전환하는 Fail-Safe 기능이다. 위의 그림 72는 PWM Generator의 동작 방식을 나타낸 것으로서, RC Receiver 에서 수신한 수동 제어 신호와 비행 제어 컴퓨터에서 수신한 자동 제어 신호를 STM Microprocessor가 PWM 파형으로 변환하여 Multiplexer로 보내게 된다. RC Receiver의 5번 채널의 PWM 값을 읽어 자동과 수동을 STM32 Microprocessor가 판단하게 되며 자동 모드일 경우에도 FCC의 프로그램이 이상 증상에 의해 강제 종료 되어도 조종사가 수동으로 전환이 가능하며 자동과 수동 모두 이상이 있을 시에는 사전에 입력된 PWM 값으로 조종면을 움직이도록 프로그램 되어 있다.



그림 73. 초기 비행제어 컴퓨터 시스템



그림 74. 개량형 비행제어 컴퓨터

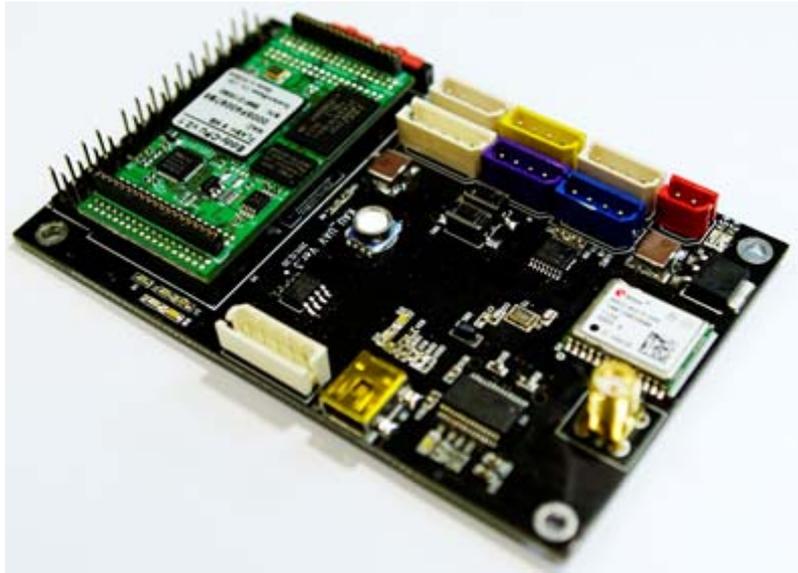


그림 75. 최종 비행제어 컴퓨터

비행제어 컴퓨터의 경우 지속적인 비행시험을 진행하면서 초기형에서 분리되어 있던 장치들을 하나로 통합하여 무게와 크기를 획기적으로 줄일 수 있었다.

3.5.1.3 AHRS

수직 자세 제어를 위해 Quaternion 계산 방식을 이용하고 무게가 가벼운 Xsens사의 MTI-G 모델을 사용하였다. 무인항공기의 각 축의 각도 정보를 Roll $\pm 180^\circ$, Pitch $\pm 90^\circ$ 범위에서 0.5° 분해능으로, 각속도 정보를 $\pm 300^\circ/\text{sec}$ 범위에서 $0.05^\circ/\text{sec}$ 분해능으로, 각 축의 가속도 정보를 $\pm 5g$ 범위에서 출력한다. 또한 항공기의 Magnetic Heading 정보를 $\pm 180^\circ$ 범위에서 0.1° 분해능으로 출력하기 때문에 무인항공기에서 제어를 위해 필요로 하는 충분한 자세 정보를 출력하는 장점이 있다. 최대 200Hz로 무인항공기 자세 정보를 출력할 수 있다.



그림 76. MTI-G AHRS

3.5.1.4 GPS

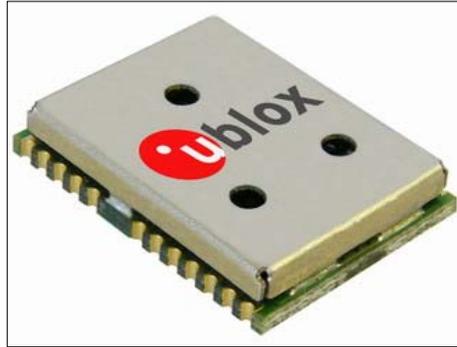


그림 77. GPS

그림 77은 비행 제어 컴퓨터에 탑재된 GPS Module의 사진이다. 비행 중 무인비행선의 위도, 경도, 고도, 속도, Heading 정보를 출력하며, 미 보정 사용 시 3.0m, SBAS(Satellite Based Augmentation System)를 이용한 위치 보정 시 1.5m의 RMS를 가지므로 항공기 위치 확인에 충분한 정확도를 가지는 장비다. 현재 SBAS를 이용한 위치 보정을 한 상태에서 비행 시험을 실시하며, 최대 4Hz로 위치 정보를 출력할 수 있다. 현재 무인비행선의 운용 속도는 시속 30km/h미만 이므로 4Hz로 사용하여도 유도 제어에 사용 할 수 있다. 높은 정확도와 빠른 업데이트 속도가 필요로 하면 외부 GPS를 연결하여 사용 할 수 있다.

3.5.1.5 RF modem



그림 78. RF modem

무인비행선의 경우 실시간 비행 상태 확인을 위하여 통신 Modem을 사용하는 것이 일반적이다. 기존 시스템의 경우 40~70MHz의 모형항공기용 R/C 송수신기를 사용하여 무인비행선을 수동으로 조종하게 되는데, 1~2km 정도의 조종 범위를 가지며 잦은 혼선이 일어나므로 장시간 및 장거리 비행에는 적합하지 않다. 이에 새로이 제작한 시스템에서는 모형항공기용 조종기에서 출력되는 PPM(Pulse Position Modulation)신호를 Digital Control Signal로 변환하여 통신 Modem으로 전송하는 방식을 사용하여 더욱 안정적인 조종이 가능한 시스템을 구성하게 되었다. 그림 78은 무인항공기에 장착된 통신 Modem의 사진으로서, 900MHz 대역(902~928MHz)의 주

파수를 사용한다. 설정에 따라 최대 1W의 출력을 가지며, 최대 10mile(16km)의 Range-Line of Sight를 가진다. 또한 Hopping Channel 방식과 32Bit CRC Error Detection을 사용하기 때문에 장거리 비행에도 혼선 없이 안정적인 데이터 송수신이 가능한 장점을 가지고 있다.

3.5.1.6 비행선제어 시스템 소프트웨어

무인비행선의 SW는 SystemBase에서 제공하는 Eclipse 기반의 LemonIDE SW를 이용하였다. 사용 언어는 C code를 사용하였다. 기존의 SW는 DOS 환경의 C프로그램을 이용하였으나 윈도우 환경으로 바꾸면서 유지관리, 디버깅, 수정 및 업데이트 부분에서 많은 시간 절약을 이루었다.

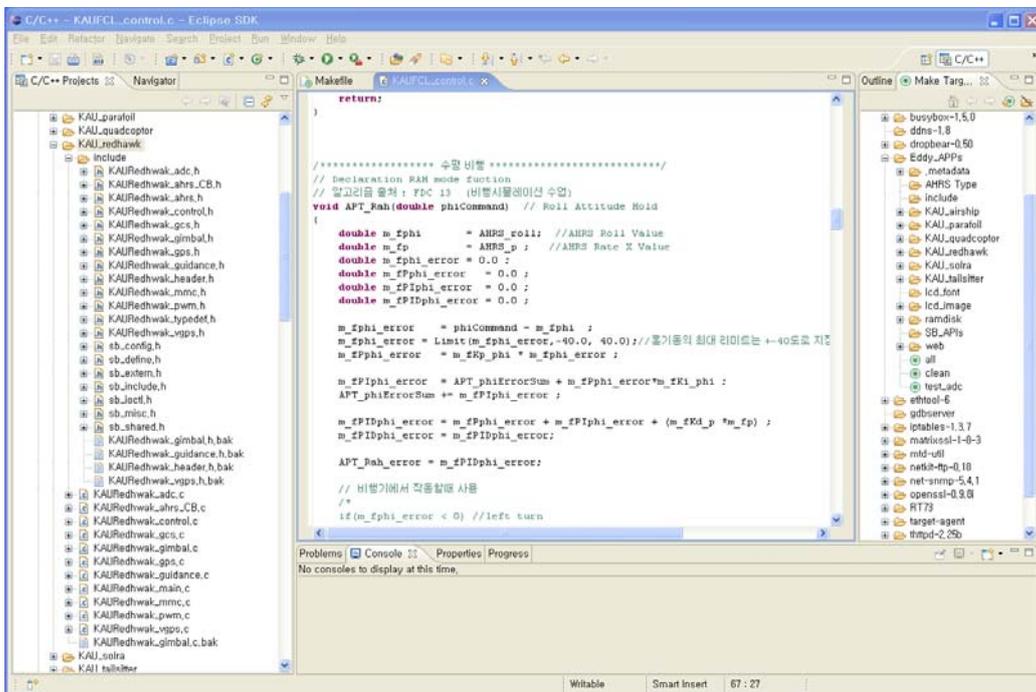


그림 79. LemonIDE SW

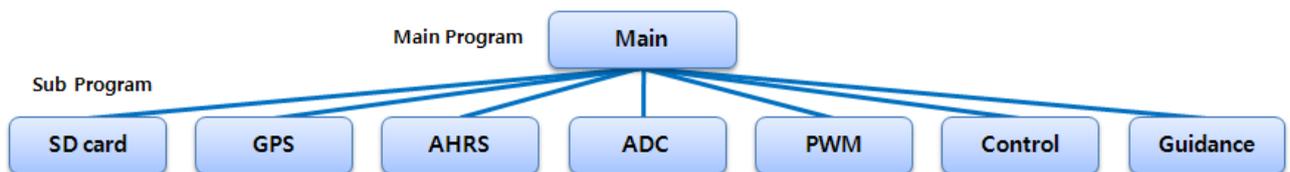


그림 80. 무인항공기 SW구성도

무인비행선의 임베디드 시스템 소프트웨어는 1개의 Main Program과 7개의 Sub function으로 구성되어 있다. 각각의 Sub function은 다른 Sub function에서 사용되어지는 변수들도 있기 때문에 지역 변수와 전역 변수로 나누어져 있다. Main Program은 각 Sub function을 통제하도록 되어 있다.

SD card function은 비행에 필요한 모든 데이터를 저장 할 수 있도록 되어 있다. 보통 항공기의 위치 정보와 자세 정보, 그리고 비행기의 상태 정보를 저장하고 있으며 필요에 따라 원하는 변수를 입력하여 저장하여 확인 할 수 있다.

GPS function은 무인항공기가 자동 비행 및 미션을 수행하기 위하여 필수적으로 필요한 위치 정보를 GPS Port에서 받아 처리해 주는 역할을 한다. 위도, 경도, 고도 및 진항 방향의 헤딩, 속도, 수신위성의 정보를 처리하여 변수에 저장한다.

AHRS function은 무인항공기에서 가장 핵심이 되는 센서인 AHRS(Attitude Heading Reference System)에서 항공기의 자세(롤, 피치, 헤딩)와 기체 X, Y, Z축 성분의 각속도와 가속도를 읽어 변수에 저장하며 이 변수를 통해 무인항공기가 사람이 조종하지 않아도 자동적으로 조종이 가능하도록 제어 SW에서 처리한다.

ADC function은 무인비행선의 전원 및 기타 센서의 전압을 ADC를 이용하여 측정하고 Volt값으로 환산하여 변수에 저장한다.

PWM function은 R/C Receiver에서 PWM값을 읽어와 기체의 조종면 Trim값을 읽을 수 있도록 하며 자동/수동 전환 신호를 읽어 자동 비행 명령이 전달되어 지면 자동 비행 SW를 작동 시키는 역할을 한다.

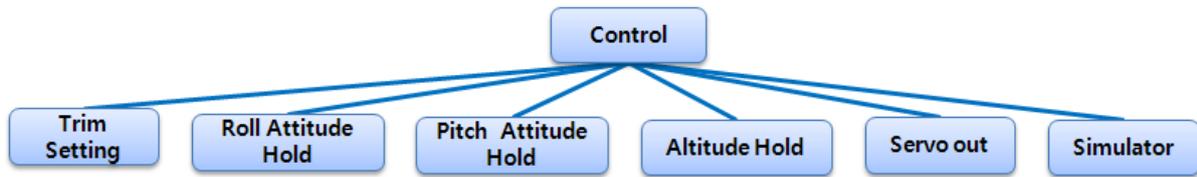


그림 81. Control SW 구성도

Control SW는 크게 6개의 function으로 구성되어 있다.

PWM 프로그램에서 Trim값을 읽어와 기체의 조종면을 제어 할 때에 보정해주는 Trim Setting 기능의 함수와 기체의 종방향과 횡방향 그리고 고도를 설정한 목표값으로 제어해 주는 함수 그리고 제어 값을 서보 모터로 보내주기 위하여 변환 시켜주는 함수 마지막으로 실제 비행을 하지 않고 가상으로 비행 하면서 유도제어 알고리즘을 테스트 할 수 있는 시뮬레이터 프로그램으로 구성되어 있다. 종방향, 횡방향, 그리고 고도 제어는 PID제어 프로그램을 통하여 수행하게 된다.

3.5.2 지상통제 시스템

3.5.2.1 윈도우 기반 지상통제 시스템

비행선의 운용상태를 지상에서 모니터링하고 제어를 하기 위해서는 지상통제시스템이 필요한데 이를 위해 무선조종부(R/C)와 무선데이터통신부(RF)를 개발하였다. R/C의 경우 주파수 2.4Ghz의 조종기를 통하여서 비행기에 PWM과 FCC 보드에 자동, 수동 명령을 전송하게 된다. 그리고 RF Modem을 통하여서 무인항공기의 비행 데이터와 위치정보 등을 수신 받게 되며 또한 지상에서 자세 제어, 고도 제어, 유도 항법, 긴급 명령등을 무인비행선의 비행 제어 컴퓨터에 전송한다.

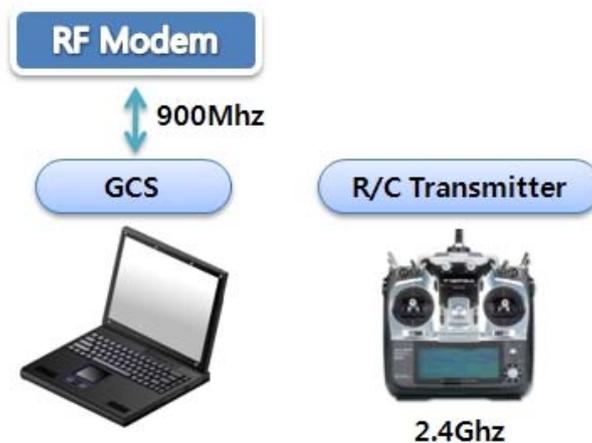


그림82. 컨트롤러 구성도

그림 82는 Controller 동작 방식을 나타낸 것이다. 기존의 시스템은 RF Modem을 사용하여 제어하였지만 기체의 안전성 확보를 위하여 최우선 순위는 R/C Transmitter이고 만약 이상 증상이 발생하면 Laptop으로 구성된 GCS에서 명령을 전달 할 수 있도록 하였다. 자동 및 수동은 R/C Transmitter에서 가장 우선적으로 명령을 내린다. 그리고 임무 선택과 비상 상황 발생시 명령 전달, 자세 제어, 고도 제어, 제어 계인 설정, 그리고 무인비행선의 데이터들은 Laptop에서 담당한다. 무인비행선에서는 지상의 GCS 프로그램으로 900MHz 대역의 통신 Modem을 통하여 10Hz로 송신되며, GCS에서는 미션을 전달할 때에만 데이터를 전송한다.

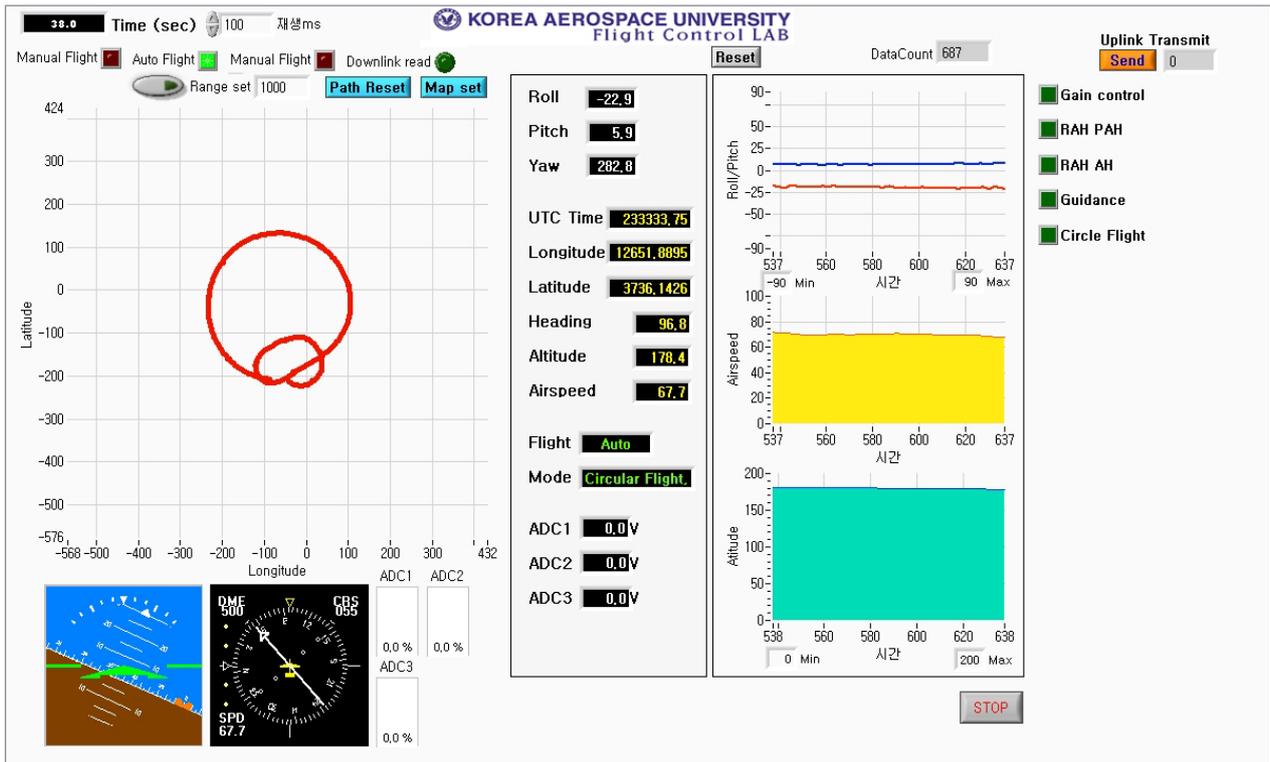


그림 83. 윈도우 기반 지상통제 소프트웨어

지상에서 항공기의 각종 비행 정보들 확인을 위하여 LabVIEW Program을 이용하여 GCS를 제작하였다. 그림 83은 제작한 지상통제 프로그램을 나타낸 것이다. 크게 비행 궤적 표시 부분과 조종 관련 표시 부분, Data 표시 부분으로 구성된다. 비행 궤적 표시 부분은 프로그램 화면 좌측에 표시되며, 무인항공기의 비행 궤적을 지도 위에 표시하며 지상 통제 요원이 원할 때 화면을 지울 수 있도록 구성하였다. 프로그램 우측단에 표시되는 조종 관련 표시 부분에서는 항공기의 자세와 고도, 속도를 표시하여 지상 조종사가 실시간으로 항공기를 조종할 수 있도록 화면을 구성하였다. Data 표시 부분은 프로그램 화면 중간 부분에 표시되며, 항공기의 위도, 경도, 고도, 속도, Heading 등과 같은 정보들을 표시하여 항공기의 Data 수신 상태 등을 확인할 수 있도록 하였다. 특히 무인비행선에서 지상으로 전송하는 각종 Data가 10Hz로 지상으로 전송되기 때문에 날씨가 거리로 인한 시계가 확보되지 않는 상황에서도 지상 조종사가 비행 궤적 표시 부분과 조종 관련 표시 부분을 확인하여 실시간 계기 비행이 가능한 특징이 있다. 그 이외에도 통신 Port 설정과 비행선 표시 고도 설정 부분, 임무와 자동 및 수동 상태 표시 부분 등으로 구성된다.

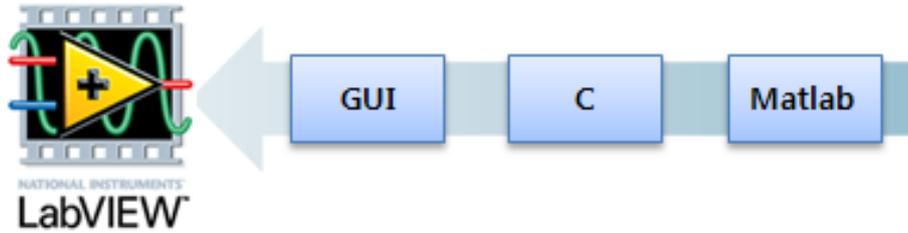


그림 84. Labview 기반 SW

지상통제 시스템의 윈도우 기반 개발은 NI사의 Labview 프로그램을 이용하였다. Labview의 장점은 소프트웨어 공학 전문가가 아니어도 GUI기반의 프로그래밍으로 직관적이고 간단하고 빠르게 SW를 개발 할 수 있다. Labview를 사용함으로써 개발시간을 많이 단축 할 수 있었고, 프로그램의 수정이나 업그레이드가 용이하였다.

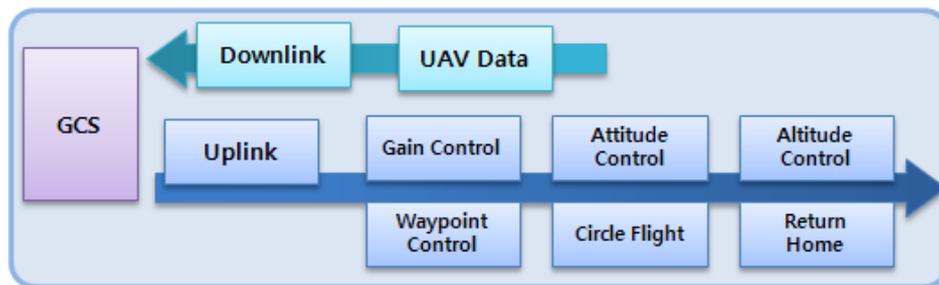


그림 85. GCS 구조도

Labview기반의 GCS 프로그램은 무인비행선의 자세를 나타내어 주는 그래픽 기반의 Indicator 들로 구성된 Main Program과 지상에서 무인항공기로 자세나 임무를 전달하는 Sub Program들로 구성되어 있다.

Downlink는 무인비행선에서 지상으로 비행선의 자세, 위치, 고도, 속도, 비행모드, 현재 미션 등의 데이터를 받아서 나타내며 Uplink는 무인비행선의 제어 프로그램의 Gain, 자세 제어, 위치제어, 고도제어, 이상 발생시 복귀를 수행 할 수 있는 프로토콜을 전송하게 된다.

그림 86은 무인비행선용으로 제작된 지상통제 소프트웨어를 나타내었다. 프로그램 상단에 항공기의 자세제어 상태와 데이터 통신 상태확인 GPS데이터 등을 나타내며 왼쪽은 비행선의 위치를 나타낼 수 있는 그래프로 되어 있다. 그리로 오른쪽 부분에는 비행선의 자세를 나타내는 창으로 되어있다.

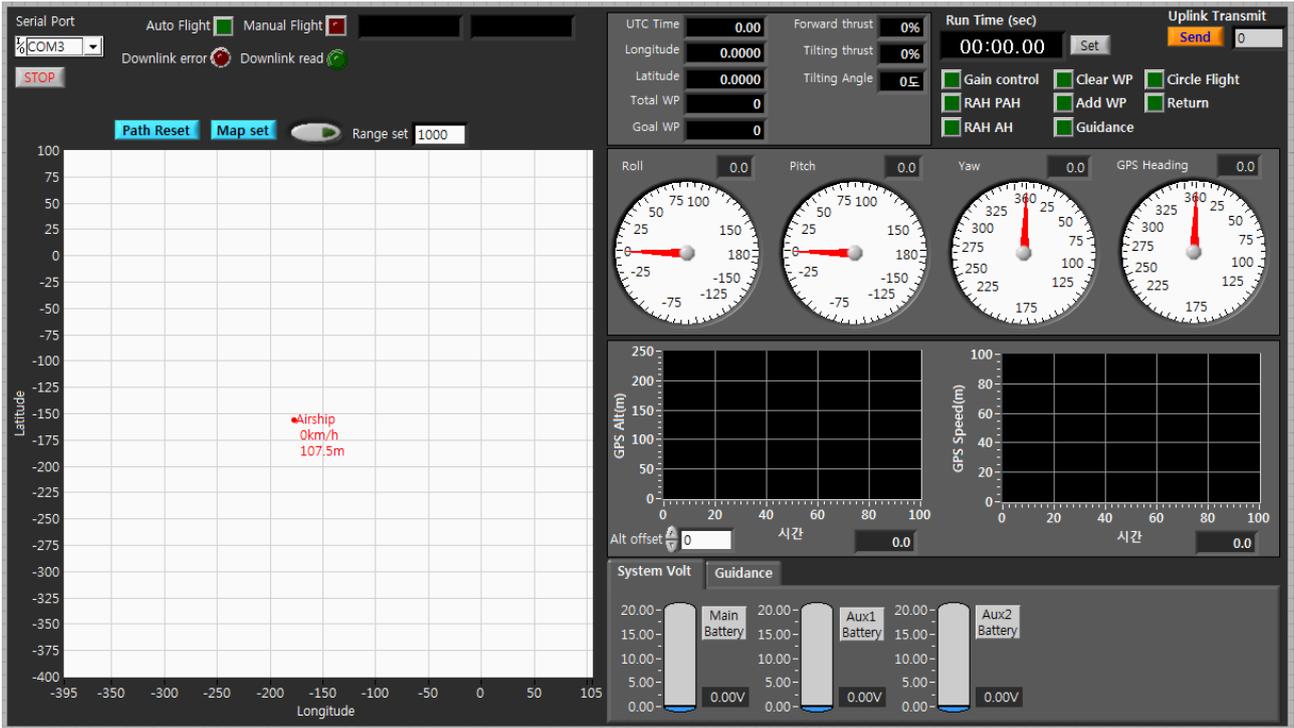


그림 86. Labview기반의 무인비행선 지상통제 소프트웨어

그림 87~90은 내부 블록다이어그램을 나타내었다.

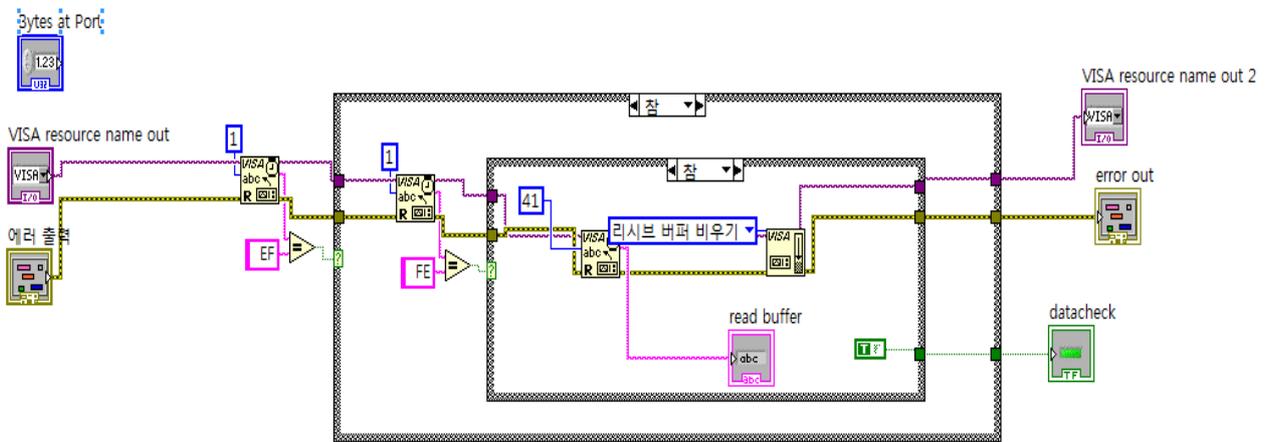


그림 87. 데이터 수신 부분 블록다이어그램

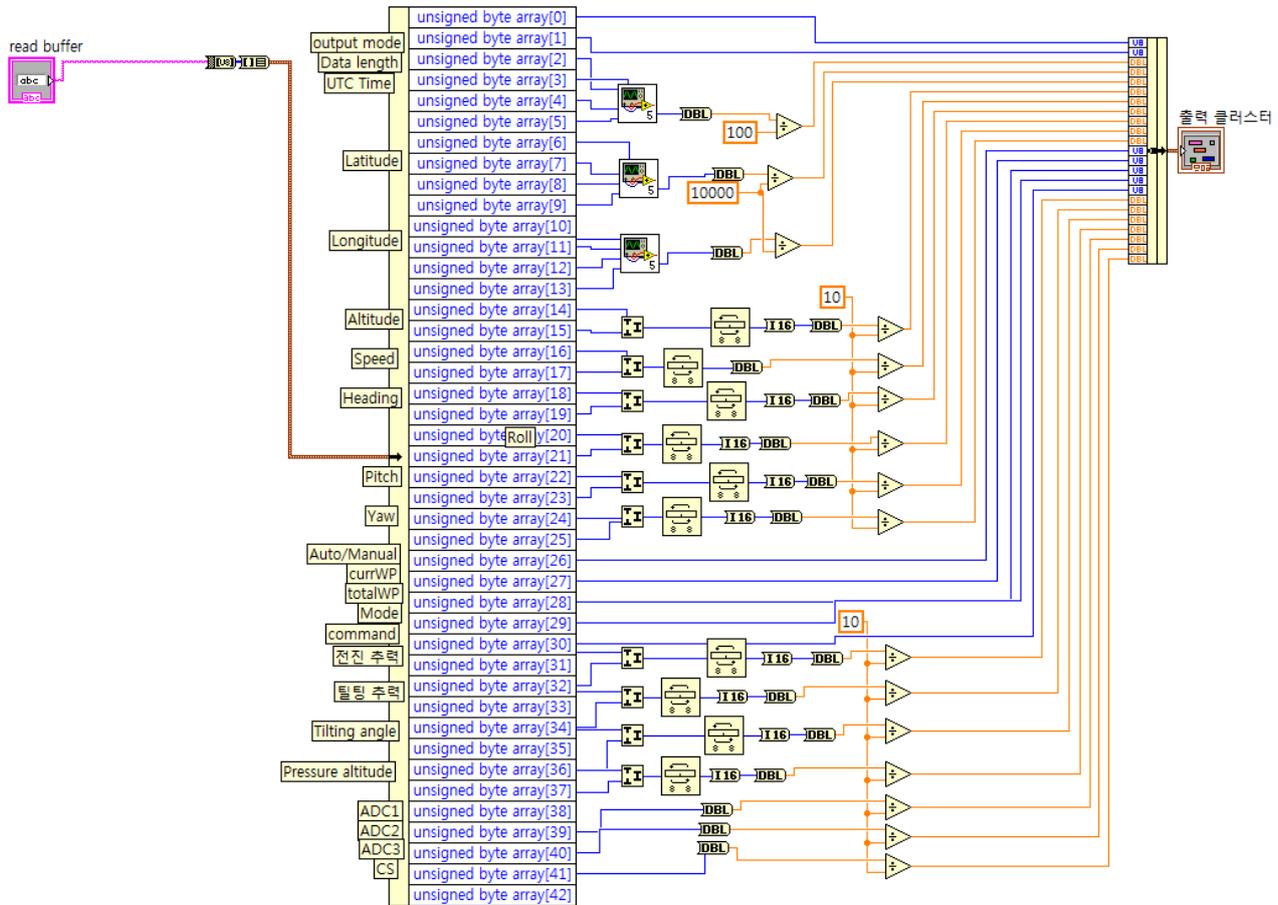


그림 88. 무인비행선 데이터 분리 블록다이어그램

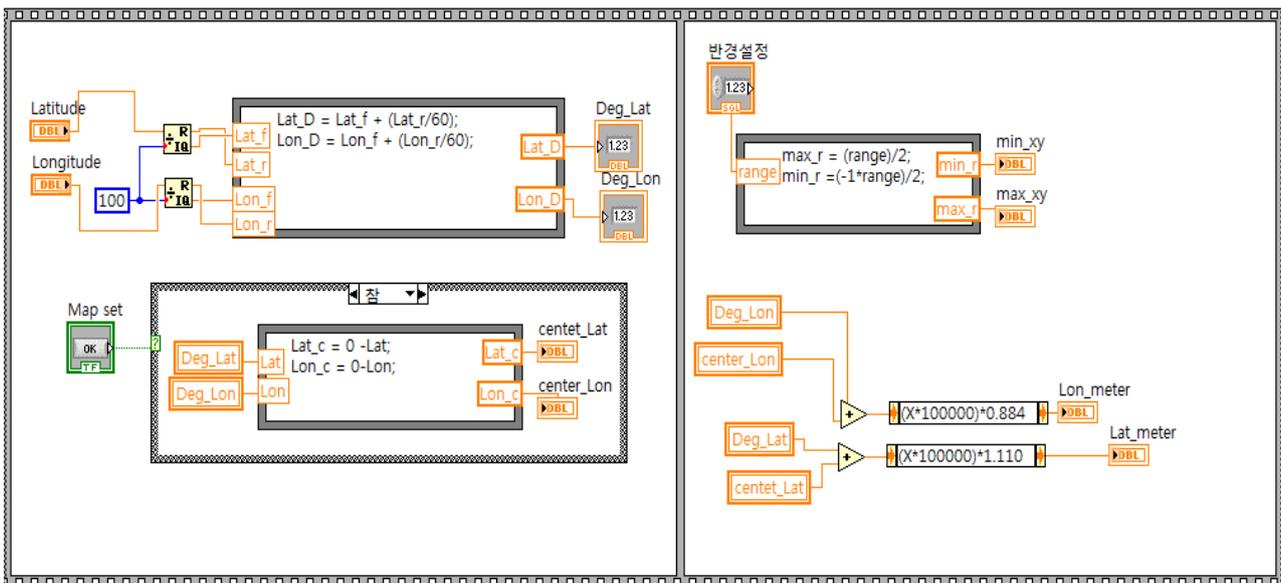


그림 89. GPS 위치 단위변환 블록다이어그램

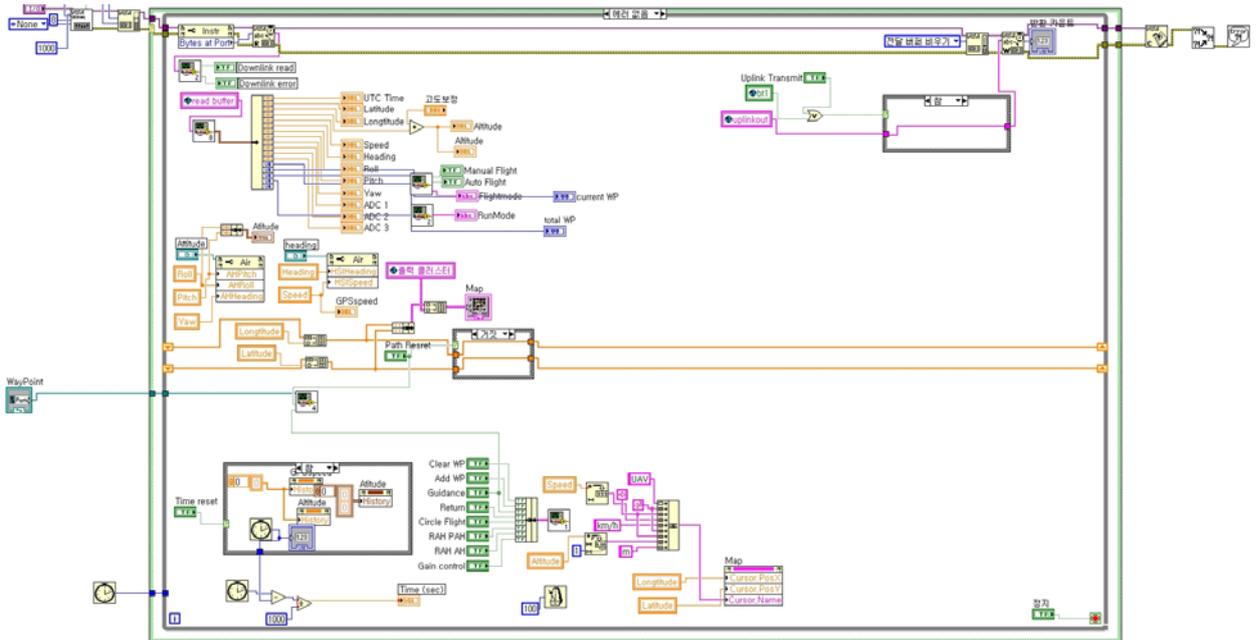


그림 90. 지상통제 소프트웨어 전체 블록다이어그램

3.5.2.2 태블릿PC 기반 지상제어 시스템

최초의 지상통제시스템(Ground Control System)은 PC104계열의 DOS환경에서 윈도우기반으로 개발을 하였으나 최종적으로 3차년도에는 최근 개발된 IT기술인 태블릿PC를 이용하기 위해 안드로이드 기반으로 운용하기 위하여 3차년도에 중심적으로 개발하였다. 이렇게 한 이유는 태블릿 PC를 이용하게 되면 복잡한 지상통제시스템을 태블릿 PC 하나로 간편하게 구성할 수 있고 운용도 매우 편리해지기 때문이다.

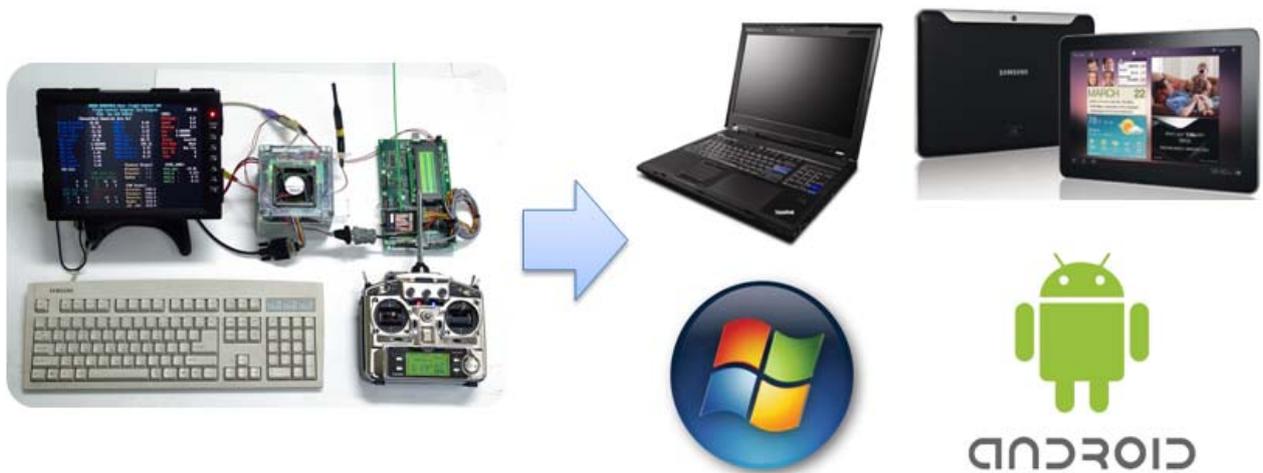


그림 91. 임베디드 시스템 환경의 GCS

임베디드 시스템은 Google의 Android 3.0 버전이 탑재된 갤럭시 탭 10.1 모델을 가지고 개발

을 하였다.

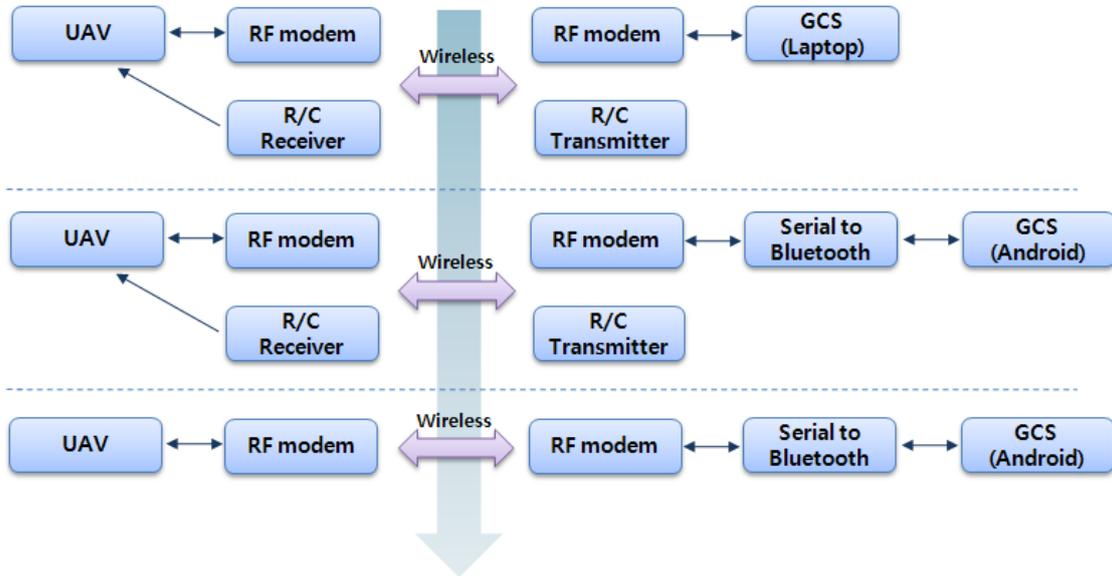


그림 92. 지상통제 시스템 단계별 계획

지상통제 시스템 구성은 현 3단계로 나누어 단계별로 진행하였다. 무인비행선과 지상통제 시스템 사이에 바로 블루투스나 와이파이 통신을 하지 않는 이유는 무인항공기의 운용거리가 2Km 정도이기 때문에 거리에 제약이 따른다. 그러나 지상까지 RF modem을 통하여 블루투스로 바꾸어 전송하면 태블릿 PC에서 3G 망이나 무선인터넷망을 이용하여 실시간으로 지도를 이용할 수 있고 웹에 접속 할 수 있기 때문에 위 그림과 같이 시스템을 구성하였다.

그림 93은 안드로이드 기반의 지상통제 시스템의 구조도를 나타낸 것이다. 구조도 내부의 숫자들은 각각의 서브시스템을 나타낸 것으로 그림94~98에 나타내었다.

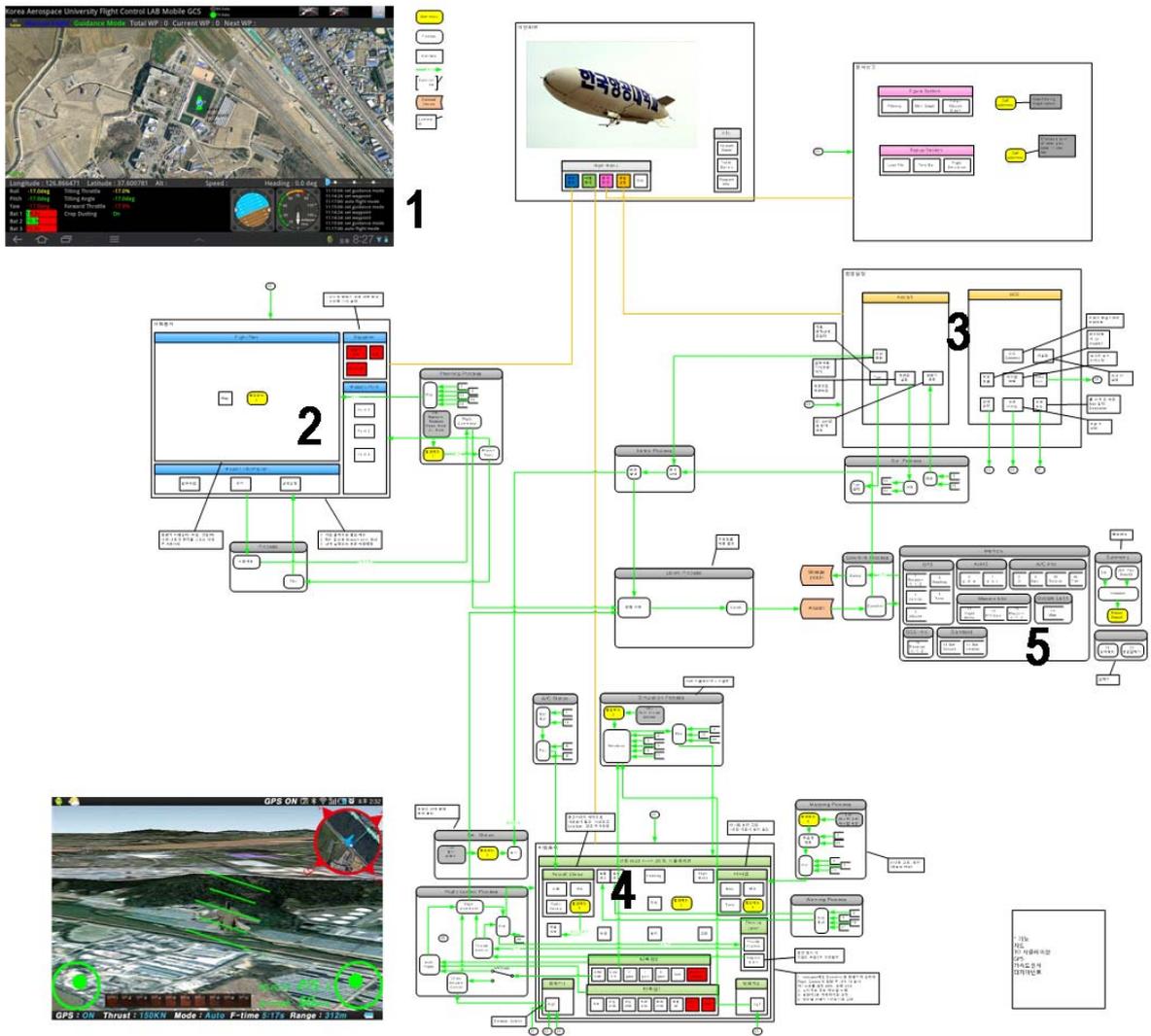


그림 93. GCS Software Structure Process

그림 94는 맨 처음 프로그램 시작 시 보여지는 로딩화면의 모습이다. 프로젝트를 대표할 로고와 프로젝트명, 개발자 등의 정보가 표시된다. 로딩이 완료되면 자동으로 2의 화면으로 전환이 된다.

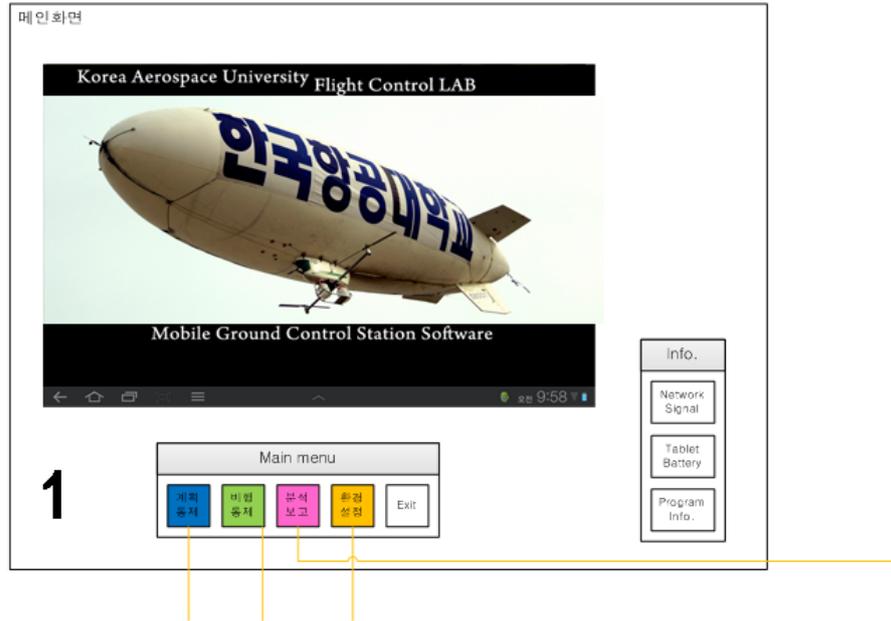


그림 94. 메인화면

그림 95는 모바일 GCS의 메인화면의 프로그램 구조도이다. 크게 무인항공기의 위치를 보여주는 지도, 항공기의 상태 표시줄, 임무 상태 표시줄로 이루어진다. 지도는 네이버 지도를 활용하여 항공기의 위치, GCS의 위치, Waypoint, 항공기의 궤적 등이 표시된다.

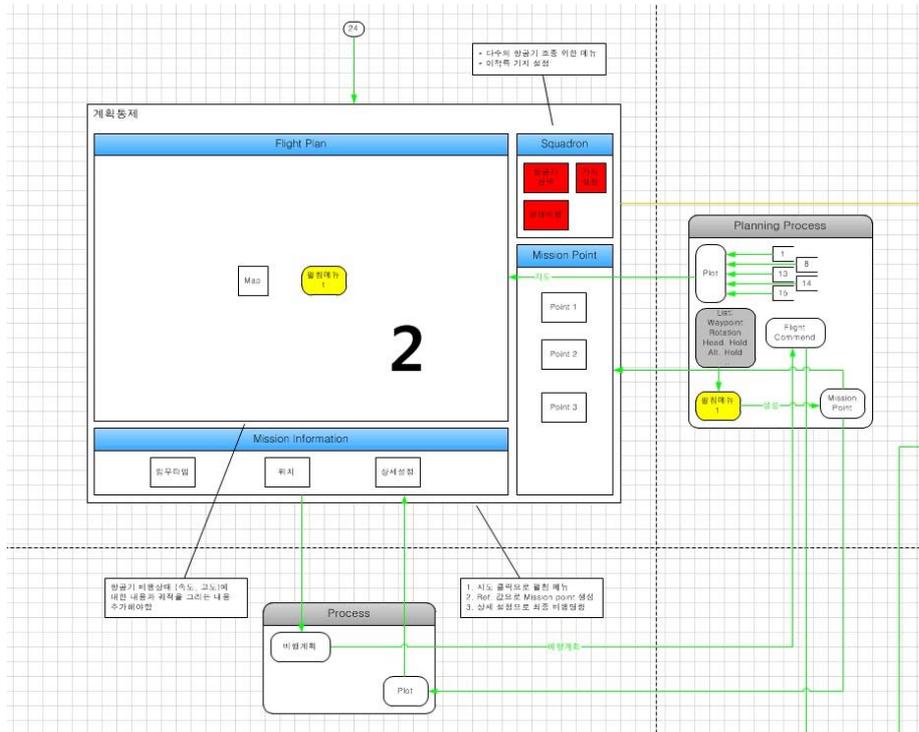


그림 95. 메인화면 프로그램 구조도

그림 96은 환경설정의 프로그램 구조도이다. 크게 항공기 설정과 GCS 설정으로 나뉘며 그래픽적인 요소들, 조종관련, 그 외에 기타 세부설정 등이 포함된다.

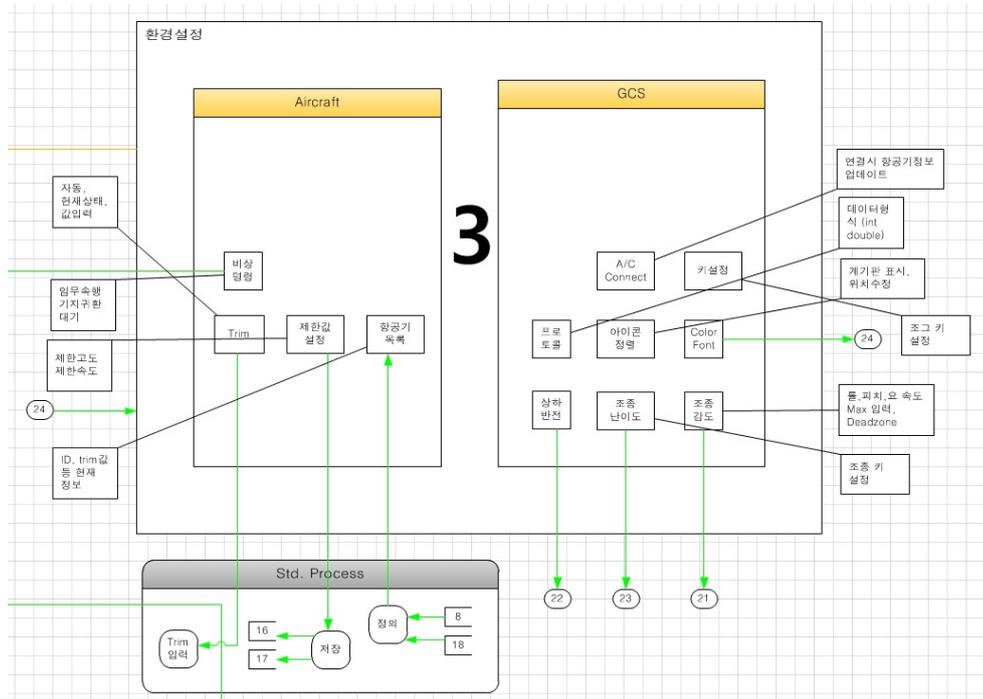


그림 96. 환경설정 구조도

그림 97은 무인항공기 컨트롤을 위한 조종모듈의 구조도이다. 수동 조작을 위한 조이스틱, 자동비행모드를 변환하는 몇가지 버튼, 항공기의 상태 정보 등이 포함되어 있다.

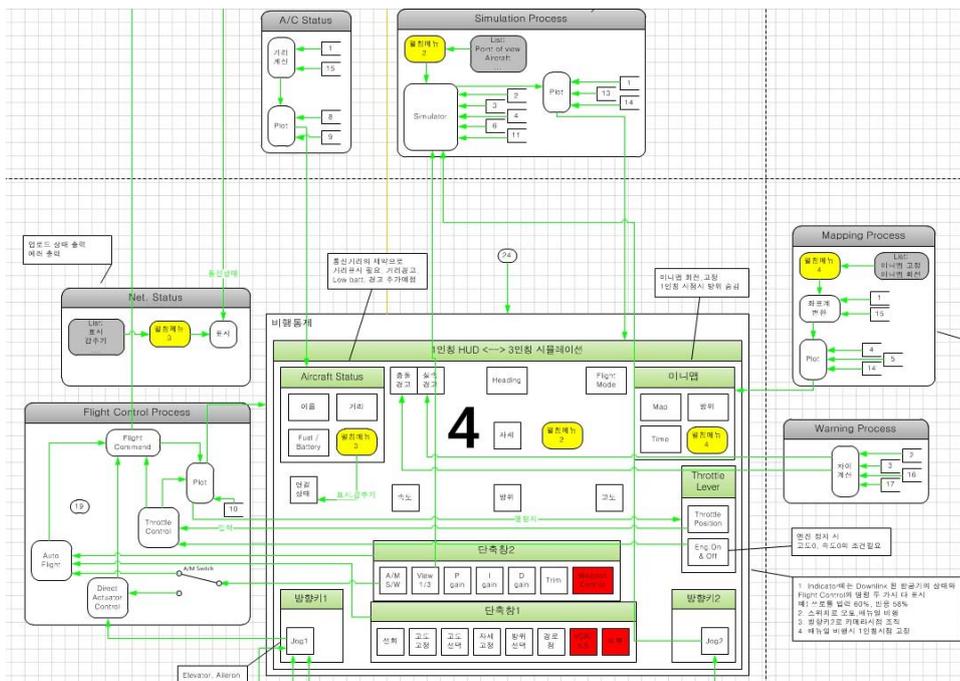


그림 97. 조종모듈 구조도

그림 98은 무인항공기와 통신하면서 상호 교환하는 정보들을 저장하는 DB를 나타낸 구조도이다. 관리하기 용이하도록 같은 계열의 정보를 그룹으로 저장하며, 추후 데이터를 판독하는 데에도 편의성이 증가된다.

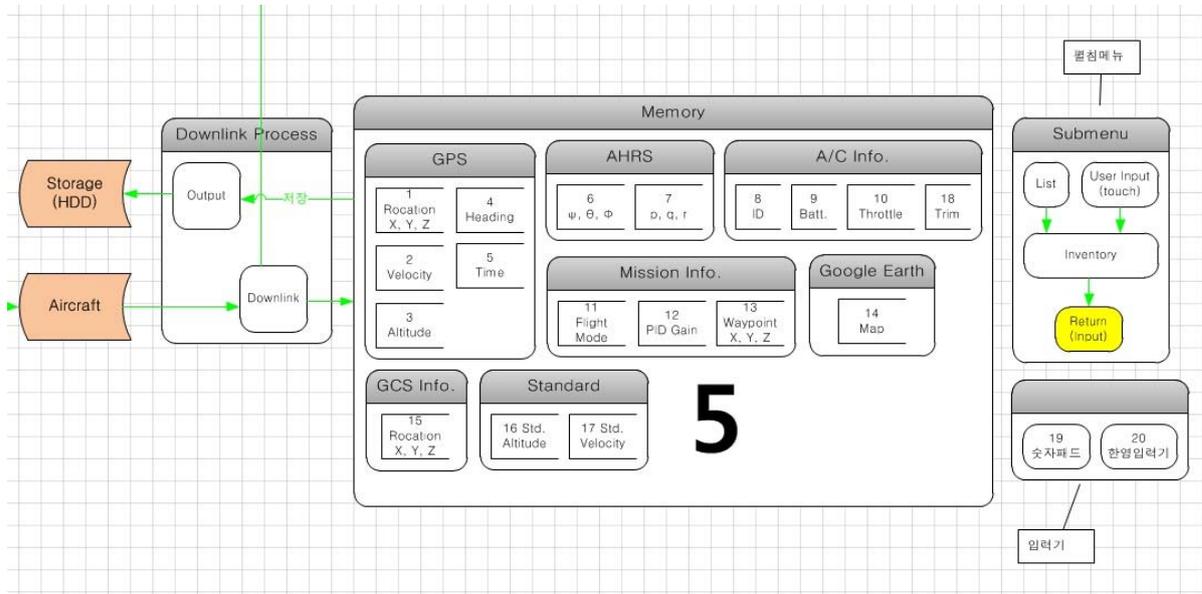


그림 98. 통신 DB구조도

그림 99는 대표적인 안드로이드 개발 프로그램인 Eclipse를 이용하여 개발한 GCS의 메인 화면 모습이다. 기본적인 GCS 구조는 윈도우 기반과 동일하다. 대신 화면이 작고 터치로 컨트롤을 해야 함으로 윈도우 기반의 GCS에서 불필요한 부분을 제거하고 직관적인 인터페이스를 사용하였다.



그림 99. Android 기반 GCS

3.5.3 무인 농약살포 비행선 운용

무인 농약살포 비행선을 운용하기 위해서는 곤돌라 부분에 장착된 비행선 제어 시스템과, 농약 살포시스템 그리고 지상운용 시스템으로 구성되어 있다.

그림 100에 곤돌라에 장착된 비행선 제어시스템의 장착 사진을 나타내었다. 비행제어를 위한 GPS/자세센서, 비행제어 컴퓨터와 통신 모뎀이 장착되어 있지만 소형화로 인해서 곤돌라의 앞부분의 작은 공간에 모두 탑재가 가능하다.그림 101은 지상 전송시스템의 사진이다. 콘솔 박스안에 비행선과 통신을 위한 모뎀이 장착되어 있으며 지상컨트롤 시스템(태블릿PC)와 연결이 가능하도록 블루투스 모뎀이 같이 탑재되어 있다. 이 시스템을 이용하여 비행선과 지상에서 원격으로 조종과 임무 수행이 가능하다.

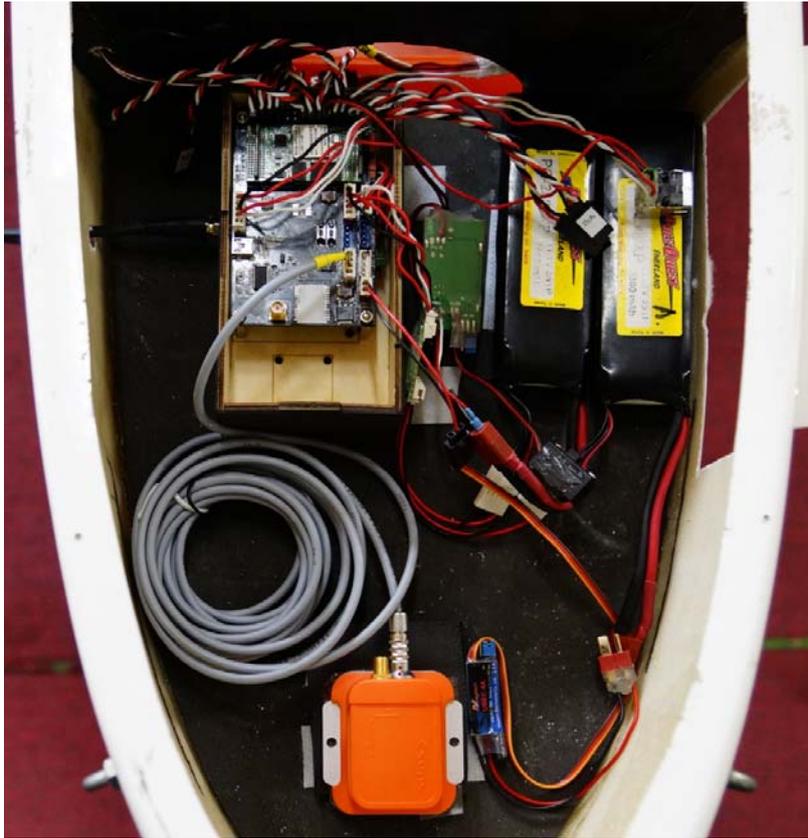


그림 100. 콘돌라에 장착된 비행선 제어 시스템



그림 101. 지상 무선 전송 시스템



그림 102. 비행시험중인 태블릿PC기반의 지상통제 시스템



그림 103. 비행시험중인 무인 농약살포 비행선

그림 103은 최종개발된 비행제어 시스템과, 분무 시스템, 지상통제 시스템으로 비행시험중인 모습이다.

3.6 비행시험 결과

비행시험은 그림 104와 같이 분무장치 시스템을 장착하고 그림 105와 같이 높은고도(지상 150~200미터)에서 자동항법을 이용한 경로점 비행시험과 그림 106과 같이 저고도(지상5~10m)에서 정밀고도제어 비행을 하면서 분무테스트를 같이 진행 하였다.



그림 104. 분무장치 시스템 장착



그림 105. 경로점 비행시험



그림 106. 농약방제 비행시험



그림 107. 경로점 비행시험



그림 108. 고도제어 및 분무시험

3.6.1 경로점 비행시험 및 결과

그림 109-111은 2차년도에 실시된 비행시험 결과이다. 그림 109는 4개의 경로점을 지정하고 비행시험을 진행하였지만 제어기 설계의 문제와, 외부 바람으로 인한 외란으로 자동비행을 제대로 완수하지 못하였다. 그림 110과 같이 8자 패턴 비행과 그림 111과 같이 ‘ㄷ’ 자 비행을 한 결과도 아직 우수한 결과는 아니었다. 2차년도 이후 지속적인 제어기 성능 검증과 개인 튜닝 그리고 비행제어 시스템의 성능을 향상 시키기 위하여 지속적인 비행시험을 진행하였다.

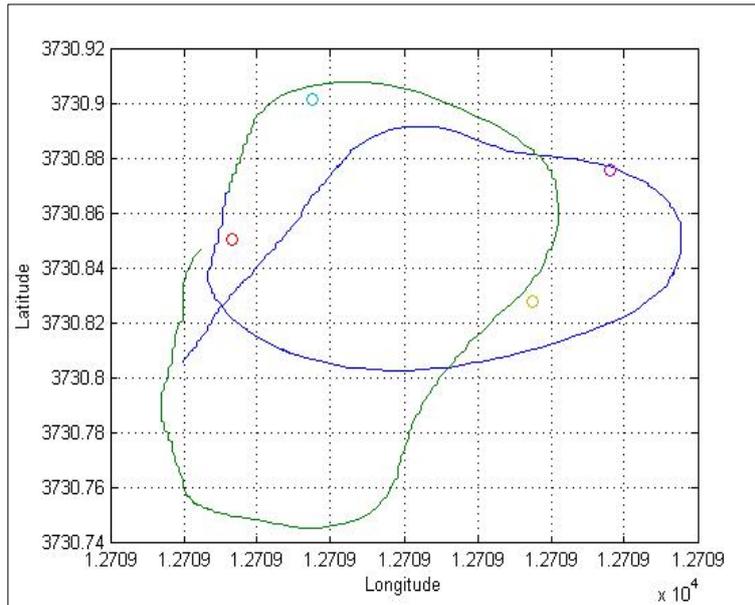


그림 109. 4개 경로점 비행 궤적

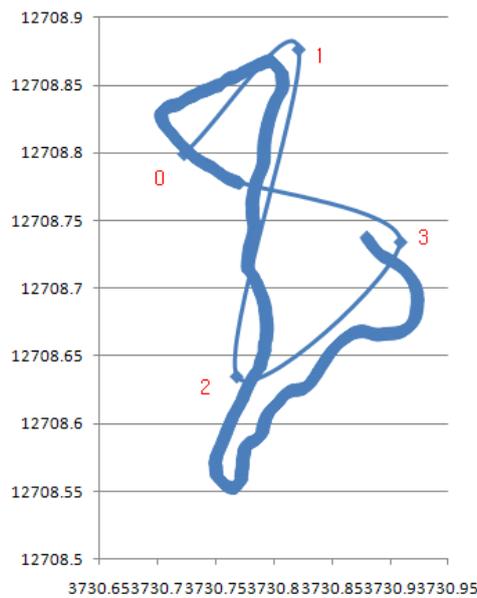


그림 110. 무인비행선 8자 비행

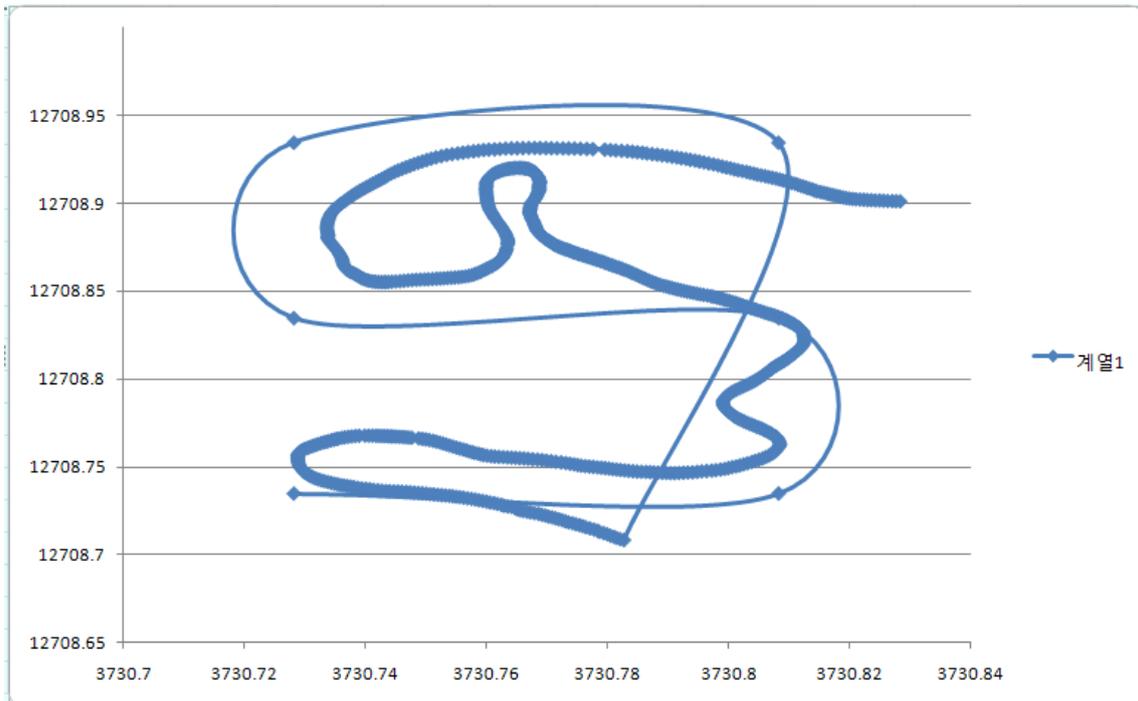


그림 111. 무인비행선 'ㄷ'자 비행

그림 112~115는 2차년도 이후 지속적인 개선을 진행해온 비행선의 자동비행 결과이다. 이전의 비행데이터와 비교하여 보면 경로점을 향하여 잘 추종하여 비행하는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 'ㄷ'자 비행의 경우에도 높은 고도이기 때문에 바람의 영향이 많이 있지만 폭을 40m간격으로 유지해 가면서 자동비행을 수행하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 114~115는 새벽에 바람이 거의 불지 않는 상태에서 'ㄷ'자 비행시험을 한 결과이다. 경로점까지 직선비행은 잘 이루어지고 있지만 경로점과 경로점사이를 선회비행 할 때에는 폭이 8m로 설정 하였을 경우에는 비행선의 크기와 질량 때문에 밀려나는 것을 확인 할 수 있었다. 비행시험은 매번 주변 환경이 달라지기 때문에 경로 궤적이 달라 질 수도 있다.

'ㄷ'자 비행은 경작지를 비행선이 왔다갔다하며 농약을 살포해야하므로 일정한 간격을 유지하며 직선비행할 필요가 있기에 수행한 것이며 자동 또는 수동으로 할 수 있는데 바람이 아주 세지 않으면 자동비행하는 것이 성능이 훨씬 좋다. 따라서 자동비행상태에서 경작지에 농약을 효율적으로 살포할 수 있었다.

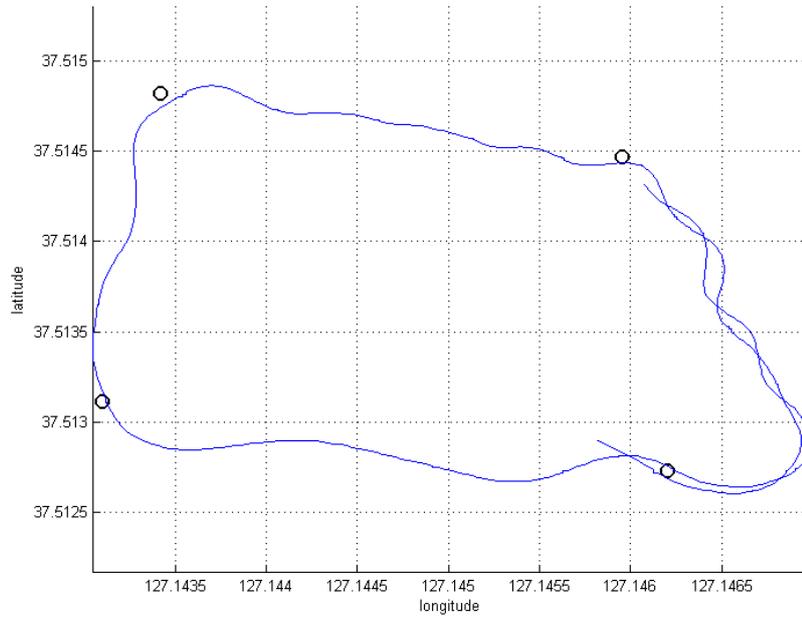


그림 112. 개선된 자동 경로점 비행시험

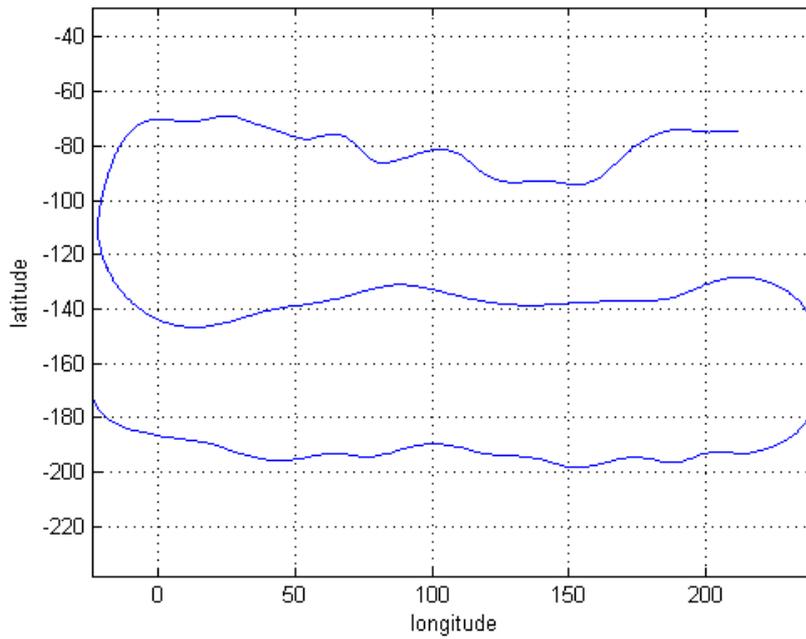


그림 113. 일차 개선된 'ㄷ' 자동 비행

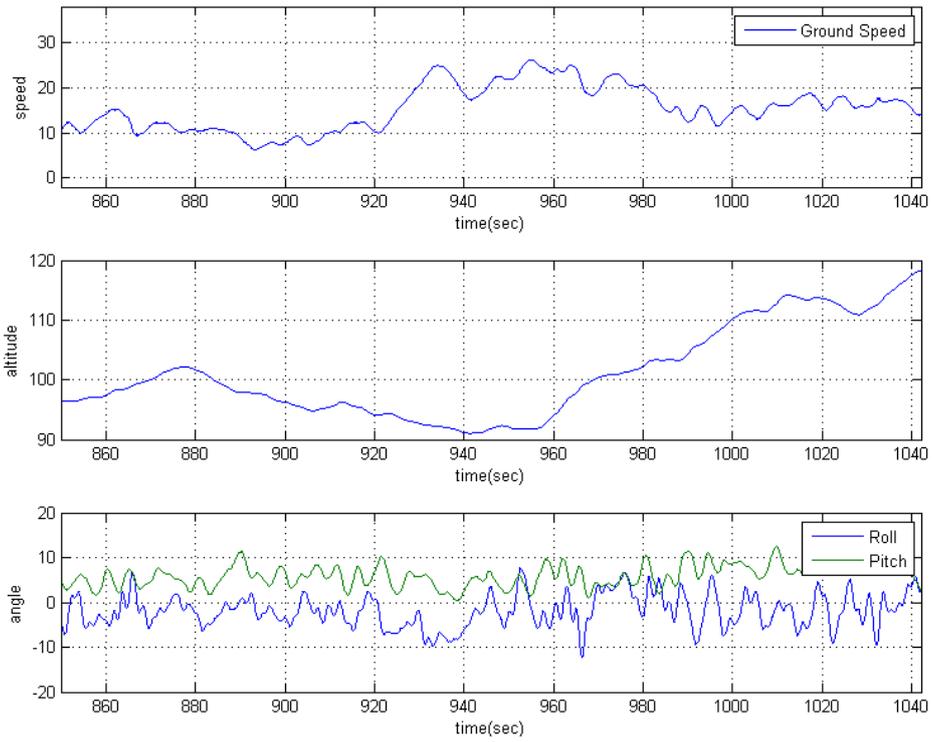


그림 114. 'ㄷ' 비행경로 구간 데이터

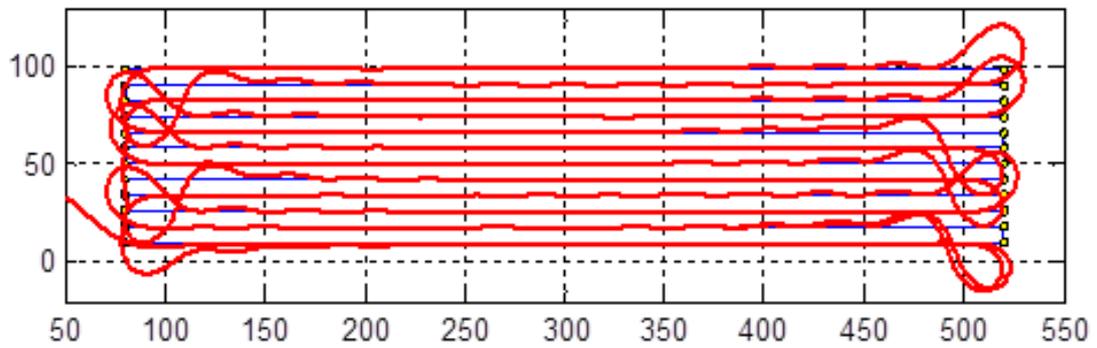


그림 115. 최종 'ㄷ'자 비행시험 1

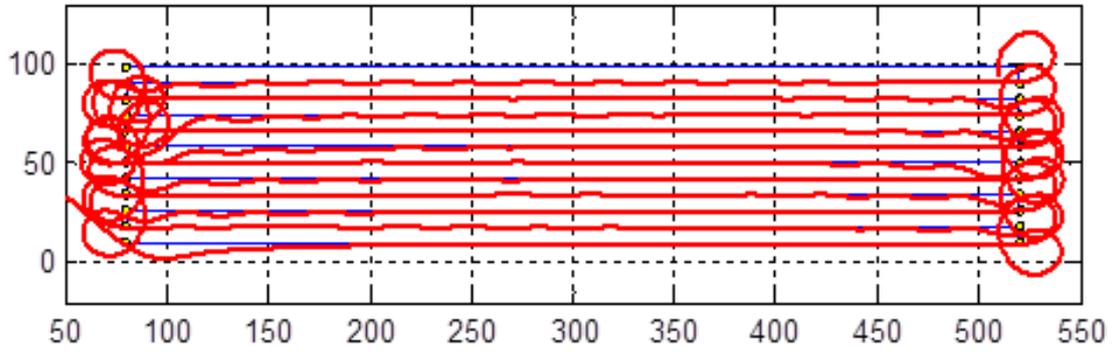


그림 116. 최종 'ㄷ'자 비행시험 2

3.6.2 정밀고도제어 비행시험 결과

정밀고도 비행시험을 하기 위하여 그림 116과 같은 지역에서 분무장치를 장착하고 테스트를 진행하였다. 비행시험사진은 그림 117에 나타내었다. 테스트 지역 구간의 폭이 150미터정도로 좁기 때문에 주변의 건물들과 나무 그리고 전선에 위협이 정밀 고도제어와 경로점 비행을 같이 하지 않았으며 조종사가 수동으로 비행선의 좌선회, 우선회의 입력만을 주었다.



그림 116. 정밀 고도제어 테스트 구역(네이버 지도 제공)



그림 117. 정밀 고도제어 및 농약살포 비행시험

그림 118은 고도제어시 비행선의 고도 및 속도를 나타낸 그래프 이다. 지상고도가 GPS기준 40m이므로 실제 지상에서 15~17m 사이의 낮은 고도에서 비행을 한 결과이다. 제어 값 57m에서 오차 ± 2 m 이내에서 안정적으로 고도제어를 하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 119는 비행경로를 나타낸 것이다. 조종사가 원하는 방향으로 조종면을 입력하면 비행선이 움직이지만 고도는 항상 일정하게 유지하기 때문에 고도제어만 유지하고 조종사가 이동을 할 경우에도 조종의 부담을 크게 덜 수 있다. 그리고 분무시험을 같이 진행하면서 분무장치가 제대로 작동되는지에 대해서도 테스트한 결과 오작동 없이 스위치 조작에 따라 농약살포가 잘 되는 것을 확인하였다.

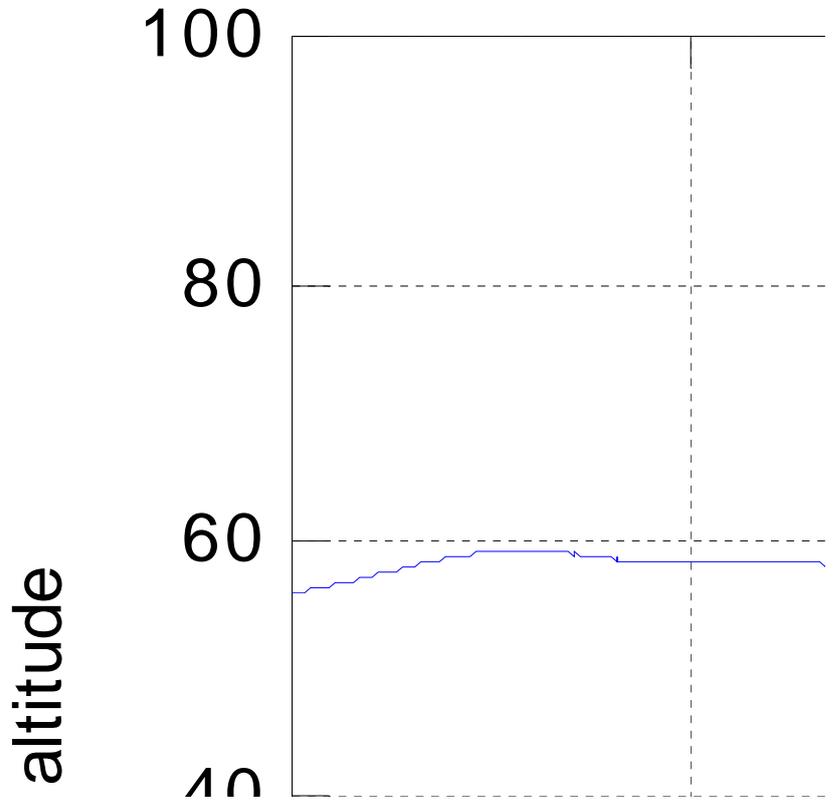


그림 118. 정밀 고도제어 비행시험 결과

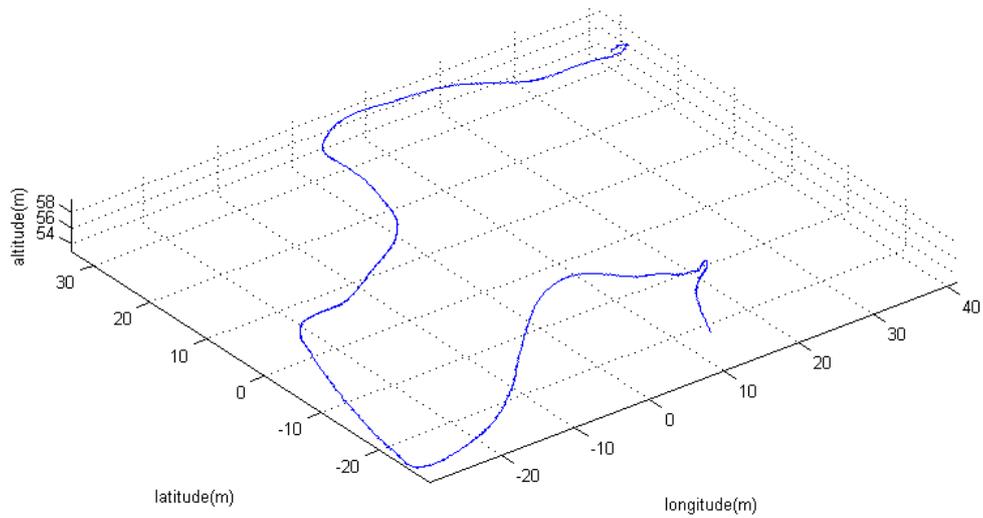


그림 119. 비행 경로

그림 120는 제어기의 계인을 변경한 후의 비행시험 결과이다. 지상40m 기준에서 5~7미터를 유지하면서 비행을 하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 120의 하단의 제어 값은 파란색 선이 트림 값이고 초록색 선은 제어기가 자동으로 고도를 유지하기 위해 변하는 값을 나타낸 것이다.

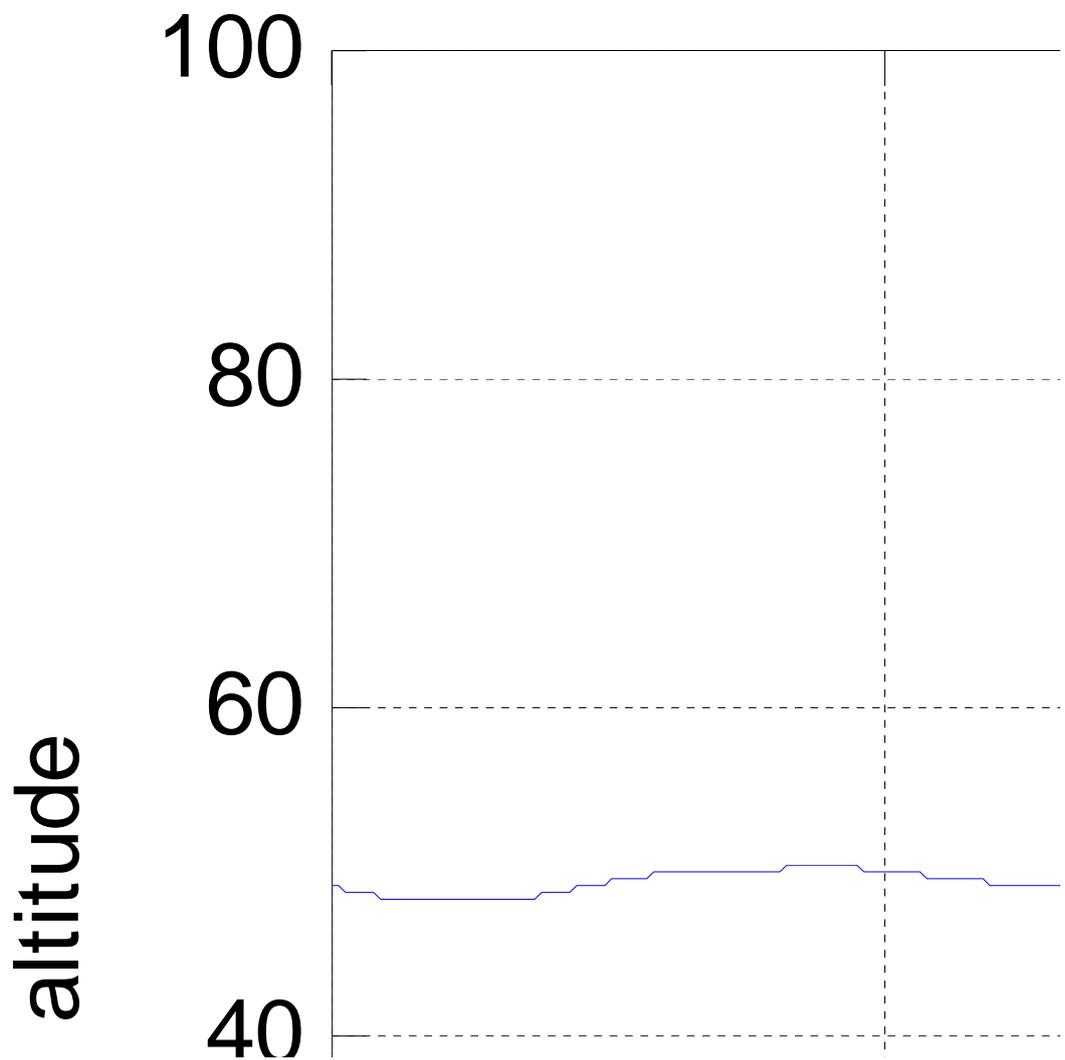


그림 120. 정밀 고도제어 비행 결과 및 제어 명령 값

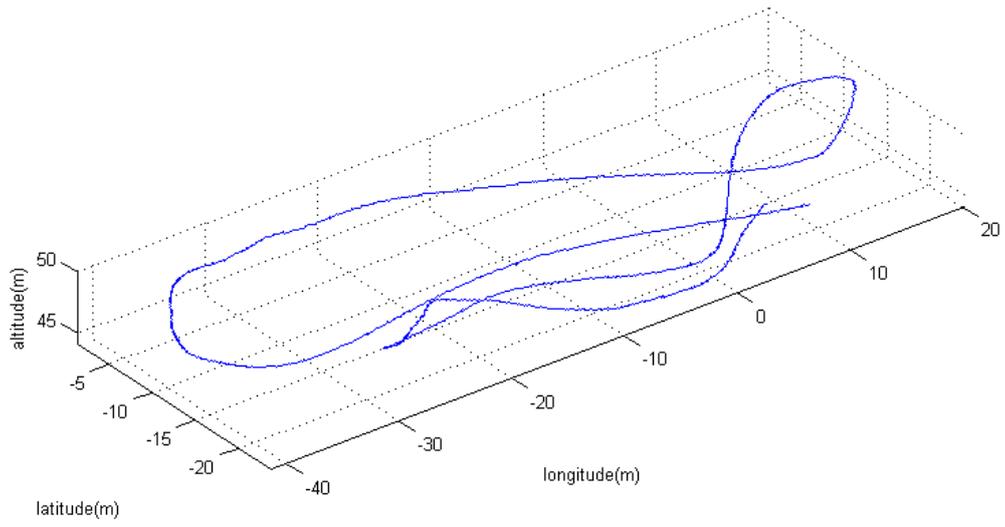


그림 121. 비행 경로

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

4.1 목표달성도

본 과제는 아래와 같이 수행되었으며 3차년을 거쳐 연구목표의 99%이상을 달성하였다고 볼 수 있다.

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성 도 (%)	연구개발 수행내용
1차 연도 (2009)	저가형 농약 살포용 무인비행선 상용화 설계/제품 제작	○농약살포용 무인비행선 형상 설계	100	무인비행선의 기초설계와 상세설계를 완료하였음
		○농약살포용 무인비행선 운용시스템 설계	100	무인비행선 운용시스템의 구성을 운용이 편리하도록 설계하였음
		○농약살포용 무인비행선 제작	100	모든 부품들의 단품 제작을 마치고 비행선 최종 조립을 완성하였음
		○분무장치 설계 제작	100	분무장치를 설계하고 제작완료하였음
		○무인비행선 자동비행로직 연구	100	무인비행선의 자동비행 로직 개념 설계를 완료하였음
2차 연도 (2010-2011)	농약살포용 무인비행선 비행시험/개선	○농약살포용 무인비행선 비행시험 및 성능분석	100	무인비행선 지상시험 무인비행선 비행시험 (상승, 하강, 전진, 선회, 수동 원격조작) 및 성능 분석
		○농약살포용 무인비행선 형상 설계 개선	100	13m급 형상 설계 개선/제작 9m급 소형 무인 비행선 추가 설계제작
		○분무장치 시험 및 개선	100	분무장치 살포시험 농작물 살포상태 검사 수행 분무장치 형상 개선 및 재 제작
		○농약살포용 무인비행선 운용시스템 구현	100	IT기술을 접목하여 제어장치 설계 제작 무인비행선 운용시스템 제작/시험 수행
		○농약살포용 무인비행선 비행제어시스템 설계 제작/비행시험	100	비행제어로직 완성 비행제어 하드웨어 제작/시험 고도제어, 경로제어 시스템 구현 및 비행시험 수행

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성 도 (%)	연구개발 수행내용
3차 연도 (2011 -2012)	농약살포용 무인비행선 체계 종합 및 비행시험	○ 농약살포용 무인비행선 체계종합 비행시험	100	소형/중형 무인비행선 종합시험 소형/중형 무인비행선 공중 분무 시험 소형/중형 무인비행선 정밀고도 제어 시험
		○ 농약살포용 무인비행선 제어 시스템 체계종합 성능 시험 및 개선	100	체계종합 성능분석 운용시스템 성능 분석 운용 시스템 개선 정밀 고조제어 성능 분석 및 개 선
		○ 분무장치 경량화 및 정비 편리성 강화	100	분무장치 구조 재료 경량화 분무장치 부품 내구성 강화 농작물 살포상태 검사 및 보완
		○ 농약살포용 무인비행선 운용시스템 성능 시험 및 개선	99	태블릿 PC를 이용한 운용 시스템 시험 및 성능 개선
		○ 제어장치 경량화 및 정비 편리성 강화 ○ 조종장치 구조 단순화	99	제어장치 구조 단순화 제어장치 부품 내구성 강화 최신 IT 기술을 접목한 조종장치 단순화

4.2 관련분야 기여도

기술적 측면	경제·산업적 측면
<ul style="list-style-type: none"> ● 자체 개발로 인한 개발비용 감소 ● 태블릿PC 운용시스템으로 인한 운용편리 및 운용인원 감소 ● 자동 비행 장치 시스템 개발 ● 다른 타입의 비행체에도 적용 가능한 통합형 비행제어 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ● 무인 농약 살포로 인한 인원 감소 및 방제 비용 감소 ● 농약중노동 및 농약중독 위험성 제거 ● 무인헬기 방제보다 저렴한 운용 비용 및 제작 비용 ● 저가형 비행조종시스템을 사용한 새로운 시장 창출 효과 ● 태블릿PC를 사용한 모니터링으로 수출기대 효과

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

가. 연구개발결과의 성과 및 활용목표 대비 실적

(1) 연구성과 목표

(단위 : 건수)

구분	특허		신품종				유전자원 등록	논문		기타
	출원	등록	품종명 명칭등록	품종생산 수입판매 신고	품종보호			SCI	비SCI	
					출원	등록				
1차년도	목표	1	0	0	0	0	0	0	1	
	달성	1	0	0	0	0	0	0	1	
2차년도	목표	1	1	0	0	0	0	0	1	
	달성	1	0	0	0	0	0	0	1	
3차년도	목표	0	1					0	0	
	달성	0	2					0	0	
계	목표	2	2					0	2	
	달성	2	2					0	2	

* 연차별 연구성과 목표는 향후 연차평가 등의 정량적 평가지표로 활용됨

(2) 연구성과 활용 목표 (과제 종료시 최종 목표치)

(단위 : 건수)

구분	기술실시(이전)	상품화	정책자료	교육지도	언론홍보	기타
활용건수	목표	2	2	2	3	5
	달성	0	0	0	0	0

아직까지 기술이전을 하지 못하였으나 아래와 같이 금년내로 3건의 기술이전을 시행할 예정입니다.

핵심기술명	농약살포용 무인비행선 설계/제작		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	20,000천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	3개월	실용화예상시기	2012. 12.
기술이전시 선행조건	특별한 사항 없음		

핵심기술명	무인비행선에 탑재할 분무장치 설계/제작		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	20,000천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	3개월	실용화예상시기	2012. 12.
기술이전시 선행조건	특별한 사항 없음		

핵심기술명	태블릿 PC를 이용한 비행선 운용시스템 개발		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	20,000천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	9개월	실용화예상시기	2012. 12.
기술이전시 선행조건	특별한 사항 없음		

나. 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2009	농약 살포용 무인비행선 개발	김정환	송용규	허창환, 이상준	2009 한국항공우주학회 춘계학술발표회		국내	비 SCI
2010	농약 살포용 무인비행선 개발에 관한 연구	김건식	송용규	박근범, 김정환, 이상준	항공우주시스템공학회지	제4권 제1호	국내	비 SCI

다. 특허 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2008	약품살포용 무인비행선	한국항공대학교 산학협력단	대한민국	10-2008-0103685	2011	약품살포용 무인비행선	한국항공대학교 산학협력단	대한민국	10-1049178
2010	스마트폰을 이용한 무인비행체 자동 및 수동 조종시스템	한국항공대학교 산학협력단	대한민국	10-2010-0066739	2012	스마트폰을 이용한 무인비행체 자동 및 수동 조종시스템	한국항공대학교 산학협력단	대한민국	10-1117207

라. 기술료 징수 현황

기 징수액	당해연도 징수액	향후 징수액	합계

마. 사업화 현황

사업화명	사업화내용	사업화 업체 개요				기매출액	당해연도 매출액	매출액 합계
		업체명	대표자	종업원수	사업화형태			

바. 인력활용/양성 성과

(1) 인력지원 성과

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
6		6			6		6		

(2) 장·단기 연수지원 성과

장기 (2월 이상)		단기 (2월 미만)	
국내	국외	국내	국외
		2009 무인항공기 단기강 좌 5명 참가	
		2010 유도항법제어 심포 지엄 3명 참가	
		2011 무인항공기 단기강 좌 5명 참가	
		2012 유도항법제어 심포 지엄 3명 참가	

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

현재 무인비행체를 이용한 방제는 일본에서 시작하여 국내외에서 많이 이루어지고 있다. 연구개발과정에서 일본 야마하사의 R-MAX 모델에 대하여 해외 논문과 운용체계, 시스템등에 대한 정보를 수집하여 참고하였다. 그리고 무인항공기 제어에 대한 여러 기법들을 논문을 수집하여 참고하였다. 무인 항공기를 이용한 농약살포는 현재 헬리콥터를 이용하고 있기 때문에 이부분에 대하여 많은 정보수집이 필요하였다. 하지만 무인 비행선을 이용한 농약 살포는 본 연구개발에서 중점적으로 진행되었기 때문에 해외에서 참고가 될 것으로 기대된다.

제 7 장 참고문헌

1. 장두현, “미래 항공우주산업의 총아 무인항공기”, 상상커뮤니케이션, 2006.
2. 윤석준, “무인항공기 비행제어시스템”, 제어·자동화·시스템공학회 학회지, 1999.
3. 석진영, “해외 무인항공기 기술 동향”, 공학교육, 2004.
4. 길형보, “무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle)의 세계”, 한국항공우주산업진흥회, 2002.
5. 전병호, “신경망 기법을 이용한 소형 무인항공기 파라미터 추정에 관한 연구”, 한국항공대학교 대학원, 2007.
6. 최승기, “소형무인항공기를 위한 GPS/INS 통합항법 시스템 구현 및 유도 알고리즘에 관한 연구”, 한국항공대학교 대학원, 2005.
7. 백수호, 홍성경, “무인항공기의 비행경로 생성 및 유도제어 알고리즘 연구 : HILS를 통한 검증”, 제어·로봇·시스템학회 논문지, 2008.
8. 노민식, 조점래, 이대우, “GPS를 이용한 무인항공기 추적 안테나 시스템 시험”, 한국항공우주학회지, 2007.
9. 허창환, 이상준, 김건식, 송용규, “무인항공기 경로점 유도 비행 시험”, 한국항공운항학회 춘계학술대회 논문집, 2008.
10. 김도명, 박상혁, 남수현, “무인항공기의 Leader-Follower 편대비행을 위한 수정된 비선형 유도법칙”, 제어·로봇·시스템학회 논문지, 2009
11. 박재만, 신종호, 김현진, “모델 예측 기법 기반 무인 항공기의 편대 비행 제어 알고리즘”, 제어·로봇·시스템학회 논문지, 2008.
12. Gu, Y., Seanor, B., Campa, G., Napolitano, M. R., Rowe, L., Gururajan, S., Wan, S., “Design and Flight Testing Evaluation of Formation Control Laws”, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.14, No 6, pp 1105-1112, November 2006.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.