

## UAV용 GCS 및 안테나 추적 시스템 구현

박범순\* · 최일규\* · 김지철\* · 전동익\* · 이상철\*\* · 오화석\*\* · 강민영\*\*\*

### Implementation of GCS and Antenna Tracking System for UAV

Bumsoon Park\* · Ilgue Choi\* · Jichul Kim\* · Dongik Cheon\* · Sangchul Lee\*\*  
Hwa-Suk Oh\*\* · Minyoung Kang\*\*\*

#### ABSTRACT

The first purpose of this study is to develop a GCS(Ground Control System) by using RF(Radio Frequency) wireless communication equipments for UAV(Unmanned Aerial Vehicle). The second goal is to develop an antenna tracking system operating automatically. UAV receives flight data from a RF wireless system. So the role of antenna tracking system is very important to keep good communication state between UAV and GCS. GCS can check flight data and display a aviation state of UAV in real-time. The flight data displayed in real-time by GCS include the latitude, longitude, altitude, speed and so on. Experiments that measure a communication range and reliability are needed to develop a RF wireless communication system.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle, Wireless Communication System, Ground Control System, Antenna Tracking System

#### 1. 서 론

스스로 임무를 수행하는 UAV는 무선통신을 통해 지상국에 현재 비행기의 상태를 알려준다. GCS(Ground Control System)는 지상에서 UAV의 상태를 파악하는 것뿐만 아니라 새로운 임무를 UAV에게 전달할 수 있는 중요한 요소이다. 그러므로 UAV와의 통신은 매우 중요하며 비행이 지

속되는 동안 계속 연결된 상태가 유지되어야 한다. UAV의 비행동안 통신이 연결된 상태로 유지하기 위해서는 GCS에서 UAV를 향하고 있는 안테나의 지향성 유지가 매우 중요하다. 현재 운용 중인 SCL-TA3는 테스트 비행 중에 안테나의 지향을 수동으로 하기 때문에 통신이 끊기는 경우가 다수 발생하며 GCS의 운용에 큰 문제점이 되어 왔다.

본 연구에서는 현재 운용 중인 GCS의 소개와 개발 중에 있는 Antenna Tracking System의 연구 과정과 문제점에 대해 서술한다.

\* 학생회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부  
연락처, E-mail: ilgue19@kau.ac.kr

\*\* 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

\*\*\* 정회원, 인텔레인(주)

2. 본 론

2.1 시스템 구성도

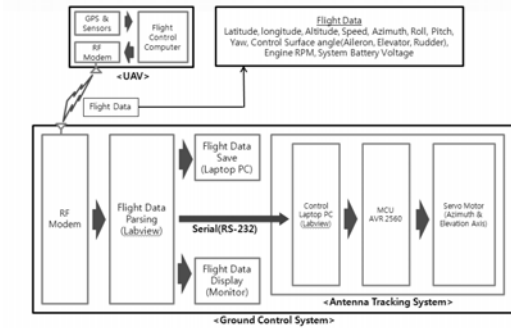


Fig. 1 System Structure

Figure 1은 Antenna Tracking System을 포함하는 GCS이다. UAV로부터 Flight Data를 무선으로 전달 받은 GCS는 Labview를 이용하여 모니터에 Display하며, 동시에 UAV를 향한 안테나의 지향에 필요한 명령 Data를 Antenna Tracking System으로 전송한다. System을 위해서는 통신 시스템과 안테나의 구동 시스템이 필수적이다.

2.2 통신 시스템 요구 조건

본 연구의 대상인 근거리 운용 UAV는 짧은 임무거리와 낮은 비행성능이 요구된다. 그러므로 통신시스템에도 이에 상응하는 요구 조건이 필요하다. 소형 무선 통신 시스템의 요구 조건은 Table 1에서 확인 할 수 있다.

Table 1. Wireless Communication System Requirements

Parameters	Unit	value
운용거리	m	1,000
소비전력	mW	100 이하
크 기	mm	70x70x30 이하
무 게	g	100 이하

Table 1에서 보이는 바와 같이 근거리 UAV의 특성상 통신시스템을 소형화하고 경량화면서도 운용거리에 상응하는 통신거리를 확보하는 것이

중요하다. 소형 UAV의 운용거리에 따른 통신 가능 거리를 예상하기 위해 Link Budget Analysis 방법을 선택해 적당한 제원의 RF 통신 모델을 선택할 수 있다.

Table 2. Link Budget Analysis

Category	Parameters	Unit	Value
Uplink	Frequency	GHz	2.4
	Range	m	1,000
Tx Section	Output Power	mW	60
	Attenuation Loss	dB	-3.10
	EIRP*	dB	14.68
Path Section	Free space Loss	dB	-100.10
	Atmospheric Loss	dB	-3.50
Rx Section	Attenuation Loss	dB	-3.10
	RCP	dBm	-92.02
Noise Density	KTs**	dBm	-160.83
	System Noise Temperature	dB	37.77
Conclusion	Bandwidth on Data Signal	bps	57,600
	KTB	dBm	-113.23
	S/N***	dB	21.20
	Fade Margin	dB	6.20

\*Effective Isotropic Radiated Power \*\*Noise Density  
\*\*\*Signal/Noise ratio

Link Budget Analysis 수행 결과 1 km의 운용거리에서 통신을 시도할 때의 Fade Margin이 6.20 dB이고, 이론적으로 통신이 가능하다는 것을 예측할 수 있다. Table 2는 시스템의 소형화를 위해 Antenna Gain이 0 dB인 Dipole Antenna을 사용한 결과이다.

2.3 통신 시스템 장비

Figure 2에서는 RF Modem과 Patch Antenna를 볼 수 있다. Xbee Pro는 Link Budget의 제원을 만족하는 제품으로 매우 가볍고 전력소모가 적어 본 시스템에 매우 적합하다.

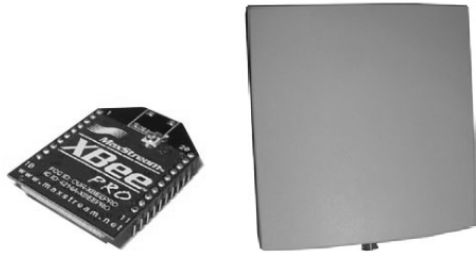


Fig. 2 RF Module and Patch Antenna

Table 3에서 RF module의 제원을 확인할 수 있다.

Table 3. Specifications of RF module

Parameters	Unit	Value
Frequency	GHz	2.4
Power	mW	60
Input Voltage	V	5.00
Baud rate	bps	57,600
Size	mm	63x55x25
Weight	g	63

Figure 2에서 20 dB의 Antenna Gain을 갖는 Patch Antenna는 지향성만 유지 된다면 장거리 까지 통신이 가능한 성능을 가지고 있다. 그러므로 정밀한 Antenna Tracking이 필요하다.

**24 통신거리 및 신뢰도 실험**

Link Budget을 통해 1,000m의 임무거리가 가능하다는 것을 알았지만, 지상에서 실제 테스트를 하여 통신 가능거리와 신뢰도를 측정한다. 약 1 km되는 두 지점을 정해 String Data를 송신하여 통신이 가능한지 확인하고, Data를 분석하여 신뢰도를 측정했다.

Figure 3은 테스트가 되는 두 지점의 항공사진을 보여주며, Table 4는 송신한 총 1,296행의 String Data중에서 수신 데이터와 일치하는 Data의 수를 기록한 표이다.

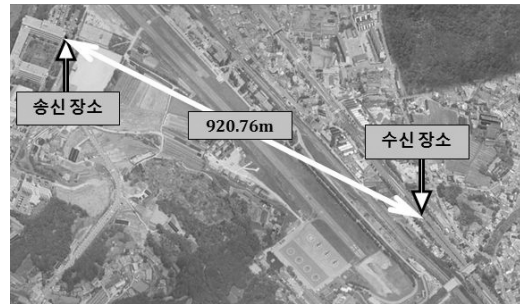


Fig. 3 RF Operation Range Test

Table 4. Reliability of RF Communication

총 송신 data	1,296 행
일치 data	1,251 행
불일치 data	45 행
신뢰도	96.52 %

96.52 %의 높은 신뢰도를 보여 임무거리에서 무선 통신이 가능하다는 것을 보인다.

**25 테스트 비행체(SCL-TA3) 및 비행 특성**



Fig. 4 SCL-TA3

Figure 4는 시스템의 테스트를 위해 사용하는 비행체이다. RC무선 조종 비행기인 SCL-TA3는 가솔린 엔진을 설치하여 비교적 많은 Payload를 견딜 수 있어 여러 가지 장비를 테스트하기에 적합하다.

Figure 5는 SCL-TA3의 Flight data이다. 상단 /좌측은 위도-경도 그래프로 평면상의 경로를

나타낸다. 상단/우측의 그림은 비행중의 속도 변화를 보여준다. 하단/좌측의 그림은 GCS기준으로 Antenna의 Azimuth angle의 각속도와 각가속도를 보여주며, 하단/우측의 그림은 GCS기준으로 Antenna의 Elevation angle의 각속도와 각가속도를 보인다.

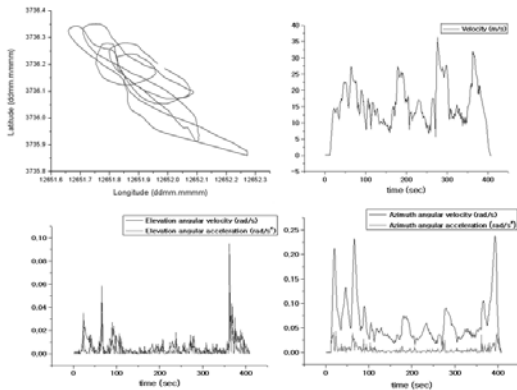


Fig. 5 Flight Data of SCL-TA3

Figure 5에서 확인할 수 있는 Azimuth angle과 Elevation angle은 Antenna Tracking System의 설계에 중요한 자료가 된다. Table 5는 SCL-TA3의 Flight Data를 분석하여 얻은 System의 요구조건이다.

Table 5. Required Angular Velocity, Acceleration

Parameters		Unit	value
Angular Velocity	Azimuth axis	rad/s	0.238
	Elevation axis	rad/s	0.095
Angular Acceleration	Azimuth axis	rad/s <sup>2</sup>	0.043
	Elevation axis	rad/s <sup>2</sup>	0.089

**26 Antenna Tracking System 설계 및 요구조건**

Antenna Tracking System은 UAV와 GCS의 GPS data를 분석하여 Antenna가 UAV를 지향하기 위해 필요한 각도를 계산하는 방법을 통해 운용된다.

Figure 6은 Antenna Tracking System의 알고리즘의 순서도를 보여주는 것이다. 위 그림에서

와 같이 GCS로부터 전달 받은 UAV의 GPS 정보 중 필요한 Data를 Parsing하여 Antenna를 구동하는데 사용한다.

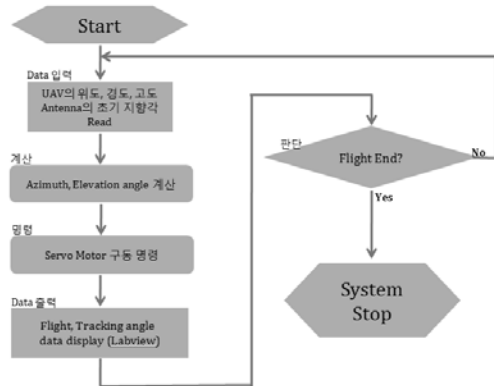


Fig. 6 Antenna Tracking System Algorithm

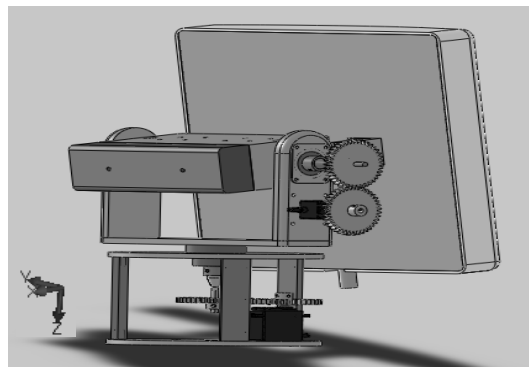


Fig. 7 Frame Design (Using SolidWorks)

Table 6. Antenna Tracking System Requirements

Parameters		Unit	value
Torque	Azimuth axis	Kgf · cm	0.1362
	Elevation axis	Kgf · cm	0.5047
RPM	Azimuth axis	RPM	2.28
	Elevation axis	RPM	0.91
Total Weight		Kg	6
Antenna Beam-Width		degree	15

Table 5에서 확인할 수 있는 요구 각속도/각가속도와 SolidWorks를 이용한 설계(Fig. 7)에

서 얻은 Frame의 형상 수치를 통해 구동모터의 필요 제원을 얻을 수 있다. 이를 통해 Table 6에서 보이는 것과 같이 Antenna가 UAV를 지향하며 Tracking하기 위해서는 필요한 토크와 RPM이 정해진다. 그러므로 Antenna를 구동하는 모터(Servo Motor)를 선정할 때 요구조건을 만족하는 제품을 선정하였다.

**27 Antenna Frame 제작 및 Simulation**

Figure 8은 Antenna Frame을 제작을 완료하여 안테나와 서보모터를 설치한 모습이다.



Fig. 8 Antenna Tracking System Frame

제작된 Antenna Frame을 이용하여 지상에서 Simulation을 통해 시스템을 검증 하였다. SCL-TA3의 Flight Data와 Antenna의 가상 위치 Data를 통해 안테나를 구동하여 명령 값과 실제 구동된 안테나의 값을 비교하였다.

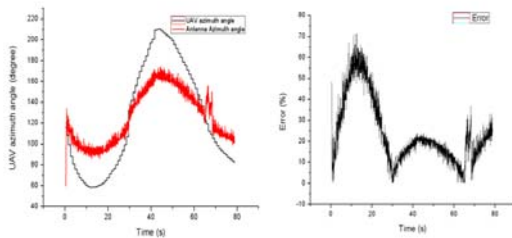


Fig. 9 Antenna Tracking Angle Error

Figure 8의 좌측 그림은 UAV의 실제 Azimuth Angle과 안테나가 지향되는 Azimuth Angle이고 우측 그림은 Error를 보여준다. Simulation 결과 평균 23%의 Error를 보였다.

Error의 발생 요인은 첫 번째로 Servo Motor

의 동작과 관련이 있다. 구동명령에 의해 Servo Motor가 회전된 후 순간적으로 멈추는 과정에서 Back-Rush 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 회전면에 Damper를 설치하여 회전축이 갑자기 정지하여 Motor쪽으로 역 토크가 입력되는 것을 방지 할 것이다.

두 번째 요인은 Servo Motor에 명령이 입력되는 주기가 너무 짧았기 때문이다. Servo Motor의 회전각을 측정하여 Antenna의 지향각에 대한 Close Loop Control을 하는 과정에서 20Hz의 속도로 제어명령이 입력되었다. 하지만 UAV의 위치를 파악하는 GPS의 신호가 1Hz의 속도로 출력되므로 Source Signal에 비해 Output Signal이 지나치게 자주 발생되어 Antenna의 전체 구동에 고진동이 발생되었다. 이 점은 GPS의 신호와 제어 신호의 타이밍을 동기화하는 알고리즘으로 수정할 필요가 있다.

**28 Ground Control System 운용**

RF 통신 시스템을 탑재한 SCL-TA3의 비행을 통해 GCS의 운용을 시험하였다. GCS에서 UAV와의 통신 상태와 Flight Data를 실시간으로 Display 할 수 있도록 Labview를 사용하여 프로그램을 제작 하였다.

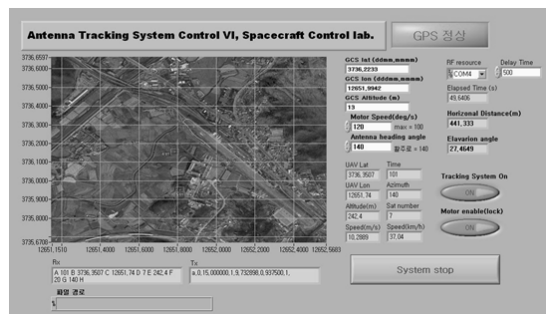


Fig. 10 Ground Control System

Figure 10의 그림은 Labview를 사용하여 GCS의 Flight Data를 직관적으로 확인할 수 있도록 했으며, 동시에 Antenna Tracking System을 제어 할 수 있게 제작하였다.

Figure 11의 그림은 비행 후에 GCS에 저장되어 있는 UAV의 궤적을 다시 그린 것이다. 이처럼 GCS는 Flight Data를 실시간 Display 되는 것 뿐 아니라 PC에 저장하여 비행의 상태를 확인할 수 있는 장점이 있다.

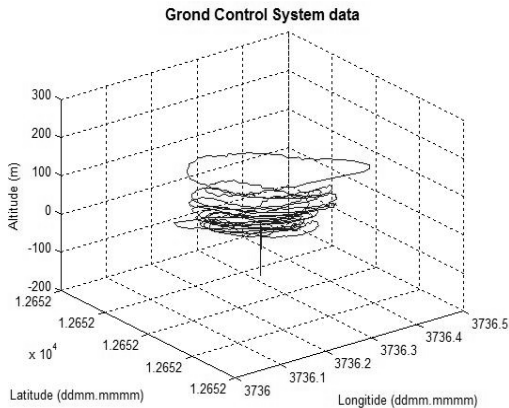


Fig. 11 Plot of Flight Data Trajectory in GCS

### 3. 결 론

지금까지 RF 무선통신 시스템을 이용하여 근거리 UAV용 Ground Control System과 Antenna Tracking System의 연구에 대하여 기술하였다. 통신거리와 장비의 크기 및 무게 등이 근거리 운용 무인항공기의 요구조건에 부합하여 GCS의 개발은 완료 되었다. 하지만, Antenna Tracking System은 Frame을 제작하는 과정에서 설계 및

구동부의 장비 선정의 문제로 인한 구조적인 결함을 발견했다. 이러한 문제로 인해 시스템을 실제로 테스트 하지 못하고 Simulation 만을 해본 것은 앞으로 많은 부분에 대해서 연구가 더 진행되어야 한다는 것을 의미한다.

### 4. 후 기

본 과제는 중소기업청의 중소기업기술개발지원사업의 일환으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Norman S. Nise., Control System Engineering, 5th ed., John Wiley & Sons Inc., 2008.
- [2] Data Sheet : XBee-PRO™, MaxStream, Inc. Sutton, www.maxstream.net pp 5-9
- [3] Data Sheet : WM20™, Telscom, Inc. www.telscom.co.kr.
- [4] 김종부, 서종완, 안비오, 3ip연구소, "ATmega128 이론 및 실험", 2008, pp. 467-504.
- [5] 윤덕용, "AVR ATmega1280/2660 정복", 2006, pp. 217-242.
- [6] 락두영, "Labview 8.6", 2009, pp. 221-254.