

## 무인 항공기 탑재용 Ku대역 안테나에 관한 연구

박진우<sup>\*,1)</sup> · 류지호<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 삼성탈레스 통신시스템그룹

<sup>2)</sup> 국방과학연구소 제2기술연구본부

### A Study on Ku-band Antenna for Mounting on UAV

Jin-Woo Park<sup>\*,1)</sup> · Ji-Ho Ryu<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Communication System Group, Samsung Thales, Korea

<sup>2)</sup> The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 5 December 2013 / Revised 3 January 2014 / Accepted 17 January 2014)

#### ABSTRACT

In this paper, we proposed a Ku-band antenna that can be mounted on UAV. A proposed antenna structure has small size and light weight. It is considered long distance communication environment(LOS) and equipped UAV. Proposed antenna is designed 16×2 aperture coupled microstrip patch array antenna for high gain characteristics. In the measurement results, VSWR is less than 1.5 and the gain is over 21dBi in the bandwidth. Mechanical specifications of antenna assembly are  $\phi 250 \times 200$ mm of size and 3kg of weight.

Key Words : Aperture Coupled(개구면 결합 급진), Microstrip Array Antenna(마이크로스트립 배열 안테나), UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 무인 항공기), LOS(Line Of Sight, 가시거리), VSWR(Voltage Standing Wave Ratio, 정재파비)

#### 1. 서론

현대 사회에는 무인화 장비의 개발이 가속화되고 있다. 군수분야에서는 무인 항공기가 대표적인 사례이다. 인력 손실을 최소화하고 효율적인 전투를 위해 다양한 무인 항공기가 개발되고 있으며 감시·정찰용 무인 항공기에서 공격형 무인 항공기 등으로 기술개발이 급격히 발달하고 있다. 무인기의 운용 범위가 확

대됨에 따라 원거리에서도 운용 가능하며, 많은 양의 데이터를 송, 수신할 수 있는 장비가 필수적이다. 지상 장비와 안정적으로 대용량의 데이터를 송, 수신하기 위해서는 고이득의 안테나가 필요하다. 아울러 무인 항공기의 제한적인 공간 및 무게 등에 의해 소형, 경량 구조의 안테나가 요구된다. 원거리 통신 및 제한적인 물리적 특성을 극복하기 위해 사용 주파수의 선택은 매우 중요하다. 낮은 주파수 대역에서는 원거리 통신을 확보하기 쉽지만, 제한적인 물리적 특성을 확보하기 어렵다. 높은 주파수 대역에서는 원거리 특성을 확보하기 어렵지만, 물리적 특성을 확보하기가 상

\* Corresponding author, E-mail: jwpark0822@naver.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

대적으로 용이하다. 해외 선진사의 경우, X대역 및 Ku대역에서 운용하는 UAV용 데이터링크 장비를 많이 사용하고 있다.

본 논문에서 제안하는 안테나는 Ku대역에서 동작하는 개구면 결합 구조의 마이크로스트립 배열 안테나를 방사체로하고 수평방향으로 회전하는 1축 구동부를 결합한 안테나를 설계, 제작하였다.<sup>[1]</sup>

## 2. 본론

### 2.1 안테나 규격 및 고려사항

무인 항공기에 탑재하기 위해 크기 및 무게가 제약됨에 따라 경량화된 안테나 구조가 요구되며 본 논문에서 제안한 안테나의 규격은 다음과 같다.

Table 1. Specification of antenna design

항목	단위	규격
주파수	Hz	Ku 대역
정재파비	-	2:1 이하
이득	dBi	21 이상
편파	-	수직 선형 편파
구동부 특성	-	1축 구동
크기	mm	φ250×202
무게	kg	3.5 이하

### 2.2 마이크로스트립 안테나의 해석

일반적인 개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나의 구조는 Fig. 1과 같다.

개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나는 급전부(Feed Line)과 패치(Radiator) 사이에 그라운드 및 슬롯이 위치한다. 급전부에 인가된 전력은 슬롯을 통해 커플링 효과가 발생하고 이를 통해 패치에 전력을 전달하여 방사(Radiation)하는 원리로 동작한다.

개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나의 등가회로는 Fig. 2와 같다.

급전부와 패치 사이에 있는 그라운드의 슬롯의 모델은 N:1 임피던스 변환기와 병렬 LC 회로( $L_{ap}$ ,  $C_{ap}$ )로서 등가모델을 구성할 수 있다<sup>[2]</sup>. N:1 임피던스 변환기는 그라운드 면에 위치하는 슬롯을 통해 발생하는 커플링

에 의한 패치 안테나의 임피던스를 나타낸다. LC회로( $L_{ap}$ ,  $C_{ap}$ )는 급전부와 패치 사이의 개구면 결합에 의한 커플링 효과를 나타낸 등가회로이다. 패치의 양 끝단에 존재하는 프링징 필드 효과는 RC 회로( $C_{fring}$ ,  $R_{rad}$ )로 나타낼 수 있다.

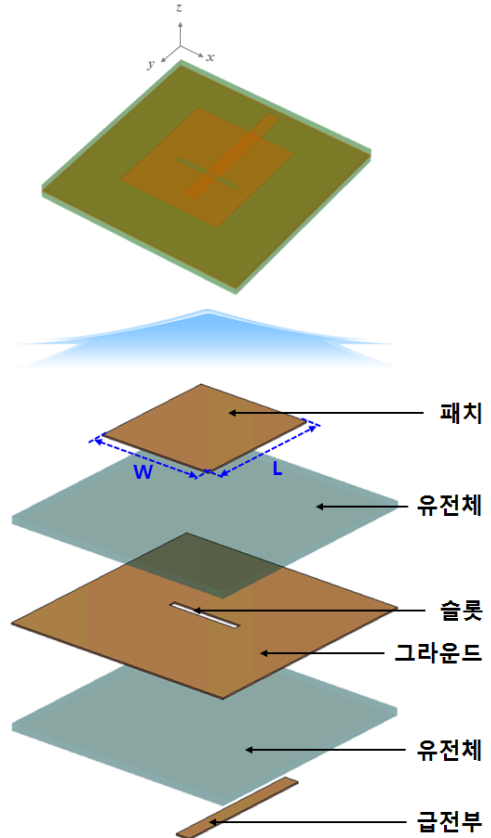


Fig. 1. Aperture coupled microstrip patch antenna structure

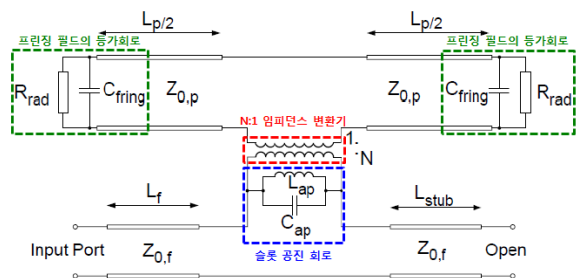


Fig. 2. Aperture coupled patch antenna equivalent circuit

LC회로의 공진회로는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$L_{ap} C_{ap} \sim \left( \frac{1}{2\pi f_0} \right)^2 \quad (1)$$

$L_{ap}$ ,  $C_{ap}$ 는 동작 주파수( $f_0$ )에서 개구면을 통해 발생하는 커플링 효과를 나타내는 인덕턴스 성분과 캐패시턴스 성분을 의미한다.

프린팅 필드 효과를 나타내는 RC 회로( $C_{fring}$ ,  $R_{rad}$ )를 구하는 식은 다음과 같다.

$$C_{fring} = \frac{B}{2\pi f_0} \quad (2)$$

$C_{fring}$ 는 패치 끝부분에서 발생하는 프린팅 필드의 캐패시턴스 성분을 나타내며, B는 프린팅 필드에 의한 서셉턴스를 나타낸다. B를 구하는 식은 다음과 같다.

$$B = 0.01668 \frac{\Delta L}{H} \left( \frac{W}{\lambda_0} \right) \epsilon_{eff} \quad (3)$$

$\Delta L$ 은 프린팅 필드에 의해 전기적으로 증가하는 패치의 길이(L)를 의미하며, H는 방사패치와 그라운드 높이를 의미한다.  $\epsilon_{eff}$ 는 유효 유전율을 나타낸다. 각각의 파라미터를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta L}{H} = 0.412 \left( \frac{\epsilon_{eff} + 0.300}{\epsilon_{eff} - 0.258} \right) \left( \frac{\frac{W}{H} + 0.264}{\frac{W}{H} + 0.8} \right) \quad (4)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{12H}{W} \right)^{-0.5} \quad (5)$$

$R_{rad}$ 은 프린팅 필드의 저항이며 이는 곧 방사저항을 나타낸다.  $R_{rad}$ 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$R_{rad} = \frac{1}{G} \quad (6)$$

G는 방사저항의 컨덕턴스이며, 컨덕턴스를 구하는 식은 다음과 같다.

$$G = \frac{\pi W}{\eta_0 \lambda_0} \left( 1 - \frac{\left( \frac{2\pi H}{\lambda_0} \right)^2}{24} \right) \quad (7)$$

$\lambda_0$ 와  $\eta_0$ 는 각각 공기 중의 파장과 임피던스를 나타낸다.  $Z_0$ 는 특성 임피던스를 나타내며 이를 구하는 식은 다음과 같다.

$$Z_0 = \frac{\frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}}{\frac{W}{H} + 1.393 + 0.667 \ln \left( \frac{W}{H} + 1.444 \right)} \quad (8)$$

프린팅 필드를 고려한 등가회로를 해석하여 구한 일반적인 마이크로스트립 패치의 길이(L)과 폭(W)은 다음 식과 같다.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (9)$$

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (10)$$

$f_r$ (동작 주파수),  $\epsilon_{eff}$ (유효 유전율),  $\epsilon_0$ (공기 중의 유전율),  $\mu_0$ (공기 중의 자화율),  $v_0$ (빛 속도),  $\Delta L$ (프린팅 필드에 의해 추가되는 전기적 길이)의 파라미터로 구성된다.

### 2.3 배열 안테나 해석

배열 안테나는 Array Factor(AF)와 배열되는 단일 안테나로 구분하여 해석한다. 배열 안테나의 방사패턴은 Array Factor에 의한 패턴과 단일 안테나의 패턴의 조합으로 형성된다<sup>[1]</sup>. 단일 방사체 간의 거리가 일정하며 각각의 방사체에 동일한 진폭을 급전시키는 선형 배열 안테나의 AF는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos\theta + \beta)} \quad (11)$$

N은 배열하는 소자 숫자이며 d는 소자 간의 거리,  $\beta$ 는 각 소자 간의 위상차를 의미한다.

배열 안테나의 방사패턴은 Array Factor와 단일 소

자의 방사패턴으로 분리할 수 있으며 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E(total) = E(single\ element) \times Array\ Factor \quad (12)$$

### 2.4 안테나 설계

제안된 안테나는 개구면 결합 구조의 마이크로스트립 패치 안테나의 기본 구조를 갖는 16×2 배열 안테나로 설계하였다. 안테나는 240mm × 45mm × 10.5mm 의 크기로 설계하였으며 설계 외형은 다음과 같다.

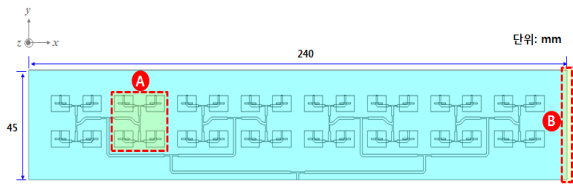


Fig. 3. Configuration of proposed antenna

방사체의 x-y 평면(A-point)에 대한 세부 그림은 다음과 같다.

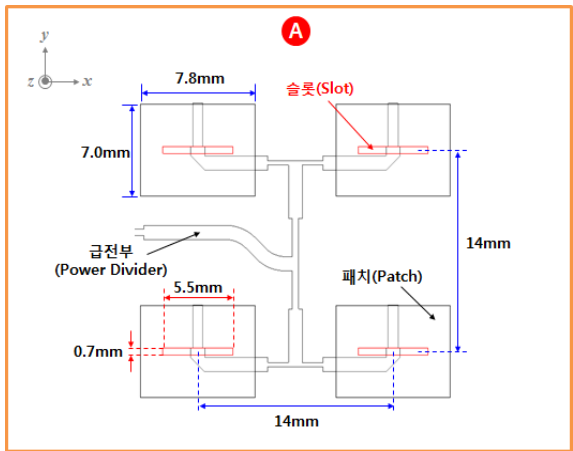


Fig. 4. Detail view of antenna structure(A-point)

제한된 크기 내에서 설계 목표 이득인 21dBi 이상을 만족하기 위해 배열 소자의 간격과 배열 소자에 입력되는 전력의 진폭은 동일한 구조로 설계하였다. 안테나 설계 시 구동축의 증가는 무인 항공기 장착 시 제한되는 물리적 특성을 만족하기 어렵다. 따라서 수직 방향의 빔폭 30°를 확보하며 이득을 유지하기 위해 x축 방향으로 방사패치의 개수를 증가시키는 배

열 방법을 사용하였다.

일반적으로 0.5λ의 방사체 간격을 많이 사용한다. 하지만 본 논문에서 제안한 안테나는 이득을 높이기 위해 방사체 간의 거리는 약 0.7λ를 사용하였다. 방사체의 y-z 평면(B-point)에 대한 세부 그림은 다음과 같다.

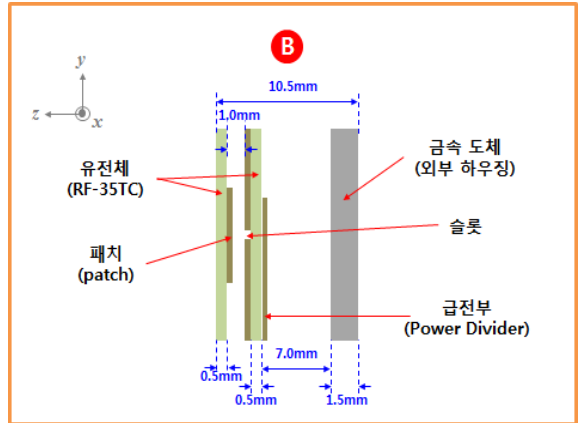


Fig. 5. Detail view of antenna structure(B-point)

안테나의 패치면과 슬롯 사이에 높은 유전율을 갖는 유전체를 사용하는 경우 단일 방사소자의 크기가 작아지기 때문에 전체적인 안테나의 크기를 줄일 수 있다. 안테나의 패치 면에는 패치 위에 유전체면을 사용하여 제작이 용이하도록 설계하였다. 패치와 슬롯 사이, 슬롯과 급전부 사이에 유전체를 동시에 사용하는 경우 제작이 어려운 구조가 된다.

금속도체(외부 하우징)를 사용하여 안테나를 지지함과 동시에 후방방사를 줄이고 이득을 높일 수 있도록 방사체로부터 8.5mm의 간격을 두어 사용하였다.

안테나 설계 및 제작에 사용한 유전체 기판은 TACONIC社의 RF-35TC를 적용하였으며 해당 주파수에 의한 유전체 기판 특성을 설계 시 반영하였다, 유전체 기판의 특성은 다음과 같다<sup>[3]</sup>.

Table 2. Dielectric properties at 10GHz

항목	단위	규격
유전율( $\epsilon_r$ )	-	3.5
Loss Tangent	-	0.0011
두께	mm	0.5

주파수에 의한 RF-35TC 기판의 유전율과 Loss Tangent 값의 변화는 다음 그림에 나타내었으며, 특히 주파수에 따른 유전율의 변화 그래프는 유전율 3.5를 1로 정규화하여 나타내었다.

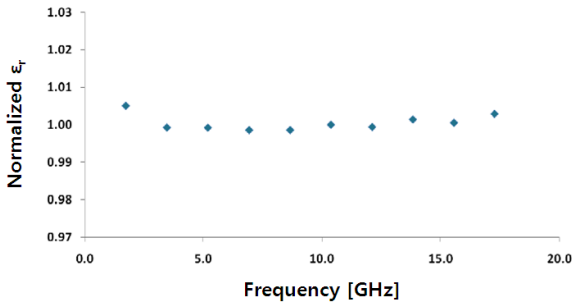


Fig. 6. Normalized εr VS Frequency

Loss Tangent 값은 최소 0.0008에서 최대 0.0012까지 변화하며 적은 손실값을 나타낸다.

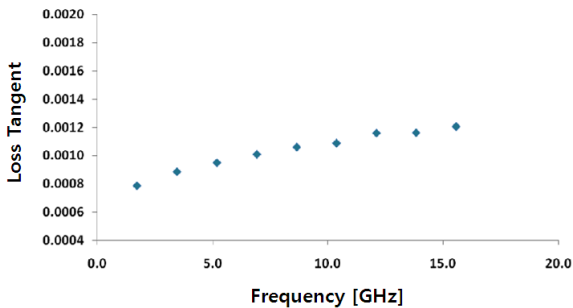


Fig. 7. Loss tangent VS Frequency

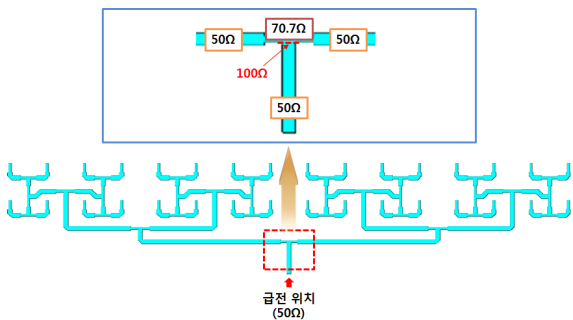


Fig. 8. Structure of power divider

마이크로스트립 안테나의 급전 방법에는 크게 직접 급전 방식과 간접 급전 방식이 사용된다. 직접 급전을

사용하는 경우 급전 선로 간의 커플링 효과와 급전 선로에 형성되는 전류 분포에 의한 방사 때문에 안테나의 특성에 영향을 미친다. 이러한 영향을 최소화하기 위해 제안된 안테나는 간접 급전 방식을 적용하였다. Fig. 8은 간접 급전을 위한 전력 분배기의 형상을 나타낸 그림이다.

전력 분배기는 실수부의 임피던스를 연결하기 위해 구성이 간단한 단일 λ/4 임피던스 변환기 구조를 적용하여 설계하였다<sup>[4]</sup>. λ/4 임피던스 변환기의 라인 임피던스를 구하는 식은 다음과 같다.

$$Z_1 = \sqrt{Z_0 Z_L} \tag{13}$$

Z<sub>1</sub>은 λ/4 임피던스 변환기의 임피던스이며, Z<sub>0</sub>와 Z<sub>L</sub>은 연결하는 라인의 임피던스이다.

급전이 시작되는 부분과 안테나 패치에 커플링 시키는 부분에서의 임피던스는 50Ω으로 고려하여 설계하였다. 급전부에서 두 개의 라인으로 분기되는 부분의 임피던스는 병렬이기 때문에 100Ω이 되고 이 때 50Ω 라인과 연결하기 위해 70.7Ω의 λ/4 임피던스 변환기가 추가된다.

### 2.5 안테나 제작 및 성능 측정 결과

제작된 안테나의 외형은 다음과 같다.

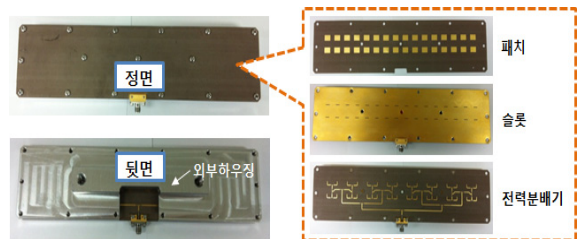


Fig. 9. Fabricated antenna structure

안테나 구조물을 결합하기 위해 기구적으로 볼트 체결 방식을 사용하였다.

패치 기판과 급전부 및 슬롯 기판사이의 간격을 유지하기 위해 외곽 테두리와 동일한 크기의 플랜지를 사용하였다. 안테나 조립 시 틀어짐을 방지하기 위해 안테나 성능 저하 최소화를 고려하여 안테나 패치 면의 중간에 3개의 볼트를 체결하였다. 공기층을 이루고 있는 부분은 외곽에 볼트가 체결되는 부분에 높이가 있는 기구 구조물을 덧대어 사용하였다.

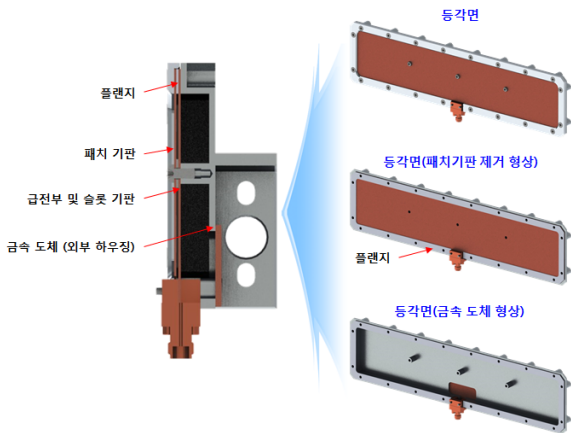


Fig. 10. Antenna structure drawing

안테나의 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교한 그림은 다음과 같다.

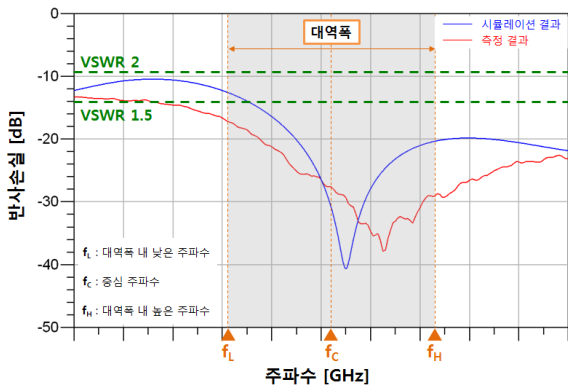


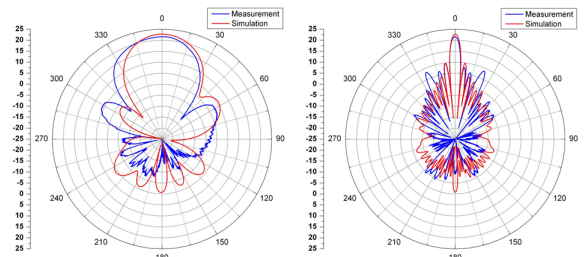
Fig. 11. Return Loss of simulation and measurement results

시뮬레이션은 CST社의 MWS를 이용하여 분석하였다. 중심 주파수의 이동 및 정재파비의 변화는 시뮬레이션 모델링과 실제 제작하였을 때 기구물의 결합에 의해 발생하는 것으로 추정된다. 대역폭 내에서 측정 결과를 기준으로 정재파비 1.5 이하를 만족한다. 배열 소자와 전력 분배기의 임피던스 정합이 양호함을 알 수 있다.

시뮬레이션 및 측정된 안테나의 방사패턴 결과는 Fig. 12와 같다.

분석한 주파수는  $f_L$ ,  $f_C$ ,  $f_H$ 이며,  $f_C$ 는 중심 주파수,  $f_L$ 과  $f_H$ 는 대역폭 내 낮은 주파수와 높은 주파수를 의미한다. 주파수 대역에서 21dBi 이상을 만족하는

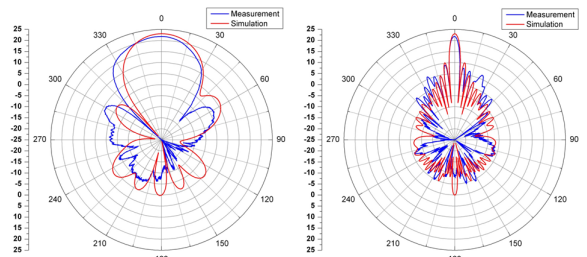
것을 알 수 있다. 16×2 배열 구조에 의해 수직 방향 (Elevation)의 빔폭(E-plane 방사패턴 참조)이 상대적으로 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 대역폭 내의 전체적인 안테나 이득과 H-plane의 부엽레벨이 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 정확히 일치하지 않는 부분은 실제 제작 시 안테나를 구성하고 있는 기구물에 의해 발생하는 결과로 추정된다.



E-plane 방사패턴

H-plane 방사패턴

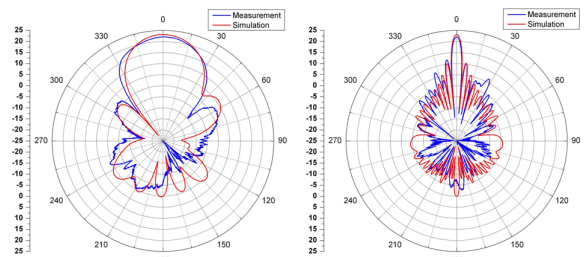
(a) At frequency  $f_L$ (simulation and Measurement)



E-plane 방사패턴

H-plane 방사패턴

(b) At frequency  $f_C$ (simulation and Measurement)



E-plane 방사패턴

H-plane 방사패턴

(c) At frequency  $f_H$ (simulation and Measurement)

Fig. 12. Radiation pattern for each frequency

제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교한 표는 다음과 같다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 제안된 안테나 규격을 만족함을 확인할 수 있다.

Table 3. Comparing simulation and measurement results

항목		시뮬레이션	측정
주파수 대역		Ku 대역	
정재과비		1.53 이하	1.45 이하
이득	$f_L$	22.76 dBi	21.6 dBi
	$f_C$	23.02 dBi	21.8 dBi
	$f_H$	23.12 dBi	22.1 dBi
편파		수직 선형 편파	수직 선형 편파

방사체와 구동부를 포함한 안테나의 전체적인 형상은 다음과 같다.

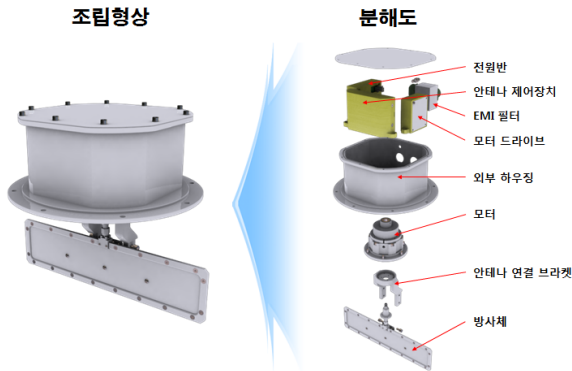


Fig. 13. Assembled antenna structure

제작된 안테나의 크기는  $\phi 250 \times 200 \text{mm}$ 이며, 무게는 3kg 이다. 안테나의 장착부는 원통형으로 무인항공기의 상부와 하부에 모두 장착이 가능한 구조이다.

### 3. 결론

무인 항공기에 장착 시 무게와 장착 면적 등이 제한되기 때문에 소형, 경량 구조의 안테나가 요구된다. 안테나의 구동축을 최소화하여 물리적인 제한점을 극복하고 안테나 방사체를 설계하여 무인 항공기 장착성을 확보하는 안테나 설계방법이 필요하다. 이에 따라 본 논문에서는 안테나의 수평방향으로 1축 회전이 가능하며, 마이크로스트립 배열 구조를 사용하여 소형, 경량화된 안테나 구조를 제시하였다. 장착 구조가 간단하며 고이득의 특성을 갖기 때문에 LOS(Line Of Sight) 통신 환경에서는 원거리의 통달거리를 확보할 수 있기 때문에 충분히 무인 항공기에 적용이 가능한 구조로 판단된다.

### 후 기

본 논문은 국방과학연구소와의 계약 과제를 수행하며 발생된 결과로 보안에 위배되는 세부 내용은 삭제하였습니다.

### References

- [1] Constantine A. Balanis., Antenna Theory 3rd, Wiley-Interscience., A John Wiley & Sons, p. 286, 2005.
- [2] M. Civerolo, "Aperture Coupled Microstrip Antenna Design and Analysis," M.S. Thesis., California Polytechnic State University, 2010.
- [3] TACONIC Microwave & RF Laminates Information (<http://taconic-add.com>)
- [4] David M. Pozar, Microwave Engineering 2nd, A John Wiley & Sons, pp. 271-275, 2005.