

# UAV 탑재레이다형 안테나의 해석

## Antenna Analysis of Airborne Radar for Mounting UAV

이현철\* (한국항공우주연구원), 김인규(한국항공우주연구원)

### 1. 서론

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)에 장착될 충돌회피 레이더 안테나를 설계하기 위해 Parabolic, Cassegrain, Offset-Cassegrain 안테나를 선정하였고 FACE 소프트웨어를 이용하여 이들 안테나의 방사패턴을 비교 검토하였다. 본 논문을 통하여 Parabolic 과 Cassegrain 안테나 방사특성이 충돌회피 레이더의 성능을 만족하고, Parabolic 안테나가 Cassegrain 안테나보다 제작이 간단하여 UAV 장착용으로 더 적합하다는 결론을 보여주고 있다.

### 2. 약어 설명

D : 주반사판의 직경  
F : 주반사판과 feed 사이의 초점거리  
D<sub>s</sub> : 부반사판의 직경  
F<sub>s</sub> : 부반사판과 feed 사이의 초점거리  
D<sub>f</sub> : feed의 직경  
L<sub>f</sub> : feed의 길이  
θ<sub>m</sub> : 반개구각  
θ<sub>s</sub> : feed의 반개구각  
e : 이심률  
G : 안테나의 이득  
ρ : 안테나의 효율  
A : 개구면의 크기

### 3. 안테나 패턴

1종의 Parabolic, 2종의 Cassegrain, 1종의 Offset-Cassegrain 안테나의 안테나 패턴을 EADS(European Aeronautic Defence and Space) 사가 제작한 FACE(안테나 모델링과 시뮬레이션용 S/W)를 사용하여 만들고 각각을 비교

하였다. 이때, 시뮬레이션에 사용되는 안테나 운용주파수는 35GHz(λ=0.85cm)이며, 안테나 이득은 37dBi(D=26cm)[1], 그리고 F/D=0.82를 사용하여 F=21.3cm를 모든 안테나 디자인에 적용하였다. 일반적으로 지향성 안테나의 효율은 ρ=0.55 이므로 안테나 이득 G와 개구면 크기 A, 그리고 빔폭 θ[2],[3]는

$$G = 10 \log (4 \frac{1}{4} \frac{A^2}{\lambda^2}) = 37 \text{ dB} \quad (1)$$

$$A = \frac{1}{4} (0.13)^2 \quad (2)$$

$$\mu = 65, /D = 2.12^\circ \quad (3)$$

#### 3.1 Parabolic 안테나

Parabolic 안테나[4]는 그림 1처럼 반사판과 feed로 구성된다. 이때 feed는 반사판 전면에 위치하여 반사판으로부터 반사되는 신호를 방해하게 된다. feed 이득 13dBi (D<sub>f</sub>=2λ, L<sub>f</sub>=1λ)[5]를 이용하여 Parabolic 안테나의 2차원, 3차원 방사패턴을 시뮬레이션 수행한 결과는 그림 2, 3에서 보여주고 있다.

#### 3.2 Cassegrain 안테나

Cassegrain 안테나[4]는 그림 4에서 보여주듯이 주반사판과 부반사판으로 구성된다. 이 때, 사용하는 feed는 부반사판으로 부터 신호방해를 최소화 시키는 구조를 가지고 있다. Cassegrain 안테나의 feed 이득을 13dBi(D<sub>f</sub>=2λ, L<sub>f</sub>=1λ)[5]로 고정시키고 부반사판과 feed 사이의 거리(F<sub>s</sub>)를 변경하여 안테나 방사패턴의 시뮬레이션을 수행하였다. Cassegrain 안테나의 반개

구각( $\theta_m$ )은 식 (4)에 의해 항상  $34^\circ$  이다.

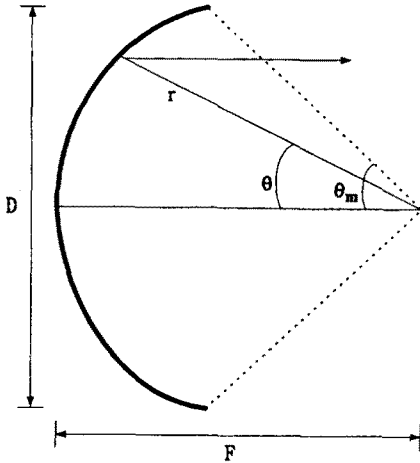


그림 1. Parabolic 안테나의 구성

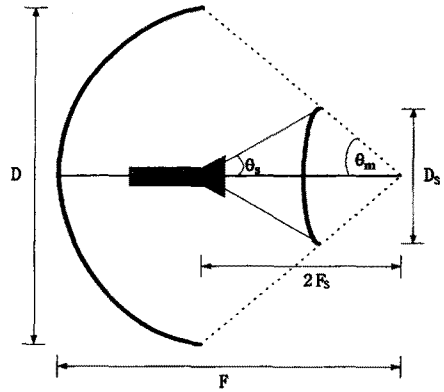


그림 4. Cassegrain 안테나의 구성

### 3.2.1 Cassegrain 안테나 I

부반사판과 feed 사이의 거리( $F_s$ )를 6.0cm로 두고, feed의 반개구각( $\theta_s$ )= $14^\circ$ 로 가정하였을 때 이심률( $e$ )과 부반사판의 직경( $D_s$ )은 각각 아래의 식으로 계산된다.

$$e = \frac{\sin((\mu_m + \mu_s)/2)}{\sin((\mu_m - \mu_s)/2)} = 1.8 \quad (5)$$

$$D_s = \frac{2F_s(e^2 - 1)\sin\mu_s}{e(e \cdot \cos\mu_s - 1)} = 4.3 \text{ cm} \quad (6)$$

이때, Cassegrain 안테나 I의 파라미터를 이용하여 2차원, 3차원 방사패턴은 그림 5, 6에서 보여준다.

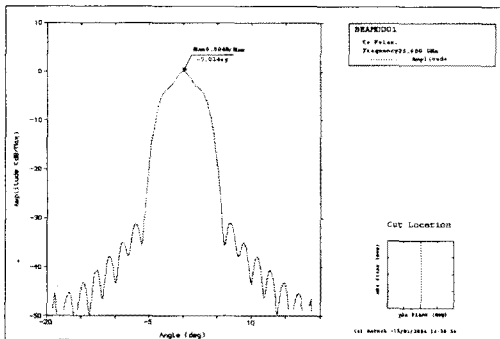


그림 2. Parabolic 안테나 2차원 방사패턴

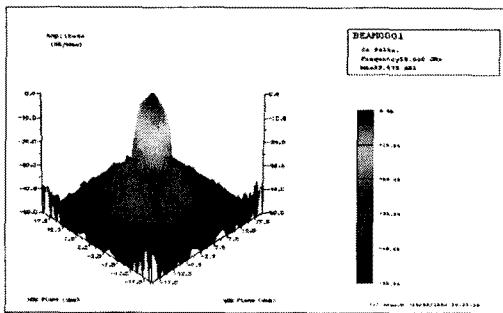


그림 3. Parabolic 안테나 3차원 방사패턴

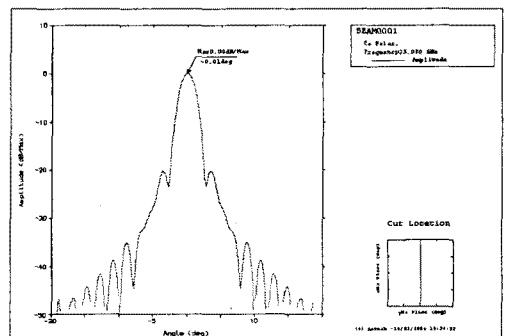


그림 5. Cassegrain I 안테나 2차원 방사패턴

$$\mu_m = 2 \tan^{-1}(D/(4F)) = 34^\circ \quad (4)$$

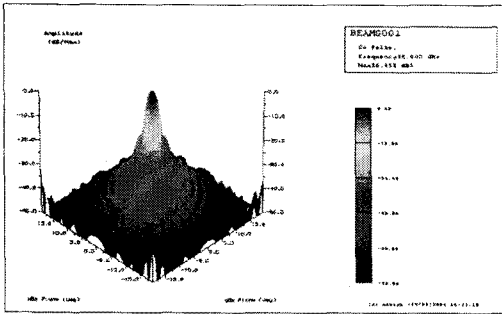


그림 6. Cassegrain I 안테나 3차원 방사패턴

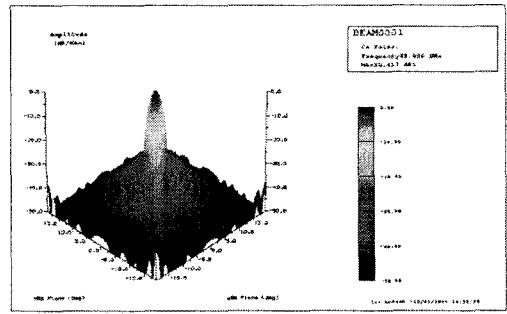


그림 8. Cassegrain II 안테나 3차원 방사패턴

### 3.2.2 Cassegrain 안테나 II

다음은 부반사판과 feed 사이의 거리 ( $F_s$ )=3.5cm, feed의 반개각( $\theta_s$ )=10° 로 가정하였을 때 이심률과 부반사판의 직경은 식(7)과 (8)에 의해서 계산된다.

$$e = \frac{\sin((\mu_m + \mu_s)/2)}{\sin((\mu_m - \mu_s)/2)} = 3.725 \quad (7)$$

$$D_s = \frac{2F_s(e^2 - 1)\sin\mu_s}{e(\epsilon \cdot \cos\mu_s - 1)} = 1.9 \text{ cm} \quad (8)$$

위의 파라미터를 이용한 Cassegrain II 안테나의 2차원과 3차원 방사패턴 시뮬레이션 결과는 그림 7, 8에서 보여준다.

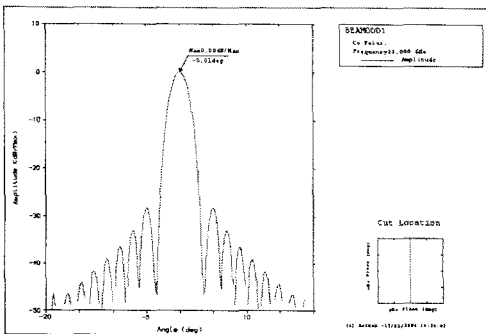


그림 7. Cassegrain II 안테나 2차원 방사패턴

### 3.3 Offset-Cassegrain 안테나

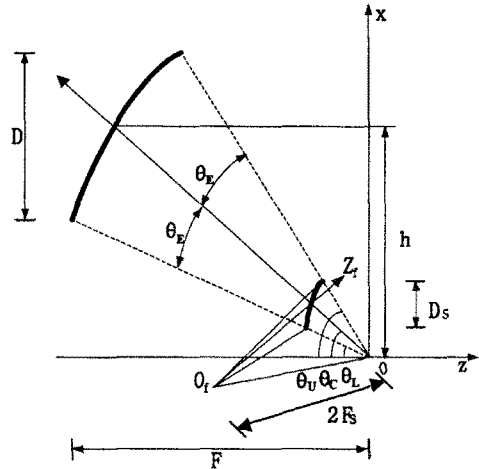


그림 9. Offset-Cassegrain 안테나의 구성

Offset-Cassegrain 안테나의 feed 이득을 18.5 dBi( $D_f=4\lambda$ ,  $L_f=3\lambda$ )[5],  $O_f-Z_f$ 간 거리 = 10.7 cm,  $\theta_c=45^\circ$  로 임의로 가정하고 그림 9처럼 구성하였다. 이것은 부반사판이 주반사판을 통하여 반사되는 전파 방해 없이 하기 위한 것이다.

$h, \theta_U, \theta_L$  값은 각각

$$h = 2 \cdot F \cdot \tan(\mu_c/2) = 17.6 \text{ cm} \quad (9)$$

$$\mu_U = 2 \tan^{-1}\left(\frac{h + D/2}{2F}\right) = 71.46^\circ \quad (10)$$

$$\mu_L = 2 \tan^{-1} \left( \frac{h-D/2}{2F} \right) = 12.44^\circ \quad (11)$$

$$\mu_E = \frac{\mu_U - \mu_L}{2} = 29.51^\circ \quad (12)$$

위의 파라미터를 이용한 Offset-Cassegrain 안테나의 2차원, 3차원 방사패턴 시뮬레이션 결과는 그림 10, 11에서 보여준다.

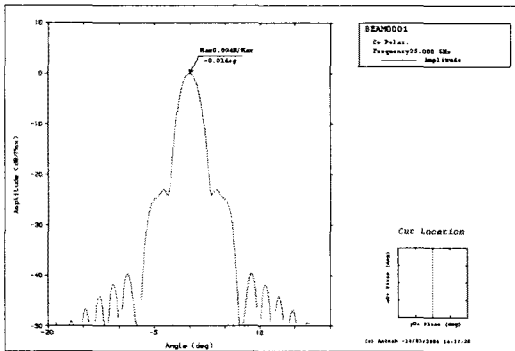


그림 10. Offset-Cassegrain안테나 2차원 방사패턴

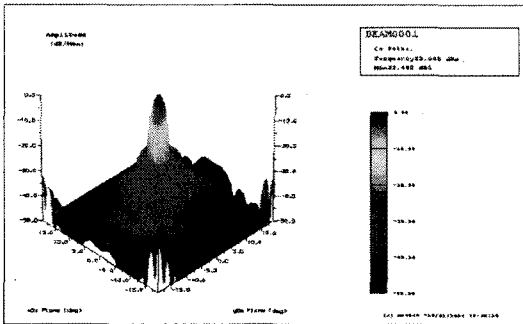


그림 11. Offset-Cassegrain안테나 3차원 방사패턴

#### 4. 안테나 방사패턴 비교검토

모든 주반사판은 D=26cm, 즉 이득 37dBi로 했고, Parabolic과 Cassegrain 안테나의 feed 이득은 13dBi, Offset-Cassegrain 안테나의 feed 이득은 18.5dBi를 사용하였다. 각 안테나 디자인은 표 1에 자세히 나타나 있으며 그 sidelobe의 크기로 각 안테나성능의 우열을 비교하였다. 길

이 단위는 cm, 안테나 이득의 단위는 dBi이다.

Offset-Cassegrain 안테나는 sidelobe가 다른 안테나에 비해서 크고 UAV 장착용으로 구현하기가 힘들다. 또한 feed 이득이 커도 방사특성이 좋지 않다. Cassegrain 안테나 II에서 처럼 주반사판 직경이 작아도 F<sub>s</sub>가 짧으면 F<sub>s</sub>가 긴 Cassegrain 안테나 I보다 sidelobe가 작고 더 좋은 패턴을 보인다는 것을 알 수 있다. 반면, Parabolic과 Cassegrain 안테나 중에서는 Parabolic 안테나의 방사특성이 Cassegrain 안테나에 비해서 더 우수한 것을 시뮬레이션을 통하여 볼 수 있다.

위성통신 즉 직경이 큰 (직경 1m 이상) 안테나를 제작 한다면 sidelobe가 작고 주 반사판에 가리는 부분이 작으며 지표면에 난반사되는 파형이 없는 Cassegrain 안테나[4]를 사용하면 훨씬 더 유리하나 UAV와 같은 작은 공간에는 크기가 작고 안테나 방사패턴이 좋은 Parabolic 안테나가 더 적합하다는 것을 알 수 있었다.

표 1. 각 안테나의 디자인 수치 및 Sidelobe 비교

안테나	feed		feed gain	sub		main		main gain	Sidelobe
	D <sub>f</sub>	L <sub>f</sub>		D <sub>s</sub>	F <sub>s</sub>	D	F		
Parabolic	1.7	0.85	13	-	-	26	21.3	37	-31
Cassegrain	1.7	0.85	13	4.3	6.0	26	21.3	37	-20
				1.9	3.5				-28
Offset-Cassegrain	3.4	2.6	18.5	-	10.7	26	21.3	37	-23

#### 5. 결론

Parabolic 1 종, Cassegrain 2종, Offset-Cassegrain 1종의 안테나를 디자인하고 35GHz에서 서로의 안테나 패턴을 비교하였다. 결론적으로 UAV처럼 제한된 장착조건인 직경 26cm 정도에서는 Cassegrain 안테나 보다는 Parabolic 안테나가 적당하고 위성통신 등 큰 안테나가 필요 시는 Cassegrain 안테나가 유리를 알 수 있었다.

## 후기

이 논문은 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 뉴 프론티어 연구사업 (스마트무인기기술개발)의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1]Young G. Kwak and others, "Radar Sensor System Concept for Collision Avoidance of Smart UAV," in *Proceedings of the 2003 KSAS Fall Conference*, 2003, pp. 366-369.
- [2]Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems 3rd ed.*, New York: Mcgraw-Hill, 2001.
- [3]Bassem R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design using Matlab*, Florida: CRC Press, 2000.
- [4]최병하, *안테나공학*. 키출판사, 1988.
- [5]Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design, 2nd ed.*, New York: Wiley, 1997.