

## 밀리미터파 다중개구각 혼안테나 구현

### Implementation of A Millimeter-Wave Multiflare-Angle Horn Antenna

오경현 · 김지형 · 양승식 · 신상진\* · 조영호\* · 이병열\*\* · 안병철\*\*\*

Kyung-Hyun Oh · Ji-Hyung Kim · Seung-Sik Yang · Sang-Jin Shin\* · Young-Ho Cho\* ·  
Byung-Ryul Lee\*\* · Bierng-Chearl Ahn\*\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 밀리미터파(W 대역) 다중개구각 혼안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 전계면 및 자계면 빔폭이 동일한 다중모드 이중편파 정사각형 혼으로서 다중모드 생성부, 4개의 정사각형 도파관 여기부, 합패턴 형성을 위한 직교모드 변환기와 전력결합기로 구성된다. 제작이 용이하도록 안테나 구조를 설계하고, 층별 기계가공과 확산접합 기법을 적용하여  $\pm 0.02$  mm 오차 이내로 제작하였다. 회로망분석기와 원전계 측정시설을 이용하여 제작된 안테나의 입력 반사계수와 방사패턴을 측정하였다. 측정 결과, 제안한 안테나는 중심 주파수를 기준으로 1 GHz 이내에서 17.7~18.3 dBi의 이득, 25.2~28.5°의 빔폭, 1.02~1.75의 입력 VSWR 특성을 가짐을 확인하였다.

#### Abstract

This paper presents an implementation of a millimeter-wave(W band) multiflare-angle horn antenna. The proposed antenna is a multimode dual-polarized square horn having equal E- and H-plane beamwidths and consists of a multimode generating section, a four-square-waveguide exciter, orthomode transducers, and power combiners for the sum pattern formation. The antenna structure has been designed to allow for easy fabrication and the designed antenna has been fabricated to a precision of  $\pm 0.02$  mm by layer-by-layer machining and diffusion bonding. The input reflection coefficient and the radiation pattern of the fabricated antenna have been measured using a network analyzer and a far-field test facility. Measurements show that the proposed antenna has 17.7~18.3 dBi gain, 25.2~28.5° beamwidth, and an input VSWR between 1.02~1.75, within  $\pm 0.5$  GHz from the center frequency.

Key words: Millimeter Wave, Multiflare-Angle Horn, Diffusion Bonding, Precision Machining

#### I. 서 론

밀리미터파(W 대역, 75~110 GHz)은 Ka 대역과 더불어 마이크로파 대역(3~300 GHz) 중 밀리미터 단위의 파

장을 갖는 주파수 대역으로, 밀리미터 대역에서 구현한 안테나는 X/Ku 대역에 비해 파장이 짧아 해상도가 높고 동일한 공간에서 구현할 때 높은 지향성 이득성능을 만족할 수 있다. 또한, 시계 100 m 안개의 경우에 의한 밀

한화시스템(Hanwha Sysmtems)

\*방위산업기술지원센터 지휘정찰기술팀(C4ISR Technical Team, Defense Industry Technology Center),

\*\*광운대학교 방위사업학과 (Department of Defense Program, Kwangwoon University)

\*\*\*충북대학교 전파공학과 (Department of Radio and Communications Engineering, Chungbuk National University)

· Manuscript received October, 16, 2017 ; Revised December, 6, 2017 ; Accepted December, 15, 2017. (ID No. 20171016-109)

· Corresponding Author: Bierng-Chearl Ahn (e-mail: bician@cbu.ac.kr)

리미터파(W 대역)의 감쇄(0.4 dB/km)는 적외선, 가시광선(100 dB/km)에 비해 우수하여<sup>[1]</sup>, 전천후 환경에서 고해상도로 운용해야 하는 경우 우수성이 부각되고 있다<sup>[1]</sup>. 하지만, 제작기술 측면에서 고려할 경우, X 및 Ku 대역에 적용하던 가공 및 접합기술은 밀리미터파(W 대역) 안테나 제작에 적용할 경우 한계가 있다. 가공기술 측면에서 고려하면, 일반적인 W 대역 표준도파관 WR-10은 크기가  $2.54 \times 1.27 \text{ mm}^2$ 으로, X 및 Ku 대역에서 정밀가공 수준인  $\pm 0.05 \text{ mm}$  오차로 가공할 경우 손실이 매우 커지게 된다. 최근 가공기술은 가공기기의 성능(회전속도, 엔드밀 재질 등)에 따라 밀리미터파(W 대역)에서의 손실 성능이 분석되고, 5축 가공기기의 보급이 일반화되면서 밀리미터파(W 대역)에 적용 가능한 수준으로 발전하는 추세이다<sup>[2]</sup>.

안테나 제작에 적용할 수 있는 접합기술은 모재는 고체 상태로 유지하고 삽입금속을 접합면에 반영하여, 액화시켜 접합하는 브레이징 방식과, 진공상태에서 접합 대상체간에 용융 직전까지 고온 및 고압을 인가하여 고체 상태에서 접합을 유도하는 확산접합 방식이 있다<sup>[3]</sup>. 이외에, 제작하려는 구조의 내부를 가공하고, 전기도금(재질: 동, 금)하는 전기성형(electroforming) 방식이 있는데, 기존에 W 대역 안테나는 전기성형 방식으로 제작된 바 있다<sup>[4]</sup>. 확산접합에서는 용접이나 브레이징과는 달리 용접재료가 사용되지 않고, 고체 상태의 금속 접합면이 고온 고압 상태로 장시간 유지됨으로써 접합면을 가로 지르는 원자의 확산에 의해 면이 접합되기 때문에 접합면이 흔적 없이 정밀하게 접합된다. 최근 가공 및 접합 기술의 발달로 확산접합이 적용되는 추세이다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 이중편파에서 모노펄스 채널이 형성됨을 확인한 다중개구각 혼와 직교모드 변환기 구조<sup>[6]</sup>에 편파별 전력결합기를 반영하여 이중편파 혼안테나를 설계하고, 정밀가공 및 확산접합 공정으로 제작하여, 합채널 복사패턴이 참고문헌 [6]과 같이 형성됨을 시험을 통하여 확인하고, 제시한 공정이 W 대역 안테나 제작에 적용 가능함을 확인하였다.

## II. W-대역 다중개구각 혼안테나 설계

밀리미터파(W 대역) 안테나는 전계면과 자계면 복사패턴의 차이를 최소화한 다중개구각 혼안테나 구조로 설

계하였다. 즉, 개구각은 2단계로 부여하여 고차모드를 형성하고, 각 개구각별로 직선 도파관 구조를 반영하여 모드간의 위상을 정합하고, 전계면과 자계면 복사패턴의 3 dB 빔폭 차이가  $3^\circ$  내외로 형성되도록 설계하였다<sup>[6]</sup>. 혼안테나의 입력단은 그림 1과 같이 4개의 T 접합 직교모드 변환기를 배치하여 편파별 신호를 분리하고<sup>[6]</sup>, H-plane 전력결합기 2개와 E-plane 전력결합기 1 개를 연결하여 편파별 전력결합기를 설계하고, 이중편파를 송신하는 혼안테나를 설계하였다.

동작 주파수 내에서 혼 안테나 입력 정사각형 포트에서의 반사계수가 -18 dB 이하, 직교모드 변환기와 전력결합기 각 포트에서의 반사계수가 모두 -25 dB 이하, 직교모드 변환기의 편파 분리도가 35 dB 이상이 되게 설계한 후 각각을 결합하였다.

설계한 다중개구각 혼안테나는 W 대역의 중심주파수에서 1%의 대역폭을 기준으로 각 편파에 따라 2 개의 입력포트에서 모두 VSWR 2.0:1 이하, 이득 및 빔폭은 주파수 대역에서 17.0 dBi 이상, 3 dB 빔폭은  $25 \sim 28^\circ$ 를 목표로 설계하고, CST사의 microwave studio를 적용하여 확인

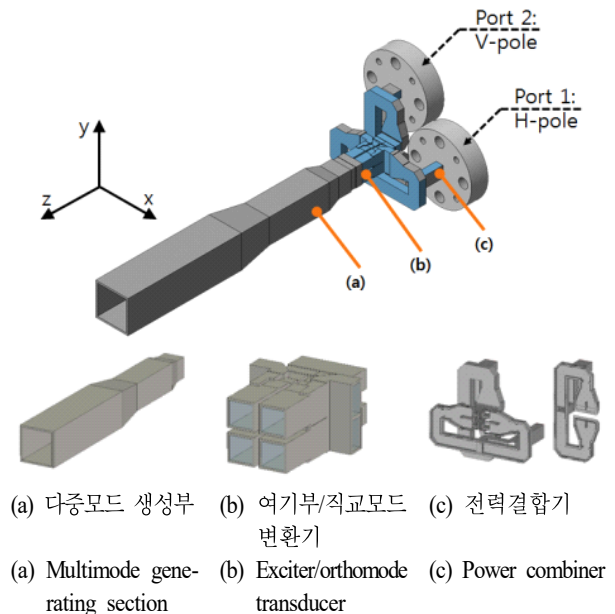


그림 1. 제안된 다중개구각 혼안테나 구조

Fig. 1. Structure of the proposed multi-flare angle horn antenna.

한 결과, VSWR은 1.8:1 이하, 이득 및 빔폭은 주파수 대역에서 17.5 dBi 이상, 3 dB 빔폭은 25~28°를 나타내었다.

### III. 제작 및 시험 결과

#### 3-1 제작 결과

설계한 안테나는 다중개구각 혼안테나와 직교모드 변환기 및 편파별 전력결합기를 배치한 구조로 도파관 구조(직교모드 변환기 + 편파별 전력결합기)의 가공 및 제작이 용이하지 않다. 이에 따라 제작성을 고려하여 그림 2와 같이 전체 구조를 20층으로 분할설계하고, 알루미늄(Al 6061)을 적용하여 혼안테나 구조는 wire-cutting으로, 복잡한 도파관 구조는 endmill로 가공하였으며, 접합경계면은 확산접합시 요구하는 우수한 조도를 만족하기 위하여 facemill로 가공하였고, 가공 치수를 측정된 결과 20층 전체의 가공오차가  $\pm 0.02$  mm 이내임을 확인하였다. 접합공정은 확산접합 공정을 적용하였으며, 후가공을 수행하여 제작하였으며, 제작한 안테나의 크기는  $62 \times 62 \times 92$  mm<sup>3</sup>이다. 제작한 안테나의 접합품질(기포 및 정렬 상태)은 비파괴검사(X-선 전산화단층 사진)를 통하여 이상이 없음을 확인하였다.

#### 3-2 시험 결과

제작된 다중개구각 혼안테나의 성능을 검증하기 위해

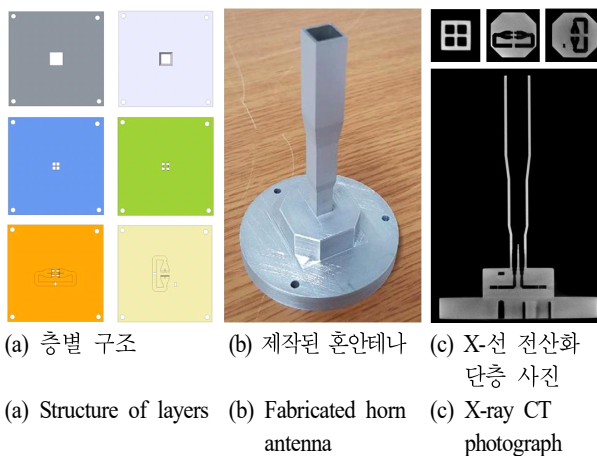


그림 2. 제작된 다중개구각 혼안테나  
Fig. 2. Fabricated multi-flare angle horn antenna.

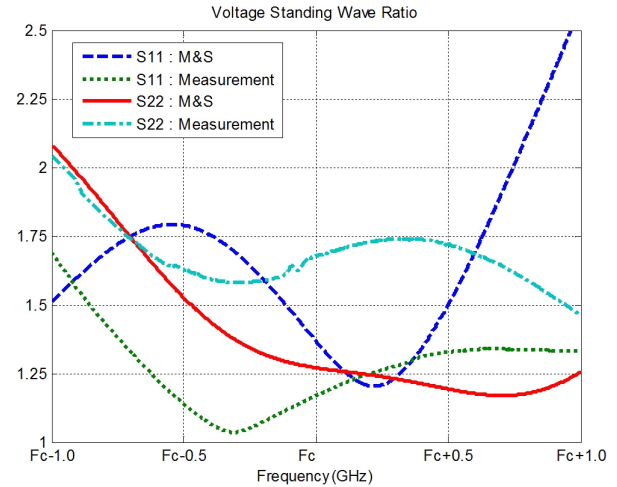
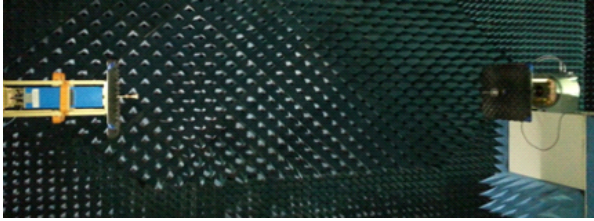


그림 3. 측정된 전압정재파비  
Fig. 3. Measured voltage standing wave ratio.

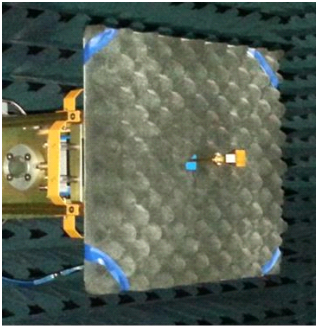
안테나의 VSWR과 복사패턴을 전자파기술원에서 측정하였다. 그림 3에 VSWR의 측정 결과를 도시하였다. 수평 채널(포트 1), 수직 채널(포트 2)의 측정 결과가 설계 기준인 VSWR 1.75:1 이하를 충족하는 것을 확인하였다. 설계 결과와 시험 결과에서 차이가 발생한 이유는 가공오차를  $\pm 0.02$  mm 수준으로 관리하였기 때문으로 사료된다. 향후 복잡한 안테나 구조(예, 이중편파 모노폴스 혼안테나 등)를 제작할 경우, 가공오차를  $\pm 0.01$  mm 수준으로 관리하여야 VSWR에 대한 설계 성능과 유사한 결과를 보일 것으로 예상된다.

그림 4에 복사패턴 시험 셋업을 도시하였다. 근접전계 방식은 이득 25 dB 이상의 고지향성 안테나 측정에 적합한데, 설계한 안테나는 개구면 최대이득이 20 dB 미만, 3 dB 빔폭이 20° 이상이므로 원전계 방식으로 측정하였고, 복사패턴 측정 결과를 표 1에 제시하였다.

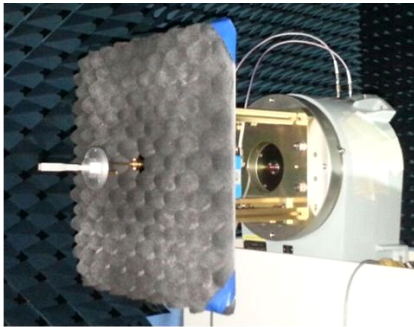
주파수 대역 내에서 M&S 결과와 측정 결과가 일치하는 것을 확인할 수 있다. 안테나의 이득은 대역 내에서 17.7 dBi 이상, 3 dB 빔폭은 자계면( $\phi = 0^\circ$ ) 25.2~26.8°, 전계면( $\phi = 90^\circ$ ) 26.1~28.5°를 만족한다. 부엽준위는 모두 -20 dB 이하(자계면 -22 dB, 전계면 -28 dB)를 만족한다. 그림 5와 그림 6에 수평편파의 정규화된 안테나 복사패턴을 도시하였으며, 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 일치함을 확인하였다.



(a) 원전계 시험셋업(전자과학기술원)  
(a) Far-field test setup(EMTI)



(b) 표준이득 혼안테나  
(b) Standard-gain horn antenna



(c) 다중개구각 혼안테나  
(c) Multiflare-angle horn antenna

그림 4. 복사패턴 측정 사진  
Fig. 4. Photograph of radiation pattern measurement.

표 1. 안테나 성능시험 결과  
Table 1. Antenna performance test result.

Freq. (GHz)	Gain (dBi)	Port 1(3 dB BW)		Port 2(3 dB BW)	
		$\phi = 0^\circ$	$\phi = 90^\circ$	$\phi = 0^\circ$	$\phi = 90^\circ$
Fc-0.5	18.3	25.6	26.7	25.2	26.2
Fc	18.1	26.2	27.2	25.8	27.0
Fc+0.5	17.7	26.8	28.5	26.7	28.0

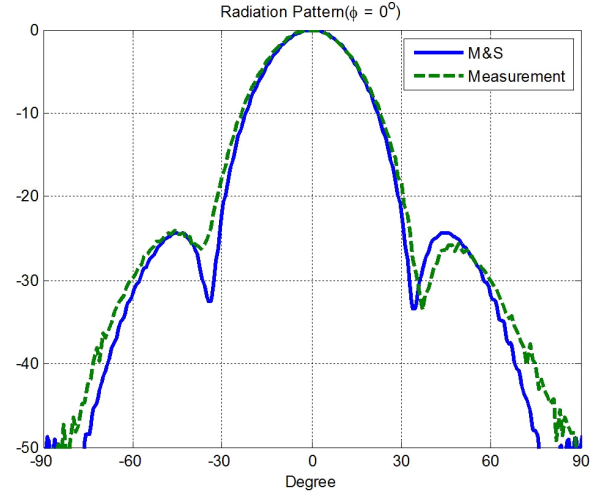


그림 5. 측정된 전계면 복사패턴(포트 1, H pol.,  $\phi = 0^\circ$ )  
Fig. 5. Measured E-plane radiation pattern(port 1, H pol.,  $\phi = 0^\circ$ ).

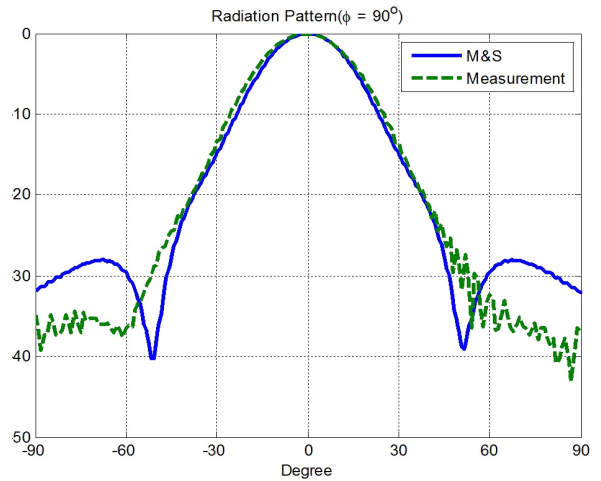


그림 6. 측정된 자계면 복사패턴 (포트 1, H pol.,  $\phi = 90^\circ$ )  
Fig. 6. Measured H-plane radiation pattern(port 1, H pol.,  $\phi = 90^\circ$ ).

#### IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 대역(W 대역)의 다중개구각 급전혼을 설계하고, 안테나의 성능을 확인할 수 있도록 2x2 T 접합 직교모드 변환기와 전력결합기를 배치하여 이중편파 혼안테나를 설계하였으며, 정밀가공 및 확산 접합으로 제작하였다. 안테나의 VSWR과 복사패턴 설계

결과가 시험 결과와 성능이 일치함을 확인하였으며, 개선된 가공기술과 정밀접합 기술을 반영함으로써 밀리미터파 대역(W 대역) 안테나 제작에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

향후에는 밀리미터파(W 대역) 이중편파 모노펄스 혼안테나를 설계하고, 동일한 방식(정밀가공 및 확산접합)으로 제작하여, 편파별 모노펄스 채널의 VSWR 및 복사패턴 성능을 확인할 예정이다.

## References

- [1] H. U. Doehler, T. Lueken, and R. Lantzs, - "ALLFlight - A full scale enhanced and synthetic vision sensor suite for helicopter applications," in *Proceedings Volume 7328, Enhanced and Synthetic Vision 2009*, Orlando, May 2009, vol. 7328, p. 73280F.
- [2] I. Stil, A. L. Fontana, B. Lefranc, A. Navarrini, P. Serres,

and K. F. Schuster, "Loss of WR10 waveguide across 70~116 GHz," in *22nd International Symposium on Space Terahertz Technology*, Tokyo, Apr. 2012.

- [3] 나영상, 염종택, 박노광, "첨단소재 고상접합 기술 개발 현황," *기계와 재료*, 14(1), pp. 79-87, 2002.
- [4] 손태호, 한석태, "85~115 GHz 전파망원경용 컬러게이트 급전 혼 제작," *한국전자과학회논문지*, 19(6), pp. 640-646, 2008년 6월.
- [5] J. Hirokawa, M. Zhang, and M. Ando, "94 GHz fabrication of a slotted waveguide array antenna by diffusion bonding of laminated thin plates," in *2009 IEEE Sensors*, Christchurch, 2009, pp. 907-911.
- [6] 오경현, 김지형, 양승식, 신상진, 조영호, "이중편파 다중개구각 혼안테나 설계," *한국군사과학기술학회 종합학술대회*, pp. 457-458, 2017년 6월.

## 오 경 현



1998년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
 2010년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1998년 1월~2015년 6월: 삼성탈레스(주) 수석연구원  
 2015년 7월~2016년 9월: 한화탈레스(주)

수석연구원

2016년 9월~현재: 한화시스템(주) 수석연구원  
 [주 관심분야] 안테나 시스템, 밀리미터파 안테나

## 김 지 형



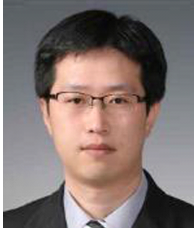
2009년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학사)  
 2016년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학박사)  
 2016년 3월~2016년 9월: 한화탈레스 전문연구원  
 2016년 9월~현재: 한화시스템 레이더 PGM

연구소 전문연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 레이더 전자파해석



## 양 승 식



2003년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2005년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
2009년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)  
2009년 8월~2015년 6월: 삼성탈레스(주)

전문연구원

2015년 7월~2016년 9월: 한화탈레스(주) 전문연구원

2016년 9월~현재: 한화시스템(주) 전문연구원

[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, 레이더 시스템

## 이 병 열



1984년~1988년: 공군사관학교 기계공학과 (공학사)  
1997년~1999년: 국방대학교 무기체계학과 (이학사)  
2015년~2016년: 방위사업청 잠수함사업팀장  
2017년~현재: 광운대학교 방위사업학과 박

사과정 재학

2017년~현재: 방위산업기술지원센터 지휘정찰기술팀장

[주 관심분야] 레이더·탐색기 시스템 설계

## 신 상 진



1989년~1995년: 한양대학교 제어계측공학과 (공학사)  
1996년~1998년: 한양대학교 제어계측공학과 유도제어연구실 (공학석사)  
1998년~2002년: 한양대학교 제어계측공학과 유도제어연구실 (공학박사)  
2003년~2004년: K1 기술연구소 선임연구

원

2005년~2013년: 국방과학연구소 선임연구원

2014년~현재: 방위산업기술지원센터(국방과학연구소 부설) 책임연구원

[주 관심분야] 표적 추적필터, 레이더 신호처리 알고리즘, 레이더 파형 및 시스템 설계

## 안 병 철



1981년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
1983년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)  
1992년 12월 : University of Mississippi 전기전자공학과 (공학박사)  
1983년~1986년: (주) 금성정밀 주임연구

원

1992년~1994년: 국방과학연구소 선임연구원

1995년~현재: 충북대학교 전파통신공학과 교수

[주 관심분야] 전자파 응용, 안테나

## 조 영 호



2001~2005: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
2005~2012: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)  
2013~2014: UC San Diego ECE 박사후연구원  
2015~현재: 방위산업기술지원센터(국방과

학연구소 부설) 선임연구원

[주 관심분야] 안테나 및 RF 필터, 레이더용 송수신기