

교차 다이폴 소자 여기에 의한 다층 원형 도체 배열 구조의 구형 빔 패턴 형성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Shaping Flat-Topped Element Patterns of a Multi-layered Disk Array Structure Excited by Cross-Dipole Elements

엄 순 영 · 박 한 규*

Soon-Young Eom · Han-Kyu Park*

요 약

본 논문에서는 원형 편파의 구형 빔 패턴을 효율적으로 형성하기 위하여 교차 다이폴 소자로 여기되는 다층 원형 도체 배열 구조(MDAS)를 제안하였다. 다이폴 방사 소자 여기에 의한 MDAS는 전체 배열 안테나의 부피 및 무게를 줄일 수 있는 장점이 있으므로 비교적 낮은 주파수 대역 응용에 적합하다. 이러한 구조의 유효성을 검증하기 위하여 X 대역(7.9~8.4 GHz)에서 동작하는 MDAS 시제품을 제작하였으며, 설계 변수들은 설계 경험을 바탕으로 실험적으로 최적화하였다. 실험 결과는 교차 다이폴 소자에 의한 MDAS가 최소한 6.1 % 대역폭 내에서 $\pm 20^\circ$ 의 양호한 구형 빔 패턴을 형성함을 보여주었다.

Abstract

In this paper, a multi-layered metallic disk array structure(MDAS) excited by cross-dipole elements was proposed for efficiently shaping of flat-topped element patterns(FTEP) with circular polarization. The MDAS excited by cross-dipole elements has advantages to decrease in volume and weight of an overall array antenna and so, it is appropriate for the FTEP applications of a relatively low frequency band. In order to verify the effectness of this structure, the MDAS breadboard operated at X-band(7.9~8.4 GHz) was fabricated, and its design parameters were experimentally optimized on the basis of the previous design experience. The experimental results were shown that the MDAS could shape good FTEPs of $\pm 20^\circ$ beam width at least within a 6.1 % frequency band.

Key words : Array Antenna, Flat-topped Element Pattern, Multi-layered Disk Array Structure

I. 서 론

위상 제어 소자는 위상배열 안테나 시스템 개발에 있어서 가장 중요하고 비싼 부품으로 위상 제어 소자 수는 안테나 배열 이득, 사이드로브 레벨, 섹터 빔 스캔 요구 규격에 의존한다. 안테나 배열 이득, 사이드 로브 레벨 규격은 배열 개구면 모양이나 크

기를 결정하는데 사용되며, 섹터 빔 스캔 규격은 배열 소자 간격을 결정하는데 사용된다^[1]. 광범위 빔 스캐닝을 위한 배열 설계에 사용되던 종래의 일반적인 방법(conventional method)은 배열 인자에 의한 그레이팅 로브가 실공간(real space)에 존재하지 않도록 하는 최대 배열 소자 간격을 결정하는 반면에 상대적으로 작은 빔 스캐닝 범위 $\pm 5^\circ \sim \pm 25^\circ$ 를

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

*연세대학교 전기전자공학과(School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ.)

· 논문 번호 : 20030320-044

· 수정완료일자 : 2003년 5월 7일

갖는 구형 빔 패턴(Flat-topped Element Pattern : FTEP) 기술^[2]은 배열 인자에 의한 그레이팅 로브가 가시 영역(visible region)에 존재하도록 최대 배열 간격을 선택하며, 또한 FTEP의 사이드 로브 특성에 의해 그레이팅 로브를 억압하는 특징을 갖는다. 이와 같이 종래의 일반적인 방법과 비교하여 배열 소자간 간격이 상대적으로 증가되어 위상 제어 소자수를 최소로 할 수 있다. 한 예로서, $\pm 20^\circ$ 의 원추형 빔 스캐닝을 요구하는 위상배열 설계에서 FTEP 기술을 사용할 경우 일반적인 방법에 비해 1/11배의 위상제어 소자수가 감소할 수 있다. 요구되는 스캐닝 범위내에서 FTEP를 형성하기 위해서는 배열 개구면 진폭 분포 특성이 겹쳐진 부배열(overlapped subarray) 특성을 가져야 하며, 또한 1차원 배열의 경우 $\sin(x)/x$, 이차원 배열의 경우 $\{\sin(x)/x\} \{\sin(y)/y\}$, 삼차원 배열의 경우 $J_1(x)/x$ 을 갖도록 해야 한다. 이와 같은 배열 특성을 얻기 위한 방법으로 수동 다단자 망을 이용한 배열 구조, 결합 이중 모드 도파관을 이용한 배열 구조, 수동 반동 부하 소자 배열 구조, 유사 광학망을 이용한 배열 구조, 돌출 유전체 막대를 이용한 배열 구조 그리고 최근에 발표되고 있는 다층 원형 도체 배열 구조(Multi-layered metallic Disk Array Structure: MDAS)^{[3]-[5]}가 있다. 이 중에서 MDAS 구조는 기존 FTEP 구조들에 비하여 자유 공간상에서의 방사 소자들간의 자연스런 상호 결합 특성을 이용하여 원하는 전류 분포를 형성하므로 고효율, 소형, 경량, 저가의 안테나 시스템을 구현할 수 있다^{[4],[5]}. 본 논문에서는 MDAS의 효율적인 새로운 급전 구조로서 교차 다이폴 소자에 의한 급전 구조를 제안하고, X 대역 MDAS 시제품을 제작하여 최적화 설계 변수들에 대하여 실험적 연구를 수행하였다. 이러한 급전 구조는 원형 도파관 급전 구조에 비하여 X 대역 응용에서는 상대적으로 작은 부피 및 무게를 제공하는 장점이 있다.

II. 교차 다이폴 소자 여기에 의한 MDAS

원형 편파의 FTEP를 형성하기 위해 제안된 교차 다이폴 소자를 급전 소자로 사용하는 MDAS는 그림 1과 같다. 그림 1에서 보는 바와 같이 격자 배열

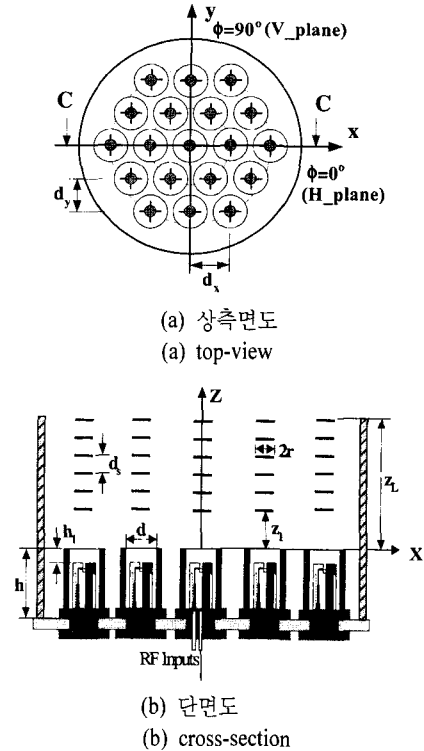


그림 1. 교차 다이폴 소자 여기에 의한 MDAS
Fig. 1. MDAS excited by cross-dipole elements.

구조는 원추형 빔 스캐닝에 적합한 정육각형 격자 배열 구조를 이루며, 이러한 배열 구조는 상대적으로 그레이팅 로브가 작고, 위상 제어 소자 수가 적게 요구되며, 주어진 소자 간격에서 최대 소자 이득을 얻을 수 있다.

그림 1의 MDAS는 직경 d , 길이 h 인 방사 원형 도파관 배열과 그 위에 직경 $2r$ 인 원형 도체(일반적으로 직경은 서로 다름) 배열들을 일정한 간격 d_s 로 유한하게 $+z$ 의 전파 진행 방향으로 적층하며, 각 방사 원형 도파관 내부에 교차 다이폴 소자를 포함한다. 그러므로, MDAS의 각 방사 소자는 교차 다이폴 소자, 다중 모드(multi-mode) 방사 원형 도파관 그리고 다층 원형 도체 배열로 구성된다. 다층 원형 도체 배열로 원형 편파 신호의 방사는 방사 원형 도파관내의 교차 다이폴 소자에 의해 이루어진다. 그림 2는 교차 다이폴 소자의 삼차원 구조를 보여준다. 이를 위해 교차 다이폴 소자는 두개의 다이폴 소자가 서로 직각으로 교차하며, 그곳으로의 인가 전력은 위상차가 90° 인 두개의 입력 신호에 의해 이루

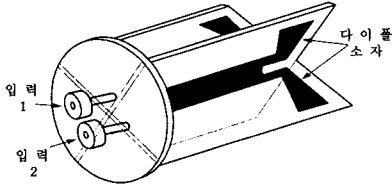


그림 2. 교차 다이폴 소자의 삼차원 구조
Fig. 2. 3-D structure of cross-dipole elements.

어진다. 위상차가 90°인 두개의 신호 발생은 90° 브랜치라인 하이브리드 소자에 의해 쉽게 얻을 수 있다. 단위 FTEP를 얻기 위해서는 중심 능동 방사 소자로만 여기되고 나머지 주변의 모든 수동 방사 소자들은 임피던스 정합 부하를 사용하여 종단된다. 그리고, 중심에 있는 교차 다이폴 소자와 하이브리드 소자와는 동축 커넥터를 사용하여 연결된다.

그림 1의 MDAS의 FTEP형성을 위한 동작 메커니즘을 요약하면 다음과 같다. X 대역 입력 신호가 하이브리드 소자의 한 입력 단자로 인가되면, 두 개의 동일한 진폭 및 90° 위상차를 갖는 두 신호를 출력한다. 이때, 다른 한 입력 단자는 50 Ω 종단된다. 그리고, 이러한 출력들은 교차 다이폴 소자의 두 마이크로스트립 단자들로 입력되며, 이러한 교차 다이폴 소자는 방사 원형 도파관을 통하여 다중 원형 도체 배열 구조로 원형 편파 신호를 방사한다.

표 1은 교차 다이폴 소자 여기에 의한 MDAS의 설계 규격을 보여준다.

표 1. 교차 다이폴 소자 여기에 의한 MDAS의 설계 규격
Table 1. Design Specification of MDAS excited by cross-dipole elements.

항 목	설계 규격
동작 주파수 대역	7.9~8.4 GHz
편파	원형편파
격자 배열 구조	정육각형
방사소자간 간격	41.2 mm(≈1.12 λ ₀)
구형 빔 패턴 폭	±20°
빔 스캐너 이득 손실(열화)	2.0 dB 이하
그레이팅 로브 레벨	12 dBc 이상
단위 소자 이득	7 dBi 이상
입력 반사손실	14 dB 이상
교차 편파 레벨 @ 정방향	15 dBc 이상

Ⅲ. X 대역 MDAS 시제품 제작

X 대역 MDAS 실험 시제품의 설계 변수들은 표 1의 설계 규격을 바탕으로 기존의 설계 경험과 데이터^{[3]-[5]}를 바탕으로 실험적 연구를 통해 최적화되었다. X 대역 실험 시제품은 그림 1(a)에서와 같이 19개의 방사 소자를 포함하는 배열 구조로 제작하였다. 이것은 중심 능동 소자(active element)에 의한 단위 소자 패턴은 근사적으로 주변의 두번째 및 세번째 링 수동 소자들(passive elements) 까지만 해당 단위 소자 패턴에 영향을 준다는 사실에 바탕을 둔 것^[3]으로 좀 더 부연하여 설명하면, FTEP 형성에는 중심 능동 방사 소자 및 첫번째 링 수동 방사 소자들이 상위적으로 영향을 주고 두번째 링 방사 소자들 부터는 상대적으로 패턴 형성에 약하게 영향을 준다. 실제적으로, 제안된 MDAS가 위상 배열 안테나 시스템에 응용될 경우에는 전체 개구면의 크기에 따라 두번째, 세번째는 물론 네번째, 다섯번째 링 방사 소자들 까지도 등가적인 전류 분포 형성에 고려될 것이다.

각 방사 소자를 구성하는 교차 다이폴 소자와 하이브리드 소자에 대한 설계는 다음과 같다. 교차 다이폴 소자는 두 개의 다이폴 소자들로 구성되고, 각 다이폴 소자는 90°의 각도를 가지고 상호 교차되며, 상대 유전율 2.2, 두께 0.5 mm인 테프론 기판을 사용하여 양면으로 제작되었다. 제작된 교차 다이폴 소자는 그림 3과 같으며, 설계 값들은 mm 단위로 표현하였다. 각 교차 다이폴 소자들은 해당 다중 모드 원형 도파관 내부의 하단에 설치된다.

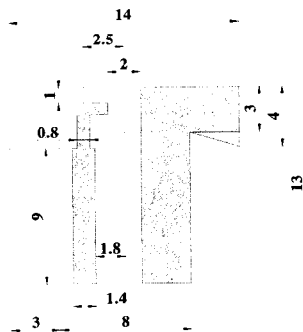


그림 3. 제작된 교차 다이폴 소자의 설계 값
Fig. 3. Design values of fabricated cross-dipole elements.

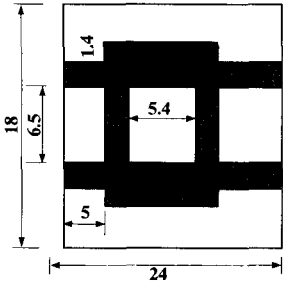


그림 4. 제작된 90° 하이브리드 결합기의 설계 값
Fig. 4. Design values of fabricated 90° hybrid coupler.

하이브리드 소자는 교차 다이폴 소자가 원형 편파를 생성하도록 하기 위하여 필요하며, 단일 입력 신호에 대하여 두 개의 동일 진폭 및 90°의 상대 위상차를 갖는 신호들을 출력한다. 제작된 90° 하이브리드 결합기 소자는 그림 4와 같으며, 설계 값들은 mm 단위로 표현하였다.

X 대역 실험 시제품의 고정 및 가변 설계 치수들은 표 2와 같으며, 모델링에서 배열 소자 간격은 41.2 mm로 고정하였으며, 이것은 중심 주파수 8.15 GHz 에서 1.12 λ에 해당된다. 그리고, 방사 원형 도파관의 직경 d 및 길이 h를 각각 29.2 mm(0.79 λ), 15.1 mm(0.41 λ)로 고정하였다.

최적의 구형 빔 패턴을 형성하기 위한 가변 변수 값들은 다층 원형 도체들의 기하학적 구조에 대한 것으로서, 최적화 실험 과정을 통해 표 3과 같은 다층 원형 도체 배열 구조에 대한 가변 변수의 최적화 값들을 얻을 수 있다.

즉, 원형 도체 배열의 층 수는 10이며, 원형 도체들은 3종류의 서로 다른 직경들을 갖는다. 그리고, 첫 번째 원형 도체의 높이는 6.5 mm이고, 층간 간격은 7 mm로 모두 일정하다.

표 2. X 대역 실험 시제품의 설계 변수들
Table 2. Design parameters of X-band experimental breadboard.

고정 변수 값		가변 변수 값	
d	29.2 mm	z ₁	0~85 mm
h	15.1 mm	z ₂	0~85 mm
t	8 mm	2r	(9, 11, 13) mm
dx	41.2 mm	ds	2.5~11 mm
		L	0~10

표 3. X 대역 시제품의 최적화 설계 변수 값
Table 3. Optimal design parameter values of X-band breadboard.

원형 도체 층 번호	설계 값		
	원형 도체 직경 2r	층간 간격 ds	원형 도체 위치 z _i
1	11 mm	-	6.5 mm
2	13 mm	7 mm	13.5 mm
3	13 mm	7 mm	20.5 mm
4	13 mm	7 mm	27.5 mm
5	11 mm	7 mm	34.5 mm
6	9 mm	7 mm	41.5 mm
7	9 mm	7 mm	48.5 mm
8	9 mm	7 mm	55.5 mm
9	9 mm	7 mm	62.5 mm
10	9 mm	7 mm	69.5 mm

X 대역 시제품의 원형 도체 배열은 두께가 0.1 mm인 얇은 도체 필름을 사용하여 제작 허용 오차 ±0.02 mm 이하의 사진 식각법에 의해 제작되었다. 각 필름 층은 약 250 mm의 직경을 가지며, 층 간의 일정한 간격은 원형 모양의 외곽 프레임에 의해 유지되었다. 제작된 X 대역 실험 시제품의 사진은 그림 5와 같다.

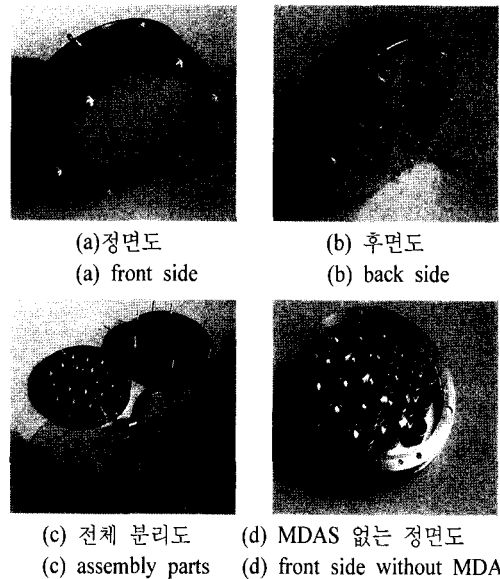


그림 5. 제작된 X 대역 실험 시제품의 사진
Fig. 5. Photographs of fabricated X-band experimental breadboard.

IV. 실험 및 결과 고찰

입력 신호에 대한 급전은 90° 하이브리드 결합기 소자를 통하여 중심에 있는 교차 다이폴 소자 및 다중 모드 방사 원형 도파관으로 이루어지며, 주변의 첫번째 및 두번째 링에 위치하는 수동 방사 소자들에는 50 Ω 저항 부하들이 부착되었다. 제작된 하이브리드 소자의 입출력 VSWR 측정 결과는 7.9~8.4 GHz의 동작 주파수 범위에서 1.4 이하였으며, 두 출력 단자간의 진폭차는 0.3 dB 이하, 상대 위상차는 86°~87°을 값을 보였다. 90° 하이브리드 소자와 조립된 교차 다이폴 소자에 대하여 측정된 축비는 대역내에서 0.88 이하였다. 이러한 값으로부터 교차 다이폴 소자가 우수한 원형 편파를 발생함을 예측할 수 있다.

조립된 X 대역 실험 시제품의 배열 특성을 시험하기 앞서 시제품의 입력 임피던스 정합 특성을 실험하였다. 이 때, 시제품의 급전 구성 소자인 90° 하이브리드 소자는 시제품으로부터 제거되었다. 그 이유는, 시제품으로 입력된 신호는 시제품으로부터 반사되어 하이브리드의 50 Ω 종단 단자로 출력되기 때문이다. 측정된 입력 VSWR 실험 결과는 그림 6과 같으며, 그림에서 H-dipole과 V-dipole은 각각 수평, 수직 다이폴 소자로 입력 신호가 인가되었을 경우의 입력 VSWR 특성을 나타낸다. 입력 VSWR 특성은 7.9~8.4 GHz 동작 주파수 대역내에서 1.43 이하임을 알 수 있다.

시제품 입력 VSWR 특성 실험시 전방에서 인접 방사 소자를 도체로 간섭할 경우 입력 VSWR 특성

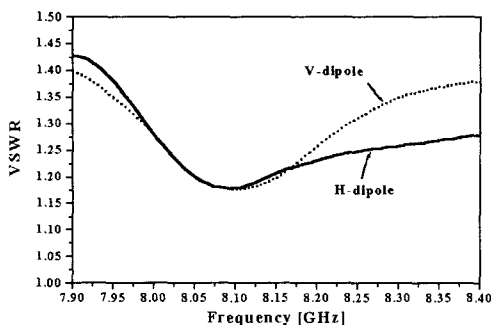


그림 6. 실험 시제품의 입력 VSWR 특성
Fig. 6. Input VSWR characteristics of experimental breadboard.

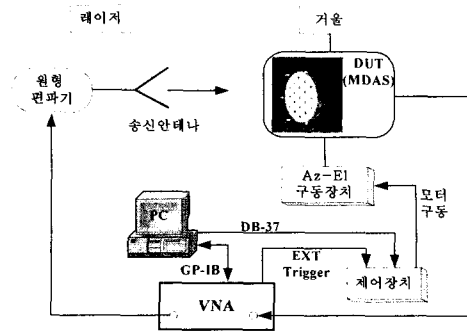


그림 7. 구형 빔 패턴 측정을 위한 시험 장비 구성
Fig. 7. Test set-up for FTEP measurements.

이 변화를 보인 반면에 후방에서 18개의 모든 정합 부하들을 없앨 경우와 개방 원형 도파관에 도체 반사판으로 간섭할 경우에는 입력 VSWR 특성에 거의 변화가 없었다. 이러한 사실로부터 다중 원형 도체 배열 구조가 전방으로는 인접 방사 소자간 강한 결합 특성을 후방으로는 약한 결합 특성을 보임을 실험적으로 확인할 수 있었다.

시제품의 단위 소자 패턴을 실험하기 위한 장비 구성은 그림 7과 같으며, 그림 8은 무 반사실(anechoic chamber)에 설치된 X 대역 시제품의 사진을 보여준다. 무 반사실에 설치된 X 대역 시제품과 송신 안테나와의 거리는 1.4 m이며, 각각의 높이는 1.85 m로 설정하였다. 시제품은 방위각 방향으로 회전 가능한 로터리 플랫폼위에 설치되며, 레이저와 거울을 이용하여 위치 및 축을 정렬한다. 송신 안테나에 대해서 -90°~+90°의 방위 측정각은 컴퓨터로부터 제어된다. 그리고, 소자 패턴 측정시 수평 및 수직 평면은 그림 1(a)와 같이 정의되며, 배열 대칭 구조

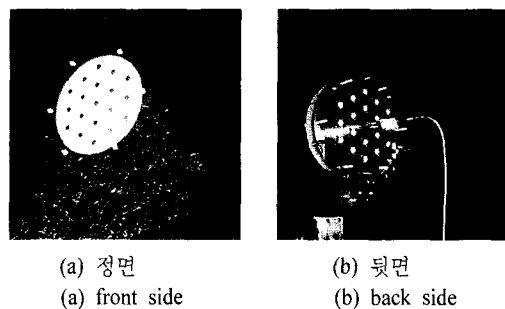
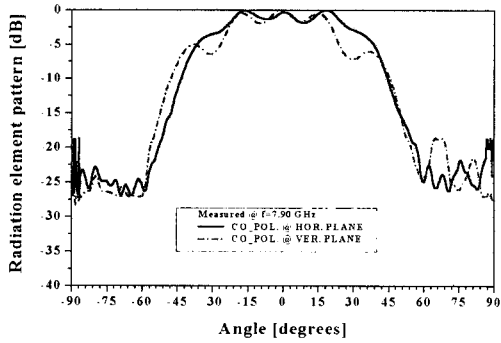


그림 8. 무 반사실에 설치된 X 대역 시제품의 사진
Fig. 8. Photographs of X-band breadboard installed anechoic chamber.

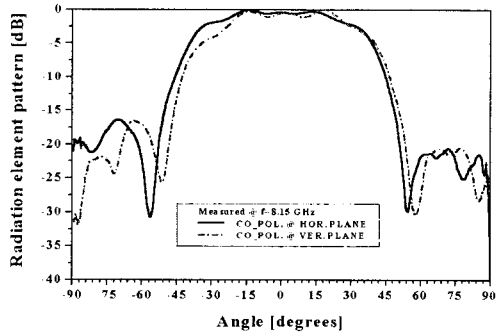
에 의해 $\phi=0^\circ$, $\phi=\pm 60^\circ$ 그리고 $\phi=\pm 30^\circ$, $\phi=\pm 90^\circ$ 은 동일한 배열 특성을 제공함을 알 수 있다. 주 편파 패턴 측정시에는 송신 안테나와 시제품의 편파 선택이 동일해야 하며, 교차 편파 패턴 측정시에는 편파가 서로 반대가 되어야 한다. 이를 위해 송신 안테나의 입력에 부착된 원형 편파기의 방향을 90° 만큼 회전시킨다. 교차 편파 레벨은 동일 편파에 의한 측정된 패턴 진폭 값으로부터 반대 편파에 의한 측정된 패턴 진폭 값을 뺀 값으로 얻을 수

있다.

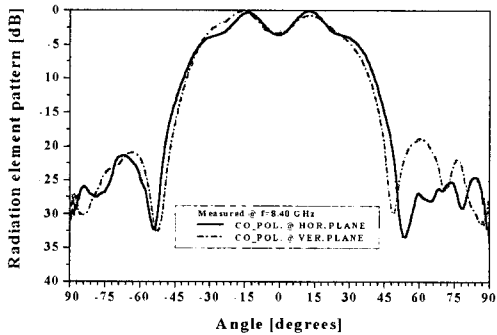
그림 9는 설계 변수들이 최적화되지 않았을 경우에 각각 7.9 GHz, 8.15 GHz, 8.4 GHz 주파수의 수평 및 수직 평면에서 측정된 주 편파 방사 패턴들을 보여준다. 이때, 사용된 MDAS의 가변 설계 변수는 원형 도체 직경 $2r=11$ mm, 도체간 간격 $ds=3.5$ mm 그리고 초기 위치 $z_1=10.5$ mm 가 사용되었다. 그림 9에서 보면 $\pm 20^\circ$ 범위내에서 심한 리플 현상을 관찰할 수 있다. 이것은 우선적으로 초기 위치와 방사



(a) 7.9 GHz

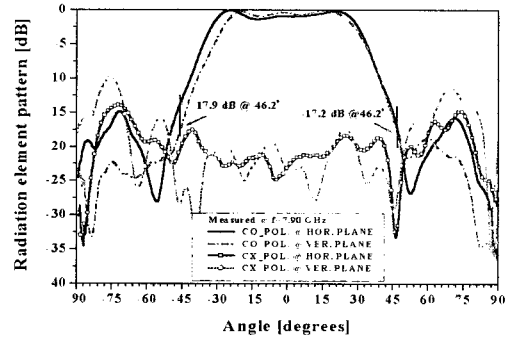


(b) 8.15 GHz

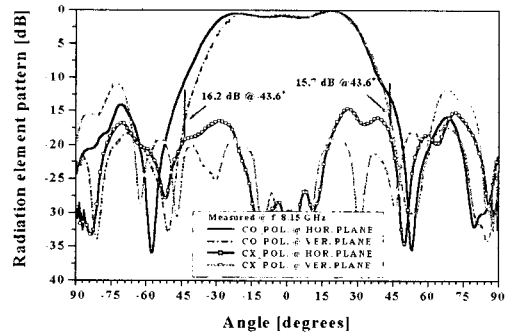


(c) 8.4 GHz

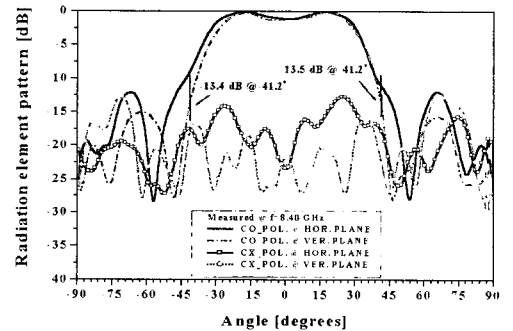
그림 9. 최적화되지 않았을 때 측정된 FTEP 특성
Fig. 9. FTEP characteristics measured with non-optimal design parameters.



(a) 7.9 GHz



(b) 8.15 GHz



(c) 8.4 GHz

그림 10. 최적화되었을 때 측정된 FTEP 특성
Fig. 10. FTEP characteristics measured with optimal design parameters.

원형 도파관간의 거리 그리고 방사 원형 도파관의 길이가 최적화되지 않은 경우로서 초기 원형 도체로부터 반사된 전력이 방사 원형 도파관으로부터 효율적으로 재반사되지 않아 생기는 현상이다.

반면에, 그림 10은 초기 도체 위치 및 도체간 간격 등을 조정하여 표 3과 같이 최적화 설계 변수 값들을 사용하였을 경우에 측정된 방사 패턴들을 보여준다. 측정 결과들은 각각 7.9 GHz, 8.15 GHz, 8.4 GHz 주파수의 수평 및 수직 평면에서 측정된 주 편파 및 교차 편파 패턴들이다. 주 빔이 정 방향으로 부터 $\theta_0 = \pm 20^\circ$ 만큼 스캔할 경우, 수직 평면상의 그레이팅 로브들은 가시 영역내로 이동하며, 이 때 가장 가까이 있는 그레이팅 로브들은 정 방향으로부터 $\sin^{-1}\{(2\lambda/\sqrt{3}d_x) - \sin\theta_0\}$ 만큼 떨어진 곳에 위치하게 된다. $\theta_0 = \pm 20^\circ$ 만큼 빔 스캔할 경우 7.9 GHz, 8.15 GHz, 8.4 GHz에서의 그레이팅 로브들은 각각 46.2° , 43.6° , 41.2° 에 위치하게 됨을 그림 10에 표시하였으며, 이러한 위치들에서의 그레이팅 로브 레벨들은 실험 결과들로부터 13~17 dBc 레벨값을 갖음을 예측할 수 있다.

X 대역 시제품의 이론적인 최대 안테나 소자 지향성(directivity)은 $D_{max} = 10 \log(4\pi A^2/\lambda^2)$ 에 의해 계산되며, 여기서 $A = \sqrt{3}d_x^2/2$ 는 방사 소자 하나의 기하학적 면적이다. 측정은 수평 평면과 수직 평면에서만 이루어졌으므로 각 평면의 ($315^\circ \sim 45^\circ$), ($45^\circ \sim 135^\circ$), ($135^\circ \sim 225^\circ$), ($225^\circ \sim 315^\circ$) 범위내에서 방위각 방향의 패턴 특성은 동일하다고 볼 수 있으므로, 지향성은 직교 평면에서 측정된 방사 소자 패턴을 사용하여 다음 식 (1)에 의해 근사적으로 계산할 수 있다^[6].

$$D_m = 10 \log \frac{4\pi P(0)}{\frac{\pi}{2} \int_0^{\pi/2} \sum_{n=1}^4 [P_n(\theta) + P_{n\perp}(\theta)] \sin\theta d\theta} \quad (1)$$

여기서, $P_n(\theta)$ 와 $P_{n\perp}(\theta)$ 는 1/4 분면에서의 전력 방사 패턴의 주 편파 및 교차 편파 성분들이며, 이산적인 적분은 측정된 데이터의 샘플 데이터와 동일한 수로 하였다. 시제품의 이득은 기준 안테나를 사용하여 상대적으로 측정하였으며, 원추형 안테나를 기준 안테나로 사용하였다. 표 4는 각 동작 주

표 4. X 대역 시제품의 측정 및 계산 데이터
Table 4. Measured and calculated data of X-band breadboard.

주파수 [GHz]	D [dBi]		G _m [dBi]		G _m [dBi]	A _{gm} [dBc]	
	D _m	D _{max}	규격	측정		규격	측정
7.90	10.7	11.1	7.0	7.4	+0.2	12.0	17.2
8.15	10.9	11.4		8.7	+0.1		15.7
8.40	10.7	11.6		8.1	+0.7		13.5

파수에서의 측정 및 계산된 데이터들로서, 측정된 소자 지향성 D_m, 측정 이득 G_m, ±20° 빔 스캔시의 최대 이득 손실 ΔG_m, 최대 그레이팅 로브 레벨 A_{gm}을 각각 보여주고 있다. 측정된 이득 값에는 교차 다이폴 소자의 삽입 손실, 90° 하이브리드 소자의 삽입 손실, 케이블 및 커넥터 손실 등이 포함되어 있다.

표 4에서 측정된 소자 지향성은 이상적인 지향성에 비하여 성능 열화가 있으며, 또한 빔 스캔시에도 이득 손실이 양의 값을 갖는다. 그 이유는 일반적으로 소자 지향성은 정 방향에서 계산되는데 반하여, 측정된 소자 패턴은 비균일하고, 또한 패턴의 최대 값이 정 방향으로부터 약간 벗어나 있기 때문이다.

교차 다이폴 소자 급전 구조를 갖는 X 대역 시제품에 대한 실험 결과들을 비교하기 위한 기준 데이터가 없기 때문에 참고 문헌 [5]의 Ka 대역 시제품의 실험 결과와 중심 주파수에서만 비교하였다. 왜냐하면, X 대역 시제품의 동작 대역폭은 Ka 대역의 동작 대역폭에 약 두 배이므로 배열 특성이 서로 다르기 때문이다. X 대역 및 Ka 대역 시제품의 측정된 구형 빔 패턴은 그림 11에 함께 제시하였다.

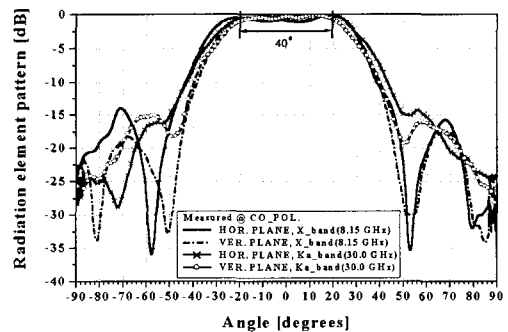


그림 11. X/Ka 대역 시제품의 측정된 구형 빔 패턴 비교

Fig. 11. Comparison of FTEP measured from X/Ka-band breadboards.

그림 11에서 살펴보면, 사이드 로브들 영역에서의 차이를 제외하면 $\pm 20^\circ$ 범위내에서는 두 소자 패턴들은 거의 동일하다. 수평 평면에서의 X 대역 소자 패턴은 더 큰 사이드 로브 레벨값을 갖는 반면에 수직 평면에서는 더 작은 사이드 로브 레벨값은 물론 더 균일한 빔 형태를 가지며, 또한 더 급격한 패턴 기울기를 보여준다. 이러한 특징들은 빔 스캐닝 시 그레이팅 로브들을 억압할 수 있기 때문에 더 중요하다.

X 대역 시제품의 측정 이득은 Ka 대역 시제품의 측정 이득에 비하여 약 2~3 dB가 더 작은데 그 이유는 X 대역 소자 패턴이 비균일하고, 최대값이 정방향으로부터 약간 벗어나 있기 때문이다. 또한, 교차 다이폴 소자의 삽입 손실, 하이브리드 소자의 삽입 손실, 커넥터 및 케이블 손실 등에 의한 급전 손실이 상대적으로 Ka 대역 급전 구조에 비하여 크기 때문이다. 이러한 손실 등은 충분히 줄일 수 있으며, 아울러 케이블 및 하이브리드 소자를 없애기 위해 선 원형 편파를 갖는 패치 방사 소자를 여기 소자로 사용할 수 있을 것이다. 이와 같이 원형 편파 직접 여기 구조는 z-축 방향으로 안테나 크기를 크게 줄일 수 있기 때문에 다층 원형 도체 배열 구조의 낮은 주파수 대역 응용에 적합할 것이다.

V. 결 론

$\pm 20^\circ$ 의 원추형 FTEP 형성을 위한 MDAS의 급전 구조로 교차 다이폴 소자를 제안하였으며, 이것을 이용한 X 대역에서 실험 시제품을 제작하고 MDAS의 설계 변수들은 실험적으로 최적화하였다. 이러한 급전 구조는 낮은 주파수 대역에서 배열 안테나 부피 및 무게를 크게 줄일 수 있는 단점이 있다. 실험 시제품은 19 개의 방사 소자를 사용하여 제작하였으며, 각 원형 도체 배열들은 얇은 도체 필름을 사용하여 사진 식각법으로 제작하였다. 실험 결과는 최소한 6.1% 대역폭내에서 $\pm 20^\circ$ 의 양호한 구형 빔 패턴을 보여 주었다. 또한, 시제품에 대한 실험 결과를 비교 분석하기 위하여 Ka 대역 시제품

의 실험 결과와 중심 주파수에서 비교하였으며, 사이드 로브들 영역에서의 차이를 제외하면 두 소자 패턴들은 거의 동일함을 알 수 있었다. 이러한 사실로부터 MDAS는 낮은 주파수 대역은 물론 Ka 대역, 밀리미터파 대역까지 응용이 가능하며, 향후 원추형 FTEP형성을 요구하는 저가의 통신/방송용, 레이다용 능동 위상 배열 안테나 시스템에 널리 응용될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House, 1993.
- [2] S. P. Skobelev, "Methods of Constructing Optimum Phased-Array Antennas for Limited Field of View", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 40, no. 2, pp. 39-50, Apr. 1998.
- [3] S. P. Skobelev, "Some Features of Shaping the Flat-Topped Patterns by Disc and Strip Slow-Wave Antenna Elements in Arrays for Limited Field of View", *Millenium Conference on Antennas & Propagation(AP2000)*, vol. 1, pp. 332-335, Apr. 9-14, 2000.
- [4] S. Y. Eom, et al., "Multi-disk radiating structure with a flat-topped element pattern for a planar array antenna", *IEE Electronics Letters*, vol. 38, no. 2, Jan. 17, 2002.
- [5] 엄순영 외 4인, "구형 빔 패턴 형성을 위한 다층 이차원 원형 도체 배열을 갖는 새로운 방사 구조에 대한 연구", *한국전자파학회논문지*, 13(7), pp. 667-678, 2002년 8월.
- [6] S. Y. Eom, et al., "Shaping of Flat-Topped Element Patterns in a Planar Array of Circular Waveguides Using a Multilayered Disk Structure: Part II-Experimental Study and Comparison", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no. 5, pp. 1048-1053, May 2003.

엄 순 영



1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 2월: 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
1991년 8월 ~ 1993년 7월: 이탈리아

Alenia Spazio사와 VSAT(DAMA-SCPC) 국제 공동개발 (과견)

1990년 2월 ~ 현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
[주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 설계, 위성통신 RF 시스템 설계, 위성 배열 안테나 시스템 설계 등

박 한 규



1964년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
1968년 2월: 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
1975년 2월: 불란서 파리 6대학 (공학박사)
1979년 ~ 1980년: 스탠포드 대학교

전자공학과 교환교수

1989년 ~ 1994년: 대통령 자문 21세기 위원회 위원
1995년 ~ 1997년: 정보통신부 전파위원회 위원장
1976년 ~ 현재: 연세대학교 전기전자공학부 교수
[주 관심분야] 마이크로파 소자, 스마트 안테나, 전파전파 등