

광역역 탐지용 35 GHz 마이크로스트립 3-dB 테이퍼 배열 안테나

Microstrip 3-dB Tapered Array Antenna with Wide Detection Range at 35 GHz

이영주* · 정명숙* · 박위상* · 최재현**

Young-Ju Lee* · Myoung-Suk Jung* · Wee-Sang Park* · Jae-Hyoun Choi**

요 약

본 논문은 35 GHz에서 동작하는 이동 목표물 추적용 마이크로스트립 배열 안테나에 대해 기술하였다. 넓은 범위에서 목표물을 탐지하기 위해 안테나는 azimuth 방향으로 넓은 빔 폭을, elevation 방향으로 비교적 좁은 빔 폭을 필요로 하게 된다. 이를 위해 안테나의 배열을 단일 안테나의 빔 폭이 넓은 E-plane 방향으로 배열 하였으며, 3-dB 테이퍼 급전구조를 이용하여 비교적 간단하게 배열 안테나의 side-lobe level (SLL)를 -20dB 이하로 하였으며, 동시에 azimuth 방향으로 12.8°로 넓은 빔 폭을 얻도록 하였다.

Abstract

A microstrip patch array designed at 35 GHz is described for use in the detection of the position of moving targets. To obtain wide detection range, the array is arranged to give a narrow beamwidth in the elevation plane and a wide beamwidth on the azimuth plane. This can be achieved by aligning the electric field plane of each element to the array axis. Employing a 3 dB-tapered feed network, the array has a side lobe level of less than -20 dB and wider azimuth beam width of 12.8° simultaneously.

I. 서 론

이동목표물 탐지 및 추적을 위해 일반적으로 sequential lobing, conical scan, simultaneous lobing 방식을 주로 사용한다^[1]. 이 중 simultaneous lobing 방식은 각각 대칭적으로 squinted된 빔을 갖는 두 개의 안테나로부터 difference pattern을 구하고, 그 신호의 전력 level과 angular error를 선형적으로 mapping하여 목표물의 위치를 파악한다^[1]. 이때 difference pattern의 선형영역은 안테나가 목표물을

탐지할 수 있는 range를 결정하는 중요한 요소이며, 이는 안테나의 squinted angle과 안테나의 azimuth 빔 폭에 의해 결정된다. 넓은 영역의 목표물 탐지를 위해서는 azimuth 방향으로 비교적 넓고, 동시에 동일한 이득을 유지하기 위해 elevation 방향으로 비교적 좁은 빔 폭을 가져야 한다. 또한, 탐지하고자 하는 목표물로부터의 신호를 제외한 원치 않는 신호의 level을 suppression시키기 위해서는 수신 안테나에서 낮은 SLL (Side-Lobe Level) 특성은 필수적이다^[1]. 이 두 가지 조건을 만족시키기 위해 먼저 단

* 포항공과대학교 전자전기공학과, 전자과특화연구센터(Department of Electronic and Electrical Engineering, Microwave Application Research Center, Pohang University of Science and Technology, San 31 Hyoja-dong Nam-Gu, Pohang, Kyungbuk 790-784)

** 국방과학연구소(Agency of Defence Development, P.O. Box 35, Yoo Seong-Gu, Daejeon 305-600)

· 논문 번호 2000728-17S

· 수정완료일자 · 2000년 8월 25일

일소자에서 넓은 빔 폭을 갖는 방향인 Electric field plane으로 단일 소자를 배열시키는 방법을 사용함으로써 elevation 방향으로의 비교적 좁은 빔 폭을 구현하였다. 그리고 낮은 SLL과 azimuth 방향으로의 비교적 넓은 빔 폭을 얻기 위해 3 dB-tapered 직-병렬 급전구조를 사용하여 구현하였다. 이때 센서의 크기는 목적에 따라 다르지만 본 논문의 경우 80 mm의 직경을 갖는 disc의 가운데에 송신 안테나와 위 아래에 두개의 수신 안테나를 삽입해야 한다. 이렇게 제한된 면적에 원하는 이득을 유지하면서 안테나를 삽입하기 위해서는 배열 안테나의 크기를 줄이는 것은 필수적이다. 본 논문에서는 이러한 제한 요건을 만족시키기 위해서 사용한 배열 안테나의 크기를 줄이는 방법을 제시하고자 한다.

II. 센서의 구조

Simultaneous lobing은 difference pattern에서의 수신 전력량을 angular error에 선형적으로 mapping하여 목표물을 추적하게 된다^[1]. 그림 1은 센서의 송신 안테나, 10°의 빔 조향 각도를 갖는 수신 안테나, -10°의 빔 조향 각도를 갖는 수신 안테나의 azimuth 방향의 pattern을 나타낸 것이다. 그림 2의 Difference pattern은 그림 1의 좌, 우로 대칭적으로 기울어진 수신 안테나의 패턴의 차로부터 얻을 수 있으며, x축은 angular error, y축은 수신 전력량을 의미한다. 그림에서와 같이 Difference pattern에서 일정한 기울기를 갖는 선형 영역은 목표물의 추적할 수 있는 range를 결정짓는 중요한 요소이며, 넓은

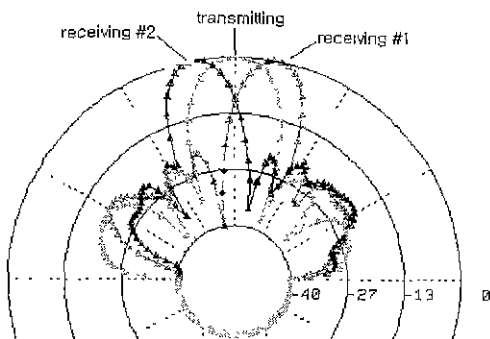


그림 1. 센서의 패턴
Fig. 1. Pattern of sensor.

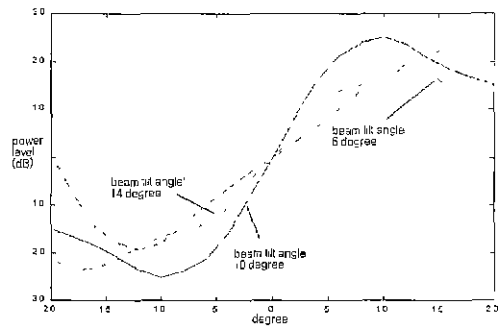


그림 2. 빔 조향각도의 변화에 따른 센서의 difference pattern
Fig. 2. Difference pattern of a sensor with changing beam tilt angle.

추적 범위를 얻기 위해 선형 영역은 넓어야 한다. 또한 선형 영역의 기울기는 추적 범위 내의 해상도를 결정하므로, 높은 해상도를 얻기 위해서 이를 높게 하여야 한다.

목표물의 추적 범위의 해상도를 결정짓는 선형 영역은 빔의 기울어진 각도와 azimuth 빔 폭에 의해 결정된다. 그림 2는 빔의 기울어진 각도 (squinted angle)가 6°, 10°, 14°로 변함에 따라 선형 영역의 기울기와 범위가 변화하는 정도를 나타낸 그림으로 squinted beam의 각도가 10°일 때, 선형 영역의 기울기가 가장 높고, 그 범위 또한 가장 큼을 알 수 있다.

Simultaneous lobing 방식을 사용하여 제작된 센서의 구조는 그림 3과 같다. 센서는 80 mm 직경을

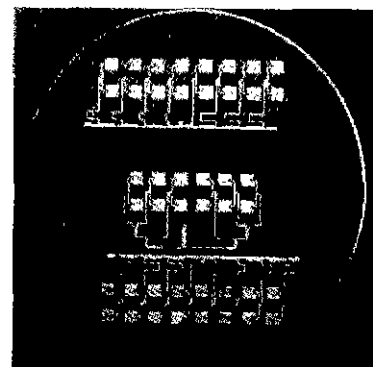


그림 3. 제작된 센서의 구조
Fig. 3. Configuration of sensor.

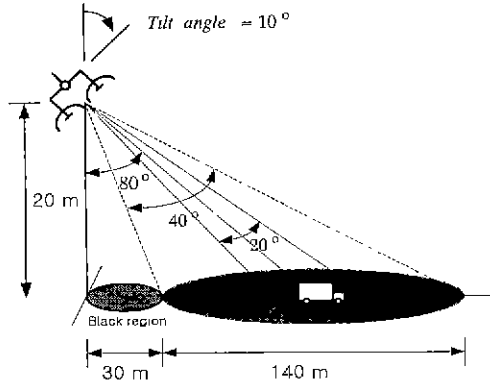


그림 4. 안테나의 사양과 추적 가능한 범위
Fig. 4. Detection range and specification of antennas.

표 1. 센서의 규격
Table 1. Specification of sensor

3 dB beamwidth	Transmitting antenna		Receiving antenna	
	Azimuth	Elevation	Azimuth	Elevation
	17.5°	40°	13°	40°
tilt angle	0°		10°	
SLL	-20 dB		-20 dB	
Gain	16 dB		18 dB	

갖는 disc의 가운데에 broadside 방향의 빔을 갖는 송신 안테나와 위 아래에 squinted된 빔을 갖는 두 개의 수신 안테나로 구성되어 있다. 그림 4는 안테나의 elevation 방향과 azimuth 방향에 대한 안테나의 탐지 영역을 나타낸다. 그림에서와 같이 elevation 방향으로의 안테나는 30~140m의 scan range를 가져야 하며, azimuth 방향으로는 40m의 scan range를 필요로 한다. 이러한 사양으로부터 결정된 안테나의 사양은 표 1에 나타내었다. 표 1에서와 같이 목표물 탐지용 수신 안테나의 경우 elevation 방향으로의 약 40°의 빔 폭을 요구하고, azimuth 방향으로는 13°의 빔 폭을 요구한다. 이는 표 2와 같이 일반적인 8 × 2 배열 안테나의 elevation의 경우 48°, azimuth의 경우 10°의 빔 폭을 가지는 것에 비해, elevation 방향으로의 비교적 좁은 빔 폭을 azimuth 방향으로의 비교적 넓은 빔 폭을 요구한다. 따라서 빔 폭 사양을 고려한 배열 안테나의 설계를 필요로

표 2. 배열 방식 및 급전 방식에 따른 안테나 빔 폭의 차이

Table 2. Difference of beam width caused by changing aligning axis and replacing feeding network

	Uniform H-plane	Tapered H-plane	Tapered E-plane
Azimuth beamwidth	9.8	12.2	12.8
Elevation beamwidth	47.6	47.6	40.4

한다.

일반적으로 단일 패치인 경우에 그림 5와 같이 E-plane이 H-plane에 비해 넓은 빔 형태를 갖는다. 따라서 단일 패치의 plane별 빔 형태의 차이를 고려하여 좀더 넓은 빔 폭을 갖는 E-plane방향으로 소자를 배열함으로써 표 2와 같이 elevation 방향에서 원하는 사양의 빔 폭을 얻을 수 있었다. 또한 가지 이동 목표물 탐지용 안테나에서 고려해야 할 점은 탐지하고자 하는 목표물로부터의 신호를 제외한 원치 않는 신호의 level을 suppression시키기 위해 낮은 SLL 특성이 필수적이라는 것이다^[1]. 이를 위해서는 일반적으로 chebychev 급전 방식이나 binomial 급전 방식을 많이 사용하여 왔으나, 이러한 방식은 급전 구조가 비교적 복잡할 뿐만 아니라 차지하는 면적이 커서 제작 시 어려움이 있다^{[2],[3]}. 따라서 본 논문에서는 간단한 방식의 3 dB-tapered 급전구조를 사용하여 -20 dB정도의 SLL을 구현하고, 더불어 azi-

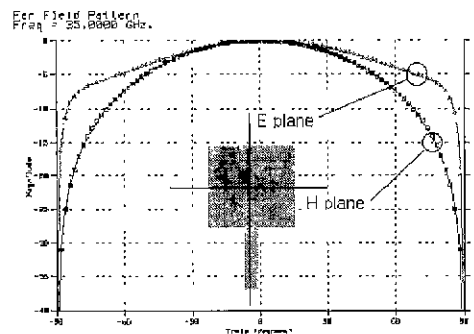


그림 5. 일반적인 패치 안테나의 패턴
Fig. 5. Pattern of conventional patch antenna.

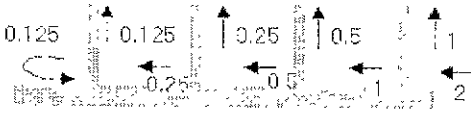


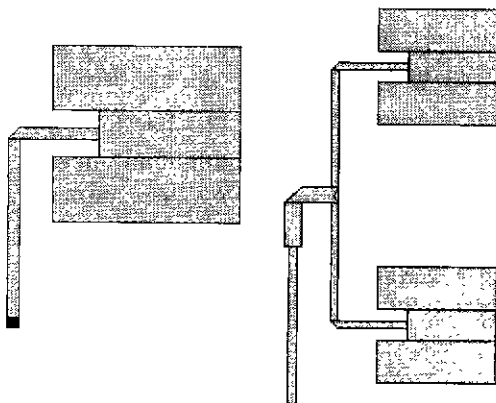
그림 6. 3-dB 테이퍼 급전기의 구조 및 전력 분배
 Fig. 6. Configuration of 3-dB tapered feed network and power distribution.

beam 방향의 빔 폭을 더 넓게 하고자 하였다. 3 dB-tapered 급전구조는 그림 6과 같이 배열의 중심 부분에서부터 소자를 거치면서 3 dB씩 전력이 줄어드는 형태를 의미하며, 중심에서 1, 0.5, 0.25, 0.125의 전력을 소자에 공급하도록 급전기를 설계하였다. 표 2에서 H-plane으로 배열된 uniform 급전 구조와 H-plane으로 배열된 tapered 급전 구조, 그리고 E-plane으로 배열된 3dB-tapered 급전 구조에 대한 안테나의 빔 특성을 나타내었다.

III. 1 × 2 sub-array의 구조

100 Ω이상의 특성 임피던스를 갖는 급전선의 경우 선 폭이 일반적으로 작아지게 되어 제작이 어렵게 된다. 이는 inset 구조의 마이크로스트립 패치 안테나를 이용하여 간단히 해결할 수 있다^[1].

마이크로스트립 inset 패치 안테나는 그림 7의 (a)와 같이 급전선을 임피던스가 작은 패치의 내부



(a) 단일 소자 (a) Single element
 (b) 1×2 부배열 (b) 1×2 sub array

그림 7. Inset 마이크로스트립 패치 안테나

Fig. 7. Inset microstrip patch antenna.

로 끌어 들여 quarter-wave transformer를 사용하지 않고도 임피던스 정합을 효과적으로 할 수 있게 된다. 이러한 inset 구조의 단일 안테나를 기본으로 그림 7의 (b)와 같은 1×2 sub-array 구조를 고려할 수 있다. 이 구조는 여러 가지 장점을 갖게 되는데, 우선 polarization 특성상 horizontal polarization 특성을 가져서, 지면의 목표물에 의해 발생하는 clutter 성분인 vertical polarization 성분을 수신 시에 제거하여 우수한 S/N비를 얻게 한다^[1]. 따라서 이러한 polarization을 만족시키기 위해서 안테나의 Electric field plane이 지면에 평행하게 배열되어야 하며, 이 경우 급전구조의 위치상 그림 7의 (a)와 같이 급전선을 90° bending하여야 한다. 그러나 일반적으로 이러한 bending 구조를 가지는 N×2 급전구조는 많은 면적을 차지하게 된다^{[12][4]}. 이러한 문제는 그림 7의 (b)와 같이 1×2 sub-array를 T-junction으로 연결하여 이를 다시 bending 함으로써 해결하였다. 또한 이러한 구조는 2개의 소자 간에 급전선을 삽입하는 경우보다 소자 간의 거리를 줄일 수 있어 안테나의 elevation 빔 폭을 줄이고, SLL을 감소시키는 역할까지 한다.

IV. Receiving Antenna

앞서 언급한 바와 같이 disc의 위 아래에 위치한 수신 안테나는 simultaneous lobing 방식을 사용하므로 그림 1의 (b)와 같이 10°와 -10°의 squinted 빔을 필요로 하며, side-lobe level은 -20 dB 이하의 값을 필요로 한다. 이를 위해 8×2 수신 안테나는 3 dB-tapered 급전구조를 이용하였으며, 10° tilt를 위해 소자 간 위상차는 40.6°로 하였다. 이 때의 소자 간의 간격은 0.65 λ_g이다. 일반적으로 직렬형 급전구조를 사용하는 경우, 보통 소자 간의 간격을 1 λ_g로 하여 소자 간의 위상차를 없앤다. 하지만 본 논문에서는 안테나의 크기를 줄이기 위해 소자 간 간격을 1 λ_g 이하로 줄이는 대신 그림 8과 같이 1×2 sub array에 연결되는 급전선을 구부려 각 소자간의 위상차를 보상하고, 부가적으로 필요한 위상차도 그 급전선을 bending함으로써 구현하였다. 이렇게 제작된 안테나는 그림 8과 같으며 전체크기는 46 mm × 15.4 mm의 적은 면적을 갖는다. 그림 9 (a)는 near-field

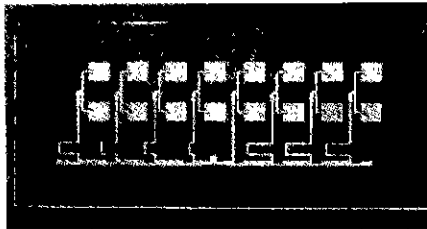
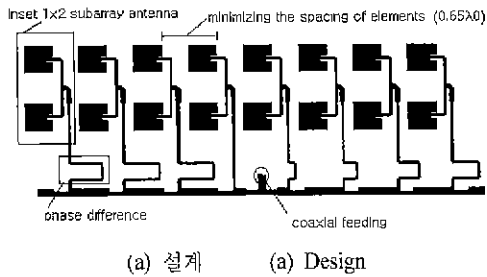


그림 8. 8×2 3-dB-테이퍼 수신 안테나
Fig. 8. 8×2 3-dB tapered receiving antenna.

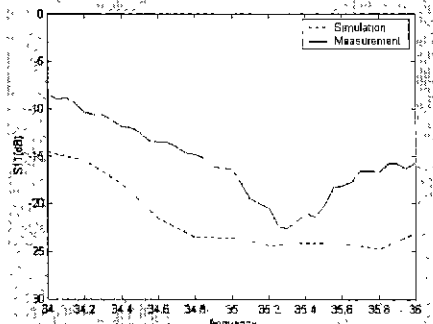
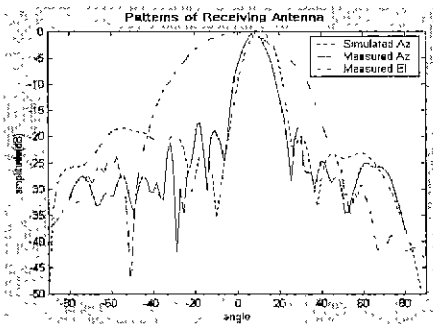


그림 9. 수신 안테나 패턴 특성과 반사계수 특성
Fig. 9. Pattern and return loss of receiving antenna.

probe를 이용하여 측정된 수신 안테나의 패턴을 나타내며 azimuth 방향에 대해 12.5°의 빔 폭과 9.8°의 tilt angle을 가지며, elevation 방향으로 40° 정도의 빔 폭을 갖는다. Side-lobe level 비는 -20 dB 정도이며 gain은 18.3 dB의 값을 갖는다. 이는 급전기의 설계가 잘 되었음을 의미한다. 그림 9는 반사 계수 특성을 나타내며, 대역폭은 VSWR 2 기준으로 5.14 %인 33.8~35.6 GHz의 범위를 가진다. 원래는 35 GHz 공진을 목표로 하였지만 35.25 GHz로 약간 이동함을 알 수 있으며, 공진 주파수에서 반사계수가 -23 dB 정도로 나타났다. 그리고 VSWR 1.5에 대해 34.7~36.45 GHz으로 1.75 GHz의 대역폭을 가진다. 이는 목표치인 500 MHz의 대역폭을 충분히 포함하는 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 35 GHz 대역의 이동 목표물 추적용 마이크로스트립 센서에 사용될 수신 안테나를 설계, 제작 측정하여 보았다. 이는 1×2 inset subarray를 기본으로 하는 직렬형 급전 구조를 사용하여 설계하였으며, 설계된 구조는 46 mm × 15.4 mm의 적은 면적을 갖는다. 이때 13°의 azimuth 빔 폭과 40°의 elevation 빔 폭, -20 dB 미만의 SLL을 구현하기 위해 단일 소자의 E-plane 방향으로 각 복사체를 배열하고, tapered 직렬형 급전구조를 사용하였다. 제작된 안테나의 방사 특성을 근거리 프로브 장비로 측정된 결과, 이들의 vertical plane에서의 3 dB 빔 폭은 각각 13°, side-lobe level은 각각 -20 dB, beam tilt angle은 10°, Gain은 18.3 dB로 나타났다. 또한 반사계수 특성은 35.25 GHz에서 공진하며, VSWR 1.5:1을 기준으로 하여, 34.7~36.45 GHz으로 1.75 GHz의 넓은 대역폭을 가진다. 이 측정치들은 해당 simulation 결과들과 잘 일치함을 확인했다.

참 고 문 헌

[1] M. I. Skolnik, *Introduction to radar systems*, McGRAW-HILL International Editions, 1981.
[2] John Huang, "A Parallel-Series-Fed Microstrip

Array with High Efficiency and Low Cross Polarization," *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol 5. no 5, pp. 230-233, May, 1992.

- [3] C. A. Balanis, *Antenna theory analysis and design*, John Willey & Sons, INC. 1997.
 [4] John Huang, "A Ka-band Circularly Polarized

High Gain Microstrip Array." *IEEE AP-S/URSI Symposium*, 1994.

- [5] A. G. Derneryd, "A Theoretical Investigation of the Rectangular Microstrip Antenna Element," AP-26, no 4, July, 1978.

이 영 주



1998년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2000년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 대학원 박사과정

[주관심 분야] 초고주파 공학, 안테나 설계, EMI/EMC, 초고주파 능동 수동 소자

박 위 상



1952년 생
 1974년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1982년: University of Wisconsin-Madison 전기공학 (공학석사)
 1986년: University of Wisconsin-Madison 전기공학 (공학박사)

1986년~1988년: Wichita State University 객원조교수
 1988년~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 조교수, 부교수, 정교수

1997년: Utah대학교 Gandhi 교수의 bioelectromagnetics 연구실 방문 교수

1995년~현재: MARC (국방부 및 국방과학연구소 지정 전자파특화연구센터) 안테나 연구실 실장

[주 관심분야] 초고주파공학, 안테나공학, 마이크로스트립 위상배열 안테나 설계, 초고주파 대역 물질 상수 측정, 휴대폰 전파 SAR 계산 및 측정

정 명 숙



1976년 11월 생
 1999년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
 1999년 3월~2000년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 대학원 제학 중

[주관심분야] 초고주파 공학, 안테나 설계, EMI/EMC, 마이크로스트립 안테나 설계 및 해석

최 제 현



1995년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년 3월~1998년 2월: 충남대학교 전자공학과 박사

1998년 2월~현재: 국방과학연구소 연구원

[주관심분야] 초고주파회로 및 안테나