

빔경사 직렬 급전형 마이크로스트립 배열 안테나 설계

Design of the Beam Tilted Series-fed Microstrip Array Antenna

이진선* · 정민길**** · 김진생**** · 이정남** · 강치운*** · 김우수*** · 이문수****

Jin Son Lee* · Min Kil Chong**** · Jin Seng Kim**** · Jong Nam Lee**

Chi Woon Kang*** · Woo Soo Kim*** · Mun Soo Lee****

요 약

빔폭 10° , 경사각 80° 및 SLL -15 dB 이하인 직렬 급전형 마이크로스트립 배열 안테나를 설계한다. 직렬 급전형 배열은 모든 소자들을 고임피던스인 전송선로로 상호 연결하고, 첫 번째 소자에서 급전하며, 정합부하로 종단된 진행파 안테나이다. 안테나의 방사패턴과 임피던스 정합은 인쇄된 안테나 및 배열을 설계하는데 널리 사용되는 소프트웨어 패키지인 앙상블 4.0에 의해서 해석한다. 빔의 경사각은 소자간의 간격에 의해서 구현된다.

직렬 급전형 배열 안테나는 병렬급전구조에 비하여 급전회로망이 간단하고 급전회로망에서의 방사손실이 작은 이점이 있다. 안테나는 두께 62 mil인 RT/Duroid 기판상에 제작한다. 실험결과 이론치와 실험치가 일치함을 확인하였다.

Abstract

A series-fed microstrip array antenna of beamwidth 10° , squint angle 80° and SLL -15 dB below is designed. Series-fed arrays are formed by interconnecting all the elements by high-impedance transmission lines and feeding the power at the first element and it is a traveling-wave antenna which is terminated with a matched load. Radiation patterns and impedance matching of the antenna are analyzed by Ensemble 4.0, which is a popular software package for designing printed antennas and arrays. The squint angle of beam can be controlled by the spacing between the elements. The major advantages of series-fed array antennas are that feed arrangement is compact and the losses associated with the feeding network are less than those of a corporate feed type. The antennas are fabricated on the RT/Duroid Laminates of 62 mil thickness. The experimental results are very close to the specifications to be designed.

I. 서 론

오늘날 위성통신, 레이더, 미사일 유도장치 등에 광범위하게 사용되고 있는 마이크로스트립 안테나는 1953년 Deschamps^[1]에 의해 착상되어 1970

* 연암공업전문대학 전자계산과(Dept. of Computer Science, Yonam College of Engineering)

** 여수수산대학교 전자통신공학과(Dept. of Electronic Communication Engineering, Yosun National Fisheries Univ.)

*** 동의공업전문대학 전자통신과(Dept. of Electronic Communication, Dongeui Technical College)

**** 경상대학교 자동화 및 컴퓨터 응용연구소 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Gyeongsang National Univ.)

「본 논문은 '96년도 연암공업전문대학 산학협동연구소 지원에 의한 결과임.」

· 논문번호 : 961017-052

· 접수일자 : 1996년 10월 17일

년대 초 Byron이 유전체에 의해 접지평면과 분리된 스트립 방사기의 이론을 발표한 후 Munson²⁾에 의해 새로운 개념의 안테나가 탄생되었다. 최근 무선통신 수요의 급격한 증가 및 MIC, MMIC 기술의 발달로 인하여 소형, 경량, 저가 및 능동회로와 쉽게 집적화할 수 있는 마이크로스트립 안테나에 대한 연구가 활발하다³⁾. 특히 장거리 통신을 하기 위해서는 특정 방향으로 높은 이득을 갖는 안테나가 필요하다. 단일 소자로 된 안테나는 빔폭이 넓고, 낮은 이득을 가지고 있어서, 안테나의 이득을 높이는 방법을 연구할 필요성이 있다.

본 연구에서는 빔폭 10°, 빔의 경사각 80°, SLL -15 dB 이하인 방사특성을 가지는 마이크로스트립 배열안테나를 설계 제작하여 그 특성을 고찰한다. 이와 같은 안테나를 미사일 돌레에 일정한 간격으로 부착시키면, 미사일이 비행하면서 일정 범위 내의 목표물을 탐지할 수 있는 기능을 가지게 된다. 배열안테나 급전회로에서의 방사손실을 가급적 작게 하기 위해 병렬급전방식 대신에 직렬급전방식을 택한다.

II. 안테나 배열 이론

안테나에서 방사되는 첨예한 빔을 얻기 위해 동일한 안테나 소자를 여러 개 배열한다. 배열안테나의 이득 및 방사 특성은 배열 소자에 공급되는 전류의 크기와 위상차, 그리고 소자간의 간격과 소자수에 의해 결정된다.

그림 1과 같이 N개의 방사소자가 간격 d_n 으로 선형 배열된 안테나의 방사 전계는 패턴적의 원리에 의하여 단일 패치의 방사 패턴 $f(\theta, \phi)$ 과 배열에 의한 성분 (AF)으로 나타낼 수 있다.

$$E(\theta, \phi) = f(\theta, \phi) \times AF \quad (1)$$

여기서 AF는

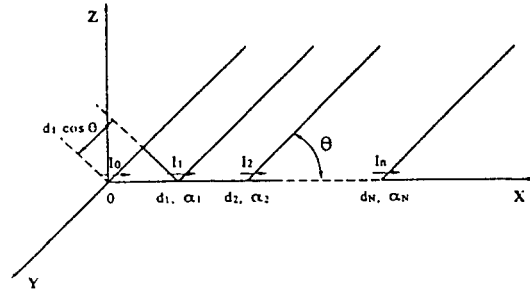


그림 1. N 소자 선형 배열 다이폴

Fig. 1. N-element linearly array dipole.

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} I_n \cdot e^{j(\beta d_n \cos \theta + a_n)} \quad (2)$$

이다. 여기서 a_n 은 배열 소자간의 급전전류의 위상차를 나타낸다.

주 빔의 방향을 θ_0 라 하면 배열 소자간의 위상차 a_n 은

$$a_n = \beta d_n \cos \theta_0 \quad (3)$$

이다. 그리고 소자간의 간격과 경사각 사이에는 다음 관계가 있다⁴⁾.

$$\cos \theta_0 = \frac{\lambda_0}{\lambda_g} - \frac{\lambda_0}{d_n} \quad (4)$$

θ_0 만큼 기울어진 방향으로 원하는 크기의 3 dB 빔폭과 SLL(Side-Lobe Level)을 얻기 위한 방법으로 Tschebyscheff 배열법과 Taylor 배열법(Taylor-line source method) 등이 있다.

본 논문에서는 이 두 가지 배열 방법을 각각 이용하여 소자수가 8개인 경우에 안테나를 설계하여 그 특성을 비교·분석하고자 한다.

Ⅲ. 안테나 설계

미사일에 장착할 목적으로 설계하고자 하는 안테나는 그 길이를 20 cm 이내로 하고, 그 규격은 표 1과 같다. 배열 안테나를 설계하는데 있어서 결정해야 할 요소로는 급전방식과 기준 소자의 길이(l) 및 폭(W), 소자간 간격(d_n) 등이 있다. 안테나의 기본 소자는 구형 마이크로스트립 패치로 하였으며, 길이 l 은 공진 주파수 10.2 GHz가 되도록 하고, 표 1에서 SLL이 -15 dB 이하인 특성을 얻기 위하여 실험상의 오차를 고려하여 -20 dB로 설계한다. 또한 안테나 길이의 제약 때문에 소자수를 8로 한다.

표 1. 안테나 규격

Table 1. Antenna specifications.

특성	규격
공진주파수	10.2 GHz
대역폭	100 MHz
빔폭	$10^\circ \pm 1^\circ$
이득	16 dB 이상
VSWR	1.5 이하
경사각	$80^\circ \pm 2^\circ$
SLL	-15 dB이하

안테나 패치의 폭 W 와 컨덕턴스 G 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$G = \frac{2}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2, W / \lambda_0 \ll 1 \quad (5)$$

$$G = \frac{2}{120} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right), W / \lambda_0 \gg 1 \quad (6)$$

식 (5)와 (6)의 관계를 이용하여 Tschebysch-eff 배열법과 Taylor 배열법으로 구한 전류 분포를 컨덕턴스 분포로 변환한다. 이때 중앙에 위치하는 패치를 기준으로 상대적인 패치의 폭을 구한다. 기

준 패치의 폭은 방사효율이 최대가 되는 폭으로 하며, 다음 식에 의해서 결정된다^[7].

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_{eff} + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (7)$$

마이크로스트립 배열 안테나 급전구조에는 병렬 급전과 직렬 급전 구조 등이 있다. 안테나를 설계하는데 있어서 가장 중요한 점은 방사손실을 최소화하는데 있다. 병렬 급전 구조는 마이크로스트립 배열에서 흔히 사용된다. 각 소자는 모든 소자와 급전점 사이의 경로 길이가 같기 때문에 동위상으로 급전된다. 그러나 선형배열을 크게 하는 경우에 많은 방사손실이 발생한다. 직렬 급전 구조는 소자 사이의 간격을 최소화함으로써 방사손실이 작은 이점이 있다.

따라서 본 연구에서는 급전선로의 구조가 간단하고 급전선로에서의 방사손실이 작은 직렬 급전구조를 사용한다. 주빔의 경사각 θ 에 따라 결정되는 소자간의 간격 d_n 은 식 4이외의 표현으로 다음의 관계가 성립된다.

$$d_n = \frac{\lambda_{g_{n-1}}}{4} + \frac{\lambda_{g_n}}{4} + l_{n-1, n} \quad (8)$$

여기서, $l_{n-1, n}$ 은 $n-1$ 번째 소자와 n 번째 소자사이의 100Ω 전송선로의 길이이다. 그리고 $\lambda_{g_{n-1}}$ 과 λ_{g_n} 은 각각 $n-1$ 과 n 번째 소자의 관내 파장이다.

진행파 안테나 특성을 갖기 위한 종단은 배열 안테나의 끝에서 반사되어 되돌아오는 반사파를 제거하기 위해 전송선로의 특성 임피던스로 종단시킨다. 이때 임피던스의 정합은 급전부의 커넥터 임피던스와 안테나 입력 임피던스간의 정합을 위해 $\lambda_g/4$ 정합 회로를 두었다. 이러한 요소들로 인해 설계 및 제작된 안테나의 이득은 다음 식에 의해서 얻을 수 있다^[8].

$$G = 10 \log_{10}(4\pi L^2) - \alpha - C_1 \quad (9)$$

여기서 L 은 안테나의 전기적 길이이고, α_n 는 단위 파장당 손실을 나타내며, C_1 는 부정합손실에 해당되는 상수이다.

3-1 Tschebyscheff 배열에 의한 설계

Tschebyscheff 배열에 의한 전류분포와 앙상블 4.0으로 구한 안테나 패치 폭의 설계치는 표 2와 같다.

표 2. 체비세프 배열에 의한 전류 분포와 패치의 폭(소자수 = 8, SLL = -20 dB)

Table 2. Current magnitudes and patch widths by Tschebyscheff array(2N=8, SLL = -20 dB).

	P1	P2	P3	P4
전류비	1	1.1386	1.509	1.7244
폭(mm)	8.853	9.449	10.877	11.626

3-2 Taylor 배열에 의한 설계

Taylor 배열에 의한 전류분포와 앙상블 4.0으로 구한 안테나 패치 폭의 설계치는 표 3과 같다.

표 3. 테일러 배열에 의한 전류 분포와 패치의 폭(소자수 = 8, SLL = -20 dB)

Table 3. Current magnitudes and patch widths by Taylor array(2N=8, SLL = -20 dB).

	P1	P2	P3	P4
전류비	1	1.3479	2.1141	2.6406
폭(mm)	7.156	8.309	10.403	11.626

IV. 실험 및 고찰

본 연구에서 설계한 직렬 급전 배열 안테나의 반

사손실(return loss)을 측정하기 위하여 Wiltron 360 Network Analyzer를 사용하였다.

그림 2는 Rogers사의 유전율 2.2, 두께 62 mil, $\tan \delta = 0.0009$ 인 RT/Duroid 5880 기판상에 포토에칭법으로 제작된 마이크로스트립 배열 안테나로 크기는 길이 190.000 mm, 폭의 최대 크기는 11.626 mm이다.



(a) 2N=8, SLL=-20 dB(Tschebyscheff).



(b) 2N=8, SLL=-20 dB(Taylor).

그림 2. 마이크로스트립 배열 안테나 제작

Fig. 2. Fabrication of the microstrip array antenna.

체비세프와 테일러 배열법을 적용해서 설계·제작된 안테나의 반사손실을 측정한 결과는 각각 그림 3, 그림 4와 같다. 설계 주파수의 대역폭 내에서 반사손실 특성이 20 dB의 값에 근사하여 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

그림 3과 그림 4에서 배열안테나의 공진 주파수는 설계주파수보다 약간 아래로 천이된 현상을 볼 수 있는데, 이것은 사용 주파수가 X-band 이상시 분산효과 및 유효 유전율의 비선형적인 특성에 의하여 실제 패치의 폭과 길이보다 증가되어 주파수가 아래로 천이되었다고 볼 수 있다. 표 4는 앙상블 4.0으로 계산된 안테나 특성을 NSI社의 근접전계 측정 시스템 Model 255로 실험결과와 비교한 것이다.

상블 4.0으로 계산된 E면 방사패턴은 그림 5와 같고 측정된 방사패턴은 그림 6과 같다. 그림 6에 나

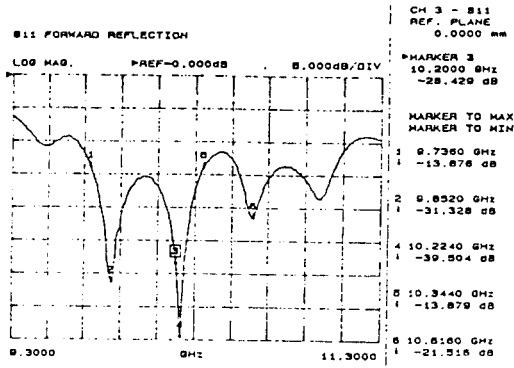
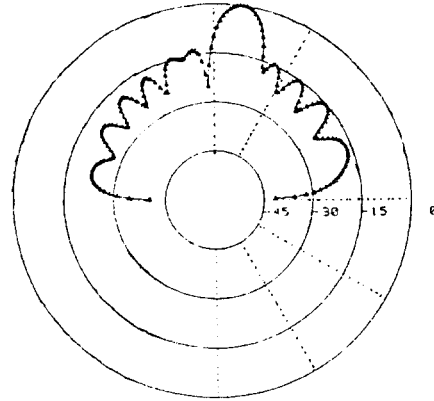


그림 3. 체비셰프 배열법에 의한 반사 손실
Fig. 3. Return loss($2N = 8$, Tschebyscheff).



(a) ($2N=8$, $SLL=-20$ dB Tschebyscheff))

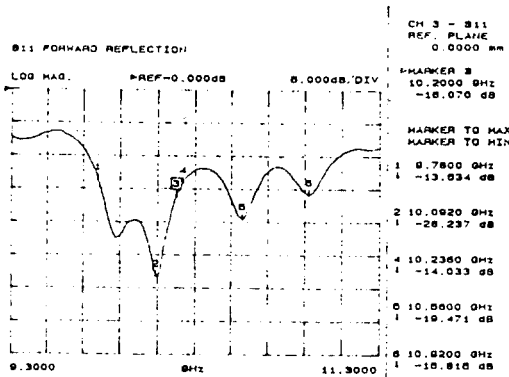
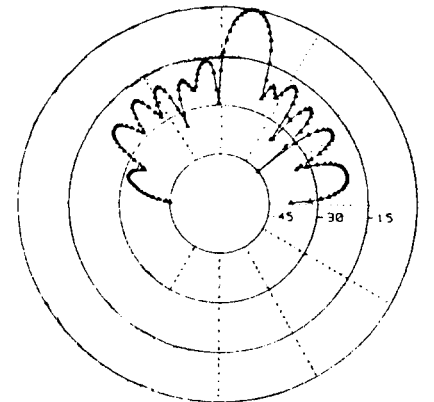


그림 4. 테일러 배열법에 의한 반사 손실
Fig. 4. Return loss($2N = 8$, Taylor).



(b) ($2N=8$, $SLL=-20$ dB Taylor)

그림 5. 계산된 E면 방사패턴

Fig. 5. Calculated E-plane radiation patterns.

체비셰프 배열법과 테일러 배열법을 적용하여 양

표 4. 마이크로스트립 배열 패치 안테나의 경사각과 SLL 및 3 dB 빔폭

Table 4. Tilt angle, SLL and bandwidth of microstrip array patch antenna.

특성	경사각 (°)		SLL (dB)		3 dB 빔폭 (°)	
	계산치	실험치	설계/계산치	실험치	계산치	실험치
체비셰프	81	80.9	-20/-14	-14.5	10	8.5
테일러	81	81.7	-20/-15	-13.8	10	8.6

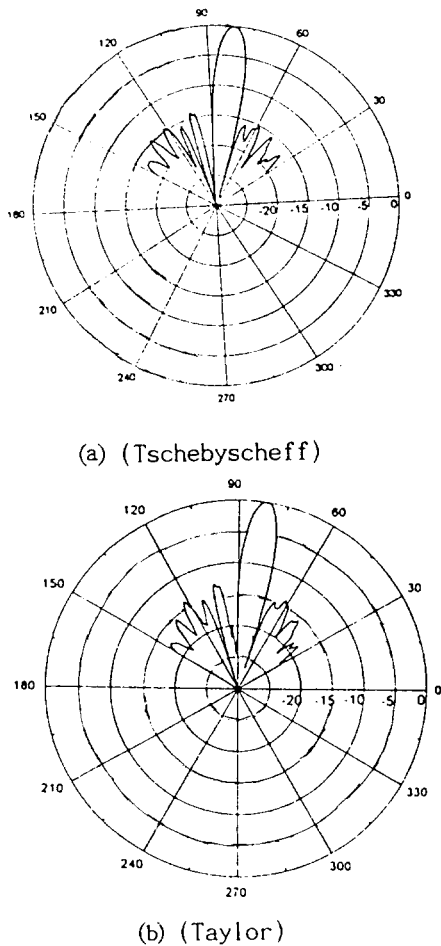


그림 6. 측정된 방사패턴
Fig. 6. Measured radiation patterns.

타난 바와 같이 안테나 실험시 주위 환경 및 안테나 제작상의 오차로 인하여 방사패턴의 계산치와 실험치가 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 그리고 측정된 안테나 이득은 30.25 dB이다.

VI. 결 론

본 연구에서는 기울어진 빔을 얻기 위하여 직렬 급전 구조의 마이크로스트립 배열 안테나를 설계하고, 특성을 실험적으로 고찰하였다.

본 연구에서 제안한 높은 지향성을 갖는 배열 안테나는 인공위성과 항공기 사이의 통신용 안테나 및 미사일 유도장치 등에 사용될 수 있고, 배열 안테나의 소자수를 증가시킬 경우 더욱 더 높은 지향성을 가진 방사패턴을 얻을 수 있을 것이다.

안테나 제작시 약간의 Over-Etching 때문에 안테나의 중심 주파수가 이론치보다 약간 높게 나타났으나, 대역폭내에서 임피던스 정합 특성은 비교적 양호하였다. 빔폭은 이론치와 거의 일치하였고, SLL은 약간 높게 나타났다. 그리고 빔의 경사각도 비교적 정확하게 나타났다.

본 연구를 바탕으로 앞으로 지향성 있는 방사패턴을 임의 각도로 전자적으로 주사할 수 있는 위상 배열 안테나를 마이크로스트립 기판에 설계 및 제작하기 위하여 디지털 이상기의 연구와 높은 주파수에서의 정확한 마이크로스트립 선로의 해석이 필요하다.

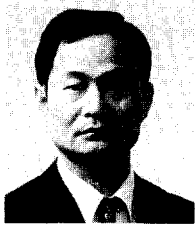
참 고 문 헌

- [1] G. A. Deschamps, "Microstrip Microwave Antennas", presented at the 3rd USAF Symposium on Antennas, 1953.
- [2] R. E. Munson, "Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays", *IEEE Trans. AP-22*, pp. 74-78, 1974.
- [3] J. R. James, "What's new in antenna?", *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 32, no. 1, pp. 6-18, Feb. 1990.
- [4] A. G. Derneryd, "Linearly Polarized Microstrip Antennas", *IEEE Trans. AP-24*, pp. 846-851, 1976.
- [5] R. F. Harrington, "Time Harmonic Electromagnetic Fields", McGraw Hill, pp. 276.
- [6] Tom Metzler, "Microstrip Series Arrays", *Ball Aerospace System Division*, Boulder, Colorado 80306.

[7] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip Antennas", Artech House, Inc., 1982.
 [8] P. Bhartia, K. V. S. Rao and R. S. To-

mar, "Millimeter-Wave Microstrip and Printed Circuit Antennas", Artech House, Inc., pp. 240-247, 1991.

이진선



1952년 7월 27일생
 1977년 : 숭실대학교 전자계산학과 (공학사)
 1980년 : 연세대학교 산업대학원 전자계산학과(공학석사)
 1996년 : 국립 경상대학교 대학원 전자공학과(공학박사과정)

1977년~1982년 : 국방과학연구소 연구원
 1984년~현재 : 연암공업전문대학 컴퓨터정보기술과 교수

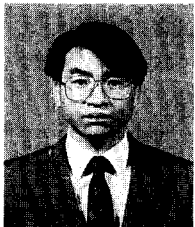
김진생



1953년 11월 26일생
 1989년 : 부산공업대학교 전자공학과(공학사)
 1991년 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
 1996년 : 국립 경상대학교 대학원 전자공학과(공학박사과정)

[주 관심분야] 안테나 공학

강치운



1963년 5월 17일생
 1986년 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
 1988년 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
 1996년 : 국립 경상대학교 대학원 전자공학과(공학박사과정)

1993년~현재 : 동의공업전문대학 전자통신과 조교수

김우수



1948년 3월 1일생
 1985년 : 동아대학교 전자공학과(공학사)
 1990년 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
 1995년 : 국립 경상대학교 대학원 전자공학과(공학박사과정)

1978년~현재 : 동의공업전문대학 전자통신과 교수
 [주 관심분야] 전자파 해석, 이동통신

이문수



1947년 12월 29일생
 1970년 : 한국항공대학교 항공통신과(공학사)
 1980년 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
 1984년 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사)

1981년~1986년 : 제주대학교 부교수
 1986년~1987년 : 미국 COMSAT연구소 연구원
 1986년~현재 : 현재 국립 경상대학교 공과대학 전자공학과 교수