

비균일 입력 임피던스를 갖는 K 밴드 패치 어레이 안테나 K-Band Array Patch Antenna Having Unequal Input Impedance

김 인 호 · 이 정 해

In-Ho Kim · Jeong-Hae Lee

요 약

본 논문에서는 어레이 안테나를 구성하는 각 패치 안테나의 입력 임피던스가 비 균일하게 구성되어 있는 K 밴드(24.15 GHz) 3×6 어레이 안테나를 제안하였다. 각 패치 안테나의 임피던스를 조절하기 위해 인셋 급전의 길이를 다르게 함으로써 설계하였다. 또한, 키르히호프 법칙에 의하여 각 패치에 동일한 전류를 인가시켰다. 제안된 비 균일 어레이 안테나의 대역폭은 균일 어레이 안테나의 대역폭보다 1.5배 넓음을 확인하였다. 이는 비 균일 임피던스 어레이 안테나를 구성하는 각 패치의 인셋 급전의 길이가 다르기 때문에 다중 공진을 형성하여 대역폭이 넓어지는 것이라 사료된다. 제안된 비 균일 어레이 안테나의 대역폭은 5.07 %, 이득은 18.32 dBi로 측정되었다.

Abstract

In this paper, the K band 3×6 array antenna having unequal input is presented. To control the input impedance of the patch antenna, the length of inset feed is adjusted. Also, the same current in each element is excited by Kirchhoff's law. The proposed unequal impedance array antenna is a nonuniform amplitude array. The bandwidth of the proposed unequal impedance array antenna is wider by 1.5 times than that of the equal array antenna. This broad bandwidth is thought to be due to multiple resonances of patches. The unequal impedance array antennas have fractional bandwidths of 5.07 % and gains of 18.32 dBi.

Key words : K Band, Inset Feed, Unequal Impedance Array Antenna, Broad Bandwidth, Multiple Resonances

I. 서 론

최근 통신 기술의 발달로 인해 초고주파에서 높은 이득과 넓은 대역폭을 요구한다. 특히 레이더 디텍터(RD)의 경우 K-밴드(24.15 GHz), Ka-밴드(33.4~36 GHz)의 고주파에서 사용된다. 하지만, 널리 사용되고 있는 패치 안테나는 이득이 낮고 대역폭이 좁은 단점이 있다. 이러한 이유 때문에 높은 이득과 넓은 대역폭을 요구하는 레이더 디텍터(RD)의 경우 패치 안테나 대신 혼 안테나를 사용하고 있다. 하지만, 혼 안테나는 구조적 한계 때문에 레이더 디텍터를

소형화 시키는데 많은 어려움이 있다. 따라서 이득을 높이기 위해 레이더 디텍터에서 사용할 수 있는 주기형 배열 안테나를 제안하였다. 배열 안테나는 키르히호프 법칙을 바탕으로 설계된다^[1]. 어레이 안테나 설계 방법에는 각 패치에 동일한 급전이 인가되는 균일 급전과 비 동일한 급전이 인가되는 비 균일 급전이 있다. 비 균일 급전 방법에는 돌프-체비세프 방법과 바이노미얼 방법이 있다^[2]. 현재까지 소개된 어레이 안테나는 각 패치의 입력 임피던스가 모두 동일하게 하여 설계되었다^{[3],[4]}.

본 논문에서는 기존 설계 방법과 다른 각 패치의

「본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002071, 메타전자과구조를 이용한 전파(RF) 스펙트럼 특성개선기술연구].」

홍익대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronic Information and Communication, Hongik University)

· 논문 번호 : 20100709-04S

· 교신저자 : 이정해(e-mail : jeonglee@hongik.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 9월 6일

입력 임피던스가 비 균일하게 분포되어 있는 K 밴드 (24.15 GHz) 어레이 안테나를 제안하였다. 각 패치의 입력 임피던스를 조절하기 위하여 인셋 급전의 길이를 이용하여 설계하였다. 제안된 어레이 안테나는 키르히호프 법칙에 위배되지 않으며, 각 패치에 동일한 전류가 인가되도록 설계하였다. 따라서 각 패치의 입력 임피던스는 다르고 인가되는 전류는 동일하기 때문에 제안한 어레이 안테나는 비 균일 급전 방식이다. 본 논문에서 제안한 비 균일한 임피던스를 갖고 각 패치에 동일한 전류가 흐르는 K 밴드 3×6 어레이 안테나와 균일한 임피던스를 갖고 동일한 K 밴드 3×6 어레이 안테나를 설계하여 대역폭, 이득을 비교 분석하였다. 또한, 실제 제작을 통하여 측정, 분석하였다.

II. 인셋 급전에 따른 임피던스 변화

그림 1은 인셋 급전을 고려한 단일 패치 안테나이다. W 와 L 은 패치 안테나의 너비와 길이를 의미하며 y_0 는 인셋 급전의 길이를 나타낸다. 또한, h 와 ϵ_r 은 기판의 두께와 유전율을 의미한다. 패치 안테나의 임피던스는 y_0 의 길이에 따라 조절할 수 있다.

먼저 인셋 급전을 고려하지 않은 패치 안테나의 임피던스를 살펴보면 다음 식 (1)과 같다^[5].

$$R_{patch} = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} ; y_0 = 0 \quad (1)$$

여기서 G_1 은 단일 슬롯의 컨덕턴스를 의미하며, G_{12} 는 슬롯 간 상호 컨덕턴스를 의미한다. G_1 과 G_{12} 는 식 (2), (3)에서 구할 수 있다^[5].

$$G_1 = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta)}{\cos \theta} \right]^2 \sin^3 \theta d\theta \quad (2)$$

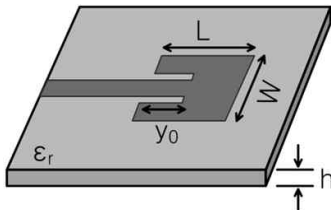


그림 1. 인셋 급전을 고려한 패치 안테나
Fig. 1. The patch antenna with inset feed.

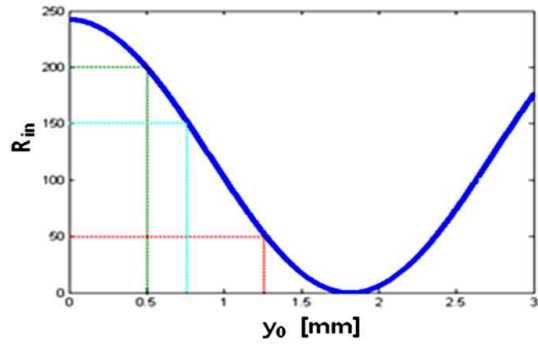


그림 2. 인셋 급전에 따른 패치 안테나의 임피던스
Fig. 2. The impedance of the patch antenna with inset feed.

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta)}{\cos \theta} \right]^2 J_0(k_0 \sin \theta) \sin^3 \theta d\theta \quad (3)$$

식 (1)~(3)을 통해 구한 패치 안테나의 임피던스는 인셋 급전을 삼입함으로써 조절할 수 있다. 식 (4)는 인셋 급전에 따른 임피던스를 나타낸다.

$$R_m = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) = R_{patch}(y_0 = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (4)$$

그림 2은 인셋 급전에 따라 패치 안테나의 임피던스를 나타낸다.

따라서 본 논문에서 인셋 급전에 따라 패치 안테나의 임피던스가 변화는 특성을 이용해 각 패치의 인셋 급전 길이를 식 (4)에 의해 비동일하게 설계하여 각 패치의 입력 임피던스를 비 균일하게 K 밴드 3×6 어레이 안테나를 설계하였다.

III. 비균일 임피던스 어레이 안테나 설계

그림 3은 제안된 K 밴드 비 균일 임피던스 어레이 안테나를 나타낸다.

그림 3(a)는 각 패치의 인셋 급전의 길이를 다르게 하여 입력 임피던스를 비 균일하게 설계한 1×3 어레이 안테나이다. 여기서 W 는 4.4 mm, L 은 3.6 mm이다. 1, 2, 3번 패치의 인셋 급전의 길이는 각각 0.6 mm, 1.1 mm, 1.4 mm로 설계하였다. 그리고 인셋 홈의 폭은 0.1 mm로 설계되었다. 각각의 임피던스는 200 Ω, 150 Ω, 100 Ω으로 설계하였다. 또한, 각 패치

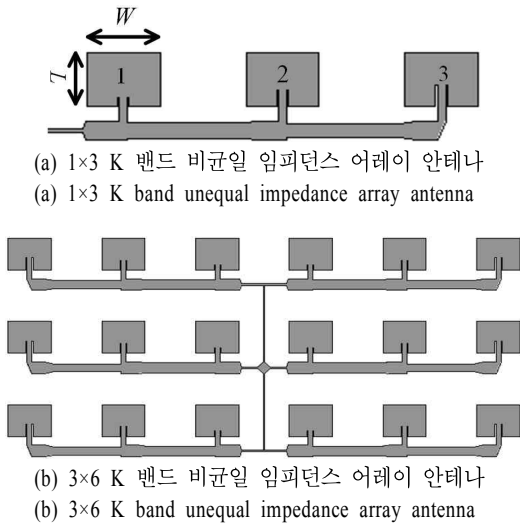


그림 3. 제안된 K 밴드 비균일 임피던스 어레이 안테나

Fig. 3. The structure of the proposed K band unequal impedance array antenna.

의 위상차를 0으로 하기 위해 패치 간의 마이크로스트립 라인의 길이를 λ_g 로 하였다. 만약, λ_g 의 길이를 갖는 마이크로스트립 라인의 너비를 일정하게 할 경우, 각 패치의 입력 임피던스가 틀리기 때문에 모든 패치에 동일한 전류가 인가되지 않는다. 따라서 그림 4에서 보는 바와 같이 모든 패치에 동일한 전류가 인가될 수 있도록 λ_g 의 길이를 $3\lambda_g/4$, $\lambda_g/4$ 로 각각 나누어 너비를 조절하며 설계하였다.

마이크로스트립 라인의 입력 임피던스를 구하는 식 (5)를 이용하면,

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} \tag{5}$$

Z_{in1} , Z_{in2} , Z_{in3} , Z_{in4} , Z_{in5} , Z_{total} 는 각각 36 Ω , 150 Ω ,

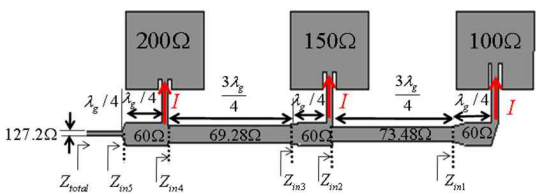


그림 4. 1x3 K 밴드 비균일 임피던스 어레이 안테나 설계

Fig. 4. Design of the 1x3 K band unequal impedance array antenna.

48 Ω , 100 Ω , 54 Ω , 300 Ω 이 된다. Z_{in2} 이 150 Ω 으로 설계되었기 때문에 2번째 패치와 3번째 패치에 동일한 전류가 인가된다. 또, Z_{in4} 가 100 Ω 이기 때문에 각 패치에 흐르는 전류는 모두 동일하게 된다. 그림 3(b)에서 보는 바와 같이 3x6 어레이 안테나는 6개의 1x3 어레이 안테나가 병렬로 연결되어 있기 때문에 1x3 어레이 안테나의 입력 임피던스는 300 Ω 이 되도록 설계하였다. 따라서 3x6 어레이 안테나의 입력 임피던스는 50 Ω 이 된다. 사용된 기판은 TLY-5($\epsilon_r=2.2$, $\tan \delta=0.0012$, 기판 높이=25 mil)이다. 어레이 안테나의 급전은 동축 선로를 사용하였다. 위와 같은 방법으로 설계된 K 밴드 3x6 비균일 임피던스 어레이 안테나와 K 밴드 3x6 균일 임피던스 어레이 안테나를 비교하였다.

K 밴드 3x6 균일 임피던스 어레이 안테나의 각 패치의 입력 임피던스를 150 Ω 으로 동일하게 하였고, 설계 방법은 K 밴드 3x6 비균일 임피던스 어레이 안테나와 동일하다. K 밴드 3x6 균일 임피던스 어레이 안테나 역시 각 패치에 동일한 전류를 인가하였다.

K 밴드 3x6 비균일 임피던스 어레이 안테나는 각 패치에 동일한 전류가 인가되나, 입력 임피던스가 다르기 때문에 비균일 급전 방법으로 분류될 수 있다. 하지만, K 밴드 3x6 균일 임피던스 어레이 안테나는 각 패치에 동일 전류가 인가되고 입력 임피던스가 동일하기 때문에 균일 급전 방법이다.

IV. 시뮬레이션 및 측정 결과

3장에서 언급한 방법으로 K 밴드 3x6 비균일 임피던스 어레이 안테나와 K 밴드 3x6 균일 임피던스 어레이 안테나를 설계하여 시뮬레이션을 통해 비교·분석하였다. 그림 6은 K 밴드 3x6 비균일 임피던스 어레이 안테나와 K 밴드 3x6 균일 임피던스 어레이 안테나의 반사 손실을 나타낸다.

그림 5에서 보는 바와 같이 비균일 임피던스 어레이 안테나와 균일 임피던스 어레이 안테나의 10 dB 대역폭은 각각 4.93 % (1.2 GHz), 3.43 % (830 MHz)로 비균일 임피던스 어레이 안테나가 약 1.5배 넓은 대역을 확인하였다. 비균일 임피던스 어레이 안테나와 균일 임피던스 어레이 안테나의 중심 주파수는 각각 24.36 GHz, 24.22 GHz로 약 140 MHz 차이가 난다.

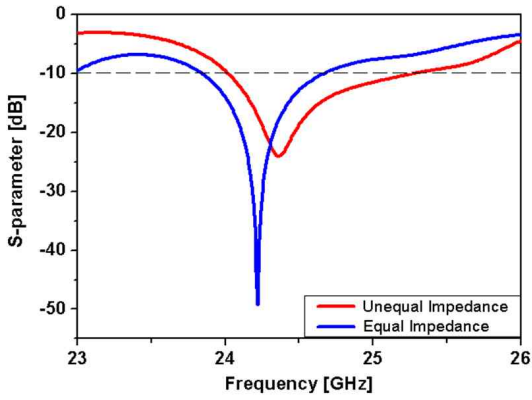


그림 5. 비균일 임피던스와 균일 임피던스 어레이 안테나의 대역폭 비교

Fig. 5. Comparison of the bandwidth of unequal impedance and equal impedance array antenna.

두 가지 방법으로 설계된 어레이 안테나는 설계 주파수 24.15 GHz보다 낮게 나왔다. 그 이유는 주파수가 변함에 따라 유전율 역시 변하기 때문인 것으로 사료된다.

비 균일 임피던스 어레이 안테나가 상대적으로 넓은 대역폭을 갖는 이유는 그림 6에서 보는 바와 같이 인셋 급전의 길이에 따라 각 소자의 공진 주파수는 약간의 차이가 보인다.

따라서 비 균일 임피던스 어레이 안테나는 삼중 공진의 효과가 있기 때문에 하나의 인셋 급전을 사용한 균일 임피던스 어레이 안테나보다 대역폭이 상대적으로 더 넓어진다.

두 방법의 어레이 안테나의 방사 패턴은 그림 7과

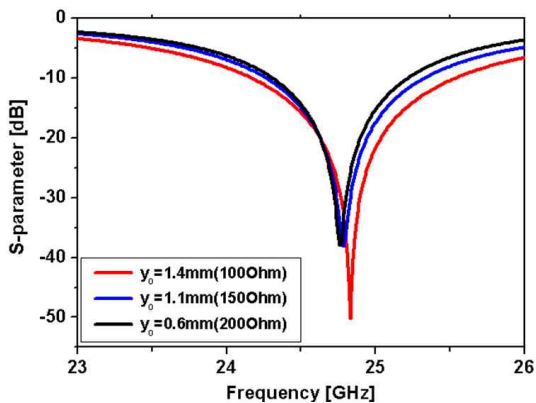
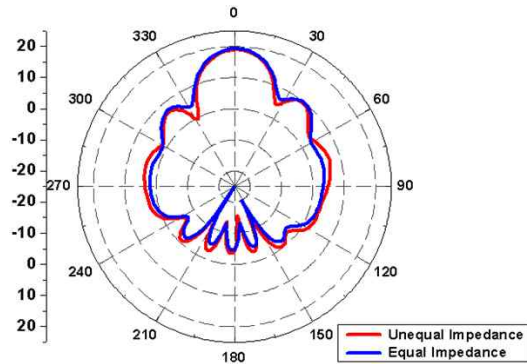
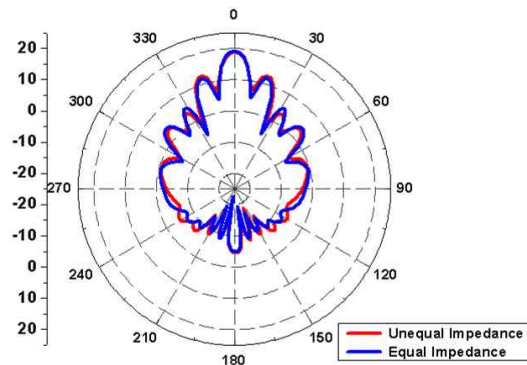


그림 6. 인셋 급전에 따른 공진 주파수
Fig. 6. Resonance frequency with inset feed.



(a) E-plane 방사패턴
(a) E-plane radiation pattern



(b) H-plane 방사패턴
(b) H-plane radiation pattern

그림 7. 어레이 안테나의 방사 패턴
Fig. 7. Radiation pattern of array antenna.

같다.

비 균일 임피던스 어레이 안테나와 균일 임피던스 어레이 안테나의 이득은 각각 18.95 dBi, 19.29 dBi로 약 0.3 dBi 정도 균일 임피던스 어레이 안테나가 높게 나타났다. 이는 이득 면에서 비 균일 급전 방법보다 균일 급전 방법이 더 높다는 이론과 일치한다^[2]. 본 논문에서는 대역폭이 더 넓은 비 균일 임피던스 어레이 안테나를 실제 제작하여 방사 손실과 이득을 측정하였다.

그림 8은 제작한 비 균일 임피던스 어레이 안테나의 방사 손실을 나타낸다.

그림 8에서 보는 바와 같이 시뮬레이션과 측정값은 오차를 보였다. 기관의 유전율은 주파수에 따라 변하는 특성이 보인다. 시뮬레이션을 통한 방사 손실은 주파수에 상관없이 유전율을 2.2로 하였다. 따라서 실제 제작한 어레이 안테나 측정에서는 유전율

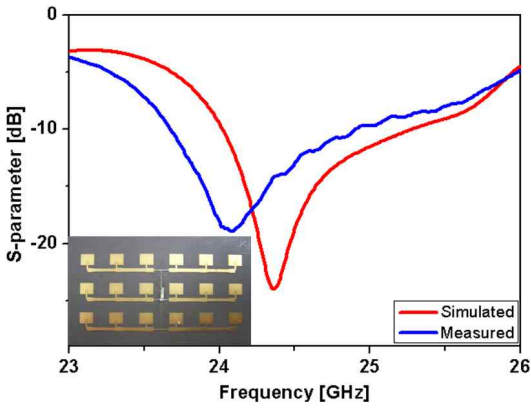


그림 8. K 밴드 3×6 비균일 임피던스 어레이 안테나 반사 손실

Fig. 8. The return loss of K band 3×6 unequal impedance array antenna.

표 1. K 밴드 3×6 비 균일 임피던스 어레이 안테나의 대역폭

Table 1. The bandwidth of K band 3×6 unequal impedance array antenna.

		중심 주파수 (GHz)	대역폭 (%)
3×6 비균일 어레이 안테나	측정 (시뮬레이션)	24.09 (24.36)	5.07 4.93

이 2.2와 차이를 보이기 때문에 생긴 오차라 사료된다. 시뮬레이션과 측정된 중심 주파수와 대역폭은 표 1과 같다.

제작된 K 밴드 3×6 비 균일 어레이 안테나의 측정은 두 개의 K 밴드 혼 안테나의 S-parameter를 측정 후 혼 안테나의 이득을 구한 다음 같은 방법으로 어레이 안테나와 혼 안테나를 이용하여 S-parameter를 측정해 Friis 방정식을 이용해 어레이 안테나의 이득을 구하였다. 이득은 18.32 dBi(24.09 GHz)로 시뮬레이션 이득 18.95 dBi(24.36 GHz)과 약 0.7 dBi 차이가 난다. 이는 초고주파에서 케이블 손실이 많은 것으로 사료된다.

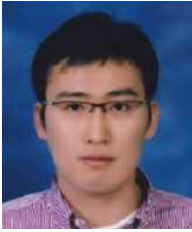
V. 결 론

본 논문에서는 어레이 패치 안테나를 구성하는 각 패치의 입력 임피던스가 비 균일하게 구성되어 있는 K 밴드 3×6 어레이 안테나를 제안하였다. 각 패치의 입력 임피던스를 조절하기 위해 인셋 급전의 길이를 이용하였다. 또한, 각 패치에 동일한 전류를 인가시키기 위해 키르히호프 법칙을 기본으로 마이크로스트립 라인의 너비를 조절하며 설계하였다. 제안된 K 밴드 3×6 비 균일 어레이 안테나는 균일 어레이 안테나의 비해 상대적으로 대역폭이 넓음을 확인하였다. 이는 비 균일 임피던스 어레이 안테나를 구성하는 각 패치의 인셋 급전의 길이가 다르기 때문에 삼중 공진을 형성하기 때문이다. 제작된 비 균일 어레이 안테나의 대역폭은 5.07 %, 이득은 18.32 dBi이다.

참 고 문 헌

- [1] E. Levine, G. Malamud, S. Shtrikman, and D. Treves, "A study of microstrip array antennas with the feed network", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 37, no. 4, Apr. 1989.
- [2] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, 3rd Ed., Wiley, New York, pp. 290-345, 2005.
- [3] Youngju Lee, Myoung Suk Jung, and Wee Sang Park, "Design of a 35 GHz microstrip tapered-array antenna with wide detection range", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 29, no. 4, May 2001.
- [4] H. Evans, P. Gale, and A. Sambell, "Performance of 4×4 sequentially rotated patch antenna array using series feed", *Electronics Letters*, vol. 39, no. 6, pp. 493-494, Mar. 2003.
- [5] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, 3rd Ed., Wiley, New York, pp. 824-826, 2005.

김 인 호



2009년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신학과 석사과정
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로 설계, Metamaterial 안테나

이 정 해



1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1996년 3월: UCLA 전기공학과 (공학박사)
1993년 3월~1996년 2월: General Atomics 교환연구원
1996년 3월~1996년 8월: UCLA 전기공학과 Postdoctor
1996년 9월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 소자, 안테나, Metamaterial RF 소자