

직교형 원형 루프 안테나와 역 에프형 배열구조의 등가성 분석

김중성^o, 박승모^{*}, 최원규^{**}, 성낙선^{**}

경성대학교(jskim@ks.ac.kr), *(주)뮤트로닉스, **한국전자통신연구원

Equivalence Between Two Orthogonal Oriented Circular Loops and Planar Inverted-F Antenna Array

Jong-Sung Kim, Seung-Mo Park, Won-Kyu Choi, and Nak-Seon Seong

Abstract

Two planar inverted-F antenna (PIFA) arrays are proposed as an alternative model to generate input and radiation characteristics of two orthogonal oriented circular loops, which has polarization diversity, but inherent mechanical instability of two orthogonal loops, in particular, in installation and operation conditions. Two 1x2 PIFA sub-arrays are orthogonally placed on a ground plane and two different feeding networks are applied to control horizontal and vertical radiation current flows for each sub-array, respectively. Equivalence of scattering parameters and radiation patterns between two antennas are validated by the available commercial simulator.

Key Words: Orthogonal Loop, PIFA, Polarization, Array, Isolation

I. 서론

최근에 이동통신의 가입자 증대 및 광대역 서비스의 확대에 채널용량의 증대가 요구되고 있다. 이를 위해서는 기지국의 송신 및 수신 안테나에서 이중편파 안테나의 이용이 하나의 방법으로 많이 연구되고 있다. 일례로 도심과 같은 밀집된 환경에서 송신측에 이중편파 안테나를 이용하는 것은 단일 편파에 비해서 50% 이상의 채널용량이 증대되는 것으로 알려져 있다[1]. 이러한 이중편파 안테나는 크기가 작고 특성이 우수한 것을 요구하고 있다. 이중편파 안테나중에서 가장 많이 알려진 것은 사각의 마이크로스트립 패치에 2개의 직교형 슬롯을 통하여 안테나를 급전하는 45도 이중편파 구조이다[2-3]. 이 구조는 적절한 급전라인과 슬롯의 구조를 조정하여 입력 특성과 복사 특성이 우수하지만, 마이크로스트립 구조의 일반적인 단점인 전방향의 복사에만 제한되는 것이 단점이다. 참고문헌[4]에서는 2개의 루프 구조가 동일한 중심을 가진 상태에서 90도로 배열된 구조가 이중편파 안테나의 형태로서 제시되었고, 특히 루프간의 아이슬레이션에 대한 연구결과를 발표하였다. 이중 루프 안테나는 안테나는 공간 및 편파 다이버시티 기능에 의

하여 채널용량이 증대되지만 운용 및 설치에 있어서 구조적인 특성에 의한 안정성이 저하되는 것이 단점이다.

본 논문에서는 특성면에서는 이중루프 안테나의 특성을 따르면서 구조적인 단점을 보완한 안테나를 제안한다. 이는 1/4 파장의 길이를 갖는 공진 구조로서 잘 알려진 역-에프 형 안테나 4개를 이용하여 2개씩 서브-어레이를 구성하여 수직 및 수평편파 안테나로 동작시키는 것이다.

II. 안테나 설계

그림 1은 2개의 원형 루프가 수직으로 위치하며 루프 1은 zx 평면에, 루프 2는 xy 평면에 위치하는 직교형 이중 루프 안테나이다. 여기에서 루프의 둘레 길이는 동작 주파수에서 1차 공진이 생기는 1 파장길이를 가지며 급전점은 루프1에 대해서는 (R, 0, 0)에, 루프2에 대해서는 (-R, 0, 0) 위치한다. 이러한 직교형 이중 루프 안테나는 이중편파 안테나로서 이용이 가능하며 급전점의 위치에 따른 루프간 상호 커플링에 대해서는 참고문헌[4]에서 연구되어 루프가 교차하는 2개의 위치에서만 아이슬레이션이 만족된다는 것을 해석적으로 증명하였다.

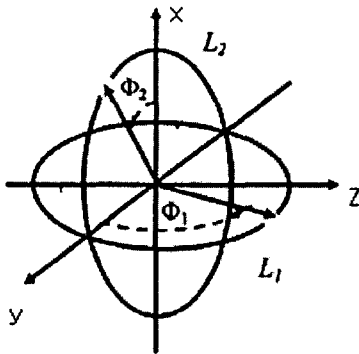


그림1. 직교형 이중 루프 안테나

원형 루프 구조에 대한 복사특성의 정확한 해는 참고 문헌[5], 근사해는 참고문헌 [6]에 과정과 최종식이 나타나 있다. 소형 루프와는 달리, 현재 본 고에서논하는 루프는 원주의 길이가 1 파장길이인 공진형 루프이며, 전류분포는 정현파에 가까운 불균일한 분포를 갖는다. 참고문헌[7]에는 원형 루프에 대한 특성이 사각형태의 루프와 유사하다는 기존의 결과에서의 가정을 바탕으로 필드식을 구하였다. xy 평면에 존재하고 y축상에 존재하는 루프에 대하여(그림1의 경우에는 루프2에 해당) $\theta = \frac{\pi}{2}$ 인 xy 평면에서의 y축에서의 필드성분은 아래와 같다.

$$E_{\theta}(\phi = \frac{\pi}{2}) = 0 \tag{1}$$

$$E_{\phi}(\phi = \frac{\pi}{2}) = -\frac{jI_0\eta e^{-jk_0r}}{\sqrt{2\pi r}} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

zx 평면이 E-평면에 해당하며, H-평면인 yz 면에서의 필드식은 아래와 같다.

$$E_{\theta}(\phi = \frac{\pi}{2}) = 0 \tag{2}$$

$$E_{\phi}(\phi = \frac{\pi}{2}) = -\frac{jI_0\eta e^{-jk_0r}}{\sqrt{2\pi r}} \cos(\frac{\pi}{4} \sin\theta)$$

위의 식(2)에서 $\theta=0$ 인 z 방향에서의 필드는

$$E_{\phi}(\theta = 0, \phi = \frac{\pi}{2}) = -\frac{jI_0\eta e^{-j\beta r}}{\sqrt{2\pi r}}$$

의 형태이며 이는 y축 성분인 식(1)보다 3 dB 더 큰 값을 나타내며 x 방향에서는 Null을 갖는다. 위의 식(2)에서 $\cos[\frac{\pi}{4} \sin\theta]$ 성분은 90도의 간격을 가지는 어레이 요소에 해당하며, 이는 루프 구조가 안테나의 배열 구조를

이용하여 등가적인 특성을 발생에 대한 가능성을 갖는다.

위에서 논한 루프 안테나와 동일한 특성을 갖는 구조는 배열 안테나 구조를 아래의 그림2에 4개의 안테나의 배열로 나타내었다.

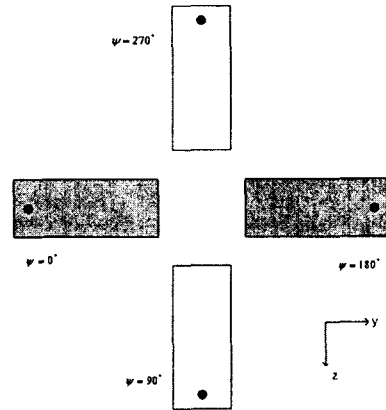


그림 2. 2개의 1x2 서브 어레이 구조

그림1의 복사 특성에 대한 방향과 동일성을 유지하기 위하여 yz 평면에 배열이 위치하며 개별안테나의 급전점은 점으로 표시하였다. 수직으로 배열된 것(회색)과 수평으로 배열된 것(흰색)이 각각 1x2 서브 어레이로 독립적으로 동작한다. 각 배열요소 상호 간에는 2개의 위상차가 있는데 첫째는, 그림에 나타낸 바와 같이 안테나간의 공간적인 방향에 의한 위상차이 ($\psi=0, 180, 90, 270$)가 존재한다. 둘째는 안테나의 급전 위상차에 의한 것으로 신호의 입력에서 안테나의 급전점까지 위상차로서 수평축 서브 어레이에 대해서는 (90,90)의 동위상, 그리고 수직축에 대해서는 (0,180)의 반대위상으로 급전한다. 급전위상의 차이는 그림2의 공간 배열에서 2개의 서브 어레이간 아이슬레이션에 영향을 미치며 위의 급전 위상에서만 가장 좋은 값을 나타낸다. 이는 참고문헌 [4]에서 이중루프의 아이슬레이션이 상호 180도 떨어진 루프간의 교차점에서만 만족하는 특성과 유사하다. 위의 2개의 위상 요소를 고려하여 0도와 180도의 공간 위상을 갖고 간격이 d 인 수평축 어레이에 대한 어레이 요소는 아래의 식으로 나타낸다.

$$F_{zz} = H_1 e^{-jk_0 \frac{d}{2} \sin\theta} e^{j\theta} + H_2 e^{jk_0 \frac{d}{2} \sin\theta} e^{j180} \tag{3}$$

$$= H \cdot \sin(k_0 \frac{d}{2} \cdot \sin\theta)$$

동위상($H_1 = H_2$)으로 급전 될 경우 x 축 방향으로 최소가 된다. 수직축 서브 어레이는 안테나의 공간적인 위치에 의한 위상은 90도, 270도이며, 급전에 의해서는 반대 위상으로 분배($V_1 = V_2 e^{j180^\circ}$) 되도록 설계하였다. 이를 아래의 식으로 표현이 가능하다.

$$F_{xy} = V_1 e^{-jk_0 \frac{d}{2} \sin\theta} e^{j90^\circ} + V_2 e^{jk_0 \frac{d}{2} \sin\theta} e^{j270^\circ}$$

$$= V \cdot \cos(k_0 \frac{d}{2} \cdot \sin\theta) \quad (4)$$

위의 식에서 z 축의 방향으로 최대점이 된다. 이상의 식(3)-(4)의 결과는 식(1)-(2)에 의하여 나타난 루프 안테나와 식과 유사한 특성을 나타나도록 설계가 가능함을 의미한다.

그림3 에는 역 애플 구조의 안테나를 이용하여 그림2의 위치 위상차와 급전 위상차를 구현한 어레이 안테나의 형태를 나타내었다. 안테나 요소로서 역 애플 구조를 선택한 이유는 공진형 구조 중에서 크기가 작고, 형태적으로 루프 구조와 유사한 모양으로 유추가 가능하기 때문이다. 원형의 접지판 위에 4개의 PIFA를 배열하고 서브 어레이에서는 급전회로를 이용하여 위상차를 제어하였다. 4개의 안테나에 대한 급전점 또한 그림2의 위치와 동일하게 구현하였다.

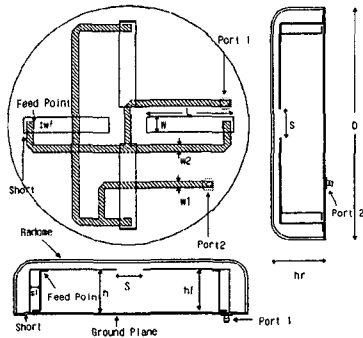


그림3. 직교형 배열 안테나 구조 $D=290$ mm, $hr=67$ mm, $S=36$ mm, $w=20$ mm, $w_1=7.4$ mm, $w_2=9$ mm, $wf=7.4$ mm, $L=108$ mm, $h=53$ mm, $hf=50$ mm, $s_1=12$ mm

III. 측정결과

그림 4에는 안테나의 입력 포트에서의 산란 파라미터를 측정된 결과를 나타내었다. 433 MHz 의 주파수에서 20 dB 이상의 값을 가짐을 알 수 있다. 포트간 커플링은 중심 주파수에서 28dB 정도를 나타내었다. 비교를 위하여 FDTD 에 의한 결과를 같이 나타내었다.

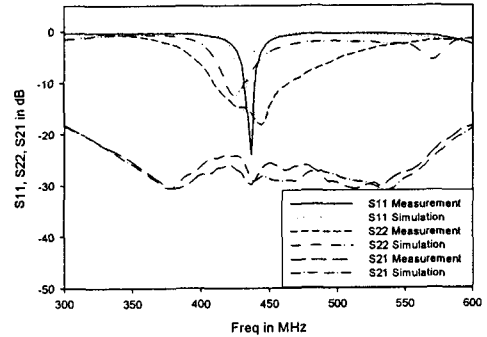
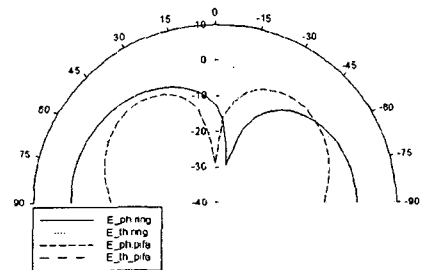
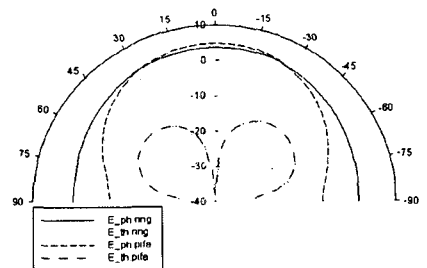


그림 4. 안테나의 산란 파라미터

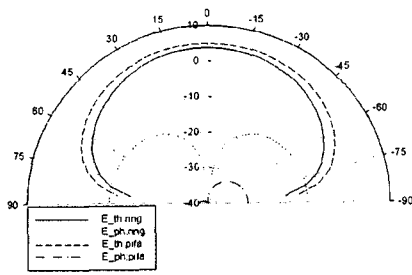
그림5에는 그림1의 루프 1과 그림4의 수평축 서브 어레이와의 복사 패턴을 xy, yz, zx 평면에 대하여 상용 시뮬레이터인 CST 에 의한 계산결과를 나타내었다. 복사 패턴의 비교에서는 PIFA 배열구조가 접지판 위에 형성되었으므로 전방향에 대해서만 등가성이 성립하므로 전방향에 대해서만 비교하였다. z축 방향으로 최대, x축으로 최소의 빔의 전파가 발생하며 약 3dB 정도의 이득이 발생한다.



(a) xy 평면



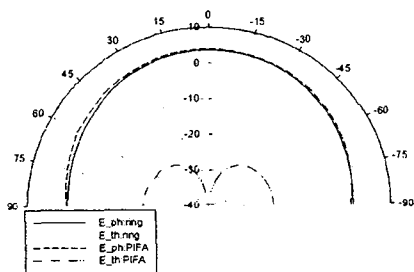
(b) yz 평면



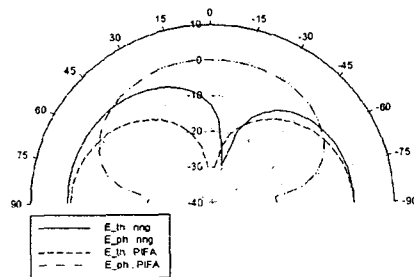
(c) xz 평면

그림 5. 복사패턴 비교(루프2 과 수평 어레이)

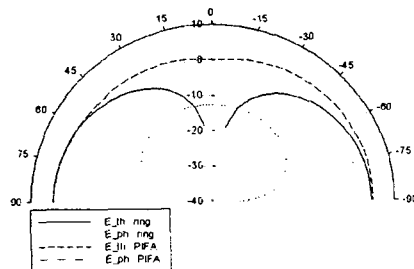
그림 6에는 그림1의 루프 2과 그림4의 수직축 서브 어레이와의 복사 패턴을 xy, yz, xz 평면에 대하여 계산하였다. x축 방향으로 최대, z축으로 최소의 빔의 전파가 발생하며 약 3dB 정도의 이득이 발생한다. 빔 패턴에서 최대/최소의 위치는 맞지만 xz 평면에서 x-pol 데이터가 PIFA 구조에서 많이 발생하는데 이는 PIFA 구조의 단락점 근처의 수직 부분의 전류가 출력되고, 접지판에 의한 반사가 수평 전류에 대하여는 많이 발생하기 때문이다. 그러나 전체적으로는 그림1의 직교형 이중 루프 안테나를 PIFA 어레이로 구현이 가능함을 보였다.



(a) xy 평면



(b) yz 평면



(c) xz 평면

그림 6. 복사패턴 비교(루프1 과 수직 어레이)

IV. 결론

본 논문에서는 역-에프형 방사체를 이용하여 배열 안테나의 형태로 직교형 안테나를 제작하였다. 편파에 대한 특성제어는 역-에프형 안테나상에서의 전류 분포를 급전회로에 의하여 제어하여 전류분포의 상대적인 위상 관계를 이용하여 가능하도록 설계하였다. 본 안테나가 설계 방식은 참고문헌 [4]의 이중루프형 구조에 비하여 특성편차가 작으며 배열 안테나를 적용하였기 때문에 향후 이동통신에서 채널용량의 증대에 이용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] N. Serikin, M. Jorgenson, K. W. Moreland, S. Chow and T. Willink, "Polarization Diversity in High Frequency Radio Data Systems," Electron. Lett., 1996, 32, (12), pp. 1824-1826
- [2] A. Adrian and D. H. Schaubert, "Dual Aperture-Coupled Microstrip Antenna for Dual or Circular Polarization," Electron. Lett., Vol.23, pp. 1226-1228, Nov., 1987
- [3] K. Gosalia and G. Lazzi, "Reduced Size, Dual-Polarized Microstrip Patch Antenna for Wireless Communications," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol.51, No.9, pp.2182-2186, Sept., 2003
- [4] C. H. Tsao, Y. M. Hwang, F. Kilburg, and F. Dietrich, "in Proc. IEEE Antennas Propagat. Symp. Dig., Syracuse, New York, June 1988, pp.936-939
- [4] Yikun Huang, Arye Nehorai, and Gary Friedman, "Mutual Coupling of Two Collocated Orthogonally Oriented Circular Thin-Wire Loops," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 51, No.6, pp.1307-1314, June, 2003
- [5] D. H. Werner, "An Exact Integration Procedure for Vector Potentials of Thin Circular Loop Antennas," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 44, No.2, pp.157-165, Feb., 1996
- [6] J. D. Mahony, "Approximations to the Radiation Resistance and Directivity of Circular Loop Antennas," IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 36, pp.52-55, Aug, 1994
- [7] W. L. Stutzman, and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, Wiley & Sons, Inc., 1998