

다중안테나의 최적배치에 관한 연구

김종성^{*}, 최원규^{*}, 황희용^{*}, 최세하^{**}, 최경^{*}
^{*}강원대학교 전기전자공학부, ^{**}한국정보통신기능대학

A Study on the Optimum Alignment in Multiple Antenna System

Jong Sung Kim^{*}, Won Kyu Choi^{*}, Hee Yong Whang^{*}, Seha Choi^{**}, Kyung Choi^{*}
^{*}Dept. of E & E Eng. Kangwon Nat'l University, ^{**}Korea Infor. & Comm. Polytechnic College

Abstract - Two antennas system which is aligned in cross direction is tested and analyzed. The main scope is focused to get an appropriated distance between the two small antennas to get a better property. The theoretical expectation and the computer simulation are executed simultaneously. The target is the folded IF antenna system printed on PCB, but the ideal dipole-antenna arrangement is also tested to verify the possibility of our implementation. And it is finally proved by experiments.

수신패턴의 지향성이 변하게 되며, 임피던스의 정확한 배분에도 더 신경을 써야 한다. 일반적으로 2개 이상의 안테나의 배치에서는 편파의 방향이 같은 쪽을 향하게 하여 배치하게 되지만, 여기에서는 안테나의 편파 방향을 서로 수직으로 배치한 경우에 대하여 연구하였고, 그 상태에서 안테나의 거리에 따른 수신 지향성을 살펴보았다.

1. 서 론

최근 무선통신의 비중이 점차 커지고 있고 사용 주파수도 높아지고 있다. 이에 따라 안테나의 크기도 점차 줄어들고 있어 전력전송의 측면에서나 방향성, 편파적 측면에서 문제점을 갖고 있다.

전력전송 측면에서나 송,수신 감도 향상을 위해서는 Array Antenna 가 많이 연구되고 있고 Aperture type의 안테나도 개발되고 있다. 그러나 이 경우에도 이동체나 휴대용 단말기 등에서 일어나는 방향성 문제는 쉽게 해결되지 못하고 있다. 사용자의 입장에서 편리한 형태의 정보통신을 지원하기 위해서는 모든 방향에서의 신호를 수신할 수 있는 안테나를 요구된다. 이러한 안테나들은 또한 형태 자체도 각 기기에 부착되는 부품 형태로 제작되기 때문에 크기 자체도 소형인 것을 요구한다. 그렇기 때문에 근거리 무선통신에서 사용되는 안테나는 방향성이 무지향적이고 크기가 소형이어야 한다. 그러나 소형 안테나의 경우에는 안테나의 효율 및 방사특성이 대체로 나빠지기 때문에 이의 보완이 필요하다.

본 논문에서는 2개의 안테나를 서로 이 방향으로 결합하였을 때 두 안테나의 배치에 대한 적절한 위치를 찾아보고, 이를 내부 PCB 기판위에 안테나를 도안 실장하는 경우에 적용하여 안테나의 성능을 보완, 향상 시키는 방안을 찾고자 한다. PCB 기판에 프린트하여 안테나를 제작하면 제작이 용이하고 제작시 이미 안테나 튜닝이 되기 때문에 조립시 안테나를 다시 튜닝하는 일이 없고 대량생산도 가능하게 되지만, PCB 기판에 프린트된 안테나는 성능상에서 다른 형태보다 특성이 나쁘기 때문에 이것을 보완하는 방안이 특히 필요하기 때문이다. 안테나를 2개 이상 조합하여 만들면 성능이 떨어지는 점을 보완할 수 있지만 이렇게 2개 이상의 안테나를 정렬시킨 경우, 두개의 안테나간의 거리와 공간적 배치에 따른

2. 다중안테나 배치

2.1 Array Antenna

어레이 안테나는 안테나를 여러개를 모아 놓은 형태로 구성된 것을 말한다. 이러한 어레이 안테나를 구성하는 이유는 소형 안테나를 여러개를 모아서 구성을 하여 더 좋은 효율을 얻고 지향성도 개선할 수 있기 때문이다. 그렇지만 어레이 안테나에서는 소형 안테나들이 배치가 되어서 구성이 되는 것이기 때문에 각각의 안테나들에 급전회로(feed network)와 각각의 안테나와의 거리에 따라 성능이 바뀌게 된다.

일반적으로 어레이 안테나는 선형배열(Linear array) 이나 평면배열(Planar array)의 형태로 배치가 되지만, 다른 형태의 구성도 될 수가 있다. 다른 형태의 배치는 등각배열(Conformal array)이나 비평면 표면(nonplanar array)에의 배치가 있을 수 있다. 또한 여기에 부가하여 안테나 각각에 피드되는 전류의 위상이나 진폭을 조절하여 안테나의 방사 패턴을 조절을 할 수가 있다. 이러한 형태의 안테나를 위상 어레이 안테나(Phase array antenna)라고 한다. 어레이 안테나의 방사패턴은 각 소자의 소자 패턴(element pattern)과 실제 소자들을 등방성 점전원으로 대치해 얻은 배열성분(array factor)으로 구할 수가 있다.

먼저 배열성분(array factor)은 고립된 안테나를 점전원으로 대치를 하고 각각의 안테나와의 거리와 위상성분에 대한 것들을 나타낸 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$AF = I_0 e^{j\xi_0} + I_1 e^{j\xi_1} + I_2 e^{j\xi_2} + \dots \quad (1)$$

여기에서 ξ_0, ξ_1, ξ_2 는 각각의 안테나에 입사된 위

상차이다. 그리고 소자패턴(element pattern)은 공간에서의 각 소자의 전류분포와 방향에 의해 나타나는 패턴으로 이것은 배열 안테나에서 각 안테나에 흐르는 전류분포와 방향으로 나타나는 특성을 나타낸다. 총 특성은 패턴곱 원리로 표현 할 수 있는데, 이는 유사소자들 이루어진 배열의 전계벡터의 성분이 소자 중 어느 한 소자의 패턴(소자패턴 : element pattern)과 원래 배열과 동일한 위치, 같은 진폭과 위상을 갖고 등방성 점전원으로 이루어진 배열패턴(배열성분 : Array factor)과의 곱으로 표현하는 것이다.

$$F(\theta, \phi) = g_a(\theta, \phi)f(\theta, \phi) \quad (2)$$

여기서 $g_a(\theta, \phi)$ 는 배열내의 고립된 단일 소자 안테나의 정규화된 패턴(소자패턴)이며, $f(\theta, \phi)$ 는 정규화된 배열성분이다.

안테나의 개수가 2개인 경우, 어레이 안테나의 배열성분을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} AF &= I_0 e^{jk_0 z} + I_1 e^{jk_1 z} + I_2 e^{jk_2 z} + \dots \\ &= 1 e^{-j\beta \frac{d}{2} \cos\theta} + 1 e^{j\beta \frac{d}{2} \cos\theta} = 2 \cos(\beta \frac{d}{2} \cos\theta) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 Cross Array Antenna

어레이 안테나의 배치를 직교형태로 하였을때 배열성분을 고려하지 않는다면, 각 안테나의 소자패턴은 합의 형태로 나타나기 때문에 소자패턴에서 나타나는 Null부분의 패턴이 상쇄되어 없어지는 효과를 기대할 수가 있을 것이다. 그러나 각 소자간의 간섭과 위상차로 이러한 효과는 기대한 대로 나타나지는 않는다.

다음은 두개의 안테나가 직교형태로 배치되었을때 각 안테나에 유도되는 전계벡터를 가지고 배열성분을 구한것이다.

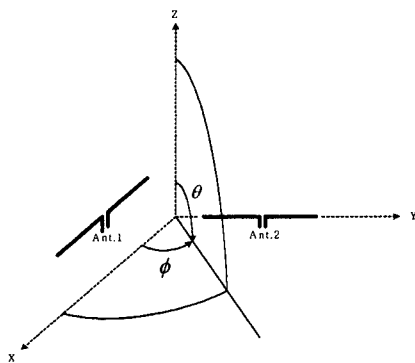


그림 1. Dipole Antenna의 Cross 배열과 좌표계

입사파를 평면파로 가정할 때, 안테나에 유도되는 전계벡터의 위상차와 벡터의 합에 의한 전계벡터의 크기는 다음과 같이 유도할 수 있다. Ant.1에 평면파가 입사되었을 때, Ant.1에는 \hat{a}_z 방향의 전계가 발생하고, Ant.2에는 \hat{a}_y 방향의 전계가 생성이 되게 된다. 그림 1에서 각각의 다이폴 안테나의 방사패턴을 xy-평면, xz-평면 그리고 yz-평면에 대하여 구하게 되면,

$$1) \text{ xy-평면에 대하여 } (\theta = 90^\circ) \\ \text{Ant.1} \rightarrow \vec{E} = \sin\phi \hat{a}_z, \text{ Ant.2} \rightarrow \vec{E} = \cos\phi \hat{a}_y \quad (4)$$

$$2) \text{ xz-평면에 대하여 } (\phi = 0^\circ) \\ \text{Ant.1} \rightarrow \vec{E} = \cos\theta \hat{a}_z, \text{ Ant.2} \rightarrow \vec{E} = \cos\theta \hat{a}_y \quad (5)$$

$$3) \text{ yz-평면에 대하여 } (\phi = 90^\circ) \\ \text{Ant.1} \rightarrow \vec{E} = \sin\theta \hat{a}_z, \text{ Ant.2} \rightarrow \vec{E} = \cos\theta \hat{a}_y \quad (6)$$

의 성분이 발생하게 된다.

이때, 각 평면에 대한 배열성분을 구하면,

$$1) \text{ xy-평면에 대하여 } (\theta = 90^\circ) \\ AF = 1 e^{j\phi} \hat{a}_z + 1 e^{j\phi} \hat{a}_y \\ = 1 e^{j(-\frac{1}{2} \beta d \cos\theta)} + 1 e^{j\frac{1}{2} \beta d \cos\theta} \\ = \cos(\frac{1}{2} \beta d \cos(90 - \phi)) \hat{a}_z + \cos(\frac{1}{2} \beta d \cos(90 - \phi)) \hat{a}_y \quad (7)$$

2) xz-평면에 대하여 ($\phi = 0^\circ$)
xz-평면에서 Ant.1과 Ant.2에 입사되는 평면파의 도달거리는 항상 같기 때문에 각 안테나에서의 위상차는 존재하지 않는다.

$$AF = 1 e^{j\phi} \hat{a}_z + 1 e^{j\phi} \hat{a}_y \\ = \hat{a}_z + \hat{a}_y (\phi_1 = 0, \phi_2 = 0) \quad (8)$$

$$3) \text{ yz-평면에 대하여 } (\phi = 90^\circ) \\ AF = 1 e^{j(-\frac{1}{2} \beta d \cos(90 - \theta))} \hat{a}_z + 1 e^{j\frac{1}{2} \beta d \cos(90 - \theta)} \hat{a}_y \\ = \cos(\frac{1}{2} \beta d \cos(90 - \theta)) \hat{a}_z \\ + \cos(\frac{1}{2} \beta d \cos(90 - \theta)) \hat{a}_y \quad (9)$$

위의 결과를 평행배치된 배열성분과 비교하면, 배열성분 자체는 cross 형태를 가진 상태에서도 식 (3)과 유사한 형태를 보여주는 것을 알 수 있다. 그러므로 생성되는 배열성분은 각각의 안테나를 등방성인 안테나로 간주하고, 그것에 대한 배열성분을 구한 것과 같은 결과를 가지고 온다는 것을 알 수 있다.

그러나 안테나의 배치를 거리를 두고 하면 그 패턴은 달라지게 되는데, 이를 몇 개의 예를 들어 살펴 보면 다음과 같다.

2.3 거리에 따른 방사패턴 변화

Cross로 배치된 안테나의 거리를 $0.25\lambda, 0.5\lambda, 0.75\lambda, 1.0\lambda$ 로 한 경우 각 거리에 따른 배열성분의 계산 결과를 그래프로 그려보면 그림 2와 같이 나오게 된다.

다. 그림에서 보면 각 안테나와의 거리가 점점 멀어지면 떨어질수록 Null이 더 발생되고 Null이 없는 부분이 더 커지는 것을 알수가 있다.

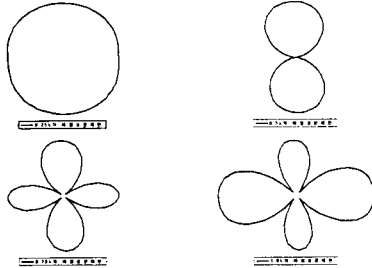


그림 2. 거리에 따른 배열성분의 패턴.

이를 실험으로 알아보면 다음과 같다.

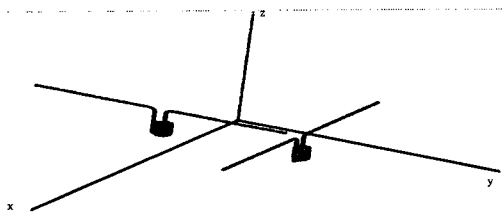


그림 3. Dipole Antenna의 평면 Cross 배치

1) 0.25 λ의 거리로 배치된 Cross Dipole antennas.

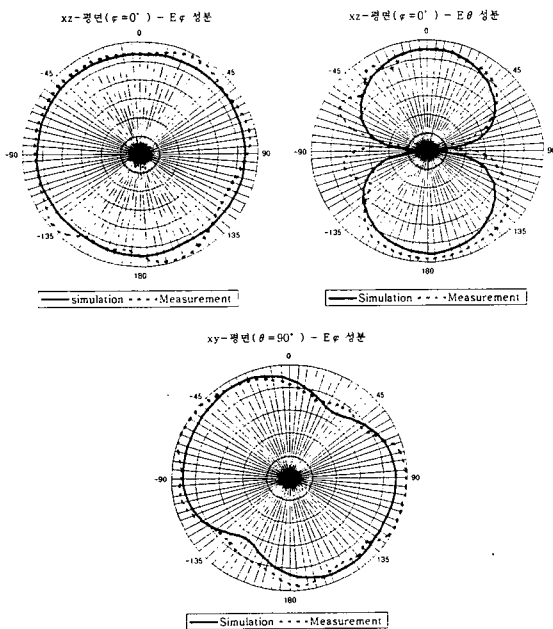


그림 4. 0.25λ 거리로 배치된 Cross Antennas의 방사패턴.

2) 0.5 λ의 거리로 배치된 Cross Dipole antennas.

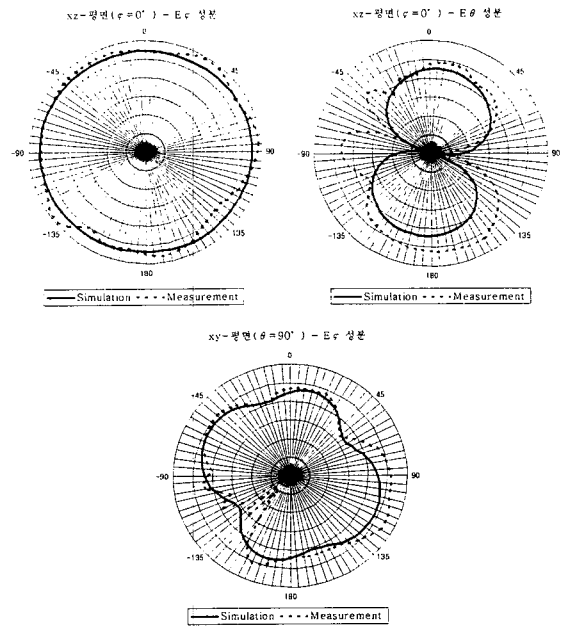


그림 5. 0.5λ 거리로 배치된 Cross Dipole Antennas의 방사패턴.

3) 0.75 λ의 거리로 배치된 Cross Dipole antennas

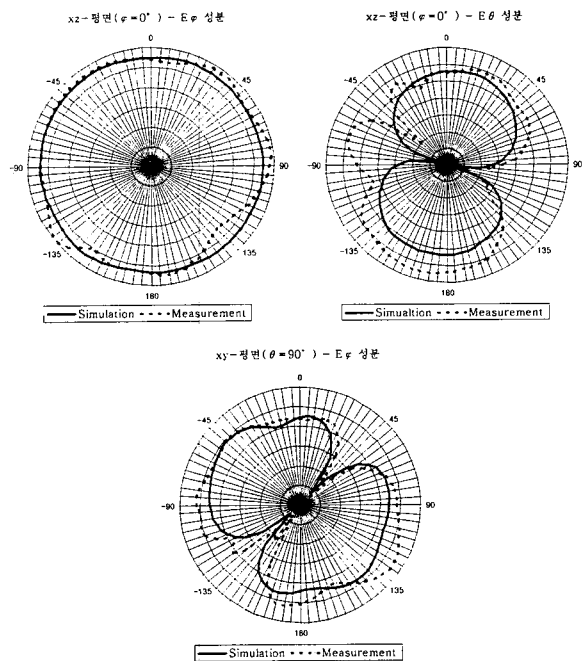


그림 6. 0.75λ 거리로 배치된 Cross Dipole Antennas의 방사패턴.

4) 1.0 λ의 거리로 배치된 Cross Dipole antennas.

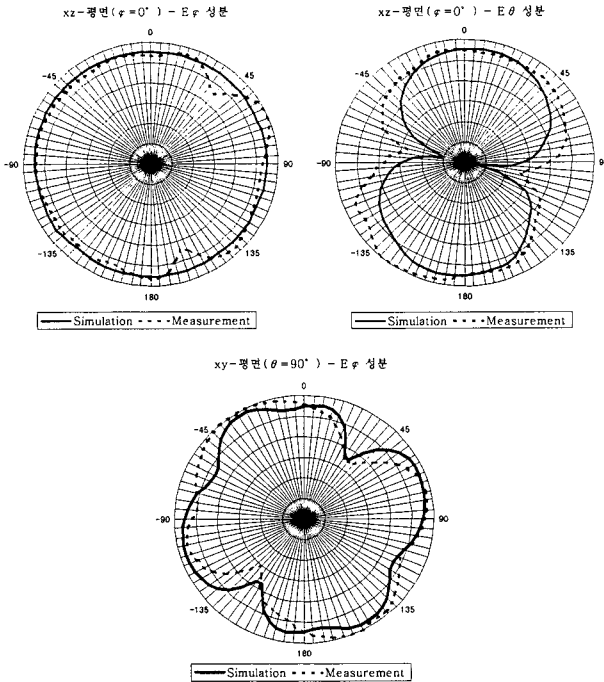


그림 7. 1.0λ 거리로 배치된 Cross Dipole Antennas의 방사패턴.

실험결과와 시뮬레이션 결과에서는 Null의 패턴이 정확히 표현되지는 못하지만 대체로 그림3의 패턴을 따라 감을 알 수 있다. Cross로 배치된 다이폴은 xz-평면과 yz-평면에서의 방사패턴에서는 송신 수직·수평편파에 대해 두개의 다이폴의 안테나가 편파를 수직으로 가지게 되기때문에, 한개의 다이폴만이 수신안테나로서의 역할을 하게된다. 그렇기 때문에 다이폴안테나의 수신패턴에서는 어느 한 평면에서만 방사패턴만을 측정을 생각해도 된다. 하지만, xy-평면에 대해서는 수직·수평편파에 대해서 하나만이 동작을 하는 것이 아니라, 두개의 다이폴이 동시에 수신안테나의 역할을 하게 된다. 그렇기 때문에 xy-평면에서의 방사패턴에 Cross로 배치된 다이폴의 효과가 더욱더 명백하게 나타나게 된다.

그림 4. ~ 그림 7.을 보게 되면, 다이폴의 간격이 0.25λ 에서 0.5λ 그리고 0.75λ 로 갈수록 45° 와 90° 에서 Null이 발생이 된다. 그리고 다시 0.75λ 에서 1.0λ 로 가면 방사패턴에서 45° 와 90° 의 Null이 점차 사라지는 현상이 나타난다.

이것은 두개의 안테나가 0.75λ 의 거리가 되었을때, 45° 와 90° 의 각도에서 두 다이폴사이의 위상차가 180° 가 나기 때문에 다이폴에서 수신된 신호가 입력이 되면 위상차에 의하여 상쇄가 되기 때문에 이러한 Null이 발생이 되는 것이다. 그리고 0.75λ 의 거리가 아닌 다른 거리에서는 두 다이폴사이의 위상신호의 차이가 180° 보다는 작게 나타나기 때문에, Null이 나타나는 현상이 적어지는 것으로 볼 수 있다.

3. 소형 평판 다중안테나

위의 결과를 소형 평판 안테나의 경우에 대하여 알아보았다. 안테나의 제원은 $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 이며 이를 동일 PCB 상에 배열했을 때의 결과를 시뮬레이션 및 실험을 통해 조사하였다. 안테나 형상 및 안테나 1개의 특성은 그림 8과 그림 9와 같다.

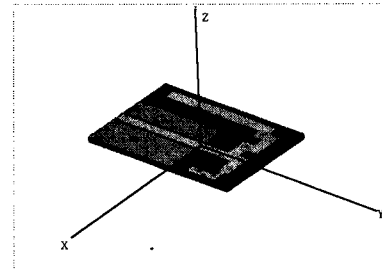


그림 8. 소형 평판 안테나 모델.

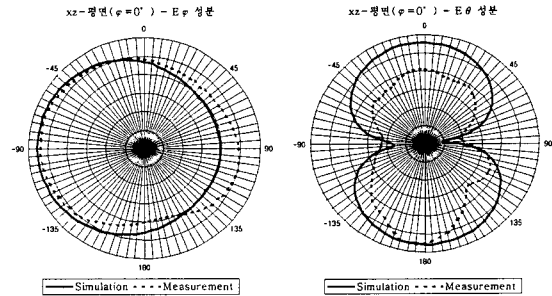


그림 9. xz-평면에서의 방사패턴.

편파에 대한 소형 안테나의 수신패턴을 보았을 때, 반파장 다이폴처럼 하나의 편파를 가지고 있을 때는 송신편파중 편파의 방향이 일치하는 평면에서만 수신이 일어나는데 소형안테나에서의 측정과 시뮬레이션에서 방사패턴을 보게 되면 두가지의 편파를 가진다는 것을 알수가 있다. 하지만, E_θ 방향의 송신편파에 대하여 소형안테나가 가지고 있는 편파 두가지가 모두 방향성을 일치되는 평면에 존재하고, E_θ 방향의 송신편파에 대하여서는 소형안테나가 가지는 두가지 편파가 이루는 평면에 대하여 90° 를 이루기 때문에 수신이 안되는 것으로 나온다.

따라서 수직편파, 수평편파 두가지를 가지는 소형 안테나는 다이폴보다 수신되는 효율에서는 성능이 떨어지지만, 편파에 대하여는 반파장 다이폴보다는 좋은 수신율을 보이고 있다.

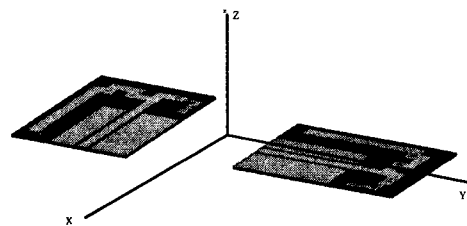


그림 10. 소형평판안테나의 평면배치

이 평판 소형 안테나를 PCB 평면에 배치했을 경우 배치거리에 따른 방사패턴은 다음과 같다.

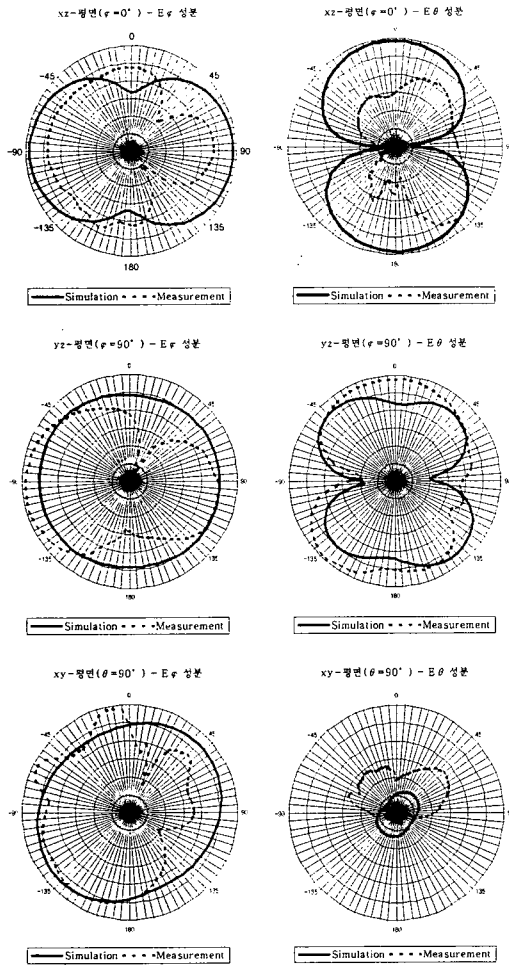


그림 11. 0.25λ 거리로 배치된 소형안테나 방사패턴.

Cross로 배치된 소형안테나는 한 개일 때와는 다른 형태의 편파를 가지게 된다. 하지만, xy-평면에서 E_{θ} 성분의 편파에 대해서는 여전히 xy-평면에 대해서 편파를 가지기 때문에 xy-평면에 직각인 E_{θ} 성분으로 구성된 송신편파에 대해서는 수신이 안된다는 것을 알 수 있다. 또한, 반파장 다이폴에서의 방사패턴과 마찬가지로 0.75λ 의 거리를 기준으로 해서 볼때 Null이 발생되는 비율이 거리가 짧아지면 짧아질수록 그 현상이 적어지는 것으로 볼 수 있다. 두개 안테나간의 거리가 0.5λ 가 되면 Null이 발생하고, 0.75λ 가 되었을때 배열성분에서 메인로브와 사이드 로브가 생기고 1.0λ 가 되면 그 현상이 더 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, Dipole Antenna 인 경우보다 간섭이 심해지고 측정오차가 크게 나타남을 알 수 있었다.

4. 결론

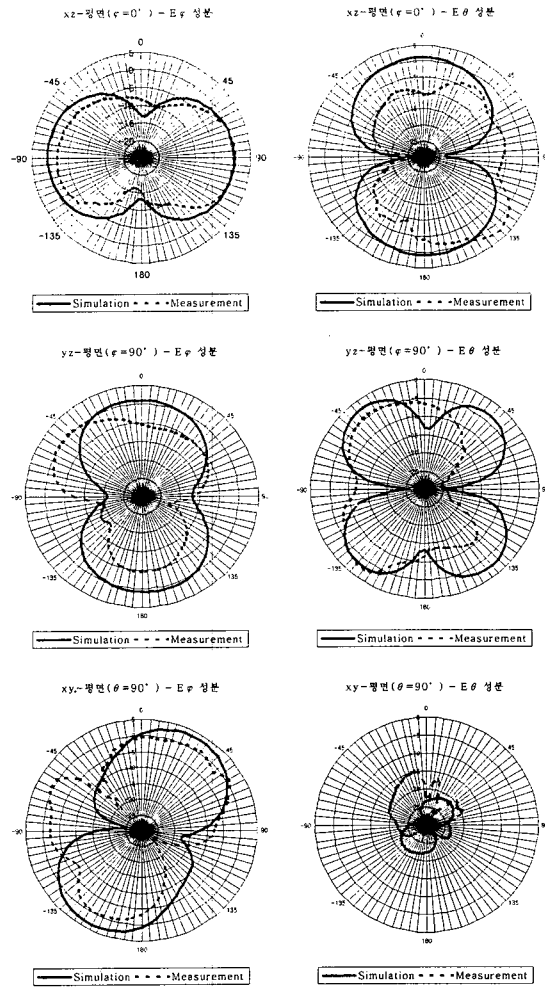


그림 12. 0.5λ 거리로 배치된 소형안테나의 방사패턴.

본 논문에서는 초고주파 근거리 무선통신에 적합하도록 소형이며, PCB 상에서 제작이 용이한 안테나를 구현하고자 하였다.

우선, PCB 기판상에 구현하면서 사이즈를 줄인 소형 안테나를 설계하였고, 이 안테나의 효율을 높이기 위해 2개의 안테나를 cross 형 배열형태로 구성하였다. 2개의 안테나를 배열형태로 구성하는데 있어서 가장 큰 구성요건은 두개의 안테나 사이의 거리로서 이에 의하여 방사패턴이 변하게 되고, 특정 거리인 경우 더 나쁜 특성을 나타낼 수도 있었다. 본 연구에서는 안테나 배치의 최적 위치를 시뮬레이션 및 실험을 통하여 조사하고 이를 검증하였다. 두 안테나 사이 거리가 0.25λ 에서는 패턴이 둥그렇게 나오지만, 파워 수신레벨이 약간 작아지는 것을 확인하였다. 이에 비해 약간의 Null현상이 있기는 하지만 0.5λ 보다 거리가 약간 작게 2개의 안테나를 위치를 시킨다면 소형안테나 1개에 의하여 나타나는 수신효율의 문제점을 극복할 수 있는 것으로 볼 수 있었다. 안테나사이의 거리가 0.75λ 에서는 Null현상이 더욱 뚜렷하게 발생이 되었다. 그러므로

동일 평면에 2개의 안테나를 배치하는 경우 거리는 0.25λ 와 0.5λ 사이로 구성을 하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

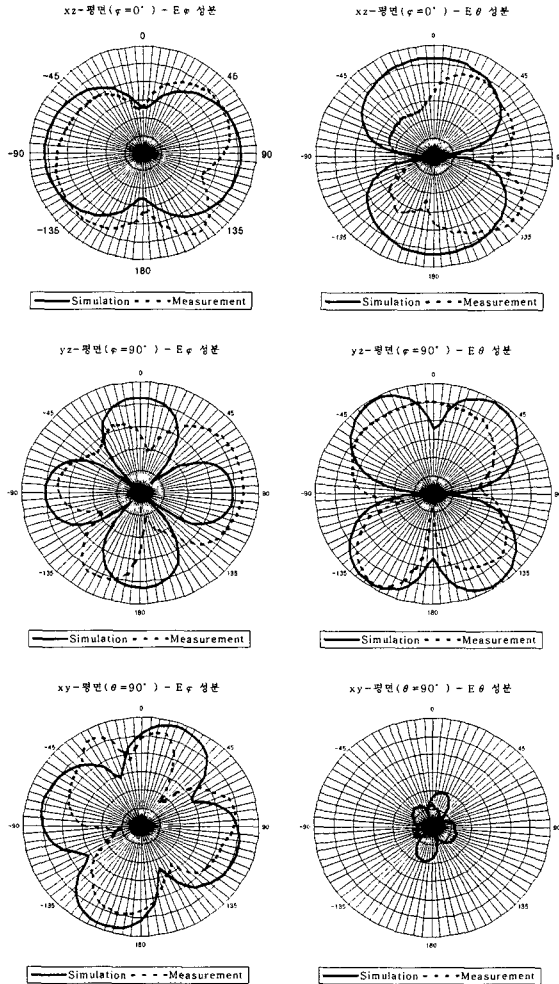
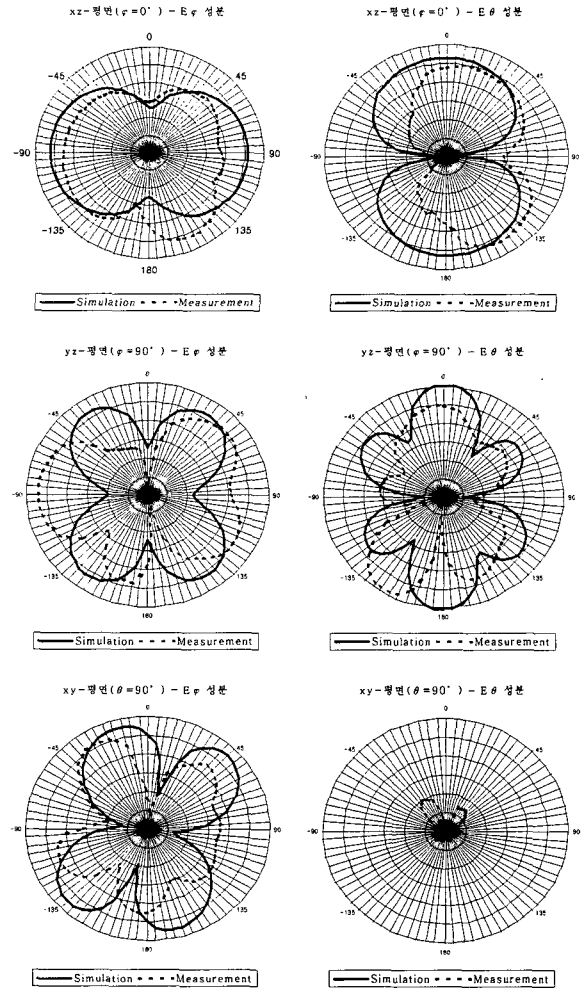


그림 13 0.75λ 거리로 배치된 소형안테나의 방사패턴.

참 고 문 헌

[1] Rong-Yu Chao, Kyohei Fujimoto, Kazuhiro Hirasawa, "Three-Dimensional Performance of an LMS Adaptive Array with Inverted-F Elements", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 40, NO. 3, pp. 575 - 583, Aug. 1991.
 [2] D.M. Pozar, "The Active Element Pattern", IEEE Trans. Antennas Propaga., Vol. 42, NO. 8, pp. 1176 - 1178, Aug. 1994.
 [3] Reto Zingg, "Printed Dipole Antenna", Univ. Colorado. Boulder, pp. 1-8.
 [4] Huey-Ru Chuang, Liang-Chen Kuo, Chi-Chang Lin, Wen-Tzu Chen, "A 2.4GHz Polarization-diversity Planar Printed Dipole Antenna for WLAN and Wireless Communication Application", Microwave journal, June 2002, pp. 1 de 7 - 7 de 7.



[5] David F. Kelly, Warren L. Stutzman, "Array Antenna Pattern Modeling Methods That Include Mutual Coupling Effects", IEEE Trans. Antenna Propaga. Vol. 41, NO. 12, pp. 1625 - 1632, December 1993.
 [6] A. Manikas, N Fistas., "Modelling and Estimation of Mutual Coupling Between Array Elements", IEEE icassp Proceedings., Vol. 4, pp. 553 - 556, April 1994.
 [7] Hiroyuki Arai, "Measurement of Mobile Antenna Systems", Artech House Inc., Norwood, MA 2001.
 [8] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory 2th Edition", John Wiley & Sons Inc, 1997.
 [9] Allan W. Scott. "Understanding Microwave", John Wiley & Sons Inc., 1993.
 [10] David M. Pozar, "Microwave Engineering 2th Edition", John Wiley & Sons Inc., 1998.
 [11] Robert E. Collin., "Foundations for Microwave Engineering 2th Edition", McGraw-Hill Inc., 1992.
 [12] William H. Hayt., 번역, "전자기학 5th Edition", McGraw-Hill Inc., 1989.
 [13] 최광재, "안테나 기초실험", 동일출판사., 2000.
 [14] Ansoft Korea., "<http://www.ansoft.co.kr>".
 [15] RF Design House., "<http://www.rfdh.co.kr>"