

유전체를 이용한 안테나 지향성 향상에 관한연구

김재희*, 안치형*, 방진규**, 정호성*
 한국철도기술연구원*, 삼성전자**

Research for Antenna Gain Enhancement using Dielectric Layer

Jae Hee Kim*, Chi-Hyung Ahn*, Jin-Kyu Bang**, Ho-Sung Jung*
 Korean Railroad Research Institute*, Samsung Electronics Co. Ltd.**

Abstract - 본논문은 철도의 무선통신의 링크거리 확보를 위하여 안테나의 이득을 높이는 방법을 제시한다. 안테나의 이득을 높이기 위한 방법으로 안테나 상면에 유전체층을 사용하며 유전체 상면에서 전계의 위상이 동일하도록 거리에 따른 유효유전율이 다른 구조를 사용하였다. 원하는 유효유전율을 얻기 위하여 유전체에 구멍을 뚫은 구조를 사용하였으며, 시뮬레이션 결과 안테나의 이득이 향상되는 것을 확인하였다. 동작주파수 5.8GHz에 대해서 유전체층이 없는 패치안테나의 경우 이득이 4.66dB이며 제안한 유전체층이 있는 경우 이득이 9.36으로 기존의 안테나보다 4.5dB 개선을 하였다.

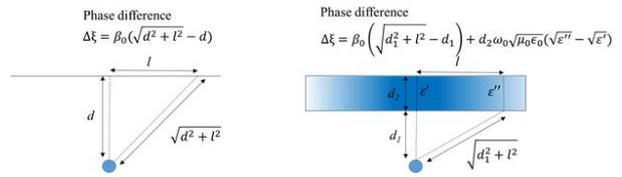
리게 되고, 그리고 유전체와 공기사이에 반사가 없다고 가정한다면 유전체 상면에서의 거리가 l 만큼 떨어진 두 지점의 위상차는 하기의 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$2n\pi + \Delta\xi = \beta_0(\sqrt{d_1^2 + l^2} - d_1) + d_2\omega_0\sqrt{\mu_0\epsilon_0}(\sqrt{\epsilon''} - \sqrt{\epsilon'}) \quad (2)$$

위의 수식으로부터 유전체의 유전율을 바꾸게 되면 위상차를 상쇄시킬 수 있다. 따라서 안테나와 일정거리가 떨어진 유전체에 대해서 유전율이 거리에 따라 다른 유전체판을 사용한다면 유전체판 상면에서 동위상을 갖는 구조를 만들 수 있다.

1. 서 론

최근 철도에 무선통신 기술이 접목이 되고 있다. 열차와 지상의 통신은 열차정보를 뿐만아니라 위치정보를 서로 교환하여 운영을 최적화 할 수 있다. 따라서 철도의 무선망은 향후 필수적인 요소가 될 전망이다. 하지만 무선망을 구성하는데 있어 효율적인 구성이 필요하다. 기지국에서 레일이 없는 곳으로 비효율적으로 망을 구성할 필요는 없다. 레일이 존재하는 곳으로만 망을 구성한다면 통신거리를 늘릴수 있어 철도망의 기지국 수를 줄여 효율적인 구성이 가능하다. 이를 위한 가장 간단한 방법으로는 지향성 안테나를 사용하는 것이다. 안테나의 이득을 향상시키면 송수신 거리를 늘릴 수 있고, 동일한 송수신 거리에서는 출력파워를 줄일 수 있어 소비전력을 줄일 수 있다. 대표적으로 안테나의 이득을 늘리는 방법은 배열안테나를 사용하는 것이다. 배열안테나는 단위 안테나에 여기되는 신호의 크기와 위상을 조절하여 안테나의 이득을 높인다. 다른 방법으로는 유전율이 다른 유전체층을 쌓아서 지향성을 높이는 방법이 있다[1]. 최근에는 Frequency Selective Surface(FSS)와 Metamaterial을 이용하여 안테나의 이득을 올리는 방법이 연구가 되고 있다[2-5]. 배열안테나를 사용하면 급전선로의 구조가 복잡해 지기 때문에 손실이 발생하고 디자인의 어려운 점이 있다. 여러 개의 유전체층을 이용한 지향성 향상의 경우 다수개의 유전체 층이 쌓이기 때문에 구조적으로 복잡해 지는 단점이 있다. FSS를 이용한 지향성 향상구조는 구조적으로 단순한 장점은 있지만 FSS의 구조와 안테나와 상판의 거리가 동작주파수를 결정하기 때문에 대역폭이 좁아지고 설계를 정밀히 해야 하는 단점을 갖는다. 안테나의 이득을 높이기 위해서는 반사를 하는 면적을 크게 만드는 것이 중요하다. 또한 방사 면적에서 각지점의 위상이 동위상으로 되었을 경우 이득이 증가한다. 본 연구에서는 안테나의 이득을 향상하기 위하여 고유전체에 구멍을 뚫어 이득을 증가시키는 구조를 제안하도록 한다.



<그림 1> 동위상을 갖기위한 유전체의 유전율

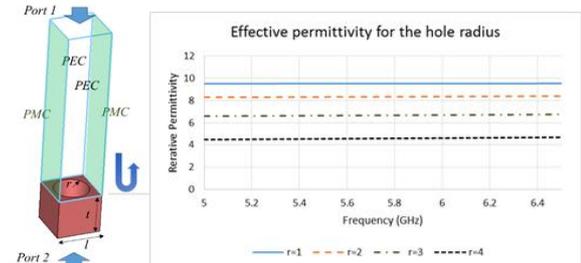
2.2 유닛셀 시뮬레이션

유전체의 effective 유전율은 유전체의 구조로 변경이 가능하다. 유전체에 구멍을 뚫게 되면 유전체가 차지하는 면적과 공기가 차지하는 면적으로 인해 원하는 유효유전율을 만들수 있다. 유전체의 구멍크기에 따라 유효유전율은 유닛셀 시뮬레이션을 통하여 추출할 수 있다. 그림 2는 단위 모듈 시뮬레이션을 위한 구조 및 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 유닛셀의 경계조건은 평면파를 입사할 수 있도록 PEC와 PMC 경계조건을 사용한다. 그리고 포트1과 포트2는 임피던스 정합을 통하여 반사가 일어나지 않도록 한다. 이 경우 반사는 유전체의 표면에서 발생하기 때문에 단순히 반사계수로부터 유효유전율을 추출할 수 있다.

$$|\Gamma| = \left| \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0} \right| = \frac{\sqrt{\epsilon_r} - 1}{\sqrt{\epsilon_r} + 1} \quad (3)$$

$$\epsilon_r = \left(\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right)^2 \quad (4)$$

유효유전율을 시뮬레이션 하기 위하여 설계주파수를 5.8GHz로 선택을 하였다. 그리고 유전체의 유전율은 10으로 가정을 하였다. 구멍의 단면적과 유효유전율의 관계를 파악하기 위하여 10mm의 유전체에 대해서 구멍의 크기를 바꾸어 가며 반사계수를 측정하였다. 유닛셀 시뮬레이션에 사용된 유전체의 길이는 유닛셀 자체가 공진하지 않도록 하기 위하여 반파장 보다 작은 l = 10mm 로 선정 하였으며 구멍의 반경 r=1 ~ 4mm 까지 조정을 하면서 시뮬레이션 하였다. 구멍의 사이즈가 커질수록 유전율이 낮아지며 유효유전율의 값은 면적비에 비례하는 것을 확인할 수 있다.



<그림 3> 유닛셀 시뮬레이션 구조 및 유효유전율 결과

2. 본 론

2.1 이론

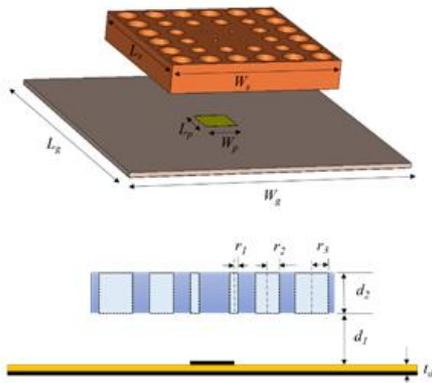
안테나의 방사면에서의 전계 및 자계는 안테나의 방사패턴과 푸리에 변환의 관계에 있다. 고이득의 방사패턴을 갖기 위해서는 동위상인 방사면의 크기를 크게 하는 것이 중요하다. 안테나의 위상을 지연시키는 방법으로 가장 편리한 방법은 유전체의 유전율을 바꾸어 위상지연을 시키는 방법이다. 그림 1과 같이 포인트 소스를 가정한다면 포인트 소스와 떨어진 표면에서의 위상은 거리가 멀어짐에 따라서 위상의 변화가 생긴다. 하지만 포인트 소스와 일정거리가 떨어진 면에 대해서 유전율이 거리에 따라 다른 것을 사용하면 유전체의 반대쪽면에는 동위상을 갖도록 만들수 있다. 그림 1의 왼쪽에서 보는 바와 같이 포인트 소스가 공기중에 놓여있으며 포인트 소스와 거리가 d만큼 떨어진 관측1지점 그리고 관측1로부터 l 만큼 떨어진 관측 2지점의 위상차는 아래의 수식과 같이 표현이 될 수 있다.

$$2n\pi + \Delta\xi = \beta_0(\sqrt{d^2 + l^2} - d_1) \quad (1)$$

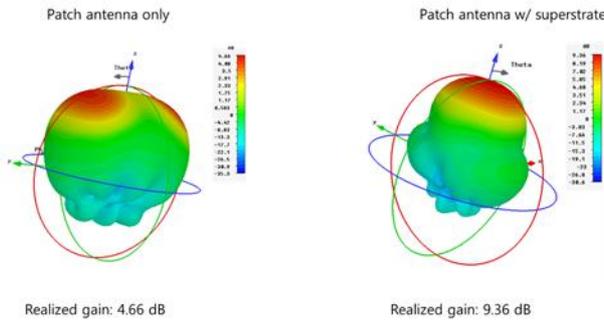
위의 수식에 의해서 물리적 거리에 의해 위상차는 반드시 발생하게 된다. 만약 두께가 d₂인 유전체를 포인트 소스와 d₁만큼의 거리를 떨어뜨

2.3 안테나 시뮬레이션 및 결과

이득 증대의 안테나를 설계하기 위기 위하여 마이크로 스트립 패치 안테나를 설계하였다. 안테나의 동작주파수는 5.8GHz이며 유전율이 4.4인 FR4 기판을 사용하였다. 기판의 두께는 1.6mm 이다. 패치의 크기는 가로세로 각각 11.4mm 이며 급전은 중심으로부터 3mm 아래쪽에 하였다. 유전체 판은 안테나로부터 20mm 떨어진 지점에 설계를 하였다. 가로세로 10mm인 유전체에 대해서 6.5의 유전율을 얻기 위하여 반지름이 3mm인 구멍을 뚫었으며, 유전율이 4.5를 얻기 위하여 반지름이 4mm인 구멍을 뚫었다. 그리고 유전율 9.5를 뚫기 위하여 반지름이 1mm인 구멍을 뚫었다. 안테나의 구조는 그림 4와 같이 표현할 수 있다. 구멍을 뚫은 유전체는 패치 안테나와 20mm 간격을 유지하고 있으며 유전체의 가로와 세로의 길이는 각각 60mm 이다. 두께는 10mm 이다. 설계주파수인 5.8GHz에서 안테나의 이득을 그림 5에 도시하였다. 패치 안테나만 있을 경우 안테나의 이득이 4.66dB로 시뮬레이션이 되었으며 구멍뚫린 유전체 층이 포함되었을 경우 안테나의 9.36dB로 기존대비 4.7dB의 이득이 향상되는 것을 확인 할 수 있다.



〈그림 4〉 이득향상을 위한 안테나 구조



〈그림 5〉 유전체 유무에 따른 안테나 이득비교

3. 결 론

본 논문에서는 구멍이 뚫린 유전체층을 사용하여 안테나의 이득을 증대시키는 방안을 제시하였다. 안테나의 이득은 동위상인 면이 넓어질수록 높게 나오는데 이를 위하여 유전체에 구멍을 뚫어 유효유전율을 변화시켜 유전체 상면에서 동위상을 갖는 구조를 제시하였다. 유전체 층을 사용함으로써 인해서 안테나의 이득이 약 4.5dB개선되는 것을 확인하였다. 본 논문은 기존 배열안테나가 갖는 급전구조에 의한 손실이 없고 페드 레퍼는 레조네이터 안테나의 임피던스의 미스매치 부분이 거의 없어 설계변경 없이 쉽게 적용할 수 있는 장점을 갖는다.

[참 고 문 헌]

[1] H. Y. Yang and N. G. Alexopoulos, "Gain enhancement methods for printed circuits antennas through multiple substrates," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-35, no. 7, pp. 860 - 863, Jul. 1987.

[2] Y. J. Lee, J. Yeo, R. Mittra, and W. S. Park, "Application of electromagnetic bandgap (EBG) superstrates with controllable

defects for a class of patch antennas as spatial angular filters," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 1, pp. 224 - 235, Jan. 2005.

[3] Y. J. Lee, J. Yeo, and R. Mittra, "Design of a high-directivity electromagnetic bandgap (EBG) resonator antenna using a frequency-selective surface (FSS) superstrate," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 43, pp. 462 - 467, Dec. 2004.

[4] S. Ceccuzzi, L. Pajewski, C. Ponti, and G. Schettini, "Directive EBG Antennas: A Comparison Between Two Different Radiating Mechanisms," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 62, no. 10, pp. 5420 - 5424, Oct. 2014.

[5] A. Hosseini, F. Capolino, and Franco De Flaviis, "Gain Enhancement of a V-Band Antenna Using a Fabry-Pérot Cavity With a Self-Sustained All-Metal Cap With FSS," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 3, pp. 909 - 921, Mar. 2015.