

# 방송용 송신탑을 고려한 안테나 패턴 모의실험과 측정을 통한 검증

김정욱, 이창훈, 강남구, 강준성, 김성철  
서울대학교 전기 컴퓨터 공학부

jwkim, lchjsa, alovme, jskang, sckim@maxwell.snu.ac.kr

## Simulation of Antenna Pattern Considering Transmission Tower and Verification of Simulation Results

Jeong-wook Kim, Chang-Hun Lee, Namkoo Kang, Joon-seong Kang, Seong-Cheol Kim

Department of Electrical Engineering and Computer Science

Seoul National University

### 요약

방송용 송신탑 안테나 패턴의 정확한 분석은 방송 음영 지역을 줄이기 위해 필수적이다. 과거에 국내에서 방송용 송신탑 안테나 패턴 분석을 위해 사용하는 방법은 안테나를 점 소스로 가정하고 송신탑과 반사판의 효과를 고려하지 않고 있다. 본 논문에서는 방송 송신탑과 반사판을 고려한 안테나 패턴 변화를 위한 차분법을 이용하여 모의실험을 하였다. 그리고 유한 차분법을 이용한 모의실험에서 고려한 주파수대 구조물의 비를 유지한 철탑 모형을 제작 후 실제 안테나 패턴을 측정하였다. 모의실험을 통하여 얻은 안테나 패턴과 측정을 통하여 얻은 안테나 패턴을 비교, 분석 하였다.

### 1. 서론

과거에 국내에서 사용되어 온 방송용 철탑의 안테나 패턴 분석 방법은 안테나를 점 소스로 가정하고 수식 관계를 이용한 분석 방법이다. 이 방법은 송신탑의 영향이 고려되지 않고, 안테나 패턴에서 백로브를 고려하지 않았다. 따라서 정확한 방송용 송신탑 안테나 패턴 분석 결과를 얻지 못해 효율적인 방송 환경 분석이 가능하지 않았다.

그래서 보다 정확한 방송용 송신탑 안테나 패턴 분석을 위해 철탑을 고려한 방송용 송신탑 안테나 패턴 분석 방법이 제안되었다. 철탑을 고려한 방송용 송신탑 안테나 패턴 분석 방법은 안테나 패턴에 영향을 줄 수 있는 요소인 철탑과 철탑에 부착하는 반사판의 유·무 등을 변수로 설정하였다[1].

본 논문에서는 철탑을 고려한 방송용 송신탑 안테나 패턴 분석 방법을 실제로 제작한 철탑 모형을 이용한 측정을 통하여 검증하였다. 실제 방송용 저주파(VHF band : 30~300MHz)대역은 고려해야 할 철탑의 크기가 크고, 주파수에 따른 원거리(far field)가 보장되는 측정 공간의 확보가 어려워 측정에 어려움이 많다. 따라서 본 논문에서는 모의실험에서 가정된 주파수 대비 철탑 모델링의 비를 유지하면서, 고주파수에

대한 철탑 모형을 제작하였다. 제작된 철탑 모형으로부터 안테나 패턴을 측정하여 철탑을 고려한 방송용 송신탑 안테나 패턴 모의실험 결과와 비교하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다.

본 논문의 2장에서는 모의실험 분석을 위해 사용될 유한 차분법 이론들을 살펴보고 3장에서는 모의실험을 위한 철탑 모델링을 살펴보고 4장에서는 3장에서 제시한 모의실험의 결과와 실제로 제작한 철탑 모형으로부터 얻은 결과를 비교, 분석하고 5장에서는 결론을 제시하였다.

### 2. 유한 차분법(FDTD : Finite Difference Time Domain)

#### 2.1 미분형 맥스웰 방정식

$$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} \quad \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\nabla \times \vec{E} \quad (1)$$

유한 차분법은 식 (1)의 형태인 미분형 맥스웰 방정식을 시간과 공간에 대하여 전개하는 방법이다. 미분 형태이므로 3차원 공간을 공간격자

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 로 나누고 그에 따라 시간격자  $\Delta t$ 를 결정한다[2].

여기서 공간격자의 크기  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 는  $0.1\lambda$ 보다 작아야 한다. 미분형 맥스웰 방정식 식 (1)을 좌표축  $x, y, z$ 에 관한 성분으로 표현하면 다음과 같은 식 (2)로 나타낼 수 있다[5],[6].

$$\begin{aligned} \frac{\partial D_x}{\partial t} &= \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} & \frac{\partial H_x}{\partial t} &= -\frac{1}{\mu_0} \left( \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial D_y}{\partial t} &= \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} & \frac{\partial H_y}{\partial t} &= -\frac{1}{\mu_0} \left( \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \\ \frac{\partial D_z}{\partial t} &= \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} & \frac{\partial H_z}{\partial t} &= -\frac{1}{\mu_0} \left( \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

## 2.2 Near to far field transformation

안테나 패턴은 원거리에서 관측한다고 가정하고 계산한다. 그러나 메모리의 한계와 모의실험의 실행 시간 제약으로, 모델링 사이즈를 너무 크게 늘릴 수 없다. 그래서 표면 등가 이론을 적용한 Near to far field transformation을 사용하여 모델링 영역의 증가 없이 원거리에서 바라본 안테나 패턴을 구한다[3],[4].

## 2.3 PML(Perfectly Matched Layer)

모델링하는 공간 외의 공간이 유한요소법에 적용되지 않도록 하기 위해서 PML이라는 영역으로 모델링하는 공간을 둘러싸도록 한다. PML은 모델링 공간의 경계 값에서 필드 값을 흡수하고 반사파를 제거하는 역할을 한다. 즉, 무반향질의 표면을 흡수체로 처리하는 것과 같은 효과이다[2],[4].

## 2.4 Thin wire modeling

공간격자  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  내에서  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  보다 작은 구조물들이 존재할 수 있다. 이 경우 작은 구조물을 기준으로 공간격자  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 의 크기를 줄이는 대신 격자 내에서 맥스웰 방정식을 보완하는 방식을 subcellular 법이라 한다. 본 논문에서는 공간격자  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  크기보다 작은 반지름을 가진 안테나를 가정하여, subcellular 법 중 하나인 Thin wire modeling 방법을 사용하여 모델링을 한다[3],[7],[8].

# 3. 철판을 고려한 방송용 송신 안테나 분석

## 3.1 철판을 고려한 방송용 송신 안테나 모델링

철판을 고려한 방송용 안테나 모델링은 그림 1과 같이 하였다. 모델링의 관심 주파수를 방송용 주파수에 해당하는 주파수로 모델링을 해야 하지만, 실제 제작한 철판 모형과의 비교를 위하여 제작한 철판에서 사용하는 주파수인 1GHz에 맞추어서 모델링을 하였다. 철판의 한 면의 길이를  $1\lambda$ 으로 모델링하고, 안테나의 길이를  $0.4\lambda$ 로 모델링했다. 반사판과 안테나 사이의 길이는  $0.3\lambda$ 로 모델링했다. 철판은 사면으로 이루어진 기둥형태로, 각 면은  $\lambda/20$ 의 두께를 갖는 세 개의 기둥으로 모델링했다. 수직으로는 3단으로 모델링하고, 가운데 단에 안테나와 반사판이

설치 되어있는 상황으로 모델링을 했다.

안테나 중앙 부분에 식(3)인 사인파 형태의 전압 소스  $v$ 를 인가하였다. 여기서  $f = 1 \times 10^9$ , 즉 1GHz의 전압 소스를 인가하였다.

$$\begin{aligned} v &= \sin(2\pi ft) \quad , \quad t = n\Delta t \\ e_z(i, j, k) &= -\frac{v}{\Delta z} \Delta x \\ n &: \text{진행 횟수}, \quad e_z(i, j, k) : z\text{방향의 e-field} \end{aligned} \quad (3)$$

FDTD 격자 크기  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 는  $\lambda/40$ 로 하였고, 시간간격  $\Delta t$ 는 식 (4)과 같으며 FDTD 반복 횟수는 2000번 이상으로 하였다.

$$\begin{aligned} \Delta t &\leq \frac{1}{c_0 \sqrt{\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2}}} \\ &\approx \frac{\min(\Delta x, \Delta y, \Delta z)}{2c_0} \end{aligned} \quad (4)$$

$c_0$  : 자유 공간에서의 빛의 속도

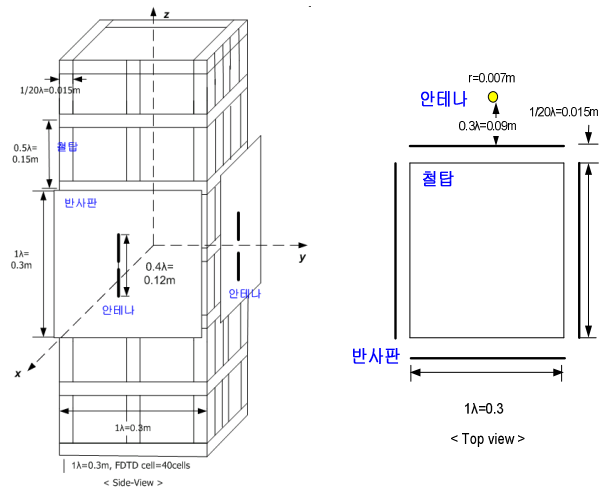


그림 1. 철판과 반사판 모델링

철판을 고려한 방송용 안테나 모의실험은 그림1과 같은 안테나를 한 면에 설치한 모델링과 그림2와 같은 안테나를 이웃한 두면에 설치한 모델링에 대해 하였다.

## 4. 모의실험결과와 제작한 철판 모형의 안테나 패턴 비교, 분석

방송용 주파수에 대해 철판 모형을 제작하기에는 철판의 크기가 너무 크게 되어 제작의 어려움이 있고, 측정할 수 있는 공간의 확보가 어려운 점이 있다. 그래서 모델링에서 가정한 주파수와 철판구조물 사이의 비율을 유지하면서, 관심 주파수를 상대적으로 높은 주파수를 선택하여 철판 모형을 제작하였다.

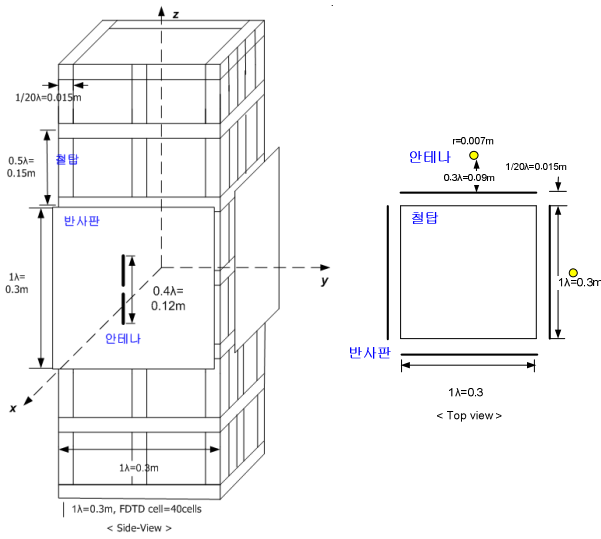


그림 2. 안테나를 두 면에 설치한 철탍과 반사판 모델링

제작된 철탍 모형은 사진1과 같고, 측정은 1GHz 기준으로  $10\lambda$  이상의 원거리가 보장되는 무반향 실험실에서 하였다.



사진 1. 제작한 철탍 모형

#### 4.1 안테나 1개의 경우 모의실험과 측정값 비교

그림1과 같은 형태의 모델링, 즉 안테나를 한 면에 설치한 경우 모의 실험 결과와 안테나를 한 면에 설치한 철탍 모형을 이용한 측정값의 결과는 그림3과 같다. 결과로 제시된 그림3은 안테나의 수평 방사패턴으로, 최대값을 기준으로 정규화를 하였다.

#### 4.2 안테나 2개의 경우 모의실험과 측정값 비교

그림2와 같은 형태의 모델링, 즉 안테나를 이웃한 두 면에 설치한 경우 모의실험 결과와 안테나를 한 면에 설치한 철탍 모형을 이용한 측정값의 결과는 그림4와 같다. 결과로 제시된 그림4는 안테나의 수평 방사패턴으로, 최대값을 기준으로 정규화를 하였다.

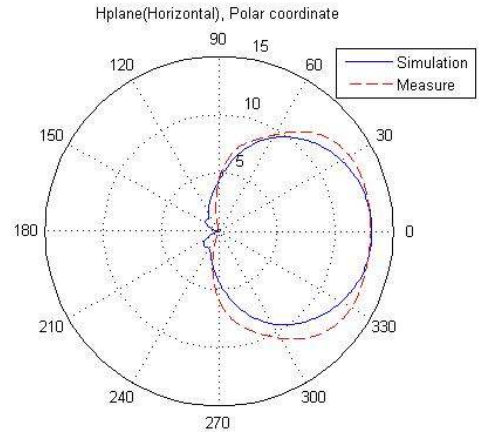


그림 3. 안테나를 한 면에 설치한 경우

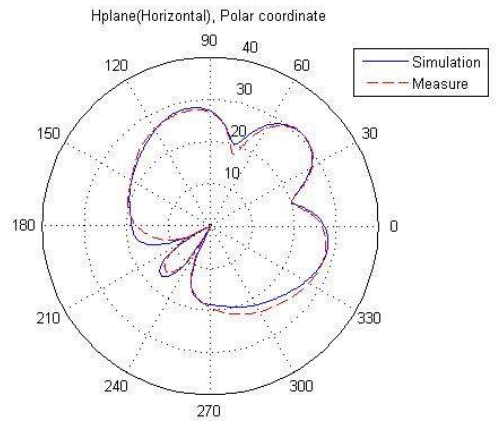


그림 4. 안테나를 두 면에 설치한 경우

안테나를 한 면에 설치한 경우 철탍 모형으로 측정한 결과가 모의실험결과에 비해 백로브가  $1dB$  감소한 형태의 결과를 얻었다. 반면에 메인로브에서  $30^\circ \sim 60^\circ, 330^\circ \sim 360^\circ$ 에서 이득이 최고  $2dB$  증가함을 알 수 있다.

이런 오차의 경향은 안테나를 두 면에 설치한 경우에도 반영되어 철탍 모형으로 측정한 결과가 모의실험 결과에 비해 백로브가  $1dB \sim 2dB$  감소하고 사이드로브가  $1dB \sim 3dB$  증가하는 안테나 방사 패턴을 얻을 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 송신 철탍과 반사판을 모두 고려한 모의실험을 통해 안테나 패턴 변화를 살펴보고, 반사판을 고려한 송신 철탍을 제작하여

측정결과를 통해 모의결과의 타당성을 살펴보았다. 논문에서 사용된 변수들은 철탑의 반사판에 설치된 안테나의 개수이다. 안테나를 한 면에 설치한 경우와 안테나를 두 면에 설치한 경우를 모의실험과 철탑모형을 이용한 측정실험을 통해 결과를 비교하였다.

결과의 비교 결과 모의실험을 통한 결과와 측정을 통한 결과의 차이는 최대 2dB의 오차를 보이며, 모의실험과 철탑모형을 이용한 측정실험의 결과 비교를 통해서 송신 철탑과 반사판은 안테나 패턴 왜곡을 일으키는 것을 알 수 있다. 따라서 송신 철탑과 반사판을 고려한 모델링이 타당함을 알 수 있다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 논문은 BK 21 Project 와 서울시 산학연 협력사업(10544)의 지원으로 작성되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 라종민, 강남구, 최진원, 이창훈, 김정욱, 김성철, 유한 차분법을 이용한 방송 송신탑과 반사판을 고려한 안테나 패턴 분석, 2007년도 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집, Vol.30 No.1, 2007
- [2] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol.AP-14 pp.302-307.May 1966
- [3] Taflove, Computational Electrodynamics : The Finite Difference Time Domain.Boston: Artech House, 2000
- [4] D.M.Sullivan, Electromagnetic Simulation using the FDTD Method, IEEE Press
- [5] Balanis, C.A., Advanced Engineering Electromagnetics, New York : Wiley, 1989
- [6] David K.Cheng, "Field and wave electromagnetics", Addison wesley, 1989
- [7] K. Umashankar, A. Taflove, and B. Becker, "Calculation and experimental validation of induced currents on coupled wires in an arbitrary shaped cavity," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-35, pp. 1248 -1257, Nov.1987.
- [8] Karl S. Kunz and Raymond J. Luebbers, "The finite difference time domain method for electromagnetics," CRC press, 1993