

Moment 법을 이용한 사용자 중심의 Antenna 해석 프로그램에 관한 연구

Study out Antenna Analysis Program of User Interface Using a Moment Method

임 태 서*, 이 달 호†, 김형석**
(Tae-Seo Lim, Dal-Ho Lee and Hyeong-Seok Kim)

Abstract : 본 논문에서는 Moment 법을 이용한 안테나 해석 프로그램에 대해 다룬다. Delaunay 삼각화 알고리즘에 근거하여 pre-processor 를 구현한다. Moment 법을 이용하여 main-processor 를 구현한다. S-parameter 를 주파수 영역과 Smith Chart 에 표시하고, 방사패턴을 다양한 각도에서 확인 할 수 있도록 post-processor 를 구현한다. 해석 결과의 신뢰성을 위해 20GHz 에서 동작하는 고 이득 및 고지향성을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나 어레이를 설계하고 이를 제작 및 측정한다. 측정결과와 상용 툴의 결과와 구현한 프로그램의 결과를 비교 및 분석 한다.

Keywords: Method of Moments, Antenna Analysis Program, User Interface

I. 서론

최근 전기, 전자공학의 급속한 발전은 컴퓨터를 복잡한 여러 공학 분야에서 연구 대상물의 해석과 시각화에 효과적인 도구로 사용할 수 있게 해주었다. 일반적으로 컴퓨터를 이용한 해석이란 실제 실험이나 제작을 하기 전에 대상의 특성을 파악하고 그 특성의 변화에 맞는 Simulation을 통해 실제 얻을 수 있는 결과들을 미리 예측하여 실제 실험이나 제작의 효율성을 추구하는 것을 말한다. 컴퓨터를 이용한 Simulation의 필요성으로 인해 여러 효과적인 상용 프로그램들이 많이 개발 되었고 널리 쓰이고 있다. 상용 프로그램은 많은 기능을 갖추고 있지만 실제 상용 프로그램을 사용하는 범위는 제공 되는 것에 비해 매우 한정적이어서 비싼 가격에 비해 효율적인 사용이 어려운 실정이다. 본 논문에서는 기존의 수치 해석 알고리즘과 Moment법을 이용하여 사용자 중심의 안테나 해석 프로그램을 구현 함으로서 비싼 가격에 비해 한정적으로 사용되는 상용프로그램을 대체할 수 있도록 하였다.

II. 관계 이론

1. 전류밀도

공간영역 MPIE (Mixed Potential Integral Equation) 모멘트법의 지배방정식은 식(1)과 같다. 평면의 적층 구조에 대한 정보로부터 그린함수 G_A, G_q 를 계산하고[1], 도체면 에서의 표면 전류밀도 J_s 를 미지수로 하여, 그림 1과 같은 기저함수 식(2)[2]를 사용하여 J_s 를 식(3)과 같이 표시하고 갤러킨(Galerkin)법을 적용하여 행렬방정식으로 만들어서 미지수 전류밀도를 구한다.[3]

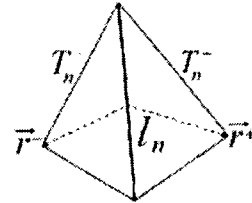


그림.1. 전류 밀도를 표현하는 기저 함수

$$\hat{n} \times \vec{E}^m(\vec{r}) = \hat{n} \times \left[\int_S G_A(\vec{r}|\vec{r}_s) \vec{J}_s(\vec{r}_s) dS + \nabla \int_S G_q(\vec{r}|\vec{r}_s) \vec{q}_s(\vec{r}_s) dS \right] \quad (1)$$

$$\vec{f}_n(\vec{r}) = \begin{cases} \frac{I_n}{2A_n^+} (\vec{r} - \vec{r}^+) & \vec{r} \in T_n^+ \\ \frac{I_n}{2A_n^-} (\vec{r}^- - \vec{r}) & \vec{r} \in T_n^- \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

$$\vec{J}(\vec{r}) \approx \sum_{n=1}^N I_n \vec{f}_n(\vec{r}) \quad (3)$$

2. S-parameter

구해진 전류를 그림 2 과 같이 Port 근처에서 Sampling 한 뒤, 식(4)으로 Fitting 한 후

$$I_{ij} = a_{ij} e^{-\gamma_i x} - b_{ij} e^{\gamma_i x} \quad (4)$$

구해진 a_{ij} 및 b_{ij} 를 사용하여 식(5)과 같이 S-parameter 를 구할 수 있다.[4]

*: 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정

†: 경원대학교 전자공학과

** : 중앙대학교 전자전기공학부 교수 (kimcaf2@cau.ac.kr)

※ 본 연구는 전력산업연구개발사업 전력선행기술 지원으로 수행되었음. (R-2005-7-133)

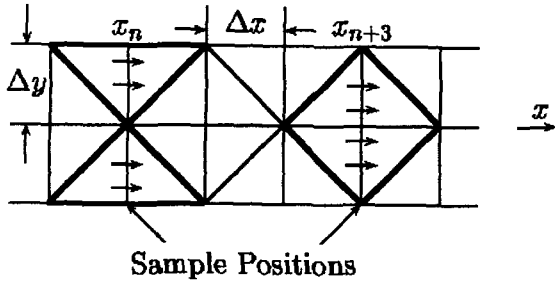


그림 2. S-parameter 추출

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{11} \\ S_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. Radiation Pattern

Far-field 방사 패턴은 스펙트럴 영역의 E-field 와 Saddle point method로부터 얻어 낼 수 있다.

$$\vec{E}(\vec{r}) \propto jk_0 \frac{e^{jk_0 r}}{2\pi r} \cos\theta \begin{bmatrix} \hat{a}_\theta (\cos\theta \cos\phi \tilde{f}_x^s + \cos\theta \sin\phi \tilde{f}_y^s) \\ + \hat{a}_\phi (-\sin\phi \tilde{f}_x^s + \cos\phi \tilde{f}_y^s) \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 \tilde{f}_x^s 와 \tilde{f}_y^s 는

점 $(k_x, k_y) = (k_0 \sin\theta \cos\phi, k_0 \sin\theta \sin\phi)$ 에서의 함수 \tilde{f} 의 각 성분이다. 함수 \tilde{f} 는 스펙트럴 영역의 전개

$$\tilde{G}_E \text{ 와 전류 } I \left(= \int_A \vec{J}(\vec{r}_s) e^{jk_0 \vec{r}_s} d\vec{r}_s \right) \text{ 의 곱이다.}$$

III. 프로그램의 구현

Moment 법을 이용한 안테나 해석 프로그램은 크게 전치부 (Pre-processor), 중심부 (main-processor), 후치부 (Post-processor)로 나눌 수 있다. 전치부에서는 기관정보를 입력하고 안테나를 모델링한 후 설계된 안테나를 해석 하기 위해 안테나 내부를 유한요소로 나눈다. 중심부에서는 앞 절에서 언급된 방정식을 이용하여 실제 연산을 한다. 후치부에서는 중심부에서 연산된 결과를 해석하기 쉽도록 그래픽화 하여 보여준다.

일반적으로 요소의 생성은 기본점 생성, 외형 초기점 생성, 내부점 생성의 3 단계로 구분 할 수 있다. 요소 생성 프로그램의 흐름도를 그림 3에 나타내었다. 요소망 생성기법으로는 비 구조화된 요소망중 구속 들러니 삼각화 알고리즘에 근거하여 수정 보완된 자동요소분할 방법을 이용하였다.[5]

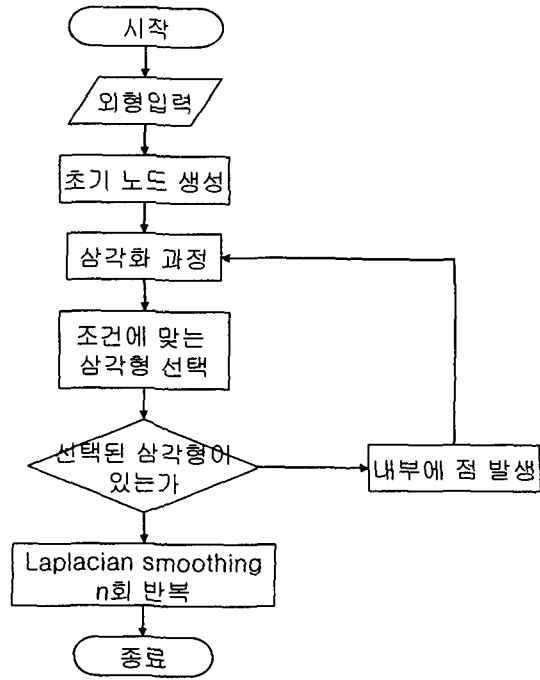


그림 3. 요소 생성 프로그램의 흐름도

Main-processor의 구현은 연산속도의 향상을 위해 포트란으로 작성하였으며, Pre-processor와 Post-processor는 사용자 중심 환경을 구축하기 위해 MFC를 이용하여 작성 하였다. 구현한 프로그램의 시작 화면을 그림4에 나타내었다.

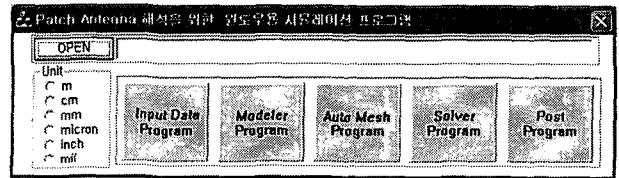


그림 4. Antenna 해석프로그램의 시작화면

IV. 적용사례

구현된 프로그램의 성능을 테스트하기 위해 위성 통신 대역인 20GHz에서 동작하는 4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나를 설계하고 안테나의 특성을 해석하였다. 해석 결과의 신뢰성을 위해 설계한 4x4 패치 어레이 안테나를 제작하고, 실제 측정을 통해 그 성능을 검증한다. 그림5는 안테나 해석 프로그램 성능평가에 사용된 마이크로스트립 안테나이며 그림6은 4x4 어레이 구조를 나타낸다. 어레이 안테나의 원소로 사용될 패치 안테나의 기관은 유전율 2.33, 두께 0.775mm의 RT/ Duroid 5870을 사용하였다.

$$L_p = \frac{1}{2} \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (7)$$

식 (7)과 (8)에서 f 는 안테나의 동작 주파수, ϵ_{reff} 는 유효 유전율, ϵ_r 는 기판의 상대 유전율 이며, c 는 자유공간에서 빛의 속도이다. 패치의 폭 W_p 는 패치 안테나의 효율적인 방사를 위한 변수로, 동작 주파수에서 전파가 안테나로부터 최대한 방사가 일어날 수 있도록 패치의 방사되는 모서리의 길이를 결정한다. 패치의 길이 L_p 는 패치 안테나의 동작 주파수를 결정하는 변수로, 패치의 방사 모서리간의 간격을 동작주파수의 파장의 1/2 의 길이로 결정된다. 패치의 길이 L_p 는 식(7)에 의해 4.2186mm 로, 패치의 폭 W_p 는 식(8)에 의해 5.8124mm 로 설계하였다. W_F 가 100 Ω 의 임피던스를 가진 급전선이라면, 슬롯의 길이 y_0 에 의해 패치의 임피던스를 조절하여 정합시킬 수 있다. y_0 의 길이는 식(9)에 의해 1.52mm 의 값을 가진다.[6]

$$W_p = \frac{1}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (8)$$

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos\left(\frac{\pi}{L_p} y_0\right) \quad (9)$$

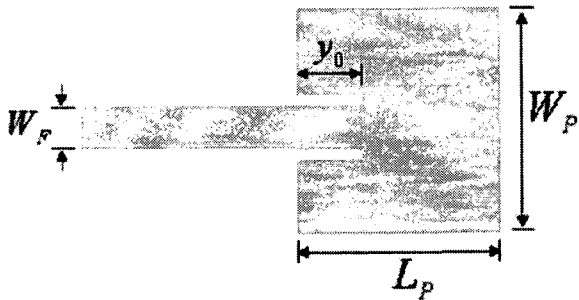


그림 5. 마이크로스트립 패치 안테나의 구조

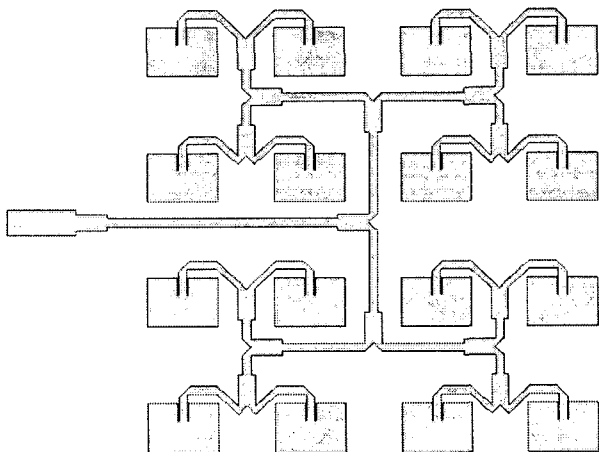


그림 6. 4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나의 구조

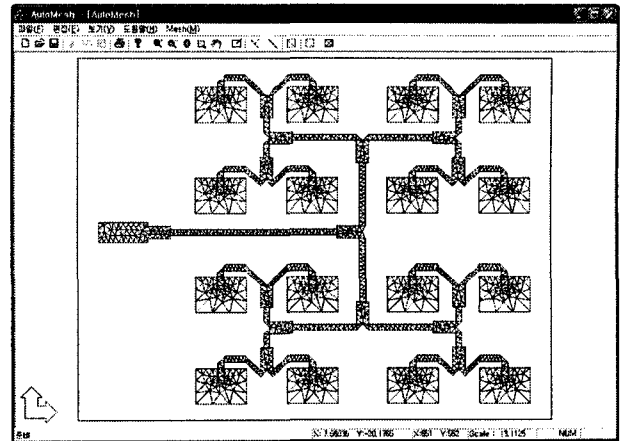


그림 7. 4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나를 요소 분할한 모습.

그림 7은 4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나를 해석을 위해 구현한 프로그램을 이용하여 삼각형 요소로 분할한 모습을 나타낸다. 해석 속도 개선을 위하여 초기 요소 분할 시 각 모서리의 세그먼트 주기를 사용자 임의로 조절할 수 있도록 하였다.

4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나의 해석 결과를 그림 8에 나타내었다. 해석 결과 21.12GHz 에서 -11.26dB 의 return loss 값을 나타내었다. 이는 처음 설계 목표였던 20GHz 에서 약 1GHz 정도 중심 주파수가 올라갔음을 나타내며 이때의 오차는 약 5% 이다. 해석 결과의 오차 원인으로는 패치 어레이 안테나 해석을 위한 연산에서 각 적분 값의 근사화 과정에서 무시되었던 값들의 누적으로 인한 결과로 보여진다. 안테나 해석 프로그램의 성능을 비교하기 위해 설계한 4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나를 제작하여 측정된 결과를 그림 9에 나타내었다. 측정 결과 18.95GHz 에서 -24.98dB 의 return loss 값을 나타내었다. 이는 처음 설계 목표였던 20GHz 에서 약 1GHz 정도 중심 주파수가 내려갔음을 알 수 있으며, 이때의 오차는 약 5% 이다.

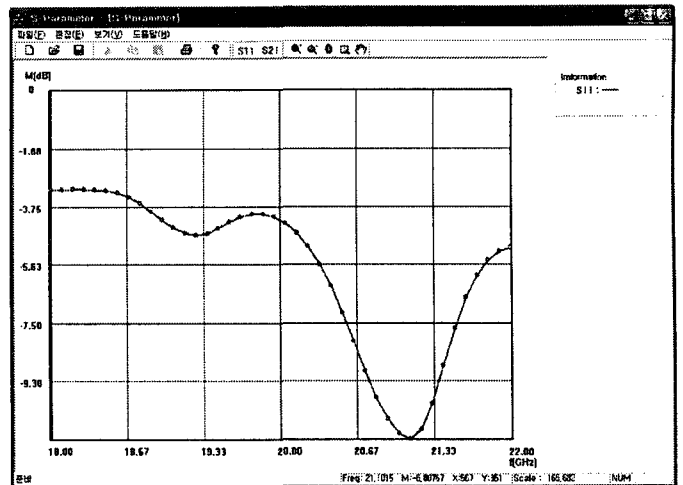


그림 8. 4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나의 S-parameter (S11) Simulation

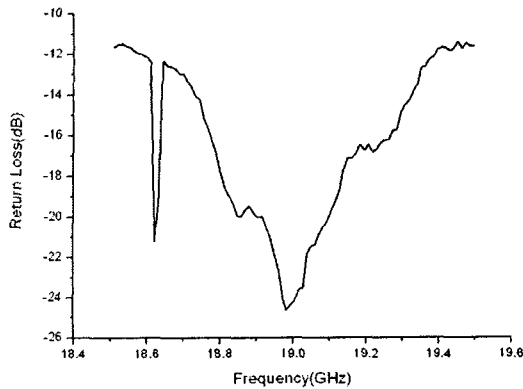


그림 9. 4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나의 측정결과

V. 결론

본 연구에서는 Moment법을 이용하여 안테나 해석 프로그램을 구현하였다. 프로그램을 pre-processor, main-processor, post-processor 세 단계로 나누어서 각각의 단계를 구현 한 후 전체적인 해석 프로그램으로 사용 할 수 있도록 하였다. Pre-processor에서는 효과적인 요소 분할을 위해 Delauny 삼각화 알고리즘을 이용 하였으며, main-processor에서는 Moment법을 이용하여 안테나를 해석 하였다. Post-processor에서는 해석 결과를 알아보기 쉽도록 그래픽화 하여 표현 하였다. 해석결과 20GHz에서 동작하는 마이크로스트립 4x4 패치 어레이 안테나의 경우 중심 주파수가 21.12GHz로 해석 되었으며 약 5%의 오차율을 나타내었다. 이는 연산 과정에서 근사화를 위해 무시되었던 값들의 누적으로 인해 나타나는 것으로 보여진다. 향후 연구를 통해 trade-off 관계에 있는 연산시간 단축과 정확도의 효율적인 접근이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- [1] Y. L. Chow, J.J. Yang, D.G Fang and G.E. Howard, "A Closed-form spatial green's function for the thick microstrip substrate," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 39, No. 3, pp.588-592, 1991.
- [2] Tzyy-Sheng Horng, William E. McKinzie, and Nicolaos G. Alexopoulos, "Full-wave spectral-domain analysis of compensation of microstrip discontinuities using triangular sub-domain functions," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol 40, No. 12, pp.2137-2147, 1992.
- [3] S. S. Song, H. S. Kim, H. K. Jung, J. Braunstein and U. C. Moon, "Frequency Domain Analysis of Microstrip Filters and Antenna Using an Adaptive Frequency Sampling Moment Method" *IEEE trans. Magn.*, vol. 42, no 4, pp. 607-610, April, 2006.
- [4] S. M. Rao, D.R. Wilton, and A.W.Glisson, "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 30, No. 5, pp.409-418, 1982.
- [5] 김진태, 정태경, 김형석, "전기기기의 유한요소 해석을 위한 효율적인 요소 생성에 관한 연구" 대한전기학회논문집, vol. 48B, no. 4, pp. 174-181, April, 1999.
- [6] 이하영, 제프리 브론스타인, 김형석, "고지향성 구현을 위한 K-밴드 4x4 마이크로스트립 패치 어레이 안테나의 설계" 대한전기학회논문집, no. 3, pp. 1613-1614, July, 2006.



임 태 서

2006년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업.
2006년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정 재학중. 관심분야는 안테나, 수치해석.



이 달 호

1982년 서울대학교 제에계측공학과 공학사. 1984년 서울대학교 제에계측공학과 공학석사. 1992년 서울대학교 제에계측공학과 공학박사. 1992년~현재 경원대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 영상압축, 비디오 처리



김 형 석

1985년 서울대학교 전기공학 공학사.
1987년 서울대학교 전기공학 공학 석사.
1990년 서울대학교 전기공학 공학박사
1990~2002 순천향대학교 정보기술공학부 부교수. 1997~1998 R.P.I 미국 방문 교수.
2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부

교수. 관심분야는 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구, IT-SoC응용 회로, 전력 IT