

# Moment 법에 의한 간편한 안테나 해석 프로그램 구현

## Study out Analyze antenna simply by Moment method

권 소 현\*, 강 승 택\*, 김 형 석\*\*

(So-Hyun Kwon, Sung-tek Kang and Hyeong-Seok Kim)

**Abstract:** This paper presents the program to analyze an antenna for using the Moment Method. The program contains three different functional steps. In the first stage, the pre-processor is based on the Delaunay Triangulation Algorithm. The next stage, the main-processor, can be considered the core process of the program, which solutions are obtaining the linear matrix for using the Moment Method. The final stages, the name of the post-processor, analyze radiation patterns, which results are same with the S-parameters. The results demonstrate satisfactory agreement with the results for using other numerical packages and measurement data. We can confirm that the results of this program compare with the results of common program to analyze for an antenna.

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

### I. 서론

다양한 Antenna를 개발하고 설계하기 위해서는 컴퓨터를 이용한 대상물에 대한 정확한 해석과 시각화 작업이 중요시 되고 있다. 실제로 실험이나 제작을 하기 위해서는 대상물의 특성을 파악하고 그 특성의 변화에 따른 Simulation을 통해 얻을 수 있는 결과들을 미리 예측하여 실제 실험이나 제작의 효율성 높이는 것이 컴퓨터 상용 프로그램을 이용한 해석 작업이다. 이를 이용하는 해석 작업은 근래에 들어 공학의 발달과 개발기술이 성장함에 따라 더욱 더 중요시 되고 있으며, 이러한 해석 알고리즘에 의한 상용 프로그램의 시장성 또한 급속히 증가하고 있는 실태이다. 그러나 기존의 상용 프로그램은 너무 많은 기능을 갖추고 있어서 사용자가 이용 하는 데에 많은 어려움이 있을 뿐 아니라, 실제로 프로그램을 사용하는 범위는 제공 되는 것에 비해 매우 한정적이어서 비싼 가격에 비해 효율적인 사용이 어려운 실정이다. 또한 기존의 상용 프로그램은 사용자 임의로 프로그램을 변경할 수 가 없을 뿐 아니라 제공되어 있는 틀 안에서 맞춤사용만 가능 할 뿐이다. 그러므로 기존의 상용 프로그램과 달리 사용자가 임의 적으로 응용이 가능 하며, 연구에 필요한 영역을 특성화 시켜 해석 할 수 있다면 연구에 있어서 큰 경쟁력을 갖게 될 것이고, 기술 개발에 큰 이바지를 하게 될 것이다.

본 연구에서는 기존의 수치해석 알고리즘과 Moment법을 이용하면서, 고가의 한정적이었던 기존의 상용 프로그램을 사용자가 임의 적으로 응용이 가능하며, 간편하게 사용 할 수 있는 Antenna 해석 프로그램을 구현하였고, 이를 검증하기 위하여 Microstrip line으로 Patch Array Antenna를 설계 하여 기존의 상용 틀에서의 결과와 비교하였다.

### II. 관계 이론

#### 1. Current density

$$\begin{aligned} \bar{E}_t &= \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{G}(k_x, k_y) \cdot \bar{J}(k_x, k_y) e^{-jk_x x} \\ &\quad \cdot e^{-jk_y y} dk_x dk_y + \bar{E}^{inc}(x, y) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

(for x, y on microstrips)

Current density를 구하기 위해 그림1의 Microstrip structure를 고려한 평면의 적층 구조에 대한 정보로부터 Green' Function GA, Gq[2]를 계산하여, Electric Field Integral Equation(EFIE)[1]의 식(1)을 이용 하여 공간영역 MPIE (Mixed Potential Integral Equation) 모멘트법의 지배방정식 (2)를 구한다[3].

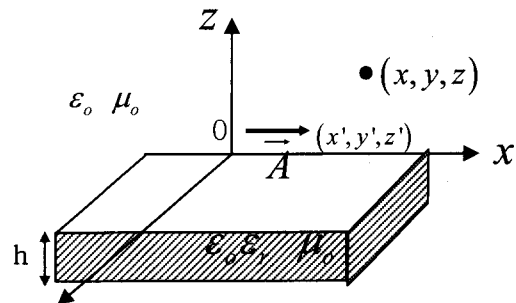


그림. 1. 개방 마이크로 스트립 구조  
Fig. 1. The open Microstrip Structure

Microstrip structure에서의 Surface current density, Js를 구하기 위해, 그림2와 같은 기저함수 식(3)를 사용하여 Js를 식(4)과 같이 표현하고 갤러킨(Galerkin)법을 적용하여 행렬 방정식을 이용해 current density, J(r)을 구한다[3].

$$\hat{n} \times \bar{E}^m(\vec{r}) = \hat{n} \times \left[ \begin{aligned} &j\omega \int_s G_A(\vec{r}|\vec{r}_s) \bar{J}_s(\vec{r}_s) dS \\ &+ \frac{j}{\omega} \nabla \int_s G_q(\vec{r}|\vec{r}_s) \nabla_s \cdot \bar{J}_s(\vec{r}_s) dS \end{aligned} \right] \quad (2)$$

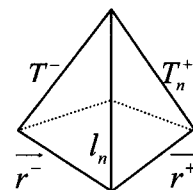


그림. 2. 전류 밀도를 표현하는 기저 함수  
Fig. 2. The base function to express a current density.

\*: 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정

+ 인천대학교 정보통신공학과(mitra@hanmail.net)

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

※ 본 연구는 2008년 중소기업 산학 지원사업의 지원에 의해 수행 되었음.

$$\vec{f}_n(\vec{r}) = \begin{cases} \frac{I_n}{2A_n^+}(\vec{r} - \vec{r}^+) & \vec{r} \in T_n^+ \\ \frac{I_n}{2A_n^-}(\vec{r} - \vec{r}^-) & \vec{r} \in T_n^- \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

$$\vec{J}(\vec{r}) \approx \sum_{n=1}^N I_n \vec{f}_n(\vec{r}) \quad (4)$$

2. S-parameter

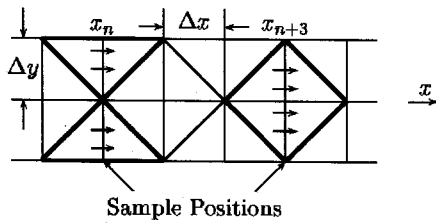


그림 3. S-parameter 추출.  
Fig. 3. S-parameter extraction.

구해진 전류를 그림3 과 같이 Port 근처에서 Sampling 한 뒤, 식(5)로 Fitting 한 후

$$I_{ij} = a_{ij}e^{-\gamma_j x} - b_{ij}e^{\gamma_j x} \quad (5)$$

구해진 a<sub>ij</sub> 및 b<sub>ij</sub> 를 사용하여 S-parameter를 구할 수 있다.[5]

3. Radiation Pattern

Far-field 방사 패턴 식(6)은 스펙트럴 영역의 E-field 와 Saddle point method로부터 얻어 낼 수 있다.

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

$\vec{f}_x^s$  와  $\vec{f}_y^s$  는 점  $(k_x, k_y) = (k_0 \sin\theta \cos\phi, k_0 \sin\theta \sin\phi)$  에서의 함수  $f$ 의 각 성분이다. 함수  $f$  는 스펙트럴 영역의 전개  $\vec{G}_E$ 와 전류  $I \left( = \int_A \vec{J}(\vec{r}_s) e^{jk_0 \vec{r}_s} d\vec{r}_s \right)$ 의 곱이다.

III. 프로그램의 구현

1. Algorithm

본 프로그램은 세 단계의 Algorithm으로 나뉘어 진다. 첫 번째 단계로 전치부인 Pre-processor는 기판정보를 입력하고 안테나를 모델링 한 후 설계된 안테나를 해석하기 위해 안테나 내부를 유한요소로 나눈다. 중심부인 Main-processor에서는 앞 절에서 언급된 방식을 이용하여 실제 연산을 하고, 마지막 단계인 후치부 Post-processor에서는 중심부에서 연산된 결과를 해석하기 쉽도록 그래픽화 하여 사용자가 해석결과를 알아보기 쉽도록 구현하였다. 구현한 프로그램의 시작화면을 그림4에 나타내었다.

2. 요소생성 과정

요소의 생성방식은 Delaunay Triangulation Algorithm[6]에 근거하여 수정 보완된 자동요소 분할 방법을 이용 하였으며, 본 프로그램의 요소생성과정은 기본 점 생성, 외형 초기 점 생성, 내부 점 생성의 세 단계를 거쳐 분할 할 수 있도록 구현하였다. 먼저 외형을 입력하여 초기 노드를 생성하면, Delaunay Triangulation Algorithm과정에 의해 조건에 맞는 삼각형을 찾게 되고, 이때 적당한 삼각형이 선택된다. 만약 내부의 점이 더 발생하면 위의 삼각화 과정을 n회 반복하여 사용자가 원하는 만큼의 Laplacian smoothing을 거쳐 요소분할을 완성한다.

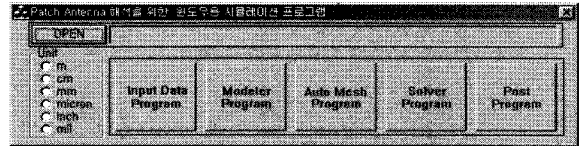


그림 4. 안테나 해석프로그램의 시작화면  
Fig. 4. The start screen of Antenna interpreting program.

IV. 적용사례

구현 된 Antenna 해석 프로그램이 기존의 상용 프로그램의 대체 틀로 적당한 가를 검증 하기 위해 위성 통신 대역인 10GHz 대역에서 작동 하는 Microstrip Patch Array Antenna를 그림5의 형태로 설계하여 본 논문의 구현된 프로그램으로 해석된 S-parameter를 기존의 상용 프로그램의 결과와 비교함으로써 본 프로그램의 효율성을 검증을 하였다. 그림 6은 기존의 상용 틀을 이용하여 설계한 Array 구조를 나타낸다[4]. Array Antenna의 원소로 사용될 Patch Antenna의 기판은 유전율 2.5, 두께 1.575mm를 사용하였다.

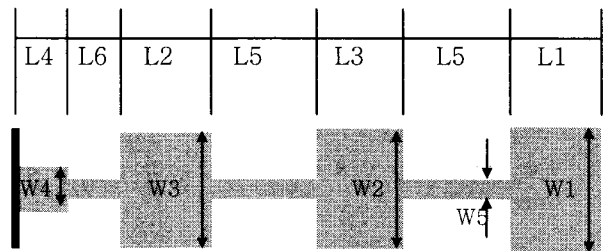


그림 5. 마이크로 스트립 Array 안테나 구조 사이즈  
Fig. 5. The Microstrip Array Antenna structure.size

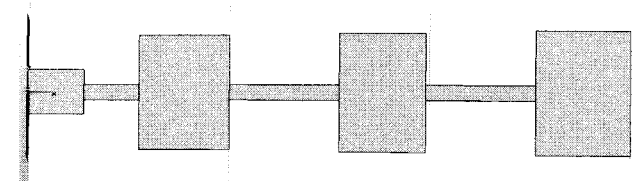


그림 6. 마이크로 스트립 Array 안테나 구조  
Fig. 6. The Microstrip Array Antenna structure.

$$L = \frac{C}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta l \quad (7)$$

$$W = \frac{C}{2f_r} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (8)$$

식 (7)과 (8)에서의  $f_r$ 은 안테나의 동작 주파수이고[7]  $\epsilon_{eff}$ 는 유효 유전율,  $\epsilon_r$ 은 기판의 상대 유전율이며, C는 자유공간에서 빛의 속도이다.

표 1. Patch 안테나의 폭과 길이  
Table 1. A width of the Patch Antenna and length

L1	L2	L3	L4	L5	L6
9.484	9.037	8.635	5.485	10.97	5.486
W1	W2	W3	W4	W5	
12.453	11.9275	11.447	4.42	1.541	

Patch의 폭  $W$ 는 중간 공진 주파수에 가까운 공진 주파수에서 각각의 공진기 Input Impedance가 같도록 하기 위한 길이이며 효율적인 방사를 위한 변수로, 동작 주파수에서 전파가 안테나로부터 최대한 방사가 일어날 수 있도록 Patch의 방사되는 모서리의 길이로 결정한다. Patch의 길이는 Patch 안테나의 동작 주파수를 결정하는 변수로, Microstrip Antenna는 대역폭이 좁기 때문에 공진길이  $L$ 이 공진 주파수에 중요한 parameter로 작용하며, Patch의 방사 모서리간의 간격을 동작주파수의 파장의 1/2의 길이로 결정된다.

$W_4$ 가 50Ω의 임피던스를 가진 급전선로이며 임피던스 매칭에 의해 표1과 같이  $W$ 와  $L$ 의 길이가 정해진다.[4]

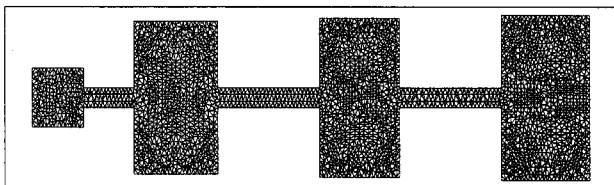


그림7. 구현한 프로그램으로 마이크로 스트립 Array 안테나를 요소분할 한 모습.  
Fig. 7. The form is divided of the elements by the program in this paper.

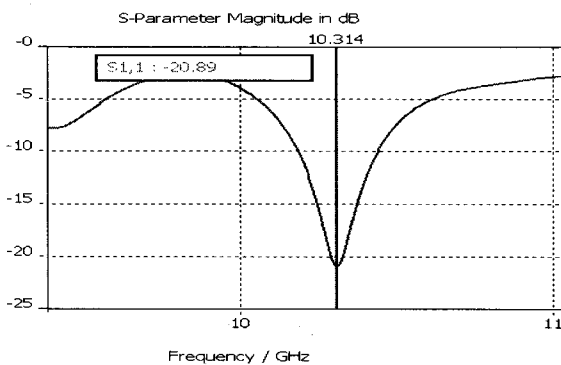


그림 8. 상용 툴로 마이크로 스트립 Array 안테나를 해석한 결과.  
Fig. 8. The result to interpret the antenna to a common program

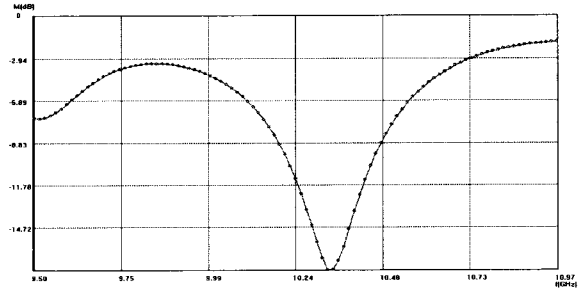


그림 9. 구현한 프로그램으로 마이크로 스트립 Array 안테나를 해석한 결과.  
Fig. 9. The result to interpret the antenna to the program to embodiment.

그림7은 The Microstrip Array Antenna를 삼각형 요소로 분할한 그림이다. 해석 속도 개선을 위하여 초기 요소 분할 시 각 모서리의 세그먼트 주기를 사용자 임의로 조절 할 수 있으며 Laplace 요소분할의 횟수도 조절 가능하게 하였다. Microstrip Patch Array Antenna를 기존의 상용 프로그램으로 측정한 결과를 그림8에 나타내었고 본 논문에서 구현된 프로그램으로 측정한 결과를 그림9에 나타내었다.

V. 결론

해석 결과 10GHz대역에서 동작하는 The Microstrip Patch Array Antenna의 경우 기존의 상용 프로그램을 이용 하였을 중심 주파수가 10.314GHz로 해석 되었으며, 구현 한 프로그램을 이용하였을 경우에는 중심 주파수가 약 0.01%의 오차율을 갖는 10.33GHz임을 확인 할 수 있었다. 이는 연산과정에 있어서 발생하는 누락된 neglected value 에 의한 오차율로 보여진다.

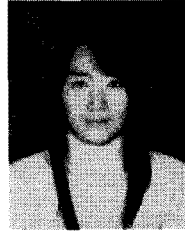
본 논문에서는 기존의 Moment 방식을 이용하여 기존의 상용 프로그램(FDTD)과 근사한 해석 결과를 보이면서도 사용자 임의의 응용이 간편한 Antenna해석 프로그램을 구현 하였다. 본 프로그램은 pre-processor, main-processor, post-processor 세 단계로 나누어서 각각의 단계를 구현 한 후 전체적인 해석 프로그램으로 사용할 수 있도록 하였으며, 첫 번째 단계인 pre-processor에서는 Delaunay triangulation algorithm을 사용함으로써 효과적으로 요소분할을 할 수 있도록 하였으며, 두 번째 단계인 main-processor에서는 위에서 언급 한 바와 같이 Antenna 해석을 위해 Moment 방식을 이용 하였다. 마지막 단계인 Post-processor에서는 해석 결과를 시각화 하기 위하여 S-parameter, Smith Chart, Radiation Pattern으로 쉽게 결과를 확인 할 수 있도록 구현 하였다. 단, 정확도에 따른 Trade-off관계인 연산속도에 있어서는 효율성을 높이기 위해 향후 발전된 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] 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. Man., vol. 42, no 4, pp. 607-610, April, 2006.
- [2] 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.
- [3] Tzyy-Sheng Horng, William E. McKinzie, and Nicolaos G.

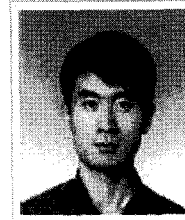
Alexopoulos, "Full-wave spectral-domain analysis of compensation of microstrip discontinuities using triangular sub-domain functions," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. 40, No. 12, pp.2137-2147, 1992.

- [4] Yang-Hyun Oh, Young Hyuk Ko and Jong-Arc Lee, "A design of Microstrip Array Antenna With stub" 대한 전자공학 회 학술대회 논문집 (마이크로파/전파전파/양자전자) vol 15, No. 1, pp. 106-109, 1992.
- [5] 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.
- [6] 김진태, 정태경, 김형석, "전기기기의 유한요소 해석을 위한 효율적인 요소 생성에 관한 연구" 대한전기학회논문집, vol. 48B, no. 4, pp. 174-181, April, 1999.
- [7] G. Sanford and L. Klein, "Development and test of a conformal microstrip air bone phased array for use with the ATS-6 satellite", *IEE int. conf. on Antenna for aircraft and spacecraft*, pp.115-122, 1975.



**권 소 현**

2008년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업  
2008년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정 재학중. 관심분야는RFIC Circuit Design, Active Component.



**강 승 택**

1996년 3월~2002년2월 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)  
2000년 2월~2000년 4월 한양대학교 산업과학연구소 연구원  
2000년 4월~2004년2월 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임 연구원  
2004년 3월~현재 인천대학교 정보통신공학과 교수



**김 형 석**

1985년 서울대학교 전기공학 공학사.  
1987년 서울대학교 전기공학 공학 석사.  
1990년 서울대학교 전기공학 공학박사  
1990~2002순천향대학교 정보기술공학부 부교수 1997~1998 R.P.I 미국 방문 교수.  
2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수. 관심분야는 전자장 및 수치 해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구, IT-SoC응용 회로, 전력 IT