

중첩전류인가법과 변형 전개함수를 이용한 안테나 해석

正會員 鄭光昱*, 金彩英**

Analysis of the Antenna using Superimposed Current Method and Modified Expansion Function

Kwang-Wook Jung*, Che-Young Kim** Regular Members

要 約

임의 형태의 본체위에 안테나가 부착된 구조의 빠른 해석을 위하여 중첩전류인가법을 이용한 새로운 수식전개 기법을 제안하고, 그 적용예로서 원형과 사각형 본체에 모노폴 안테나가 부착된 구조의 입력임피던스, 전류분포, 및 복사패턴을 구한다. 그리고 해석시간의 단축을 위해 삼각형 표면패치함수를 변형하여 사용하고 그 결과를 기존 삼각형 표면패치함수를 사용한 결과와 상호 비교한다.

ABSTRACT

A new technique of formulation using Superimposed Current Method is proposed for the fast analysis of an antenna attached to the arbitrarily shaped conducting body. Based on this method the input impedance, the current distribution and the radiation pattern are computed and tested for the rectangular and the circular body. Employing the modified surface patch triangle function offers a reduced CPU run time, and compared the result with that of original surface patch triangle function.

*구미전문대학 전자통신과 조교수

**경북대학교 전자공학과 교수

論文番號 : 95318-0912

接受日字 : 1995年 9月 12日

I. 서 론

유한 크기의 도체면으로부터 복사장을 구하는 것은 중요한 문제이므로 완전도체인 본체 중심에 모노폴 안테나를 세운 구조물의 전류, 복사패턴, 그리고 임피던스 계산에 관한 연구가 진행되어 왔다⁽¹⁾⁻⁽³⁾. 그러나 기존의 방법들은 시스템의 총 전류를 한꺼번에 계산하므로 행렬 용량이 커지기 때문에 컴퓨터의 계산시간이 길어지는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 개선하기 위해 임의 형태의 본체에 안테나가 부착된 구조에서 시스템의 총 전류를 한꺼번에 계산하는 대신 본체와 안테나 및 자기 전류원에 의한 상호 영향들을 부분 행렬로 나눈 다음 이들 부분 행렬을 각각 계산한후 중첩하여 최종결과를 얻음으로서 행렬요소 감소에 의한 계산시간을 단축시킨다. 또한 본체나 안테나의 구조변화에 대하여는 변화되는 구조의 행렬에 대응되는 부분의 행렬만 바뀌게 함으로서 부분 행렬간의 상호 독립성을 유지시킨다⁽⁴⁾. 그리고 계산 시간의 단축을 위한 추가 방법으로 변형된 삼각형 표면패치 전개함수를 이용하며 그 결과를 기존의 방법과 비교해 보인다.

수치해석을 위해서는 전장적분 방정식과 Galerkin 모멘트법을 사용하고, 본체의 조각화는 사각형과 원형의 형태에 따라 각각 삼각형 표면패치⁽⁵⁾(surface patch triangle)와 동심 환형(concentric annular ring)으로 하며 복사패턴은 가역정리를 이용하여 계산한 후 이를 측정치와 비교해 보인다⁽⁶⁾.

II. 이 론

1. 전장 적분방정식

그림 1은 직사각형 본체의 중심에 안테나가 위치한 구조이다. 여기서 본체는 두께가 영인 완전도체로 가정하고 a 는 안테나 반경, b 는 자기전류원(magnetic frill generator)의 외경이며 L_{bx} 와 L_{by} 및 L_p 는 각각 본체와 안테나의 길이이다. 또 \hat{u}_m 은 가역정리를 이용하기 위하여 관측점 P에 둔 단위벡터로서 전원벡터와 동일방향이다. 그림 1은 삼각형 표면패치로 조각화되며, 독립전원인 자기전류 \vec{M}_s 가 종속전원인 안테나의 전류밀도 \vec{J}_p 를 여기서킨다.

전장 경계조건으로부터 전장 적분방정식을 유도한 후

여기에 모멘트법을 적용하여 전류분포와 복사패턴 및 계산소요시간을 구하고자 한다. 먼저 완전도체의 표면에서 입사장과 산란장의 접선 전기성분의 합은 영이어야 한다는 전장 경계조건으로부터 아래의 적분방정식을 얻게된다⁽⁷⁾.

$$\hat{n} \times (\vec{E}^{inc} + \vec{E}^{sc}) = 0 \tag{1}$$

$$\vec{E}^{sc} = -j\omega\vec{A}(\vec{r}) - \nabla\phi(\vec{r}) \tag{2}$$

$$\vec{A}(\vec{r}) = \mu \int \int_s \vec{J}(\vec{r}') G(\vec{r}, \vec{r}') dS' \tag{3}$$

$$\phi(\vec{r}) = -\frac{1}{j\omega\epsilon} \int \int_s \nabla' \cdot \vec{J}(\vec{r}') G(\vec{r}, \vec{r}') dS' \tag{4}$$

$$G(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|} \tag{5}$$

여기서 \hat{n} 은 안테나 표면에서 외향 방향의 법선벡터이고 \vec{E}^{inc} 와 \vec{E}^{sc} 는 각각 입사 및 산란전계이며 \vec{A} 는 자기벡터전위이고 ϕ 는 전기스칼라전위이며 $G(\vec{r}, \vec{r}')$ 는 자유공간 그린함수이다. 또 r 과 r' 는 관측점과 전원점 좌표이며, ∇ 및 ∇' 는 각각 관측점 및 전원점에 대한 공간 미분연산자이고, $\vec{J}(\vec{r}')$ 는 전원의 전류밀도이다.

식 (1)로부터, 그림 1의 안테나 표면 Sa상에서

$$-\vec{E}^b(\vec{J}_p) = \vec{E}^b(\vec{M}_s) \text{ on } S_a \tag{6}$$

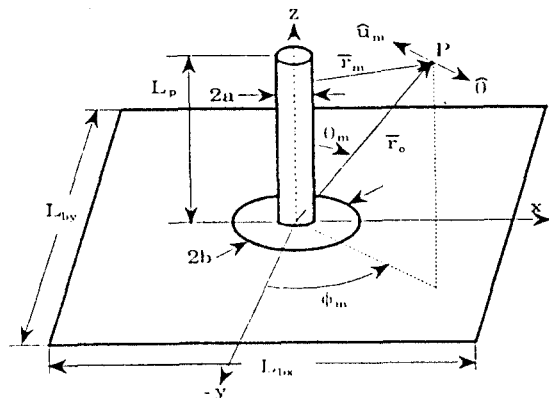


그림 1. 안테나와 본체
Fig. 1. Antenna and body configuration.

가 성립한다. 여기서 $\bar{E}^b(\bar{J}_p)$ 와 $\bar{E}^b(\bar{M}_s)$ 는 각각 안테나 전류밀도 \bar{J}_p 와 자기전류밀도 \bar{M}_s 에 의한 전장벡터를 나타내며 \bar{J}_p 는 구하고자 하는 미지수이다. 식 (6)은 본체가 존재하는 상태하에서의 전장 적분방정식이므로 자유공간 그린함수를 바로 적용할 수 없다. 따라서 자유공간 그린함수를 바로 적용하기 위해서는 관측점에서의 전장은 도체를 제거한 상태에서의 입사장에 의한 전장과 도체에 유기된 전류에 의한 산란장으로 나누어 표현하여야 한다. 또한 관측점의 총 전장은 중첩전류인가법을 이용하여 안테나와 본체 각각의 전류에 의한 성분을 합쳐야 한다. 즉 안테나 전류에 의한 전장은 안테나전류 자체에 의한 입사장과 안테나에 의해 본체에 유기된 전류에 의한 산란장의 합으로 표현되고, 자기전류에 의한 전장성분은 자기전류 자체에 의한 것과 자기전류에 의해 본체에 유기된 전류에 의한 성분의 합으로서, 안테나와 본체표면에서 각각 아래식과 같이 표현된다.

$$-\{ \bar{E}^{inc}(\bar{J}_p) + \bar{E}^{scat}(\bar{J}_a) \} = \bar{E}^{inc}(\bar{M}_s) + \bar{E}^{scat}(\bar{J}_s) \text{ on } S_a \quad (7)$$

$$-\bar{E}^{scat}(\bar{J}_a) = \bar{E}^{inc}(\bar{J}_p) \text{ on } S_b \quad (8a)$$

$$-\bar{E}^{scat}(\bar{J}_s) = \bar{E}^{inc}(\bar{M}_s) \text{ on } S_b \quad (8b)$$

여기서 S_a 및 S_b 는 각각 안테나표면 및 본체표면을 의미하고, $\bar{E}^{inc}(\bar{J}_p)$ 와 $\bar{E}^{inc}(\bar{M}_s)$ 는 \bar{J}_p 와 \bar{M}_s 에 의해 입

사되는 전장 성분이며, \bar{J}_a 와 \bar{J}_s 는 \bar{J}_p 와 \bar{M}_s 에 의해 본체표면에 유기된 전류밀도이다.

2. 전개함수

안테나의 미지의 전류분포는 삼각형 전개함수를 이용하여 표현 가능하며 j번째 조각에서의 전개함수를 식 (9)와 같이 정의한다^[8].

$$\bar{g}_j = \hat{z} T_j(z) = \hat{z} \sum_{q=1}^4 A_q \delta(q) \quad (9)$$

여기서 계수 A_q 와 함수 $\delta(q)$ 는 근사화된 펄스의 면적과 펄스의 중심점을 나타내며, 안테나의 반경은 파장에 비하여 매우 작고 \bar{J}_p 는 \hat{z} 방향의 성분만을 갖는 것으로 가정한다.

본체가 원형인 경우에는 원형으로 조각화하였으며 n번째 모드인 ρ_{n-1} < ρ < ρ_{n+1} 구간에서의 전개함수는 아래식과 같다.

$$\bar{J}_{nc}(\rho) = \hat{\rho} \frac{I_n(\rho)}{2\pi\rho} = \frac{\hat{\rho} \sum_{q=1}^4 A_q \delta(q)}{2\pi\rho} \quad (10)$$

여기서 ρ_{n-1} 와 ρ 그리고 ρ_{n+1} 은 그림 2에서 n을 중심으로 한 연속적인 3개 원의 반경이며 급전점에는 반 삼각형 전개함수를 사용한다. 또한 B_r 은 원형본체의 최외각 반경이다.

모멘트법을 적용하기 위한 사각형본체의 전개함수의

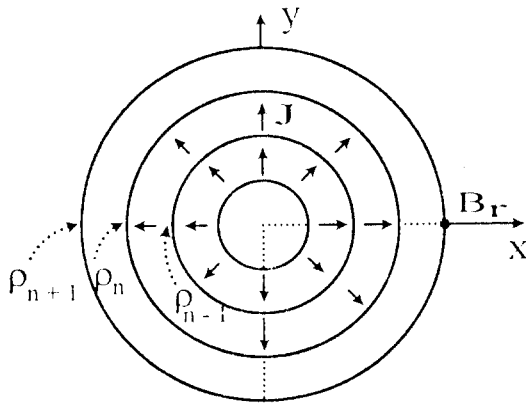


그림 2. 원형 본체와 조각화
Fig. 2. Circular body and segmentation.

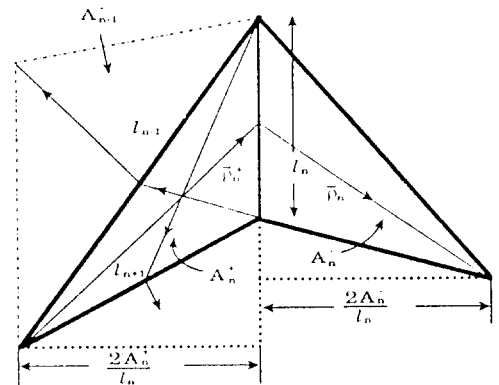


그림 3. 삼각형 표면패치 전개함수의 기하학적 구조
Fig. 3. Geometry of the expansion function for surface patch triangle

구조를 그림 3에 나타내었으며 전개함수는 삼각형의 n 번째 모서리에 대하여 아래와 같이 정의한다⁽⁵⁾.

$$\bar{f}_{nr}(\bar{\rho}) = \begin{cases} \frac{l_n}{2A_n^{\frac{1}{2}}} \bar{\rho}_n^{\pm}, & \bar{\rho} \text{ on } T_n^{\pm} \\ 0, & \text{그외 구간} \end{cases} \quad (11)$$

여기서 \bar{f}_{nr} 은 표면전류밀도를 의미하며, l_n 은 모서리의 길이이고 $A_n^{\frac{1}{2}}$ 은 삼각형의 면적이며 $\bar{\rho}_n^{\pm}$ 은 삼각형의 꼭지점을 기준으로 한 위치벡터이다.

전원점 삼각형 표면패치 q에 의한 관측점 삼각형 표면패치 p에서의 자기벡터전위를 구하기 위하여 면적좌표계를 이용하였고 결과식은 아래와 같다⁽⁹⁾.

$$\bar{A}^m = \sum_{i=1}^3 \bar{A}_i^m \quad (12)$$

$$\bar{A}_i^m = \pm \frac{\mu l_i}{4\pi} (\bar{r}_1 I_i^m + \bar{r}_2 I_j^m + \bar{r}_3 I_k^m) \quad (13)$$

$$I^m = \int_0^1 \int_0^{1-\eta} \left(\frac{e^{-j\mu R} - 1}{R} \right) d\xi d\eta + \int_0^1 \int_0^{1-\eta} \left(\frac{1}{R} \right) d\xi d\eta \quad (14)$$

여기서 식 (14)의 우변 첫째항은 삼각형에 적용되는 Gaussian quadrature적분으로 그리고 두번째 항은 해석적으로 계산하였으며, I_i^m , I_j^m 는 식 (14)와 동일한 방법으로 계산이 가능하다⁽¹⁰⁾⁻⁽¹¹⁾. 또한 l_i 와 r_i 는 i번째 전개함수에 대한 모서리 길이와 꼭지점 좌표이고, R은 관측점 삼각형면의 중심점과 전원삼각형간의 거리이다.

새로운 전개함수 \bar{f}_{nr} 을 이용하여 근사화함으로써 전

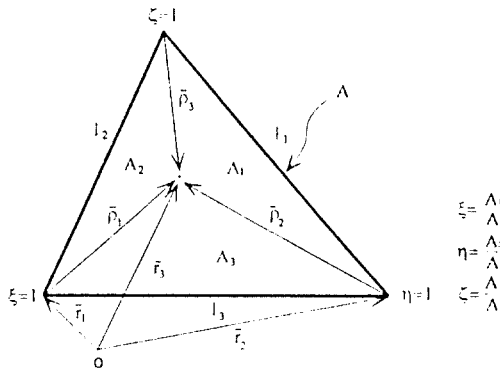


그림 4. 면적좌표계에 대한 정의
Fig. 4. Definition of area coordinate

류와 복사패턴의 계산시간을 단축시킨다. 기존의 \bar{f}_{nr} 은 삼각형 표면패치를 구성하는 3개의 모서리 각각에 대하여, 방향이 다른 전개함수를 별도로 적용하였기에 전원 조각과 관측점 조각간의 영향을 계산하기 위해서는 각 삼각형 조각마다 3개의 모서리에 의한 영향을 고려하여야 하므로 9번을 계산하여야 하고 따라서 많은 시간이 소요된다. 이를 개선하고자 본 논문에서는 변형된 전개함수에서는 급진점을 중심으로 전류의 방향은 방사상의 한 방향으로 가정한다. 즉 전류의 흐름을 한 꼭지점에서 한 공통모서리를 통과하여 한 방향으로만 주로 흐른다고 가정한 후 단일 방향의 전개함수만을 이용한다. 따라서 기존의 전개함수에서처럼 면좌표계(area coordinate)로 변환할 필요도 없으며 계산량도 줄어들므로 계산의 소요시간이 단축되는 효과를 얻게 된다. 삼각형 표면패치에 의한 자기벡터전위를 구하면 아래식과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{A}(\bar{r}_m^{c+}) &= \mu \int \int \bar{J}_n(\bar{r}') G(\bar{r}_m, \bar{r}') ds' \\ &\approx \frac{\mu l_n}{8\pi} \left(\frac{\bar{\rho}_n^{c+} e^{-j\mu R^{c+}}}{R^{c+}} + \frac{\bar{\rho}_n^{c-} e^{-j\mu R^{c-}}}{R^{c-}} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 $\bar{\rho}_n^{c\pm}$ 는 각 꼭지점에서 전원삼각형 중심까지의 거리벡터이고 $R^{c\pm}$ 는 관측점과 전원점간의 거리이다.

3. 안테나 전류와 복사패턴 계산

안테나 전류를 구하고자 식 (7)에 있는 \bar{J}_p 를 가져함수 \bar{g}_j 를 사용하여 다음처럼 전개한다.

$$\bar{J}_p = \sum_{j=1}^{N_p} C_j \bar{g}_j \quad (16)$$

$$\text{단 } [C_j] = -[E_{ij}^b]^{-1} [E_i^b]$$

$$E_{ij}^b = E_{ij}(\bar{g}_j) + [E_{in}] [Z_{mn}]^{-1} [E_{mj}]$$

$$E_i^b = E_i(\bar{M}_i) + [E_{in}] [Z_{mn}]^{-1} [E_{ms}]$$

여기서 N_p 는 안테나 조각수이다.

계수 C_j 의 계산전에 위 식에 포함된 $E_{ij}(\bar{g}_j)$, $E_i(\bar{M}_i)$, Z_{mn} , E_{mj} 그리고 E_{ms} 의 5개 독립항들을 먼저 계산하여야 한다. 예로서 Z_{mn} 은 m 및 n번째 모서리간의 상호 영향이며, E_{mj} 는 j번째 안테나 조각의 전원점의 영향을 m번째 모서리에서 계산한 값이다.

식 (8)에 모멘트법을 적용하여 본체의 전류밀도 \bar{J}_b 를 구한다.

$$\bar{J}_b = \bar{J}_a + \bar{J}_s = \sum_{n=1}^N \bar{J}_n (I_n + I_n') \quad (17)$$

$$[I_n] = [Z_{mn}]^{-1} [E_{mj}] [C_j] \quad (18)$$

$$[I_n'] = [Z_{mn}]^{-1} [E_{ms}] \quad (19)$$

여기서 전개합수 \bar{f}_n 은 본체가 사각형과 원형인 경우 각각 \bar{f}_{nr} 와 \bar{f}_{nc} 이고, N_b 는 본체의 조각수를 의미한다.

복사패턴은 가역정리를 이용하여 계산하며 관측점은 x-z평면상으로 한다. 그림 1로부터 안테나전류에 의한 전장은 아래와 같다⁽⁶⁾.

$$E_{mz}^{\theta} = - \left(\frac{\omega \mu e^{-jkr_0}}{j4\pi r_0} \right) (\sin \theta_m) \iint_S (e^{-j\vec{k}_m \cdot \vec{r}_s}) \hat{z} \cdot \vec{J}_b ds \quad (20)$$

그리고 본체 전류에 의한 전장은 아래와 같다.

$$E_{mb}^{\theta} = \left(\frac{\omega \mu e^{-jkr_0}}{j4\pi r_0} \right) (\cos \theta_m \cos \phi_m) \iint_S (e^{-j\vec{k}_m \cdot \vec{r}_s}) \hat{u}_b \cdot \vec{J}_b ds \quad (21)$$

여기서 E_m^{θ} 는 전장의 성분이며 θ_m 은 안테나와 관측점 사이의 각이다.

Ⅲ. 수치해석 결과

중첩전류인가법을 이용한 수치해석의 정확도와 효과를 보이기 위해 입력 임피던스와 전류분포 그리고 복사패턴을 계산한 후 이를 기존의 데이터와 비교하고자 한다. 표 1은 $L_p=0.25\lambda$ $a=0.0015\lambda$ 인 안테나가 $L_{bx}=L_{by}=1\lambda$ 인 정사각형 본체 중심에 위치한 구조에 대해 입력 임

피던스값을 비교한 것이며, 본 논문의 결과값이 기존의 데이터와 잘 일치함을 보인다⁽¹²⁾⁻⁽¹³⁾.

그림 5는 $L_p=0.25\lambda$ $a=0.003\lambda$ $L_{bx}=L_{by}=1\lambda$ 인 정사각형 본체에 대해 본체 전개합수를 삼각형 표면패치합수를 이용한 경우와 변형된 삼각형 표면패치합수를 이용한 경우 급전점전류로 정규화한 안테나 전류분포를 나타낸다. 세로축은 전류크기이고 가로축은 안테나 노드점 위치로서 원점이 급전점이다. 그림 6은 두 경우에 대하여 좌표축상에서 본체의 전류분포를 비교한 것이며 기존 전개합수에 의한 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

표 2는 $N_p=10$ $N_b=32$ 인 동일조건에서 계산소요시간을 기존의 모멘트법을 적용한 경우와 중첩전류인가법과 삼각형 표면패치합수를 사용한 경우와 상호 비교한 것이며 변형전개합수에 의한 경우 많이 단축됨을 알 수 있다⁽¹⁴⁾.

표 1. 안테나 입력 임피던스 [Ω]
Table 1. Antenna input impedance [Ω]

구분	condition	resistance	reactance
본 논문	32 patches	2.2	16.1
DM.	Measured	40	17
	Pozar surface/patch	43	12
E. H. Newman	MM / GTD	45.5	22
M. F. Costa	88 patches	51.7	15.6

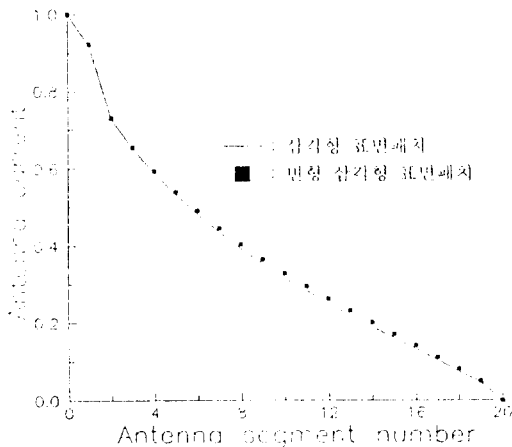


그림 5. 안테나 전류 분포 비교
Fig. 5. Comparison of the antenna current distribution

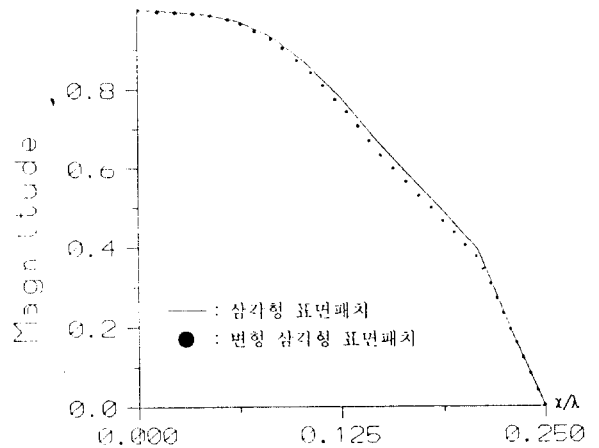


그림 6. 전개합수에 따른 본체의 전류분포
Fig. 6. Body current distribution for expansion function

표 2. CPU 계산시간 비교
Table 2. CPU run time comparison

구 분	조 건	CPU계산시간 (초)
본 논문	중첩전류인가법 / 변형 삼각형면조각	12
	중첩전류인가법 / 삼각형면조각	47
Pozar	일반 MOM / 삼각형면조각	275

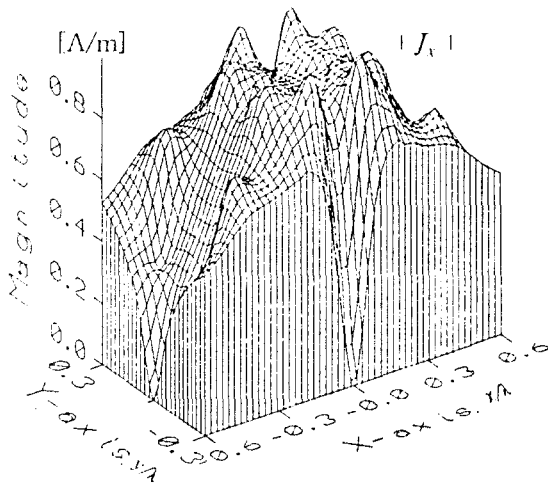


그림 8. 직사각형 본체의 정규화된 전류밀도 ($L_{bx} = 2 \cdot L_{by} = 1.2\lambda$)
Fig. 8. Normalized current density of the rectangular body ($L_b = 2 \cdot L_{by} = 1.2\lambda$)

그림 7은 $L_p=0.229\lambda$ $a=0.003\lambda$ $B_s=1.5\lambda$ 인 원형 본체의 전류분포를 나타내며 안테나는 3개의 조각으로 그리고 본체는 20개의 동심 환형조각으로 나누었다. 수평축은 파장으로 정규화된 원판 반경이고 수직축은 급전점 전류로 정규화된 전류의 크기를 나타내며 다른 데이터와 잘 일치함을 보인다⁽¹⁾.

그림 8은 $L_p=0.25\lambda$ $a=0.0026\lambda$ $L_{bx}=1.2\lambda$ $L_{by}=0.6\lambda$ 인 직사각형 본체의 표면 전류밀도분포를 나타내며 좌표

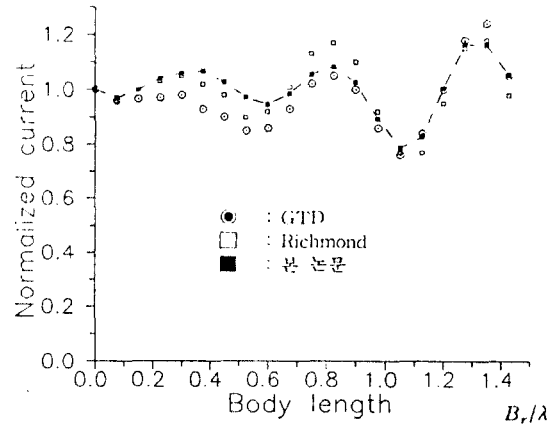


그림 7. 원형 본체의 정규화된 전류분포
Fig. 7. Current distribution on the circular body

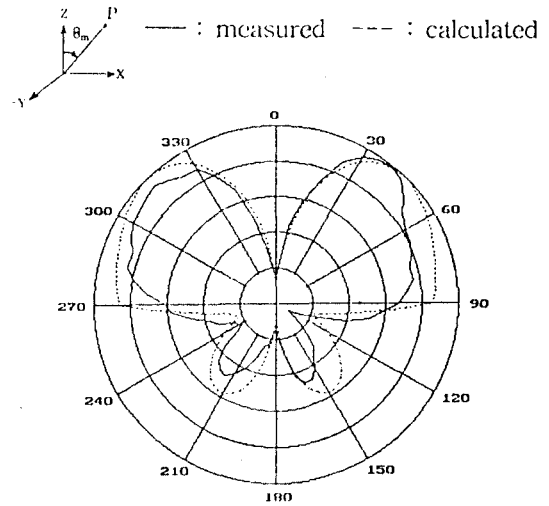


그림 9. 복사패턴 ($L_{bx} = 2 \cdot L_{by} = 1.2\lambda$)
Fig. 9. Radiation pattern ($L_b = 2 \cdot L_{by} = 1.2\lambda$)

축에 대하여 대칭이고 축상 끝점에서는 영이 되나 꼭지점과 모서리 부분에서는 모서리전류(edge current)가 존재함을 보이며 본체 중심에서부터 경계쪽으로는 정현파 형태이나 x와 y축 성분의 전류분포가 다소 상이함을 보였다.

그림 9는 $L_{bx}=2 \cdot L_{by}=1.2\lambda$ 인 직사각형 본체와 $L_p=0.25\lambda$ $N_p=20$ $a=0.225\text{mm}$ $b=2\text{mm}$ 인 경우에 대하여 x-z 평면상에서 계산 및 측정된 원거리 복사패턴이

다. 측정은 무반사 차폐실에서 하였으며 장비로는 8350A 스위프 신호발생기, 8592A 스펙트럼 분석기, CA-L혼 안테나 (1-2.34 GHz)를 사용하였다. x축상에서 θ 의 함수로 계산한 값을 보면 주엽은 48도와 312도에서 또 후엽(back lobe)은 147도와 213도에서 최대 전계강도를 나타내었고 측정값과 비교해 보면 대칭성에 다소 상이함이 있으나 전반적으로 잘 일치함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 임의 형태의 본체 위에 안테나가 부착된 구조물의 해석기법을 제안하였다. 적분방정식을 행렬화할 때 결과 행렬의 차수를 감축시키기 위하여 중첩전류인가법을 제안하였고, 변형전개함수를 추가로 적용하였으며 원형과 사각형본체구조에 대하여 입력임피던스와 전류분포 및 복사패턴을 계산하여 기존의 결과와 상호 비교하였다. 계산 결과는 잘 일치하였고 계산소요시간도 기존 방법에 대해 단축되는 결과를 얻었다.

본체가 원형과 사각형으로 변화될 때 5개의 독립된 항 중에서 해당항만 수정적용하면 되었다. 따라서 본체나 안테나의 형태 변화에 따른 수식상호간의 독립성이 보장되는 장점이 있었다.

參考文獻

1. J. H. Richmond, "Monopole antenna on circular disk," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. AP-32, pp.1282-1287, Dec. 1984.
2. E. J. Rothwell and M. C. Cloud, "A Hallen-type integral equation for symmetric scattering from lossy circular disks," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. AP-40, pp.920-925 Aug. 1992.
3. K. H. Awadalla and T. S. M. Maclean, "Monopole antenna at center of circular ground plane : Input impedance and radiation pattern," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. AP-27, pp.151-153, Mar. 1979.
4. 鄭光勳, 金彩英, "유한 도체면에 부착된 프로브의 전류 계산", 전자공학회는문지 제 31권 제11호 pp.62-69, 1994년. 11월.
5. S. M. Rao, D. R. Wilton and A. W. Glisson, "Electromagnetic scattering by surface of arbitrary shape," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol.AP-30, pp.409-418, May. 1982.
6. R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Method* : New York, Macmillan, pp.62-80. 1968.
7. R. F. Harrington, "Matrix methods for field problems," *Proc. IEEE*, vol. 55 pp.136-149. Feb. 1967.
8. J. R. Mautz and R. F. Harrington, H-field, E-field, and Combined-field Solutions for Bodies of Revolution, *Technical Report TR-77-2*. Feb. 1977.
9. S. M. Rao, *Electromagnetic Scattering and Radiation of Arbitrarily-shaped Surface by Triangular Patch Modeling*, Univ. of Mississippi Ph.D U. M. I. A Bell & Howell Company. 1980.
10. S. M. Rao, A. W. Glisson, "A simple numerical solution procedure for statics problems involving arbitrary-shaped surfaces," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. AP-27, no. 5, pp. 604-608, Sept. 1979.
11. P. C. Hammer, O. P. Marlowe, and A. H. Stroud, "Numerical integration over simplexes and cones," *Math. Tables Aids Comp.*, 10, pp.130-137, 1956.
12. E. H. Newman and D. M. Pozar, "Considerations for efficient wire/surface modeling," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. AP-28, pp.121-125, Jan. 1980.
13. M. F. Costa and R. F. Harrington, *Electromagnetic Radiation and Scattering from a System of Conducting Bodies Interconnected by Wire*, Report TR-83-8. Apr. 1983.
14. D. M. Pozar and E. H. Newman "Analysis of a monopole mounted near an edge or a vertex," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol.

AP-30, pp.401-407, May, 1982.



鄭光 晷(Kwang-Wook Jung)정회원

1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1984년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1992년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료

1983년 10월~1992년 2월 : 삼성전자 정보통신부문 근무

1992년 2월-현재 : 구미전문대학 전자통신과 조교수

※주관심 분야 : 초고주파 및 안테나 수치해석, 이동 통신용 무선단말기 RF 부분 설계등임.

金 彩 英(Che-Young Kim)

정회원

현재 : 경북대학교 전자공학과 교수
한국통신학회 논문지 제20권 3호 참조