

접지평면상의 공간에 위치한
마이크로스트립 패치 단일 안테나와 배열
안테나에 의한 산란과 복사에 관한 혼합유한요소법 해석

正會員 安重守*, 正會員 朴東熙**, 正會員 權熙勳**

An Analysis of the Hybrid
Finite Element Method for Scattering and
Radiation by Microstrip Patch Antennas and
Arrays Residing in a Cavity in a Ground Plane

Jung Soo Ahn*, Dong Hee Park**, Hi Hoon Kwon** *Regular Members*

이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

要 約

혼합유한요소법은 접지평면내의 구멍에 존재하는 마이크로스트립 패치 단일 및 병렬안테나의 전자파 산란과 복사성질의 특성화에 대해 제시되었다. 해석방법은 개구부상에서 전자장과 자유공간상에서 R.C.S(Radar Cross Section)와 산란 전자장의 해에 대한 계통적 수식화를 위해 유한요소법과 경계적분법을 혼합한다.

제시된 방법은 유한요소법의 특성에 따라 손실 및 무손실 유전체 기관상에 존재하거나 박힌 단일 및 병렬 패치안테나에 적용할 수 있고, 또한 여러형태의 여기구조를 다룰 수 있다.

여러 수치적 결과들은 제시된 방법의 타당성, 효율성 그리고 가능성을 입증하기 위해 제시되었다.

ABSTRACT

A hybrid finite element method is presented for a characterization of scattering and radiation properties of microstrip patch and arrays residing in a cavity recessed in a ground plane.

The technique combines the finite element and boundary integral methods to formulate a system for the solution of the fields at the aperture and the scattering field and radar cross sections at free space.

* 국립충주산업대학교 전자공학과
Dept. of Electronics Eng., Chung Ju National University

** 국립충주산업대학교 전자통신공학과
Dept. of Electronics Comm. Eng., Chung Ju National University

論文番號 : 94-236(接受 1994. 9.)

接受日字 : 1994年 9月 2日

By virtue of the finite element method, the proposed technique is applicable to patch antennas and arrays residing on or embedded in a layered dielectric loss/lossless substrate and is also capable of treating various feed configurations.

Several numerical results are presented demonstrating the validity, efficiency and capability of the technique.

I. 서 론

마이크로스트립 단어 및 병렬 패치 안테나는 가볍고 등각이며, 상대적으로 제조과정이 쉽고 가격이 저렴하므로 특히 육상에서 이동중이거나, 공중에 떠 있는 매체에 폭넓게 사용될 수 있으므로 응용범위가 광대하다. 따라서 많은 문헌들은 안테나 및 산란체에 대한 해석과 설계에 관해 다양한 응용방법을 제시해왔다 [1][2][3][4]. 최근에 몇몇 해석방법중 특히 Newman과 Forrai[5] 그리고 Pozar[6]는 유한접지평판의 형태에 기본을 둔 마이크로스트립 패치의 전자파 산란 해석을 제시했고, 그리고, Sarkar[7]은 유한크기를 갖는 접지평판에 기본을 두고 전자파 산란해석을 고찰하였다. 또한 Volakis[8], [9]는 유한크기의 평판에 3차원 크기를 갖는 구멍이나 그 구멍에 위치할 수 있는 마이크로스트립 패치에 대하여 전자파 산란 특성을 고찰하였다.

본 논문에서는 제한된 크기의 접지평면상에 임의의 크기 및 모양을 가질 수 있는 오목한 구멍을 만들고, 그 공간에 존재할 수 있는 손실 유전체 및 자성체를 갖는 마이크로스트립 단일 및 병렬 패치 안테나의 전자파 산란과 복사 성질의 특성에 관한 혼합유한요소법을 제시한다. 또한 기존의 해석방법[8], [9]과는 달리 본 논문에 의한 해석방법은 마이크로스트립 안테나의 손실 유전체 및 자성체를 다룰 수 있을 뿐만 아니라 접지평면상에 장착될 수 있는 유한 크기의 안테나 평면으로부터 유도되는 표면 4중적분식을 2차원 Gaussian 구적법으로 직접 해석될 수 있음을 제시한다.

이와 같은 혼합방법은 마이크로스트립이 위치한 개구부와 그 마이크로스트립이 갖는 영역 전체에서 해석될 수 있는 수식을 체계화하고, 유한요소법과 경계적분법으로 혼합하여 해석한다. 특히 유한요소법은 마이크로스트립이 위치한 영역에서 미지의 장을 구성하기 위해 적용되었고, 그리고 경계적분방식은 마이크로스트립 평면과 자유공간상에서 모든 미지의 장을 나타내도록 적용한다. 체적내의 요소화 방

법에 있어서 내부 영역은 8절점을 갖는 각주형 6면체 요소로 이산화 하고, 외부 표면은 4절점을 갖는 4각형 요소로 이산화 하였다. 또한 각각의 요소가 갖는 절점좌표와 그 절점의 위치함수에 대해 표면 전자장 값을 나타낼 수 있도록 선형함수를 사용하였다. 그리고 영역 및 표면적분방정식은 내분점을 최대 20점을 갖는 3차원 및 2차원 Gaussian 구적법을 직접 사용함으로써 해석적 및 계산적 효율을 향상시킬 수 있었다. 이와 같은 방법으로 각각의 관측점에서 계산된 3차원 행렬관계식을 독립적으로 조합하여 단일 행렬 관계식으로 나타내게 된다. 또한 단일 행렬관계식은 LU분해법을 사용하여 표면경계의 미지장을 해석하게 된다. 이와 같은 방법으로 본 논문의 해석방법은 임의로 유전체층을 갖도록 할 수 있고, 무손실 및 손실 유전체를 갖는 마이크로스트립 단일 및 병렬 패치 안테나를 접지평판상에 동일 크기의 홈을 내어 끼워 넣거나 또는 장착될 수 있도록 응용할 수 있다.

최종수식에 대한 타당성과 유용성을 제시하기 위하여 수치계산된 결과는 가느다란 홈의 내부는 자유공간이고, 그 개구부 중심부에서 전계의 x함수에 대한 y성분을 기존의 해석방법[8]과 비교하여 좋은 일치율을 보였다. 따라서 마이크로스트립 패치 안테나로의 확장이 가능하며, 이는 고정 경계조건을 도체 평면에 추가시킴으로서 다양하게 해석되었다.

또한 본 논문의 해석방법은 마이크로스트립 평면에 대해 수직입사를 고려했고, 단일 패치, 2 패치 및 4 패치에 대하여 그리고 동축선 여기를 갖는 각각의 패치에 대하여 전자파 산란폭을 제시한다.

II. 본 론

마이크로스트립 사각형 패치 안테나를 접지평판상의 임의의 공간에 장착시킨 그림 1의 3차원적 구조를 고찰한다.

그림 1로부터 영역 $2(z>0)$ 를 자유공간 영역으로 나타내었고, 영역 $(-c \leq z \leq 0)$ 은 마이크로스트립의 체적체로서 접지평면내의 공간에 위치한다.

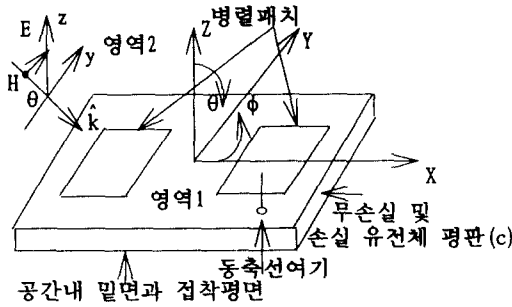


그림 1. 접지평면 공간내에 장착된 마이크로스트립 병렬 패치 구조

따라서 임의의 자유공간상에 위치한 마이크로스트립 패치 안테나에 대하여 외부인가 원천인 등등가전 자기전류밀도를 포함한 맥스웰 방정식에 의하여 체계적으로 전체적인 내적의 관계로부터 다음과 같은 범함수식 I를 유도할 수 있다[10].

$$I = \langle \bar{E}^*, (\nabla \times \mu_r^{-1} \nabla \times \bar{E} - k_0^2 \epsilon_r' \bar{E}) \rangle - \langle \bar{E}^*, (-j\omega \mu_0 \bar{J}^{inc} - \nabla \times \mu_r^{-1} \bar{M}^{inc}) \rangle - \langle (-j\omega \mu_0 \bar{J}^{inc} - \nabla \times \mu_r^{-1} \bar{M}^{inc})^*, \bar{E} \rangle \quad (1)$$

식(1)에서 *는 공액복소수를 의미하며, ϵ_r' 는 $\epsilon_r (1 - j \tan \delta)$ 와 같이 나타내었다. 여기서 $\tan \delta$ 는 유전체 내의 손실을 나타낸다. 그리고 (μ_r, ϵ_r) 는 비유전율과 비투자율을 각각 나타낸다. 또한 k_0 는 자유공간의 파수를 의미한다. 식(1)에 있어서 마이크로스트립 여기 패치 안테나 요소에 의한 전자계 원천($\bar{J}^{inc}, \bar{M}^{inc}$)을 갖도록 추가함으로써 복사시 전자파 산란 특성을 고찰할 수 있게 된다.

그림 1이 위치한 공간과 그 개구부에서 구조적 해석 방법인 유한요소법과 경계적분법을 수식화하기 위하여 두 영역에 대한 표면등가원리를 적용한다.

$$\bar{M} = \bar{E} \times \hat{a}_n \quad (2)$$

여기서 \bar{M} 는 등가자기전류이고, \bar{E} 는 임의의 공간상에 존재할 수 있는 개구부($z=0$)에서의 전계이다. 또한 \hat{a}_n 는 외향단위법선벡터로서 z방향을 기준으로 한다. 이때, 반무한 자유공간 영역에서의 전자계는 등가자기전류 \bar{M} 과 외부 또는 내부에서 인가된 전자

계의 원천($\bar{J}^{inc}, \bar{M}^{inc}$)에 의해서 복사된 전자계의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 3차원 자유공간과 그 공간을 제외한 나머지 영역으로 분리된 이 두 영역에서 전자계는 $z=0$ 인 축을 중심으로 개구부 양쪽에서 접선전자계의 연속성을 추가시킴으로써 결합될 수 있다.

$$\hat{a}_n \times \bar{H}(\bar{M}, \bar{J}^{inc}, \bar{M}^{inc}) = \hat{a}_n \times \bar{H}(-\bar{M}) \quad (3)$$

식(3)에 의해 영역2에 대한 무한 자유공간상에서 전자계에 대한 경계적분방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다[11].

$$\bar{H}(\bar{r}) = \bar{H}^{inc}(\bar{r}) + \bar{H}^{ref}(\bar{r}) - 2j \frac{k_0}{\eta} \iint_{\nu} \bar{G}_0(\bar{r}, \bar{r}') \bullet [\bar{E}(\bar{r}') \times \hat{a}_n] d\bar{s}' \quad (4)$$

식(4)에서 \bar{H}^{inc} 는 외부원천($\bar{J}^{inc}, \bar{M}^{inc}$)에 의한 입사장을 나타내고, \bar{H}^{ref} 는 공간상에 개구부가 없이 전체 접지평면에 의해서 반사된 장을 나타낸다. 또한 \bar{G}_0 는 자유공간 dyadic Green함수를 나타낸다.

$$\bar{G}_0(\bar{r}, \bar{r}') = (\bar{I} + k_0^{-2} \nabla \nabla) G_0(\bar{r}, \bar{r}') \quad (5)$$

식(5)에 있어서 \bar{I} 과 G_0 는 다음과 같다.

$$\bar{I} = \hat{x}\hat{x} + \hat{y}\hat{y} + \hat{z}\hat{z} \\ G_0(\bar{r}, \bar{r}') = \frac{e^{-jk_0|\bar{r}-\bar{r}'|}}{4\pi|\bar{r}-\bar{r}'|} \quad (6)$$

식(1)에 포함된 연산자가 접지평면상의 3차원 공간과 그 개구부가 갖는 구조적 특성에 따라 대칭적 구조를 갖는 경우로 한정할 경우에는 해당된 범함수식은 식(7)에서와 같이 간단히 축소화 될 수 있다.

$$I(\bar{E}) = \frac{1}{2} \iiint_{\nu} [\mu_r^{-1} (\nabla \times \bar{E}) \bullet (\nabla \times \bar{E}) - k_0^2 \epsilon_r' \bar{E} \bullet \bar{E}] d\nu \\ + \iint_{\nu} [jk_0 \eta \bar{J}^{inc} \bullet \bar{E} - \mu_r^{-1} \bar{M}^{inc} \bullet (\nabla \times \bar{E})] d\nu \\ + \frac{j}{2} k_0 \eta \iint_{\nu} (\bar{E} \times \bar{H}) \bullet \hat{a}_n d\bar{s} \quad (7)$$

식(7)에서 ν 는 접지평면상의 공간에 위치한 마이크로스트립의 체적을 나타내고, s 와 η 는 그 체적체 공

간의 개방된 단면과 자유공간 고유임피던스를 각각 나타낸다.

식(7)에서 면적적분은 공간상의 개구부에서 접선 전자계를 포함하고 있으므로 전자계사이의 추가적인 관계를 나타낼 필요성이 있다. 즉, 개구부 양쪽 영역1과 영역2에서 접선전자계의 연속성을 추가 시키고, 3차원 공간 내부의 전자계는 등가자기전류 $-\bar{M}$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 식(7)의 오른쪽 면적적분항에 대하여 식(3)의 조건을 추가시키면 자유공간상의 반무한영역에서 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$jk_0\eta\iint_S(\bar{E}\times\bar{H})\cdot\hat{a}_n ds=2k_0^2\iint_S(\hat{a}_n\times\bar{E})\cdot\left(\iint_V\bar{G}_0(r,r')\cdot[\bar{E}(r')\times\hat{a}_n]ds'\right)+2jk_0\eta\iint_S(\hat{a}_n\times\bar{E})\cdot\bar{H}^{inc}(r)ds \quad (8)$$

식(8)에서 입사장과 산란장은 개구부상에서 동일하게 나타낼 수 있다. 따라서 해석적 방법을 간략화시키기 위하여 공존하는 접선전자계를 단일 장성분을 갖도록 유도한다. 또한 접선전자계는 공간내 개구부 양쪽에서 연속이므로 이들중 단지 하나의 전개성분만을 갖도록 식(8)를 식(7)에 대입한다. 그러므로 3차원 좌표에 의한 스칼라량으로 나타낸 범함수식은 다음과 같다.

$$I(E)=\frac{1}{2}\iiint_V\left\{\mu_r^{-1}\left[\left(\frac{\partial E_x}{\partial y}-\frac{\partial E_y}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial E_x}{\partial z}-\frac{\partial E_z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial E_y}{\partial x}-\frac{\partial E_z}{\partial y}\right)^2\right]-k_0^2\hat{\epsilon}'_r(E_x^2+E_y^2+E_z^2)\right\}dv-2k_0^2\iint_S E_x\left[\iint_S E'_y G_0(r,r')ds'\right]ds-2k_0^2\iint_S E_y\left[\iint_S E'_x G_0(r,r')ds'\right]ds+2\iint_S\left\{\left(\frac{\partial E_x}{\partial y}-\frac{\partial E_y}{\partial x}\right)\left[\iint_S\left(\frac{\partial E_x}{\partial y'}-\frac{\partial E_y}{\partial x'}\right)G_0(r,r')ds'\right]\right\}ds+\iiint_V\left\{-jk_0\eta(J_x^{inc}E_x+J_y^{inc}E_y+J_z^{inc}E_z)-\mu_r^{-1}\left[M_x^{inc}\left(\frac{\partial E_x}{\partial y}-\frac{\partial E_z}{\partial z}\right)+M_y^{inc}\left(\frac{\partial E_x}{\partial z}-\frac{\partial E_z}{\partial x}\right)+M_z^{inc}\left(\frac{\partial E_y}{\partial x}-\frac{\partial E_x}{\partial y}\right)\right]\right\}dv-2jk_0\eta\iint_S\{E_y H_x^{inc}(r)-E_x H_y^{inc}(r)\}ds \quad (9)$$

식(9)을 접지평면 내부의 3차원 공간에서 변분적 방법으로 수식화하기 위하여 공간체적 v 를 그림 2에서와 같이 작은 각주형 6면체 체적요소 M_s 로 이산화한다.

3차원 공간에서 n 개 절점을 갖는 e 번째 대표요소에서 미지의 전개성분은 다음과 같이 표현된다[12].

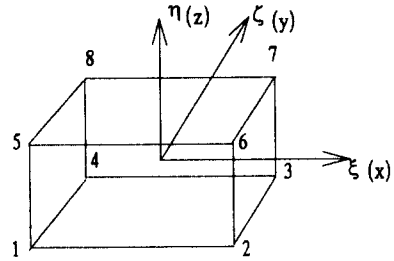


그림 2. 각주형 6면체의 대표요소에 관한 무차원 좌표($-1 \leq \xi, \zeta, \eta \leq 1$)

$$E_w = \sum_{j=1}^n N_j^*(x, y, z) \phi_{wj}^* \quad (10)$$

식(10)에서 w 는 (x, y, z) 인 공간좌표를 나타내며, N_j^* 는 e 번째 요소의 j 번째 절점에서 미지수인 계수를 나타낼 수 있도록 선택된 3차원 각주형 6면체를 갖는 형상함수이다.

그림 2는 하나의 요소에 8개의 절점을 갖는 각주형 6면체 요소로서, 요소절점에서의 형상함수는 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} N_{1e} &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1-\zeta)(1-\eta) \\ N_{2e} &= \frac{1}{8}(1+\xi)(1-\zeta)(1-\eta) \\ N_{3e} &= \frac{1}{8}(1+\xi)(1-\zeta)(1+\eta) \\ N_{4e} &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1-\zeta)(1+\eta) \\ N_{5e} &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1+\zeta)(1-\eta) \\ N_{6e} &= \frac{1}{8}(1+\xi)(1+\zeta)(1-\eta) \\ N_{7e} &= \frac{1}{8}(1+\xi)(1+\zeta)(1+\eta) \\ N_{8e} &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1+\zeta)(1+\eta) \end{aligned} \quad (11)$$

또한 개구부 평면 s 를 작은 면적요소 M_s 로 이산화하면 대표요소에서의 전개성분은 다음과 같이 표현된다.

$$E_w = \sum_{j=1}^{n_s} N_j^*(x, y) \phi_{wj}^* \quad (12)$$

식(12)에서 w 는 (x, y) 를 갖는 표면경계에 대한 공간좌표를 나타내며, N_j^* 는 $z=0$ 에서 식(11)과 동일한 표현으로 나타낸 2차원 영역에서의 형상함수이다. 또한 n_s 는 면적요소와 관련된 표면상의 총 결점수를 나타낸다.

식(11)과 식(12)를 식(9)에 대입하여 변분적 방법인 정적조건을 적용하면 각각의 결점에 대한 도함수를 나타낼 수 있다.

$$\delta I(E_w) = 0 \tag{13}$$

식(13)에서 x 성분에 대한 도함수에 의해서 표현된 미지의 전계성분을 분리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

x 성분에 대한 도함수:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I^*(E_w)}{\partial \phi_{xi}^*} &= \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \mu_r^{-1} \{ [(\frac{\partial N_i^*}{\partial y} \frac{\partial N_j^*}{\partial y} + \frac{\partial N_i^*}{\partial z} \frac{\partial N_j^*}{\partial z}) - k_0^2 \epsilon_r' \mu_r N_i^* N_j^*] \} dv^* \phi_{xj}^* \\ &\quad - 2k_0^2 \iint_{S'} N_i^* [\sum_{s=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{n_s} \iint_{S'} N_j^* G_0(r, r') ds'] ds^* \phi_{xj}^* \\ &\quad + 2 \iint_{S'} \frac{\partial N_i^*}{\partial y} [\sum_{s=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{n_s} \iint_{S'} \frac{\partial N_j^*}{\partial y'} G_0(r, r') ds'] ds^* \phi_{xj}^* \\ &\quad - \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \mu_r^{-1} \{ \frac{\partial N_i^*}{\partial y} \frac{\partial N_j^*}{\partial x} \} dv^* \phi_{xj}^* \\ &\quad - 2 \iint_{S'} \frac{\partial N_i^*}{\partial y} [\sum_{s=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{n_s} \iint_{S'} \frac{\partial N_j^*}{\partial x'} G_0(r, r') ds'] ds^* \phi_{xj}^* \\ &\quad - \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \mu_r^{-1} \{ \frac{\partial N_i^*}{\partial z} \frac{\partial N_j^*}{\partial x} \} dv^* \phi_{xj}^* \\ &\quad + \iint_{V'} \{ jk_0 \eta_j^{inc} N_i^* + \mu_r^{-1} (M_x^{inc} \frac{\partial N_i^*}{\partial z} - M_z^{inc} \frac{\partial N_i^*}{\partial y}) \} dv^* \\ &\quad + 2jk_0 \eta_j \iint_{S'} (-N_i^* H_y^{inc}) ds \end{aligned} \tag{14}$$

y 성분에 대한 도함수:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I^*(E_w)}{\partial \phi_{yi}^*} &= \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \mu_r^{-1} \{ [-\frac{\partial N_i^*}{\partial x} \frac{\partial N_j^*}{\partial y}] \} dv^* \phi_{yj}^* \\ &\quad + 2 \iint_{S'} (-\frac{\partial N_i^*}{\partial x}) [\sum_{s=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{n_s} \iint_{S'} \frac{\partial N_j^*}{\partial y'} G_0(r, r') ds'] ds^* \phi_{yj}^* \\ &\quad + \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \mu_r^{-1} \{ [(\frac{\partial N_i^*}{\partial x} \frac{\partial N_j^*}{\partial x} + \frac{\partial N_i^*}{\partial z} \frac{\partial N_j^*}{\partial z}) - k_0^2 \epsilon_r' \mu_r N_i^* N_j^*] \} dv^* \phi_{yj}^* \\ &\quad - 2k_0^2 \iint_{S'} N_i^* [\sum_{s=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{n_s} \iint_{S'} N_j^* G_0(r, r') ds'] ds^* \phi_{yj}^* \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ 2 \iint_{S'} (-\frac{\partial N_i^*}{\partial x}) [\sum_{s=1}^{M_s} \sum_{j=1}^{n_s} \iint_{S'} (-\frac{\partial N_j^*}{\partial x'}) G_0(r, r') ds'] ds^* \phi_{yj}^* \\ &\quad - \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \{ \mu_r^{-1} \frac{\partial N_i^*}{\partial z} \frac{\partial N_j^*}{\partial y} \} dv^* \phi_{yj}^* \\ &= \iint_{V'} \{ jk_0 \eta_j^{inc} N_i^* + \mu_r^{-1} (M_x^{inc} (-\frac{\partial N_i^*}{\partial z}) + M_z^{inc} \frac{\partial N_i^*}{\partial x}) \} dv^* \\ &\quad + 2jk_0 \eta_j \iint_{S'} \{ N_i^* H_x^{inc}(r) \} ds \end{aligned} \tag{15}$$

z 성분에 대한 도함수:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I^*(E_w)}{\partial \phi_{zi}^*} &= - \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \mu_r^{-1} \{ \frac{\partial N_i^*}{\partial x} \frac{\partial N_j^*}{\partial z} \} dv^* \phi_{zj}^* \\ &\quad - \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \mu_r^{-1} \{ \frac{\partial N_i^*}{\partial y} \frac{\partial N_j^*}{\partial z} \} dv^* \phi_{zj}^* \\ &\quad + \sum_{j=1}^n \iiint_{V'} \mu_r^{-1} \{ [(\frac{\partial N_i^*}{\partial y} \frac{\partial N_j^*}{\partial y} + \frac{\partial N_i^*}{\partial x} \frac{\partial N_j^*}{\partial x}) - k_0^2 \epsilon_r' \mu_r N_i^* N_j^*] \} dv^* \phi_{zj}^* \\ &= \iint_{V'} \{ jk_0 \eta_j^{inc} N_i^* - \mu_r^{-1} (M_x^{inc} \frac{\partial N_i^*}{\partial y} - M_y^{inc} \frac{\partial N_i^*}{\partial x}) \} dv^* \end{aligned} \tag{16}$$

따라서 식(14), (15) 그리고 식(16)에서의 행렬관계식은 미지함수 ϕ_{xi}^* , ϕ_{yi}^* , ϕ_{zi}^* 에 대해서 다음과 같은 행렬관계식으로 묶을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xz} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{yz} \\ A_{zx} & A_{zy} & A_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{xi}^* \\ \phi_{yi}^* \\ \phi_{zi}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} \tag{17}$$

식(17)에 있어서 행렬관계식 $[A]$ 는 부분적으로 채워진 $N \times N$ 이며 대칭적 구조를 갖는, $[B]$ 는 $N \times 1$ 인 행렬관계식을 나타낸다.

따라서 마이크로스트립상의 미지수인 표면 성분을 알 수 있으므로 반무한 자유공간 영역으로 산란된 장은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{H}^*(r) &= -j \frac{k_0 e^{-jk_0 r}}{2\pi r \eta} \iint_{S'} (\hat{\theta}\hat{\theta} + \hat{\phi}\hat{\phi}) \\ &\quad \cdot [\vec{E}(x', y') \times \hat{a}_z] e^{jk_0 \sin\theta(x' \cos\phi + y' \sin\phi)} dx' dy' \end{aligned} \tag{18}$$

식(18)에서 (r, θ, ϕ) 는 관측점의 위치를 구좌표로 나타내고, 공간상에 위치한 개구부의 RCS(Radar Cross Section)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|H'(r)|^2}{|H^i(r)|^2} \quad (19)$$

III. 수치해석 결과

본 절에서는 마이크로스트립 패치 안테나의 산란 폭에 대한 여러 토대를 나타낼 뿐만 아니라 방법의 타당성 및 가능성과 효율성을 입증하기 위한 수치적 결과를 제시한다. 따라서, 본 논문의 연산법에 의한 해석 결과는 J. L. Volakis[8]에 의해서 제시된 접지 평면상에 위치한 가느다란 홈의 중앙에서 수직입사에 의한 x축상에서의 y성분인 전계분포 (E_y)와 비교하여 좋은 일치율을 얻었다. 이때 홈 내부의 매질은 자유공간으로 가정되었으며, 홈의 크기를 변화시킬 수 있다. 단, 이 결과는 크기 및 위상이 정규화 되어있지 않은 상태이며, 경계조건에 의해서 양쪽 끝점이 0으로 된 것은 물론 중심축상에서 최대의 크기를 갖게 된다. 또한 중심축상에서의 촛불형 크기는 특이점 처리에 의한 결과로서 나타난다. 그러므로 본 논문의 연산법은 마이크로스트립 패치 안테나로 확장이 가능하다.

마이크로스트립 단일 패치 산란체의 경우 유전체의 크기는 7.32[cm]x5.2[cm]x0.158[cm]이고, 유전체 기판상에 존재하는 패치의 크기는 3.66[cm]x2.6[cm]이다. 이때 좌표의 중심은 항상 마이크로스트립의 xz평면 중앙에 위치하도록 하였다. 또한 비유전율은 $\epsilon_r = 2.17$ 이고 그리고 0.0의 $\tan\delta$ 을 갖도록 하였다. 이는 동일 크기의 접지평면내에 장착될 수 있도록 가정할 수 있다. 해석적 결과는 4[GHz]의 동작주파수를 갖는 균일 평면파에 대한 3차원적 TE_y 산란폭을 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 범위가 되도록 하였고, 또한 $\phi = 0^\circ$ 가 되도록 나타내었다.

2개의 병렬 패치 산란체의 경우 그 유전체의 크기는 이전과 동일하나, 패치의 크기는 달리 1.83[cm]x1.3[cm]으로하여 y축에 대칭적으로 놓여있을때 산란폭 특성을 고찰 하였다. 또한 4개의 병렬구조를 갖는 패치에 대하여 유전체 크기 및 패치는 전과 동일하며, 단지 패치의 수를 4개로 하여 같은 방법으로 해석하였다. 또한 동축여기에 의한 마이크로스트립 패치의 산란특성을 고찰하기 위하여 동축선 중심 길이를 접지평면과 도체사이가 되도록 선택하였고, 동축선의 중심 단면은 미소하다고 가정하였으나 그 해당

된 위치에서 미소단면에 대한 전도도를 갖도록 고려하였다. 따라서 등가자기전류밀도는 고려하지 않았으며, 단지 인가전류의 크기를 1[A]가 되도록 고정하였다. 동축여기에 의한 전자파 산란 특성을 고찰하기 위하여 마이크로스트립 단일 및 병렬 패치의 구조는 해석적 편의성을 고려하여 전자파 산란 특성 고찰과 동일하도록 선택하였다.

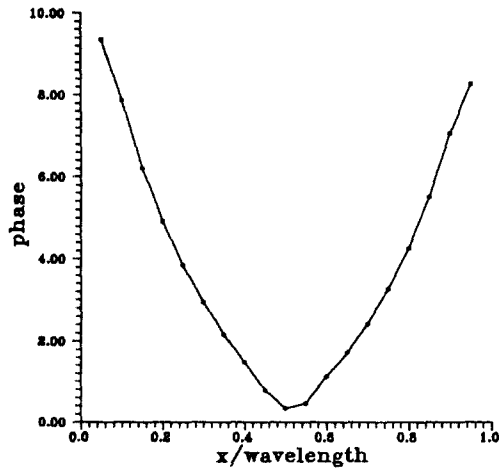
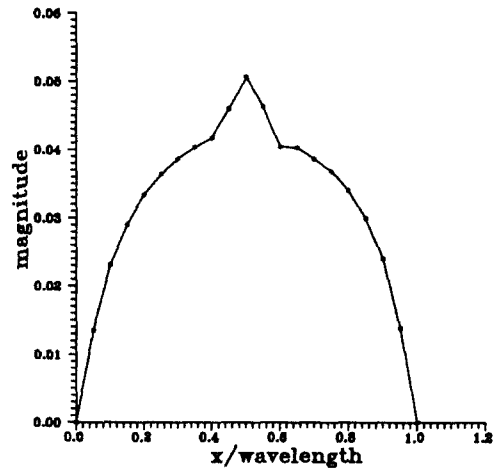


그림 3. 접지평면상에 위치한 가느다란 홈의 중앙부분에서 수직입사에 의한 개구부 전계분포 (E_y) 크기 및 위상 홈의 크기 : 1.00λ (x축) x 0.05λ (y축) x 0.25λ (z축)
 $\epsilon_r = 1.0, \mu_r = 1.0$

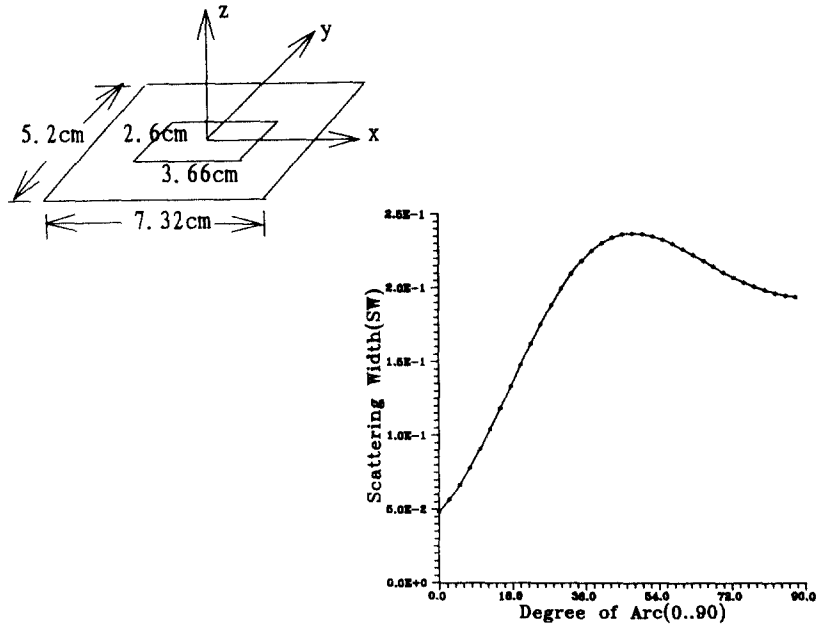


그림 4. 마이크로스트립 단일 패치의 3차원적 TE_y bistatic SW(3D)

유전체 크기 : 7.32 [cm] x 5.2 [cm] x 0.158 [cm]

단일패치의 크기 : 3.66 [cm] x 2.6 [cm]

$\epsilon_r = 2.17, \tan \delta = 0.0, f = 4[\text{GHz}], 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

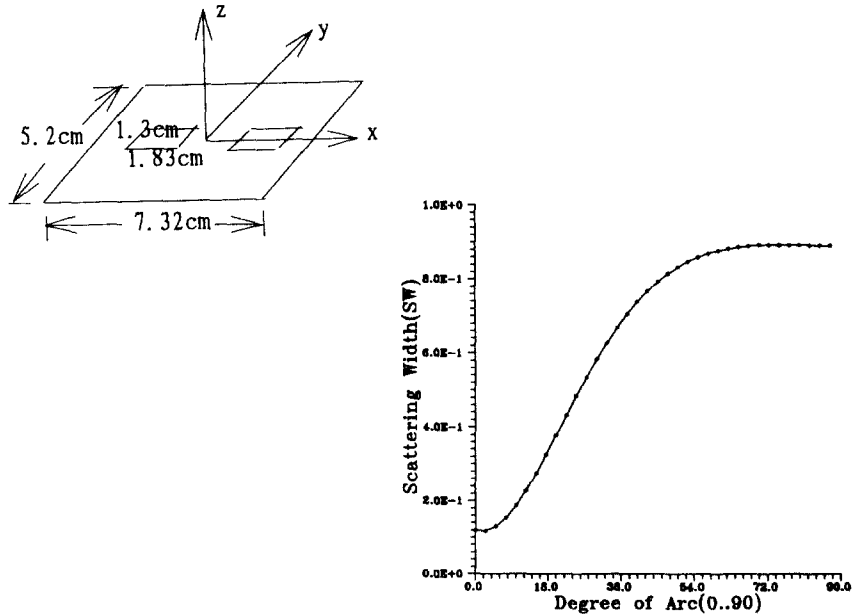


그림 5. 마이크로스트립 병렬 2x1 패치의 3차원적 TE_y bistatic SW(3D)

유전체 크기 : 7.32 [cm] x 5.2 [cm] x 0.158 [cm]

단일패치의 크기 : 1.83 [cm] x 1.3 [cm]

$\epsilon_r = 2.17, \tan \delta = 0.0, f = 4[\text{GHz}], 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

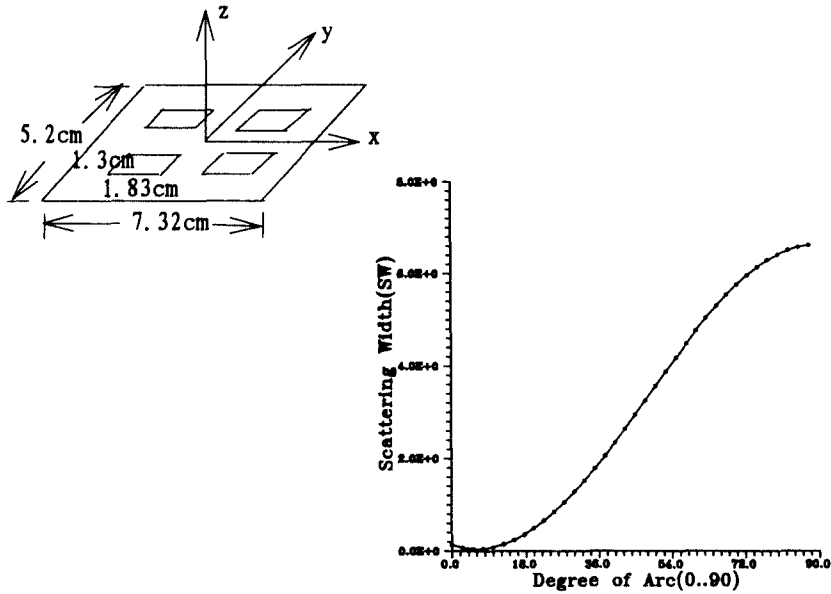


그림 6. 마이크로스트립 병렬 2x2 패치의 3차원적 TE_y bistatic SW(3D)
 유전체 크기 : 7.32 [cm] x 5.2 [cm] x 0.158 [cm]
 단일패치의 크기 : 1.83 [cm] x 1.3 [cm]
 $\epsilon_r = 2.17, \tan \delta = 0.0, f = 4[\text{GHz}], 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

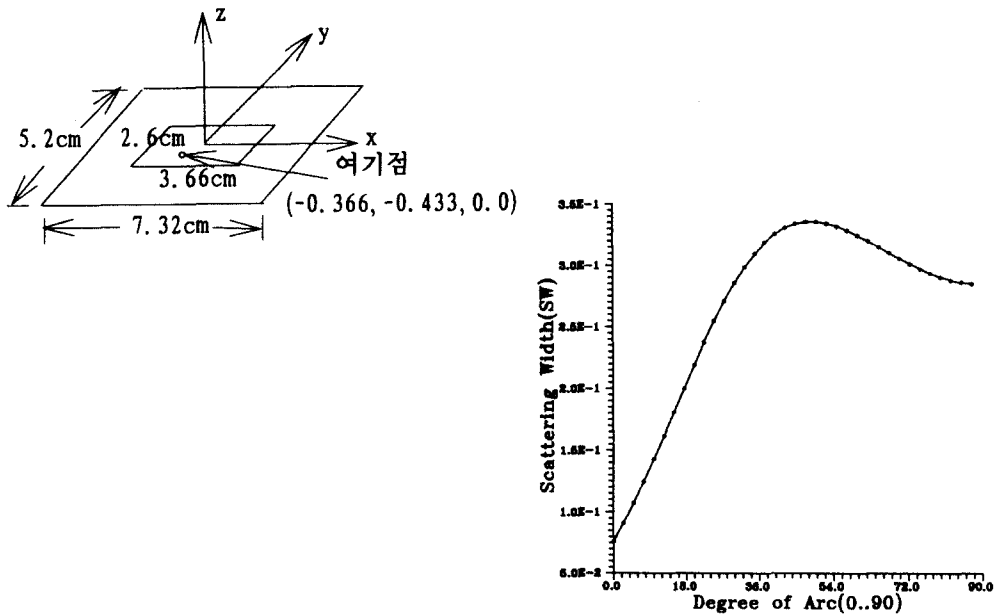


그림 7. 동축여기에 의한 마이크로스트립 단일 패치의 3차원적 TE_y bistatic SW(3D)
 유전체 크기 : 7.32 [cm] x 5.2 [cm] x 0.158 [cm]
 단일패치의 크기 : 3.66 [cm] x 2.6 [cm]
 도체심의 길이 : 0.158 [cm], 단면적 : 0.1 [cm²], 부하임피던스 : 50 [Ω]
 $\epsilon_r = 2.17, \tan \delta = 0.001, f = 4[\text{GHz}], 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

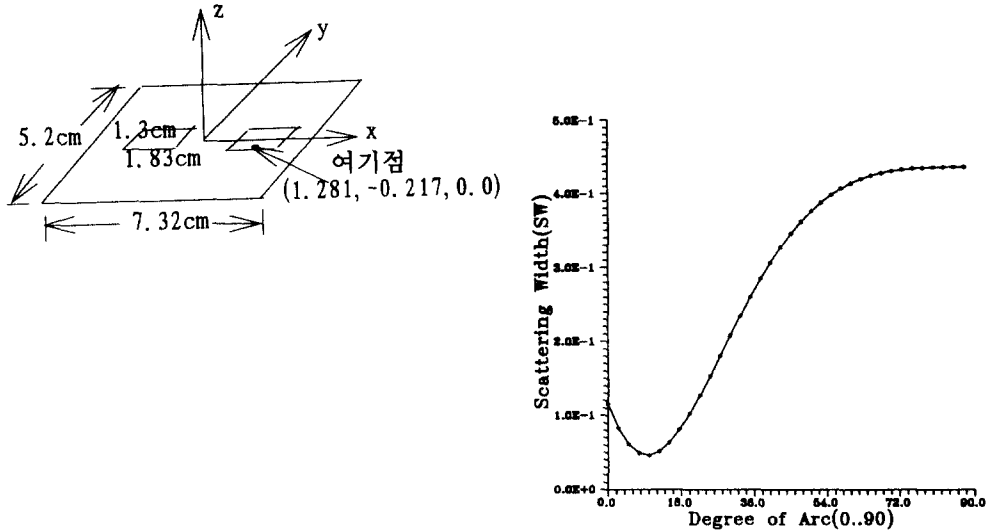


그림 8. 동축여기에 의한 마이크로스트립 병렬 2x1 패치의 3차원적 TE_y bistatic SW(3D)
 유전체 크기 : 7.32 [cm] x 5.2 [cm] x 0.158 [cm]
 단일패치의 크기 : 1.83 [cm] x 1.3 [cm]
 도체심의 길이 : 0.158 [cm], 단면적 : 0.1 [cm²], 부하임피던스 : 50 [Ω]
 $\epsilon_r = 2.17$, $\tan \delta = 0.001$, $f = 4$ [GHz], $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

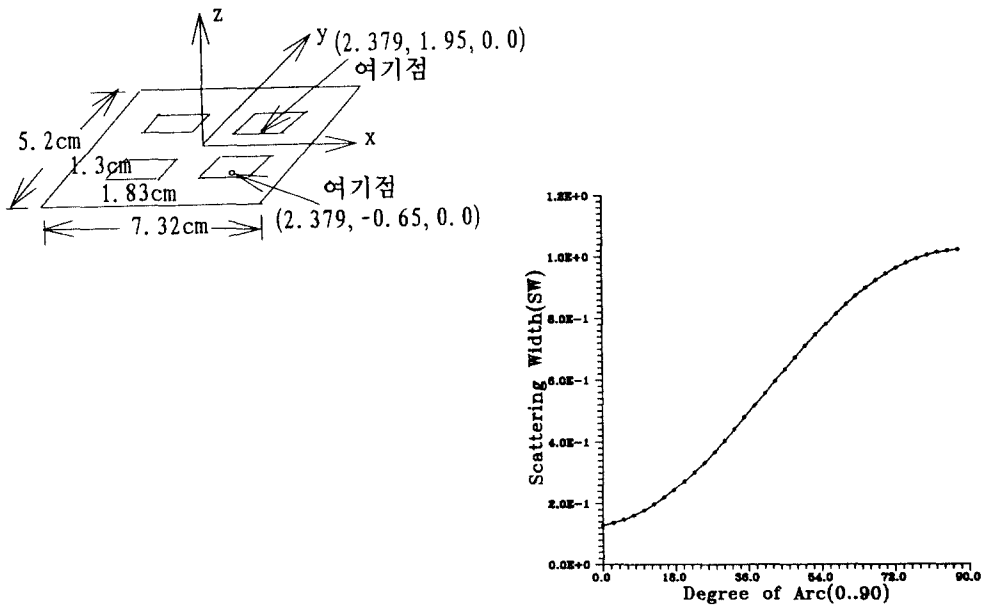


그림 9. 동축여기에 의한 마이크로스트립 병렬 2x2 패치의 3차원적 TE_y bistatic SW(3D)
 유전체 크기 : 7.32 [cm] x 5.2 [cm] x 0.158 [cm]
 단일패치의 크기 : 1.83 [cm] x 1.3 [cm]
 도체심의 길이 : 0.158 [cm], 단면적 : 0.1 [cm²], 부하임피던스 : 50 [Ω]
 $\epsilon_r = 2.17$, $\tan \delta = 0.001$, $f = 4$ [GHz], $0 \leq \theta \leq 90^\circ$

IV. 결 론

영역해석법에 적합한 유한요소법과 표면경계해석에 유용한 경계적분법을 혼합한 혼합해석법은 임의의 접지평면내에 설치 가능한 마이크로스트립 단일 및 병렬 안테나의 산란과 복사 특성에 대해 연구하였다. 이전에 제시된 논문과는 달리 유전체 및 자성체 손실을 갖는 적분방정식을 3차원 좌표의 각각 성분으로 분리한 행렬관계식을 유도하여 해석적 차원에서 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 논문에 의해서 제시된 해석방법은 행렬차원을 더욱 확장할 수 있는 경우 더욱더 복잡한 안테나의 특성을 모의실험하는데 효과적이 될 수 있을 뿐만 아니라 실제적인 안테나에 적용이 가능하다. 또한 유한요소법의 특성에 의해서 다층구조를 갖는 유전체 평판 내에 존재할 수 있는 패치에 대해서도 확장적용될 수 있으며, 제시된 본 논문의 수치적 결과는 이방법의 효율성과 가능성을 입증한다. 추가로, 해석된 결과는 안테나의 접지평면내에 동축여기와 관련하여 산란효과를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. M. H. Cohen, "Application of the Reaction Concept to Scattering Problems," T-AP, Vol.3, Oct 1955, p. 193-199
2. T. K. Wu and L. L. Tasi, "Scattering by Arbitrarily Cross-Sectioned Layered Dielectric Cylinders," IEEE Trans. Antenna Propagat., Vol. AP-25, p.518-524, 1977
3. K. Morishita and N. Kumagai, "Unified Approach to the Derivation of Variational Expression for Electromagnetic Fields," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-25, p. 34-40, 1977
4. J. M. Jin and V. V. Liepa, "A Note on Hybrid Element Method for Solving Scattering Problems," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 36, p. 1486-1490, Oct. 1988
5. E. H. Newman and D. Forrai, "Scattering from a microstrip patch," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-35, p. 245-251, Mar. 1987
6. D. M. Pozar, "Radiation and scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-35, p. 613-621, June 1987
7. T. K. Sarkar, S. M. Rao, and A. R. Djordjevic, "Electromagnetic scattering and radiation from finite microstrip structures," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 38 p. 1568-1575, Nov. 1990
8. J. M. Jin and J. L. Volakis, "A finite element-boundary integral formulation for scattering by three-dimensional cavity-backed apertures," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 39, p. 97-104, Jan. 1991
9. ---, "Electromagnetic scattering by and transmission through a three-dimensional slot in a thick conducting plane," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 39, p. 543-550, Apr. 1991
10. W. C. Chew, Waves and fields in inhomogeneous media, Van Nostrand Reinhold, 1990
11. A. Ishimaru, Electromagnetic wave propagation, Radiation, and Scattering, Prentice-Hall, 1991
12. P. P. Silvester and R. L. Ferrari, Finite elements for electrical engineers, Cambridge, U. K. : Cambridge Univ. press, 1983

安重守(Jung Soo Ahn) 정회원

1944년 8월 11일생

1973년 2월 : 명지대학교 공과대학
전기공학과 졸업(공학사)

1975년 2월 : 명지대학교 대학원 전
기공학과 졸업(공학석사)

1992년 2월 : 청주대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수
료(공학박사)

1994년 12월 ~ 현재 : 국립 충주산업대학교 전자공학과 교수
※주관심분야 : 디지털통신, 대역확산통신시스템, 이동통신
등임.



朴東熙(Dong Hee Park) 정회원

1959년 8월 6일생

1985년 2월 : 청주대학교 공과대학
전자공학과 졸업(공학사)

1987년 2월 : 중앙대학교 대학원 전
자공학과 졸업(공학석사)

1992년 8월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수
료(공학박사)

1992년 3월 ~ 현재 : 국립 충주산업대학교 전자통신공학과
전임강사

※주관심분야 : 전파 전파 및 산란해석, 마이크로파 및 안
테나 공학, EMI/EMC 등임.



權熙勳(Hi Hoon Kwon) 정회원

1952년 3월 11일생

1976년 2월 : 동아대학교 공과대학
전자공학과 졸업(공학사)

1979년 2월 : 동아대학교 대학원 전
자공학과 졸업(공학석사)

1982년 5월 : Southern Illinois University, School of
Technical Careers, Dept. of Electrical and
Electronic Technology 수료

1988년 8월 : 동아대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수
료(공학박사)

1993년 1월 : 미국 Old Dominion University, Dept. of
Electrical and Computer Engineering
(Post-Doc.)

1973년 9월 ~ 1979년 1월 : 국방부 조병찬(현 대우정밀) 기
술연구원

1978년 8월 ~ 1979년 1월 : 부산 동의공업전문대학 전자과
전임강사

1991년 12월 ~ 1993년 1월 : 미국 Old Dominion Univer-
sity, Dept. of Electrical and
Computer Engineering, Visit-
ing Professor

1979년 3월 ~ 현재 : 국립 충주산업대학교 전자통신공학과
교수