

論文95-32A-11-1

# 날개가 달린 회전자에 의한 전자파 산란 해석

## (Analysis of Electromagnetic Scattering by a Rotor with Flat Blades)

宣永植\*, 明魯勳\*

(Young-Seek Sun and Noh-Hoon Myung)

### 요 약

본 논문에서 고주파 영역에서 전자파 산란 해석에 이용되는 GTD (geometrical theory of diffraction)의 변형된 형태의 하나인 ECM (equivalent current method)과 quasi-stationary method를 결합하여 금속판으로 된 날개가 달린 회전자에 의한 직선 편파된 전자기파의 진폭 및 주파수 변조를 해석하였다. 회전자에 의한 전자기파의 진폭변조 파형의 특성은 회전자의 방향, 크기, 회전속도에 영향을 받으며, 특히 입사방향과 산란방향과 회전자 날개의 기울어짐에 크게 영향을 받는다. 2개의 날개 달린 회전자와 기울어지지 않은 금속판의 회전에 의한 주파수변조는 회전자의 회전주파수의 2배의 주파수변조가 일어나며, 기울어진 금속판에 의한 주파수변조는 금속판의 회전주파수와 같은 주파수변조가 일어난다. 본 논문에서 제안한 ECM에 의한 수치결과와 Sikta가 제안한 ECM과 물리광학 (PO)을 사용한 수치결과는 입사각도가 회전축에 가까울 때 아주 좋은 일치율을 나타낸다.

### Abstract

The problem of amplitude- and frequency-modulated waveforms is analyzed when a linearly polarized electromagnetic wave is scattered by a slowly rotating rotor with metal plates. ECM in conjunction with a quasi-stationary method is used to analyze the modulated waveforms. The modulated waveforms depend on the orientation and dimension of the object, its rotation speed, and very strongly on the incident and scattering directions. The modulated waveforms of a rotating non-skewed metal plate and a rotor with two blades are functions of twice the rotating frequency of those. Similar results are discussed for a rotating skewed metal plate, but the modulated waveforms is a function of the rotating frequency. Numerical results based on our ECM are presented and compared with those of Sikta's and PO solution.

### I. 서 론

천천히 회전하는 산란체의 산란에 의한 직선편파된 전자기파의 진폭 및 주파수변조에 대한 해석은 이론적으로 연구되어 왔다. Bladel<sup>[1]</sup>은 회전하는 유전체 실린더에 대한 전자기파의 변조에 대한 해석을 하였고,

Lahaie<sup>[2]</sup>는 천천히 회전하는 금속판에 의한 직선편파된 전자기파의 변조를 Physical Optics (PO)를 이용하여 해석하였다. 또한, Chuang<sup>[3]</sup>은 회전하는 임의의 모양을 갖는 2차원 실린더에 의한 back-scattering 해석을 GTD와 quasi-stationary method를 결합하여 연구하였다. 이러한 연구들은 다양한 시스템의 근처에 위치한 회전물체로 인해 신호가 산란됨으로써 유기된 전자파 간섭의 연구에 유용하다. 또한, Ryan<sup>[4, 5]</sup>은 GTD와 equivalent current의 개념을 이용하여 GTD를 이용할 때 나타나는 edge의

\* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

(Department of Electrical Engineering)

接受日字: 1995년 2월 20일, 수정완료일: 1995년 10월 31일

caustic region의 문제를 해석하였고, Sikta<sup>[6]</sup>는 ECM을 이용하여 임의의 금속판 구조에 대한 산란을 연구하였다.

이 논문에서는 고주파 영역에서 전자파 산란의 해석에 이용되는 GTD의 변형된 형태의 하나인 ECM과 quasi-stationary method를 결합하여 회전하는 금속판 및 날개가 달린 회전자의 산란에 의한 전자파의 변조를 해석하였다. 회전하는 금속판 및 날개가 달린 회전자의 산란에 의한 주파수 및 진폭 변조를 해석하기 위하여 다음과 같은 접근 방식을 사용하였다. 먼저 임의의 위치에 놓인 산란체로부터 산란된 전자장에 대한 표현식을 구한 후, 산란체의 위치가 시간에 따라 움직인다고 가정한다. 이 가정은  $2\pi\omega L/\omega_i \ll 1$ 의 조건을 만족하여야 하며 이를 quasi-stationary method라고 한다. 여기에서  $\omega(\omega_i)$ 는 회전하는 산란체(입사파)의 각주파수이며, L은 파장단위로 된 산란체의 최대 길이이다. 이러한 가정은 천천히 이동하거나 회전하는 물체에 의해 산란된 전자장의 표현식에서 일반적으로 사용한다. 현재의 경우 모든 물질의 속도들은 빛의 속도보다 매우 작고, 이 논문에서 사용한 물체의 회전 각주파수는 입사파의 각주파수보다 매우 작다는 것을 전제로 하였고, 이 논문에서의 입사전자파의 시간 종속함수는  $\exp(j\omega_i t)$ 를 사용하였다.

II. 회전하는 사각 금속평판에 의한 전자파 산란 해석

초기 시간  $t = t_0 = 0$ 에서 크기가  $L_1 \times L_2$ 인 사각 금속평판이 그림 1에 보인 바와 같이 원점 O인 직각좌표계에 z축을 따라 평면축이 A-A'이고  $\varphi = \varphi_s$ 인 평면에 놓여있고, 금속판의 중심은 구좌표계의 원점이기도 한 O에 고정되어 있다. 금속판의 축 A-A'는 그림 2에 보인 바와 같이 임의의 시간 t에서 각주파수  $\omega$ 로 x-z 평면에서 회전한다.

$$\theta_s = \omega t \tag{1}$$

여기에서  $\theta_s$ 는 금속판의 축과 z축과의 각도이며, 이런 경우에 초기 시간  $t = t_0 = 0$ 는 임의로 정의할 수 있으며, 입사되는 전자파와 z축의 각도  $\theta$  또한 임의로 정의할 수 있다. 그러므로 계산상의 편의를 위하여 사각 금속평판의 임의의 방향에서 입사하는 전자파의 입사

각도  $\theta$ 가 90°가 되도록 초기 시간과 좌표축을 설정하여 입사파와 산란체의 관계는 각도  $\varphi$ 만으로 표시한다. 이 경우의 입사 전계와 자계는 다음과 같다.

$$\vec{E} = \hat{\varphi} E_0 \exp [ jk(\cos \varphi x + \sin \varphi y) ] \tag{2}$$

$$\vec{H} = \hat{\theta} H_0 \exp [ jk(\cos \varphi x + \sin \varphi y) ] \tag{3}$$

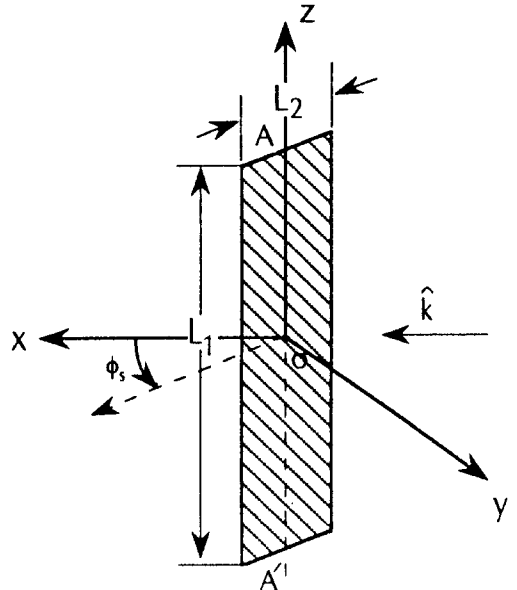


그림 1. t = 0에서  $\varphi_s$  기울어진 사각형의 금속평판  
Fig. 1. Rectangular metal plate with skew angle  $\varphi_s$  at time  $t = 0$ .

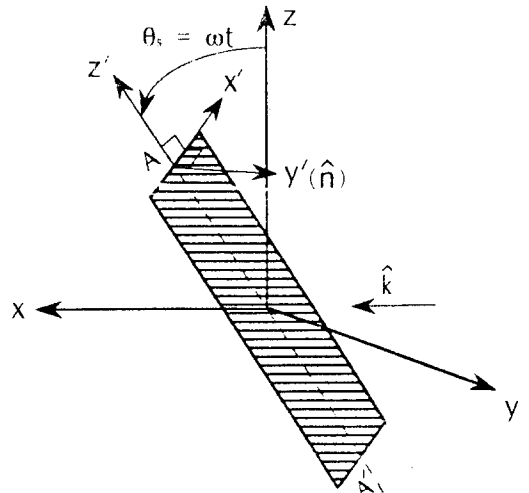


그림 2. x-z 평면을 회전하는 기울어진 사각형의 금속평판  
Fig. 2. Skewed rectangular plate rotating in x-z plane.

그리고,

$$E_0 = \eta_0 H_0$$

여기에서  $E_0, H_0$ 는 전체, 자계의 크기이며,  $k, \eta_0$ 는 각각 자유공간에서의 전파상수와 특성 임피던스이다.

이런 산란체에 의한 back-scattering을 해석하기 위하여 금속판에 입사되는 전자파를 금속판 edge위의 등가전류로 변환한다. ECM에서의 등가전류는 무한 edge의 경우에 산란되는 전자장을 GTD를 이용하여 구한 전자장과 같은 전자장을 유지시키는 등가전류를 edge위에 있다고 가정한다. 이런 무한 edge의 등가전류를 유한한 산란체에 적용하며 edge를 따라 등가전류를 선적분함으로써 3-dimension (3-D)의 문제를 해석하게 되는데, ECM에 따른 등가전류는 다음과 같다 [8]

$$\vec{I}_e = -\frac{e^{-j\pi/4}}{\sin \beta_0 \eta_0} \sqrt{\frac{8\pi}{k}} D_s(\vec{E}^i \cdot \hat{e}) \hat{e} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \vec{I}_m &= -\frac{e^{-j\pi/4}}{\sin \beta_0} \sqrt{\frac{8\pi}{k}} D_h[\vec{E}^i \cdot (\hat{e} \times \hat{k})] \hat{e} \\ &= -\frac{e^{-j\pi/4} \eta_0}{\sin \beta_0} \sqrt{\frac{8\pi}{k}} D_h(\vec{H}^i \cdot \hat{e}) \hat{e} \end{aligned} \quad (5)$$

여기에서  $\sin \beta_0 = |\hat{k} \times \hat{e}|$  이고,  $\hat{e}$ 는 각 edge의 방향 벡터이고,  $D_{s,h}$ 는 평판의 경우에 평면파가 입사하고 back-scattering일 때의 회절계수이며, 아래와 같이 나타내어진다 [7, 8].

$$D_{s,h} = -\frac{e^{-j\pi/4}}{\sin \beta_0 \sqrt{8\pi k}} \left(1 \mp \frac{1}{\cos \psi}\right) \quad (6)$$

위의 등가전류를 edge를 따라 적분하여 potential vector를 구한 후 산란전자장을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{E}^s &= \frac{jk}{4\pi} \int_C (\hat{r} \times (\hat{r} \times \vec{I}_e / \eta_0) \\ &\quad + \hat{r} \times \vec{I}_m / \eta_0) \frac{\exp(-jkr)}{r} d\vec{r} \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서  $r$ 은 산란체 상의 한 점으로부터 측정점까지의 거리이다. ECM에 의한 등가전류를 구하고 edge에서 적분을 하여 산란전자장을 구하기 때문에 금속판의 좌표인  $x', y', z'$ 로 전자장을 표시하는 것이 계산이 편리하며, 좌표변환 matrix는 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_s \cos \varphi_s & -\cos \theta_s \sin \varphi_s & \sin \theta_s \\ \sin \varphi_s & \cos \varphi_s & 0 \\ -\sin \theta_s \cos \varphi_s & \sin \theta_s \sin \varphi_s & \cos \theta_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (8)$$

또한, 산란체의 edge에서 적분하여 구한 전자장을 원래 좌표계의 좌표인  $x, y, z$ 로 전자장을 표현하여야 한다. 이에 필요한 좌표변환 matrix는 아래와 같이 나타내어진다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_s \cos \varphi_s & \sin \varphi_s & -\sin \theta_s \cos \varphi_s \\ -\cos \theta_s \sin \varphi_s & \cos \varphi_s & \sin \theta_s \cos \varphi_s \\ \sin \theta_s & 0 & \cos \theta_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (9)$$

또한 그림 3에 보인 바와 같이 3-D의 경우의 시간  $t$ 에서 ECM에 의하여 계산한 평판의 전자장은 edge #1 위의 등가전류와 edge #3의 등가전류에 의한 전자장의 위상 차이에 의하여 나타난다. 그러므로 3-D의 금속판에 의한 산란전자장은 metal strip의 일부를 적분함으로써 얻을 수 있으며, 같은 방법으로 edge #2와 edge #4에 의한 전자장도 얻을 수 있다. 그리고 위의 방법은 두 개의 metal strip이 중첩되어 있는 형태이므로 적절한 보상이 또한 필요하다. Edge #1 와 edge #3에 의한 등가전류는 다음과 같은 변수의 변환에서 구한다.

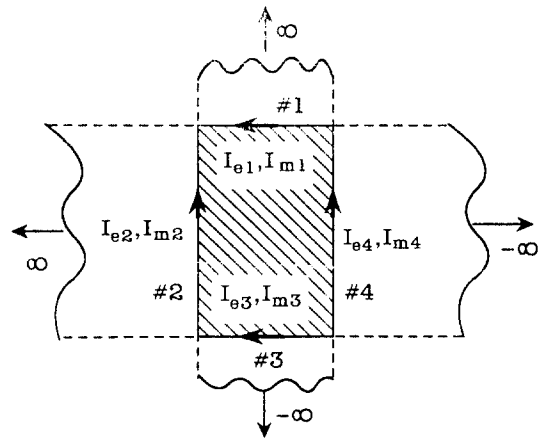


그림 3. 두개의 무한 metal strip을 이용한 ECM  
Fig. 3. ECM using two infinite metal strip.

$$\sin^2 \beta_{01} = 1 - (\hat{e}_1 \cdot \hat{r})^2 = 1 - e_{r1}^2 \quad (10)$$

$$\cos \psi_1 = \frac{\hat{e}_{m1} \cdot \hat{r}}{\sqrt{\hat{e}_{m1} \cdot \hat{r} + \hat{e}_{m1} \cdot \hat{r}}} = \frac{\cos \varphi \sin \omega t}{\sqrt{1 - e_{r1}^2}} \quad (11)$$

$$\psi_3 = \pi - \psi_1 \quad (12)$$

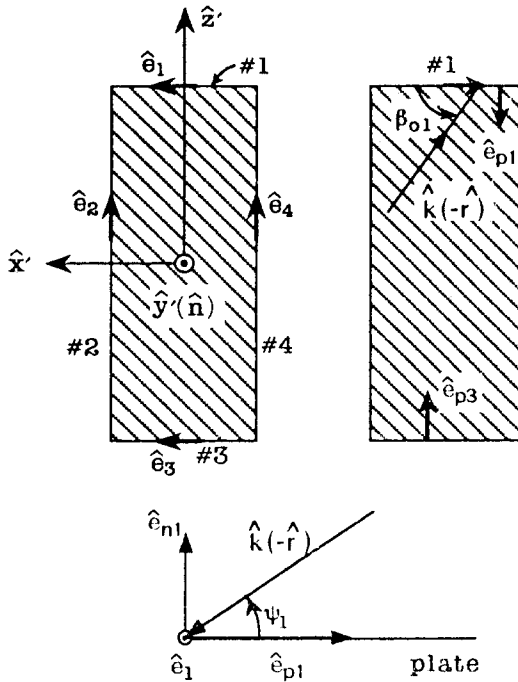


그림 4. 사각형의 금속평판에 전자파가 입사하는 구조

Fig. 4. Rectangular metal plate in an incident electromagnetic wave.

여기에서 각 변수들은 그림 4에 표시하였으며,  $\beta_{01}, e_1, e_{n1}, \psi_1$ 에서 첨자 1은 edge #1에서의 변수라는 것을 나타낸다. 식 (8)의 좌표변환을 사용한 후 식 (10)에서 (12)까지의 변수들을 식 (6)에 대입하여 edge #1과 edge #3위의 등가전류를 구하면 다음과 같다.

$$\bar{I}_{c1}^- = \hat{e}_1 \frac{jH_c e_1}{k\sqrt{1-e_1^2}} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{1-e_1^2}}{\cos \varphi \sin \omega t} \right\} \quad (13)$$

$$\bar{I}_{m1}^- = -\hat{e}_1 \frac{jE_c e_{n1}}{k\sqrt{1-e_1^2}} \left\{ 1 + \frac{\sqrt{1-e_1^2}}{\cos \varphi \sin \omega t} \right\} \quad (14)$$

$$\bar{I}_{c3}^- = \hat{e}_1 \frac{jH_c e_1}{k\sqrt{1-e_1^2}} \left\{ 1 + \frac{\sqrt{1-e_1^2}}{\cos \varphi \sin \omega t} \right\} \quad (15)$$

$$\bar{I}_{m3}^- = -\hat{e}_1 \frac{jE_c e_{n1}}{k\sqrt{1-e_1^2}} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{1-e_1^2}}{\cos \varphi \sin \omega t} \right\} \quad (16)$$

여기에서

$$E_c = E_0 \exp \{ jk(x'(\cos \omega t \cos \varphi \cos \varphi_s + \sin \varphi \sin \varphi_s) + y'(\sin \varphi \cos \varphi_s - \cos \omega t \sin \varphi_s) + z' \sin \omega t \cos \varphi_s) \}$$

$$H_c = \frac{E_c}{\eta_0} \}$$

이다. 또한 그림 4에 보인 바와 같이 edge의 방향벡터  $\hat{e}_1, \hat{e}_2$ 는 다음과 같이  $\hat{r}, \hat{\theta}, \hat{\varphi}$  벡터로 표시한다.

$$\begin{bmatrix} \hat{e}_1 \\ \hat{e}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{e}_3 \\ \hat{e}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{n1} & e_{t1} & e_{c1} \\ e_{n1} & e_{t1} & e_{c1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{r} \\ \hat{\theta} \\ \hat{\varphi} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \omega t \cos \varphi \cos \varphi_s & \sin \omega t \cos \varphi_s & -\cos \varphi \sin \varphi_s \\ \sin \varphi \sin \varphi_s & & -\cos \omega t \sin \varphi \cos \varphi_s \\ \sin \omega t \cos \varphi & -\cos \omega t & -\sin \omega t \sin \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{r} \\ \hat{\theta} \\ \hat{\varphi} \end{bmatrix} \quad (17)$$

위의 식으로부터 edge의 방향벡터와 산란체에서 측정점까지의 거리 벡터  $\hat{r}$ 과의 관계를 구할 수 있으며, 식 (7)에서의 적분을 위하여  $r$ 을 회전 산란체의 좌표인  $x', y', z'$ 로 표시한다.

$$\hat{r} \times \hat{e}_a = -\hat{\theta} e_{\varphi_a} - \hat{\varphi} e_{\theta_a}, \quad a=1,2 \quad (18)$$

$$\hat{r} \times (\hat{r} \times \hat{e}_a) = -\hat{\theta} e_{\theta_a} - \hat{\varphi} e_{\varphi_a}, \quad a=1,2 \quad (19)$$

$$r = R_0 - (\cos \varphi \cos \theta, \cos \varphi_s + \sin \varphi \sin \varphi_s)x' - \cos \varphi \sin \theta, z' \quad (20)$$

여기에서  $R_0$ 는 원점에서 측정점까지의 거리이며, 위의 식 (17)-(19)의 변수들과 식 (13)-(16)의 등가전류를 식 (7)에 대입하여 edge #1과 edge #3에서 적분하여 edge #1과 edge #3에 의한 산란전자장을 구하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{E}_{1,3}^- = & -\frac{E_0 \exp(-jkR_0)}{2\pi R_0} \frac{L_2}{1-e_1^2} \\ & Sinc(kL_2(\cos \varphi \cos \varphi_s \cos \omega t + \sin \varphi \sin \varphi_s)) \\ & \{ [\cos(kL_1 \cos \varphi \sin \omega t) - jkL_1 \sqrt{1-e_1^2}] \\ & \cdot Sinc(kL_1 \cos \varphi \sin \omega t) \} (\hat{\theta} e_{n1} e_{c1} + \hat{\varphi} e_{c1}^2) \\ & + [\cos(kL_1 \cos \varphi \sin \omega t) + jkL_1 \sqrt{1-e_1^2}] \\ & \cdot Sinc(kL_1 \cos \varphi \sin \omega t) \} (\hat{\theta} e_{n1} e_{c1} - \hat{\varphi} e_{c1}^2) \end{aligned} \quad (21)$$

여기에서  $Sinc(x)$  함수는 아래와 같이 정의된다.

$$Sinc(x) = \frac{\sin x}{x}$$

같은 방법으로 edge #2 와 edge #4 에 의한 산란전자장을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{E}_{2,4}^- = & -\frac{E_0 \exp(-jkR_0)}{2\pi R_0} \frac{L_1}{1-e_2^2} Sinc(kL_1 \cos \varphi \sin \omega t) \\ & \{ [ \cos(kL_2(\cos \varphi \cos \varphi_s \cos \omega t + \sin \varphi \sin \varphi_s)) \\ & - jkL_2 \sqrt{1-e_2^2} ] Sinc(kL_2(\cos \varphi \cos \varphi_s \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sin \varphi \sin \varphi_s \} \} (\hat{\theta} e_{\theta 2} e_{\varphi 2} + \hat{\varphi} e_{\varphi 2}^2) \\
 & + \{ \cos \{ k L_2 (\cos \varphi \cos \varphi_s, \cos \omega t + \sin \varphi \sin \varphi_s) \} \\
 & + j k L_2 \sqrt{1 - e_{\varphi 2}^2} \text{Sinc} \{ k L_2 (\cos \varphi \cos \varphi_s, \cos \omega t \\
 & + \sin \varphi \sin \varphi_s) \} \} (\hat{\theta} e_{\theta 2} e_{\varphi 2} - \hat{\varphi} e_{\varphi 2}^2) \}
 \end{aligned} \quad (22)$$

위에서 설명한 바와 같이 회전하는 금속판을 ECM으로 해석한 산란전자장은 두개의 metal strip을 중첩하여 구한 것이므로 전체 산란전자장은 다음과 같이 보상하여 구한다.

$$\overline{E^s} = \overline{E}(\varphi, t; \omega, \varphi_s, L_1, L_2) = (\overline{E_{1,3}^s} + \overline{E_{2,4}^s}) / 2 \quad (23)$$

### III. 날개가 달린 회전자에 의한 전자파 산란 해석

그림 5에 보인 바와 같이 두개의 날개가 달린 회전자에 의한 back-scattering은 각각의 금속판에 의한 산란을 중첩한 것과 같다.

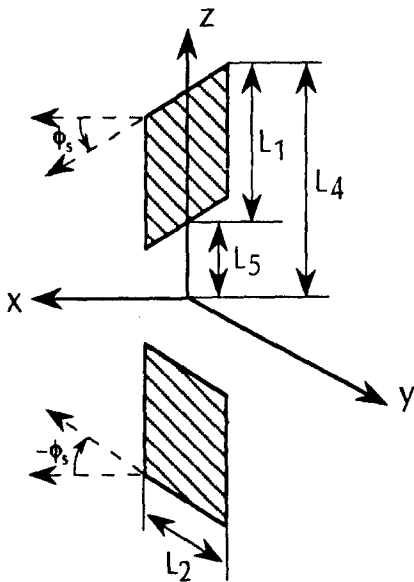


그림 5. 2개의 날개가 달린 회전자  
Fig. 5. A rotor with two blades.

$$\overline{E^s} = \overline{E_u^s} + \overline{E_d^s} \quad (24)$$

위의 첨자 u를 사용한 전자장은 위쪽에 위치한 날개에 의하여 산란된 전자장이며, 이 경우의 해석은  $\varphi_s$ 의 기울기를 갖는 금속판의 해석과 동일하며 원점으로부터 다음과 같은 위상차가 존재한다.

$$p_u = \exp \left\{ \frac{j k}{2} (L_4 + L_5) \cos \varphi \sin \omega t \right\} \quad (25)$$

이러한 위상차와 위에서 설명한 금속판에 의한 산란전자장 해석을 이용하면 위쪽에 위치한 날개에 의하여 back-scattering field는 다음과 같다.

$$\overline{E_u^s} = p_u \overline{E}(\varphi, t; \omega, \varphi_s, L_1, L_2) \quad (26)$$

또한 첨자 d를 사용한 전자장은 아래쪽에 위치한 날개에 의한 것이며  $-\varphi_s$ 의 기울기를 갖는 금속판의 해석과 동일하게 해석하고 다음의 위상차를 고려하여 구하면 아래와 같다.

$$p_d = \exp \left\{ -\frac{j k}{2} (L_4 + L_5) \cos \varphi \sin \omega t \right\} \quad (27)$$

$$\overline{E_d^s} = p_d \overline{E}(\varphi, t; \omega, -\varphi_s, L_1, L_2) \quad (28)$$

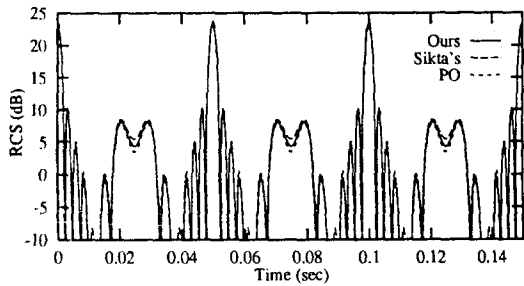
### IV. 수치결과

회전하는 금속판과 회전자에 의한 전자파의 변조파형을 그림 6에서 그림 9까지 도시하였다. 이 논문의 수치결과와 검증하기 위하여 참고 문헌 [6]의 방법인 Sikta's ECM과 참고 문헌 [2]의 PO에 의한 수치결과를 비교하였다. Sikta의 ECM은 산란체를 입사평면과 평행하게 분해하여 입사평면에 수직인 전자장에 의한 등가전류만을 고려하여 각각의 전자장을 구한 후 중첩한 것이다. 위의 3가지 방법에 의한 수치결과를 입사각도가 회전축에서 가까울 때 잘 일치한다.

그림 6은  $5\lambda \times 2\lambda$ 의 크기를 갖는 기울어지지 않은 금속판이 62.8 rad/sec의 주파수를 가지고 x-z 평면에서 회전할 때의 back-scattering을 측정각이  $70^\circ$ 인 경우에 계산한 수치결과이다. 그림에서 보인 바와 같이 이 경우의 3가지 방법에 의한 결과는 아주 잘 일치하며, 변조는 회전하는 금속판의 주파수의 2배의 주파수로 변조파형이 나타난다.

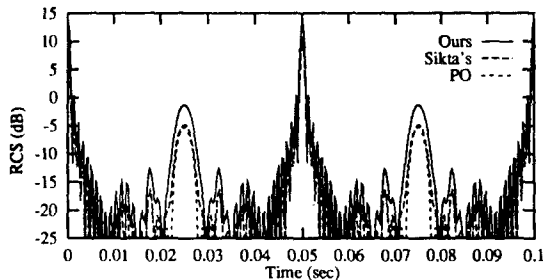
그림 7은 그림 6과 같은 조건하에 입사각도를 회전평면쪽으로 이동시킨 경우의 수치결과이다. 이 경우에는 3가지 방법에 의한 수치결과에 차이가 있는데, PO에 의한 해석에서 입사각이 회전평면에 가까우면 정확하지 못하기 때문이다. Sikta의 ECM에 의한 해석방법은 입사평면에 수직인 전자장에 의한 등가전류만을 고려하기 위하여 edge의 방향을 입사평면에 수직인 방향으로 변환하였다. 이러한 변환이 입사각도가 작을 때

의 오차의 원인이 된다. 그림 8은 그림 6과 같은 조건 하에 평판을  $3^\circ$  기울어진 경우의 수치결과이다. 이 경우는 회전주파수와 같은 주파수변조가 있으며, 그림 6의 경우와 비교하여 보면 전체적으로 RCS (Radar Cross Section) 값이 작아지며, 파형도 심한 변화가 있다. 위의 결과로부터 산란파의 진폭변조는 평판의 기울어짐에 강하게 의존함을 알 수 있다. 그림 9에 2개의 날개가 달린 회전자에 의한 변조파형을 도시하였다. 날개의 기울어진 각도는  $5^\circ$ 이며, 측정각은  $75^\circ$ 이다. 주파수변조는 기울어지지 않은 금속판의 경우와 같이 회전주파수의 2배의 주파수로 나타나며 진폭변조가 좀더 급격하게 나타남을 알 수 있다.



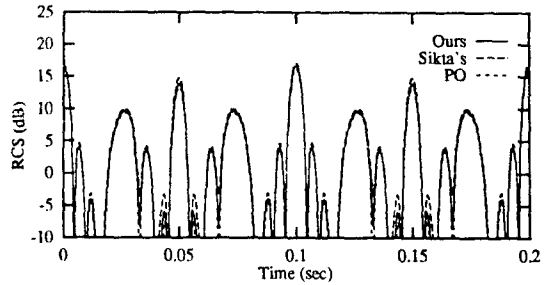
$$\begin{aligned} \varphi_s &= 0^\circ & \omega &= 62.8 \\ \theta &= 90^\circ & \varphi &= 70^\circ \\ L_1 &= 5\lambda & L_2 &= 2\lambda \end{aligned}$$

그림 6. 회전하는 금속평판에 의한 전자파의 RCS  
Fig. 6. RCS by a rotating metal plate.



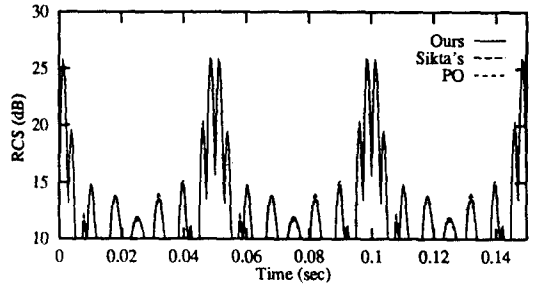
$$\begin{aligned} \varphi_s &= 0^\circ & \omega &= 62.8 \\ \theta &= 90^\circ & \varphi &= 30^\circ \\ L_1 &= 5\lambda & L_2 &= 2\lambda \end{aligned}$$

그림 7. 회전하는 금속평판에 의한 전자파의 RCS  
Fig. 7. RCS by a rotating metal plate.



$$\begin{aligned} \varphi_s &= 3^\circ & \omega &= 62.8 \\ \theta &= 90^\circ & \varphi &= 70^\circ \\ L_1 &= 5\lambda & L_2 &= 2\lambda \end{aligned}$$

그림 8. 회전하는 금속평판에 의한 전자파의 RCS  
Fig. 8. RCS by a rotating metal plate.



$$\begin{aligned} \varphi_s &= 5^\circ & \omega &= 62.8 \\ \theta &= 90^\circ & \varphi &= 75^\circ \\ L_1 &= 5\lambda & L_2 &= 2\lambda \\ L_4 &= 8\lambda & L_4 &= 3\lambda \end{aligned}$$

그림 9. 2개의 날개가 달린 회전자에 의한 전자파의 RCS

Fig. 9. RCS by a rotor with two blades.

## V. 결 론

회전하는 물체로 인한 산란 때문에 형성된 입사전자파의 진폭 및 주파수변조 해석을 ECM과 quasi-stationary method를 결합하여 연구하였다. 이 연구에서 고안된 2개의 무한 도체스트림을 이용한 ECM과 Sikta's ECM을 사용한 방법<sup>[6]</sup>과 PO의 방법<sup>[2]</sup>으로 계산한 수치결과는 입사각도  $\varphi$ 가 회전축에 가까울 때 아주 좋은 일치를 나타낸다.

회전하는 금속평판에 의한 전자파의 주파수변조는  $\varphi_s = 0^\circ$  일 경우에는 산란체의 회전주파수의 2배의 주파수변조가 일어나며,  $\varphi_s \neq 0^\circ$  일 경우에는 회전주

파수와 같은 주파수변조를 나타내는데, 이는 직관적으로 알 수 있는 결과인데,  $\phi_s = 0$ 일 경우에는 회전체가 반 주기만에 같은 모양을 갖는 형태가 되기 때문이다. 또한 2개의 날개가 달린 회전자의 경우의 주파수 변조는 회전자의 회전주파수의 2배의 주파수변조가 일어난다. 진폭변조 파형의 특성은 일반적으로 산란체의 크기, 회전속도에 영향을 받으며, 특히 전자파의 입사 방향과 산란방향에 크게 의존하며, 또한 금속판이나 날개가 기울어진 정도에도 크게 의존한다.

이 논문에서는 날개가 달린 회전자의 전자파 산란 해석의 경우에 날개 상호간의 간섭에 의한 산란을 고려하지 않았다. 날개 상호간의 간섭에 의한 산란은 입사파가 회전평면에 비스듬히 입사하지 않는 경우에는 직접 back-scattering되는 전자장에 비하여 매우 작다. 그 이유는 한 개의 날개에서 다른 날개로 전파하여 결합할 때 거리에 따른 감쇠가 있고, 이 경우의 다른 날개 방향으로의 산란전자장의 크기 또한 매우 작기 때문이다. 그러나 입사파가 회전평면에 비스듬히 입사하는 경우는 하나의 날개에서 다른 날개 방향으로 산란되는 전자장이 매우 크므로 날개 상호간의 간섭에 의한 산란을 무시할 수 없다. 날개 상호간의 간섭 현상은 매우 복잡하며, 앞으로 연구해야 할 중요한 과제 중의 하나이다.

회전하는 회전자에 의한 전자파의 산란 해석을 ECM을 사용하여 해석하는 것은 PO에 비하여 입사파가 회전하는 평면에 비스듬히 입사할 경우에 좋은 결과를 보여줄 수 있으며, Sikta의 방법에 비하여 계산 속도도 빠르다는 장점이 있다. 또한 이 논문에서 연구된 결과는 각종 전자기에 있는 환풍기의 회전자에 의한 전자파 산란이나 간섭 현상을 분석하는데 응용할 수 있으며, 특히 항공기의 엔진의 흡입구 구조의 해석에 응용할 수 있다.

## 참 고 문 헌

[1] J. V. Bladel, "Electromagnetic fields in

the presence of rotating bodies", *Proc. IEEE*, vol. 64, pp. 301-318, Mar. 1976.

[2] I. V. Lahaie and D. L. Sengupta, "Scattering of electromagnetic waves by a slowly rotating rectangular metal plate", *IEEE Trans on Ant. and Propagat.*, vol. 27, pp. 40-46, Jan. 1979.

[3] C. W. Chuang, "Backscattering of a large rotating conducting cylinder of arbitrary cross section", *IEEE Trans on Ant. and Propagat.*, vol. 27, pp. 92-95, Jan. 1979.

[4] C. E. Ryan, Jr., and R. C. Rudduck, "Radiation patterns of rectangular waveguides", *IEEE Trans on Ant. and Propagat.*, vol. 10, p. 488, Jul. 1968.

[5] C. E. Ryan, Jr., and L. Peters, Jr., "Evaluation of edge diffracted fields including equivalent currents for the caustic regions", *IEEE Trans on Ant. and Propagat.*, vol. 17, pp. 292-299, May. 1969.

[6] F. A. Sikta, W. D. Burnside, T. T. Chu and L. Peters, Jr., "First-order equivalent current and corner diffraction scattering from flat plate structure", *IEEE Trans on Ant. and Propagat.*, vol. 31, pp. 584-589, Nov. 1983.

[7] R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak, "A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface", *Proc. IEEE*, vol. 62, pp. 1448-1461, Nov. 1974.

[8] D. A. McNamara, C. W. I. Pistorius and J. A. G. Malherbe, *Introduction to the uniform geometrical theory of diffraction*. London : Artech House. 1990.

## — 저 자 소 개 —



## 宣永植(正會員)

1967년 7월 17일생. 1990년 2월 동국대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 1992년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1994년 4월 이후 금성정보통신 재직. 1995년 11월 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 전파 전파 및 산란해석, 마이크로파 공학, 이동 및 위성통신, EMI/EMC 등임.

## 明魯勳(正會員)

1976년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1982년 12월 Ohio State Univ. 전기공학과(석사). 1986년 8월 Ohio State Univ. 전기공학과(박사). 1986년 9월 이후 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 재직. 주관심분야는 전파 전파 및 산란해석, 마이크로파 공학, 이동 및 위성통신, EMI/EMC/EMS 등임.  
(저자사진은 1994년 11월 전자공학회 논문지 제31권 A편 제11호 참조)