

높이가 다른 Shark-Fin 형태의 서레이션을 갖는 CATR의 특성 해석

Analysis of the CATR Equipped with the Novel Shark-Fin Shaped Serrations by the Height Modulation

최동원 · 최학근* · 박재현 · 임성빈**

Dong-Won Choi · Hak-Keun Choi* · Jae-Hyun Park · Seong-Bin Lim**

요 약

CATR(Compact Antenna Test Range)은 실내에서 반사판을 사용하여 균일 평면파를 제공하는 시험 시설이다. 반사판의 가장자리에서 발생하는 회절 전계는 균일 평면파의 리플(ripple)을 증가시키는 요인이 되기 때문에 CATR에서는 서레이션(serration)을 반사판의 가장자리에 부착하여 균일 평면파의 리플을 낮추게 된다. 일반적으로 서레이션의 회절 전계는 이중 적분으로 표현되는 프레넬 회절식(Fresnel diffraction formula)을 사용하여 해석하고, 서레이션 구조는 프레넬 회절식의 이중 적분 영역에 적용시키기 위해 푸리에 급수로 표현한다. 본 논문에서는 새로운 shark-fin 형태를 갖는 서레이션을 사용하였고, 제안된 서레이션에 인접한 서레이션의 높이에 차이를 주는 구조를 제안하였다. 기존 삼각형 구조의 서레이션과 새로운 shark-fin 구조의 서레이션을 비교하여 제안한 shark-fin 구조의 서레이션에서 quiet zone의 크기를 보다 넓힐 수 있음을 확인하였고, 인접 서레이션의 높이에 변화를 주었을 때 동일한 높이보다 리플이 낮아짐을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 shark-fin 형태의 높이가 다른 서레이션 구조는 CATR의 시험 영역에 리플이 낮은 균일 평면파를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

Abstract

The CATR(Compact Antenna Test Range) is a testing facility which is to provide the uniform plane wave by using the reflector. As the ripple of the uniform plane wave caused by the diffraction rays at the edge of the reflector, serrations are attached at the edge of the reflector to minimize the ripple of the uniform plane wave in the CATR. The diffraction field of the serration is normally analyzed by the Fresnel diffraction formula which is expressed as the double integration, and the structure of the serration is expressed as Fourier series to apply the double integration of the Fresnel diffraction formula. In this paper, the novel shark-fin shaped serrations which have the height modulation of the adjacent serrations are proposed. And the triangular serrations and the novel shark-fin shaped serrations are compared to confirm that the performance of the quiet zone by the shark-fin shaped serrations is better than by the triangular serrations. It is also confirmed that the novel shark-fin shaped serrations which have the height modulation of the adjacent serrations are lower ripple than which have the same height of the adjacent serrations. Accordingly, the novel shark-fin shaped serrations with the height modulation can be used at the edge of the reflector to provide the uniform plane wave in CATR.

Key words : Serration, CATR, Diffraction, Quiet Zone, Fresnel-Field

단국대학교 전자전기공학과(Department of Electronics & Electrical Engineering, Dankook University)

*단국대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Dankook University)

**한국항공우주연구원(Korea Aerospace Research Institute)

· 논문 번호 : 20091119-138

· 교신저자 : 최학근(e-mail : hkchoi@dankook.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 3월 24일

I. 서 론

CATR(Compact Antenna Test Range)은 외부 환경으로부터 영향을 받지 않기 위해 실내에서 안테나를 측정하는 시험 시설이다. CATR의 구성 요소 중 하나인 반사판은 근거리에서 안테나 측정이 가능하도록 균일 평면파(uniform plane wave)를 제공한다^{[1],[2]}. 일정한 위상과 진폭을 갖는 균일 평면파가 제공되는 영역을 quiet zone(시험 영역)이라 하며, 이 영역에 시험 안테나가 놓이기 때문에 균일 평면파에 진폭 및 위상 리플(ripple)이 거의 없도록 반사판이 설계되어야 한다.

하지만 급전 혼(feed horn)에서 복사된 전계 중 반사판의 가장자리에 도달되는 전계는 그림 1과 같이 회절되어 quiet zone에 리플을 증가시킨다. 리플을 줄이기 위해서는 반사판의 가장자리에서 발생하는 회절 전계를 quiet zone 이외의 공간으로 산란시켜야 한다. 그 방법으로는 반사판의 가장자리에 구부리는 rolled edge 타입과 반사판의 가장자리에 서레이션(serration)을 부착시키는 serrated edge 타입이 있다^{[3],[4]}. 반사판의 가장자리를 rolled edge 타입으로 하는 경우 제작 비용이 많이 든다는 단점이 있기 때문에 일반적으로 serrated edge 타입을 많이 사용하고 있다. Serrated edge 타입을 사용하여 반사판의 회절 전계를 해석하는 방법은 GTD(Geometrical Theory of Diffraction) 기법과 PO(Physical Optics) 기법 등이 있다^[5]. 이러한 방법들 중에 PO 기법을 사용하여 CATR의 회절 전계를 줄이기 위한 방법은 그동안 많은

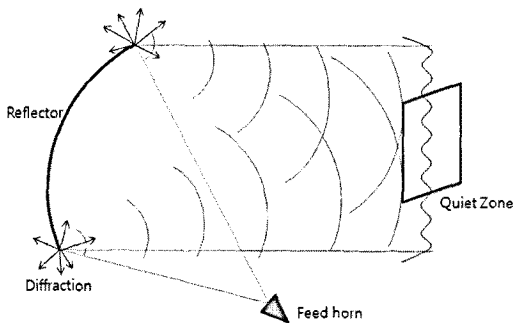


그림 1. 반사판 가장자리의 회절 현상
Fig. 1. Diffraction phenomena at the edge of the reflector.

연구자들에 의해 연구되었으며, 특히 T. Krishna 등은 삼각형의 윗부분을 작은 삼각형으로 변형시킬 경우, 리플이 줄어들 수 있음을 보였고^[6], P. Siddaiah는 삼각형 구조의 서레이션 높이를 점차적으로 높일 때 리플이 줄어들 수 있음을 보였다^[7].

본 논문에서는 CATR의 회절 전계를 감소시키기 위해 새로운 shark-fin 형태를 갖는 서레이션을 제안하고, 인접 서레이션의 높이에 변화를 주어 해석하였다. 서레이션의 해석은 Beekman이 PO 기법을 이용하여 서레이션을 해석한 방법을 사용하였다^[8]. 제안한 서레이션의 리플 특성을 확인하기 위하여 기존 삼각형 구조의 서레이션와 비교하였다. 그리고 제안한 서레이션에 인접한 서레이션의 높이에 변화를 주었을 때의 리플 특성을 확인하기 위하여 일정한 높이의 서레이션와 비교하였다. 또한 제안한 서레이션 구조에 적합한 서레이션 개수를 찾아 시험 영역의 리플 특성을 확인하였다.

II. 서레이션의 프레넬 회절 해석

Beekman이 제안한 서레이션 해석법을 설명하고, 해석에 필요한 적분 영역을 결정하기 위해 제안한 서레이션 구조를 푸리에 급수로 나타낸다.

2-1 프레넬 회절

그림 2는 프레넬 회절의 기하학 구조를 나타낸다. 서레이션은 x' 축과 y' 축 면상에서 존재하게 되고, 관측 거리 z 만큼 떨어진 xy 면상에 quiet zone이 위치하게 된다.

진행 방향에서의 평면파를 구하기 위한 헬름홀츠(Helmholtz) 방정식은

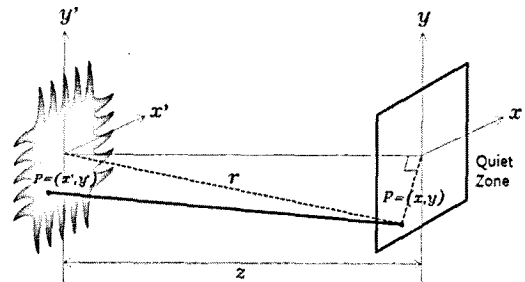


그림 2. 프레넬 회절의 기하학 구조
Fig. 2. Geometry of the Fresnel diffraction.

$$\nabla^2 E + k^2 E = 0 \quad (1)$$

이고, 해는 다음과 같이 나타낸다.

$$E(\mathbf{r}) = A(\mathbf{k})e^{-j\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}} \quad (2)$$

여기서 $A(\mathbf{k})$ 는 진폭을 나타내는 복소 벡터(complex vector), \mathbf{k} 는 파수 벡터(wavenumber vector), \mathbf{r} 은 위치 벡터(position vector)이며, 각각

$$A(\mathbf{k}) = A_x \mathbf{a}_x + A_y \mathbf{a}_y + A_z \mathbf{a}_z \quad (3)$$

$$\mathbf{k} = k_x \mathbf{a}_x + k_y \mathbf{a}_y + k_z \mathbf{a}_z = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4)$$

$$\mathbf{r} = x \mathbf{a}_x + y \mathbf{a}_y + z \mathbf{a}_z \quad (5)$$

이다. 식 (2)에서 $z=0$ 이고, x-편파라 가정할 때 개구면 전계분포(aperture field distribution)는

$$E_x(x, y, 0) = E_{ax}(x, y) \quad (6)$$

이 되고, 식 (2)를 $z \geq 0$ 에서 k_x 와 k_y 의 모든 성분에 대한 field 값을 적분형으로 나타내면

$$E_x(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A_x(k_x, k_y) \times e^{-j(k_x x + k_y y + k_z z)} dk_x dk_y \quad (7)$$

이 된다. 여기서 평면파 스펙트럼 $A_x(k_x, k_y)$ 와 개구면 전계분포 $E_{ax}(x, y)$ 는 2차 푸리에 변환 관계가 있기 때문에

$$A_x(k_x, k_y) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_{ax}(x, y) \times e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (8)$$

이다. 식 (4)는 $k_x^2 + k_y^2 \ll k^2$ 의 조건일 때

$$k_z \approx k - (k_x^2 + k_y^2) / 2k \quad (9)$$

로 근사화 시킬 수 있다. 근사화된 식 (9)를 식 (7)에 대입하면

$$E_x(x, y, z) = e^{-jkz} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A_x(k_x, k_y) \times e^{j(k_x x + k_y y) - j(k_x^2 + k_y^2)z / 2k} dk_x dk_y \quad (10)$$

이 된다. 프레넬 회절식을 얻기 위해서 식 (10)에 컨볼루션 정리(convolution theorem)

$$F\{x(t) \cdot y(t)\} = F\{x(t)\} * F\{y(t)\} \quad (11)$$

를 적용한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A_x(k_x, k_y) e^{-j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y = E_{ax}(x, y) \quad (12)$$

와

$$F\{e^{jz(k_x^2 + k_y^2)/2k}\} = \frac{jk}{z} e^{-jk(x^2 + y^2)/2z} \quad (13)$$

의 푸리에 변환을 하게 되면 식 (10)은

$$E_x(x, y, z) = e^{-jkz} E_{ax}(x, y) * \frac{jk}{z} e^{-jk(x^2 + y^2)/2z} \quad (14)$$

이 된다. 여기서 $F\{\}$ 는 푸리에 변환 연산자(Fourier transform operator)이다. 컨볼루션은

$$X * Y \triangleq \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(v_1, v_2) \times Y(\omega_1 - v_1, \omega_2 - v_2) dv_1 dv_2 \quad (15)$$

을 사용하여 정리하면 프레넬 회절식은

$$E_x(x, y, z) = \frac{j}{\lambda z} e^{-jkz} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_{ax}(x', y') \times e^{-jk\{(x-x')^2 + (y-y')^2\}/2z} dx' dy' \quad (16)$$

이 된다.

2-2 서레이션의 프레넬 회절

프레넬 회절식 (16)에서 개구면 분포를 나타내는 $E_{ax}(x', y')$ 를 E_0 로 나타내고, 서레이션 구조를 적분 구간에 적용하여 나타내면

$$E_x(x, y, z) = \frac{j}{\lambda z} e^{-jkz} \int_{h^-(x')}^{h^+(x')} \int_{g^-(y')}^{g^+(y')} E_0 \times e^{-jk\{(x-x')^2 + (y-y')^2\}/2z} dx' dy' \quad (17)$$

이 된다.

그림 3은 서레이션을 푸리에 급수로 표현하기 위한 파라미터를 나타낸다. $h^+(x')$, $h^-(x')$, $g^+(y')$, $g^-(y')$ 는 서레이션의 각각의 4개 면을 표현하는 함수이고, aa , bb 는 반사판의 가로, 세로 길이를 나타낸다. 식 (17)의 이중 적분식 표현에서 x' 의 적분 구간은 y' 값에 따라 결정되고, y' 의 적분 구간은 x' 값에 따라 결정되기 때문에 이중 적분을 해석하기 어렵다. 따라서 이중 적분 표현을 세 부분으로 나누어

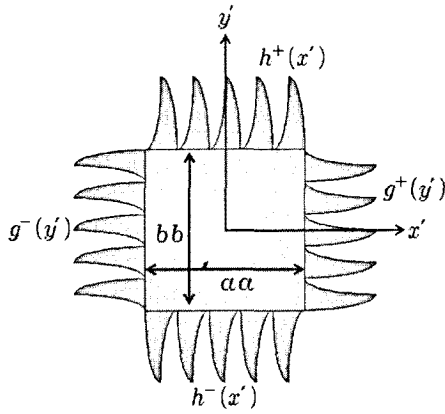


그림 3. 서레이션의 파라미터
Fig. 3. Parameters of the serration.

다음과 같이 나타낸다.

$$\int_{h^-(x')}^{h^+(x')} \int_{g^-(y')}^{g^+(y')} f(x', y') dx' dy' = A + B - C \quad (18)$$

여기서 A, B, C는 각각 다음과 같다.

$$A = \int_{-\frac{bb}{2}}^{\frac{bb}{2}} \int_{g^-(y')}^{g^+(y')} f(x', y') dx' dy' \quad (19)$$

$$B = \int_{h^-(x')}^{h^+(x')} \int_{-\frac{aa}{2}}^{\frac{aa}{2}} f(x', y') dx' dy' \quad (20)$$

$$C = \int_{-\frac{bb}{2}}^{\frac{bb}{2}} \int_{-\frac{aa}{2}}^{\frac{aa}{2}} f(x', y') dx' dy' \quad (21)$$

단, $f(x', y') = E_0 e^{-jk(x-x')^2/2z} e^{-jk(y-y')^2/2z}$ 이다.

그림 4는 서레이션을 세 부분으로 나누는 구조를 나타낸다.

식 (17)을 A, B, C를 사용하여 표현하면

$$E_x(x, y, z) = \frac{jE_0}{\lambda z} e^{-jkz} (I_1 + I_2 - I_3) \quad (22)$$

이 된다. 여기서 I_1, I_2, I_3 는 세 부분으로 나누어진 서레이션의 적분함수로

$$I_1 = \int_{-\frac{bb}{2}}^{\frac{bb}{2}} \int_{g^-(y')}^{g^+(y')} e^{-jk \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{2z}} dx' dy' \quad (23)$$

$$I_2 = \int_{h^-(x')}^{h^+(x')} \int_{-\frac{aa}{2}}^{\frac{aa}{2}} e^{-jk \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{2z}} dx' dy' \quad (24)$$

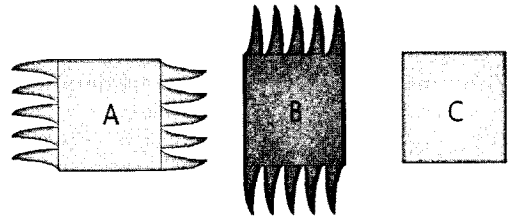


그림 4. 서레이션 분해(A, B, C)
Fig. 4. Decomposition of the serration(A, B, C).

$$I_3 = \int_{-\frac{bb}{2}}^{\frac{bb}{2}} \int_{-\frac{aa}{2}}^{\frac{aa}{2}} e^{-jk \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{2z}} dx' dy' \quad (25)$$

이다.

2-3 서레이션 구조

본 논문에서 제안하는 서레이션 구조는 그림 5와 같이 높이가 다른 shark-fin 형태이고, 푸리에 급수로 나타낸다.

삼각함수를 사용한 푸리에 급수의 기본 형식은

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cos \frac{n\pi x}{L} + B_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right] \quad (26)$$

이다. 여기서 계수 A_n 과 B_n 은

$$A_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(t) \cos \frac{n\pi t}{L} dt \quad (27)$$

$$B_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(t) \sin \frac{n\pi t}{L} dt \quad (28)$$

이고, A_0 는 계수 A_n 에 $n=0$ 을 대입한 값으로

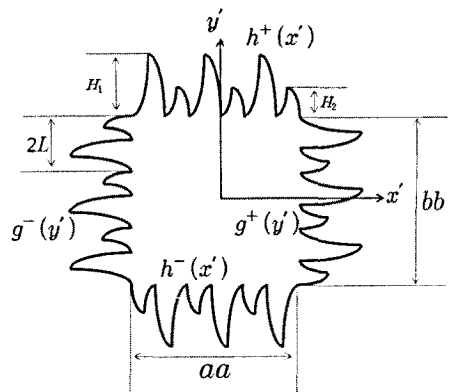


그림 5. 서레이션 구조
Fig. 5. Structure of the serration.

$$A_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(t) dt \quad (29)$$

이다.

반사판의 가로와 세로의 길이가 같을 때 $h^+(x')$ 와 $g^+(y')$ 그리고 $h^-(x')$ 와 $g^-(y')$ 는 같은 식으로 표현되고, x', y' 의 차이만 있게 된다. 따라서 수식은 $h^+(x'), h^-(x')$ 만 나타내도록 한다. 반사판의 위쪽 서레이션을 나타내는 $h^+(x')$ 는

$$h^+(x') = -\frac{bb}{2} + \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos \frac{n\pi x'}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x'}{L} \right] \quad (30)$$

로 나타낸다. 여기서 계수 a_m, b_m, a_0 는

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f_1(x') \cos \frac{n\pi x'}{L} dx' \quad (31)$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f_1(x') \sin \frac{n\pi x'}{L} dx' \quad (32)$$

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f_1(x') dx' \quad (33)$$

이다. 단, $f_1(x')$ 는 반사판 위쪽 서레이션 $h^+(x')$ 를 표현하는 함수로

$$f_1(x') = \begin{cases} H_1 \cos x' + H_1 & \left(-\pi < x' < -\frac{\pi}{2} \right) \\ -H_1 \sin x' & \left(-\frac{\pi}{2} < x' < 0 \right) \\ -H_2 \cos x' + H_2 & \left(0 < x' < \frac{\pi}{2} \right) \\ H_2 \sin x' & \left(\frac{\pi}{2} < x' < \pi \right) \end{cases} \quad (34)$$

이다.

반사판의 아래쪽 서레이션을 나타내는 $h^-(x')$ 는

$$h^-(x') = -\frac{bb}{2} - \frac{c_0}{2} - \sum_{n=1}^{\infty} \left[c_n \cos \frac{n\pi x'}{L} + d_n \sin \frac{n\pi x'}{L} \right] \quad (35)$$

로 나타낸다. 여기서 계수 c_m, d_m, c_0 는

$$c_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f_2(x') \cos \frac{n\pi x'}{L} dx' \quad (36)$$

$$d_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f_2(x') \sin \frac{n\pi x'}{L} dx' \quad (37)$$

$$c_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f_2(x') dx' \quad (38)$$

이다. 단, $f_2(x')$ 는 반사판 아래쪽 서레이션 $h^-(x')$ 를 표현하는 함수로

$$f_2(x') = \begin{cases} -H_2 \sin x' & \left(-\pi < x' < -\frac{\pi}{2} \right) \\ H_2 - H_2 \cos x' & \left(-\frac{\pi}{2} < x' < 0 \right) \\ H_1 \sin x' & \left(0 < x' < \frac{\pi}{2} \right) \\ H_1 + H_1 \cos x' & \left(\frac{\pi}{2} < x' < \pi \right) \end{cases} \quad (39)$$

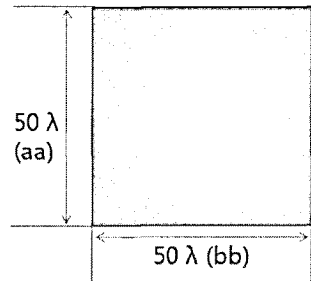
이다.

III. 수치 계산 및 검토

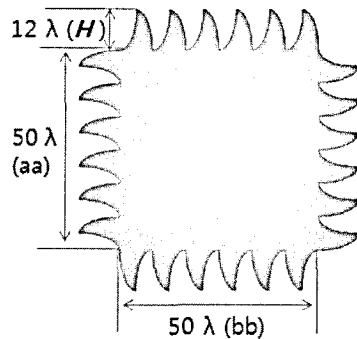
3-1 서레이션 유무에 따른 패턴 변화

반사판의 가장자리를 Serrated edge 타입으로 설계할 경우, 회절 전계의 리플을 줄일 수 있는지 확인하기 위하여 반사판에 서레이션이 있을 때와 없을 때의 진폭 패턴과 위상 패턴을 비교한다.

그림 6은 서레이션이 없을 때와 서레이션이 있을

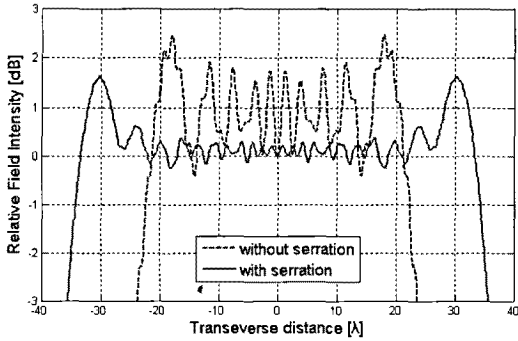


(a) 서레이션이 없는 반사판
(a) Reflector without serrations

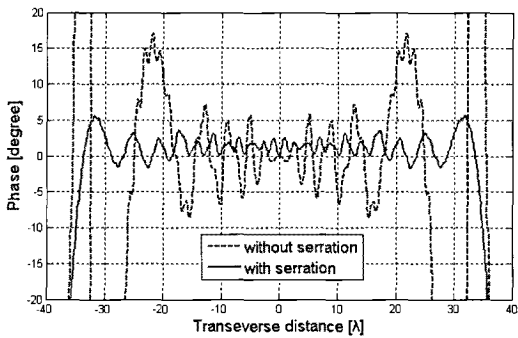


(b) 서레이션이 있는 반사판
(b) Reflector with serrations

그림 6. 서레이션 유무에 따른 개구면의 구조
Fig. 6. Structures of reflector with or without serrations.



(a) 진폭 패턴
(a) Amplitude patterns



(b) 위상 패턴
(b) Phase patterns

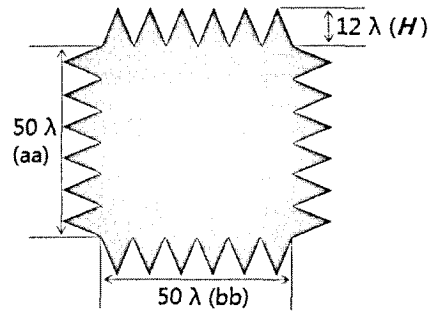
그림 7. 서레이션 유무에 따른 패턴 비교
Fig. 7. Patterns comparison with or without serrations.

때의 반사판 구조를 나타낸다. 해석을 위한 반사판의 크기 $aa \times bb$ 는 $50 \lambda \times 50 \lambda$, 서레이션의 높이 H 는 CATR의 크기를 고려하여 반사판 크기의 1/4 이하 길이인 12λ , 서레이션의 개수는 6개, 관측 거리 z 는 64λ 로 한다.

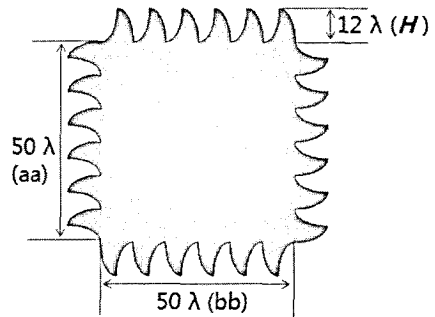
그림 7은 서레이션 유무에 따른 진폭 및 위상 패턴을 나타낸다. 서레이션이 있을 때 진폭 리플과 위상 리플이 모두 서레이션이 없을 때보다 낮게 나타남을 확인하였다. 이 결과로 서레이션이 quiet zone에 입사되는 회절 전계를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

3-2 기존 삼각형 구조의 서레이션과 제안한 Shark-Fin 형태의 서레이션 비교

본 논문에서 제안한 shark-fin 형태의 서레이션과 기존 삼각형 구조의 서레이션을 동일한 조건에서 해석하여 진폭 패턴과 위상 패턴을 비교한다. 동일한



(a) 삼각형 구조의 서레이션
(a) Structure of the triangular serrations



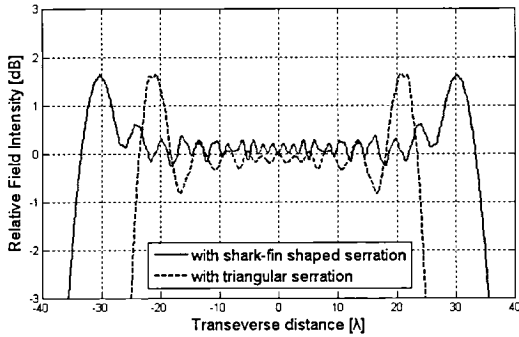
(b) Shark-fin 구조의 서레이션
(b) Structure of the shark-fin shaped serration

그림 8. 서레이션을 포함한 반사판
Fig. 8. The reflector with serrations.

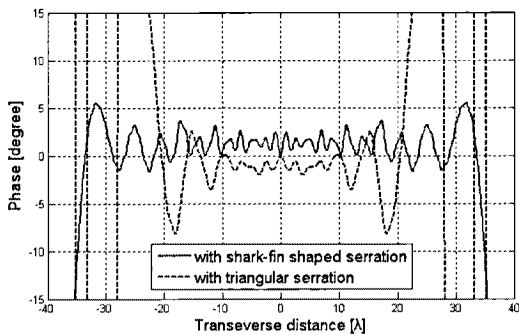
조건으로서 반사판의 크기 $aa \times bb$ 는 $50 \lambda \times 50 \lambda$, 서레이션의 높이 H 는 CATR의 크기를 고려하여 반사판 크기의 1/4 이하 길이인 12λ , 서레이션의 개수는 6개, 관측 거리 z 는 64λ 로 한다. 그림 8은 기존 삼각형 구조의 서레이션을 포함하는 반사판과 본 논문에서 제안한 shark-fin 형태의 서레이션을 포함하는 반사판을 나타낸다.

그림 9는 기존 삼각형 구조의 서레이션과 제안한 shark-fin 형태의 서레이션의 진폭 및 위상 패턴을 나타낸다. 동일한 조건에서 shark-fin 형태의 서레이션이 기존 삼각형 구조의 서레이션보다 낮은 리플을 갖는 영역이 넓게 나타남을 확인할 수 있다. 이 결과는 반사판의 가장자리에 shark-fin 형태의 서레이션을 사용할 경우 CATR의 quiet zone을 넓힐 수 있음을 나타낸다.

3-3 인접 서레이션의 높이 변화에 따른 패턴 변화



(a) 진폭 패턴
(a) Amplitude patterns

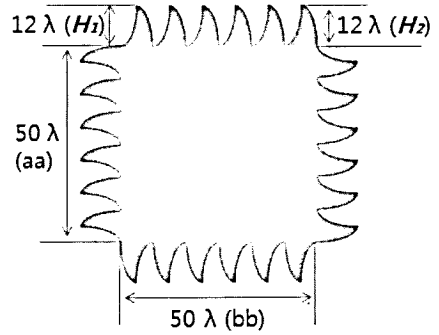


(b) 위상 패턴
(b) Phase patterns

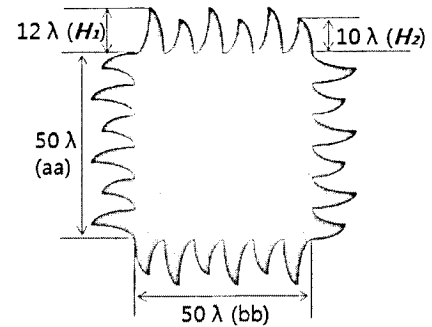
그림 9. 삼각형 구조와 shark-fin 구조의 패턴 비교
Fig. 9. Patterns comparison with triangular and shark-fin shaped serrations.

CATR에서의 회절 전개 특성은 서레이션의 구조에 따라 달라진다^{[9]~[11]}. 그러므로 제한한 서레이션에 인접한 서레이션의 높이 변화에 따른 회절 전개 특성을 확인하기 위하여 서레이션의 높이가 일정할 때와 높이 차이가 있을 때를 비교한다. 주어진 조건으로서 반사판의 크기 $aa \times bb$ 는 $50 \lambda \times 50 \lambda$, 서레이션의 개수는 6개, 서레이션의 기준 높이 H_1 는 12λ , 관측 거리 z 는 64λ 로 하고, 변화된 높이 H_2 는 10λ , 12λ , 14λ 로 변화시키며 해석한다.

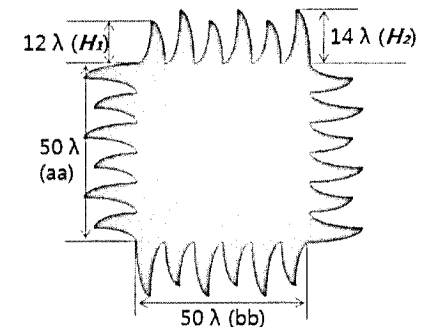
CATR은 구조에 따라 quiet zone의 특성은 다르지만 일반적으로 반사판 크기의 약 80%를 quiet zone으로 사용하며, quiet zone의 진폭 리플은 약 ± 0.5 dB, 위상 리플은 약 ± 5 degree의 오차 범위를 갖는다^{[12]~[15]}. 따라서 반사판 크기의 80%인 40λ 를 quiet zone으로 설정하여 높이 변화에 따른 진폭 및 위상 패턴을 그림 11에 나타냈다.



(a) 변화된 높이가 12λ 일 때의 서레이션
(a) The serrations with $H_2=12 \lambda$



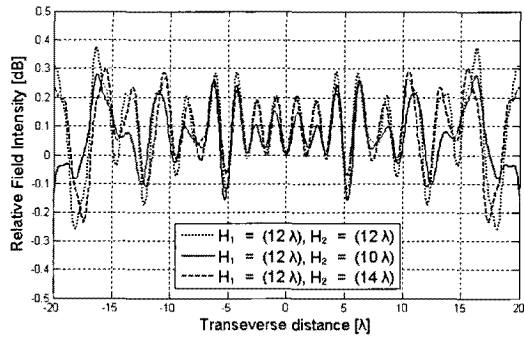
(b) 변화된 높이가 10λ 일 때의 서레이션
(b) The serrations with $H_2=10 \lambda$



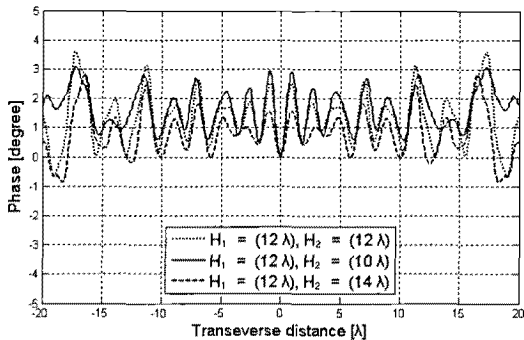
(c) 변화된 높이가 14λ 일 때의 서레이션
(c) The serrations with $H_2=14 \lambda$

그림 10. 서레이션을 포함한 반사판
Fig. 10. The reflector with serrations.

H_2 의 높이가 다른 3가지의 경우를 비교한 결과, 일정한 높이의 서레이션보다 높이에 변화가 있는 서레이션에서 진폭 및 위상 리플이 낮아짐을 확인하였다. 변화된 높이 H_2 가 10λ 로 기준 높이 12λ 보다 낮아졌음에도 리플이 낮아지는 것은 인접 서레이션의 높이에 변화를 주는 구조가 리플을 줄일 수 있음



(a) 진폭 패턴
(a) Amplitude patterns



(b) 위상 패턴
(b) Phase patterns

그림 11. 서레이션 높이 변화에 따른 패턴 비교
Fig. 11. Patterns comparison with serrations height modulation.

표 1. 서레이션의 변화 높이에 따른 리플 특성
Table 1. Ripple performances of the serrations by the height modulation.

H_2	진폭 리플	위상 리플
10λ	약 ± 0.21 dB	약 ± 1.53 degree
12λ	약 ± 0.31 dB	약 ± 2.12 degree
14λ	약 ± 0.26 dB	약 ± 1.84 degree

을 의미한다.

3.4 서레이션 개수 변화에 따른 패턴 변화

서레이션 개수를 4개, 6개, 8개로 변화시키며 해석하여 본 논문에서 제안한 서레이션 구조에 적합한 서레이션 개수를 확인한다. 서레이션 개수를 제외하 주어진 조건으로서 반사판 크기 $aa \times bb$ 는 $50\lambda \times 50\lambda$, 서레이션 기준 높이 H_1 는 12λ , 서레이션 변화 높

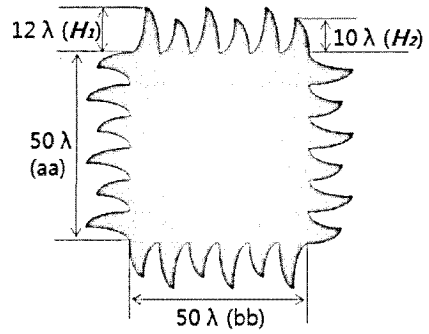
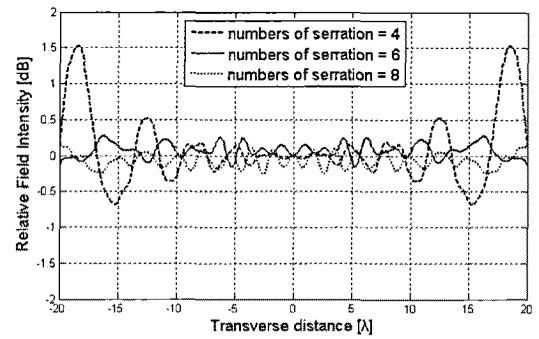
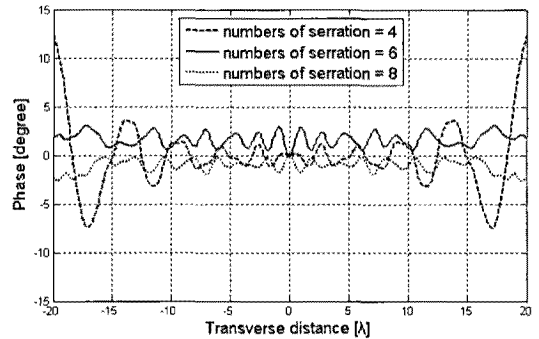


그림 12. 서레이션이 6개일 때의 반사판 구조
Fig. 12. Structure of the reflector with six serrations.



(a) 진폭 패턴
(a) Amplitude patterns



(b) 위상 패턴
(b) Phase patterns

그림 13. 서레이션 개수 변화에 따른 패턴 비교
Fig. 13. Patterns comparison with numbers of the serrations.

이 H_2 는 10λ , 관측 거리 z 는 64λ 이다. 그림 12는 각 측면당 서레이션이 6개가 포함된 반사판의 구조를 나타내고, 그림 13은 서레이션 개수 변화에 따른 진폭 패턴과 위상 패턴을 나타낸다.

그림 13에서 서레이션의 개수가 4개일 때의 리플

특성은 quiet zone의 중심 부분에는 리플이 낮지만 외곽으로 갈수록 리플이 높게 나타났고, 서레이션 개수가 6개일 때는 quiet zone의 모든 영역에서 리플이 낮게 나타남을 확인하였다. 서레이션이 8개일 때는 서레이션의 개수만 증가할 뿐 리플 특성은 서레이션이 6개일 때와 비슷한 결과를 확인하였다. 낮은 리플 특성을 만족하는 서레이션 개수는 6개와 8개이지만 제작상의 편의를 고려한다면 서레이션의 개수가 적은 6개가 적합할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CATR의 반사판 가장자리에서 발생하는 회절 전계를 줄이기 위해, 새로운 shark-fin 구조를 갖는 서레이션을 사용하고, 인접 서레이션의 높이에 차이를 주는 구조를 제안하였다. 서레이션의 해석은 이중 적분으로 표현되는 프레넬 회절식을 사용하였고, 이중 적분 영역을 나타내기 위해 제안한 서레이션 구조를 푸리에 급수로 표현하였다. 반사판에 서레이션을 부착했을 때 균일 평면파의 리플이 낮아지는지 확인하기 위하여 서레이션 유무에 따른 진폭 및 위상 패턴을 비교하였고, 그 결과로 균일 평면파의 리플이 낮아짐을 확인하였다. 새로운 shark-fin 형태의 서레이션과 기존 삼각형 구조의 서레이션을 비교하여 shark-fin 형태의 서레이션이 quiet zone을 보다 넓힐 수 있음을 확인하였다. 또한 제안한 서레이션에 인접한 서레이션 높이에 변화를 주었을 때 일정한 높이의 서레이션보다 리플이 낮아지는 결과를 확인하였다.

이상으로 반사판의 가장자리에 새로운 형태의 shark-fin 구조를 사용하고, 인접 서레이션의 높이에 차이를 줄 경우 리플이 낮은 균일 평면파를 CATR의 시험 영역에 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] W. H. Kummer, E. S. Gillespie, "Antenna measurements-1978", *Proc. IEEE*, vol. 66, no. 4, pp. 483-507, Apr. 1978.
 [2] R. C. Johnson, H. A. Ecker, and J. S. Hollis, "Determination of far-field antenna patterns from near-field measurements", *Proc. IEEE*, vol. 61, no. 12,

pp. 1668-1694, Dec. 1973.

[3] T. H. Lee, W. D. Burnside, "Performance trade-off between serrated edge and blended rolled edge compact range reflectors", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, no. 1, pp. 87-96, Jan. 1996.
 [4] S. W. Ellingson, I. J. Gupta, and W. D. Burnside, "Analysis of blended rolled edge reflectors using numerical UTD", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 38, no. 12, pp. 1969-1971, Dec. 1990.
 [5] Y. R. Samii, "A comparison between GO/aperture-field and physical-optics methods for offset reflectors", *IEEE. Antennas and Prop.*, vol. AP-32, no. 3, Mar. 1984.
 [6] T. V. R. Krishna, P. Siddaiah, and B. P. Rao, "Performance analysis of CATR reflector with segmented triangular serrated edges", *IET-UK International Conference on ICTES 2007*, pp. 991-995, Dec. 2007.
 [7] P. Siddaiah, P. V. Subbaiah, "Performance of compact antenna test range reflectors employing width and height modulated triangular serrations", *Journal of the Institution of Engineers-ET*, vol. 84, pp. 38-41, Jul. 2003.
 [8] P. A. Beeckman, "Prediction of the fresnel region field of a compact antenna test range with serrated edges", *IEE Proc.*, vol. 133, no. 2, pp. 108-114, Apr. 1986.
 [9] T. V. R. Krishna, P. Siddaiah, and B. P. Rao "Visibility of convex-modulated exponential serrations for improved performance of CATRs", *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, pp. 2221-2224, Mar. 2007.
 [10] T. V. R. Krishna, P. Siddaiah, and B. P. Rao, "Performance analysis of CATR reflector with super hybrid modulated segmented exponential serrated edges", *International Journal of Electrical, Computer, and Systems Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 177-182, 2007.
 [11] T. V. R. Krishna, P. Siddaiah, and B. P. Rao, "Performance comparison between nonidentical seg-

mented exponential concave and nonidentical segmented exponential convex serrated CATRs", *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2008, Article ID. 756060, p. 6, 2008.

[12] J. Hartmann, D. Fasold, "Improvement of compact range by design of optimized serrations", *Proc. AP2000 Millennium Conference on Antennas & Propagation*, Davos, Switzerland, 2000.

[13] C. G. Parini, M. Philippakis, "Use of quiet zone prediction in the design of compact antenna test ranges", *Proc. IEE Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 143, no. 3, pp. 193-199, Jun. 1996.

[14] <http://www.aero-microwave.com>, "2004 Satellite Antenna Testing"

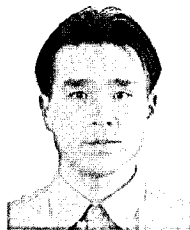
[15] http://www.elec.qmul.ac.uk/research/projects/tri-reflector_catr.html

최 동 원



2008년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 2008년 8월~현재: 단국대학교 전자전기공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파

박 재 현



1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2009년 9월~현재: 단국대학교 전자전기공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 교수

2006년 7월~현재: 단국대학교 공학교육혁신센터장
 1989년 3월~현재: (주) 하이게인 안테나 기술고문
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

임 성 빈



1988년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
 1994년 3월~현재: 한국항공우주연구원 책임연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 위성시스템의 EMC 설계