

論文95-32A-9-13

수정곡면 옴셀 복 반사판 안테나의 복사특성 해석-I : 부반사판 해석

(Analysis of a Shaped Dual Offset Reflector Antenna-I : Subreflector Analysis)

林奎汰*, 李相高*

(Kuytae Lim and Sang Seol Lee)

요약

수정곡면 옴셀 복 반사판 안테나의 부반사판 복사특성을 UTD를 이용하여 해석한다. 이산적인 부반사판 곡면 프로파일은 종합 보간법에 의하여 해석적 함수로 변환된다. 극지 보간법을 이용하여 반사판 면에서의 일차 및 이차 미분값을 구한다. 기하광학 해석에 필요한 반사점은 다차원 함수 최소화 알고리즘을 이용하여 구한다. 그레고리언형의 수정곡면 부반사판에 대한 복사 패턴 계산결과가 제시된다. 다양한 급전 엣지 테이퍼에 대한 복사 특성 변화를 고찰한다.

Abstract

The radiation characteristics of the subreflector of a shaped dual offset reflector antenna are analyzed by the uniform theory of diffraction(UTD). The discrete shaped subreflector profile is transformed into an analytic function by the global interpolation. To obtain the first and the second derivative terms on the surface, the local interpolation method is used. The reflection point needed for the geometrical optics(GO) is found by using the multi-dimensional function minimizing algorithm. The radiation pattern of a Gregorian type shaped subreflector is presented. The characteristics of the radiation patterns for various feed edge taperings and frequencies are examined.

I. 서론

통신위성과 레이더 시스템에서 고효율 안테나를 필요로 함에 따라 수정곡면 옴셀 복 반사판 안테나의 설계 방식에 대해 많은 연구들이 수행되어 왔다^[1-3]. 포물면의 주반사판과 쌍곡면 또는 타원면의 부반사판으로 구성되는 기존의 옴셀 복 반사판 안테나(classical dual offset reflector antenna)에 비해, 수정곡면

옴셀 복 반사판 안테나(shaped dual offset reflector antenna)는 반사판 곡면들을 적절히 설계함으로써 원하는 복사 특성을 얻을 수 있고, 급전 혼의 특성에 따라 최적의 효율을 얻을 수 있도록 설계가 가능하다는 장점이 있다. 반면 수정곡면 반사판의 복사특성의 해석에 관한 연구는 상대적으로 활발하지 못하였고, 주로 단일 반사판 안테나에 대해서 연구되어 왔다^[4,5].

이 논문에서는 수정곡면 복 반사판 안테나의 부반사판의 복사특성을 이론적으로 해석한다. 부반사판에서 산란되어 주반사판에 도달하는 전계는 안테나 스펙터와 원거리 복사 패턴의 부엽준위에 영향을 끼치기 때문에 정확하게 계산되어야 한다. 이 논문에서는

* 正會員, 漢陽大學校 電子通信工學科

(Dept. of Elec. Comm. Eng., Hanyang Univ.)

接受日字: 1995年3月20日, 수정완료일: 1995年9月11日

UTD(Uniform Theory of Diffraction)를 이용하여 복사패턴을 계산한다. 이 방법은 또다른 반사판 해석법인 PO(Physical Optics)^[5-7]보다 넓은 영역의 관측각에 대해 정확한 복사특성을 제공하기 때문에 부반사판 해석에 적합하다.

연속함수가 아닌 이산적인 위치 데이터들로 표현된 수정곡면 부반사판의 곡면은 종합 보간법(Global Interpolation)^[4,8]에 의하여 연속함수로 표현한다. UTD해석법은 반사판의 기하학적 특성을 기초로 반사파와 회절파를 구하는 방법이기 때문에 반사점과 회절점에서 일차 및 이차 미분값을 구해야 한다^[9,10]. 종합 보간법으로는 고차 미분값을 계산하기 어렵기 때문에 국지 보간법(Local Interpolation)^[8]을 이용하여 효율적으로 일차 및 이차 도함수 성분을 구한다.

수정곡면 복 반사판 안테나는 기존의 복 반사판 안테나와는 달리 부반사판에서 반사된 반사파가 초점을 지나지 않기 때문에 반사점을 찾기가 어렵다. 이 연구에서는 반사점을 정확하게 찾기 위하여 다차원 함수 최소화 엘거리즘인 수정된 Powell방법(modified Powell method)^[11]을 이용한다. 일단 반사점과 회절점이 구해지면 반사파와 회절파는 경로 길이와 각 점의 기하학적 특성으로부터 계산된다.

원형 개구면을 갖도록 설계된 수정곡면 옴셀 그레고리안 안테나^[13]의 부반사판에 대한 복사패턴을 계산한다. 여러 주파수와 급전 엠티테이퍼에 대한 복사패턴의 변화를 고찰함으로써, 실제 위성통신에서 다중 링크에 따른 복사패턴 변화를 고찰한다.

II. 부반사판의 기하학적 특성

1. 종합 보간법에 의한 곡면 표현

수정곡면 옴셀 복 반사판 안테나 시스템은 개구면에 서 균일한 위상과 이상적인 전계분포를 갖도록 설계되기 때문에 원하는 안테나 복사특성과 효율을 얻을 수 있다. 개구면의 전계분포가 대칭을 이루도록 설계될 경우에는 기존의 옴셀 복 반사판 안테나와 달리 혼 축, 부반사판 축 그리고 주반사판의 축을 서로 기울이지 않아도 교차편파를 줄일 수 있다.

그림 1은 수정곡면 복 반사판 안테나의 구조를 나타내고 있다. 비록 주반사판이나 부반사판이 공통의 초점을 갖고 있지는 않지만 해석을 위하여 임의로 좌표계 (x, y, z) 를 잡고 이를 주좌표계로 정의한다. 또한 부반

사판의 해석을 위하여 급전점을 중심으로 하는 부좌표계 (x', y', z') 를 정의한다. 주좌표계에서 급전점의 좌표는 (x_s, y_s, z_s) 이다. 부반사판을 나타내는 임의의 곡면 함수는 주좌표계에서 다음과 같이 표현된다.

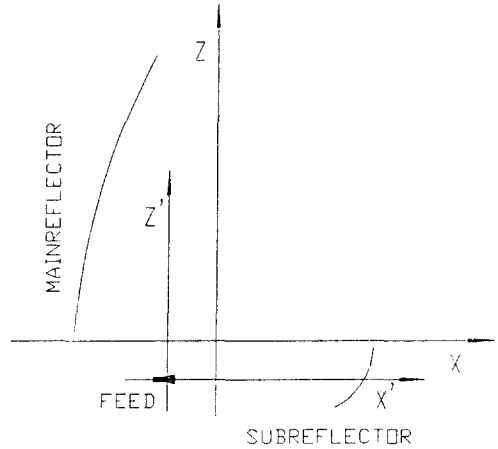


그림 1. 수정곡면 복 반사판 안테나 시스템
Fig. 1. A shaped dual offset reflector antenna system.

$$z = f(x, y) \tag{1}$$

그러나 반사판 설계 결과 얻어지는 곡면은 이산적 데이터로 주어지기 때문에 그대로 식(1)과 같이 나타낼 수 없다. 뿐만 아니라 설계결과 추출된 데이터의 간격이 균일하지 않기 때문에 큐빅보간법(cubic spline)을 적용할 수 없다. 여기서는 종합 보간법을 이용하여 곡면함수를 급수형태로 나타낸다. 종합 보간법은 이산적으로 이루어진 곡면데이터를 급수형태의 해석 함수(analytic function)로 나타내는 방법이다. 기본함수를 어떻게 선택하는가에 따라 급수함수의 수렴성과 정확도가 결정된다. 여기서는 JPS함수(Jacobi polynomial-sinusoidal function)를 기본함수로 선택하였다^[8]. 이 방법은 반사판 곡면과 같이 변화가 심하지 않은 함수를 급수 전개할 때 빠르게 수렴하는 성질을 갖는다.

부좌표계에서 JPS함수를 이용하여 부반사판의 곡면을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r'(\theta', \phi') = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_{nm}^{e, \theta} F_m^n(\theta') \begin{pmatrix} \cos \phi' \\ \sin \phi' \end{pmatrix} \tag{2}$$

여기서 (r', θ', ϕ') 은 부좌표계에서의 구면좌표 성분이며, Jacobi 다항식은

$$F_m^n(\theta) = \sqrt{2(n+2m+1)}P_m^{(n,0)}(1-2\theta^2)\theta^n \quad (3)$$

$$z = f(x(\theta', \phi'), y(\theta', \phi')) \quad (5)$$

로 정의되고

$$P_m^n(s) = \frac{(-1)^m(1-s)^{-n}}{2^m m!} \frac{d^m}{ds^m} \left[\frac{(1-s)^{m+n}}{(1+s)^m} \right] \quad (4)$$

이다. 급수 전개계수 $a_{mn}^{s,o}$ 는 기본 함수의 직교성을 이용하여 구할 수 있으며, 일단 계수가 구해지면 식(2)에 의해 표현된 곡면 함수는 해석적 성질을 갖게 된다. 이 논문에서는 원형 개구면을 갖도록 설계된 그레고리언형 음셀 수정곡면 반사판 안테나의 부반사판을 해석한다. 표 1은 설계된 부반사판의 곡면을 나타내는 계수이다^[12]. 급수의 차수는 8×8 이다.

표 1. 수정곡면 부반사판을 나타내기 위한 계수

Table 1. Coefficients for representing the shaped subreflector.

m	n	a_{mn}	m	n	a_{mn}
0	0	0.698353206983701	4	0	-0.000010269908225
0	1	0.046104276096558	4	1	-0.000000801302303
0	2	0.001679455261929	4	2	-0.000001680779434
0	3	0.000065040876101	4	3	-0.000000043747232
0	4	0.000002392254124	4	4	-0.00000000196162
0	5	0.000000111575778	4	5	-0.000000002664627
0	6	0.000000024121713	4	6	0.000000002380245
0	7	0.000000010360153	4	7	0.000000002562599
1	0	0.004937780649999	5	0	-0.000004272982463
1	1	0.000527874417252	5	1	-0.000000333120776
1	2	0.000011252511308	5	2	-0.000001090672410
1	3	0.000000388083808	5	3	-0.000000024939589
1	4	0.000000011454540	5	4	-0.000000001295242
1	5	-0.000000006065764	5	5	-0.000000005297576
1	6	0.000000011889722	5	6	0.000000001729721
1	7	0.000000012391339	5	7	-0.000000000343573
2	0	0.000161164041072	6	0	-0.000002069007898
2	1	0.000017175365750	6	1	-0.000000154299907
2	2	-0.000004574479611	6	2	-0.000000754727990
2	3	-0.000000189930529	6	3	-0.000000018641119
2	4	-0.000000012622103	6	4	-0.000000006021007
2	5	-0.000000001689285	6	5	-0.000000001961037
2	6	0.000000009421368	6	6	0.000000001592096
2	7	0.000000009962810	6	7	0.000000002234159
3	0	-0.000023627097345	7	0	-0.000001179334699
3	1	-0.000001712744782	7	1	-0.000000062055563
3	2	-0.000002835122517	7	2	-0.000000549000718
3	3	-0.000000091108899	7	3	-0.000000011587968
3	4	-0.000000006166761	7	4	-0.000000001757946
3	5	0.000000003510483	7	5	-0.000000001469964
3	6	0.000000004550919	7	6	0.000000003503658
3	7	0.000000008985428	7	7	0.000000003782478

이렇게 표현된 곡면함수는 부좌표계로 정의되어 있기 때문에 다시 주좌표계로 변환되어야 한다. 또한 급수함수가 구면좌표계로 표현되어 있기 때문에 직각좌표계로 변환하는 과정이 필요하다. 따라서 곡면 함수는 다음과 같이 표현된다.

그림 2는 종합 보간법에 의해 표현된 부반사판의 곡면이다. 설계된 안테나가 좌우 대칭형이기 때문에 y가 양수인 영역의 곡면만을 나타내었으며, 반사판 경계 밖의 곡면은 나타내지 않았다.

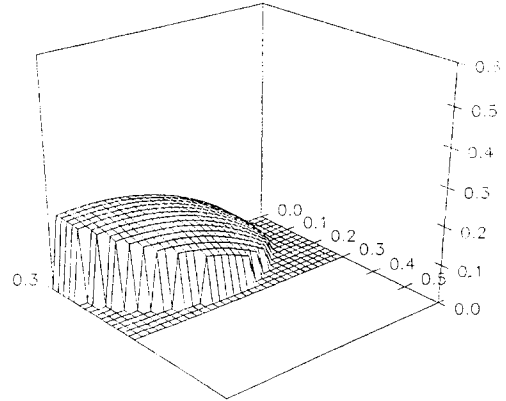


그림 2. 종합보간법에 의해 표현된 수정곡면 부반사판

Fig. 2. The shaped subreflector represented by the global interpolation.

2. 국지 보간법에 의한 곡면의 도함수 계산

비록 종합 보간법에 의하여 곡면 함수 $f(x, y)$ 가 구해졌다 하더라도, UTD에 의하여 기하광학(GO: Geometrical Optics)파와 회절(diffracted)파를 구하기 위해서는 임의의 위치에서 원하는 방향에 대한 정확한 일차 및 이차 도함수 값이 필요하다. 종합 보간법에 의하여 도함수를 계산하는 것은 계산이 매우 어렵고, 큐빅보간법을 이용할 경우에는 정확한 값을 정확히 구할 수 없다. 이 논문에서는 국지 보간법을 이용하여 곡면의 도함수 성분들을 구한다. 국지 보간법은 반사판의 작은 면적에 대하여 해석적 곡면 함수식을 제공하는 방법이다.

먼저 다음과 같은 6개의 미지 계수를 갖는 원뿔 방정식(conic equation)을 정의한다.

$$z = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 \quad (6)$$

이 식은 원하는 점 주위에서 해석적인 값을 제공하며 2차 미분까지 연속이다. 도함수 값을 알고자 하는 점 주위에 여섯 개의 점들을 샘플링하고, 식(6)에 대입하여 얻어진 6차 연립방정식을 풀어서 계수들을 구한다. 샘플링 점들은 이산적 곡면 데이터로부터 직접

언거나, 종합 보간법에 의한 곡면함수로부터 얻을 수 있다. 종합 보간법 표현식으로부터 샘플링 할 경우 샘플링 간격을 적절히 조절함으로써 원하는 정확도를 얻을 수 있다. 이 연구에서는 종합 보간된 곡면 표현식으로부터 그림 3과 같이 6개의 점을 샘플링 하였으며, dr 과 $d\phi$ 를 적절하게 조절함으로써 원하는 정확도를 얻었다.

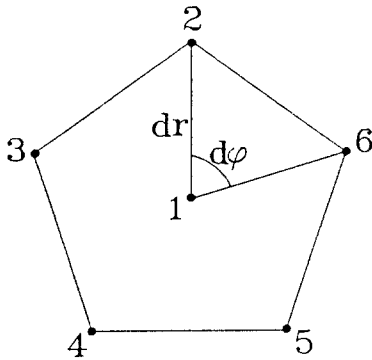


그림 3. 국지 보간법을 위한 6개의 샘플링 점들
Fig. 3. 6 sampling points for the local interpolation.

구해진 원뿔방정식으로 부터 일차 미분은

$$f_x = a_2 + 2a_4x + a_5y \tag{7a}$$

$$f_y = a_3 + a_5x + 2a_6y \tag{7b}$$

$$f_z = 1 \tag{7c}$$

이고, 이차 미분은

$$f_{xx} = 2a_4 \tag{8a}$$

$$f_{yy} = 2a_6 \tag{8b}$$

$$f_{xy} = f_{yx} = a_5 \tag{8c}$$

이다. 여기서 $f_x = \partial f / \partial x$ 이다. 이차미분의 경우는 샘플링 간격을 조절하여도 정확한 결과를 얻지 못하므로, 원하는 점 주위의 6개 점에 대한 이차 미분값들을 구하고, 이들의 평균을 취하여 이차 미분값을 구해야 한다.

III. 부반사판의 복사특성

1. 부반사판으로부터의 반사와 회절

그림 4는 부반사판으로부터 주반사판에 도달하는 반

사파와 회절파를 나타내고 있다. 그림에서 Σ 는 반사판의 곡면으로서 $f(x, y)$ 로 나타내며, Γ 는 반사판의 가장자리(edge)로서 반사판의 곡면과 원뿔이 교차한 폐곡선으로 정의한다. P_1 은 급전 혼의 위치를, P_2 는 관찰점의 위치를 나타낸다. P_1 에서 조사된 입사 전계는 Σ 상의 반사점 O^r 에서 반사되어 P_2 에 도달하며 이를 기하광학파라 한다. 급전점에서 반사점까지의 거리는 d_1 , 반사점에서 관찰점까지의 거리는 d_2 이다. 수정곡면 안테나의 개구면에서의 전계분포는 동위상이지만 기존의 안테나와 달리 부반사판에서 반사된 파가 한 점을 지나지 않는다. 회절파는 P_1 에서 조사되어 회절점 O^d 를 맞은 후 초점을 거치지 않고 P_2 에 도달한다. 이때 급전점에서 회절점까지의 거리는 d_3 , 회절점에서 관찰점까지의 거리는 d_4 이며, 회절점 O^d 는 상에 존재한다.

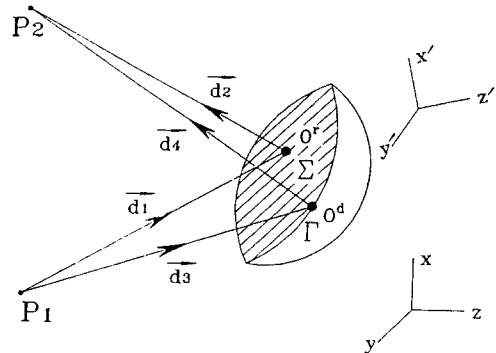


그림 4. 부반사판에 의한 산란 (기하광학파 + 회절파)

Fig. 4. Scattering from a subreflector (GO field + diffracted field).

2. 반사점 계산

수정곡면의 경우 기존의 복 반사판 시스템과 달리 부반사판에 의해 반사된 파가 하나의 초점을 지나지 않고 커스틱 라인을 형성하기 때문에 정확한 반사점을 찾기가 대단히 어렵다.

이 논문에서는 반사점을 찾기 위해 경로길이 PL 을 다음과 같이 정의한다.

$$PL(x, y) = d_1(x, y) + d_2(x, y) \tag{9}$$

여기서 d_1 과 d_2 는 각각 급전점에서 반사점, 반사점에서 관찰점까지의 거리이다. 급전점 P_1 의 좌표를 (x_1, y_1, z_1) , 관찰점 P_2 의 좌표를 (x_2, y_2, z_2) 라 하고 반

사판 위의 한 점의 좌표를 (x, y, z) 로 놓으면 식(9)는 다음과 같이 표현된다.

$$PL(x, y) = \frac{\sqrt{(x_2-x)^2 + (y_2-y)^2 + (z_2-f(x, y))^2}}{\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (f(x, y)-z_1)^2}} \quad (10)$$

반사점은 경로길이의 미분이 0이 되는 점, 즉 안정점(stationary point)에 위치한다. 이를 구하기 위해서는 경로길이 식을 미분하고 그 식이 0이 되는 위치를 찾음으로써 반사점을 구할 수 있지만, 곡면에 대한 미분함수가 필요하기 때문에 계산량이 많아진다. 따라서 이 논문에서는 반사점을 효율적으로 찾기 위하여 경로길이의 역수로 가격함수(cost function)를 정의한다.

$$Cost(x, y) = \frac{1}{PL(x, y)} \quad (11)$$

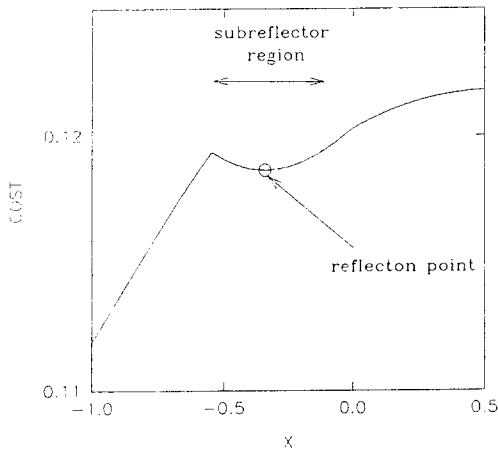


그림 5. 관측점이 $r=100\lambda$, $\phi=0^\circ$, $\theta=135^\circ$ 일 때의 가격함수

Fig. 5. Cost function for the case that observation point is $r=100\lambda$, $\phi=0^\circ$, $\theta=135^\circ$

이렇게 정의된 가격 함수는 그림 5에서 보여진 바와 같이 반사점에서 국부 최소점(local minimum)을 갖는다. 실제 수치 계산에서 반사점을 찾는 시간이 복사 패턴 계산시간의 대부분을 차지하기 때문에 가격함수 최소화 알고리즘을 잘 선택해야 한다. 여기서는 수정된 Powell 알고리즘을 이용하여 반사점을 구하였다^[13]. 이 방법은 가격함수를 미분하지 않고 최소값을 찾는 방법이기 때문에 계산 시간이 빠른 장점이 있으며, 원하는 만큼의 정확도를 얻을 수 있다. 찾고자 하는 점이

국부 최소점이기 때문에 기존의 알고리즘을 그대로 적용할 경우 반사점의 위치를 찾을 수 없다. 따라서 반사판상의 정해진 영역 내에서만 최소점을 찾도록 알고리즘을 수정하여 반사점을 찾을 수 있다.

3. UTD 복사 전자계식

UTD해석법은 기하광학 근사에 의하여 구해지는 반사파에 반사판 가장자리로부터 발생하는 회절파를 더하여 복사특성을 해석하는 방법이다. 이때 산란파의 세기는 반사면과 가장자리의 기하학적 특성으로부터 결정된다. 하나의 관측점에 대하여 반사점은 하나이나 회절점은 여러개 존재할 수 있다. 종합보간법과 국지보간법에 의해 반사판의 미분기하 성분이 구해지면 기존의 부반사판 해석법에 의하여 반사파와 회절파를 구할 수 있다.

부반사판에서 반사되어 관찰점에 도달하는 산란 전계는 다음 식으로 구할 수 있다^[14].

$$\vec{E}^{tot}(P_2) = \vec{E}^r(P_2) + \sum_{n=1}^{N_d} \vec{E}_n^d(P_2) \quad (12)$$

여기서 \vec{E}^{tot} 는 합성전계, \vec{E}^r 은 반사전계, \vec{E}_n^d 는 n번째 회절전계이고, N_d 는 회절점의 수이다. 수치 해석 결과 회절점은 2개에서 4개 발생한다.

IV. 부반사판의 수치 해석 결과

반사판 안테나 설계에 사용되는 급전 혼의 패턴은 측정 또는 이론적 패턴으로부터 구해지며, 일반적으로 가우시안 빔의 형태를 갖는다. 따라서 반사판 안테나의 복사패턴을 수치 계산할 때는 급전을 이상적 함수로 가정하여도 무방하다. 이 논문에서는 다음과 같이 y-편파된 급전함수를 사용한다.

$$\vec{E}^i(r', \theta', \phi') = \frac{120\pi}{(r'/\lambda)} \cos^2\theta' e^{-jk r'} [\sin\phi' \hat{\theta}' + \cos\phi' \hat{\phi}'] \quad (13)$$

여기서 λ 는 파장이며 (r', θ', ϕ') 는 급전점 P_1 을 중심으로 하는 구면좌표계 성분이다. q 는 급전 혼의 옛지 테이퍼를 고려하기 위한 변수로서, 급전 혼의 반개구각(half flare angle)에서 원하는 옛지 테이퍼를 갖도록 한다. 급전점의 좌표는 $(-3.0, -8)$ 이고, 원점에서 100λ 만큼 떨어진 지점을 관측점으로 하였을 때의 복사패턴을 계산하였다.

그림 6은 복사패턴에서 회절파의 영향을 확인하기 위하여 급전 옛지 테이퍼가 0dB일 때($q=0$)의 복사 패

턴을 계산한 결과이다. GO파의 경계면 불연속성을 회절파가 잘 보상하고 있음을 보이고 있다. GO파의 중심 부분이 기존의 타원면 부반사판의 경우와 달리 약간 볼록하다. 그 이유는 원하는 개구면 분포를 얻기 위하여 곡면을 수정하였기 때문이다.

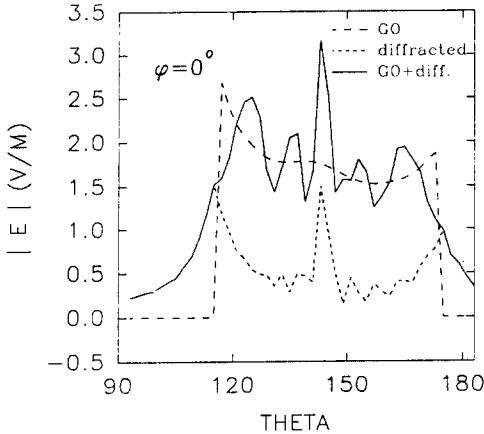
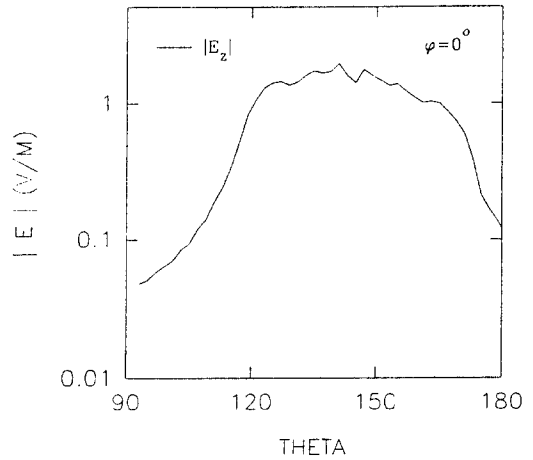
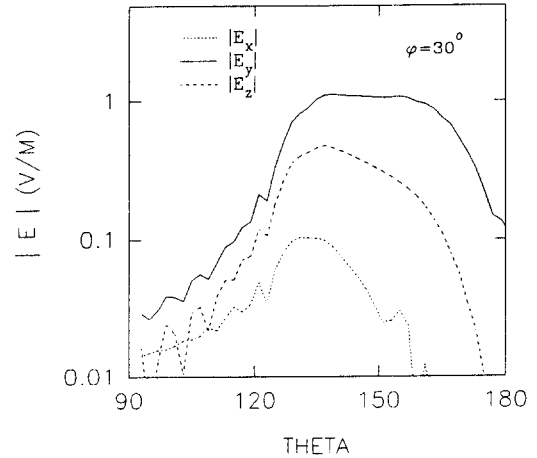


그림 6. 엣지테이퍼가 0dB일 때의 수정곡면 부반사판의 복사패턴 ($q=0, \varphi=0^\circ$)
 Fig. 6. Radiation pattern of the shaped subreflector for 0dB edge tapering ($q=0, \varphi=0^\circ$)

그림 7과 8은 각각 통신위성에서 업링크와 다운링크에 대한 부반사판의 복사 특성을 계산한 결과이다. 그림 7은 주파수가 14.5 GHz이고 엣지테이퍼가 12.6dB일 때($q=41.84$)의 복사패턴을 보여주고 있다. (a)의 경우($\varphi=0^\circ$) 급전 엣지테이퍼로 인하여 중심에서 멀어질수록 전계의 세기가 급격히 감소한다. 관측면이 좌우 대칭에 위치하기 때문에 x와 z방향 성분은 존재 하지 않는다. (b)의 경우에는($\varphi=30^\circ$) GO파의 존재 영역이 약간 감소하며, x와 z방향성분이 크게 나타난다. 그림 8은 주파수가 12.5GHz 이고 엣지 테이퍼링이 9.6dB일때($q=31.88$)의 복사 특성을 보여주고 있다. 전체적으로 유사한 복사특성을 보여주지만, 그림 7의 경우에 비하여 엣지테이퍼가 크기 때문에, 그림자 경계 부근에서의 파의 세기가 약간 증가하였다. 이는 주반사판 복사패턴에서 부연준위가 증가할 것이라는 예측을 가능하게 한다. 이러한 다중링크에 대한 부반사판의 패턴 특성은, 주파수의 변화에 따라 급전 혼의 빔 폭이 변화하기 때문에 발생하며, 주반사판의 원거리 복사 특성에 영향을 끼친다.



(a)



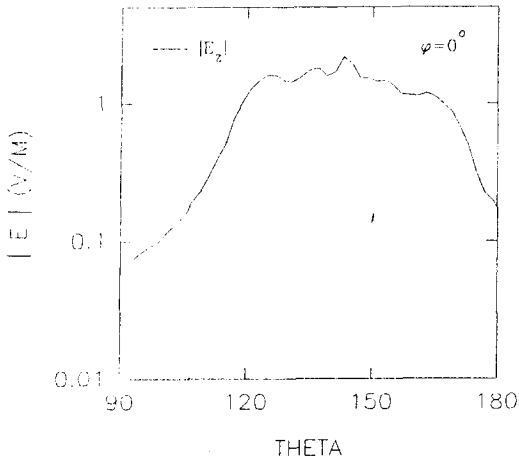
(b)

그림 7. 업링크에서 부반사판의 복사특성 (엣지테이퍼는 12.6dB, $q=41.84$)
 (a) $\varphi=0^\circ$ 일 때 (b) $\varphi=30^\circ$ 일 때
 Fig. 7. Radiation pattern of the shaped subreflector for uplink (12.6dB edge tapering, $q=41.84$)
 (a) $\varphi=0^\circ$ (b) $\varphi=30^\circ$

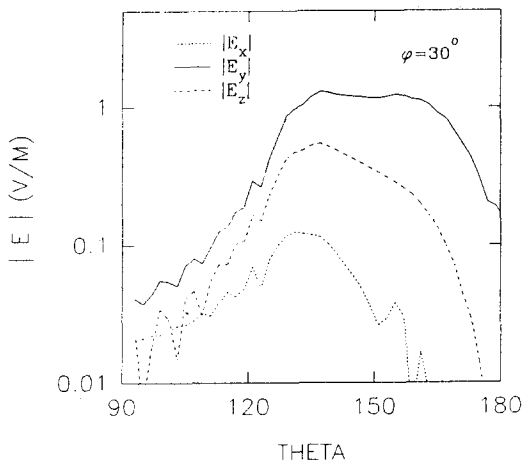
V. 결론

수정곡면 부 반사판 안테나의 부반사판의 복사특성을 UTD에 의하여 해석하였다. 이산적 데이터로 이루어진 수정곡면 부반사판을 종합 보간법에 의해 Jacobi polynomial-sinusoidal함수를 기본함수로 하는 급수로 전개하여 곡면이 해석적 특성을 갖도록 하였다. UTD해석에 필요한 곡면의 미분은 국지 보간법을 이용

하여 계산하였다. 이때 샘플링 간격을 적절히 선택하여 원하는 정도의 정확도를 얻었다. 반사점의 위치를 찾아내기 위하여 경로길이의 역수로 가역함수를 정의하고, 함수 최소화 방법인 수정된 Powell엘거리즘을 적용하였다. 부분사판에서 발생하는 반사파와 회절파는 기존의 부분사판 해석에 관한 연구결과를 이용하여 계산하였다.



(a)



(b)

그림 8. 다운링크에서 부분사판의 복사특성 (엣지 테이퍼는 9.6dB, $q=31.88$)

(a) $\varphi=0^\circ$ 일 때 (b) $\varphi=30^\circ$ 일 때

Fig. 8. Radiation pattern of the shaped subreflector for uplink (9.6dB edge tapering, $q=31.84$)

(a) $\varphi=0^\circ$ (b) $\varphi=30^\circ$

절파의 영향을 해석하기 위하여 엣지테이퍼가 없는 경우의 복사 패턴 계산 결과도 제시하였다. 위성 통신에서 업링크와 다운링크의 특성을 고찰할 수 있도록 주파수와 엣지테이퍼를 달리하여 복사 패턴을 계산하였다.

참고 문헌

- [1] V. Galindo, "Design of dual reflector antennas with arbitrary phase and amplitude distribution," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, AP-12, pp. 403-408, July, 1964.
- [2] G. W. Collins, "Shaping of subreflectors in Cassegrain antenna for maximum aperture efficiency," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-21, pp. 309-313, May, 1973.
- [3] J. J. Lee, Leonard I. Parad & R. S. Chu, "A Shaped Offset-Fed Dual-Reflector Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-27, no. 2, pp. 165-171, March, 1979.
- [4] Jose' R. Bergmann, Flavil J. V. Hasselmann, Fernando L. Teixeira & Cassio G. Rego, "A Comparison Between Techniques for Global Surface Interpolation in Shaped Reflector Analysis," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 42, No. 1, pp.47-53, May, 1994.
- [5] Y. Rahmat-Samii, V. Galindo-Israel, "Shaped reflector antenna analysis using the Jacobi-Bessel series," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 28, pp. 425-435, July, 1980.
- [6] V. Galindo-Israel, R. Mittra, "A new series representation for the radiation integral with application to reflector antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.25, pp. 631-641, Sept., 1977.
- [7] R. Mittra, Y. Rahmat-Samii, V. Galindo-Israel, and R. Norman, "An efficient technique for the computation of vector secondary pattern of offset paraboloid reflectors," *IEEE Trans. Antennas Pro-*

수치 계산은 원형 개구면을 갖는 그레고리언형의 읍셀 반사판 안테나의 부분사판에 대하여 수행되었다. 회

- pagat.*, vol. 27, pp. 294-304, May, 1979.
- [8] Victor Galind-Israel, William A. Imbriale & Yahya Rahmat-Samii, "Interpolation Methods for Shaped Reflector Anaysis," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-36, No.3, pp.441-444, March, 1988.
- [9] R. G. Kouyoumjian, "The Geometrical Theory of diffraction and its applications," in *Numerical and Asymptotic Techniques in Electromagnetics*, R. Mittra(ed.), Springer Verlag, New York, 1975.
- [10] S. W. Lee, P. Cramer, JR., K. Woo and Y. Rahmat - Samii, "Diffraction by an arbitrary subreflector : GTD Solution," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-27, no. 3, pp. 305-316, May, 1979.
- [11] M. J. Powell, "An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives," *Computer Journal*, vol. 7, pp. 155-162, May, 1964.
- [12] 이상설외, "고정 서비스용 안테나 설계용역," 한국통신 위성사업단 지원 연구과제 최종보고서, 한양대학교 전파기술 연구소, 1994년 12월
- [13] W. H. Press, *et.al*, *Numerical Recipes in FORTRAN*, Cambridge, Kala, pp. 387-413, 1992.
- [14] 임규태, 이상설, "UTD를 이용한 위성 탑재용 옴셀 복 반사판 안테나의 부반사판 해석," 전자공학회 논문지 제32권 A편 1호, pp. 79-88, 1995년 1월

 저 자 소 개

李 相 高(正會員) 제 31권 A편 11호 참조
 현재 한양대학교 전파공학과 교수

林 奎 汰(正會員) 제 32권 A편 1호 참조
 현재 한양대학교 전자통신공학과 박사과정