

CBS Ku대역 안테나의 제작/정렬 오차 민감도 해석

Sensitivity Analysis of the CBS Ku-Band Antenna due to Manufacturing/Alignment Errors

한재흥 · 윤소현 · 엄만석 · 박종흥 · 이성팔

Jae-Hung Han · So-Hyeun Yun · Man-Seok Uhm · Jong-Heung Park · Seong-Pal Lee

요 약

국내 통신방송위성 Ku 대역 오프셋 파라볼라 안테나의 제작/정렬 오차에 의한 안테나 성능 민감도 해석을 수행하였다. 안테나 반사판의 성형 과정에서 필연적으로 발생하는 반사판 표면의 무작위 오차를 RMS(Root Mean Square) 및 상관 거리로 특성화하여 이에 대한 성능 변화를 통계적으로 분석하였다. 또한, 반사판에 대한 급전 혼의 상대 정렬 위치 및 각 오차에 의한 성능 변화를 파악하였고, 안테나 성능에 민감한 방향을 파악할 수 있었다. 허용 공차를 적용하는 경우 제작/정렬 오차에 의한 성능 저하가 안테나 설계 시의 이득 버짓 또는 각 성능 변수의 설계 여유 내에 있음을 확인하였다.

Abstract

The performance sensitivity analysis due to manufacturing/alignment errors is performed for the Ku-band offset parabola antenna of the domestic Communications and Broadcasting Satellite. The performance variations due to reflector random surface error, which inevitably happens during reflector manufacturing, are statistically analyzed using RMS error and correlation interval. The impact on the antenna performance of the feed horn's position and angular errors is investigated, and the sensitive directions are identified. When the target tolerances are applied, the performance degradations are found to be within the loss budget or corresponding performance margins.

Key words : Satellite Antenna, Ku-Band, Sensitivity Analysis, Manufacturing Error, Alignment Error

I. 서 론

위성 인터넷 서비스를 비롯하여 통신, 방송 분야의 위성 활용도가 높아가고 있다^[1]. 이에 따라 정보 통신과 우주기술이 결합되어 연관 산업에 기술 파급 효과가 큰 통신방송위성을 국산화하기 위한 노력이 범 정부차원에서 지속되어 왔다. “국가우주개발 중장기계획”에 의거 한국전자통신연구원(ETRI)에서는 국내 산업체와 공동으로 “통신방송위성(Communications & Broadcasting Satellite: CBS) 탐

재체 개발 사업”을 추진 중이다^[2].

통신방송위성 탑재체 중 위성 탑재용 안테나는 우주 공간에 직접 노출되므로 엄격한 기계/환경 조건을 만족하여야 함은 물론, 서비스 영역(Service Coverage)은 가능한 높은 이득으로 조사하고, 부엽파(Sidelobe) 및 교차 편파 레벨이 매우 낮아야 하며, 안테나 시스템에 공급되는 수백 W급의 대전력에 견디어야 한다^[3].

위성용 안테나로는 오프셋 반사판 안테나 구조가 주로 사용되는 데, 그 이유는 축대칭 구조 안테나의

한국전자통신연구원 통신위성개발센터(Communications Satellite Development Center, ETRI)

· 논문 번호 : 20020923-115

· 수정완료일자 : 2002년 10월 29일

경우 1차 복사기 및 지지 구조물에 의한 블로킹 현상으로 인해 안테나 이득 및 부엽과 분리도 특성이 저하되므로 이를 방지하기 위함이다^{[3][14]}. 국내에서도 위성 탑재용 오프셋 파라볼라 안테나 및 그레고리안 안테나의 설계, 해석에 관한 연구가 진행된 바 있다^{[15]~[17]}. CBS 사업의 경우는 Ku 대역 안테나는 오프셋 단일 반사판 구조, Ka 대역 안테나는 그레고리안(Gregorian) 형태의 오프셋 이중 반사판 구조를 채택하였다^[8]. CBS 위성 안테나의 설계 시에는 TICRA사의 GRASP 해석 소프트웨어를 이용하였으며^[9], 해석 방법은 물리광학법(Physical Optics)^[10]을 사용하였다.

위성 탑재용 안테나는 매우 작은 이득 여유(Margin)를 갖고 설계되므로 설계 과정에서 안테나 패턴 해석의 정확성이 매우 높아야 한다. 따라서, 제작 및 조립, 운용 과정에서 발생할 수 있는 여러 가지 오차에 대한 성능 저하 분석이 반드시 필요하다. 안테나 반사판의 제작 과정 중에 발생하는 표면 오차, 반사판 및 급전부(Feed Assembly)의 조립 시 정렬 오차, 위성 궤도 상의 열변형 등은 각각 제작, 조립, 운용 과정에서 안테나 성능의 변화를 유발하는 주요 요인이다. 선진국의 위성 제작사는 경험에 의한 자체 데이터 및 민감도 해석을 통해 이러한 오차에 의한 성능 저하를 분석하고 있으나, 국내에서는 위성 안테나 성능에 대한 오차 영향 분석 결과가 거의 없는 실정이다. 본 논문에서는 CBS Ku 대역 안테나 개발을 위해 수행한 반사판 표면 오차 및 조립 정렬 오차의 성능 영향 분석 결과를 정리하였다. 여러 가지 오차에 대한 변수 연구(Parametric Study)를 수행하여 전체적인 성능 변화 추이를 파악할 수 있었으며, 제작 및 조립 시의 허용 공차(Tolerance)를 산출할 수 있었다.

II. 안테나 설계 및 특성

통신방송위성 Ku대역(Tx: 12.25~12.75 GHz, Rx: 14.00~14.50 GHz) 안테나는 전개형 오프셋 파라볼라 안테나로 위성체의 동측 패널에 부착된다. 위성체는 동경 113도 정지 궤도에 위치하며, 한반도 전역을 서비스하기 위해 북위 37.75도 동경 128도 지점을 중심으로 1.2도 원형 빔을 커버리지로 갖는

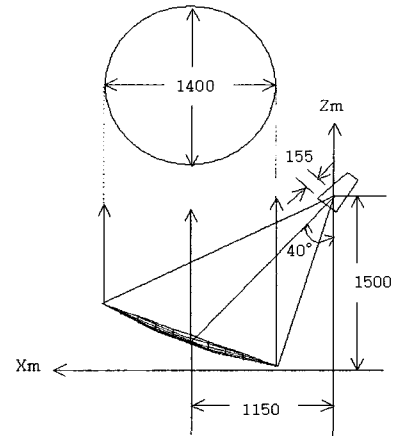


그림 1. 안테나의 기하학적 형상 (단위: mm)
Fig. 1. Geometry of the antenna (Unit: mm).



그림 2. 안테나의 구조
Fig. 2. Antenna configuration.

다. 설계된 안테나는 그림 1과 같이 초점 거리 1500 mm, 개구면 크기 1400 mm, 오프셋 거리 1150 mm를 갖는 포물면 반사판과 개구면 직경 110 mm의 코루게이트 급전혼과 직교모드변환기(OMT)를 갖는 급전부로 구성된다. 급전혼과 안테나 축 방향의 각은 40도이다. 그림 2는 설계 완료된 Ku 대역 안테나의 전체적인 형상을 나타낸다.

안테나 시스템의 성능 해석은 TICRA사의 GRASP 해석 S/W로 수행되었다. 먼저 급전 혼의 방사 특성을 원구형파 전개 계수(Spherical wave expansion coefficient)로 계산하고, 이를 이용하여 반사판 안테나의 방사 패턴 특성을 해석하였다. 해석을 통하여 얻어진 안테나의 특성은 반사판과 급전혼 만

표 1. Ku대역 안테나의 성능 제원 및 설계 성능
Table 1. Performance specification and the designed performance of the Ku band antenna.

Parameter	Tx	Rx
EOC gain spec. (dB)	37.40	37.50
EOC gain (dB)	37.83	38.01
Max gain spec. (dB)	N/A	N/A
Max gain (dB)	41.65	42.76
Gain slope spec. (dB/deg)	10.5	10.5
Gain slope (dB/deg)	8.0	10.1
Sidelobe spec. (dB)	30.0	28.0
Sidelobe (dB)	36.1	33.7
X-pol. discrimination spec. (dB)	20.0	20.0
X-pol discrimination (dB)	22.7	22.3

의 특성이므로, 급전부와 도파관에 의한 손실 등을 추가로 고려하였다. 표 1에 안테나의 설계 제원과 송수신 대역 중심 주파수에서의 성능을 비교 수록하였다. 표 1의 성능 결과는 제작/정렬 오차가 전혀 없는 상태(Nominal)의 성능이다. 안테나의 EOC (End of Coverage) 이득은 안테나의 지향 오차 $\pm 0.15^\circ$ 를 포함한 커버리지에서의 이득이며, 이득 기울기는 지향 오차가 없는 커버리지에서의 기울기이다. 그림 3과 4에 각각 송수신 대역 동일 편파 지향도 패턴을 도시하였다.

Ⅲ. 반사판 표면 오차의 영향

3-1 해석 방법

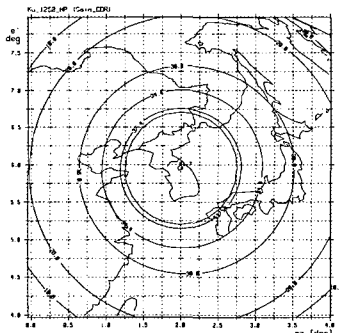


그림 3. 송신대역 동일편파 지향도 컨투어
Fig. 3. Tx band Co-pol directivity contour.

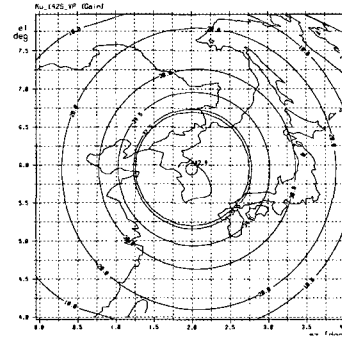


그림 4. 수신대역 동일편파 지향도 컨투어
Fig. 4. Rx band Co-pol directivity contour.

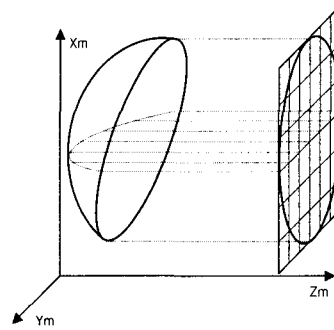


그림 5. 안테나 개구면의 메쉬
Fig. 5. Mesh at the antenna aperture.

안테나 반사판의 제작 오차를 모델링하기 위해 그림 5와 같이 안테나 반사판 개구면을 X_m, Y_m 방향으로 메쉬(mesh)를 나눈다. 개구면의 한 셀(cell)의 크기가 상관 거리(correlation interval)를 나타낸다. 주어진 RMS 값을 가지고 형성된 mesh의 각 절점에 무작위로 오차를 부여한다. 각 절점 사이의 오차 특성은 완전히 독립적이다. 반사판 표면 오차 분포는 확률 특성을 가지므로, 동일한 조건(즉 동일한 RMS 값과 상관 거리)에 대해 10회씩 해석을 수행한 후, 안테나 성능 변화량의 평균 및 표준편차를 구하였다. 반사판 표면 오차의 RMS값은 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 mm 이렇게 5가지 값에 대해 해석하였으며, 오차의 공간적 분포는 C/D로 표시하여 0.005, 0.05, 0.1의 세 가지 경우에 대해 해석하였다. 여기서 C는 상관 거리, D는 개구면 직경이다. C/D가 작은 경우는 표면 오차가 공간적으로 무작위임을 나타낸다. 그림 6에 C/D가 0.05, 0.1일 때의 전

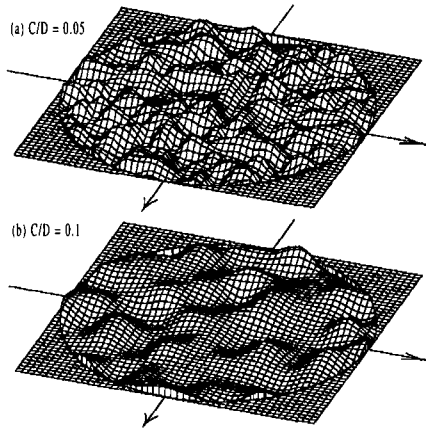


그림 6. 반사판 표면 오차의 공간적 분포
Fig. 6. Spatial distribution of reflector surface error.

형적인 반사판 오차 분포를 나타내었다.

3-2 표면 오차에 의한 성능 변화

3-1절에 설명된 바와 같이 안테나 반사판에 임의로 오차를 가하고 안테나 주요 성능 변수의 변화를 살펴 보았다. 먼저, 최대 이득과 EOC 이득의 변화를 그림 7, 8에 도시하였다. 각 경우 10회씩 계산하여 이득 변화량의 평균값을 표시하고, 표준 편차 범위를 오차막대 형태로 나타내었다. 일반적으로 알려진 반사판 표면 오차에 의한 안테나 이득 저하는 식 (1)과 같다³⁾.

$$\text{Loss(dB)} = 10 \times \log[\exp(4\pi \epsilon / L)^2] \quad (1)$$

여기서 ϵ 은 반사판 표면 오차의 RMS값, L 은 자유 공간에서의 파장이다.

반사판 표면 오차의 RMS값이 0.25 mm일 때, 식 (1)에 의한 이득 저하는 송수신 각각 0.075 dB, 0.097 dB이다. 그림 7 (a)는 이와 비교하여 약간 작은 이득 저하 특성을 보인다. 이는 식 (1)이 C/D가 충분히 작은 경우를 가정한 수식이기 때문이다. C/D가 커질수록 최대 이득 저하량의 평균값은 조금

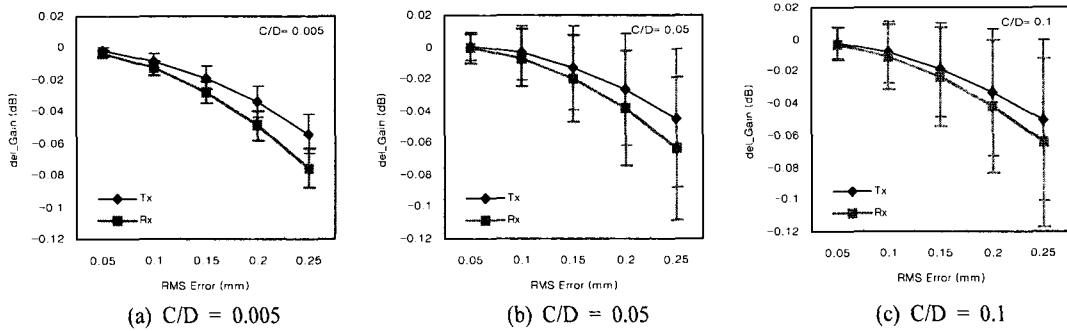


그림 7. 반사판 표면 오차에 의한 최대 이득의 변화
Fig. 7. Max gain variation due to reflector surface error.

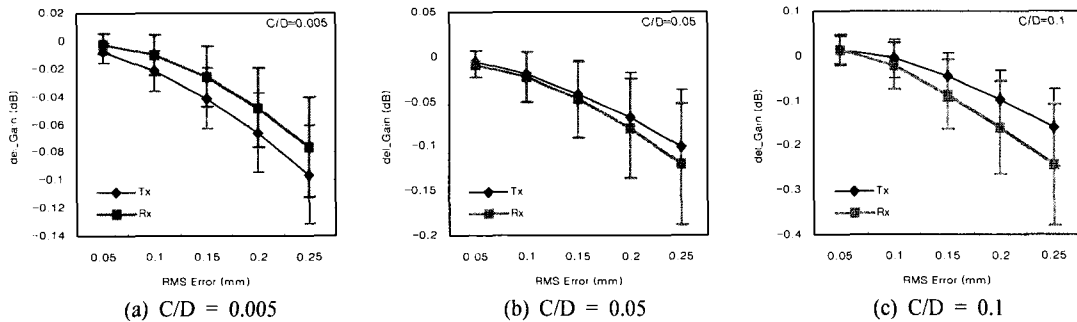


그림 8. 반사판 표면 오차에 의한 EOC 이득의 변화
Fig. 8. EOC gain variation due to reflector surface error.

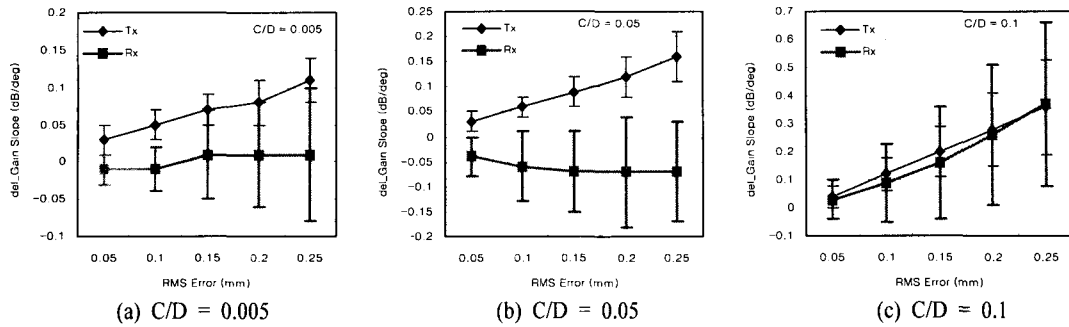


그림 9. 반사판 표면 오차에 의한 이득 기울기의 변화
Fig. 9. Gain slope variation due to reflector surface error.

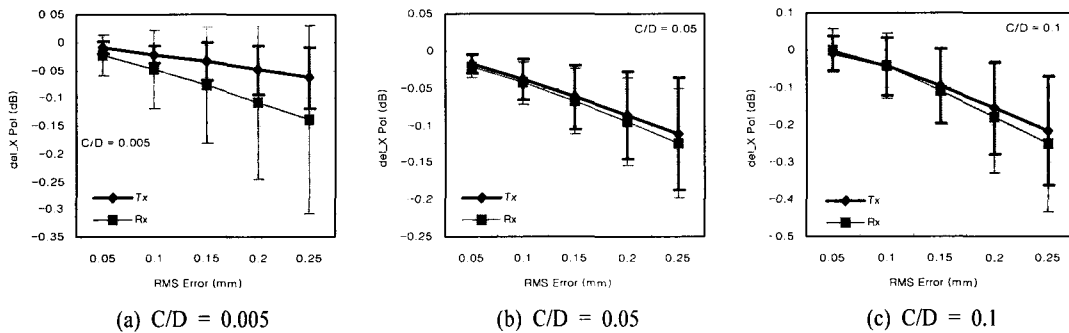


그림 10. 반사판 표면 오차에 의한 교차 편파 분리도의 변화
Fig. 10. X-Pol. discrimination variation due to reflector surface error.

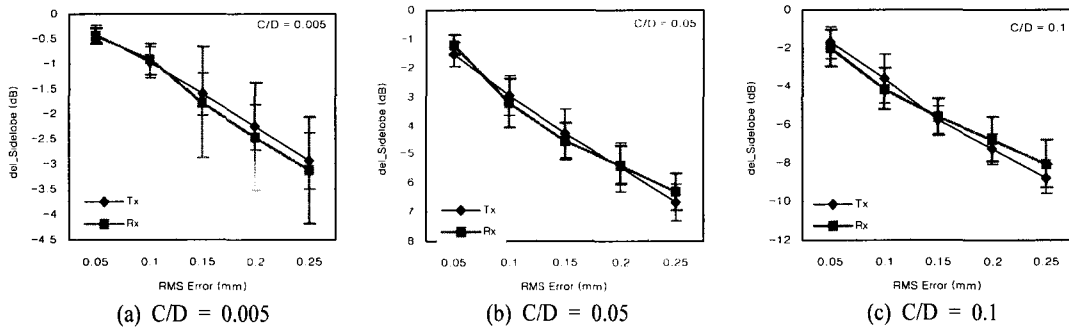


그림 11. 반사판 표면 오차에 의한 부엽과 분리도의 변화
Fig. 11. Sidelobe isolation variation due to reflector surface error.

씩 작아지나, 편차가 커짐을 알 수 있다. 또한 그림 7과 8에서 이득 저하량이 대략 RMS값의 제곱에 비례함을 알 수 있다. 그리고, EOC 이득 저하량은 최대 이득 저하량과 상당히 차이가 있으므로, 위성안테나의 손실 버짓 산출을 위해서는 본 논문과 같이 직접적인 계산을 수행하는 것이 바람직하다.

그림 9, 10, 11에는 각각 이득 기울기, 교차편파 분리도, 부엽과 분리도의 성능 저하 특성을 도시하였다. 모든 성능 변수는 RMS값이 증가할수록 열화되며, 특히 C/D가 커질수록 열화 정도가 심함을 알 수 있다. C/D가 0.1일 때 이득 기울기가 급격히 증가하는 데, 이는 안테나 반사판 오차의 경향성에 의

해 안테나 빔 중심이 옮겨지기 때문으로 추정된다. 또한 다른 성능 변수에 비해 부엽과 분리도는 반사판 표면 오차에 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

IV. 정렬 오차의 영향

4-1 해석 방법

안테나 반사판과 급전부(급전 혼 기준)의 상대 정렬 오차에 의한 성능 저하 영향을 분석하기 위해 안테나 반사판의 위치는 Nominal 상태와 같게 일치시키고, 급전부의 자세(위치 및 각도)를 6자유도 모두에 대해 각각 미소량을 변동시켜 성능 해석을 수행하였다. 참고로 안테나 반사판과 위성체 사이의 정렬은 안테나를 위성체에 설치하는 과정에서 수행하며, 이 때문에 발생하는 성능 저하는 별도로 안테나 지향 오차 버짓에 반영되어야 한다. 그림 12에 민감

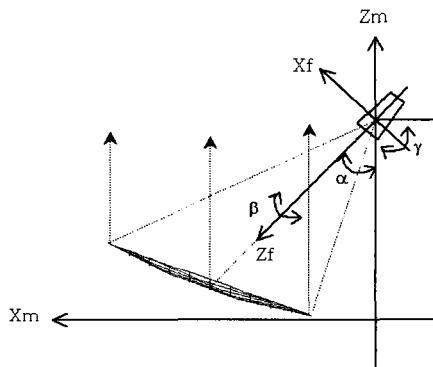


그림 12. 정렬 오차의 정의
Fig. 12. Definition of alignment errors.

도 해석에 사용한 좌표계를 도시하였다. Xf, Yf, Zf 방향의 변위 오차와 α , β , γ 방향의 각 오차의 정의를 나타내었는데, α 는 안테나의 elevation 방향이며, γ 는 azimuth 방향, 그리고 β 는 급전혼의 축방향 회전을 의미한다.

4-2 정렬 오차에 의한 영향

변위 방향에 대해서는 0.05 mm에서 1.00 mm까지, 각 방향에 대해서는 0.03°에서 2.00°까지 범위를 설정하고, 최대 이득 등 5가지 성능 변수의 변화를 살펴보았다.

최대 이득의 변화는 가장 민감한 3가지 방향에 대한 특성을 그림 13에 수록하였다. 그림 13에서 쉽게 알 수 있듯이 정렬 오차의 최대 이득에 대한 영향은 매우 미미하다. 가장 민감한 방향은 α 방향이나, 이 또한 2° 정도의 매우 큰 오차가 발생하여도 0.1 dB 정도의 변화를 보인다.

EOC 이득의 변화는 그림 14에 정리하였다. Xf 방향이 가장 민감한 것을 알 수 있다. 또한 다른 방향에 비해 축방향의 변화에는 EOC이득이 크게 변하지 않았다. 이득 기울기의 변화는 가장 민감한 3가지 방향에 대해 그림 15에 수록하였는데, 이득 기울기의 변화와 EOC이득의 변화가 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 즉 정렬 오차에 의해 안테나의 주 로브(main lobe)의 위치가 미세하지만 약간씩 변화하며, 특히 Xf, Yf, α , γ 방향 오차와 같이 혼 중심축이 반사판과 만나는 점의 위치를 변경하는 경우, 이득 기울기와 EOC 이득의 변화가 심하였다.

교차 편파 분리도 및 부엽과 분리도의 변화는 각

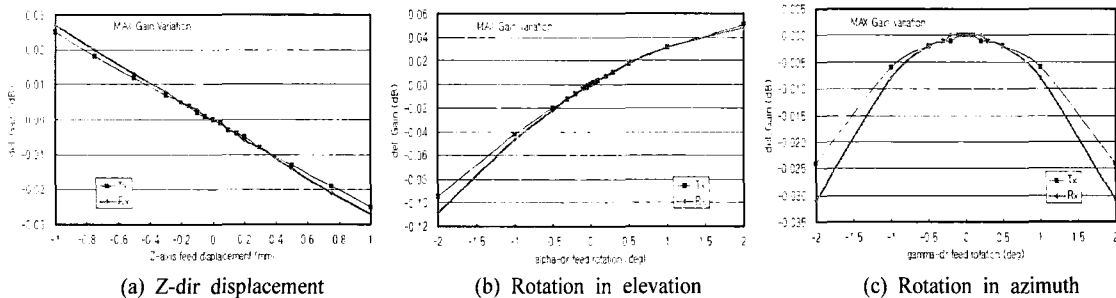


그림 13. 정렬 오차에 의한 최대 이득의 변화
Fig. 13. Max gain variation due to alignment error.

각 그림 16, 17에 도시하였다. 교차 편파 분리도의 경우 변위 오차보다는 각 오차에 의해 보다 영향을 받는 것으로 보인다. 부엽과 분리도도 반사판 표면

오차에 비해서 정렬 오차에 의한 영향은 훨씬 작은 수준이나, $-\alpha$ 방향 오차가 커지는 경우 갑자기 부엽과 분리도가 나빠지는 경향을 보였다.

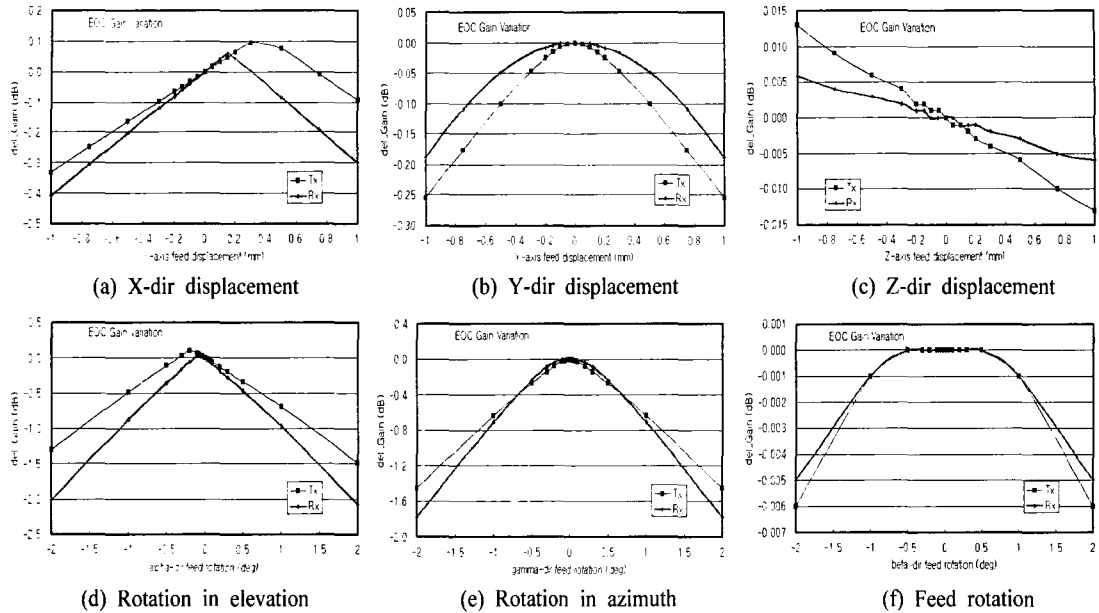


그림 14. 정렬 오차에 의한 EOC 이득의 변화
Fig. 14. EOC gain variation due to alignment error.

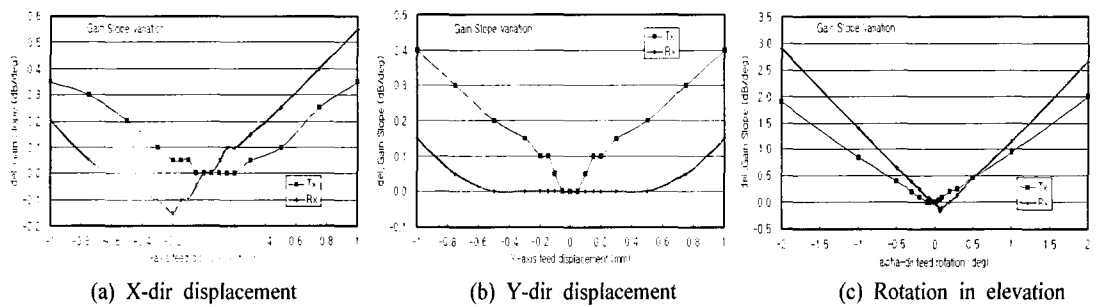
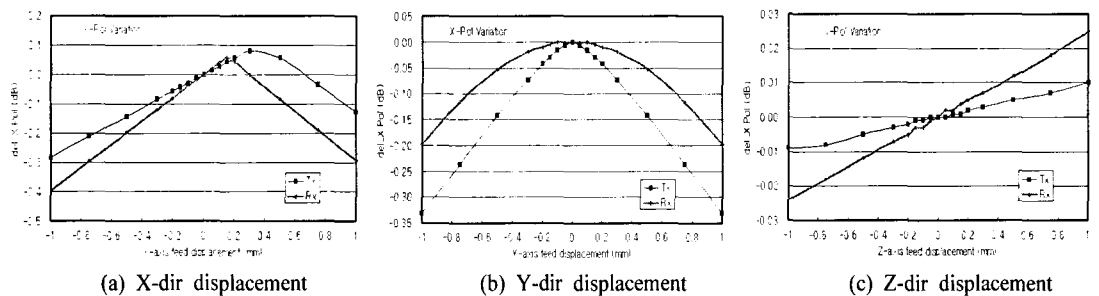


그림 15. 정렬 오차에 의한 이득 기울기의 변화
Fig. 15. Gain slope variation due to alignment error.



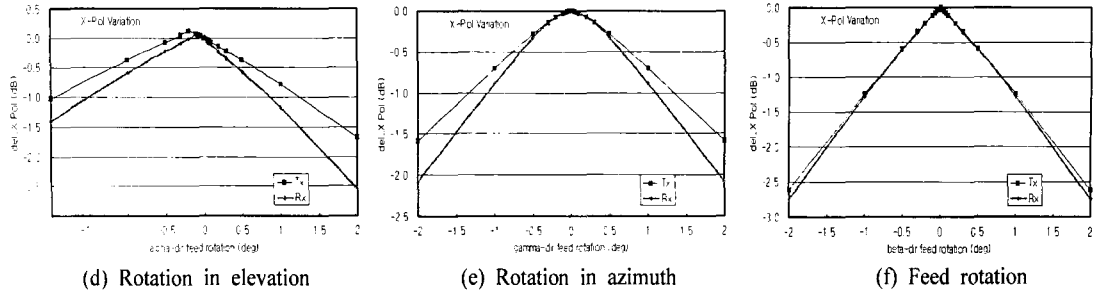


그림 16. 정렬 오차에 의한 교차 편파 분리도의 변화
 Fig. 16. X-pol discrimination variation due to alignment error.

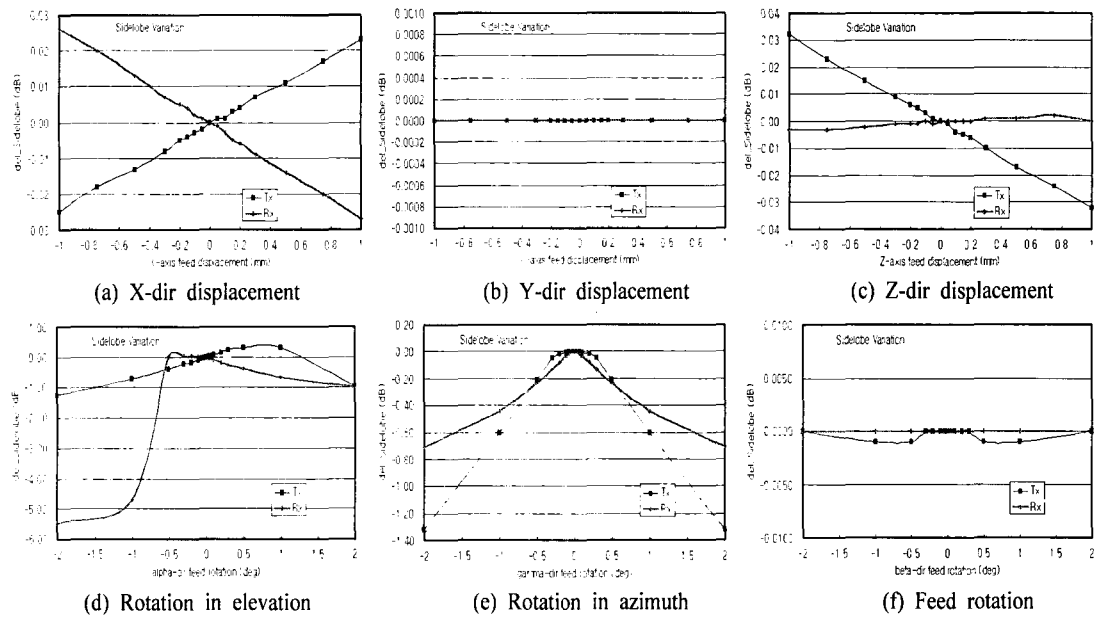


그림 17. 정렬 오차에 의한 부엽과 분리도의 변화
 Fig. 17. Sidelobe isolation variation due to alignment error.

V. 허용 공차의 설정

반사판 표면 RMS 허용 오차를 0.1 mm 및 0.15 mm로 설정하는 경우 안테나 주요 성능 변수의 변화를 표 2에 요약하였다. 정리된 값들은 평균값에서 표준 편차 내의 성능 중 가장 성능 열화가 심한 경우로, 주로 C/D가 0.1인 경우에 해당한다. 표 2에서 다른 항목들은 설계 여유를 Nominal 상태에서의 성능과 규격과의 차이로 정리하였으나, EOC 이득은 별도의 손실 버짓에서 설정된 값을 이용하였다. 허용 공차가 0.1 mm인 경우 송수신 대역 모두 성능저

하량이 설계 여유에 비해 작음을 알 수 있다. RMS 허용 공차를 0.15 mm로 설정하는 경우 부엽과 분리도 및 수신 EOC 이득이 설정된 설계 여유를 약간 초과하나, 실제 제작될 반사판 오차의 공간적 분포 C/D가 0.1 정도의 강한 경향성을 보이지 않을 것으로 예상되며, C/D가 이보다 작은 경우는 모든 항목의 성능 저하가 설정된 설계 여유 내에 존재하게 된다.

안테나 정렬 공차 설정은 IV장의 해석 결과를 참조하여, 변위 오차의 경우 Zf 방향으로 조금 완화된 공차를 설정하였고, 각 오차의 경우 가장 민감한

표 2. 반사판 표면 오차에 의한 성능 변화
Table 2. Performance variation due to surface error.

	Parameter	Margin	Variation (RMS:0.1)	Variation (RMS:0.15)
Tx	EOC gain (dB)	0.15	0.05	0.10
	Gain slope (dB/deg)	2.5	0.19	0.29
	X-Pol. (dB)	2.7	0.12	0.20
	Sidelobe (dB)	6.1	4.9	6.5
Rx	EOC gain (dB)	0.15	0.08	0.16
	Gain slope (dB/deg)	0.4	0.22	0.37
	X-Pol. (dB)	2.3	0.13	0.23
	Sidelobe (dB)	5.7	5.2	6.6

급전부의 Elevation 방향 오차를 다른 방향보다 엄격히 설정하였다. 표 3에 각 방향의 허용 공차를 정리하였다. 표 4에 허용 공차를 적용한 경우 성능 저하량을 정리하였는데, 6개 방향 오차에 의한 영향을 RSS(Root Sum Square)한 값이다.

표 3. 허용 정렬 공차
Table 3. Allowed alignment tolerances.

Direction	Tolerance
Xf	±0.2 mm
Yf	±0.2 mm
Zf	±0.5 mm
α	±0.05 degree
β	±0.10 degree
γ	±0.10 degree

표 4. 허용 정렬 오차에 의한 성능 변화
Table 4. Performance variation due to allowed alignment tolerances.

	Parameter	Margin	Variation
Tx	EOC gain (dB)	0.1	0.08
	Gain slope (dB/deg)	2.5	0.17
	X-Pol. (dB)	2.7	0.09
	Sidelobe (dB)	6.1	0.12
Rx	EOC gain (dB)	0.1	0.09
	Gain slope (dB/deg)	0.4	0.11
	X-Pol. (dB)	2.3	0.16
	Sidelobe (dB)	5.7	0.05

표 2와 4에서 허용 공차내의 반사판 표면 오차와 정렬 오차가 동시에 존재하는 경우에도 안테나 주요 성능 변수의 열화가 설계 여유 내에 있음을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 국내 통신방송위성 Ku 대역 안테나의 제작/정렬 오차에 의한 안테나 주요 성능 변화를 해석하였다. 안테나 반사판의 표면 오차에 의한 영향을 분석하기 위해 RMS 오차 및 상관 거리에 따른 성능 변화를 통계적으로 해석하였다. 같은 RMS 값을 갖는 경우 상관 거리가 클수록 성능 저하량도 일반적으로 크고, 데이터의 편차도 심했다. 반사판 표면 오차에 의해서는 EOC 이득과 부엽과 분리도가 가장 영향을 많이 받음을 알 수 있었다. 정렬 오차에 의한 영향은 6가지 정렬 방향 오차에 대한 변수 연구를 통해 전체적인 성능 변화 추이를 파악할 수 있었다. 안테나 급전 혼의 면내(급전 혼 축에 수직 방향) 변위 오차 및 급전 혼의 elevation 방향 각 오차가 성능에 가장 민감한 영향을 보임을 알 수 있었다. 민감도 해석을 통해 0.1 mm의 반사판 RMS 오차와 표 3의 정렬 오차를 설정하는 경우 worst-case 성능 저하량이 주어진 설계 여유 내에 위치하여, 최종 안테나 성능이 규격을 만족할 수 있을 것으로 분석되었다. 본 논문의 해석 결과는 CBS 안테나 개발에 직접적으로 활용되고 있을 뿐 아니라, 추후 비슷한 규격을 갖는 위성 안테나의 개념 설계 시 손실 버짓 및 적절한 설계 여유 산출에도 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 황보 한, 장상구, "무궁화 1, 2, 3호 위성의 개요 및 활용계획", 한국통신학회지, 14(7), pp. 669-682, 1997년.
- [2] 이성팔, "국내 통신위성 개발계획", 통신위성 우주산업연구회지, 8(1), pp. 41-46, 2000년.
- [3] T. Kitsuregawa, *Advanced Technology in Satellite Communication Antennas: Electrical and Mechanical Design*, Artech House, Ch. 4, 1990.

CBS Ku대역 안테나의 제작/정렬 오차 민감도 해석

[4] A. W. Rudge, N. A. Datia, "Offset Parabolic Reflector Antennas: A Review", *Proc. IEEE*, vol. 66, pp. 1592-1618, Dec. 1978.

[5] 최학근, 박정기, 박성룡, "국내 방송위성을 위한 오프셋 파라볼라 안테나의 설계에 관한 연구", *대한전자공학회 논문지*, 26(2), pp. 66-75, 1989년.

[6] 최학근 외, "국내위성을 위한 경면수정 오프셋 그레고리안 안테나의 설계", *한국전자과학회 논문지*, 12(5), pp. 765-776, 2001년.

[7] 한재홍, 윤소현, 박중홍, 이성팔, "통신방송위

성 안테나 개발 및 시험 절차", *한국항공우주학회 춘계학술대회 논문집*, pp. 532-535, 2001년.

[8] S. P. Lee et al., *Communications and Broadcasting Satellite Critical Design Review Presentation*, ETRI, 2002.

[9] K. Pontoppidan, *Technical Description of GRASP8*, TICRA Engineering Consultants, 2000.

[10] Y. Rahmat-Samii, "A Comparison between GO/aperture field and Physical Optics Methods for Offset Reflector", *IEEE Trans. AP*, vol. 32, pp. 301-306, Mar. 1984.

한 재 홍



1998년: KAIST 항공우주공학과 (공학박사)
 1998년~1999년: 일본 동북대 연구원
 2000년~현재: ETRI 통신위성개발센터 선임연구원, 초빙연구원
 2003년~현재: KAIST 항공우주공

학과 조교수
 [주 관심분야] 위성시스템, 위성안테나

박 중 홍



1997년: 한양대학교 기계공학과 (공학박사)
 1992년: 영국 MMS(Matra Marconi Space) 파견연구원
 1994년: 미국 LMAS(Lockheed Martin Astro Space) 파견연구원
 1982년~현재: ETRI 통신위성개발

센터 (현 통신위성시험팀장)
 [주 관심분야] 위성 중계기 및 안테나

윤 소 현



2000년: 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
 2000년~현재: ETRI 통신위성개발센터 연구원
 [주 관심분야] 위성안테나, M/W

이 성 팔

1990년: 미국 Polytechnic Institute of New York 전기공학과 (공학박사)
 1992년~1995년: 영국 MMS(Matra Marconi Space) 파견연구원
 1980년~현재: ETRI 통신위성개발센터(현 통신위성개발센터장)
 [주 관심분야] 통신위성시스템, 위성관제

엄 만 석



1989년: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년~현재: ETRI 위성RF부품팀 선임연구원
 [주 관심분야] 위성안테나, RF부품