

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.3.43>

IIBC 2018-3-7

산란체에 의한 오프셋 파라볼라 안테나 부엽 왜곡 분석

Sidelobe Distortion Analysis of Offset Parabolic Antenna by Scatterer

김승호*

Seungho Kim*

요약 파라볼라 오프셋 안테나는 위성 신호 송수신을 위하여 널리 사용된다. 한편, 파라볼라 안테나를 급전하기 위해 혼 안테나를 파라볼라 안테나로부터 이격된 일정 위치에 고정하여야 한다. 하지만 혼 안테나를 고정하기 위한 구조물에 의해 파라볼라 안테나의 방사 패턴에서 부엽 이득이 왜곡되는 문제점이 있다. 따라서 파라볼라 안테나 설계 시 안테나 방사 패턴에서의 부엽 수준을 예측할 수 있어야 한다. 기존 시뮬레이션 방법을 이용하면 장시간이 소요되거나 고가의 소프트웨어가 필요하다. 이를 간단하게 해결하기 위해서 광선 추적기법을 이용하여 파라볼라 오프셋 안테나 지오메트리 상에서 계산하여 고각 부엽 각도를 예측한다. 본 논문에서는 광선추적기법을 이용하여 부엽 각도를 계산하고, 계산된 부엽 각도와 시뮬레이션 결과를 비교하여, 예측 방법의 정확성을 보이며 임의의 산란체의 위치 및 각도에 따라 오프셋 파라볼라 안테나의 고각 패턴에 어떠한 영향을 주는지 확인한다.

Abstract Offset parabolic antenna have been widely used for satellite communication system. To locate feedhorn on antenna system, it requires arbitrary structure which forces to fix on system. However, arbitrary scatterer increases sidelobe level of elevation axis. To solve this problem, we need to predict which angle level is increased by arbitrary scatterer simply. Because conventional simulation method takes a long time to simulate parabolic antenna system and needs exclusive software. In this paper we can calculate sidelobe angle simply by using raytracing method, check coincidence between calculated and simulated result and show how arbitrary scatterer affects sidelobe level of elevation axis of offset parabolic antenna depending on angle and location of arbitrary structure.

Key Words : raytracing, elevation sidelobe, offset parabolic antenna system

1. 서론

현재 위성과 지상 단말 간 통신 기술이 활발히 개발되고 있다. 특히 위성과 단말 간의 고용량 전송을 하기 위해서는 높은 SNR이 필요하다. 이를 위해 높은 이득을 가진 안테나가 필요하다^[9].

안테나의 이득 효율을 높이기 위해 이중 반사판 구조보다 싱글 오프셋 반사판 구조를 사용하게 된다^{[1][2]}. 또한 위성통신단말 개발 시 주변 위성에 대한 간섭을 최소화해야 한다. 그에 따른 기준 패턴이 마련되고 이를 만족시키기 위해서 제작 전 안테나와 혼패턴에 관련된 시뮬레이션을 진행한다. 하지만 싱글 오프셋 구조의 안테나는

*정회원, 국방과학연구소

접수일자: 2018년 4월 24일, 수정완료: 2018년 5월 24일

게재확정일자: 2018년 6월 8일

Received: 24 April, 2018 / Revised: 24 May, 2018

Accepted: 8 June, 2018

*Corresponding Author: kkim@mjc.ac.kr

Dept. of Electrical Engineering, Myongji College, Seoul, Korea

혼을 지지하기 위한 지지대 및 급전혼에 급전하기 위한 여러 RF 장치가 혼 지지대에 자리하게 된다^[6]. 게다가 안테나시뮬레이션을 위해서 고비용의 소프트웨어가 필요하다. 또한 크기에 따라 시뮬레이션 소요시간이 길기 때문에 보다 신속히 혼 지지대 및 RF 장치의 부엽 영향성을 신속히 파악하기 하기 어렵다^[3].

본 논문에서는 시뮬레이션 시 안테나와 급전혼의 시뮬레이션에서 혼 지지대가 패턴에 미치는 영향 및 이를 광선추적기법을 이용하여 부엽이 증가하는 각도를 계산하고, Physical Optic을 이용한 시뮬레이션 결과와 비교한다. 이를 통해서 광선추적기법을 이용하여 보다 간단하게 부엽에 영향을 미치는 각도를 확인할 수 있는 방법을 소개한다^[7].

II. 광선 추적 기법을 이용한 계산 방법

1. 광선 추적 기법을 이용한 계산 방법

컴퓨터 그래픽에서 반사광 효과 등에 사용되는 광선 추적기법을 이용하여 전파의 주파수를 무한대로 가정하여 직진성을 가지는 광선으로 표현한다. 이 광선은 스넬의 법칙에 따라, 산란체의 입사 각도에 따라 반사 각도가 결정되어 직진한다^[4].

혼 지지대가 없을 때 광선 추적 기법을 사용하면 오프셋 파라볼라 안테나의 초점에서 전 방위 각도로 퍼지는 광선은 안테나의 초점에서 나와 반사판에 입사하여 안테나 진행 방향 기준을 그림 1과 같이 0도로 나아가게 된다. 하지만 초점과 반사판 사이에 면을 가진 산란체가 존재하면, 그림 1과 같이 광선이 기존의 0도가 아닌 다른 각도인 오류 각도가 존재하며, 이와 같은 성분은 오프셋 파라볼라 안테나의 부엽 성능에 영향을 준다.

오류 각도를 계산하기 위해서 그림 2와 같이 벡터를 정의한다. 또한 광선은 산란체의 윗면에 맞아서 반사되므로, 광선이 입사되는 산란체의 윗면을 임의의 면으로 정의한다. 광선이 입사되는 임의의 면과 반사면은 법선 벡터를 가진다. \vec{V}_j 는 급전 혼으로부터 임의의 면으로 향하는 방향 벡터이고, \vec{V}_p 는 임의의 면으로부터 반사면을 향하는 방향 벡터이며, \vec{V}_{ref} 는 반사면에서 공기로 향하는 방향벡터이다. 또한 \vec{N}_p 는 임의의 면의 법선 벡터이고, \vec{N}_{ref} 는 반사판의 법선벡터로 정의한다. 벡터를 이용

하여 반사벡터를 손쉽게 계산할 수 있다. 현재 \vec{V}_j 와 \vec{N}_p 를 알고 있으므로 식 1을 이용하여 계산한다.

$$\vec{V}_p = \vec{V}_j + 2\vec{N}_p(-\vec{V}_j \cdot \vec{N}_p) \quad (1)$$

\vec{V}_p 를 이용하여 점 P의 값을 알고 있으므로 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$R(x_{ref}, y_{ref}) = P + t\vec{V}_p \quad (2)$$

$P + t\vec{V}_p$ 는 t에 따라 변하므로 이를 이용하여 교차점을 찾는다. 이제 교차점 R을 알기 때문에, 반사면 수식에 따라 접선의 각도 $\theta_{ref} = \tan^{-1}(2F/y_{ref})$ 를 구할 수 있다. 이하 식 3을 사용하여 \vec{N}_{ref} 을 계산한다.

$$\vec{N}_{ref} = (\cos(\theta_{ref}), \sin(\theta_{ref})) \quad (3)$$

\vec{V}_p 와 \vec{N}_{ref} 를 알고 있으므로, 반사벡터 \vec{V}_{ref} 를 식 4를 이용하여 계산한다.

$$\vec{V}_{ref} = \vec{V}_p + 2\vec{N}_{ref}(-\vec{V}_p \cdot \vec{N}_{ref}) \quad (4)$$

\vec{V}_{ref} 를 이용하여 오류 각도를 구할 수 있다. 식 (5)를 이용하여 오류 각도를 계산한다.

$$error \angle = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{V}_x \cdot \vec{V}_{ref}}{\|\vec{V}_x\| \|\vec{V}_{ref}\|}\right) \quad (5)$$

임의의 면의 각도와 위치를 알고 있으면 위의 수식을 이용하여 오류 각도를 계산할 수 있다.

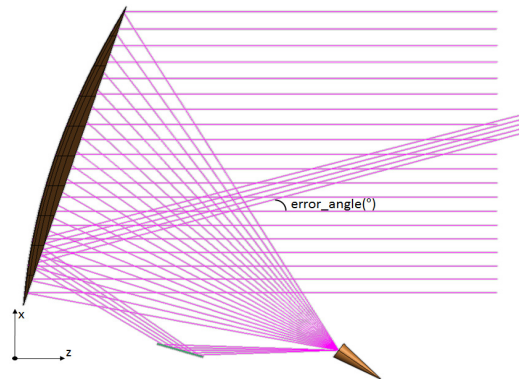


그림 1. 오프셋 안테나 광선 추적 및 임의의 면을 가질 때의 광선 추적
Fig. 1. Offset antenna ray tracing with arbitrary plane

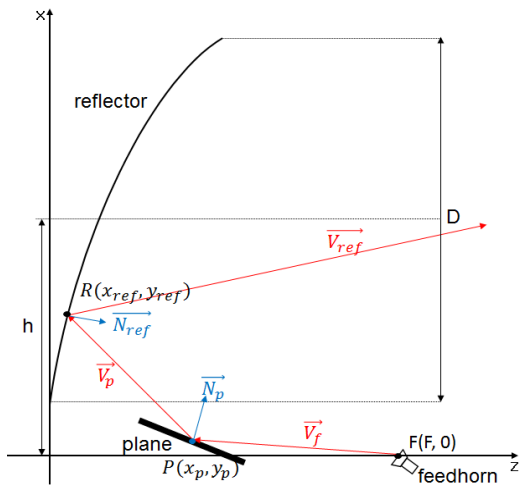


그림 2. 오프셋 안테나 광선 추적 및 임의의 면을 가질 때의 광선 추적 벡터 표현 방법
 Fig. 2. Vector expression of offset antenna ray tracing with arbitrary plane

2. 임의의 면 조건

안테나의 파라미터는 초점(F)은 2 m, 직경(D)은 2 m, 오프셋은 1.3 m이며, 임의의 면의 크기는 z 방향으로 0.3 m, y 방향으로 0.6 m의 크기를 갖는다^[5].

그림 2는 8종류의 면에 대해서 묘사한다. 안테나 파라미터는 안테나의 초점(F)은 2 m, 오프셋은 1.3 m이다. 8종류의 면은 조건 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8로 표현한다. 조건 1~8까지의 세 가지 파라미터는 θ , l, h로 구분한다. θ 는 z 축을 기준으로 아래로 경사로 정의하며, l은 θ 가 17도의 경사를 가질 때, 조건 1면을 기준으로 급전혼 방향으로 얼마나 오프셋 이동을 하는지 m로 정의한다. 조건 1을 기준으로 급전혼 방향을 플러스로 표현한다. h는 x 축을 기준으로 임의의 면이 상승하는 m로 정의한다.

조건 1은 기준이 되는 면으로, 반사판과 급전혼 사이에 위치하며 θ 는 17°이다. 조건 2와 3은 조건 1을 기준으로 급전혼 및 반사판 방향으로 수평하게 0.5 m 씩 이동하여 위치한 면으로 정의한다. 조건 4와 5는 조건 2 면을 기준으로 x축 방향으로 0.1 m 씩 이동하여 위치한 면으로 정의한다. 마지막으로 조건 6, 7, 8은 조건 1과 위치는 같으나 각도를 각각 25°, 35°, 0°를 가지는 면으로 정의한다.

각 8개의 조건에서 임의의 면의 각도와 위치를 알고 있다. 1절의 식을 이용하여 각 조건마다 오류 각도를 계산하였다. 임의의 면은 일정한 길이(0.3 m)를 가지고 있기 때문에, 오류 각도는 하나의 각이 존재하지 않고, 최대

값에서 최소값이 존재한다. 계산된 각도는 표1에서 확인할 수 있다. 조건 8에서는 오류각도가 계산되어 있지 않았는데, 이는 조건 8의 임의의 면에 입사된 광선이 반사면으로 반사되지 못하는 조건이기 때문에 계산된 오류각도가 없다^[8].

계산된 오류 각도는 안테나 시뮬레이션 고각 패턴에 영향을 줄 것으로 예상된다. 특히 전파를 광선으로 해석을 하였기 때문에, 광선이 분산되기 때문에, 고각 패턴에서 오류 각도 주변의 부엽 이득 패턴이 증가된다고 생각한다. 또한 계산된 오류각도 내에서 부엽 이득 패턴이 가장 크게 증가할 것으로 예상된다. 하지만 오류 각도가 계산되지 않은 조건 8의 경우 패턴에 크게 영향이 주지 않을 것으로 예상된다.

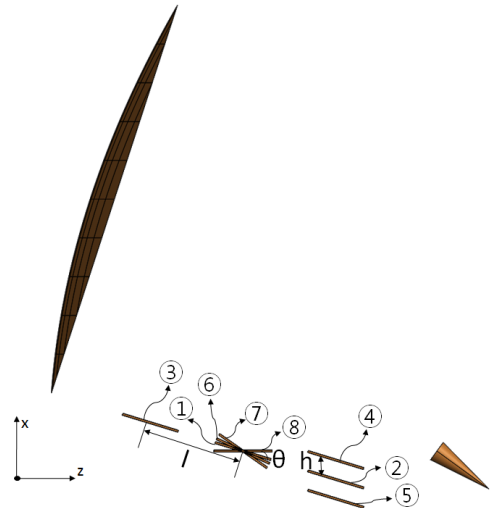


그림 3. 8개의 면 조건
 Fig. 3. 8 condition of plane

표 1. 실험 파라미터 및 오류 각도 계산 결과

Table 1. Simulation Parameters and result of error angle

구분	Parameter			계산된 오류 각도(°)
	θ (°)	l(m)	h(m)	
#1	17	0	0	15.38 ~ 16.10
#2	17	0.5	0	9.94 ~ 14.33
#3	17	-0.5	0	16.35 ~ 16.57
#4	17	0.5	0.1	8.69 ~ 10.36
#5	17	0.5	-0.1	11.29 ~ 17.15
#6	25	0	0	19.66 ~ 21.98
#7	35	0	0	19.9 ~ 25.89
#8	0	0	0	-

III. 시뮬레이션 결과와 비교

계산된 오류각도와 실제 시뮬레이션과 상관관계를 확인하기 위하여, TICRA사의 GRASP를 이용하여 오프셋 파라볼라 안테나 시뮬레이션을 Physical Optics 해석 방법을 이용하여 진행하였다. 기본 급전혼의 패턴은 원형 편파를 가진 가우시안 그림 4와 같이 25.6도의 taper 각도와 -12dB의 taper를 가진다. 주파수는 8 GHz를 사용하였다. 그림 5에서 그림8까지 각 조건의 패턴 결과를 보인다. 또한 기존 임의의 면이 존재하지 않았을 때와 비교가 쉽도록 각 조건마다 패턴을 첨부하여 보였다. 그림 5에서 그림 8까지 각 조건마다 동일 편파 및 교차 편파의 고각 이득 패턴을 보여준다. 또한 객관적인 결과 확인을 위해서 각 조건마다 시뮬레이션에서 교차 편파의 첨두 각도와 계산된 오류 각도를 비교하였다.

그림 5, 6에서는 동일한 각도를 가지고 조건 1의 임의의 면에 평행하게 위치만 달리한 조건 2와 3을 비교한 패턴이다. 이 조건에서는 면 위치에 따른 영향성을 확인할 수 있다. 면이 급전혼과 가까울수록 첨두 각도는 0도와 가까워진다. 하지만 첨두 이득은 조건 2와 3에 비해 낮은 것을 볼 수 있는데 이는 조건 2의 임의의 면에 입사되는 전파는 혼의 가우시안의 패턴에서 조건 1과 3에 비해 낮은 이득을 가지기 때문이다. 조건 2의 같은 경우 계산된 오류각도 내에 교차 편파 이득의 첨두 각도가 존재하지만 조건 1과 3에서는 전파가 분산되어 첨두 각도 1°4도가량 오류를 보인다. 특히 조건 3에서 오류 각도가 큰데 이는 가장 큰 이득을 가지는 전파를 반사하기 때문에 전파가 분산되었기 때문이다. 그림 5에서는 동일 편파에도 영향이 있는 것을 볼 수 있는데, 교차 편파에 비해서 동일 편파의 영향은 적으나 이는 무시할만하지 않다. 하지만, 교차 편파에서 기존 패턴 대비 큰 영향성을 확인할 수 있기 때문에 이후 이득 패턴은 교차 편파 이득 패턴만 삽입하였다.

그림 7은 조건 2, 4, 5를 비교한 그래프이다. 조건 2를 기준으로 x축으로 위 아래로 0.1m을 이동시킨 조건이다. 임의의 면이 급전혼과 가까우면 오류 각도가 0도와 가까워지는 것을 볼 수 있다. 또한 높은 이득의 혼 패턴이 입사되어 반사되기 때문에 첨두 이득이 높은 것을 확인할 수 있다. 조건 2, 4, 5에는 계산된 오류 각도 내에 교차 편파 이득의 첨두치가 존재하는 것을 확인할 수 있다.

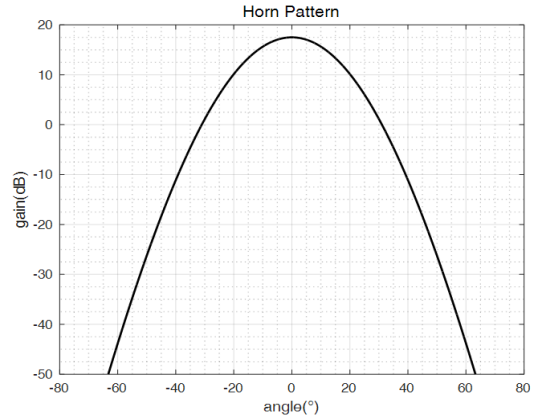


그림 4. 동일편파 가우시안 혼 패턴
Fig. 4. Co-pol gaussian horn pattern

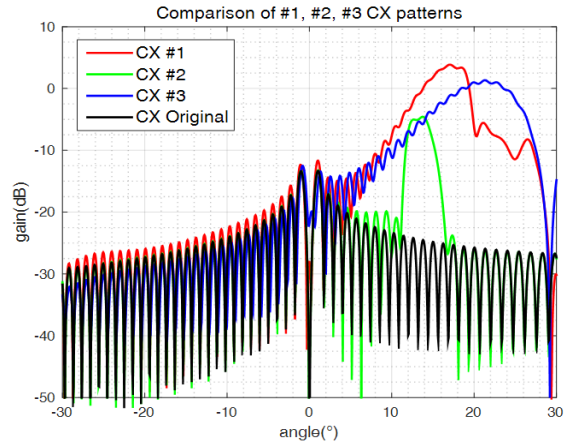


그림 5. 조건 1,2,3의 교차 편파 고각 패턴 비교
Fig. 5. Comparison of cross-pol #1, 2, 3 patterns

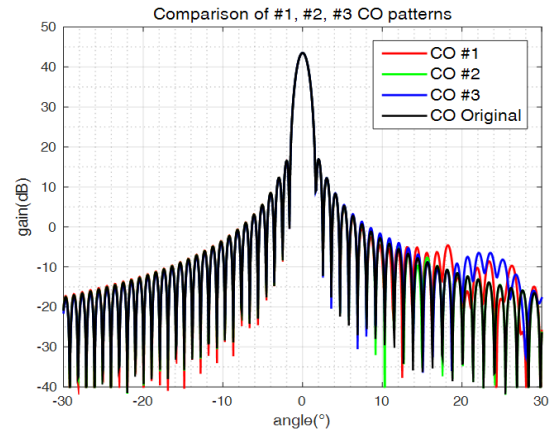


그림 6. 조건 1,2,3의 동일 편파 고각 패턴 비교
Fig. 6. Comparison of co-pol #1, 2, 3 patterns

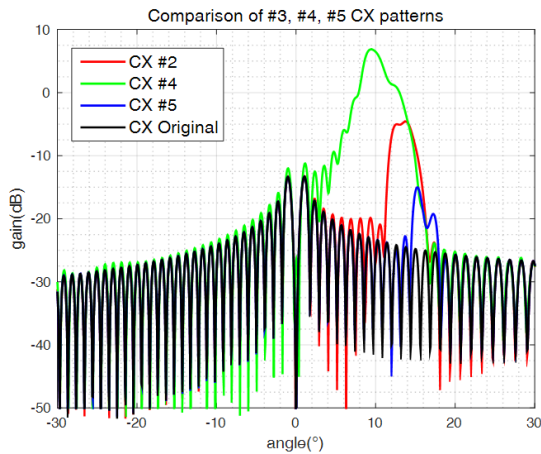


그림 7. 조건 2,4,5의 교차 편파 고각 패턴 비교
 Fig. 7. Comparison of cross-pol #2, 4, 5 patterns

그림 8은 조건 1, 6, 7, 8의 교차 편파 이득을 표현한 그래프이다. 동일한 위치 조건에 각도만 다르기 때문에 각도에 대한 영향성을 확인할 수 있다. 각도가 증가할수록 계산된 오류각도가 0도와 가까운 것을 알 수 있다. 또한 계산되지 않은 조건 8의 패턴을 확인하면 임의의 면이 존재하지 않을 때 패턴과 비슷함을 볼 수 있다. 조건 6, 7은 계산된 오류 각도 내에서 교차 편파 이득 침두치가 있는 것을 확인할 수 있다.

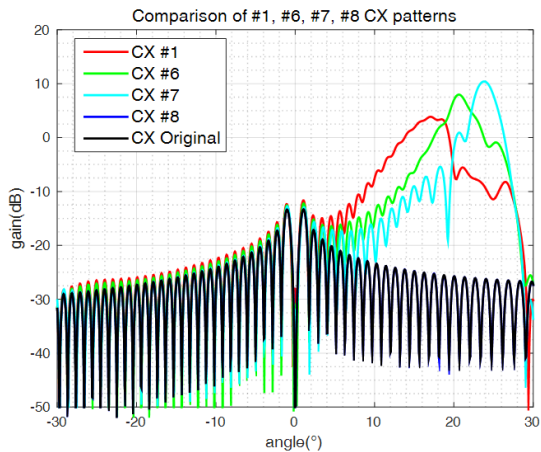


그림 8. 조건 1,6,7,8의 교차 편파 고각 패턴 비교
 Fig. 8. Comparison of cross-pol #1, 6, 7, 8 patterns

8개의 조건에 따른 광선추적기법을 이용한 계산치와 시뮬레이션의 결과값을 비교를 해보았다. 7가지 중 5가지 조건에서 계산된 각도 내에서 교차 편파 이득값이 침두치를 갖고 있다. 패턴 이득값의 침두치가 계산 각도 안

에 없더라도, 약 1~4도의 오류를 가지고 있어, 계산된 값과 영향 받는 고각 패턴 각도와의 정합성을 충분히 가지고 있다.

표 2. 실험 파라미터 및 오류 각도 계산 결과

Table 2. Simulation Parameters and result of error angle

구분	계산된 오류 각도(°)	교차 편파 침두 각도(°)
#1	15.38 ~ 16.10	17
#2	9.94 ~ 14.33	13.65
#3	16.35 ~ 16.57	21.2
#4	8.69 ~ 10.36	9.55
#5	11.29 ~ 17.15	15.25
#6	19.66 ~ 21.98	20.75
#7	19.9 ~ 25.89	23.85
#8	-	-

IV. 결론

본 논문에서 임의의 면에 따라 고각 이득 패턴이 영향성을 광선추적기법을 이용하여 각도를 예상하고, 시뮬레이션 결과를 이용하여 계산된 각도와 이득 패턴의 침두치를 비교하여 연관성을 확인하였다. 비교 결과 패턴은 7가지의 조건 중 5가지 조건에서 계산된 값에서 교차편파 이득값이 침두치를 보였으며, 그 안에 침두치가 없더라도 약 1~4도의 오차를 가지고 있는 것을 보였다. 이를 통해 광선추적기법으로 상대적으로 시간을 소요하고 고각의 시뮬레이션 프로그램을 하지 않더라도 어느 각도에서 영향을 받는지 광선추적기법을 이용하여 쉽게 계산이 가능하다는 것을 보였다.

또한 8가지의 임의의 면을 조건을 보고 이득 패턴의 결과를 분석하면, 임의의 면의 위치 및 각도가 중요하다는 것을 보여준다. 조건 1, 2, 3에서는 동일 각도에서 급전혼으로 가까울수록 영향 받는 각도가 0도와 가까워지는 것을 보여준다. 조건 2, 4, 5에서는 x축에 따른 높이에 따라서 급전혼에 가까울수록 영향 받는 각도가 0도와 가까워지는 것을 보여준다. 마지막으로 조건 1, 6, 7, 8에서 각도가 급경사가 될수록 영향 받는 각도가 0와 가까워지는 것을 볼 수 있으며, 일정 각도에서는 패턴에 영향을 주지 않는 것을 볼 수 있다. 조건 8과 같은 일정 조건을 급전혼 지지대 및 RF 구조물에 적용할 수 있다면 임의의 구조물이 패턴에 영향이 없도록 설계가 가능하다.

따라서 광선추적기법을 이용한 계산을 이용하여 고각의 부엽 오류 각도를 산출하여 오프셋 파라볼라 안테나의 구조 설계에 반영 가능하다.

References

- [1] C. C. CUTLER, "Parabolic-Antenna Design for Microwaves", PROCEEDING OF THE I.R.E, Vol. 35, No. 11, pp. 1284-1294, Nov 1947.
DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=1697241>
- [2] ALAN.W. RUDGE, NURDIN A. ADATIA, "Offest-Parabolic-Reflector Antennas : A Review", PROCEEDING OF THE IEEE, Vol. 66, No. 12, pp. 1592-1618, Dec 1978.
DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=1455439>
- [3] Hal Schrank, Warren Stutzman, Marco Terada, "Design of Offset-Parabolic-Reflector Antenna for Low Cross-Pol and Low Sidelobes", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 35, No. 6, pp. 46-49, Dec 1993.
DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=248488>
- [4] J.D. Foley, "An Improved Illumination Model for Shaded Display", Communications of the ACM, Vol. 23, No. 6, pp. 343-349, Jun 1980.
DOI: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1198743>
- [5] Warren L. Stutzman, "Antenna Theory and Design", WILEY, Third edition
- [6] Y Rahmat-Samii, "Reflector antennas handbook", Springer, 1988
- [7] Y Rahmat-Samii, "A comparison between GO/aperture-field and physical-optics methods of offset reflectors", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 32, No. 3, pp.301-306, Mar 1984
- [8] PS kildal, "Synthesis of multireflector antennas by kinematic and dynamic ray tracing", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.

38, No. 10, pp1587-1599, Oct 1990

- [9] B.S Woo, "Design of a Simultaneously Operable Tri-band Antenna for SATCOM", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), VOL. 15 NO. 2, April 2015

저자 소개

김 승 호(정회원)



- 2013년 2월 : 충북대학교 전자공학부 공학사
- 2015년 2월 : 광주과학기술원 정보통신학부 공학석사
- 2015년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원