

위성방송 수신용 소형 반사면 안테나의 절단 크기에 따른 성능지수의 분석

임계재*

An Analysis of the Figure of Merit depending on the cut-off size of a Small Reflector for Satellite Broadcast Receiving Antenna

Gye-jae Lim*

요 약

본 논문은 위성방송 수신용 소형 파라볼라 안테나의 높이를 보다 낮추기 위하여 반사면의 상하 부분을 부분적으로 절단하였을 때 나타나는 spill-over 의 증가로 인한 성능지수의 저하를 분석하였다. 또한 안테나를 고도각 0도부터 60도까지 트래킹하는 경우에 측엽과 후엽이 받는 대지면 열잡음의 증가로 인한 잡음온도의 영향을 고려하고, LNA 의 잡음지수로 인한 총 잡음온도의 증가 영향을 고려하여 성능지수 값을 시뮬레이션 하여 그 결과를 분석하였다.

분석 결과, 원형 파라볼라의 반사면 상하부분을 35% 절단하였을 때, 잡음온도는 약 15K 정도 증가하였으며, G/T 비는 2.5dB 정도 저하하였다.

ABSTRACT

In this paper, the reduction of the figure of merit depending on the increased spill-over when the parabolic reflector is cut off partially for low-profile configuration in the satellite broadcast receiving antenna is analyzed. Also for the accurate analysis and simulation, it is considered that the noise temperature is increased due to the effect of ground thermal noise toward the sidelobes and back lobes when the antenna is tracked from 0° to 60° in elevation angle, and that the total noise temperature is increased because to the noise figure of LNA.

As the results, noise temperature is increased up to about 15K and G/T ratio is decreased to about 2.5dB, when the reflector is cut 35% off partially.

키워드 : 파라볼라 안테나, spill-over, Figure of Merit

1. 서 론

이동 중에도 위성방송을 수신하기 위한 위상방송수신 안테나의 수요가 증가하고 있으며, 차량 등

에 탑재하기 용이하도록 소형 경량화 및 높이가 낮은 구조가 상용 분야에서 요구되고 있다. 일반적으로 이용되는 위상방송수신 안테나는 파라볼라 구조가 대부분이나 원형 형태의 높이를 낮추기가

* 교신저자 : 관동대학교 전자정보통신공학부(gjlim8383@gmail.com)

접수일자 : 2013년 8월 1일, 수정일자 : 2013년 8월 20일, 심사완료일자 : 2013년 9월 1일

어렵다는 문제점이 있다. 이러한 구조에서 부득이 하게 일정 이득 내에서 높이를 낮추기 위해서는 좌우 반사면의 크기를 키우고 상하 반사면을 절단 하여 설계한 구조가 상용화되고 있다.

그러나 파라볼라 반사면은 위성 방향을 지향하기 위해 하늘 방향을 향하기 때문에 그 초점부에 위치한 급전혼은 지구 대지면을 향하게 되어 대지면 열잡음의 수신 증가로 G/T 비의 저하가 발생한다. G/T 비는 위성수신시스템의 전체 성능을 결정하는 가장 중요한 성능지수로 시스템 설계의 최종 단계에는 항상 고려하여야 할 중요한 파라미터이다.[1,2,3]

G/T 비에 있어서 G는 안테나의 이득으로 파라볼라 안테나 직경의 함수이다. 시스템 잡음온도 T는 식 (1) 과 같이 파라볼라 안테나가 외부 환경으로부터 수신하는 열잡음온도 T_{ANT} 와 수신기의 잡음온도 T_{RX} 합이며, 시스템 내의 단자 위치에 따라 다른 값을 가지므로 이들 양쪽 잡음온도는 동일 단자점에서 정의되어야 한다.

$$T = T_{ANT} + T_{RX} \quad (1)$$

수신기 입력단에서 수신기 잡음온도 T_{RX} 는 LNA로부터의 영향과 LNA 뒤 단에 연결된 기타 부품들의 영향을 포함하고 있기 때문에, 다음 식과 같은 종속(cascade) 잡음온도가 된다.

$$T_{RX} = T_{LNA} + \Sigma(T_i/G_{i-1}) \quad (2)$$

여기서, T_{LNA} 는 LNA 자체의 잡음온도이고, T_i 는 LNA 뒤 단 i 번째에 연결된 부품의 잡음온도, G_{i-1} 은 i 번째 부품의 입력단(즉, $i-1$ 번째 부품의 출력단)에서의 삽입손실이다. 본 논문에서는 LNA 뒷단에서의 잡음온도 영향은 고려하지 않았다.

안테나 입력단과 LNA 사이에 급전선로와 필터 없이 직결합되어 있다면, 이에 따른 손실 영향을 무시할 수 있으므로 안테나의 잡음온도 T_{ANT} 는 그림 1 과 같이 급전혼에 입사되는 방향에 따른 외부 열잡음의 총합이며, 이는 반사면이 지향하는 방향과 반사면 형상에 따른 spill-over 정도에도

영향을 받는다.[4] 따라서 안테나의 주빔 레벨과 측엽 및 후엽 레벨, spill-over 영향을 고려한 총 잡음온도는 아래 식으로 계산 가능하다. [1]

$$\int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} P(\theta-\theta_0, \phi-\phi_0) T(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (3)$$

여기서, $P(\theta-\theta_0, \phi-\phi_0)$ 는 (θ_0, ϕ_0) 방향에서 최대의 빔이득을 갖는 전력패턴으로 이 최대 빔이득으로 정규화된 값이다. 또한 이 전력패턴에는 주편파와 교차편파 성분이 모두 포함되어 있다. $T(\theta, \phi)$ 는 3차원 구좌표 상의 방향에 따른 열잡음온도 패턴이다. 일반적으로 하늘방향 고도각에 따른 잡음온도는 그림 2 와 같이 Ku-band에서 약 3K ~ 130K 정도를 가지며, 대지면 잡음온도는 290K 값을 갖는다.[5]

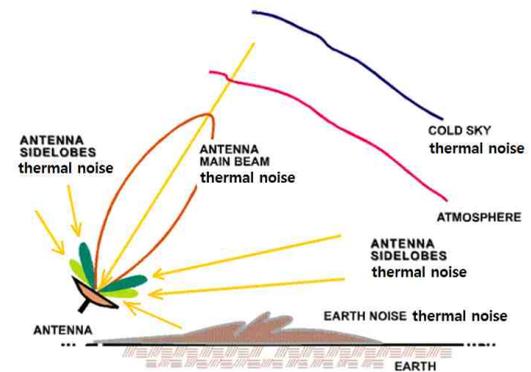


그림 1. 안테나 주빔 및 측엽에 인입되는 열잡음전력.

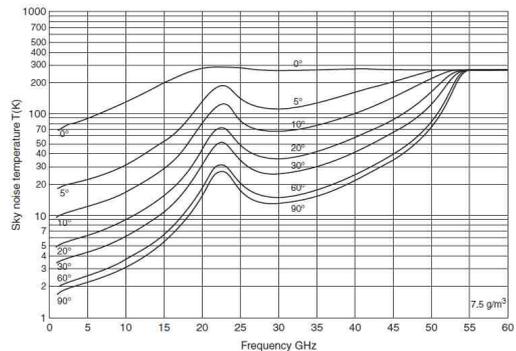


그림 2. 하늘방향에서 주파수 및 고도각에 따른 잡음온도 분포. (그림 내의 각도는 지평선 방향을 0도로 두고 고도각 $\theta = 0^\circ$ 를 90도로 설정한 각도이다.)

따라서 G/T를 증가시키기 위해서는 직경이 큰 파라볼라 안테나를 사용하거나, 급전흔이 하늘 방향을 바라보는 2중 반사면 안테나 및 옴셀 파라볼라 안테나를 사용하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 소형 파라볼라 안테나를 이동차량에 탑재하여 고도각 $\theta = 0^\circ$ 부터 60° 까지를 트래킹하기 위해, cut-off 파라볼라를 적용하여 낮은 높이로 설계하고 hat-fed 부반사면과 급전흔을 그림 3(b) 와 같이 주반사면 중심축 상에 설치하여 급전흔이 대지면 방향을 향하지 않도록 설계하였다. 이러한 설계를 통해 잡음온도의 유입을 최소화하였다.

본 설계 구조의 G/T 성능을 확인하기 위해 원형 파라볼라 안테나와 cut-off 파라볼라 안테나에 대한 총 G/T를 식(3) 으로 계산하여 비교하였다.

II. 본 론

2.1 파라볼라 안테나의 기본설계

기준이 되는 원형 파라볼라 안테나와 상하 부분 반사면을 일정 크기로 잘라내어 높이를 낮춘 파라볼라 안테나를 Ku-band 대역에서 동작하도록 그림 3 의 (a) 와 (b) 와 같이 직경 $D=350\text{mm}$, 초점거리 $F=100\text{mm}$ 에 대해 최적 급전흔 배치로 설계하였으며, 이때 11.7 GHz에서 시뮬레이션한 이득과 빔패턴 성능은 그림 4 및 표 1 과 같다.

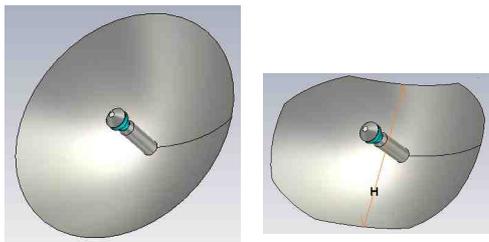


그림 3. 파라볼라 안테나의 설계 구조.

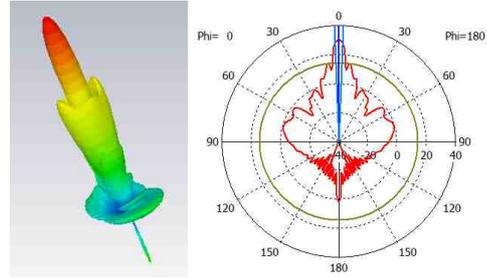


그림 4. 원형 파라볼라 안테나의 빔패턴.

표 1. 파라볼라 안테나의 시뮬레이션 성능.

항목	성능	
	원형 파라볼라의 경우	cut-off 파라볼라의 경우 (H=225mm)
직경 D(mm)	350	350
초점거리 F(mm)	100	100
이득(dBi)	30.4	28.5
빔폭(도)	46	44

2.2 잡음온도와 G/T 의 계산

잡음온도의 3차원 온도패턴에 고도각 θ_0 로 트래킹된 안테나의 이득패턴을 각도에 따라 곱한 후에 전체 구면 상에서 면적적분을 수행하면, 안테나 총 잡음온도 T_{ANT} 를 구할 수 있다. 이때 θ_0 와 ϕ_0 는 트래킹에 의해 안테나 주빔의 고도각과 방위각을 트래킹한 각도이다.

ϕ_0 를 일정하게 두고 θ_0 를 0도에서 60도까지 30도 단계로 트래킹하였을 때 구해진 T_{ANT} 를 원형과 cut-off 안테나에 대해, 고도각 방향 트래킹 각도에 따라 정리하여 표 2 에 보였다. 그림 2 에서 알 수 있듯이 안테나 잡음온도는 주파수의 함수이며, 본 논문에서는 Ku-band 위성수신 주파수의 중심주파수인 11.7 GHz 에서의 결과만을 보였다.

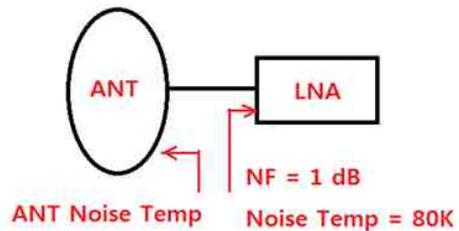


그림 5. 안테나와 LNA 에서 총 잡음온도 관계.

일반적으로 상용에서 사용되는 LNA 의 잡음지수는 약 1dB 값을 가지며, 이를 잡음온도로 환산하면 80K 와 등가이다. 그림 5 와 같이 안테나 잡음온도와 이와 동일 기준점이 되는 LNA 입력단에서 잡음온도의 합이 시스템 총 잡음온도가 되며, 이로부터 G/T를 계산한다.

표 2. 주빔의 고도각 트래킹 각도에 따른 안테나 잡음온도 및 G/T 의 변화. @ 11.7 GHz

구조		총 잡음온도 T [K]	G/T [dB/K]
원형 파라볼라 (D=H=350)	$\theta_0 = 0^0$	9.82	10.87
	$\theta_0 = 30^0$	24.28	10.22
	$\theta_0 = 60^0$	34.06	9.84
cut-off 파라볼라 (H=225)	$\theta_0 = 0^0$	24.03	8.33
	$\theta_0 = 30^0$	39.52	7.73
	$\theta_0 = 60^0$	49.18	7.39

시뮬레이션 결과는 트래킹 각도가 커질 때, 안테나의 축엽 및 후엽의 영향으로 잡음온도가 증가하며, 이에 따른 G/T 값은 전체적으로 감소하는 경향을 보여 합리적인 결과를 보이고 있다. 또한 cut-off 파라볼라는 원형 파라볼라에 비교하여 spill-over 가 증가하므로 역시 잡음온도의 상승과 G/T 값의 저하를 확인할 수 있다.

III. 결론

소형 파라볼라 안테나의 높이를 낮추기 위해 반사면의 상하부분을 절단한 구조의 파라볼라의 수신 성능지수 G/T를 계산하기 위한 시뮬레이션 과정과 결과를 보였다. 절단된 파라볼라 반사면에서의 spill-over 증가로 인한 잡음온도의 증가, 트래킹 각도를 증가시켰을 때의 잡음온도의 증가로 인해 잡음지수가 저하하고, 이로 인한 전체 성능지수가 저하함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] Robert Dybdal, Communication Satellite Antennas, McGraw-Hill, 2009

[2] Louis J. Ippolito, Jr., Satellite communications systems engineering : atmospheric effects, satellite link design, and system performance, John Wiley & Sons
 [3] Gerard Maral, Michel Bousquet. Satellite communications systems : Systems, Techniques and Technology, 5th Ed, John Wiley & Sons
 [4] Nursel AKAM, "Spillover Losses in Small Cassegrain Antennas," *G.U. Journal of Science 19(4): 185-189 (2006).*
 [5] Robert W. Jones, Handbook on Satellite Communications, 3rd Ed, John Wiley & Sons

저자약력

임 계 재(Gye-jae Lim)

정회원



1983년 2월: 동국대학교
전자공학과 졸업
1988년 8월: 동국대학교
전자공학과 석사
1993년 2월: 동국대학교
전자공학과 박사
1994년 2월 - 현재 :
관동대학교 전자정보
통신공학부 교수

<관심분야> 전자장 및 전파전파, 무선통신공 학, 위성통신 공학

본 연구는 산업통상자원부 지역혁신센터사업(관동대학교 첨단해양공간개발연구센터)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다