

태양활동을 고려한 태양간섭현상 연구와 무궁화 위성への 응용

노경민 · 최규홍
연세대학교 이과대학 천문우주학과

배석희
전파연구소

SUN TRANSIT OUTAGE CONSIDERING SOLAR ACTIVITY AND IT'S APPLICATION TO KOREASAT

Kyoung-Min Roh, Kyu-Hong Choi

Dept. of Astronomy and Space Science, Yonsei University, Seoul 120-749
e-mail: romin@galaxy.yonsei.ac.kr, khchoi@galaxy.yonsei.ac.kr

Suk-Hee Bae

Radio Research Laboratory
e-mail: shbae@cc.rrl.go.kr

(Received March 31; Accepted May 25, 1999)

요 약

태양에 의한 위성전파교란으로 인해 통신이 두절되는 태양간섭 현상(Sun Transit Outage)을 예측해 보았다. 지금까지의 연구는 주로 정지위성의 경우에 국한되었고, 태양모델도 흑점 극소기 때의 태양을 가정한 경우가 대부분이었다. 본 연구에서는 정지위성의 경우뿐 아니라 최근에 그 수요가 급증하고 있는 비 정지위성의 경우에도 그 발생가능성을 예측해 보았다. 특히 11년 주기의 태양표면에서의 활동 변화를 고려하여 태양 간섭현상을 보다 정확히 예측해 보았으며 그 영향을 하향링크의 주파수에 따라 알아보았다. 또한 연구 결과를 실제 운용되고 있는 무궁화위성 시스템에 적용시켜보았다.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to predict Sun Transit Outage phenomenon(Sunout). Sunout had been studied mainly for the case of Geostationary satellite and under the assumption of 'Quiet Sun'. In this paper, we predict sunout phenomenon more precisely for non-geostationary orbit as well as geostationary orbit and specially we considered the degree of solar activity. And we compare the result of the case of C-band and Ku-band. Also the result is applied to the two KoreaSat communication system through calculating the link budget.

1. 서 론

태양간섭현상의 예측은 두가지로 나누어 수행하였다. 첫째는 태양간섭에 의한 장애현상의 발생 시간예측이고, 둘째는 그때의 통신 시스템의 변화 즉 안테나 잡음온도의 상승변화이다. 이러한 변화의 예측은 하향링크의 주파수, 지구국안테나의 크기와 더불어 태양의 활동정도를 고려하였다. 지금까지의 연구는 주로 조용한 태양, 즉 흑점극소기의 태양을 가정한 것이지만 태양의 표면은 11년 주기로 그 활동정도가 변한다. 특히 전파 영역에서는 그 변화는 무척 커서 4GHz대의 경우 태양활동이 최소일 때 23000°K에서 최대일 때 90000°K까지 변한다 (CCIR 1965). 그러므로 정확한 태양간섭현상의 예측을 위해서는 태양활동 정도의 고려는 무척 중요하다. 본 연구에서는 방송통신용으로 주로 사용되는 C-band와 Ku-band의 두 가지 경우를 중심으로 태양활동정도에 따른 안테나 잡음온도의 변화를 예측해 보았다.

2. 태양간섭 현상의 발생시간 예측

2.1 태양과 위성의 위치

태양과 위성의 위치를 시간의 함수로 구하여 태양과 위성의 위치를 매시간 비교하는 방법을 이용하였다. 이때 기준시간계는 UT(Universal Time)를, 기준좌표계로 수평좌표계(Topocentric Coordinate)를 사용하였다. 수평좌표계를 사용하는 이유는 태양간섭현상 예측의 기준점을 지구국으로 하여 태양과 위성의 위치 (Al_{sun}, El_{sun}), (Al_{sat}, El_{sat})를 이용하는 것이 편리하기 때문이다. 지구국에서의 태양과 위성의 각거리는 다음과 같이 계산된다.

$$\theta_0 = \cos^{-1}[\cos(El_{sun}) \cos(El_{sat}) \cos(Az_{sun} - Az_{sat}) + \sin(El_{sun}) \sin(El_{sat})] \quad (1)$$

이 값이 ($HalfPowerBeamWidth + Sun'sDiameter$)/2 값보다 작아지면 태양간섭현상이 발생 하는 것으로 하였다. 여기서 태양의 시직경은 0.5° 로 하였다. 위 식 (1)에서 위성의 위치는 정지위성의 경우 지속적으로 궤도 조정을 하므로 고정점으로 가정하였고, 비 정지위성의 경우는 MSGP4프로그램(Hoots & Roehrich 1980)을 이용하여 궤도전과를 시켜 그 위치를 구하였다. 또한 태양의 위치는 Astronomical Almanac의 알고리즘을 이용하여 구하였다. 이 알고리즘은 1950년에서 2050년까지의 태양의 위치를 0.01° 오차내에서 계산한다.

2.2 태양간섭현상의 발생시간 예측 결과

여기서는 특정 시스템이 아닌 일반적인 경우를 추정하여 태양과 위성의 각거리가 1.0° 내로 들어올 때를 태양간섭현상의 발생으로 하였다. 표 1은 정지위성의 경우 지구국의 위치는 127°E 37°N, 위성의 직하점은 116°E 로 가정한 경우의 결과를 호주의 IPS의 자료(http://www.ips.gov.au/papers/richard/calc_inter.html)와 비교한 것이다. 표 2는 태양동주기 궤도로 상대적으로 태양간섭현상의 발생

표 1. 정지위성의 태양간섭 발생시간.

Result(1999 Autumnal)			IPS Radio & Space Service	
Start time	Duration(Min)		Start time	Duration(Min)
OCT 6 13:08.3	4.0		13:09	4
OCT 7 13:06.5	7.0		13:07	7
OCT 8 13:05.7	8.0		13:06	8
OCT 9 13:05.6	7.7		13:06	8
OCT 10 13:06.2	6.1		13:07	6

표 2. GPS BII-02(PRN 02) 의 태양간섭 발생시간.

YEAR Mth Day	HH:MM:SS	Duration(min)
1998 11 15	10:48:20.00	4.033
1998 11 16	10:45:28.00	3.533
1998 12 2	21:31:31.00	2.100
1998 12 3	21:27:21.00	4.267
1998 12 4	21:26: 9.00	.533
1999 5 5	4:49:20.00	3.217
1999 5 5	16:30:29.00	2.033
1999 5 6	4:46:24.00	1.983
1999 5 6	16:26:19.00	4.250
1999 5 7	16:24:21.00	2.033

가능성이 높은 GPS 위성의 경우에 적용시킨 결과이다. 이 경우도 지구국의 위치는 정지위성의 경우와 같다. 표 1과 표 2에서의 결과에서 위성과 태양의 위치 오차 안테나의 추적오차 등을 고려하면 초단위의 오차는 무시할 수 있다.

3. 통신시스템의 변화

3.1 태양의 잡음온도

여기서 태양의 잡음온도란 지구국의 안테나가 수신하는 태양의 밝기 온도를 말한다. 이 태양의 온도는 주파수에 상당한 차이를 보이므로 주파수의 함수로 표현된다. 즉 정확한 모델링을 위해서는 시간과 주파수의 함수로 태양의 온도를 표현해야한다. 하지만 태양의 활동이 다양하게 나타나기 때문에 정확한 수치모델을 만들기는 무척 어렵다. 여기서는 태양의 활동을 '조용한 태양'과 '활동중인 태양' 그리고 '폭발하는 태양'으로 나누어 조용한 태양과 활동중인 태양만을 고려하였다. 태양의 활동정도를 나타내는 기준으로 10.7cm(2800MHz)에서의 SFU를 사용하였고 F10.7로 표기하였다. 여기서 SFU는 Solar Flux Unit으로 $10^{-22} \text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$ 를 의미한다. 우선 조용한 태양의 경우는 다음

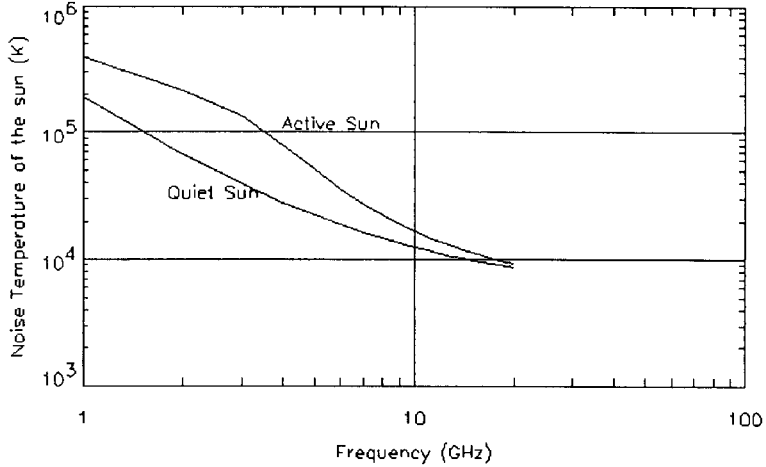


그림1. 주파수에 따른 태양의 잡음온도 변화

과 같은 식으로 표현되며 주어진 주파수 대역에서 10%의 오차를 가진다(Kennewell 1989).

$$S_q(SFU) = 26.4 + 12.4f + 1.11f^2 \quad (1 \leq f(GHz) \leq 20) \tag{2}$$

다음식은 활동중인 태양의 경우로 현재의 F10.7 값을 알 때 10%의 오차를 가진다(Kennewell 1989).

$$S_a(SFU) = \frac{0.64(F10.7 - 70)f^{0.4}}{1 + 1.56 \ln(f/2.9)} \tag{3}$$

본 연구에서는 F10.7 값으로 미 상무성의 National Geophysical Data Center의 자료를 이용하였다. 위 두식을 이용해 구한 태양의 플럭스($S = S_q + S_a$)를 이용해 태양의 온도를 계산하면 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$T_{sun} = \frac{S\lambda^2}{2k\Omega_s} \tag{4}$$

여기서 k 는 볼츠만 상수이고, Ω_s 는 태양의 평균 입체각이다. 그림 1은 임의 주파수에서 태양의 잡음온도를 조용한 태양과 활동중인 태양으로 나누어서 본 것이다(Martin 1987). 위 식에서 태양의 온도는 대기를 통과 하면서 감소되는데 표준 대기를 가정했을 때 대기감쇠(Atten)는 C-band의 경우는 $0.036/\sin El_{sun}$ 이고 Ku-band의 경우는 $0.72/\sin El_{sun}$ 이다. 이를 고려하면 태양의 온도는 다음과 같이 표현된다.

$$T_{sun}^* = T_{sun} 10^{-Atten/10} \tag{5}$$

3.2 안테나 잡음온도 모델

위의 결과를 바탕으로 태양 간섭현상이 발생했을 때의 안테나 잡음온도는 다음과 같은 식으로 표현된다(Lin & Yang 1989).

$$\Delta T_{ext} = p \frac{T_{sun}^*}{4\pi} \int G(\theta) \sin \theta (2\phi_i) d\theta \quad (6)$$

여기서 p 는 편광감쇠지수로 여기서는 0.5로 하였고 적분구간은 $\theta_0 - \alpha$ or 0(둘중에 큰값) 에서 $\theta_0 + \alpha_s$ 까지이다. α_s 는 태양의 겉보기 반경이다. 그리고 ϕ_i 는 θ 가 $\theta_0 - \alpha_s \leq 0$ 와 $\theta \leq \alpha_s - \theta_0$ 인 경우에는 π 를 그 외의 경우에는 $\cos^{-1}((\cos \alpha_s - \cos \theta \cos \theta_0) / \sin \theta \sin \theta_0)$ 이다(이병선 1997). $G(\theta)$ 는 지구국 안테나의 이득패턴으로 다음의 일반적인 식을 이용하였다(Ha 1986).

$$G_N(\theta) \simeq \exp\left(\frac{-2.78\theta^2}{\theta_{HPBW}^2}\right) \quad (7)$$

여기서 θ 는 안테나의 빔 중심으로부터의 각 거리이고 G_N 는 표준화된 값으로 실제 이득 패턴은 위의 값에 g_{max} 곱한 값을 썼다. 여기서 g_{max} 는 $4\pi A_e / \lambda^2$ 으로 λ 는 주파수에 해당하는 파장이고 A_e 는 안테나의 유효 반경이다.

4. 예측 결과와 응용

4.1 예측 결과

그림 2는 직경5M의 안테나에 위의 결과를 토대로 하여 Ku-band을 사용하는 경우와 C-band를 사용하는 경우를 비교하였다. 우선 조용한 태양을 가정했을 때를 보면 Ku-band 영역이 C-band 영역에 비해 안테나 잡음온도가 더 많이 상승한 이유는 주파수가 높을 수록 태양의 온도는 낮아지만 그에 비해 안테나의 HPBW가 작아지기 때문이다($HPBW = 21^\circ / Df$, D : 안테나 직경, f : 주파수). 하지만 활동 중인 태양을 가정했을 때는 두 가지 대역 모두 안테나 잡음온도가 상승했지만 C-band 영역의 상승 폭이 훨씬 큼을 볼 수 있다. 그 이유는 그림 1에서 보듯이 태양의 잡음온도가 C-band 대역에서 급격히 변화하기 때문이다. 이 결과는 흑점 극대기일 때는 Ku-band를 사용하는 무궁화 위성의 경우보다 C-band대역을 사용하는 인텔넷 위성시스템이 태양간섭의 영향을 더 크게 받는다는 것을 알 수 있다.

4.2 응용

위의 결과는 실제로 운용되고 있는 무궁화 위성 시스템에 link budget 계산을 통해 적용시켜 보았다. 무궁화 위성의 경우는 우리나라 장마철의 폭우에 대비하여 충분한 시스템 마진을 두어 태양간섭을 영향을 받아도 통신 두절까지 발생하지는 않는 것으로 알려져있다.

첫 번째로 표 3는 FSS 중계기에 의한 고속 TDMA 시스템의 경우로 안테나 직경은 3.5m이고, 전체

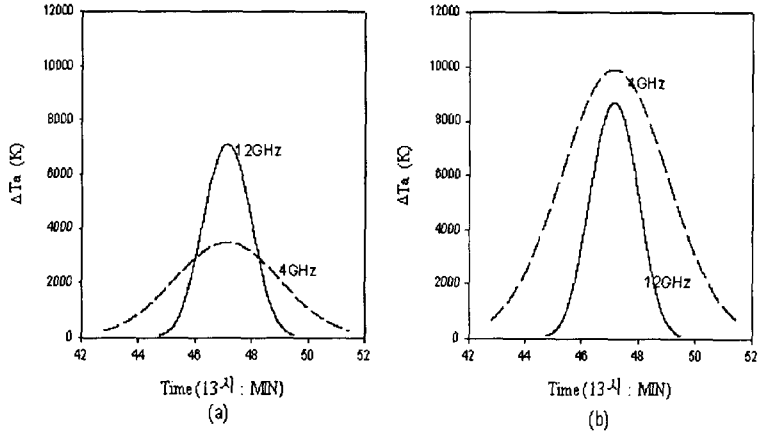


그림 2. 주파수 대역별 태양활동의 정도에 따른 안테나 잡음온도 변화
(안테나직경: 5M, 효율: 75%, 이득 : 식(7)).

시스템은 장마철의 폭우를 고려하여 10.7dB의 마진을 가지고 있고, 활동중이 태양($F10.7 = 250$)를 가정 한 경우이다(서중수 1998). 결과에서 보면 약간의 마진을 가지고 통신 두절이 일어나지 않는 것을 알 수 있다. 그러나, 가능성은 희박하지만 태양의 폭발적인 활동이나 폭우가 태양간섭과 동시에 일어난다면 통신두절의 가능성은 여전히 존재한다고 할 수 있다.

두번째는 VSAT 시스템으로 작은 구경의 안테나를 사용하여 태양간섭의 영향을 받지 않는 것으로 알려져있다(Mohamadi, et al, 1988). 여기서는 이 시스템을 본 연구 결과를 토대로 무궁화 위성 시스템에 적용시켜보았다. 표 4는 FSS 중계기에 의한 DAMA-SCPC 시스템의 경우로 안테나의 직경은 1.2m 이고 $F10.7$ 는 마찬가지로 250 으로 하였다.

그림 3는 태양폭풍과 같은 현상이 발생으로 $F10.7$ 값이 급격히 증가했을 때의 CNR 변화를 나타 낸 것이다. 그림 3에서 보면 $F10.7$ 값이 1000SFU 까지 증가하면 CNR는 약 16dB에서 20dB 정도의 감소가 발생하는 것을 알 수 있다.

표 3. FSS 중계기에 의한 고속 TDMA시스템의 태양간섭때 링크버짓의 변화.

	C/N_u	C/N_d	C/N_t
Normal	21.7dB	23.6dB	19.2dB
At Sunout	21.7dB	9.5dB	9.2dB

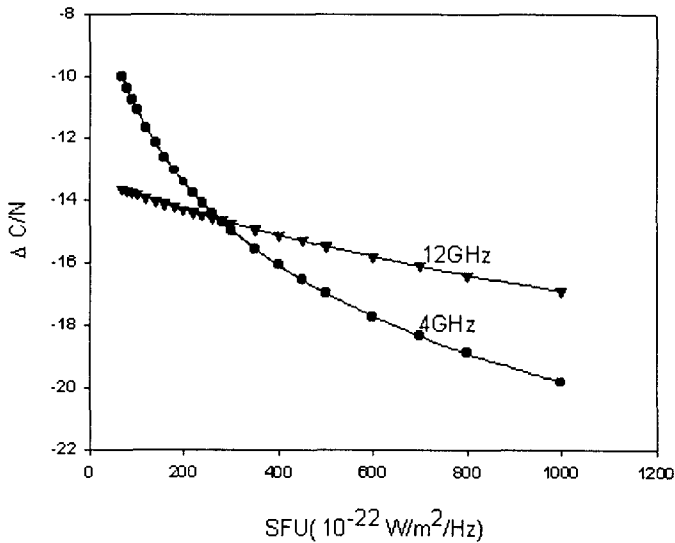


그림 3. F10.7 값의 변화에 따른 CNR의 변화(시스템 잡음온도 : 250K)

5. 결 론

지금까지 태양의 주기적 활동변화를 고려하여 태양간섭현상을 보다 정확히 예측해 보았다. 그 결과 C-band 대역이 Ku-band대역에 비해 태양활동의 영향을 더 크게 받았고, 그 이유는 태양의 주기적 변화가 C-band에서 더 크게 변하기 때문이다. 이러한 결과는 충분한 시스템 마진을 가지고 통신 시스템을 설계했을 경우는 Ku-band가 더 안정적임을 말한다. 마지막으로 실제로 운용되고 있는 두 가지 경우의 무궁화위성 통신시스템에 적용하여 이론적으로 무궁화 위성의 경우에 태양간섭현상에 대하여 알아보았다. VSAT 시스템의 경우는 이미 알려진 대로 태양간섭을 영향을 받지 않았지만 다른 시스템의 경우는 충분한 강우감쇠 마진으로 통신 두절은 발생하지 않지만 폭우나 태양폭풍같은 현상이 동시에 발생하는 최악의 경우엔 통신 두절의 가능성이 있음을 알 수 있다.

표 4. FSS 중계기에 의한 DAMA-SCPC시스템의 태양간섭때 링크버짓의 변화.

	C/N_u	C/N_d	C/N_t
Normal	27dB	44.1dB	27dB
At Sunout	27dB	37.2dB	26.6dB

참고문헌

- 서중수 1998, 개인서신
- 이병선 1997, "Sun Interference Predictions For The KOMSAT TT& C STATION ", 한국우주과학회지 제14권 제1호 pp 158-165
- CCIR 1986, "Noise Temperature Contributions Due to Extraterrestrial Sources", *Recommendations and Reports of CCIR*, Vol. IV part I, Report 390-5, Annex. II, pp.169-172
- Ha, T. T. 1986, *Digital Satellite Communications*, Macmillian: New York
- Kennewell, J. A. 1989, "Solar Radio Interference to Satellite Downlinks", *Proceedings ICAP 89, Sixth International Conference on Antennas and Propagation*, Vol. 2, pp 334-339 (IEE London)
- Lin, K. T., & Yang, L. J. 1989, "A sun interference prediction program". *COMSAT Tech. Rev.*, 1989, Vol. 19, pp 311-332
- Mohamadi, F., Lyon, D. L., & Murrell, P. R. 1988 "Effects Of Solar Transit On Ku-band VSAT Systems", *International Journal Of Satellite Communication*, Vol. 6, pp65-71