

단파 스펙트럼 수신 모니터링 시스템 개발

Development of Radio Spectrum Monitor for HF Communication

박 성 원 · 김 영 윤

Sung Won Park · Young Yun Kim

요 약

태양 흑점 폭발로 인해 방출되는 전자파는 지구상 낮 지역의 전파 통신에 장애를 일으킨다. 전세계에서 사용하는 태양 흑점 폭발 경보의 등급은 Geostationary Operational Environmental Satellite의 X선 세기에 따라 분류되고, 통신 장애를 판단한다. 하지만 태양과 직하점이 지구 자전에 따라 변하기 때문에 동일한 경보라도 통신 장애 영향은 같지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해 단파 통신을 전파 스펙트럼으로 수신하고, 통신 두절 여부를 모니터링하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 단파 스펙트럼을 실시간 측정 후 매분마다 자동으로 신호대 잡음비를 산출하고, ITU 권고의 간섭기준에 비교하여 통신 두절 시간을 산출한다.

Abstract

Electromagnetic waves which are emitted from the Sun due to solar flare explosion can cause failures in HF radio communications in the day-side area of the Earth, that is so-call as Radio Blackouts. The international scale representing the severity of the Radio Blackouts is determined by the solar X-ray flux which is measured by United States Geostationary Operational Environmental Satellite. However, the scale is not always applicable to HF communication users in the different area on the Earth, because the HF communication effects depend not only on the X-ray strength but also on the subsolar point location. To solve this problem, we developed a HF radio spectrum monitoring system utilizing a spectrum analyzer. This system conducts a real-time measure of the HF spectrum, and automatically calculates signal to noise ratios and the occurrences of the HF blackouts as comparing with the interference level which is described from the ITU recommendation.

Key words: Solar Flare, X-Ray Flux, Radio Blackouts, Radio Spectrum Monitor

I. 서 론

태양 흑점 폭발로 방출되는 전자파는 X선을 포함한 모든 전파 스펙트럼에 걸쳐 나타난다. 빛의 속도로 지구에 날아온 태양 전자파는 지구상 낮 지역의 전리층을 교란시켜 단파 통신 장애를 유발시킨다. 단파 통신은 전리층의 반사 특성을 이용하는 원거리 통신이다. 태양 흑점 폭

발로 인한 태양 전자파는 전리층에 존재하는 이온과 빠르게 움직이도록 직접적인 영향을 준다. 이 때 지상에서 쏘아올린 단파는 전리층에서 반사되지 못하고 우주공간으로 통과하므로 단파 통신이 두절되는 것이다. 미 해양 대기청의 Space Weather Scale 보고서에 따르면 전 세계 공통으로 적용하는 태양 흑점 폭발 경보의 등급은 Geostationary Operational Environmental Satellite에서 관측된

미래창조과학부 국립전파연구원 우주전파센터(Korean Space Weather Center, National Radio Research Agency)

· Manuscript received July 15, 2015 ; Revised September 1, 2015 ; Accepted September 3, 2015. (ID No. 20150715-049)

· Corresponding Author: Sung Won Park (e-mail: sungwon@msip.go.kr)

X선 세기에 따라 1~5단계로 분류한다^[1]. 또한, 그 단계에 따라 단파 통신 장애 정도는 약한 감쇄에서 완전 두절까지 분류한다. 하지만 지구가 자전하고 계절이 변함에 따라 지구상의 태양 직하점이 변하기 때문에, 전리층 이온의 변화 또한 달라져 태양 X선 세기가 동일할지라도 단파 통신 장애 정도가 매번 다를 수밖에 없다.

이 논문에서는 한반도에서 단파 통신 장애 정도를 파악하기 위하여 스펙트럼 분석기를 이용한 모니터링 방안과 통신 장애 판단을 위한 간섭기준을 마련하고, 단파 스펙트럼 수신 모니터링 시스템을 개발하여 태양 흑점 폭발 상황이 발생되었을 때 단파 통신 두절 여부를 측정된 사례를 통해 분석하였다.

1-1 Space Weather Scale

미 해양대기청의 Space Weather Scale에 따르면, 태양 흑점 폭발 경보는 Geostationary Operational Environmental Satellite에서 관측된 플럭스 세기를 5단계로 구분하고 있으며, 각 단계별 통신 장애 정도를 정의하고 있다. 보다 자세하게는 파장이 1~8 옴스트롬(=1 nm)인 X선을 측정 한 플럭스 크기가 10^{-5} W/m^2 이상은 R1 경보로 단파 통신의 약한 감쇄가 발생하고, $5 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$ 이상은 R2 경보로 제한된 지역에 단파 통신 두절이 발생하며, 10^{-4} W/m^2 이상은 R3 경보로 넓은 지역에 단파 통신 두절이 발생하고, 10^{-3} W/m^2 이상은 R4 경보로 대부분의 지역에 단파 통신 두절이 발생하고, $2 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$ 이상은 R5 경보로 모든 지역에 단파 통신 완전 두절이 발생한다고 기술되어 있다. 이는 다른 조건을 고려하지 않은 최악의 상황을 설명한 것이다. 하지만 태양 전자파가 도달하는 지역 시간대와 그 위·경도에서 전파흡수 정도가 상이하다.

1-2 태양 전자파와 통신 영향

태양 전자파는 평상시에도 방출되고 있어서 낮 지역 전리층은 밤 지역보다 이온의 변화가 많고, 전파흡수 정도가 높다. 그림 1은 태양 직하점에 따라 변하는 전파흡수 지도를 나타낸 것이다. 전리층 이온 변화에 따른 전파흡수 지도는 우주전파센터 홈페이지에서 확인할 수 있다.

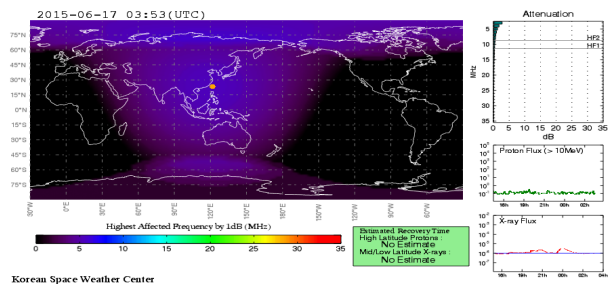


그림 1. 전파흡수지도

Fig. 1. HF attenuation map.

태양 흑점이 폭발할 경우, 높은 세기의 전자파가 순간적으로 방출하기 때문에 전파흡수 정도가 평상시보다 훨씬 더 많아진다. 이 또한, 태양 직하점에 따라 전파흡수 정도의 차이가 발생하며, 심할 경우는 전파흡수 정도가 높아져 단파 통신 완전 두절이 발생하게 된다.

1-3 단파 통신의 특성과 모니터링 문제점

단파 통신은 보다 낮은 전력으로 원거리까지 도달 가능한 통신으로 통신장비 비용이 상대적으로 저렴하고, 가장 오래 사용하고 있다. 구체적으로는 주파수를 자동으로 맞추는 적응형 단파 통신 시스템과 수동으로 맞추는 비적응형 단파 통신 시스템이 있다. 대부분 음성이나 전신을 보내고 받으며, 수십초 내지 수분 이내 전송이 이루어진다. 현재 사용되는 사례는 원거리 어업 선박의 운항 방송과 아태지역 저가 항공사의 단구간 운항 교신이 있고, 항공기·선박의 필수 보유 장비로 긴급 상황의 비상 통신이 있다.

태양 흑점 폭발로 인해 낮 지역에서 단파 통신 장애가 발생되었더라도 한반도에서 실제 단파 통신이 완전 두절되었는지 확인하기 어렵다. 그 이유는 앞서 언급한 단파 통신 특성상 수십초 내지 수분이라는 짧은 시간 동안, 다수 사용자의 필요에 따라 전파를 송신하는 관계로 몇 명이 그 순간에 송신이 이루어졌는지, 수신되지 않았는지를 확인하기가 어렵기 때문이다.

이에 우주전파센터는 직접적인 단파 통신 모니터링 방안으로 Digisonde라는 전리층 관측기를 이용하여 1~16 MHz 주파수의 전파를 송신하고 되돌아오는 신호를 확인하고 있다. 하지만, 전리층 관측기는 15분 간격으로 전파

를 송수신하므로 단파 통신 두절 시점과 발생 시간의 정확도가 낮은 편이다.

II. 단파 스펙트럼 수신 시스템 구성

전파를 24시간 계속 송출하는 단파 통신을 모니터링할 수만 있다면 전파 스펙트럼 측정을 통해 통신 두절의 시간과 기간을 파악할 수 있을 것이다. 단파 무선국의 송신출력이 큰 전파가 수신되지 않는다면 한반도의 모든 단파 통신 장애가 발생하였다고 판단할 수 있다.

2-1 단파 수신대상 선정

이 논문에서는 모든 단파 통신 장애가 발생하였다고 판단할 수 있는 대표 무선국으로 표준시보 무선국을 선정하였다. 국내에 24시간 전파 발사가 이루어지는 주파수로는 방송용과 시보용 주파수가 있는데, 이들 무선국의 현황을 조사한 결과, 대부분의 방송용 무선국은 현재 미운용 상태이고, 국제적으로 분배된 시보용 주파수 5, 10, 15 MHz 중 우리나라는 5 MHz만을 운영하고 있었다. 5 MHz 표준시보 무선국은 한국표준과학연구원에서 운영하는 무선국으로 5 kW 고출력을 사용하고 있다. 일반적인 경우라면 한반도 전역에서 정상적으로 수신할 수 있다. 만일 태양 흑점 폭발로 인해 한반도에서 표준시보 신호가 수신되지 않는다면 국내에 있는 모든 단파 무선국이 통신 완전 두절되었다고 판단할 수 있다.

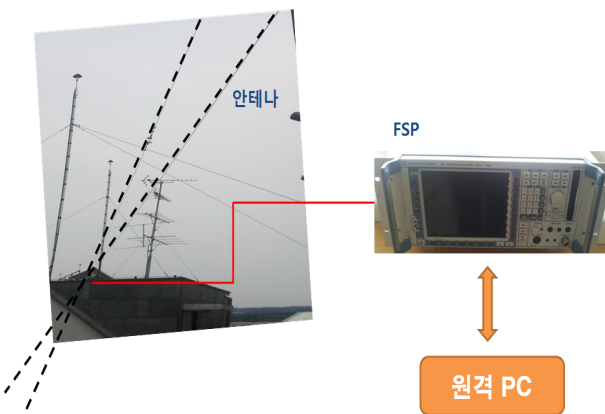


그림 2. 단파 수신 시스템
Fig. 2. HF receiving system.

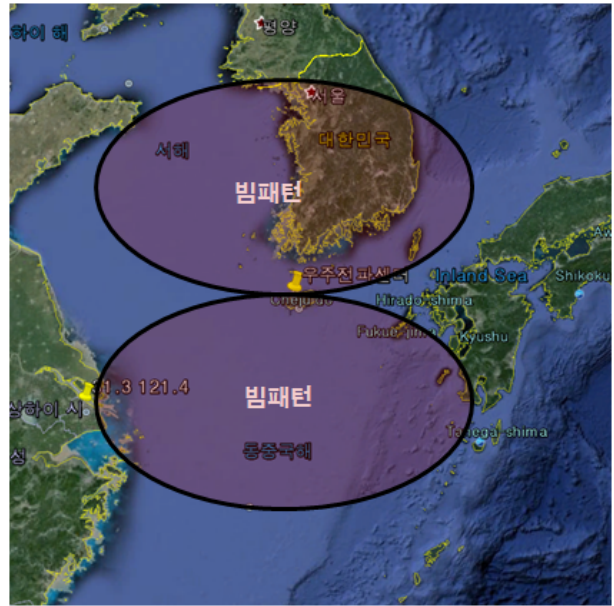


그림 3. 단파 안테나 빔패턴
Fig. 3. Beam pattern of HF antenna.

2-2 수신 시스템 구성

제주에 설치된 수신 시스템은 그림 2와 같다. 안테나는 Doublet 안테나 2조로 그림 3과 같이 빔 패턴을 고려하여 북쪽을 지향하도록 우주전파센터 옥상에 설치하였다. 수신기는 스펙트럼 분석기로 원격 PC에서 제어가 가능하도록 구성하였다.

III. 단파 스펙트럼 수신 모니터링 방안

이 시스템의 개발 목적은 태양 흑점 폭발로 인해 단파 통신이 언제 얼마나 오래 두절되었는지를 알기 위함이다. 이를 위해 얼마동안 전파 신호가 수신되지 않는지를 파악하고자 전파 신호를 1분 단위의 트래픽으로 계산하는 기법을 적용하였다²⁾. 1분 단위의 대푯값은 연속되는 전파 신호를 1분 동안 약 5초 간격으로 12회 측정 후 이를 평균한 것이다. 1일 1,440분 동안 전파 신호 대푯값을 1,440개 생성하여 전파를 수신하는 측면에서 태양 흑점 폭발 당시 단파 통신이 몇 분간 두절되었는지를 판단한다.

3-1 수신 모니터링 프로세스

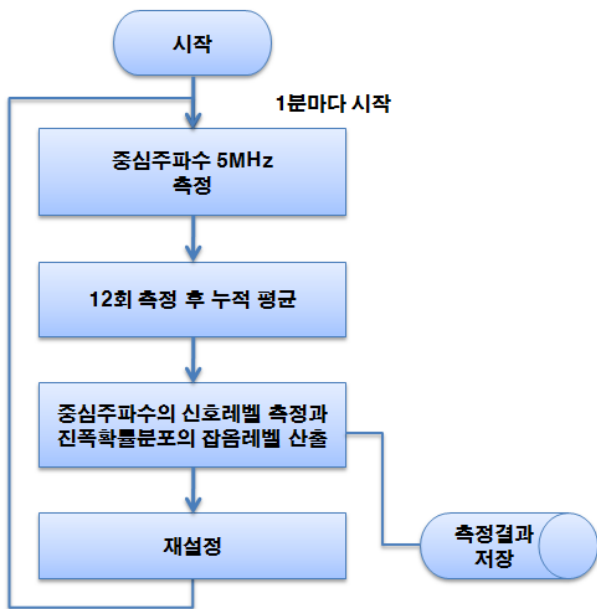


그림 4. 단파 모니터링 시스템의 프로세스
Fig. 4. The process of HF monitoring system.

먼저 표준시보용 주파수 5 MHz를 기준으로 ± 5 kHz 범위의 전파 스펙트럼을 측정한다. 1분 동안 측정한 12개의 전파 스펙트럼을 하나의 전파 스펙트럼으로 평균하여 산출한다. 그런 다음, 전파 스펙트럼에서 중심주파수인 5 MHz의 신호레벨 값과 잡음레벨 값을 추출한다. 그림 4는 단파 신호를 측정하고 처리하는 과정을 보여주고 있다.

3-2 잡음레벨 측정

잡음레벨을 측정하는 방법은 국립전파연구원 고시에 명시되어 있다^[3]. 다만, 초단파 대역 이상의 전파잡음 전

표 1. 계측 파라미터 설정

Table. 1. Setting of measuring parameter.

구분		설정
측정기	RBW	100 Hz
	Span	10 kHz
	Sweep time	1.2s
	검출모드	r.m.s. 모드
	표시모드	Avg hold
데이터 추출		측정기가 sweep한 모든 데이터

력 측정방법만이 있으므로, 이를 준용하여 단파 신호와 잡음이 구별되도록 스펙트럼 분석기의 계측 파라미터를 표 1과 같이 설정한다.

태양 흑점 폭발은 수신기 잡음 레벨 자체를 상승시키기도 하기 때문에, 측정한 전파 스펙트럼의 trace 데이터에서 매분마다 잡음레벨을 산출하여야 한다.

ITU-R 권고 P.372에서 랜덤 잡음 파형의 외형은 균일해야 하기 때문에 수신된 외형의 진폭확률 분포를 사용하여야 한다^[4]. 또한, ITU-R 권고 SM.1753은 주파수 영역에서 진폭확률 분포의 37 % 값이 수신기의 레벨인 백색 잡음 레벨이라고 설명하고 있다^[5].

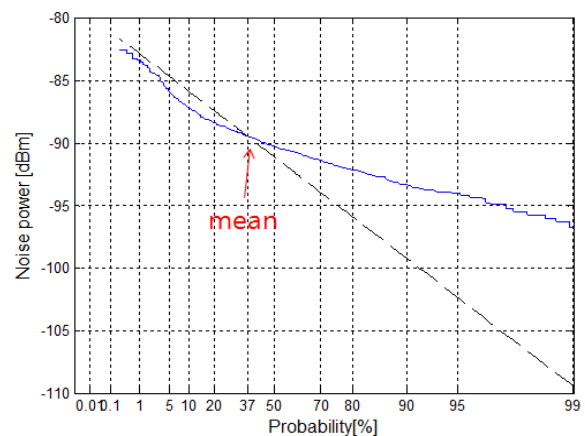
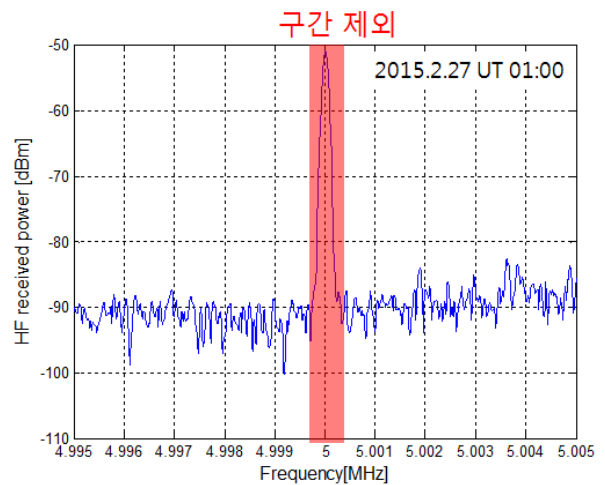


그림 5. 전파 스펙트럼과 잡음레벨 산출값
Fig. 5. The radio spectrum and the calculated noise level.

따라서 잡음레벨은 진폭확률분포의 37 %인 평균값으로 정하는 것이 바람직하다. 측정된 전파 스펙트럼의 trace 데이터에서 잡음파형을 추출하기 위해 표준시보 신호가 포함된 중심대역폭 1 kHz 구간을 제거한다. 나머지 trace 데이터는 잡음파형 외형으로 진폭확률 분포를 산출한 후 시간을 37 %에 해당하는 잡음레벨을 계산한다. 그림 5는 평상시 1분 동안 측정된 주파수 영역의 전파 스펙트럼과 그 스펙트럼의 trace 데이터에서 진폭확률 분포의 평균값을 산출한 사례이다.

3-3 장애기준 선정

만일 태양 흑점 폭발 등 외부의 요인으로 전파 신호의 세기가 현저히 떨어져 잡음레벨까지 낮아진다면 통신이 불가능해진다. 굳이 전파 신호의 세기가 잡음레벨과 같지 않더라도 수신기가 수신해야 하는 최소 기준인 신호대 잡음비 이하로 낮아진다면 이 또한, 통신이 두절되는 것으로 판단할 수 있다.

시중에 유통되는 대부분 단파 수신기의 잡음레벨은 스펙트럼 분석기에서 측정할 수 있는 잡음레벨보다 높다. 즉, 스펙트럼 분석기로 수신할 경우, 일반적인 단파 수신기보다 큰 신호대 잡음비를 얻게 된다. 수신된 신호대 잡음비가 외부 요인으로 낮아진다는 것은 전파 신호의 감쇄가 커진다는 것과 동시에 잡음레벨이 상승한다는 것을 의미한다. 따라서 스펙트럼 분석기로 수신한 시보용 전파 신호와 잡음레벨의 비가 간섭기준 이하로 낮아지면 시보용 수신국뿐만 아니라, 모든 단파 통신이 완전 두절되었다고 말할 수 있다.

단파 통신의 간섭기준은 ITU-R 권고 F.339에 따르며 통신의 전파형식과 대역폭 그리고 조건을 적용하여 간섭기준인 신호대 잡음비를 산출한다⁶⁾.

표 2. 단파 무선국의 신호대 잡음비
Table. 2. Signal to noise ratio(SNR) of HF radio station.

구분	서비스 급	조건	SNR(dB)
시보	Just usable	Stable	10
시보	Just usable	Dual diversity	8
선박	Just usable	Stable	12.53
선박	Just usable	Dual diversity	10.53

표 2는 국내 단파 무선국 특성을 적용한 간섭기준이다. 다이버시티 수신이라 하더라도 수신된 신호대 잡음비가 8 dB 이하가 된다면 통신 두절로 판단할 수 있다.

대부분의 선박용 무선국은 저출력의 송신기와 낮은 감도의 수신기를 사용하고 있어, 신호대 잡음비가 8 dB 이하로 내려가기도 전에 이미 통신은 불가능해질 것이다.

만일, 선박국과 해안국을 운용하는 사용자가 통신이 불가능했던 시간을 기록할 수만 있다면 본 데이터와의 통계적인 처리를 통해 현 운용 중인 무선국의 간섭기준을 알 수 있을 것이다.

IV. 단파 스펙트럼 모니터링 결과 분석

단파 스펙트럼 수신 모니터링 개발 시스템으로 관측하고 산출한 결과로 평상시와 태양 흑점 폭발시의 단파 전파 특성을 사례별로 분석하였다.

4-1 평상시 단파 전파 특성

그림 6은 평상시 수신한 단파의 신호레벨 특성이다. 2015년 2월 27일 오전 9시(UT 0시)에 수신한 단파의 신호레벨은 -45~-50 dBm에서 시작해서 전리층의 이온 활동이 가장 활발한 정오에 -60~-65 dBm로 하루 중 가장 낮았다. 또한, 해가 진 후 -40 dBm±5 dB 수준으로 가장 신호레벨이 가장 높았다. 그림에 포함되지 않은 30 MHz 이상 대역도 야간에 스펙트럼 레벨이 높게 분포한다⁷⁾.

그림 7은 태양 이벤트가 발생한 경우에 수신한 단파의

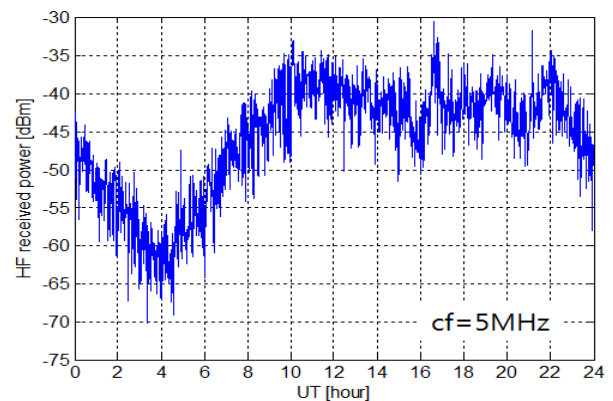


그림 6. 평상시 24시간 전파 레벨
Fig. 6. The radio level for 24 hrs in general.

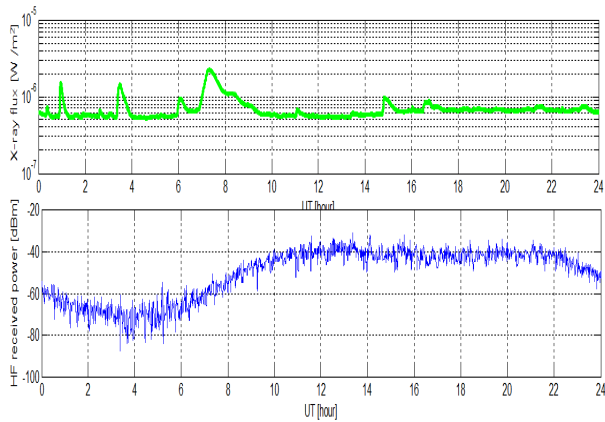


그림 7. 태양 이벤트시 태양 X선과 전파 레벨
Fig. 7. Solar X-ray flux and the radio level in solar flare event.

신호레벨이다. 2015년 4월 19일에 발생한 태양 이벤트로 R1 경보 기준인 10^{-5} W/m^2 미만인 태양 흑점 폭발이 UT 1시, 3시, 7시(KST 10시, 12시, 16시) 경에 발생하였다. 오전 9시(UT 0시)의 단파 신호는 평상시보다 15 dB 정도 낮은 -60 dBm 에서 시작해 이벤트가 발생한 정오에 $-70 \sim -80 \text{ dBm}$ 로 가장 낮았으며, 해가 진 후 -40 dBm 수준으로 돌아왔다. X선 측정값과 비교하여 단파 스펙트럼이 전반적으로 평상시보다 15 dB 정도 낮았으나, 단기 이벤트에 따른 뚜렷한 단파 신호의 변화를 찾아보기 어렵다.

4-2 단파 통신 장애 영향 분석

제3장에서 언급한 바와 같이, 매분 관측되는 전파 스펙트럼에서 진폭확률 분포의 평균값을 산출하여 잡음레벨로 선정함 다음, 단파 신호와 잡음레벨의 비율을 간섭기준인 8 dB와 비교하여 통신 두절 여부를 분석하였다.

그림 8은 그림 7과 같은 태양 이벤트를 대상으로 해서 통신 두절 여부를 나타낸 것이다. 이 그림에서 통신 두절은 UT 3시에서 5시(KST 10시~16시) 사이인 194분, 211분, 213분, 255분, 300분에 집중적으로 발생하였다. UT 3시에 발생한 R0급인 $1.2 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$ 의 태양 X선이 한반도 단파 통신 운용에 간섭을 준 것으로 분석된다.

또한, UT 1시와 7시경의 태양 X선은 UT 3시에 발생한 태양 X선보다 크게 발생하였으나, 태양 직하점의 차이로 인해 한반도 단파통신에 영향을 주지 않았다.

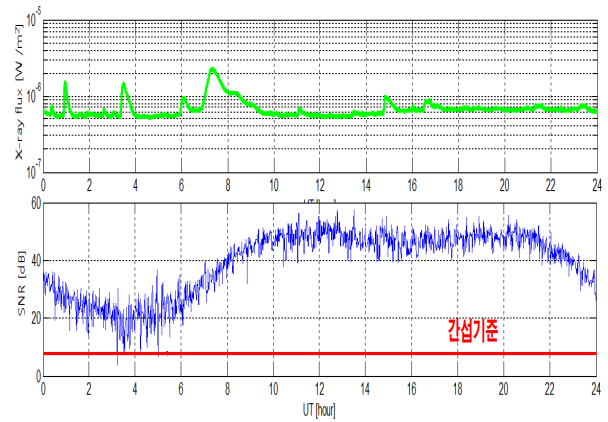


그림 8. 태양 이벤트시 태양 X선과 측정된 신호대 잡음비
Fig. 8. Solar X-ray flux and the measured SNR in solar flare event.

마지막으로 올해 발생된 태양 흑점 폭발 경보 중에서 우리나라가 낮 시간대인 UT 0시~8시(KST 9시~17시)에 발생한 사례이다. 그림 9는 2015년 3월 10일에 발생한 태양 흑점 폭발 경보상황에서 태양 X선과 신호대 잡음비를 비교한 것이다.

태양 흑점 폭발 2단계인 R2 레벨로 $5.3 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$ 의 태양 X선이 발생하였으며, 단파의 신호대 잡음비를 간섭기준과 비교한 결과, 한반도 상에서 약 12분간 단파통신

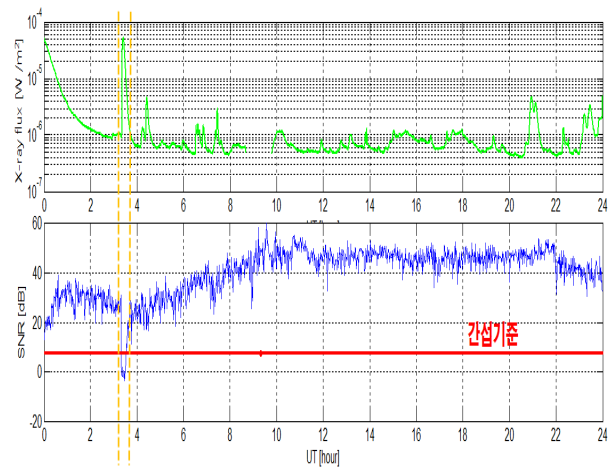


그림 9. 태양 흑점 폭발 R2시 태양 X선과 측정된 신호대 잡음비
Fig. 9. Solar X-ray flux and the measured SNR in the radio blackout R2 event.

의 두절이 발생하였다. 또한, UT 0시 이전에 발생한 태양 흑점 폭발은 태양 X선 세기는 크지만, 이른 아침 시간에 발생되어 한반도 통신 영향은 없는 것으로 분석된다.

V. 결 론

태양 흑점 수가 가장 많은 태양활동 극대기를 지나면서 우리는 보다 큰 규모의 태양활동 경보 상황이 발생될 것으로 예상하고 있다. 태양 흑점 폭발의 세기가 커지는 것을 고려하여 3단계 이상의 폭발로 인한 심각한 수준의 통신 장애를 대비해야 한다.

전 세계는 태양 흑점 폭발에 대비하기 위하여 우주전파환경 예·경보 항목을 미 해양대기청의 Space Weather Scale로 분류하고, 각 단계별 통신 영향을 규정하고 있다. 하지만 지구의 자전에 따라 태양 직하점이 달라지기 때문에 각국에서 발생하는 통신 두절 여부 등 장애 정도는 다를 수밖에 없다.

우리는 한반도에서 발생하는 단파 통신 장애 정도를 알아보기 위해 단파 통신을 전파 스펙트럼으로 수신하고, 통신 두절 여부를 모니터링하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템으로 지난 사례를 분석한 결과, 태양 이벤트 발생으로 국내 단파 통신은 분 단위 일시적인 장애가 발생되고 있으며, 태양 흑점 폭발 R2 경보 상황에서는 국내 단파 통신이 12분 동안 두절되었음을 확인할 수 있다.

관측 사례와 같이 우리나라는 태양 흑점 폭발로 인한

단파 통신 두절이 자주 발생한다. 단파 통신은 최후의 통신 수단이기도 하지만, 항공·선박에서 안전운항을 위한 필수 통신 수단이기도 하다. 단파 통신 두절 정보를 서비스함으로써 태양활동 영향을 인지할 수 있다면 안전사고를 대비한 안정적인 통신을 운용할 수 있을 것이다.

References

- [1] <http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>, "Space weather scale".
- [2] "통신 채널 내 신호의 출현 횟수와 측정 횟수를 기초한 전파 트래픽 산정방법", 특허번호 101185851, 2012년 9월.
- [3] "전파잡음 측정방법", 국립전파연구원고시 제2012-22호.
- [4] Recommendation ITU-R P.372, "Radio noise".
- [5] Recommendation ITU-R SM.1753, "Methods for measurement of radio noise".
- [6] Recommendation ITU-R F.339, "Bandwidths, signal-to-noise ratios and fading allowances in HF fixed and land mobile radiocommunication systems".
- [7] 이중근, "도시 전자파 잡음 스펙트럼의 통계적 분석에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 8(2), pp. 207-208, 1997년 4월.

박 성 원



1997년 2월: 서울과학기술대학교 전자공학
학과 (공학사)
2003년 2월: 경희대학교 정보통신망관리
학과 (공학석사)
2003년 5월~2013년 11월: 국립전파연구
원 공업연구사
2013년 11월~현재: 국립전파연구원 공업

연구관

[주 관심분야] 지자기, 유도전류, 전리층, HEMP 등

김 영 윤



2007년 8월: 서울시립대학교 전자전기공
학과 (공학석사)
1991년 8월~1997년 1월: 중앙전파관리소
주무관
1997년 1월~현재: 국립전파연구원 주무
관
[주 관심분야] 태양전파, 지자기, 전리층