

## 論文

# 태양폭풍이 항행안전시설에 미치는 영향분석

조진호\*, 박재우\*, 정철오\*, 김재훈\*, 김기현\*\*, 박형택\*\*\*

## Impact of solar storm on Nav aids system

Jin-Ho Jo\*, Jae-Woo Park\* Cheol-Oh Jeong\*, Jae-Hoon Kim\*, Gye-Hyeun Kim\*\*, Hyeung-Tak Park\*\*\*

### ABSTRACT

The solar storm generated by solar activity can be impact on earth in various area. If solar storm impact on Nav aids system, it will be a serious problem for aviation and human safety. The impact analysis of solar strom on Nav aids system are performed in three area, ILS, GPS navigation and radio communication for aviation. Analysis result show that Instrument Landing System(LLZ, GP, MB) and Nav aids system(VOR, DME, Radar) are not impacted by the solar storm, but GPS system is impacted by solar storm. Also analysis result show that VHF/UHF radio system are not impacted by solar storm, but HF radio system is impacted by solar storm.

**Key Words** : Instrument Landing System(ILS), VHF Omni-directional Range(VOR), Distance Measuring Equipment(DME), Radar, GPS, HF, VHF, UHF

### I. 서 론

흑점, 태양폭발 등으로 알려진 다양한 태양 활동으로 인해 방출되는 에너지와 입자들은 태양과 지구간의 우주환경에 영향을 미치며, 그 결과 지구상의 전기, 통신, 군사, 항공 등 다양한 분야의 시스템들에 심각한 오류가 발생하곤 한다. 특히 태양활동에 의한 영향이 항공기 운항을 돕는 항행안전시설에 영향을 미친다면 그것은 항공기에 탑승한 인명의 안전에 심각한 영향을 주므로 사전에 이에 대한 철저한 분석과 대비가 필요하다.

항행안전시설은 유선통신, 무선통신, 불빛, 색채 또는 형상에 의하여 항공기의 항행을 돕기 위한 시설을 말한다. 항행안전시설은 사용되는 용

도에 따라 여러 가지 종류가 있는데 먼저 전파를 이용하여 항공기의 항행을 돕는 무선평행안전시설이 있다. 대표적인 무선평행안전시설로는 Instrument Landing System(ILS), VHF Omni-directional Range(VOR), Distance Measuring Equipment(DME), Radar와 같은 시설이 있다. 다음으로 공항과 항공기간의 통신에 이용되는 무선통신기가 있으며, 최근에 항공기의 항법에 많이 사용되고 있는 GPS navigation과 같은 항법장치가 있다. 본 논문에서는 태양폭풍으로 인하여 항행안전시설에 얼마나 영향을 받는지 분석하고 나아가 항공기 운항에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 한다.

### II. 본 론

#### 2.1 태양폭풍이 무선평행안전시설에 미치는 영향

ILS는 계기착륙시설이라고 하는데 전파를 이용

2012년 05월 21일 접수 ~ 2012년 05월 30일 심사완료  
논문심사일 (2012.05.22 1차), (2012.05.30, 2차)

\* 한국전자통신연구원

\*\* 국토해양부

\*\*\* 인하대학교

연락저자, E-mail : jhjo@etri.re.kr  
대전광역시 유성구 가정로 218

하여 항공기가 공항에 정밀하게 착륙하도록 도와주는 시설을 말한다. 대표적인 ILS 장치로는 Localizer(LLZ), Glide Path(GP), Marker Beacon(MB)이 있다. LLZ는 지상에서 활주로 중심선에 해당하는 전파를 발사하여 조종사가 활주로 중앙으로 착륙할 수 있도록 도와주는 장치이며, GP는 지상에서 전파를 발사하여 항공기가 착륙에 가장 적합한 활공각 3°로 착륙할 수 있도록 도와주는 장치이다. MB는 활주로 전방의 일정 지점(일반적으로 3개 지점)에 설치하여 설치 지점의 수직 상공으로 전파를 발사함으로써 착륙하는 항공기에게 공항 착륙지점까지의 거리를 알려주는 장치이다. ILS 장치의 설치기준<sup>(1)</sup>에 의하면 전기적 특성은 다음과 같다.

Table 1. ILS 장치의 전기적 특성

	LLZ	GP	MB
주파수대역	VHF	UHF	VHF
출력(W)	200	2~15	2~5
변조방식	AM	AM	AM
신호세기	-106dBW/ m <sup>2</sup> at 10NM	-94dBW/ m <sup>2</sup> at 10NM	-82dBW/ m <sup>2</sup> at 150/300/ 600m

그 외에 무선헤행안전시설로는 VOR, DME, Radar와 같은 것들이 있는데, VOR은 운항중인 항공기가 VOR 위치를 기준으로 자신의 방위각을 측정할 수 있도록 지상에서 무선신호를 발사하는 장치이며, DME는 운항중인 항공기가 무선신호를 사용하여 자기의 현재 위치로부터 지상장비까지의 경사거리를 측정할 수 있도록 도와주는 장치이다. Radar는 전파를 물체에 발사시켜 그 물체에서 반사되는 전자기파를 수신하여 물체와의 거리, 방향, 고도 등을 알아내는 장치로서 공항에서 사용하는 레이더는 주로 비행 중에 있는 항공기의 위치와 고도를 파악하기 위한 장비로 공항감시레이더(ASR), 2차감시레이더(SSR), 공항면탐지레이더(ASDE), 정밀접근레이더(PAR), 항공로감시레이더(ARSR), 해상감시레이더(ORSR) 등이 있다. VOR, DME, Radar의 설치기준<sup>(1)</sup>에 의하면 전기적 특성은 다음과 같다. 태양폭풍이 무선헤행안전시설에 미치는 대표적인 것으로는 solar radio burst가 있는데 이것은 solar flare에 의하여 발생된다. solar flare는 자기에너지가 자기 재결합을 통해서 입자의 운동에너지 및 복사에너지로 전환되는 현상으로 인하여 발생되는데 라디오 주파수로부터 감마선에 이르기까지, 모든 파장의 전자기스펙트럼을 넘나드는 전자기파를

사한다.

Table 2. VOR, DME, Radar의 전기적 특성

	VOR	DME	ASR
주파수대역	VHF	UHF	L/S
출력(W)	1kW	2~15	2kW
변조방식	AM/FM	AM	Pulse
신호세기	-107dBW/ m <sup>2</sup> at coverage	-103dBW/ m <sup>2</sup> at receiver	-108dBW/ m <sup>2</sup> at receiver

이러한 전파복사를 solar radio burst라고 하는데 solar radio burst 잡음이 무선헤행안전시설에 얼마나 영향을 미치는지 살펴본다.

강한 solar radio burst 관측은 1967년도 5월23일에 이루어졌는데 1GHz 대역에서 100,000SFU level 이상 측정되었다. 여기서 SFU는 solar flare unit의 약어로 에너지 크기는 10<sup>-22</sup>W/(m<sup>2</sup>Hz)에 해당되며 dBW로 변환하면 -170dBW/m<sup>2</sup>Hz가 된다<sup>(2)</sup>. 항행안전시설의 신호대역폭을 최대 100kHz로 가정하면 solar radio burst에 의한 잡음전력은 -120dBW/m<sup>2</sup>가 되는데 이 잡음전력이 항행안전시설에 미치는 영향은 아래 표와 같이 계산된다.

Table 3. Solar radio burst 잡음이 무선헤행안전시설에 미치는 영향 분석

시설	장치	신호크기 (dBW/m <sup>2</sup> )	잡음레벨 (dBW/m <sup>2</sup> )	마진 (dB)
ILS	LLZ	-106	-120	14
	GP	-94	-120	26
	MB	-82	-120	38
NAV-AID	VOR	-107	-120	13
	DME	-103	-120	17
Radar	ASR	-108	-120	12

위 분석결과를 살펴보면 solar radio burst에 의하여 잡음레벨이 크게 증가해도 현재 이용하고 있는 무선헤행안전시설의 SNR은 여전히 운영 가능한 마진을 확보하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 강한 solar radio burst가 발생되더라도 현재 운영 중인 무선헤행안전시설에 미치는 영향은 미미하다는 것을 예상할 수 있다.

## 2.2 태양폭풍이 GPS 신호에 미치는 영향

GPS항법은 점점 더 깊게 항공기의 주 항법장치로 자리잡아가고 있다. GPS항법은 en-route 구간 운항의 항법은 물론 최근에는 SBAS를 이용한 GPS오차 보정시스템을 추가하여 terminal 영역

의 운항은 물론 항공기의 이착륙에 까지 활용되고 있으며 점차적으로 기존의 ILS시스템과 NAVAID시스템을 대체할 예정이다. 이처럼 GPS 방법은 차세대 항공교통시스템의 주요한 항법시스템으로 부각되고 있다. 태양활동이 GPS신호에 미치는 영향은 크게 다음의 3가지로 구분된다.

- 이온층에 의한 GPS신호지연: 위치오차 발생
- 이온층에 의한 Scintillation: 수신신호 크기변동
- Solar radio burst: GPS 수신신호 SNR<sup>1)</sup> 저하

태양폭풍이 발생되면 강한 에너지가 지구에 도달하며 이 과정에서 지구 대기권을 감싸고 있는 전리층의 전하밀도가 변동한다. 이러한 전리층 변화는 GPS위성에서 송신하는 신호의 왜곡을 유발해서 GPS신호의 지연을 발생시키고 이러한 영향은 지상에서 수신하는 수신기에서 위치오차를 증가시킨다. 태양활동이 극대기인 경우에는 수십 미터의 위치 오차를 유발할 수 있는 것으로 분석되고 있다. 또한 전리층의 변화는 GPS신호의 크기와 위상의 왜곡을 유발하여 scintillation을 발생시킨다. 이러한 scintillation은 수신기에서 수신하는 신호의 크기가 불규칙하게 변동하거나 혹은 완전히 사라지는 상황을 발생시키는데 이러한 경우 신호의 lock을 놓치거나 혹은 수신기가 작동 불능 상태에 빠지기도 한다. 마지막으로 solar radio burst는 광대역의 전파 잡음을 발생시키며 이 잡음은 GPS수신기의 SNR을 저하 시킨다. 그러면 solar radio burst에 의하여 GPS신호의 SNR이 얼마나 저하되는지 분석해 본다.

일반적으로 사용하는 소형 이동식 GPS수신기의 안테나 이득은 0dBi이므로 일반적으로 수신되는 GPS신호의 크기는 약 -160dBW<sup>2)</sup> 정도이다. 통상적으로 수신기 잡음온도는 350°K정도 되므로 1MHz GPS 신호 대역에서의 잡음전력은 -143dBm<sup>3)</sup> 정도이며 SNR은 -17dB<sup>4)</sup>정도 된다. 하지만 GPS수신기가 작동하고 신호를 acquisition 하는 단계에 이르면 수신기의 correlation loop가 수신대역폭을 1kHz정도로 축소하므로 잡음전력은 -173dBm으로 감소하여 SNR은 +13dB로 증가된다. 신호가 acquisition되고 tracking 모드에 이르면 수신기의 대역폭은 50Hz로 축소되어 잡음전력은 -186dBm으로 감소하여 SNR은 +26dB로

증가한다. 통상적으로 GPS수신기가 원만히 작동하는 SNR은 약 5dB정도 되므로 acquisition모드에서는 +8dB의 SNR 마진이 있고, tracking모드에서는 +21dB의 마진을 가진다.

Solar radio burst가 발생되면 증가된 대기잡음은 GPS수신기의 SNR을 저하시키는데 GPS수신기가 acquisition 모드인 경우에 영향 받을 가능성이 크다. 이유는 tracking 모드에서는 높은 비교적 SNR 마진이 확보되어 있는 반면에 acquisition 모드에서는 8dB정도의 높지 않은 SNR 마진이 있기 때문이다. Solar radio burst에 의한 SNR 저하는 다음 식에 의하여 계산 가능하다.<sup>3)</sup>

$$SNR\text{변화}(dB)=10\log_{10}[1.0+(S_b \cdot G \cdot C^2)/(4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot k \cdot T_s)]$$

여기서;

- S<sub>b</sub>: 최대 burst in SFU
- G: 수신기 안테나 이득
- C: 빛 속도
- f: GPS신호 주파수
- k: 볼츠만 상수
- T<sub>s</sub>: 수신기 잡음온도

100,000 SFU급의 solar radio burst가 발생될 경우 GPS 안테나 이득에 따른 수신기의 SNR 저하와 이에 따른 SNR 마진 변화는 Table 4와 같이 계산된다. Solar radio burst에 의한 수신기 잡음 증가는 GPS수신기가 acquisition 동작 시에 SNR 마진을 마이너스로 만들어서 신호를 찾기 어렵게 만들거나 혹은 신호를 찾지 못하게 만들 정도의 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석되었다.

Table 4. Solar radio burst에 의한 GPS신호SNR저하

안테나 이득 (dB)	SNR 저하 (dB)	SNR 마진 (dB) during acquisition	SNR 마진 (dB) by solar radio burst
0	-8.4	8.0	-0.4
1	-9.3	8.0	-1.3
2	-10.2	8.0	-2.2
3	-11.1	8.0	-3.1

### 2.3 태양폭풍이 항공무선통신에 미치는 영향

항공무선통신은 크게 주파수대역별로 HF, VHF, UHF무선통신으로 구분되는데 HF통신은 전리층 반사를 이용하여 장거리통신에 주로 이용되므로 en-route 항로에서 위성통신과 더불어 많

1) SNR: Signal to Noise Ratio 약어  
 2) dBW: 전력(watt)을 dB로 표현한 값  
 3) dBm: 전력(mili-watt)을 dB로 표현한 값  
 4) dB: decibel 약어, XdB=10log(X)

이 사용된다. 그러나 태양폭풍에 의하여 전리층이 변하면 HF통신도 영향을 받는다. 그림1은 HF대역의 신호가 태양활동에 의하여 영향을 받는 것을 보여준다. 통상적으로 HF신호는 전리층의 D층에 의하여 신호가 반사되는데 태양폭풍이 일어나면 D층에서 신호를 흡수하여 반사하지 못하므로 장거리 통신이 불가능해진다.

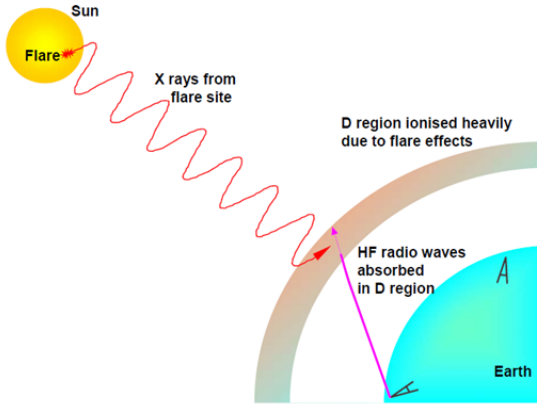


Fig 1. 태양폭풍에 의한 HF신호 흡수현상

최근에는 북극항로를 이용하는 항공기들이 늘어나고 있는데 HF흡수에 의하여 HF통신이 불가능한 상태가 발생되면 항공기 운항에 심각한 영향을 초래할 수 있다. 북위 82도 이상 지역은 GEO위성을 이용한 위성통신이 불가능 지역이므로 이 구간을 운항하는 항공기는 오직 HF통신에 의지하게 되는데 전리층의 변화로 인하여 HF신호가 흡수되어 통신이 불가능해진다면 북극항로를 운항하는 항공기는 통신 수단이 없어진다.

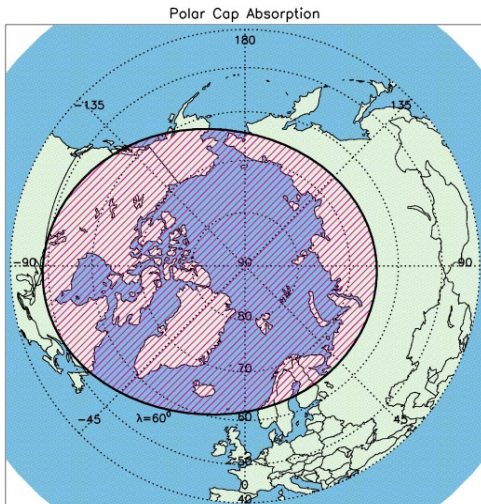


Fig 2. 태양폭풍에 의한 HF신호 흡수현상

따라서 북극항로를 운항하는 항공사들은 태양활동을 주위 깊게 모니터하고 있다.

태양활동에 의하여 북극의 전리층이 변하여 HF통신이 불가능한 지역이 형성되는 현상을 Polar Cap Absorption (PAC)라고 하는데 아래 그림과 같은 형태로 북극 주변에 광범위하게 형성된다. VHF/UHF 대역의 무선통신은 HF통신과는 달리 line of sight의 직선거리 통신이므로 전리층 변화에 의한 영향은 거의 받지 않는다. 다만 solar radio burst에 의하여 수신 잡음 레벨이 증가하여 SNR 저하가 발생할 수 있다.

### III. 결 론

본 논문에서는 태양폭풍에 의하여 항행안전시설이 어떠한 영향을 받는지 분석하였다. 현재 지상에서 운영하고 있는 무선항행안전시설은 태양폭풍에 의한 영향이 크지 않음을 분석을 통하여 확인하였다. 하지만 GPS항법장치는 태양폭풍에 의하여 발생하는 solar radio burst에 영향을 받는 것으로 분석을 통하여 확인하였다. 항공무선통신의 경우 HF통신은 전리층변화에 의하여 영향을 받으며 특히 북극항로를 운항하는 경우는 HF통신이 불가능해지면 통신할 수단이 없어지는 사태가 발생되므로 항공사들은 이에 대한 깊은 주의가 필요할 것으로 보인다.

현재 지상에 설치되어 사용되고 있는 아날로그 방식의 무선항행안전시설은 점차적으로 GNSS방식의 항법시스템으로 변화하고 있으며, 이러한 추세로 볼 때 태양폭풍에 의한 영향을 보다 많이 받을 가능성이 커지고 있다. 실제로 미국에서 운영하고 있는 광역 GPS오차 보정시스템인 WAAS 시스템이 태양폭풍에 의하여 본래 기능을 상실하는 경우가 2011년 9월에도 발생하였다. 따라서 태양활동이 극대화 되는 2013년에는 태양폭풍에 의한 교란이 더 심화될 것으로 예상되므로 이에 대한 대응방안 연구가 좀 더 활발히 이루어져야 할 것으로 보인다.

### 참고문헌

- [1] 김칠영, 유병선, "현대항행 안전시설", 한국항공대학교출판부, 2009년
- [2] Louis J. Lanzerotti, "Space Weather Effect on Communications", Bell Laboratories, Lucent Technologies, Murray Hill, NJ 07974 USA.
- [3] "GPS Interference By Solar Radio Bursts",

Material Prepared by John Kennewell and Andrew McDonald. Copyright IPS - Radio and Space Services,

<http://www.ips.gov.au/Educational/1/3/10>

[4] 윤종호, “항공정보통신공학”, 교학사, 2009년