

2.8GHz 대역 우주기상 관측 수신기에 미치는 간섭 분석

Analysis of Interferences into a Space Weather Observation Receiver in 2.8GHz Band

강영흥

군산대학교 컴퓨터정보통신공학부

Young-Heung Kang

School of Computer, Information & Communication Engineering, Kunsan National University, Jeollabuk-do 54150, Korea

[요 약]

최근 'Cycle 25'의 태양 활동 극대기가 다시 도래함에 따라 우주기상 연구에 대한 중요성이 높아지고 있다. 이에 WRC(World Radiocommunication Conference)-23에서는 의제 9.1a)를 채택하여 능동/수동 우주기상 관측시스템과 기존 업무와의 주파수 공유 연구 결과를 검토해 나가고 있다. 따라서 본 논문에서는 우주기상 환경 데이터의 정밀도를 높이고 관측 서비스의 주파수 스펙트럼 확보를 위해 제주 고산 기상 레이더로부터 제주 한림의 우주기상 관측 수신기에 미치는 직접 간섭영향과 레이더 목표물에서의 회절 및 산란에 의해 관측 수신기에 미치는 간접 간섭영향을 분석하였다. 분석 결과 레이더 방향 및 목표물로부터 회절 및 산란되는 전파 방향, 레이더 목표물의 RCS(radar cross section), 우주기상 관측 안테나의 수신 면적 및 오프 보어 사이트(off-boresight) 등이 간섭 영향 분석에 중요 파라미터임을 알 수 있다.

[Abstract]

With the recent prediction of 'Cycle 25', the importance of space weather research increases. Accordingly, the World Radiocommunication Conference (WRC)-23 has adopted Agenda Item 9.1a) and carried out sharing researches between active/passive space weather observation systems and existing services. Therefore, in this paper, in order to increase the precision of space weather environment data and secure the frequency spectrum for observation systems, the direct interference effect from the weather radar in Gosan, Jeju on the space weather observation receiver in Hallim, Jeju, and the indirect interference on the observation receiver by diffraction and scattering from the radar target have been analyzed. As a result, it can be known that the radar direction, the propagation direction diffracted and scattered from the target, and the Radar Cross Section (RCS) of the radar target, the reception area of the space weather observation antenna, and the antenna off-boresight are important parameters for the interference effect analysis.

Key word : Cycle 25, Sharing, Space weather, Weather radar, WRC-23.

<https://doi.org/10.12673/jant.2022.26.5.350>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 28 September 2022; Revised 5 October 2022
Accepted (Publication) 17 October 2022 (30 October 2022)

*Corresponding Author; Young-Heung Kang

Tel: +82-02-2209-3671

E-mail: yhkang@kunsan.ac.kr

1. 서론

이전의 태양 활동(흑점 폭발)이 가장 활발했던 극대기는 '14년으로 이후 극소기를 거쳐 'Cycle 25' 주기인 '23 ~ '24년에 태양 활동의 극대기가 다시 도래할 전망이다. 즉, 태양은 25번째 태양 주기에 진입했으며, 지난 몇 년 동안 태양의 흑점(sunspot), 태양 폭발(solar flare) 또는 표면에서 방출되는 자화 플라즈마(magnetized plasma)의 대규모 분출로 인해 지구에 상당한 영향을 주어왔다. 최근 태양이 다시 뜨거워지기 시작했으며, 태양의 Cycle 25 예측 전문가들은 최근 태양이 공식적으로 새로운 주기에 진입했다고 발표했다. 그림 1에 보인 바와 같이 '25년에 최대 흑점 활동이 예상되고 있으며, Cycle 25가 이전 주기와 매우 유사하지만, Cycle 23보단 작고, Cycle 24보단 클 것으로 예측되고 있다[1].

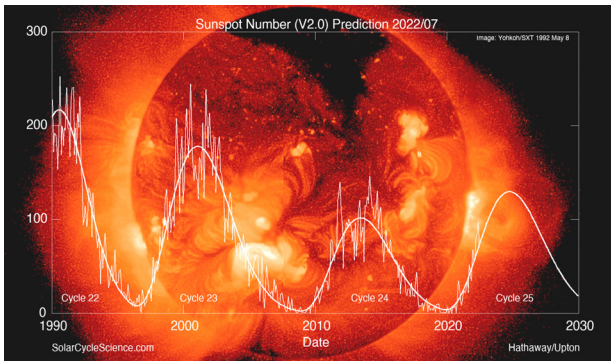


그림 1. 태양 활동 주기
Fig. 1. Sunspot cycle.
(출처: Solar Cycle Science)

태양 활동을 비롯한 우주기상은 궁극적으로 지구와 우주에서의 인간 활동에 영향을 미치는 우주 환경에서 발생하는 물리적 현상을 의미한다. 우주기상은 태양풍과 태양풍 플라즈마(plasma)가 운반하는 행성 간 자기장(IMF; interplanetary magnetic field)의 영향을 받는다. 다양한 물리적 현상은 우주기상과 관련이 있으며, 이러한 현상에는 지자기 폭풍(geomagnetic storms) 및 소폭풍(substorms), Van Allen 복사 벨트(radiation belt)의 에너지화, 오로라, 전리층 교란 및 위성 대 지상 무선 신호 및 장거리 레이더 신호의 신틸레이션(scintillation), 지구 표면에서의 지자기 유도 전류 등이 포함된다[2]. 이러한 우주기상 현상에 의해 4차 산업혁명 도래 등으로 ICT 인프라가 고도화되고, 자율자동차, 드론 등 GPS 기반 제품 및 서비스의 이용이 확대되고 있는 산업 현장 및 일상생활에서의 전파 환경은 지속적으로 우주전파 재난에 의해 영향을 받을 것이다.

이에 우주기상 데이터 및 서비스를 전 세계 약 20개 기관의 네트워크를 통해 제공하고 있다. 우주기상 요구사항을 지원하는 데이터 및 서비스는 태양 및 행성간(태양풍), 에너지 입자, 지자기 및 전리층의 4가지 광범위한 범주로 구성된다. 현재 이러한 범주의 우주기상 관측 데이터는 세계기상기구(WMO;

World Meteorological Organization)의 우주기상 데이터 포털 사이트에서 제공되고 있다[3]. 국내의 제주 우주전파센터에 있는 시스템은 F10.7 cm, 2.8 GHz대에서 태양 전파 플럭스(flux)를 측정하고 있으며, 모든 측정된 데이터를 실시간으로 제공하고 있다[4].

한편, 세계기상기구의 우주기상 전문가 그룹은 국제 우주 전파 환경(우주기상) 기관 간 협력을 위한 국제기구로, 우주 환경 관측정보의 교류 및 중장기 계획 등을 수립하기 위해 '13년 WMO의 SG-RFC(Steering Group on Radio Frequency Coordination) 회의에서 우주기상 예보용 센서 주파수 관련 전파업무의 정의가 시급하다는 요청을 ITU(International Telecommunication Union)에 제시하였다. 이에, ITU-R WP(Working Part) 7C는 우주기상 센서에 관한 기술/운용 특성, 주파수 요구사항 및 적절한 무선업무 분류 등을 연구하여 ITU-R 보고서 RS.2456을 개발하였다[5]. 또한, 우주기상 센서 관련 연구에 대한 관심도와 중요도가 증가함에 따라 WRC(World Radiocommunication Conference)-23에서는 신규 의제 9.1a)을 채택하여, 보호 대상의 능동/수동 우주기상 센서 시스템과 운용 주파수의 식별 및 기존 업무와의 주파수 공유연구 결과를 검토해 나가고 있다[6].

따라서 본 논문에서는 우주전파 재난 예방을 목표로 위성 및 지상 센서로부터 수신되는 우주기상 환경 데이터의 정밀도를 높이기 위한 전파간섭의 영향을 분석하고, 우주기상 관측 운영을 위한 주파수 스펙트럼 확보를 위해 2장에서 국내에서 운영 중인 제주 우주전파센터의 우주기상 관측시스템과 3장에서 이 우주기상 관측시스템에 간섭을 줄 수 있는 2.8GHz 대역 제주 고산의 기상 레이더 시스템에 대해 설명한다. 4장에서는 2.8GHz 대역에서의 국내 주파수 분배 현황을 분석하고, 5장에서는 기상 레이더 및 우주기상 관측시스템의 주요 파라미터 및 특성을 사용하여 두 시스템 간의 간섭 분석을 수행한 후, 6장에서 결론을 내린다.

II. 우주기상 관측 시스템

국내에서 운영 중인 광대역 태양 전파 노이즈(noise) 관측기는 500MHz~18GHz 대역에서의 태양 전파의 신호 세기를 관측하여 태양 폭발을 직접 모니터링하는 시스템이다. 제주 우주전파센터는 그림 2의 시스템과 같이 0.5 ~ 18GHz 대역 구간의 20개 주파수에 대해 태양 전파 세기의 절대값을 측정하고 있다. 기존 미국 등에서 사용하는 광대역 절대 플럭스(flux) 관측시스템이 대부분 관측 주파수가 고정된 방식임에 비해, 국내 우주전파센터 시스템은 사용자가 임의로 관측 주파수를 변경할 수 있는 방식으로 통신의 발달에 따라 운영 주파수 대역이 변경되는 경우에도 기존 시스템을 그대로 사용할 수 있는 선진적 시스템이라 할 수 있다[4].

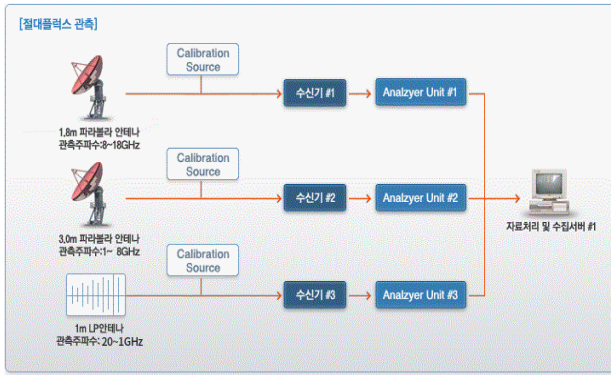


그림 2. 절대 플럭스 관측 시스템[4]
 Fig. 2. Absolute flux observation system.

III. 기상 레이더 시스템

기상 레이더 시스템은 국내에서 전국적으로 총 31기가 운영되고 있으며, 각 레이더는 위험 기상감시(기상청), 수문 관리 및 홍수예보(환경부), 군 작전지역의 기상지원(국방부) 등 부처별 목적에 따라 운영되고 있다. 우주전파센터(제주 한림)에서 운영되고 있는 우주 관측시스템과의 간섭이 우려되는 기상 레이더 시스템은 약 20km 거리에 있는 제주 고산에 위치하고 있으며, 그림 3에 이를 나타낸다. 이 기상 레이더 시스템은 2.825MHz 대역의 이중 편파 도플러를 사용하고 있으며, 안테나 해발고도는 103m, 안테나 직경은 8.5m, 관측반경은 240km에 이른다[7].



그림 3. 기상 레이더[7]
 Fig. 3. Weather radar.

한편, 레이더에서 방사된 에너지가 목표물에 충돌할 때 방사된 에너지의 양은 목표물 크기, 방향, 물리적 모양 및 재료에 비례하는데, 이 모두는 σ 로 표시되는 RCS(radar cross section)이라는 하나의 목표물 매개변수로 표현되며, 목표물로부터 반사된 전력(레이더 수신전력) P_r 은 식(1)과 같다[8].

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma \quad (1)$$

여기서,
 P_t : 레이더 수신전력
 P_r : 레이더 피크 송신전력
 σ : RCS
 R : 레이더로부터의 거리
 G : 송신 안테나의 이득

IV. 국내 주파수 분배

우주기상 관측 및 기상 레이더 시스템 운영을 위한 2.8GHz 대역의 국내 주파수 분배는 그림 4와 같다. 2670 ~ 2690MHz 대역은 제1 업무(primary services)로 고정, 이동(항공이동체외) 및 이동위성 서비스를, 제2 업무(secondary services)로 지구탐사위성(수동), 전파천문 및 우주연구 서비스를 위한 주파수로 분배되어 있다. 2690 ~ 2700MHz 대역은 제1 업무로 지구탐사위성(수동), 전파천문, 우주연구(수동) 서비스를 위한 주파수로 분배되어 있으며, 제2 업무 주파수는 분배되어 있지 않다. 한편 2700 ~ 2900MHz 대역에서는 제1 업무로 항공무선항행 서비스를, 제2 업무로는 무선표정 서비스를 위한 주파수로 분배되어 있어 우주연구센터에서 우주 관측을 위한 주파수로 2.8GHz 대역을 사용한다면 무선표정 서비스인 기상 레이더 시스템과의 간섭 가능성이 크다는 점을 알 수 있다.

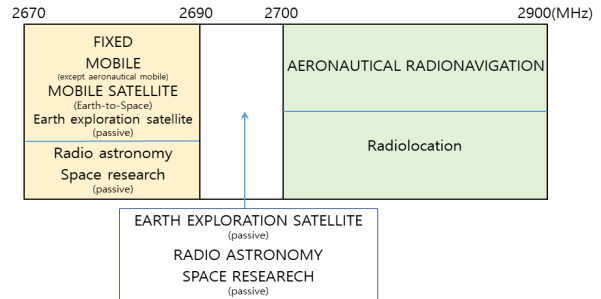


그림 4. 2.8GHz 대역의 주파수 분배
 Fig. 4. 2.8GHz band frequency allocations.

V. 간섭 분석

5-1 간섭 시나리오

30 ~ 3000MHz에서 운영 중인 제주 한림의 우주기상 관측시스템은 2.8GHz 대역에서 운영 중인 제주 고산의 기상 레이더 시스템과 동일채널 간섭 및 인접채널 간섭의 영향을 고려할 수 있으며, 간섭 시나리오에 대한 개념도를 그림 5에 나타낸다. 여기서는 기상 레이더의 신호가 직접 우주기상 관측 수신기에 미치는 간섭의 영향과 레이더의 신호가 목표물에 의해 굴절되어 관측 수신기에 들어오는 간접 간섭영향으로 구분하여 분석한다.

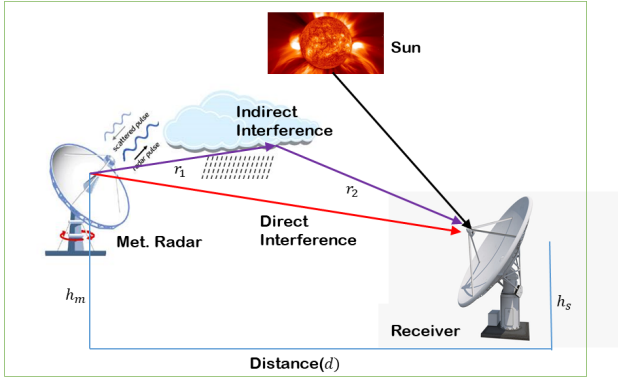


그림 5. 간섭 시나리오
Fig. 5. Interference scenario.

우선 직접 간섭의 경우, 인접채널 간섭에서 스푸리어스 방사(spurious emission)를 고려하면, 기상 레이더로부터 우주기상 관측 수신기에 미치는 간섭전력은 식(2)와 같다.

$$I_{DRS} = P_R + G_R - PL(d) + G_S(\phi) + \sigma_{dB} - X_{dB} + B_{dB} \quad (2)$$

여기서,

- P_R : 레이더의 피크(peak) 송신전력[dBw]
- G_R : 레이더 안테나 이득[dBi]
- $G_S(\phi)$: 오프 보어사이트(off-boresight)의 안테나 이득[dBi]
- $PL(d)$: 레이더와 관측수신기 간의 거리 d 에 따른 경로손실[dB]
- ϕ : 오프 보어사이트(off-boresight)의 각[degrees]
- σ_{dB} : 레이더의 RCS[dBsm]
- X_{dB} : 레이더의 스푸리어스 방사[dB]
- B_{dB} : 간섭신호와 피간섭 신호 대역폭의 비[dB]

동일채널 간섭에서는 스푸리어스 방사를 고려하지 않지만, 인접채널 간섭에서는 스푸리어스 방사 특성이 중요하며, ITU-R 권고안 M.1174[9]에서 일반적인 레이더의 스푸리어스 방사전력 피크 포락선 전력 PAP(peak envelop power)에 의한 $X_{dB} = 43 + 10\log(PEP)$ 또는 $X_{dB} = 60\text{dB}$ 중에 작은 값을 선택하고 있다. 여기서는 $X_{dB} = 60\text{dB}$ 를 사용한다.

한편, 간접 간섭의 경우는 그림 5의 간섭 시나리오에서 기상 레이더로부터 목표물까지의 거리 r_1 , 목표물에서 우주기상 관측 수신기까지의 거리 r_2 에 의한 LOS(line-of sight) 전파손실을 고려하면, 식(2)에 의한 기상 레이더로부터 우주기상 관측 수신기에 미치는 간섭전력은 식(3)과 같다.

$$I_{IRS} = P_R + G_R + L(r_1) + G_S(\phi) + \sigma_{dB} + L(r_2) - X_{dB} + B_{dB} \quad (3)$$

여기서,

$$L(r_1) = 10\log_{10}(1/4\pi r_1^2)$$

$$L(r_2) = 10\log_{10}(1/4\pi r_2^2)$$

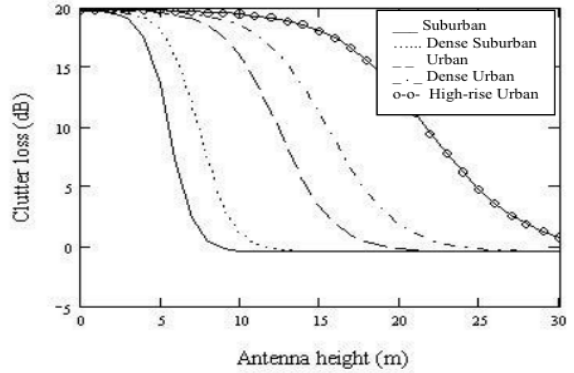


그림 6. 안테나 높이에 따른 클러터 손실
Fig. 6. Clutter losses at varied antenna heights.

5-2 경로손실 모델

식(2)의 전파손실 $PL(d)$ 는 기상 레이더와 우주기상 관측 수신기 간에 클리어 에어(clear-air) 모델을 사용하여 식(4)와 같이 간략화된 모델을 사용한다.

$$PL(d) = 92.5 + 20\log(d) + 20\log(f) + A_h \quad (4)$$

여기서, d 은 간섭원과 피간섭원의 거리(km)이며, f 는 운용 주파수(GHz)이다. 한편, A_h 는 식(5)에 나타내는 클러터 손실(clutter loss)로서 빌딩 또는 나무 등에 의한 전파손실이며, 표 1에 근거하여 안테나 높이에 따른 클러터 손실을 그림 6과 같다 [10].

$$A_h = 10.25F_{fc} \cdot e^{-d_k(1 - \tanh[6(\frac{h}{h_a} - 0.625)])} - 0.33$$

$$F_{fc} = 0.25 + 0.3751 + \tanh[7.5(f - 0.5)] \quad (5)$$

표 1. 공칭 클러터 높이 및 거리
Table 1. Nominal clutter heights and distance.

Clutter category	Nominal height, h_s (m)	Nominal distance, d_k (km)
Suburban	9	0.025
Dense suburban	12	0.02
Urban	20	0.02
Dense urban	25	0.02
High-rise urban	35	0.02

5-3 시스템 특성

1) 기상 레이더 특성

2.8GHz 대역의 비도플러(non-doppler) 기상 레이더의 특성은 ITU 권고 M.1849-2[11]에 주어져 있으며 주요 파라메타를 표 2에 요약해 놓았다.

표 2. 기상 레이더 특성

Table 2. Weather radar characteristics.

Transmitter power into antenna(kW)	400 or 556
Pulse width(μ s)	1.0(short pulse), 4.0(long pulse)
Radar bandwidth(MHz)	1.0(short pulse), 0.25(long pulse)
Protection criteria I/N(dB)	-10
Pulse repetition rate or pulses per second(Hz or pps)	559(short pulse), 162(long pulse)
Duty cycle(%)	Unknown
Antenna type	Parabolic reflector
Antenna main beam gain(dBi)	38
Antenna azimuthal beamwidth(degrees)	2
Antenna elevation beamwidth	2
Antenna height(m)	30

2) 우주기상 관측 시스템

2.8GHz 대역의 전형적인 우주기상 관측 시스템의 주요 파라미터는 표 3에 보인다[12].

표 3. 우주기상 관측 시스템 파라미터

Table 3. Parameters for space weather observation system.

Antenna pattern	Recommendation ITU-R F.699
Long-term maximum permissible Interference level (dBW/MHz)	Recommendation ITU-R SF.1006
Protection criteria I/N(dB)	-10
Receiving system noise temperature(K)	300
Antenna height (m)	15
Antenna diameter(m)	7
Antenna peak gain(dBi)	36
Reception bandwidth(MHz)	3
Receive sensitivity(dBm)	-158

한편, 우주기상 관측 수신 안테나 특성은 ITU-R S.465-6[13]에 주어지는 식(6)의 특성을 이용한다.

$$G(\phi) = 32 - 25\log\phi \quad \text{for } \phi_{\min} \leq \phi < 48^\circ \quad (6)$$

$$G(\phi) = -10 \quad \text{for } 48^\circ \leq \phi \leq 180^\circ$$

여기서 $\phi_m = 1^\circ$ or $100 \frac{\lambda}{D}$ 에서 큰 값이다.

5-4 간섭전력 시뮬레이션

1) 직접 간섭

기상 레이더 신호에 의해 우주기상 관측 수신기에 직접적으

로 미치는 간섭전력은 식(2)를 이용하여 구할 수 있다. 이때 2.8 GHz 대역에서 시뮬레이션에 사용된 기상 레이더 파라미터 및 우주기상 관측 수신기 파라미터는 각각 표 2 및 표 3과 같다. 우주기상 관측 수신기의 보호 기준은 표 3의 룡텀(long-term) 최대 허용 간섭기준인 I/N = -10 dB를 사용하였다.

그림 7은 제주 고산의 기상 레이더에 의한 방사가 20km 떨어진 한림의 우주기상 관측 수신기에 직접 입력될 때 인접채널 간섭영향을 I/N 값을 3차원으로 나타낸 결과이다. 결과로부터 레이더의 간섭전력은 관측 수신 파라볼라 안테나에 미치는 RCS 값과 안테나 오프 보어사이트에 의해 영향을 받는다. 따라서 레이더 간섭 전파를 수신하는 안테나의 RCS 및 안테나 보어사이트 각이 클수록 간섭의 영향은 감소한다.

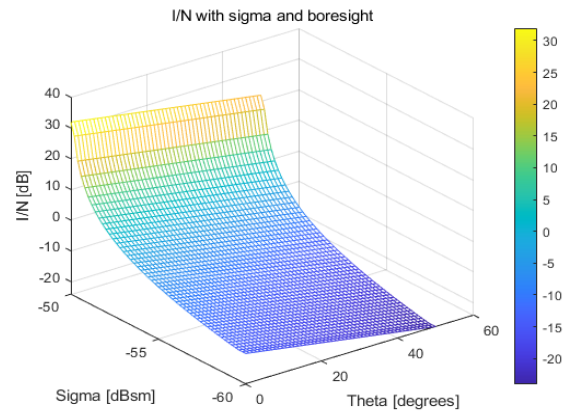


그림 7. 직접 간섭에 의한 3차원 인접채널 I/N
Fig. 7. Three dimensional adjacent channel I/N by direct interference.

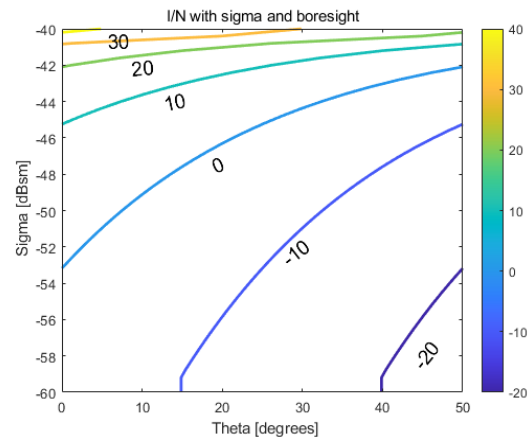


그림 8. 직접 간섭에 의한 인접채널에서의 I/N
Fig. 8. Adjacent channel I/N by direct interference.

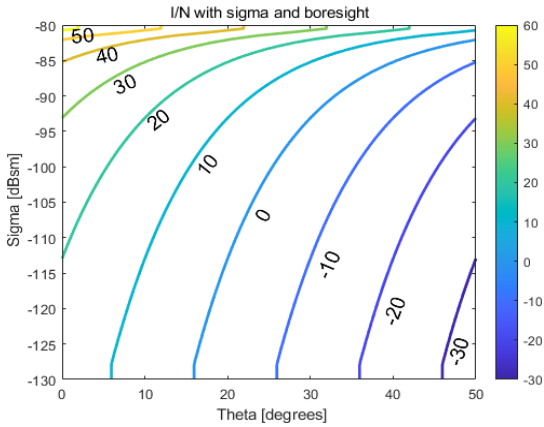


그림 9. 직접 간섭에 의한 동일채널에서의 I/N
 Fig. 9. Co-channel I/N by direct interference.

그림 8은 기상 레이더로부터 우주기상 관측 수신기에 직접 간섭에 의한 영향으로 관측 안테나의 RCS 값 σ 및 오프 보어사이트에 의한 인접채널에서의 I/N 값을 나타내었다. 이 결과로부터 우주기상 관측 안테나의 RCS 값 $\sigma = -60\text{dBsm}$ 인 경우는 간섭 수신 면적이 작으므로 안테나의 오프 보어사이트 각은 15° 이상이어야 하고, $\sigma = -45\text{dBsm}$ 으로 간섭 수신 면적이 커지면 안테나의 오프 보어사이트 각은 45° 이상이어야 간섭 허용치 이하의 값을 나타낸다.

한편, 그림 9의 동일채널 간섭의 경우는 간섭의 영향이 매우 크므로 우주기상 관측 안테나의 RCS 값 σ 는 매우 작게 수신 안테나를 설치해야 하는데, $\sigma = -130\text{dBsm}$ 일 때는 안테나의 오프 보어사이트 각은 26° 이상, $\sigma = -85\text{dBsm}$ 인 경우는 안테나의 오프 보어사이트 각은 45° 이상이어야 간섭 허용치 이하가 된다.

2) 간접 간섭

그림 5의 간섭 시나리오에서 기상 레이더 목표물에 의해 우주기상 관측 수신기에 간접적으로 미치는 간섭전력은 식(3)을 이용하여 구할 수 있다. 우선 동일채널 간섭일 때는 간섭의 영향이 매우 크므로 목표물의 RCS = -50dBsm 을 가정하면, 기상 레이더에서 목표물까지의 거리 $r_1 = 5\text{km}$ 일 때 r_2 에 의한 간섭영향을 분석한다. 그림 10은 I/N 값을 3차원으로 나타낸 결과로 r_2 값이 “-”인 경우는 우주기상 관측 안테나가 백오프(back-off) 방향으로의 거리이며, 기준치 I/N = -10dB 이하의 허용 간섭전력을 보인다. 따라서 관측 안테나와 레이더 목표물에 의한 회절 및 산란과와의 안테나 보어사이트 방향이 매우 중요하다.

그림 11은 I/N 값을 2차원으로 나타낸 결과로 마찬가지로 $r_2 = -20\text{km}$ 보다 작은 거리의 경우는 우주기상 관측 안테나가 백오프(back-off) 방향으로의 거리이며, 기준치 I/N = -10dB 이하의 허용 간섭전력을 보인다. $r_2 = 20\text{km}$ 이상의 거리에서

는 관측 안테나 보어사이트의 방향이 중요하여 45° 이상에서 간섭 허용치 이하를 보인다.

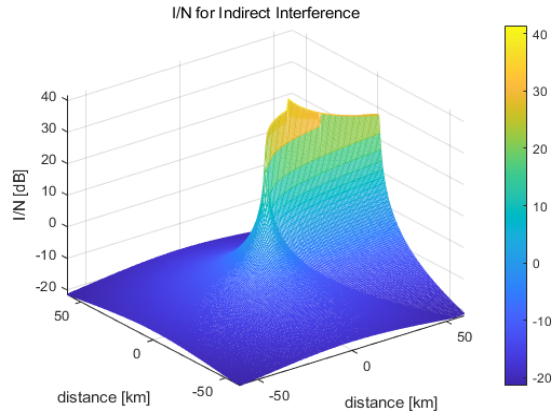


그림 10. 간접 간섭에 의한 3차원 동일채널에서의 I/N($\sigma = -50\text{dB}$)
 Fig. 10. Three dimensional co-channel I/N by indirect interference.

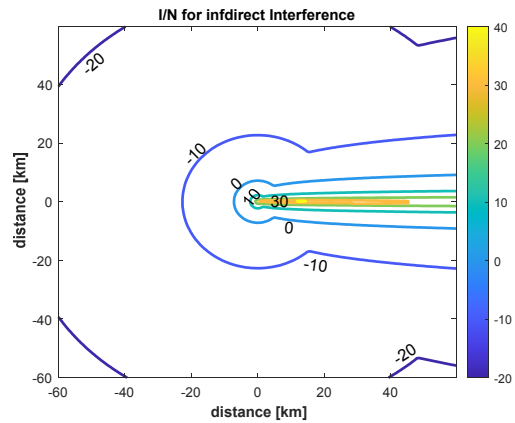


그림 11. 간접 간섭 r_2 에 의한 동일채널에서의 I/N($\sigma = -50\text{dB}$)
 Fig. 11. Co-channel I/N with r_2 by indirect interference.

제주 한림의 우주기상 관측 수신기로부터 20km 떨어진 고산의 기상 레이더의 간섭원을 고려하면, $r_1 + r_2 > d (= 20\text{km})$ 이다. 여기서는 기상 레이더에서 목표물까지를 5km 로 가정하여 r_2 는 20km 이상에서의 간섭영향을 분석한다. 그림 12는 동일채널 간섭의 경우로서 목표물의 RCS = -50dBsm 을 가정하여 레이더 목표물로부터의 회절 및 산란에 의한 간접 간섭에 의한 영향을 목표물에서 관측 안테나간의 거리 r_2 및 오프 보어사이트에 의해 I/N 값을 나타내었다. 그림 12의 결과로부터 우주기상 관측 안테나가 거리 $r_2 = 20\text{km}$ 로 레이더의 목표물과의 거리가 가까우면 안테나의 오프 보어사이트 각은 45° 이상, $r_2 = 50\text{km}$ 으로 멀어지면 오프 보어사이트 각은 25° 이상이면 간섭 허용치 이하의 값을 나타낸다.

한편, 그림 13은 인접채널 간섭의 경우로서 간섭의 영향은 매우 작아지므로 목표물의 RCS = -10dBsm로 비교적 큰 값을 가정하여 간접 간섭에 의한 영향을 목표물에서 관측 안테나 간의 거리 r_2 및 오프 보어사이트에 의해 I/N 값을 나타내었다. 그림 13의 결과로부터 인접 채널 간섭의 경우는 간섭의 영향이 매우 작아 우주기상 관측 안테나가 거리 $r_2 = 20\text{km}$ 로 레이더의 목표물과의 거리가 가까워지더라도 안테나의 오프 보어사이트 각은 8° 이상, $r_2 = 50\text{km}$ 으로 멀어지면 오프 보어사이트 각은 4° 이상이면 간섭 허용치 이하의 값을 나타낸다. 즉, 수신 안테나의 보어사이트에 근접한 방향으로 기상 레이더 목표물의 회절 및 산란 전파가 수신되어도 그 간섭영향은 미미한 수준이라 할 수 있다.

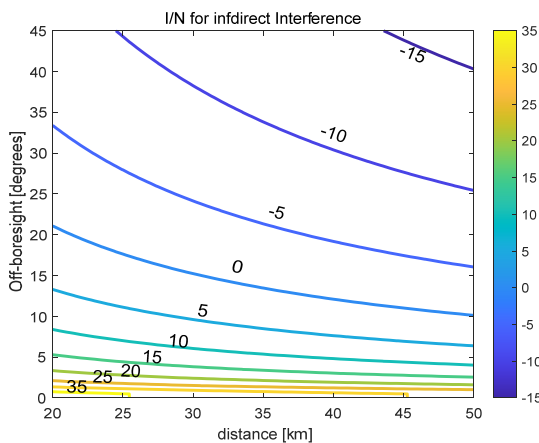


그림 12. 간접 간섭에 의한 r_2 및 오프 보어사이트에 따른 동일채널에서의 I/N($\sigma = -50\text{dB}$)

Fig. 12. Co-channel I/N with r_2 and off-boresight by indirect interference.

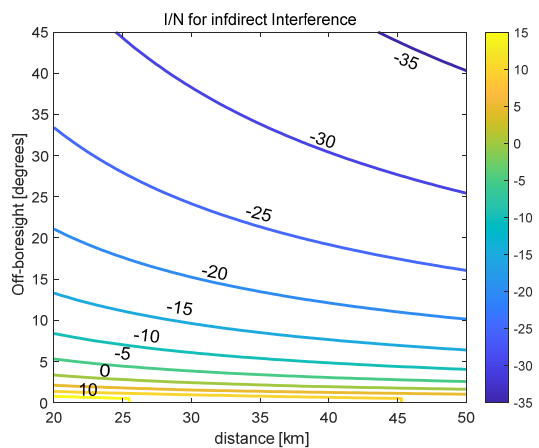


그림 13. 간접 간섭에 의한 r_2 및 오프 보어사이트에 따른 인접채널에서의 I/N($\sigma = -10\text{dB}$)

Fig. 13. Adjacent channel I/N with r_2 and off-boresight by indirect interference.

VI. 결 론

이전부터 레이더 시스템으로부터 지구국 또는 고정 지상 마이크로파 링크로의 간섭 문제가 있어 왔으며, 우주전파 환경측정 시스템과 같은 새로운 지구국의 운용 확대와 고정 지상 마이크로파 링크 수의 증가로 인해 레이더 시스템으로부터의 간섭의 가능성은 더욱 커지고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 기상 레이더로부터 직접 우주기상 관측 수신기에 미치는 직접 간섭영향과 레이더 목표물에서의 회절 및 산란에 의해 관측 수신기에 미치는 간접 간섭영향을 분석하였다. 분석 결과 레이더 방향 및 목표물로부터 회절 및 산란되는 전파 방향과 레이더 목표물의 RCS, 우주기상 관측 안테나의 수신 면적 및 보어 사이트 등이 간섭 영향 분석에 중요 파라미터임을 알 수 있다.

한편, 우주기상 관측시스템과 기상 레이더 두 시스템이 운영 주파수를 공동 사용하는 경우 지구국 및 고정 마이크로파 링크에서 사용하는 레이더 방사 진폭을 제한하는 방법으로 레이더 시스템으로부터의 간섭 가능성을 배제할 수는 없다. 또한, 인접 채널 대역 운영에서도 레이더 스푸리어스 방사와 레이더 중심 주파수 방사로 인한 수신기 시스템의 RF 프런트 엔드(front-end) 증폭기 과부하로 인해 간섭이 발생할 수도 있다. 간섭이 발생하면 간섭을 경감시키기 전에 간섭 결합 메커니즘을 식별하는 것이 중요하며, 이는 구현되는 경감 기술이 발생하는 간섭 메커니즘에 맞게 간섭 대책이 마련되어야 한다. 하나의 간섭 경감 대책으로 레이더에 출력 필터를 설치하는 것이 선호되는 방법이지만, 일부 레이더 설계에서는 이러한 필터링을 설치할 가능성은 없으므로 간섭을 경감시키기 위해 레이더 시스템의 운용 또는 수신기 시스템의 주파수 변경 또는 재배치와 같은 다른 옵션이 필요하다.

Acknowledgments

이 논문은 2020년도 한국전파진흥협회의 지원을 받아 수행된 연구(우주기상센서 보호를 위한 전파간섭 분석 연구 용역)의 일환으로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] Solar Cycle Science [Internet], Available: <http://solarcyclescience.com/forecasts.html>
- [2] NASA Solar Cycle 25 [Internet], Available: <https://blogs.nasa.gov/solarcycle25>
- [3] WMO [Internet], Available: <https://www.wmo-sat.info/product-access-guide/space-weather-product>
- [4] KSWC [Internet], Available: <http://spaceweather.rra.go.kr>

- [5] ITU-R Report RS.2456-0, Space weather sensor systems using radio spectrum, Jun. 2019.
- [6] ITU-R Preparatory Studies for WRC-23, [Internet] Available: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rcpm/Pages/wrc-23-studies.aspx>
- [7] Weather Radar Center [Internet], Available: <https://radar.kma.go.kr/lecture/radar/network.do#content11>
- [8] B. R. Mahafza, Radar Signals and Processing using MATLAB, CRC Press, 2009.
- [9] Recommendation ITU-R M.1174-4, Technical for measurement of unwanted emissions of radar systems, Oct. 2019
- [10] Y. H. Kang, “Frequency sharing with FSS Earth stations for CBRS services,”, Journal of Advanced Navigation Technology, Vol. 23, No. 6, pp. 507-514, Dec. 2019.
- [11] ITU-R Recommendation M.1849-2, Technical and operational aspects of ground-based meteorological radars, Jan. 2019.
- [12] ITU-R Document 7C/337-E, PDRR RS.2456, Space weather sensor systems using radio spectrum, April 2022.
- [13] Recommendation ITU-R S.465-6, Reference radiation pattern for earth station antennas in the fixed-satellite service for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to 31GHz, Jan. 2010.



강 영 흥 (Young-Heung Kang)

1984년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)
 1986년 2월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1993년 2월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1988년 3월 ~ 1990년 2월 : 한국항공대 통신공학과 조교
 1995년 8월 ~ 1996년 8월 : 일본 오사카대학 개원교수
 2003년 8월 ~ 2005년 2월 : 영국 York대학 방문교수
 1990년 4월 ~ 현재 : 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
 ※ 주 관심분야 : 위성통신, 이동통신, 전파공학, 표준화