

강우 레이더 전파간섭 분석

나상근 · 김군중 · 지식근 · 김영완

군산대학교

Analysis of Interference Protection among the Rain Radars

Sang-kuen Na · Kun-joong Kim · Seg-kuen Ji · Young-wan Kim

Kunsan National University

E-mail : snga@kunsan.ac.kr, ywkim@kunsan.ac.kr

요 약

본 논문에서는 강우 레이더간 간섭 현상과 강우 레이더의 스푸리어스 방사 신호로부터 발생하는 인접 무선국에 대한 간섭 현상을 분석한다. 강우 레이더는 강우 강도를 측정하고 강우를 예측하기 위하여 설치 운영되고 있으며, 높은 출력으로 동일 또는 인접 대역의 통신기기 및 레이더간 간섭 현상이 발생할 수 있다. S 대역 주파수 영역의 전파 특성과 강우 레이더의 전파간섭 protection ratio를 도출하여 강우 레이더의 전파 간섭 현상을 분석한다. 아울러 강우 레이더의 스푸리어스 방사 특성으로부터 인접 무선국에 미치는 전파 간섭 영향을 분석하여 강우 레이더의 방사 스펙트럼 특성을 제안한다.

ABSTRACT

The interference among the rain radars and interference in the adjacent wireless station due to the spurious signals from the rain radar were analyzed in this paper. The rain radar measures the rain intensity using S-band signal. The measured data are utilized in forecasting the rainfall. The interference among the rain radars or in the adjacent wireless stations may be caused by the high output power of rain radar. Based on the propagation analysis of S band signal and the deduced interference protection ratio of rain radar, the interference due to the rain radar are analyzed. Also, the radiation spectrum characteristics of a rain radar are deduced from the caused interference effects by the spurious signals of the rain radar.

키워드

강우레이더, 강우레이더 간섭, 간섭 보호비

1. 서 론

레이더는 항공, 우주, 국방 등 국가 전략적인 안전과 안보에 필수적인 수단이며, 우리 생활에 밀접한 기상 현상 등을 측정할 수 있다. 레이더 송신 출력은 일반적인 무선 지구국 장비보다 매우 크므로 인접 무선통신기기 및 레이더 상호간 간섭 현상이 발생할 수 있다. 레이더 주파수 대역은 ITU-R에서 용도에 따라 사용 주파수와 대역폭을 정하여 사용하도록 권고하고 있으며, 레이더

특성과 간섭 보호 기준에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

강우 레이더는 S-대역 주파수를 사용하여 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 양각에서 강우 시 구름의 정도 등을 측정한다. 이러한 강우 레이더는 상대적으로 높은 출력과 낮은 양각에서 운영되므로 간섭 현상이 지배적으로 나타날 수 있다. 즉, 다른 레이더에 비해서도 상대적으로 동일 또는 인접 대역의 통신기기 및 레이더 상호간에 큰 간섭이 발생할 수 있다. 따라서, 레이더 방사 전력으로 인한 특정 거리의 전력

밀도가 국제적으로 규정한 간섭 보호 기준에 근거하여 강우 레이더 상호간 그리고 무선통신기기에 미치는 간섭 영향을 분석하고 평가 기준을 정립할 필요성이 있다.

강우 레이더는 펄스 형태의 신호를 전송하므로 사용 주파수 대역 이외 대역에서 스퓨리어스 신호가 발생한다. 상대적으로 높은 송신 출력은 무시할 수 없는 스퓨리어스 신호를 발생하며, 이러한 스퓨리어스 신호는 인접 대역의 무선통신기기에 간섭 신호로 작용한다. 따라서 스퓨리어스 신호로 인한 간섭 현상을 억제하기 위하여 스퓨리어스 신호가 억압된 방사 특성을 가져야 한다.

본 논문에서는 높은 출력과 낮은 양각에서 운영되는 강우 레이더로 인한 간섭 현상을 분석한다. 간섭 봉 기준에 근거하여 강우 레이더간 그리고 인접 무선통신기기에 대한 간섭 정도를 분석한다. 아울러 강우 레이더의 스퓨리어스 신호로 인한 인접 대역의 통신기기에 대한 간섭 현상을 분석하여 강우 레이더의 방사 스펙트럼 특성을 제안한다.

II. 강우 레이더

2-1. 강우 레이더

강우 레이더는 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 양각 범위에서 2700 MHz ~ 3000 MHz 주파수를 사용하여 250 kW 이상의 출력으로 운영되고 있다. 강우 레이더는 기상 레이더와 같이 도플러 레이더 기술을 사용하며, 강우 시 강우량을 정보를 제공한다. 안테나 회전 속도는 최대 360/s를 가지며, CW 펄스 신호를 전송한다. 강우 레이더의 높은 출력으로 레이더의 안테나 방사 패턴과 스퓨리어스 신호는 간섭 현상을 최소화하기 위하여 그림 1과 그림 2와 같은 특성을 권고하고 있다.

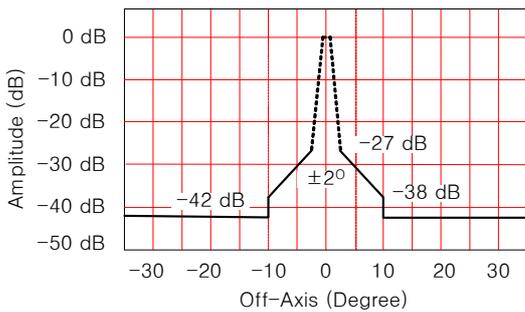
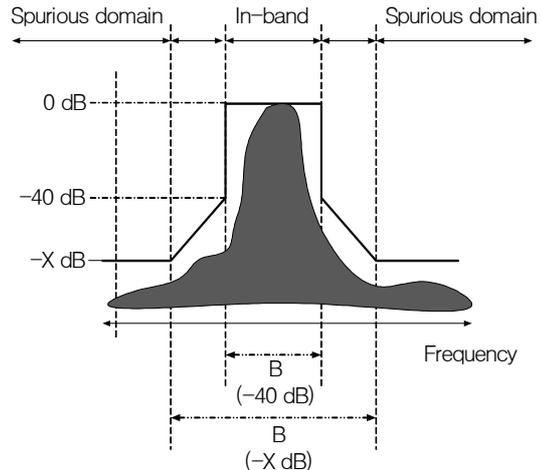


그림 1. 강우 레이더의 안테나 패턴.

강우 레이더는 그림 1로부터 펜슬 빔 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 아울러 그림 2로부터 강우 레이더의 대역폭($B_{-40\text{ dB}}$)은 약 8 MHz이며, -80 dB 억압 특성을 갖는 대역폭은 80 MHz이다. 80 MHz 이외의 스퓨리어스 특성은 80 dB 이하의 억압 특성을 갖도록 권고하고 있다.



- 대역폭 B-40 dB : 8 MHz (± 4 MHz)
- -X dB : 80 dB
- 대역폭 B-X dB : 80 MHz (± 40 MHz)

그림 2. 강우 레이더의 방사 특성.

강우 레이더는 기상 레이더와 같이 지역별 강우 상태 및 강우량을 예측하거나 기상 예보 정보를 제공하고 있다.

2-2. 간섭 및 강우 레이더 파라미터

강우 레이더는 그림 3과 같이 동일 또는 인접 주파수 영역에서 운영되는 레이더 상호간에 간섭 신호를 발생시키며, 레이더간 상호 간섭으로 오작동 또는 피해가 초래될 수 있다. 또한 인접 대역의 무선통신기기에 동등한 현상을 초래하여 전송 신호의 오류를 발생시킨다. 여기서는 간섭 신호에 의한 간섭 영향을 분석하기 위하여 간섭 신호 모델을 정의한다.

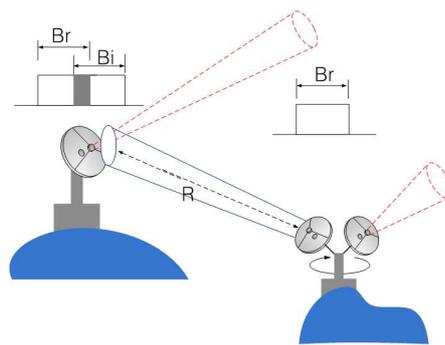


그림 3. 강우 레이더의 간섭 현상도.

레이더의 성능에 영향을 미치는 간섭 신호는 가음과 같이 해석할 수 있다. 레이더 신호의 평균 간섭 전력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{avg} = I_{peak} + 10\log(\tau PRF) \quad (1)$$

여기서, I_{peak} 는 간섭 신호의 첨두 전력을 표시하며, τPRF 는 듀티 비이다. 그리고 I_{peak} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{peak} = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \cdot A_r \quad (2)$$

여기서, A_r 은 수신 안테나의 유효 개구면이고, $G_r = 4\pi A_r / \lambda^2$ 이므로 간섭 신호의 첨두 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{peak} = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \cdot \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} = P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot L_s \quad (3)$$

여기서, L_s (dB)는 대기 손실을 나타내며,

$$L_s = 10\log\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 = 10\log\left(\frac{c}{4\pi f R}\right)^2.$$

식 (2)와 식 (3)의 I_{peak} , L_s , 그리고 수신기의 대역폭과 송신 대역폭의 비율과 중심주파수의 차이를 고려한 FDR과 처리 이득(PG)을 고려하면, 식 (1)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{avg} = 10\log P_t + 10\log(\tau PRF) + G_t + G_r - (32.44 + 20\log(fR)) + FDR - PG \quad (4)$$

여기서, P_t 는 송신기의 최대 전력이며, τ 는 펄스 반복 주파수이다. 또한 G_t 는 송신 안테나 이득, G_r 은 수신 안테나 이득, f 는 사용 주파수, R 은 간섭의 영향을 받는 레이더와의 거리이다.

식 (4)의 FDR은 중심주파수 차이를 고려한 OFR(Off-Frequency Rejection)과 송수신 대역폭의 차이를 고려한 OTR(On-Tune Rejection)으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$FDR(\Delta f) = OTR + OFR(\Delta f) \quad (5)$$

식 (5)에서 송수신 주파수가 동일 할 경우 OFR은 0(零)이 되며, OTR은 평균 신호 전력과 첨두 신호 출력에 의해 AOTR(Average Power On-Tune Rejection)과 POTR(Peak Power On-Tune Rejection)로 구분할 수 있다.

AOTR과 POTR은 CW 펄스 레이더인 경우, 수신기 대역폭 B_r 과 송신 간섭 신호 대역폭 B_t 에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$AOTR = \begin{cases} 10\log(B_r/B_t) & \text{for } \frac{B_r}{B_t} < 1 \\ 0 & \text{for } \frac{B_r}{B_t} \geq 1 \end{cases}$$

$$POTR = \begin{cases} 10\log(B_r/B_t) & \text{for } \frac{B_r}{B_t} < 1 \\ 0 & \text{for } \frac{B_r}{B_t} \geq 1 \end{cases} \quad (6)$$

식 (4)에서 송수신 주파수가 동일한 경우에는 AOTR이 고려된다.

첨두 간섭 신호 전력은 식 (4)로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{avg} = 10\log P_t + G_t + G_r - (32.44 + 20\log(fR)) + FDR - PG \quad (7)$$

식 (7)에서는 송수신 주파수가 동일한 경우에는 POTR이 고려된다.

III. 강우 레이더 간섭 분석

강우 레이더는 360° 회전에는 따른 안테나 회전 속도와 PRF 운용으로 최악의 간섭 현상이 발생할 가능성은 매우 낮다. 그러나 강우 레이더간 또는 다른 레이더간 서로 지향할 경우, 강우 레이더 양각이 0°에서 운영될 수 있으므로 강우 레이더간 간섭이 발생할 수 있다. 이 경우에는 PRF 및 운용 시각을 다르게 하여 간섭 현상을 최소화 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 강우 레이더에 의한 인접 무선국에 미치는 간섭 영향을 분석한다. 강우 레이더와 인접 무선국에 대한 간섭 대상으로 연화봉 사이트를 고려하였으며, 간섭에 대한 영향은 식 (7)을 적용하였다. 또한, 강우 레이더에 의한 인접 무선국에 대한 간섭은 강우 레이더의 스푸리어스 신호에 의한 간섭으로 그림 2와 같은 강우 레이더 방사 특성을 적용하며, 안테나 특성 등 송수신 특성은 기존 설치 운영중인 레이더와 무선국 체원을 적용하였다.

인접 무선국 체원으로부터 간섭 보호비는 다음과 같이 구할 수 있다.

표 1. 인접 무선국의 간섭 보호비

무선국 (MHz)	백운산 무선국		
	5974.85	6093.45	6152.75
요구 C/N (dB)	26.7	26.7	26.7
허용간섭전력 (dBm)	-104.7	-104.7	-104.7

여기서, 표 1의 간섭 보호비 요구 C/N은 ITU-R F.1101 데이터를 적용하여 산출하였다.

표 2. 강우 레이더에 의한 인접 무선국 간섭정도

무선국 (MHz)	백운산 무선국		
	5974.85	6093.45	6152.75
최대전력 (dBm)	88.75	88.75	88.75
Spurious 신호 억압 (dB)	80	80	80
	105	105	105
자유공간손실 (dB)	81.95	82.11	82.20
송신안테나 off-axis (dB)	50	50	50
수신안테나 off-axis (dB)	66	66	66
안테나 off-axis 각 (°)	90	90	90
수신신호 (dBm)	-106.33	-106.50	-106.59
	-131.33	-131.50	-131.58
간섭평가 (dB) (수신신호-PR)	-1.63	-1.80	-1.89
	-26.63	-26.80	-26.89

표 2에서 강우 레이더의 간섭 영향을 분석하기 위한 스푸리어스 방사 특성은 표준 스푸리어스 억압비(80 dB)와 구현 가능한 스푸리어스 억압비(105 dB)를 적용하였으며, 그리고 간섭 보호비 N/I는 6 dB를 적용하였다. 표 2에 의하면 간섭 신호 억압에 주요한 파라미터는 강우 레이더와 무선국 수신 안테나간 방위각 각도차와 스푸리어스 신호 억압비로서, 표준 스푸리어스 억압비를 적용하면 백운산 지향 수신 안테나의 각도에 따라 간섭 영향이 발생할 수 있음을 알 수 있다. 인접 무선국의 지향 안테나의 간섭을 최소화하기 위해서는 강우 레이더 지향각과 최소 90° 이상의 방위각이 유지될 수 있는 강우 레이더 운영이 중요하다. 또한, 강우 레이더의 스푸리어스 방사 전력 레벨이 최대 방사 전력 대비 105 dB 이하로 유지될 수 있을 경우, 40° 정도의 지향각 차이에서도 간섭 영향을 최소화 할 수 있다. 따라서, 강우 레이더의 방사 특성은 그림 4와 같은 방사 특성을 갖는 것이 중요하다.

IV. 결론

본 논문에서는 강우 레이더의 스푸리어스 방사 신호로부터 발생되는 인접 무선국에 대한 간섭 현상을 분석하였다 분석 결과로부터 요구되는 스푸리어스 특성을 도출하고 강우 레이더의 방사 특성을 제안하였다. 강우 레이더의 높은 출력으로

동일 또는 인접 무선국에 간섭 현상을 초래하므로 스푸리어스 신호가 일정값 이하로 억압되어야 함을 알 수 있었다.

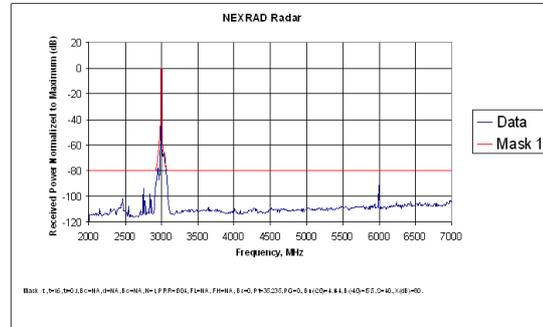


그림 4. 제안된 강우 레이더의 방사 특성.

참고문헌

- [1] NTIA Test Data, "Radar Spectrum Engineering Criteria (RSEC) : Radiation pattern of meteorological radar", 2006.
- [2] Recommendations ITU-R PN.525-2, "Calculation of free-space attenuation", 1994.
- [3] Recommendations ITU-R M.1464-1, "Characteristics of radio-location radars, and characteristics and protection criteria for sharing studies for aeronautical radio-navigation and meteorological radars in the radio-determination service operating in the frequency band 2700-2900 MHz", 2003.
- [4] Recommendations ITU-R SM.1541-2, "Unwanted emissions in the out-of-band domain", 2006.
- [5] Recommendations ITU-R F.1101, "Characteristics of digital radio-relay systems below about 17 GHz", 1994.
- [6] NTIA Manual of regulations and procedure for federal radio frequency management, "Chapter 5 Spectrum standards", 2006.
- [7] MIL-STD-469B, "Department of defense interface standard for radar engineering interface requirements, electromagnetic compatibility", 1996
- [8] MIL-STD-461E, "Department of defense interface standard : requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment", 1999
- [9] Metstar, "WSR-88 system specification", 2001
- [10] Metstar, "Metstar technical proposal : Antenna patterns", 2001
- [12] Andrew, "Parabola Antenna Specification", 2009.