

지리정보에 기반한 VHF/UHF 대역의 고정무선시스템과 레이다 간의 간섭분석

Interference Analysis Between Fixed Wireless System and Radar Operating in VHF/UHF Bands with Geographic Information

서 경 환*

Kyoung-Whoan Suh

Abstract

By virtue of Rec. ITU-R P.1546 and geography information system, interference analysis for the fixed wireless system and radar has been presented based upon the frequency-distance rules with minimum coupling loss, and a comprehensive methodology for assessing interoperability between systems was examined in terms of received signal, protection ratio, frequency dependent rejection. Also to find the antenna gain from a discrimination angle, a useful S-I plane was introduced based on signal and interference vectors derived from the real map with geographic information. To show some computational results, geography information on the map was taken for the given area, and field strength and path profile were illustrated for the radar and fixed wireless system operating at 2.7 GHz, for convenience. In addition the interference effect of receiver was also checked as a function of radar beam direction including protection ratio and frequency dependent rejection. The developed interference analysis can be actually applied to evaluate interoperability for wireless systems in the VHF and UHF bands.

Keywords : Rec. ITU-R P.1546, Interference Analysis(간섭분석), Frequency Dependent Rejection(주파수 의존제거), Protection Ratio(보호비), Geographic Information(지리정보)

1. 서론

최근 한정된 전파자원의 효율적 활용을 위해 주파수 조정 및 공유에 대한 연구가 크게 부각되고 있다^[1,2]. 최근 미-태평양 사령부(US-PACOM)에서 주관한 주파

수관리회의에서는 군 주파수 자원과 무선 체계의 변화를 운용, 기술, 그리고 규정 측면에서 설명하고 있다^[3]. 첫째, 운용 측면에서는 망-중심적 전쟁(NCW : Net-Centric Warfare) 체제로 보다 넓은 대역폭, 신속한 이동, 더 빠른 주파수 민첩성으로 변화하고 있다. 둘째, 기술 측면에서는 최근 10년간 무선 기술의 급격한 발전과 이동통신 시장의 급속한 성장과 더불어 주파수 자원의 요구가 지속적으로 증가하며, 부족한 주파수 자원 해소를 위해 군 전용 주파수 대역을 잠식하고 있

† 2012년 9월 26일 접수~2012년 12월 14일 게재승인

* 강남대학교(Kangnam University)

책임저자 : 서경환(kwsuh@kangnam.ac.kr)

는 추세이다. 셋째, 규정 측면에서는 스펙트럼의 공유와 조화로운 운용을 요구하고 있으며, 이는 주요 국가들의 국력 및 세계전파통신회의(WRC)의 영향에 증속되는 경향이 있다.

이러한 추세와 더불어 오늘날의 전장은 개별 중심의 플랫폼에서 여러 전투요소가 복합적으로 결합, 실시간 정보 공유가 가능한 망 중심으로 변화를 하고 있다. 따라서 NCW 체제의 전장 환경에서는 지상망, 공중망, 위성망, 그리고 센서망 간의 원활한 주파수 활용과 요구되는 성능을 보장하기 위해서는 상호 운용성이 필수적으로 보장되어야 한다. 따라서 한정된 군 주파수 자원에 대해 시스템 상호 운용성을 보장하기 위해서는 다양한 시나리오에 대한 주파수 간섭분석 및 양립성 연구가 수반되어야 한다^[4]. 간섭분석 방법론은 크게 최악의 경우를 고려한 최소커플링손실과 몬테카를로(Monte Carlo) 분석에 의한 통계적 기법으로 나눈다^[5,6]. 민수용 주파수 대역에서는 업무 간의 서비스 품질 보장을 위한 여러 연구들이 진행된 바가 있다^[7~10]. 하지만 군 주파수 대역에서는 군의 특수성으로 인해 연구가 상대적으로 매우 미흡한 실정이다. 따라서 상대적으로 주파수 활용도가 높은 VHF/UHF 대역에서 군 주파수의 상호 운용성 보장을 위한 체계적 분석 및 도구의 확보가 절실하다.

본 논문에서는 이러한 필요성을 충족시키고 분석도구 구축의 일환으로 최소커플링손실 방법과 지리정보와 결합된 권고 ITU-R P.1546을 이용한 전계강도 및 수신신호를 정립한다. 그리고 가상의 고정무선시스템과 레이더의 시스템 변수에 대해 보호비, 주파수의존 제거, S-I 평면을 이용한 변별자 등을 계산하고 수치 계산에 의한 간섭분석을 실시한다.

2. 수신신호 및 보호비

가. 수신신호 표현

송신기의 송출 신호는 거리 및 전파환경에 따라 변화하며, 수신된 신호 P_r (dBm)은 다음과 같다^[4].

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - L_p \quad (1)$$

여기서 P_t 는 송신기의 출력(dBm), G_t 및 G_r 은 송신기 및 수신기의 안테나 이득(dBi), L_t 및 L_r 은 송신기 및 수신기의 삽입손실(dB), L_p 는 송신기와 수신기 간

의 전파경로 손실(dB)이다. 전파경로 손실, L_p 는 주파수 대역에 따라 적용되는 전파예측모델에 의존하며, 본 논문에서는 VHF 및 UHF 대역에서 적용되는 권고 ITU-R P.1546을 적용한다^[11]. 이 권고서는 지상 서비스의 점-대-지역 전파특성 예측 방법에 관한 것으로 적용 대상은 주파수 30 MHz ~ 3000 MHz, 거리 1 ~ 1000 km(육상경로, 해상경로 또는 육상 지상의 혼합 경로), 유효 송신고도 3000 m 이하이다. 또한 전계강도 곡선은 1 kW ERP 방사할 때, 수신고도 10m 지점에서의 전계강도, 주파수 100, 600, 2000 MHz, 경로는 육상 및 해상(cold/warm), 시간율은 1, 10, 50 %가 적용된다. 이러한 변수들의 값과 일치하지 않을 때는 보간법 및 외삽법을 적용하도록 기술하고 있다.

Fig. 1은 주파수 2 GHz에서 거리에 따른 전계강도를 제시한다. 시간 및 공간 %는 각각 50인 경우이다. 여기서 h_1 은 송신기 안테나의 유효 높이이다.

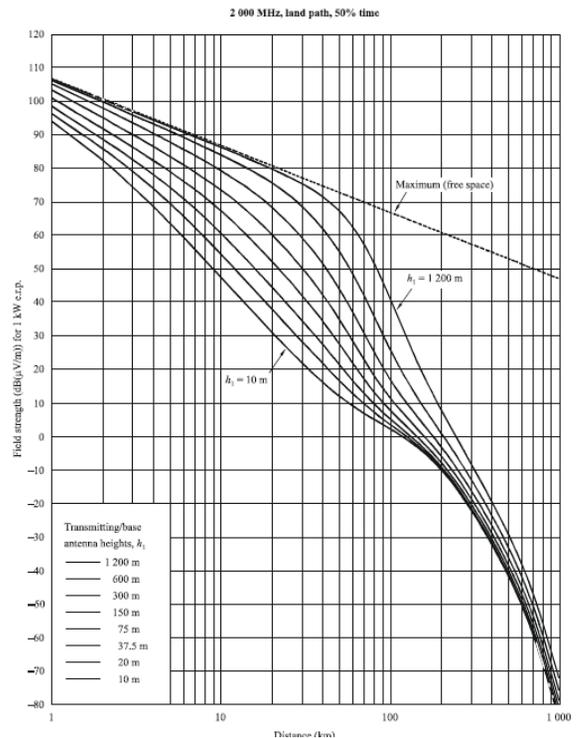


Fig. 1. 주파수 2 GHz에서 거리에 따른 전계강도

한편 식 (1)을 자유공간 손실과 이 권고서의 1 kW ERP를 고려한 거리에 따른 전계강도 $E_{p.1546}$ (dB(μ V/m))로 표현하면 다음과 같다^[10].

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - (139.3 - E_{p-1546} + 20 \log f_{MHz}) \quad (2)$$

일반적으로 무선시스템의 간섭영향을 고려한 수신한 계전력 P_{r-th} (dBm)은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{r-th} = -174 + 10 \log B + NF + S/N + L_r + D_{d-S/N} \quad (3)$$

여기서 B 는 수신기 IF 대역폭(Hz), NF 는 잡음지수 (dB), S/N 은 최소 요구되는 품질에서 신호 대 잡음 비(dB), 그리고 $D_{d-S/N}$ 은 간섭에 의해 수신기의 S/N 의 열화(dB)를 의미하며, ITU-R에서는 0.5, 1.0, 2.0 dB의 열화를 제시하며, 이는 간섭 대 잡음 전력의 비 (I/N)가 -3, -6, -10 dB로 정의한다.

그리고 전력과 전계강도 $dB(\mu V/m)$ 간의 변환관계로부터 식 (3)은 다음과 같다.

$$E_{P_{r-th}} = P_{r-th} + 20 \log f_{MHz} + 77.2 - G_r \quad (4)$$

식 (4)을 식 (2)에 대입하면 Fig. 1의 전계강도 $E_{P_{1546}}$ ($dB(\mu V/m)$) 곡선을 이용한 수식으로 다음과 같이 정리된다^[10].

$$E_{P_{r-th}} = E_{P_{1546}} + P_t + G_t - L_t - 62.1 \quad (5)$$

여기서 $E_{P_{1546}}$ 은 주어진 주파수, 안테나 높이, 위치 및 시간 % 등 많은 변수를 포함하며, 거리의 함수로 주어진다. 그리고 상수 값은 1 kW ERP을 dBm으로 환산한 값이며, 만약 P_t 를 1.0 kW, 그리고 G_t 를 다이폴 안테나를 적용한다면 식 (5)에서 상수가 0되어 바로 Fig. 1의 전계강도 곡선의 값이 거리에 따른 전계강도가 됨을 의미한다. 따라서 지도상의 주어진 위치에서 시스템의 변수만 주어진다면 수신한계 전계강도를 주는 거리를 변수 $E_{P_{1546}}$ 으로부터 구할 수 있다.

한편 간섭원(레이더)으로부터 피해 수신기에 유입되는 간섭전력 I 는 다음과 같다.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (6)$$

여기서 I 는 레이더 펄스들의 침투전력으로 레이더의 기본 주파수에서 피해 수신기 입력(dBm)이며, P_T 는 레이더 송신기의 침투 전력(dBm), G_T 는 레이더의 주

빔 안테나 이득(dBi), G_R 는 분석 대상인 레이더 기지의 방향으로 수신기 안테나 이득(dBi), L_T 는 레이더 기지국 송신기에서 삽입손실(dB), L_R 는 피해 수신기의 삽입손실(dB), L_P 는 송신과 수신 안테나 사이의 전파 경로 손실(dB), FDR_{IF} (dB)은 원하지 않는 송신기 방사 스펙트럼에 대한 수신기 IF 선택도에 의해 산출되는 주파수의존제거(FDR)로 다음과 같다^[5].

$$FDR = 10 \log_{10} \left[\frac{\int_0^\infty S(f) df}{\int_0^\infty S(f) R(f + \Delta f) df} \right] \quad (7)$$

여기서 $S(f)$ 는 송신기의 스펙트럼 밀도(Watts/Hz), $R(f)$ 는 수신기의 주파수 선택도이며, 수신기의 전체 필터 특성의 크기를 제공한 양이다. 그리고 Δf 는 송신 주파수 f 에 대한 주파수 편이를 나타낸다.

나. 보호비

보호비(PR : Protection Ratio)는 해당 무선망에서 허용하는 신호 대 간섭 비의 최솟값을 의미한다. 가우시안과 같은 다중간섭에 의한 수신신호 열화는 가정할 백색 가우시안 잡음채널과 결합되어 전체 캐리어 대 잡음 비, $(C/N)_T$ 는 다음과 같다^[12].

$$(C/N)_T = (N/C + I/C)^{-1} \quad (8)$$

$$I/C = I_1/C + I_2/C + \dots + I_n/C \quad (9)$$

여기서 N/C 는 열잡음 대 캐리어 비, I/C 는 등가간섭 대 캐리어 비, 그리고 I_i/C ($i=1, \dots, n$)는 i 번째 무작위 간섭원의 간섭 대 캐리어 비이다.

최소커플링손실에 근거한 간섭충돌허용치(ICM : Interference Conflict Margin)는 잠재적 간섭을 결정하기 위해 수신기 간섭한계에 대한 수신된 간섭전력의 비로 다음과 같이 표현한다^[13].

$$ICM = I - [N + (I/N)_{\max}] \quad (10)$$

여기서 ICM 은 간섭충돌허용치(dB), I 는 수신된 간섭 전력(dBm), T 는 수신기의 간섭한계(dBm), N 은 시스템 잡음전력(dBm), 그리고 $(I/N)_{\max}$ 는 간섭 대 잡음

전력의 최대허용값(dB) 이다.

수신기에 요구되는 최소 캐리어 대 간섭 비, $(C/I)_{\min-rqrd}$ 와 실제 무선망 설계에서 보호비 확인에 필요한 조건은 FDR을 고려하면 다음과 같다.

$$(C/I)_{link} > (C/I)_{\min-rqrd}(= PR) - FDR \quad (11)$$

여기서 $(C/I)_{link}$ 는 실제 시스템의 특성과 링크의 전파 예측 모델을 고려한 계산된 값이다. Fig. 2에서는 보호비를 개념적으로 제시한 것이다.

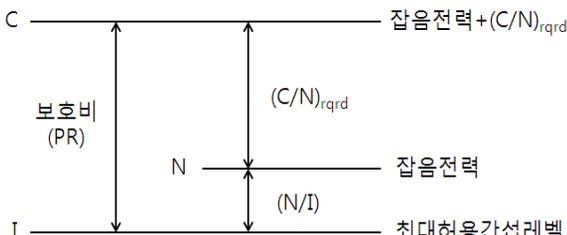


Fig. 2. 보호비의 개념

다. S-I 평면 및 변별각

Fig. 3은 고정무선시스템과 레이더1/2 간의 기하구조를 나타내며, Rx-Tx와 Rx-Radar1 및 Rx-Radar2 간에 이루는 평면에서 시스템들의 변별각(discrimination angle)을 각각 도출하면 안테나 이득 $G(\phi_1)$, $G(\phi_2)$ 를 구할 수 있다^[4]. 이를 위해 Rx-Tx 간을 연결하는 벡터 \vec{S} (신호원)와 Rx-Radar1/2 간을 연결하는 벡터 \vec{I} (간섭원)를 정의한다. 이러한 벡터는 지리정보 데이터(위도, 경도, 고도)로부터 좌표 상의 데이터로 치환하고, 이를 다시 직각 좌표로 변환하여 구할 수 있다. 두 벡터가 이루는 S-I 평면에 수직인 단위 벡터는 \hat{a} 이며, 변별각은 설정된 벡터들의 내적을 이용하면 구할 수 있다. 따라서 레이더1 및 레이더2로부터 유입되는 간섭은 Rx 안테나의 변별각으로 결정된다. 만약 안테나가 회전 대칭적 이득 패턴을 갖는 경우, 바로 변별각이 양각(θ)이 되어 이득을 구할 수 있다.

한편 안테나 패턴이 회전 대칭적 구조가 아닌 경우, 레이더로부터 유입되는 간섭은 수신기의 안테나 이득 $G(\theta, \phi)$, 즉 양각과 방위각의 함수로 주어진다. 먼저 양각 계산은 Fig. 3의 수신기를 기준점, 즉 좌표의 원점으로 정한다. 그리고 송신기와 수신기가 z 축으로부터 이루는 각을 이를 θ_{Rx-Tx} 라 하자. 동일한 방법

으로 수신기와 레이더1이 이루는 각은 $\theta_{Rx-Radar1}$ 이 된다. 그러면 두 각의 차이가 바로 수신기와 송신기를 기준으로 할 때 상대적인 양각의 차이인 $\Delta\theta_1 = \theta_{Rx-Tx} - \theta_{Rx-Radar1}$ 가 된다. 동일한 방법으로 방위각 계산은 송신기와 수신기를 잇는 벡터를 기준으로 하고, 이를 x-y 평면에 투영한 선과 x 축과 이루는 각을 방위각으로 정의한다. 따라서 상대적 방위각의 차이 $\Delta\phi_1 = \phi_{Rx-Tx} - \phi_{Rx-Radar1}$ 도 구할 수 있다. 결론적으로 Fig. 3에서 수신기 안테나가 레이더1로 향하는 안테나 이득은 $G(\Delta\theta_1, \Delta\phi_1)$ 가 된다. 본 논문에서는 편의상 고정무선시스템과 레이더 안테나의 기준 방사 패턴은 모두 회전 대칭적인 구조를 취하였으며^[14,15], 특히 고정무선시스템에서는 주파수 범위, 1.0 ~ 70 GHz에서 안테나 크기/파장 = 18로 정하였다.

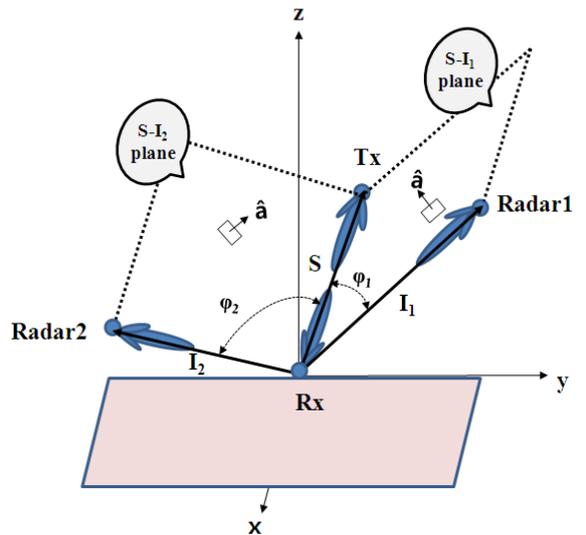


Fig. 3. S-I 평면상의 신호원과 간섭원 벡터

3. 수치계산 및 간섭분석

가. 주파수 대역 및 시스템 변수

간섭은 유형은 동종 또는 이종의 무선시스템 간에 동일대역과 인접대역의 간섭으로 나눌 수 있다. Fig. 4는 주파수 할당 측면에서 잠재적 발생할 수 있는 고정무선시스템(FWS)과 레이더(radar) 간의 동일 및 인접대역의 간섭을 나타낸 것이다. 인접대역 간섭은 단지 FWS의 중심 주파수로부터 Δf 만큼 주파수 이격을

하고 있다. 따라서 간섭 계산에서는 주파수 이격에 따른 FDR을 고려해야 한다.

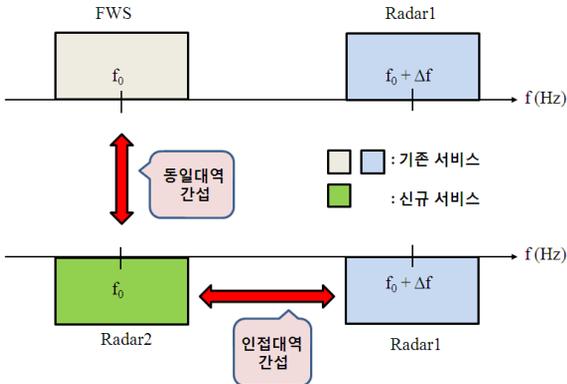


Fig. 4. 고정무선시스템 및 레이더의 주파수 배치도

다중간섭 분석을 위해 선정된 시스템 위치는 Fig. 5와 같이 고정무선시스템과 레이더1/2가 실제 지도(80 × 60[km²]) 상에 놓인 경우를 가정하였으며, 이는 Fig. 3과 같이 다중간섭 구조로 나타낼 수 있다. 벡터 내적을 이용하여 고정무선시스템의 수신기(Rx)을 기준으로 Tx-Rx, Rx-Radar1, 그리고 Rx-Radar2가 이루는 변별각은 각각 약 30.7도 및 118.33도이다.

본 논문에서 가정한 시스템 특성은 Table 1과 같다. 단지 레이더1과 레이더2는 IF 3 dB 대역폭이 40 및 24 MHz를 갖으며, 나머지 시스템 특성은 편의상 동일하다고 하였다. Table 2는 Table 1의 데이터로부터 64-QAM 고정무선시스템에 요구되는 동일채널의 최소 보호비를 나타내었다.

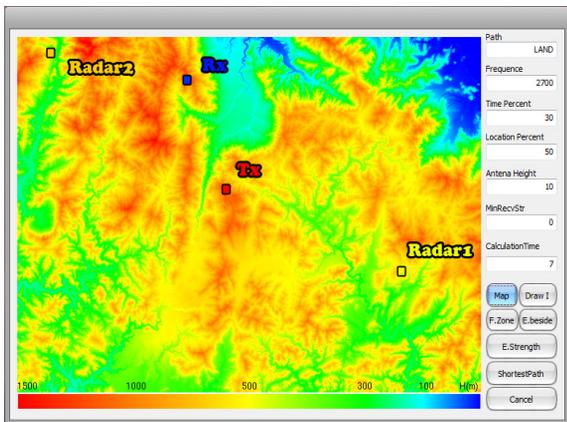


Fig. 5. 실제 지형데이터와 시스템의 배치

Table 1. 고정무선시스템과 레이더의 규격

| | 변수 | 특성 |
|---------------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| 고정무선시스템 | 송신 중심주파수 | 2.7 GHz |
| | 수신기 대역폭 | 40 MHz |
| | 전송용량 | STM-1(155.520 Mbps) |
| | $C/N @BER10^{-6}$ | $(C/N)_{rqrd} = 26.3 \text{ dB}$ (64-QAM, 코딩 이득무시) |
| | 송신출력 | 27 dBm (0.5 Watt) |
| | 안테나 이득 | 40 dBi (송신/수신 동일) |
| | 시스템 손실 | 0 dB (송신/수신 동일) |
| | 수신 잡음지수 | 3.0 dB |
| | 송·수신간 거리 | 20 km |
| 송/수신 높이 | 1171/1051 m | |
| 레이더 1 / 레이더 2 | 중심 주파수 | 2.7 GHz |
| | 첨두 송신전력 | 레이더1/2: 40/40 dBm |
| | 주빔 안테나이득 | 40dBi |
| | 펄스폭/반복율 | 0.1 μ s / 2000 pps |
| | 수신기 대역폭 | 레이더1: 40 MHz @IF 3 dB 레이더2: 24 MHz @IF 3 dB |
| | 시스템 손실 | 0 dB |
| | 수신기와 고도 차이/거리 | 레이더1이 344m 낮음/50 km 레이더2가 252m 낮음/25 km |

Table 2. 64-QAM 고정무선시스템의 최소 보호비

| 변수 | 계산 결과 | 비고 |
|----------------|------------------------|-------------------------|
| $(C/N)_{rqrd}$ | 26.3 dB @ $BER10^{-6}$ | 코딩이득 무시 |
| N | -97.98 dBm | 수신기 대역폭 40MHz |
| C | -71.68 dBm | $(C/N)_{rqrd} + N$ |
| I | -103.98 dBm | $I/N = -6.0 \text{ dB}$ |
| $PR(= C/I)$ | 32.3 dB | 동일채널 |

나. 전계강도 및 간섭계산

Fig. 6은 레이더1과 수신기 간의 경로운곽이며, 1차 프레스넬 영역을 점선으로 나타내었다. Fig. 7은 Fig. 5

의 실제 지형에서 레이더2를 중심으로 거리에 따라 1 kW ERP에 대한 전계강도를 계산하여 도시한 것이다.

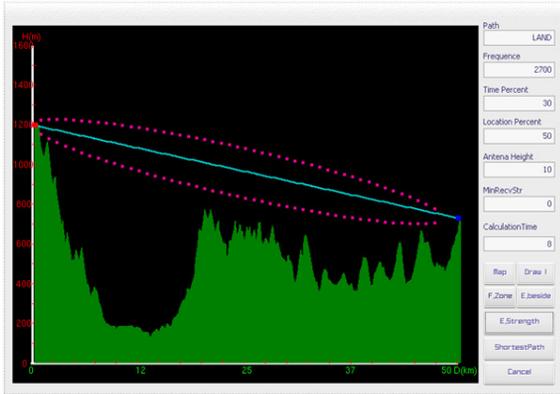


Fig. 6. 수신기(Rx)와 레이더1 간의 경로운곽

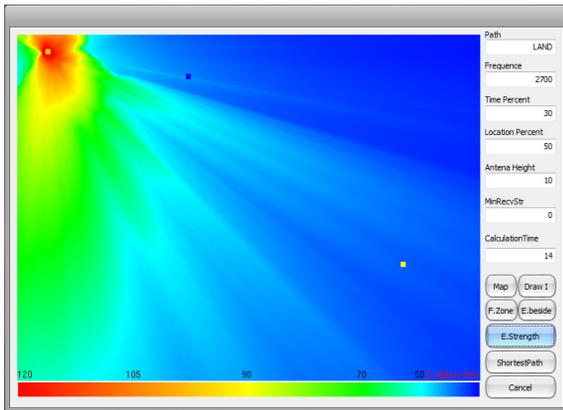


Fig. 7. 레이더2 주변의 전계강도

고정무선시스템과 레이더1 간의 주파수의존제거(FDR) 계산을 위해 Fig. 8에서 보여준 2가지 곡선에서 송신기의 스펙트럼 밀도함수(여기서는 레이더 송신기를 의미함), $S(f)$ 를 실선을 선택하고, 수신기 필터의 전체 전달특성을 갖는 선택도, $R(f)$ 를 점선으로 가정하였다^[16]. Table 3은 계산된 FDR를 고려한 관련 보호비(PR)의 결과를 제시한 것으로, 주파수 편이가 증가할수록 FDR이 증가하여 요구되는 PR은 상대적으로 감소함을 알 수 있다. 또한 동일한 방법으로 고정무선시스템과 레이더2 간의 FDR를 구하기 위해 스펙트럼 밀도는 Fig. 9의 곡선(a)로 하고^[17], 수신기의 필터 선택도는 Fig. 8의 점선으로 가정하여 산출된 FDR 및 보호비를 Table 4에 보였다.

Relative power spectral density [dB]

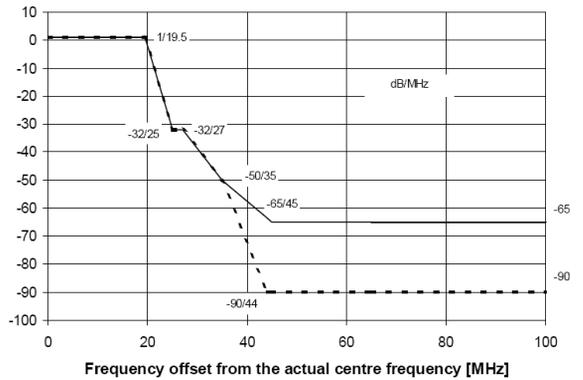


Fig. 8. 레이더1의 스펙트럼 밀도와 수신기 선택도

Table 3. 레이더1과 수신기 간의 FDR 및 PR

| $-\Delta f$ (MHz) | FDR (dB) | PR (dB) |
|-------------------|----------|---------|
| 0 | 0 | 32.3 |
| 10 | 0.23 | 32.07 |
| 20 | 1.96 | 30.04 |
| 30 | 4.86 | 27.44 |
| 40 | 17.07 | 15.23 |

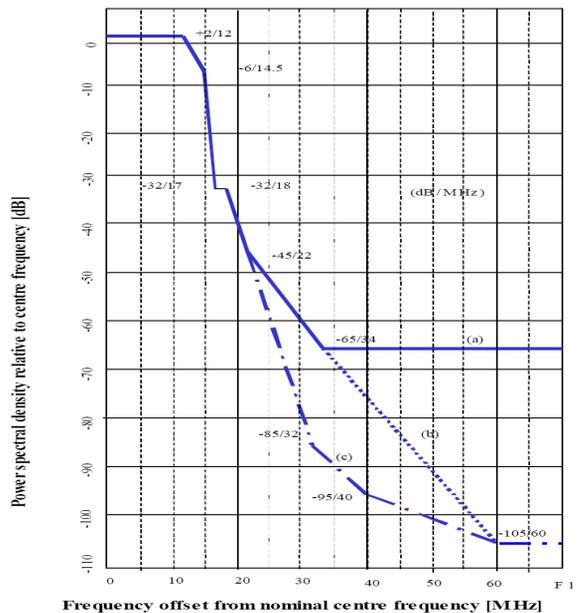


Fig. 9. 레이더2의 스펙트럼 밀도와 수신기 선택도

Table 4. 레이더2와 수신기 간의 FDR 및 보호비

| $-\Delta f$ (MHz) | FDR (dB) | PR (dB) |
|-------------------|----------|---------|
| 0 | 0 | 32.3 |
| 10 | 0 | 32.3 |
| 20 | 1.93 | 30.37 |
| 30 | 7.81 | 24.49 |
| 40 | 42.1 | -9.8 |

Fig. 10과 11은 레이더1 및 레이더2의 안테나 방위각에 따라 고정무선시스템의 수신기에 유입되는 간섭전력을 도시하였다. 이때 레이더의 방위각 0도는 Fig. 3의 S-I 평면에서 주빔이 수신기를 향한다.

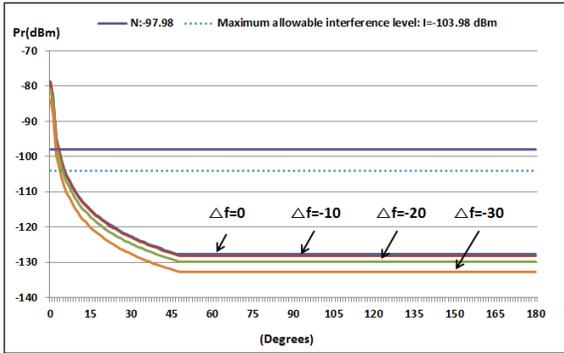


Fig. 10. 레이더1의 방위각에 따른 수신기 간섭전력

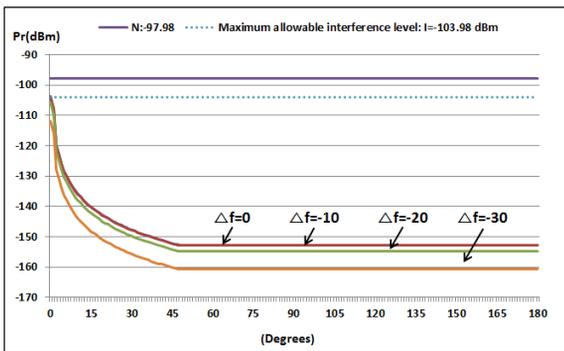


Fig. 11. 레이더2의 방위각에 따른 수신기 간섭전력

결과에서 알 수 있듯이 수신전력이 최대허용간섭레벨(-103.98 dB) 보다 작은 방위각은 $\Delta f = 0$ 및 -30 MHz에서는 각각 약 6° 및 4°이며, 이때 전력은 각각 -105.2 및 -105.8 dBm 이다. 따라서 결론적으로 $\Delta f =$

-30 MHz 곡선에 대해 방위각 4°를 넘어서면 수신기의 동작 주파수가 2,730 MHz에서 동작하더라도 간섭 수신전력이 사전에 설정된 허용간섭($I/N = -6$ dB) 아래에 있어 수신기는 주어진 품질을 만족하게 된다. 한편 동일한 방법으로 양각에 대해서도 구할 수 있는데, 이는 선택한 안테나가 회전 대칭적 구조의 패턴이므로 양각에 대한 결과는 Fig. 10 및 11과 동일하게 됨을 알 수 있다.

Fig. 12는 레이더1 및 레이더2의 중심주파수가 고정 무선시스템과 $\Delta f = -30$ MHz에서 수신기의 간섭전력을 레이더1 및 레이더2, 그리고 이들을 합한 전체 간섭전력(Radar1+Radar2)을 양각에 대해 나타내었다. 이때 양각 0도는 Fig. 3의 S-I 평면에서 접선으로 놓인 레이더1 및 레이더2의 주빔 방향이 수신기를 향하는 것으로 하였다. 레이더2의 간섭전력이 레이더1에 비해 20 dB 이상 차이가 나기 때문에 전체 전력은 레이더1의 결과와 동일함을 알 수 있다.

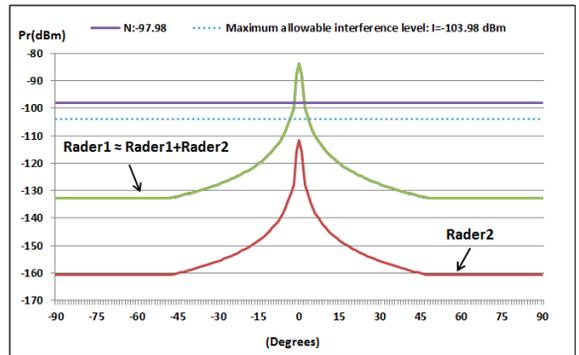


Fig. 12. $\Delta f = -30$ MHz에서 양각에 따른 간섭전력

4. 결론

오늘날 망-중심적 전쟁의 동적환경에서는 무선 시스템 간의 주파수 상호 운용성의 확보가 필수적이며, 이에 주파수 조정에 필요한 간섭분석 방법 및 도구의 확보가 수반되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 기반 구축에 적용할 목적으로 권고 ITU-R P.1546의 전파전파 예측 모델을 지리정보시스템에 구현하고, 최소스커플링 손실 방법에 근거한 가상의 고정무선시스템과 레이더에 대한 간섭분석을 수치계산을 통해 실시하였다. 또한 피해 수신기와 간섭원 그리고 신호원으로 구성되는 S-I 평면을 통해 변별각 산출 및 안테나 패턴 마스크

로부터 이득을 구하는 방법을 제시하였다. 설정된 시스템 변수에 대해 전계강도, 수신전력, 보호비, 주파수의 존재 여부 등을 구하고 방위각 및 양각의 변화에 대해 간섭영향을 고찰하였다. 향후 과제로는 다양한 동적전장 시나리오에 대한 간섭분석과 육상의 최적 이동경로 탐색 등이 남아 있다.

후 기

본 논문은 강남대학교 2011년도 교내 연구비 지원에 의한 것임.

References

- [1] ITU-R 홈페이지 <http://www.itu.int/ITU-R>.
- [2] 국방부, 국제 주파수 분배정책 대응 군 무선체계 주파수 영향분석 연구, 보고서, 2009년 12월.
- [3] 2009 US-PACOM SMC(Spectrum Management Conference) Proceedings, July 20~24, Hawaii.
- [4] 서경환 외 4인, “지리정보에 근거한 VHF 및 UHF 대역의 전계계산 및 간섭분석”, 한국군사과학기술학회 하계종합학술대회, 경주, 2012.
- [5] Rec. ITU-R SM.337, Frequency and Distance Separations, SM Series, Geneva, Switzerland, 1997.
- [6] Rec. ITU-R M.1634, Interference Protection of Terrestrial Mobile Service Systems using Monte Carlo Simulation with Application to Frequency Sharing, Switzerland, 2003.
- [7] Rec. ITU-R M.1461-1, Procedure for Determining the Potential for Interference Between Radar Operating in the Radiodetermination Service and Systems in Other Services, Switzerland, 2003.
- [8] WiMAX Forum : Compatibility of Services using WiMAX Technology with Satellite Services in the 2.3~2.7 GHz and 3.3~3.8 GHz Bands, 2007.
- [9] 서경환, 이주환, “900 MHz 대역의 효율적 이용을 위한 FM 방송 링크 시스템 주파수의 재배치에 대한 기술적 분석”, 방송공학회논문지, 제15권 제1호, pp. 89~98, 2010.
- [10] Jeong, N. H., Lee, J. H., Suh, K. W., “Analysis of Frequency Sharing Between Mobile Systems and Radiolocation Radars in VHF Band,” The 12th International Conference on Advanced Communication Technology, Phoenix Park, Korea, pp. 1179~1183, Feb. 7~10, 2010.
- [11] Rec. ITU-R P.1546-4, Method for Point-to-area Prediction for Terrestrial Services in the Frequency Range 30 MHz to 3000 MHz, Geneva, Switzerland, 2009.
- [12] Freeman, R. L., Radio System Design for Telecommunication, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., pp. 695~726, 1997.
- [13] NTIA Report 07-447, “Assessment of Federal and Non-Federal Land Mobile Radio Frequency Assignment Methodologies”, May 2007.
- [14] Rec. ITU-R M.1652, Dynamic Frequency Selection (DFS) in Wireless Access Systems Including Radio Local Area Networks for the Purpose of Protecting the Radiodetermination Service in the 5 GHz Band, Geneva, Switzerland, 2003.
- [15] Rec. ITU-R F.699, Reference Radiation Patterns for Fixed Wireless System Antennas for Use Incoordination Studies and Interference Assessment in the Frequency Range from 100 MHz to about 70 GHz, Geneva, Switzerland, 2004.
- [16] ETSI EN 301 669 v1.2.1 : Fixed Radio Systems; Point-to-point Equipment; High Capacity Digital Radio Systems Carrying STM-4 in Two 40 MHz Channels or 2 x STM-1 in a 40 MHz Channel with Alternate Channel Arrangement, Sophia Antipolis, France, 2001.
- [17] ETSI EN 301 127 v1.3.1 : Fixed Radio Systems; Point-to-point Equipment; High Capacity Digital Radio Systems Carrying SDH Signals(up to 2 x STM-1) in Frequency Bands with About 30 MHz Channel Spacing and using Co-polar Arrangements or Co-Channel Dual Polarized(CCDP) Operation, Sophia Antipolis, France, 2002.