

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제18권 제3호, 2013년 5월 (JBE Vol. 18, No. 3, May 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.3.445>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

VHF/UHF 대역에서 지리정보와 임의 안테나 패턴을 갖는 무선시스템의 간섭분석 연구

서 경 환^{a)‡}

Interference Analysis of Wireless Systems with Arbitrary Antenna Patterns and Geographic Information in the VHF/UHF Bands

Kyoung-Whoan Suh^{a)‡}

요 약

ITU-R 권고 P.1546의 전파전파 예측, 지리정보시스템, 신호-간섭(S-I) 평면에 기반하여 최소커플링손실을 적용한 무선시스템 간의 간섭분석 방법을 제시하며, 또한 임의의 안테나 패턴에 대해 간섭원과 피해 수신기 간의 방위각 및 양각을 산출하는 국부좌표계를 도출하였다. 제시된 알고리즘의 확인을 위해 지도상의 면적 $80 \times 60 [km^2]$ 갖는 실제 육지-바다 혼합지역의 지리정보를 취하였다. 가정한 주파수에 대해 지도상에 위치한 고정무선시스템 및 레이더의 전계강도와 경로운곽 및 최대허용간섭레벨을 갖는 보호비를 산출하였으며, 간섭원의 방위각 및 양각의 변화에 대해 피해 수신기의 간섭전력을 계산하였다. VHF 및 UHF 대역에서 개발된 간섭분석 방법론은 상용 또는 군용 무선시스템 간의 상호 운용성 및 양립성 평가에 실제로 적용될 수 있을 것으로 여겨진다.

Abstract

By using the radio propagation prediction of Rec. ITU-R P.1546, geographic information system, and S-I plane, we presented the methodology of interference analysis based on the minimum coupling loss, and also suggested the local coordinate system for calculating azimuth and elevation angles between the victim receiver and the interferer for an arbitrary antenna pattern. To check the presented algorithm, the map with the land-sea mixed area was taken for the given area of $80 \times 60 [km^2]$ as real geography information. Field strength, path profile, and protection ratio with maximum allowable interference level have been illustrated for radar and fixed wireless system for the assumed frequency. In addition interference power of the victim receiver was calculated as a function of azimuth and elevation angles of the interferer. The developed methodology of interference analysis in the VHF and UHF bands can be actually applied to assess interoperability as well as compatibility in the civil or military applications.

Keyword : Rec. ITU-R P.1546, interference analysis, minimum coupling loss, signal-interference plane, geographic information system

a) 강남대학교 전자공학과 (Electronics Engineering, Kangnam University)

‡ Corresponding Author : 서경환(Kyoung-Whoan Suh)

E-mail: kwsuh@kangnam.ac.kr

Tel: +82-31-280-3808

· Manuscript received January 14, 2013 Revised April 9, 2013 Accepted April 9, 2013

I. 서론

최근에 한정된 주파수 자원의 효율적 활용을 위해 주파수 상호 운용성에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구는 무선 시스템 상호 간에 양립성을 확보하기 위해 간섭 분석이 수행되며^[4], 그 판단 기준은 피해 수신기에서 요구되는 보호비에 근거한다. 보호비는 주어진 무선망에서 피해 수신기에서 요구하는 원하는 신호와 원하지 않는 신호의 최소 전력비로 정의된다^[5,6].

이러한 간섭분석 방법론은 크게 최악의 경우를 고려한 최소커플링손실과 몬테카를로(Monte Carlo) 분석에 의한 통계적 기법으로 나뉜다^[7,8]. 전자는 간섭 메커니즘 평가를 위한 고전적 접근이었으나, 정적인 간섭분석이 될 수 있다. 즉, 시스템의 동작이 통계 향으로 설명이 요구되는 경우(예로, 이동 시스템에서 단말기 동작의 무작위 특성)에는 해석적 최소커플링손실(MCL: Minimum Coupling Loss) 방법의 구현에 어려움이 존재한다. 반면에 시스템들의 최악의 경우를 가정하고 단순화가 이 방법의 장점이라 하겠다. 한편 몬테카를로 방법은 확률 밀도함수로부터 무작위로 취한 값에 대해 무작위 처리의 시뮬레이션이다. 시스템의 입력 변수들을 정확히 규정한다면 충분한 표본들을 취함으로써 실제 시스템의 시뮬레이션이 될 수 있다.

피해 수신기에 유입되는 간섭신호는 간섭원과 피해 수신기 간에 전파경로에 따른 감쇄가 발생한다. 이러한 경로 감쇄를 예측하기 위해 일반적으로 ITU-R 권고 P. 계열에서는 적용되는 업무에 따라 전파모델이 달리 적용된다. 특히 VHF 및 UHF 대역에서는 점-대-지역 이동 및 방송 서비스에서는 P.1546 모델이 널리 적용되고 있으며^[9], 육상-육상, 육상-해상 경로에 대해 거리에 따른 전계강도를 제시하고 있다. 그리고 P.530에서는 지상 가시거리 무선시스템에 대한 점-대-점 경로손실을 제시하며, 밀리미터파 대역까지 널리 적용되고 있다^[10].

본 논문에서는 양립성 분석을 위한 도구 구축의 일환으로 최소커플링손실과 지리정보 및 ITU-R 권고 P.1546에 근거한 무선 시스템 간의 간섭분석을 실시한다. 선정된 전파전파 예측 모델을 통한 전계강도 및 수신신호에 대한 수식을 정립하고, 최대허용간섭레벨을 갖는 보호비를 제시한

다. 또한 임의의 안테나 패턴을 갖는 시스템에 대해 피해 수신기로 유입되는 방위각 및 양각을 산출하는 방법을 제시한다. 이를 위해 실제 지리정보 데이터(위도, 경도, 고도)를 기반으로 가상의 고정무선시스템(FWS) 및 레이더의 규격을 통해 전계강도와 경로윤곽, 최대허용간섭레벨을 갖는 보호비 산출, 그리고 간섭원의 방위각 및 양각의 변화에 대한 피해 수신기의 간섭전력을 계산하고 고찰한다.

II. 수신신호 및 간섭분석

1. 경로손실 및 수신신호

ITU-R 권고 P.1546 모델은 VHF(30 MHz ~ 300 MHz) 및 UHF(300 MHz ~ 3000 MHz) 대역에서 적용되는 지상 서비스의 점-대-지역 전파특성 예측방법에 관한 것으로^[9]. 거리 1 ~ 1000km (육상경로, 해상경로 또는 육상 지상의 혼합 경로), 유효 송신고도 3000 m 이하이다. 또한 전계곡선은 1 kW ERP 방사시 수신 고도 10 m 지점에서의 전계, 주파수 100, 600, 2000 MHz, 경로는 육상 및 해상(cold/warm), 시간율은 1 %, 10 %, 50 % 이 적용된다. 적용하고자 하는 주파수, 시간율, 송신 안테나 높이가 주어진 곡선 그래프와 일치하지 않는 경우, 보간법과 외삽법을 이용하여 전계를 산출하며, 수신기 높이에 따른 전계보정도 수반된다^[11].

수신기에 수신된 신호 P_r (dBm)은 송신기로부터 거리 및 전파환경에 따라 변화가 있으며, 이는 다음과 같이 표현된다^[12,13].

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

여기서 P_t 는 송신기의 출력 (dBm), G_t 는 송신기 안테나의 이득 (dBi), G_r 는 수신기 안테나의 이득 (dBi), L_t 는 송신기의 삽입손실 (dB), L_r 는 수신기의 삽입손실 (dB), L_p 는 송신기와 수신기 간의 전파경로 손실 (dB)이다. 전파경로 손실, L_p 는 주파수 대역에 따라 적용되는 전파예측모델에 의존하며, VHF 및 UHF 대역에서는 ITU-R 권고 P.1546

모델을 적용한다.

한편 자유공간 손실 및 1 kW ERP 를 갖는 ITU-R 권고 P.1546을 적용하면 식 (1)은 다음과 같다^[14].

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

여기서 $E_{p,1546} (dB(\mu V/m))$ 은 거리의 함수로 표현된 ITU-R 권고 P.1546에서 제시된 전계강도이며, f_{MHz} 는 주파수(MHz)이다.

2. 간섭분석 알고리즘

간섭충돌허용치((Interference Conflict Margin: ICM)는 잠재적 간섭을 결정하기 위해 수신기 간섭한계에 대한 수신된 간섭전력의 비로 다음과 같이 표현된다^[15].

$$ICM = I - T \quad (3)$$

$$T = N + (I/N)_{\max} \quad (4)$$

여기서 ICM 은 간섭충돌마진 (dB), I 는 수신된 간섭전력 (dBm), T 는 수신기의 간섭한계 (dBm), N 은 시스템 잡음전력 (dBm), 그리고 $(I/N)_{\max}$ 는 간섭 대 잡음 전력의 최대허용값 (dB) 이다. ICM 값이 0 보다 크면 수신된 간섭전력이 규정된 수신기 간섭 허용치를 초과함을 나타내고, 반대로 0보다 작으면 수신된 간섭 전력이 규정된 수신기 간섭 허용치의 전력보다 낮다는 것을 의미한다.

간섭원(레이더)으로부터 피해 수신기에 유입되는 간섭전력 I 는 다음과 같다^[16].

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (5)$$

여기서 I 는 레이더 펄스들의 침투전력으로 레이더의 기본주파수에서 피해 수신기 입력 (dBm)이며, P_T 는 레이더 송신기의 침투 전력 (dBm), G_T 는 레이더의 주빔 안테나 이득 (dBi), G_R 는 분석 대상인 레이더 기지국의 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 전파경로 손실 (dB), FDR_{IF} (dB)은 원하지 않는 송신기 방사 스펙트럼에 대한 수신기 IF 선택도에 의해 산출되는 주파수의존제거 (Frequency Dependent Rejection: FDR)이다. 주파수의존제거는 ITU-R 권고 SM.337에 정의되며, 다음과 같이 표현된다^[7].

$$FDR = 10 \log_{10} \left[\frac{\int_0^{\infty} S(f) df}{\int_0^{\infty} S(f) R(f + \Delta f) df} \right] \quad (6)$$

여기서 $S(f)$ 는 송신기의 스펙트럼 밀도(Watts/Hz)이며, $R(f)$ 는 수신기의 주파수 선택도이며, 수신기의 전체 필터 특성의 크기를 제공한 양이다. 그리고 Δf 는 송신 주파수 f 에 대한 주파수 편이를 나타낸다. 따라서 FDR의 물리적 의미는 간섭원이 피해 수신기에 유입되는 경우, 주파수 편이에 따라 수신기의 선택도에 의해 제거되는 양을 의미한다.

한편 가우시안과 같은 다중간섭에 의한 수신신호 열화는 가정한 백색 가우시안 잡음채널과 결합되어 전체 캐리어 대 잡음 비, 즉 $(C/N)_T$ 는 다음과 표현된다^[13,17].

$$(C/N)_T = (N/C + I/C)^{-1} \quad (7)$$

$$I/C = I_1/C + I_2/C + \dots + I_n/C \quad (8)$$

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.

그리고 ITU-R에서는 대역내 간섭 허용을 업무별로 I/N 을 설정 및 적용을 권고하고 있다. 수신기에 요구되는 최소 캐리어 대 간섭 비, $(C/I)_{\min-rqrd}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$(C/I)_{\min-rqrd} = (C/N)_{rqrd} - (I/N) \quad (9)$$

여기서 $(C/N)_{rqrd}$ 은 간섭이 없는 경우에 요구되는 캐리어 대 잡음 비이다.

따라서 실제 무선망 설계에서 보호비(Protection Ratio: PR) 확인에 필요한 조건은 FDR을 고려하면 다음과 같이 정리된다^[14].

$$(C/I)_{link} > (C/I)_{min-rqrd}(= PR) - FDR \quad (10)$$

여기서 $(C/I)_{link}$ 는 실제 시스템의 특성과 링크의 전파 예측모델을 감안한 계산된 값이며, $(C/I)_{min-rqrd}$ 는 요구되는 최소신호 대 간섭 비인 보호비로서 해당 무선망에 허용하는 최소 C/I 값을 의미한다. 식 (10)의 조건이 만족하면 해당 무선망은 허용하는 간섭범위 내에 품질을 확보할 수 있음을 의미하며, 그렇지 않다면 주파수 조정, 시스템 또는 국소 변경 등을 통해 만족할 수 있는 방안을 모색해야 한다. 이상에서 설명한 보호비의 개념을 그림 1에 나타내었다.

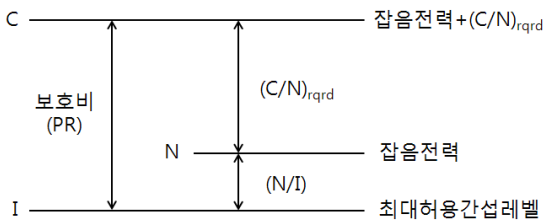


그림 1. 보호비의 개념
Fig. 1. Concept of protection ratio

3. S-I 평면 및 국부좌표

신호-간섭(S-I) 평면 정의를 위해 그림 2와 같이 Rx-Tx 간을 연결하는 벡터 \vec{S} (신호원)와 Rx-Radar 간을 연결하는 벡터 \vec{I} (간섭원)라 하자. 두 벡터가 이루는 S-I 평면에 수직인 단위 벡터를 \hat{a} 로 표현하였다. 먼저 간섭원(Radar)과 피해 수신기(Rx)의 안테나 패턴이 회전 대칭적 형태를 갖는 경우, 신호원과 간섭원 간의 변별각(discrimination angle, ψ_i) 산출은 그림 2와 같이 Rx-Tx와 Rx-Radar가 이루는 평면에 두 벡터 사이의 각을 도출하면 피해 수신기로 유입되는 안테나 이득 $G(\psi_i)$ 를 구할 수 있다. 이러한 변별각은

주어진 시스템의 좌표(위도, 경도, 고도) 정보로부터 벡터를 구하고, 구한 두 벡터의 내적으로 쉽게 구할 수 있다^[18].

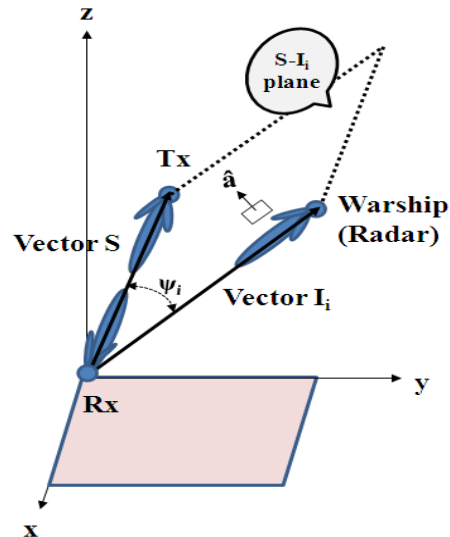


그림 2. 고정무선시스템과 함대 레이더 간의 S-I 평면
Fig. 2. S-I plane between fixed wireless system (FWS) and radar

한편 수신기가 임의의 안테나 패턴을 갖는 경우, 간섭원과 이루는 작은 양각 및 방위각의 함수로 안테나 이득을 구해야 한다. 이를 위해 피해 수신기 위치에서 국부좌표계를 그림 3과 같이 정의하고자 한다. P_0 를 수신기 Rx와 동일한 위도, 경도를 가지고 고도가 Rx보다 1000m 상공에 위치한 점의 전체 직각 좌표계의 점 (x_0, y_0, z_0) 이라 하자. P_0 와 Rx 간을 잇는 벡터는

$$P_0 - Rx = (x_0, y_0, z_0) - (x_R, y_R, z_R) = (a, b, c) \quad (11)$$

이며, 여기서 a, b, c 는 상수이다. 식 (11)을 국부 좌표계의 z 축으로 설정하기 위해 이 벡터와 수직인 두 벡터 v_1, v_2 를 찾아 이들을 각각 x 축, y 축으로 설정한다. 여기서 (x_R, y_R, z_R) 은 지구 중심을 원점으로 한 수신기의 직각 좌표계이며, 이를 편의상 전체 직각좌표계(global cartesian coordinate system)라 한다. 벡터 v_1, v_2 를 찾으면, 구하는 변환 T 는 전체 직각좌표계의 벡터 v_1, v_2, v_3 를 각각 x

축, y 축, z 축을 대응시키는 아파인 변환(Affine Transformation) 함수이다^[18]. 선형대수학의 기저 변환(change of basis) 이론에 의해 변환 T^{-1} 의 행렬은

$$[T^{-1}] = (v_1^T \ v_2^T \ v_3^T) = \begin{pmatrix} \frac{c}{r_1} & \frac{ab}{r_2} & \frac{a}{r_3} \\ 0 & -\frac{a^2+c^2}{r_2} & \frac{b}{r_3} \\ -\frac{a}{r_1} & -\frac{bc}{r_2} & \frac{c}{r_3} \end{pmatrix} \quad (12)$$

와 같이 구해진다.

따라서 R_X 를 기준으로 하는 국부좌표계의 변환 T 는 전체 직각좌표계의 3차원 좌표 r 에 대하여 행렬 $[T^{-1}]$ 의 역행렬 $[T]$ 를 이용하여 다음과 같이 정의한다.

$$T(r) = [T](r - R_X) \quad (13)$$

여기서 R_X 는 수신지점의 3차원 전체 직각좌표이다.



그림 3. 국부 좌표계
 Fig. 3. Local coordinate system

한편 안테나 패턴이 회전 대칭적 구조가 아닌 경우, 레이더로부터 유입되는 간섭은 수신기(Rx) 안테나 이득 $G(\theta, \phi)$, 즉 양각과 방위각의 함수로 주어진다^[19]. 먼저 양각 계산은 그림 4의 수신기를 기준점, 즉 구좌표의 원점으로 정한다. 그리고 송신기와 수신기가 z 축으로부터 이루는 각을 θ_1 라 하면, 레이더와 이루는 각은 θ_2 이 된다. 그

러면 두 각의 차이가 바로 수신기와 송신기를 연결하는 직선을 기준으로 할 때, 상대적인 양각의 차이인 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ 이 된다.

동일한 방법으로 방위각 계산은 송신기와 수신기를 있는 벡터를 기준으로 하고, 이를 x-y 평면에 투영한 선과 x 축과 이루는 각을 방위각으로 정의한다. 따라서 상대적 방위각의 차이 $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ 도 구할 수 있다. 결론적으로 그림 4에서 수신기 안테나가 레이더로 향하는 안테나 이득은 $G(\Delta\theta, \Delta\phi)$ 이 된다.

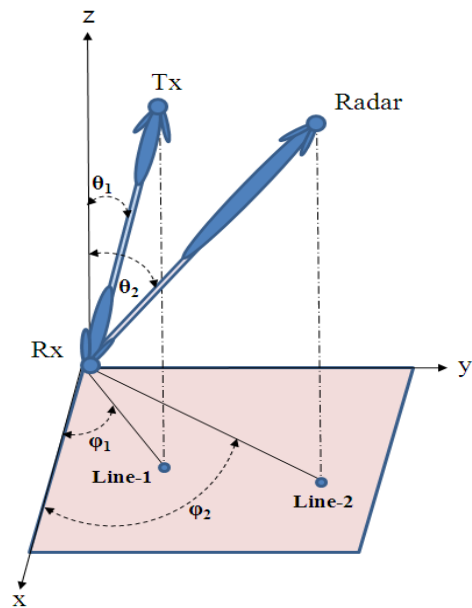


그림 4. 레이더 방향으로 고정무선시스템 수신기의 안테나 이득
 Fig. 4. Antenna gain of FWS in the direction of radar

III. 수치계산 및 고찰

1. 시스템 배치 및 전계강도

고정무선시스템의 Tx-Rx와 레이더(Radar)가 위치한 지리정보 갖는 지도는 그림 5와 같으며, 레이더1은 전함인 지도상의 P1에서 북쪽으로 P7 방향으로 진행하는 것으로 가정하였다. 전체 영역은 $80 \times 60 [km^2]$ 이며, 실제 지도에서

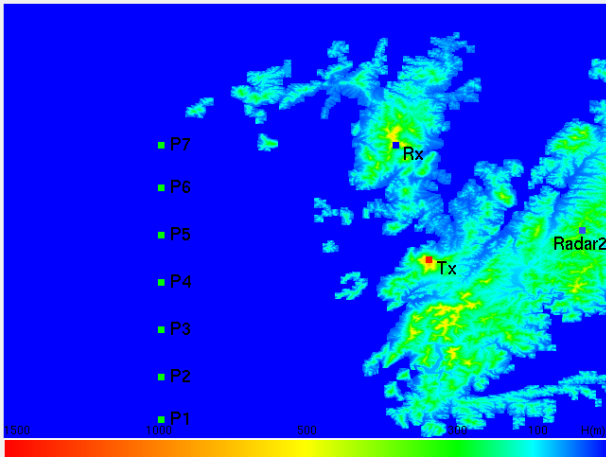


그림 5. 지리정보 기반의 지도상에 위치한 시스템
 Fig. 5. Systems located on the map with geographic information

편의상 특정한 고도 이하를 바다로 표현하였다. 각 시스템의 위치에서는 위도, 경도, 고도의 데이터를 갖으며, 임의의 경로에 따른 전파손실은 ITU-R 권고 P.1546 권고 모델을 적용하며, 바다-육지를 갖는 혼합 영역을 선택하였다⁹⁾.

그림 6(a)는 임의로 선정한 고정무선시스템의 송신기와 수신기 위치에 대해 경로 윤곽과 점선으로 표시된 1차 프레즈넬 영역을 나타내었다. 그림 6(b)는 고정무선시스템의 수신기와 P4에 위치한 레이더1 간의 경로윤곽을 보여준다.

그림 7에서는 ITU-R 권고 P.1546의 전파전파 예측을 기반으로 본 논문에서 구현된 도구에 의해 산출된 1 kW ERP에 대한 전계강도로 Tx 및 레이더1(P4)의 중심으로 전체 지도에 대해 나타내었다. 계산된 값은 주파수 2700 MHz, 시간 및 위치 변화율은 각각 30% 및 50% 이며, 수신기 높

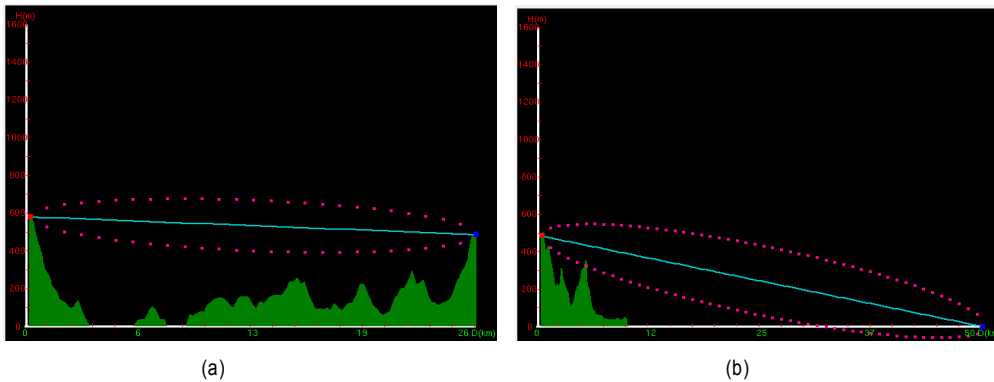


그림 6. 시스템 간의 경로 윤곽; (a) Tx-Rx, (b) Rx-radar1
 Fig. 6 Path profiles between systems; (a) Tx-Rx, (b) Rx-radar1

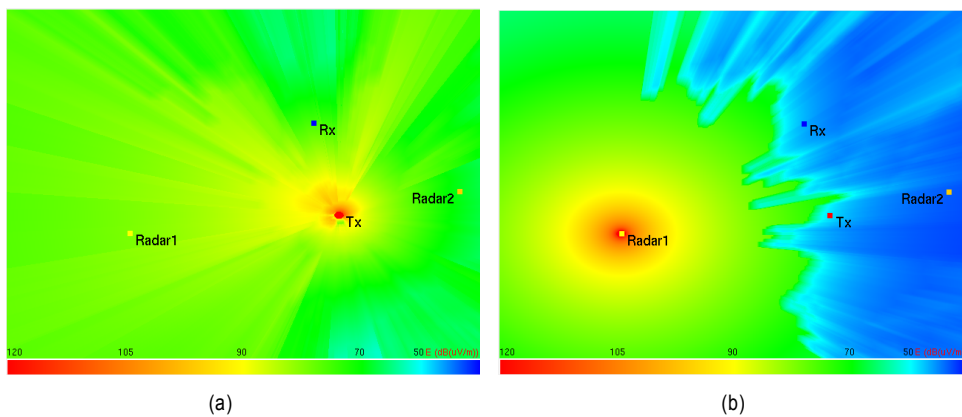


그림 7. 전계강도 분포; (a) Tx 주변, (b) Radar1 주변
 Fig. 7. Electric field distribution; (a) around Tx, (b) around radar1

이는 10 m로 하였다.

2. 시스템 간섭분석

선정한 시스템 배열은 그림 5와 같이 해상 함대 레이더1의 신호가 고정무선시스템의 수신기에 유입되어 성능 열화가 일어나는 경우를 가정하였다.

표 1. 가정된 고정무선시스템과 레이더1
 Table 1. Assumed FWS and radar1

시스템	변수	특성
고정 무선 시스템	송신 중심주파수	2.70 GHz
	채널 점유 대역폭	40 MHz
	전송용량/ 변조방식	STM-1(155.520 Mbps) / 64-QAM
	$C/N @ BER_{10^{-6}}$	$(C/N)_{reqd} = 26.3$ dB (코딩이득 무시)
	송신출력	27 dBm (0.5 Watt)
	송신/수신 안테나 이득	40 dBi
	송신/수신 시스템 손실	0 dB
	수신 잡음지수(NF)	3.0 dB
레이더1	송신 - 수신 거리	26.5 km
	중심 주파수	2.7 GHz
	첨두 송신전력	40 dBm (10 Watts)
	주빔 안테나 이득	40dBi
	펄스폭/ 펄스 반복율	0.1 μ s / 2000 pps
	수신기 대역폭	40 MHz @ IF 3dB
	시스템 손실	0 dB
수신기와 거리/고도 차이	50 km (P4)/ 레이더가 487.4 m 낮음	

가 일어나는 경우를 가정하였다. 표 1은 성능분석에 필요로 하는 각 시스템의 주요 변수들을 나타낸 것이며, 그 값은 편의상 가정한 것으로 실제 적용을 위해서는 해당하는 관련 변수들을 고려하면 된다.

표 2에서는 표 1의 고정무선시스템의 특성으로부터 최소 요구되는 보호비(PR)를 제시하였다. 계산에서 무선망에 허용하는 I/N 을 -6.0 dB로 가정하였으며, 최대허용 간섭레벨은 잡음보다 6 dB 낮아야 한다. 계산 결과에 의하면 요구되는 보호비는 32.3 dB 보다 커야함을 알 수 있으며, 만약 이 조건을 만족하지 못하면 BER 성능이 더욱 열화가 되어 기 설정된 품질을 만족할 수 없게 된다.

표 2. 64-QAM 고정무선시스템에 요구되는 최소 보호비
 Table 2. Minimum required protection ratio of FWS with 64-QAM

변수	계산 결과	비고
$(C/N)_{reqd}$	26.3 dB @ $BER_{10^{-6}}$	코딩이득 무시
N	-97.98 dBm	수신기 대역폭: 40 MHz
C	-71.68 dBm	$(C/N)_{reqd} + N$
I	-103.98 dBm	$I/N = -6.0$ dB (최대허용간섭레벨)
$PR(= C/I)$	32.3 dB	FDR = 0

그림 8은 가정된 고정무선시스템 수신기의 임의의 안테

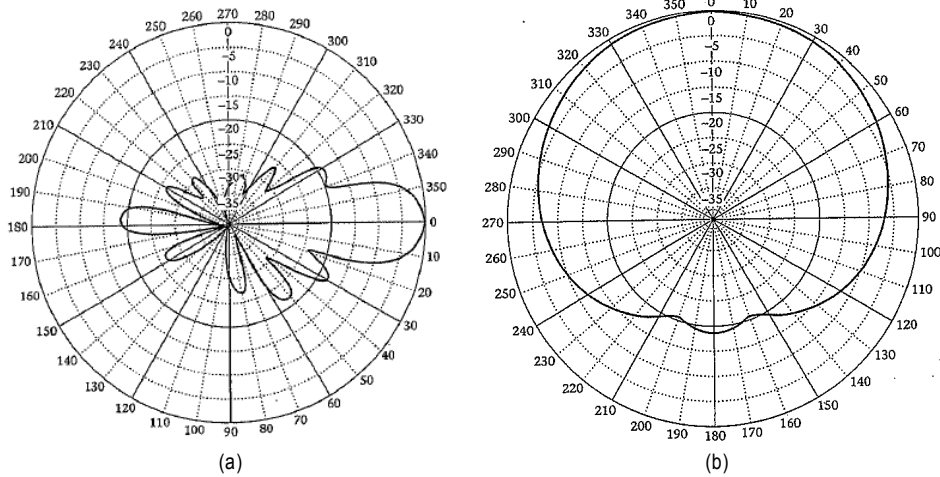


그림 8. 피해 수신기의 안테나 패턴; (a) 양각, (b) 방위각
 Fig. 8. Antenna pattern of victim receiver; (a) elevation, (b) azimuth

나 패턴을 보여주며, 이는 ANDREW 사의 900 MHz 대역에 적용하는 수직 편파의 이동통신 기지국 안테나의 패턴을 참조하였다. 주파수 2.7 GHz에서 최대 이득 40 dBi를 갖는다고 가정하며, S-I 평면에서 제시된 수신 안테나의 이득 $G_r(\theta, \phi)$ 는 간섭원으로 향하는 양각 및 방위각으로부터 결정된다. 그리고 고정무선시스템의 송신 안테나 및 레이더 안테나 패턴은 각각 앞에서 적용한 회전 대칭적 안테나라고 가정하며, 표 3에서 정리하였다. 만약 수신기(Rx)의 안테나 패턴이 회전 대칭적이라면 이는 앞에서 수행한 S-I 평면에서 변별각(ψ)을 구하면 수신기에서 레이더로 향하는 안테나 이득, $G(\psi)$ 을 얻을 수 있다.

표 3. 시스템에 적용한 안테나
Table 3 Antenna characteristics used for systems.

시스템		안테나 패턴	비고
고정무선 시스템	Rx	그림 8 참조	최대이득: $G_{max}(\theta, \phi) = 40.0 dBi$ 가정 주빔은 S-I평면에서 Tx로 향함
	Tx	회전 대칭적 구조	Rec. ITU-R F.699 [20], $D/\lambda(\text{직경/파장}) = 18$
레이더1		회전 대칭적 구조	Rec. ITU-R M.1652 [21]

한편 수신기(Rx) 안테나가 레이더1로 향하는 양각(θ) 및 방위각(ϕ)은 국부 좌표계 변환을 통해 구하면 양각과 방위각은 정확히 계산되며, 그림 8로부터 양각 및 방위각에 따른 안테나 이득은 표 4와 같이 개략적인 결과를 얻을 수 있다. 그림 9는 수신기 안테나의 이득인 표 4로부터 레이더 1의 위치에 따라 수신되는 간섭전력을 나타내었다. 이때 레이더 1 주빔의 방향은 S-I 평면에 접선으로 놓이며, 고정무선시스템의 수신기로 향하게 하였다. 레이더1의 위치 P5에서 수신기에 유입되는 전력이 위치 P6 및 P7에서 유입되는 전력보다 큰 것은 그림 5에서 알 수 있듯이 레이더1과 수신기 사이에 가시선을 확보한 전파환경으로 인해 상대적으로 감쇄가 적기 때문이다.

그림 10은 레이더1의 위치 P4에서 수신기로 유입되는 간섭전력을 레이더1 안테나의 양각 및 방위각에 따라 나타내었으며, 주빔의 양각 및 방위각의 0도는 S-I 평면의 접선으로 수신기로 향함을 의미한다. 레이더1의 안테나 패턴이 회

전 대칭구조이므로 양각과 방위각 변화에 따른 수신 전력은 서로 0도를 기준으로 서로 대칭임을 알 수 있다. 그림 10-(a)에서 양각(θ)이 약 $-40^\circ < \theta < +40^\circ$ 에서는 최대허용간섭레벨을 초과하므로 이 영역에서는 피해 수신기의 시스템 품질을 보장할 수 없을 의미한다. 동일한 방법으로 그림 10-(b)에서는 방위각(ϕ)에 대한 간섭유입 전력을 나타낸 것으로 $\phi > 40^\circ$ 에서는 간섭의 영향을 받지 않음을 보여준다.

표 4. 양각 및 방위각에 따른 수신기(Rx)의 안테나 이득
Table 4 Antenna gains of Rx for elevation and azimuth angles.

변 수	레이더1 위치						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
$\theta(\text{각도})$	0.8403	0.8572	0.8939	0.9535	1.034	1.1137	1.145
$\phi(\text{각도})$	37.2848	41.3919	47.459	55.8404	67.518	83.2085	99.9989
$G(\theta)$	0	0	0	0	0	0	0
$G(\phi)$	-1.2	-1.5	-1.9	-2.5	-3.9	-5.6	-7.7
$G(\theta, \phi)$	-1.2	-1.5	-1.9	-2.5	-3.9	-5.6	-7.7
$40+G(\theta, \phi)$	38.8	38.5	38.1	37.5	36.1	34.4	32.3

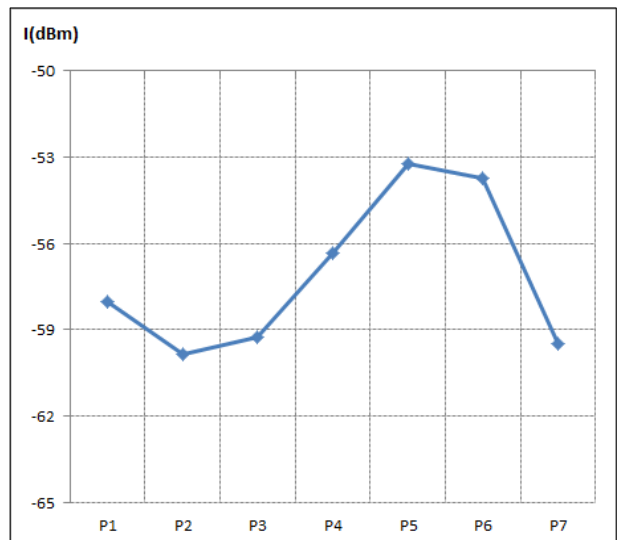


그림 9. 레이더1의 위치에 따른 수신기(Rx)의 간섭전력
Fig. 9. Interference powers of Rx as a function of radar1 position

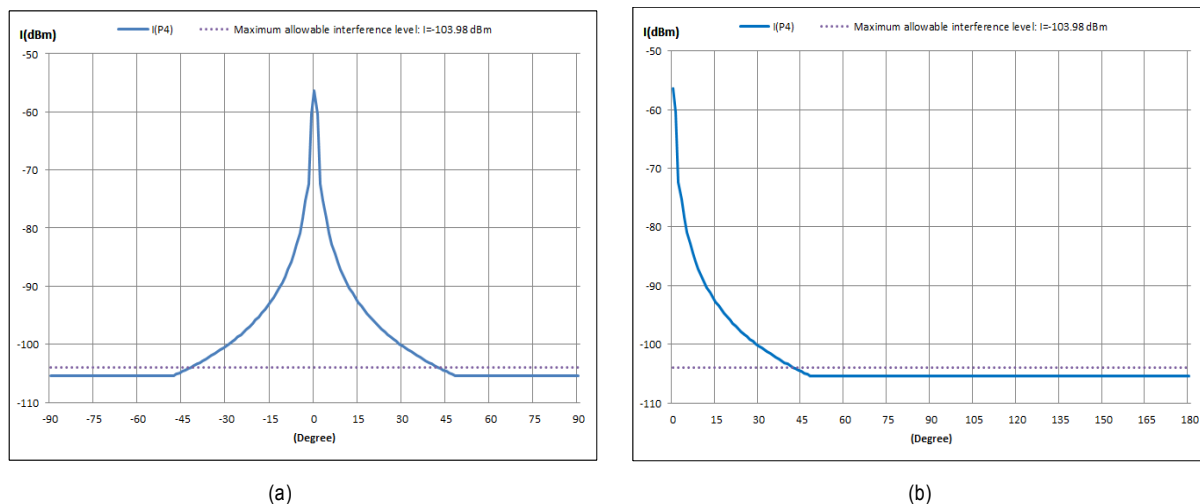


그림 10. 레이더1 안테나 방향에 따른 수신기의 간섭전력; (a) 양각, (b) 방위각
 Fig. 10. Interference powers of Rx for antenna direction of radar1; (a) elevation, (b) azimuth

IV. 결론

오늘날 한정된 주파수 자원을 효율적 활용 및 주파수 공유를 위해서는 무선체계 간의 주파수 상호 운용성 또는 양립성 판단을 위한 간섭분석 도구가 절실히 요구된다. 본 논문에서는 이러한 기반 구축에 적용할 목적으로 ITU-R 권고 P.1546 전파전파 예측을 지리정보 시스템에 구현하고, 최소커플링손실에 근거한 간섭분석 방법론을 S-I 평면 및 보호비를 통해 육지-바다 경로에 적용하였다. 또한 피해 시스템이 간섭원으로부터 도래하는 신호의 방위각 및 양각을 찾기 위해 국부 직각좌표계를 수학적으로 정립하고, 임의의 안테나 패턴을 갖는 피해 시스템의 안테나 이득을 구하는 절차 및 결과를 도출하였다. 그리고 간섭분석에서는 가정한 고정무선시스템과 레이더 간의 전계강도, 보호비, S-I 평면상의 양각 및 방위각의 변화에 대해 피해 수신기의 간섭전력을 계산하고 고찰하였다. 향후 과제로는 주파수 이격에 따른 주파수의존제거 산출 및 다중간섭에 대한 고정 무선시스템의 성능분석 등이 남아 있다.

참고 문헌

[1] ITU-R homepage, <http://www.itu.int/ITU-R>.
 [2] J.D. Laser, J.H. Reed, Interference rejection in wireless communica-

tions, IEEE Communications Magazine 14, pp. 37-62. 1997.
 [3] The Ministry of National Defense Report, A study on the frequency effect analysis of military wireless systems over the international frequency allocation policy, Korea, Dec. 2009.
 [4] ETRI Report, A study on transmission capacity of public wireless system links, Korea, Nov. 2009.
 [5] K.W. Suh, A generalized formulation of the protection ratio applicable to coordination in digital radio relay networks, Radio Science 42, RS1007, doi:10.1029/2006RS003470 2007.
 [6] N.H. Jeong, J.H. Lee, K.W. Suh, "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.
 [7] ITU, Rec. ITU-R SM.337, Frequency and distance separations, SM Series, Geneva, Switzerland, 1997.
 [8] ITU, Report ITU-R SM.2048-1, Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems, SM Series, Geneva, Switzerland, 2002.
 [9] ITU, Rec. ITU-R P.1546-4, Method for point-to-area prediction for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz, P Series, Geneva, Switzerland, 2009.
 [10] ITU, Rec. ITU-R P.530-13, Propagation data and prediction methods required for the design terrestrial line-of-sights-systems, P series, Geneva, Switzerland, 2009.
 [11] K.W. Suh, H. Jung, J.H. Lee, "The prediction of field strength for DTV receiver in the VHF and UHF bands," The Korea Society of Broadcasting Engineers (in Korean), Vol. 15, No. 6, Nov. 6, pp. 731-741, 2011.
 [12] A.A.R. Townsend (1988), Digital line-of-sight radio links: A handbook, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N. J., 1988.
 [13] Roger L. Freeman, Radio system design for telecommunication, 2nd

- Ed., John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [14] K.W. Suh et al., "Consideration of interference analysis for wireless systems in VHF/UHF bands with geographic information," International Journal of Hybrid Information Technology, Vol. 5 No. 3, pp. 1-12, July 2012.
- [15] NTIA Report 07-447, "Assessment of Federal and Non-Federal land mobile radio frequency assignment methodologies" May 2007.
- [16] ITU, 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. ITU-R, Switzerland, 2003.
- [17] ETRI Report, A study on the procedure of frequency coordination for digital M/W communication links, Korea, Nov. 2006.
- [18] Howard Anton, Elementary linear algebra, John Wiley & Sons, Inc. 1981.
- [19] Thomas A. Milligan, Modern antenna design, second edition, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc. 2005.
- [20] ITU, Rec. ITU-R F.699, Reference radiation patterns for fixed wireless system antennas for use in coordination studies and interference assessment in the frequency range from 100 MHz to about 70 GHz, F. Series, Geneva, Switzerland, 2004.
- [21] ITU, 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, M Series, Geneva, Switzerland, 2003.

저 자 소 개



서 경 환

- 1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1988년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
- 1991년 8월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
- 1991년 8월 ~ 1998년 10월 : 삼성전자 정보통신본부 수석연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 강남대학교 전자공학과 교수
- 주관심분야 : 초고주파 및 안테나, 무선통신 시스템 설계 및 성능분석, 주파수 조정 및 간섭 분석 등