

## TACAN/DME 비콘과 Link-16 지상국 간의 간섭분석 방법

# Methodology of Interference Analysis Between TACAN/DME Beacons and Ground-based Link-16 Terminals

서경환

강남대학교 전자공학과

**Kyoung-Whoan Suh**

Department of Electronic Engineering, Kangnam University, Gyeonggi-do 16979, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 항행안전시설 주파수와 Link-16(전술데이터링크) 간의 주파수 공유를 위한 간섭분석 방법 및 수치계산 과정을 제시하고 고찰한다. 상호운용성의 기준을 유도하기 위해 주파수 간섭분석 알고리즘 및 간섭 영향의 유무 판단에 필요한 신호-대-간섭 전력비인 보호비의 산출 과정을 기술한다. 또한 VHF-UHF 대역의 전파경로 예측모델인 ITU-R Rec. P.1546을 기반으로 무선 시스템의 수신전력 계산 방법을 제시하였다. 시스템 링크 계산을 기반으로 실제 TACAN/DME 비콘과 Link-16 지상단말기 간의 상호 운용성 보장에 요구되는 수신전력 또는 이격 거리를 구하는 방법과 실제 현장 평가를 위한 적용을 고찰하였다. 결과적으로 제시된 현장시험 구성 및 간섭분석을 적용하면 기존 시스템과의 상호운용성 판단에 용이한 수단이 될 것이다.

### [Abstract]

In this paper, the method of interference analysis and its simulation have been suggested for the frequency sharing between aeronautical radio navigation systems and Link-16 platforms. In order to get the criteria for interoperability, the algorithm of interference analysis and protection ratio are derived to assure frequency sharing. Also the receiving power of wireless system has been illustrated with the help of radio propagation model of ITU-R Rec. P.1546 in VHF-UHF band. Finally the required receiving power or separation distance between DME/TACAN beacons and Link-16 ground station terminals has been considered based on system link budget in terms of evaluating interoperability as well as actual applications. As a result, if the suggested interference analysis and test set-up are applied to the field trial, it will lead to easy means to make a decision on interoperability over the existing incumbent systems.

**Key word** : Frequency interference, Link-16, Minimum coupling loss, Protection ratio, TACAN/DME.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.1.45>



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** 5 February 2016; **Revised** 11 February 2016  
**Accepted (Publication)** 26 February 2016 (28 February 2016)

\***Corresponding Author; Kyoung-Whoan Suh**

**Tel:** +82-31-280-3808

**E-mail:** kwsuh@kangnam.ac.kr

## I. 서 론

전파 스펙트럼은 이격된 거리에 대해 음성, 영상 또는 타 정보 내용을 전달하기 위한 수단을 제공함에 필수적이며 또는 제한된 천연자원으로 잘 알려져 있다. 최근 정보통신 기술의 발달 및 무선 환경하의 다양한 응용으로 인해 VHF ~ UHF 대역 (30 MHz ~ 3000 MHz)에서의 주파수 이용율은 급속도로 증가하고 있다. 이러한 한정된 주파수 자원을 효율적 활용을 위한 방안의 하나로 주파수 공유가 있으며, 이는 상이한 서비스 간에 요구되는 서비스 품질을 만족하는 조건 하에 운용을 허락한다[1].

ITU-R(국제전기통신연합-전파)에서는 주파수 960 ~ 1,215 MHz 대역을 국제적으로 항공운항 안전을 위한 1차 업무인 항공무선항행업무(ARNS), 항공이동업무(AM(R)S), 무선헌행위성업무(RNSS)로 할당하였으며, 또한 ITU-R R.R.(전파규칙) 4.4 조항에 의해 비간섭 및 비보호 조건으로 미군의 전술 데이터 링크인 Link-16 사용을 허락함으로써 상호간 주파수 공유가 이루어지게 되었다[2]-[3]. 따라서 Link-16 운용으로 인해 기존 업무에 피해를 주지 않기 위해서는 특별히 규정된 공동주파수정리기준 (CFCC; common frequency clearance criteria)을 필히 준수해야 한다[4]. 즉, 상호 운용성을 보장하기 위해서는 Link-16은 사전에 정의된 지리적 구역 (GA: geographic area) 내에 시간슬롯점유율 (TSDF: time slot duty factor)이 최대 허용 값 이내로 항상 유지해야 함을 전제로 한다. TSDF 레벨은 항공운항에 관련된 통신 시스템과 Link-16 간의 다양한 시험을 통해 도출된 값(%)으로 항공운항 안전에 영향을 주지 않는 중요한 인자이다. 만약 Link-16이 규정된 TSDF 레벨을 초과하게 되면 항공운항 안전에 문제를 유발할 수 있는 가능성을 내포하고 있다[5].

한편 이종 시스템 간의 주파수 양립성을 판단하기 위해서는 주파수 간섭분석을 통한 시스템 성능분석이 수반되어야 한다. 이를 위한 간섭분석의 기술적 접근은 고전적 방법과 통계적 방법이 있다[6],[7]. 전자는 최소결합손실 (MCL; minimum coupling loss)으로 정적 환경에서 최악의 경우에 대해 적용하는 것이며, 후자는 동적환경에서 확률밀도의 무작위 변수에 대한 통계적 기법을 적용하는 몬테 카를로 (Monte Carlo) 방법으로 시스템의 입력변수들을 정확히 규정한다면 충분한 표본들을 취함으로써 실제 시스템의 시뮬레이션이 될 수 있다. 이러한 분석 방법에 근거하여 최종적으로 피해 수신기에서 희망신호와 간섭신호의 전력비(S/I)를 구하게 되며, 이 값과 사전에 수치 계산된 보호비 (PR; protection ratio)와 비교하여 주파수 공유 또는 주파수 양립성의 가부를 판정하게 된다. 이 보호비와 신호-대-간섭 비를 구하기 위해서는 시스템의 링크예산을 수행해야 하는데, 이는 시스템의 송수신기의 특성, 안테나, 전파경로 등의 다양한 변수가 포함된다[8].

주파수 960 ~ 1215 MHz 대역의 업무인 전술항공 TACAN (tactical air navigation) 및 DME (distance measurement equipment)와 Link-16 간의 간섭분석은 최소결합손실방법을 이

용한다. 다국적 연구그룹 (MNWG; multi national working group)에서는 미국 주도하에 항공항행안전시설의 무선주파수와 Link-16 간의 다양한 변수 및 조건하에 많은 현장시험을 실시하였다[4]-[5]. 이로부터 이론 및 시험 분석 데이터를 기반으로 기존 시스템 운용에 영향을 주지 않는 최대 간섭 수준을 규정하였다. 이를 근거로 상호 운용성을 보장하는 시스템 간의 최소이격 거리를 한정하는 규정을 정립하였으며, 이러한 내용을 종합적으로 문서화한 것이 이른바 공동주파수정리기준이다.

본 논문에서는 주파수 960 ~ 1215 MHz 대역에서 항행안전 시설 주파수와 미군의 전술데이터링크인 Link-16 간의 주파수 공유를 위한 간섭분석 방법 및 수치계산 과정을 제시하고 고찰한다. 이를 위해 주파수 간섭분석 알고리즘, 간섭 영향의 유무를 판단하는 신호-대-간섭 전력비, 보호비의 도출 과정을 기술한다. 또한 시스템 링크 계산을 기반으로 실제 TACAN/DME와 Link-16 지상국 간의 상호 운용성 보장에 요구되는 수신 전력을 구하는 방법 및 실제 현장에서의 적용 등을 고찰한다.

## II. 간섭분석 알고리즘 및 보호비

### 2-1 간섭분석 알고리즘

무선망에서 고려되는 간섭 유형으로 크게 동일 및 인접 대역 (또는 채널)으로 나뉘며, 그림 1과 같이 고정무선시스템 (FWS; fixed wireless system) 및 레이더 간의 간섭유형을 고려하였다. 기존 업무 FWS 가 주파수  $f_0$ , 그리고 주파수  $f_0 + \Delta f$  에서 Radar 1이 서비스되고 있는 주파수 계획을 보여준다. 추후 새로운 업무 Radar 2가 기존 FWS에 주파수 공유가 불가피하다면 이들 간에는 동일대역 간섭이 존재할 수 있으며, 더불어 기존 Radar 1과 주파수 이격  $\Delta f$ 가 있어 이들 간에 인접대역 간섭이 존재할 수도 있다.

이와 같이 주파수 계획에 불가피 동일 또는 인접 채널을 사용할 경우, 원치 않는 간섭이 유발되어 시스템 성능이 열화된다. 따라서 주파수 공유를 위한 시스템의 성능한계를 정의하여 관련된 최대허용간섭레벨을 도출하는 알고리즘이 필요하다.

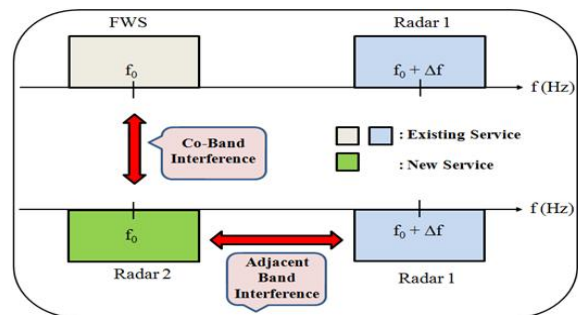


그림 1. 동일채널 및 인접채널 간섭

Fig. 1. Co-channel and adjacent channel interference.

간섭분석 알고리즘으로는 최소결합손실에 의한 간섭충돌 허용치 (ICM; interference conflict margin)가 있으며, 이것은 잠재적 간섭을 결정하기 위해 수신기 간섭한계에 대한 수신된 간섭전력의 비로 다음과 같이 표현한다[6].

$$ICM = I - T \quad (1)$$

$$T = N + (I/N)_{\max} \quad (2)$$

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) 이며, ITU-R에서는  $N/I$ 를 적용하는 서비스에 따라 달리 적용하며, 일반적으로 고정무선시스템 및 레이더에서는 각각 -6.0, -9.0 dB 를 제시하고 있다.

그림 1에서 간섭원(Radar 2)으로부터 피해 수신기 FWS에 유입되는 간섭전력  $I$ 는 다음과 같다.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (3)$$

여기서  $I$ 는 레이더 펄스들의 침투 전력으로 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 주파수의 존재거(FDR; frequency dependent rejection)이다. 주파수의 존재거는 다음과 같이 표현된다[6].

$$FDR = 10 \log_{10} \left[ \frac{\int_0^{\infty} S(f) df}{\int_0^{\infty} S(f) R(f + \Delta f) df} \right] \quad (4)$$

여기서  $S(f)$ 는 송신기의 스펙트럼 밀도(Watts/Hz)이며,  $R(f)$ 는 수신기의 주파수 선택도이며, 수신기의 전체 필터특성의 크기를 제공한 양이다. 그리고  $\Delta f$ 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.

## 2-2 다중간섭과 보호비

가우시안과 같은 다중간섭에 의한 수신신호 열화는 가정한 백색가우시안 잡음채널과 결합되어 전체 캐리어-대-잡음 비, 즉  $(C/N)_T$ 는 다음과 표현된다[9].

$$(C/N)_T = (N/C + I/C)^{-1} \quad (5)$$

$$I/C = I_1/C + I_2/C + \dots + I_n/C \quad (6)$$

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

$$(C/I)_{\min-rqrd} = (C/N)_{rqrd} - (I/N) \quad (7)$$

여기서  $(C/N)_{rqrd}$ 은 요구되는 캐리어-대-잡음 비이다. 그리고 수신기에 요구되는 최소전력  $C$ 와 대역내에 최대허용간섭,  $I$ 는 각각 다음과 같다.

$$C = (C/N)_{rqrd} + 10 \log(kTB) \quad (8)$$

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

따라서 실제 무선망 설계에서 보호비 확인에 필요한 조건은 다음과 같이 정리된다.

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

여기서  $(C/I)_{link}$ 는 실제 시스템의 특성과 링크의 전파 예측모델을 적용한 계산된 값이며,  $(C/I)_{\min-rqrd}$ 는 요구되는 최소신호-대-간섭 비인 보호비로 해당 무선망에 허용하는 최소  $C/I$  값을 의미한다.

결론적으로 주파수 공유를 위해서는 식 (10)이 만족해야 하며, 이는 해당 무선망이 허용하는 간섭범위 내에 품질 확보가 가능함을 시사한다. 그렇지 않다면 주파수 조정, 시스템 또는 국소 변경 등을 통해 만족할 수 있는 방안을 모색해야 한다. 그림 2는 설명한 보호비에 관련된  $C/I$ 의 개념을 보여준다.

한편 디지털 무선망에서 요구되는 보호비 산출 및 주파수 조정의 절차를 그림 3에 제시하였으며, 신호(S)는 C(캐리어)와 동일한 개념이다. 시스템 규격으로부터 산출된 S/I 와 도출한 보호비(PR)를 비교하여 주파수 조정의 적절성에 대한 판단을

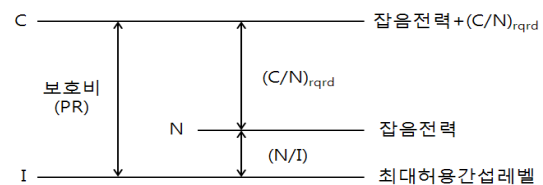


그림 2. 보호비 개념

Fig. 2. Concept of protection ratio.

하게 되며, 다중경로 페이드 마진 (FM; fade margin) 계산은 고정무선전송 시스템에서 적용하는 것으로 일반적으로 전송거리가 30 km 이상에서 고려되는 변수이며, 주파수(f), 거리(d), 기후인자(K)에 관련된다. 통상적으로 가시선의 근거리에는 다중경로 페이드 마진은 무시되며, 그리고 주파수가 10 GHz 보다 낮은 경우에는 강우에 의한 감쇄는 고려할 필요가 없다[8].

**2-3 전파경로 예측 모델**

송·수신기 간의 이격 거리가 d인 경우, 송신전력 P<sub>t</sub>에 대한 수신전력 P<sub>r</sub>은 다음과 같이 표현된다[9].

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t(dB) + G_r(dB) - L_p(dB) - L_f(dB) - L_r(dB) - L_{add}(dB) \quad (11)$$

여기서 G<sub>t</sub>, G<sub>r</sub>은 각각 송신 및 수신 안테나의 이득이며, 그리고 L<sub>p</sub>, L<sub>f</sub>, L<sub>r</sub>, L<sub>add</sub>은 각각 전파경로 손실, 송신기 손실, 수신기 손실, 그리고 추가적인 손실(안테나 부정합, 산소 및 강우 등)이다. 특히 전파경로 손실 L<sub>p</sub>은 송·수신기 간의 전파경로 모델에 의존하며, ITU-R에서는 주파수 대역별 적절한 전파모델을 제시하고 있다.

특히 비-가시선(N-LOS) 경로에 대해서는 주파수 대역에 따른 적절한 전파 모델을 적용해야 하며, VHF ~ UFH 대역에서는 ITU-R Rec. P.1546에서 제시된 전파모델 이용을 권고한다[10]. 이는 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(유효방사전력) 방사할 때, 수신고도 10 m 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 권고한다.

ITU-R Rec. P.1546 을 이용한 수신전력 식 (11)은 다음과 같이 표현된다[10]-[12].

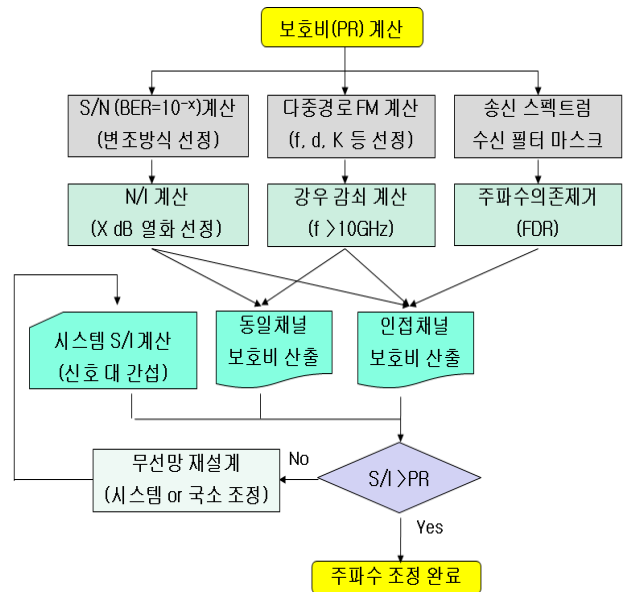
$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - L_p (= 139.3 - E_{p,1546} + 20\log_{10} f_{MHz}) \quad (12)$$

여기서 전파경로손실 L<sub>p</sub>에 포함된 E<sub>p,1546</sub> (dB(μV/m))은 거리의 함수로 표현된 전계강도이며, f<sub>MHz</sub>는 주파수(MHz)이다.

하지만 본 논문에서 다루는 960 - 1215 MHz 대역의 업무는 주로 가시선 환경에서 다루기 때문에 전파경로 손실은 바로 자유공간손실로 대체되며, 다음과 같이 표현된다 [9],[13].

$$L_p(dB) = 37.7 + 20\log_{10}(d_{NM}) + 20\log_{10}(f_{MHz}) \quad (13)$$

여기서 d<sub>NM</sub>은 송·수신 간의 거리(Nautical Mile: NM)을 의미



**그림 3. 보호비와 주파수 조정**  
**Fig. 3. Protection ratio and frequency coordination.**

한다.

결론적으로 주파수 공유를 허용하기 위해서는 피해 수신기의 신호-대-간섭 전력비(S/I)가 요구되는 보호비(PR)보다 커야한다. 따라서 MNWG에서는 Link-16 지상국과 항공운항안전시설 (TACAN/DME 등) 주파수와 상호 양립성을 갖도록 다양한 장비에 대해 시험을 실시하였으며, 분석 결과를 기반으로 항공기 항행안전을 보장할 수 있는 공동주파수정리기준을 정립하였다 [4].

**III. 수신전력 계산 및 상호운용성 고찰**

**3-1 지형정보 기반의 전계강도 계산**

수식은 실제 지형정보(위도, 경도, 고도) 기반에 근거한 전계강도 또는 수신전력 계산을 보이기 위해 그림 4와 같이 편의상 고정무선시스템과 레이더가 놓인 실제 지형을 나타내었다 [11]-[12]. 고정무선시스템(FWS)의 송신기 및 수신기의 위치를 각각 Tx 및 Rx, 그리고 레이더는 Radar 로 나타내었으며, 전체 면적은 약 60 × 80 km<sup>2</sup>이다.

그림 5는 송신기가 놓인 위치를 중심으로 ITU-R Rec. P.1546 전파예측 모델을 기반으로 지형 정보를 감안한 1 kW ERP(유효방사전력)에 대한 전계강도 E(dB(μV/m))를 나타낸 것이며, 동일한 전계를 색깔로 구분하여 표현하였다. 편의상 사용한 주파수는 2700 MHz, 시간 및 위치 변화율은 각각 30 및 50 % 이다. 수신기의 안테나 높이는 10 m로 하였다.

그림 6은 고정무선시스템의 송·수신기 간의 거리 20 km에 대한 경로 윤곽 및 1차 프레즈넬을 나타내었으며, 송신기의 고

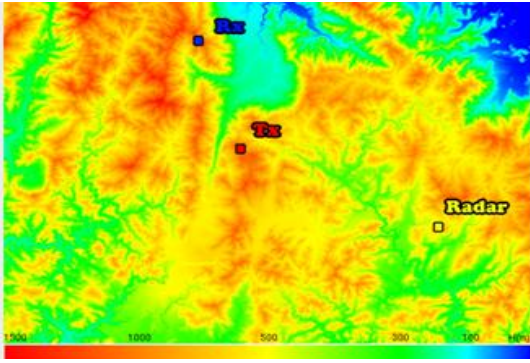


그림 4. 지리 및 시스템 위치  
Fig. 4. Geography and system locations.

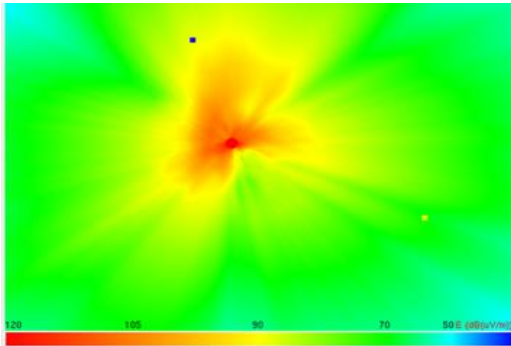


그림 5. 송신기 주변의 전계강도  
Fig. 5. Electric field intensity around Tx.

도(1051 m)가 수신기의 고도(1171 m)보다 낮은 위치에 있다. 그림 7은 선정된 경로에 대해 송신기를 기준으로 거리에 따른 전계강도를 송·수신기 간에 나타낸 것이며, 식 (12)를 이용하여 가정한 시스템 변수에 대해 수신 전력은 표 1과 같이 계산된다.

또한 동일한 방법으로 레이더의 송신전력에 대해 수신기에 유입되는 간섭전력(I)도 그림 7과 같은 결과가 생성이 된다면 계산이 가능하다. 표 2에서는 가정한 64-QAM 변조를 갖는 고정무선시스템에 대해 요구되는 최소 보호비를 구하기 위해 나타내었으며, 계산된 보호비(PR)는 32.3 dB 이다. 즉 송신기(Tx)에서 방사된 전력이 수신기(Rx)에 수신된 전력(C)과 레이더(Radar)에서 방사한 전력이 수신기에 유입되는 최대 전력(I)의 비(C/I)가 32.3 dB 보다 크다면 고정무선시스템과 레이더는 허용하는 간섭 하에 서로 양립함을 의미한다.

3-2 상호운용성의 국제기준 및 간섭분석

미국 국방성에서는 다양한 항행안전시설 단말기와 Link-16 플랫폼 간에 장기간의 현장 시험을 통해 상호운용성이 보장되는 최소 이격 거리(NM: nautical mile, 1 NM = 1852 m)를 산출하였으며[14], 그 중에 일부를 발췌하여 표 3과 같이 제시하였다. 각각의 플랫폼에 대해 DME, TACAN, ATCRB 등에 요구되는 수신레벨과 이에 상응하는 최소 이격 거리가 제시되어 있다.

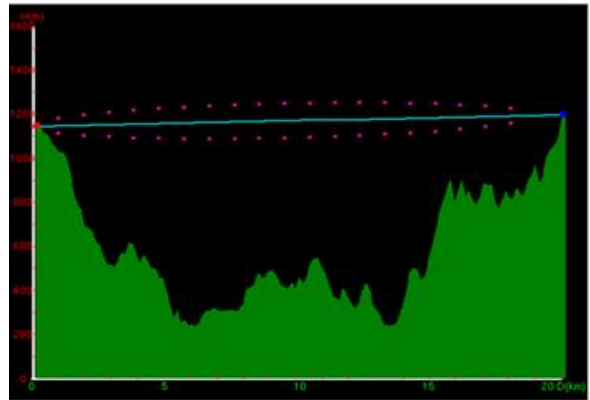


그림 6. 송·수신기 간의 경로유곽  
Fig. 6. Path profile between Tx and Rx.

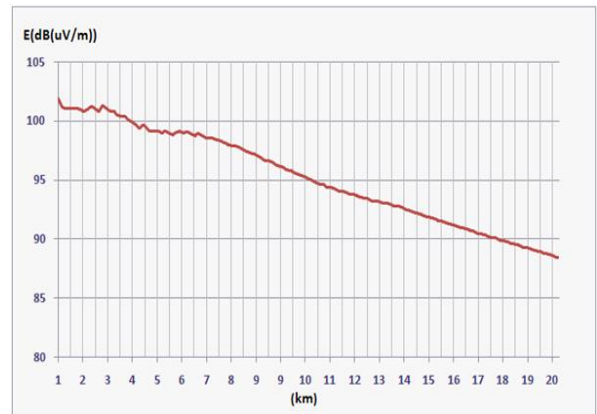


그림 7. 송·수신기 간의 전계강도  
Fig. 7. Electric field intensity between Tx and Rx.

표 1. 가정한 시스템 변수

Table 1. Assumed system parameters.

	Parameters	Values
Transmitter (Tx)	Frequency (f)	2,700 MHz
	Dist. Tx/Rx (d)	20 km
	Tx power (P <sub>t</sub> )	50 dBm (100 Watts)
	Ant. gain (G <sub>t</sub> )	30 dB (Directional)
	System loss (L <sub>t</sub> )	5.0 dB
Receiver (Rx)	Ant. gain (G <sub>r</sub> )	30 dB (Directional)
	System loss (L <sub>r</sub> )	5.0 dB
Loss	Propagation loss (L <sub>p</sub> )	119.1 dB
	Electric field E (d=20 km)	88.5 dB(μV/m)
Received power	P <sub>r</sub>	-19.1 dBm

표 2. 64-QAM 고정무선시스템(FWS)에 요구되는 보호비

Table 2. Required PR of FWS with 64-QAM.

Parameters	Calculated results	Remarks
$(C/N)_{rqrd}$	26.3 dB@ BER $10^{-6}$	64-QAM without coding
$N$	-101 dBm	Rx bandwidth: 20 MHz Noise figure: 0 dB
$C$	-74.7 dBm	$(C/N)_{rqrd} + N$
$I$	-107 dBm	$I/N = -6.0$ dB (Maximum allowable interference level)
$PR(= C/I)$	32.3 dB	Required signal-to-interference ratio

따라서 주파수정리협정(FCA)을 맺은 각국에서는 민간 항공기와 Link-16 플랫폼이 공용되는 공항에서는 표 3을 만족하도록 각 단말기 간에 이격 거리가 충족되어야 한다. DME/TACAN 비콘의 수신 전력은 간섭원으로부터 -33 dBm 이하가 되도록 제시하고 있으며, 각 플랫폼별로 국제 기준의 최소 이격 거리를 제시하고 있다.

먼저 가시선(LOS) 환경의 DME와 Link-16 간의 간섭분석 사례로 그림 8에서는 Link-16과 DME 간의 거리 2 NM, 주파수 969 MHz 에 대해 나타내었다. DME 수신기에서 최대 허용 수신레벨을 기준으로 Link-16 단말기가 어느 정도의 거리 이격 하에 상호운용성이 확보되는지를 확인하고자 한다. 식 (11)의 수신 전력에서 자유공간손실이 거리의 함수로 표현되기 때문에 수신기에 영향을 주지 않은 최소 이격 거리를 산출할 수 있다. 표 3에 의하면 DME/TACAN 비콘과 Link-16 플랫폼 단말기 간에 상호 운용성을 보장하기 위해서는 피해 수신기에 유입되는 전력이 -33 dBm 이하로 정의한다[5]. 따라서 표 4 및 그림 8의 시스템 특성 및 변수를 고려하여 Link-16 송신 신호로부터 최종 계산된 DME 수신기의 수신레벨은 -37.45 dBm 된다. 이는 상호 운용성을 보장하는 최대 간섭레벨 -33 dBm 보다 작아 결과적으로 DME 수신기는 이격 거리 2 NM에 있는 Link-16 지상 기지국으로부터 시스템 성능 유지에는 아무런 문제가 없음을 판단하게 된다.

다음은 신설 예정인 Link-16과 DME 간의 간섭분석 사례로 그림 9는 기존 공항의 항행안전시설에서 신규 Link-16 지상국을 설치하고자 할 때, 간섭분석을 위한 현장시험 구성을 보여준다. 현장에서는 민간 항공기가 운항되고 있기 때문에 신설하는 Link-16 지상국에서 신호를 송출할 수 없다. 왜냐하면 항행장비에 검증이 되지 않는 간섭이 유입되어 항공기 운항 안전을 보장할 수 없기 때문이다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 가시선 환경에서 전파의 자유공간손실  $L_p$ 는 가역성 지닌다는 것을 이용하는 것이다. 환언하면 그림 9에서 DME 지상 단말기에서 송신하고, Link-16 지상 단말기에서 수신한다면 수신된 전력은 두 시스템 변수로부터 계산이 가능하다. 따라서 이는 실제로 신설되는 Link-16 지상 단말기에서 신호를 송출하지 않고서도 두 단말기 간의 자유공간손실을 쉽게 구할 수 있다. 그러므로 식 (11)를 이

표 3. 국제표준 이격 거리 (NM)

Table 3. Separation distance of international standard.

Platform (200W or less)	DME Beacon	TACAN Beacon	Terminal ATCRB
Receiver Threshold	-33dBm	-33dBm	-20 dBm
ASIT/ADA/CRE	0.6	0.59	0.62
THAAD	0.7	0.69	0.72
PATRIOT	0.7	0.69	0.72
SHIPS	0.44	0.44	0.46
E-2C	0.37	0.37	0.39
F-15	0.52	0.52	0.54
F-16	0.24	0.69	0.72

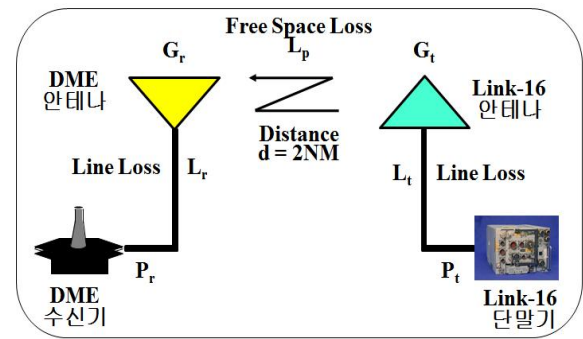


그림 8. Link-16과 DME 간의 간섭분석

Fig. 8. Link-16 and DME between Tx and Rx.

표 4. 시스템 변수 및 간섭분석

Table 4. System parameters and interference analysis.

	Parameters	Values
Transmitter (Tx)	Frequency (f)	969 MHz
	DME separated Dist. (d)	2 NM
	Tx power (P <sub>t</sub> )	53 dBm (200 Watts)
	Ant. gain (G <sub>t</sub> )	4.0 dB (Directional)
Receiver (Rx)	System loss (L <sub>t</sub> )	1.0 dB
	Ant. gain (G <sub>r</sub> )	11.0 dB (Directional)
Loss	System loss (L <sub>r</sub> )	1.0 dB
	Propagation loss (L <sub>p</sub> )	103.45 dB
Received power	Additional loss (L <sub>add</sub> )	0 dB
		P <sub>r</sub> : -37.45 dBm (Calculated) < -33 dBm (Required power)

이용하여 수치해석 상으로 Link-16에서 송출시 DME 지상 단말기에서 수신된 전력을 구할 수 있게 되는 것이다. 계산된 수신된 전력이 표 3에서 요구하는 최소 이격 거리를 만족하는 수준 이하로 된다면 신설하는 Link-16 지상국의 국소 선정은 합당하다고 판단하게 된다.

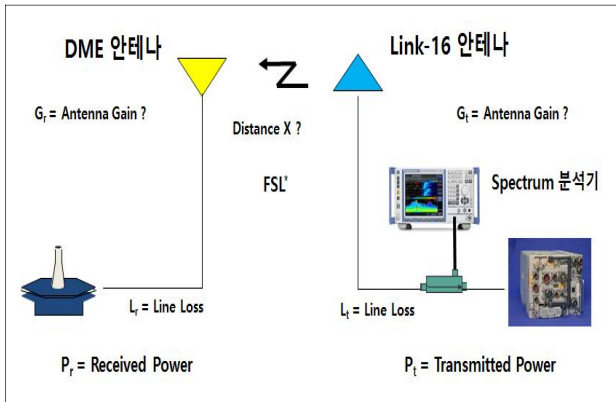


그림 9. 현장시험 구성도 및 링크계산

Fig. 9. Field test set-up and link budget calculation.

### 3-3 국내 적용에 대한 고찰

위에서 기술한 상호운용성 보장을 위한 간섭분석 방법에 근거하여 국내 공항 항행안전시설 및 Link-16 플랫폼 간의 최소 이격 거리가 표 3에서 제시한 규정을 만족하는지 확인이 필요하다. 국내에서는 민간 항공기와 Link-16 플랫폼이 공유하는 대표적인 공항으로는 대구 및 김해가 있다. 간섭분석을 위해서는 각 공항에 대한 항행안전시설(단말기) 및 Link-16 지상 단말기의 지리 정보가 필요한데, 이는 기밀 또는 보안의 문제로 정확한 데이터를 수집하는 것은 현실적인 한계가 있다. 따라서 실질적인 지리정보 및 시스템 변수에 의한 간섭분석은 어려움이 있으며, 향후 관련 기관의 협조 하에 제시한 방법을 이용한 국제 기준의 충족 여부를 위한 과제 도출 및 실행이 필요하다고 판단된다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 주파수 960-1215 MHz 대역을 이용하는 항공기 항행안전시설과 Link-16 JTIDS (joint tactical information distribution) / MIDS (multifunctional information distribution system) 간의 주파수 공유에 따른 간섭분석 방법 및 상호운용성 확보를 위한 사례를 고찰하였다. 먼저 주파수 간섭 종류, 간섭분석 알고리즘 및 시스템 링크계산 방법을 기술하였으며, 그리고 간섭이 존재하는 무선망에서 피해 수신기 입력에 요구되는 신호-대-간섭 전력비인 보호비를 설명하고, 이를 도출하는 과정 및 주파수 조정 절차에 대해 서술하였다. 끝으로 실제 TACAN/DME와 Link-16 지상국 간의 상호 운용성을 보장하는 이격 거리 또는 수신 전력을 구하는 방법, 더불어 신설되는 Link-16 지상 단말기 국소에 대한 현장시험 및 간섭분석 방법을 제시하고 고찰하였다.

향후 연구로는 우선 관련 부처 간의 주파수정리협정 체결을

전제로 국내 공항 중 민간항행시설과 Link-16 간의 상호운용성을 보장하는 국제 기준을 만족하는지에 대한 시험이 진행되어야 하며, 이를 위해 본 논문에서 제시된 간섭분석 방법에 근거한 수치해석 및 시험 등이 적용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2015년도 강남대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임.

## 참고 문헌

- [1] ITU homepage. Available: <http://www.itu.int/ITU-R>.
- [2] J. G. Bae, The efficient management method for near aeronautical frequency band, *CNS Today*, pp. 26-30, Dec. 2014.
- [3] K. W. Suh, Consideration for assuring interoperability of aeronautical safety facility between civil and military in 960 - 1,215 MHz, *CNS TODAY*, pp. 8-15, June 2015.
- [4] MNWG, Common Frequency Clearance Criteria, The Multi National Working Group Steering Committee, Issue 3, 30th Oct. 2012.
- [5] MNWG, Link 16 JTIDS/MIDS Spectrum, MNWG 2014, 5 May, 2014.
- [6] ITU, ITU-R Rec. SM.337, Frequency and distance separations, SM Series, Geneva, Switzerland, 1997.
- [7] ITU, Report ITU-R SM.2028-1, Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems, Switzerland 2001-2002.
- [8] K. W. Suh, "A generalized formulation of the protection ratio applicable to frequency coordination in digital radio relay networks," *Radio Science*, Vol. 42, RS1007, Feb. 2007.
- [9] R. L. Freeman, *Radio System Design for Telecommunication* 2nd ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [10] ITU, ITU-R Rec. P.1546-4, Method for point-to-area prediction for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz, Geneva, Switzerland, 2009.
- [11] K. W. Suh, "A study on compatibility analysis based on minimum coupling loss applicable to frequency coordination combined with geographic information," *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, Vol. 8, No. 6, pp. 31-46, Nov. 2013.
- [12] K. W. Suh et al., A study on methodology of multi interference analysis for dynamic warfare environment,

ADD(Korea), Technical Report, Dec. 2012.

[13] ITU, ITU-R Rec. P.530-16, Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems, P series 2009. Geneva, Switzerland, 2015.

[14] USA, DoD, Chairman of the joint chiefs of staff instruction: Link-16 spectrum deconfliction with the United States and possessions, CJCSI 6232.01B, 16 March 2001.



**서 경 환 (Kyoung-Whoan Suh)**

1991년 8월 : KAIST 전기및전자공학 (공학박사)

1983년 1월 ~ 1998년10월 : 삼성전자 정보통신부문, 수석연구원

1999년 3월 ~ 현재 : 강남대학교 전자공학과 교수

※관심분야 : 마이크로파 회로해석 및 설계, 무선통신시스템 설계 및 성능분석, 주파수 조정 및 간섭분석, 레이더 신호처리