

인접 채널 간섭 분석을 위한 고정 무선 중계 시스템의 NFD 및 보호비 계산에 대한 연구

A Study on Calculation of NFD and Protection Ratio of Fixed Radio Relay System for Analyzing Adjacent Channel Interference

서 경 환

Kyoung-Whoan Suh

요 약

본 논문에서는 인접 채널 간섭 분석을 위한 통합 필터 변별도(NFD)의 수식과 계산을 고찰하며, 이를 근거로 고정 무선 중계망의 주파수 조정에 필요한 동일 채널 및 인접 채널 보호비 산출을 위한 체계적인 알고리즘을 제시한다. 인접 채널 보호비를 페이드 마진, 변조 방식, 허용 간섭의 함수로 표현된 동일 채널 보호비와 송신 스펙트럼 마스크 및 수신기 필터 특성에 의존하는 NFD의 계산 결과로 구할 수 있음을 보인다. 실제 계산을 보이기 위해 6.2 및 6.7 GHz 대역의 29.65 및 40 MHz 채널 대역폭에 대한 각각의 스펙트럼 마스크와 수신기 필터 특성으로 NFD를 구하였다. 결과에 의하면 29.65 및 40 MHz 채널에 대한 첫 번째 인접 채널의 NFD는 각각 27.4 및 28.9 dB을 얻었다. 이러한 결과로부터 거리 60 km, 64-QAM에 대해 채널 대역폭 29.65 및 40 MHz의 인접 채널 보호비는 각각 47.5 및 46.3 dB이 됨을 알 수 있었다. 제안된 방법은 계산이 용이하고 체계적인 확장과 밀리미터 무선 중계망의 주파수 조정에도 적용되는 이점이 있다.

Abstract

This paper makes a study of a formulation of net filter discrimination(NFD) and its computation for analyzing adjacent channel interference and suggests a systematic algorithm for calculating protection ratios of co-channel and adjacent channel applicable to frequency coordination in the fixed radio relay networks. It is shown that adjacent channel protection ratio can be derived from two factors: One is NFD depending upon receiver filter characteristic as well as transmitter spectrum mask and the other is co-channel protection ratio given by a function of fade margin, modulation scheme, and allowable interference. Actually to show the computing procedure from transmitter spectrum mask and receiver filter characteristic, NFD has been obtained for channel bandwidth of 29.65 and 40 MHz at 6.2 and 6.7 GHz band, respectively. According to the results, NFDs at the first adjacent channel of 29.65 and 40 MHz provide 27.4 and 28.9 dB, respectively. From these data, adjacent channel protection ratios corresponding to each channel bandwidth yield 47.5 and 46.3 dB for a given 64-QAM and 60 km. The proposed method gives some merits of an easy calculation, systematic extension, and applying the same concept to frequency coordination in millimeter radio relay networks.

Key words : Radio Relay System, Net Filter Discrimination, Protection Ratio, C/I

I. 서 론

고정 무선 중계 장치는 기간 통신 사업자의 장거리 회선 전송용은 물론 방송사의 프로그램 중계용으

강남대학교 전자시스템정보공학부(School of Electronics, System and Information Engineering, Kangnam University)

· 논문 번호 : 20050913-104

· 수정완료일자 : 2005년 11월 10일

로 운용되고, 특히 최근에 초고속 멀티미디어의 가입자망으로까지 다양하게 이용되고 있다. 이러한 무선 중계 장치의 주파수대는 4 GHz로부터 38 GHz 대까지이며, 장거리 대용량 전송 용도로는 4~11 GHz, 근거리 소용량 전송 용도로는 18, 23, 38 GHz 대역을 주로 사용하고 있다. 하지만, 최근 이동 통신 등 신규 주파수 수요의 폭발적인 증가는 종래 3 GHz 이하의 대역을 사용 중이던 이동 통신용 주파수에 대한 대역의 추가 또는 확장을 요구하고 있다. 또한 4세대 이동 통신 등 이동 통신망의 광대역 멀티미디어 서비스 수용 요구에 따라 향후 주파수 이용 계획은 6 GHz 이하의 전체 대역을 이동 통신 용도로만 사용하고자 하는 추세에 있다^[1].

이러한 경향에 따라 최근 정부에서는 상대적으로 이용량과 이용 효율이 떨어지는 주파수 대역의 절거 및 재배치를 연구하고 있다. 그 중에서 상대적으로 수요가 감소하거나 정체 중인 무선 중계 주파수 대역에 대한 연구가 활발하며, 이의 활용도를 높이기 위하여 신규 수요가 많은 6 GHz 이하의 무선 중계 주파수 대역을 상위 대역으로 이전 및 재배치하는 연구가 진행 중이다. 이러한 이전 및 재배치가 실질적으로 수행되기 위해서는 계획 수립에 앞서 현재 운용 중인 무선 중계 시스템이 요구하는 시스템 성능 목표를 만족시키면서 채널 재배치를 가능케 하는 동일 및 인접 채널의 허용 간섭 기준에 대한 선행 연구가 필수적으로 수반되어야 한다^{[1],[2]}.

일반적으로 무선 통신망의 간섭은 동일 채널 및 인접 채널로 나눌 수 있으며, 이러한 간섭에 대한 분석은 주파수 조정에 필수적으로 적용되는 보호비(Protection Ratio: PR)가 기준이 된다^{[3]~[5]}. 보호비는 동일 또는 타 무선 통신 시스템간의 망 설계에 적용되는 중요한 변수로서 해당 무선망에 허용되는 신호 대 간섭 전력의 최소 비이다. 실제 무선망 설계에서는 해당 수신기에 유입되는 원하는 신호(C)와 원하지 않은 간섭(I)의 비(C/I)를 계산하여 기 도출한 보호비와 비교하게 된다. 따라서 보호비가 C/I보다 크면 해당 무선망 설계가 허용하는 간섭 범위 내에서 적절하게 되었음을 판단하게 된다.

무선망 설계의 주파수 조정에 필요한 보호비는 동일 채널과 인접 채널로 나눌 수 있다. 전자는 동일한 채널의 대역폭에 유입되는 간섭에 대한 보호 기

준을 설정한 것이며, 특정한 비트 오류에 주어지는 수신기 감도(C/N), 잡음 대 간섭 전력의 비(N/I), 다중 간섭 허용(MIA), 페이드 마진(Fade Margin: FM)의 함수로 표현된다. 특히 페이드 마진은 연중 가용율을 예측하는 다중 경로에 의한 주파수 선택적 페이딩과 강우 감쇠에 의한 균일 페이딩으로 구성된다^{[6]~[8]}. 한편 후자는 인접 채널로부터 유입되는 간섭에 대한 보호 기준을 설정한 것이며, 동일 채널 보호비의 변수와 인접 채널에서 유입되는 간섭을 줄여주는 정도를 나타내는 통합 필터 변별도(Net Filter Discrimination: NFD)의 함수로 표현된다. 이러한 NFD는 송신 스펙트럼 마스크와 수신기의 전체 필터 특성에 의해 결정되며, 결과적으로 인접 채널 보호비는 동일 채널 보호비에서 NFD만큼 감하게 된다^{[3]~[5]}.

본 논문에서는 주파수 조정에 필요한 고정 무선 중계 시스템간의 동일 채널 및 인접 채널 간섭에 대한 보호비 산출 방법을 위한 체계적인 알고리즘을 제시하며, 통합 필터 변별도의 수학적 표현 및 계산을 고찰한다. 실제 6.2 GHz 대역의 29.65 MHz 채널 대역폭 및 6.7 GHz 대역의 40 MHz 채널 대역폭에 대한 각각의 스펙트럼 마스크와 관련 수신기의 필터 특성으로부터 통합 필터 변별도를 구한다. 또한 이러한 결과로부터 인접 채널 보호비를 거리 및 변조 방식에 따라 동일 채널 보호비로부터 체계적으로 확장 및 계산할 수 있음을 보인다.

II. 간섭 유형 및 페이드 마진(FM)

2-1 간섭 유형

고정 무선 중계 시스템에 유입되는 간섭 발생원은 주로 동일한 서비스를 갖는 고정 무선 중계 시스템이며, 때로는 주파수를 공유하는 레이더 또는 이동 및 위성 신호이거나 이들 시스템의 스프리우스가 고정 무선 중계 시스템에 영향을 주는 경우가 된다. 이러한 간섭의 유형은 동일 채널 및 인접 채널로 나뉜다^[2].

먼저 동일 국소의 인접 주파수 채널 간섭은 그림 1과 같이 동일한 국소에서 이용하려는 주 신호와 인접한 간섭 신호가 동시에 송수신되는 경우이다. 즉 간섭을 주는 A 국소에는 주 신호(f_c)와 간섭신호($f_c \pm \Delta f$)가 동시에 송신되어 수신 B 국소에는 2가지 신호가 전송거리에 따른 손실 등으로 유사하게 수신

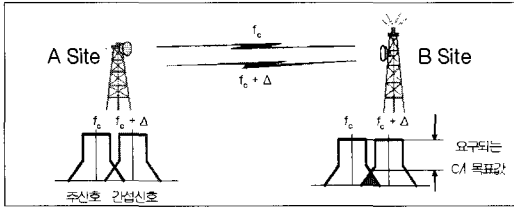


그림 1. 동일 국소의 인접 채널 간섭
Fig. 1. Adjacent channel interference at the same site.

되어 간섭으로 작용하는 경우이다. 이때 주 신호의 수신에 영향을 주는 간섭량은 수신 국소로 갈수록 신호 세기가 약해지는 채널간에 상호 겹치는 부분만큼 영향을 받게 된다. 한편 인터리브드(interleaved) 채널 배치 방식에서는 인접 채널 간에 서로 다른 편파 특성(수직 및 수평)을 배정하여 채널간의 간섭을 최소화하도록 지정하고 있다.

다음은 다른 경로의 동일 주파수 채널 간섭에 대해 살펴보자. 이것은 그림 2와 같이 A 국소에서 B 국소로 송신하는 신호가 C 국소까지 전송되어 간섭을 주는 경우로 그림 2와 같이 일직선에 가까운 배치인 경우는 드물고 성형 또는 방사형으로 무선 중계 통신망이 구성될 경우 많이 발생한다.

끝으로 다른 경로의 인접 주파수 채널 간섭에 대해 살펴보자. 이것은 그림 3과 같이 A 국소에서 B 국소로 향하는 신호와 C 국소에서 D 국소로 향하는 신호간에 상호 인접 채널로 중첩되어 수신 국소(B 또는 D)에 간섭을 주는 경우이다. 대개 이러한 간섭 유형은 가장 흔한 경우로 주 신호와 간섭 신호간의 채널 이격 정도가 크게 작용한다. 또한 주 신호의 수신 신호와 간섭 신호 간에 일정한 방위각을 가지는 경우에는 안테나 부엽의 특성으로 간섭 신호의 세기가 약화될 수 있다.

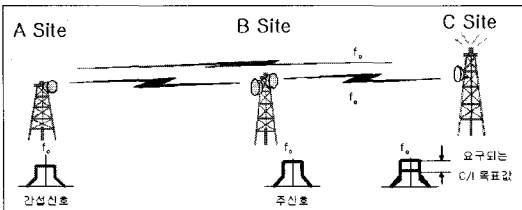


그림 2. 다른 경로의 동일 채널 간섭
Fig. 2. Co-channel interference from different path.

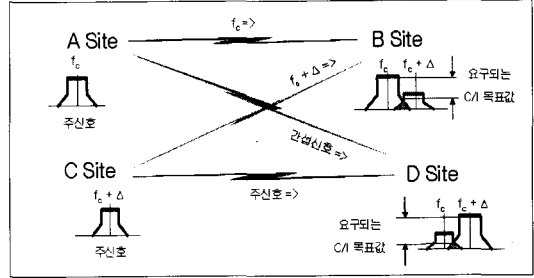


그림 3. 다른 경로의 인접 채널 간섭
Fig. 3. Adjacent channel interference from different path.

2-2 페이드 마진(FM)

일반적으로 장거리 무선 중계 시스템에 적용되는 주파수는 대개 3.9~11 GHz 대역을 사용한다. 이 주파수 대역에서는 다중 경로에 의한 주파수 선택적 페이딩이 강우 감쇠에 의한 균일 페이딩보다 시스템에 심각한 영향을 미친다. 따라서 연중 가용을 예측에서 필요한 다중 경로 페이드 마진을 확보하면 강우 감쇠에 대한 균일 페이드 마진은 자연스럽게 대처가 된다. ITU-R P.530-10에 의하면 최악 월에 주파수 f (GHz)에 대해 수신된 전력 p 가 p_0 보다 적거나 동일하게 될 확률은 다음과 같이 주어진다^{[6]~[8]}.

$$P(p \leq p_0) = K d^{3.6} f^{0.89} (1 + |\epsilon_\beta|)^{-1.4} \frac{p_0}{p_n} \times 10^{-2} \quad (1)$$

여기서 K 는 지형 기후 인자로 표 1과 같이 주어지며, d 는 거리(km), f 는 주파수(GHz), p_n 은 페이딩이 없을 경우의 수신된 전력이다. ϵ_β 는 경로 기울기(milliradians)로 $|h_R - h_T|/d$ 이며, h_R 및 h_T 는 각각 송신 및 수신 안테나의 높이이다. 식 (1)의 타당한 범위는 거리 7~95 km, 주파수 2~37 GHz이다. 일반적으로 다중 경로 페이드 마진(FM)은 페이딩이 가장 많이 발생하는 해당 월의 평균치로 어떤 시간 백분율을 초과하는 경우의 페이딩 깊이이다. 따라서 식 (1)에서 선정된 시간 백분율에 대한 필요한 페이드 마진은 다음과 같이 정리된다.

$$FM = 10 \log (Kd^{3.6} f^{0.89} (1 + |\epsilon_\beta|)^{-1.4}) - 10 \log (p_w) \quad (2)$$

표 1. 지형 기후 인자 K
Table 1. Geoclimatic factor K.

변수 K	조건
$K=10^{-6.5} P_L^{1.5}$	송수신 안테나 중에 더 낮은 위치에 있는 안테나가 바다표면으로부터 700 m 아래에 존재하는 링크
$K=10^{-7.1} P_L^{1.5}$	송수신 안테나 중에 더 낮은 위치에 있는 안테나가 바다표면으로부터 700 m 이상에 존재하는 링크
$K=10^{-5.9} P_L^{1.5}$	링크가 정규모로 물의 분포, 다수의 호수 또는 해안 영역을 지나는 구간
$K=10^{-5.5} P_L^{1.5}$	링크가 대규모로 물의 분포 또는 해안 영역을 지나는 구간

여기서 $FM = 10 \log\left(\frac{p_w}{p_0}\right)$ 이며, $p_w = P(p \leq p_0) \times 100(\%)$ 로 시간 백분율을 나타낸다. 식 (2)가 갖는 물리적 의미를 살펴보면 무선망 설계에서 연간 가용율이 99.9~99.999 %로 하고자 하는 경우에는 p_w 가 0.1~0.001 %가 된다. 또한 이러한 목표치가 구현되기 위해서는 해당 구간의 거리, 주파수, 지형 기후 인자, 송수신 안테나의 높이 등의 함수로 표현되는 식 (2)의 페이드 마진의 최소 값이 실제 수신 시스템의 열(thermal) 페이드 마진보다 커야 함을 의미한다. 여기서 열 페이드 마진은 수신 시스템의 정상적인 수신 레벨과 수신기 감도 레벨의 차이를 의미한다.

표 1에서 P_L 은 지상 100 m 이내에 평균 굴절 기율기가 -100 N units/km보다 적을 시간에 대한 백분율이다. 한국의 P_L 은 ITU-R P.453-9에 의하면 1, 5, 10을 갖는다^[9].

III. 보호비 및 통합 필터 변별도

3-1 보호비(PR) 수학적 표현

일반적으로 특정한 BER에서 수신기의 한계 값, T_{mx} 와 수신기에 유입되는 전체 간섭신호, I_{all} 은 다음과 같이 표현된다^[10].

$$T_{mx} = 10 \log(kTB) + NF + C/N(BER 10^{-y}) \quad (3)$$

$$I_{all} = 10 \log(kTB) + NF - N/I - MIA \quad (4)$$

여기서 k 는 Boltzmann의 상수(J/K)($=1.38 \times 10^{-23} J/K$), T 는 Kelvin 온도($=300^\circ K$), B 는 수신기 대역폭(Hz),

NF 는 잡음지수(dB)이다. 그리고 C/N 은 일반적으로 $BER = 10^{-6}$ 에서 선정된 변조 방식별로 주어지는 값이다. N/I 는 잡음 대 간섭 신호의 비로써 잡음 신호 원이 수신기에 유입되어 C/N 또는 수신 한계 레벨이 1 dB 열화가 일어나는 경우의 값이며, 이는 약 +6 dB로 정의하고 있다. MIA 는 다중 간섭 허용(multiple interference allowance)으로 일반적으로 약 4.0 dB($=10 \log(0.6 \times M)$, 여기서 M 은 간섭 신호원)을 적용한다. 보호비는 무선 통신망에 허용되는 신호 대 간섭 전력의 최소 비를 의미하며, 시스템에서 필요한 보호비는 C/I 로 식 (3)에서 (4)를 뺀 결과에 페이드 마진(FM)과 통합 필터 변별도(NFD)를 고려하면 다음과 같이 표현된다.

$$PR = C/N(BER 10^{-y}) + FM + N/I + MIA - NFD \quad (5)$$

여기서 NFD (Net Filter Discrimination)는 송신기 및 수신기 주파수가 다르거나 채널 대역폭이 같거나 다를 때 간섭 신호의 감소로 정의하며, 송신 스펙트럼 마스크와 수신기 RF 및 IF의 전체 필터 특성에 의해 결정된다. 동일 채널인 경우에는 NFD 가 0 dB가 되는데, 이것은 신호와 간섭이 동시에 동일한 대역으로 유입되어 필터에 의한 간섭 제거 역할이 전무하기 때문이다. 식 (5)의 보호비 산출에 관련된 변수를 도식적으로 나타낸 것이 그림 4이다.

피해 수신기의 입력 단에서 원하는 신호 전력 대 원하지 않는 신호 전력의 비(C/I)는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$C/I = \frac{\text{원하는 신호 전력 (dBm)}}{\text{원하지 않는 신호 전력 (dBm)}} \quad (6)$$

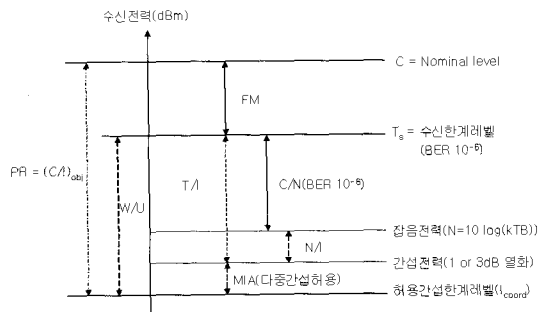


그림 4. 보호비의 도식적 개념
Fig. 4. Pictorial concept of protection ratio.

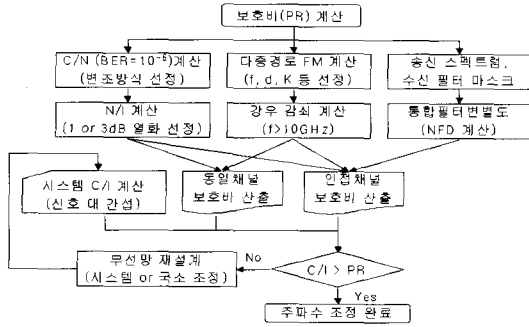


그림 5. 주파수 조정을 위한 보호비 산출 알고리즘
 Fig. 5. Algorithm of protection ratio calculation for frequency coordination.

성공적인 주파수 조정을 위해 식 (6)의 C/I와 보호비 관계는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$C/I \geq PR \quad (7)$$

식 (7)의 물리적 의미는 기존 운용 중인 고정 무선 중계 망에 신설하고자 하는 링크가 있는 경우, 신설 시스템의 송신기로부터 피해 수신기 즉, 기존 운용 중인 시스템의 수신기에 유입되는 신호 대 간섭의 비(C/I)가 보호비(PR)보다 크면 신설 링크는 허용하는 간섭 범위 내에서 기존 무선망에 영향을 주지 않는다고 판단을 하게 된다. 이상에서 설명한 고정 무선 중계 시스템의 보호비 계산 절차와 주파수 조정과의 관계를 도식적으로 나타낸 것이 그림 5이다.

3-2 통합 필터 변별도 표현

통합 필터 변별도(NFD)에 대한 수학적 표현은 다음과 같이 정의한다^[3].

$$NFD = 10 \log \left(\frac{P_c}{P_a} \right) \quad (8)$$

$$P_c = \int_{-BW/2}^{BW/2} G(f) |H(f)|^2 df \quad (9)$$

$$P_a = \int_{-BW/2}^{BW/2} G(f-\Delta f) |H(f)|^2 df \quad (10)$$

여기서 P_c 는 수신기에서 동일 채널에 수신된 전력량, P_a 는 송신 스펙트럼을 주파수 편이 Δf 로 이동한 경우, 수신기에서 수신된 전력량이다. 또한 $G(f)$ 는 송신기 출력의 전력 스펙트럼 마스크, $H(f)$ 는 수신기 필터 체인의 전체 특성, $G(f-\Delta f)$ 는 송신

기 출력의 전력 스펙트럼 마스크를 주파수 편이 Δf 의 함수로 표현된 경우이다.

NFD를 구하기 위한 절차는 동일 채널, 즉 주파수 편이(Δf)가 0인 경우, 서로 주파수 영역에서 동일하게 정렬된 송신기 및 수신기 마스크로부터 다음과 같은 과정을 수행한다.

- ① 송신기 스펙트럼 마스크와 수신기 필터 마스크로부터 값을 표본화하며, 이때 주파수 간격은 가장 좁은 대역폭을 갖는 시스템에 의존한다.
- ② 송신기와 수신기 표본 값들을 더한다.
- ③ 위 ②에서 얻은 데시벨 합을 절대치로 변환한다.
- ④ 위 ③에서 계산된 절대 값을 합한다.
- ⑤ 필요에 따라 송신기 마스크를 주파수 편이를 주고, 위 ①~④까지 반복한다.
- ⑥ 동일 채널 전체 합을 주파수 편이의 함수로 나눈다.
- ⑦ 위 ⑥에서 구한 값을 데시벨로 변환한다.

식 (9) 및 (10)을 이산적 표현을 위해 $|H(f)|^2 = R_{\alpha}(dB)$, $G(f) = T_{\alpha}(dB)$, $G(f-\Delta f) = T_{\alpha}(dB)$ 로 정의하면 식 (8)은 다음과 같이 표현된다.

$$NFD = 10 \log \left[\left(\sum_{i=0}^{n-1} 10^{\frac{T_{\alpha} + R_{\alpha}}{10}} \right) / \left(\sum_{i=0}^{n-1} 10^{\frac{T_{\alpha}}{10}} \right) \right] \quad (11)$$

여기서 n 은 표본의 수이며, T_{α} 는 동일 채널에서 정의된 주파수 스텝에서 표본된 송신 스펙트럼 마스크의 값이다. 그리고 R_{α} 는 동일 채널에서 정의된 주파수 스텝에서 표본된 수신기 전체 필터 특성의 스펙트럼 값이며, T_{α} 는 송신 스펙트럼 마스크를 주파수 편이하야 해당 주파수에서 표본된 값이다. 적분 구간은 해당 수신기의 대역폭이며, 주파수 편이는 일반적으로 0에서 해당 수신 채널 대역폭 이상으로 한다. 따라서 식 (11)로부터 송신 스펙트럼 마스크와 수신기의 전체 필터 특성을 알면 쉽게 NFD를 구할 수 있으며, 이 결과로부터 인접 채널 보호비는 식 (5)로부터 구할 수 있다. 결과적으로 인접 채널 간섭에 대한 보호비를 구하기 위해서는 먼저 동일 채널 보호비와 인접 채널 간섭에 대한 NFD 계산이 수행되어야 한다.

IV. 통합 필터 변별도 및 보호비 계산

표 2. M-ary QAM 변조의 C/N
Table 2. C/N as a function of M-ary QAM.

변조 방식	C/N(dB) @ BER= 10 ⁻⁶
16 QAM	17.6
32 QAM	20.6
64 QAM	23.8
128 QAM	26.7
256 QAM	29.8
512 QAM	32.4

4-1 동일 채널 보호비 계산

현재 무선 중계 시스템에 적용되는 변조 방식은 다양할 수 있으나, 여기에서는 대표적으로 M-ary QAM에 국한하였다. 식 (5)에서 BER의 함수인 C/N은 변조방식 및 코딩에 따라 다르기 때문에 하나의 기준 정립을 위해 ITU-R F.1101의 자료로부터 표 2를 작성하였다^[11].

식 (5)를 이용하여 동일 채널 보호비 계산을 위해 적용된 변수는 주파수 $f=6.2$ GHz, 64-QAM, C/N=23.8 dB, N/I=6 dB, 시간 백분율 $p_w=0.01$ %, $P_L=10$ %, NFD=0, $K=10^{-6.5 \times P_L}$, 경로 경사각(ϵ_p)=0에 대해 거리의 함수로 페이드 마진(FM) 및 보호비(PR)를 표 3에 나타내었다.

표 3에서 제시된 보호비는 동일채널 간섭에 대한 값이며, 인접채널 보호비는 동일채널 보호비에서 NFD 값만큼 빼주면 된다. 표 3에서 하나의 예로 거리 60 km에서는 페이드 마진(FM)은 41.1 dB, 보호비(PR)는 74.9 dB가 됨을 보여준다. 이 보호비가 갖는

표 3. 계산된 PR 및 FM
Table 3. Calculated PR and FM.

거리(km)	FM 마진(dB)	PR(dB)
10	13.1	46.9
20	23.9	57.7
30	30.2	64.0
40	34.7	68.5
50	38.2	72.0
60	41.1	74.9
70	43.5	77.3
80	45.6	79.4

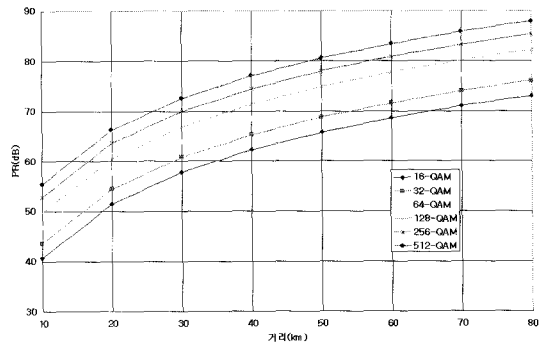


그림 6. M-ary QAM에 대한 보호비
Fig. 6. PR calculation for M-ary QAM.

의미는 해당 구간에 신설 무선망의 송신기로부터 피해 수신기에 유입되는 신호 대 간섭의 비(C/I)가 74.9 dB 보다 크면 신설 무선망의 설계가 허용하는 간섭 범위 내에서 기존 무선망에 영향을 주지 않는다고 판단하게 된다. 만약 동일한 조건에서 128-QAM 변조 방식을 채택한 경우의 보호비는 64-QAM 변조에 비해 C/N이 2.9 dB 더 크므로 77.8(=74.9+2.9) dB가 된다. 동일한 개념으로 확장한 M-ary QAM 변조의 보호비를 그림 6에서 제시하였으며, 단지 C/N 값의 차이에 따른 변화가 있음을 보여준다.

4-2 NFD 계산

4-2-1 채널 대역폭이 29.65 MHz 경우

채널 대역폭 29.65 MHz를 갖는 6.2 GHz 대역의 고정 무선 중계 시스템의 NFD 계산을 살펴보자. 시스템의 송신 스펙트럼의 마스크는 ETSI에서 권장하는 그림 7과 같다^[12]. 그리고 수신기 전체 필터의 특성은 편의상 송신 스펙트럼 마스크와 동일한 것으로 간주하여 계산하였다. 그림 8에서는 송신 스펙트럼 마스크의 주파수 이격(Δf)에 따라 계산된 NFD 값을 나타내었으며, 이격 15, 30 MHz에서 각각 3.6, 27.4 dB를 보여준다.

4-2-2 채널 대역폭이 40 MHz 경우

한국의 고정 무선중계 주파수 대역 중에 6.2 GHz 대역을 제외한 나머지 대역은 채널 대역폭이 40 MHz 이다. 이러한 경우 NFD 계산에 적용된 송신 스펙트럼의 마스크는 그림 9와 같으며^[13], 수신기 전체

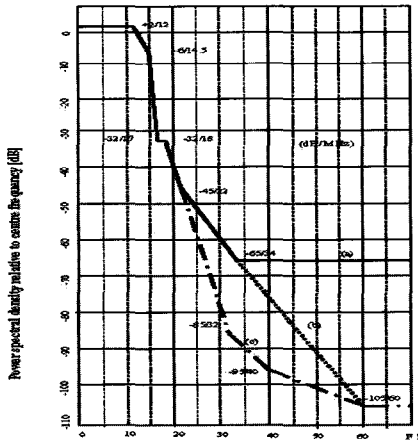


그림 7. 채널 대역폭 29.65 MHz인 경우의 송신 스펙트럼 마스크
 Fig. 7. Tx spectrum mask with channel bandwidth of 29.65 MHz.

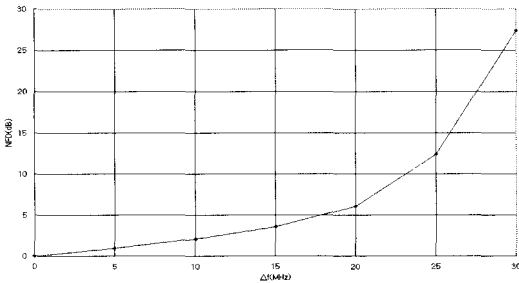


그림 8. 채널 대역폭 29.65 MHz인 경우의 NFD 계산
 Fig. 8. NFD calculation with channel bandwidth of 29.65 MHz.

필터의 특성은 편의상 송신 스펙트럼의 마스크와 동일한 것으로 간주하여 계산하였다. 그림 10에서는 송신 스펙트럼 마스크의 주파수 이격(Δf)에 따라 계산된 NFD 값을 나타내었으며, 이격 20, 40 MHz에서 각각 4.2, 28.9 dB이 됨을 보여준다.

4.3 인접 채널 보호비 계산

4.3-1 6.2 GHz 대역의 29.65 MHz 채널 배정에 대한 보호비

표 4에서는 주파수 6.2 GHz 대역의 고정 무선 중계 시스템에 대한 동일 및 인접 채널의 보호비를 제시하였다. 그림 8에서 주파수 이격 30 MHz일 때의 NFD가 27.4 dB이다. 따라서 첫 번째 인접 채널에서

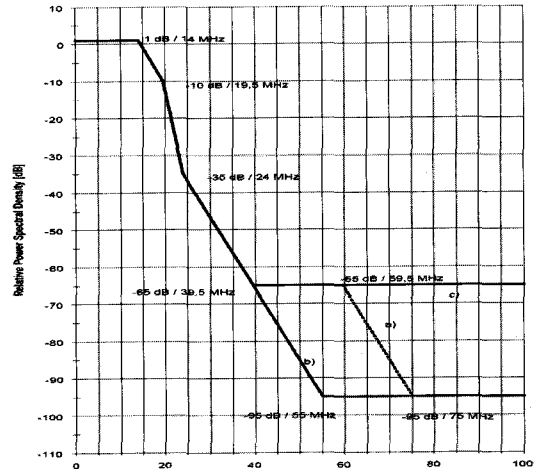


그림 9. 채널 대역폭 40 MHz인 경우의 송신 스펙트럼 마스크
 Fig. 9. Tx spectrum mask with channel bandwidth of 40 MHz.

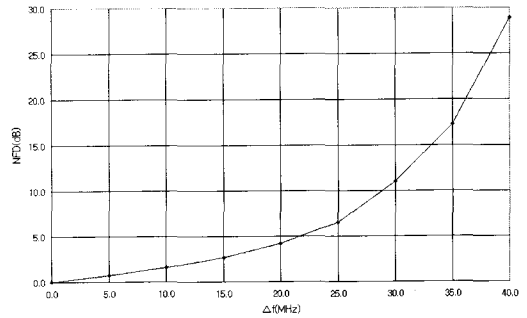


그림 10. 채널 대역폭 40 MHz인 경우의 NFD 계산
 Fig. 10. NFD calculation with channel bandwidth of 40 MHz.

의 보호비는 동일 채널의 보호비 74.9 dB에서 NFD 값(27.4 dB)을 빼주면 47.5 dB이 됨을 알 수 있다. 동일한 개념으로 다른 거리 및 M-ary QAM에 대한 보호비는 정정인자에 관련된 그림 11에서 보정할 수

표 4. 동일 채널 및 인접 채널의 보호비
 Table 4. Protection ratios of co-channel and adjacent channel.

주파수 offset(MHz)	보호비 (PR)	기타 변수
0(co-channel)	74.9 dB	f : 6.2 GHz, 64-QAM,
29.65(1st adjacent channel)	47.5 dB	거리: 60 km, P_L : 10

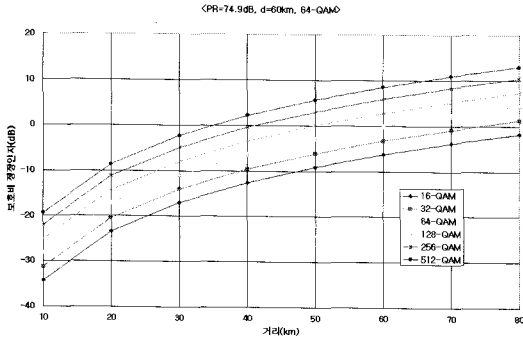


그림 11. 6.2 GHz에서 보호비 정정인자
Fig. 11. Protection ratio correction factor at 6.2 GHz.

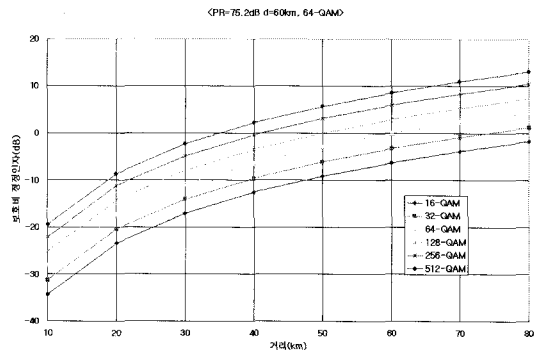


그림 12. 6.7 GHz에서 보호비 정정인자
Fig. 12. Protection ratio correction factor at 6.7 GHz.

있도록 하였다. 즉, 64-QAM, 거리 60 km일 때, 보호비는 74.9 dB이 되며, 그림 11에서 이를 0 dB 기준으로 하여 M-ary QAM에 대해 상대적인 값을 나타내었으므로 쉽게 구할 수 있다.

4.3-2 6.7 GHz 대역의 40 MHz 채널 배정에 대한 보호비

표 5에서는 주파수 6.7 GHz 대역의 고정 무선 중계 시스템에 대한 동일 및 인접 채널 보호비를 제시하였다. 그림 10에서 주파수 이격 40 MHz일 때 NFD가 28.9 dB이 된다. 따라서 첫 번째 인접 채널에서의 보호비는 동일 채널의 보호비 75.2 dB(표 3에서 적용된 변수 중에 단지 주파수만 6.7 GHz하여 계산된 값)에서 NFD 값(28.9 dB)을 빼주면 46.3 dB가 됨을 알 수 있다. 동일한 개념으로 다른 거리 및 M-ary QAM에 대한 보호비는 정정인자에 관련된 그림 12에서 보정할 수 있도록 하였다. 즉, 64-QAM, 거리 60 km일 때, 보호비는 75.2 dB이 되며, 그림 12에서 이를 0 dB 기준으로 M-ary QAM에 대해 상대적인 값을 나타내었으므로 해당 변조에 대해 단순히 기준값의 가감으로 쉽게 구할 수 있다.

표 5. 동일 채널 및 인접 채널 보호비

Table 5. Co-channel and adjacent channel protection ratios.

주파수 offset(MHz)	보호비 (PR)	기타 변수
0(co-channel)	75.2 dB	f : 6.7 GHz, 64-QAM, 거리: 60 km, P_L : 10
40(1st adjacent channel)	46.3 dB	

V. 결 론

본 논문에서는 고정 무선 중계 시스템의 인접 채널 간섭 분석에 필요한 통합 필터 변별도(NFD)의 수학적 표현과 계산 방법을 고찰하였으며, 이를 근거로 무선 중계망의 주파수 조정에 필요한 동일 채널 및 인접 채널 보호비 산출을 위한 체계적인 알고리즘을 제시하였다. 인접 채널 보호비를 거리, 변조 방식, 허용 간섭에 따라 구한 동일 채널 보호비와 송신기 스펙트럼 마스크 및 수신기 필터 특성에 의해 결정되는 NFD의 계산 결과로부터 체계적으로 구할 수 있음을 보였다. 실제 계산을 보이기 위해 6.2 및 6.7 GHz 대역의 29.65 및 40 MHz 채널 대역폭에 대한 각각의 송신기 스펙트럼 마스크와 수신기 필터 특성으로부터 NFD 계산을 수행하였다. 결과에 의하면 29.65 및 40 MHz 채널에 대한 첫 번째 인접 채널의 NFD는 각각 27.4 및 28.9 dB를 얻었다. 이러한 결과로부터 거리 60 km 및 변조 방식 64-QAM에 대한 인접 채널 보호비는 각각 47.5 dB 및 46.3 dB이 됨을 알 수 있었다.

제안된 보호비 산출 방법은 다음과 같은 의미를 갖는다. 첫째, 고정 무선 중계 시스템간은 물론, 고정 무선 중계와 이동 통신, 위성 통신, 기타 무선 통신간의 주파수 조정에 적용이 가능하다. 둘째, 동일한 개념을 밀리미터파 대역의 고정 무선 중계망의 주파수 조정에 필요한 보호비 산출에도 적용된다. 단, 이 경우에는 페이드 마진이 다중 경로의 주파수 선택적 페이딩이 아닌 강우 감쇠에 따른 균일 페이딩이 적용된다. 셋째, 실제 고정 무선 중계망의 설

계 시에 간섭 계산으로부터 설계의 적절성을 판단하는 보호비 산출 및 기준을 체계적으로 정립하였다. 향후 시스템의 각기 다른 수신 필터의 특성으로부터 NFD 및 보호비를 주파수 편이의 함수로 산출하여 전체 무선중계 주파수 대역에 대한 인접 채널 보호비의 기준을 제시하는 과정이 남아 있다.

참 고 문 헌

[1] 서경환, M/W 채널 재배치를 위한 타 시스템 수용방안에 관한 연구 보고서, 한국전자통신연구원, 2003년.
 [2] 서경환, 디지털 M/W 통신망의 동일 및 인접채널 허용 간섭 기준연구보고서, 한국전자통신연구원, 2004년.
 [3] ETSI TR 101 854, "Derivation of receiver interference parameters useful for planning fixed service point-to-point systems operating different equipment classes and/or capacities", 2005.
 [4] Rec. ITU-R F. 758-3, "Considerations in the development of criteria for sharing between the terrestrial fixed service and other services", 2004.
 [5] UK, "Technical frequency assignment criteria", RA, Jun. 2003.
 [6] Rec. ITU-R P.530-10, "Propagation data and pre-

diction methods required for the design of terrestrial line-of-sight-systems", 2004.
 [7] Carlos Salema, *Microwave Radio Links*, John Wiley, 2003.
 [8] Roger L. Freeman, *Radio System Design for Telecommunications*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
 [9] Rec. ITU-R P.453-9, "The radio refractive index: its formula and refractive data", 2004.
 [10] 서경환, "무선중계 시스템의 주파수 조정을 위한 보호비 계산에 대한 연구", 2005년도 하계 전자파기술 학술대회 논문집, 5(1), pp. 43-46, 2005년 6월.
 [11] Rec. ITU-R F.1101, "Characteristics of digital fixed wireless systems below about 17 GHz", 2004.
 [12] ETSI EN 301 127, "High capacity digital radio systems carrying SDH signals(up to 2 × STM-1) in frequency bands with about 30 MHz channel spacing and using co-polar arrangements or co-channel dual polarized operation", 2002.
 [13] ETSI EN 301 461, "High capacity fixed radio systems carrying SDH signals(up to 2 × STM-1) in frequency bands with 40 MHz channel spacing and using co-polar arrangements or co-channel dual polarized operation", 2002.

서 경 환



1983년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1991년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1983년 1월~1998년 10월: 삼성전

자 정보통신총괄 수석연구원
 1999년 3월~현재: 강남대학교 전자시스템정보공학부 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 무선통신시스템 설계 및 성능분석, 변복조 및 등화기 설계, 마이크로파 회로설계