

M/W 중계 시스템 망의 주파수 조정을 위한 보호비 계산에 대한 연구

A Study on Calculation of Protection Ratio for Frequency Coordination in Microwave Relay System Networks

서 경 환

Kyoung-Whoan Suh

요 약

본 논문에서는 마이크로파 중계 시스템 망의 주파수 조정에 적용할 수 있는 효율적인 보호비 산출 방법을 제안하고 결과를 제시한다. 또한 인접 채널 보호비를 계산하기 위해 송신 스펙트럼 마스크와 수신 필터 특성에 관련된 통합 필터 변별도(NFD)를 고찰하였다. 보호비는 변조 방식에 따른 신호-대-잡음 비, 잡음-대-간섭 비, 다중 간섭 허용, 다중 경로 또는 강우 감쇠의 페이드 마진, 통합 필터 변별도의 변수들로 구성된다. 주파수 6.7 GHz, 64-QAM, 거리 60 km, BER 10^{-6} 에서 계산된 페이드 마진 및 보호비는 각각 41.1 및 75.2 dB를 얻을 수 있었다. 채널 대역폭 40 MHz의 NFD는 첫 번째 인접 채널에서 28.9 dB가 되며, 이로부터 첫 번째 인접 채널의 보호비는 46.3 dB가 됨을 알 수 있었다. 또한 실제 중계망의 적용을 위해 채널 대역폭 20 및 40 MHz를 갖는 이중 시스템간의 NFD 및 보호비도 고찰하였다. 제안된 방법은 계산의 용이성과 체계적 확장, 그리고 밀리미터파 중계망의 주파수 조정에도 동일한 개념을 적용할 수 있는 장점을 갖는다.

Abstract

This paper suggests an efficient method of protection ratio calculation and shows some results applicable to frequency coordination in microwave(M/W) relay system networks, and the net filter discrimination(NFD) associated with Tx spectrum mask and overall Rx filter characteristics has been examined to obtain the adjacent channel protection ratio. The protection ratio comprises several factors such as C/N of modulation scheme, noise-to-interference ratio, multiple interference allowance, fade margins of multi-path and rain attenuation, and NFD. According to computed results for 6.7 GHz, 64-QAM, and 60 km at BER 10^{-6} , fade margin and co-channel protection ratio are 41.1 and 75.2 dB, respectively. NFD for channel bandwidth of 40 MHz reveals 28.9 dB at the first adjacent channel, which results in adjacent channel protection ratio of 46.3 dB. In addition, NFD and protection ratio for different systems with channel bandwidth 20 and 40 MHz have been investigated to be used for actual M/W networks. The proposed method provides some merits of an easy calculation, systematic extension, and applying the same concept to frequency coordination in millimeter wave relay system networks.

Key words : Microwave Relay System, Protection Ratio, Fade Margin, Net Filter Discrimination, Carrier-to-Interference Ratio

I. 서 론

최근 정부에서는 Beyond IMT-2000, 차세대 방송, u센서 네트워크, 텔레메틱스, 공공 안전/재난 구조를

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

· 논문 번호 : 20051105-09S

· 수정완료일자 : 2005년 12월 19일

5대 전파 방송 서비스 인프라로 정하고 핵심 산업으로 육성키로 하였다. 이러한 신규 서비스를 위한 주파수 수요에 대한 확보 방안의 일환으로 이용 감소 및 수요가 정체인 기간 전송에 적용하던 고정 M/W 중계 주파수 대역 중에 6 GHz 이하 주파수를 6 GHz 이상의 대역으로 이전 및 재배치를 연구하고 있다^[1]. 따라서 원활한 무선망의 주파수 조정을 위해서는 이러한 신규 수요 주파수 대역과 현재 서비스 중인 고정, 이동, 위성, 레이다 및 기타 사설망의 무선 통신 주파수 대역과의 간섭 분석이 필수적으로 수반된다^[2].

무선망의 간섭은 동일 채널 및 인접 채널 간섭으로 나눌 수 있으며, 이러한 간섭 분석, 즉 주파수 조정에 필수적으로 적용되는 기준이 바로 보호비(Protection Ratio: PR)이다. 이는 동일 또는 타 무선 통신 시스템 간의 망 설계에 적용되는 중요한 변수로 어떤 무선망에 허용되는 신호 대 간섭 전력의 최소 비이다. 일반적으로 보호비는 수신기 감도(C/N), 잡음 대 간섭의 전력 비(N/I), 다중 간섭 허용(MIA), 페이드 마진(Fade Margin: FM), 통합 필터 변별도(Net Filter Discrimination: NFD)의 함수로 표현된다^{[3]-[5]}. 인접 채널의 보호비는 동일 채널의 보호비에서 NFD 만큼 감해 주어야 되는데, 이는 수신기의 필터 기능이 상대적으로 간섭의 영향을 줄여주기 때문이다. 이러한 허용간섭 또는 보호비의 연구는 최근까지 ETSI, ITU-R, 영국의 RA, 미국의 NSMA, 호주의 ACA 등에서 고정 M/W 중계 시스템의 주파수 조정을 위해 수행되어 왔다^{[6],[7]}.

본 논문에서는 M/W 중계망의 주파수 조정에 필요한 보호비 산출을 위해 확장 및 적용이 용이한 알고리즘을 제안하고 계산 결과를 제시한다. 제안된 방법은 변조 방식에 따른 C/N, N/I 및 다중 간섭 허용, 다중 경로 및 강우 감쇠의 페이드 마진, 인접 채널의 간섭 영향을 줄이는 통합 필터 변별도의 함수로 표현된다. 실제 동일 및 인접 채널의 보호비 산출 및 적용을 보이기 위해 6.7 GHz 대역에서 거리, M-ary QAM, NFD를 변수로 계산한다. 또한 무선 중계망 적용을 위해 채널 대역폭 20 및 40 MHz를 갖는 이종 시스템간의 NFD 및 보호비도 고찰하며, 주파수 증가에 따른 페이드 마진의 영향을 보기 위해 11 GHz 대역의 다중 경로 및 강우의 페이드 마진을 각각 계산하고 결과를 고찰한다.

II. 간섭유형 및 페이드 마진

2-1 간섭유형

M/W 중계 시스템에서의 간섭 유형은 크게 동일 채널과 인접 채널 간섭으로 나눈다^[2]. 동일 채널 간섭은 그림 1과 같이 A 국소에서 B 국소로 송신하는 신호가 C 국소까지 전송되어 간섭을 주는 경우이며, 일직선에 가까운 배치인 경우는 드물고, 성형 또는 망사 형으로 M/W 중계 통신망이 구성될 경우 많이 발생한다.

인접 채널 간섭은 다른 경로의 인접 주파수 채널 간섭에 대한 경우이며, 그림 2와 같이 A 국소에서 B 국소로 향하는 신호와 C 국소에서 D 국소로 향하는 신호 간에 상호 인접 채널로 중첩되어 수신 국소(B 또는 D)에 간섭을 주는 경우이다. 이러한 간섭 유형은 가장 흔한 경우로 주 신호와 간섭 신호간의 채널 이격 정도가 크게 작용한다.

2-2 페이드 마진(FM)

일반적으로 장거리 M/W 중계 시스템에 적용되는

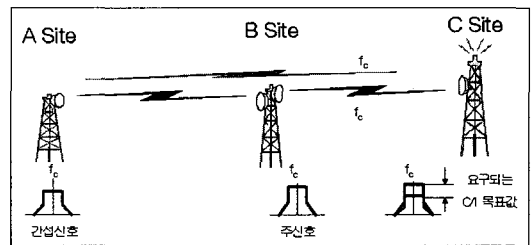


그림 1. 동일 채널 간섭.
Fig. 1. Co-channel interference.

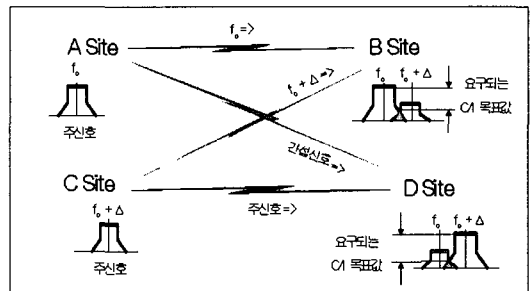


그림 2. 인접 채널 간섭.
Fig. 2. Adjacent channel interference.

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 대처된다.

먼저 다중 경로 페이드 마진은 ITU-R P.530-10에 의하면 최악 월에 주파수 $f(\text{GHz})$ 에 대해 수신된 전력 p 가 p_0 보다 적거나 동일하게 될 확률은 다음과 같이 주어진다^{[8],[9]}.

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

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_p 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. 표 1의 P_L 은 지상 100 m 이내에 평균 굴절 기울기가 $-100N$ units/km보다 작을 시간의 백분율이다. ITU-R P.453-9에 의하면 한국의 P_L 은 1, 5, 10이 된다^[10].

식 (1)에서 선정된 시간 백분율에 대한 필요한 페이드 마진은 다음과 같이 정리된다.

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 위치의 안테나가 바다표면으로부터 700 m 아래에 존재하는 링크
$K=10^{-7.1} P_L^{1.5}$	송수신 안테나 중에 더 낮은 위치의 안테나가 바다표면으로부터 700 m 이상에 존재하는 링크
$K=10^{-5.9} P_L^{1.5}$	링크가 중규모로 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

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

여기서 $FM = 10 \log(\frac{p_w}{p_0})$ 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 커야함을 의미한다. 여기서 열 페이드 마진은 수신 시스템의 정상적인 수신 레벨과 수신기 감도 레벨의 차이를 의미한다.

다음은 주파수가 10 GHz 이상에서 고려되는 강우 감쇠에 의한 균일 페이드 마진에 대해 살펴보자. ITU-R P.838에 의하면 강우에 따른 특정한 감쇠, $r_R(\text{dB/km})$ 은 다음과 같이 주어진다^[11].

$$r_R = kR^\alpha \quad (3)$$

여기서 R 은 강우강도(mm/hr)이며, k 와 α 는 주파수 의존 계수이다. 어떤 주어진 경로에 대해 강우에 기인한 감쇠는 유효 경로 길이에 대해 계산되는데, 이는 강우 강도율의 분포에 좌우된다. 최악 월의 강우에 대해 비가용율 0.01 %를 초과하는 경우의 감쇠($A_{0.01}$)는 다음과 같이 표현된다.

$$A_{0.01} = \gamma_R \times \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}} \quad (4)$$

여기서 d 는 경로 길이(km), d_0 는 다음과 같이 표현된다.

$$d_0 = 35e^{(-0.015R_{0.01})} \quad (5)$$

최악 월에 $p \%(0.001 < p < 1)$ 를 초과하는 강우에 따른 감쇠, $A_p(\text{dB})$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$A_p = A_{0.01} \times 0.12 \times p^{-(0.546 + 0.043 \log_{10} p)} \quad (6)$$

따라서 식 (6)으로부터 강우 강도에 의한 비가용율을 초래하는 균일 페이드 마진을 구할 수 있게 되며, 남북 30도 이상의 위도에서 적용된다. 그리고 ITU-R 권고 PN.530-5에서는 비가용율 1, 0.1, 0.01, 0.001 %는 0.01 %의 감쇠 $A_{0.01}$ 의 값으로부터 0.12,

0.38, 1, 그리고 2.14 인자 만큼 차이가 있다고 언급하고 있다. 즉, 예를 들어 $A_{0.01}=30$ dB이면 비가용율 0.001 %인 경우의 $A_{0.001}$ 은 식 (6)을 이용하여 구하면 약 64.2 dB가 되는 데, 이는 30(dB)에다 2.14를 곱한 값과 동일함을 의미한다. 한편 남위 또는 북위 30도 미만인 경로에 대해서는 최악 율에 p % ($0.001 < p < 1$)를 초과하는 경우에 따른 감쇠(A_p)는 다음과 같이 표현된다.

$$A_p = A_{0.01} \times 0.07 \times p^{-(0.855 + 0.139 \log_{10} p)} \quad (7)$$

III. 보호비 및 통합 필터 변별도

3-1 보호비(PR) 표현

보호비는 어떤 무선 통신망에 허용되는 신호 대 간섭 전력의 최소 비를 의미하며, 이론적으로 다음과 같이 주어진다^[12].

$$PR = C/N(BER 10^{-6}) + FM + N/I + MIA - NFD \quad (8)$$

여기서 C/N 은 일반적으로 $BER 10^{-6}$ 에서 선택된 변조 방식에 따라 주어지는 값이며, FM 은 페이드 마진, N/I 는 허용하는 간섭의 양에 대해 잡음 대 간섭 전력의 비이다. MIA 는 다중 간섭 허용(multiple interference allowance)으로 일반적으로 약 4.0 dB($=10 \log(0.6 \times M)$), 여기서 M 은 간섭 신호원을 적용한다. 그리고 NFD 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 (8)의 보호비 산출에 관련된 변수를 도식적으로 나타낸 것이 그림 3이다.

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

$$C/I = \text{원하는 신호} - \text{원하지 않는 신호} \quad (9)$$

성공적인 주파수 조정을 위해 식 (9)의 C/I 와 보호

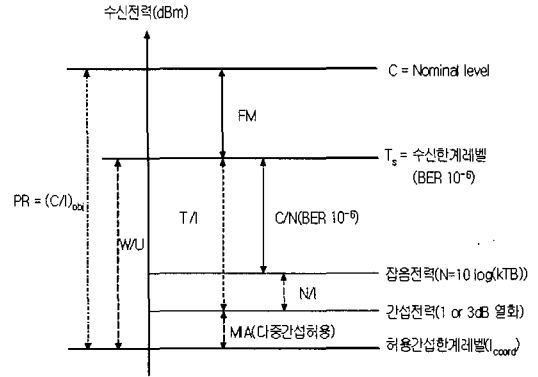


그림 3. 보호비의 도식적 개념
Fig. 3. Pictorial concept of protection ratio.

비 관계는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$C/I \geq PR \quad (10)$$

식 (10)의 물리적 의미는 기존 운용 중인 고정 M/W 중계 망에 신설하고자 하는 링크가 있는 경우, 신설 시스템의 송신기로부터 피해 수신기 즉, 기존 운용 중인 시스템의 수신기에 유입되는 신호 대 간섭의 전력비(C/I)가 보호비(PR)보다 크면 신설 링크는 허용하는 간섭 범위 내에서 기존 무선망에 영향을 주지 않는다고 판단을 하게 된다.

이상에서 설명한 고정 M/W 중계 시스템의 보호비 계산 절차와 주파수 조정과의 관계를 도식적으로 나타낸 것이 그림 4이다.

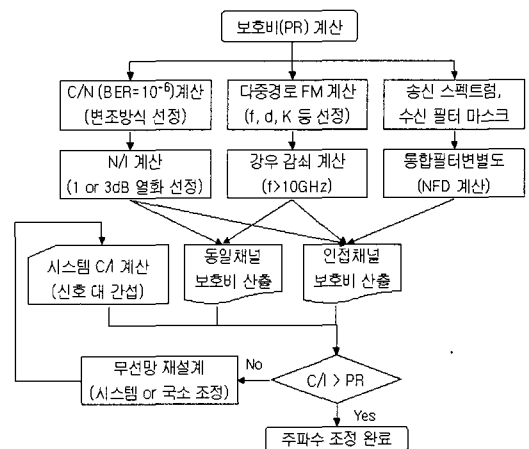


그림 4. 보호비 산출 알고리즘
Fig. 4. Algorithm for protection ratio calculation.

3-2 NFD 수학적 표현

통합 필터 변별도(NFD)에 대한 수학적 표현은 다음과 같이 정의한다^[1].

$$NFD = 10 \log \left(\frac{P_c}{P_a} \right) \quad (11)$$

$$P_c = \int_{-BW/2}^{BW/2} G(f) |H(f)|^2 df \quad (12)$$

$$P_a = \int_{-BW/2}^{BW/2} G(f-\Delta f) |H(f)|^2 df \quad (13)$$

여기서 P_c 는 수신기에서 동일 채널에 수신된 전력량, P_a 는 송신 스펙트럼을 주파수 편이 Δf 로 이동한 경우에 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 송신기 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 합으로 나눈다.
- ⑦ 위 ⑥에서 구한 값을 데시벨로 변환한다.

식 (12) 및 (13)을 이산적 표현을 위해 $|H(f)|^2 = R_{ci}(dB)$, $G(f) = T_{ci}(dB)$, $G(f-\Delta f) = T_{ci}(dB)$ 로 정의하면 식 (11)은 다음과 같이 표현된다.

$$NFD = 10 \log \left[\left(\sum_{i=0}^{i=n-1} 10^{\frac{T_{ci}+R_{ci}}{10}} \right) / \left(\sum_{i=0}^{i=n-1} 10^{\frac{T_{ci}+R_{ci}}{10}} \right) \right] \quad (14)$$

여기서 n 은 표본의 수이며, T_{ci} 는 동일 채널에서 정의된 주파수 스텝에서 표본된 송신 스펙트럼 마스크의 값이다. 그리고 R_{ci} 는 동일 채널에서 정의된 주파수 스텝에서 표본된 수신기 전체 필터 특성의 스펙트럼 값이며, T_{ci} 는 송신 스펙트럼 마스크를 주파수 편이하여 해당 주파수에서 표본된 값이다. 적분 구간은 해당 수신기의 대역폭이며, 주파수 편이는 일반적으로 0에서 해당 수신 채널 대역폭 이상으로 한다. 따라서 식 (14)로부터 송신 스펙트럼 마스크와 수신기의 전체 필터 특성을 알면 쉽게 NFD를 구할 수 있으며, 이 결과로부터 인접 채널 보호비는 식 (8)로부터 구할 수 있다. 결과적으로 인접 채널 간섭에 대한 보호비를 구하기 위해서는 먼저 동일 채널 보호비와 인접 채널 간섭에 대한 NFD 계산이 수행되어야 함을 알 수 있다.

IV. 보호비 계산 및 고찰

4-1 대역폭이 동일한 시스템의 보호비

동일 및 인접 채널의 보호비 산출을 위해 간섭 신호 및 원하는 신호의 채널 대역폭이 동일한 경우인 40 MHz를 고려한다. 이는 한국의 M/W 중계 주파수 중 6.2 GHz 대역을 제외한 나머지 대역은 대용량 전송 시에는 채널 대역폭이 40 MHz로 할당되어 있다. 주파수 6.7 GHz에 대해 식 (8)의 보호비 계산에 필요한 변수들을 (N/I)_x=6 dB(C/N이 1 dB 열화되는 경우), MIA(다중간섭허용)=4 dB, P_L (평균굴절계수)=10, p_w (비가용율의 시간 백분율)=0.01 %, 경로 경사각 $\epsilon_p=0$ 으로 선정하였다. 그리고 C/N은 ITU-R F.1101의 자료에 의하면 변조 방식별로 C/N 값이 BER 10^{-6} 에 대해 주어져 있는데, 여기서는 64-QAM인 경우 C/N=23.8 dB를 적용하였다^[13]. 그림 5에서는 NFD=0 dB인 동일채널 보호비를 M-ary QAM 및 거리에 대해 제시하였으며, 64-QAM 및 거리 60 km인 경우의 보호비는 75.2 dB가 된다. 이것이 갖는 물리적 의미는 고정 M/W 망 주변에 신설 M/W 시스템의 주파수 조정을 위해서는 피해 수신기의 C/I가 최소 75.2 dB 이상을 요구한다.

다음은 인접 채널 보호비 계산에 필요한 NFD에 대해 살펴보자. NFD 계산에 적용된 송신 스펙트럼의

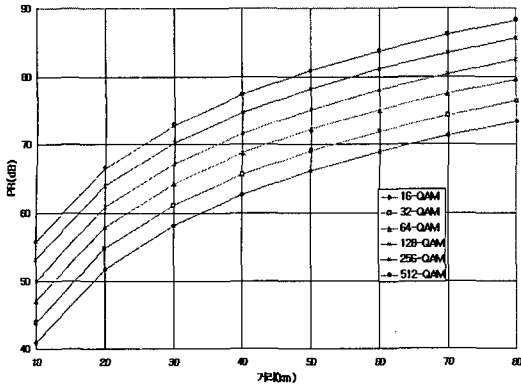


그림 5. 6.7 GHz에서 보호비
Fig. 5. Protection ratio at 6.7 GHz.

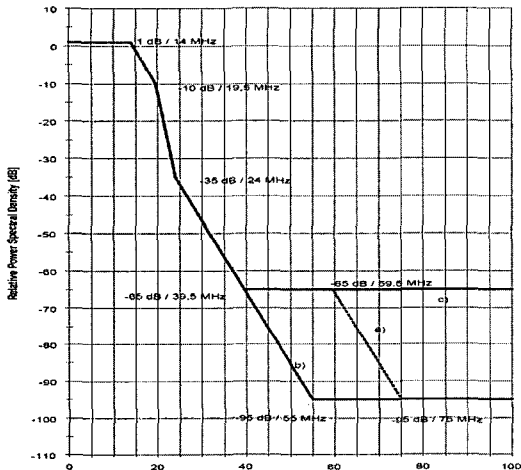


그림 6. 40 MHz 채널의 송신 스펙트럼 마스크
Fig. 6. Tx spectrum mask with 40 MHz channel.

마스크는 그림 6의 c)와 같으며^[14], 수신기 전체 필터의 특성은 편의상 송신 스펙트럼의 마스크와 동일한 것으로 간주하여 계산하였다. 그림 7에서는 송신 스펙트럼 마스크의 주파수 이격(Δf)에 따라 계산된 NFD 값을 나타내었으며, 이격 20, 40 MHz에서 각각 4.2, 28.9 dB가 됨을 보여준다.

표 2에서는 주파수 6.7 GHz 대역의 고정 M/W 중계 시스템에 대한 동일 및 인접 채널 보호비를 제시하였다. 그림 7에서 주파수 이격 40 MHz일 때 NFD가 28.9 dB가 된다. 따라서 첫 번째 인접 채널에서의 보호비는 동일 채널 보호비 75.2 dB에서 NFD 값(28.9 dB)을 빼주면 46.3 dB가 됨을 알 수 있다. 동일한 개

표 2. 인접 및 동일 채널 보호비

Table 2. Adjacent and co-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	

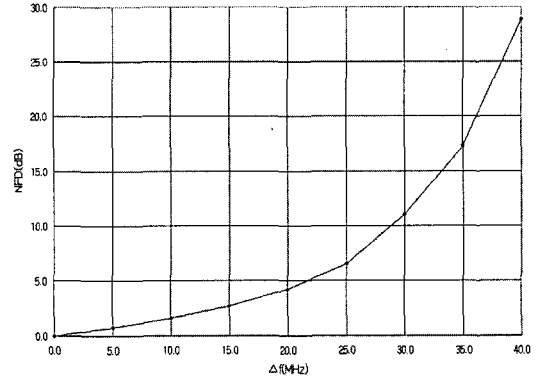


그림 7. 채널 대역폭 40 MHz의 NFD
Fig. 7. NFD with channel bandwidth of 40 MHz.

념으로 다른 거리 및 M-ary QAM에 대한 보호비도 그림 5로부터 단지 변조도에 따른 C/N의 차이만큼 있어 쉽게 구할 수 있다.

4.2 대역폭이 상이한 시스템의 보호비

M/W 중계망에서 대역폭이 상이한 시스템의 보호비 산출을 위해 채널 대역폭 20 및 40 MHz를 갖는 경우를 고려하였다. 즉, 그림 8과 같이 20 MHz 채널을 갖는 시스템을 간섭 신호로 간주하여 40 MHz 채널을 갖는 시스템의 수신부에 유입되는 경우를 가정하였다. 계산에 적용된 변수는 그림 5와 동일하며, 40 MHz의 NFD 계산에 필요한 송신 스펙트럼 마스크와 수신기의 전체 필터 특성은 그림 6과 동일한 것으로 하였다. 또한 20 MHz 인 경우에는 편의상 그림 6을 주파수 축으로 1/2로 축소하여 송신 스펙트럼 마스크 및 수신기 전체 필터의 특성으로 각각 간주하여 동일하게 적용하였다. 계산된 NFD 및 보호비는 그림 9 및 표 3에 나타내었다. 표 3에서 알 수 있듯이 주파수 이격 0, 20, 40 MHz에서 보호비는 각각 75.2, 36.6, 9.5 dB가 됨을 보여 준다. 표 2 및 3에서 주파수 이격 40 MHz에 대한 보호비는 각각 46.3 및 9.5 dB가

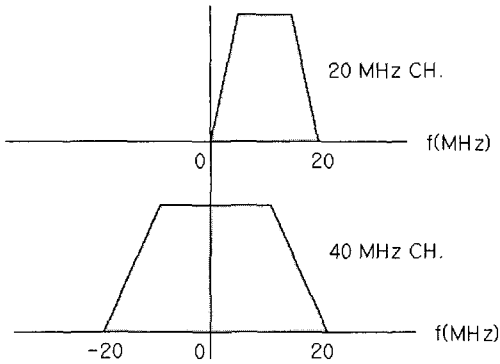


그림 8. 20 및 40 MHz의 채널 배치
Fig. 8. Channel arrangements of 40 and 20 MHz.

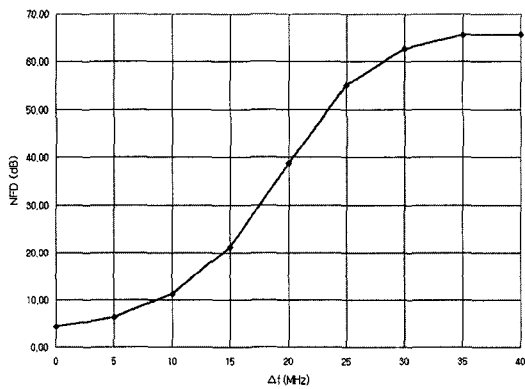


그림 9. 20 MHz 송신 간섭원이 40 MHz 수신에 유입되는 경우의 NFD
Fig. 9. NFD of Rx with 40 MHz interfered from Tx with 20 MHz.

표 3. 20 및 40 MHz 시스템 간에 필요한 보호비
Table 3. Required PR between 20 and 40 MHz systems.

주파수 offset (MHz)	보호비(dB) (간섭 Tx 20 MHz → 피해 Rx 40 MHz)
0	75.2
20	36.6
40	9.5

되는데, 이 차이는 그림 8에서 알 수 있듯이 간섭원이 되는 송신 스펙트럼이 표 2에 적용된 경우보다 대역폭이 좁아 이격 40 MHz에서는 수신기에 미치는 영향이 매우 작아 NFD가 상대적으로 크기 때문이다.

4.3 보호비의 강우 영향

그림 10은 11 GHz 대역의 다중 경로 및 강우 강도에 대한 동일 채널 보호비로 그림 5의 조건 하에 30 km, 64-QAM인 경우의 보호비는 약 66.2 dB가 된다. 그림 11은 보호비 정정인자를 나타낸 하나의 예이며, 다중 경로 페이드 마진(MPFM)이 강우의 균일 페이드 마진보다 크기 때문에 전자를 기준으로 하여 강우 강도에 대해 상대적으로 나타내었다. 즉, 식 (2)를 이용하여 거리 30 km에서 다중 경로 페이드 마진은 32.4 dB가 되며, 이를 0 dB로 하여 재구성한 것이다. 그림 11에서 거리 30 km, 강우 강도 60 mm/h 일 때의 보호비는 거리 30 km의 다중 경로 보호비 66.2 dB에서 페이드 마진 감소한 11.3 dB 만큼 감하면 54.9 dB를 얻을 수 있다. 또한 그림 10에서 거리 40 km의 다

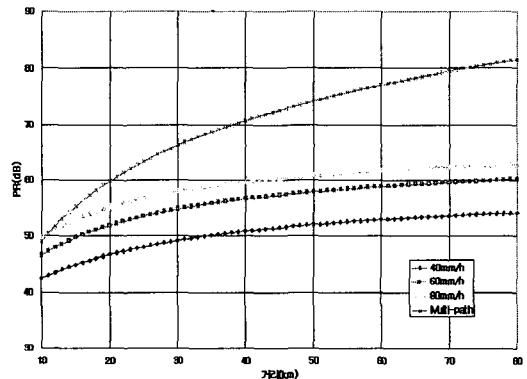


그림 10. 11 GHz에서 보호비
Fig. 10. Protection ratio at 11 GHz.

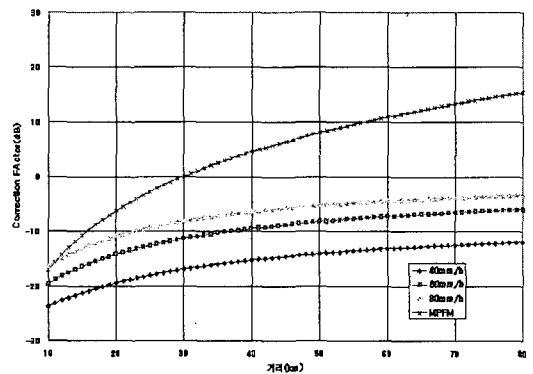


그림 11. 주파수 11 GHz에서 보호비 정정인자
Fig. 11. Protection ratio correction factor at 11 GHz.

중 경로의 보호비는 70.7 dB인데, 이 거리에서 강우 강도 80 mm/h 일 경우의 보호비는 59.8(= 70.7-10.9) dB가 된다. 이것이 갖는 의미는 11 GHz M/W 망 주변에 신설 무선 시스템의 주파수 조정을 위해서는 피해 수신기의 C/I가 최소 59.8 dB 이상을 요구한다. 그러나 다중 경로 페이드 마진의 보호비는 70.7 dB가 되므로 실제 무선망 설계에서는 C/I를 최소 70.7dB로 설정해야 한다. 왜냐하면 다중 경로의 페이드 마진이 강우의 균일 페이드 마진보다 크며, 두 페이딩은 서로 독립적으로 발생하기 때문이다.

이상에서 설명한 방법은 밀리미터파 대역의 보호비 산출에도 적용이 가능하며, 이 경우에는 전송거리가 수 km 미만이기 때문에 다중 경로에 의한 페이딩은 사라지고, 강우 감쇠에 의한 페이드 마진만 보호비 계산에 유효하게 된다.

V. 결 론

본 논문에서는 M/W 중계망의 주파수 조정에 필요한 보호비 산출을 위해 확장 및 적용이 용이한 알고리즘을 제안하고 통합 필터 변별도(NFD)의 수학적 고찰 및 계산 결과를 제시하였다. 제시된 보호비 도출 방법은 크게 4가지로 함수로 구성되는데, 변조 방식에 따른 C/N과 허용 간섭의 한계인 N/I, 다중 경로 또는 강우 감쇠의 페이드 마진, 인접 채널의 간섭 영향을 줄이는 NFD이다. 계산된 보호비는 연중 가용율 99.99 %, 주파수 6.7 GHz, 평균 굴절 기율기 $P_L=10$ 에 대해 변조 방식 M-ary QAM 및 거리의 함수로 나타내었다. 또한 무선 중계망 적용을 위해 채널 대역폭 20 및 40 MHz를 갖는 이중 시스템간의 NFD 및 보호비도 고찰하였으며, 주파수 11 GHz에 대해 다중경로 및 강우 페이드 마진을 고려한 보호비 정정 인자를 제시하여 기준 보호비로부터 원하는 보호비를 구할 수 있음을 보였다.

계산 결과에 따르면 주파수 6.7 GHz, BER 10^{-6} , 변조 방식 64-QAM, 거리 60 km에 대한 페이드 마진은 41.1 dB, 그리고 보호비는 75.2 dB가 됨을 알 수 있었다. 이러한 조건에서 피해 수신기에 유입되는 신호 대 간섭 전력의 비가 보호비 75.2 dB보다 크면 해당 무선망의 설계는 목표치에 만족하는 것으로 판정하게 된다. 주파수 6.7 GHz 대역의 40 MHz 채널

대역폭에 대한 송신 스펙트럼 마스크와 수신 필터 특성으로부터 NFD를 계산하였다. 채널 40 MHz에 대한 첫 번째 인접 채널에서 NFD는 28.9 dB를 얻을 수 있었으며, 이러한 결과로부터 거리 60 km 및 변조 방식 64-QAM에 대한 인접 채널 보호비는 46.3(= 75.2-28.9) dB가 됨을 알 수 있었다. 또한 채널 대역폭 20 및 40 MHz를 갖는 이중 시스템간의 NFD 및 보호비도 고찰하였다. 이는 20 MHz 채널 대역폭을 갖는 송신기가 간섭 원으로 작용하여 40 MHz 채널 대역폭을 갖는 피해 수신기에 유입되는 경우이며, 주파수 이격 20 MHz에서 NFD 및 보호비는 각각 38.6 및 36.6 dB가 됨을 보였다.

제안된 방법의 의미 및 활용으로는 크게 3가지로 볼 수 있다. 첫째, 주파수 조정에 필수적으로 수반되는 보호비를 다양한 변조 방식, 주파수, 거리, 지형 기후인자, 송수신 안테나 높이, NFD 등에 따라 일목요연하게 구할 수 있는 체계를 구축하였고, 실제 무선망 설계 시에 간섭 계산으로부터 설계의 적절성을 판단하는 보호비 기준을 정립하였다. 둘째, 고정 M/W 중계와 이동 통신, 위성 통신, 또는 기타 무선 통신 간의 간섭을 분석함에 있어서 고정 M/W 중계 시스템의 주파수 조정을 위한 판단 및 활용이 가능하다. 셋째, 동일한 개념을 밀리미터파 대역의 보호비 산출에도 적용할 수 있어 주파수 조정을 위한 간섭 분석이 가능하다.

향후 시스템간의 각각 다른 수신 필터의 특성으로부터 NFD 및 보호비를 주파수 편이의 함수로 산출하여 전체 M/W 중계 주파수 대역에 대한 동일 및 인접 채널 보호비의 기준을 제시하는 과정이 남아 있다.

참 고 문 헌

- [1] 서경환, "M/W 채널 재배치를 위한 타 시스템 수용방안에 관한 연구보고서", 한국전자통신연구원, 2003년.
- [2] 서경환, "디지털 M/W 통신망의 동일 및 인접 채널 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] USA, Report & tutorial: carrier-to-interference objectives, NSMA, Report WG5.92.008, Jan. 1992.
- [7] Australian Communications Authority, "Microwave fixed service frequency coordination(RALI, FX3)", 2003.
- [8] Rec. ITU-R P.530-10, "Propagation data and prediction methods required for the design terrestrial line-of-sight-systems", 2004.
- [9] Roger L. Freeman, Radio System Design for Telecommunications, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [10] Rec. ITU-R P.453-9, "The radio refractive index: its formula and refractive data", 2004.
- [11] ITU-R P.838, "Specific attenuation model for use in prediction method", 2004.
- [12] 서경환, "무선중계 시스템의 주파수 조정을 위한 보호비 계산에 대한 연구", 하계 전자과학기술학회 학술대회 논문집, 5(1), pp. 43-46, 2005년.
- [13] Rec. ITU-R F.1101, "Characteristics of digital fixed wireless systems below about 17 GHz", 2004.
- [14] ETSI EN 301 461, "High capacity fixed radio systems carrying SDH signals(up to 2STM-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