

합성 페이드 마진 및 가용율에 근거한 M/W 중계 시스템의 보호비 유도 및 계산

Derivation of Protection Ratio and its Calculation for Microwave Relay System Based upon Composite Fade Margin and Availability

서 경 환 · 이 주 환*

Kyoung-Whoan Suh · Joohwan Lee*

요 약

본 논문에서는 주파수 조정의 상세 계획에 적용할 목적으로 M/W 중계망의 보호비 유도를 새로이 제안하였으며, 실제 시스템 및 주파수에 대해 동일 및 인접 채널 보호비의 계산 결과를 제시하였다. 가용율 예측에 근거한 제시된 방법은 합성 페이드 마진, 간섭-대-잡음의 비(I/N), 통합 필터 변별도, 시스템 변수로 나타낸 것이다. 계산 결과에 의하면 6.7 GHz, 60 km, 64-QAM, $I/N=-6$ dB, $BER=10^{-6}$ 에서 합성 페이드 마진 및 동일 채널 보호비는 각각 25.5 및 50.7 dB을 갖는다. 또한 40 MHz 인접 채널에 대해 통합 필터 변별도 및 인접 채널 보호비는 26.3 및 24.4 dB을 얻는다. 제안된 방법은 M/W 중계망의 보호비 도출에 있어 보다 상세하고 다양한 장치의 변수를 고려한 확장의 용이성 및 실용성 측면에서 이점을 갖는다.

Abstract

In this paper, the derivation of protection ratio is newly proposed for the detailed planning of frequency coordination in microwave relay networks, and computed results for protection ratio of co-channel and adjacent channel are illustrated over the actual system and its frequency. It is shown that the suggested method based upon availability prediction can be expressed in terms of composite fade margin, interference-to-noise ratio(I/N), net filter discrimination, and system parameters. According to results, for 6.7 GHz, 60 km, 64-QAM, and $I/N=-6$ dB at $BER 10^{-6}$, composite fade margin and co-channel protection ratio provide 25.5 and 50.7 dB, respectively. Also, net filter discrimination and adjacent channel protection ratio are obtained as 26.3 and 24.4 dB, respectively, at the first adjacent channel of 40 MHz. The proposed method provides some merits in computing protection ratio for microwave relay networks in view of an easy extension and practical applications considering more detailed and various system parameters.

Key words : Microwave Relay System, Composite Fade Margin, Frequency Coordination, Protection Ratio, Net Filter Discrimination

I. 서 론

최근 통신과 방송 분야에 디지털 전송 방식의 도입으로 인해 새로운 주파수 대역 선정 및 채널 배치 방법 등이 국가 차원에서 중요 사안으로 대두되고

있다. 그 중의 일환으로 광통신망 등 광대역 통신 시스템과 이동 통신의 활성화에 따라 상대적으로 이용도가 낮은 M/W(Microwave) 중계 주파수 대역이 디지털 통신망으로 활용 또는 공유할 필요성이 제기되고 있다. 이를 실현시키기 위해서는 고정 M/W 중

강남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kangnam University)

*한국전자통신연구원 전파방송연구단(Radio Broadcasting Technology Laboratory, ETRI)

· 논문 번호 : 20070131-015

· 수정완료일자 : 2007년 3월 14일

계 용도를 동일 주파수 대역에 공유하거나 재배치하는 등 주파수를 효율적으로 사용할 수 있는 고정 M/W 중계 시스템간의 공유 조건에 대한 연구가 필요하다^[1]. 즉, 이미 사용 중인 채널과 신규 도입 장치간의 간섭 평가와 간섭 여부 판정 방안, 디지털 통신망 차원의 허용 간섭 기준을 분석하는 디지털 M/W 중계 통신망의 간섭 평가에 대한 세부적인 연구가 병행되어야 한다^[2].

일반적으로 M/W 중계 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. 보호비는 동일 또는 타 무선 통신 시스템 간의 망 설계에 적용되는 중요한 변수로써 해당 무선망의 간섭 영향을 받는 수신기에 허용되는 신호 대 간섭 전력의 최소 비이다^{[3],[4]}. 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 C/I 가 보호비보다 크면 즉, $C/I \geq PR$ 이면 해당 무선망의 설계가 허용하는 간섭 범위 내에서 적절하게 되었음을 판단한다. 이에 대한 연구로는 지난 10여년 동안 주로 유럽통신표준연구소(ETSI), 국제통신연합-전파(ITU-R), 영국전파협회(RA), 호주통신국(ACA) 등의 기관에서 수행되어 왔으며, 공통적으로 M/W 중계 시스템의 주파수 조정을 위해 최대 허용 간섭 레벨을 설정하거나^{[5]-[7]} 또는 제한된 보호비 산출에 대해 제시되었다^[8].

최근 기존 연구에서 미흡했던 부분을 보완하여 동일 및 인접 채널 간섭에 대한 보호비 산출 알고리즘을 보다 체계적이고 확장이 용이한 포괄적 형태의 연구 결과들이 제시되었다^{[9]-[12]}. 이들은 보호비 산출의 주요 변수인 가용율 예측을 단지 다중 경로 또는 강우 감쇠에 의한 페이드 마진의 함수로 표현한 것으로 밀리미터파 대역의 M/W 중계망의 주파수 조정을 위한 초기 단계까지 적용이 가능하다. 이러한 연구 결과를 기반으로 다이버시티 M/W 시스템의 보호비 산출에 대한 연구가 발표되었으며, 이는 다이버시티 개선인자에 따른 보호비 감소가 외부 간섭에 대한 잡음과의 비(N/I)에 대한 상관으로부터 한계 허용 간섭을 분석함으로써 망 설계 시에 유연성을 고려하게 하였다^[13].

하지만 이상에서 설명한 보호비 도출 방법과는 달리 M/W 중계 시스템의 전송 품질에 영향을 미치는 직접적인 변수들로 보다 실질적인 시스템의 특성을 감안한 보호비 산출의 필요성이 제기된다. 왜냐하면 상기 연구들은 주파수 조정의 초기 분석에 적용이 가능한 방법이며, 이는 개략적인 보호비 산출로 망 설계시에 계산된 보호비가 잠정적 피해 수신기에서 계산 또는 측정된 신호-대-간섭 전력의 비(C/I)보다 크면 상관없으나, 같거나 작으면 후속적인 상세 분석이 요구된다. 따라서 시스템 특성을 감안한 보다 상세한 분석의 주파수 조정에 필요한 보호비 산출의 방법이 필요하다. 이를 위해 일반적으로 M/W 중계 시스템의 전송 품질은 시스템 잡음, 전송 채널, 그리고 외부 간섭 등의 변수에 매우 민감하게 된다. 따라서 일정 수준의 연중 가용율을 얻기 위해 전송 품질에 영향을 주는 요인들을 각각 페이드 마진(fade margin)으로 표현이 가능한데, 열 잡음에 의한 균일 페이드 마진(Flat Fade Margin: FFM), 다중 경로의 주파수 선택적 페이딩에 의한 분산 페이드 마진(Dispersive Fade Margin: DFM), 그리고 외부 간섭의 동일 채널 및 인접 채널 간섭에 의한 간섭 페이드 마진(Inteference Fade Margin: IFM)이 있다. 이러한 페이드 마진을 가용율과 연관짓는 하나의 페이드 마진으로 수학적 표현이 필요한데, 이것을 합성 페이드 마진(Composite Fade Margin: CFM)이 된다^[14]. 이러한 페이드 마진을 이용하여 신설 M/W 링크의 가용율 계산에 관한 연구가 발표된 바가 있다^[15].

본 논문에서는 시스템 특성 및 가용율에 근거한 보호비 산출을 위해 M/W 중계 통신망의 주파수 조정 절차의 상세 분석에 필요한 보호비 산출 방법을 새로이 제안하고, 실제 적용 주파수 및 시스템의 변수로부터 보호비 계산 및 결과를 제시한다. 제안된 방법은 주어진 고정 M/W 중계 링크에서 간섭이 유입될 경우, 전송 품질에 관련된 불가동 발생인자와 시스템 특성을 반영한 합성 페이드 마진, 통합 필터 변별도, 잡음 대 간섭의 비 등에 기초하여 목표 가용율을 얻기 위해 필요한 최소 보호비(C/I)를 도출하는 것이다. 제시된 방법으로 주파수 조정에 필요한 기술적 분석 절차를 제시하고, 또한 실효성 및 타당성을 보이기 위해 실제 6.7 GHz 대역의 M/W 중계 링크 및 시스템 변수에 대해 보호비를 계산하고 그

결과를 고찰한다.

II. 가용율 및 합성 페이드 마진

주어진 M/W 링크에 대한 전체 불가동 시간은 페이딩이 심하게 발생하는 해당 기간 동안에 다음과 같이 표현된다^{[16],[17]}.

$$T_{out} = T_N + T_D \quad (1)$$

여기서 T_N 은 신호의 왜곡이 없음을 가정한 불가동 시간, 즉 단지 열잡음과 간섭에 기인한 전력 페이딩에 의한 것이다. T_D 는 잡음이 없는 경우로 단지 다중 경로에 의해 야기된 분산에 기인한다. 불가동의 일부는 주로 신호 전력 페이딩에 의한 것이며, 나머지는 주로 신호의 왜곡에 의한 것이다.

2.1 불가동 시간, T_N

열잡음과 간섭에 의한 불가동 시간의 성분 T_N 은 다음과 같이 표현된다.

$$T_N = r L_f^2 T_0 \quad (2)$$

여기서 r 은 다중 경로 발생 인자이며, 반송파 주파수, 경로 길이 및 지형에 관련된 변수이며, L_f^2 는 열잡음과 간섭을 더한 것이 비트 오류율(Bit Error Ratio: BER)을 어떤 특정한 한계 값을 주는 단일 주파수 페이딩의 양이다. 그리고 T_0 는 초를 나타내는 것으로 $T_0 = \frac{1}{50} \times 8 \times 10^6$ (sec), $35 \leq t \leq 75$ 이며, 대략 페이딩 발생기간(3개월) 및 t (년 평균 온도(화씨(F))의 함수이다.

한편 다중 경로 발생 인자 r 은 다음과 같이 표현된다^{[14],[16],[17]}.

$$r = c \frac{f}{4} d^3 10^{-5} \quad (3)$$

여기서 c 는 기후 및 지형 인자로써 해안 또는 해월 구간인 경우는 4, 평균 지형 및 기후인 경우는 1, 산악 및 건조기후인 경우는 0.25이며, 또한 f 는 장치의 중심 주파수(GHz), d 는 경로 거리(miles)이다.

만약 BER = 10^{-n} 의 한계 값을 가정한다면, L_f^2 는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{L_f^2 C}{I + N} = CNR_n \quad (4)$$

여기서 C , I 및 N 은 수신기 입력 단에서 신호, 간섭 및 잡음의 평균 전력을 각각 의미하며, CNR_n 은 BER 10^{-n} 을 주는 입력 신호 대 간섭과 잡음을 더한 양의 비이다.

식 (4)를 신호에 페이딩을 주는 간섭과 주지 않는 간섭의 경우를 고려한 식으로 표현이 가능한데, 이를 L_f^2 에 대해 표현하면 다음과 같이 주어진다.

$$L_f^2 = \frac{CNR_n}{C/I} + \frac{CNR_n}{C/N} \quad (5)$$

식 (5)의 오른쪽 두 번째 항의 역수는 간섭 (I)이 영(0), 즉 간섭이 없을 경우에 균일 페이드 마진(Flat Fade Margin: FFM)이라고 하며, 다음과 같이 표현한다.

$$L_f^2(I=0) = 10^{-FFM/10} \quad (6)$$

간섭을 포함하는 경우의 균일 페이드 마진을 FFM'로 나타내고 식 (6)을 다시 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L_f^2(I \neq 0) &= 10^{-FFM'/10} \\ &= 10^{-FFM/10} + 10^{-(C/I - CNR_n)/10} \end{aligned} \quad (7)$$

2.2 불가동 시간, T_D 및 합성 페이드 마진

다중 경로 페이딩에 의한 T_D 는 잡음이 없는 수신기에 실제 무선 경로 상의 다중 경로 페이딩에 의해 발생한다. T_D 는 식 (2) 및 (6)과 유사하게 표현될 수 있는데, 이는 분산 페이드 마진(dispersive fade margin: DFM)으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_D = r 10^{-DFM/10} T_0 \quad (8)$$

이상에서 언급한 결과들을 합성 페이드 마진(Composite Fade Margin: CFM)으로 정리하면 다음과 같다.

$$T_{out} = r 10^{-CFM/10} T_0 \quad (9)$$

따라서 식 (9)를 CFM을 표현하면 다음과 같다.

$$CFM = 10 \log_{10}(r) - 10 \log_{10}(T_{out}/T_0) \quad (10)$$

식 (10)의 오른쪽 첫 번째 항은 페이딩 발생 인자 r 에 관여하는 것으로 식 (3)과 같이 지형, 기후, 거리, 주파수에 따라 계산이 가능하며, 두 번째 항은 연중 페이딩이 가장 많이 발생하는 3개월에 대한 불가동 시간을 백분율로 표현한 것이다.

한편 CFM을 FFM, DFM, $\{C/I\}$, 그리고 $\{CNR_n\}$ 로 표현하기 위해 식 (7)~(9)와 식 (2)을 결합하면 다음과 같이 표현된다.

$$10^{-CFM/10} = 10^{-FFM/10} + 10^{-(C/I - CNR_n)/10} + 10^{-DFM/10} \quad (11)$$

여기서 CNR_n 은 BER 10^{-n} 을 주는 간섭과 잡음의 함수로 표현된 전체 C/N을 의미하며, 잡음 대 간섭의 비(N/I)에 따라 신호 대 잡음 비(C/N)의 값이 변화하게 된다. 일반적으로 N/I=10, 6, 3 dB인 경우, 수신 한계 레벨의 열화는 각각 0.5, 1.0, 2.0 dB가 된다. 따라서 CNR_n 은 변조방식 및 N/I의 의존성을 갖는다.

III. 보호비 도출 및 계산 방법

3-1 페이드 마진으로 표현된 보호비

주어진 M/W 증계망에서 요구되는 품질 또는 연중 가용율에 대해 최소한 필요한 합성 페이드 마진(CFM)을 식 (10)으로부터 고려하는 링크 구간에 대해 구할 수 있다. 구한 CFM은 식 (11)로 표현되기 때문에 수신기에 입력되는 원하는 신호(C)와 원하지 않는 신호(I)의 비는 다음과 같다.

$$C/I = CNR_n - 10 \log_{10}(10^{-CFM/10} - 10^{-FFM/10} - 10^{-DFM/10}) \quad (12)$$

C/I는 어떤 M/W 증계 링크에서 신호 전력 대 간섭 전력의 비를 나타내는 것이며, 예를 들어 가동율 99.99%를 얻기 위한 최소한의 C/I는 얼마나 되어야 하는지를 알려 준다. 이 결과는 동일 채널에 간섭이 유입되었을 때 필요한 보호비를 의미한다.

식 (12)의 균일 페이드 마진(FFM)은 열잡음이 존재하는 수신기에서 정상적인 수신 레벨과 수신 한계 레벨의 차이 값으로 다음과 같이 표현된다.

$$FFM = P_t + G_t + G_r - L_f - L_{other} - P_{rcvr}(10^{-n}) \quad (13)$$

여기서 P_t 는 송신기 출력, G_t 및 G_r 는 각각 송신 및 수신 안테나의 이득이다. 그리고 L_f 는 자유 공간 손실로써 주파수 f (GHz) 및 거리 d (km)에 대해 자유 공간의 손실은 다음과 같이 표현된다.

$$L_f = 92.45 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d \quad (14)$$

L_{other} 은 기타 손실이며, 송신 및 수신기의 도파관 및 기타 손실을 포함한다. 그리고 $P_{rcvr}(10^{-n})$ 은 수신기에서 BER = 10^{-n} 일 때의 수신 감도 레벨을 나타내며, 다음과 같이 주어진다.

$$P_{rcvr}(10^{-n}) = -174 \text{dBm} + 10 \log(BW) + NF + C/N \quad (15)$$

여기서 BW는 수신기의 IF 점유 대역폭(Hz)이며, NF는 잡음지수(dB), C/N은 변조 방식의 함수로 BER 10^{-n} 일 때 신호 대 잡음의 비(dB)이다.

또한 식 (12)의 분산 페이드 마진(Dispersive Fade Margin: DFM)은 변조 방식 및 등화기의 탭(tap) 수의 함수로 얻어지는 시그니처(signature) 특성에서 구할 수 있다. 시그니처는 일명 M-curve 라고도 하며, 이는 채널에 다중 경로의 주파수 선택적 페이딩이 있는 경우, 적응 등화기로 보상하여 어떤 특정한 비트 오류율(10^{-n})을 나타내는 노치(notch) 깊이를 주파수 영역에서 찾아 연결한 선을 말한다. 따라서 DFM은 다음과 같은 수식으로 표현된다^{[15],[18]}.

$$DFM = 17.6 - 10 \log_{10}(S_w/158.4) \quad (16)$$

$$S_w = \int_{-39.6}^{+39.6} [e^{-B_n(f)/3.8} + e^{-B_m(f)/3.8}] df \quad (17)$$

여기서 B_n 및 B_m 은 각각 비최소 위상(Non-Minimum Phase: NMP) 페이딩 및 최소 위상(Minimum Phase: MP) 페이딩에 따라 얻어진 시그니처에서 주파수 함수로 주어지는 노치 값(dB)이다.

한편 인접 채널의 보호비는 식 (12)를 인접 채널에 대한 통합 필터 변별도를 고려하면 보호비는 다음과 같이 표현된다.

$$C/I = CNR_n - 10 \log_{10}(10^{-CFM/10} - 10^{-FFM/10} - 10^{-DFM/10}) - NFD \quad (18)$$

동일 채널의 보호비에 통합 필터 변별도의 양을 감해주면 인접 채널의 보호비를 구할 수 있으며, 이는 수신부 전체 필터 특성에 의해 간섭량이 줄어들므로 상대적으로 보호비가 줄어들게 됨을 알 수 있다.

3-2 통합 필터 변별도(Net Filter Discrimination)

수신기의 통합 필터 변별도(NFD)에 대한 수학적 표현은 다음과 같이 정의한다^{9),10)}.

$$NFD = 10 \log \left(\frac{P_c}{P_a} \right) \quad (19)$$

$$P_c = \int_0^\infty G(f) |H(f)|^2 df \quad (20)$$

$$P_a = \int_0^\infty G(f-\Delta f) |H(f)|^2 df \quad (21)$$

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

3-3 보호비(C/I)를 구하는 절차

이상에서 기술한 합성 페이드 마진(CFM)에 기초한 보호비(PR) 도출을 위한 알고리즘은 그림 1과 같으며, 수치 계산을 위한 절차를 정리하면 다음과 같다.

- ① 먼저 식 (10)으로부터 주어진 링크에서 연중비가용율 및 페이딩 발생 인자를 고려하여 합성 페이드 마진 CFM을 구한다.
 - ② 식 (12)에서 관련된 변수 CNR_n , CFM, FFM, DFM을 각각 구한다.
- FFM에서는 정상적인 수신 레벨과 BER 10^{-n} 을 주는 수신 한계 레벨과의 차이를 의미하므로 식 (13)에서 구할 수 있다.
 - DFM은 변조 방식 및 등화기 종류 및 탭 수에 결정되는 시그너처에 의해 결정되며, 식 (16)으로부터 구할 수 있다.
 - CNR_n 은 수신 레벨의 열화 정도 및 변조 방식에 따라 결정되는 양으로 쉽게 계산이 가능하며, $CNR_n = CNR_0 + x$ 이다. 여기서 CNR_0 는 간섭이 없는 경우 BER 10^{-n} 을 주는 변조 방식에 따른 신호 대 잡음의 비이다. 그리고 x 는 간섭으로 인한 CNR_0 의 열화량이며, 0.5, 1.0, 2.0 dB로 열

화가 될 때, 해당하는 NI는 각각 10, 6, 3 dB가 된다.

- ③ 위의 ① 및 ②에 의해 식 (18)로부터 C/I를 계산할 수 있으며, 이것의 결과가 동일 채널 보호비이다.
- ④ 인접 채널 간섭에 대한 보호비는 변수는 통합 필터 변별도(NFD)를 구해 식 (18)으로부터 구할 수 있다.

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

$$C/I = \text{원하는 신호(dB)} - \text{원하지 않는 신호(dB)} \quad (22)$$

결과적으로 성공적인 주파수 조정을 위해 식 (22)의 C/I와 보호비(PR) 관계는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$C/I \geq PR \quad (23)$$

식 (23)의 물리적 의미는 기존 운용 중인 고정 M/W 중계망에 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. 이것의 역 또한 성립하여야 주파수 조정이 원활하게 되었다고 할 수 있다.

3-4 주파수 조정 절차

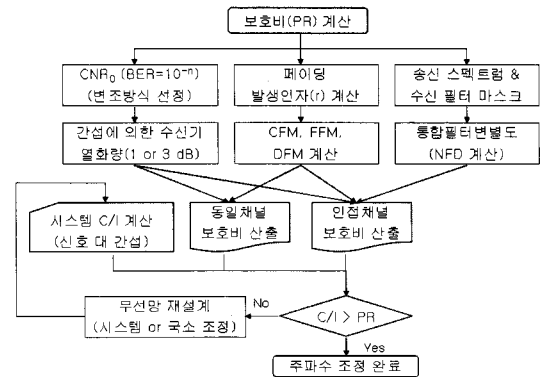


그림 1. CFM을 이용한 보호비 도출 알고리즘
Fig. 1. Algorithm for protection ratio derivation based upon CFM.

앞에서 기술한 보호비 산출 식을 토대로 하여 실제 주파수 조정을 위한 분석 절차를 그림 2에 제시하였다. 이러한 절차는 M/W 중계 간은 물론, M/W와 이동 통신, M/W와 위성 통신, M/W와 기타 무선 시스템 간의 주파수 조정 및 간섭 분석에 공히 적용되는 절차이다. 피해 무선 시스템의 전기적 특성과 간섭을 주는 환경의 전파 모델을 적용하면 원하는 보호비를 계산할 수 있으며, 주파수 조정의 적절성을 판단할 수 있게 된다.

IV. 수치 계산 및 고찰

4-1 시스템 변수

수치 계산에 적용된 시스템의 변수 값은 대표적인 특성을 감안하여 표 1과 같이 선정하였다. 또한 외부 간섭 전력에 대한 잡음 전력의 비(N/I)를 해당하는 무선망의 간섭 허용 한계치로 나타내며, N/I 값에 대한 규정은 피해 수신기의 수신 한계 레벨 열화로 표현한다. 수치 계산에서는 편의상 수신 한계 레벨의 1 dB 열화로 규정하며, 이때 N/I 값은 6 dB가 된다. 피해 시스템의 변조 방식은 대표적인 64-QAM 선택하였으며, $BER=10^{-6}$ 을 주는 S/N 기준은 ITU-R

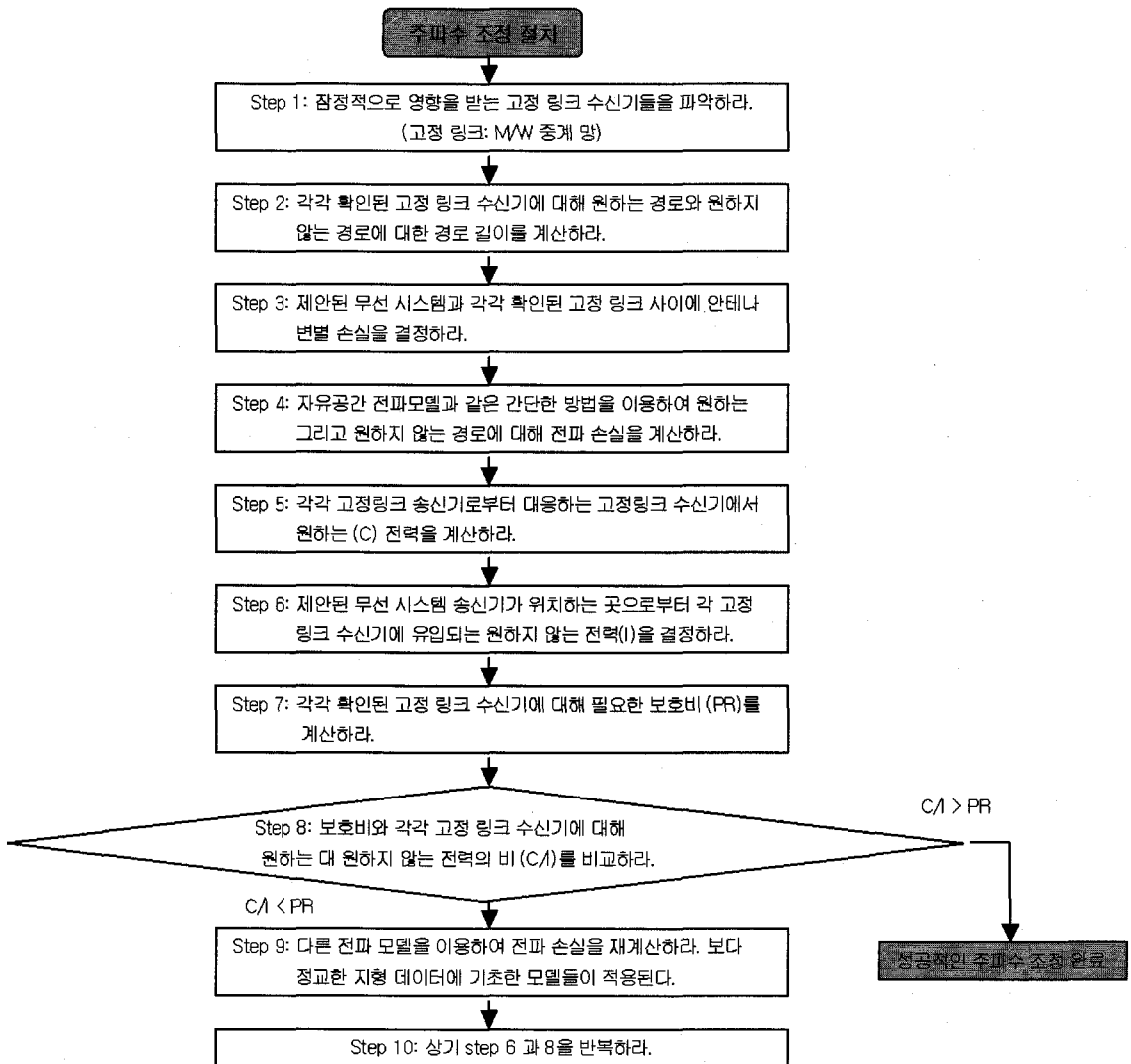


그림 2. 주파수 조정을 위한 기술적 분석의 흐름도
Fig. 2. Flowchart of technical analysis for frequency coordination.

표 1. 선택된 변수의 값

Table 1. Selected parameter and its value.

선택된 변수	적용 값
주파수(f)	6.7 GHz
변조 방식	64-QAM
송신 출력(P_t)	1 Watt(30 dBm)
손실(L_{other})	2 dB(송수신기 피더 및 기타 손실 포함)
잡음 지수(NF)	2.0 dB
안테나 이득 ($G_t = G_r$)	40 dBi
전송 용량	STM-1(155.520 Mbps)
채널 점유폭(BW)	32 MHz(코딩 포함)
$CNR_0 = S/N$	23.8 dB @ BER 10^{-6}
CNR_n	24.8(=23.8+1.0) dB @ N/I=6.0 dB, BER 10^{-6}
년중 가용율	99.99 %(비가용율=0.01 %) @ BER 10^{-6}
기후 및 지형 인자(c)	4.0(해월 구간)
FFM	36.7 dB @ 60 km
DFM	48 dB @9-tap 선형 등화기

F.1101에 제시된 값을 근거로 하였다^[19].

균일 페이드 마진(FFM)은 표 1에서 식 (13)을 이용하면 해당하는 거리에 대해 계산이 가능하며, 수신 한계 레벨(BER= 10^{-6})은 잡음 레벨에 S/N 값을 더하면 -73.2 dBm(= $-97+23.8$)이 되며, 균일 페이드 마진은 36.7 dB를 갖는다.

한편 표 1의 변수 DFM 에 대해서는 오늘날 M/W 중계 시스템에 적용하고 있는 등화기는 선형 및 비선형 형태가 적용되고 있다. 선형은 7~13-탭(tap), 그리고 비선형은 11-탭(선형)에다 결정 부궤환 형태의 3-탭이 이용되고 있다. 따라서 계산에서는 9-탭의 선형 등화기를 기준으로 DFM 계산이 가능하며, 약 48 dB를 갖는 것으로 하였다.

인접 채널 간섭에 대한 보호비 도출을 위해 필요한 계산을 위해 6.7 GHz 대역의 M/W 중계 시스템을 선정하였으며, STM-1(155.520 Mbps)를 전송하기 위해 일반적으로 40 MHz 채널 대역폭을 지정한다. 따라서 송신 스펙트럼 마스크는 유럽통신표준연구소(ETSI)에서 제시한 그림 3과 같으며^[20], 수신기 전체

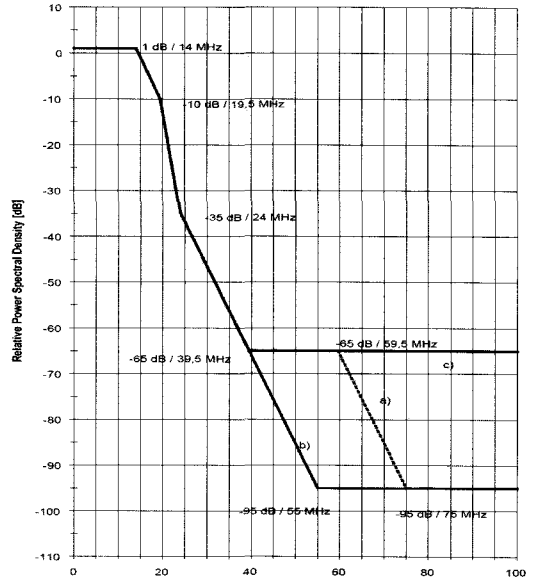


그림 3. 40 MHz 채널 대역폭의 송신 스펙트럼 마스크(출처: ETSI EN 301 461 문서)
Fig. 3. Tx spectrum mask with 40 MHz channel bandwidth from Doc. ETSI EN 301 461.

필터의 특성의 제공은 편의상 송신 스펙트럼 마스크와 동일하게 취하였다. 실제 NFD 계산에 있어서는 시스템의 RF, IF 및 기저대역에 존재하는 필터 특성들의 전체 합성된 것이 적용된다.

수신기의 전체 필터 특성을 제공한 것이 송신 스펙트럼 마스크와 동일하다고 가정하여 계산한 NFD 결과를 그림 4에 제시하였다. 단, 적분 구간은 -40

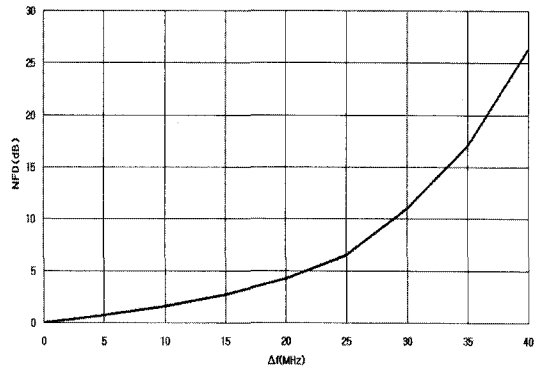


그림 4. 적분구간 $-40\sim40$ MHz에 대해 주파수 편이에 따른 NFD
Fig. 4. NFD as a function of offset frequency with integration interval from -40 to $+40$ MHz.

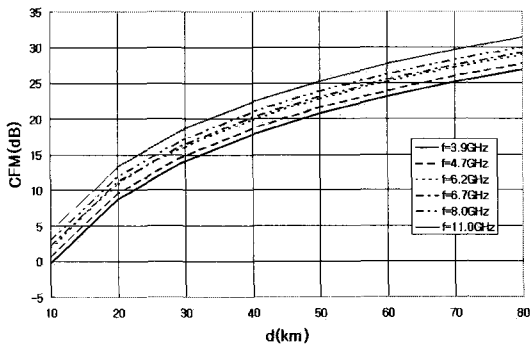


그림 5. 비가용율 0.01 % 및 해월 링크에 대해 주파수 및 거리에 따른 CFM

Fig. 5. CFM as a function of frequency and distance for 0.01 % unavailability and link over coastal area.

MHz~+40 MHz로 하여 주파수 편이(Δf)의 함수를 0~+40 MHz로 하여 구한 것이다. 첫 번째 인접 채널 40 MHz에서 NFD는 26.3 dB가 됨을 보여준다.

4.2 보호비 계산

표 1의 변수로부터 주파수에 따른 합성 페이드 마진 결과를 그림 5에 제시하였다. 선택된 주파수는 우리나라 장거리 M/W 중계 시스템의 주파수 대역인 3.9, 4.7, 6.2, 6.7, 8.0, 11.0 GHz이며, 6.7 GHz 및 거리 60 km, 연중 비가용율이 0.01 %인 경우, 계산된 CFM은 약 25.5 dB를 갖는다. 주파수가 증가함에 따라 CFM도 증가함을 알 수 있으며, 연중 비가용율이 0.001 %인 경우 즉, 가용율이 99.999 %를 갖는 경우에는 그림 5의 결과에서 10 dB 씩 더하면 해당하는 CFM을 얻을 수 있다.

그림 6에서는 주파수 6.7 GHz 및 M-ary QAM 변조에 따른 보호비(C/I)를 제시한 것이다. 선택된 변조는 16-, 32-, 64-, 128-, 256-, 512-QAM이며, 64-QAM에 대해 거리 60 km에서의 요구되는 보호비(C/I)는 약 50.7 dB가 됨을 보여준다. 변조 레벨이 증가함에 따라 요구되는 보호비도 증가하는데, 이는 주어진 BER 10^{-6} 에서 변조 레벨의 S/N 값 차이 때문이다.

그림 7에서는 주파수 6.7 GHz에 대해 기후 및 지형 인자 c에 따른 보호비의 변화를 거리에 따라 나타낸 것이다. 해안 또는 해월 구간인 경우는 $c=4$, 평균 지형 및 기후인 경우는 $c=1$, 산악 및 건조기후인 경우는 $c=0.25$ 이며, 거리 60 km에서 $c=1$ 인 경우는

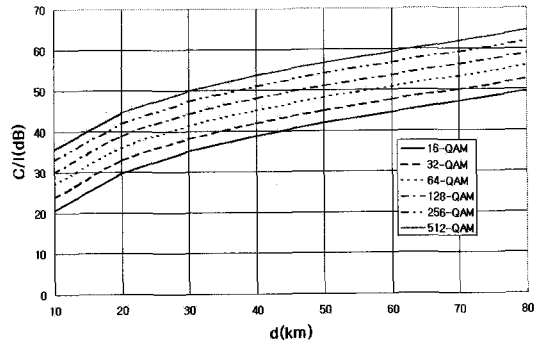


그림 6. 6.7 GHz 및 그림 5의 조건에서 M-ary QAM의 보호비

Fig. 6. Protection ratio of M-ary QAM under the condition of Fig. 5 for 6.7 GHz.

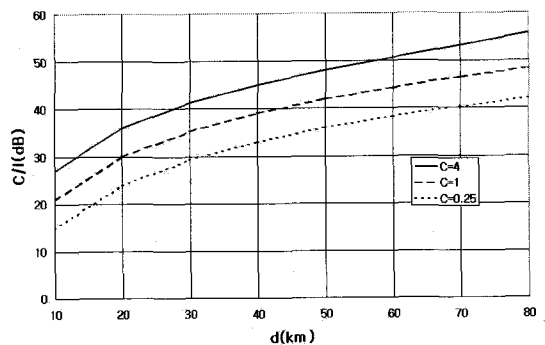


그림 7. 6.7 GHz에 대해 거리에 따른 기후 및 지형 인자의 보호비

Fig. 7. Protection ratio of geoclimatic factor as a function of distance for 6.7 GHz.

약 44.4 dB가 된다.

끝으로 인접 채널 간섭에 대한 보호비 산출에 대해 살펴보자. 인접 채널의 보호비는 동일 채널 보호비에 NFD 값을 감해 주면 얻을 수 있다. 그림 4에서 40 MHz 인접채널의 NFD가 약 26.3 dB가 됨을 보였다. 한편 그림 6에서 64-QAM 및 6.7 GHz의 보호비는 약 50.7 dB가 된다. 따라서 인접 채널 보호비는 표 2와 같이 동일 채널 보호비(50.7 dB)에 $NFD(=26.3 \text{ dB})$ 를 빼주면 24.4 dB가 됨을 알 수 있다. 동일한 개념으로 변조 방식 및 사용 주파수에 따라 확장하면 인접 채널의 보호비를 쉽게 도출할 수 있다.

이상에서 기술한 합성 페이드 마진, NFD, 보호비 등을 산출하는 절차 및 방법을 다른 변수(FPM, DFM, 주파수, 변조 방식, 기후 지형 인자 등)에 적용

표 2. 인접 채널 보호비

Table 2. Protection ratio of adjacent channel.

	NFD(dB)	PR(dB)	기타 조건
동일채널	0	50.7	6.7 GHz, BER= 10^{-6} , 64-QAM
인접채널 @40 MHz	26.3	24.4	

하면 M/W 중계망의 주파수 조정에 필요한 다양한 보호비 산출이 가능하다.

V. 결 론

본 논문에서는 M/W 중계망의 주파수 조정의 상세 계획에 적용할 목적으로 보호비 산출 방법을 새로이 제안하였으며, 실제 M/W 중계 시스템의 주파수 대역에 대한 보호비 계산 결과를 제시하고 고찰하였다. 제시된 방법은 가용율 예측 방법에서 주파수 조정에 필요한 보호비를 합성 페이드 마진, 간섭-대-잡음의 비, 통합 필터 변별도, 시스템 변수로 직접 표현한 것이다.

계산 결과에 의하면 주파수 6.7 GHz, 거리 60 km, 64-QAM, $N/f=6$ dB 및 BER 10^{-6} 을 기준으로 한 경우, 합성 페이드 마진 및 보호비는 각각 25.5 및 50.7 dB가 된다. 채널 대역폭 40 MHz의 첫 번째 인접 채널에서의 통합 필터 변별도는 약 26.3 dB가 되며, 이에 따른 인접 채널 보호비는 약 24.4 dB를 얻을 수 있었다.

제안된 보호비 산출 방법은 선행 연구에 비해 가용율 예측뿐만 아니라 전송 품질에 관련된 시스템 변수들을 보다 상세하게 반영하고 있어 실질적인 주파수 조정의 판단 기준으로 적용될 수 있다. 제시된 주파수 조정 절차의 흐름도를 근거로 M/W 중계 간은 물론 M/W 중계와 이동 통신, M/W 중계와 위성 통신, M/W 중계와 기타 무선 통신 간의 주파수 조정 시에 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] 서경환, 디지털 M/W 통신망의 동일 및 인접채널 허용 간섭 기준연구 보고서, 한국전자통신연구원, 2004년.
 [2] 서경환, 정량적 분석에 의한 M/W 통신망의 간섭

보호비 연구 보고서, 한국전자통신연구원, 2005년.
 [3] A. A. R. Townsend, *Digital Line-of-Sight Radio Links: a Handbook*, Prentice-Hall, International(UK), 1988.
 [4] USA, "Report & tutorial: carrier to interferences", *NSMA, Report WG5.92.008*, Jan. 1992.
 [5] Australian Communications Authority, "Microwave fixed service frequency(RALI, FX3)", 2003.
 [6] ETSI TR 101 854, "Derivation of receiver interference parameters useful for planning fixed service point-to-point systems operating equipment classes and/or capacities", Jan. 2005.
 [7] Rec. ITU-R F.758-3, "Considerations in the development of criteria for sharing between the terrestrial fixed service and other services", 2004.
 [8] UK, "Technical frequency assignment criteria", RA, Jun. 2003.
 [9] 서경환, "인접채널 간섭 분석을 위한 고정 무선중계 시스템의 NFD 및 보호비 계산에 대한 연구", 한국전자과학회논문지, 16(11), pp. 1138-1146, 2005년 11월.
 [10] 서경환, "M/W 중계 시스템 망의 주파수 조정을 위한 보호비 계산에 대한 연구", 한국전자과학회논문지, 17(2), pp. 139-147, 2006년 2월.
 [11] K. W. Suh, J. W. Lee, "A study on a comprehensive protection ratio calculation applicable to initial planning for frequency coordination in the fixed wireless networks", *IEEE International Conference on Advanced Communication Technology(ICACT)*, pp. 388-392, Feb. 2006.
 [12] K. W. Suh, "A generalized formulation of the protection ratio applicable to frequency coordination in digital radio relay networks", *Radio Sci.*, vol. 42, RS1007, doi:10.1029/2006RS003470, Feb. 2007.
 [13] K. W. Suh, "A study on a mathematical formulation of protection ratio and its calculation for fixed radio relay system with diversity", *The Journal of Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 17, no. 4, pp. 358-367, Dec. 2006.
 [14] Roger L. Freeman, *Radio System Design for Te-*

- lecommunications*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [15] 서경환, "디지털 마이크로웨이브 링크 설계를 위한 전송 품질 및 주파수 이전에 대한 연구", 한국전자과학회논문지, 14(5), pp. 489-498, 2003년 5월.
- [16] W. D. Rummler, "A simplified method for the laboratory determination of multipath outage of digital radios in the presence of thermal noise", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, no. 3, pp. 487-494, Mar. 1982.
- [17] W. D. Rummler, "A comparison of calculated and observed performance of digital radio in the presence of interference", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, no. 7, pp. 1693-1700, Jul. 1982.
- [18] 서경환, "동일채널 이중편파를 적용하는 디지털 무선 중계장치의 직교편파간섭제거기 설계에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 13(3), pp. 225-236, 2002년 3월.
- [19] Rec. ITU-R F.1101, "Characteristics of digital fixed wireless systems below about 17 GHz", 2004.
- [20] ETSI EN 301 461, High capacity fixed radio-carrying SDH signals(upto 2×STM-1) in frequency bands with 40 MHz channel spacing and using co-polar arrangements or co-channel dual polarized, 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: 삼성전자 정보통신총괄 수석연구원

1999년 3월~현재: 강남대학교 전자시스템정보공학부 전자공학과 교수

[주 관심분야] 무선통신시스템 설계 및 성능분석, 마이크로파 회로설계, 변.복조 및 등화기, 주파수 조정 및 간섭 분석 등

이 주 환



1988년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
 2000년~현재: 충남대학교 전파공학과 박사과정
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 전파방송연구단 책임연구원

[주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 전파전파 특성 예측 모델링 등