

논문 2006-43TC-1-17

고정 무선중계망의 간섭 분석을 위한 보호비 계산에 대한 연구

(A Study on Calculation of Protection Ratio for Interference Analysis
in Fixed Radio Relay Networks)

서 경 환*, 이 주 환**

(Kyoung-Whoan Suh and Joohwan Lee)

요 약

본 논문에서는 고정 무선중계 시스템의 주파수 조정을 위한 효율적인 보호비 산출 방법을 제안하고 계산된 결과를 제시한다. 제안된 보호비는 변조방식의 C/N, 잡음 대 간섭의 비(N/I), 다중간섭허용, 다중경로 및 강우감쇠의 폐이드 마진, 통합필터 변별도의 함수로 표현된다. 실제 고정 무선중계 주파수에 대해 폐이드 마진, 변조방식, 거리 및 간섭을 고려한 보호비를 산출하였으며, 계산 결과에 의하면 BER 10⁻⁶ 기준으로 6.2GHz, 64-QAM, 거리 60km에 대해 폐이드 마진과 동일채널의 보호비는 각각 41.1 dB 와 74.9 dB가 됨을 알 수 있었다. 제안된 방법은 보호비 정정인자를 통해 다양한 변수에 대해 보호비를 체계적 그리고 용이하게 구할 수 있으며, 또한 동일한 개념을 밀리미터파 대역의 무선중계 시스템 주파수 조정을 위한 보호비 산출에도 적용할 수 있는 장점을 지닌다.

Abstract

This paper suggests an efficient method of protection ratio(PR) calculation and shows some results of point-to-point radio relay system for frequency coordination. The proposed PR can be expressed as a function of C/N of modulation scheme, noise-to-interference ratio(N/I), multiple interference allowance, fade margins of multi-path and rain attenuation, and net filter discrimination. And PR calculation is performed in view of fade margin, modulation scheme, distance, and interference for actual point-to-point radio relay frequency. According to results for 6.2 GHz, 64-QAM, and 60 km at BER 10⁻⁶, fade margin and co-channel protection ratio reveal 41.1 dB and 74.9 dB, respectively. The merit of presented method provides a systematic and easy calculation by means of PR correction factor related with various parameters and can apply the same concept to frequency coordination of millimeter wave radio relay system.

Keywords : Radio relay system, protection ratio, fade margin, availability, carrier-to-interference ratio, net filter discrimination

I. 서 론

최근 정통부에서는 2009년 우리나라가 전파방송 일류 국가가 될 수 있도록 주파수 정책, 기술개발 정책, 표준

화 정책, 서비스 정책을 연계해 5대 전파방송 서비스 인프라를 만들기로 하였다. 정부가 국회에 제출한 '정보화 분야 '05~'09 국가재정운용계획(안)'에 따르면 정보통신부는 Beyond IMT-2000, 차세대 방송, u센서 네트워크, 텔레매티cs, 공공안전/재난구조를 정하고 핵심 산업으로 육성키로 하였다. 그리고 통신·방송·위성망간 종합적인 전파간섭 분석과 통신영역 예측, 국가간 간섭조정 기술 분석을 담당하는 주파수 자원분석체계도 만들기로 결정하였다. 이러한 5대 전파방송 인프라를 구축하

* 정희원, 강남대학교 지식정보공학부
(School of Knowledge-Based Information Engineering,
Kangnam University)
** 정희원, 한국전자통신연구원 전파기술그룹
(Radio Technology Group, ETRI)
접수일자 : 2005년9월6일 수정완료일 : 2006년1월10일

기 위해 필요한 주파수 대역의 선정과 적용이 성공적으로 수행되기 위해서는 현재 서비스 중인 고정, 이동, 위성 및 레이다, 기타 사설 망의 무선통신 주파수 대역과의 주파수 간섭 분석이 필수적으로 수반되어야 한다^[1].

일반적으로 주파수 조정에 필요한 신호 대 간섭 분석은 해당 무선망에서 최대 간섭 허용을 제시하는 보호비(Protection Ratio: PR)를 이용한다^{[2][3][4]}. 즉 보호비는 동일 또는 타 무선통신 시스템 간의 간섭분석 시에 적용되는 중요한 변수로써 해당 무선망에 허용되는 신호 대 간섭 비의 최소 값으로 정의한다. 실제 무선망 설계에서는 해당 수신기에 유입되는 원하는 신호(C)와 원하지 않은 간섭(I)의 비(C/I)를 계산하여 기 도출한 보호비와 비교하게 되며, 보호비가 C/I 보다 크면 해당 무선망 설계가 적절하게 되었음을 판정한다. 고정 무선중계 시스템의 보호비는 수신레벨을 결정짓는 시스템 제원과 페이드 마진(Fade Margin: FM)의 변수와 관련이 있다. 시스템의 수신 제원은 수신기 감도(Ts)와 허용간섭의 한계(I)와의 차이로 표현되는 Ts/I이다. 즉 특정한 BER에서 변조방식에 따른 C/N과 잡음 대 간섭 비(N/I)의 합으로 주어지며, N/I는 간섭이 유입되어 간섭이 없는 경우의 수신 레벨이 0.5, 1 또는 3dB 열화가 되는 경우의 값이다^{[3][5]}. 한편 페이드 마진은 다중경로 FM과 강우감쇠에 의한 균일 FM이 있다. 다중경로의 FM은 해당 무선망에 연중 시스템 가용율(availability)을 설정하면 주파수, 거리, 지형기후적 특성, 안테나 높이의 변수로 주어지는 주파수 선택적 페이딩의 깊이를 산출할 수 있다^{[6][7]}. 그리고 강우 감쇠의 균일(flat) FM은 주파수, 편파, 강우강도의 함수로 결정되며, 주파수 10GHz 이상에서는 고려되어야 한다^{[8][9]}.

최근까지 유럽통신표준연구소(ETSI), 국제통신연합회(ITU), 영국의 전파청(RA), 미국 스펙트럼관리협회(NSMA) 및 호주의 통신청(ACA)에서는 고정 무선중계 시스템의 주파수 조정을 위해 간섭신호의 허용한계 또는 보호비를 구하기 위한 연구를 진행하였다^{[3][4][6][10][11]}. 호주의 통신청을 제외한 상기 기관에서는 Ts/I에 대해 해당 시스템의 EIRP, 데이터량, 대역폭, 손실, 잡음지수, 1 또는 3dB 열화, 다중간섭허용 등을 주 변수로 하여 허용간섭의 한계량 측면에서 상세한 기준을 제시하고 있다^{[3][4][6][10]}. 하지만 거리, 주파수, 지형기후적 특성, 안테나 높이, 가용율 등을 포함한 다중경로 FM을 미지수로 두어 실질적이고 정량적인 보호비를 제시하지 않았다. 한편 호주의 통신청에서는 보호비 산출을 위해 가용율을 고려한 페이드 마진을 도입하여 타 기관의 방법에

비해 보다 정량적인 접근을 시도하였다. 하지만 시스템의 수신기 감도를 변조방식의 합수로 표현됨에도 불구하고 일정한 값으로 고정하여 특정한 거리에 대한 보호비를 기준으로 설정하였는데, 이는 실제 변조방식에 따라 C/N의 차이가 있어 보호비의 수정이 필요한 부분이다^[11].

본 논문에서는 이상에서 설명한 기존 보호비 산출의 제한과 미진한 부분을 보완하여 보다 정량적이고, 계산 및 적용이 쉬운 고정 무선중계 망의 주파수 조정에 필요한 보호비 산출 알고리즘을 제안하고, 무선중계 주파수의 링크에 대한 보호비의 계산 결과를 제시한다. 제안된 방법은 변조방식에 따른 C/N 및 N/I, 다중경로 및 강우감쇠의 페이드 마진, 인접채널의 간섭 영향을 줄이는 통합필터변별도의 합수로 표현된다. 실제 보호비 산출 및 적용을 보이기 위해 주파수, 거리, 변조방식, 강우, 지형기후인자 등을 변수로 결과를 제시하고 보호비 정정인자를 통해 산출 및 적용을 보인다.

II. Fade margin 및 간섭 유형

1. 채널 특성 및 페이드 마진

디지털 무선중계 시스템의 송신 안테나로부터 방사된 신호가 수신 안테나에 도달하기까지는 그림 1과 같은 전파경로를 거쳐 수신된다. 수신된 신호는 직접파와 간접파(굴절파 및 반사파)의 합으로 구성된다. 이러한 신호의 상대적 크기 및 도래 시간에 따라 채널에서 발생하는 페이딩은 최소위상(Minimum Phase: MP) 페이딩과 비최소 위상(Non-Minimum Phase: NMP) 페이딩으로 나눈다. 주파수 선택적 페이딩 채널은 Rummler의 2-경로 모델로 주파수 영역에서 다음과 같이 주어진다^[12].

$$H(f) = a [1 - b e^{-j2\pi(f-f_n)\tau}] \quad (1)$$

여기서 a는 직접파 신호의 진폭, b는 간접파의 직접파에 대한 상대적인 진폭을 나타내며, f_n 은 노치(notch) 주파수를 의미한다. 또한 τ 는 직접파와 간접파 사이의 시간지연을 나타낸다.

주파수 영역에서 상대적인 노치 깊이 Nd는 b가 1보다 작을 때, $Nd = -20 \log_{10}(1-b)$, b가 1보다 클 때는 $Nd = -20 \log_{10}(1-1/b)$, 그리고 균일 페이딩 손실 A는 $-20 \log_{10} a$ 이며, 전체 페이딩 깊이는 $A+Nd$ 로 정의한다. 그림 2는 채널에 주파수 선택적 페이딩이 있을 때, 주파수 영역에서의 채널 특성을 나타낸 것으로, b는

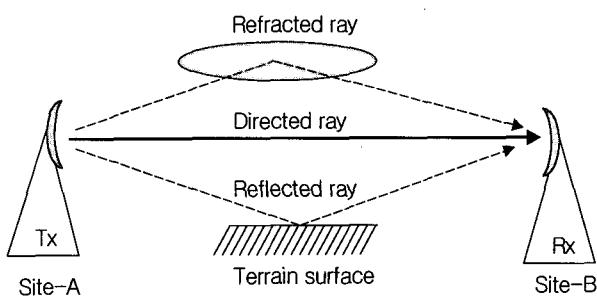


그림 1. 다중경로 페이딩을 갖는 고정 무선중계 시스템
Fig. 1. Fixed radio relay system with multi-path fading.

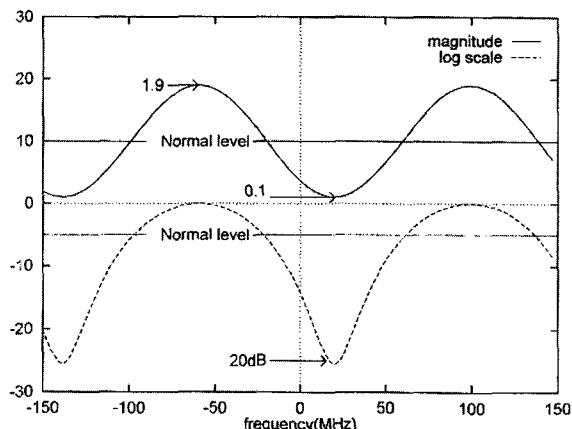


그림 2. 주파수 선택적 페이딩의 주파수 특성
Fig. 2. Frequency characteristic of frequency selective fading.

0.9, τ 는 6.3 nsec 인 경우이다. 이는 심볼간에 간섭이 전혀 없는 직접파에 시간지연과 위상천이가 된 간접파가 상호 더해져 왜곡을 야기하게 된다. 또한 τ 값의 역수에 해당하는 주파수 간격마다 노치가 발생하여 이것에 해당하는 주파수의 채널은 상대적으로 신호의 심한 왜곡을 갖게 되어 전송 품질을 악화시키는 원인이 된다^[13].

고정 무선중계 시스템의 페이드 마진은 다중경로에 의한 주파수 선택적 페이딩과 강우감쇄에 의한 균일 페이딩으로 나누며, 이를 페이딩은 서로 독립적으로 발생 한다. 먼저 전자의 경우는 앞에서 설명한 주파수 선택적 페이딩을 실험적 데이터에 근거하여 ITU-R P.530-10에서는 다중경로 페이드 마진(FM)을 예측할 수 있는 수학적 모델을 제시하였다^[6]. FM은 페이딩이 가장 많이 발생하는 해당 월의 평균치로 어떤 시간백분율(%)을 초과하는 경우의 페이딩 깊이를 나타낸다. 따라서 선정된 시간백분율, 즉 시스템 비가용율(non-availability)을 야기하는 필요한 페이딩 깊이는 최악 월에 평균적으로 식 (3)과 같이 주어진다^[6].

$$FM = 10 \log [K d^{3.6} f^{0.89} (1 + |\epsilon_p|^{-1.4}) - 10 \log P_L] \quad (2)$$

여기서 f 는 주파수(GHz), d 는 송신기와 수신기 사이의 거리(km), p 는 시간 백분율(%)로서 해당 무선 링크에서 연간 가용율(availability)이 99.99%인 경우에는 p 가 0.01%이 된다. $|\epsilon_p| = |hr-he|/d$ 는 경로 경사각(milliradians)이며, hr 및 he 는 바다표면에서의 각각 송수신 안테나 높이(m)이다. 그리고 K 는 지형기후인자로 표 1과 같이 주어지며, P_L 은 지상 100m 이내에 평균 굴절 기울기가 $-100N$ units/km 보다 작을 시간에 대한 백분율이며, 지형 및 계절마다 약간의 차이가 있을 수 있다^{[6][14]}. 식 (2)의 물리적 의미는 무선망 설계에서 연간 가용율이 99.9~99.999%로 하고자 하는 경우에는 비가용율인 p 가 0.1~0.001%가 된다. 이러한 목표 구현을 위해서는 FM이 실제 수신 시스템의 열 페이드 마진(Thermal FM)보다 커야함을 의미한다. 여기서 열 페이드 마진은 수신 시스템의 정상적인 수신레벨과 수신기 감도 레벨과의 차이를 의미한다.

다음은 후자의 경우 감쇄에 의한 균일 페이드 마진은 ITU-R P.838 기초한 경우에 따른 특정한 감쇄로 다음과 같이 주어진다^[15].

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (\text{dB}/\text{km}) \quad (3)$$

여기서 R 은 강우강도(mm/hr)이며, k 와 α 는 주파수의존 계수이다. 어떤 주어진 경로에 대해 강우에 기인한 감쇄는 유효경로길이에 대해 계산되는데, 이는 강우 강도율의 분포에 좌우된다. 최악 월의 강우에 대해 비가용율 0.01%을 초과하는 경우의 감쇄($A_{0.01}$)는 다음과 같이 표현된다.

$$A_{0.01} = \gamma_R \left(\frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}} \right) \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

표 1. 지형기후인자 K
Table 1. Geoclimatic factor K.

변수 K	조건
$K = 10^{-6.5}$ $P_L^{1.5}$	송수신 안테나 중에 더 낮은 위치의 있는 안테나가 바다표면으로부터 700m 아래에 존재하는 링크
$K = 10^{-7.1}$ $P_L^{1.5}$	송수신 안테나 중에 더 낮은 위치의 안테나가 바다표면으로부터 700m 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

여기서 d 는 경로길이(km)이며, d_0 는 다음과 같이 표현된다.

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

최악 월에 $p\%$ ($0.001 < p < 1$)을 초과하는 경우에 따른 감쇠(A_p)는 다음과 같이 표현된다.

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

따라서 식 (6)으로부터 강우 강도에 의한 비가용율을 초래하는 균일 페이드 마진을 구할 수 있게 된다.

2. 간섭 유형

고정 무선중계 시스템에서 간섭유형은 인접채널과 동일채널 간섭으로 나눈다^[1]. 동일 국소(site) 인접 주파수 채널 간섭은 그림 3과 같이 동일한 국소에서 이용하려는 주 신호와 인접한 간섭 신호가 동시에 송수신되는 경우이며, 인터리브드(interleaved) 방식의 시스템의 경우 대다수가 이러한 형태의 채널 배치로 운용하고 있다. 즉 간섭을 주는 A 국소에는 주 신호(f_c)와 간섭신호 ($f_c \pm \Delta f$)가 동시에 송신되어 수신 국소인 B 국소에는 2가지 신호가 전송거리에 따른 손실 등으로 유사하게 수신되어 간섭으로 작용하는 경우이다. 이때 주 신호 수신에 영향을 주는 간섭 량은 수신 국소로 갈수록 신호세기가 약해지는 채널 간에 상호 겹치는 부분만큼 영향을 받게 된다.

다음은 다른 경로의 동일 주파수 채널 간섭에 대해 살펴보자. 이것은 그림 4에서와 같이 A 국소에서 B 국소로 송신하는 신호가 C 국소까지 전송되어 간섭을 주는 경우로서 그림 4와 같은 일직선에 가까운 배치인 경우는 드물고 성형(Star) 또는 망사 형으로 무선중계 통신망이 구성될 경우 많이 발생한다.

마지막으로 다른 경로의 인접 주파수 채널 간섭에 대해 살펴보자. 이것은 그림 5에서와 같이 A 국소에서 B 국소로 향하는 신호와 C 국소에서 D 국소로 향하는 신호

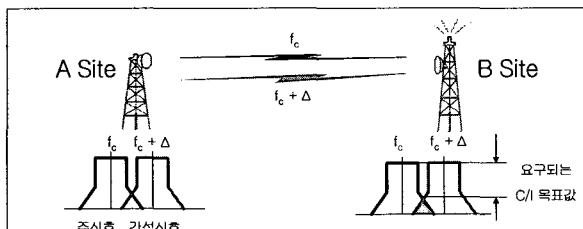


그림 3. 동일 국소의 인접 채널간섭

Fig. 3. Adjacent channel interference at the same site.

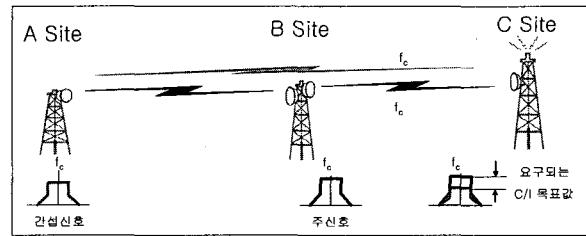


그림 4. 다른 경로의 동일 채널간섭

Fig. 4. co-channel interference from different path.

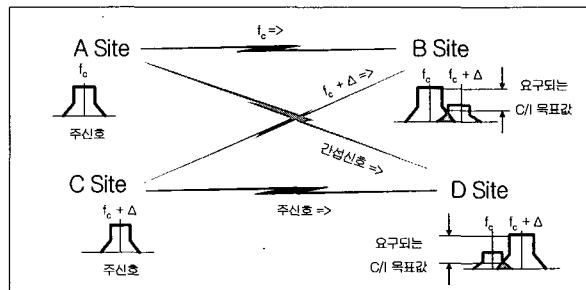


그림 5. 다른 경로의 인접 채널간섭

Fig. 5. Adjacent channel interference from different path.

간에 상호 인접 채널로 중첩되어 수신국소(B 또는 D)에 간섭을 주는 경우이다. 대개 이러한 간섭 유형은 가장 흔한 경우로 주 신호와 간섭 신호간의 채널 이격 정도가 크게 작용한다.

III. 주파수 조정 및 보호비

1. 주파수 조정

고정 무선중계 시스템의 간섭 계산 및 보호비 적용을 위해 그림 6에서는 간섭 시나리오의 전형적인 예를 제시하였다. 여기서 링크 'AB'는 기존 서비스를 의미하며, 링크 'CD'는 새로 제안하는 링크이다. 잠재적 간섭경로 (AD 및 CB)는 해당하는 안테나의 주 빔 방향에 대해 각각 송신 및 수신 안테나가 상대적인 변별도 각 θ' 및 θ 를 갖는 것으로 하였다.

한편 원하는 또는 원하지 않는 수신신호 레벨은 다음과 같이 표현된다.

$$P_r = P_t + G_t - L_t - L_b + G_r - L_r \quad (7)$$

여기서

- P_t (dBm)은 수신기 입력 단에서 RF 신호전력
- P_t (dBm)은 송신기 출력 단에서 RF 신호전력
- G_t (dB)는 수신기 방위각에서 송신 안테나의 이득
- L_t (dB)는 송신기와 관련된 피더(feeder) 및 브랜칭(branching) 손실

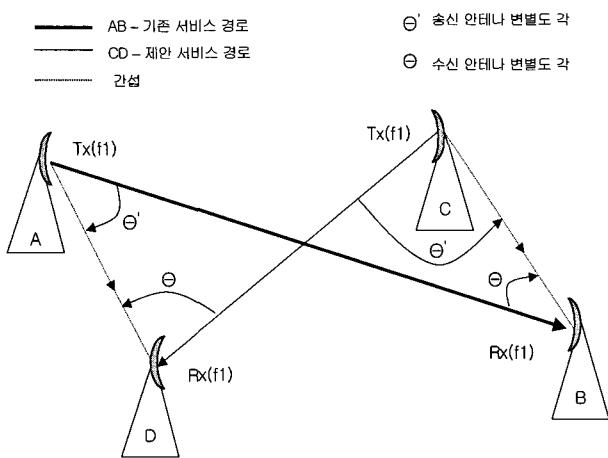


그림 6. 주파수 조정을 위한 무선중계망의 예
Fig. 6. Example of Radio Relay Networks for frequency coordination.

- L_b (dB)는 송신과 수신 안테나 사이에 전체 전송 손실
- G_t (dBi)는 송신기 방위각에서 수신 안테나의 이득
- L_r (dB)는 수신기와 관련된 피더(feeder) 및 브랜칭(branching) 손실

이며, G_t 및 G_r 은 각각 방위각을 포함하는 안테나의 이득을 의미한다.

이러한 간섭관리 기준에 대한 수신 신호레벨 평가는 주파수 조정의 기준인 보호비에 근거한다. 보호비의 정의는 피해 수신기의 입력단자에서 원하는 신호와 원하지 않는 신호의 상대적 레벨의 최소 비인 C/I 로 규정하며 다음과 같이 주어진다^{[2][3][4]}.

$$C/I = \frac{\text{원하는 신호전력(dBm)}}{\text{원하지 않는 신호전력(dBm)}} \quad (8)$$

결과적으로 성공적인 주파수 조정을 위해서는 식 (8)의 C/I 와 기 설정된 보호비와 비교하여 판단하게 되며, 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$C/I \geq PR \quad (9)$$

2. 보호비의 수학적 표현

무선중계 시스템에서 수신기의 한계레벨인 수신기 감도(T_s)와 간섭의 비(I)인 T_s/I 는 주어진 $BER \cdot 10^{-y}$ 에서 수신한계 잠과 전체 간섭신호(I)와의 차이를 의미한다. 즉 일반적으로 $BER \cdot 10^{-6}$ 에서 주어진 수신한계(C/N)과 간섭신호가 수신기에 유입되어 C/N 이 1 또는 3dB 열화를 유발하는 간섭신호와의 차이를 의미한다^{[3][4][5]}.

일반적으로 수신감도 T_s 와 전체 간섭신호 I 는 다음과 같이 표현된다.

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

$$I = 10 \log(kTB) + NF - (N/I)x - MIA + NFD \quad (11)$$

여기서 T_s 는 특정 BER 에서 수신기 감도 레벨이며, I 는 간섭 신호원으로부터 간섭을 받는 수신기에 수신되는 최대 허용간섭 전력을 의미한다. 그리고 k 는 Botzmann의 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), C/N 은 특정 $BER \cdot 10^{-y}$ 에서 선정된 변조 방식별로 주어지는 값이다. $(N/I)x$ 는 x (dB) 열화에 대한 잡음 대 간섭 전력의 비인 N/I 값을 의미하며, 만약 C/N 이 0.5, 1, 2dB 열화가 되는 경우에는 각각 N/I 가 10, 6, 3dB로 주어진다. MIA (Multiple Interference Allowance)는 다중간섭허용으로 일반적으로 약 4dB ($=10 \log(0.6 \times M)$), 여기서 M 은 간섭 신호원)를 적용한다. 그리고 NFD (Net Filter Discrimination)는 통합필터변별도이며, 송신기 및 수신기 주파수가 다르거나 채널 대역폭이 같거나 다를 때 간섭 신호의 감소로 정의한다. NFD 는 송신 스펙트럼 마스크와 수신기의 RF 및 IF 필터의 전체 필터 특성에 의해 결정된다. 동일채널의 간섭인 경우에는 NFD 가 0이 되며, 인접채널의 간섭 경우에는 NFD 는 채널 대역폭의 합수로 주어지거나 또는 간섭원의 송신 주파수와 피해 수신기 주파수 간의 중심 주파수 차이의 합수로 주어진다^[2].

따라서 시스템에서 필요한 보호비(PR)는 연간 사용율의 FM을 포함하여 목표하는 신호 대 간섭의 최소 비, $(C/I)_{obj}$ 로 정의하며, 식 (2), (10) 및 (11)로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$PR = \frac{(C/I)_{obj}}{C/N(BER \cdot 10^{-y}) + FM + (N/I)x + MIA - NFD} \quad (12)$$

보호비를 변조방식의 BER 과 관련된 C/N , 다중경로 및 강우감쇠의 FM, 허용간섭, 통합필터변별도의 합수로 표현하였다. 그리고 FM은 주파수, 거리, 지형기후인자, 시간 백분율(비가용율), 송수신 안테나 높이 등 변수를 갖는다. 식 (12)의 보호비 변수에 대한 도식적 개념을 나타낸 것이 그림 7이 되며, 변수 FM과 C/N 을 제외한 나머지 변수는 허용간섭 량의 설정에 따라 주어지는 변수가 된다. 따라서 선택된 변조 방식에서 특정한 BER 을 주는 C/N 을 구하면 쉽게 보호비를 계산할 수 있다. 또한 보호비 정정인자를 적용하면 다른 변조 방식에서도 보호비를 표에서 쉽게 구할 수 있는 형태가 된다. 결과적으로 이상에서 설명한 고정 무선중계 시스템의 주

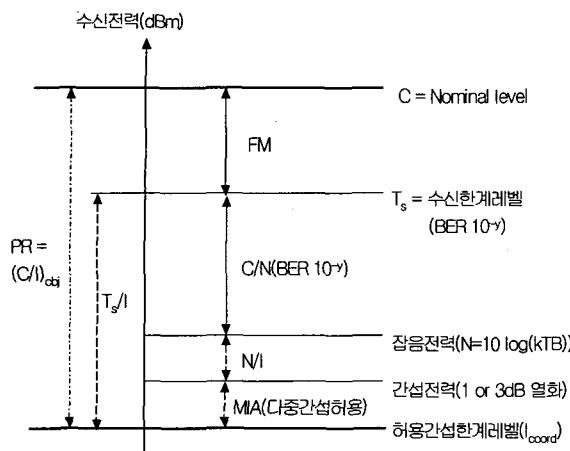


그림 7. 보호비의 도식적 개념

Fig. 7. Pictorial concept of protection ratio.

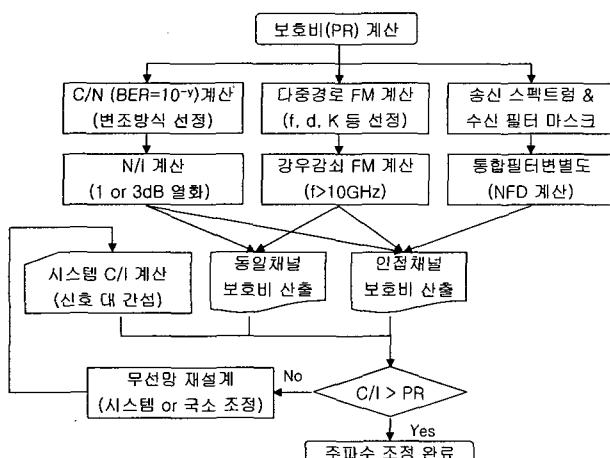


그림 8. 주파수 조정을 위한 보호비 산출 알고리즘

Fig. 8. Algorithm of protection ratio calculation for frequency coordination.

파수 조정을 위한 보호비 계산 절차 및 개념을 정리한 것이 그림 8이다.

IV. 보호비 계산 및 검토

앞에서 설명한 보호비의 산출 방법으로 동일채널 간섭에 대한 보호비 계산을 살펴보기로 한다. 현재 무선중계 시스템에서 적용되는 변조 방식은 다양할 수 있으나, 여기에서는 대표적으로 M-ary QAM과 MLCM에 대해 국한하였다. 식 (12)에서 BER의 함수인 C/N은 변조방식 및 코딩에 따라 다르기 때문에 하나의 기준 정립을 위해 ITU-R F.1101의 테이터로부터 표 2를 추출하고 이용하였으며^[16], 직접 다양한 변조 방식에 대해 C/N을 구할 수도 있다^[11]. 계산에 필요한 나머지 변수들은 $(N/I)_x = 6\text{dB} (C/N)_x - 1\text{dB}$ 열화되는 경우, MIA(다중간

표 2. 변조방식에 따른 C/N

Table 2. C/N as a function of modulation schemes.

변조 방식		C/N(dB) @ BER=10 ⁻⁶
QAM	16 QAM	17.6
	32 QAM	20.6
	64 QAM	23.8
	128 QAM	26.7
	256 QAM	29.8
MLCM	512 QAM	32.4
	32 MLCM	18.3
	64 MLCM	21.7
	128 MLCM	24.5

설허용) = 4dB, NFD(통합필터변별도) = 0dB, 주파수 6.2GHz, PL(평균굴절기율) = 1, 5, 10(ITU-R에서 제시한 한국 지형에 대한 자료), p(비가용율의 시간백분율) = 0.01%, 경로 경사각 ϵ_p = 0을 선정하였다. 위에서 선정된 값은 실례를 보이기 위한 것이며 다양하게 변화를 줄 수 있다. 특히 주파수는 1.0GHz에서 밀리미터파 대역의 고정 무선중계 주파수까지 적용이 가능하나 여기에서는 장거리 무선중계 시스템의 대표적인 주파수로 6.2GHz를 선정하였다. 이러한 조건 하에 제시된 방법으로 계산된 결과를 그림 9~12에 나타내었다.

그림 9는 64-QAM에 대해 거리 및 PL에 따른 보호비 값을 보여주며, PL=10일 때, 거리 60km에서 보호비는 74.9dB, 페이드 마진(FM)은 41.1dB가 됨을 표 3에서 보여준다. 보호비 74.9dB가 갖는 물리적 의미는 해당 구간의 주변에 무선망을 신설할 경우, 신호 대 간섭의 비(C/I)가 계산된 보호비 74.9dB 보다 커야 목표한 품질을 최소한 확보할 수 있다고 판정하게 된다. 거리가 60km 보다 짧은 경우에는 다중경로의 FM이 상대적으로 적어 보호비도 감소하게 되며, 거리가 60km 보다 큰 경우에

표 3. 계산된 보호비(6.2 GHz)

Table 3. Protection ratio calculation at 6.2 GHz.

거리(km)	페이드 마진(dB)	보호비(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

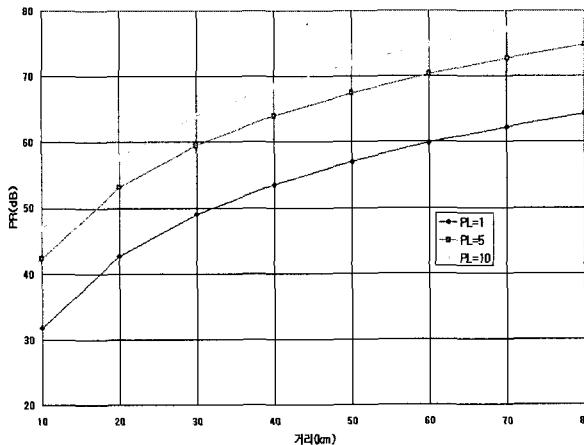


그림 9. 평균 굴절 기울기에 대해 계산된 보호비
Fig. 9. Protection ratio calculation for an average refractive gradient.

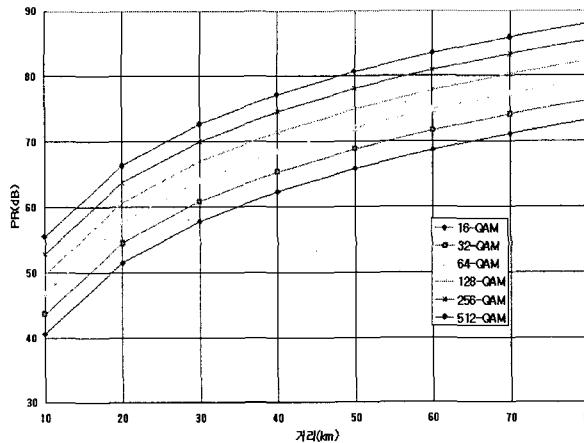


그림 10. M-ary QAM 에 대해 계산된 보호비
Fig. 10. Protection ratio calculation for M-ary QAM.

는 이와 반대가 된다. 또한 평균 굴절 기울기 PL이 증가함에 따라 다중경로의 페이딩에 의한 노치 깊이도 더욱 커져 보호비도 상대적으로 크게 됨을 알 수 있다.

그림 10에서는 그림 9와 동일한 조건에서 PL=10 및 M-ary QAM에 대한 보호비를 제시한다. 변조 64-QAM, 거리 60km에서 보호비는 74.9dB가 되며, 변조 512-QAM을 적용하는 경우에는 표 2에서 C/N을 보정하여 보호비를 구할 수 있다. 이 때의 값은 64-QAM의 보호비에 단지 C/N의 차이 8.6dB를 보정하여 그림 10에서와 같이 83.5dB가 됨을 알 수 있다. 동일한 개념 및 조건으로 표 2의 변조방식 MLCM에 적용한 보호비 결과를 그림 11에 제시하였다.

그림 10에서는 그림 9와 동일한 조건에서 PL=10 및 M-ary QAM에 대한 보호비를 제시한다. 변조 64-QAM, 거리 60km에서 보호비는 74.9dB가 되며, 변조 512-QAM을 적용하는 경우에는 표 2에서 C/N을 보정

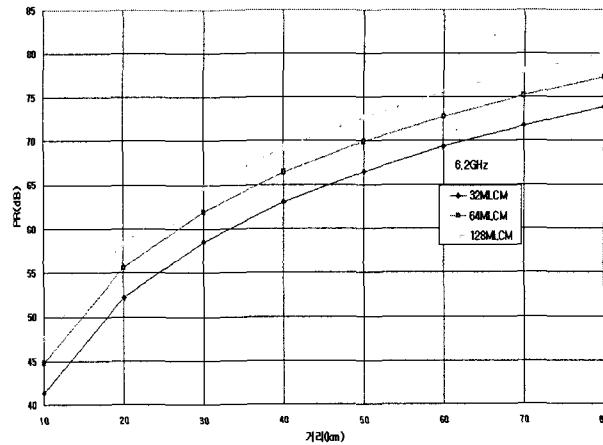


그림 11. MLCM에 대해 계산된 보호비
Fig. 11. Protection ratio calculation for MLCM.

하여 보호비를 구할 수 있다. 이 때의 값은 64-QAM의 보호비에 단지 C/N의 차이 8.6dB를 보정하여 그림 10에서와 같이 83.5dB가 됨을 알 수 있다. 동일한 개념 및 조건으로 표 2의 변조방식 MLCM에 적용한 보호비 결과를 그림 11에 제시하였다.

다음은 주파수 증가에 따른 다중경로 및 강우의 페이드 마진과 보호비의 영향을 보기 위해 표 4와 보호비 정정인자(correction factor)인 그림 12를 제시하였다. 표 4의 계산에 적용된 조건은 그림 9와 동일하며, 단지 주파수 11GHz, 강우강도 80mm/h인 경우이다. 주파수를 달리한 이유는 10GHz 이상이면 강우 감쇠로 인한 균일 페이딩을 고려하여야 하기 때문이다. 그리고 강우의 페이드 마진은 링크 가용율을 99.99%로 하여 지역에 따라 강우강도가 40, 60, 80mm/hr인 경우로 하였다. 주파수 6.2 GHz의 보호비와는 달리 주파수 증가에 따라 다중경로 페이드 마진과 강우 감쇠에 의한 균일 페이드 마진

표 4. 다중경로 및 강우의 페이드 마진과 보호비 (11 GHz)
Table 4. Protection ratios and fade margins of rain fall and multipath fading at 11 GHz.

거리 (km)	다중경로 FM(dB)	강우감쇠 FM(dB)	다중경로시 보호비(dB)	강우감쇠시 보호비(dB)
10	15.3	16.0	49.1	49.8
20	26.1	21.5	59.9	55.3
30	32.4	24.3	66.2	58.1
40	36.9	26.0	70.7	59.8
50	40.4	27.2	74.2	61.0
60	43.3	28.0	77.1	61.8
70	45.7	28.6	79.5	62.4
80	47.8	29.1	81.6	62.9

이 동시에 요구됨을 알 수 있다. 표 4의 계산된 결과를 살펴보면 거리를 30km 일 때 다중경로에 의한 페이드 마진과 보호비는 각각 32.4 및 66.2dB가 되며, 강우에 의한 페이드 마진과 보호비는 각각 24.3 및 58.1dB가 됨을 보여준다.

그림 12는 보호비 정정인자를 나타낸 하나의 예이며, 다중경로 페이드 마진이 강우의 균일 페이드 마진보다 크기 때문에 기준을 전자로 하여 나머지를 상대적으로 나타내었다. 따라서 거리 30km의 다중경로 페이드 마진이 32.4dB를 0dB로 하여 표 4의 페이드 마진을 상대적으로 재현한 것이다. 그림 12에서 거리 30km, 강우강도 60mm/h 일 때의 보호비는 기준 거리 30km의 다중경로 보호비에서 페이드 마진 감소한 양(11.3dB) 만큼 감하면 약 54.9dB를 얻을 수 있다. 또한 거리 40km, 강우강도 80mm/h 일 경우의 보호비는 59.8dB가 된다. 이것이 갖는 의미는 11GHz 고정 무선망 주변에 신설 시스템의 주파수 조정을 위해서는 C/I가 최소 59.8dB 이상을 요구한다. 그러나 표 4에서 거리 40km의 다중경로에 의한 보호비는 70.7dB가 되므로 실제 무선망 설계에서는 C/I를 최소 70.7dB로 설정해야 한다. 왜냐하면 다중경로의 페이드 마진이 강우에 의한 균일 페이드 마진 보다 우세하기 때문이며, 실제로 두 페이딩은 서로 독립적으로 발생하기 때문이다.

동일한 방법으로 타 변조방식에 대한 보호비도 기준 변조의 보호비에서 정정인자를 나타낼 수 있는 표 2로부터 얻을 수 있다. 그리고 주파수가 밀리미터파 대역인 경우에는 강우 감쇠로 전송거리가 수 km 미만으로 다중경로에 의한 페이딩은 사라지고, 강우 감쇠에 의한 페이드 마진만 보호비 계산에 유효하게 된다.

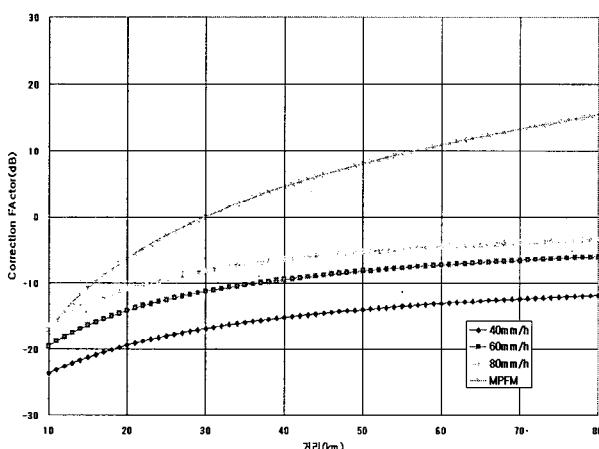


그림 12. 주파수 11GHz에서 보호비 정정인자
Fig. 12. Protection ratio correction factor at 11GHz.

V. 결 론

본 논문에서는 고정 무선통신 시스템의 주파수 조정에 필수적으로 적용되는 보호비 도출을 위한 알고리즘 정립 및 계산결과를 제시하였다. 제시된 보호비 방법은 크게 3가지로 함수로 구성되는데, 변조방식에 따른 C/N과 허용간섭의 한계인 N/I, 다중경로 및 강우감쇠의 페이드 마진, 인접채널의 간섭 영향을 줄이는 통합필터변별도이다. 수행된 보호비 계산들은 연중 가용율 99.99%, 주파수 6.2GHz, 평균 굴절 기울기 PL=10 에 대해 변조방식 M-ary QAM 및 MLCM, 그리고 거리의 함수로 나타내었다. 또한 주파수 11GHz에 대해 다중경로 및 강우 페이드 마진을 고려한 보호비 정정인자를 제시하여 기준 보호비로부터 원하는 보호비를 구할 수 있도록 하였다. 계산된 결과에 의하면 주파수 6.2GHz, BER 10⁻⁶, 변조방식 64-QAM, 거리 60km 에 대한 페이드 마진은 41.1dB, 그리고 보호비는 약 74.9dB가 됨을 알 수 있었다. 이러한 조건에서 피해 수신기의 계산된 신호 대 간섭 전력의 비가 보호비 74.9dB 보다 크면 해당 무선망의 설계는 목표치에 만족하는 것으로 판정하게 된다.

제안된 방법의 의미 및 활용으로는 크게 3 가지로 볼 수 있다. 첫째, 주파수 조정에 필수적으로 수반되는 보호비를 다양한 변조 방식, 주파수, 거리, 지형기후인자, 송수신 안테나 높이 등에 따라 일목요연하게 구할 수 있는 체계를 구축하였고, 실제 무선망 설계시에 간섭 계산으로부터 설계의 적절성을 판단하는 보호비 기준을 정립하였다. 둘째, 고정 무선중계와 이동통신, 위성통신, 또는 기타 무선통신 간의 간섭을 분석함에 있어서 고정 무선중계 시스템의 간섭에 대한 판단 및 활용이 가능하다. 셋째, 밀리미터파 대의 보호비 산출에도 동일한 개념을 적용할 수 있어 주파수 조정을 위한 간섭분석이 가능하다.

앞으로 인접채널의 보호비 산출에 필요한 통합필터변별도의 이론 및 계산 방법의 연구가 필요하며, 실제 운용중인 무선망의 신설 국소에 대한 적용 및 검토가 필요하다고 여겨진다.

참 고 문 헌

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

- [3] Rec. ITU-R F. 758-3, "Considerations in the development of criteria for sharing between the terrestrial fixed service and other services", 2004.
- [4] UK, "Technical frequency assignment criterid", RA, June 2003.
- [5] Rec. ITU-R SF.766, "Methods for determining the effects of interference on the erformance and the availability of terrestrial radio-relay systems and systems in the fixed-satellite service", 2004.
- [6] Rec. ITU-R P.530-10, "Propagation data and prediction 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] W. T. Barnett, "Multipath propagation at 4, 6, 11GHz", *Bell Syst. Tech J.*, vol. 51, no. 2, pp. 321-361, Feb. 1972.
- [10] USA, *Report & tutorial : carrier-to-interference objectives*, NSMA, Report WG 5.92.008, Jan. 1992.
- [11] Australian Communications Authority, "Microwave fixed service frequency coordination(RALI, FX3)", 2003.
- [12] W. D. Rummel, "A new selective fading model: application to propagation data", *Bell Syst. Tech J.*, vol. 58, no. 5, pp. 1037-1071, 1979.
- [13] 서경환, "디지털 무선 전송장치를 위한 기울기 등화기의 채널 모델링 및 디지털 구현에 관한 연구", *한국전자과학회논문지*, pp. 777-786, 제12권 제5호, 8월, 2001.
- [14] Rec. ITU-R P.453-9, "The radio refractive index : its formula and refractive data", 2004.
- [15] ITU-R P.838, "Specific attenuation model for use in prediction method", 2004.
- [16] Rec. ITU-R F.1101, "Characteristics of digital fixed wireless systems below about 17GHz", 2004.

저자소개



서경환(정회원)

1983년 경북대학교 전자공학과
공학사

1988년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 공학석사

1991년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 공학박사

1983년 1월~1998년 10월 삼성전자 정보통신총괄
수석연구원

1999년 3월~현재 강남대학교 지식정보공학부
전자공학과 교수

<주관심분야 : 무선통신시스템 설계 및 성능분석,
마이크로파 회로설계, 변.복조 및 등화기>



이주환(정회원)

1988년 서강대학교 전자공학과
공학사

1999년 충남대학교 전파공학과
공학석사

2000년~현재 충남대학교 전파공
학과 박사과정

1990년 2월~현재 한국전자통신연구원 디지털방
송연구단 선임연구원

<주관심분야 : 전자파 전파 및 산란, 전파전파
특성 예측 모델링 등>