

# 다이버시티를 갖는 고정 무선 중계 시스템에 대한 보호비의 수학적 표현과 계산에 대한 연구

## A Study on A Mathematical Formulation of Protection Ratio and Its Calculation for Fixed Radio Relay System with Diversity

서 경환

Kyoung-Whoan Suh

### 요약

본 논문에서는 다이버시티 구조를 갖는 고정 무선 중계 시스템의 보호비 계산을 위한 수학적 표현과 계산 방법을 제안한다. 공간 또는 주파수 다이버시티를 갖는 시스템의 보호비 계산과 물리적 의미를 분석하며, 특히 다이버시티 개선인자에 관련된 안테나 이득, 안테나 이격거리, 주파수, 캐리어 주파수간 이격, 거리의 변수에 따라 보호비를 고찰한다. 계산 결과의 한 예로 주파수 6.2 GHz, 거리 60 km, 64-QAM, 수직 이격거리 25 m인 공간 다이버시티 시스템의 동일 채널 보호비는 약 60 dB가 되며, 이는 적용하지 않는 경우보다 약 15 dB 적음을 알 수 있었다. 또한 동일한 조건에서 주파수 이격 0.5 GHz인 주파수 다이버시티 시스템의 동일 채널 보호비는 약 64 dB이며, 이는 적용하지 않은 경우에 비해 약 11 dB 적음을 알 수 있었다. 결과적으로 공간 다이버시티 시스템이 주파수 다이버시티 시스템보다 간섭에 덜 민감하며, 이는 주어진 간섭에 대해 상대적으로 양호한 품질을 확보할 수 있음을 시사한다.

### Abstract

In this paper, a mathematical formulation of protection ratio and its calculation method are suggested for a radio relay system with diversity techniques. The analysis of protection ratio and its physical meaning have been performed for the space or frequency diversity system, and in particular protection ratios are reviewed in terms of the parameters of diversity improvement factor, which comprises antenna gain, separation distance between antennas, frequency and its difference between carriers, and distance. As one of simulated results, the co-channel protection ratio of 60 dB is obtained for the space diversity system regarding 6.2 GHz, 60 km, 64-QAM, and 25 m between antennas, which gives 15 dB less than the co-channel protection ratio of the non-space diversity system. In addition, the co-channel protection ratio for the frequency diversity system gives 64 dB in case of frequency offset of 0.5 GHz under the same conditions as the space diversity system, which brings about 11 dB less than the co-channel protection ratio of non-frequency diversity system. In consequence, it is interesting to note that the space diversity system is less sensitive to interference in comparison to the frequency diversity system and provides better quality of service for a given interference.

Key words : Radio Relay System, Diversity Technique, Protection Ratio, Fade Margin

### I. 서 론

최근 이동 통신의 눈부신 발전으로 국가 IT 산업

의 중추적인 역할을 하고 있으며, 그 매체가 되는 주파수 자원의 중요성이 효율적 활용과 경제성 측면에서 크게 부각되고 있다. 따라서 정부에서는 상대적

「이 논문은 2006년도 강남대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.」

강남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kangnam University)

· 논문 번호 : 20060228-018

· 수정완료일자 : 2006년 4월 6일

으로 이용량과 이용 효율이 떨어지는 주파수 대역의 철거 및 재배치를 연구하고 있다<sup>[1]</sup>. 그 중에서 상대적으로 수요가 감소하거나 정체중인 무선 중계 주파수 대역에 대한 연구가 활발하며, 활용도를 높이기 위해 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 운용중인 무선 중계 시스템이 요구하는 성능 목표를 만족하고 또한 채널 재배치를 가능케 하는 동일 및 인접 채널의 허용 간섭 기준에 대한 선행 연구가 필수적으로 수반되어야 한다<sup>[2],[3]</sup>.

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<sup>[2],[3]</sup>. 보호비는 동일 또는 타 무선 통신 시스템 간의 망 설계에 적용되는 중요한 변수로써 해당 무선망의 간섭 영향을 받는 수신기에 허용되는 신호 대 간섭 전력의 최소비이다. 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  $C/I$ 보다 크면 해당 무선망 설계가 허용하는 간섭범위 내에서 적절하게 되었음을 판단한다. 이에 대한 연구로는 지난 10여 년 동안 주로 ETSI, ITU-R, RA, ACA 등에서 수행되었으며<sup>[4]~[7]</sup>, 고정 무선 중계 시스템의 주파수 조정을 위해 간섭 신호의 허용 한계 또는 보호비 산출에 대해 제시되었다. 또한 최근에 기존 연구에서 미흡했던 부분을 보완하여 보다 체계적이고 확장이 용이한 포괄적인 형태의 보호비 산출 알고리즘을 제시된 바 있으며<sup>[8],[9]</sup>, 이는 다중 경로 및 감우 감쇠를 포함하여 밀리미터파 대역의 고정 무선 중계의 주파수 조정에도 적용이 가능하다.

무선망 설계의 주파수 조정에 필요한 보호비는 간섭 유형에 따라 동일 채널의 보호비와 인접 채널의 보호비로 나눈다. 전자는 동일한 채널 대역폭에 유입되는 간섭에 대한 보호 기준을 설정한 것이며, 특정한 비트 오율에 주어지는 수신기 감도( $C/N$ ), 허용하는 잡음 대 간섭 전력의 비( $N/I$ ), 다중 간섭 허용(MIA), 페이드 마진(Fade Margin: FM)의 함수로 표현

된다. 특히 페이드 마진은 연중 가용율을 예측하는 다중 경로에 의한 주파수 선택적 페이딩과 주로 11 GHz 이상의 주파수에서 고려되는 경우 감쇠에 의한 균일 페이딩으로 구성된다<sup>[10]~[12]</sup>. 한편 후자는 인접 채널로부터 유입되는 간섭에 대한 보호 기준을 설정한 것이며, 동일 채널 보호비로 표현되는 변수와 인접 채널에서 유입되는 간섭을 줄여 주는 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 NFD 만큼 감하게 된다<sup>[3],[8],[9]</sup>.

장거리 무선 중계 시스템은 전파 환경에 따라 다중 경로 페이딩을 겪게 되며, 이는 시스템의 전송 품질 또는 가용율을 저하시키는 주 요인이 된다. 따라서 전송 품질 개선을 위한 방법 중의 하나로 RF 대역에서는 시스템의 다이버시티(diversity) 기술을 적용한다<sup>[13]~[15]</sup>. 이는 크게 공간, 주파수, 그리고 이들을 혼합한 공간 및 주파수 다이버시티로 나눈다. 먼저 공간 다이버시티는 주(main) 및 다이버시티 안테나를 공간상으로 수직으로 이격시켜 다중 경로에 의한 신호를 받아 IF 또는 기저 대역에서 두 신호를 적절히 결합하는 알고리즘을 적용한다. 한편 주파수 다이버시티는 동일한 정보를 서로 다른 RF 캐리어를 갖는 채널로 전송하며, 수신기 복조부에서는 신호의 오류가 적은 부분을 선택하는 방법이다. 하지만 주파수의 효율적인 사용 측면에서는 주파수 다이버시티가 공간 다이버시티보다 좋지 못하다. 그리고 공간 및 주파수 다이버시티는 앞의 두 가지 방식을 동시에 적용한 경우이며, 해월 구간 또는 호수 등의 페이딩이 매우 심하여 전송 품질을 더 개선하고자 하는 경우에 적용이 가능하나, 경제적 측면 및 주파수 효율 등이 고려되어야 한다<sup>[16]</sup>.

본 논문에서는 고정 무선 중계 망에서 다이버시티 구조를 갖는 시스템의 보호비 계산을 위한 수학적 표현과 계산 방법을 제안하고, 실제 적용하는 주파수에 대해 보호비의 계산과 그 결과를 제시한다. 주파수 6.2 GHz 대역에 대해 장거리 무선 중계 장치의 공간 또는 주파수 다이버시티의 적용 유무에 따른 시스템의 보호비 계산과 물리적 의미를 분석하며, 특히 다이버시티 개선인자에 관련된 안테나 이

격거리 및 이득, 주파수 및 주파수 이격, 거리 등의 변수에 따라 변화하는 보호비를 고찰한다.

## II. 주파수 조정 및 보호비

### 2-1 주파수 조정

고정 무선 중계 시스템의 간섭 계산 및 보호비 적용을 위해 그림 1에서는 간섭 시나리오의 전형적인 예를 제시하였다. 여기서 링크 'AB'는 기존 서비스를 의미하며, 링크 'CD'는 새로 제안하는 링크이다. 잠재적 간섭 경로('AD' 및 'CB')는 해당하는 안테나의 주 빔 방향에 대해 각각 송신 및 수신 안테나가 상대적인 변별도 각  $\theta'$  및  $\theta$ 를 갖는 것으로 하였다<sup>[3]</sup>.

한편 원하는 또는 원하지 않는 수신신호 레벨은 다음과 같이 표현된다.

$$P_r = P_t + G_t - L_t - L_b + G_r - L_r \quad (1)$$

여기서  $P_r(\text{dBm})$ 은 수신기 입력 단에서 RF 신호 전력,  $P_t(\text{dBm})$ 은 송신기 출력 단에서 RF 신호 전력,  $G_t(\text{dBi})$ 는 수신기 방위각에서 송신 안테나의 이득,  $L_t(\text{dB})$ 는 송신기와 관련된 피더(feeder) 및 브랜칭(branching) 손실,  $L_b(\text{dB})$ 는 송신과 수신 안테나 사이의 전체 전송 손실,  $G_r(\text{dBi})$ 는 송신기 방위각에서 수신 안테나의 이득, 그리고  $L_r(\text{dB})$ 는 수신기와 관련된 피더 및 브랜칭 손실을 의미한다.

이러한 간섭 관리 기준에 대한 수신 신호 레벨 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<sup>[3]~[5]</sup>.

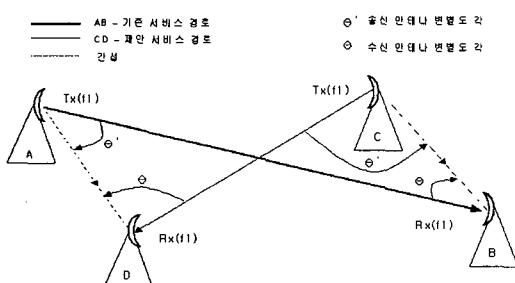


그림 1. 주파수 조정을 위한 무선 중계망의 예  
Fig. 1. Example of radio relay networks for frequency coordination.

$C/I =$  원하는 신호전력( $\text{dBm}$ )

$$- 원하지 않는 신호전력( $\text{dBm}$ ) \quad (2)$$

결과적으로 성공적인 주파수 조정을 위해서는 식 (2)의  $C/I$ 와 기 설정된 보호비와 비교하여 판단하게 되며, 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$C/I \geq PR \quad (3)$$

식 (3)의 물리적 의미는 기존 운용 중인 고정 무선 중계망에 신설하고자 하는 링크가 있는 경우, 신설 시스템의 송신기로부터 피해 수신기 즉, 기준 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 판단하여 결국 주파수 조정 또는 망 설계가 적절히 되었다고 결론을 내리게 된다.

### 2-2 보호비 수학적 표현

보호비는 무선 통신망에 허용되는 신호 대 간섭 전력의 최소 비를 의미하며, 시스템에서 필요한 보호비는 페이드 마진( $FM$ )과 통합 필터 변별도( $NFD$ )를 고려하면 다음과 같이 표현된다<sup>[3],[8],[9]</sup>.

$$PR = C/N(BER 10^{-y}) + FM + N/I + MIA - NFD \quad (4)$$

여기서  $C/N$ 은 일반적으로  $BER=10^{-6}$ 에서 선정된 변조 방식별로 주어지는 값이다.  $N/I$ 는 잡음 대 간섭신호의 비로써 잡음 신호원이 수신기에 유입되어  $C/N$  또는 수신 한계 레벨이 0.5, 1, 2 dB 열화가 일어나는 경우로 채택하며, 이는  $N/I$ 가 각각 약 10, 6, 3 dB가 됨을 정의하고 있다.  $MIA$ (Multiple Interference Allowance)는 다중간섭허용으로 패해 수신기 둘레에 여러 간섭원이 존재할 때에 대한 기준으로 일반적으로 약 4.0 dB( $=10\log(0.6 \times M)$ , 여기서  $M$ 은 간섭 신호원)를 적용한다.  $NFD$ (Net Filter Discrimination)는 송신기 및 수신기의 주파수가 다른 경우, 채널 대역폭이 같거나 다를 때의 간섭 신호 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 동일한 대역으로 유입되어 필터에 의한 간섭 제거의 역할이 전무하기 때문이다. 식 (4)의 보호비 산출에 관

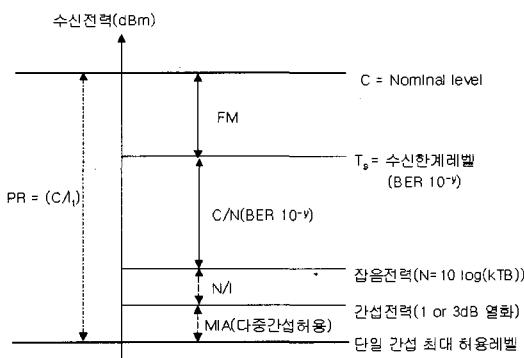


그림 2. 보호비의 도식적 개념

Fig. 2. Pictorial concept of protection ratio.

련된 변수를 도식적으로 나타낸 것이 그림 2이다<sup>[3],[8],[9]</sup>. 그림에서  $PR = C/I_t$ 에서  $C$ 는 정상적인 수신 레벨의 전력이며,  $I_t$ 는 전체 간섭 전력을 의미한다.

이상에서 설명한 고정 무선 중계 시스템의 보호비 계산 절차와 주파수 조정과의 관계를 그림 3과 유사하게 선행 연구에서 도식적으로 제시된 바 있으며<sup>[8],[9]</sup>, 다이버시티를 갖는 시스템의 경우에는 기존의 보호비 산출 알고리즘에 그림 3과 같이 다이버시티 개선 인자를 추가하여 동일 채널 및 인접 채널 보호비를 산출하게 된다.

### III. 페이드 마진의 수학적 표현

#### 3-1 페이드 마진(FM)

일반적으로 장거리 무선 중계 시스템에 적용되는 주파수는 대개 3.9~11 GHz 대역을 사용하며, 그림

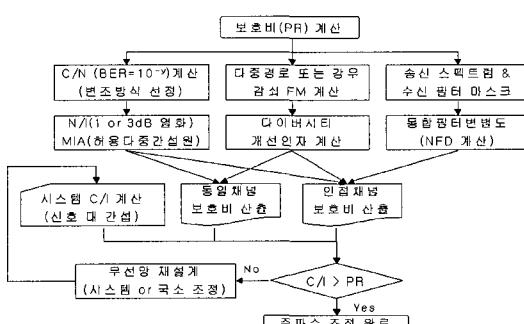


그림 3. 주파수 조정을 위한 보호비 산출 알고리즘

Fig. 3. Algorithm of PR calculation for frequency coordination.

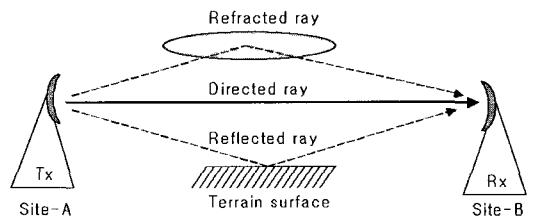


그림 4. 다중 경로 페이딩의 구조

Fig. 4. Structure of multi-path fading.

4에서와 같은 다중 경로에 기인한 주파수 선택적 페이딩이 발생한다. 즉, 국소-A에서 안테나를 통해 송신된 신호는 직접 국소-B의 수신기 안테나에 유입되는 직접파와 지표면 반사에 의한 반사파와 대기의 불균일한 층에 기인한 굴절파의 합인 간접파로 구성된다. 이러한 직접파와 간접파의 합은 주파수 영역에서 채널 모델링에 의한 분석은 특정한 채널 내에서 스펙트럼 왜곡을 유발하여 결과적으로 전송 품질의 열화를 초래한다. 이러한 페이딩을 대응하기 위한 RF 기술로는 공간, 주파수, 그리고 공간 및 주파수 다이버시티 기술들을 적용하고 있다<sup>[13]~[15]</sup>.

장거리 무선 중계 주파수 대역에서는 다중 경로에 의한 주파수 선택적 페이딩이 강우 감쇠에 의한 균일 페이딩보다 시스템에 심각한 영향을 미친다. 따라서 연중 가용을 예측에 필요한 다중 경로의 페이드 마진을 확보하면 강우 감쇠에 대한 균일 페이드 마진은 자연히 대처가 된다. ITU-R P.530-10에 의하면 최악 월에 대해 수신된 전력  $p$ 가  $p_0$ 보다 적거나 동일하게 될 확률은 다음과 같이 주어진다<sup>[10]~[12]</sup>.

$$P(p \leq p_0) = K d^{3.6} f^{0.89} (1 + |\epsilon_p|)^{-1.4} \frac{p_0}{p_n} \times 10^{-2} \quad (5)$$

여기서  $K$ 는 지형기후인자로 표 1과 같이 주어지며,  $d$ 는 거리(km),  $f$ 는 주파수(GHz),  $p_n$ 은 페이딩이 없을 경우의 수신된 전력이다.  $\epsilon_p$ 는 경로 기울기(milliradians)로  $|h_R - h_T|/d$  이며,  $h_R$  및  $h_T$ 는 각각 송신 및 수신 안테나의 높이다. 식 (5)의 타당한 범위는 거리 7~95 km, 주파수 2~37 GHz이다. 일반적으로 다중 경로의 페이드 마진(FM)은 페이딩이 가장 많이 발생하는 해당 월의 평균치로 어떤 시간 백분율을 초과하는 경우의 페이딩 깊이이다. 따라

서식 (5)에서 선정된 시간백분율을 만족시키기 위해 필요한 페이드 마진은 다음과 같이 정리된다.

$$FM = 10 \log \left( Kd^{3.6} f^{0.89} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1.4} \right) - 10 \log (p_w) \quad (6)$$

여기서  $FM = 10 \log \left( \frac{p_n}{p_0} \right)$ 이며,  $p_w = P(p \leq p_0) \times 100\%$ 로 시간 백분율을 나타낸다. 식 (6)이 갖는 물리적 의미를 살펴보면 무선망 설계에서 년간 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 합수로 표현되는 식 (6)의 페이드 마진의 최소값이 실제 수신 시스템의 열(thermal) 페이드 마진보다 커야함을 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 기울기가 -100 N units/km보다 적을 시간에 대한 백분율이다. 한국의  $P_L$ 은 ITU-R P.453-9에 의하면 1, 5, 10을 갖는다<sup>[17]</sup>.

### 3-2 다이버시티 구조의 페이드 마진

#### 3-2-1 공간 다이버시티

그림 5에서는 공간 다이버시티 시스템 구조를 나타낸 것이다. 주 및 다이버시티 안테나에 수신된 각각의 신호들은 IF 대역의 컴바이너에 의해 하나의 신호로 되어 복조부의 입력이 된다. 이중 공간 다이

표 1. 지형 기후인자  $K$ Table 1. Geoclimatic factor  $K$ .

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

버시티를 적용하는 경우에 출력 신호가  $p_0$ 보다 적거나 동일할 확률은 다음과 같이 주어진다<sup>[11],[13]</sup>.

$$P_r(p_r \leq p_0) = \frac{P(p \leq p_0)}{i_0} \quad (7)$$

여기서  $i_0$ 는 공간 다이버시티 개선인자이며, 다음과 같이 표현된다.

$$i_0 = 1.21 \times 10^{-3} \times \frac{d^2 f}{d} \frac{g_s}{g_p} \left( \frac{p_n}{p_0} \right) \quad (8)$$

여기서

$g_s$  및  $g_p$ : 주(main) 및 2차 안테나의 이득

$f$ : 동작 주파수(GHz)

$d$ : 경로 길이(km)

$d_c$ : 안테나 중심 간의 거리(m)

식 (8)의 타당성은 다음과 같은 조건에서 갖는다.

① 주 및 2차 안테나의 이득 비:  $0.25 \leq \frac{g_s}{g_p} \leq 1$

② 동작 주파수:  $2 \leq f \leq 11$

③ 전송 거리:  $22.5 \leq d \leq 65$

④ 안테나간의 거리:  $5 \leq d_c \leq 25$

⑤ 페이딩의 깊이가 발생할 확률:

$$10^{-5} \leq \frac{p_0}{p_n} \leq 10^{-3}$$

⑥ 개선 인자:  $10 \leq i_0 \leq 200$

식 (7)과 (8)을 식 (5)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$FM = \frac{1}{2} \left[ 10 \log \left( \frac{Kd^{3.6} f^{0.89} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1.4}}{1.21 \times 10^{-3} \times \frac{d^2 f}{d} \frac{g_s}{g_p}} \right) - 10 \log (p) \right] \quad (9)$$

여기서

$$p(\%) = P_r(p_r \leq p_0) \times 10^2 \quad (10)$$

이며,  $p$ 는 최악 월에 비가용율이 1.0~0.0001 % 또는 가용율( $1-p$ )이 99.0~99.9999 %를 가질 수 있다.

#### 3-2-2 주파수 다이버시티

그림 6에서는 주파수 다이버시티를 적용하는 시스템의 구조를 나타낸 것이며, 다이버시티 적용에

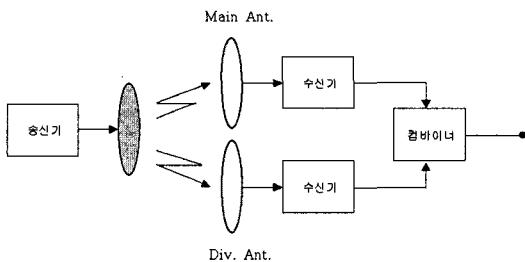


그림 5. 공간 다이버시티를 갖는 무선 중계 시스템의 구조

Fig. 5. Structure of radio relay system with space diversity.

따른 개선인자는 다음과 같이 주어진다<sup>[11],[13]</sup>.

$$i_0 = \frac{80}{fd} \frac{\Delta f}{f} \frac{p_n}{p_0} \quad (11)$$

여기서  $\Delta f$ 는 캐리어 주파수(GHz)의 차이를 의미하며,  $\Delta f$ 가 0.5 GHz 이상인 경우에는  $\Delta f=0.5$  GHz로 둔다. 식 (11)의 타당한 조건은 다음과 같다.

- ① 동작 주파수:  $2 \leq f \leq 11$ ;
- ② 전송 거리:  $30 \leq d \leq 70$ ;
- ③ 중심 주파수에 대한 캐리어 주파수의 편이:  $\Delta f/f \leq 0.05$ ;
- ④ 개선 인자:  $i_0 \geq 5$ .

식 (7)과 (11)을 식 (5)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$FM = \frac{1}{2} \left( 10 \log \left( \frac{Kd^{3.6}f^{0.89}(1 + |\epsilon_p|^{-1.4})}{\frac{80}{fd} \frac{\Delta f}{f}} \right) - 10 \log(p) \right) \quad (12)$$

여기서  $p$ 는 식 (10)과 동일한 의미를 갖는다.

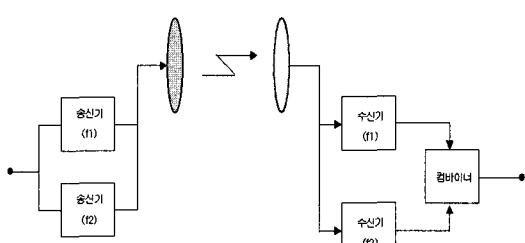


그림 6. 주파수 다이버시티를 갖는 시스템의 구조

Fig. 6. Structure of radio relay system with frequency diversity.

표 2. M-ary QAM에 대한 C/N

Table 2. C/N for 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

#### IV. 보호비 계산 및 고찰

##### 4-1 다이버시티를 적용하지 않은 경우

현재 무선 중계 시스템에 적용되는 변조 방식은 다양할 수 있으나, 여기에서는 대표적으로 M-ary QAM에 국한하였다. 식 (4)에서 비트 오율(BER)의 함수인 C/N은 변조방식 및 코딩에 따라 다르기 때문에 하나의 기준 정립을 위해 ITU-R F.1101의 자료로부터 표 2를 작성하였다<sup>[18]</sup>.

식 (4)를 이용하여 동일 채널 보호비 계산을 위해 적용된 변수는 주파수  $f=6.2$  GHz, 64-QAM,  $C/N = 23.8$  dB,  $N/I = 6.0$  dB,  $MIA = 4.0$  dB, 시간 백분율  $p_w = 0.01$  %,  $P_L = 10$  %,  $NFD = 0$ ,  $K = 10^{-6.5} \times P_L^{1.5}$ , 경로 경사각( $\epsilon_p$ ) = 0에 대해 거리의 함수로 페이드 마진(FM) 및 보호비(PR)를 표 3에 나타내었다.

표 3에서 제시된 보호비는 동일 채널 간섭에 대한 값이며, 인접 채널 보호비는 동일 채널 보호비에서 NFD 값만큼 빼주면 된다. 표 3에서 하나의 예로 거

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

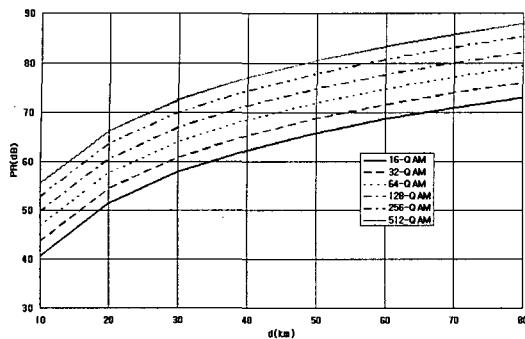


그림 7. M-ary QAM에 대한 보호비

Fig. 7. PR for M-ary QAM.

리 60 km에서의 페이드 마진(FM)은 41.1 dB, 보호비(PR)는 74.9 dB가 됨을 보여준다. 이 보호비가 갖는 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 변조방식을 채택한 경우의 보호비는 64-QAM 변조에 비해  $C/N$ 이 2.9 dB 더 크므로 77.8(=74.9+2.9) dB가 된다. 동일한 개념으로 확장한 M-ary QAM 변조의 보호비를 그림 7에서 제시하였으며, 단지  $C/N$  값의 차이에 따른 변화가 있음을 보여준다.

#### 4-2 다이버시티를 적용하는 경우

##### 4-2-1 공간 다이버시티

먼저 공간 다이버시티 구조에서 식 (8)을 이용하여 개선인자를 구하기 위해 관련된 변수를 정의하자. 그림 8은 주 및 다이버시티 안테나의 이득은 동일하고, 동작 주파수, 거리 및 기타 변수는 앞의 다이버시티를 적용하지 않은 그림 7과 동일하게 하였을 때, 식 (9)를 이용하여 두 안테나 중심 간의 거리( $d_c$ )를 함수로 64-QAM 대해 계산된 보호비를 제시하였다. 결과에서 알 수 있듯이 공간 다이버시티를 적용하면 상대적으로 보호비가 감소하며, 또한  $d_c$ 가 증가할수록 보호비는 더 감소함을 알 수 있다. 다른 M-ary QAM에 대한 보호비는 64-QAM 시스템의 보호비에서 표 2로부터 상대적인  $C/N$  값을 가감하여 쉽게 도출할 수 있다.

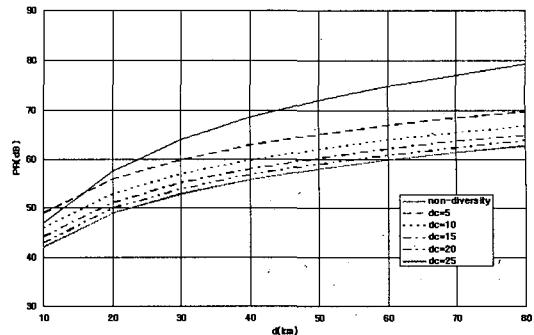


그림 8. 안테나 간격에 대한 공간 다이버시티의 보호비

Fig. 8. PR of space diversity for antenna distance.

다음은 주 및 다이버시티 안테나의 간격,  $d_c=15$  m로 하고, 나머지 변수들은 그림 8과 동일한 조건에서 두 안테나의 이득 차이에 따른 보호비를 그림 8에서 구한 값으로부터 크기의 변화를 주면 그림 9와 같은 결과를 얻을 수 있다. 결과에서 알 수 있듯이 주 및 다이버시티 안테나의 이득 차이가 없을 때 선택된 거리에서 가장 보호비가 적어짐을 알 수 있다. 이는 식 (9)에서  $g_s/g_p$ 의 비율이 0.25인 경우, 동일한 이득을 갖는 안테나 경우에 대해 페이드 마진이 약 3 dB 더 크게 됨을 보여준다. 따라서 공간 다이버시티 시스템 구성 시에는 가능한 두 안테나의 이득이 동일한 것을 적용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

한편 그림 10에서는 두 안테나의 이득이 동일하고 거리  $d_c$ 가 15 m인 경우, 나머지 변수는 그림 8과 동일한 조건에서 주파수 변화에 따른 보호비를

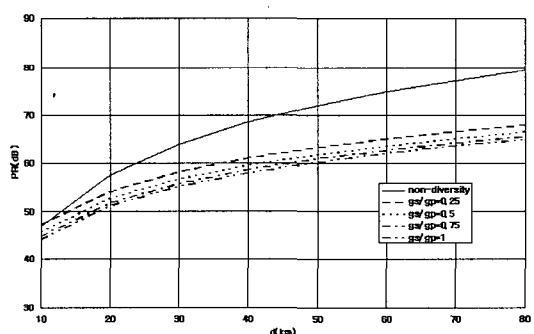


그림 9. 안테나 이득 차에 대한 공간 다이버시티의 보호비

Fig. 9. PR of space diversity for antenna gain difference.

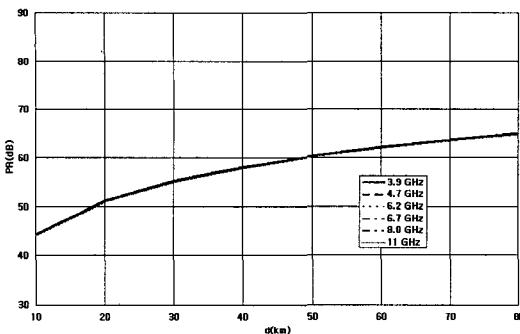


그림 10. 주파수 변화에 대한 공간 다이버시티의 보호비  
Fig. 10. PR of space diversity as a function of frequency.

보기 위해 장거리 무선 중계 주파수의 대표적인 3.9 ~ 11 GHz 대역에 대해 제시하였다. 결과에서 알 수 있듯이 주파수가 증가함에 따라 페이드 마진이 줄어들지만 그 차이는 거의 무시됨을 알 수 있으며, 또한 식 (9)로부터 예측할 수 있는 결과이다. 따라서 주파수 조정을 위한 무선 망 설계시에 다이버시티 구조에 주파수 변화를 줄 수 있으나, 주파수 변화에 따른 보호비의 차이는 매우 미약함을 알 수 있다.

#### 4-2-2 주파수 다이버시티

주파수 다이버시티 시스템의 보호비 산출을 위해 주파수 6.2 GHz, 64-QAM, 중심 주파수에 대한 캐리어 주파수의 편이인  $\Delta f/f$ 가 0.01 ~ 0.05이고, 나머지 변수들의 값은 그림 8과 동일하게 하였다. 이로부터 전송 거리에 따른 보호비를 그림 11에 제시하였으

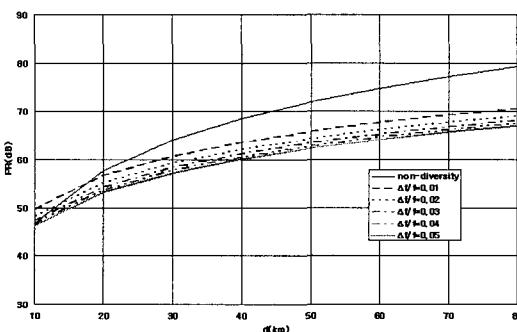


그림 11.  $\Delta f/f$  따른 주파수 다이버시티의 보호비  
Fig. 11. PR of frequency diversity as a function of  $\Delta f/f$ .

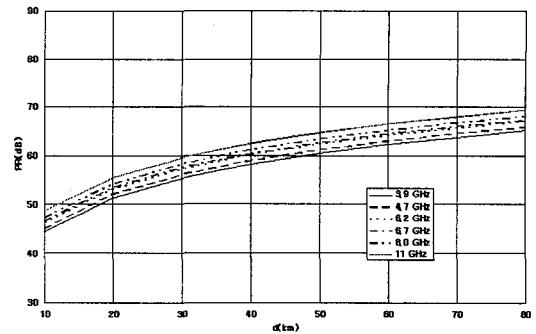


그림 12. 주파수에 따른 주파수 다이버시티의 보호비  
Fig. 12. PR of frequency diversity as a function of frequency.

며,  $\Delta f/f$ 가 증가함에 따라 보호비가 감소함으로 가능한  $\Delta f/f$  범위 내에서 크게 하는 것이 보호비가 작아짐을 알 수 있다. 또한 고정된  $\Delta f/f = 0.05$ 에 대해 나머지 변수들은 그림 11과 동일한 경우, 주파수 3.9 ~ 11 GHz 변화에 따른 보호비를 그림 12에 제시하였다. 식 (12)에서 알 수 있듯이 주파수 증가에 따라 페이드 마진이 증가함으로 결국 보호비도 증가하게 됨을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 고정 무선 망에서 다이버시티 구조를 갖는 시스템의 보호비 계산을 위한 수학적 표현과 방법을 제안하였으며, 실제 사용하는 주파수에 대해 보호비의 계산 및 결과를 제시하였다. 장거리 무선 중계 장치의 다이버시티 유무에 따른 시스템의 보호비 계산과 물리적 의미를 분석하였으며, 특히 다이버시티 개선인자에 관련된 안테나 이격거리 및 이득, 주파수 및 주파수 이격, 거리 등의 변수에 따라 변화하는 보호비를 고찰하였다.

계산 결과에 따르면 주파수 6.2 GHz, 거리 60 km, 64-QAM, 수직 이격 거리 25 m를 갖는 공간 다이버시티 시스템의 동일 채널 보호비는 약 60 dB가 되며, 이는 다이버시티를 적용하지 않는 경우보다 약 15 dB 적음을 알 수 있었다. 또한 동일한 조건에서 주파수 이격 0.05인 주파수 다이버시티를 적용하는 경우의 동일 채널 보호비는 약 64 dB이며, 이는 적용하지 않은 경우에 비해 약 11 dB 감소함을 알 수 있었다. 결과적으로 공간 다이버시티 시스템이 주파수

다이버시티 시스템에 비해 보호비가 상대적으로 작아 간섭에 덜 민감한 것으로 나타났다. 따라서 실제 간섭이 예상되는 어떤 구간의 링크 설계이거나 또는 기존 링크에 신설 타 무선 통신망(이동, 위성, 레이더 등)의 간섭이 우려되는 경우에 기존 무선 중계 시스템에 공간 다이버시티를 도입하면 간섭에 대한 영향을 보호비의 차이만큼 완화시킬 수 있음을 시사한다. 하지만 이것은 다이버시티를 적용하지 않고 충분한 보호비를 확보할 수 있는 망 설계가 우선 선행되어 함을 내포하고 있다.

제안된 다이버시티 시스템의 보호비 산출 방법은 다음과 같은 의미를 갖는다. 첫째, 고정 무선 중계 시스템 간은 물론, 고정 무선 중계와 이동통신, 위성통신, 기타 무선 통신 간의 주파수 조정에 적용이 가능하다. 둘째, 실제 고정 무선 중계 망의 설계시에 간섭 계산으로부터 설계의 적절성을 판단하는 보호비 산출 및 기준을 체계적으로 정립하였다. 셋째, 제안된 방법은 가용율 계산에 적용하는 몇몇 페이드 마진 수식에 대입하면 동일 채널 보호비로부터 인접 채널 보호비도 다이버시티 구조에 따라 체계적으로 확장 및 계산이 가능하다.

## 참 고 문 헌

- [1] 서경환, "M/W 채널 재배치를 위한 타 시스템 수용방안에 관한 연구", 한국전자통신연구원, 2003년 11월.
- [2] 서경환, "디지털 M/W 통신망의 동일 및 인접채널 허용 간섭 기준 연구", 한국전자통신연구원, 2004년 11월.
- [3] 서경환, "정량적 분석에 의한 M/W 통신망의 간섭 보호비 연구", 한국전자통신연구원, 2005년 11월.
- [4] 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.
- [5] Rec. ITU-R F. 758-3, "Considerations in the development of criteria for sharing between the terrestrial fixed service and other services", 2004.
- [6] UK, "Technical frequency assignment criteria", RA, Jun. 2003.
- [7] Australian Communications Authority(ACA), Microwave Fixed Service Frequency(RALI, FX3), 2003.
- [8] 서경환, 이주환, "고정 무선 중계 망의 간섭분석을 위한 보호비 계산에 대한 연구", 대한전자공학회논문지, 43(1), pp. 133-142, 2006년.
- [9] 서경환, "인접채널 간섭 분석을 위한 고정 무선 중계 시스템의 NFD 및 보호비 계산에 대한 연구", 한국전자과학회논문지, 16(11), pp. 1138-1146, 2005년 11월.
- [10] Rec. ITU-R P.530-10, "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight-systems", 2004.
- [11] Carlos Salema, *Microwave Radio Links*, John Wiley, 2003.
- [12] Roger L. Freeman, *Radio System Design for Telecommunications*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [13] A. Vigants, "Space diversity engineering", *Bell System Technical Journal*, vol. 54, no. 1, pp. 103-142, 1975.
- [14] W. D. Rummel, "A new selective fading model: application to propagation data", *The Bell System Technical Journal*, vol. 58, pp. 1037-1072, 1979.
- [15] A. A. R. Townsend, *Digital Line-of-Sight Radio Links: A Handbook*, Prentice-Hall, International(UK), 1988.
- [16] 서경환, "디지털 마이크로웨이브 링크 설계를 위한 전송품질 및 주파수 이전에 대한 연구", 한국전자과학회논문지, 14(5), pp. 489-498, 2003년 5월.
- [17] Rec. ITU-R P.453-9, "The radio refractive index: its formula and refractive data", 2004.
- [18] Rec. ITU-R F.1101, "Characteristics of digital fixed wireless systems below about 17 GHz", 2004.

## 서 경 환



1983년 2월: 경북대학교 전자공학  
과 (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 전자공학과 교수

[주 관심분야] 무선통신시스템 설계 및 성능분석, 변복조  
및 등화기 설계, 마이크로파 회로설계