

# 동일 채널방식을 이용한 디지털 무선 중계시스템의 성능평가

## Performance Evaluation of Co-channel Digital Radio-relay Systems

이형수\* · 이일근\*\*

Hyung-Soo Lee\* · Ill-Keon Rhee\*\*

### 요 약

무선 중계시스템을 통한 전파 전송방식중 동일 채널 중계방식은 현재 보편적으로 사용중인 인터리브드방식에 비하여 특히 주파수 이용 효율면에서 커다란 장점을 가지고 있으므로, 한정된 주파수 자원의 효율적 운용을 위하여 이러한 동일 채널 중계방식의 개발 및 적용에 대한 연구는 매우 중요한 의미를 지닌다. 본 논문에서는 10GHz 이하 대역에서 동일 채널 무선 중계방식을 사용하는 디지털 시스템의 성능 및 페이드마진 계산 방안을 제시하였으며 시뮬레이션을 통해 실제 상황에서의 적용방안을 다루었다.

### Abstract

The co-channel digital radio-relay system improves effectively the use of radio frequency allocations by transmitting signals separately on both orthogonal allocations, and thereby not only the total transmission capacity of frequency band but also its bandwidth efficiency are almost doubled, compared to the interleaved digital radio-relay system. Therefore, the study on the development and application of the co-channel scheme is of importance, for the efficient use of limited frequency band. In this paper, we derived the equations for calculating fade margin as a function of path length as well as error performance in terms of the outage probability for co-channel digital radio-relay system below 10GHz. And, simulation was given to demonstrate how to apply those equations to the real situation.

### I. 서 론

무선 중계시스템(Radio-relay System)은 대류권 전파전파를 사용하는 약 30MHz 이상의 주파수에서 운용되는 고정업무 전파통신 시스템으로서, 통상적으로 하나 이상의 중계국(Repeater station)

ion)과 변조기, 송신기, RF 분파기(branching), 안테나, 수신기, 복조기 등으로 이루어진 두 개의 종단국(Terminl station)으로 구성된다[1].

이러한 중계시스템을 통하여 전파를 전송하기 위한 방식으로 현재까지 보편적으로 사용되고 있는 중계방식은 인터리브드(Interleaved)방식이다. 이는 RF 채널간의 간섭을 최소화하기 위한 방식으로

\* 한국전자통신연구소 전자파공학연구소

\*\* 한남대학교 전자공학과

· 논문번호 : 96-2-027

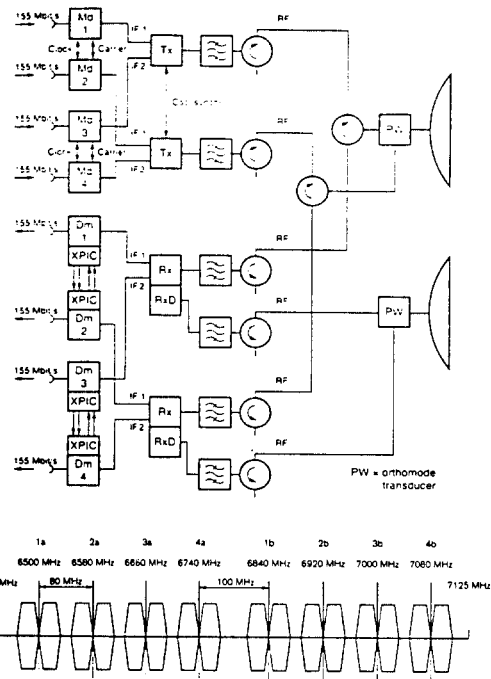
· 접수일자 : 1996년 6월 22일

서, 종단국 및 중계국에서의 송신과 수신을 위하여 모든 송신 채널은 대역의 한쪽 1/2에 있고, 모든 수신 채널은 대역의 다른 쪽 1/2에 위치시키며, 동일 1/2 대역내 인접 주파수 채널의 경우 상이한 편파가 선택적으로 사용하도록 ITU-R에서 권고하고 있다[2],[3]. 그러나 이러한 인터리브드 방식의 단점으로 주파수 이용 효율의 제한성을 들 수 있다. 즉, 전체 사용 대역에서 하나의 채널이 점유하고 있는 주파수 대역폭 내에서 다른 채널을 사용할 수 없기 때문에 주파수 이용 효율이 100%를 넘지 못한다.

현재 국내외적으로 한정된 주파수 자원의 효율적 운용을 위한 방안들이 활발히 연구되고 있다. 특히 ITU를 중심으로 M/W 대역의 주파수 할당 및 표준화 작업에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 또한 한정된 주파수 자원하에서 대용량 데이터 전송을 위한 주파수 효율 증대방안도 활발히 연구되고 있는데 동일 채널 중계기술은 그 중의 하나로서 주파수 이용 효율의 증대를 가져다 주는 방법으로 지목되고 있다.

동일 채널 중계기술은 [그림 1]과 같이 단국 또는 중계국에서의 각 채널에서 이중 편파를 사용하여 동일한 주파수로 송수신을 하거나 동일 채널내에 두 개의 채널을 수직과 수평의 이중 편파를 사용하여 동시에 전송하고 수신하는 방식[4],[5]인데, 이는 인터리브드 방식에 비하여 편파분리를 사용하므로써 200%의 주파수 이용 효율을 얻을 수 있다.

국내에서도 이러한 국제 연구 동향에 부응하여 주파수 이용 효율 증대를 위하여 정부에서도 1993년초에 각 대역에서 점유 주파수 대역폭, 채널 배치 및 전송 용량의 변화를 골자로 하는 전파 지정기준 개정을 통하여 향후 고밀도 디지털 M/W 기술의 발전에 따른 주파수 이용 효율 극대화를 유도하고 있다. 이에 따라 KT에서는 동기식 디지털방식(SDH: Synchronous Digital Hierarchy)의 M/W시스템으로서 동일 채널 중계방식을 포함의 성동산과 영덕의 봉화산에 시험 설치하여 운용한 바 있다. 그러나 전체 시스템 개발 및 운용을 위한 관련



[그림 1] 동일 채널 방식의 디지털 무선 중계시스템 구조

[Fig. 1] Structure of co-channel digital radio-relay system.

국내 기술 기반이 취약하므로 지속적인 연구를 위한 노력과 투자를 필요로 하고 있다. 즉, 새로운 동일 채널방식을 이용하는 동기식 디지털 무선 중계시스템을 운용하기 위하여 향후 단국 및 중계국에서 M/W 안테나를 설치하기 위한 설치 기준에 대한 연구가 매우 중요하다. 그러기 위해서는 디지털 무선 중계시스템의 적용을 위한 성능 및 가용도 목표치들의 설정 및 시스템 성능 평가 방안의 정립이 선행되어야 한다.

본 논문에서는 동일 채널 중계방식을 이용한 새로운 동기식 디지털 무선 중계시스템 운용을 위하여 ITU에서 권고하는 사항들을 고려하여 지형 및 전파전파 경로에 따른 페이딩의 영향 등을 감안한 성능 평가 방안을 제시한다. 이때 사용된 성능 목표

치는 현재까지 사용중인 ITU-T 권고안 G.821(이하 G.821이라 함)과 1993년 말에 만들어진 ITU-T 권고 G.826(이하 G.826이라 함)에 기준하였다 [6],[7].

## II. 성능 계산

1GHz 이상 대역의 주파수에서 동작하는 지상 가시거리 무선 중계시스템의 성능에 가장 심각한 영향을 끼치는 두 가지 요인으로서 다중경로 페이딩(Multipath fading)과 강우감쇠(Rain attenuation)을 들 수 있다. 이들로 인하여 전송손실의 변화와 이에 따른 중계구간의 단축에 의해 전체 무선 중계시스템의 단가에 영향을 미치게 되는 것이다. 다중경로 페이딩은 경로 길이의 증가에 따라 증가하며 사용 주파수에는 크게 좌우되지 않는다. 그러나, 강우감쇠는 경로 길이에 따라서는 그다지 큰 변화가 없고, 사용 주파수의 증가에 따라 증가하게 된다.

강우감쇠는 일반적으로 10GHz 이하의 주파수에서는 홑길이가 50km 이상이 되어도 무시된다[8], [9]. 즉 10GHz 미만의 주파수대에서 시스템의 성능에 미치는 주요한 요인은 다중경로에 의한 페이딩이 된다. 한편, 15GHz 이상의 주파수에서는 홑길이를 20km 이하로 유지하여야 할 정도로 강우감쇠가 영향을 미치며, 이와 같이 경로 길이가 감소되면 다중경로 페이딩의 영향도 감소되기 때문에 다중경로 페이딩은 중요한 요인이 되지 못한다.

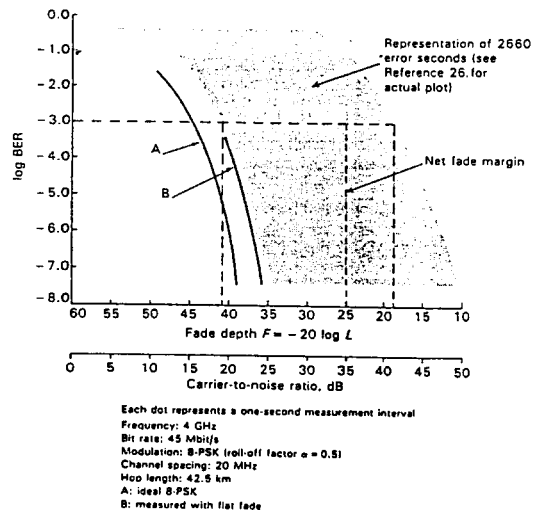
본 연구에서는 주로 10GHz 미만의 주파수대를 고려하므로 성능평가의 중요한 요인으로 작용하는 다중경로 페이딩에 따른 성능평가모형을 다루도록 한다. 다중경로 전파(Multipath propagation)는 크게 선택성 페이딩(Selective Fading 또는 Dispersive Fading)과 평면 페이딩(Flat Fading)의 두 가지를 야기시킨다. 선택성 페이딩이란 주로 부호간 간섭(ISI: Inter-Symbol Interference)을 발생시킴으로써 시스템의 동작 중단을 유발시킨다. 그러므로 선택성 페이딩은 중용량 이상의 디지털

중계시스템에서 큰 영향을 받게 된다. 그리고 디지털 중계시스템의 outage 측면에서 볼 때 평면 페이딩은 큰 의미가 없게 되는데 이는 [그림 2]와 같이 선택성 페이딩의 outage가 평면 페이딩보다 아래에서 발생하기 때문이다.

즉 BER  $10^{-3}$  평면 페이딩 마진에 상응하는 페이드 깊이가 41dB이다라도 실체는 그 이전인 19dB에서 BER  $10^{-3}$ 이 생기기 때문이다. 이는 송신 출력을 증가시키더라도 평면 페이딩에 의한 outage는 줄일 수 있을지 몰라도 선택성 페이딩의 효과는 줄일 수 없기 때문에 outage 시간에서 개선이 되지 않는다는 것을 의미한다. 그러므로 이러한 문제점을 고려해 평면 페이딩, 선택성 페이딩, 간섭 페이딩 효과를 전부 합한 종합 페이딩(Composite Fading, 또는 Net Fading, Effective Fading)개념([그림 2]의 점선)을 사용하고 있다[9],[10].

그리고 동일 채널 방식에서는 기존의 인터리브방식의 인접 및 외부 간섭외에도 교차 편파간의 간섭 페이딩을 고려한 세가지 요인에 기인하는 Outage 확률의 합으로 표현한다.

국내에서는 평면 페이딩 마진과 선택성 페이딩



[그림 2] 디지털 무선중계기의 Error율  
 [Fig. 2] Error rate plot for digital radio link.

마진값이 주어졌을 때 CCIR Rep. 338 (10) 식이나 바네트 식 (11)을 이용한 일반적인 모델링 방법을 사용하여 설계[12]하고 있으나 본 논문에서는 이러한 값이 주어지지 않더라도 시스템의 제원으로 접근할 수 있도록 하였다.

### 2-1. 선택성 페이딩에 의한 Outage 확률

선택성 페이딩 Outage계산 방법은 여러 가지가 있으나 여기에서는 ITU-R 권고안 F.1093[13]에서 제시되고 있는 시그너춰(Signature)방식으로 접근하였다.

시그너춰란 선택성 페이딩에 견딜 수 있는 수신기의 내성(Tolerance) 측정치를 그래프로 그린 것으로서, 주 경로와 반사파 경로 사이의 전파 지연시간차  $\tau_r$ (통상 6.3[ns])를 가지는 경로 시뮬레이터(Path simulator)로부터 발생하는 노치 깊이(Notch depth) 즉, 시그너춰 깊이(Bs)를 측정하여 나타낸 것을 가리킨다. 2 경로 모델(Two-ray model)로 모델링한 전파전파 경로시뮬레이터는 수신기의 출력측에서 다음과 같은 전달함수를 갖게 된다.

$$H(W) = a[1 - b \cdot \exp(-j(w - w_0)\tau_r)] \quad (1)$$

여기서  $a$ 는 scaling factor이며  $b$ 는 전파 지연시간차만큼 지연된 진폭이다. 위 식에서 알 수 있듯이  $w = w_0$ 일 때 전달 함수는  $a(1 - b)$ 의 최소값을 가지는데 이  $w_0$ 를 노치(Notch)주파수라 하며  $|H(W)|$ 를 진폭  $a$ 로 정규화한 값을 노치 깊이  $B_s$ 라 하며 그 값은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} B_s &= -20 \log \lambda = -20 \log\left(\frac{a(1-b)}{a}\right) \\ &= -20 \log(1-b) \text{ [dB]} \end{aligned} \quad (2)$$

그리고 다중경로에서 Outage 확률을 계산하기 위해서는 상대적인 echo 지연시간과 상대적인 ec-

ho 진폭 및 노치 주파수에 대한 확률분포로 가정할 수 있으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{s/mp} = C \cdot P_b(1) \cdot K_1(\tau_e/T)^2 \quad (3)$$

여기서,

$T$  : baud rate

$K_1$  : 정규화(normalized) 시스템 파라미터

$C \cdot P_b(1) \cong 2$  :  $b$ 가 1일 때의 확률분포 상수 값

$\tau_e = 0.7(d/50)^{1/3}$  [ns] : 실제 무선호에서 주 경로와 반사파 경로 사이의 지연시간차의 평균 값 [ns]

이 식에서 시그너춰 정보가 제공되는 경우가 시스템 비트율 및 변조방식이 제공되는 경우로 나누어 선택성 페이딩에 의한 Outage 확률을 구하도록 하였다.

#### 2-1-1. 시그너춰 정보 제공시

식 (3)의  $K_1$ 은  $T = 1$  ns,  $\tau_e = 1$  ns일 때의 정규화된 시그너춰에서 측정된 값으로서 다음과 같은 근사식을 갖는다.

$$K_1 = (T^2 \cdot W_s \cdot \lambda) / \tau_r \quad (4)$$

여기서  $W_s$ 는 시그너춰 폭 [GHz]이다. 시그너춰에 대한 정보가 제공되는 경우에 있어서의 선택성 페이딩에 의한 Outage 확률은 식 (4)에 식 (2)의  $\lambda = 10^{-B_s/20}$ 을 대입하면 다음 식으로 표현된다.

$$P_{s/mp} = 2 \cdot \frac{W_s \cdot 10^{-B_s/20}}{\tau_r} \tau_e^2 \quad (5)$$

그리고, 전체 경로상에서 페이딩이 발생될 아주 적은 시간을  $\eta$ 라 할 때 예측되는 outage시간은 다음 식과 같다[14].

$$P_s = 2\eta \cdot (W_s \cdot 10^{-B_s/20}) \cdot [4 \cdot 10^{-6} \cdot d^{1.3}]^2 / 6.3 \quad (6)$$

여기서,

$$\eta = 1 - \exp[-0.2 \times P_o^{0.75}] : \text{다중경로 발생 확률} \quad (7)$$

$$P_o : K \times Q \times f_c^B \times d^C : \text{다중경로 발생 계수} \quad (8)$$

$K$  : 기후 및 지형 영향에 대한 계수,

$f_c$  : 변조신호 중심주파수 [GHz],

$d$  : 회선 길이 [km],

$Q$  :  $d$ 와  $f_c$  이외의 경로 변수의 영향을 고려한 계수,

$B, C$  : 지역적 영향에 대한 계수

한편, 위의 식 (8)의  $B, C, K \times Q$ 의 실험적 값을 지역별로 조사하여 기술한 결과들이 CCIR 보고서 338-6의 부록 II에 표로서 정리되어 있으므로, 지역적 특성에 따라 적절한 파라미터값들을 선택하여 사용할 수 있다.

### 2-1-2. 시스템의 비트율과 변조방식 제공시

시그너춰 정보 대신에 시스템의 비트율 및 변조방식이 제공되는 경우에 있어서의 선택성 페이딩에 의한 Outage 확률은 식 (2)에  $T = r_b / \log_2 M$ 을 대입시켜 구할 수 있다.

$$P_s = \eta \cdot (2K_1) \cdot [4 \cdot d^{1.3} (r_b / \log_2 M) \cdot 10^{-6}]^2 \quad (9)$$

$r_b$  : 시스템 비트율 [Mbit/s]

$M$  : 변조방식의 레벨수 (4, 8 또는 64등)

여기서,

$$K_1 = \begin{cases} 15.4 & (64\text{QAM 경우}) \\ 5.5 & (16\text{QAM 경우}) \\ 7.0 & (8\text{PSK 경우}) \\ 1.0 & (\text{QPSK 경우}) \end{cases}$$

### 2-2. 평면 페이딩 및 교차 편파 간섭에 의한 Outage 확률

평면 페이딩에 의한 열잡음과 교차 편파 분리도의 저하에 의한 교차 편파 간섭(XPI: Cross Polarization Interference)들도 시스템의 Outage를 유발시키므로, 이들에 의한 Outage 확률은 다음의 식 (9)를 이용하여 구할 수 있다.

$$P_{FX} = P_o \times 10^{-AFM/10} \quad (9)$$

여기서,

$$AFM = TFM - 10 \log[1 + 10^{(-IFM + TFM)/10}]$$

: 가용 페이드 마진 [dB] (10)

$TFM$  : 열 페이드 마진 [dB]

$$IFM = XPD_o + Q + XIF - \left(\frac{C}{N+I}\right)_{th}$$

: 간섭 페이드 마진 [dB] (11)

$XPD_o$  : 페이딩이 없는 동안의 송수신 안테나의 교차 편파 분리도

$Q$  : 무선홀과 안테나종류에 따른 상수치

$XIF$  : 교차 편파 간섭제거기(XPIC: Cross Polarization Interference Canceller) 사용시 XPD 개선계수

그리고  $\left(\frac{C}{N+I}\right)_{th}$ 는 시스템 Threshold 또는 Outage threshold 신호대 잡음비로서  $N$ 은 열잡음이며,  $I$ 는 간섭잡음으로서 G.821에 따르면 BER =

$10^{-3}$ 에서, 그리고 G.826에 따르면  $BER = 2 \times 10^{-5}$ 으로 정의되고 있다.

## 2-3. 전체 Outage 확률

### 2-3-1. 다이버시티 부재시 전체 Outage 확률

다이버시티기법을 사용하지 않을 경우에 있어서, 전체 Outage 확률은 다음의 식 (12)에 주어지는 바와 같이 선택성 페이딩, 평면 페이딩 및 교차 편파 간섭의 세 가지 요인에 기인하는 Outage 확률의 합이 된다.

$$P_T = P_S + P_{FK} = P_S + P_F + P_X \quad (12)$$

여기서

$$P_F = P_o \times 10^{-TFM/10} \quad (13)$$

$$P_X = P_o \times 10^{-IFM/10} \quad (14)$$

### 2-3-2. 공간 다이버시티 사용시 전체 Outage 확률

디지털 무선 중계시스템의 outage 주요 유발요인인 다중경로전파에 효과적인 것으로 알려진 공간 다이버시티기법(SD: Space Diversity)[13][14]을 사용할 경우에 있어서, 전체 Outage 확률  $P_{TD}$ 는 다음의 식 (15)으로부터 구해진다.

$$P_{TD} = P_T^2 / SIF \quad (15)$$

여기서,

$$SIF = [1 - \exp(-3.34 \times 10^{-4} S^{0.87} f^{-0.12} d^{0.48} P_o^{-1.04})] \cdot 10^{(A-V)/10} : \text{공간 다이버시티 개선계수} \quad (16)$$

동일 채널방식을 이용한 디지털 무선 중계시스템의 성능평가

$$V = |G_1 - G_2|$$

$d$  : 경로 길이 [km]

$S$  : 공간 다이버시티용 두 안테나 사이의 거리 [m]

$f$  : 변조신호 중심주파수 [GHz]

$G_1, G_2$  : 두 안테나의 이득

그리고, 등화기(Equalizer)를 공간 다이버시티 기법과 결합하여 함께 사용하는 경우에 있어서의 개선계수 IF(Improvement Factor)는 공간 다이버시티 개선계수  $SIF$ 와 등화기 개선계수  $V$ 에 의한 다음 식과 같다[9].

$$IF = SIF \times V^2 \quad (17)$$

이때 식 (15)에서  $SIF$ 을 대신하여 식 (17)의  $IF$ 를 구하여 사용하면 된다.

## 2-4. 회선 길이에 따른 페이드 마진

식 (12)는 다이버시티 부재시 전체 Outage 확률 이므로, 이 식을  $TFM$ 에 대해서 풀게 되면, 다음의 식 (18)과 같이 단일 무선홉을 통해 전송되는 신호를 위해 요구되는 다이버시티 부재시의 페이드 마진  $TFM$ 이 얻어진다.

$$TFM = -10 \log[(P_T - P_S) / P_o - 10^{-IFM/10}] \text{ (dB)} \quad (18)$$

또는

$$TFM = F_{\max} - 10 \log[1 - 10^{-(IFM - F_{\max})/10}] \text{ (dB)} \quad (19)$$

한편,  $F_{\max}$ 는  $IFM$ 보다는 언제나 적게 되는 최대 허용 페이딩으로서 다음의 식으로 주어진다.

$$F_{\max} = 10 \log[P_o / (P_T - P_S)] \text{ (dB)} \quad (20)$$

여기서,  $P_T$ 는 27,500 km 국내 디지털 표준 의사 경로(HRP: Hypothetical Reference Path)의 착오 성능 목표치  $P_{obj}$  [15]과 같은 값이 되며,  $P_o$ 는 식 (8)과 같이 회선 길이  $d$ 의 함수가 되므로 회선 길이에 따른 페이드 마진을 구할 수 있다.

### Ⅲ. 성능평가 시뮬레이션 및 결과 분석

#### 3-1. G.821 기준 착오 성능 목표치 시뮬레이션

27,500 km 표준의사경로 HRX 내 고등급부분 25,000 km까지 적용되는 SES(Severely Errored Second) 성능 목표치는, SES 비트오율값이 관측 시간  $(0.05\% + \frac{0.04 \times 2,500}{25,000} \times H\%)$ , 여기서  $H$ 는 25,000 km 내 2,500 km HRDP의 갯수,  $1 \leq H \leq 10$  이상 동안  $10^{-3}$ 을 초과하면 안되므로 단일 홉 ( $H=1$ )에 대하여 길이  $d$ 인 경우의 비트오율 성능 목표치  $P_{obj}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다[16],[17].

$$P_{obj} = (0.05 + \frac{0.04 \times 2,500}{25,000} \times 1) \times 0.01 \times \frac{d}{2,500} \quad (21)$$

식 (21)을 이용하여, 회선 길이  $d$ 에 따른 비트오율 성능 목표치를 계산해 보면 <표 1>과 같다.

#### 3-2. G.826기준 착오 성능 목표치 시뮬레이션

27,500km 표준 의사 경로의 일부 ( $d_{\min} < d \leq 27,500$  km)를 형성하는 디지털 무선 중계시스템에 의해 전송되는 64 kbit/s 이상의 국가간의 각 방향에 대한 경로를 위한 착오 성능 목표치는 다음과 같다 [15],[17].

##### 3-2-1. $d_{\min} < d \leq d_{ref}$ [km]인 경우

$$P_{obj} = 0.002 \times [0.01 \times d / 500 + B_R \times 0.02 \times (d / d_{ref})] \quad (22)$$

여기서,

<표 1> 회선 길이에 따른 비트오율 성능 목표치

<Table 1> Error performance objectives dependence of path length

$d$ [km]	$P_{obj}$	G.826 ( $P_{obj}(\min) \leq P_{obj} \leq P_{obj}(\max)$ )	
	G.821 $P_{obj}$	$P_{obj}(\min)$	$P_{obj}(\max)$
20	$8.0 \times 10^{-7}$	$8.0 \times 10^{-7}$	$1.6 \times 10^{-6}$
40	$1.6 \times 10^{-6}$	$1.6 \times 10^{-6}$	$3.2 \times 10^{-6}$
50	$2.0 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$
60	$2.4 \times 10^{-6}$	$2.4 \times 10^{-6}$	$4.8 \times 10^{-6}$
100	$4.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$	$8.0 \times 10^{-6}$
200	$8.0 \times 10^{-6}$	$8.0 \times 10^{-6}$	$1.6 \times 10^{-5}$
500	$2.0 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$
1,000	$4.0 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$	$8.0 \times 10^{-5}$
2,500	$1.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$

$B_L = B_R \times 0.02 \times (d/d_{ref})$  : 블럭 허용 계수,  
 $F_L = 0.01 \times d / 500$  : 거리별 분배 계수,  
 $B_R =$  블럭 허용율 ( $0 < B_R \leq 1$ ),  
 $d_{ref}$  = 기준길이  
 (현재는 잠정적으로 1,000 km임),  
 $d_{min}$  = 최소 회선 길이

식 (22)를 이용하여 최소 블럭 허용치와 최대 블럭 허용치에 따라 다음과 같이 성능 목표치의 최소값과 최대값을 각각 구해낼 수 있다.

- ① 최소 성능 목표치 : 최소 블럭 허용치  $B_L$ (즉,  $B_R = 0$ )에 대하여

$$P_{obj(min)} = 0.002 \times [0.01 \times d / 500] \quad (23)$$

- ② 최대 성능 목표치 : 최대 블럭 허용치  $B_L$ (즉,  $B_R = 1$ )에 대하여

$$P_{obj(max)} = 0.002 \times [0.01 \times d / 500 + 0.02 \times (d / d_{ref})] \quad (24)$$

### 3-2-2. $d > d_{ref}$ 인 경우

$$P_{obj} = 0.002 \times [0.01 \times d / 500 + B_R \times 0.02] \quad (25)$$

$d > d_{ref}$ 인 경우에는, 식 (25)으로부터 최소 블럭 허용치와 최대 블럭 허용치에 따라 다음과 같이 성능 목표치의 최소값과 최대값을 각각 구해낸다.

- ① 최소 성능 목표치 : 최소 블럭 허용치  $B_L$ (즉,  $B_R = 0$ )에 대하여

$$P_{obj(min)} = 0.002 \times [0.01 \times d / 500] \quad (26)$$

- ② 최대 성능 목표치 : 최대 블럭 허용치  $B_L$ (즉,  $B_R = 1$ )에 대하여

$$P_{obj(max)} = 0.002 \times [0.01 \times d / 500 + 0.02] \quad (27)$$

식 (23), (24) 또는 (26), (27)을 이용하여 종단 국간에 회선 길이에 따른 비트오율 성능 목표치의 최소치와 최대치들을 계산한 값이 <표 1>에 나와 있다.

### 3-3. 성능 평가 및 결과 분석

전송 비트율 161.5 Mbit/s, 3 m 안테나, 수신기의 잡음 지수가 2 dB, 시스템의 SES 임계치 비트 에러율이  $2 \times 10^{-5}$ (G.826 기준)일 때, 시스템 임계치  $(C/(N+I))_{th}$ 가 26 dB인 동일 채널용 무선 중계시스템 모델[18]을 택하여, 디지털 무선 중계시스템의 성능을 분석하였다. 이때, 가정한 입력 파라미터는 <표 2>와 같다.

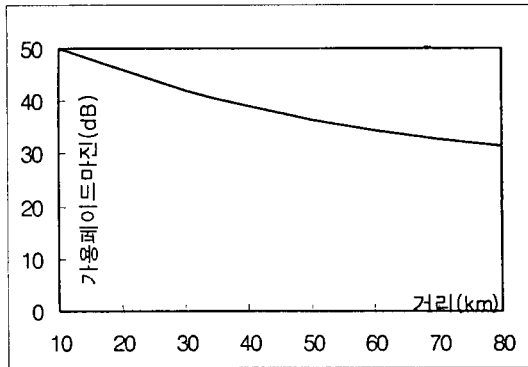
그리고, [그림 3]과 같이 3 m 안테나를 사용할

<표 2> 입력 파라미터들

<Table 2> Input parameters

입력 파라미터		사용값
$\tau_r$		6.3 [ns]
변조신호 중심주파수 $f_c$		6.7 [GHz]
변조방식		64 QAM
시스템 전송 비트율		161.5 [Mbit/s]
시그너처 폭 $W_s$		32 [MHz]
시그너처 깊이 $B_s$		15 [dB]
회선 길이 $d$		60 [km]
안테나 이격거리 $S$		10 [m]
일본	$K \times Q$	$10^{-9}$
	$B$	1.2
	$C$	3.5
북서 유럽	$K \times Q$	$1.4 \times 10^{-8}$
	$B$	1.0
	$C$	3.5





[그림 3] 회선 길이에 따른 가용 페이딩 마진(3 m 안테나 경우)

[Fig. 3] Available fading margins dependance of path length(case of 3 meter antenna).

때의 회선 길이에 따른 가용 페이드 마진 그래프 [18]로부터, 회선 길이 60 km에서 약 35 dB를 얻을 수 있으므로 수신기의 잡음지수 2 dB를 감해 주면,  $TFM = 33$  dB가 된다.

다음에 여러 가지 안테나에 대하여 일반적으로  $9 \text{ dB} \leq Q \leq 14 \text{ dB}$ 가 되고,  $XPD_o + Q \geq 50 \text{ dB}$ 가 되므로 ([18], [19]), 여기서는  $XPD_o + Q = 50 \text{ dB}$ 를 사용하며,  $XPD$  개선계수  $XIF$ 가 15 dB 또는  $(C/XPI)_{th} = 11 \text{ dB}$ 가 되는 교차 편파 간섭제거기(XPIC)가 사용된다고 가정하면, 식 (11)로부터  $IFM = 39 \text{ dB}$ 가 구해진다. 그리고 CCIR보고서 338-6 부록 II의 표 중 우리나라와 유사한 환경인 일본( $K \times Q = 10^{-9}$ ,  $B = 1.2$ ,  $C = 3.5$ )과 북서 유럽( $K \times Q = 1.4 \times 10^{-8}$ ,  $B = 1.0$ ,  $C = 3.5$ )의 데이터를 이용하였다.

### 3-3-1. $K \times Q = 10^{-9}$ , $B = 1.2$ , $C = 3.5$ 인 경우

#### ① 다이버시티 부재시

식 (6)에 주어진 파라미터값들을 대입하면  $P_S = 12.97 \times 10^{-6}$ 가 구해지고, 위에서 얻은  $TFM = 33$  dB값을 식 (13)에 대입하면,  $P_F = 8.22 \times 10^{-6}$ 이

구해진다. 또한 위에서 얻어낸  $IFM = 39 \text{ dB}$ 을 식 (14)에 대입하면  $P_X = 2.07 \times 10^{-6}$ 이 된다.

이들 세 Outage 확률을 모두 합치면 다이버시티 부재시의 전체 Outage 확률은  $23.26 \times 10^{-6}$  ( $P_T = P_S + P_F + P_X$ )으로 구해진다. 그러나 이 값은 <표 1>의 60 km 회선 길이를 가지는 국가간 성능 목표치의 최대값( $P_{obj} = 4.8 \times 10^{-6}$ )을 초과하므로 G.826의 성능 목표치 뿐만 아니라 G.821의 성능 목표치도 만족 못함을 알 수 있다.

#### ② 공간 다이버시티 사용시

두 안테나 사이의 거리가 10 m인 공간 다이버시티를 사용하게 되면 식 (15), (16)로부터 전체 Outage 확률  $P_{TD}$ 가  $1.41 \times 10^{-8}$ 가 되어 G.821의 성능 목표치뿐만 아니라 G.826의 국가간 성능 목표치( $2.4 \times 10^{-6} \leq P_{obj} \leq 4.8 \times 10^{-6}$ )도 만족함을 알 수 있다.

### 3-3-2. $K \times Q = 1.4 \times 10^{-8}$ , $B = 1.0$ , $C = 3.5$ 인 경우

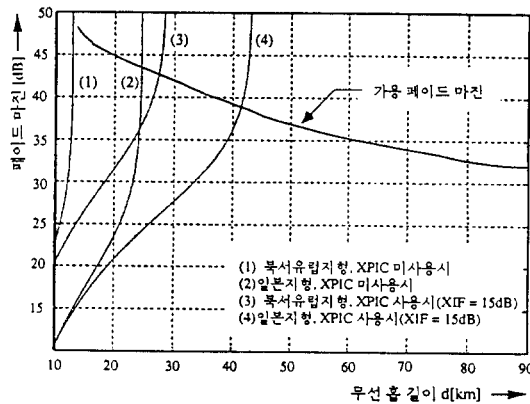
#### ① 다이버시티 부재시

식 (6), (13), (14)로부터  $P_S = 6.92 \times 10^{-5}$ ,  $P_F = 7.90 \times 10^{-5}$ ,  $P_X = 2.0 \times 10^{-5}$ 이 구해지며 전체 Outage 확률은  $16.82 \times 10^{-5}$ 이 되므로, <표 1>의 60 km 회선 길이를 가지는 국가간 성능 목표치의 최대값  $P_{obj} = 4.8 \times 10^{-6}$ 도 초과하게 되므로 G.826의 성능 목표치와 G.821의 성능 목표치도 만족 못함을 알 수 있다.

#### ② 공간 다이버시티 사용시

두 안테나 사이의 거리가 10 m인 공간 다이버시티를 사용시 식 (15) 및 (16)으로부터 전체 Outage 확률  $P_{TD}$ 가  $3.22 \times 10^{-6}$ 으로 구해지는데 이는 G.821과 G.826의 60 km 회선 길이에 대한 국가간 성능 목표치  $2.4 \times 10^{-6} \leq P_{obj} \leq 4.8 \times 10^{-6}$ 을 만족함을 알 수 있다.

또한, 다이버시티를 고려치 않은 상황에서 각각의 지형에 대하여 교차 편파 간섭제거기를 사용한



[그림 4] XPIC 사용 유무에 따른 회선 길이 설정 곡선

[Fig. 4] Available path length with XPIC or without XPIC.

경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 사용가능 회선 길이를 식 (18)과 (20) 또는 (19)와 (20)으로부터 계산한 결과는 [그림 4]와 같다.

[그림 4]의 결과에서 볼 수 있듯이, G.826의 성능 목표치를 기준으로 할 때 XPIC를 사용하지 않은 경우에 비하여 사용 가능 홉길이가 훨씬 길어지게 되며, 일본 지형의 데이터가 북서 유럽의 경우에 비하여 약 두 배 이상의 긴 홉길이를 사용할 수 있는 것으로 분석되었다.

#### IV. 결 론

주파수 이용 효율면에서 특히 커다란 장점을 가지고 있는 동일 채널 중계방식에 대한 연구는, M/W 고정통신이나 위성통신 등의 주파수 부족 추세를 고려할 때 매우 시급하고 중요한 의미를 지닌다.

동일 채널을 이용한 디지털 무선 중계시스템의 효율적 적용 및 운용을 위하여 본 논문에서는, ITU-R 및 ITU-T에서 권고하는 사항들을 고려하여 지형 및 전파전파 경로에 따른 페이딩의 영향 등

을 감안한 성능 평가 방안을 제시하였다. 그리고 실제 상황을 고려한 입력 파라미터들을 적용함으로써, G.821 및 G.826 성능 목표치에의 부합 여부를 판별하였으며, 부합되지 않을 때의 해결책과 사용 가능 무선 홉길이 결정 방법들을 다루었다. 또한 본 연구를 통하여 지형적인 조건에 따른 사용 가능 회선 길이를 결정하는 방법과 교차 편파 간섭제거기를 사용한 경우와 그렇지 않은 경우들로 나누어 살펴봄으로써 향후 도입될 동일 채널방식을 이용한 디지털 무선 중계시스템의 효율적 운용 및 치국설계를 위한 기반을 제시하였다.

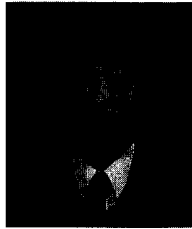
향후 국내 지형에서 페이딩 입력 파라미터를 해안지역, 산악지역, 내륙지역 등 지역 특성에 맞는 중계 구간을 몇 군데 선정하여 outage 확률을 장기간에 걸친 실측을 통해 도출하는 연구와 10 GHz 이상 대역에서의 outage 계산 방안에 대해서도 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] ITU-R Rec. F.592-2, "Terminology used for radio-relay systems," F Series Volume Part 1, 1994.
- [2] ITU-R Rec. F.283-5, "Radio-frequency channel arrangements for low and medium capacity analogue or digital radio-relay systems operating in the 2 GHz band," F Series Volume Part 1, 1994.
- [3] ITU-R Rec. F.382-6, "Radio-frequency channel arrangements for radio-relay systems operating in the 2 and 4 GHz band," F Series Volume Part 1, 1994.
- [4] ITU-R Rec. F.635-2, "Radio-frequency channel arrangements based on a homogeneous pattern for radio-relay systems operating in the 4 GHz band," F Series Volume Part 1, 1994.
- [5] ITU-R Rec. F.383-5, "Radio-frequency ch-

- annel arrangements for high-capacity digital radio-relay systems operating in the lower 6 GHz band," F Series Volume Part 1, 1994.
- [6] ITU-T Rec. G.821, "Error performance of an international digital connection forming of an integrated services digital network," M Series Volume Part 3, 1994.
- [7] U. Casiraghi, S. Dionisi and P. Nava, "Assessment of the impact of CCITT G. 826 Recommendation on radio relay system design and radio link deployments," *4th European Conference on Radio-Relay Systems*, Oct. 1993, pp. 15-20.
- [8] N. Abel, "Statistics of Multipath Fading and Rain Attenuation on Terrestrial Radio Links operating in the 7 to 16 GHz Range," *Proc. of the IEE International Conference on Antennas and Propagation, Conference Publication*. no. 195, Part 2, pp. 64-67, 1978.
- [9] A. A. R. Townsend, *Digital Line-of-sight Radio Links, A Handbook*, Prentice Hall, 1992.
- [10] CCIR Rep. 338, "Effects of multipath propagation on the design," vol. V, 1986.
- [11] W. T. Barnett, "Multipath propagation at 4, 6 and 11 GHz," *BSTJ*. vol. 51, pp. 321-361, 1972.
- [12] 김태하, 디지털 무선통신망 구축실무, 우신출판, 1995.
- [13] ITU-R Rec. F.1093, "Effect of multipath propagation on the design and operation of line-of-sight digital radio-relay systems," F Series Volume Part 1, 1994.
- [14] ITU-R Rec. 530-4, "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight system," PN Series, 1994.
- [15] ITU-R Rec. F.1092, "Error performance objectives for constant bit rate digital path at or above the primary rate carried by digital radio-relay systems which may form part of the international portion of a 27,500 km hypothetical reference path," F Series Volume Part 1, 1994.
- [16] ITU-R Rec. F.556-1, "Hypothetical reference digital path for radio-relay systems which may form part of an integrated services digital network with a capacity above the second hierarchical level," F Series Volume Part 1, 1994.
- [17] ITU-R Rec. F.634-3, "Error performance objectives for real digital radio-relay links forming part of a high-grade circuit within an integrated services digital network," F Series Volume Part 1, 1994.
- [18] M. Glauner, "Considerations for the planning of digital radio-relay systems limited by interference and noise," *2nd European Conference on Radio-Relay Systems*, April 1989, pp. 154-161.
- [19] M. Glauner, "A model for calculating the transmission performance of digital radio-relay systems," *ANT Telecommunication Reports*, vol. 11, pp. 13-22, 1994.

이 형 수



1980년 : 경북대학교 전자공학과 (학사)

1985년 : 연세대학교 전자계산학과 (석사)

1995년 : 성균관대학교 정보공학과 (박사)

1983년~현재 : 한국전자통신연구소

선임연구원

[주 관심분야] 스펙트럼 관리기술, 전파전파특성, 무선망 설계

이 일 근



1982년 : 경북대학교 전자공학과 (학사)

1986년 : Oregon State University (석사)

1990년 : Oregon State University (박사)

1990년~현재 : 한남대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 스펙트럼 관리기술, 전파전파특성, 무선망 설계