

碩士學位論文

濟州－楸子島間 M/W 周波數帶에서의
페이딩 發生 豫測에 관한 研究

指導教授 金 興 洙



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

71.637

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

金 權 三

1 9 9 9

濟州－楸子島間 M/W 周波數帶에서의
페이딩 發生 豫測에 관한 研究

指導教授 金 興 洙

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

1999 年 月 日

濟州大學校 産業大學院
제주대학교 중앙도서관
電子電氣工學科 LIBRARY
通信工學專攻

金 權 三

金權三의 工學 碩士學位論文을 認准함.

1999 年 月 日

委員長 _____

委 員 _____

委 員 _____

목 차

Summary.....	1
I. 서론.....	2
II. 페이딩 발생원인.....	5
1. 페이딩의 종류.....	5
가. K 형 페이딩.....	6
나. 회절성 페이딩.....	6
다. 간섭성 페이딩.....	6
라. 덕트형 페이딩.....	7
2. 페이딩 발생 원인.....	8
가. 해면 반사파의 발생.....	8
나. 대류권에 의한 발생.....	9
1) 대류권 전파.....	9
2) 대류권내에서의 대기의 굴절률.....	10
3) 라디오 덕트.....	12
4) 덕트의 발생 원인.....	13
(1) 대양성 덕트.....	14
(2) 이류성 덕트.....	14
(3) 전선에 의한 덕트.....	14
(4) 야간 냉각에 의한 덕트.....	14
(5) 침강성 덕트.....	15

Ⅲ. 페이딩 발생 예측과 다이버시티.....	16
1. 페이딩 발생 예측.....	16
가. 페이딩관련 파라미터.....	16
나. 지표 반사파 및 반사점.....	17
2. 페이딩 발생 확률 예측.....	23
가. ITU - R 보고에 의한 방법.....	23
나. Bell 연구소에 의한 방법.....	24
다. 페이딩 발생기간.....	26
3. 다이버시티 기술.....	27
가. 공간 다이버시티.....	27
나. 주파수 다이버시티.....	29
다. 각도 다이버시티.....	32
라. 경로 다이버시티.....	33
Ⅳ. 제주 - 추자도간 페이딩 발생 분석.....	34
1. 제주 - 추자도간 전파 특성.....	34
2. 페이딩 발생 분석.....	38
가. 월별 발생 분석.....	38
나. 주파수별 발생 분석.....	39
다. 날씨에 의한 분석.....	41
라. 파고 높이에 의한 분석.....	43
3. 예측치와 실측치 비교.....	45
Ⅴ. 결론.....	47
참고 문헌.....	48

A study on prediction of fading occurrence at M/W frequency bands between Cheju-do & Chuja-do

Kwon – Sam Kim

Department of Electrical and Electronic Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University

Supervised by Professor Heung – Soo Kim



Summary

In this thesis, the fading are investigated which appear on the Digital Microwave radio path between Cheju-do and Chuja-do, and cause of the fading occurrence are analyzed. The expectation of the fading occurrence and techniques of the diversity are presented. Digital Microwave transmit route between Cheju-do and Chuja-do, controlled by KT(KoreaTelecom) Cheju Network Operation Center, was chosen due to find the reason of occurrence of fade outbreak. MDR - 4204(4GHz), MDR - 4206(6.2GHz), MDR - 4208(8GHz) were used for this experiment getting the sample. The term for investigating of the fade occurrence is from Jan 1 to Dec 31 of 1998. The fading occurrence are classified and analyzed by a season, the weather, the frequency and the weight of waves.

I. 서론

무선통신의 발전사는 국내 공중전기통신의 역사와 같이 하고 있으며, 초기의 단파통신에 의한 국내,외 통신으로 시작된 장거리 통신은 기술의 발전과 더불어 국제통신은 위성으로 국내통신은 M/W(Microwave)망으로 두 개의 축을 이루며 발전을 거듭하였다. 국내 통신분야의 대부분이 그러하듯이 무선통신 분야의 기술자립도 역시 낮은 편이며, 특히 무선통신 분야의 기술은 장치에 대한 하드웨어 기술뿐만 아니라 전송 링크에 대한 기술과 설계도 부족한 점이 많다고 볼 수 있다.

국내 마이크로파대 통신방식이 처음 도입하여 운용하기 시작한 것은 1967년경 이었고 이때 시설된 장비는 미국 Collins사에서 공급된 아날로그 M/W 통신방식이 최초였으며 이것은 경부간 아날로그 M/W 시스템이 미국의 기술과 지원으로 시설되어 국가 기간망으로서 중요한 위치를 차지하며 시외전화망의 회선수요를 충족하기에 이르렀다. 이들 시설들이 80년대초까지 운용되었으나 디지털 M/W가 등장하면서 거의 철거되어 지금은 Back-up 망 및 일부 예비 전송망으로 운용되고 있다. 그러나 이들 시스템들도 조만간 철거될 예정으로 몇년 후면 완전히 자취를 감출 것이다. 단파통신 또는 저급의 아날로그 통신에서는 약간의 잡음이 생기거나 혼신이 있어도 어느정도 통화가 가능했기 때문에 페이딩은 큰 문제가 아니었다. 그러나 1984년부터 디지털 M/W 시스템이 도입되자 페이딩 문제가 본격적으로 논의되기 시작하였는데 전반적인 국내기술 수준 미비와 기반기술이 미약하여 이를 분석하고 대처하는데 역부족이었다. 통신 시스템에서 아날로그 통신방식의 퇴색과 달리 디지털화가 갈수록 진행되자 아날로그 방식에서와 같은 잡음이 발생되어 통

화에 지장을 초래하는 것이 아니라 디지털 방식에서는 아주 통화가 차단되어 버리는데 문제가 생긴다. 그렇게 되어 국내 M/W 통신망 운용에 있어 아주 관심있는 문제로 떠올랐으며 이러한 분야가 조속히 국내기술로 해결되어야 하는데 의견을 일치하고 관련 연구기관에서 일부 연구가 실행되기도 했으나 큰 성과는 얻지 못하고 있다.(김태하,1995) 아직까지도 이 분야는 미개척 분야로 이동통신의 경우에는 국내 통신망의 활성화로 상당히 진전되었으나, M/W 분야는 아직도 기술력 부족으로 크게 발전된 것이 없다. 마이크로파대의 전송은 가시거리 전송으로서 정상적인 전송거리는 약 40 ~ 45km 이나 제주와 육지간의 전송거리는 약 122km로서 타 전송구간보다 전송거리가 길어 페이딩이 아주 심하게 발생되었다. 앞에서 논했듯이 아날로그 시스템에서는 별로 문제가 되지 않았으나 제주와 대둔산 구간은 디지털 M/W가 도입되면서 페이딩 발생이 문제가 심각하게 되었다. 그래서 그 중간 지점인 추자도에 디지털 M/W 중계소를 치국하여 운용한 결과 페이딩 발생은 크게 줄어 들었으나 완전하게 해결하지 못하고 지금도 계속 발생하고 있다.

본 논문에서는 디지털 M/W 전송로상에서 발생하는 페이딩이 기후와 어떠한 관계를 갖고 있으며 기후의 변화가 페이딩 발생에 미치는 영향을 분석하여 페이딩 발생을 억제하는데 도움을 주고자 한다. 한국통신 제주망운용국에서 운용하고 있는 디지털 M/W 전송구간중 페이딩 발생이 가장 심한 제주와 추자도 구간을 중심으로 조사 분석하였으며, 이 구간의 전송거리는 55.07km 이고 해월 구간이다. 현재 운용하고 있는 국산 디지털 M/W 장비인 MDR-4204(4GHz), MDR-4206(6.2GHz), MDR-4208(8GHz)를 표본으로 하였으며, 페이딩 발생이 날씨와 파고, 또는 운용 주파수대에 따라 어떠한 관계가 있는 지를 분석한다. 페이딩 발생 조사 기간은 1998년 1월 1일 - 1998년 12월 31일까지 1년간이다.

본 논문의 구성은 1 장에서는 국내 M/W 통신의 발달사와 중요성을 제시하였고,

2 장에서는 페이딩의 종류와 발생원인을 설명하고, 3 장에서는 페이딩 발생 예측과 이를 감소시키기 위한 여러 가지 대책 기술 및 다이버시티를 설명하였다. 4 장에서는 제주 - 추자도간 발생한 페이딩 자료를 토대로 기후변화가 페이딩 발생에 미치는 영향을 날씨별, 주파수별로 분석하고 예측치와 실측치를 비교하였으며, 마지막 5 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.



II. 페이딩과 발생원인

1. 페이딩의 종류

페이딩이란 “전파가 전파되는 통로상의 매질 변동에 의해 수신 전계강도가 시간적으로 변동하는 현상”을 말하는데 무선통신망 구성시 가장 제어가 힘들고 어려울 뿐만 아니라, 예측하기 위해 장시간의 시간과 노력이 필요하고 그나마도 확률적으로만 예측가능하다는데 있다. 아직까지 국내에서는 전문적이고 장기간의 시험을 수행한 자료가 거의 없을 뿐만 아니라 일부 보고되고 있는 자료도 UHF 대역의 이동통신망에 관한 자료가 대다수이며 M/W 주파수 대역은 거의 찾을 수 없는 상황이다. 이러한 상태에서 국내 지형환경과 기후환경이 M/W 통신망에 미치고 있는 영향을 수식화하고 정량화하여 예측한 자료는 현재까지 보고된 바가 없다.

페이딩은 대다수 전송경로상 대기의 기상상태 변화에 의하여 전계의 변동으로 페이딩의 원인이 되는데 이것을 발생 원인으로 분류하면 K형 페이딩과 덕트형 페이딩으로 크게 나눌 수 있으며, K형 페이딩은 다시 회절성과 간섭성 페이딩으로 구분 되어 진다.

M/W 통신에서의 페이딩은 크게 전구간 페이딩과 선택성 페이딩이 있다. 전구간 페이딩은 전 주파수 대역에 걸쳐 발생하는 페이딩이며, 선택성 페이딩은 특정한 주파수 채널에만 발생하는 페이딩이다. M/W 통신망 구축시 페이딩 영향을 최소화 하는 것은 통신망 구축계획에 아주 중요하다.

가. K형 페이딩

지구 등가반경 계수 K 의 시간적 변동에 의해 수신신호가 불안정하게 변동하는 것으로 이를 K 형 페이딩이라고 한다. 예를 들어 송,수신점 사이가 가시거리일지라도 전파통로상 클리어런스(Clerance)가 충분치 않으면 이에 의해 신호감쇠가 발생한다. 이 때의 신호감쇠는 전파가 대지를 회절하므로써 발생되는데 최소 필요 클리어런스값 이상있을 때 신호감쇠에 의한 영향을 줄일 수 있다. 클리어런스가 충분하다고 할지라도 K 값 변동에 의해 직접파와 반사파의 통로의 길이가 변화하는데 이에 따라 위상간 상호간섭에 의해 페이딩이 발생한다. 이를 회절성 페이딩과 간섭성 페이딩이라고 한다.

나. 회절성 페이딩



전 주파수 대역에 걸쳐 발생하며 일반적으로 페이딩에 의한 신호의 변화는 느리게 변화하고 전파통로와 지표면과의 사이가 좁을수록 많이 발생한다. 즉 클리어런스가 적으면 많이 발생한다는 것이다. 따라서 회절성 K 형 페이딩을 줄이기 위해서는 클리어런스가 충분하여야 하고 최소한 요구 클리어런스안에 산악, 건물 등과 장애물을 회피하여야 한다. 여기에 사용될 수 있는 다이버시티방식으로는 공간 또는 각도 다이버시티방식을 권고할 수 있으며, 이때 주파수 다이버시티방식으로는 효과가 적을 것으로 예상된다.

다. 간섭성 페이딩

간섭성 페이딩은 눈과 유사한 습지대, 호수, 해면에 의해 강력한 반사파가 존

재하게 되는데, 이것과 직접파와의 위상 차이에 의해 상호 합성으로 동상과 차상이 수시로 발생하여 신호의 강도가 급격히 변화하는 것으로, 간섭성 페이딩을 줄이기 위해서는 반사지점의 선정과 반사파를 차단할 수 있는 전파경로 선정이 중요하다.

간섭성 페이딩은 신호 변동이 클 뿐만 아니라 변화속도도 급격하여 회선 품질에 가장 큰 영향을 미친다. 반사점 선정은 경로 선정시 사전에 검토되어야 하는데 불가피하게 해면 반사점을 가진 경로라면 공간 다이버시티 설치위치 선정이 고려되어야 하든지 해면 반사파를 차단할 수 있는 방안을 강구해야 한다. 만일 습지대 등과 같은 반사 지점이라면 안테나 설치 위치를 변경해 가면서 되도록 산악이나 건조 대지쪽으로 이동시키도록 해야 한다.

라. 덕트형 페이딩



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

덕트형 페이딩은 대기중의 굴절률(n)이 고도에 대해 급격히 발생하는 변화 대역(기상상태 불안정으로 온도 역전층 발생)에 전파의 불안정한 전파경로를 발생시켜 신호의 감쇠가 수 10dB 이상 변화시키는 것을 말한다. 이러한 덕트는 가끔씩 아주 강력한 전파를 수백 km 저손실로 전송하기도 한다. 일례로 한국의 VHF 방송이 일본과 호주에서 강력한 신호가 입감되기도 했다는 아마추어 무선통신사들의 보고가 있고, 국제적으로는 위성통신용 주파수 조정시 이러한 강력한 덕트 문제가 거론되기도 하며, 이를 초굴절이라고도 한다. 이러한 페이딩은 대류권 기상상태에 많은 영향을 받고 바람이 없고 맑은 날 야간에 많이 발생하며, 겨울철과 바람이 많은 날은 적게 발생하는 것으로 보고되었다. 이는 전파전파의 거리가 멀수록 더 많이 나타나므로 적절한 전송거리 선정이 필요하다.

2. 페이딩 발생 원인

페이딩 발생 원인은 크게 두 가지로 구분되는데, 첫째는 파도가 거의 없는 날에 해면 반사에 의해 발생하는 해면 반사파이고, 둘째는 대류권내에 기상 변화에 따라 대류권내의 굴절에 의한 페이딩이다.

가. 해면 반사파의 발생

그림 2-1 과 같이 파도가 없는 날은 해면이 거대한 하나의 반사판 역할을 하여 전파가 해면에 입사되면 거의 무손실로 반사되어 수신측에서는 직접파와 반사파 간의 시간차에 의해 수신 이득이 변화하여 페이딩이 발생하게 되는 것이다. 그러나 파도가 심하면 그림 2-2 과 같이 큰 물결의 파도를 일으켜 작은 물결을 갖는 표면을 경사지게 만든다. 그렇게 되면 해면에 입사된 입사파는 난반사를 일으켜 해

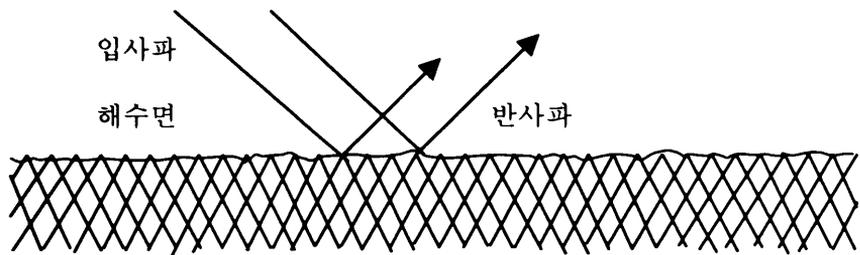


Fig. 2-1. Reflection by the surface of the sea

면에서 서로 상쇄되어 수신점에 반사파가 도달되지 못하고 소멸되어 직접파에 영향을 주지 않는다. 그러므로 파고가 높은 날은 반사파에 의한 페이딩은 일어나지 않는다고 볼 수 있다.

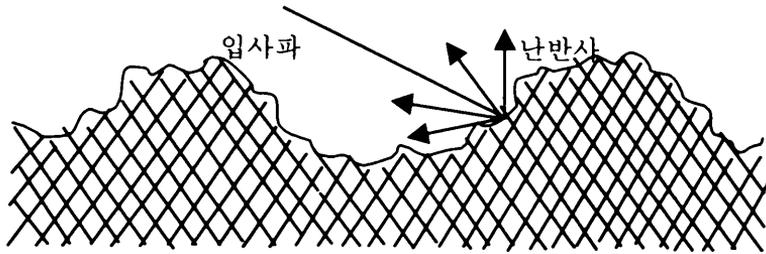


Fig. 2-2. Diffused reflection of radio wave

나. 대류권에 의한 발생  제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1) 대류권 전파

온대지방에서의 대류권 두께는 약 10-12km로 이 대류권내에서는 항상 대류가 일어나고 있어 비, 바람, 눈과 같은 기상변화를 일으키며 기온, 습도, 기압에 영향을 준다. 이러한 대기요소의 변화는 대기 유전율 변화를 일으켜 대류권내를 전파하는 전파에 영향을 미치게 된다. 실제로는 이러한 대기 요소중에서도 기압은 시간적 변화가 적어 영향을 별로 주지 않으나 기온과 습도는 변화가 크기 때문에 대류권 전파에 커다란 영향을 끼친다. 고도가 상승할 수록 기온은 6.5(°C/km)의 비율로 낮아지고 있으나 한랭, 온난전선 등이 있을 경우에는 경계면 상에서 급격한 온도의 변화가 나타나며 기타 원인에 의해서도 역전층이 생길 수 있다. 이외에 대기의 와류 등에 의해 굴절율에 영향을 미쳐 전파전파에 영향을 주고 있다.

2) 대류권내에서의 대기의 굴절율

대기에는 많은 양의 수증기가 포함되어 있고 상대습도는 고도에 따라 점점 감소하고 있다. 즉 대기의 유전율은 수증기의 많고 적음에 따라 커다란 영향을 받는다. 비유전율이 ϵ_{r1} , ϵ_{r2} 인 대기층이 연속되어 있을 때 굴절율 n 과의 관계는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}}} \quad (2-1)$$

여기에서 대기의 굴절율은 유전율에 관계되며, 유전율은 상대습도에 의해 커다란 영향을 받으며 이 습도는 기온에 따라 습도의 많고 적음이 결정되므로 대류권에서 대기의 굴절율을 고려할 때, 기온과 습도가 고도에 의해서만 변화하고 수평방향으로 변화가 없다고 가정한다면 대기를 서로 다른 유전율을 갖는 무한히 얇은 대기층이 수직방향으로 무한히 겹쳐 쌓인 것으로 생각할 수 있다. 따라서 서로 붙어 있는 두개의 대기층에 대해 스넬의 굴절법칙을 적용할 수 있다. 이 스넬의 법칙은 그림 2-3에 표시하는 것처럼 굴절률분포가 수평층을 이루는 경우와 구면층을 이루는 경우에 대하여 다음 식으로 표시된다.

$$n_0 \sin \beta_0 = n_1 \sin \beta_1 = \dots = n \sin \beta \quad (\text{수평층}) \quad (2-2)$$

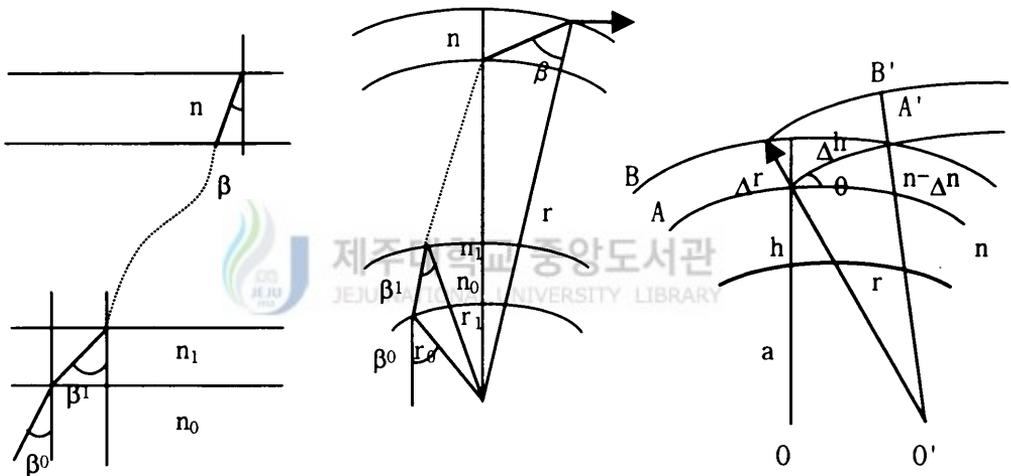
$$n_0 r_0 \sin \beta_0 = n_1 r_1 \sin \beta_1 = \dots = n r \sin \beta \quad (\text{구면층}) \quad (2-3)$$

구면층을 이루는 경우 스넬의 법칙에 대하여 $r_0 = a$ (지구반경), $r = a + h$ 라 두고 $(n - 1) \ll 1$, $h/a \ll 1$ 의 조건으로 변형하면

$$(n + h/a) \sin \beta \cong n_0 r_0 \sin \beta_0 \quad (2-4)$$

이 된다. 여기서 h 는 해발고[km]이다.

이 식에서 $(n + h/a) = m$ 이라 두면 평면대지의 스넬의 법칙과 같은 형태로 표현할 수 있다. 즉 수정굴절을 m 을 사용하면 전파는 등가적으로 평면 대지상에 수평층을 이루고 있는 대기층을 전파하는 것으로 해석할 수 있다.



(a) Path of a ray through a horizontally stratified atmosphere
 (b) Path of a ray through a radially stratified atmosphere
 (c) Index of refraction & path of ray (radio path)

Fig. 2-3. Snell's Law

일반적으로 대기의 굴절을 n 은 대기의 습도, 압력, 수증기 압력의 함수로서 다음과 같이 표현된다.

$$n = 1 + \left[\frac{77.6}{T} P + \frac{3.73 \times 10^5 e}{T^2} \right] 10^{-6} \quad (2-5)$$

여기서 T는 절대온도[° K]이고, P는 대기압[mb]이며, e는 수증기압[mb]이다.

진공중에서 굴절률은 $n = 1$ 이며 표준대기의 굴절률은 $n = 1.000325$ 이다. 지표면부근의 기상요소의 변화에 대한 n의 변동은 매우 작으므로, 실용하는 데는 n 대신 굴절지수 N, 혹은 수정굴절률 M을 사용한다. 이들에 대한 식은 다음과 같이 정의한다.

$$N = (n - 1) \times 10^6 \text{ [NU]} \quad (2-6)$$

$$M = (n-1+h/a) \times 10^6 = N + 157 h \text{ [MU]} \quad (2-7)$$

3)라디오 덕트



수정굴절률 M 값의 변화를 높이에 대해 그린 M 곡선에 의해 초단파통로의 굴절 상태를 알 수 있다. 실제의 M 곡선은 그림 2-4의 5가지 중에서 어느 한 형태를 가지고 있다. 이들 중에서 주목할 만한 것은 고도가 높아질수록 수정굴절률 M이 감소하는 ④, ⑤곡선이다. M이 감소하는 이유는 어떠한 높이에서 상공으로 올라감에 따라 굴절률 n이 급하게 감소하기 때문이다. 이런 때에는 굴절률의 역전층이 생긴다. 이러한 역전층에서는 전파통로의 곡률이 지표면의 곡률보다 크므로 이러한 층내로 들어온 전파는 쉽사리 층 외부로 빠져 나가지 못하고 이러한 층이 널리 퍼져 있으면 가시 거리보다 먼거리까지 전파된다. 이러한 현상을 전파의 트래핑이라 하며 이러한 층은 도파관과 같은 역할을 한다고 할 수 있으며 이러한 대기층을 라디오 덕트라고 하며 그림 2-4의 ④, ⑤에 나타나 있다. 그림 2-4에서 볼 수 있는 바와 같이 라디오 덕트는 M 곡선의 위쪽에 있는 최소점으로부터 내린

수직선과 하부의 곡선을 만나는 점 사이를 말하는데 덕트가 생성되는 높이는 추울 때에는 수 m의 낮은 높이에서 생기고 더울 때에 수 100m ~ 수 1000m의 높은 곳에 생긴다.

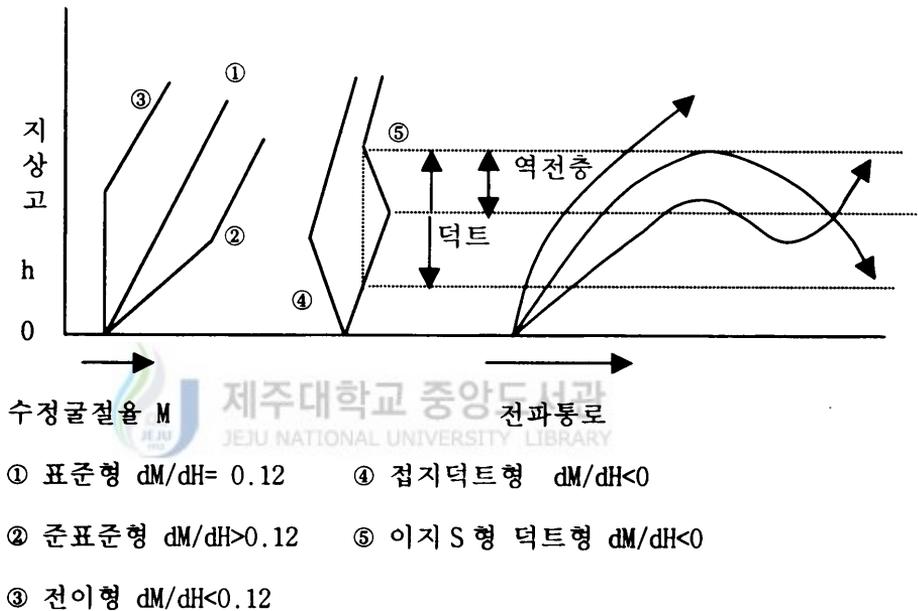


Fig. 2-4. Various types of M - curve

4) 덕트의 발생 원인

대기의 굴절율은 온도와 수증기압의 영향을 크게 받기 때문에 기온 역전 현상에 의해 덕트가 발생한다. 그러므로 대기 상층부가 하층부보다 고온 또는 낮은 습도임이 필요조건이다. 이와 같은 기온 역전을 일으키는 기상 상태에 따라 덕트를 분류해 보면 다음과 같다.

(1)대양성 덕트

무역풍이 일어나는 대양상에 발생하는 것으로서 습도는 60 ~ 80%정도이고 기온의 역전층은 없으며 온도도 우수온도와 별로 차이가 없다. 이것은 접지성 덕트로서 해안부근에 발생되며 주로 주간에 발생하기 때문에 이러한 덕트는 건조덕트라 고도 한다.

(2)이류성 덕트

해안지대에 발생하는 것으로서 육지와 해상의 기온 차에 의한 육풍, 해풍에 의하여 일어난다. 육상의 건조한 대기는 고온 저습하며, 이것이 해상으로 흘러 들어가면 저온 고습의 해면상의 대기와 겹쳐져 기온 역전과 습도의 불연속성을 발생시켜 덕트를 형성하게 된다. 이 덕트는 해안선으로부터 수십 km 이상의 거리에서는 발생되고 대기의 확산작용에 의하여 감소한다. 이 덕트는 해안으로부터 육상 수 km, 해상 수십 km의 범위에서 생긴다.

(3)전선에 의한 덕트

온화한 기층 밑에 한랭한 기층이 비스듬히 유입하여 불연속선이 이루어 질때 이 부근에서 발생하는 덕트로 S형 덕트라 한다. 그러나 바람이나 비를 동반하는 경우에는 대류의 난류 때문에 경계면이 선명하지 못하고 전파 전파에 미치는 영향은 없다. 또한 강우의 경우 전파 전파는 빗방울에 의한 감쇠를 받게 된다.

(4)야간 냉각에 의한 덕트

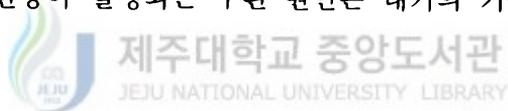
육상에서 덕트 발생의 원인이 되며 평면지대에서 볼 수 있다. 하늘이 맑을 때 하층 대기의 날씨 변화에 큰 영향을 끼친다. 지면이 따스해지는 낮에는 단열 평

형 상태에 가깝다. 그러나 야간에 하늘이 맑고 바람이 별로 없을 때에는 지면의 온도가 내려가면 온도 저하와 함께 생기는 이슬 때문에 수증기 압력이 커져서 굴절을 M의 값이 하층부분이 커지므로 덕트를 발생시키게 된다.

(5) 침강성 덕트

침강현상은 높은 곳에서 낮은 곳으로 대량의 공기가 침강하는 현상이다. 고기압의 성질로서 내려가는 공기는 건조한 것이 많기 때문에 덕트가 발생한다.

M/W 송신기에서 송출된 전파는 자유공간에서는 직진하지만 대기층을 전파하는 전파는 굴절, 반사 및 산란되어 전파 수신거리를 증감시켜 수신을 불가능하게 만든다. 이러한 현상이 발생하는 주된 원인은 대기의 기온 역전현상인 라디오덕트현상 때문이다.



Ⅲ. 페이딩 발생 예측과 다이버시티

1. 페이딩 발생 예측

1982년 미국 Rockwell 사에서는 기상과 페이딩간에 어떠한 관계가 있는 지를 집중적으로 검토하기 위한 연구 프로그램이 실행되었다. 이는 29.7 마일의 시험경로에서 이루어 졌으며 6GHz 135Mbps 디지털 전송 용량을 가진 64QAM M/W 시스템을 대상으로 진행되었다. 대기밀도 변화에 대한 대기 굴절률의 수직구조를 측정 기록하였으며, 시험 경로의 페이딩 활동시간을 측정하여 그 결과가 발표되었다. (김태하, 1995) 일반적 경로에서는 굴절률 분포에 따른 다중경로 발생과 덕트 문제가 페이딩 발생의 주요 원인으로 확인되었으며, 이를 위한 다이버시티 연구가 발표되었다. 여러가지 원인에 의해 발생하는 페이딩은 어떠한 경향으로 발생되고 어느 파라메타에 가중치를 두면 좀더 정확한 예측이 가능한 지에 대해 여러 자료가 있지만 이 또한 국가별 전파 전파 환경과 특성이 각기 달라 만족할 만한 권고식이 주어지지 못한 상태이다. 단지, 페이딩 발생 확률은 기후조건, 지형조건, 사용주파수, 전송거리, 페이드 깊이 등 전송경로의 복합적인 전파 환경에 의해 어느 정도 예측이 가능한 것으로 확인되고 있다.

가. 페이딩관련 파라메터

미국에서 현장 실험을 거쳐 확인된 전파 전파시 발생하는 페이딩을 여러 가지

파라미터와 발생 상태를 비교하여 정량화를 시켰다. 이 자료는 Barnett(1986)가 실험에 의해 도출한 것으로 간단한 페이딩 예측에 매우 도움이 되고 페이딩 발생이 많이 일어나는 전파 환경에 따른 경향을 알 수 있게 한다.

페이딩 발생은 다음과 같은 파라미터와 직접적인 관계가 있으며, 이 값에 따라 발생 확률에 큰 차이를 보임을 알 수 있다.

- ① 지형은 내륙의 구릉 및 저고도의 평탄한 산악지대와 같은 일반 지형에서의 조건을 1로 기준하였을 때 건조한 내륙의 산악지형은 0.25이며, 호수나 바다 등 해월 구간이거나 매우 평탄한 지형일 경우에는 4의 차이가 난다. 따라서 최대 발생될 확률은 지형에 따라 최대 16배의 차이가 난다.
- ② 기후 인자는 일반 내륙이거나 북위도에서의 조건을 1로 기준할 때 산악 혹은 건조기후는 0.5이며, 해안 또는 고온 다습한 기후는 2이다. 따라서 최대 발생될 확률은 기후에 따라 최대 4배의 차이가 난다.
- ③ 전송 거리는 페이딩에 대해 평균 3~3.5 제곱 비율로 발생된다.
- ④ 주파수는 페이딩에 대해서는 큰 차이가 보이지 않으나 ITU-R(1990)자료에서 주파수에 대해 1.2 제곱의 비율로 나타나고 있다.

수신 시스템 성능은 일반적으로 동일한 페이딩 깊이의 레벨하에서 수신 시스템의 성능 여하에 따라 페이딩의 영향이 가감되어 인지될 수 있다. 이것은 일반적인 자료를 제시한 것으로 계산방법에 따라 약간의 차이가 있을 수 있으나 페이딩 영향을 예측하는 인자들이 이런 것을 조합하여 예측하고 있다는 것이다.

나. 지표 반사파 및 반사점

M/W 통신에서의 지표 또는 해면에 의한 반사파의 영향이 매우 크다. 전파의 전

파구간이 상당히 길어 송,수신 두 지점 사이에 논이나 습지대 등이 있거나 또는 호수나 바다와 같이 넓은 해면을 사이에 두고 통신이 이루어 질 경우 반사파에 의한 영향이 심각하다. 따라서 전파 전송로를 설계할 경우 반사파가 발생하지 않을 위치에 치국 장소를 선정하는 것이 중요하며, 이러한 전송로 확보가 불가능할 경우 반사파 차폐를 위한 대책을 강구해야 한다.

전송구간에서 반사파 위치를 선정하는 방법은 표로 찾는 것과 계산에 의한 방법이 있는데 어느 것이나 약간의 오차는 감수해야 한다. 왜냐하면 위치 및 해발 높이에 따라 굴절률이 틀리기 때문인데 이로 인하여 등가 지구반경 계수, 지구돌출 높이의 차이로 반사점이 변화되기 때문이다. 그림 3-1은 반사점을 구하기 위한 그래프이다. 그림 3-1에서 하단은 송,수신 철탑높이의 비이며 철탑높이는 해발고와 철탑높이(안테나 설치점)를 감안하여 송,수신비를 계산한다. y 축은 반사점 거리와 총거리의 비로 먼저 송, 수신비의 비를 구한 다음에 y 축의 값을 읽고 이

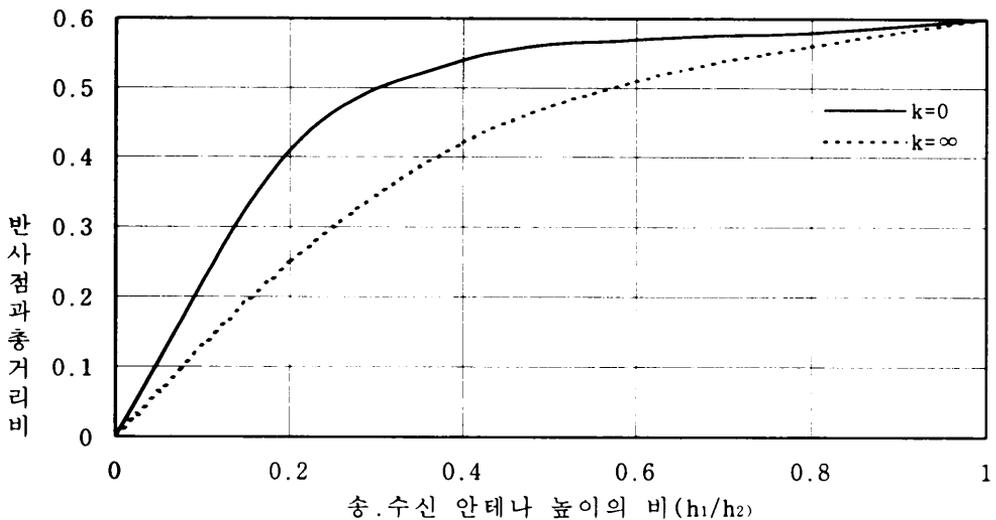
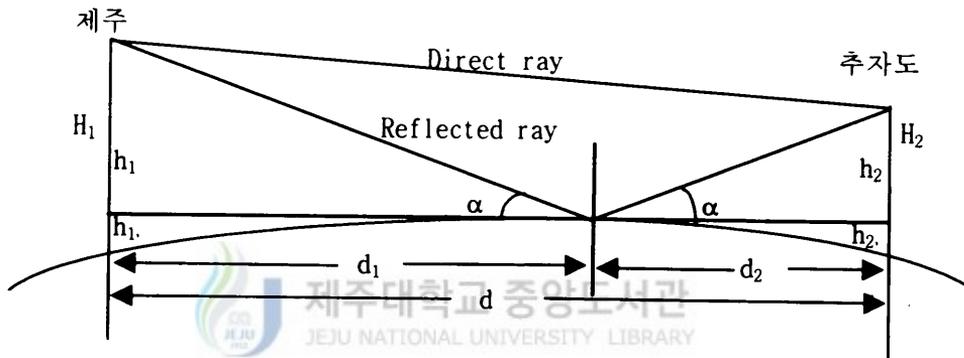


Fig. 3-1. The graph for reflected point

값에 총 거리를 곱하면 반사점의 위치가 개략적으로 구해진다. 이때 전송 구간에서는 k 값이 항상 변화될 수 있으므로 이것을 감안하여야 한다. 그림 3-1에서 보는 바와 같이 k 값은 항상 무한대 (∞)값과 최소값(0) 사이에 존재하므로 반사점의 위치도 이를 고려해야 한다.

그림 3-2는 제주 - 추자도간 안테나 구성도로서 h_1 은 제주중계소 안테나 높이이며, h_2 는 추자도중계소 안테나 높이이다. d 는 두 지점간의 전송거리이다.



$$H_1 = h_1 + h_{1'} \text{ (안테나 1의 해발고)}$$

$$H_2 = h_2 + h_{2'} \text{ (안테나 2의 해발고)}$$

$$d = d_1 + d_2 \text{ (31.24 + 23.83km)}$$

Fig. 3-2. Geometry of antennas between Cheju-do and Chuja-do

그림 3-2에서와 같이 제주와 추자도구간의 전송거리가 55.07km이며, 제주중계소의 안테나 높이가 135m이고, 추자도중계소의 안테나 높이가 103m일때 다음과 같이 반사점의 위치를 구할 수 있다. 먼저 송,수신 안테나 높이의 비는 $h = 103/135 = 0.76$ 이므로 이에 대한 k 값을 그림 3-1에서 읽으면

$$k (\infty : \text{infinity}) \Rightarrow 0.55$$

$$k (0 : \text{grazing}) \Rightarrow 0.58$$

이 되므로 반사점의 위치는

$$k (\infty : \text{infinity}) \Rightarrow 0.55 \times 55.07 = 30.28\text{km}$$

$$k (0 : \text{grazing}) \Rightarrow 0.58 \times 55.07 = 31.94\text{km}$$

가 된다. 따라서 이 구간에서 반사점의 위치는 대략 30.3 ~ 31.9km 사이에 있다는 것이다. 그러나 이 값은 중계소 치국에 참고는 될지 모르지만 실제와는 차이가 있다. 제주 - 추자도간은 전송로는 바다이므로 해발고는 0 m이다.



$$d_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \times d \quad [\text{km}] \quad (3-1)$$

$$d_2 = d - d_1 \quad [\text{km}] \quad (3-2)$$

따라서 식(3-1)과 (3-2)에 의해서 d_1 , d_2 를 구하면 $d_1 = 31.24\text{km}$, $d_2 = 23.83\text{km}$ 이다.

두 전송로간 반사점의 위치를 알게 되면 반사파에 의한 직접파와 반사파간에 상호 신호의 겹침을 방지할 수 있는 대책과 반사파의 세기를 예측할 수 있다. 우선 직접파와 반사파와의 거리차를 다음 식에 의해서 계산한다.

$$\Delta S = \frac{2h_t}{d} \times h_r \quad [\text{sec}] \quad (3-3)$$

h_t = 송신점의 실효높이

$$= h_1 - \Delta h_1 - h_s$$

h_s = 반사점의 해발높이

$$\Delta h_1 = d_1^2 / 2ka$$

h_r = 수신점의 실효높이

$$= h_2 - \Delta h_2 - h_s$$

$$\Delta h_2 = d_2^2 / 2ka$$

k = 지구등가반경 계수

a = 지구반경

이 값을 계산함으로써 반사파에 의한 신호의 지연 시간차를 계산할 수 있다. 또한 직접파와 반사파에 의한 신호 감쇠량은 반사되는 지표면의 상태에 따라 다른 값을 가지게 되는데 일본에서 실측한 자료를 보면 표 3-1 과 같다. 만약 8GHz 로

Table 3-1. Attenuation rate by reflected surfaces

반사면 종류 주 파 수	수면 (dB)	습지 (dB)	밭 (dB)	도시, 산악 (dB)
2 ~ 4GHz	0	2	4	10
4 ~ 10GHz	0	2	6	14
10GHz 이상	0	2	8	16

운용중인 주파수대에서 전파 반사점이 산악이었다면 반사파에 의해 신호의 세기

가 입사파보다 14dB의 감쇠를 받게 된다는 것이고 이때 반사점이 해면이었다면 반사에 의한 감쇠는 없다는 것이다. 즉, 모두 반사한다는 것이다. 중계소 위치 선정시 임의로 반사점의 위치를 선정한다는 것은 결코 쉬운 일은 아닐 것이나 이러한 이유로 최대한 반사점을 산악 지역으로 변경시키기 위해 첩탐의 높낮이를 조정한다든지 중계소 위치를 조금씩 변화시켜 목표에 달성할 수 있도록 치국 계획을 잘 세워야 한다. 그러나 제주 - 추자도간에는 바다이므로 반사점 위치에서의 인위적인 대책은 거의 불가능 하다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 구간에서의 해결 방법은 공간 다이버시티 방법을 이용한 기술이 해결책으로 활용되고 있다.



2. 페이딩 발생 확률 예측

가. ITU-R 보고에 의한 방법

무선 전송로에서 발생하는 페이딩을 정확히 예측하기 위해 ITU-RS에서는 전 세계적으로 공통적인 파라미터 값에 대한 실측자료를 수집한 결과를 발표하였으나, 아직까지 완전히 정립된 이론 식을 확립하지 못한 상태이다. 수년전 ITU-RS에서 고정 통신용 M/W를 사용하는 무선 경로에서 발생하는 다중경로 페이드 깊이가 전송거리, 사용 주파수, 지형, 기후 등과 어떠한 상관 관계가 있는지 연구 발표한 예측식과 그의 파라미터들은 다음과 같다.

$$P_r = K Q f^B d^C 10^{(-A/10)} \quad (3-4)$$

K : 기후인자

Q : 지형인자

f : 사용 주파수(GHz)

d : 전송거리(km)

A : 페이드 깊이(dB)

B : 주파수에 대한 파라미터

C : 지역에 대한 파라미터

P_r : 최악일 페이드 깊이 A를 초과할 확률

식(3-4)의 주파수 범위는 $2 \leq f \leq 37\text{GHz}$ 이고 전송거리의 범위는 $10 \leq d \leq 100$ km 이다. 또한 페이드 깊이에 대한 적용 범위 $A \geq 15\text{dB}$ 이상일 때이다.

우리 나라에서 이 식을 그대로 활용 하기엔 문제가 있을 수 있으나, 이러한 실측을 수행한 자료가 없기 때문에 이 수식을 적절히 보정하면 국내 환경에서 어느 정도 예측 가능한 수식을 제시할 수 있을 것이다.

나. Bell 연구소에 의한 방법

미국의 Bell 연구소(A.Vigants,1975)에 의해 개발된 계산식으로 북미지역에서는 이 식을 대부분 응용하고 있으며, 국내에서도 이 방식을 근래까지 사용되어 오고 있다. 당초에 이 방식을 개발한 A.Vigants 는 이 식의 적용범위를 명확히 밝혀두지 못했던 관계로 국내에서는 제한없이 사용되어 왔다. 그러나 일부 구간에서 상당한 예측오차가 발생되고 있어 지속적인 시험을 거쳐 일부 파라미터 값을 조정하여 내놓은 페이딩 발생확률 식은 다음과 같다.

$$P_n = C (f/4) (d/1.6)^3 10^{-5} \quad (3-5)$$

C : 기후 및 지형인자

f : 사용 주파수(GHz)

d : 전송 거리(km)

여기서 파라미터에 대한 내용을 살펴보면,

① 기후 및 지형인자(C)는 일반적으로 간단하게 이 파라미터 값을 평가하기 위해서 C 의 값은 다음과 같이 실측결과(김태하,1995)가 나타났다.

C = 4.0 : 해안 및 해월(over sea)지역

= 1.0 : 일반지형 및 일반기후 지역(중위도)

= 0.25 : 산악 및 건조기후 지역

상기 평가된 파라미터 값을 좀 더 정확히 평가하기 위해 지형의 변화분을 상기식에 적용하는데 이것은 중계국 A,B 사이의 전송구간의 지형을 일정거리로 해발높이를 추출한 다음 지형높이의 표준편차 변화분을 구해서 기후 및 지형인자에 대한 파라미터 값을 계산한다.

$$W = \sum_{i=1}^N \sqrt{(X_i - M)^2 / N} \quad [m] \quad (3-6)$$

W : 지형높이의 표준편차

X_i : 해발높이

M : X_i 값의 평균

N : 샘플링 수

여기서 샘플링 간격은 1km 이상으로 하고 샘플링 개수는 적어도 20 개 이상이 필요하다. 이때 W의 값은 지형높이의 표준 편차로서 $6 \leq W \leq 43m$ 범위에 있으며 표준편차 값이 6 이하이면 6으로, 43 이상이면 43으로 평가되어야 한다.

$$C = 2.0 \left(\frac{W}{15} \right)^{-1.3} \quad : \text{해양 및 해안지역} \quad (3-7)$$

$$C = 1.0 \left(\frac{W}{15} \right)^{-1.3} \quad : \text{일반 내륙지역}$$

$$C = 0.5 \left(\frac{W}{15} \right)^{-1.3} \quad : \text{산악 및 건조지역}$$

해양 및 해안 지역에서는 W 값이 6 이면 6.6 정도이고 43 이면 0.5 정도의 값을 갖

는다. 이는 최고 지형의 높낮이 변화에 따라 페이딩 발생확률이 13 배의 차이가 있음을 나타내고 있다.

② 전송거리에 의한 파라미터(d)

전송거리(d)는 d^3 으로 되어 있다. 즉 전송거리가 30km 일 때와 60km 일 때의 페이딩 발생은 거리에서는 두 배이지만 페이딩 발생 확률은 여덟 배로 증가 되었음을 알 수 있다.

③ 주파수에 의한 파라미터(f)

주파수에 대해서는 선형적으로 변화하므로 페이딩은 주파수에 따라 큰 변화는 없지만 4GHz 보다 8GHz 는 두 배의 비율로 증가한다.

다. 페이딩 발생기간



페이딩 발생기간은 페이딩 발생 확률에 운용시간을 곱하면 된다. 페이딩 발생을 수년간 관찰해서 얻은 결과로는 페이딩은 연중 고르게 일어나는 것이 아니고 특정한 계절에 집중되어 있음을 알 수 있었고, 이것은 온도와 습도 등에 큰 영향을 받고 있었다. 그 결과 페이딩 발생기간 예측 식은 다음과 같다.(김태하,1995)

$$T_0 = 5.12 \times 10^6 + (2.88 \times 10^5 \times t) \text{ [sec]} \quad (3-8)$$

t : 연평균 온도(℃)

총 발생기간 T_0 는 그 지역의 온도와 밀접한 관계를 가지고 있다. 예를 들어 서울지역의 연평균 온도가 13℃이면 서울지역의 연간 페이딩 발생이 활발한 기간은 연간 102 일 정도가 된다.

3. 다이버시티 기술

다이버시티에는 몇 가지 방법이 있는데 시스템의 특징과 용도, 경제적 여건에 따라 선택적으로 사용된다. 국내 M/W 통신망에서 가장 많이 사용되는 방식으로는 공간 다이버시티가 있고, 장거리망에서는 거의 이 방식을 적용하고 있다. 이 방식은 주파수 이용 측면과 경제적인 측면에서 가장 효율적이며 그 다음으로 주파수 다이버시티가 있다. 그러나 주파수 다이버시티는 과거에 많이 사용되었으나 주파수 이용 효율과 전파 간섭 문제 때문에 지금은 거의 사용되지 않고 있다. 또 다른 방식으로 현재 상용되지는 않고 있지만 도입이 예상되는 각도 다이버시티, 편파 다이버시티(pattern diversity)방식과 3중 공간 다이버시티(triple space diversity)방식이 개발되고 있다.

가. 공간 다이버시티

공간 다이버시티는 그림 3-3 와 같이 송신 신호를 한 개의 안테나에 방사시키고 수신은 두 개의 안테나를 이용하여 수신하되 두 신호 중 가장 좋은 신호를 선택하는 방법과 두 신호를 합성하여 수신하는 방법이 사용되고 있다. 보통 4~8GHz의 주파수 대역을 사용하는 장거리 M/W 통신에서는 다중경로 페이딩이 가장 큰 영향을 미치는데 다중경로 페이딩은 한 지점에서 방사된 전파의 경로가 몇 개의 경로로 수신되는 현상으로 경로마다 페이딩 깊이가 수시로 달라지게 되어 두 개의 안테나로 수신하면 동시에 두 안테나에서 다중경로 페이딩이 발생할 확률이 적다는 원리를 이용한 것이다.

다이버시티를 디지털 M/W 시스템에 사용하였을 때 얼마만큼의 페이딩 대처 효과가 있는지를 개선율이라 하는데, M/W 망에서 다이버시티를 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 개선 여부의 비를 나타낸 것으로 공간 다이버시티 개선율 식은 다음과 같다.(Vigants ,1975)

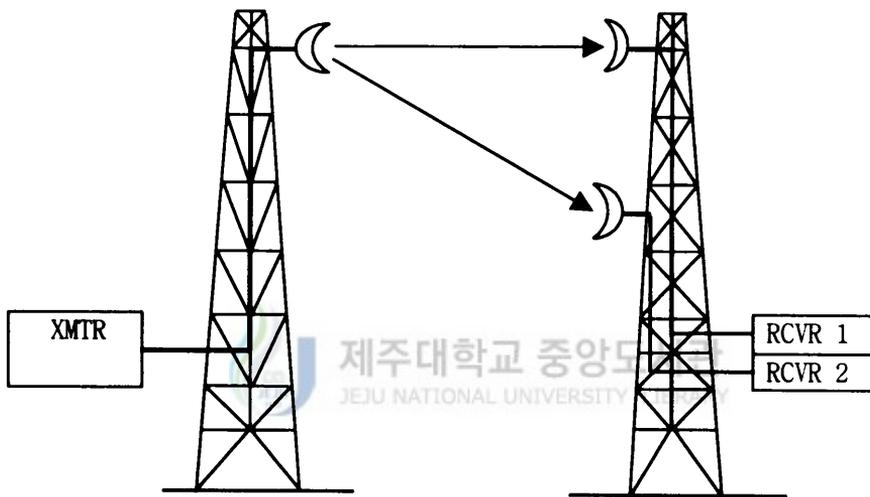


Fig. 3-3. The diagram of space diversity

$$I_{SD} = \frac{(1.2 \times 10^{-7} \times \nu^2 \times S^2 \times f)}{(d \times L^2)} \quad (3-9)$$

ν : SD 안테나 이득차(dB)

S : 수신안테나 이격 거리(m)

f : 주파수(GHz)

d : 전송거리(km)

L : fade 깊이(dB)

나. 주파수 다이버시티

주파수 다이버시티는 오래 전부터 사용되던 방식으로 지금까지도 일부 통신방식에서 사용하고 있으나 공중 통신망에서는 주파수 자원의 효율적 이용 측면에서 불리하여 많이 사용되고 있는 것은 아니다. 그림 3-4에서 보는 바와 같이 동일한 정보를 두 개의 송신 주파수에 실려 보내고 수신측에서는 두 개의 신호중 가장 양호한 신호를 선택(또는 합성) 수신하는 방식을 말한다.

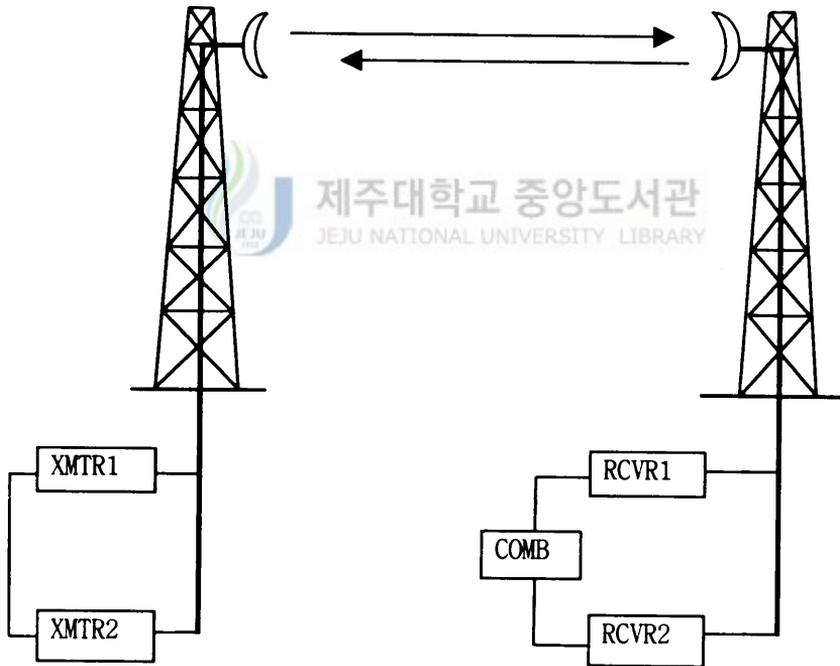


Fig. 3-4. The diagram of frequency diversity

주파수 다이버시티 구성시 페이딩 발생을 얼마만큼 저감시킬 수 있는지를 정량적으로 표현하는 식으로는 다음과 같은 방법이 있다.

주파수 다이버시티 방식을 사용한 시스템의 개선율을 I_{FD} 라 하면

$$I_{FD} = \frac{50 \times (f_1 - f_2) \times 10^{\frac{-L}{10}}}{f_1^2 \times (1.6d)} \quad (3-10)$$

f_1, f_2 : 송신 주파수

L : fade 깊이(dB)

d : 전송거리(km)

이 된다.

보통 M/W 통신에서는 주파수 다이버시티를 변형한 멀티라인 방식이 사용되는데, 멀티라인 방식은 한 개의 예비장치에 대해 수 개의 운용장치를 연동하여 운용장치의 고장시 예비장치로 전환하여 시스템의 신뢰도를 향상시키는 방법으로 1: N ($N =$ 운용장치 수)시스템이라 한다. 멀티라인 시스템의 1:1 시스템은 주파수 다이버시티 방식과 유사하다.

그림 2-5에서와 같은 이 방식을 멀티라인 보호방식이라 하며 엄격히 말해 공간 장애의 페이딩 저감을 위한 다이버시티 방식의 원리를 이용한 것이지만 사용방법은 약간 다르다. 이 방식은 중계소에서 단말 구간에 많이 사용되고 장거리 중계구간에서는 공간 또는 주파수 다이버시티 방식과 결합하여 사용된다. 즉 공간 다이버시티/멀티라인 방식, 주파수 다이버시티/멀티라인 방식으로 이를 국내 통신운용자들은 ML/SD, ML/FD 방식이라 한다. 이 때의 개선율 계산은 ML/SD 일 경우는 멀티라인 개선율에다 SD의 개선율을 곱한 것과 같고 ML/FD 방식에서는 멀티라인 개선율에다 FD 개선율을 곱한 것과 같다. 여기서 ML 1:1 방식은 FD와 동일하고 1 : N 방식에서 N의 값이 증가 할수록 개선율은 떨어진다. 따라서 N 값이 5~6 이상이면

개선율을 고려하지 않고 단지 운용 장비의 고장시 절체만 고려한다. 실제로 국내에서는 예비장치 한 대에 운용장치가 11 ~ 14(N)으로 사용되고 있다.

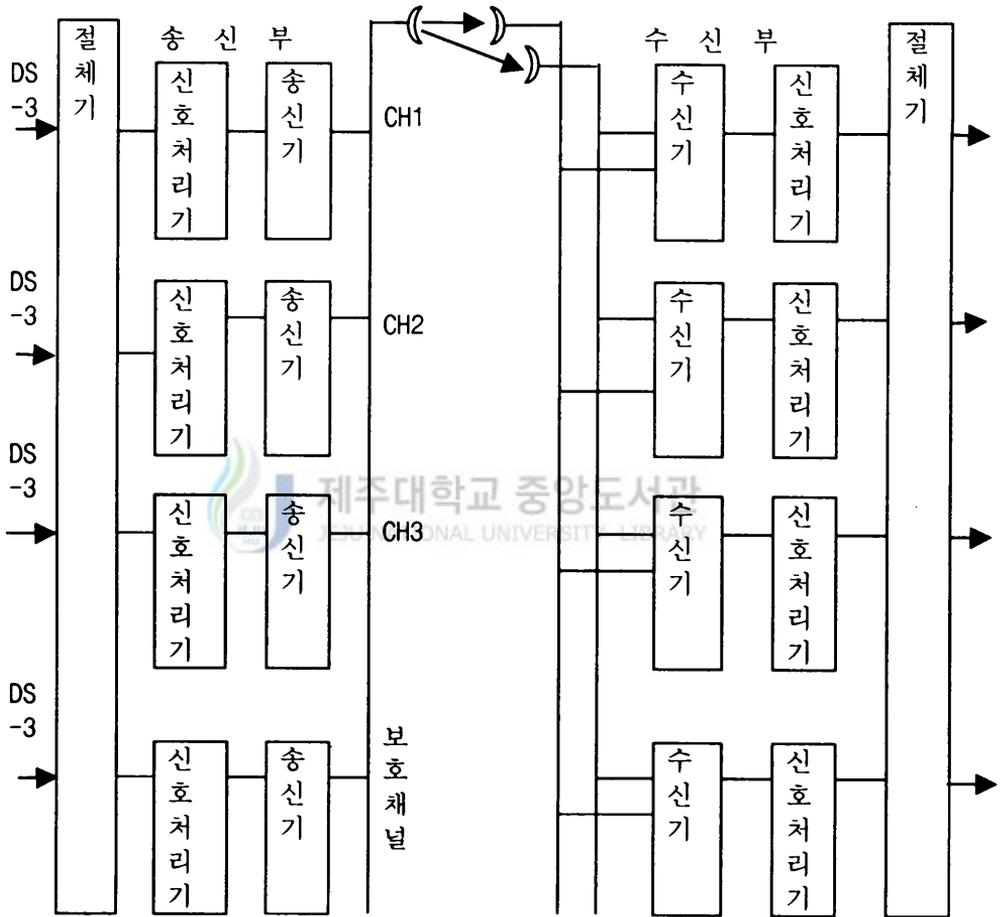


Fig. 3-5. The diagram of multi - line safeguard method

ML 시스템에서의 다이버시티 개선율은 다음 식으로 주어진다.

$$I_{ML} = 160 \times \frac{f}{\Gamma \times (1.6d)} 10^{\frac{L}{10}} \quad (3-11)$$

f : RF 대역의 중심주파수

Γ : 주파수, 대역폭, 페이드마진에 관련되는 파라메터

L : fade 깊이(dB)

다.각도 다이버시티

각(각도) 다이버시티는 다중경로 페이딩시에 전파 빔이 어떤 각도를 가지고 수신 안테나로 입사되고 각 빔에 따라 페이딩 강도가 상이한 점을 이용하여 다이버시티 개념을 도입하고 있다. 미국, 일본, 독일 등에서 이 개념을 이용한 각도 다이버시티 시험 자료를 발표하고 있는데 전송 환경에 따라서 공간 다이버시티보다 개선율이 크다는 보고가 있다. 이 시스템은 한 개의 안테나에 두 개의 피더혼을 약간 각도가 다르게 안테나 면에 부착한 것으로 구조는 그림 3-6 와 같다.

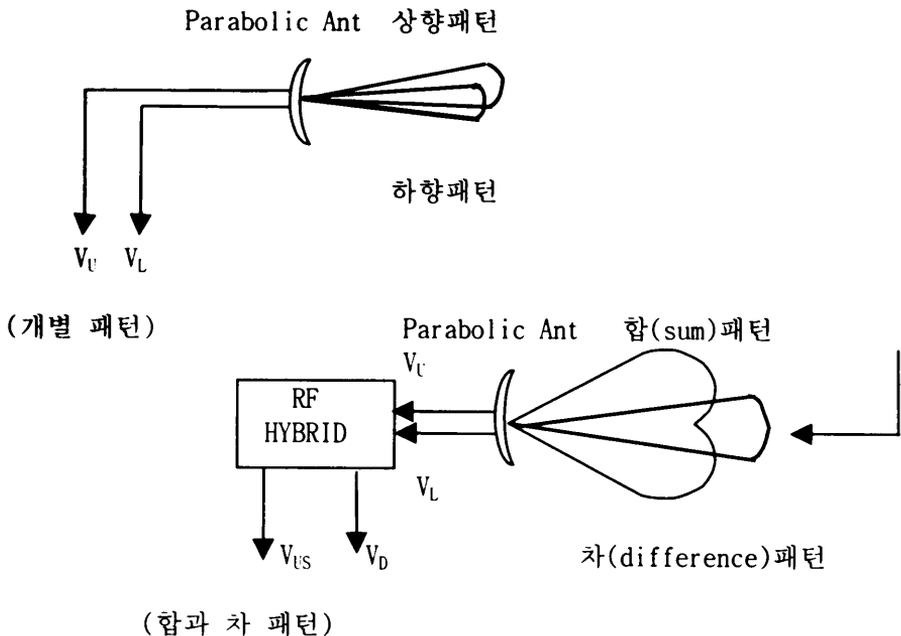


Fig. 3-6. The structure of an angle diversity antenna

각도 다이버시티 개선율은 주 빔에 대해 어느 정도의 입사각을 가진 신호에 대해서는 공간 다이버시티에 비견할 만한 개선율이 확인되었고 입사각이 거의 없는 작은 각도에서는 개선율이 미미한 것으로 측정되었다.(Vigants, 1975)

라. 경로 다이버시티

경로 다이버시티 방식은 전파 경로를 달리 함으로서 페이딩 영향을 저감시키는 방식으로 주로 높은 주파수 대역의 강우 감쇠에 대비하기 위해 개발되었나 두 신호의 경로차에 의한 전파 지연으로 두 수신 신호의 위상 지연이 커서 사용이 활발하지 못한 편이다. 그림 3-7은 경로 다이버시티 구성도이다. 경로 다이버시티는 경로 1과 경로 2 사이에 최소한 10km 이상 떨어져 있어야 한다.

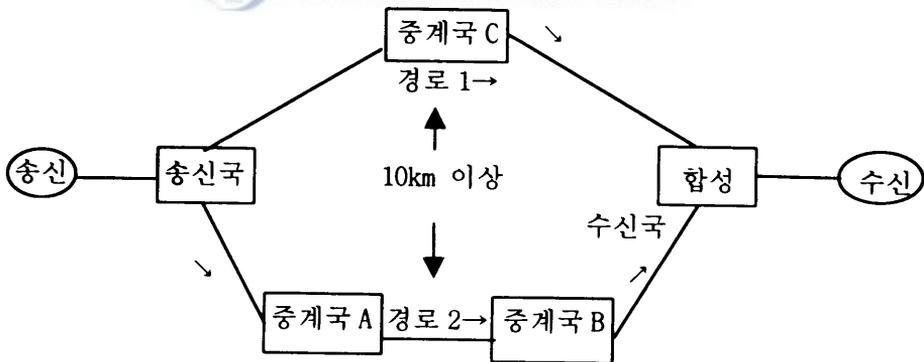


Fig. 3-7. The diagram of route diversity

IV. 제주 - 추자도간 페이딩 발생 분석

1. 제주 - 추자도간 전파특성

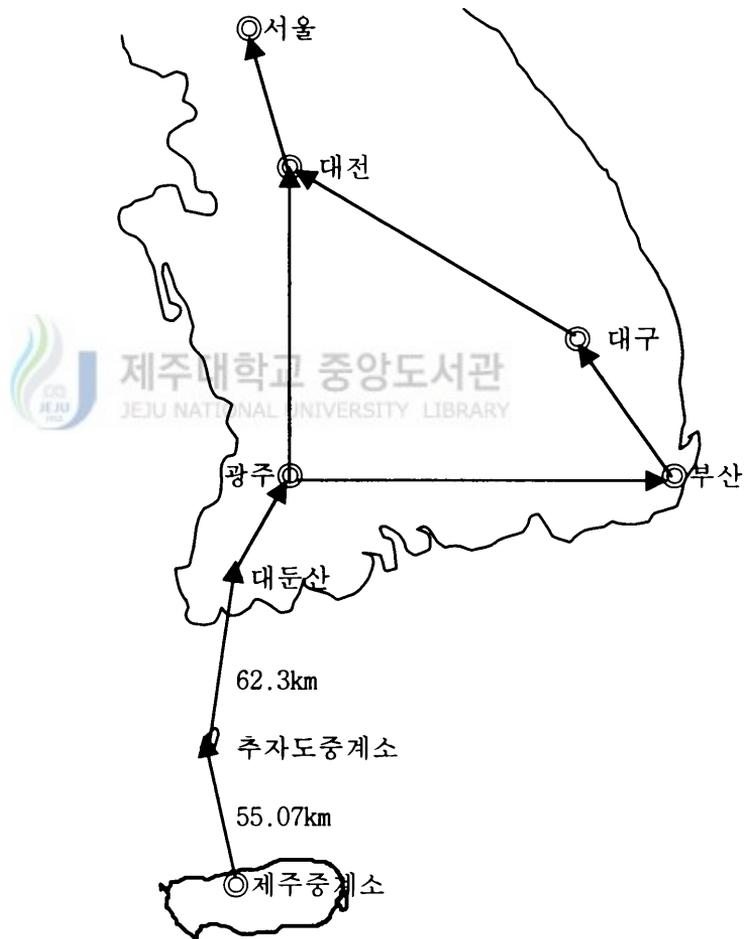


Fig. 4-1. D-M/W route between Cheju-do and Seoul

그림(4-1)은 제주를 중심으로 디지털 M/W의 대표적인 중계루트이다. 제주도가 스캐터 통신으로 육지간을 통신 수단으로 이용하다가 1969 년도에 제주 - 목포간 Analog M/W 12 회선(1B/G)이 개통되면서 본격적인 M/W 시대가 되었다. RF 운용주파수는 6.7GHz 이며, 중계루트는 제주단말 - 한라산중계소 - 해남 도솔봉중계소 - 목포 양을산중계소 - 목포단단말 - 광주 무등산중계소 - 광주단말로 구성되어 운용하여 왔다. 당시 한라산중계소 - 해남 도솔봉중계소간 해월 구간거리는 약 128km로 M/W 가시거리의 약 2.5 배에 달하는 거리였다. 긴 전송거리로 인하여 페이딩은 그 당시도 매우 심하게 발생되어 텔레비전의 영상과 음성에 영향을 주어 시청자들로부터 항의도 많았다. 그러나 장거리 음성 통화에서는 과거 스캐터 통신보다 매우 품질이 좋았기 때문에 문제가 되지 않았다. 그러나 통신 수요의 급증과 고품질의 고속 데이터 통신이 발달하면서 페이딩에 대한 문제가 심각하게 대두되었고 1984 년에 D-M/W 통신이 개통되면서 기존 전송거리에서는 페이딩 해결책이 불가능하다는 것을 알았다. 디지털 M/W 장비가 지속적으로 증설되면서 페이딩 발생에 의한 품질 저하로 피해도 커지게 되었다. 그래서 해결 방안으로 추자도에 중계소를 치국하여 페이딩 해결책을 강구하게 되었으나 추자도중계소가 개통되어도 페이딩을 완전하게 해결하지는 못하였다. 그래서 지금도 페이딩 감소를 최대의 문제점으로 지적되고 있으며, 다 방면으로 연구를 계속하고 있다.

현재 제주 - 광주간 디지털 M/W 회선은 DS - 3 급 송신기 19 대와 수신기 38 대로 계속 증가되고 있으며, 앞으로도 계속 증설될 예정이다.

본 연구에서는 제주중계소와 추자도중계소간 디지털 M/W 구간에서 발생하는 전파전파 현상에 대하여 분석하고자 한다. 표 4-1은 제주중계소 - 추자도중계소간 무선 전송 구간의 전송 특성으로서 제주중계소의 안테나 높이(H_1)는 135m

이고 추자도중계소의 안테나높이(H_2)는 103m 이다. 또한 안테나는 직경 4.5m 인 파라보라 고이득 안테나를 사용하였다. 제주중계소 - 추자도중계소간 패스구간의 거리는 55.07km 이고 식(3-1)에 의해 계산하면 $d_1 = 31.24\text{km}$ 이고, $d_2 = 23.83\text{km}$ 로서 제주중계소에서 약 31.24km 떨어진 지점에서 해면 반사파가 생긴다고 볼 수 있다.

Table 4-1. Summary of specifications for transmission system between Cheju-do and Chuja-do

항 목	단 위	제 주	추 자 도
주 파 수	GHz	4, 6.2, 8	4, 6.2, 8
구간거리($d=d_1+d_2$)	km	55.07	
해발고(H)	m	135(90+45)	103(80+23)
안테나 직경	m	4.5	4.5
반사점 거리(d_1, d_2)	km	31.24	23.83
등가반경인자(K)	constant	$4/3(=1.33333333)$	

Table 4-2는 제주중계소와 추자도중계소간 운용되고 있는 디지털장비 제원과 특성을 나타내었다. 장비는 국산 디지털 장비인 MDR - 4200 시리즈로 운용하고 있으며, 송신 출력은 5W 이고 전송거리는 약 55.07km 이다. 이때에 수신측에서의 정상적인 수신 이득은 약 -28dBm 이고, 최소 페이드 마진은 약 -37 ~ -40dBm 이다. 즉 수신 이득이 최소 페이드마진 이상 되어야 페이딩이 발생되지 않는다고 볼 수 있다. 그리고 제주 중계소와 추자도 중계소의 해발고도 비교적

낮아서 이로 인한 회절성 페이딩도 자주 발생한다고 볼 수 있다.

Table 4-2. Summary of specifications for antennas both at Cheju-do and at Chuja-do

구 분	4GHz	6.2GHz	8GHz	비 고
장 비 명	MDR-4204	MDR-4206	MDR-4208	
안테나 규격	UHX-15'	UHX-15'	UHX-15'	
안테나 이득	43.2dBi	46.4dBi	48.7dBi	
안테나 비임폭	1.2°	0.8°	0.6°	
송신출력	5W(37dBm)	5W(37dBm)	5W(37dBm)	
W/G 규격	EW-37	EW-52	EW-77	
W/G 길이(m)	86	94	87	
수신이득	-28dBm	-28dBm	-28dBm	
페이드 마진	-37 ~ -40dBm	-37 ~ -40dBm	-37 ~ -40dBm	
안테나설치고(m)	지상 39	지상 53	지상 45	제주
"	" 18	" 18	" 23	추자
철탑고(m)	제주:53	추자:45		
해발고(m)	제주:90	추자:80		

2. 페이딩 발생 분석

가. 월별 발생 분석

1998년 1월 1일부터 1998년 12월 31일까지 1년간 제주중계소에서 추자도 중계소간 페이딩 발생량을 조사한 결과에 의하면 연간 총발생 횟수는 1896 회이다. 발생 주파수대별로 보면, 4GHz 126 회(6.6%), 6.2GHz 880 회(46.4%), 8GHz 890 회(46.9%) 발생하였으며, 월별 세부 발생내역을 보면 표 4-3에서 보는 바와 같다.

Table 4-3. The number of fading occurrence by month

월별	구 간	4GHz	6.2GHz	8GHz	계	비율(%)
1월	제주-추자	0	0	0	0	0.00
2월	"	1	3	22	26	1.37
3월	"	6	399	139	544	28.69
4월	"	51	264	218	533	28.11
5월	"	33	88	66	187	9.86
6월	"	22	33	42	97	5.12
7월	"	3	27	92	122	6.43
8월	"	1	24	183	208	10.97
9월	"	7	33	90	130	6.86
10월	"	1	5	26	32	1.69
11월	"	0	1	5	6	0.32
12월	"	1	3	7	11	0.58
계	"	126	880	890	1896	100

페이딩 발생 횟수를 월별로 분석하여 보면 그림 4-2에서 보는 바와 같이 3,4,5월달과 8월달이 많이 발생하고 있다. 반면 1,2월이나 10,11,12월은 극히 발생량이 적은 것은 겨울철에는 주로 북서풍에 의해 제주 근해의 파고가 비교적 높아 해면에 의한 반사파가 발생하지 않고, 기온과 습도가 낮아 페이딩이 적게 일어난다고 볼 수 있으며, 봄철에는 바람과 습도가 적고 파도가 잔잔하여 해면에 의한 반사파와 동절기에서 하절기로 변환되는 과정에서 기온의 상승과 고습으로 인해 페이딩이 많이 발생한다고 볼 수 있다.

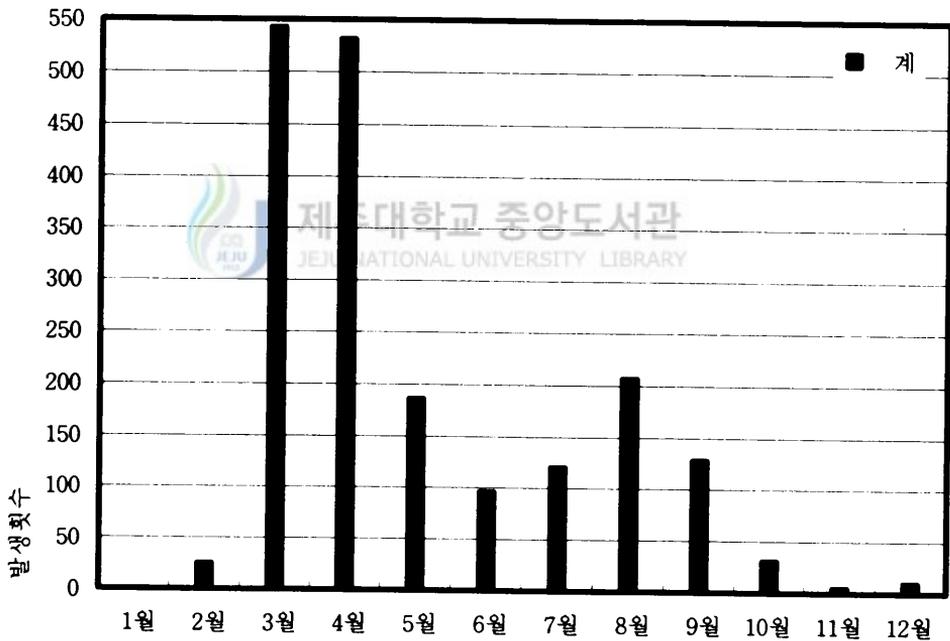


Fig. 4-2. Number of fading occurrence versus month

나. 주파수별 발생 분석

페이딩 발생을 주파수별로 집계한 자료를 표 4-4에 나타내었고, 이를 분석

하여 보면 4GHz 주파수대에서 4,5월이 가장 많고, 6.2GHz 주파수대와 8GHz 주파수대에서는 5월달과 8월달이 가장 많이 발생되고 있다. 이는 온습도가 비교적 높고 파고가 잔잔한 날씨에 많이 발생되고 있는 것이다. 또한 주파수별 발생 빈도를 보면, 8GHz 대에서는 112일로 전체 발생량이 절반을 차지하고, 6.2GHz 대에서는 78일, 4GHz 대에서는 37일로 주파수가 높을수록 페이딩 발생 빈도가 많고 주파수가 낮을 수록 적게 발생되고 있다. 이는 페이딩 발생 확률 예측에서 보는 바와 같이 주파수가 높을 수록 페이딩 발생이 높다는 것이 증명되었다.

Table 4-4. The rate of fading occurrence by frequency bands

월 별	4GHz		6.2GHz		8GHz		계	
	일 수	비 율 (%)	일 수	비 율 (%)	일 수	비 율 (%)	일 수	비 율 (%)
1월	0	0	0	0	0	0	0	0
2월	2	7.1	2	7.1	3	10.7	7	8.3
3월	1	3.2	5	16.1	5	16.1	11	11.8
4월	7	23.3	10	33.3	11	36.6	28	31.1
5월	10	32.3	18	58	16	51.6	44	47.3
6월	6	20	10	33.3	12	40	28	31.3
7월	2	6.5	8	25.8	15	48.4	25	27.4
8월	1	3.2	11	35.5	23	74.5	35	37.6
9월	6	20	10	33.3	14	46.7	30	33.3
10월	1	3.2	2	6.5	9	29	12	12.9
11월	0	0	1	3.3	2	6.6	3	3.3
12월	1	3.2	1	3.3	2	6.6	4	4.3
계	37	10.1	78	21.4	112	30.7	227	20.7

5월달에 비하여 6월달이 상대적으로 적게 발생된 것은 6월달에는 장마철로 인한 비가 오는 날이 비교적 많고 습도가 높으며 폭풍에 의한 파고 (5월 평균: 1.46m, 6월 평균 : 1.75m)가 비교적 높기 때문에 해면에 의한 반사파가 적게 발생되어 페이딩 발생이 적다고 볼 수 있다.

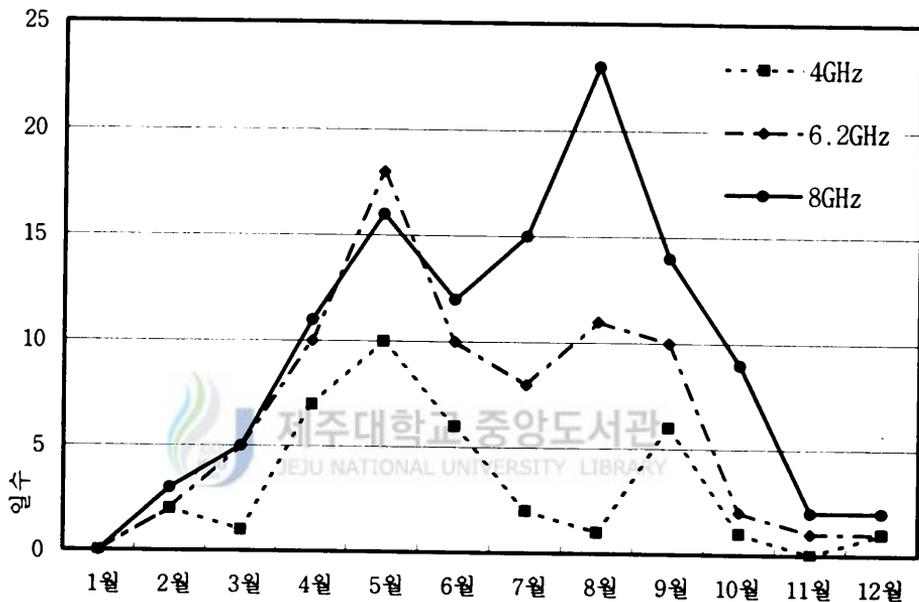


Fig. 4-3. Numbers of fading occurred days versus month by frequency bands

다.날씨에 의한 분석

표 4-5는 페이딩 발생 내역을 각 주파수에 대하여 날씨별로 분류한 것이다. 표에 의한 결과를 그림 4-4에 그래프로 나타내었다. 이를 보면 맑은 날이 114일로서 전체 발생일수의 50%를 차지하고 있다. 이는 대류권내의 기온과 습도의 영향으로 역전층이 생겨 전파의 트래핑현상으로 인한 페이딩이 발생 한다고 볼

수 있다. 또한 6월에 적게 발생하는 이유는 장마철에 따른 우기로 맑은 날이 5일간으로 5월에 14일보다 적고 잦은 비 날씨와 평소보다 해면이 파도가 높아 전파의 난반사 현상이 생겨 상대적으로 페이딩이 적게 발생된다고 볼 수 있다. 봄, 여름에는 바람이 적고 따뜻한 날에 고온 다습한 기후로 인한 멀티패스 페이딩과 바람이 적게 불고 파도의 높이가 낮으면 바다 전체가 하나의 거대한 전파 반사체 작용을 하여 전파의 직접파와 해면 반사파간에 수신이득과 위상을 달리 함으로서 생기는 간섭성 페이딩으로 볼 수 있다

Table 4-5. The number of fading occurred days by the weather conditions

월 별	맑 음				흐 립				비				총 계
	4	6.2	8	계	4	6.2	8	계	4	6.2	8	계	
1월	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2월	1	1	2	4	1	1	1	3	0	0	0	0	7
3월	1	3	3	7	0	2	2	4	0	0	0	0	11
4월	3	5	6	14	0	1	2	2	4	4	4	12	28
5월	5	9	9	23	5	8	6	19	0	1	1	2	44
6월	2	3	3	8	2	3	5	10	2	4	4	10	28
7월	1	4	7	12	1	3	5	9	0	1	3	4	25
8월	0	6	12	18	1	5	9	15	0	0	2	2	35
9월	4	3	6	13	2	4	4	10	0	3	4	7	30
10월	1	2	6	9	0	0	1	1	0	0	2	2	12
11월	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
12월	1	1	1	3	0	0	1	1	0	0	0	0	4
계	19	38	57	114	12	27	36	74	6	13	20	39	227

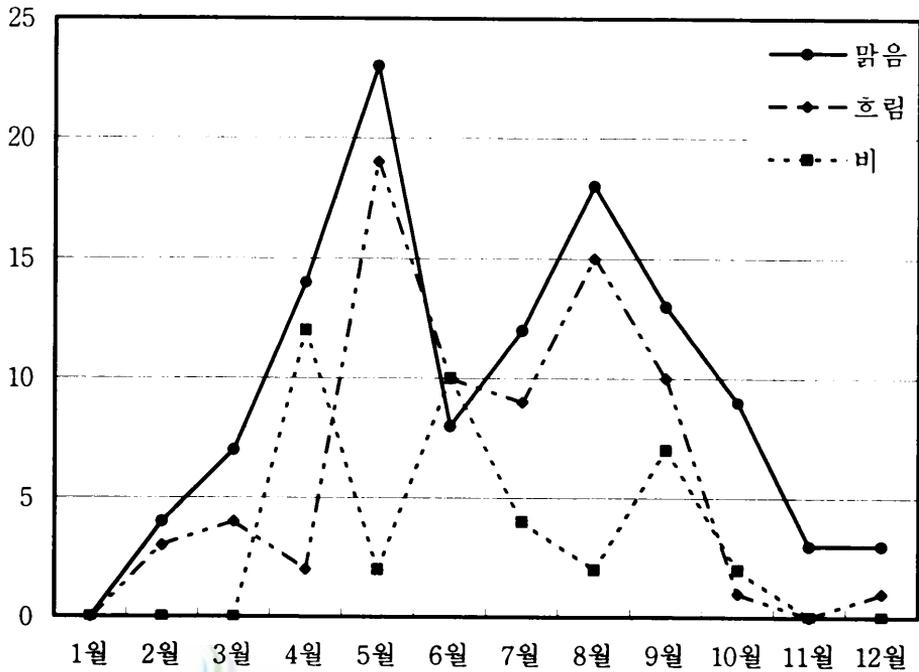


Fig. 4-4. Number of fading occurred days versus month by weather conditions

라. 파고높이에 의한 분석

Table 4-6. The number of fading occurred days by heights wave

파고높이	4GHz	6.2GHz	8GHz	계	비율(%)
1m 미만	20	45	62	127	55.9
1.5m	12	26	36	74	32.6
2.0m	4	7	9	20	8.8
2.5m	1	1	3	5	2.3
3.0m	0	0	1	1	0.4
계	37	79	111	227	100

표 4-6 은 파고 높이에 의한 페이딩 발생 내역을 분석하여 본 것으로 분석 내역을 그림 4-5 에 나타내었다. 여기에서 보면 파고가 거의 없는 1m 미만일 때가

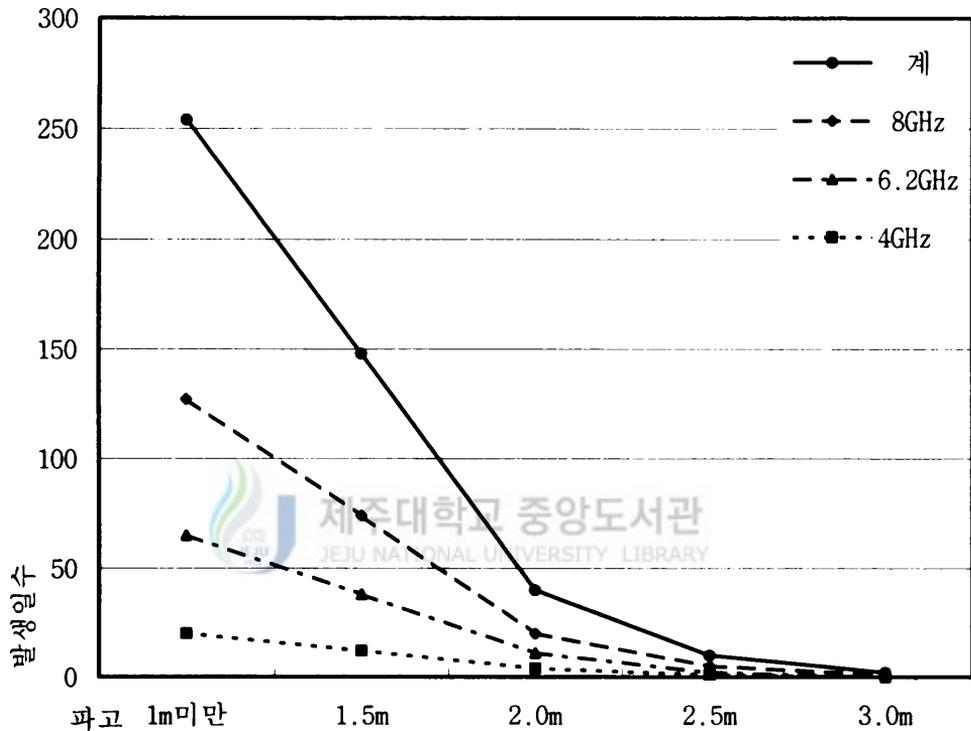


Fig. 4-5. The number of fading occurred days versus the heights of waves by frequency bands

전체 발생일수의 55.9% 로서 가장 많이 발생하고, 1.5m 미만인 경우 전체의 약 90%를 차지하고 있다. 또한 2.5m 이상인 경우는 거의 발생하지 않고 있다. 따라서 제주 - 추자도구간은 전송거리에 의한 페이딩보다도 해면 반사파에 의한 페이딩이 심각하게 발생된다고 할 수 있다.

3. 예측치와 실측치 비교

제주지역의 1998 년도 월별 평균기온에 식(3-8)을 사용한 페이딩 발생 기간을 예측한 값과 실측자료에 의한 발생 기간의 값을 아래 표 4-7 에 나타내었다.

이 표에서 보면 월별 예측치와 실측치는 차이가 조금 있으나 연중 예측치와 실측치는 근사치에 접근해 있다. 이는 제주 - 추자도간에 페이딩 발생이 연중

Table 4-7. The estimated and the measured number of days for fading occurrence

측정값 월별	월평균 온도(℃)	예 측 치 (일수)	실 측 치 (일수)		
			4 GHz	6.2GHz	8 GHz
1 월	6.7	6.8	0	0	0
2 월	8.8	7.4	2	2	3
3 월	9.8	7.6	1	5	5
4 월	16.1	9.4	7	10	11
5 월	18.8	10.2	10	18	16
6 월	21.5	10.9	6	10	12
7 월	27.4	12.5	2	8	15
8 월	28.2	12.9	1	11	23
9 월	24.3	11.8	6	10	14
10 월	19.7	10.4	1	2	9
11 월	13.4	8.7	0	1	2
12 월	8.9	7.4	1	1	2
계		115.8	37	78	112

116 일 정도는 항상 일어날 수 있다는 것을 보여 주고 있다. 월별 발생 기간 오차가 8GHz 대에서는 112 일로서 예측치와 별 차이가 없다. 그러나 주파수대가 낮은 6.2GHz 대에서는 78 일, 4GHz 대에서는 37 일로 주파수가 낮을 수록 예측치와 실측치간에 발생기간 차이가 크게 나타나고 있음을 보여 주고 있다.



V. 결 론

디지털 M/W 전송구간중 페이딩 발생이 가장 심한 제주 - 추자도 구간에 대하여 기상변화가 페이딩 발생에 미치는 영향을 다 각도로 분석하여 보았다. 제주 - 추자도 구간은 전송로가 55.07km이며, 해면 구간으로서 페이딩 발생을 분석하여 보면 크게 두 가지로 제시되어 지고 있다. 첫째는 제주중계소에서 약 31.24km 떨어진 지점에서 해면 반사파에 의한 페이딩 발생이고, 둘째는 대류권 내의 기상 변화에 따른 페이딩 발생이다. 페이딩 발생분석을 보면 맑은 날에 발생하는 것이 전체의 절반을 차지하고 있으며, 3월에서 5월중에 집중적으로 발생하고 있다. 이는 결과적으로 파도가 없고 온도와 습도가 비교적 높은 날에 집중적으로 발생하고 있음이 증명된 것이며, 주파수별 페이딩 발생횟수를 보면 주파수가 높을 수록 많다는 것이 확인되었다. 그리고 페이딩 발생기간을 예측치와 실측치를 분석한 결과 8GHz 대에서는 거의 근사치에 접근하여 제주 - 추자도 구간에서 연중 116 일은 항상 페이딩이 발생할 수 있다는 것을 제시하였다. 제주 - 추자도 구간은 산악 지형과는 달리 해면 지역으로 반사파가 거의 무손실로 반사되어 수신 이득에 큰 악영향을 주고 있다. 현재로서는 기상 변화에 의한 페이딩과 바다의 해면 반사파에 의한 페이딩 발생을 해결할 수 있는 방법은 공간 다이버시티 방식으로 어느 정도 감소시킬 수 있으며, 본 연구에서 분석한 자료에 의하면 주파수가 낮을 수록 페이딩 발생이 적게 나타나고 있다. 따라서 제주 - 추자도 구간에서 페이딩 발생을 좀 더 감소시킬 수 있는 방안으로는 용량과 시스템이 같을 경우에 낮은 주파수대의 무선 장비를 설치하여 운용하는 것이 바람직 하다.

참 고 문 헌

- * A.A.R.Townsend, Digital of Sight Radio Links A Handbook, 1988, pp 76-88
- * Andrew F. Linglis, Electronic Communications Handbook, 1988, pp 36-51
- * A.Vigants, Space Diversity Engineering, BSTJ 1975, pp 112-137
- * GTE, Engineering Considerations for M/W Communication Systems, 1987,
- * Jerry L. Eaves K. Reedy, Principles of Radar, VAN NOSTRAND REINHOLD
- * Rockwell Internasional, Korean Engineering Memo 1,2, 1982, pp 142-166
- * Rockwell Internasional, Transmission Engineering Guidelines for Digital Radio, 1980, pp 247-285
- * ITR-U Volum IV/IX, frequency sharing and coordination between systems in the fixed-satellite service 권고 및 보고서, 1990
- * NEC, Digital Microwave Radio(Technical Information on NES's DMR), 1990
- * NEC, Digital Microwave Radio System for Synchronous Digital Network, 1990, pp 82-155
- * 김정기, 디지털 무선전송기술, 도서출판 우신, 1995, pp 62-139
- * 김태하, 디지털 무선통신망 구축실무, 도서출판 우신, 1995, pp 85-195
- * 송재극, 조성준, 광. 전파 I, 도서출판 기다리, 1988, pp 16-24
- * 신철재, 공중선과 전파공학, 고시원, 1979, pp 298-338
- * 유종남, 이종락, 전파방송 기술 핸드북, 도서출판 우신, 1996, pp 109-116
- * 정맹규, 김태하, 경영과 기술(디지털 M/W 전송로 가용율 분석법고찰), 1991,
- * 장재성, S-Band 레이다에서의 기상변화에 따른 전파전파 특성에 관한 연구, 1993, pp 56-74
- * 한국통신, 고밀도 디지털 M/W 시스템의 전송 특성 연구, 1990

감사의 글

여러 가지로 미흡한 저에게 본 논문이 완성될 수 있도록 시종일관 심혈을 기울여 지도해 주신 김홍수 교수님께 깊은 감사를 드리오며, 많은 가르침과 질책으로 보다 좋은 논문이 될 수 있도록 방향 설정을 하여 주신 이용학 교수님, 임재운 교수님, 문건 교수님, 강진식 교수님께 감사드립니다.

또한 바쁜 업무에도 불구하고 논문 작성에 끝까지 도와준 이정필 후배와 그의 직장 동료들에게도 감사드립니다.

오늘이 있기까지 저를 키워 주신 부모님께도 깊은 감사를 드리오며, IMF란 어려운 경제 환경에도 불구하고 희망과 용기를 주면서 뒷바라지 해주신 아내 민자와 우리 아이들 시우, 동호와 함께 이 조그마한 기쁨을 함께 하고 싶습니다.