

20 GHz 이상 대역에서의 국내 고정 무선중계 시스템의 최적 경로길이 설계

Design of Optimal Hop Length for Fixed Radio Relay Links above 20 GHz in Korea

이형수* · 김혁제* · 신동근**

Hyoung-Soo Lee* · Hyuk-Je Kim* · Dong-Keun Shin**

요 약

20GHz 이상 주파수대역은 아직까지 사용하고 있지 않는 넓은 대역의 전파자원이지만 대기에 의한 전파감쇠가 심해 중계거리에 제약을 받게 되므로 단거리통신에 사용되고 있다. 그러나 현재 국내에서는 20 GHz 이상의 주파수 대역에서 어느 정도의 거리에서 무선시스템의 신뢰도를 보장할 수 있는지 연구된 적이 없는 실정이다. 본 논문은 20GHz 이상 대역에서 대기중의 전파특성을 분석하고 그 중 무선 경로 길이에 가장 많은 영향을 미치는 강우감쇠를 추정할 수 있는 계산식을 분석하였다. 그리고, 강우감쇠 계산에 가장 기본적인 요소인 강우강도를 국내 측후소에서 측정된 강우 자료를 이용하여 서울 등 대 도시에서의 시간별 강우강도 데이터로 제시하고 이를 기본 데이터로 하여 대도시에서의 무선 중계시스템의 최적 중계거리를 제시하였다.

Abstract

The frequency band above 20GHz is the great radio resource which has not been used. But the attenuation by atmosphere is so large that the radio systems using this frequency band must have shorter hops. There are few studies of optimal hop length for these millimetric wave radio links in Korea. In this paper we analyzed the millimetric wave propagation characteristics in atmosphere and estimated rain attenuation which have a great effect on hop length. Furthermore, we present a rainfall rate(mm/h) of the cities including Seoul and Pusan using the data collected by several rainfall gauges. This paper presents a method of obtaining the optimum hop length for millimeter wave radio links based on the rain rate date.

I. 서 론

현재 세계 각국에서는 20GHz 이하 주파수 대역 사용이 포화됨에 따라 20GHz 이상 주파수 대역을

이용하기 위해 전파환경 측정과 운영시 발생하는 시스템 회선중단 현상에 대해 여러 가지 측정이 행해지고 있다.[1]~[3]

국내의 전기통신망은 2010년을 목표로 초고속기간망을 각 가정에 공급하는 계획이 진행중에 있으

* 한국전자통신연구소 전파공학연구부 (ETRI, Radio Science Section)

** 한국통신공사, 네트워크본부(KT, Network Planning Department)

· 논문번호 : 96-3-035

· 접수일자 : 1996년 8월 7일

며 21세기를 대비한 정보망 infrastructure가 정비되고 있다. 광섬유는 전송용량, 전송특성 등 모두 우수한 매체이지만 유선이기 때문에 도로의 확장이나 도시 재개발에 따른 굴착공사 등 이전, 우회 등의 힘든 공사를 피할 수 없게 된다. 따라서 광섬유 이외에 무선방식을 병행함으로써 통신서비스의 즉시 제공, 재난시 백업통신으로 활용할 수 있다. 또한, PCS, FPLMTS의 광범위한 보급이 되면 무선의 단말화에 대한 요구가 증대될 것으로 판단된다. 따라서 사무실내, 가정내 전부를 무선 매체에 의해 서비스를 제공하는 방안이 현재 제시되고 있다.

이러한 면에서 20GHz 이상 대역에서의 무선통신방식은 광대역성면에서 광통신에 비해 뒤지지 않는 전송 용량과 빠른 데이터 전송을 제공할 수 있으므로 향후 무선 멀티미디어 서비스의 수용도 가능하다. 이러한 광대역성과 설치의 편리성 때문에 국내에서도 20GHz 이상대역에서 이동통신의 기지국과 교환기 사이의 무선 중계시스템, 단거리 국간 무선중계시스템 등 다양한 용도로 사용될 예정에 있다. 그러나 20~300GHz 대역은 아직까지 사용하고 있지 않는 넓은 대역의 전파자원이지만 대기에 의한 전파감쇠가 심해 중계거리에 제약을 받으며 소자 기술의 미성숙과 고가격으로 인한 경제성의 결여 등의 문제점으로 말미암아 이용이 거의 없는 실정이다.

밀리파와 같은 높은 주파수대에서는 대기중의 기체분자에 의한 흡수 손실이 자유공간손실보다 크다. 이러한 특성은 현재까지 여러 연구에 의해 많이 규명되었다. 예를 들어, 산소분자에 의한 최대 흡수는 60GHz 부근으로 1km당 전파손실이 10dB이상이며 수증기에 의해서는 200GHz 부근에 최대 흡수가 일어나며 1km당 30dB의 손실값이 발생한다.

그러나 이러한 공기중의 감쇠는 일부 대역에 한정된 특성이며 실제 전파전파상에 커다란 영향을 미치는 것은 강우에 의한 감쇠이다. 강우감쇠가 증가하여 회선 품질이 정해진 규격을 벗어나면 시스템은 불가동 상태에 떨어진다. 이 확률을 일정값이하로 억제하기 위하여 각 중계거리는 제약을 받게

된다.

본 논문은 20GHz 이상 대역에서의 대기중의 전파특성을 분석하고 그 중 가장 영향이 심한 강우감쇠를 추정할 수 있는 계산식을 분석하였다. 그리고, 강우감쇠 계산에 가장 기본적인 요소인 강우강도를 국내 측후소에서 측정된 강우 자료를 이용하여 서울 등 대도시에서의 시간별 강우강도 데이터를 제시하였다. 이를 기본 데이터로 하여 대도시에서의 무선 중계시스템의 최적 중계거리를 제시하였다.

II. 전파특성 분석

GHz대의 주파수에서 동작하는 지상 가시거리 무선중계시스템의 성능에 가장 심각한 영향을 끼치는 두가지 요인으로서 다중경로 페이딩(Multipath fading)과 대기중감쇠(atmosphere attenuation)를 들 수 있다. 이들로 인하여 전송손실의 변화와 이에 따른 중계구간의 단축에 의해 전체 무선중계시스템의 단가가 영향을 받는다. 본 장에서는 중계구간에 가장 큰 영향을 미치는 다중경로 페이딩과 대기중 전파특성에 대해 분석하였다.

2-1. 다중경로페이딩

다중경로 페이딩은 경로 길이의 증가에 따라 증가하며 사용 주파수에는 크게 좌우되지 않는다. 그러나, 강우감쇠는 경로 길이에 따라서는 그다지 큰 변화는 없고 사용 주파수가 높아짐에 따라 증가하게 된다. 이 강우감쇠는 일반적으로 10GHz 이하의 주파수에서는 흡길이가 50km 이상이 되어도 무시된다[1]. 즉, 10 GHz 미만의 주파수대에서 시스템의 성능에 미치는 주요한 요인은 다중경로에 의한 페이딩이 된다[4]. 한편, 15 GHz 이상의 주파수대에서는 흡길이를 20km 이하로 유지하여야 할 정도로 강우감쇠의 영향이 크다. 강우감쇠에 의한 경로 길이의 단축은 다중경로 페이딩의 효과를 감소시키므로 상대적으로 15 GHz 이상의 주파수대에서 다중경로 페이딩은 중요한 요소가 되지 못한다.

2-2. 대기중 전파전파

밀리파대 전파의 대기중 전파전파에 있어서 고려해야 할 인자로는 대기분자, 강우, 강설, 안개 등이 있다. 이들 매질 중의 전파전파특성이 통신 품질이나 신뢰도를 결정하는 중요한 요소가 된다. 이중, 밀리파대에서 특히 중요하게 고려되고 있는 것은 대기분자에 의한 감쇠와 강우감쇠이다.

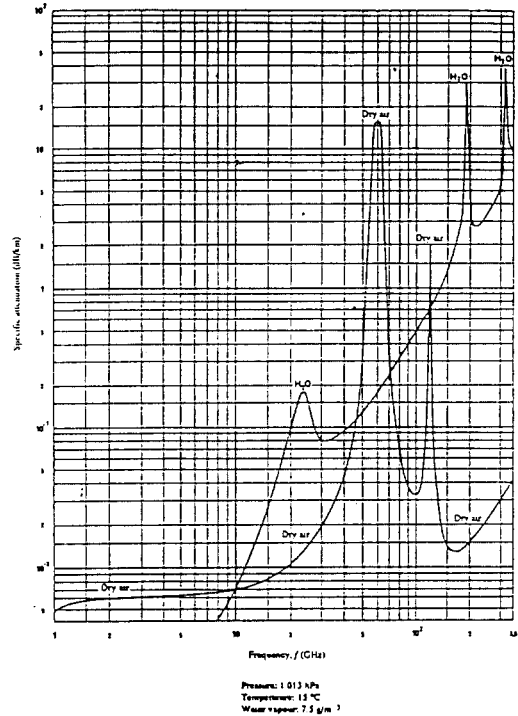
2-2-1. 대기분자의 감쇠계수

밀리파가 지상 부근의 대기중을 전파전파하는 경우, 감쇠를 발생시키는 주된 성분은 산소와 수증기이다. 수증기 분자는 전기 쌍극자 모멘트를 가지며 산소분자는 자기 쌍극자 모멘트를 가지므로 입사 전파의 주파수가 이들 쌍극자의 고유 주파수에 일치하면 분자의 공진 현상이 일어나서 전파 에너지의 일부가 이들 분자에 흡수됨으로 감쇠가 일어난다. 이들 흡수는 주변의 압력과 온도 등에 의해 영향을 받으며 주어진 고도에서 장소와 시간에 따라 최대 2배까지 변화한다.

산소와 수증기의 감쇠특성에 대해서는 미국 상무성 통신과학연구소의 Liebe에 의해 계통적인 연구가 행해져 왔다. 그 결과는 감쇠커브 또는 계산법 형태로 ITU-R Rec.676에 정리되어 있다[5]. ITU-R Rec.676에 의해 대기중의 산소와 수증기에 의한 흡수의 감쇠계수(dB/km)의 주파수특성은 [그림 1]과 같다(기압 1013hPa, 기온 15°C, 수증기밀도 7.5g/m³인 경우).

밀리파대에서는 산소에 의한 흡수대, 흡수선이 60GHz, 부근 및 118GHz에 있다. 수증기에 의한 흡수선은 밀리파대 부근에서는 22.2GHz, 183.3GHz, 353GHz에 있다. 수증기에 의한 감쇠는 수증기 밀도의 증가와 함께 커진다.

최근 산소의 흡수대에 위치하는 60GHz대 (16-dB/km)에서, 자동차용 레이더 및 밀리파 구내통신시스템의 연구개발이 진행되고 있다. 즉, 심한 흡



[그림 1] 대기 가스에 의한 감쇠

[Fig. 1] Specific attenuation due to atmospheric gases.

수감쇠를 이용하여 100m 이내 근거리의 밀리파 이용시스템에서는 대기분자에 의한 감쇠의 영향은 거의 문제가 되지 않지만, 역으로 타 시스템과의 간섭 혼신은 발생하기 어렵다는 특징을 이용하는 것이다.

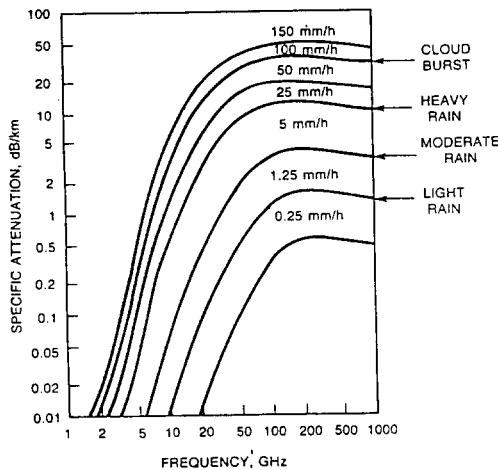
한편, 수 km 정도 이상 거리의 통신시스템을 고려하는 경우에는, 대기분자의 흡수대를 고려시, 꽤 감쇠가 적은 이른바 “전파의 창 영역”의 주파수대를 선정하는 것을 고려할 수 있다.

2-2-2. 강우의 감쇠 특성

20GHz이상 대역에서는 강우에 의한 흡수와 산란으로 인해 심한 감쇠를 받게 된다. 공간과 시간에 따라 매우 변화가 심하고 예측이 어려우나 비에 의

한 감쇠는 그 성질상 확률적인 특성이 있기 때문에 지리적 위치, 기후, 지형, 계절, 강우율 등에 의해 통계적으로 관련된 랜덤 프로세스로 취급하여 해석하고 있다. 즉, 강우는 시간적, 공간적으로 랜덤한 현상으로, 통신품질이나, 신뢰성에의 영향의 관점에서는 통계적인 취급이 필요하다.

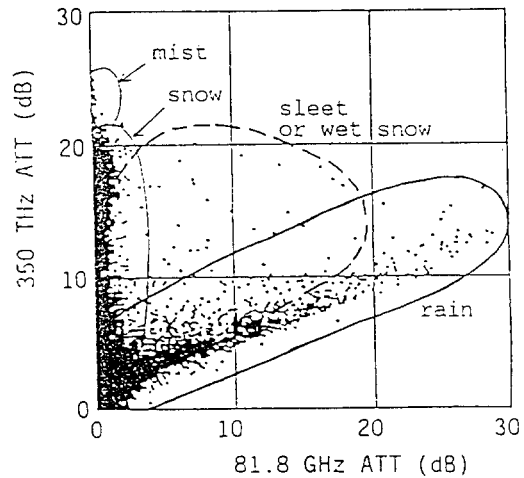
강우감쇠계수(dB/km)의 주파수 특성은 [그림 2]와 같이 나타난다. 그림 중의 파라미터는 강우강도이며 이 값은 현재 ITU-R PN.838에서 채용되고 있는 Laws and Parsons의 빗방울 지름분포에 근거한 커브이다. 40GHz이하의 주파수대에서는 빗방울 지름분포에 의한 감쇠계수의 차이는 그다지 없지만, 보다 높은 주파수에서는, ITU-R의 감쇠계수 모델은 감쇠를 과소평가하는 경향이다. 여하튼 밀리파대에서는 강한 강우에 의한 큰 감쇠는 주파수를 잘 선정한다 하더라도 피할 수 없는 문제이며 그 영향의 정도는 통계적으로 평가할 필요가 있다.



[그림 2] 강우감쇠계수의 주파수 특성
[Fig. 2] Frequency characteristics of rain attenuation.

2-2-3. 눈, 안개에 의한 감쇠

[그림 3]은 1.4km의 경로길이에 대하여 밀리파



[그림 3] 대기 영향에 의한 광파와 밀리미터파의 손실
[Fig. 3] Plot of optical wave attenuation and millimeter wave attenuation for atmosphere effects.

대 전파(81.8GHz)와 근적외광(350GHz)의 강우, 강설(건조한 눈, 습한 눈), 안개에 의한 감쇠에 대한 비교를 나타낸다.[6] 강우의 경우, 밀리파, 광파 모두 큰 감쇠영향을 받는다. 한편, 강설의 경우에는 광파는 큰 감쇠를 받는데 대해, 밀리파의 감쇠는 2, 3dB이다. 안개의 경우는 광파의 감쇠가 크지만, 밀리파대 전파는 거의 감쇠하지 않는다.

이상으로부터, 밀리파 통신시스템을 고려하는 경우, 대기의 영향으로는 주로 강우의 영향을 고려해도 좋을 수 있다.

III. 국내 강우율 분석

강우강도는 시간적, 공간적으로 균일하지 않고, 또 지역이나 계절에 따라 크게 차이가 있다. 따라서, 강우감쇠의 특성을 확보하려면 여러 곳에 대한 장기간의 측정이 필요하다. 그러나 각 지역별, 시간별, 주파수별 측정에 대한 장기간에 걸친 측정 데이터를 확보하기에는 매우 어렵다. 그러므로 대부분의 나라에서는 입수 가능한 장기간의 강우 데이터

로 부터 전파경로의 강우감쇠를 추정하는 방법이 연구되어 왔으며 이러한 결과가 ITU-R 권고 838, 837로 발표되었고 여러 국가에서 비교적 정확한 것으로 보고되고 있다.[7] 그러나 이와 같은 강우감쇠식을 적용하기 위해서는 정확한 강우강도의 분포를 추정해야 한다.

국내의 경우, 지역별로 측후소 또는 관측소에서 강우자기지를 이용하여 강우량을 측정하여 왔기 때문에 시간율에 대한 강우강도에 대한 분포상황을 보유하고 있지 않는 실정이나 군산지역에서 측정하여 보고한 적은 있다.[8]

본 논문에서는 국내 4개 지역(서울, 부산, 대구, 광주)별로 10년간(1980~1989)의 강우량 실측치를 기반으로 시간율에 따른 강우강도의 분포를 추정한 결과를 사용하였다. 한 지역의 시간율에 대한 강우강도 분포는 강우강도의 실측치를 이용하여 가장 근사적으로 일치되는 확률분포함수를 찾아 적용시킬 수 있다.

본 논문에서는 식 (1)과 같은 Gamma 확률밀도 함수를 적용하여 국내 지역별 시간율에 대한 강우강도 분포를 추정하였다.

$$f(R) = B^V R^{V-1} \exp(-BR) / \Gamma(V) \quad (1)$$

여기서 R 은 강우강도(mm/h), $\Gamma(V)$ 는 감마함수, B, V 는 상수이다.

위 식에서 $f(R)$ 은 확률밀도함수이므로 확률누적함수 $F(R)$ 는 다음식과 같다.

$$F(R) = \int_R^{\infty} f(r) dr \quad (2)$$

식 (1), (2) 를 이용하여 추정된 감마분포로부터 얻은 지역별 시간율에 대한 강우강도값은 <표 1>과 같다.

ITU-R Rec.837-1에는 세계를 여러 개의 강우지역으로 분류하여 시간율에 따른 강우강도의 분포를 제시하고 있다. 여기에서는 우리나라를 K지역에

<표 1> 지역별 시간율에 따른 강우강도 추정값 (mm/h)

<Table 1> Rain Rate (mm/h) of large cities

지역 시간율	서울	부산	대구	광주	ITU-R 권고
0.0001%	161.2	185.5	161.4	143.7	
0.001 %	109.9	120.7	103.9	98.7	100
0.003 %	86.4	91.1	78.1	78.1	70
0.01 %	62.0	60.8	51.7	56.6	42
0.03 %	41.4	36.0	30.2	38.4	23
0.1 %	21.6	14.2	11.5	20.7	12

속한 것으로 분류하고 있다. 그러나, 이 자료는 강우강도의 실측치(4년 이상)를 갖고 있지 않은 나라에 대해 강우감쇠량 계산시 참고로 한 것이기 때문에 실측치와 비교시 각 지역별로 많은 차이를 주고 있다.

현재 ETRI에서는 전국 32개 측우소에서 수집한 최근 10년(1984~1993)간의 강우정보를 통계처리 중에 있으므로 국내 강우강도 분포 지도가 조만간 작성될 예정에 있으며 향후 소개할 예정이다.

IV. 강우감쇠 계산 방법

다음의 강우감쇠 계산 방법은 ITU-R 권고 530-5의 권고 내용이다.

단계 1. 0.01% 시간율(1분의 적분시간) 동안 초과되는 강우율 $R_{0.01}$ 데이터를 찾는다.

단계 2. 각 주파수, 편파, 강우율에 따른 단위 거리(km)당 강우 감쇠, γ_R (dB/km)를 ITU-R Rec. 838의 <표 1>의 각 주파수에 대한 k, α 를 선정하여 아래의 식에 의해 계산한다.

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (3)$$

여기서 R 은 강우강도(mm/h)이다.

$$x = [x_H + x_V + (x_H - x_V) \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau] / 2 \quad (4)$$

$$\alpha = [x_H \alpha_H + x_V \alpha_V + (x_H \alpha_H - x_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau] / 2x \quad (5)$$

여기서 θ 는 경로양각이고 τ 는 수평편파에 대한 상대각으로 수직편파인 경우 90° 이다.

단계 3. 실제 전송거리 d 에 대한 감쇠를 구하기 위해 유효 경로 길이 $d_{eff}(=d \cdot r)$ 를 구한다.

$$r = \frac{1}{1 + d/d_0} \quad (6)$$

여기서 $R_{0.01} \leq 100 \text{mm/h}$ 에 대해서는 $d_0 = 35e^{-0.015 R_{0.01}}$ 이고 $R_{0.01} > 100 \text{mm/h}$ 에 대해서는 $d_0 = 35e^{-0.015 \times 100}$ 이다.

단계 4. 유효 경로 길이 $d_{eff}(=d \cdot r)$ 로 0.01% 시간을 초과할 강우감쇠량을 추정한다.

$$A_{0.01} = \gamma_R d_{eff} = \gamma_R d \cdot r = \gamma_R d \cdot r \quad (7)$$

단계 5. 위의 시간을 0.01%의 다른 시간을(0.

<표 2> 강우에 의한 특정감쇠(dB/km)를 계산하기 위한 파라미터

<Table 2> Parameters for specific attenuation due to rain

주파수(GHz)	K_H	K_V	α_H	α_V
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.2
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
40	0.350	0.310	0.939	0.929
50	0.536	0.479	0.873	0.868

001%와 1% 사이)에 대해서는 다음과 같은 함수를 이용하여 보정한다.

$$\frac{A_p}{A_{0.01}} = 0.12p^{-(0.546 + 0.043 \log_{10} p)} \quad (8)$$

단계 6. 만약 한 주파수에서의 강우감쇠 값이 믿을만한 통계값일 경우, 동일한 중계구간과 기후에서 7 GHz에서 50GHz사이의 다른 주파수에 대한 감쇠는 경험에 의해 다음식으로 평가할 수 있다.

$$A_2 = A_1 (\Phi_2 / \Phi_1)^{1-H(\Phi_1, \Phi_2, A_1)} \quad (9)$$

$$\Phi(f) = \frac{f^2}{1 + 10^{-4} f^2} \quad (10)$$

$$H(\Phi_1, \Phi_2, A_1) = 1.12 \times 10^{-3} \cdot (\Phi_2 / \Phi_1)^{0.5} (\Phi_1 A_1)^{0.55} \quad (11)$$

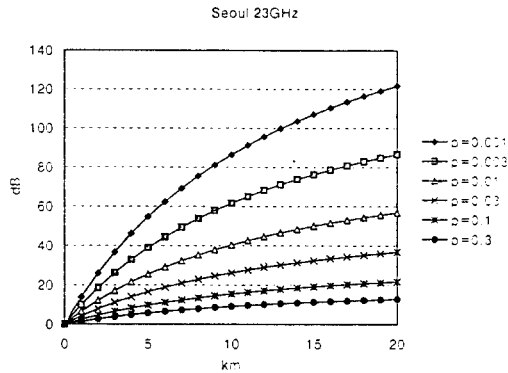
여기서 A_1, A_2 는 주파수 f_1, f_2 (GHz)에서의 강우감쇠값이다.

단계 7. 한 편파에 대한 강우감쇠 통계치가 믿을만하다면, 동일한 중계구간에서 다른 편파에 의한 감쇠는 경험에 의해 다음식으로 평가할 수 있다.

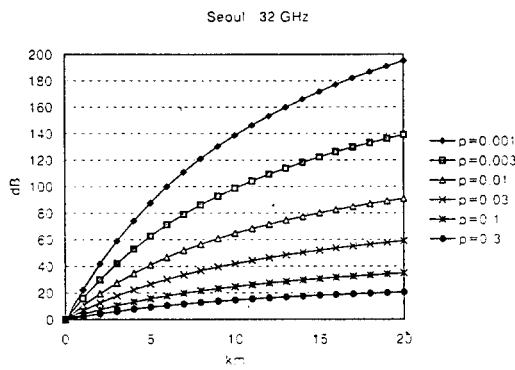
$$A_V = \frac{300 A_H}{335 + A_H} \quad \text{또는} \quad A_H = \frac{335 A_V}{300 - A_V} \quad (12)$$

V. 최적거리 시뮬레이션 및 결과 분석

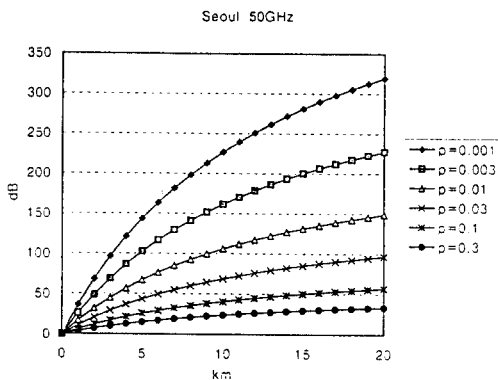
무선시스템의 불가동율에 대해서는 ITU 권고장거리회선에 대해 0.3%/2,500km로 정하고 있다. 이것은 장치의 고장도 포함한 값으로 전파전파에 의한 중단율만을 고려하여 0.1%/2,500km로 하면 연간 1분/5km로 엄격한 값이 된다. 단거리회선에 대한 권고는 현재 없지만 요구되는 신뢰도에 의해 중계회선당 연간 불가동시간이 결정되므로 이것에 따라 소요 강우 감쇠마진을 확보해야 한다.



(a) 23GHz인 경우



(b) 32GHz인 경우



(c) 50GHz인 경우

[그림 4] 서울지역에서의 경로길이에 따른 강우감쇠
[Fig. 4] Rain attenuation in Seoul.

국내의 단거리 회선인 경우 장비의 결합까지 포함하여 연간 불가동 시간율은 0.02% 에서 0.01% 로 요구되고 있다.

시스템 설계시 특정 BER 목표치에 대한 시스템의 한계레벨과 수신레벨간의 차이인 페이드 마진을 각 거리마다의 강우감쇠량과 서로 비교하여 최적 경로 길이를 설정한다.

대상 지역은 서울을 대상으로 시뮬레이션을 하였으며 이때 적용된 주파수는 고정통신용으로 향후 선정될 가능성이 높은 23GHz, 32GHz, 50GHz를 선정하였다. 그리고 여기에 사용된 편파는 수직편파를 대상으로 하였으며 두 지점간의 양각은 그 차이가 크지 않다고 가정하여 0° 으로 하였다. 4절에서 설명한 강우감쇠 계산과정의 단계1에서 단계5의 과정을 거쳐 다음 그림을 얻었다.

[그림 4]는 서울지역에서의 강우감쇠량을 경로 길이에 대하여 나타내었다. [그림 4]를 보면 거리가 증가하면서 강우감쇠량을 나타내는 곡선의 기울기가 줄어들음을 알 수 있다. 이는 ITU-R에서 권고하는 4절의 강우감쇠량 계산 방법의 단계 3에서처럼 강우감쇠량을 실제 경로길이가 아닌 유효경로 길이를 가지고 계산하기 때문이다.

[그림 4](a)는 서울지역 23GHz 주파수에서의 강우감쇠량을 시간율별로 나타내었다. 0.001%의 불가동시간율을 목표로 하였을 경우, 3km의 경로를 설계시 36dB의 강우마진이 요구됨을 알 수 있다. <표 3>에서 경로길이에 따라서 서울지역에서의 강우감쇠량을 주파수 및 연중불가동시간에 따라 정리하였다.

<표 3>에서 5 km 의 경로길이를 설계할 경우 연중불가동시간 목표를 5.2분으로 설정했을 경우 적어도 페이드 마진을 54.7 dB 이상 설정해야함을 알 수 있다.

VI. 결 론

20GHz 이상의 주파수를 이용하는 무선중계 시스템은 대기에 의한 전파 감쇠가 심하여 중계거리

〈표 3〉 경로길이, 시간율, 주파수에 따른 서울지역에서의 강우감쇠량(dB)

〈Table 3〉 Rain attenuation in Seoul in terms of hop length, time percentage and frequency

경로길이 연중불가동시간 주파수	5 km				8 km				12 km			
	5.2분 (0.001%)	15.7분 (0.003%)	52.5분 (0.01%)	157.7분 (0.03%)	5.2분 (0.001%)	15.7분 (0.003%)	52.5분 (0.01%)	157.7분 (0.03%)	5.2분 (0.001%)	15.7분 (0.003%)	52.5분 (0.01%)	157.7분 (0.03%)
23 GHz	54.7	38.9	25.5	16.5	75.5	53.8	35.2	22.8	95.6	68.1	44.6	28.9
28 GHz	73.5	52.4	34.3	22.2	101.4	72.3	47.3	30.7	128.5	91.6	59.9	38.9
32 GHz	87.7	62.5	40.9	26.5	120.9	86.2	56.5	36.6	153.3	109.3	71.6	46.4
38 GHz	106.5	75.9	49.7	32.2	146.9	104.7	68.6	44.4	186.2	132.7	86.9	56.3
50 GHz	143.5	102.2	66.9	43.4	198.0	141.1	92.4	59.9	250.9	178.8	117.1	75.9

에 제약을 받는다. 특히 강우에 의한 전파감쇠는 다른 감쇠요인들 중 그 영향이 가장 크며 무선중계 시스템의 최적길이를 설정하는 기본 요소가 된다.

국내 측우소에서 측정된 강우자료를 이용하여 강우감쇠 계산에 기본이 되는 시간율에 따른 강우강도를 감마함수를 이용하여 추정하고 강우감쇠량을 ITU 권고에 따라 계산하였다. 그리고 주파수가 23, 32, 50 GHz 에서 거리별, 불가동시간을별로 서울지역에서의 강우감쇠량을 시뮬레이션하여 강우감쇠마진에 따라 무선 시스템 설계시 최적 홉 길이를 추정할 수 있도록 하였다. 이 결과값을 기준으로 20GHz 이상 주파수 대역에서 단일 무선 시스템 중계거리 산정시, 불가동 시간을 목표치에 따른 주파수별 최적 경로길이를 산출할 수 있게 되었다.

현재 전국을 대상으로 최근 10년 이상의 강우 정보를 분석중에 있으므로 정확한 강우강도 자료가 국내에서도 확보될 예정에 있으며 20GHz 이상 대역의 전파특성과 강우감쇠 측정도 계획중에 있으므로 독자적인 전파감쇠 추정식도 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] M. Glauner, "Considerations for the Planning of Digital Radio-Relay Systems Limited by Interference and Noise," 2nd European Conference on Radio-Relay Sy-

stems, Abano Terme-Padua, Italy, pp. 154 -161, 17-21 April 1989,

[2] Abel A. Ali and Mohammed A. Alhaider, "Millimeter Wave Propagation in Arid Land- A Field Study in Riyadh," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 40, no. 5, pp. 492-498, May 1992.

[3] David A. de Wolf and Albert J. Zwiesler, "Rayleigh-Mie Approximation for Line-of-Sight Propagation Through Rain at 5-90GHz," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 3, pp. 273-279, March 1996.

[4] ETSI /STC-TM 4 (90) 109, "Model for Radio-Relay Performance Prediction," Document TM 4 (89) /67. Document TM 4 (90) /29.

[5] ITU-R, "Attenuation by atmospheric gases in the frequency range 1-350 GHz," Rec. 676-1, 1994.

[6] J. Awaka, et al, "Millimeter and Optical Wave Propagation Experiments under Snow, Fog, and Rain conditions at Akita," *J. CRL*, vol. 38, no. 3, pp. 645-659, Nov., 1991.

[7] T. Manabe and T. Ihara, "The Relation-

- ship of Raindrop-size Distribution to Attenuations Experienced at 50,80,140 and 240GHz," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 35, no. 11, pp. 1326-1330, May 1992.
- [8] 양준규, 신창윤, 강영홍, "국내 위성회선에 미치는 강우감쇄의 영향분석," *한국통신학회논문지*, vol. 20, no. 10, pp. 2927-2937, Oct. 1995.
- [9] A. A. R. Townsend, *Digital Line-of-sight Radio Links*, A Handbook, Prentice Hall, 1992.
- [10] N. Abel, "Statistics of Multipath Fading and Rain Attenuation on Terrestrial Radio Links operating in the 7 to 15 GHz Range," *Proc. of the IEE International Conference on Antennas and Propagation*, Conference Publication no. 195, Part 2, pp. 64-67, 1978.
- [11] ITU-R, "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-line-of sight systems," *Rec. 530-5*, 1994.
- [12] ITU-R, "Characteristics of precipitation for propagation modelling," *Rec. 837-1*, 1994.
- [13] ITU-R, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods," *Rec. 838*, 1994.
- [14] ITU-R, "Conversion of annual statistics to worst-month statistics," *Rec. 841*, 1994.
- [15] 일본무선설비검사검정협회, B-ISDN 대응 밀리파 이용기술에 관한 조사연구 보고서, Mar., 1995.

이 형 수

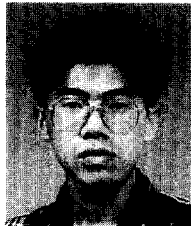


1980년 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1985년 : 연세대학교 전자계산학과 석사
 1995년 : 성균관대학교 정보공학과 박사

1983년~현재 : 한국전자통신연구소 선임연구원

[주 관심분야] 전파전파특성, 스펙트럼 관리기술, 무선망 설계

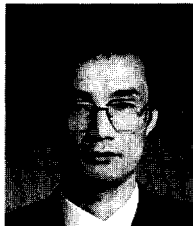
김 혁 제



1993년 : 충남대학교 전자공학과 학사
 1995년 : 충남대학교 전자공학과 석사
 1995년~현재 : 한국전자통신연구소 연구원

[주 관심분야] 전파전파특성, 무선망 설계, 수동초고주파 공학

신 동 근



1987년 : 한양대학교 자원공학과 학사
 현재 : 한국통신 네트워크본부 통신망기획국
 [주 관심분야] 무선망계획, 동기식 M/W 무선망