

국내환경에 적합한 밀리미터파대역에서의 강우감쇄 추정

正會員 조 삼 모*, 김 양 수**, 백 정 기**, 이 성 수*, 김 혁 제*

Estimation of Rain-Attenuation for Millimeter-Wave Propagation in Domestic Environments

Sam-Mo Cho*, Yang-Su Kim**, Jeong-Ki Pack**, Sung-Soo Lee*, Hyuk-Je Kim*
Regular Members

요 약

약 10 GHz 이상의 주파수를 사용하는 무선 채널에서 채널의 가용도는 강우감쇄에 심각한 영향을 받는다. 강우감쇄의 영향은 주파수와 지역적 상황에 따라 다르다. 본 논문에서는 국내환경에 적용할 수 있는 밀리미터파대역의 강우감쇄를 추정하였다. 빗방울 크기분포는 지수분포로 가정하였고, 빗방울 크기분포를 변화시켜가며 국내환경과 유사한 여러나라의 측정치를 비교하고 분석하여 국내환경에 적용시킬 수 있는 빗방울 크기분포를 보였다. 또한, τ 분 강우율을 1분 강우율로 변환할 수 있는 변환모델을 논하고 이를 적용하여 변환한 국내의 강우율데이터를 이용하여 강우감쇄의 확률분포를 계산하였다.

Abstract

The rain attenuation of a radio channel above 10 GHz can have impact on the availability of the radio channel. The severity of the rain impairments increases with frequency and varies with regional location. This paper presents an estimation method for rain attenuation for millimeter-wave propagation in domestic environments. The drops size distribution is assumed to be exponential, and the measurement data in the various countries which are similar to the domestic environments are compared with the theoretical one by varying the drops size distribution. A rain-rate conversion model which can convert τ -minutes rain-rate data to 1-minute rain-rate data for domestic environments is also discussed. Using the converted domestic rain-rate data, probability distributions of rain attenuation are computed.

I. 서 론

무선통신시스템에서 전송채널에서의 전파특성은 시스템의 비트오율특성, 채널의 가용성, 인접국간의 간섭

섭 등에 영향을 미친다. 일반적으로 전파경로상의 손실 및 페이딩특성은 자유공간 전파에 의한 기본손실 외에도 장애물로부터의 회절 및 산란, 강우 및 강설 등에 영향을 받으므로 무선통신시스템의 설계 및 성능 계산을 위해서는 이들 현상에 대한 정확한 정량적 예측이 필요하다.

특히 가시경로의 밀리미터파대역 시스템에서는 대역폭이 아주 넓지 않을 때 다중경로에 의한 페이딩의

* 한국전자통신연구원 전자응용연구실

** 충남대학교 전파공학과

論文番號 : 98130-0320

接受日字 : 1997年 12月 18日

영향은 무시가능하며 이 경우는 강우감쇄가 지배적이다(1). 현재 지상 무선링크 설계에 많이 사용되고 있는 ITU-R의 강우감쇄에 대한 예측식은 400GHz까지 주어져 있으나 실제 측정을 통해 신뢰성이 있는 것으로 확인된 주파수는 40GHz까지 이다⁽²⁾.

강우감쇄의 주파수특성은 빗방울의 크기분포(dropsize distribution)와 밀접한 관계가 있으며 ITU-R의 예측모델은 Laws-Parsons분포에 근거한다(2-6). 기존의 Laws-Parsons 분포, Marshall-Palmer 분포, Joss 분포 등은 약 40 GHz 이하의 대역에서는 거의 동일한 강우감쇄 특성을 보이고 있으나 밀리미터파대역에서는 이론모델의 감쇄특성에 있어서 상당한 차이가 있으며, 또한 지역별 측정데이터와 비교할 때 이러한 모델들에 의한 예측오차가 상당히 클 수 있다. 따라서 최근 각국에서는 자국 환경에 적합한 이론모델을 개발하고 있다⁽⁷⁻¹³⁾.

현재 국내에는 강우감쇄에 대한 밀리미터파대역 측정데이터가 없으므로 본 논문에서는 국내 환경과 유사한 온대지역의 측정치를 근거로 국내환경에서 밀리미터파대역에 적용시킬 수 있는 강우감쇄 예측모델을 제시하였다. 또한 ITU-R에서는 적분시간이 1분인 강우율데이터를 사용하도록 권고하고 있으나 국내의 장기간 측정된 강우율데이터는 적분시간이 20분이다. 따라서 본 논문에서는 국내의 20분 데이터를 1분 데이터로 변환시킬 수 있는 모델을 제시하고 전술한 강우감쇄모델을 이용하여 국내 환경에서의 강우감쇄에 대한 확률분포를 계산하였다.

II. 강우감쇄 모델

1. 강우감쇄의 이론적 해석

그림 1의 구조와 같은 랜덤입자(random particle)에 의한 산란의 경우 관측점 P에서 전계 $\bar{E}(p)$ 는 입사파와 강우입자들에 의한 산란파의 합(coherent sum)으로 주어지며, $\bar{E}(p)$ 에 기여하는 강우 입자들은 선분 OP로부터 수 개의 Fresnel zone 안에 있는 입자들이다.

그림에 주어진 강우입자들로 구성된 두께 d 의 판을 단일산란(single scattering)을 가정할 수 있을 만큼 충분히 작은 Δd 간격으로 분할하고 강우입자의 크기가 균일한 구형 입자이며 평균밀도가 $N(m^{-3})$ 라고 가정하

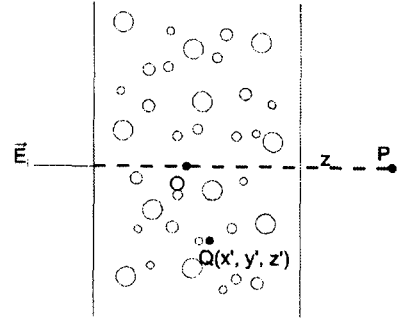


그림 1. 랜덤한 강우입자들에 의한 산란
Fig 1. Scattering by random raindrops

자. 이 경우 산란파는 편파와 무관하며 두께 Δd 인 판 내부의 강우입자들로 부터의 산란파에 의한 점 P에서의 전체 전계 $E(P)_{\Delta d}$ 는

$$E(p)_{\Delta d} = E_i \{1 + S(0) \sum \frac{1}{jkr} e^{-jk(r-z)}\} \quad (1)$$

로

주어진다. 윗 식에서 $S(0)$ 는 강우입자의 전방산란 크기함수(forward scattering amplitude function), (는 $E(P)$ 에 기여하는 모든 입자들에 대한 합을 나타내고 Δd 내의 입자수가 충분히 많을 경우 체적적분으로 대체할 수 있다. 또한 z 가 충분히 큰 경우 위상의 $r-z$ 와 분모의 r 은 잘 알려진 Fresnel 근사를 할 수 있다. 산란영역이 두께 Δd 인 n 개의 판으로 구성되어 있다면

$$\begin{aligned} \langle E(P) \rangle &= E_i \langle T \rangle_{\Delta d}^n \\ &= E_i \left\{ 1 - \frac{2\pi N d S(0) / k^2}{n} \right\}^n \end{aligned} \quad (2)$$

로 된다. 윗 식에서 $\langle T \rangle_{\Delta d}$ 는 두께 Δd 인 판에 대한 등가투과계수의 평균치이다. 두께 d 인 전체 산란영역이 두께 Δd 이고 판의 갯수가 충분히 많을 경우($n \rightarrow \infty$), 지수함수의 정의로부터

$$\langle E(P) \rangle = E_i e^{-2N d S(0) / k^2} \quad (3)$$

로 주어진다. 따라서 감쇄계수 A와 위상계수 (는

$$A = \frac{2\pi N}{k^2} \text{Re}\{S(0)\} \quad (\text{Neper/m}),$$

$$\phi = \frac{2\pi N}{k^2} \text{Im}\{S(0)\} \quad (\text{Rad/m}) \quad (4)$$

로 주어진다. 식 (4)의 표현식은 전방으로의 다중산란 (forward multiple scattering) 효과를 모두 고려하고 있으며 후방다중산란은 포함되지 않았으나 강우산란과 같이 산란입자가 희박한 경우 그 영향은 무시가능하다(4).

실제 다양한 크기의 빗방울에 의한 산란에서 유효직경이 D 인 빗방울의 전방산란크기합수를 $S(0, D)$ 라 할 때 강우감쇄계수 γ 는 식 (4)로부터

$$\gamma = 20 \log_e \times 10^3 \int_0^D \frac{2\pi}{k^2} \text{Re}\{S(0)\} N(D) dD$$

$$= 4.343 \times 10^3 \int_0^D Q(D) N(D) dD \quad (\text{dB/km}) \quad (5)$$

로 주어진다. 여기서 $N(D)$ 는 빗방울 크기분포이고 $Q(D)$ 는 빗방울의 소거단면적으로서 단위는 m^2 이다.

2. 빗방울 크기분포

지금까지 제안된 빗방울의 크기분포는 도표형태의 Laws-Parsons(L-P) 분포와, 지수함수형태로 주어진 Marshall-Palmer(M-P) 분포, Joss 분포, 일본의 Ihara(J-M) 분포 등 여러가지가 있다^{3, 5, 8)}. 각 지수함수형태의 분포에 대한 N_0 와 A 의 값은 표 1과 같다.

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D} \quad (\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3}) \quad (6)$$

표 1. M-P, Joss, J-M 분포의 변수값
Table 1. Parameter values for the MP, Joss and J-M distribution

분포	강우형태	$N_0(\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3})$	$A(\text{mm}^{-1})$
M-P		8.0×10^3	$4.1R^{-0.21}$
Joss	Drizzle	3.0×10^4	$5.7R^{-0.21}$
	wide spread	7.0×10^3	$4.1R^{-0.21}$
	Thunderstorm	1.4×10^3	$3.0R^{-0.21}$
J-M		$1.73 \times 10^4 R^{-0.16}$	$5.11R^{-0.253}$

특히, 최근에는 감마(gamma) 혹은 Weibull 분포 등을

이용한 새로운 크기분포 모델이 제안되고 있다⁹⁻¹¹⁾. 감마분포의 경우

$$N(D) = 6.45 \times 10^4 R^{-0.5} D^2 \text{ext} - 7.09 R^{-0.27} D) \quad (7)$$

로 주어지고, Weibull 분포의 경우는

$$N(D) = 10^3 \frac{\eta}{\sigma} (D/\sigma)^{\eta-1} \text{ext}[-(D/\sigma)^\eta] \quad (8)$$

로 주어진다. 이때, $N(D)$ 의 단위는 $\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3}$ 이다.

이상의 이러한 크기분포 모델들은 강우율의 함수이며, 빗방울의 크기분포와 종속도가 주어지면 강우율은

$$R = 6\pi \times 10^{-4} \int_0^D v(D) D^3 N(D) dD \quad (\text{mm/h}) \quad (9)$$

로 주어지므로 각 크기분포는 적절히 정규화되어야 한다. 위 식에서 직경 D 의 단위는 mm, $N(D)$ 의 단위는 $\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3}$ 종속도 $v(D)$ 의 단위는 m/s이다.

III. 밀리미터파대역 강우감쇄 추정모델

1. 측정치와의 비교에 의한 빗방울 크기분포 추정
밀리미터파대역에서의 강우감쇄는 빗방울 크기분포가 크게 영향을 미치며 이러한 크기분포는 지역에 따라 차이가 나므로 국내환경에 적합한 강우모델을 제시하기 위해서는 국내환경에서의 빗방울 크기분포를 알아야 한다. 국내에는 밀리미터파대역에서의 측정데이터가 없으므로 국내환경과 유사한 온대지역의 측정데이터와 비교하여 빗방울 크기분포를 추정하였다. 앞 절에서 기술된 J-M, M-P, Joss 및 감마 분포는 모두 다음의 일반 감마분포로 나타낼 수 있다.

$$N(D) = N_0 D^n e^{-\Lambda D}, (\Lambda = \alpha R^{-\beta}) (\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3}), \quad (10)$$

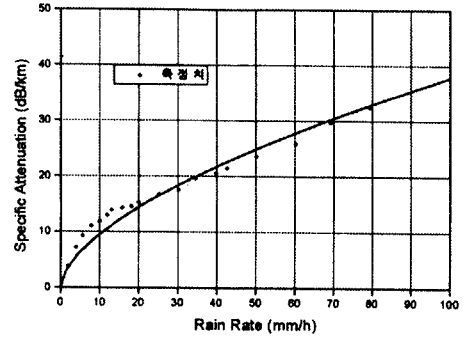
$$N_0 = \frac{10^4 R}{6\pi \times 9.527 \Gamma(n+4) [1/\Lambda^{n+4} - 1/(\Lambda + 0.582)^{n+4}]}$$

위

식에서 $n=0$ 이면 J-M, M-P, Joss 등의 지수분포가 되며, N_0 는 식 (9)의 강우율에 대한 일관성(consistency)을 만족시키도록 정규화된 것이다. 이때, 빗방울의 종속도

는 표의 형태로 주어진 Gunn과 Kinzer의 종속도를 $\nu(D)=9.527(1-e^{-0.582D})$ 로 근사하여 사용하였다.

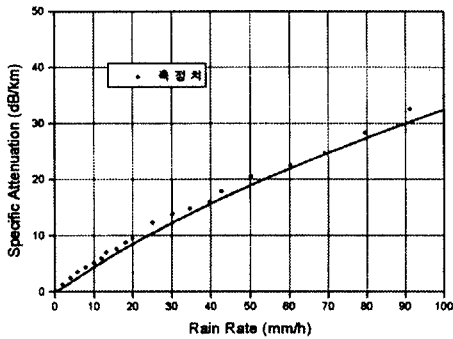
전술한 일반 감마분포를 사용하여 $n=0$ 일 때 각국의 강우감쇄특성에 맞게 Δ 의 α 와 β 를 변화시켜 보았다^[12-14]. 이때 강우산란계수는 Mie의 산란모델을 사용하였다. 그림 2(그림 4에 보인 것과 같이 각국에 대한 α, β 값은 모두 다르며 영국과 캐나다의 데이터는 비슷한 경향을 보인다. 그림에 보인 데이터는 일본은 K지역(동경, M지역에 인접해 있음), 영국은 F지역(Chilbolton), 캐나다는 K지역(Ottawa, Montreal, Toronto, Quebec, Halifax)에 속한 도시의 데이터이다. 단, 캐나다 데이터는 측정치가 아니고 강우율에 따라 Joss의 세가지 모델을 적절히 사용하고 주어진 경로길이에 대해 합성폭풍우 모델(synthetic thunderstorm model)을 사용하여 지상 마이크로파 중계시스템 설



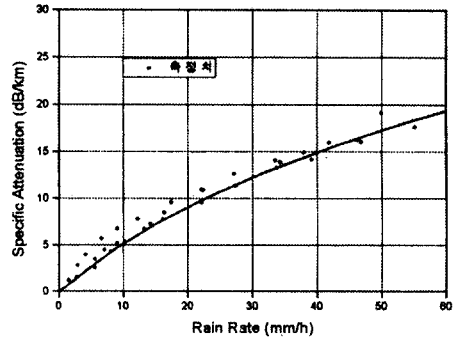
(c) 245.5 GHz

그림 2. 일본의 측정치와 강우감쇄 모델의 특성비교 (일반지수분포: $\alpha=5.11, \beta=0.253$)

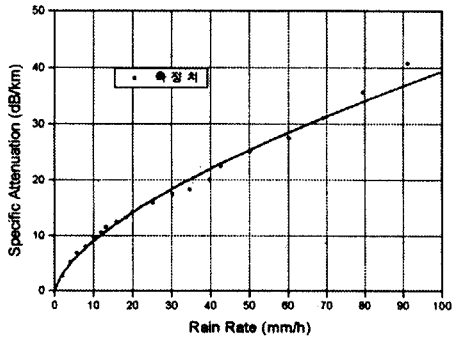
Fig.2 Comparison of the rain attenuation model with the measurement data in Japan



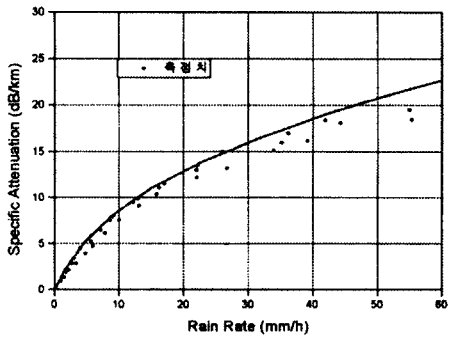
(a) 50.4 GHz



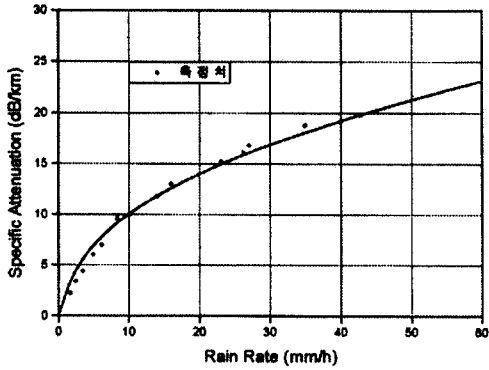
(a) 57 GHz



(b) 140.7 GHz



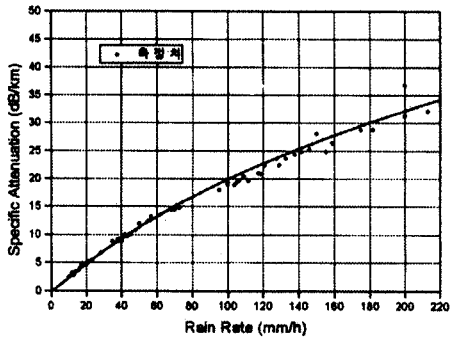
(b) 97 GHz



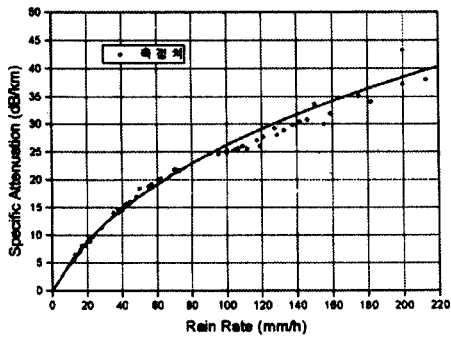
(c) 137 GHz

그림 3. 영국의 측정치와 강우감쇄 모델의 특성비교(일반지수분포: $\alpha=7.3, \beta=0.375$)

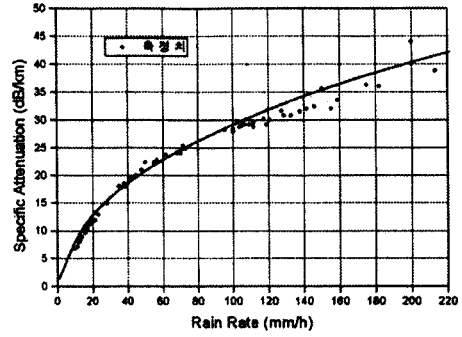
Fig. 3 Comparison of the rain attenuation model with the measurement data in England



(a) 35 GHz



(b) 56 GHz



(c) 100 GHz

그림 4. 캐나다의 이론치와 강우감쇄 모델의 특성비교(일반지수분포: $\alpha=7.3, \beta=0.375$)

Fig. 4 Comparison of the rain attenuation model with the theoretical results in Canada

계에 사용할 수 있도록 계산된 데이터로부터 구한 것이다.

일본의 측정치를 잘 만족시키는 $\alpha=5.11, \beta=0.253$ 인 지수분포(J-M분포와 동일함)와 영국과 캐나다의 데이터를 잘 만족시키는 $\alpha=7.3, \beta=0.375$ 의 지수분포에 대한 빗방울의 크기분포를 그림 5에 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 강우율 12.5 mm/h에서는 두 분포가 거의 같고 그 이상의 강우율에서는 α, β 가 큰 경우 밀리미터 파대역에서 영향이 큰 직경이 3 mm 이하의 빗방울 밀도가 적으므로 감쇄는 상대적으로 적어지며, 강우율이 적은 경우에는 α, β 가 클 때 작은 빗방울의 밀도가 커

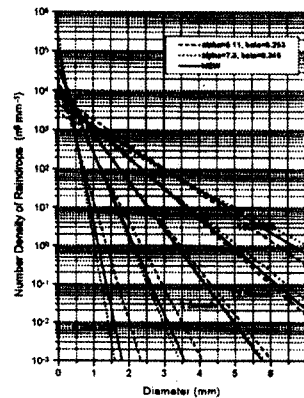


그림 5. 지수분포의 계수의 차이에 따른 빗방울 크기분포의 변화
Fig. 5 Variation of the dropsize distribution for differences in parameters of exponential distribution

지므로 강우감쇄는 상대적으로 약간 커지게 된다.

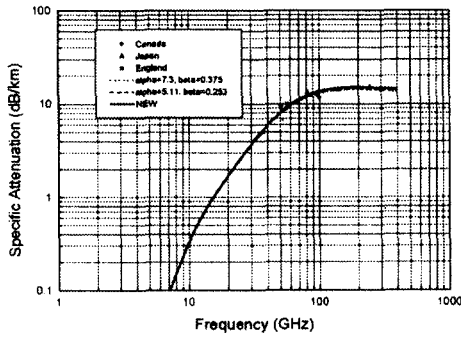
전술한 두 지수분포의 주어진 강우율에 대한 주파수에 따른 감쇄특성을 그림 6에 비교해 보았다. 그림에서 알 수 있듯이 $R=20$ mm/h 일 때는 두 분포가 동일하며, 모두 측정치를 잘 만족시키고 있다. 두 분포에 의한 강우감쇄의 차이가 400 GHz 이하에서 $R=50$ mm/h 일 때는 3 dB/km, $R=90$ mm/h 에서는 10 dB/km 정도의 차이가 난다.

그림에서 새로운 모델로 나타낸 것은 영국, 캐나다, 일본의 데이터 모두를 비교적 잘 만족시키는 분포로서 강우율 90 mm/h 이하, 주파수 400 GHz 이하에서 측정치와의 차이가 5 dB/km 이내가 되며 이때 빗방울의 크기 분포는

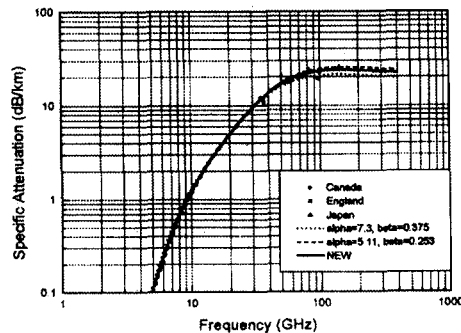
$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D}, \quad (\Lambda = 6.6 D^{-0.33}) \quad (11)$$

$$N_0 = 4.86 R / [\Lambda^{-4} - (\Lambda + 0.582)^{-4}]$$

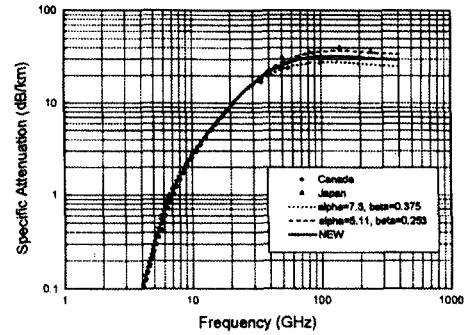
로 주어진다.



(a) R=20 mm/h



(b) R=50 mm/h



(c) R=90 mm/h

그림 6. 주파수에 따른 강우감쇄의 측정치와 이론치의 비교
Fig. 6 Comparison of the rain attenuation models with the measurement data as a function of frequency

앞에서 살펴본 바와 같이 식 (11)의 빗방울 크기분포는 다양한 온대지역(일본, 영국, 캐나다의 측정지역의 시간을 0.01%에 대한 강우율 $R_{0.01}$ 은 각각 50, 22~35, 35~40 mm/h이며, ITU-R의 분류상 각각 K,F 및 K 지역에 속함)에 대한 강우감쇄특성을 비교적 잘 만족시키고 있다. 실제 ITU-R의 분류상 같은 K지역에 속하더라도 강우감쇄특성은 다를 수 있기 때문에 특정 국가의 강우감쇄모델을 국내 환경에 그대로 적용시키기 어려운 점이 있다. 따라서 본 논문에서는 식 (11)의 빗방울 크기분포를 온대지방에 대한 근사모델로 제안하며, 이 모델은 국내의 밀리미터파대역 측정치가 없는 상황에서 국내 환경에 대한 강우감쇄 추정 모델로 충분히 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 빗방울의 산란계수의 계산은 편구형빗방울 모델을 사용하여도 되지만 밀리미터파대역에서는 그 차이가 크지 않으므로 구모델로 가정하여 Mie 산란계수를 사용하여도 무방할 것이다. 이 경우 산란계수는 편구형 모델의 수직, 수평편파에 대한 산란계수의 평균치가 된다.

2. 국내의 강우율데이터 변환 및 분석

Moupfouma와 Martin는 최근 영국의 RAL (Rutherford Appleton Laboratory)에서 1990~1994년 기간에 측정된 적분시간 20초~1시간 사이에 분포하는 강우율데이터를 사용하여 여러지역에 적용시킬 수

있는 범용모델을 제안하였다¹⁵⁾. 적분시간이 τ 분인 시간을 0.01에 대한 강우율데이터 $R(1\text{ min})_{0.01}$ 이 주어질 때 적분시간 1분에 대한 강우율 $R(1\text{ min})_{0.01}$ 은

$$R(1\text{ min})_{0.01} = [R\tau(\text{min})_{0.01}]^\alpha$$

$$\alpha = 0.987[\tau(\text{min})]^c \quad (12)$$

(1 min $\leq \tau \leq$ 60 min)

의 변환식으로 주어진다. 이때 Moupfouma가 제안한 c 값은 0.061이며 1분에 대한 강우율 분포는 식 (12)의 $R(1\text{ min})_{0.01}$ 을 수정 Moupfouma 분포에 대입하면 된다.

Moupfouma의 변환모델을 그대로 국내환경에 적용시킬 때 다소 문제가 있으며 서울지역의 강우데이터로부터 $c=0.049$ 일 때 변환모델이 잘 적용될 수 있음을 확인하였다¹⁶⁾. 그림 7은 20분 강우율데이터로부터 추정된 전국 5대도시 평균 강우율로서 $R(1\text{ min})_{0.01}=82.3\text{ mm/h}$ 인 수정 Moupfouma 분포를 나타낸다.

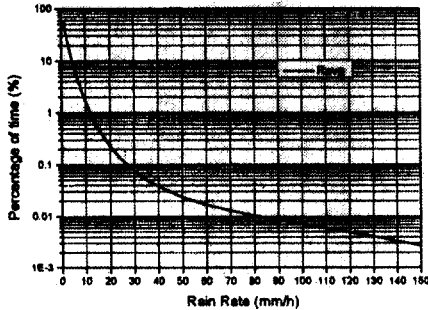


그림 7. 국내의 추정 1분 강우율 분포
Fig. 7 One-minute rain-rate distribution for domestic area

3. 강우율에 따른 강우감쇄의 시간율 특성

앞에서 제안한 빗방울 크기분포와 국내의 1분 강우율에 대한 추정치를 사용하여 강우율에 따른 강우감쇄 및 강우감쇄 시간율분포를 구하고 주요 결과를 정리하였다. 주어진 경로길이에 대한 강우감쇄는 강우의 공간분포를 고려하여야 되며 본 논문에서는 현재 많이 사용되고 있는 ITU-R의 유효경로길이 개념을 사용하였다¹⁶⁻¹⁷⁾.

그림 8은 경로길이 2 km, 주파수 40, 60, 100, 200, 400 GHz에 대한 강우율에 따른 강우감쇄특성을 보여 주고 있다. 그림에서 인 영역에서 강우감쇄의 특성이

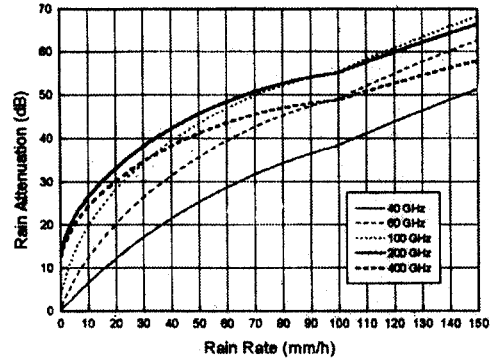


그림 8. 강우율에 따른 강우감쇄특성($d=2\text{ km}$)
Fig. 8 Characteristics of the rain attenuation vs. the rain-rate

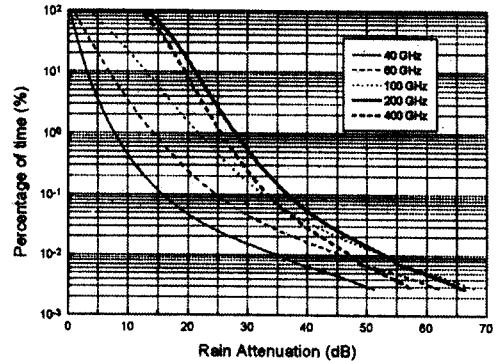


그림 9. 강우감쇄의 시간율 분포 ($d=2\text{ km}$)
Fig. 9 Cumulative time distribution of the rain attenuation

달라지는 것은 ITU-R의 유효경로길이 모델에 기인한다. 그림 7과 그림 8로부터 얻어진 국내환경에 대한 강우감쇄에 대한 시간율 분포는 그림 9와 같다.

IV. 결 론

강우감쇄의 경우 ITU-R 모델은 40 GHz 이상에서는 적용시키기 어렵다. 강우감쇄의 이론모델에서는 특히 빗방울의 크기분포가 중요하며 현재까지 여러가지 분포들이 제안되어 있다. 약 40 GHz 이하에서는 각 분포에 대한 강우감쇄 특성이 거의 동일하나 그 이상의 밀리미터파 대역에서는 상당한 편차를 보이며 측정치와도 다른 특성을 보이고 있다.

현재 국내환경에 대한 강우감쇄의 측정치가 없으므로

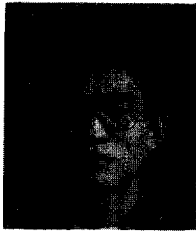
로 본 연구에서는 외국의 측정치를 근거로 밀리미터 파대역에 적용할 수 있는 빗방울 크기분포를 제안하였다.

무선링크를 설계하기 위해서는 강우감쇄의 시간율 특성이 필요하며 이를 위해서는 1분 단위로 측정된 강우율의 시간율분포가 필수적이다. 현재 국내에서는 1분 강우율 분포를 구할 수 있는 충분한 측정데이터가 없으므로 장기간의 자료가 축적된 20분 강우율을 1분 강우율로 변환한 추정 강우율 분포를 제시하였다.

제시한 모델을 이용하여 강우율에 따른 강우감쇄 특성 및 시간율특성을 구하였다. 앞으로 국내의 강우율 및 강우감쇄에 대한 측정자료가 조속히 축적되어 보다 정확한 예측모델을 개발할 수 있게 되기를 바란다

참 고 문 헌

1. 백정기, 고옥희, 박동철, 김양수, 송기홍, 함영권, "무선 CATV 환경에 대한 무선 채널특성의 예측," 통신학회 제출중.
2. ITU-R, "Characteristics of Precipitation for Propagation Modelling," Rec. 837-1, 1994.
3. R. L. Olsen, D. V. Rogers, and D. B. Hodge, "The aRb Relation in the Calculation of Rain Attenuation," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 26, no. 2, pp. 318-329, 1978.
4. D. V. Rogers and R. L. Olsen, "Multiple Scattering in Coherent Radio-Wave Propagation Through Rain," COMSAT Tech. Rev., vol. 13, no. 2, pp. 385-401, 1983.
5. T. Oguchi, "Electromagnetic Wave Propagation and Scattering in Rain and Other Hydrometeors," Proc. IEEE, vol. 71, no. 9, pp. 1029-1078, 1983.
6. J. O. Laws and D. A. Parsons, "The Relation of Raindrop-Size to Intensity," Trans. American Geophy. Union, vol. 24, pp. 452-460, 1943.
7. T. Ihara, Y. Furuhashi, and T. Manabe, "Inference of Raindrop Size Distribution from Rain Attenuation Statistics at 12, 35, and 82 GHz," IEICE Trans., vol. E67, no. 4, pp. 211-217, 1984.
8. T. Manabe, T. Ihara, and Y. Furuhashi, "Inference of Raindrop Size Distribution from Attenuation and Rain Rate Measurement," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 32, no. 5, pp. 474-478, 1984.
9. H. Jiang, M. Sano and M. Sekino, "Weibull Raindrop-Size Distribution and Its Application to Rain Attenuation," IEE Proc. Microw. Antennas Propag., vol. 144, no. 3, pp. 197-200, 1997.
10. K. I. Timothy and S. K. Sarkar, "Generalized Mathematical Model for Raindrop Size Distribution(RSD) for Application in Radiowave Propagation and Meteorological Studies," Electron. Lett., vol. 33, no. 10, pp. 895-897, 1997.
11. Maitra and C. J. Gibbins, "Inference of Raindrop Size Distributions from Measurements of Rainfall Rate and Attenuation at Infrared Wavelengths," Radio Sci., vol. 30, no. 4, pp. 931-941, 1995.
12. T. Manabe et al., "The Relationship of Raindrop-Size Distribution to Attenuation Experienced at 50, 80, 140, and 240 GHz," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 35, no. 11, pp. 1326-1330, 1987.
13. T. Ihara, "Applicability of Specific Rain Attenuation Models at Millimeter Wavelengths," IEICE Trans. Comm., vol. E.77-B, no. 10, pp. 1275-1278, 1994.
14. B. Segal, Rain Attenuation Statistics for Terrestrial Microwave Links in Canada, CRC Report no. 1351-E, 1982.
15. F. Moupfouma and L. Martin, "Modeling of the Rainfall Rate Cumulative Distribution for the Design of Scatellite and Terrestrial Communication Systems," Int. J. Satellite Comm., vol. 13, pp. 105-115, 1995.
16. 김양수, 백정기, 이성수, 조삼모, 김혁제, "강우환경에서의 밀리미터파의 전파 특성," 전자과학회 제출중.
17. ITU-R, "Aspects Relative to the Terrestrial Fixed Service," Rec. 530-5, 1994.



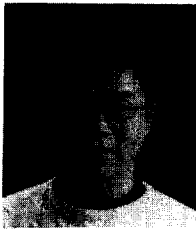
조 삼 모 (Sam-Mo Cho) 정회원
1992년:경북대학교 전자공학과
(공학사)
1994년:경북대학교 대학원 전자
공학과(공학사)
1994년~현재: 한국전자통신연구
원 연구원

*주관심분야: 전파전파 특성, 무선망 설계



김 혁 제 (Hyuk-Je Kim) 정회원
1993년:충남대학교 전자공학과
(공학사)
1995년:충남대학교 대학원 전자
공학과(공학석사)
1995년~현재: 한국전자통신연구
원 연구원

*주관심분야: 전파전파 특성, 무선망 설계 수동초고
주파공학



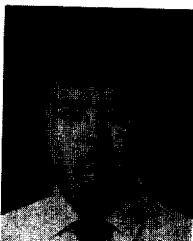
김 양 수 (Yang-Su Kim) 정회원
1997년 2월:충남대학교 대학원
전파공학과(학사)
1997년 3월~현재:충남대학교 대
학원 전파공학과(석
사과정)

*주관심분야: 전자파 전파



백 정 기 (Jeong-Ki Pack) 정회원
1978년:서울대학교 전자공학과
(학사)
1985년:Virginia(석사)
1988년:Virginia Tech(박사)
1978년 3월~1983년 2월:국방과
학연구소

1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원
1989년 3월~1995년 2월:동아대학교 전자공학과
1995년 3월~현재:충남대학교 전파공학과 부교수
*주관심분야: 전자파 전파, 초고주파 회로



이 성 수 (Sung-Soo Lee) 정회원
1983년:한국항공대학교 항공전자
공학과(공학사)
1990년:한국항공대학교 대학원
항공전자공학과(공학석
사)
1984년~현재: 한국전자통신연구
원 선임연구원

*주관심분야: 무선망설계엔지니어링, 스펙트럼관리 기
술, 전파전파 특성