

강우환경에서의 밀리미터파 전파 특성

Characteristics of Millimeter-Wave Propagation in Rain Environments

김양수* · 백정기* · 이성수** · 조삼모** · 김혁제**

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

요 약

밀리미터파대역의 강우감쇄와 교차편파를 여러 나라의 측정치와 비교하였다. 그리고 국내환경에 적용할 수 있도록 τ 분 강우율을 1분 강우율로 변환할 수 있는 변환모델을 제시하였다. 변환한 국내의 강우율 데이터를 이용하여, 강우감쇄와 교차편파의 확률분포를 다양한 모델을 이용하여 계산하고, 그 결과를 서로 비교하였다.

Abstract

Rain-attenuation and cross-polarization models for millimeter-wave propagation are discussed and compared with measurements in the various countries. Rain-rate conversion model which converted τ minutes rain-rate data to one minute rain-rate data, which is applicable for domestic environments are also discussed. Using the converted domestic rain-rate data, probability distributions of rain attenuation and cross-polarization discrimination are computed for various models, and the results are compared with each other.

I. 서 론

무선중계시스템에서 전송채널에서의 전파특성은 시스템의 비트오율특성, 채널의 가용성, 인접국간의 간섭 등에 영향을 미친다. 현재 M/W 대역에 대한 회선설계 알고리즘은 한국전자통신연구원에 의해 개발하였으나 이를 밀리미터파대역까지 확장하기 위해서는 국내환경에 적합한 밀리미터파대역에서의 전파예측기법에 대한 연구가 선행되어야 한다. 밀리미터파대역에서는 강우감쇄가 지배적이며

ITU-R에는 40 GHz까지 적용할 수 있는 예측식이 주어져 있으나 실제 측정을 통해 신뢰성이 있는 것으로 확인된 주파수는 40 GHz까지이며, 또한 ITU

R에서 권고하는 강우율 데이터와 국내의 실제 강우율은 상당한 차이가 있다. 그리고 교차편파의 경우는 35 GHz까지만 예측식이 주어져 있다. 또한 기존의 국내 강우율 데이터는 적분시간이 20분인 데이터이며 ITU-R에서 권고하는 1분 데이터가 없기 때문에 측정치가 얻어질 때까지 적절한 변환이 필요하다.

*충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Engineering, Chungnam Nat'l Univ.)

**한국전자통신연구원 전자과학연구소(Electromagnetic Science Section, ETRI)

· 논 문 번 호 : 980224-025

· 수정완료일자 : 1998년 4월 1일

밀리미터파대역 강우감쇄에 대한 연구는 무선중계시스템뿐만 아니라 시스템 개발이 가시화되고 있는 무선 CATV, PCS의 기지국간 무선링크, 레이더 등 다양한 시스템의 설계를 위해 필요한 요소기술이다. 따라서 본 논문에서는 밀리미터파대역에 적용시킬 수 있는 강우감쇄와 교차편파 모델을 분석하고, ITU-R 모델 및 측정치와 비교, 검토함으로써 국내환경에 적합한 강우감쇄 및 교차편파모델 개발을 위한 방향을 제시하였다.

II. 밀리미터파대역 강우감쇄 및 교차편파 모델

2-1 빗방울 크기 분포

빗방울의 크기는 매우 작은 것에서부터 상당히 큰 것까지 다양하게 분포한다. 가장 작은 빗방울은 구름 속의 물방울 정도의 크기를 가지고, 가장 큰 것은 직경이 8 mm 정도 된다(실제 강우율 150 mm/h 이하에서는 최대 직경이 7 mm 임^[2]). 이것은 직경이 8 mm 이상이 되면 역학적으로 불안정해서 더 작은 직경의 빗방울로 분해되기 때문이다.

이러한 빗방울은 편구체(oblate spheroid)로 근사될 수 있다. Maggiori는 Oguchi가 제안한 방법을 이용하여 모든 편구면 빗방울의 회전축이 전파의 진행방향에 수직인 것으로 가정하고(실제 빗방울의 회전축은 수직방향이 아니며 수직방향과 회전축과의 경사각, 즉 canting angle은 근사적으로 평균 7°, 표준편차 38° 정도의 정규분포를 함) Laws-Parsons의 빗방울 크기분포를 이용하여 강우감쇄를 계산하였다^{[2],[6]}. ITU-R Rec. 838의 강우감쇄 모델은 Maggiori의 계산치에 근거한 것이다.

강우율에 따른 빗방울의 크기분포는 Laws-Parsons 분포, Marshall-Palmer 분포, Joss 분포, Ihara 등이 제안한 일본지역 분포, Ajayi 등이 제안한 적도지역 분포 등 다양한 모델이 있다^{[2],[4]}.

Laws-Parsons 분포는 지금까지 가장 널리 쓰인 분포로서 ITU-R의 강우모델에서도 이 분포를 채택하고 있다. Laws와 Parsons는 측정을 통해서 주

어진 강우율에 대해 빗방울의 크기에 따른 체적비를 표의 형태로 나타내었다.

Marshall과 Palmer는 그들의 측정치와 Laws-Parsons의 측정치로부터 다음과 같은 지수형 분포 함수를 제안하였다^{[2],[4]}.

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

여기서 $N(D)dD$ 는 빗방울 직경이 $D(\text{mm})$ 와 $D+dD(\text{mm})$ 사이에서 분포하는 빗방울의 밀도(m^{-3})를 나타내며 $N_0 = 8.0 \times 10^3 \text{ (mm}^{-1} \text{m}^{-3})$, $\Lambda = 4.1R^{-0.21} \text{ (mm}^{-1})$ 이다.

일본의 Ihara 등은 빗방울의 크기분포와 강우율 및 강우감쇄와의 관계를 이용하여 동경 근교의 강우율과 강우감쇄의 시간율에 대한 누적분포로부터 $N_0 = 1.73 \times 10^4 R^{-0.16}$, $\Lambda = 5.11R^{-0.253}$ 인 지수함수형 크기분포를 제안하였다^[3].

빗방울의 크기분포는 강우율의 함수이고, 강우율은 크기분포와 종속도의 함수이므로 크기분포는 적절히 정규화되어야 한다(consistency check). 그

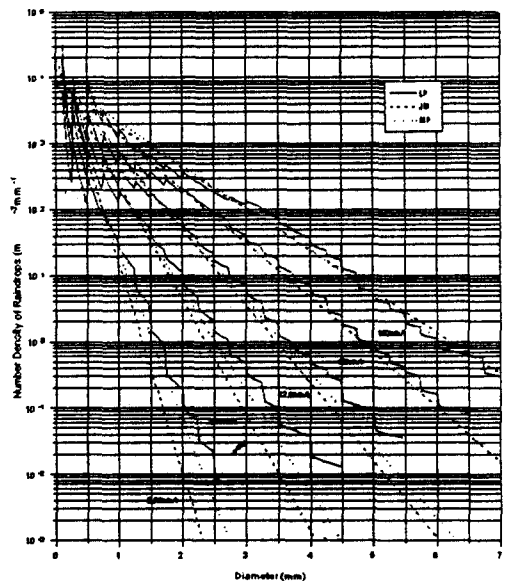


그림 1. 강우율에 따른 크기분포의 비교
Fig. 1. Comparison of raindrop size distribution.

림 1은 정규화된 세 분포의 빗방울 밀도를 보인 것이다. 그림에서 LP는 Laws-Parsons 분포, MP는 Marshall-Palmer 분포, JM은 Ihara 등의 일본모델을 나타낸다.

2-2 강우감쇄 모델

빗방울에 의한 산란에서 유효직경이 D 인 빗방울의 전방산란크기함수(forward scattering amplitude function)를 $S(0, D)$ 라 할 때 강우감쇄계수 γ 는

$$\gamma = 20 \log e \times 10^3 \int_0^{D_m} \frac{2\pi}{k^2} \operatorname{Re}\{S(0, D)\} N(D) dD$$

$$= 4.343 \times 10^3 \int_0^{D_m} Q(D) N(D) dD \quad (\text{dB/km}) \quad (2)$$

로 주어진다[1],[6]. 여기서 $Q(D)$ 는 소거단면적으로서 단위는 m^2 이며, 전파상수 k 와 빗방울의 크기분

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

수직편파인 경우 L-P, M-P, J-M 분포에 대한 강우감쇄계수는 그림 2와 같다. 그림에서 약 40 GHz 이하에서는 세 분포에 대한 강우감쇄가 거의 같다. 그러나 높은 주파수영역에서는 작은 입자들의 영향이 커지고 따라서 작은 입자들에 대한 밀도가 상대적으로 낮은 L-P 분포에 대한 감쇄량이 적으며, 낮은 주파수영역에서는 큰 입자들의 밀도가 높은 L-P 분포에 대한 감쇄량이 다소 크게 나타나

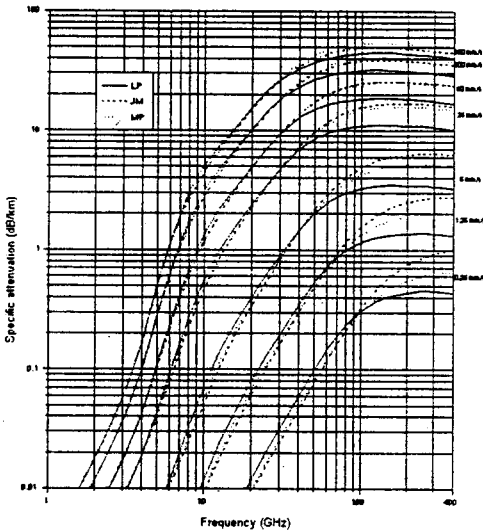
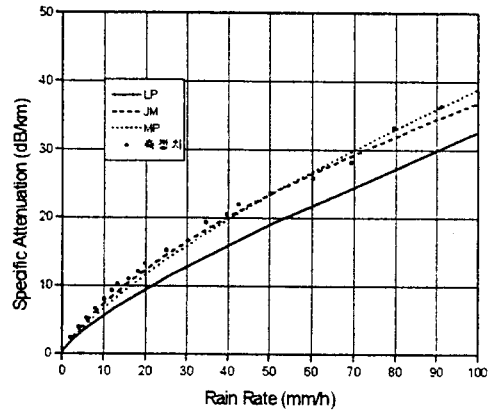
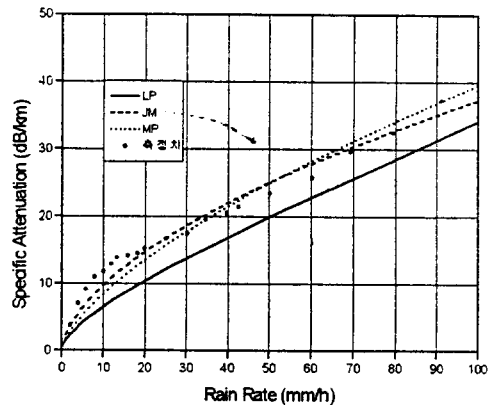


그림 2. L-P, M-P, J-M 분포의 감쇄특성 비교
Fig. 2. Comparison of specific attenuation for L-P, M-P, J-M distribution.



(a) 81.8 GHz



(b) 245.5 GHz

그림 3. 일본의 측정치와 강우감쇄모델의 특성 비교
Fig. 3. Comparison of rain attenuation models with the experimental results in Japan.

고 있다.

그림 3은 강우감쇄모델을 일본의 측정치와 비교한 예를 보인 것으로, 측정치는 경로길이 0.81 km, 수평편파, 주파수 81.8 GHz, 245.5 GHz에 대해 3년간 측정된 것이다^[7]. 본 논문에 나타내지는 않았지만 일본, 영국, 미국의 다양한 주파수영역에 대한 측정치와도 비교를 해 보았으며 그 결과 J-M분포는 주어진 측정치에 대해 적합한 분포이므로 전 영역에 대해 잘 맞으며 M-P 분포는 강우율이 큰 영역에서 감쇄가 더 크게 나타나고, L-P 분포는 전 영역에서 감쇄가 적게 나타난다.

2-3 교차편파 모델

다음은 교차편파의 특성에 대해 살펴보자. 편구형 빔방울의 경사각(canting angle)이 θ 일 때 교차편파 특성은 빔방울의 회전축과 회전축에 수직인 방향에 대한 전방산란계수 $S_{\perp}(0)$ 와 $S_{\parallel}(0)$, 그리고 경사각에 대한 통계적 특성을 알면 구할 수 있다^[3]. 즉,

$$\begin{aligned} XPD_{VH} &= 20\log \left| \frac{(1-G)\tan\theta_0}{1+G\tan^2\theta_0} \right|, \\ XPD_{HV} &= 20\log \left| \frac{(1-G)\tan\theta_0}{G+\tan^2\theta_0} \right| \end{aligned} \quad (3)$$

위 식은 경사각이 빔방울의 크기와 무관하고, 경사각 θ 가 평균과 표준편차가 (θ_0, σ) 인 정규분포를 한다는 가정하에 얻어진 것이다. 여기서 G 는

$$\begin{aligned} G &= \exp[2\Delta T e^{-2\sigma^2}] \\ \Delta T &= \frac{\pi N d}{k^2} [S_{\parallel}(0) - S_{\perp}(0)] \end{aligned} \quad (4)$$

으로 정의된 변수이다.

그림 4는 강우율 50 mm/h, 주파수가 100 GHz, $\theta_0 = 3^\circ, 7^\circ$ 일 때 L-P, M-P, J-M 분포에 대한 σ 값에 따른 XPD 특성을 보여주고 있다. J-M 분포와

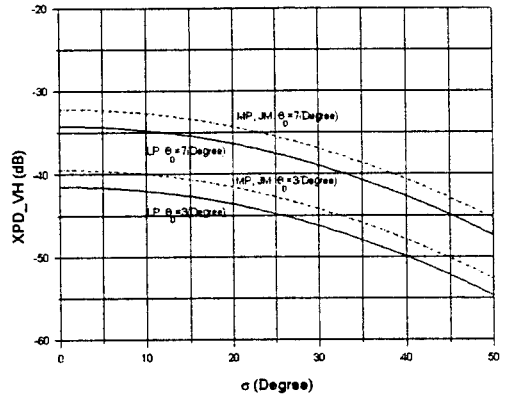


그림 4. L-P, M-P, J-M 분포에 대한 XPD 특성 비교
Fig. 4. Comparison of XPD characteristics for L-P, M-P and J-M distribution.

M-P 분포의 XPD 특성은 거의 동일하며 L-P 분포와는 약 2 dB 정도의 차이를 보인다. 그리고 경사각이 4° 정도 증가할 때 XPD는 약 7.5 dB 정도 증가한다.

III. 국내의 강우율 데이터 변환 및 분석

3-1 강우율 분포

현재 많이 쓰이고 있는 분포함수는 감마분포(gamma distribution), 대수정규분포(lognormal distribution), Moupfouma 분포 등이다. 일반적으로 대수정규분포는 강우율이 적은 영역, 감마분포는 강우율이 큰 영역에 잘 맞으며, Moupfouma 분포는 전영역에 대해 측정치와 잘 일치한다^[9]. 본 논문에서는 국내 환경에서의 강우율 분포를 구하기 위해 수정 Moupfouma 분포를 이용하였다. 수정 Moupfouma 분포의 누적분포는

$$P(R \geq r) = a \frac{e^{-u(r+1)}}{(r+1)^b}, \quad (r \geq 0) \quad (5)$$

가 된다^[9]. 임의의 시간을 p 에 대한 강우율을 R_p 라 할 때

$$P(R \geq r) = \left(\frac{R_p + 1}{r + 1}\right)^b \exp[u(R_p - r) + \ln p] \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다. 누적분포함수에 대한 조건으로부터 b 는

$$b = \left(\frac{r}{R_p} - 1\right) \ln\left(1 + \frac{r}{R_p}\right) \quad (7)$$

로 주어지며, 변수 u 는 온대지역인 경우

$$u = -\frac{\ln p}{R_p} \frac{1}{1 + \eta(r/R_p)^\beta} \quad (8)$$

로 나타내도록 제안하고 있다. ITU-R에서 권고하고 있는 적분시간 1분에 대한 강우율 $R_{0.01}$ 을 사용할 때 $p=0.01$, $R_p=R_{0.01}$, $\eta=4.56$, $\beta=1.03$ 으로 주어진다.

3-2 국내 강우 데이터 분석

국내에는 20분 간격으로 측정된 '84~'93년의 10년간 강우율 데이터가 있으며 최근 한국전자통신연구원에서 이를 분석한 바 있다^[8]. 그러나 ITU-R에서는 1분 간격으로 측정된 데이터를 사용하도록 권고하고 있다. 따라서 국내의 1분 데이터가 확보될 때까지는 기존의 데이터를 적절히 변환하여 사용할 필요가 있다.

Moupfouma와 Martin은 최근 영국의 RAL (Rutherford Appleton Laboratory)에서 1990~1994년 기간에 측정된 적분시간 20초~1시간 사이에 분포하는 강우율 데이터를 사용하여 여러 지역에 적용시킬 수 있는 범용모델을 제안하였다^[9]. 적분시간이 τ 분인 ($1 \text{ min} \leq \tau \leq 60 \text{ min}$)시간을 0.01에 대한 강우율 데이터 $R(\tau \text{ min})_{0.01}$ 이 주어질 때 적분

시간 1분에 대한 강우율 $R(1 \text{ min})_{0.01}$ 은

$$R(1 \text{ min})_{0.01} = [R(\tau \text{ min})_{0.01}]^c, \quad \alpha = 0.987[\tau(\text{min})]^\alpha \quad (9)$$

의 변환식으로 주어진다. 이때 Moupfouma가 제안한 c 값은 0.061이며 1분에 대한 강우율 분포는 식 (6)~(8)의 수정 Moupfouma 분포에 대입하면 된다^[9].

본 논문에서는 Moupfouma의 변환모델을 사용하여 20분 강우율로부터 1분 강우율을 구한 다음 강우감쇄 및 교차편파의 계산에 사용하였다. 모델의 타당성을 확인하기 위해 서울지역의 20분 및 1시간 강우율 데이터^[8]에 적용시킨 결과는 그림 5와 같다. 그림에서 20분과 1시간 데이터로부터 변환된 1분 데이터는 거의 같은 시간율분포를 가지나 $R(1 \text{ min})_{0.01}$ 은 각각 105.0, 112.9 mm/h로서 다소 높은 값을 가진다.

식 (9)에서 c 값을 조정하여 서울지역의 20분 데이터와 1시간 데이터를 사용한 변환결과가 같도록 조정하면 $c=0.049$ 가 된다. 이때 $R(1 \text{ min})_{0.01}$ 은 90 mm/h가 된다. 최근 서울대학교에서 강우강도기록지에 아날로그 형태로 기록된 기상대의 서울지역

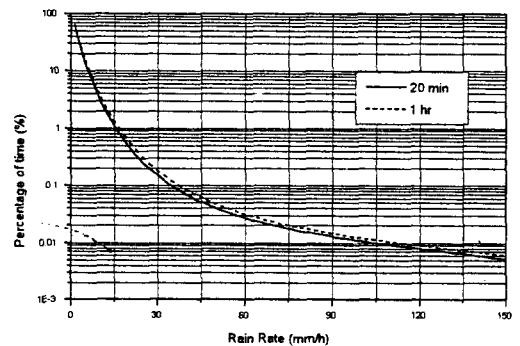


그림 5. Moupfouma의 변환모델에 의한 서울지역의 1분 강우율 분포

Fig. 5. One-minute rain-rate distribution in Seoul area obtained by the Moupfouma conversion model.

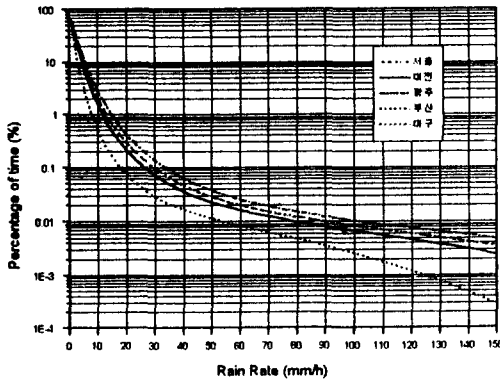


그림 6. Moupfouma의 변환모델에 의한 전국 5대 도시의 1분 강우율 분포

Fig. 6. One-minute rain-rate distribution in 5 major cities obtained by the Moupfouma conversion model.

데이터로부터 94, 95년에 대한 1분 강우율을 계산하였다^[11]. 그 결과 94, 95년의 $R_{0.01}$ 은 각각 44.5, 95.0 mm/h이며, Moupfouma 분포를 잘 만족시킴을 확인하였다. 전국 5대도시의 20분 강우율 데이터^[8]로부터 변환된 1분 강우율분포는 그림 6과 같다.

IV. 강우감쇄 및 교차편파의 시간율 특성

한 지점에서의 강우감쇄계수가 주어졌을 때 길이가 d 인 전파경로에 대해 강우의 공간분포를 고려해서 강우감쇄를 예측할 수 있는 모델에 대해서는 많은 연구가 이루어졌다^[2].

대표적인 것들로서는 경로상의 평균강우율 또는 감쇄계수를 이용하는 방법, 유효경로길이를 이용하는 방법(ITU-R 모델), Morita-Higuti 방법^[10], Global 모델, SAM(Simplified Attenuation Model) 등이 있다. 특히 M-H 방법(또는 수정 M-H 방법)은 최근 일본에서 많이 사용되고 있는 방법으로서 강우율과 강우감쇄가 대수정규분포를 만족시킨다는 가정하에서 강우(또는 강우감쇄)의 공간에

대한 상관함수를 이용하여 주어진 경로에 대한 강우감쇄의 시간을 분포를 구하는 방법이다.

그림 7은 Moupfouma의 변환모델에 의한 전국 5대도시 평균의 1분 강우율을 사용하여 계산된 경로길이 2 km에 대한 100 GHz에서의 강우감쇄에 대한 시간을 분포이다. 그림에서 LP로 표시된 데이터는 ITU-R 모델을 사용하여 시간을 p %에 대한 감쇄를 계산한 것이며(시간을 0.01 %에 대한 감쇄계수는 L-P 분포를 사용하고 ITU-R의 유효경로길이를 곱한 것)^[12], JM은 J-M분포와 ITU-R의 유효경로길이를 이용한 것으로 강우율 R 을 변화시키면서 Moupfouma 분포의 시간율에 대응되는 강우감쇄를 계산하였다. 그리고 MH로 표시된 것은 J-M 분포와 M-H 방법을 사용한 것이다.

JM과 MH는 시간을 0.01 %에 대해 약 10 dB 정도의 차이가 있으며, LP는 시간이 큰 경우 JM과 MH에 비해 감쇄량을 상당히 적게 예측하고 있다.

그림 8은 경로길이가 2 km인 경우 여러 모델에 대한 100 GHz에서의 교차편파특성을 보인 것이다. 그림에서 LP는 CPA의 계산에 ITU-R 모델(그림 7의 LP와 동일한 방법)을 사용하고 XPD 역시 ITU-R 모델을 이용한 것이다^[12]. JM으로 표시된 것은 CPA의 계산에 J-M 분포와 ITU-R의 유효경로길이를 이용하고(그림 6의 JM과 동일한 방법) XPD는 ITU-R 모델을 이용한 것이다. Oguchi로

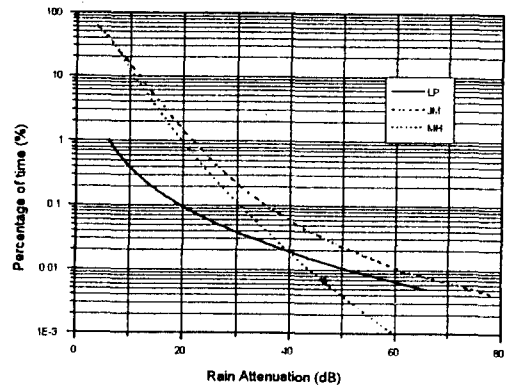


그림 7. 모델에 따른 강우감쇄특성($d=2$ km)

Fig. 7. Comparison of rain-attenuation statistics from different models($d=2$ km).

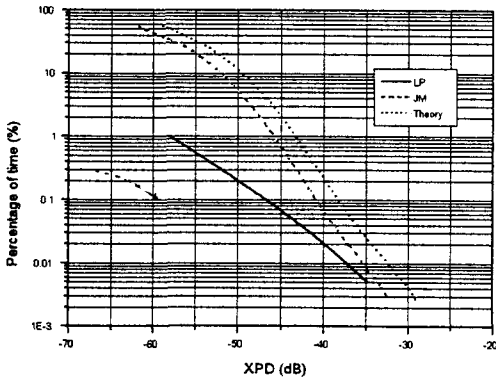


그림 8. 모델에 따른 교차편파의 시간을 특성 비교 ($d=2$ km)

Fig. 8. Comparison of XPD statistics from different models($d=2$ km).

나타낸 것은 식 (3)의 XPD 모델을 사용한 것으로 강우율 R 을 변화시키면서 Moupfouma 분포의 시간율에 대응되는 XPD를 계산한 것이다. 모델에서 XPD 계산에 필요한 감쇄차와 위상차의 계산에는 J-M 분포와 ITU-R의 유효경로길이를 이용하였고 Oguchi의 이론모델에서 경사각의 평균과 표준 편차는 $\theta_0=7^\circ$, $\sigma^2=38^\circ$ 로 두었다.

Oguchi 모델과 JM은 약 2.5 dB의 편차를 보이고 있으며, LP는 시간율이 적을 때는 JM과 비슷하나 강우감쇄와 마찬가지로 시간율이 클 경우 JM과 Oguchi 모델에 비해 XPD를 상당히 적게 예측하고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파대역 강우감쇄 및 교차편파모델을 분석하고 측정치와 비교하였으며 강우 데이터를 1분 데이터로 변환하는 방법을 검토하였다. 그리고 국내의 강우 데이터에 대해 ITU-R 및 다른 모델의 강우감쇄와 교차편파에 대한 시간을 특성을 비교, 분석하였다.

먼저 Moupfouma의 변환방법은 변환상수를 적절히 조정하면 국내환경에 적용가능한 것으로 판단

된다. 그리고 밀리미터파대역 강우감쇄의 경우 ITU-R 모델이 다른 모델에 비해 전체적으로 감쇄 예측치가 적게 나타났다. 따라서 밀리미터파대역에서는 기존의 ITU-R 모델의 수정이 필요한 것으로 판단된다. 그러므로 강우율 0~150 mm/h의 광범위한 영역에 적용시키기 위해서는 새로운 수정모델이 필요하며 앞으로 이 부분에 대한 연구를 계속할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] H. C. van de Hulst, *Light Scattering by Small Particles*, Dover Pub., 1957.
- [2] T. Oguchi, "Electromagnetic Wave Propagation and Scattering in Rain and Other Hydrometeors," *Proc. IEEE*, vol. 71, no. 9, pp. 1029-1078, 1983.
- [3] T. Oguchi, "Scattering Properties of Pruppacher-and-Pitter Form Raindrops and Cross Polarization due to Rain : Calculations at 11, 13, 19.3, and 34.8 GHz," *Radio Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 41-51, 1977.
- [4] R. L. Olsen, D. V. Rogers, and D. B. Hodge, "The aR^b Relation in the Calculation of Rain Attenuation," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 26, no. 2, pp 318-329, 1978.
- [5] D. Maggiori, "Computed Transmission through Rain in the 1-400GHz Frequency Range for Spherical and Elliptical Drops and Any Polarization," *Alta Frequenza*, vol. L, no. 5, pp 262-272, 1981.
- [6] T. Ihara, "Applicability of Specific Rain Attenuation Models at Millimeter Wavelengths," *IEICE Trans. Comm.*, vol. E, 77-B, no. 10, pp. 1275-1278, 1994.
- [7] 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.

- [8] 유성모, 엄익현, 이형수, "무선회선설계에서 강우감쇄의 영향분석을 위한 강우감도와 시간율의 관계 분석," *JCCF97*, pp. 772-776, 1997.
- [9] F. Moupfouma and L. Martin, "Modeling of the Rainfall Rate Cumulative Distribution for the Design of Satellite and Terrestrial Communication Systems," *Int. J. Satellite Comm.*, vol. 13, pp. 105-115,

1995.

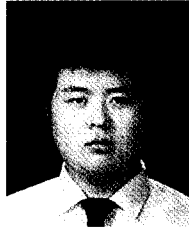
- [10] K. Morita and I. Higuti, "Statistical Studies on Rain Attenuation and Site Diversity Effect on Earth to Satellite Links in Microwave and Millimeter Wavebands," *IEICE Trans.*, vol. E61, no. 6, pp. 425-432, 1978.
- [11] 김현주, 하소영, 임규호, 손승희, "서울지역 강우강도의 통계분석", 기상학회 추계학술대회, 1997.
- [12] ITU-R, "Aspects Relative to the Terrestrial Field Service," Rec. 530-5, 1994.

김 양 수



1997년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 3월~현재 : 충남대학교 대학원 전파공학과(석사과정)
 [주 관심분야] 전자파 전파

이 성 수



1983년 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
 1990년 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학석사)
 1984년~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] 무선망설계엔지니어링, 스펙트럼관리 기술, 전파전파 특성

백 정 기



1978년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1985년 : Virginia Tech(공학석사)
 1988년 : Virginia Tech(공학박사)
 1978년 3월~1983년 2월 : 국방과학연구소

1988년 10월~1989년 2월 : 한국전자통신연구원
 1989년 3월~1995년 2월 : 동아대학교 전자공학과
 1995년 3월~현재 : 충남대학교 전파공학과 부교수
 [주 관심분야] 전자파 전파, 초고주파 회로

조 삼 모



1992년 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1994년~현재 : 한국전자통신연구원 연구원

[주 관심분야] 전파전파 특성, 무선망 설계

김 혁 제



1993년 : 충남대학교 전자공학과
(공학사)

1995년 : 충남대학교 대학원 전자
공학과(공학석사)

1995년~현재 : 한국전자통신연구
원 연구원

[주 관심분야] 전파전파 특성, 무선망 설계, 수동초고주파
공학