

# EHF(44 GHz) 대역 강우 감쇠 특성 예측 연구

## Empirical Study on the Prediction of Rain Attenuation in EHF(44 GHz) Band

박 옹 호 · 이 주 환\* · 백 정 기

Yong-Ho Park · Joo-Hwan Lee\* · Jeong-Ki Pack

### 요 약

본 논문에서는 국내 환경에 적용할 수 있는 EHF(44 GHz) 대역의 강우 감쇠 특성을 예측하기 위한 연구를 수행하였다. 일반적으로 10 GHz 이상에서 동작하는 무선 통신 시스템이 강우에 의한 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다. 이러한 강우 감쇠는 빗방울의 크기 분포를 통해서 예측이 가능하다. 따라서 무선 통신 시스템을 설계하거나 강우에 의한 감쇠 영향을 분석하기 위해서는 국내 환경에 적용 가능한 정확한 빗방울 크기 분포 예측 모델 개발이 중요하다. 본 논문에서는 충남대학교에서 측정을 통해 얻어진 데이터를 바탕으로 일반적인 확장 감마 분포를 이용하여 빗방울 크기 분포 예측 모델을 제시하였으며, 실제 강우 감쇠 측정 데이터와 잘 일치하는 결과를 얻었다.

### Abstract

The attenuation due to rain has been recognized as one of the major causes of unavailability of radio communication systems operating above about 10 GHz. To design radio links for telecommunications and to evaluate attenuation due to rainfall, it is important to have a good prediction model for rain attenuation, such as a model for drop-size distribution of rainfall(DSD), a theoretical model for specific rain attenuation, and an empirical model for effective path length through rain. In this paper, the extended generalized gamma distribution for drop-size distribution, based on the measurements in Chungnam National University, is proposed as a new DSD model, and predicted specific attenuation characteristics using proposed DSD model and rain attenuation values in the 44 GHz satellite path using ITU-R effective path length model, are analysed. The predicted attenuation levels are also compared. It is found that an accurate prediction method for DSD is very important to reduce the prediction error in the local satellite path.

Key words : Rain, Distribution, Attenuation, DSD

### I. 서 론

10 GHz 이상의 짧은 파장을 가진 전파가 대기 중을 통과할 때에는 대기를 형성하고 있는 여러 요인들에 의해 그 값이 변동하게 된다. 이러한 대기의 주요 요인으로는 수증기, 안개, 산소 입자, 강우 및 그 외 여러 종류의 대기가스들을 들 수 있으며, 이 중

대기가스 의존 주파수대(약 22 GHz 및 60 GHz 부근)를 제외한 주파수 영역에서는 강우에 의한 전파 신호의 감쇠 영향이 가장 큰 것으로 알려져 있다.

강우에 의한 전파 신호 감쇠량을 정량적으로 예측하기 위해 미국, 일본, 유럽 등의 위성 선진국들은 1960년대 초반부터 위성 통신망이나 지상 MW 시스템을 대상으로 강우에 의한 전파 특성 연구를 지속

충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

\*한국전자통신연구원 디지털방송연구단(Digital Broadcasting Research Division, ETRI)

· 논문 번호 : 20050521-11S

· 수정완료일자 : 2005년 7월 25일

적으로 수행하였다. ITU-R, Global, SAM(Simple Attenuation Model), DAH(Dysayanake Allnut Haidara) 모델 등으로 일컬어지는 강우 감쇠량 예측 모델들이 그런 강우 환경 연구의 대표적인 결과로서 현재까지 위성통신 시스템을 비롯한 각종 무선 통신 설계에 활용되어 왔다. 그러나 이러한 예측 모델들은 연구 수행 당사국의 고유한 강우 환경 하에서 실측된 결과를 토대로 이루어진 것이기 때문에, 우리나라와 같은 국지적인 강우 현상을 나타내는 전파 특성에 적용시키기는 어렵다. 특히 강우에 의한 신호 감쇠량은 사용 주파수에 매우 의존적이므로 EHF(44 GHz) 대역과 같은 고주파 영역에서는 기존 예측 모델에 의한 예측 결과와 실제로 나타나는 강우 감쇠량과는 현저한 오차를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 우리나라 강우 환경 하에서 약 44 GHz의 EHF 대역 위성 통신망에 적용시킬 목적으로 확장 감마 분포와 대수 정규 분포를 이용한 빗방울 크기 분포(DSD)를 이용한 강우 감쇠 예측 모델을 개발하여 기존의 ITU-99 강우 감쇠 예측 모델과 비교 분석하였다.

## II. 빗방울 크기 분포(DSD)에 따른 강우 감쇠 예측 방법

강우에 의한 전파 신호의 감쇠량은 강우의 정량적 특성, 예를 들면 빗방울의 형상, 빗방울 입자의 크기, 강우의 순간적 세기(강우 강도), 강우시의 온도나 바람 등의 대기 상태 등에 따라 다르게 나타나지만, 빗방울 입자의 크기에 의해 가장 크게 좌우된다.

따라서, 이 강우 감쇠의 정확한 예측을 위해서는 주어진 강우 환경에 적절한 빗방울의 크기 분포, 즉 빗방울 입자의 크기별 밀도 분포를 정확하게 모델링하는 것이 매우 중요하다.

빗방울의 크기별 밀도 분포( $N(D)$ )와 단위 길이에 대한 강우 감쇠 계수( $r$ )는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\begin{aligned} r &= 20 \log(e) \times 10^3 \int_0^{D_m} \frac{2\pi}{k^2} \operatorname{Re}\{S(0)\} N(D) dD \\ &= 4.343 \times 10^3 \int_0^{D_m} Q(D) N(D) dD \quad [\text{dB/km}] \quad (1) \end{aligned}$$

여기서  $S(0)$ 는 전방향 산란 계수(forward scattering amplitude)를 나타내며,  $Q(D)$ 는 소거 단면적으로서 전

방향 산란 계수  $S(0)$ 의 크기 함수에  $(4\pi \times 10^{-6})/k_0^2$ 을 곱해 주면 된다. 여기서  $k_0$ 는 전파 상수이다.

본 논문에서는 충남대학교에서 2003년 7월부터 11월까지 측정된 강우 크기 분포 데이터를 이용하여 확장 감마 분포(extended gamma distribution)로 모델링하는 방법에 대해서 기술하고자 한다.

### 2-1 빗방울 크기 분포에 대한 일반 모델

측정된 빗방울 크기별 밀도 데이터는 감마 분포, 대수 정규 분포 등 여러 통계 분포에 의해 모델링할 수 있다.

본 논문에서는 일반적으로 사용되는 감마 분포를 확장한 통계 분포 방법으로 빗방울 크기 분포를 모델링하는 방법에 대하여 소개한다.

확장 감마 분포의 함수는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} p(t, \mu, \sigma, \lambda) &= \frac{|\lambda|^{1-2} \cdot \lambda^{-2}}{\Gamma(\lambda^{-2})} \cdot \mu \cdot \sigma \cdot \left(\frac{t}{\mu}\right)^{\frac{1}{\sigma} \cdot \mu^{-1}} \\ &\quad \cdot \exp\left[-\lambda^{-2} \cdot \left(\frac{t}{\mu}\right)^{\frac{1}{\sigma}}\right] \quad (2) \end{aligned}$$

여기서  $\mu$ 와  $\sigma$ 는 각각 크기(scale)와 형상(shape)을 나타내는 파라미터이다. 기존의 빗방울 크기 분포로 국제적으로 널리 사용되는 지수 분포, 감마 분포, 대수 정규 분포, 와이불 분포는 식 (2)로 나타낸 일반적인 확장 감마 분포의 특수한 경우이다. 확장 감마 분포의 특수한 경우에 대한 예를 표 1에 나타내었다.

### 2-2 확장 감마 분포와 대수 정규 분포에 의한 크기 분포 모델링

확장 감마 분포를 가정한 경우, 빗방울의 크기 분포는 식 (3)과 같다.

또한 강우율은 다음 식과 같이 빗방울 크기 분포

표 1. 각 분포 모델에 대한 파라미터  
Table 1. Parameters of distribution models.

Case	$\lambda$	Scale	Shape
Gamma	$\lambda = \sigma$	$\mu \cdot \sigma^2$	$\sigma^{-2}$
Exp	$\lambda = \sigma = 1$	$\mu$	-
Lognormal	$\lambda = 0$	$\mu$	$\sigma$
Weibul	$\lambda = 1$	$\mu$	$\sigma^{-1}$

$N$ 의 함수이고,  $N$ 도 또한  $R$ 의 함수이므로, 모델링한 빗방울 크기 분포가 유효하기 위해서는 먼저 식 (4)의 consistency relation을 만족시켜야 한다.

$$N(D, N_0, \mu, \sigma, \lambda) = N_0 \cdot \frac{|\lambda|^{1-2 \cdot \lambda^{-2}}}{\Gamma(\lambda^{-2}) \cdot \mu \cdot \sigma} \cdot \left(\frac{D}{\mu}\right)^{\frac{1}{\sigma} \cdot \mu - 1} \cdot \exp\left[-\lambda^{-2} \left(\frac{D}{\mu}\right)^{\frac{\lambda}{\sigma}}\right] \quad (3)$$

$$R = 6\pi \cdot 10^{-4} \cdot \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 v(D) N(D, N_0, \mu, \sigma, \lambda) dD \quad (4)$$

Disdrometer(RD-80, Distromet Co. Ltd.)를 이용하여 측정된 강우율/빗방울 크기 분포 측정 데이터 중 2003년 7월 13일부터 2003년 11월 30일까지의 데이터를 이용하여 강우율에 대한 빗방울 크기 분포 특성을 분석해 보았다. Disdrometer를 사용하여 측정된 빗방울의 크기 분포를 통계적 분포 함수로 모델링하는 방법에는 모멘트법과 ML(Maximum Likelihood) 방법이 있다. 모멘트 법은 간단하나 분포 함수의 파라미터 측정값이 여러 개 나올 수 있는 반면, ML 방법에서는 유일한 파라미터 값이 결정된다.

식 (3)의  $N_0, \sigma, \lambda$  파라미터 값은 강우율/빗방울 크기 분포 측정 데이터를 바탕으로 ML 방법을 적용하여 유도하였다. Disdrometer에서는 강우 입자의 크기가 모두 20개 class로 분류되어 10초 단위로 기록된다. 각 ML class의 빗방울 개수  $n_b$ 는 포아송 분포(Poisson distribution)로 가정할 수 있으므로, Likelihood 함수는

$$L(\mu, \sigma, \lambda) = - \sum_{b=1}^M n_b \cdot \ln(f_b) + \sum_{b=1}^M f_b \quad (5)$$

와 같이 주어진다. 이때  $f_b$ 는 구하고자 하는 DSD에 의한 예측값으로서

$$f_b = \int_{D_{b-1}}^{D_b} f(D; \mu, \sigma, \lambda) \cdot dD \quad (6)$$

으로 정의된다.

강우 크기 분포의 형상을 검토하기 위하여 60초 누적 시간 데이터 중에서, 계산된 강우율  $R$ 값이 측정값의 10% 범위 내에 있는 데이터를 선정하였다. 이 데이터는 샘플링 오류가 적어서 실제 빗방울 크기 분포를 잘 표현할 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다. 선정된 데이터의 파라미터 산란도를 그림 1에

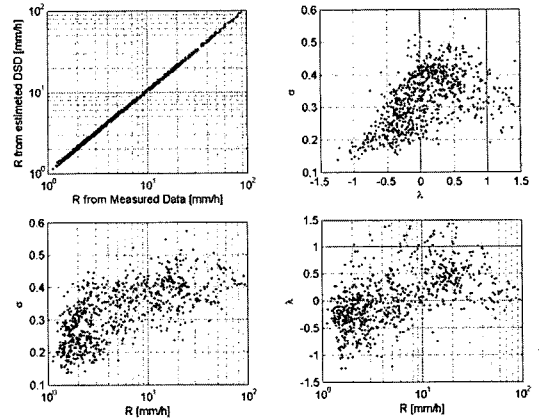


그림 1. 확장 감마 분포의 파라미터 산란도  
Fig. 1. Scattergrams of the parameters for generalized gamma distribution.

나타내었다.

그림 1의 파라미터 산란도와 표 1의 파라미터 값을 비교해 보면 대수 정규 분포가 빗방울의 크기 분포를 추정하는 데 적절한 분포로 판단된다. 대수 정규 분포는 식 (7)과 같이 주어지며, 대수정규 분포의 파라미터 산란도는 그림 2와 같다.

$$p(t, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \sigma}} \cdot \left(\frac{t}{\mu}\right)^{-1} \times \exp\left\{-\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{\sigma} \ln\left(\frac{t}{\mu}\right)\right]^2\right\} \quad (7)$$

그림 2의 파라미터 산란도로 부터 대수정규 분포의 파라미터들을 구하였다. 그 결과는 식 (8)과 같다.

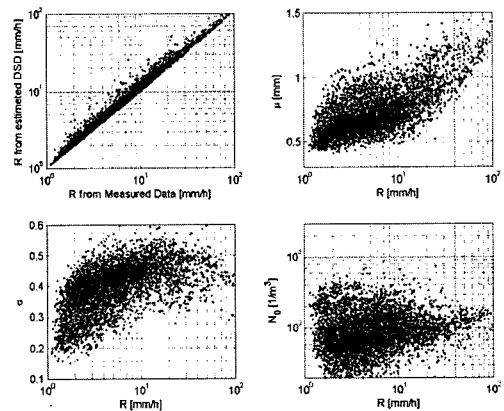


그림 2. 대수 정규 분포의 파라미터 산란도  
Fig. 2. Scattergrams of the parameters for log-normal distribution.

$$N_0 = \exp(0.02542 \ln(R)^3 - 0.1429 \ln(R)^2 + 0.324 \ln(R) + 6.539)$$

$$\mu = 0.03148 \ln(R)^2 + 0.01014 \ln(R) + 0.5783$$

$$\sigma = -0.02161 \ln(R)^2 + 0.1328 \ln(R) + 0.2546 \quad (8)$$

강우율  $R=5, 10, 40, 80$  mm/h 일 때의 DSD 모델과 측정값을 비교한 결과를 그림 3에 보였으며, DSD 모델이 측정값과 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

### 2-3 ITU-R 적용 크기 분포 모델

강우 감쇠 계산을 위해 현재까지 제시된 크기 분포 모델은 Laws-Parsons 분포, Marshall-Palmer 분포,

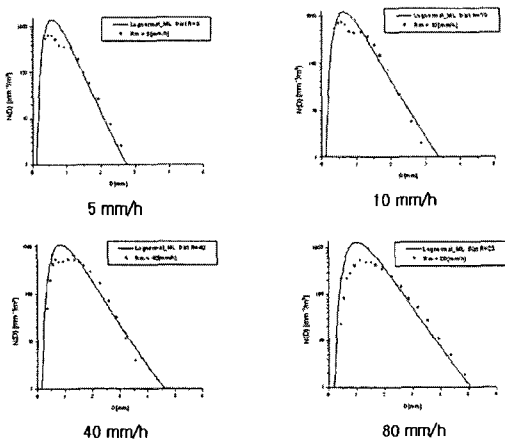


그림 3. 대수 정규 분포와 측정치의 비교  
Fig. 3. Comparison of raindrop-size distribution with measurements.

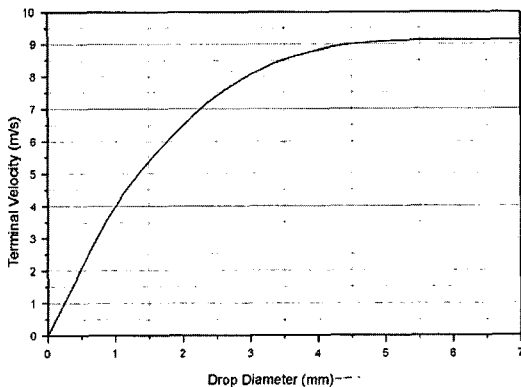


그림 4. 빗방울 직경에 따른 종속도  
Fig. 4. Terminal velocity of rain drop diameters.

Joss 분포, Ihara 등이 제안한 일본 지역 예측 분포, Weibull 분포<sup>[2]-[6]</sup> 등 다양한 분포 예측 모델들이 있으며, 국제적으로 가장 널리 이용되는 ITU-R의 강우 감쇠 예측 모델<sup>[7]</sup>은 이 중 Laws-Parsons 모델을 적용하였다.

Laws-Parsons 모델의 크기 분포는 크기에 따른 빗방울 종속도( $v_D$ , m/s)로부터 빗방울 직경  $D$ [mm], 강우강도  $R$ [mm/h]를 파라미터로 하여

$$N_D = \frac{R \rho_D}{6\pi \times 10^{-4} v_D D^3} \quad (9)$$

로 주어지며, 이 때의  $\rho_D$ 는 백분율로 나타낸 빗방울 직경에 대한 체적비이다. 빗방울의 종속도는 Gunn-Kinzer 모델<sup>[8]</sup>이 주로 사용되며, 빗방울 직경에 따른 종속도의 분포는 그림 4와 같다.

### III. 강우 감쇠 특성 분석 및 모델링

앞에서 언급한 DSD를 사용한 강우 감쇠 예측 모델의 정확성을 검증하기 위해 강우 감쇠 측정을 수행하였다. 그림 5는 강우 감쇠 측정 시스템을 보인 것이다.

측정은 지면으로부터 충분한 높이가 확보되는 충남대학교 내의 중앙도서관 4층과 산학연공동연구관 9층에 각각 송신부와 수신부를 설치하였다. 송수신 안테나 사이의 수평 경로 길이는 약 500.5 m이며, 송수신에 영향을 줄 수 있는 산란체가 없는 경로를 확보하였다.

그림 6은 2004년 6월 중 강우량이 가장 많았던 6월 19, 20일에 측정된 강우율과 강우 감쇠 특성을 보인 것이다.

강우율의 공간적 불균일성, 측정 시점의 송수신 안테나의 젖은 상태의 변화 등으로 인해 측정 시점



그림 5. 강우 감쇠 측정 시스템  
Fig. 5. Measurement system for rain attenuation.

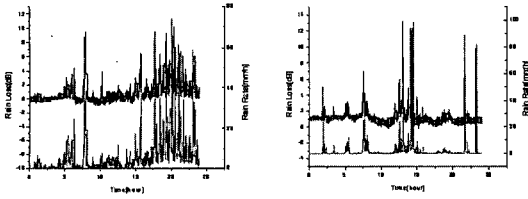


그림 6. 강우율과 강우 감쇠 특성 비교  
Fig. 6. Comparison of rain rate and rain attenuation.

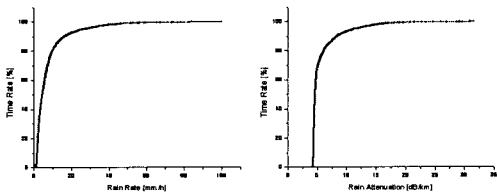


그림 7. 강우율과 강우 감쇠의 시간을 특성  
Fig. 7. The time rate of rain rate and rain attenuation.

에 대한 강우량과 강우 감쇠의 상관관계가 적기 때문에 이러한 시간에 의한 매칭 방법으로는 강우 감쇠 특성을 분석할 수 없다.

따라서, 일반적으로 사용하는 방법은 측정 기간 동안의 강우율의 누적 분포와 강우 감쇠량의 누적 분포를 구한 다음, 동일한 누적 분포에 대한 강우율과 강우 감쇠를 주어진 강우량에 대한 강우 감쇠 값으로 해석하는 것이다. 그림 7은 강우율과 강우 감쇠 측정 데이터를 분석하여 강우 감쇠와 강우율의 누적 분포, 즉 시간율(time rate)을 보인 것이다.

앞에서 기술한 분포를 이용하여 제시한 크기 분포 모델을 이용한 강우 감쇠 계수와 ITU-R 모델의 결과를 그림 8에 나타내었다. 또한 충남대 측정 시스템으로부터 측정된 데이터를 두 가지 모델에 의한 예측 결과와 비교하였다. 그림 8로부터 제안된 DSD를 이용한 예측 결과가 측정값에 잘 일치함을 알 수 있고, 기존의 국제적 예측 모델인 ITU-R 모델은 강우율이 증가함에 따라 큰 오차를 갖게 된다는 것을 알 수 있다.

표 2는 측정 데이터와 계산값 사이의 오차를 나타낸 것이다. 강우율이 50 mm/h 이하에서는 오차가 3% 미만으로 잘 일치하는 것을 알 수 있으나, 60 mm/h 이상의 영역에서는 오차가 다소 증가함을 알

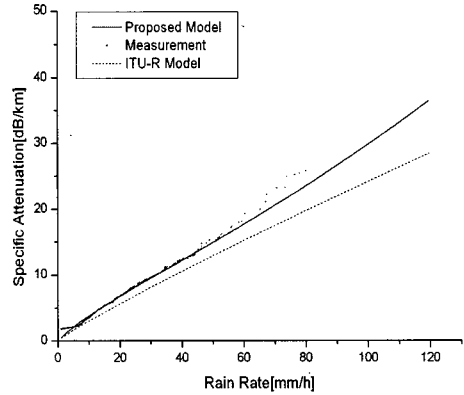


그림 8. 강우 감쇠 계수 계산값 및 측정값 비교  
Fig. 8. Comparison of calculated results with measurements.

표 2. 계산값과 측정값 사이의 상대 오차  
Table 2. Relative error of calculated results for measurement data.

강우율 [mm/h]	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0
계산값 [dB]	2.06	3.79	5.34	6.77	8.15	9.51	12.18	14.89	17.65	20.50	23.44
측정값 [dB]	2.07	3.51	5.36	6.75	8.25	9.56	12.24	15.27	19.27	23.20	25.75
오차 [%]	0.60	2.88	0.50	0.33	1.16	0.62	0.42	2.49	8.40	11.67	8.97

수 있다. 이는 강우율이 50 mm/h 이하의 경우에 비해서 60 mm/h 이상의 경우에 측정데이터가 상대적으로 부족해서 나타난 결과로 판단된다.

### 3-1 강우 감쇠 예측 모델

강우 감쇠 예측 모델은 1978년 캐나다 CRC(Communication Research Center)의 Olsen 등이 제안한 이래 식 (10)과 같이 추정할 수 있다.

$$A = aR^b \times L_{eff} = \gamma L_{eff} \text{ [dB]} \quad (10)$$

위 식의  $r$  는 앞에서 설명한 강우 감쇠 계수 [dB/km] 를 나타내며,  $L_{eff}$  는 경로상의 강우율을  $R$  로 가정할 수 있는 실효 경로 길이 [km] 를 나타낸다. 따라서 식 (10)에 의해서 강우 감쇠량을 예측하기 위해서는 표 면 강우율( $R$ )에 대한 빗방울 크기 분포에 의해 계산된 강우 감쇠 계수와 지역적인 특성을 고려한 실효 경로 길이를 알아야 한다.

여기서는 확장 감마 분포와 대수 정규 분포를 이용한 빗방울 크기 분포 모델과 식 (1)을 사용하여 계산한 강우 감쇠 계수와 ITU-R에서 표준 권고안인 ITU-99[DAH] 모델의 실효 경로 길이 $[L_{eff}]$ 를 가지고 위성 링크에 대한 강우 감쇠량을 예측하였다.

ITU-99 모델의 강우 감쇠 실효 경로 길이는 그림 9의 경로 구조에 대해 아래의 식 (11)로 예측할 수 있다.

$$L_{eff} = L_r \times r_{v,0.01} \quad [km] \quad (11)$$

실효 경로 길이 $[L_{eff}]$ 를 계산하기 위해 사용된 파라미터 값은 다음 표 3과 같다.

표 3의 파라미터 값을 가지고 ITU-99 모델을 적용

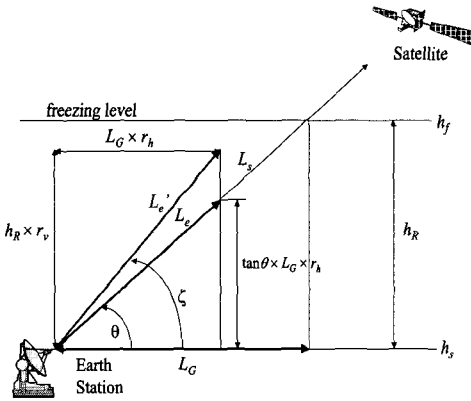


그림 9. ITU-99[DAH] 모델 경로 구조도  
Fig. 9. Path length structure of ITU-99[DAH] model.

표 3. ITU-99[DAH] 모델 파라미터 값  
Table 3. Parameters of ITU-99[DAH] model.

파라미터	주파수 [GHz]	ES angle	h_R[km]	L_s	L
값	44.0	45.0	4.0	5.57	3.94

표 4. 실효 경로 길이 계산 결과  
Table 4. Calculated results of effective length.

강우강도 [mm/h]	1.7	2.5	3.5	6.0	10.0	14.0	18.0	27.0
실효경로 [km]	8.61	8.55	8.49	8.37	8.04	7.47	7.04	6.36
강우강도 [mm/h]	38.5	48.0	57.0	73.0	90.5	104.0	115.0	136.0
실효경로 [km]	5.76	5.40	5.13	4.74	4.42	4.21	4.07	3.83

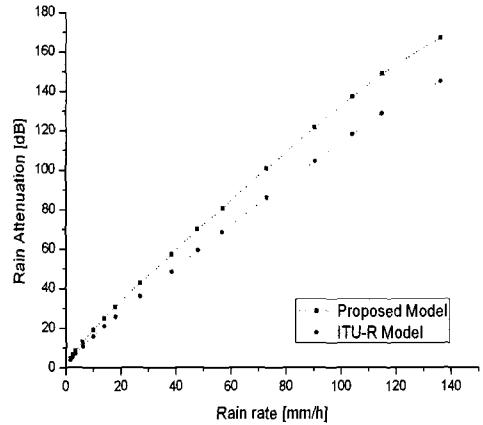


그림 10. 위성 링크에 대한 제안된 모델에 의한 강우 감쇠 값과 ITU-R 모델에 의한 결과 비교  
Fig. 10. Comparison of rain-attenuation prediction models for satellite link.

하여 계산한 강우율에 따른 실효 경로 길이는 다음 표 4와 같다.

### 3-2 강우 감쇠 예측 결과

제안된 DSD 모델에 대해서 계산한 강우 감쇠 계수와 ITU-99[DAH] 모델의 실효 경로 길이를 가지고 계산한 강우율에 따른 강우 감쇠 특성은 그림 10과 같다.

앞에서 살펴본 강우 감쇠 계수에서와 같이 위성 링크에 대한 강우 감쇠 예측값도 ITU-R 모델에 의한 값이 상당히 적은 것을 알 수 있다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 Disdrometer를 사용하여 측정된 데이터를 바탕으로 새로운 빗방울 크기 분포를 제안하고, 이 모델을 이용하여 국내 환경에서 밀리미터파 대역에 적용할 수 있는 강우 감쇠 예측 모델을 개발하였다. 그리고 본 연구에서 제안한 빗방울 크기 분포를 이용하여 계산한 강우 감쇠 값이 측정값과 상당히 잘 일치함을 확인하였다. 또한 기존의 ITU-R 모델을 국내 환경에 적용시켰을 때 상당히 큰 오차가 있어서 국내 환경에 적용하기에는 적합하지 않은 것을 알 수 있었다. 강우 감쇠 계수의 경우 현재 측정 중인 보다 많은 데이터에 대한 추가 분석 및 검증

을 수행할 계획이며, 또한 주어진 무선 링크에 대한 강우 감쇠량을 정확히 예측하기 위해서는 강우 감쇠 계수에 대한 모델과 실효 경로 길이에 대한 모델이 모두 필요하다. 따라서 국내 강우 환경에서 위성 링크의 실효 경로 길이 모델에 대해서도 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 박용호, 박민영, 류동협, 백정기 "EHF(44GHz) 대역 빗방울 크기 분포와 강우 감쇠측정 및 모델링", 한국전자과학회 종합학술발표회 논문집, vol. 14, no. 1, pp. 127-130, 2004년 11월.  
 [2] J. O. Laws, D. A. Parsons, "The relation of rain-drop-size to intensity", *Tras. American Geophys. Union*, vol. 24, pp. 452-460, 1943.  
 [3] M. P. M. Hall, et al., "Rain drop sizes and rainfall

rate measured by dual-polarization radar", *Nature*, vol. 285, pp. 195-198, May 1980.

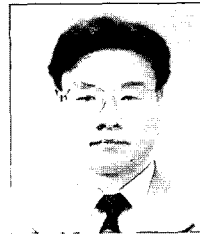
[4] T. Ihara, Y. Furuham, and T. Manabe, "Inference of raindrop size distribution from rain attenuation statistics at 12, 35, and 82 GHz", *IECE Trans.*, vol. E67, pp. 211-217, 1984.  
 [5] T. Manabe, T. Ihara, and Y. Furuham, "Inference of raindrop size distribution from attenuation and rain rate measurement", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 32, no. 5, pp. 474-478, 1984.  
 [6] H. Jiang, M. Sano, and M. Sekino, "Weibull rain-drop-size distribution and its application to rain attenuation", *IEE Proc. Microw. Antennas Propag.*, vol. 144, no. 3, pp. 197-200, 1997.  
 [7] ITU-R, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", *ITU-R Rec.*, pp. 838, 1999.

박 용 호



2004년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
 2004년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 전파전파 특성 예측 모델링 등

백 정 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1978년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소  
 1985년 9월: 미국 Virginia University (공학석사)  
 1988년 9월: 미국 Virginia University (공학박사)

1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원  
 1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 교수  
 1995년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수  
 [주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 전자파 생체영향 등

이 주 환



1988년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
 1999년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2000년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 박사과정  
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 선임

연구원

[주 관심분야] 전파전파 특성 예측 모델링, 위성 및 지상 밀리미터파 무선통신 등