

# 강우산란에 의한 전송손실 예측

## Prediction of Transmission Loss Due to Rain Scattering

李 点 洙 · 梁 承 仁

Jeom-Su Lee, Seung-In Yang

### 요 약

현재 통신시스템들은 주파수의 부족으로 인하여 동일주파수대역을 공유하고 있다. 따라서 이들 시스템간의 안전한 운용을 위해서는 이들간에 일어나는 간섭을 어느 정도 정확하게 예측하여야만 한다. 통신시스템간의 간섭은 기후, 주파수, 고려되는 시간율, 경로 거리 및 지형 등 여러 요인에 의존하고 있으며 GHz대 주파수에 특히 중요한 간섭원으로 작용하는 것이 강우산란에 의한 간섭이다. ITU-R에서는 많은 연구결과들을 종합하여 강우산란에 의한 간섭평가를 위한 전송손실 모델을 제공하고 있다. 본 논문에서는 ITU-R에서 제공하는 강우산란 모델을 이용하여 관련식을 유도한 후 강우산란에 의한 전송손실을 예측해 보고 이를 실측 데이터와 비교하여 보았다.

### Abstract

Due to the congestion of the radio spectrum, frequency bands are shared among the communication systems. Therefore for the satisfactory operation we have to predict with reasonable accuracy the levels of interference that might exist among them. Interference among the communication systems depends on many factors such as climate, radio frequency, time percentage of interest, distance and path topography. Interference due to rain scattering is the most important factor in GHz frequencies. ITU-R offers the model related to interference due to rain scattering. In this paper the transmission loss due to rain scattering is predicted and compared with the measured results.

### I. 서 론

무선주파수 간섭(RFI : Radio Frequency Interference)이란 운용주파수에 원하지 않는 신호가 유입되어 주 신호의 방해를 일으키는 현상을 말한다. 무선통신 시스템이 간섭의 영향을 받으면 아날로그 시스템에서는 SNR 저하로 신호의 명료도가 떨어지게 되며, 디지털 경우는 BER이 증가하여

음성에서는 클릭음이 생기거나 심하면 데이터 프레임이 소실되어 회선 단절이 발생하기도 한다. M/W 통신용으로 사용되는 주파수 대역(1~30 GHz)는 M/W 통신뿐만 아니라 위성망(우주국과 지구국), 레이다망, 무선 중계망(Radio Relay System), 해상 및 육상 이동국 등이 동일한 주파수 대역을 공유하고 있으므로 상호 간섭 영향이 우려된다. 따라서 이들 간에 존재할지도 모르는 간섭 레벨을 어느 정도 정확하게 예측할 수 있어야 한다.

송실대학교 전자공학과(Dept. of Elec. Eng., Soongsil University)

· 논문 번호 : 970422-025

· 수정완료일자 : 97년 6월 19일

간섭은 여러 종류의 간섭경로가 복합적으로 작용하여 발생하므로 예측방법도 각각에 맞는 방법을 사용해야 한다. 간섭환경은 맑은 공기 환경, 강우 환경으로 구분될 수 있다. 맑은 공기 환경에서는 가시거리 전파, 회절, 대류권 산란, 덩킹/층 반사 등이 고려되어야 하고 강우 환경에서는 강우산란이 고려되어야 하며 강우산란에 의한 간섭은 특히 GHz대의 주파수에 주요한 간섭원으로 작용하고 있다.

ITU-R에서는 많은 연구결과들과 Bistatic radar equation, Single scattering theory, Rayleigh scattering을 근거로 강우산란에 관한 예측방법을 제시하여왔다. ITU-R Rec. 452-5는 약 0.7 GHz에서 30 GHz 까지의 주파수 대역에서의 간섭예측을 위한 전송손실 예측방법을 기술하고 있으며<sup>[1]</sup>, 본 논문에서는 이 방법을 바탕으로 필요한 관계식들을 유도하고 실제 데이터를 적용하여 강우산란에 의한 전송손실을 예측하고 측정치와 비교해 본다.

## II. 강우산란에 의한 전송손실 모델링

그림 1은 강우율 통계치에 의한 간섭신호의 전송손실 통계치를 예측하는 ITU-R에서 제공하는 강

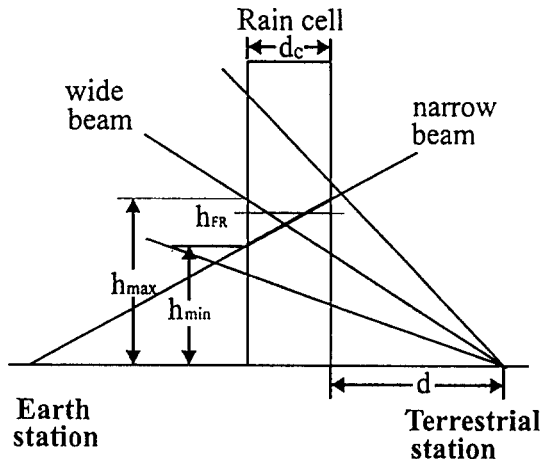


그림 1. ITU-R 강우산란 모델

Fig. 1. Rain scattering model of ITU-R.

우산란 모델이다. 이 모델에서는 산란은 단지 하나의 고정된 원통 강우 셀내에서만 일어나는 것으로 가정하며, 셀의 직경  $d_c$ 는 강우율  $R(\text{mm/h})$ 에 따라 다음과 같이 결정된다.

$$d_c = 3.3R^{-0.08} [\text{km}] \quad (1)$$

셀은 두 안테나 축의 교차점(혹은 빔이 교차하지 않는 경우 지구국 빔 상의 근사접근점) 중심에 위치한다. 주어진 시간 백분율 동안 셀 내부에서 반사율은 강우높이(빙점)  $h_{FR}$ 까지는 일정하며, 강우높이 이상에서는 6.5 dB/km의 비율로 반사율이 선형적으로 감소하는 것으로, 또한 강우 셀 외부의 강우는 산란에 크게 기여하지 않으며 강우감쇠는 강우높이 이하에서만 나타나는 것으로 간주한다.

그림 1에서 Terrestrial station은 지상국이며 Earth station은 위성지구국이고 지구국 안테나 빔 폭은 지상국 안테나 빔폭보다 훨씬 좁으며 지상국 안테나 패턴에 대해서는 Gaussian 형태의 모양으로 가정하며 편파에 의한 영향은 없는 것으로 가정한다.

## III. 강우산란에 의한 전송손실 계산

다음은 ITR-R에서 권고하는 강우산란에 의한 전송손실 계산식이다<sup>[1]</sup>.

$$L = 197 - 10 \log \eta_E + 20 \log d_T - 20 \log f - 10 \log z_R + 10 \log S + Ag - 10 \log C \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

여기서  $\eta_E$ 는 지구국 안테나 효율,  $d_T$ 는 산란체적을 거처온 지구국과 지상국 사이의 거리 [km],  $f$ 는 주파수 [GHz]이다.

$z_R$ 은 강우높이 이하에서의 단위체적당 반사율로서

$$z_R = 400R(p)^{1.4} \quad (3)$$

이며, 여기서  $R(p)$ 는 시간율  $p\%$  동안 발생하는

초과강우율이다<sup>[2]</sup>.

S는 10 GHz 이상 주파수에서의 Rayleigh 산란 법칙으로부터의 편차로서

$$10 \log S = \begin{cases} R(p)^{0.4} 10^{-3} \left[ 4(f-10)^{1.6} \left( \frac{1+\cos \phi_s}{2} \right) \right. \\ \quad \left. + 5(f-10)^{1.7} \left( \frac{1-\cos \phi_s}{2} \right) \right] & (f > 10 \text{ GHz}) \\ 0 & (f \leq 10 \text{ GHz}) \end{cases} \quad (4)$$

이며, 여기서  $\phi_s$ 는 산란각이다.

$A_g$ 는 산소와 수증기에 의한 감소로서 다음과 같다<sup>[3]</sup>.

$$A_g = (\gamma_o + \gamma_w) d \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

여기서  $d$ 는 경로길이 [km],  $\gamma_o$ 는 건조한 공기에 의한 감쇠율이며  $\gamma_w$ 는 수증기에 의한 감쇠율로서 자세한 식은 참고문헌 [3]에 나와 있다.

$C$ 는 유효산란 전달함수로서

$$C = g_{T0} \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} g_T(h) \zeta(h) A_T(h) A_E(h) \frac{1}{\sin \epsilon_E} dh \quad (6)$$

이며, 여기서  $h_{\min}$ ,  $h_{\max}$ 는 최소 및 최대 적분높이 [km],  $g_{T0}$ 는 지상국의 중심축 안테나 이득,  $g_T$ 는 지상국 안테나 지향도,  $\epsilon_E$ 는 지구국 양각,  $\zeta(h)$ 는  $z_R$  값에 대해 정규화된 산란체적 내에서의 반사합수로서 다음과 같다.

$$\zeta(h) = \begin{cases} 1 & (h \leq h_{FR}) \\ 10^{-0.65(h-h_{FR})} & (h > h_{FR}) \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $h_{FR}$ 은 강우높이 [km]이다.

$A_T$ ,  $A_E$ 는 각각 지상국에서 적분지점까지의, 적분점에서 지구국까지의 강우감쇠이며 강우셀 내부와 외부 감쇠의 합이다.

$$A_{T,E} = A_{T,E\text{내부}} + A_{T,E\text{외부}} \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

$$A_{T,E\text{내부}} = \gamma_R \times d_{T,E} \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

여기서  $d_T$ ,  $d_E$ 는 각각 지상국, 지구국의 강우셀 내부에서의 진행거리이며  $\gamma_R$ 은 강우셀 내부에서의 감쇠율로서

$$\gamma_R = k R^\alpha \quad [\text{dB/km}] \quad (10)$$

이고 여기서  $k$ ,  $\alpha$ 는 주파수, 편파, 양각에 의존하는 값으로 다음과 같이 주어진다<sup>[4]</sup>.

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (11)$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2k \quad (12)$$

여기서  $\theta$ 는 경로 양각이고,  $\tau$ 는 편파방향과 수평선과의 각도(원편파의 경우  $\tau=45^\circ$ )이며  $k_H$ ,  $k_V$ ,  $\alpha_H$ ,  $\alpha_V$ 는 참고문헌 [4]에 나와 있다.

외부감쇠는 부분경로가 강우높이 아래 놓인 경우로 나눌 수 있는데 각각은 다음과 같다.

$$A_{T,E\text{외부}} = \gamma_R r_m \frac{(1 - e^{-d/r_m})}{\cos \epsilon} \quad (13)$$

(전체경로가 강우높이 아래 놓인 경우)

$$= \gamma_R r_m \frac{(e^{-d_1/r_m} - e^{-d_2/r_m})}{\cos \epsilon} \quad (14)$$

(부분경로가 강우높이 아래 놓인 경우)

여기서 강우감쇠 스케일거리  $r_m$ 은  $600 R^{-0.5} 10^{-(R+1)0.19}$ 이 된다.

강우높이보다 높은 경로 부분에서는 강우감쇠는 0으로 가정한다.

그림 2에서  $h_1$ ,  $h_2$ 는 지구국 안테나 빔이 강우셀을

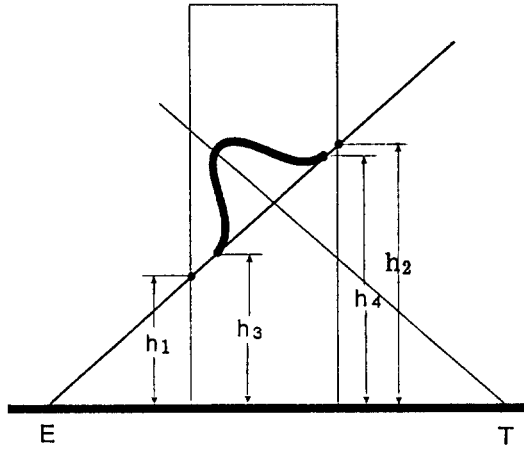


그림 2. 적분경로 선정에 관한 고려사항  
Fig. 2. Consideration on the integral path.

통과하는 점이며,  $h_3, h_4$ 는 지상국 안테나 빔의 지향패턴이  $-18$  dB 되는 지구국 안테나 축상의 높이이다. 식 (6)은 지구국 안테나 빔이 셀 내부에 있는 구간과 지상국 안테나 지향패턴이  $-18$  dB 이내의 공통된 구간에 대해 적분하며<sup>[1]</sup> 적분하한값  $h_{min}$ 은  $h_1, h_3$  중 큰 값, 적분상한 값  $h_{max}$ 는  $h_2, h_4$  중 작은 값이 된다. 지상국 안테나 빔은 가우시안 형태로 가정하여 안테나 지향패턴은 다음과 같이 가정한다<sup>[1]</sup>.

$$g_T(h) = \exp \left[ -4 \ln 2 \left( \frac{h - h_0}{\Delta h_{1/2}} \right)^2 \right] \quad (15)$$

여기서  $h_0$ 는 안테나 빔이 교차하는 점의 높이,  $\Delta h_{1/2}$ 는 지상국 안테나의 지향패턴이 1/2이 되는 지구국 안테나 축상의 두 점간의 고도차다.

#### IV. 관련식 유도

ITU-R 강우산란 모델을 적용하기 위해서는 식 (6)의 유효산란전달함수  $C$ 를 수치해석적으로 지구국빔을 따라 적분해야 하며<sup>[1]</sup> 적분구간을 구하기 위해 그림 2의  $h_1, h_2, h_3, h_4$ 를 구해야 한다. 이를 위해

서는 지구국을 중심으로 한 좌표변환, 두 안테나 축의 교차점(빔이 완전히 교차하지 않는 경우 근사접근 지점) 등의 계산이 필요하다. 그러나 ITU-R에서는 이것에 관한 식들을 제공하지 않기 때문에 실제로 적용하기 위해서는 관련식들의 유도가 필요하다.

#### 4-1 지구국 중심의 좌표변환

지구국을 중심으로 한 좌표변환은 그림 3에서와 같다. 여기서  $a_e$ 는 유효지구반경이며  $d$ 는 지구국과 지상국간의 대원거리 [km]이다. 지구국을 기준으로 지구와 접한 평면상에  $x, y$  좌표를 정하면 (이때  $x$  방향은 지상국을 향함),  $z$ 방향은 지구 중심에서 바깥으로 나가는 방향이 된다.

지구국을 원점으로 하는 구좌표계( $r, \theta, \Phi$ )에서 지구국에서 위성을 향하는 단위 벡터는  $\hat{r}$ 이 된다. 이 방향벡터를  $x, y, z$  좌표성분으로 나타내면  $x, y, z$  방향성분은 각각 다음과 같이 된다.

$$\hat{r} \cdot \hat{x} = \sin \theta \cos \Phi = \cos \epsilon \cos \alpha_z \quad (16)$$

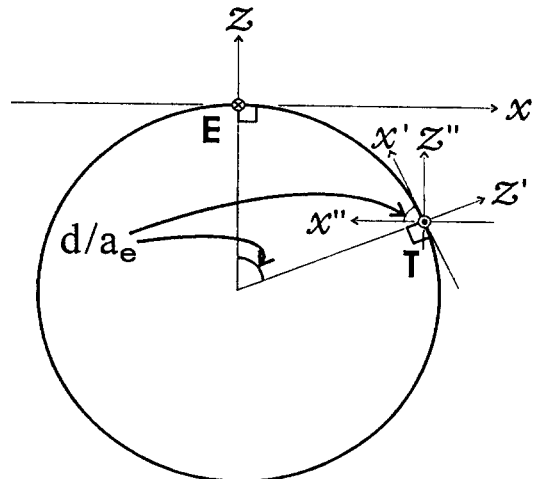


그림 3. 지구국 중심의 좌표계  
Fig. 3. Coordinate system centered on earth station.

$$\hat{r} \cdot \hat{y} = \sin\theta \sin\Phi = -\cos e \sin a_z \quad (17)$$

$$\hat{r} \cdot \hat{z} = \cos\theta = \sin e \quad (18)$$

여기서,  $\theta = \frac{\pi}{2} - e$ ,  $\Phi = 2\pi - a_z$ 이며,  $e$ 는 지구국 안테나의 양각,  $a_z$ 는 지구국에서 지상국으로 본 방향을 기준으로 하는 지구국 안테나의 방위각(시계 방향)이다.

지상국 안테나 방향 벡터를 지상국 기준 직각 좌표( $x', y', z'$ ) (이 때  $x'$  방향은 지상국에서 지구국으로의 방향임)로 나타내면 앞에서와 같이

$$\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos e' \cos a_z' \\ -\cos e' \sin a_z' \\ \sin e' \end{bmatrix} \quad (19)$$

이 되며 ' 표시는 지상국 안테나에 관한 항임을 뜻한다.

계속해서 지구국 좌표계로 변환하기 위해 지상국 기준  $x'y'$  평면을  $d/a_e$  만큼 회전시켜 지구국 기준  $xy$  평면과 평행하게 한다.

회전 후의 새로운  $x'', z''$  방향 성분은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (A_x \hat{x}' + A_z \hat{z}') \cdot \hat{x}'' &= A_x \hat{x}' \cdot \hat{x}'' + A_z \hat{z}' \cdot \hat{x}'' \\ &= A_x \cos\left(\frac{d}{a_e}\right) + A_z \cos\left(\frac{d}{a_e}\right) \quad (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (A_x \hat{x}' + A_z \hat{z}') \cdot \hat{z}'' &= A_x \hat{x}' \cdot \hat{z}'' + A_z \hat{z}' \cdot \hat{z}'' \\ &= A_x \sin\left(\frac{d}{a_e}\right) + A_z \cos\left(\frac{d}{a_e}\right) \quad (21) \end{aligned}$$

그러나  $y$  방향 성분은 변하지 않는다. 그런데 지구국 좌표계의  $x, y$  방향과 지상국 좌표계의  $x'', y''$  방향이 서로 반대 방향이므로  $x'', y''$  방향 성분의 부호를 바꾸면

$$\begin{bmatrix} -A_x \cos\left(\frac{d}{a_e}\right) - A_z \sin\left(\frac{d}{a_e}\right) \\ -A_y \\ A_x \sin\left(\frac{d}{a_e}\right) + A_z \cos\left(\frac{d}{a_e}\right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos e \cos a_z \cos\left(\frac{d}{a_e}\right) + \sin e \sin\left(\frac{d}{a_e}\right) \\ \cos e \cos a_z \\ \cos e \cos a_z \sin\left(\frac{d}{a_e}\right) + \sin e \cos\left(\frac{d}{a_e}\right) \end{bmatrix} \quad (22)$$

으로 최종적인 지구국 좌표계로 변환된다.

#### 4-2 안테나 축들의 교차점(근접점)

여기서는 안테나 축들의 교차점을 구한다.

그림 4와 같이 지구국  $E$ , 지상국  $T$ 에서 각 안테나 축방향으로 선을 그을 때 두 선이 만나지 않고 가장 가깝게 지나는  $A, B$ 점이 있게 된다.  $E$ 에서  $A$ 까지 거리 벡터를  $\bar{V}_{re}$ ,  $A$ 에서  $B$ 까지 벡터를  $\bar{V}_{sa}$ ,  $T$ 에서  $B$ 까지 벡터를  $\bar{V}_{rt}$ 라 하고 지구국 안테나 방향 벡터를  $\hat{v}_e$ , 지상국 안테나 방향벡터를  $\hat{v}_t$ 로 할 때

$$\hat{v}_{sa} = \frac{\hat{v}_e \times \hat{v}_{rt}}{\sin\phi_s} \quad (23)$$

이 되며 여기서  $\phi_s$ 는 산란각으로

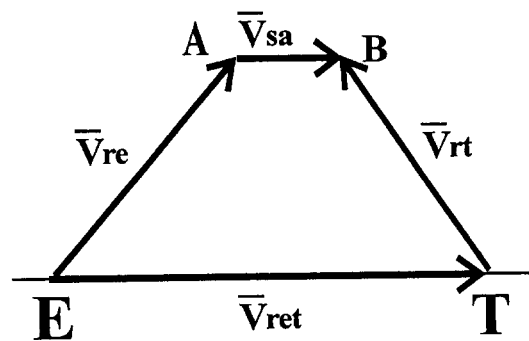


그림 4. 안테나 축의 벡터표시

Fig. 4. Vector representation for antenna axis.

$$\phi_s = \text{Cos}^{-1} \frac{\hat{U}_{re} \cdot \hat{U}_{rt}}{|\hat{U}_{re}| \cdot |\hat{U}_{rt}|} \quad (24)$$

이다. 각 벡터들의 크기를 구하기 위해

$$\overline{V_{re}} + \overline{V_{sa}} - \overline{V_{rt}} = \overline{V_{re}} \quad (25)$$

를 만족하는 해를 구하면 되는데 방위각과 양각은 알고 있고 크기만을 모르므로 식 3개가 주어지고 미지수 3개를 구하는 일차 연립 방정식이 되며, 해는 Cramer 법칙을 이용해 다음과 같이 크기를 구할 수 있다.

$$V_{re} = \frac{\begin{vmatrix} U_{relx} & U_{sax} & -U_{rtx} \\ U_{rely} & U_{say} & -U_{rty} \\ U_{relz} & U_{saz} & -U_{rtz} \end{vmatrix}}{D} \quad V_{sa} = \frac{\begin{vmatrix} U_{relx} & U_{relx} & -U_{rtx} \\ U_{rely} & U_{rely} & -U_{rty} \\ U_{relz} & U_{relz} & -U_{rtz} \end{vmatrix}}{D}$$

$$V_{rt} = \frac{\begin{vmatrix} U_{rex} & U_{sax} & -U_{relx} \\ U_{rey} & U_{say} & -U_{rely} \\ U_{rez} & U_{saz} & -U_{relz} \end{vmatrix}}{D} \quad (26)$$

여기서

$$D = \begin{vmatrix} U_{rex} & U_{relx} & -U_{rtx} \\ U_{rey} & U_{rely} & -U_{rty} \\ U_{rez} & U_{relz} & -U_{rtz} \end{vmatrix} \quad (27)$$

이다. 이때 근접점의 높이를  $h_0$ 라 하면

$$h_0 = V_{re} \sin \epsilon \quad (28)$$

이며 여기서  $\epsilon$  는 지구국의 양각이다.

### 4-3 지구국 안테나 빔이 강우셀과 만나는 지점의 높이

안테나 축의 교차점(근접점)이 구해지면 지구국 빔이 강우셀과 교차하는 지점의 높이  $h_1$ ,  $h_2$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$h_1 = h_0 - 0.5 d_c \tan \epsilon \quad (29)$$

$$h_2 = h_0 + 0.5 d_c \tan \epsilon \quad (30)$$

여기서  $d_c$  는 강우셀의 지름 [km]으로 식 (1)에 의해 구해진다.

### 4-4 지상국 안테나 지향패턴의 -18 dB점을 지구국 안테나 축상의 높이로의 변환

다음은 지상국 안테나 지향패턴이 -18 dB 되는 점을 식 (15)를 이용하여 구한 후 이를 지구국 안테나 좌표계 기준으로 변환하는 과정이다.

A는 안테나 지향성을 가우시안 형태로 봤을 때 최대값으로부터 -18 dB 점까지의 가우시안 빔 중심으로부터의 거리이며, 이를 지구국 좌표계를 기준으로 했을 때의 높이 C로 바꾸면

$$B = \frac{A}{\sin \phi_s} \quad (31)$$

$$C = B \sin e = \frac{A \sin e}{\sin \phi_s} \quad (32)$$

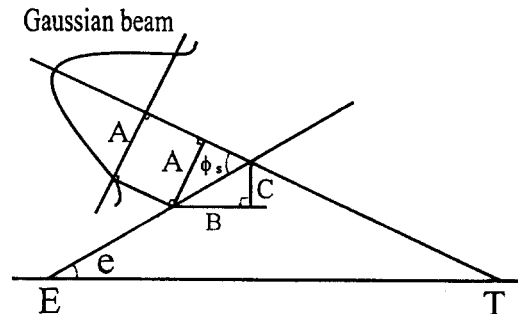


그림 5. 지상국 안테나 지향패턴이 -18 dB되는 지구국 높이

Fig. 5. -18 dB heights of the terrestrial antenna directivity.

이 된다. 여기서  $\phi_s$ 는 산란각이다.

### V. 시뮬레이션 결과 및 검토

시뮬레이션은 참고문헌 [5, 6, 7]에 있는 표 1의 파라메타에 근거하여 6.7, 14.3 GHz에 대하여 수행하였으며 이 때 14.3 GHz 경우에 송,수신 안테나 해발높이는 자료에 없고 결과는 높이 차이에만 관계되므로 같은 높이 70 m로 가정했으며 결과는 그림 6과 같다. 여기서 측정치는 참고문헌 [5]에 있는 결과이다.

표 1. 시뮬레이션 파라메타 [5, 6, 7]

Table 1. Simulation parameters [5, 6, 7].

파라메타	6.7 GHz		14.3 GHz	
	송신	수신	송신	수신
대원거리(km)	55.2		35.6	
상대방위각(deg)	0	0	77.0	-4.6
앙각(deg)	2.5	21.0	37.5	3.4
안테나 해발높이(m)	75	65	(70)	(70)
안테나 축방향 이득(dB)	46.1	40.3	63.1	45.9
반치폭(deg)	0.73	1.53	0.1	0.9
편파	직선		직선	

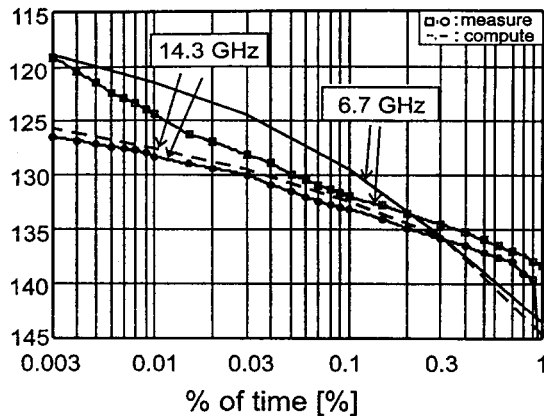


그림 6. 시뮬레이션과 측정결과 비교

Fig. 6. Comparison of simulations and measurements.

주파수 14.3 GHz에서는 계산치와 측정치와의 차이가 시간율 0.4 % 이하에서 약 1 dB 이내로 매우 정확하게 예측되었으며, 주파수 6.7 GHz에서는 시간율 0.4 % 이하에서 약 5 dB 정도 차이가 있었다.

### VI. 결 론

본 논문에서는 ITU-R에서 제공하는 강우산란모델을 이용하여 관련된 필요한 식을 유도한 후 강우산란에 의한 전송손실을 예측하여 이를 측정치와 비교하여 보았다. 주파수 14.3 GHz에서는 계산치와 측정치와의 차이가 시간율 0.4 % 이하에서 약 1 dB 이내의 차이를 보였고, 주파수 6.7 GHz에서는 시간율 0.4 % 이하에서 약 5 dB 이내의 차이로 근접한 결과를 보였다. 현재 통신시스템에서 사용하는 주파수는 점점 높아져 가고 있는 추세이며 이에 따른 주파수 특성의 연구가 활발히 진행되어야 할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] "Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the earth stations on the earth at frequencies above about 0.7 GHz", *ITU-R Vol. V, Rec. 425-5*, pp. 342-374, 1992.
- [2] "Characteristics of precepitation for modelling", *ITU-R Vol. V, Rec. 837*, pp. 216-219, 1992.
- [3] "Attenuation by atmospheric gases in the frequency range 1-350 GHz" *ITU-R Vol. V, Rec. 676-1*, pp. 205-215, 1992.
- [4] "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", *ITU-R Vol. V, Rec. 838*, pp. 220-221, 1992.
- [5] "The evaluation of propagation factors in interference problems between stations

on the surface of the earth frequencies above 0.5 GHz”, *CCIR Vol. V, Rep.* 569-4, ANNEX I pp. 582-584, 1990.

- [6] S. Sakagami “Some experimental results on bistatic scatter from rain”, *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-28, No. 2, pp.

162-1165, 1980.

- [7] J. Awaka, T. Nakamura and H. Inomata “Experimental results on bistatic rain scatter at 14.3 GHz”, *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-32, No 12, pp. 1345-1350, 1984.

양 승 인



1952년 1월 18일생  
1974년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
1976년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)  
1987년 8월 : 한국과학기술원 전기

및 전자공학과(공학박사)

1983년 ~ 1984년 : University of Michigan, Radiation Lab.(객원연구원)

1991년 ~ 1992년 : University of Colorado, MIMICAD Center(객원교수)

1990년~현재 : 한국통신기술협회 RSG-9 의장

1996년~현재 : 한국전자과학회 학술이사

1997년~현재 : 대한전자공학회 마이크로파 및 전파전파 연구회 전문위원장

1978년~현재 : 숭실대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 전자파 산란, 수치해석, 안테나, 초고주파 회로

이 점 수



1969년 11월 15일생  
1995년 2월 : 숭실대학교 전자공학과(공학사)  
1995년 8월~현재 : 숭실대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 전자파 간섭, 안테나, 무선통신시스템