

Ka 대역 위성 신호의 강우 감쇠 예측 모델

우병훈* · 최용석** · 강병수** · 김내수** · 강희조***

* 전주공업대학 정보통신과
** 한국전자통신연구원 무선방송연구소
*** 동신대학교 전기전자공학과

Prediction Model of Rain Attenuation for Ka-Band Satellite Link

Byung-Hoon Woo · Yong-Seok Choi · Byung-Soo Kang · Nae-Soo Kim · Heau-Jo Kang

* Dept. of Information & Communication Eng., Jeonju Technical College.

** Radio & Broadcasting Research Laboratory ETRI

*** Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.

요 약

본 연구에서는 위성통신을 이용한 방송 및 멀티미디어 서비스의 확대를 앞두고 20[GHz] 이상의 높은 주파수 대역의 강우에 의한 전파 손실 예측 모델을 제안하고 강우량에 따른 감쇠 정도를 기존의 모델과 비교 분석하였다. 특히 위성 방송대역으로 이용될 Ka 대역에서 강우 감쇠에 의한 전파 손실을 제시하고 Ka 대역 위성통신 링크 설계를 위한 기본 자료를 제공하고 강우 감쇠 극복 대책을 제시하고자 한다.

1. 서 론

육상 이동통신과 위성통신 수요의 증가로 주파수 대역과 통신 채널의 포화 현상이 심각한 수준에 이르고 있다. 특히 위성을 이용한 멀티미디어 통신 서비스 수요는 기하 급수적인 증가를 보이고 있다. Ku 대역을 중심으로 서비스중인 위성통신은 새로운 주파수 대역을 모색하고 있는 실정이다. 따라서 20 GHz 이상의 Ka 대역에서의 주파수 운용이 필요하게 되었다. Ka 대역으로 운용되는 지상 및 위성 무선 전송 시스템의 경우, 희소성에 따른 간섭문제 해결, 단말기의 소형화 가능, 시스템의 광대역화를 통한 대용량 시스템 구축 가능 등 여러 장점을 가지고 있다.

그러나 강우를 포함한 대기 중의 산란 및 흡수에 의해 신호의 감쇠 및 편파열화가 심각하여 시스템의 안정적인 운용에 제약을 가지게 된다. 이러한 대기 요소 중 가장 심각한 손실원인을 제공하는 것이 강우입자에 의한 산란 및 흡수 현상이며, Ka 대역 위성통신시스템의 설계 및 운용에 있어서 가장 중요하게 고려하여야 할 요소가 바로 강우에 의한 감쇠손실 및 편파열화 현상이다.

본 논문에서는 위성통신 경로의 전파환경을 분석하고 강우감쇠에 영향을 주는 요소들을 정의하고 이

전에 연구된 예측 모델과 새로이 제안된 예측 모델을 비교 분석한다. 마지막으로 Ka 대역에서 강우감쇠 예측 모델을 토대로 Ka 대역 위성통신 링크 설계를 위한 기본 자료를 제시하고자 한다.

II. 위성통신 경로의 강우감쇠

1. 위성통신 경로의 전파환경

약 30 MHz 이상의 전리층 침투 주파수 주파수를 이용하는 위성통신은, 낮은 대기 혹은 대류권 내의 가스 입자 특히 산소 및 수증기 입자가 에너지를 흡수하는 주파수대 이하에서는 방해없이 전송될 것이다. 무선 주파수와 대기 가스의 상호작용이 특별히 심한 어떤 특정 '흡수 대역'에서 위성통신은 매우 제한적이다. 실제로 위성통신은 이러한 흡수 대역 사이에 존재하는 '전파의 창 (atmospheric windows)'에서 개발되었으며, 여기서의 주요 관심사도 이러한 창에서의 감쇠를 유발하는 전파전파 요인들이며, 현재의 위성통신 기술 추세에 비추어 10 GHz 주파수를 고려 대상으로 한다. 다음은 위성통신의 주요 전파전파 요소들이다.

- 대기 가스에 의한 감쇠(흡수)

- 강수입자(강우, 우박, 눈, 구름 등)에 의한 감쇠 (산란 및 흡수)
- 강수입자, 다중 경로, Faraday 회전에 의한 편파 열화
- 가스 흡수 및 강수입자에 의한 잡음 방사
- 굴절 지수의 불규칙성에 의한 진폭/위상 신틸레이션(빠른 변동)
- 굴절 지수의 소규모 변동에 의한 도래각 변화
- 다중 경로 및 대기의 확산 특성에 의한 대역폭 제한
- 개구면의 Decorrelation에 의한 안테나 이득 열화

2. 강우감쇠 파라미터

10 GHz 이상의 주파수 대역을 이용하는 위성통신 전송로에서 가장 심각한 장애요인은 강우에 의한 감쇠 현상이다. 이는 산소 및 수증기 흡수 대역 이외의 주파수 대역에서 신호의 진폭을 가장 크게 열화시키며, 진폭의 열화 정도에 따라 수신시스템의 잡음온도를 증가시키거나, 편파의 특성을 변화시키기도 한다. 강우의 심각성과 비예측 특성으로 인해, 밀리미터파 위성통신 시스템 설계시 가장 중요하게 고려하는 감쇠 요소이다.

일반적으로, 강우 감쇠량 $A(\text{dB})$ 는 식 (1)과 같은 기본적인 관계로 예측할 수 있으며, 이 식은 Olsen에 의해 강우로 인한 특정감쇠(specific attenuation; 단위 길이당 감쇠량을 나타내는 것으로써 단위는 dB/km 이며 이하 감쇠계수라 표기함) 추정식이 단순화된 이후 가장 보편적으로 이용되는 수식이다[1].

$$A = aR^b L_e \quad (1)$$

여기서, a 와 b 는 빗방울의 온도, 주파수, 편파, 빗방울 입자의 크기 분포 등에 의존하는 상수이며, R 은 표면 강우강도(mm/h)이다. 또한 L_e 는 유효 강우 경로 길이(km)로써, 표면 강우강도가 경로 전체에 대해 일정하게 내리는 것으로 가정하는 가상의 경로 길이를 나타낸다.

식(1)에 의해 강우감쇠 예측 모델링의 기본적인 절차를 알 수 있으며, 이것은 그림 1과 같이 이론적 요소, 통계적 요소, 실험적 요소의 세 가지로 대별할 수 있다.

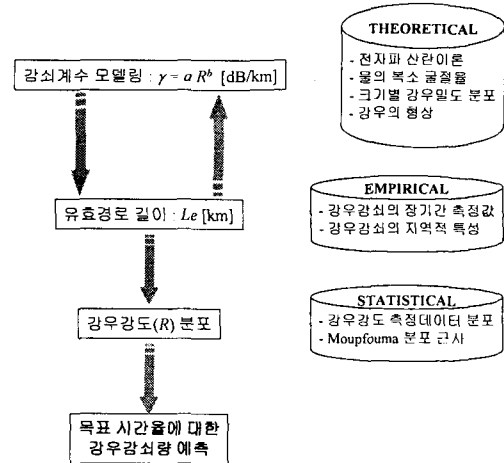


그림 1 강우감쇠 예측 요소 및 절차

3. 유효경로 길이 예측

강우 감쇠량을 정확히 예측하기 위해서는 공간적으로 분포가 다른 각 경로별 강우강도 분포를 예측할 수 있어야 한다. 그러나, 현실적으로 강우강도 분포에 이용되는 데이터들은 대부분 지구 표면 지역에서의 강우 측정기(rain gauge)나 레이더에 의한 측정 데이터들을 근거로 한 것이기 때문에, 위성-지구 경로와 같은 경사 경로에 대한 각 경로별 강우강도 분포를 예측하기란 매우 어려운 일이다.

따라서, 지구 표면에서의 측정 데이터를 이용한 강우강도 분포를 강우감쇠량 예측에 적용하기 위해서는 실제 전파경로와 강우강도와와의 관계를 고려하여, 강우강도가 전파의 감쇠에 영향을 주는 유효 경로길이를 그림 2와 같이 산정하여야 한다.

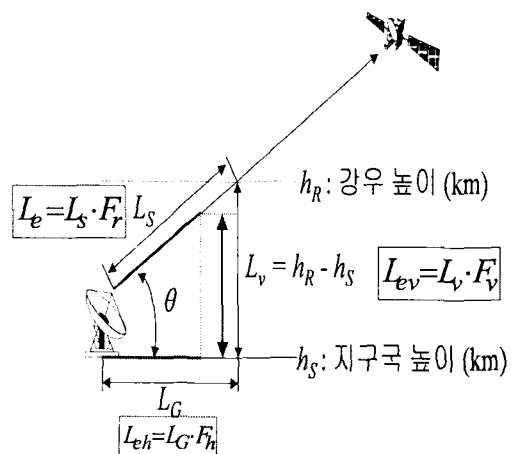


그림 2 강우감쇠 경로 구조도와 유효길이

유효경로 예측 모델 중에서 ITU-R 모델은 강우 셀 직경과 강우의 영향을 받는 경로길이를 가정하기

위해, 년 시간을 0.01%에 대한 감소인자($r_{0.01}$ reduction factor)를 도입하여 유효경로 L_e 를 제시하고 있다.

$$L_{e,0.01} = r_{0.01} L_s \quad (2)$$

여기서,

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + L_G/L_0} L_0 = 35 e^{-0.015 R_{0.01}}$$

이다.

또한 DHA 방법에 의한 모델은 ITU-R 모델의 유효경로를 위성각 θ 에 따라 수평보정값과 수직 보정값을 추출하여 제안된 모델이다.

본 논문에서는 그림 2와 같이 새로운 강우 감쇠 유효경로 예측 모델을 제시한다.

여기서,

$$F_r = F_h \cdot \cos^2 \theta + F_v \cdot \sin^2 \theta \quad (3)$$

$$F_h = \frac{1}{1 + L_G/35 \cdot R^{-0.015}}$$

$$F_v = 2.74 \cdot L_v \cdot R^{-0.664}$$

이다.

4. 강우강도 분포

ITU-R에서는 전세계적으로 무선통신망 설계에 활용할 수 있는 강우감쇠 예측 모델 연구를 시도하여 측정 데이터의 처리 방법에 대하여 여러 권고를 통해 세부 표준을 설정한바 있다[3]. 또한 한 지역의 시간에 대한 강우강도 분포는 강우강도의 실측치를 이용하여 가장 근사적으로 일치되는 확률분포를 찾아내어 적용시킬 수 있다. 통상 널리 이용되는 확률분포로는 Gamma, Log-normal 분포, 50 mm/hr 이상의 높은 강우강도 영역에 대해서는 Gamma 분포, 낮은 강우강도에 대해서는 Log-normal 분포가 더 적당한 것으로 알려져 있으며 Moupfouma 분포 함수를 이용하여 강우강도 분포를 추정할 연구 사례도 있다.

국내의 경우 강우강도 분포 추정에 관한 연구는 ETRI를 중심으로 학계에서 일부 진행한 바가 있다. 이는 지역별로 측후소 또는 관측소에서 보관 중인 강우자기지를 이용하여 강우강도를 추출하여 추정하는 것이다. 그렇지만, 강우자기지는 최소 눈금 단위가 10분(년 시간을 0.0019%에 해당)으로 되어 있어, ITU-R에서 요구하는 1분 단위의 데이터 수집이 어려운 실정으므로, 정확한 추정 분포를 얻었다고는 보기가 어렵다. 지금까지의 국내 연구 결과를 통해서 도출된 강우강도 분포 추정 결과와 실측에 의한 지역별 강우 강도 분포를 그림 3에 나타내고 이를 토대로 지역별 분 강우 분포를 그림 4에 나타내었다[4].

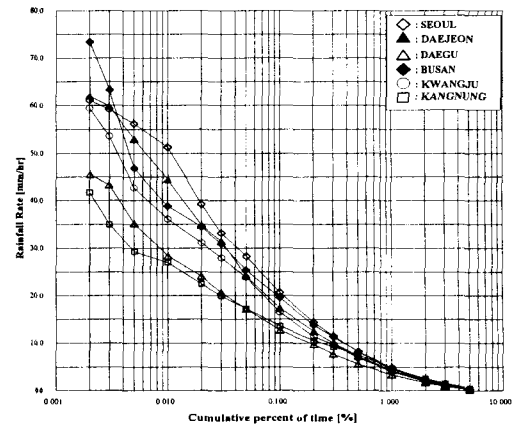


그림 3 지역별 시간 강우강도 분포

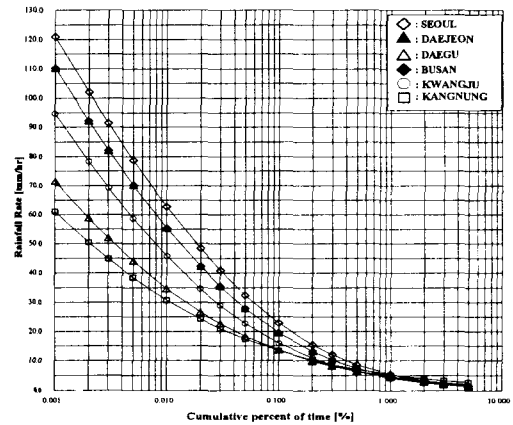


그림 4 지역별 분 강우강도 분포

III. 강우 감쇠 예측 모델

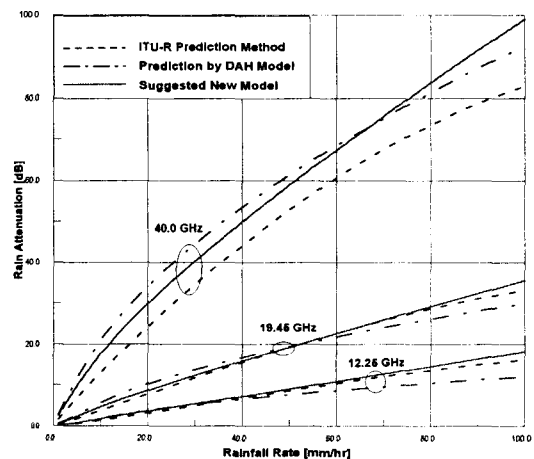


그림 5 모델별 강우감쇠 예측 결과

본 논문에서 제시한 식(3)의 보정 값을 이용하여 강우 감쇠 유효경로 길이를 구하고 실제 빗방울 형

상을 고려한 Pruppacher & Pitter의 빗방울 형상화 모델과 새로운 강우 밀도 분포를 적용한 강우감쇠 계수를 식 (1)에 대입한 예측 값을 그림 5에 나타내었다.

그림 6는 지역별 강우 분포에 의한 Ka 대역의 강우 감쇠량을 나타낸 것으로 그림 3의 지역별 강우 강도 분포를 강우 감쇠 예측 모델로 나타낸 것이다.

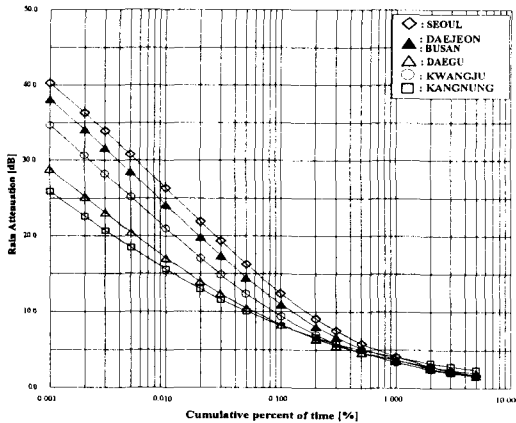


그림 6 Ka 대역 강우 감쇠량 예측

IV. Ka 대역 위성통신 링크 설계

그림 6의 강우감쇠 예측 결과로부터 Ka 대역의 위성통신 링크 설계를 할 경우 목표 시간율을 210(분/년)으로 고정하여 가동율을 99.96%로 서비스할 때의 기지국의 요구 안테나 직경은 다음 표 1과 같다.

표 1 기지국 요구안테나 직경(대전지역)

		Ku 대역	Ka 대역
맑은기후		1.17m	0.74m
강	제안된모델	1.78m	3.20m
우	ITU-R 모델	1.70m	3.20m
시	DHA 모델	1.61m	3.50m

또한 기지국의 안테나를 2.5m로 고정하였을 경우 요구 C/N을 만족시키기 위한 강우감쇠 및 불가동 시간율은 다음 표 2와 같다.

표 2 요구 C/N에 의한 불가동시간율

	Ka 대역
요구 감쇠량	14.50dB
제안된 모델 적용	0.06%
ITU-R 모델 적용	0.05%
DHA 모델	0.07%

V. 결 론

본 논문에서는 앞으로 사용 빈도가 확대될 Ka 대역의 위성통신을 위한 강우감쇠 예측 모델을 제시하고 이를 토대로 위성통신 링크 설계의 기본 자료를 제시하였다. Ku 대역보다 강우에 민감한 Ka 대역은 강우에 대한 대책이 시급히 마련되어야 하며 이를 위한 연구가 시급하다. 또한 정확한 예측 모델을 제시하기 위해서는 국내 지역의 강우 강도에 따른 위성 수신감쇠량의 측정이 되어야 함을 알 수 있었다.

특히 우리나라의 강우 특성상 장마나 폭우에 대비한 적응형 변복조 기술의 개발과 대체 통신 수단이 강구되어야 한다.

참고문헌

- [1] R.L.Olsen, D.V.Rogers, and D.B. Hodge, "The aRb Relation in the Calculation of Rain Attenuation", IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol.AP-26, No.2, pp. 318-329, Mar.1978.
- [2] 이주환, "강우 감쇠량 예측 모델별 비교 분석", ETRI 기술문서, 위성-RATT-971018-2831,1997
- [3] ITU, Acquisition, presentation and analysis of data in studies of tropospheric propagation ", ITU-R Recommendations PN Series, Rec. ITU- R PN.311-7, pp.10-52,1993.
- [4] 최용석, 이주환, 고지환, "국내 강우 감쇠량 측정 시스템 구현 방안", ETRI 기술문서, 위성-WAVE-970312-2670,1997.