

Crane 예측 모델을 활용하여 국내 지역별 강우강도 분포에 따른 Ka대역 강우감쇠 분석

조용완*

Ka Band Rain Attenuation Analysis of Domestic Regional Rainfall-Rate Distribution by Crane Prediction Model

Yongwan Cho*

요 약

정지궤도 위성을 이용한 Ka대역 위성통신은 강우에 가장 취약하다. 이렇게 강우감쇠에 취약한 위성통신 링크 설계 시 좀 더 확실한 지역 강우분포와 정확한 강우감쇠 예측모델을 이용하여 계산된 강우 감쇠값을 반영하여 위성통신망의 링크버짓을 분석하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 최근 TTA에서 분석한 국내 지역별 강우강도 분포를 활용하여 Crane 강우감쇠 예측의 지역별 강우강도와 국내 지역별 강우강도 분포를 활용하여 해당 지역의 강우감쇠를 Ka대역 주파수 특성에 맞는 Crane 강우감쇠 예측 모델을 통해 정지궤도 위성과 지상 송수신국간의 위치, 거리 및 연 시간율(%) 요인을 반영하여 분석하였다.

Key Words : Crane, 강우감쇠, 예측 모델, Ka대역, 강우강도 분포, 강우 감쇠값

ABSTRACT

In this paper of ka band satellite communication using geostationary satellite is very weak to rainfall. So the rain attenuation reflect the values calculated using the satellite communication links vulnerable when designing a more reliable rainfall area distribution of rain attenuation and accurate predictive models must analyze the link budget. In this paper, by utilizing domestic distribution analysis in the recent local rainfall Crane and regional rainfall in the model and compared with the country of the regional distribution of rainfall in your area to fit the rain attenuation in Ka band frequency characteristics Crane rain attenuation prediction models were analyzed to between geostationary satellites and ground station position, distance and year time percentage(%).

I. 서 론

위성통신은 광역성, 동보성, 다원접속의 용이성 및 회선설정의 유연성 등의 장점을 가지고 있어, 최초 위성 통신망 구축 시 넓은 지역에 신속한 서비스를 제공할 수 있으며, 특히, 유선망 구축이 어려운 산간오지, 도서벽지 및 해상지역에서 위성 통신망을 광범위하게 이용함으로써 신속하고 초고속의 정보통신 서비스를 제공받을 수 있다. 이렇게 위성통신에서 많이 사용되는 주파수 대역 중 X대역은 군용 서비스를 주로 사용하며, C/Ku대역은 세계적으로 포화상태에 이르게 되어 보다 광대역 전송이 용이한 주파수 대역이 필요하게 됨에 따라 최근에는 Ka대역 주파수가 주목을 받고 있다. 그러나 우리가 잘 알고 있듯이 위성통신에서 가장 취약한 점은 바로

강우에 취약하다는 점이다. 특히 Ka대역 주파수는 상대적으로 타 주파수 대역에 비해 짧은 파장을 가지고 있어 상대적으로 타 주파수 대역에 비해 더 많은 강우 감쇠를 받게 된다. 이렇게 강우 감쇠에 취약한 Ka대역 주파수를 사용하여 위성통신 링크를 설계 할 때는 보다 현실적이고 안정적으로 지역별 강우분포를 적용하고 강우감쇠 예측모델을 활용하여 감쇠값을 분석하여 링크버짓을 계산하여야 한다.

본 논문에서는 최근 TTA의 TTAKKO-06.0122/R1에서 분석한 국내 지역별 강우강도 분포를 활용하여 REC. ITU-R PN.837-1의 예측모델보다 좀 더 우리나라에 지역별 강우감쇠를 가깝게 모델링 할 수 있는 Crane 모델을 활용하여 위성통신의 송수신 지구국의 위치 및 지역에 따른 강우감쇠를 Ka대역 주파수 특성에 맞도록 지상 송수신국과 정지궤도 위

* (주)한화탈레스 위성데이터링크팀(yongwan.cho@hanwha.com)

접수일자 : 2016년 9월 19일, 수정완료일자 : 2016년 9월 28일, 최종 게재확정일자 : 2016년 9월 30일

성간 송수신 위치, 거리 및 연 시간율(%) 요인을 반영하여 분석 하였다.

II. 본 론

기본적으로 다양한 강우강도에 따른 주파수별 강우감쇠는 강우가 전파경로 상에서 동일한 경우, 이론적, 경험적으로 강우감쇠 계수(dB/Km)와 유효 전파경로 길이의 곱으로 나타낼 수 있으며, 이것을 이용하여 많이 사용되고 있는 강우감쇠 모델인 Crane 강우감쇠 예측 모델에 대해서 아래에 설명한다.

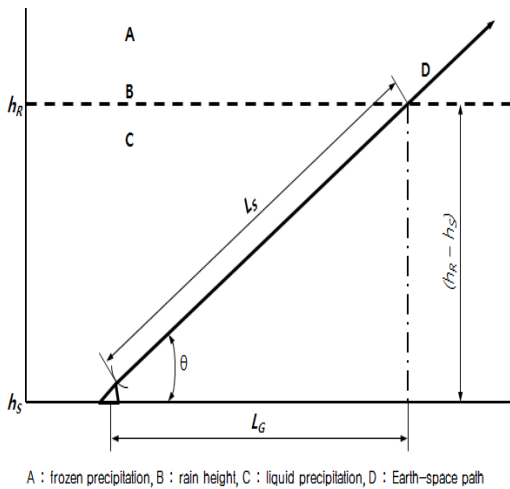


그림 1. 강우감쇠 경로 구조도

1. 지역별 강우 동향 분석

최근 들어 국내 강우환경은 지구 온난화 및 엘리뇨 현상으로 인한 기후변화로 과거에 비해 집중호우의 발생 빈도가 높아지고 있으며, 연중 강우량 또한 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 집중호우의 발생빈도와 강우량은 지역별로 편차가 상당히 심하게 나타나는데, REC. ITU-R PN837-1과 Crane이 기고한 IEEE에 제시된 강우강도 분포에서의 제시된 기준은 우리나라를 하나의 지역으로 강우강도 분포를 적용하여 강우 감쇠를 분석하였다. 그리고 현재 많이 사용되는 강우감쇠 예측 모델은 ITU-R에서 권고하고 있는 Rec. ITU-R P.618-5/8이 있으며, Crane이 제시한 강우감쇠 예측 모델이 있다. 이러한 예측모델도 위의 강우강도 분포를 적용하여 모델링을 할 경우 지역별 편차의 특성이 무시되어 정확한 강우감쇠값 분석이 어렵게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국내 정보통신표준화 단체인 TTA에서 최근 13년간(2000년~2012년)의 강우강도 분포를 조사하여 국내 무선 통신망의 효율적인 설계를 위해 고주파대역 링크에서 발생하는 강우 감쇠량을 예측할 수 있도록 국내 지역별 강우강도 분포를 TTAK.KO-06.0122/R1 통해 제시하였다. 아래의 표1

은 TTAK.KO-06.0122/R1에 제시된 국내 주요 대도시에 대한 연 시간율(%)에 따른 강우강도이다.

표 1. 국내 주요 대도시 1분 누적 강우강도(mm/h) 분포

시간율(%) \ 도시	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
서울	95.09	50.04	33.58	10.84	6.37
인천	75.73	42.17	28.27	9.51	6.06
대구	64.47	31.35	21.71	8.7	5.86
대전	81.98	41.68	28.65	13.42	6.25
광주	82.66	46.65	30.97	9.85	6.22
부산	86.95	43.05	29.91	10.7	6.46

2. 각 지역별 Crane 예측 모델의 강우 감쇠값

Crane 강우감쇠 예측모델은 연 시간율 0.01% 강우감쇠를 기준으로 해당 시간율의 강우강도를 이용한 강우감쇠만을 예측할 수 있다. 강우강도에 따라 서로 다른 강우높이가 고려되며, 경사 경로에 대한 높이 조정을 통해 예측된다. 아래의 Crane 강우감쇠 모델은 1~6단계를 통해 예측 모델링을 수행하였다.

1단계 : 연 시간율(%)dp 대한 강우강도(R_p)

모델링 지역의 연 시간율(%)에 대한 강우강도 R_p 를 찾는다.

2단계 : 강우높이(H_R)

강우 높이는 0°C 등온선 높이를 기준 위치의 독립적 파라미터이다. 아래의 표 2는 위도별 연 시간율 0.001%와 1%에 대한 강우높이를 나타내었다. 연 시간율에 따른 강우 높이 변화는 거의 선형적으로 나타낸다. 따라서 다른 시간율에 대한 강우 높이는 표에서 주어진 시간율 0.001%, 1%에 대한 값을 이용하여 대수적 보간법을 통해 구할 수 있다.

표 2. 연 시간율에 대한 강우높이(Km) H_R

Latitude(°)	Mean annual rain height above mean sea level(H_R)	
	0.001%	1%
30	5.35	3.94
32	5.28	3.76
34	5.19	3.55
36	5.10	3.31
38	5.00	3.05
40	4.89	2.74
42	4.77	2.45
44	4.64	2.16
46	4.50	1.89

3단계 : 경사 경로(L_S) 및 투사 경로(D)

투사 경로 D 는 아래의 식 1과 같이 계산할 수 있다.

$$D = \begin{cases} (H_R - H_S) / \tan\theta, & \theta \geq 10^\circ \\ E_\psi, & \theta < 10^\circ \end{cases} \quad (1)$$

여기서,

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{\cos \theta}{X_R} \left(\sqrt{X_S^2 \sin^2 \theta + 2E(H_R - H_S) + H_R^2 - H_S^2} - X_S \sin \theta \right) \right]$$

$$X_S = H_S + E$$

$$X_R = H_R + E$$

이며, 경사 경로 L_S 는 아래의 식 2와 같이 계산한다.

$$L_S = \begin{cases} D/\cos \theta & , \theta \geq 10^\circ \\ \sqrt{(X_S)^2 + (X_R)^2 - 2(X_S)(X_R)\cos \psi} & , \theta < 10^\circ \end{cases} \quad (2)$$

4단계 : 투사 감쇠값 ($A(R_p, D)$ or $A(R_p, D_0)$)

투사 감쇠값 $A(R_p, D)$ or $A(R_p, D_0)$ 은 아래의 식 3과 같이 구할 수 있다.

$$A(R_p, D) = \begin{cases} kR_p^\alpha \left[\frac{e^{\mu d} - 1}{\mu \alpha} - \frac{b^0 e^{c d}}{\alpha} + \frac{b^0 e^{c D}}{\alpha} \right], & d \leq D \leq 22.5 \text{ km} \\ kR_p^\alpha \left[\frac{e^{\mu d} - 1}{\mu \alpha} \right], & D < d \text{ km} \\ kR_p^\alpha (H_R(p) - H_S), & D = 0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서, $A(R_p, D)$ 의 단위는 dB, R_p 의 단위는 mm/h, 특정 감쇠 계수 kR_p^α 의 단위 dB/km이다. 그리고 $H_R(p)$ 는 연 시간을 p에 대한 강우 높이를 의미한다.

식 3의 나머지 계수들은 구간 지수 모델(piecewise exponential model) 상수이며 다음과 같다.

$$\mu = \frac{\ln(b e^{c d})}{d} \quad (4)$$

$$b = 2.3 R_p^{-0.17} \quad (5)$$

$$c = 0.026 - 0.03 \ln R_p \quad (6)$$

$$d = 3.8 - 0.6 \ln R_p \quad (7)$$

6단계 : 경사 경로 L_S 에 따른 높이 조정

최종적인 경사 경로의 강우 감쇠값(A_S)는 다음과 같다.

$$A_S = \frac{L_S A(R_p, D)}{D} \quad (8)$$

3. Crane 강우감쇠 예측 모델 주요 지역별 강우 감쇠값

위성통신 링크 설계 시 지역별 강우환경에 대한 강우강도 분포를 적용하여 보다 정확한 강우 감쇠값을 계산할 수 있다. 아래의 표는 TAK.KO-06.0122/R1에 제시된 우리나라 주요도시에 대한 연 시간율(%)에 따른 1분간 누적 강우강도 분포와 Crane 강우감쇠 예측 모델에서 사용하는 우리나라 도시 중 다우지역 및 소우지역과 유사한 분포를 갖는 Crane이 제시한 D3지역과 E지역의 1분 누적 강우강도 분포를 나타내었다.

표 3. 1분 누적 강우강도(mm/h) 분포

도시		시간율(%)				
		0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
국내 주요 대도시	서울	95.09	50.04	33.58	10.84	6.37
	인천	75.73	42.17	28.27	9.51	6.06
	대구	64.47	31.35	21.71	8.7	5.86
	대전	81.98	41.68	28.65	13.42	6.25
	광주	82.66	46.65	30.97	9.85	6.22
	부산	86.95	43.05	29.91	10.7	6.46
Crane Prediction	D3 지역	61.50	31.60	22.40	8.20	4.60
	E 지역	91.50	50.40	36.20	12.60	7.00

위 표 3을 활용하여 Ka대역(30GHz)의 Crane 예측 모델에 의한 연 시간율(0.01%)에 따른 강우 감쇠값은 다음과 같이 계산되어 나타난다.

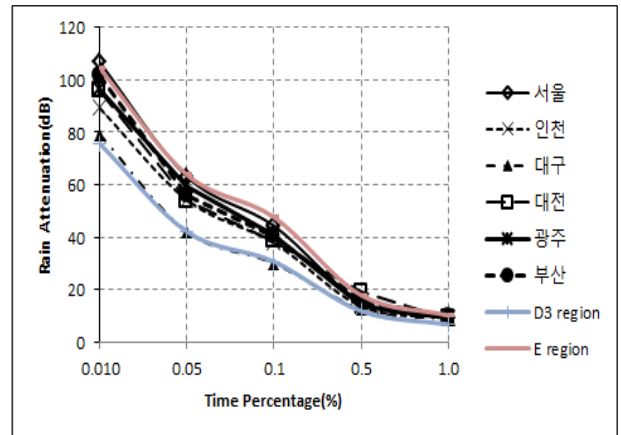


그림 2. Ka대역(30GHz) Crane 예측 모델의 강우 감쇠값 분포

III. 결론

2000년부터 2012년까지 최근 13년간 국내 지역별 강우동향을 분석한 TTAK.KO-06.0122/R1의 강우강도 분포를 활용하여 Ka대역의 강우 감쇠값을 송수신 지구국의 위치, 통신링크 거리 및 연 시간율(%) 등을 반영한 Crane 강우감쇠 예측 모델로 분석을 하였으며, 지금까지 많이 사용한 ITU-R P.837-6과 Crane Prediction의 강우분포보다는 지역별로 현실적이고 안정적임을 알 수 있었다. 서울 및 부산지역과 같은 최근 집중호우의 발생빈도가 잦은 다우지역에서는 Crane의 E지역과 유사하였으며, 기타 대구지역과 같은 소우지역에서는 Crane의 D3지역과 유사한 강우강도 분포 및 강우 감쇠값을 보였다. 이러한 결과들은 Crane 강우 감쇠 예측 모델로 예측된 강우감쇠를 적용하여 Ka대역 위성통신 링크의 마진을 설계하는 것이 보다 효율적인 시스템 운영 안정성 및 링크의 신뢰성을 얻는 것에 효과적일 수 있음을 보여준다. 결론적으로 본 논문에서 분석한 결과자료는 앞으로 많이 사용된 Ka대역 위성통신망 설계 시 링크 마진 설계에 상당히 유용한 자료로 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Recommendation ITU-R PN.837-1, "Characteristics of precipitation for propagation modelling", 1994.
- [2] R. K. Crane, "Prediction of attenuation by Rain", IEEE Trans. Commun. vol. COM-28, No. 9, pp. 1717-1733, Sept 1980.
- [3] Recommendation ITU-R P.618-5, "Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems", 1997.
- [4] Recommendation ITU-R P.618-8, "Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems", 2003.
- [5] Recommendation ITU-R P.618-8, "Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems", 2003.
- [6] Recommendation ITU-R P.839-4, "Rain height model for prediction methods", 2013.
- [7] Recommendation ITU-R P.837-6, "Characteristics of precipitation for propagation modeling", 2012.
- [8] Recommendation ITU-R P.838-3, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", 2005.
- [9] TTA.KO-06.0122/R1, "Regional rainfall-rate distribution for designing radio Communication Links in Korea", 2013.
- [10] Dong-You Choi, Jong-Yeop Sung, Jung-Hyun Yun, and Sun-Kuk Noh, "Rainfall Intensity Distribution by Time Rate in Korea", The Proceedings of the 2010 KIIT Summer Conference, pp. 111-114, May 2010.
- [11] Joo-Seok Kim, No-Wook Park, Joo-Yoeng Lim, Tae-Hyuk Lim, Chang-Hyun Yoo, Kun-Sup Kwon, and Kyung-Seok Kim, "Propagation Characteristics Analysis for an Urban Site of Geostationary Earth Orbit Satellite using Ka-band", JIWI, Vol. 12, No. 6, pp. 181-187, Dec 2012.

저자

조 용 완(Yongwan Cho)



정회원

- 1993년 2월 : 군산대학교 정보통신학과 (공학사)
- 2001년 7월 : 강원대학교 정보통신학과 (공학석사)
- 2000년 7월 ~ 현재 : (주) 머큐리 연구원 (주) 한화탈레스 연구원

<관심분야> : 위성통신, 이동통신/디지털통신