

국내 강우 환경에서 Ka 밴드 위성 링크 버짓 및 지구국 G/T 분석

Analysis of Ka Band Satellite Link Budgets and Earth Station G/T in Korea Rainfall Environment

최형재 · 유경아 · 박대길 · 구경헌

인천대학교 전자공학과

Hyeong-Jae Choi · Kyoung-A You · Dae-Kil Park · Kyung Heon Koo

Department of Electronics Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012, Korea

[요 약]

방송 및 통신에 널리 이용하는 정지궤도 위성 통신에서는 경로 상에서 신호 전력이 크게 감소하는 경로 손실 (path loss)이 발생한다. Ka 밴드 주파수는 강우 감쇠에 취약하여 링크 버짓을 계산할 때 강우 감쇠를 고려하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 한국의 4개 지역(서울, 인천, 부산, 제주)의 2000년도 이후 강우 데이터를 이용하여 강우 추이를 분석하고 강우 강도 및 강우 감쇠를 계산하였다. 이를 이용하여 천리안 위성의 다운 링크에 대한 위성 링크 버짓 및 수신 성능을 해석하였다. 본 연구에서 18년간의 강우 데이터를 이용하여 연시간을 0.5%인 강우강도일 때 계산한 G/T 결과는 국제전기통신연합(ITU)의 Zone-K 강우 모델의 경우와 비교하여 약 8.5 dBK^{-1} 증가하였고, 한국정보통신기술협회(TTA)에서 13년간의 강우 데이터로 계산한 G/T 보다 약 1.2 dBK^{-1} 감소하였다. 본 연구의 결과는 국내 설치 위성 지구국의 G/T 설계에 활용될 수 있다.

[Abstract]

In geostationary satellite communications, which are widely used for broadcasting and communication, there is a path loss where the signal power on the path is largely reduced. It is important to consider rain attenuation when calculating link budget because the Ka band frequency is vulnerable to rain attenuation. In this study, rainfall trends were analyzed by using rainfall data from the year 2000 in four regions of Korea (Seoul, Incheon, Busan, Jeju) and the rainfall attenuation was calculated. This was used to analyse the satellite link budget and receiving performance for the down-link of the Korea satellite COMS. In this study, the calculated G/T for the rainfall intensity of 0.5% per year using the rainfall data for 18 years increased by approximately 8.5 dBK^{-1} compared to the ITU's zone-K rain model, and decreased by approximately 1 dBK^{-1} compared to the precipitation data for 13 years from the TTA(Korea Telecommunications Technology Association). The results of this study can be used for the design of G/T in domestic-installed satellite ground station.

Key word : Satellite communication, Path loss, Ka band, Rainfall attenuation.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.2.151>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 6 March 2019; Revised 5 April 2019

Accepted (Publication) 23 April 2019 (30 April 2019)

*Corresponding Author Kyung Heon Koo

Tel: +82-32-835-4766

E-mail: khkoo@inu.ac.kr

I. 서론

위성 통신 활용이 더욱 증대함에 따라 위성 통신의 중요성이 강조되고 관련 기술이 지속적으로 개발되고 있다. 위성 통신 경로에서는 다양한 요인에 의해 경로 손실 (path loss)이 매우 크게 발생하므로 필요한 성능을 만족하기 위해 위성 통신 시스템 설계에서 정확한 링크 버짓 계산은 매우 중요하다. 본 논문의 천리안 위성 1호가 할당받은 주파수는 Ka 밴드에 해당한다. 정지궤도 위성 시스템의 송신기와 수신기간 통신 경로에서 신호의 전력이 감소하는 경로 손실이 일어나는데, Ka 밴드는 경로 손실 중 강우 감쇠에 매우 취약하다. 따라서 국내에서 사용하는 위성 지구국의 경우 정확한 링크 버짓 계산을 위해 한국의 강우 데이터를 사용하여 강우 감쇠 및 지구국의 요구 G/T(안테나이득/수신계잡음온도)를 구하여야 한다.

기존 강우 감쇠 연구로는 한국정보통신기술협회(TTA)에서 2000년도부터 2012년도까지의 강우 자료를 사용하여 강우 감쇠를 계산하였으며 최근 년도의 강우 변화를 포함하지 않아 추가 연구가 필요하다. 국제전기통신연합(ITU)에서 제시한 강우 모델에서 한국은 아시아 K-지역 (zone-K)에 포함되어 있으나 zone-K의 대부분은 중국을 포함하고 있기에 (사막 및 건조 지역이 다수 포함) 한국의 강우 특성과는 차이가 있다. 따라서 TTA 및 ITU의 강우 자료 및 연구 결과를 보완하여 국내의 강우 특성을 고려하여야 정확한 위성 링크 버짓을 해석할 수 있다 [1]. 본 연구에서는 2000년도 이후 18년간의 강우 데이터로 강우 강도 및 강우 감쇠를 계산하고 이를 이용하여 Ka 밴드 천리안 위성 다운 링크에 대한 위성 링크 버짓 및 지구국 요구 수신 성능을 제시하고자 한다.

II. 강수량 및 강우 강도

그림 1에 2000년부터 2017년까지 18년간 서울, 부산, 인천, 제주 등 한국 4개 지역의 평균 연 강수량을 제시하였다. 2003년, 2010년 및 2012년은 각각 태풍 매미, 곤파스 및 볼라벤의 영향으로 강수량이 많았으며, 2014년 이후는 장마 기간 중 평균 강수량 및 강수 일수가 예년보다 줄어들었으며, 지난 18년간 4개 지역의 평균 강수량 변화가 상당히 큼을 알 수 있다[2].

강우 강도는 비교적 짧은 일정 시간 동안 내린 강수량을 60분의 강수량으로 환산한 것이다. 예로 기상청이 제공하는 1분당 0.5 mm 정확도를 갖는 데이터를 이용해 1시간으로 환산하여 도출할 경우, 강우 강도가 30 mm/h 간격으로 나타나고 최대 15 mm/h 오차를 갖게 되어 이를 그대로 이용하기에는 정확도가 떨어진다. 따라서 전파통신에 필요한 강우감쇠를 계산하는 강우 강도 값을 구하기 위해서는 일정 시간 누적 강수량을 1분 단위로 변환 이용하여 정확도를 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 TTA에서 제시한 강우강도의 정의를 이용하여 강우 적분 시간이 10분인 강수량을 6배하여 사용하였다[3],[4].

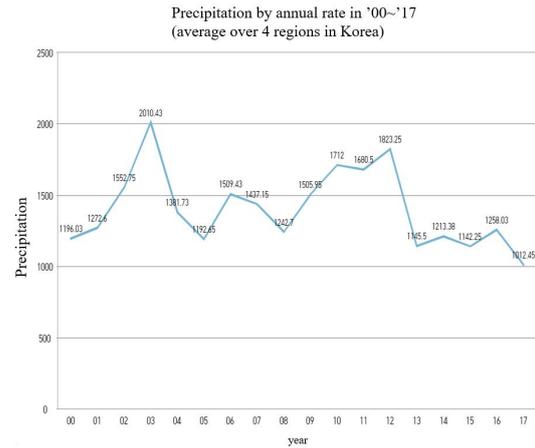


그림 1. '00~'17년 국내 4개 지역 연간 평균 강수량
 Fig. 1. Precipitation by annual rate in '00~'17 (average over 4 regions in Korea).

연시간율은 특정 강우 강도 이상의 강우가 발생하는 연중 누적 시간에 대한 시간 백분율이며 본 논문에서는 x% 로 표시하였다. 예를 들어, 1년 동안 70 mm/hr 이상의 강우 강도가 발생한 총 누적 시간이 80분이면, 연시간율 0.015% ((100×80)/(365×24×60))가 된다.

강우 감쇠를 구하기 위해서는 지역별 연시간율 별 강우강도가 필요하기 때문에 2000년부터 2017년까지의 강우 강도를 계산하여 표 1에 18년간의 국내 4개 지역 연시간율 별 강우 강도를 제시하였다. 그림 1을 보면 13년부터의 강수량이 이전보다 감소하였기에 별도로 13년부터 17년까지의 4개 지역의 강우 강도를 표로 추가해 제시하였다.

표 2~5는 서울, 부산, 인천 및 제주 등 국내 4개 도시의 13년부터 17년까지의 연시간율별 강우강도이다. 최근 5년간의 강우 강도는 기존에 TTA에서 연구한 자료 및 본 논문에서 연구한 18년간의 강우 강도와 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 일차적으로 '00~'12년의 TTA 강우 강도에 관한 기존 연구와 본 연구에서 사용한 기상청 강우 데이터를 이용하여 계산한 연시간율별 강우 강도 값이 일치하는 것을 확인하고 추가적으로 '13~'17년의 강우 데이터를 활용하여 연구를 진행하였다.

표 1. '00~'17년 국내 4개 지역 연시간율별 강우강도 (mm/h)
 Table 1. Rainfall strength by annual rate (mm/h) of 4 areas in Korea for '00~'17.

Rate/year Area	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
Seoul	85.84	44.81	29.92	9.24
Incheon	71.35	38.82	25.54	8.28
Busan	82.71	41.38	28.34	9.76
Jeju	73.32	38.20	26.56	8.92
Average	78.31	40.80	27.59	9.05

표 2. 서울지역 연시간을별 강우강도 (mm/h)

Table 2. Rainfall strength by annual rate of Seoul (mm/h).

Rate/year Year	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
2013	63	36	24	6
2014	36	18	12	3
2015	36	18	12	3
2016	45	24	18	6
2017	63	33	21	6
Average	48.6	25.8	17.4	4.8

표 3. 인천지역 연시간을별 강우강도 (mm/h)

Table 3. Rainfall strength by annual rate of Incheon (mm/h).

Rate/year Year	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
2013	58.2	31.8	21	6
2014	36.6	21	13.8	4.8
2015	33.6	15.6	9.6	3
2016	46.2	19.8	13.2	4.8
2017	61.8	36.6	21.6	5.4
Average	47.28	24.96	15.84	4.8

표 4. 부산지역 연시간을별 강우강도 (mm/h)

Table 4. Rainfall strength by annual rate of Busan (mm/h).

Rate/year Year	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
2013	45	27	18	6
2014	60	33	21	9
2015	27	21	15	6
2016	57	31.8	24	8.4
2017	90	38.4	24	4.2
Average	55.8	30.24	20.4	6.72

표 5. 제주지역 연시간을별 강우강도 (mm/h)

Table 5. Rainfall strength by annual rate of Jeju (mm/h).

Rate/year Year	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
2013	34.2	18	12	4.8
2014	54	27	18	7.2
2015	84.6	27.6	19.8	7.8
2016	50.4	22.8	16.2	6.6
2017	51.6	26.4	15	3.6
Average	54.96	24.36	16.2	6

그림 1에서 2013년부터 강수량이 감소하는 경향을 볼 수 있는데, 이에 따라 강우 강도 역시 강수량의 영향을 받아 높은 연시간을에서는 약 1 mm/h, 낮은 연시간을에서는 5 mm/h 정도 강우 강도가 감소함을 확인할 수 있으며, 그림 2에 ITU에서 제시한 zone-K의 강우 강도 및 기존 TTA의 결과를 함께 제시하여 그들 간의 차이를 확인할 수 있다.

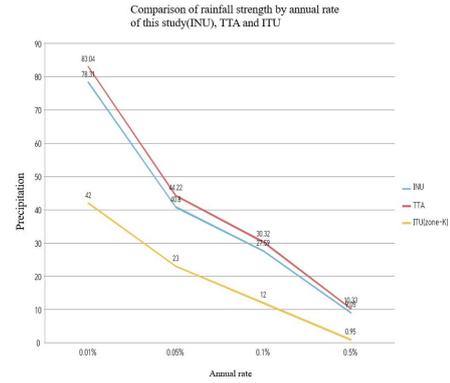


그림 2. 본 연구(INU)와 TTA, ITU의 연시간을별 강우강도
Fig 2. Comparison of rainfall strength by annual rate of this study(INU), TTA and ITU.

III. 강우 감쇠 및 지구국 G/T

3-1 강우 감쇠 계산

위성통신에 이용되는 전파의 주파수가 높아 빗방울의 크기가 파장에 대해 무시할 수 없는 수준이 되면, 전파는 빗방울에 의해 산란, 반사 등이 발생하여 감쇠가 증가하게 된다. 밀리미터파, 준 밀리미터파에서는 대기 중의 산소나 수증기 분자의 공명 등에 따른 감쇠도 발생하지만, 강우에 따른 감쇠 영향이 증가하여 천리안 위성이 사용하는 Ka 밴드 주파수 이용에 장애가 되고 있다. 강우 감쇠 및 지구국의 요구 G/T를 도출하기 위해 강우 감쇠를 도출할 필요가 있으며, 강우 감쇠 계산에는 다음 중간 변수 및 계산식이 이용된다[5-9].

1) 강우 고도 (km)

0°C의 평균 등온선 고도 h_0 와 강우고도 h_R 은 ITU-R P.839.4에서 다음과 같이 제시되었다. 서울은 위도가 37°N 내외이므로 본 논문에서는 위도 $\zeta > 23N$ 에 해당하는 식을 이용하였다.

$$h_R = h_0 + 0.36 \tag{1}$$

$$h_0 = \begin{cases} 5 - 0.075(\zeta - 23) & \text{for } \zeta > 23N \\ 5 & \text{for } 0 \leq \zeta \leq 23N \\ 5 & \text{for } 0 \geq \zeta \geq -21S \\ 5 + 0.1(\zeta - 21) & \text{for } -71 \leq \zeta < -21S \\ 0 & \text{for } \zeta < -71S \end{cases} \tag{2}$$

2) 경사 경로길이 및 수평투영길이 (km)

안테나 높이 h_s 는 표준적인 안테나 높이인 0.06 km라고 가정하였으며 강우강도를 계산한 4개 지역(서울, 인천, 부산, 제주)의 양각은 모두 5° 이상이므로 경사 경로길이는 다음 중 양각 $\theta \geq 5^\circ$ 에 적용되는 식을 이용하였다.

$$L_S = \frac{(h_R - h_S)}{\sin\theta} \quad \text{for } \theta \geq 5^\circ \quad (3)$$

$$L_S = \frac{2(h_R - h_S)}{\left(\sin^2\theta + \frac{2(h_R - h_S)}{R_e}\right)^{1/2} + \sin\theta} \quad \text{for } \theta < 5^\circ$$

그리고 4개 지역(서울, 인천, 부산, 제주 순)의 양각인 46.5°, 46.6°, 49.2°, 51°를 적용한 수평투영길이는 다음 식(4)를 이용하여 각각 4.00 km, 3.99 km, 3.78 km, 3.64 km로 계산되었다.

$$L_G = L_S \times \cos\theta \quad (4)$$

3) 특정 강우 감쇠 계수

여기서 $R_{x\%}$ 은 해당지역 연시간을 x%에 해당하는 강우 강도이며 본 논문 2절에서 계산한 값을 대입하였다. 주파수 f의 단위는 GHz이며 k와 α 는 주파수에 대한 보정상수이다. 특정 강우 감쇠 계수 k와 α 는 주파수에 따라 변동되는데 본 논문에서는 ITU-R 838.8를 참고하여 20.9 GHz 수직편파에 대한 k와 α 를 계산하였다.

$$\gamma_R = k(R_{x\%})^\alpha \quad (5)$$

$$k = \frac{[k_H + k_V + (k_H - k_V)]}{2} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + (k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos\theta^2\cos 2i}{2k} \quad (7)$$

아시아 zone-K에 해당하는 수평감쇠계수 $r_{x\%}$ 는 다음과 같다. 식 (8)에서 f는 주파수이며 단위는 GHz이다.

$$r_{x\%} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} - 0.38(1 - e^{-2L_G})} \quad (8)$$

위 결과를 통해 실효 강우 경사경로 길이 L_E 는 수직 조정 계수 $v_{x\%}$ 를 구하여 식(9)~(11)의 계산을 통해 구할 수 있다.

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{h_R - h_S}{L_G r_{x\%}}\right) \quad (9)$$

$$\text{for } \phi > \theta, L_R = \left(\frac{L_G r_{x\%}}{\cos\theta}\right)$$

$$\text{for } \phi \leq \theta, L_R = \left(\frac{h_R - h_S}{\sin\theta}\right)$$

$$v_{x\%} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin\theta(31(1 - e^{-\theta/(1+x)})\frac{\sqrt{L_R \gamma_R}}{f^2} - 0.45)}} \quad (10)$$

$$L_E = L_R \times v_{x\%} \quad (11)$$

다음으로 강우 감쇠 계수와 실효 강우 경사 경로 길이를 식(12)와 같이 곱하면 강우 감쇠 값을 구할 수 있다.

$$A_{x\%} = \gamma_R L_E \quad (12)$$

연시간을 0.01%, 0.05%, 0.10%, 0.5%에 해당하는 국내 4개 지역의 강우감쇠를 계산하여 2000년 이후 13년간의 TTA 강우 강도 자료를 이용한 강우 감쇠 결과를 표 6에 제시하였으며, 2000년 이후 18년간의 강우 강도 데이터를 이용하여 수행한 본 연구의 강우감쇠 결과를 표 7에 제시하였다.

예로 0.5% 연 시간율에 대한 인천 지역 Ka 밴드 강우감쇠는 2017년까지 18년간 데이터를 보면 지난 13년간의 강우 강도 데이터로 계산한 강우 감쇠 보다 1.2 dB 감소함을 알 수 있다.

3-2 요구 수신 성능 계산 및 결과

안테나 수신 성능이란 지상의 지구국 RF성능을 지수로 표시할 수 있는 것으로 대표적으로 G/T로 나타낸다. 이때 G는 수신 주파수에서의 지구국 안테나 이득(gain)이며, T는 수신 시스템의 총합 잡음온도(noise temperature)를 나타내는데 구체적으로 수신 안테나 잡음온도와 수신안테나 초단의 LNA (저잡음 증폭기) 입력에서 바라본 LNA 및 이후 수신부의 일련의 잡음을 합한 값이 된다. 천리안 위성을 기준으로 각 4개 지역별 안테나 수신 성능(G/T)을 계산하였다[10, 11]. C/N_0 는 신호(반송파) 대 잡음 비, P_E 는 위성에서의 EIRP (실효등방성 복사 전력), A_F 는 전파경로 손실, A_R 은 강우 감쇠이다.

표 6. TTA 제공 강우강도를 이용한 강우감쇠(dB) ('00~'12년)
Table 6. Rainfall attenuation using the rainfall intensity provided by TTA (dB) ('00~'12).

Rate/year \ Area	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
Seoul	35.42	24.15	18.7	11.26
Incheon	31.05	21.68	16.67	9.95
Busan	34.08	22.26	17.55	11.67
Jeju	28.87	22.01	17.58	10.37

표 7. 본 연구의 강우감쇠(dB) ('00~'17년)
Table 7. Rainfall attenuation in this study(dB) ('00~'17).

Rate/year \ Area	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
Seoul	33.40	22.53	17.32	9.71
Incheon	29.98	20.56	15.56	8.75
Busan	33.11	21.70	16.92	10.73
Jeju	31.17	20.83	16.37	9.46

$$\frac{G}{T_{SYS}} = \frac{C}{N_0} - P_E + A_F + A_R - 228.6 \quad (13)$$

수신 시스템 총 잡음온도 T_{SYS} 는 안테나 출력을 기준점으로 하며 식(14)로 표현된다. 여기서 T_A 는 안테나 잡음온도, a_s 는 안테나와 LNA 사이의 전력손실, a_t 는 안테나와 LNA 사이의 전송선로에 의한 전력손실, T_{RX} 는 LNA포함 이후의 잡음온도, T_0 는 상온 잡음온도 290°K이다.

$$T_{SYS} = T_A + T_0(a_s - 1) + a_t \times T_{RX} \quad (14)$$

강우환경을 고려한 안테나 잡음온도인 T_A 는 다음과 같이 구성된다. 여기서 a_r 는 강우손실, T_{RAIN} 는 강우 잡음온도, T_{SKY} 는 대기가스 및 구름에 의한 대기환경 잡음온도 그리고 T_b 는 맑은 하늘의 휘도온도이다.

$$T_A = \frac{T_{SKY}}{a_r} + T_{RAIN} + T_b \quad (15)$$

전파 경로 손실 A_F 는 위성과 지구국 사이의 전파 경로 손실 값이며, 아래 식 (16)과 같다. F는 주파수이며, R은 위성과 지구국 사이의 거리이다.

$$A_F = 92.4 + 20\log(F) + 20\log(R) \quad (16)$$

천리안 1호 위성의 경도는 동경 128.2°이며, 위성 EIRP는 65 dBW, 4개 지역과 천리안 위성간 거리는 각각 38539 km, 38525 km, 38561 km, 38312 km 이다. 이를 바탕으로 위 수식을 활용하여 각 4개 지역에서의 연시간율에 따른 천리안 위성의 요구수신 성능(G/T)을 계산하였다.

표 8은 ITU에서 제시한 zone-K 강우강도 모델의 요구 수신 성능 결과이며, 표 9는 TTA에서 제시한 2000년부터 2012년까지의 강우강도를 이용하여 계산한 값이다. 본 논문에서 제시한 2000~2017년의 강우강도에 따른 요구 수신 성능값을 계산하여 표 10에 요구 수신 성능결과를 제시하였으며 이는 표9와 비교하였을 때 전체적으로 약 1 dBK⁻¹ 작은 것을 확인할 수 있다. 표 11은 본 논문에서 구한 강우강도의 값을 12 GHz Ku 대역주파수를 사용 중인 동경 116° 무궁화 6호에 적용시켜 구한 G/T 결과 값이다. 위성의 정보는 Ktsat에 있는 정보를 사용하여 요구 수신 성능 결과를 구하였다[12].

표 8. ITU 제시 zone-K 강우강도 요구 수신 성능 결과(dBK⁻¹)
Table 8. Receiving performance results required for Zone-K rainfall strength by ITU (dBK⁻¹).

Rate/year (dB/K)	0.01%	0.03%	0.10%	0.50%
zone-K	19.10	11.95	6.52	-1.48

표 9. '00~'12년의 강우강도 요구 수신 성능 결과(dBK⁻¹)

Table 9. Receiving performance results required for rainfall strength of '00~'12 by TTA (dBK⁻¹).

Rate/year Area	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
Seoul	32.90	21.63	16.17	8.74
Incheon	28.53	19.16	14.15	7.42
Busan	31.56	19.74	15.03	9.15
Jeju	28.87	19.44	15.00	7.80
Average	30.47	19.97	15.09	8.28

표 10. 본 연구의 '00~'17년 강우강도 요구 수신 성능(dBK⁻¹)

Table 10. Receiving performance results required by rainfall strength of '00~'17 by this study (dBK⁻¹).

Rate/year Area	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
Seoul	30.87	20.01	14.79	7.19
Incheon	27.45	18.03	13.04	6.22
Busan	30.59	19.18	14.41	8.21
Jeju	28.60	18.26	13.80	6.88
Average	29.37	18.87	14.01	7.125

표 11. '00~'17년의 Ku 대역 위성 요구 수신 성능(dBK⁻¹)

Table 11. Receiving performance results required by Ku band satellite of '00~'17 (dBK⁻¹).

Rate/year Area	0.01%	0.05%	0.10%	0.50%
Seoul	13.80	8.88	6.37	2.90
Incheon	12.02	7.68	5.22	2.03
Busan	13.61	8.46	6.15	3.48
Jeju	12.55	7.88	5.73	2.60
Average	13.00	8.23	5.87	2.75

천리안 위성과 무궁화 6호 위성의 위도 차이에 따라 위성파 지구국간 거리 차이가 일부 생기지만 그 값은 그리 크지 않기 때문에 표 11의 요구 수신 성능은 사용하는 Ku 밴드 주파수와 EIRP, 그리고 강우 강도가 요구 수신 성능인 G/T 값에 큰 영향을 끼쳤다. 즉 Ku 밴드의 요구 수신 성능 결과와 본 논문의 Ka 밴드의 요구 수신 성능 결과는 0.01%의 낮은 연시간율 강우강도에서는 약 16 dBK⁻¹, 0.5%의 높은 연시간율 강우강도에서는 약 4.5 dBK⁻¹ 정도의 차이를 나타내어 Ka 밴드에서 더 높은 지구국 수신 성능 특성이 필요하다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구는 국내 강우 환경에서 Ka 밴드 위성 링크 버짓을 계산하고 지구국에 요구되는 주요 성능인 수신 G/T를 도출하고자 하였다. 이를 위해 필수적인 강우 감쇠 계산은 기상청에서 국내 누적 강수량 데이터를 받아 이용하였으며 ITU, TTA의 표

준 및 권고 자료들을 활용하였다. 기존에 관련 연구를 수행한 TTA의 조사기간인 2000-2012년도의 강수량과 본 연구의 조사기간인 2000-2017년간의 강수량을 비교하여 국내 4개 지역의 평균 강수량 감소 및 그에 따른 강우 강도 및 강우 감쇠의 변화를 제시하였다.

제시된 강우 감쇠 값을 사용하여 Ka 밴드 천리안 위성의 지구국 요구 G/T 값을 도출하였으며 이 값을 ITU에서 제시한 zone-K의 강우 강도 모델을 이용한 G/T 값 및 TTA 제시한 강우 강도를 대입하여 구한 값과 비교 제시하였다. 본 논문에서 제시한 강우 강도를 이용하여 도출 지구국 요구 G/T 값이 다양한 연시간을 강우강도에 대해 약 1 dBK^{-1} 감소하는 것을 알 수 있었다. 장기간에 걸친 국내 강우강도 데이터에 기반하여 국내 지구국 안테나 및 수신시스템을 설계하는 것이 바람직할 것으로 사료되며, 논문에서 Ku 밴드 무궁화 위성의 경우에 적용 사례를 제시하였듯이 연구 결과는 타 정지궤도 위성을 이용하는 국내 지구국 설계에 유용하게 활용될 수 있다.

References

- [1] TTAK.KO-06.0122/R1, Regional rainfall-rate distribution for designing radio communication links in Korea, TTA, Dec. 2013.
- [2] Korea meteorological administration. Rainy season analysis report [Internet]. Available : <http://www.kma.go.kr/search/kmaSearch4.jsp?keyword=%C0%E5%B8%B6%20%C6%AF%BC%BA>
- [3] Korea meteorological administration. Data for cumulative precipitation per minute in 4 regions (Seoul, Incheon, Busan, Jeju), 2000-2017, [Internet] Available : <https://data.kma.go.kr/stcs/grnd/grndRnList.do?pgmNo=69>
- [4] H. J. Choi, D. K. Park, and K. H. Koo. "Trend analysis of the 10 minute cumulative time rainfall over the last 5 years," in *The Korea Navigation Institute General Academic Conference*, Vol. 22, No. 1, Seoul: Korea, pp. 178-179, 2018.
- [5] ITU, Recommendation ITU-R P.618-8 propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems, pp.6-8, 2003.
- [6] ITU, Recommendation ITU-R P.838-3 specific attenuation model for rain for use in prediction methods, pp.3-6, 2005.
- [7] TTAK.KO-06.0123/R1, Conversion method of rain-rate statistics for various integration time data, TTA, Dec. 2010.
- [8] ITU, Recommendation ITU-R PN.837-1 characteristics of precipitation for propagation modelling, pp.1-4, 1994.
- [9] K. A. Yoo, D. K. Park, and K. H. Koo, "Analysis of Ku band G/T performance in 4 regional of Korea satellite earth stations considering rainfall characteristics," in *The Korea Navigation Institute General Academic Conference*, Vol. 22, No. 1, Seoul: Korea, pp. 180-181, 2018.
- [10] K. S. Lee and K. H. Koo. "Design of the satellite beacon receiver using array based digital filter," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 27, No. 10, pp. 909-916, Oct. 2016.
- [11] K. S. Lee and K. H. Koo. "Ku band antenna G/T analysis and experiment according to elevation angle change," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 28, No. 7, pp. 550-559, July. 2017
- [12] Ktsat. Koresat6 [Internet]. Available : <https://www.ktsat.net/content/view.do?ctfNm=coverage&ctfNo=031>



최 형 재 (Hyeong-Jae Choi)

2013년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과

※관심분야 : 위성통신, 마이크로파 회로해석 및 설계, 무선통신



유 경 아 (Kyoung-A You)

2015년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과

※관심분야 : 위성통신, 마이크로파 회로해석 및 설계, 무선통신



박 대 길 (Dae Kil Park)

2014년 : 인천대학교 전자공학과 (공학사)

2016년 : 인천대학교 전자공학과 (공학석사)

2016년 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 대학원 박사 과정

※관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 무선전력전송, 무선통신시스템 등



구 경 현 (Kyung Heon Koo)

1981년 : 서울대학교 전자공학과 (공학사),

1991년 : 서울대학교 전자공학과 (공학박사),

1987년 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 교수

1998년 ~ 현재 : 한국항행학회 이사, 연구회 위원장, 회장, 명예회장

※관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 무선통신 시스템, 차세대 항행시스템 등

1983년 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1999년 ~ 2000년 : UC San Diego 방문학자