

위성 링크에 대한 강우셀 기반 실효 경로 길이 모델링 연구

Modeling of Effective Path-Length in Satellite Link Based on Rain Cell Statistics

강우근 · 김명회* · 김인겸** · 최경수*** · 이병선* · 백정기

Woo-Geun Kang · Myunghoi Kim* · In-Kyum Kim** · Kyung-Soo Choi*** ·
Byoung-Sun Lee* · Jeong-Ki Pack

요약

기존의 ITU-R 모델은 강우 환경이 다른 국내 측정치와 편차가 크고, 실효 경로 길이가 주파수와 무관함에도 주파수의 함수로 되어 있으며, 강우셀의 물리적 특성이 반영되지 않은 경험 모델이라는 단점이 있다. 본 논문에서는 강우셀 개념을 이용한 실효 경로 길이 모델에 대한 이론 모델을 제안하고, 측정 데이터를 이용하여 제안 모델의 타당성을 검증하였다. 강우셀 파라미터의 통계적 특성 분석을 위하여 한국 기상청의 기상레이더 측정 데이터(CAPPI)를 분석하고, 한국전자통신연구원에서 측정한 천리안 비콘 수신 데이터를 이용하여 보정계수를 도입함으로써 측정치와 잘 일치하는 물리적 이론 모델을 도출하였다. 도출된 실효 경로 길이 모델의 검증을 위하여 국방과학연구소의 연구비 지원을 받아 충남대학교에서 측정한 무궁화 5호(Ka 대역) 위성 비콘신호 측정 데이터를 사용하여 비교하였으며, 제안한 실효 경로 길이 모델과 측정데이터가 잘 일치함을 확인하였다.

Abstract

The existing effective path-length model of ITU-R has some drawbacks: The prediction error is quite large compared to domestic measurement data and it is an empirical model in which the physical characteristics of rain cells are not considered. In this paper, a theoretical model for effective path-length using the rain-cell concept was proposed and its validity was verified using the measurement data. To analyze the statistical characteristics of rain cell parameters, the weather-radar data(CAPPI) measured by Korea Meteorological Administration were analyzed and the correction factor was properly introduced to fit the Chollian beacon measurement data of ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute). To verify the proposed effective path-length model, it was compared with the Mugunghwa No. 5 beacon data measured in Chungnam National University with the support of ADD(Agency for Defense Development). It was confirmed that the prediction results of the proposed model are in good agreement with the measurement data.

Key words: Satellite Link, Rain Attenuation, Effective Path-Length, Rain Cell

「이 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원을 받아 충남대학교에서 측정한 무궁화 5호 측정데이터, 한국전자통신원의 천리안 측정데이터 및 한국 기상청의 CAPPI 데이터의 도움을 받아 연구되었음.」

충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chung-Nam National University)

*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

**국방과학연구소(Agency for Defense Development)

***레이더솔루션(Radar Solution)

· Manuscript received December 6, 2013 ; Revised January 28, 2014 ; Accepted February 17, 2014. (ID No. 20131206-04S)

· Corresponding Author: Jeong-Ki Pack (e-mail: jkpack@cnu.ac.kr)

I. 서론

위성통신 시스템에서 채널의 가용성 및 성능 평가를 위해서는 신호의 감쇠량을 정확히 예측하는 것이 중요하다. 특히, 10 GHz 이상의 주파수 대역에서는 강우에 의한 전파 손실이 가장 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 ITU-R에서는 전 세계적으로 적용이 가능한 예측 모델을 권고하고 있다^[1]. ITU-R 모델의 주요 변수는 강우 높이와 수평경로 및 수직경로 보정계수이며, 수평/수직 경로 보정계수는 강우셀 분포 특성과 밀접한 관계가 있다. 현행 국제 강우감쇠 실효 경로 길이 예측 표준인 ITU-R 권고서 모델은 미국의 ACTS 사업의 결과로 개발된 모델에 근간을 두고 있으며, Ka-대역 ACTS 위성의 미주 지역 측정 데이터를 근거로 한 모델이다. 그러나 이 모델은 동일한 조건을 가진 위성통신 경로라 하더라도 주파수에 따라 실효 경로 길이 특성이 달라져 주파수 의존적 특성을 보이며, 고도각이 증가함에 따라 실효 경로 길이가 증가하므로 물리적인 의미가 결여된 단점을 가지고 있다. 또한, ITU-R 모델은 글로벌 모델이기 때문에 국내 환경에 적용 시 상당한 예측 오차가 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 강우셀 개념을 이용하여 강우 감쇠 예측에 필요한 실효 경로 길이에 대한 이론 모델을 제안하였다. 강우셀 파라미터의 통계적 특성 도출을 위하여 한국 기상청의 기상레이더 측정 데이터(CAPPI)를 분석하고, 천리안 비콘 수신 데이터를 이용하여 보정계수를 도입함으로써 실효 경로 길이 측정치와 잘 일치하는 물리적 이론 모델을 도출하였다. 도출된 실효 경로 길이 모델의 검증은 위하여 무궁화 5호(Ka 대역) 위성 비콘신호 측정 데이터를 사용하여 비교하였으며, 제안된 강우셀 개념을 이용한 실효 경로 길이 모델의 예측 결과와 측정 데이터가 잘 일치함을 확인함으로써 제안한 실효 경로 길이 모델의 타당성을 입증하였다.

II. 실효 경로 길이 이론 모델

본 논문의 실효 경로 길이 이론 모델은 그림 1과 같이 강우 이벤트의 최소 집단인 강우셀의 개념을 위성과 지구국 사이의 경로에 대해서 적용하여 도출하였다. 이론 모

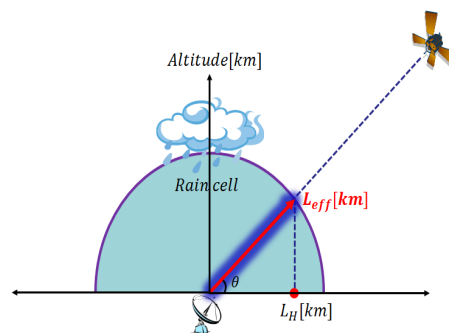


그림 1. 실효 경로 길이 이론 모델 개념도
Fig. 1. Conceptual diagram of the theoretical model for effective path-length.

델 도출을 위해 강우셀의 수평 단면 형태를 원으로 가정하고, 지구국의 위치는 강우셀의 중심에 위치하는 것으로 가정하였다.

기상레이더 데이터를 사용하여 강우율에 따른 강우셀의 공간분포에 대한 통계적 특성을 분석하면, 강우셀의 고도별 수평 단면적으로부터 고도별 강우셀 반경을 구할 수 있으며, 그림 1과 같이 고도별 강우셀 반경이 주어지면 아래 식으로부터 주어진 앙각(θ)에 대해 실효 경로 길이(L_{eff})를 구할 수 있다.

$$L_{eff} = L_H / \cos(\theta) \text{ [km]} \quad (1)$$

다음 절에서 언급한 바와 같이 실제 강우셀의 단면은 강우율에 따라 사다리꼴 또는 직사각형 형태로 단순화하여 모델링할 수 있으며, 주어진 단면 형태에 대한 강우셀 파라미터(강우셀 반경, 강우셀 경사)에 대한 통계적 분석결과로부터 실효 경로 길이에 대한 표현식을 구할 수 있다. 이러한 단순한 실효 경로 길이 모델은 실제 측정치와 차이가 있을 수밖에 없기 때문에, 적절한 보정계수를 도입하면 실제 위성 링크의 측정치와 잘 일치하면서 강우셀의 물리적 특성을 반영한 실효 경로 길이 모델을 도출할 수 있다.

III. 실효 경로 길이 모델 도출

3-1 강우셀 파라미터 분석 및 실효 경로 길이 모델 도출

표 1. CAPPI 자료의 기본 구조

Table 1. Basic structure of CAPPI data.

항목	내용
해상도	1 km×1 km
관측 면적	약 650,000 km ²
관측 고도	250 m~10 km (250 m 간격, 총 40개 층, 41번 층에는 관측영역 표시)
측정 간격	10분 단위
데이터 구조(층)	960(가로)×1,200(세로)×41층
데이터 단위	dBZ

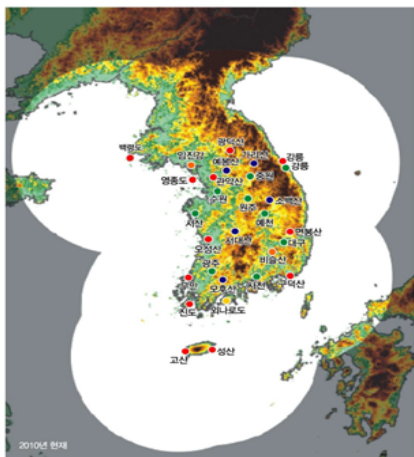


그림 2. 기상레이더 운용 현황 및 커버리지^[2]

Fig. 2. Operation status of the meteorological radars and their coverage^[2].

기상레이더 측정 데이터는 주어진 고도각에서 관측된 레이더 에코를 평면상에 표출하는 PPI(Plan Position Indicator) 자료와 PPI 관측 데이터를 고도별 수평 데이터로 변환한 CAPPI(Constant Altitude PPI)자료가 있는데, 본 논문에서는 강우셀 분석에 편리한 CAPPI 자료를 사용하였다. 표 1은 CAPPI 자료의 기본 구조를 나타낸 것이며, 그림 2는 국내 기상청의 기상레이더 운용 현황 및 커버리지를 보인 것이다.

CAPPI 자료를 이용하여 강우셀 파라미터를 분석하기 위한 절차와 접근 방법은 첫째, 분석 대상 강우율을 선택하여 dBZ 단위의 CAPPI 자료를 강우율 단위인 mm/h로 변환한다. 변환 식은 식 (2)와 같다^[3].

$$dBZ = 10 \log Z$$

$$Z = 200R^{1.6} \Rightarrow R = \left(\frac{Z}{200} \right)^{1/1.6} \quad (2)$$

둘째, 강우셀 분석을 위해 특별히 제작된 SW 툴을 이용하여 위에서 선택한 각각의 강우율에 대해 3차원 강우셀들의 분포를 구하고, 서로 분리된 여러 개의 강우셀들 중에서 대표성을 가진 강우셀들을 선택한 후, 주어진 강우율에 대한 강우셀의 평균적인 특성을 분석한다. 본 논문에서는 강우셀의 부피를 기준으로 상위 5개 크기의 강우셀을 분석하였다. 셋째, 강우율 별 강우셀의 고도별 수평단면적을 추출하여 강우셀 반경을 구하고, 강우셀 파라미터(강우셀 반경 및 강우셀 경사)의 통계적 특성을 도출한다.

강우율에 따른 강우셀 특성을 분석하기 위해, 기상청 홈페이지의 지역별 상세 관측자료(AWS)를 이용하여, 2010~2011년의 일일 강수량이 50 mm 이상인 날짜를 선정하였다. AWS(Automatic Weather System)가 제공하는 강수량은 분해능이 0.5 mm/h이고, 1분, 10분, 30분, 60분, 일극값을 제공하는데, CAPPI 데이터는 10분마다 제공되기 때문에, 해당하는 각 날짜의 정확한 분석 시점은 AWS 데이터의 10분 누적 강수량의 변화가 가장 많은 시점을 선택하였다. 선택된 강우 이벤트에 대해 표 2에 주어진 강우율에 대해 강우셀 특성을 분석하였다.

표 2. 분석대상 강우율

Table 2. Selected rain rates for analysis.

dBZ	R [mm/h]
20	0.69
30	2.73
39	9.99
44	20.50
47	31.58
49	42.11
51	56.15
52	64.84
53	74.88
54	86.47
55	99.85

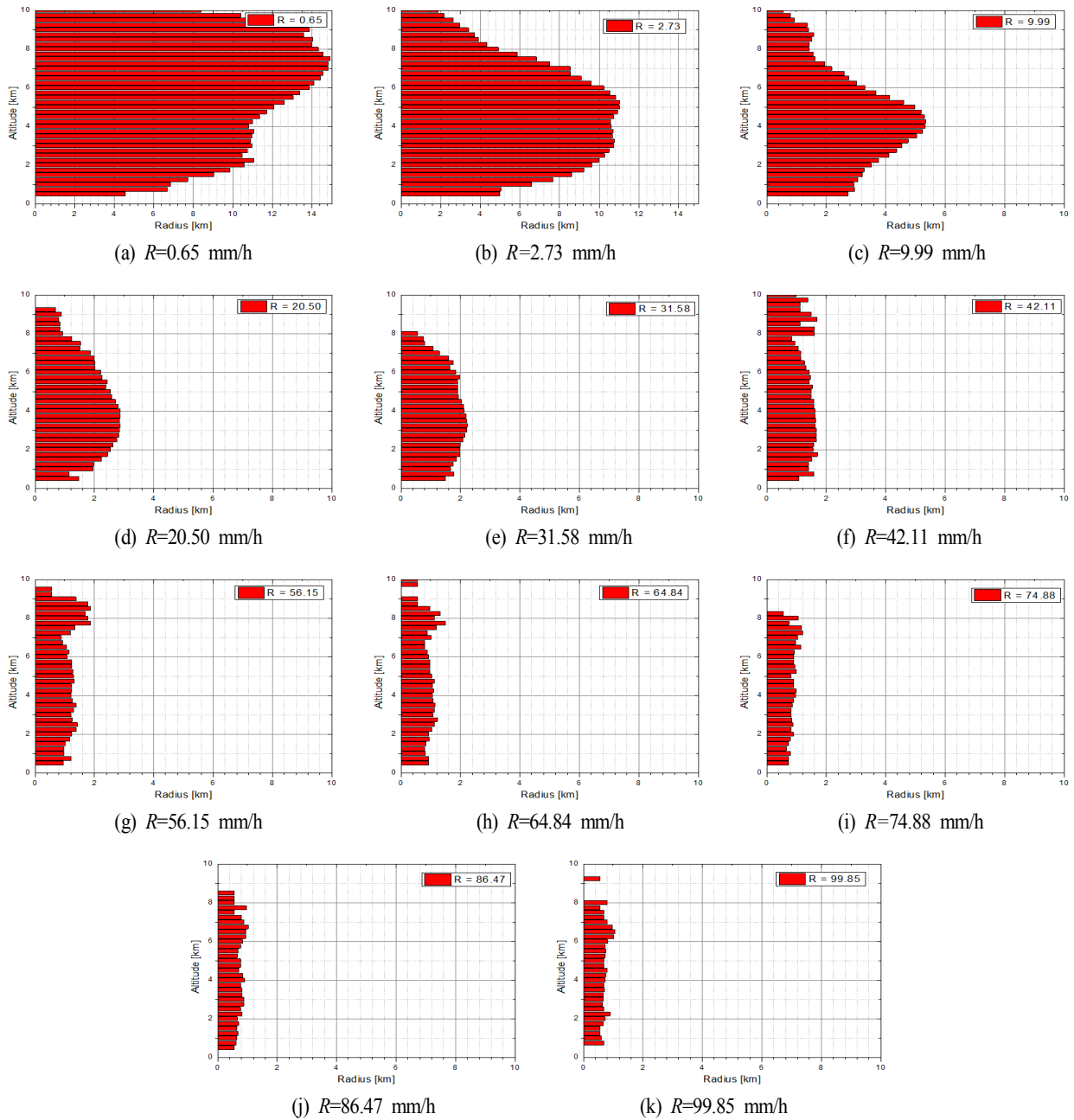


그림 3. 강우율에 따른 고도별 강우셀 반경의 통계적 특성
 Fig. 3. Statistical average distributions of rain-cell radii for given rain rates.

그림 3은 앞에서 기술한 과정에 의해 도출된 고도별 강우셀 반경 데이터를 보인 것이다. 강우셀의 공간적 특성을 살펴보면 강우율이 증가할수록 강우셀 반경이 작아지며, 특정 강우율 이하에서는 고도가 높아질수록 강우셀

반경이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3에서 강우셀 반경이 최대가 되는 고도보다 낮은 고도에서 강우셀 반경이 작아지는 것은 우리나라의 지형적 특성과 지구의 곡률 현상에 기인한 결과이다. 산악지형이 많은 우리나라

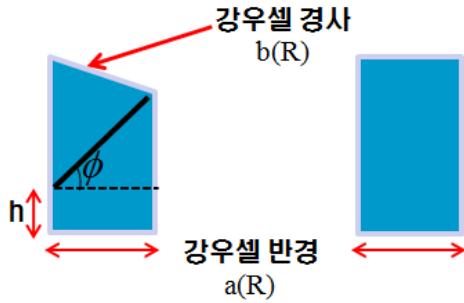


그림 4. 강우셀 모델링
Fig. 4. Rain cell modeling.

의 특성상 지형지물의 영향 및 지구의 곡률 효과로 인해서 관측거리가 멀어질수록 낮은 고도에 대해서는 기상레이더 관측에 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 강우셀 반경이 최대가 되는 고도보다 낮은 고도의 경우, 강우셀 반경이 최대값과 동일한 것으로 가정하고, 강우셀 파라미터를 분석하였다.

그림 3에 보인 고도별 강우셀 단면은 특정 강우율 (31.58 mm/h)을 경계로 하여 그림 4와 같이 단순화시켜 모델링할 수 있다. 그림 4에서 h 는 지구곡의 높이, ϕ 는 경사가 시작되는 부분의 양각, R 은 강우율을 나타내며, $a(R)$ 은 강우율 R 에 대한 강우셀 반경의 통계적 평균, $b(R)$ 은 강우율별 강우셀 경사의 통계적 평균을 나타낸다.

그림 5는 그림 3의 강우셀 반경의 최대값을 기준으로 하여 분석한 강우 이벤트들에 대한 강우율에 따른 평균 반경 $a(R)$ 과 fitting 결과를 보인 것이며, 그림 6은 강우셀 경사가 있는 강우율 값(0.65, 2.73, 9.99, 20.50, 31.58 [mm/h])에 대한 강우셀 경사 $b(R)$ 의 통계적 평균값과 fitting 결과를 보인 것이다. $a(R)$ 과 $b(R)$ 에 대한 모델링 결과는 각각 식 (3), (4)와 같다. 각도 ϕ 는 그림 4에서 강우셀 경사가 시작되는 부분의 양각이므로, 식 (5)와 같이 주어진다.

$$a(R) = 1 / (0.059 + 0.012R) \quad (3)$$

$$b(R) = -0.157 - 0.093R \quad (4)$$

$$\phi(R) = \tan^{-1} \left(\frac{10-h}{a(R)} + b(R) \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (5)$$

그림 4에 보인 단순화된 강우셀 모델로부터 실효 경로 길이를 계산하면 강우셀 개념을 이용한 실효 경로 길이

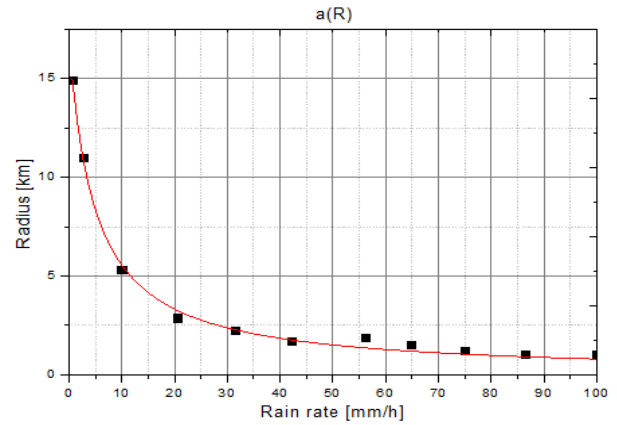


그림 5. 강우셀 반경 모델링
Fig. 5. Rain cell radius modeling.

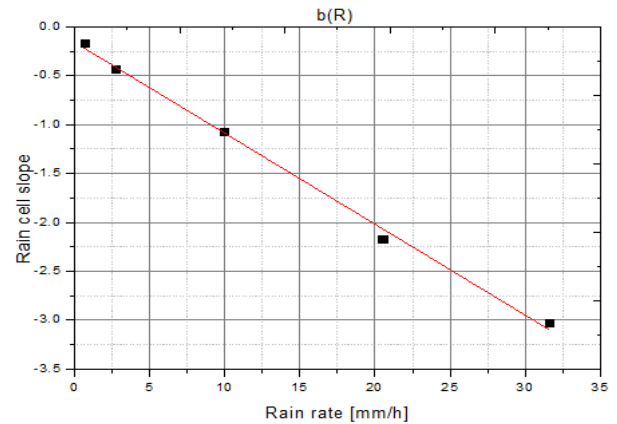


그림 6. 강우셀 경사 모델링
Fig. 6. Rain cell slope modeling.

가 식 (6) 및 (7)과 같이 주어짐을 쉽게 보일 수 있다. 강우율 R_0 는 주어진 위성의 양각에 대해 지상국과 위성을 연결하는 직선경로가 그림 4의 경사 부분과 만나는 지를 판단하는 지표이며, 강우율 31.58 mm/h는 강우셀 경사 부분이 나타나는 경계 강우율 값을 나타낸다. 식 (6)과 (7)에서 강우율에 대한 조건은 이러한 강우셀의 특성을 고려하여 설정된 것이다. 참고로 천리안 위성의 양각 48°에 대해 식 (5)를 사용하여 R_0 값은 25.01mm/h임을 알 수 있다.

$$L_H = a(R) \quad (R \geq \min\{R_0, 31.58\}) \quad (6)$$

$$L_H = \frac{10-h}{\tan\theta - b(R)} \quad (R \geq \min\{R_0, 31.58\}) \quad (7)$$

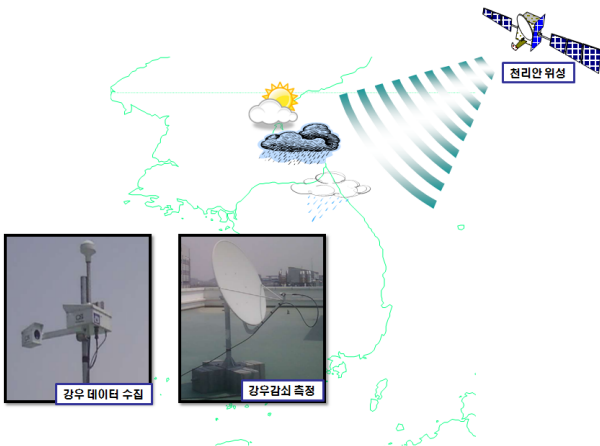


그림 7. 강우 감쇠 및 강우율 측정 시스템
Fig. 7. Rain attenuation and rain rate measurement system.

3.2 측정 데이터를 이용한 보정계수 도입

실패 경로 길이 모델 개발을 위해 ETRI에서 국내 5개 지역(대전, 광주, 서산, 울진, 제주)에 천리안 위성(주파수 20 GHz, 양각 48°, 수직편파)의 비콘신호 수신 시스템을 구축하였다. 지역별 측정 시스템은 그림 7에 보인 것과 같이 강우감쇠 측정부와 강우율 측정부로 구성되며, 강우율 측정에는 ORG-815 강우량계를 사용하였다.

측정데이터로부터 경험적 실패 경로 길이 계산을 위해, 위성 drift에 의한 수신 레벨의 변화를 보정하여 강우감쇠량을 분석하였으며, 실패 경로 길이 계산에는 식 (8)의 강우감쇠량 계산 수식을 사용하였다⁴⁾.

$$A = \gamma \cdot L_{eff} \text{ [dB]} \quad (8)$$

여기서, γ 는 단위 길이당 강우감쇠량, 즉, 강우감쇠계수 [dB/km]로서 측정을 통해서 검증된 충남대 모델⁵⁾을 사용하였으며, L_{eff} 는 경로상의 강우율이 R 로 균일한 것으로 가정할 수 있는 실패 경로 길이[km]를 나타낸다.

그림 8은 ETRI의 5개 지역의 강우율에 따른 강우감쇠량을 평균한 값으로부터 도출된 경험적 실패 경로 길이와 식 (1) 및 (6)~(7)을 사용하여 계산한 보정계수를 도입하지 않은 단순한 실패 경로 길이 모델을 비교한 것으로 측정치와 다소 차이가 있지만, 강우셀에 기반한 접근 방법이 경향성 측면에서 타당한 것으로 판단된다. 본 논문에서는 실패 경로 길이 모델의 정확도를 개선하기 위해

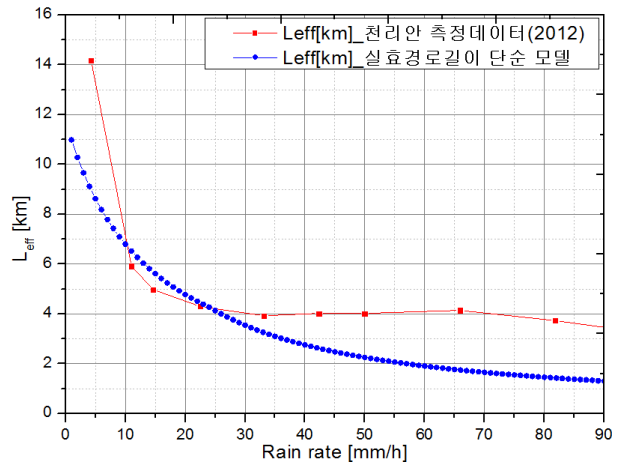


그림 8. 실패 경로 길이 측정치와 강우셀 기반 단순 모델 비교
Fig. 8. Comparison of the measurement data with the effective path-length simply derived from the rain cell characteristics.

서 측정치에 기반한 보정계수를 도입하였다.

2012년 천리안 위성 링크 측정데이터를 분석하여 도출한 실패 경로 길이를 사용하여 보정계수를 도입한 실패 경로 길이에 대한 물리적 이론 모델의 최종 표현식은 다음과 같다.

$$1) R \geq \min\{R_0, 31.58\} \quad (9)$$

$$L_H = a(R) \cdot \gamma_a(R) \quad (9a)$$

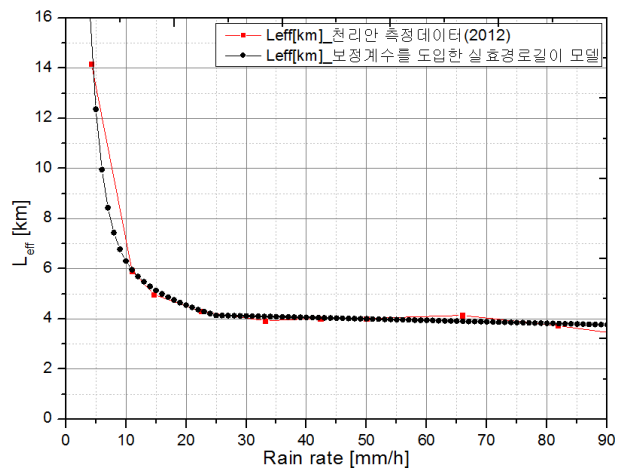


그림 9. 보정계수를 도입한 실패 경로 길이 모델
Fig. 9. Effective path-length model with correction factor.

$$\gamma_a(R) = -10.60e^{(-R/304.86)} + 10.76 \quad (9b)$$

$$2) R < \min\{R_0, 31.58\} \quad (10)$$

$$L_H = \frac{10-h}{\tan\theta - b(R)} \cdot \gamma_b(R) \quad (10a)$$

$$\gamma(R) = 6.11e^{-0.467R} + 0.78e^{0.009R} \quad (10b)$$

$$\gamma_b(R) = \gamma(R) \cdot \frac{\gamma_a(R_0)}{\gamma(R_0)} \quad (10c)$$

위 식에서 $\gamma_a(R)$ 과 $\gamma_b(R)$ 은 보정계수를 나타낸다.

그림 9는 보정계수를 도입한 실효 경로 길이 모델과 천리안 위성 링크 측정데이터를 분석하여 도출한 경험적 실효 경로 길이 값을 비교한 것으로, 제안 모델과 측정데이터가 잘 일치함을 확인할 수 있다.

IV. 실효 경로 길이 모델 검증

제안된 실효 경로 길이 모델 검증을 위해 국방과학연구소의 지원을 받아 2011~2012년 충남대학교에서 측정된 무궁화 5호 위성(약 20 GHz, 양각 45°, 원편파) 비콘 신호 수신 데이터로부터 도출한 경험적 실효 경로 길이 및 ITU-R 모델의 실효 경로 길이를 비교하고, 강우감쇠량도 비교하였다. 강우감쇠량은 식 (8)에 주어진 것과 같이 실효 경로 길이와 강우 감쇠 계수의 곱으로 주어진다. 그림 10과 11은 각각 실효 경로 길이와 강우감쇠량을 비교

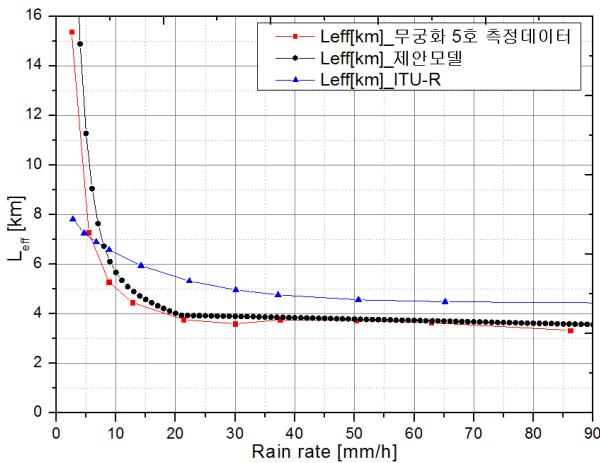


그림 10. 측정치와 실효 경로 길이 모델 및 ITU-R 모델 비교

Fig. 10. Comparison of the measurement data with the effective path-length model and ITU-R model.

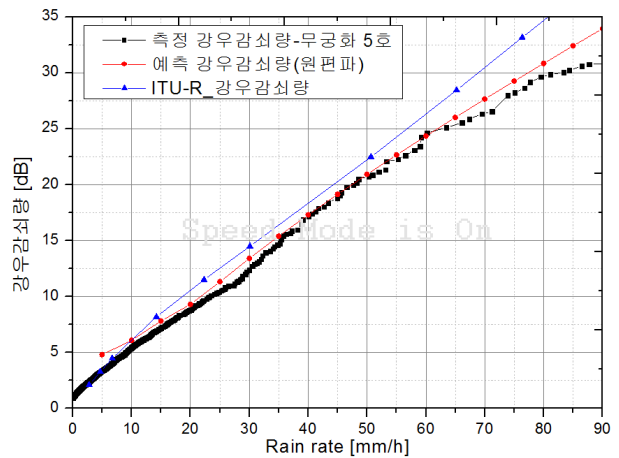


그림 11. 강우감쇠량 측정치와 제안 모델 및 ITU-R 모델 예측치 비교

Fig. 11. Comparison of the measured rain attenuation with the predicted attenuation of the proposed model and ITU-R model.

한 것으로, 제안 모델과 주파수, 양각 및 편파가 다른 무궁화 5호 위성에 대한 측정치가 잘 일치함을 알 수 있다. 그러나 ITU-R 모델의 예측치의 경우, 실효 경로 길이는 약 2~3 km, 강우감쇠량은 약 1~5 dB 정도의 차이를 보인다. ITU-R 모델 계산을 위하여 위도는 36.38°, 경도는 127.37°로 두었으며, 강우감쇠계수는 ITU-R P.838-3^[6]을 사용하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 ITU-R 강우 감쇠 모델의 단점을 보완하고, 물리적으로 타당한 실효 경로 길이 모델 개발을 위해 2010~2011년 국내 기상레이더 측정 데이터인 CAPPI 자료를 활용하여 강우셀 특성을 분석하여 강우셀 개념에 기반한 실효 경로 길이 이론 모델을 제안하였다. 2012년 천리안 위성 비콘 측정데이터를 분석하여 강우율에 따른 강우감쇠량을 측정하고, 이를 기반으로 전술한 이론모델에 적절한 보정계수를 도입함으로써 국내 환경에 적합한 실효 경로 길이에 대한 물리적 모델을 제시하고, 주파수, 양각, 편파가 다른 무궁화 5호 측정데이터와 비교함으로써 타당성을 검증하였다.

본 논문에서 제안한 모델과 ITU-R 모델의 예측치를 비

교했을 때 실효 경로 길이의 경우, 약 2~3 km 정도, 강우 감쇠량의 경우 약 1~5 dB 정도의 차이를 보였다. 이러한 차이는 밀리미터파 대역의 경우, 매우 큰 오차를 유발할 수 있기 때문에, ITU-R 권고 값으로 위성 링크 시스템을 설계하게 된다면 시스템의 안정적인 운용을 보장하지 못할 수도 있다.

앞으로 측정 데이터가 더 많이 확보되면 국내 환경에 대한 실효 경로 길이 및 강우감쇠 예측 모델의 정확도를 보다 더 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 또한, ITU-R 데이터 뱅크의 전체 데이터와 잘 일치할 수 있도록 강우 지역 및 위도 등을 고려한 추가의 보정계수를 도입하면 강우셀 특성에 기반한 global 모델 개발도 가능할 것으로 판단된다.

References

[1] ITU-R, "Propagation data and prediction methods required for design of earth-space telecommunication systems", *Rec. P.618-10*, 2009.

[2] 이경현 외, "기상레이더 발전 방안", 제11회 기상레이더 워크숍, 2010년.

[3] 기상레이더센터, "레이더자료 처리 실무", 레이더자료 활용 사용자 교육, 2012년.

[4] R. L. Olsen, D. V. Rogers, and D. B. Hodge, "The aRb relation in the calculation of rain attenuation", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 26(2), pp. 318-329, 1978.

[5] 박용호 외, "EHF(44 GHz) 대역 강우 감쇠 특성 예측 연구", 한국전자과학회 논문지, 16(8), pp. 848-854, 2005년 8월.

[6] ITU-R, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", *Rec. P.838-3*, 2005.

강 우 근



2009년 2월: 충남대학교 전자전과정보통신공학 (공학사)
 2011년 2월~현재: 충남대학교 전자파환경기술연구(EMERC) 센터 연구원
 2013년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 전자파 전파

김 인 겸



1988년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1990년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 1990년 3월~현재: 국방과학연구소 책임연구원
 [주 관심분야] 광대역 무선전송 및 군 위성통신 시스템 기술, 전자파 전파

김 명 회



2003년 2월: 한국과학기술원 전자전산학과 (공학사)
 2005년 2월: 한국과학기술원 전자전산학과 (공학석사)
 2012년 9월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (공학박사)
 2005년 2월~2008년 7월: 국방과학연구소
 2011년 7월~2011년 10월: Silicon Image(CA) 방문연구원
 2012년 9월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 전자파 장애, 고속 패키지/인터커넥트 설계, Signal/Power Integrity

최 경 수



1980년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1984년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 1980년 8월~2013년 9월: 한국전자통신연구원 위성시스템연구실 책임연구원
 [주 관심분야] 위성시스템, 강우감쇠모델, 레이더시스템

이 병 선



1986년 2월: 연세대학교 천문기상학과 (이
학사)

1988년 2월: 연세대학교 천문기상학과 (이
학석사)

2001년 2월: 연세대학교 천문우주학과 (이
학박사)

1989년 10월 ~ 현재: 한국전자통신연구원

위성시스템 연구실장

[주 관심분야] 위성시스템, 위성관제시스템, 우주비행역학

백 정 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학
사)

1985년 9월: Virginia Tech. 전자파전파 (공
학석사)

1988년 9월: Virginia Tech. 전자파전파 (공
학박사)

1978년 3월 ~ 1983년 2월: 국방과학연구소

1988년 10월 ~ 1989년 2월: 한국전자통신연구원

1989년 3월 ~ 1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수

1995년 2월 ~ 현재: 충남대학교 전자공학과 교수

2002년 3월 ~ 현재: 충남대학교 전자파환경기술연구(EM- ERC)
센터장

2009년 1월 ~ 12월: 한국전자파학회 학회장

[주 관심분야] 전자파 전파, 전자파 산란, 전자파 인체 영향