

# 국내 강우환경에서 Ku대역 강우감쇠 예측에 관한 연구

종신회원 최 동 유\*, 정회원 김 재 섭\*\*, 종신회원 노 순 국\*\*\*\*

## A Study on the Prediction of Rain Attenuation for Ku-band in Korean Rain Environment

Dong You Choi\* *Lifelong Member*, Jae Sub Kim\*\* *Regular Member*,  
Sun Kuk Noh\*\*\*\*° *Lifelong Member*

### 요 약

일반적으로 10GHz 이상에서 운영되는 위성통신을 비롯한 무선통신 시스템은 강우에 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있으며, 국제적으로 강우감쇠를 정확히 예측하기 위한 많은 예측 모델이 제안되었다.

따라서 본 논문에서는 2001년과 2007년에 각각 측정된 강우감쇠 실측값을 바탕으로 현재 국제적으로 가장 널리 사용되고 있는 기존의 강우감쇠 예측모델인 ITU-R Rec.P.618-5와 최근 이를 개선한 ITU-R Rec.P.618-8의 예측값을 비교·분석하였다. 또한 오차 실효치와 경사경로길이 조정인자를 분석함으로써 국내 강우환경과 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

**Key Words** : rain attenuation, satellite communication, slant path length adjustment factor

### ABSTRACT

Since it is widely accepted that the wireless communication system including satellite operated in 10GHz or over is influenced by rain, many prediction models have been proposed in the international field in order to accurately predict rain attenuation.

Accordingly, this study compared actual measured data of rain attenuation and prediction values of ITU-R model (Rec.P.618-5, Rec.P.618-8), which is most widely used in the world, and conducted their analysis. By analysing root mean square (rms) error and the slant path length adjustment factor, this study identified the big difference from rain environment of Korea.

### I. 서 론

일반적으로 마이크로파 이상의 대역에서 전파감쇠의 요인은 대기 중의 산소와 수증기에 의한 흡수, 그리고 강우, 눈, 우박, 안개, 구름 등의 자연적인 현상이 지배적이다. 특히, 수증기와 산소에 의한 22GHz나 60GHz 근처에서의 열화를 제외하고는 강우로 인하여 발생하는 감쇠가 가장 크다.<sup>[1-3]</sup>

강우가 전파감쇠에 미치는 영향을 정량적으로 예측하기 위해 미국, 유럽, 일본 등의 위성 선진국들은 1960년대 초반부터 위성통신 시스템 및 지상 마이크로파 시스템을 대상으로 강우환경 관련 전파특성을 연구해 왔다.

지금까지 제안된 ITU-R 모델, SAM 모델, Global 모델, Morita-Higuchi 모델, Misme-Waldteufel 모델, Rice-Holmberg 모델, Dutton-Dougherty 모델, DAH

※ 이 논문은 2008년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D00675)

\* 조선대학교 전자정보공과대학 정보통신공학과, \*\* 동강대학 정보통신과

\*\*\* 호남대학교 정보통신대학 이동통신공학과 (nsk7078@honam.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : 10048-1129, 접수일자 : 2010년 11월 29일

모델, 森田 모델 등으로 일컬어지는 강우감쇠 예측 모델들이 강우환경 연구의 대표적인 결과로서, 현재까지 위성통신 시스템을 비롯한 마이크로파 무선통신 설계에 이용되어 왔다. 그러나, 이들 모델은 지역적 특수성을 가지는 각국의 고유한 강우환경 하에서 강우감쇠 통계치를 근간으로 만들어졌기 때문에 우리나라 강우환경 하에서의 강우감쇠와 일치한다고 보기 어렵다.

따라서, 본 논문에서는 현재 국제적으로 가장 널리 활용되고 있는 기존의 강우감쇠 예측 모델인 ITU-R Rec.P.618-5과 이를 개선해 최근 2003년에 제안된 ITU-R Rec.P.618-8에 의한 예측 방법을 소개하고, 각각 2001년<sup>[4,5]</sup>과 2007년에 측정된 실측값과 비교·분석하고자 한다. 또한, 오차 실효치(root-mean square error)와 경사경로길이 조정인자(slant path length adjustment factor)를 평가함으로써 ITU-R 모델의 국내 적용의 적정성을 확인하고자 한다.

## II. 강우강도 분포 및 강우감쇠 측정

### 2.1 강우강도 분포

10GHz 이상의 짧은 파장을 가진 전파가 대기 중을 통과할 때에는 대기를 형성하고 있는 산소와 수증기에 의한 흡수, 그리고 강우, 눈, 우박, 안개, 구름 등의 자연적인 현상이 지배적이다. 대기중의 산소와 수증기에 의한 감쇠는 일어나는 지점의 고도, 기압, 온도 등에 의하여 영향을 받으며 지역적으로 큰 차이가 없다. 반면에 강우로 인한 전파감쇠는 강우강도에 따라서 감쇠정도가 다양하고, 강우강도는 공간적·시간적으로 그의 변동이 매우 다양하므로 강우강도의 공간적·시간적 데이터 확보는 강우감쇠의 정확한 예측을 위해 필수적이다. ITU-R에서 정의한 강우강도(mm/h)란 강우 적분시간이 1분인 강우량을 60배한 것이다.<sup>[6]</sup> 강우량의 측정시간 간격이 좁을수록 보다 정확한 강우강도를 추정할 수 있고 강우량의 측정시간 간격이 넓을수록 강우강도를 과소 추정하는 경향이 있는 것을 감안할 때 강우량 측정시간의 간격을 좁게하는 것이 바람직하다.<sup>[7]</sup>

표 1의 경험적 누적분포는 서울을 포함한 9개 지역(서울, 인천, 춘천, 대전, 대구, 부산, 울산, 광주, 서귀포)을 강우강도 조사 대상 지역으로 선정하고, 5년간(2004년 ~ 2008년) 5월부터 9월까지의 1분 간격으로 측정된 약 9,720,000 여개의 디지털 강우강도 데이터를 기상청으로부터 수집하여 지역별 강우강도와 시간율의 관계를 평균하였다. 수집된 자료는 강우 적분시간이 1분인 강우량을 0.1mm 단위로 측정된 강우강도

표 1. 시간율에 따른 국내 강우강도 [mm/h]

| 지역 \ 시간율[%] | 0.01         | 0.005        | 0.001         |
|-------------|--------------|--------------|---------------|
| 서울          | 90           | 90           | 150           |
| 인천          | 60           | 90           | 120           |
| 춘천          | 60           | 90           | 120           |
| 대전          | 90           | 90           | 120           |
| 대구          | 60           | 60           | 120           |
| 부산          | 60           | 90           | 150           |
| 울산          | 60           | 90           | 120           |
| 광주          | 60           | 90           | 150           |
| 서귀포         | 90           | 90           | 120           |
| 평균          | <b>70.00</b> | <b>86.67</b> | <b>130.00</b> |

로서 매우 적은 단위로 측정되었다. 그럼에도 불구하고 강우강도 정의에 의하여 60배 함으로써 일부 지역은 같은 결과가 나타났다. 주요결과는 다음과 같다.<sup>[8]</sup>

표 2는 경험적 누적분포<sup>[8]</sup>, ETRI 모델<sup>[9]</sup>, Rice-Holmberg 모델<sup>[10]</sup>, ITU-R 모델의 강우강도 국내 권고값을 비교한 것이다.

특히, Rice-Holmberg 모델은 강우강도가 40mm/h 이상일 때  $\pm 26$ mm/h의 오차를 갖으며, 다른 모델들의 권고값에 비하여 매우 큰 값을 고려하여 음영 처리된 부분은 -26 mm/h의 오차를 적용한 값이다.<sup>[10]</sup>

ITU-R P.837에서는 1994년 우리나라 전지역을 K 지역으로 분류하여 강우강도를 42 mm/h로 권고하였고, 2007년에 50 mm/h<sup>[11]</sup>로 상향 조정하였으나 우리나라의 강우특성 상 지역적, 시간적인 편차가 매우 높기 때문에 이를 제대로 반영하지 못한다는 단점이 있다.<sup>[12]</sup>

표 2. 시간율에 따른 국내·외 강우강도 권고값 비교 [mm/h]

| 모델명 \ 시간율[%] | 경험적 분포 | ETRI   | Rice-Holmberg | ITU-R (K지역) |
|--------------|--------|--------|---------------|-------------|
| 2.0          | -      | -      | 1.60          | -           |
| 1.0          | -      | -      | 3.80          | 2.5         |
| 0.5          | -      | 13.271 | 6.96          | -           |
| 0.3          | -      | -      | 9.66          | 4.2         |
| 0.2          | -      | 22.663 | 12.26         | -           |
| 0.1          | -      | 31.358 | 19.32         | 12.0        |
| 0.05         | -      | 40.892 | -             | -           |
| 0.03         | -      | -      | 26.93         | 23.0        |
| 0.02         | -      | 52.417 | 40.45         | -           |
| 0.01         | 70.00  | 58.665 | 63.54         | 42.0        |
| 0.005        | 86.67  | 67.191 | 86.65         | -           |
| 0.003        | -      | -      | 103.68        | 70.0        |
| 0.002        | -      | -      | 117.28        | -           |
| 0.001        | 130.00 | 84.950 | 140.24        | 100.0       |

또한, Rice-Holmberg 모델은 시간율(time percentage) 0.1% 이하에서는 -26 mm/h의 오차를 적용하지 않을 경우 매우 큰 권고값을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 시간율 0.01% 이하에서는 최근 수집된 경험적 분포값을 활용하며, 시간율 0.01% 이상에서는 ETRI 모델의 강우강도 권고값을 활용하였다.

### 2.2 강우감쇠 측정

강우강도에 따른 강우감쇠 통계 데이터는 용인 우주관제소에 설치된 강우량 측정 시스템을 활용하였으며, 우리나라에서 강우량이 집중되는 장마철에 무궁화 위성 3호의 강우강도에 따른 Ku 대역 비컨신호 (beacon signal) 레벨을 측정 및 분석하였다.

표 3. 실측 및 시뮬레이션 제원

|        |                    |                   |
|--------|--------------------|-------------------|
| 위치     | 위도                 | 37.43°N           |
|        | 경도                 | 116°E             |
|        | 양각                 | 45.20°            |
|        | 방위각                | 198.1°            |
|        | 해발고                | 0.142km           |
| 기후대    | ITU-R 모델           | K-zone            |
|        | 편파                 | Dual linear       |
| 하향링크   | EIRP               | 34 dBW            |
|        | 주파수                | 12.25GHz          |
|        | 형태                 | Cassegrain        |
| 안테나    | 직경                 | 7.2m(1차), 11m(2차) |
|        | 형태                 | Tipping bucket    |
| 강우 계이지 | 직경                 | 200mm             |
|        | 분해능                | 0.5mm             |
|        | 정확도                | 5% 이내(10mm/h)     |
|        | 측정온도 범위            | -40°C ~ +50°C     |
| 측정 시기  | 2001년 6월 ~ 8월 (1차) |                   |
|        | 2007년 7월 ~ 8월 (2차) |                   |

### III. ITU-R 강우감쇠 예측 방법

ITU-R Rec.P.618의 2.2.1.1항(section)에는 지구-우주간 통신 시스템을 위한 강우감쇠 예측 모델을 제안하고 있다. 이 예측 모델은 시간율 0.01%의 1분 강우강도를 이용하여 특정 시간율  $p$  %의 강우감쇠를 구하는 것으로써, 최근 2003년에는 P.618-5<sup>[13]</sup>를 개선한 P.618-8<sup>[14]</sup>이 제안되었다. P.618-5은 수평적 특성만을 고려한 하나의 조정 인자(adjustment factor)를 갖는

반면, P.618-8은 두개의 수평(horizontal) 조정인자와 수직(vertical) 조정인자를 추정하고 있다.

#### 3.1 강우감쇠 실측값과 예측값의 비교

시간율  $i$  %의 강우감쇠 값  $A_p(i)$ 를 예측하기 위해 ITU-R에서 제안한 기본적인 예측 방법은 식 (1)과 같다.

$$A_p(i) = \kappa \times R(i)^\alpha \times L_s \times \eta(i) \text{ [dB]} \quad (1)$$

여기서,

$\kappa, \alpha$  : 주파수와 편파에 의존하는 특정 감쇠 계수<sup>[15]</sup>

$R(i)$  : 시간율  $i$  %의 1분 강우강도 [mm/h]

$L_s$  : 경사경로길이 [km]

$\eta(i)$  : 시간율  $i$  %의 경사경로길이 조정인자

식 (1)에서  $L_s$ 는 양각(elevation angle)  $\theta$ 와 강우고도 또는 결빙고도(freezing height)  $h_r$  그리고 지구곡해발고  $h_s$ 에 의해 결정되며 식 (2)와 같다.

$$L_s = \frac{(h_r - h_s)}{\sin\theta} \text{ [km]} \quad (\text{단, } \theta \geq 5^\circ) \quad (2-1)$$

$$L_s = \frac{2(h_r - h_s)}{\sqrt{\sin^2\theta + \frac{2(h_r - h_s)}{r_e}} + \sin\theta} \text{ [km]} \quad (2-2)$$

(단,  $\theta < 5^\circ$ )

여기서,

$r_e$  : 등가 지구 반지름(8,500 km)이다.

식 (2)에서  $h_r$ 은 P.618-5을 활용할 때에는 P.618-5에 있는 식 (3)<sup>[13]</sup>을 이용하고, P.618-8을 활용할 때에는 P.839-3<sup>[16]</sup>에 있는 식 (4)를 이용한다.<sup>[17]</sup>

$$h_r = 5 \text{ [km]} \quad (\text{단, } 0^\circ \leq \phi < 23^\circ) \quad (3-1)$$

$$h_r = 5 - 0.075(\phi - 23) \text{ [km]} \quad (\text{단, } \phi \geq 23^\circ) \quad (3-2)$$

여기서,

$\phi$  : 위도(latitude)

$$h_r = h_o + 0.36 \text{ [km]} \quad (4)$$

여기서,

$h_o$  : 0°C 등온선 고도(isotherm height)

또한,  $\eta(i)$ 는 시간율  $i$  %의 경사경로길이 조정인자로서 P.618-5과 P.618-8을 활용할 때에 각각 식 (5), 식 (6)을 이용한다.

$$\eta(i)_{P.618-5} = \left(\frac{R_{0.01}}{R(i)}\right)^\alpha \times \eta_{0.01} \times 0.12 \times i^{-(0.546 + 0.043 \times \log(i))}$$

여기서,  
 $\eta_{0.01} (= \gamma_{0.01})$  : 감쇠계수<sup>[13]</sup>

$$\eta(i)_{P.618-8} = \left(\frac{R_{0.01}}{R(i)}\right)^\alpha \times \eta_{0.01} \times \left(\frac{i}{0.01}\right)^{-\lambda}$$

$\lambda = 0.655 + 0.033 \times \ln(i) - 0.045$   
 $\times \ln(A_{0.01})$   
 $-\beta(1-i) \times \sin\theta$   
 $\beta = -0.005(|\varphi| - 36)$

여기서,  
 $\varphi$  : 위도(latitude)  
 $\eta_{0.01} (= \gamma_{0.01} \times \nu_{0.01})$  : 감쇠계수<sup>[14][18]</sup>

앞서 언급하였듯이, P.618-5는 식 (5)에서와 같이 수평적 특성만을 고려한 하나의 조정인자  $\eta_{0.01} (= \gamma_{0.01})$ 를 갖는 반면, P.618-8은 식 (6)에서와 같이 두 개의 수평 조정인자  $\gamma_{0.01}$ 와 수직 조정인자  $\nu_{0.01}$ 의 두 요소의 파라미터를 갖는다.

그림 1은 P.618-5, P.618.8에 의한 강우감쇠 예측값과 실측값을 비교한 것이다.

그림 1의 결과, 대부분의 시간율에서 강우감쇠 예측값들은 실측값들이 비해 작게 나타났으며, 시간율이 작아질수록 예측값들과 실측값들의 오차가 점점 커짐을 알 수 있다.

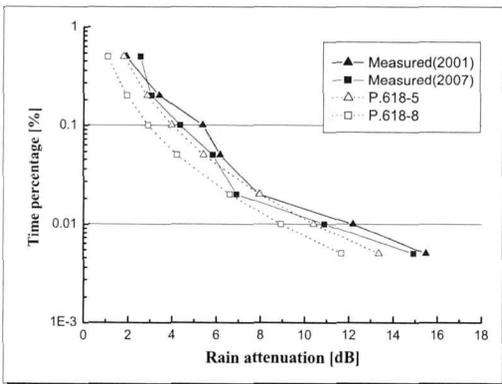


그림 1. 강우감쇠 예측값과 실측값 비교

P.618-5의 경우 실측값들에 대한 상대오차는 최소 0.02dB에서 최대 2.1dB, P.618-8의 경우 최소 0.3dB에서 최대 3.8dB로써 P.618-5가 P.618-8에 비해 실측값과 비교적 일치하였다.

예측 모델에 대한 평가는 ITU-R P.311-11<sup>[19]</sup>에서 제안한 방법을 이용하였고, 오차 실효치  $e_{rms}$ 은 실측값에 대한 예측값의 정확성을 판단하는 기준이 된다.<sup>[18]</sup>

$$e_i = \frac{A_{pi} - A_{mi}}{A_{mi}} \times 100$$

여기서,

$e_i$  : 실측값에 대한 예측값의 오차 [%]

$A_{pi}$  : 시간율  $i$  %에 대한 강우감쇠 예측값 [dB]

$A_{mi}$  : 시간율  $i$  %에 대한 강우감쇠 실측값 [dB]

$$e_{rms} = \sqrt{\{e_i^2\}}$$

여기서,

{ } : 평균값

그림 2는 식 (7), 식 (8)을 이용하여 실측값에 대한 예측값의 오차 실효치를 나타낸 것이다.

그림 2의 결과, 오차 실효치는 P.618-5의 경우 각각 14.7%와 14.1%, P.618-8의 경우 각각 34.8%와 32.4%로써, P.618-5가 P.618-8에 비하여 실측값에 비교적 일치함을 알 수 있다.

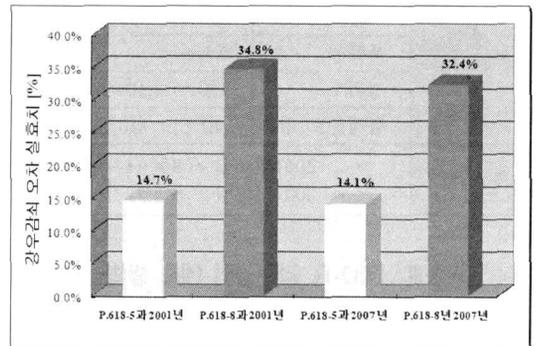


그림 2. 실측값에 대한 예측값의 오차 실효치

### 3.2 경사경로길이 조정인자 비교

ITU-R 모델의 경사경로길이 조정인자 식 (5), 식 (6)과 비교하기 위하여 강우감쇠 실측값으로부터 도출한 경사경로길이 조정인자  $\eta_{mi}$ 은 식 (9)와 같다.

$$\eta_{mi} = \frac{A_m(i)}{\kappa R_m(i)^\alpha \times L_s} \quad (9)$$

여기서,

$A_m(i)$  : 시간을  $i$ 에 대한 강우감쇠 실측값

$R_m(i)$  : 시간을  $i$ 에 대한 1분 강우강도 실측값

이 때, 경사경로길이  $L_s$ 는 P.839-8<sup>[17]</sup>에 의하여 구한다.

그림 3의 결과, 실측값과 예측값 모두 경사경로길이 조정인자는 대부분의 구간에서 1이하의 값을 가지며, 시간율이 감소할수록 작아지다가 시간율 약 0.02% 이하부터는 다소 커지는 경향을 보였다.

또한, 시간율 0.05% 이상에서는 P.618-5가 실측값과 비슷한 경향을 보였으며, 0.05% 이하에서는 P.618-8이 실측값과 비슷한 경향을 보였다.

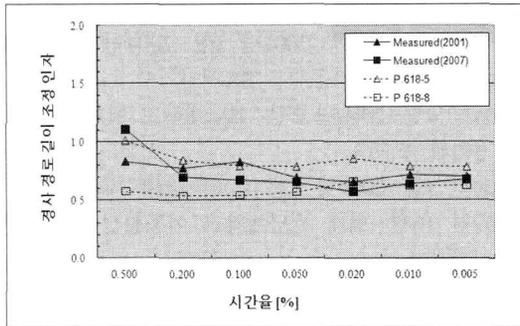


그림 3. 경사경로길이 조정인자 비교

#### IV. 결 론

본 논문에서는 현재 국제적으로 가장 널리 사용되어지고 있는 강우감쇠 예측 모델인 기존의 P.615-5과 최근 이를 개선한 P.615-8에 의한 예측 방법을 소개하였고, 국내 강우환경에 적용하여 각각 2001년과 2007년에 측정된 실측값과 비교·분석하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

- 대부분의 시간율에서 강우감쇠 예측값들은 실측값들이 비해 작게 나타났다. 또한, 시간율이 작아질수록 실측값들에 대한 예측값들의 오차가 점점 커짐을 알 수 있었다.
- 오차 실효치를 분석한 결과 P.618-5가 P.618-8보다 강우감쇠 실측값에 비교적 일치함을 알 수 있었다.
- 앞선 연구<sup>[5]</sup>와 본 연구에서 활용한 시간율에 따른 강우강도 값은 조금 상이하지만, 전반적으로 두 모

델 모두 강우감쇠 예측값과 실측값이 상당히 큰 오차가 있었으며, 기존의 P.618-5가 최근에 개선되어 발표된 P.618-8보다는 국내 강우환경에 적합한 것으로 판단된다.

본 논문이 비교적 짧은 기간의 강우감쇠 실측값을 바탕으로 예측 모델과 비교·분석하였다는 점을 고려할 때에 보다 장기간의 많은 데이터의 추가 분석 및 검증이 필요하다. 또한 국내 강우환경에 적합한 강우감쇠 예측 모델의 개발을 위하여 강우고도 등을 비롯한 많은 강우감쇠 계수들에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Ashok Kumar, I. S. Hudiara, "Measurement of Rain-Induced Attenuation of Microwaves at 19.4 GHz," *IEEE Transactions on Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 1, pp. 84-86, 2002.
- [2] T. C. Ramadorai, "Rain Attenuation and Prediction in the Satellite-Earth Path," in *Proc. Workshop HF VHF and Microwave Communications*, New Delhi India, Feb. 1987.
- [3] R. K. Crane, *Electromagnetic wave propagation through rain*, John Wiley & Sons, Inc., pp.1-4, 1996.
- [4] Dong You Choi, "Measurement of Rain Attenuation of Microwaves at 12.25GHz in Korea," *Lecture Notes in Computer Science* 3462, May 2005.
- [5] 최동유, "Ku 대역 강우감쇠 실측값과 ITU-R 모델에 의한 예측값 비교" *한국통신학회논문지*, Vol. 31, No. 4T, pp. 113-118, 2006년.
- [6] CCIR, "Radiometeorological data," CCIR, Vol. V, Report 563-4, pp.103-146, 1990.
- [7] 이형수, 신철호, "강우감쇠의 영향 분석을 위한 국내 각 지역의 강우강도 분포," *한국통신학회논문지*, Vol. 23, No. 4, pp. 1006-1015, 1998년.
- [8] 최동유, 성종엽, 윤중현, 노순국 "국내 각 지역의 시간율별 강우강도 분포" *한국정보기술학회 하계종합학술대회논문집*, pp. 111-114, 2010년.
- [9] 한국전자통신연구소, "국내지역별 강우강도 데이터 구축에 관한 연구," *한국전자통신연구소*, 1996년 12월 31일.
- [10] P. L. Rice, N. R. Holmberg, "Cumulative Time

Statistics of Surface-point Rainfall Rate,” *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 21, No. 10, pp. 1131-1136, 1973.

- [11] ITU-R PN.837-5, “Characteristics of precipitation for propagation modeling,” 2007.
- [12] 윤기창, 김승철, 손원, “서울 지역의 강우로 인한 Ka대역 위성신호의 감쇠량 추정,” 한국방송공학회 학술대회, 2008년 11월.
- [13] Recommendation ITU-R P.618-5, 2001.
- [14] Recommendation ITU-R P.618-8, 2003.
- [15] Recommendation ITU-R P.838-2, 2003.
- [16] Recommendation ITU-R P.839-3, 2001.
- [17] K. Morita and I. Higuchi, “Statistical studies on electro magnetic wave attenuation due to rain,” *NTT Communication Laboratory Technical Journal*, Vol. 19, No. 1. pp. 97-150, 1970.
- [18] Asoka Dissanayake, Jeremy Allnutt, and Fatim Haidara, “A Prediction Model that Combines Rain Attenuation and Other Propagation Impairments Along Earth-Satellite Paths,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 45, No. 10, pp. 1546-1558, October 1997.
- [19] Recommendation ITU-R P.311-11, 2003.

**최 동 유 (Dong You Choi)**  
한국통신학회 논문지 32권 10호 참조

중신회원

**김 재 섭 (Jae Sub Kim)**  
한국통신학회 논문지 31권 8T호 참조

정회원

**노 순 국 (Sun Kuk Noh)**

중신회원



1995년 2월 조선대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
1997년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)  
2000년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)  
2002년 3월~2004년 8월 전북

대학교 전자정보공학부 BK계약교수  
2004년 9월~2009년 2월 : 호남대학교 전파이동통신공학과 조교수  
2009년 3월~2009년 9월 (주)알에프유 기술이사  
2009년 10월~현재 호남대학교 이동통신공학과 전임강사