
창원-마산지역에서 위성신호에 대한 강우의 영향 분석('88~'97)

하 연 철*, 고 봉 진**

Analysis of Rain Effect on the Satellite Signal in Changwon-Masan('88~'97)

Yeon-Chul Ha*, Bong-Jin Ko**

요 약

위성전송신호는 위성 전송로 상에 강우가 있을 경우 신호감쇠를 겪게된다. 강우에 의한 신호 열화량은 10 GHz 이상의 주파수를 사용한 경우 강수에 의한 감쇠 영향을 받게 되며, 높은 주파수 신호일수록 감쇠 정도가 심각하다. 강우에 의한 신호 열화량은 강우의 세기인 강우강도에 좌우되며, 강우 강도 분포 특성을 추정하기 위해서는 적어도 10년 이상의 장기간 데이터로부터 유도된 분포에 의해 가능하다.

본 논문에서는 창원-마산지역의 강우데이터(88년 - 97년)로부터, Moupfouma New Model을 이용하여 강우 강도의 년 시간율 특성을 도출한 후, ITU-R모델, Global모델, SAM모델을 이용하여 강우감쇠를 예측하고, 강우의 영향을 분석하였다.

Abstract

The satellite signals have attenuation when Satellite path have rain. The signal attenuation by rain is effected over 10GHz and higher frequency signal have very serious attenuation. The rain attenuation is due mostly to rain rate and rain rate data over 10 years need to estimate characteristics of distribution of rain rate.

In this paper, We have obtained the rain characteristics from on the recent data(1988-1997) for Changwon-Masan approximated with Moupfouma New Model, and then estimated the rain attenuation using ITU-R, Global and SAM methods, and finally, Effect of rain was analyzed.

* 창원대학교 전자공학과

** 창원대학교 전자공학과 조교수

접수일자 : 1999년 7월 31일

I. 서 론

우리나라의 경우, 1995년과 1996년에 각각 무궁화 1, 2호를 궤도에 올려 위성통신 서비스를 개시함으로써 본격적인 위성통신의 시대를 열었다. 이러한 위성통신은 동시성, 광역성, 불감지역 해소 등의 장점이 있으나 위성자체가 적도 상공 약 35,000km의 정지궤도에 위치함으로써 전파의 지연뿐만 아니라 전파가 대기권 및 전리권을 통과함으로써 각종 영향을 받는다[1]. 일반적으로 통신용으로 사용되고 있는 6/4GHz에서 보다는 위성방송용 주파수로 사용되고 있는 14/12 GHz대의 주파수가 강우의 영향이 현저하게 나타나므로 그 특성을 충분히 밝혀 두어야 한다. 최근에는 각종 무선업무에서 사용 주파수가 폭주함에 따라 10GHz이상의 주파수대가 적극적으로 사용되어 지고 있으며, 주파수가 높을수록 강우에 의한 감쇠는 심각하다고 할 수 있다[2]. 현재 정보통신부에서 실수요 민간 사업자에 대한 위성궤도 및 주파수 분배를 위해 사전 공표 중인 위성들과 1999년 8월경에 발사 예정인 무궁화 3호 위성의 사용 주파수가 Ku 및 Ka 대역을 사용할 계획으로 있으므로, 이러한 국내외의 방송·통신 위성 주파수 대역의 상향 추세를 볼 때 앞으로 많은 문제의 가능성을 내포하고 있다.

특히 강우에 의한 감쇠는 강우의 통계적 특징으로 볼 때 지역, 년, 계절 등에 의해 다양하게 나타나게 되므로 지역의 환경에 맞는 강우 감쇠를 생각해 보아야 하고, 회선 설계상 또는 운용상 문제가 되는 부분에 대하여 검토해 보아야 한다.

본 논문에서는 창원-마산 지역의 강우데이터('88-'97)를 이용하여 Moupfouma New Model[4]을 이용하여 강우강도를 추정한 후, 창원-마산 지역에서 일어날 수 있는 강우에 의한 감쇠를 국제적으로 통용되고 있는 ITU-R모델[6], Global모델[8], SAM모델[9]을 이용하여 예측해 보았다.

II. 강우 강도의 추정

강우 감쇠는 강우강도에 의해 그 감쇠 정도가 결정되고, 강우 강도는 시간적, 공간적으로 그의 변동

이 매우 다양하기 때문에 강우 강도와 시간율의 관계에 의한 신뢰성 있는 분석이 필요하다. 강우 강도를 구하거나 추정하기 위해서 사용되는 측정 시간 간격을 ITU에서는 1분 간격을 권장하고 있지만, 현재 제공되고 있는 데이터가 없는 관계로 측정치가 얻어질 때까지 적절한 변환이 필요하다. 현재 많이 사용되고 있는 분포함수는 감마분포(Gamma distribution), 대수정규분포(Lognormal distribution), Moupfouma분포 등이 사용되고 있지만 대수정규분포는 강우율이 적은 영역, 감마분포는 강우율이 큰 영역에 잘 맞으며, Moupfouma분포는 전 영역에 대해 측정치와 잘 일치한다[3]. 따라서, 본 논문에서는 88년부터 97년까지의 마산 기상청에서 제공한 10년간의 강우 자기지를 이용하여 10분 간격의 데이터를 수집하여 실험적으로 가장 잘 맞는 Moupfouma New Model[4]을 이용하여 강우 강도를 추정하였다. Moupfouma New Model은 다음과 같이 표현된다.

$$F(R \geq r) = \left(\frac{R_p + 1}{r + 1} \right)^b e^{u(R_p - r) + \log_e F(R_p)} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 b는 누적분포함수에 대한 조건으로부터

$$b = \left(\frac{r}{R_p} - 1 \right) \log_e \left(1 + \frac{r}{R_p} \right) \dots\dots\dots (2)$$

u는 지역 기후 의존계수로, 다음과 같이 온난 기후와 열대 및 아열대 기후영역으로 나누어 표현된다.

(a) 온난 기후 영역

$$u(r) = - \frac{\log_e(F(R_p))}{R_p} \frac{1}{1 + \eta \left(\frac{r}{R_p} \right)^\beta} \dots\dots\dots (3)$$

(b) 열대 및 아열대 기후 영역

$$u(r) = - \frac{\log_e(F(R_p))}{R_p} \exp \left(- \lambda \left(\frac{r}{R_p} \right)^\gamma \right) \dots\dots\dots (4)$$

ITU-R에서 권고하는 1분 간격으로 누적된 강우율 $R_{0.01}$ 을 사용할 때, $R_p = R_{0.01}$, $p = 0.01$, $\eta = 4.56$, $\beta = 1.03$, $\lambda = 1.066$, $\gamma = 0.214$ 이다.

다음 식은 10분 간격으로 적분된 강우데이터를

1분간격의 강우 분포로 변환하기 위한 Moupfouma의 변환식이다.

$$R(1\text{min.})_{0.01} = (R(\tau\text{ min.})_{0.01})^a \dots\dots\dots (5-a)$$

$$a = 0.987(\tau(\text{min.}))^{0.061} \dots\dots\dots (5-b)$$

모델의 적합성을 확인하기 위해 10분 간격으로 측정된 데이터와 1시간 간격으로 측정된 데이터를 Moupfouma 변환법을 이용하여 1분간격의 강우 분포로 변환한 후 비교하여 보았다. 그림 1.에서 보는 바와 같이 거의 같은 시간울 분포를 가짐을 볼 수 있다.

Moupfouma 변환법을 이용하여 10분 간격의 창원-마산 지역의 강우데이터로부터 추정된 1분 강우강도는 표 1.에 나타내었다. 이를 이용하여 구한 창원-마산 지역의 시간울 0.01%에서의 강우강도는 90.5mm/h로 나타났고, 같은 방법에 의해 구해진 전국 6개 도시의 강우강도[5]와 비교해 보았다. 비교되어지는 전국 6개 도시는 측정 시간간격이 1시간단위로, 창원-마산 지역의 10분 간격과 다르지만 그림 1.에서 보는 바와 같이 Moupfouma 변환모델로 변환했을 경우 거의 같은 시간울 분포를 가짐을 알 수 있었으므로 비교의 대상으로 삼았다. 가까이 위치해 있는 부산지역은 거의 비슷하게 나타나고 있고 다른 지역과는 약간의 차이가 나타나고 있다. 현재 ITU-R과 Global 모델에서 제안된 우리

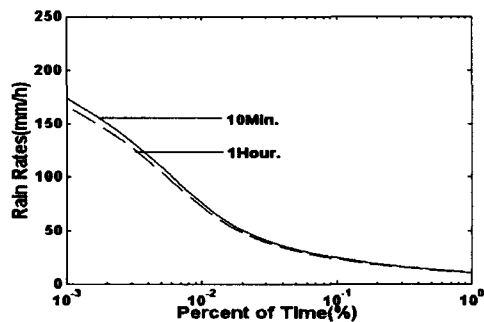


그림 1. Moupfouma의 변환모델에 의한 창원-마산 지역의 1분 강우율 분포(94년-96년)
Fig. 1. One-minute rain-rate distribution in Changwon-Masan area obtained by Moupfouma conversion model('94-'96).

나라지역의 강우강도는 각각 시간울 0.01%에서 42mm/h, 49mm/h로 국내 강우강도 분포 추정치와 비교 해 볼 때 많은 차이를 보이고 있다.

구해진 시간울 0.01%에 해당되는 강우강도를 식 (1)~(3)에 대입하여 시간울에 따른 강우강도의 분포를 구할 수 있으며, 이는 그림 2.에 창원-마산 지역과 전국 6개 도시의 분포와 비교하여 나타내었다. 창원-마산 지역이 비교된 도시 중 가장 높게 나타남을 볼 수 있다.

표 1. Moupfouma의 변환모델에 의한 전국 7개 도시의 1분 강우율

Table 1. One-minute rain-rate in 7 cities obtained by the Moupfouma conversion model.

년시간울(%)	창원-마산	서울	부산	대전	광주	수원	이천
0.001	208.0	160.3	202.8	168.8	187.2	184.9	144.7
0.01	90.5	69.6	88.1	73.3	81.3	80.3	62.8
0.1	29.8	23.0	29.1	24.2	26.8	26.5	20.7
1	13.2	10.2	12.9	10.7	11.9	11.7	9.2

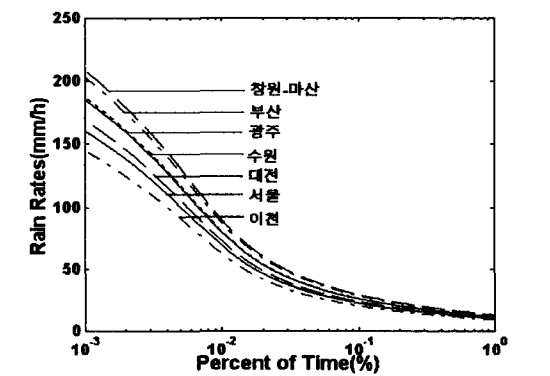


그림 2. Moupfouma의 변환모델에 의한 전국 7개 도시의 1분 강우율 분포
Fig. 2. One-minute rain-rate distribution in 7 cities obtained by the Moupfouma conversion model.

Ⅲ. 강우감쇠

위성 링크에서의 강우 감쇠값을 계산하는 모델

중 ITU-R모델, Global모델, SAM모델을 이용하여 창원-마산 지역에서 일어날 수 있는 강우 감쇠값을 예측하여 보았다.

1. ITU-R 모델(6)

ITU-R모델은 실효 경로길이의 개념을 이용하는 것으로 평년의 0.01%에 대한 점 강우강도 $R_{0.01}$ 를 기준으로 한 것이다. 그림 3은 지구-우주 경로 기하도를 나타내는 것으로 h_g 는 지구국의 해발고 (Km), h_R 은 실효 강우고도, L_S 는 강우고도 아래의 경사경로길이, L_g 는 경사경로길이에 대한 수평투영길이이다. A는 결빙된 강우가 존재하고 B이하 C는 액상강우가 존재한다. D는 지구-우주경로를 나타내는 것이고 θ 는 양각 이다. 단계별로 나누어 ITU-R모델에서 강우감쇠를 추정하는 방법을 알아 보면,

1단계는 실효강우고도 h_R 계산으로서 지구국의 설치 위도(ϕ)에 따라 다음과 같이 구한다.

$$H_R = \begin{cases} 3.0 + 0.028\phi & \text{for } 0 \leq \phi < 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\phi - 36) & \text{for } \phi \geq 36^\circ \end{cases} \quad (6)$$

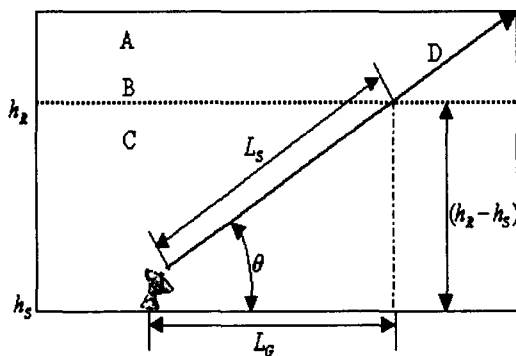


그림 3. ITU-R모델 지구-우주 경로 기하도
Fig. 3 The geometry of Earth-space path by ITU-R model

2단계는 강우고도 아래의 경사 경로 길이(L_S)를 구한다.

$\theta \geq 5^\circ$ 인 경우

$$L_S = \frac{H_R - H_g}{\sin \theta} \quad (\text{Km}). \quad (7)$$

$\theta < 5^\circ$ 인 경우,

$$L_S = \frac{2(H_R - H_g)}{(\sin^2 \theta + \frac{2(H_R - H_g)}{R_e})^{1/2} + \sin \theta} \quad (\text{Km}). \quad (8)$$

3단계는 경사 경로 길이로부터 나오는 수평투영 길이, L_G 를 다음과 같이 구한다.

$$L_G = L_S \cos \theta \quad (\text{Km}). \quad (9)$$

4단계는 평년의 0.01%에 초과하는 강우강도 $R_{0.01}$ 을 결정하는 단계로서 표 1.에 나타나 있다.

5단계는 경사 경로 길이에 대한 기본적인 감쇠 계수 r_p 값 계산으로서 강우 강도 $R_{0.01}$ 에 대한 $r_{0.01}$ 값을 구한다.

$$r_{0.01} = \frac{1}{(1 + \frac{L_G}{L_0})} \quad (10)$$

여기서, $L_0 = 35 \cdot \exp(-0.015 \cdot R_{0.01})$ 이다.

6단계에서는 특정 감쇠량(Specific attenuation)[7]을 구한다. 특정감쇠 A(dB/Km)와 강우강도 R(mm/h)의 관계는 아래 식과 같이 표현된다.

$$A = a R^b \quad (11)$$

여기서, a 와 b 는 주파수(f)와 비의 온도(T)의 함수이다. 그리고, a 와 b 의 값은 해석적인 근사값으로 구하면 다음과 같다.

$$a = \begin{cases} 4.21 \times 10^{-5} \times f^{2.42} & ; 2.9\text{GHz} \leq f \leq 54\text{GHz}, \\ 4.09 \times 10^{-2} \times f^{-0.699} & ; 54\text{GHz} \leq f \leq 180\text{GHz}. \end{cases} \quad (12)$$

$$b = \begin{cases} 1.41 f^{-0.0779} & ; 8.5\text{GHz} \leq f \leq 25\text{GHz}, \\ 2.63 f^{-0.272} & ; 25\text{GHz} \leq f \leq 164\text{GHz}. \end{cases} \quad (13)$$

따라서, 평년의 0.01%에 대한 초과된 예측된 감쇠는 다음 식과 같다.

$$A_{0.01} = aR_{0.01}^b \cdot L_S \cdot r_{0.01} \quad [\text{dB}] \quad \dots\dots\dots (14)$$

된다.

2. Global model(8)

Global 모델에서는 감쇠값을 계산하는데 두 가지 기법을 제시하고 있는데, 첫 번째는 평균경로 요소를 구하여 감쇠값을 구하는 것이고, 두 번째는 시스템 설계에 주로 사용되는 것으로서, 가변 등온선 기법을 이용하여 감쇠값을 계산하는 것이다. 가변 등온선 기법은 계절, 지역 및 연평균 강우 강도에 의해 0°C 등온선 고도가 변화하므로 이에 따라 감쇠 경로 길이가 변화하게 되기 때문에 감쇠값 계산을 위한 경로 길이에 이 여러 0°C 등온선고도를 고려한 것이다. 가변 등온선고도 기법에 의한 감쇠값 A는 다음과 같다.

$$A = \frac{aR_p^b}{\cos \theta} \left[-\frac{e^{UZ} - 1}{Ub} - \frac{X^b e^{YZ}}{Yb} + \frac{X^b e^{YZ}}{Yb} \right],$$

θ: 위성앙각,

$$X = 2.3 R_p^{-0.17},$$

$$Y = 0.026 - 0.03 \ln R_p,$$

$$Z = 3.8 - 0.6 \ln R_p,$$

$$U = \ln[X \exp(YZ)] / Z,$$

$$D = \frac{H - H_0}{\tan \theta} \quad (\text{Km}),$$

H = 0°C 등온선 고도(Km),

H₀ = 지구극 해발고(Km).

..... (15)

3. SAM model(9)

이 모델은 NASA의 지원으로 개발된 것으로, 강우 감쇠를 예측하는데 있어서 개념이나 계산부분이 간단하다는 특징이 있다. 이 모델의 계산 공식은 R_p ≤ 10mm/h인 경우와 R_p > 10mm/h인 경우로 구분하여 계산한다.

R_p ≤ 10mm/h인 경우,

$$A(R_p) = aR_p^b \cdot L \quad \dots\dots\dots (16)$$

R_p > 10mm/h인 경우,

$$A(R_p) = aR_p^b \left[\frac{1 - \exp[-\gamma b \ln(R_p/10)L \cos \theta]}{\gamma b \ln(R_p/10) \cos \theta} \right] \quad \dots\dots\dots (17)$$

여기서,

$$L = \frac{h_R - H_g}{\sin \theta} \quad (\text{Km}),$$

H_g = 지구극 해발고,

θ = 위성앙각,

γ = 1/22(실험산출량),

h_R = 실효 강우고도.

위의 3가지 방법에 의해 예측된 창원-마산 지역의 강우 감쇠 예측값을 주파수별 그리고 모델별로 표 2.에 나타내었다. 주파수가 높아질수록 감쇠값이 높아짐을 알 수 있으며, 모델중 Global 모델이 다른 모델에 비하여 더 높은 감쇠값을 나타내었다.

표 2. 창원-마산 지역의 강우 감쇠 추정값(dB)
Table 2. Rain attenuation estimate in Changwon-Masan

	ITU-R	Global	SAM
12GHz	12.34	17.82	14.15
14GHz	16.80	24.09	19.28
20GHz	34.65	48.84	39.72
30GHz	66.27	90.09	76.00

그림 4.에서는 ITU-R모델에 의한 창원 - 마산 지역의 주파수대별 시간율에 따른 강우감쇠 분포를 나타내었고, 그림 5.에서는 전국 7개 도시의 20GHz에서의 강우감쇠 분포를 비교하였다. 강우강도가 가장 높았던 창원-마산 지역이 강우감쇠도가 가장 심함을 볼 수 있다. 그리고, 강우 감쇠값은 시간율이 높을수록, 주파수가 높을수록 많은 감쇠를 보임을 알 수 있고, 지역에 따라 강우감쇠의 차이가 남을 확인하였다.

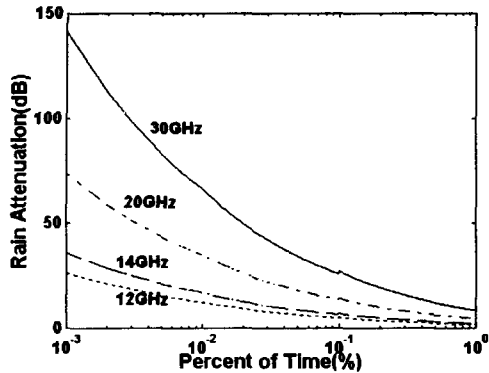


그림 4. ITU-R 모델에 의한 창원-마산지역의 강우감쇠

Fig. 4. Rain attenuation in Changwon-Masan (ITU-R Model)

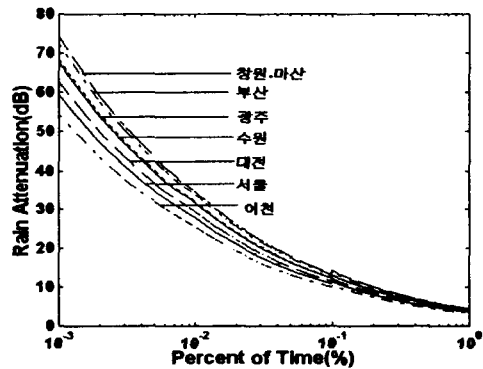


그림 5. 20GHz에서 전국 7개 도시의 강우감쇠

Fig. 5. Rain attenuation at 20GHz in 7 cities.

IV. 결 론

본 연구에서는 마산 기상대의 88년부터 97년 까지의 강우 자기지를 이용하여 10분 간격으로 데이터를 정리하였으며, 이를 이용하여 Moupfouma new model에 의해 추정된 창원-마산 지역의 강우 강도는 시간율 0.01%(1년중 52.6분)에서 90.5mm/h로 나타났다. 이는 같은 모델로 추정된 부산 지역(88.1mm/h)과 거의 비슷하게 나타났으며, 서울, 대전, 광주, 수원, 이천 지역과는 각각 20.9mm/h, 17.2mm/h, 9.2mm/h, 10.2mm/h, 27.7mm/h의 차이

를 나타내었다. 창원-마산 지역의 강우감쇠 추정치는 주파수별, 모델별로 표 2.에서 보였다.

강우의 영향은 강우강도, 주파수, 연간 시간율, 지역에 따라 많은 차이가 나타남을 알 수 있었으며, 이는 또한 위성에 대한 감쇠 실측자료를 적용해 비교 분석되어야 할 것이다. 또한 현재 사용되고 있는 국외 강우감쇠 예측 모델들은 국내의 강우 환경과 많은 차이를 가진 환경에서 만들어졌기 때문에 국내에 적용하기에는 약간의 어려움을 가지고 있다. 따라서, 국내 환경에 적합한 모델을 개발하기 위해서 1분단위의 강우자료를 사용한 강우강도분포와 해당 주파수에 대한 지속적인 강우감쇠량 실측이 이루어져야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] T. Pratt and C. W. Bostian, *Satellite Communication*, John Wiley & Sons, 1986.
- [2] Louis J. Ippolito, "Propagation Effects Handbook for Satellite Systems Design," NASA Reference Publication 1082(04), 4th ed., 1989.
- [3] F.Moupfouma, "Model of Rainfall Rate Distribution for Radio System Design", *IEE Proceedings*, vol. 132, Pt. H, No. 1, pp. 39-43, Feb. 1985.
- [4] F.Moupfouma and L.Martin, "Modelling of the Rainfall Rate Cumulative Distribution for the Design of Satellite and Terrestrial Communication System", *Int. J. Satellite Comm.*, vol. 13, pp. 105-115, 1995.
- [5] 석재호, "Ka 대역 위성 전송경로 상에서의 강우 영향 분석", 연세대학교 석사학위논문, pp. 18-60, 1998.
- [6] ITU, "Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunications systems," *Rec. ITU-R.618-3*, pp. 329-343, 1994.
- [7] R. L. Olson, D. V. Rogers, and D. B. Hodge, "The aR^b Relation in the Calculation of Rain Attenuation," *IEEE Tran. Ant. Prop.*, Vol.

- AP-26, pp. 318-329, 1978.
- [8] R.K.Crane, "Prediction of Attenuation by Rain," IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-28, No. 9, pp. 1717-1733, Sep. 1980.
- [9] W.Lstutzman and W.K.Dishman, "A Simple Model for Estimation of Rain-induced Attenuation along Earth-Space paths at Millimeter wavelengths," Radio Science, Vol. 17, No. 6, pp. 1465-1476, Nov.-Dec. 1982.



河延徹 (Yeon-Chul Ha)
1998년 2월 창원대학교 전자공학과(공학사)
2000년 2월 창원대학교 전기전자제어공학과(공학석사)
2000년 3월 - 현재 한국전기연구원 Mechatronics 연구 그룹 연구원

*주 관심분야 : 위성통신, 이동통신



高鳳震 (Bong-Jin Ko)
1986년 2월 한국항공대학교 통신공학과 졸업(공학사)
1988년 2월 한국항공대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1995년 2월 한국항공대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1994년 3월 - 1996년 7월 인하공업전문대학교 통신과 조교수
1997년 7월 - 1997년 12월 ETRI 초빙연구원
1996년 8월 - 현재 창원대학교 전자공학과 조교수
*주 관심분야 : 통신이론 및 시뮬레이션, 이동통신, EMI/EMC