

# 도심지 전파환경에서의 다중경로 수신전자파의 특성해석

최재연\*

## 요약

파추적법을 이용하여 위성이동통신 서비스에서의 전파환경 특성을 예측하고, 새로운 신호 환경에서의 채널모델링방법을 제시한다. 도심지역의 전파특성을 예측하기 위해, 인공구조물 및 자연지형을 완전도체로 이루어진 사각형으로 모델링하고, 이들 구조물에 수신자가 인접해 있을 때, 위성으로부터 수신자에게 도달하는 1차파 및 2차파 등 다중경로를 고려하여 직접파와 반사파, 회절파에 의한 수신전계를 계산한다. 수신전계의 계산에 필요한 반사파, 회절파 및 표면회절파는 UTD해석법에 의하여 구해진다. 이들 결과를 분석함으로써, 도심지역에서의 전파 전달 특성을 분석한다.

## Analysis of the Characteristics of Multi-path Receiving Waves in the Urban Area Environment

Jae-Yeon Choi\*

## ABSTRACT

In this paper, I present a way to predict the propagative environment in the communications satellite by the ray tracing technique and propose a new advanced channel modeling method. In order to predict the propagational characteristics in the urban area, we (or I) make the model of buildings and configurations of the ground with squares consisting complete conductors. When a receiver is adjacent to these structure, I calculate electric field strength received by considering the multipath from the satellite to the receiver. The reflected, the diffracted and the surface diffracted waves for calculation of received electric field are obtained by UTD (Uniform Theory of Diffraction). I propose the method to understand wave propagational properties in the urban area by analyzing the results of the computation.

Key Words : UTD, ray tracing, reflection wave, diffraction, wave propagation

---

\* 남서울대학교 정보통신공학과(✉cjy@nsu.ac.kr)

· 제1저자(First Author) : 최재연 · 교신저자(Correspondent Author) : 최재연

· 접수일(2012년 2월 10일), 수정일(1차 : 2012년 3월 6일), 게재 확정일(2012년 3월 9일)

## I. 서 론

최근 십여 년간 무선 통신 분야는 괄목할 만한 성장을 하고 있으며, 언제, 어디서, 누구와도 통신을 하겠다는 사용자의 욕구는 이동 및 개인 통신의 발달을 가속화시키는 원동력이 되고 있다[1]. 현재의 위성 이동통신 서비스는 지구 궤도상에 여러 개의 위성을 쏘아올려 전세계를 하나의 통신망으로 구축하고 있고 또한 방대한 양의 데이터를 전송할 수 있다[2][3]. 이동통신에서의 전파환경모델링은 무선 통신이 실용화된 이래 꾸준히 연구되어 왔다. 지금까지의 해석은 크게 통계적 모델링기법, 실험적 모델링기법, 파추적법에 의한 다중경로모델링기법의 방법으로 연구되고 있다[4][5][6]. 본 논문에서는 파추적 방법을 이용하여 위성 이동통신 서비스에서의 전파 환경 특성을 예측하고, 수신특성을 높이는 방법을 제시하고자 한다. 특히 본 논문에서는 UTD(Uniform Theory of Diffraction)의 고주파해석법[7][8]을 이용하여 보다 정확한 웨이딩 모델링을 하도록 한다.

## II. 본 론

### 2.1 기하학적 모형

이동통신이나 위성통신 시스템에서 주위의 건물들에 의하여 야기되는 다중경로 전파는 전력의 손실을 일으키고, 신호의 지연 확산을 증가 시킨다[9][10]. 특히 도심지역은 채널 특성이 변두리지역에 비하여 주위의 다른 구조물들, 주로 건물들에 의한 영향을 더욱 많이 받게 된다[11]. 도시의 건물 사이에서의 전계특성을 해석하기 위하여 그림 1과 같이 서로 크기가 다른 완전도체로 만들어진 건물의 단면 모형의 2차원 사각형 사이의 전계를 UTD를 이용하여 해석한다. 위성의 송신파는 매우 멀리에서부터 오므로 평면파로 근사할 수 있다. 수신점을 사각형 사이에 고정시키고 입사하는 평면파의 입사각도  $\theta$  를  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 까지 변화시킬

때 수신점에서의 전계를 2차과까지 고려하여 해석한다.

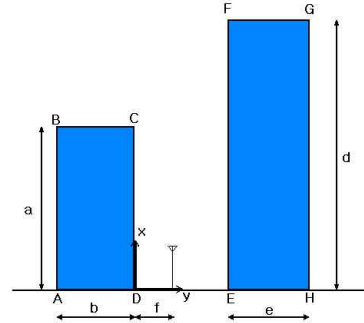


그림 1. 기하학적 모형  
Fig. 1 Geometrical Model

각도가 증가함에 따라 처음에는 엔지 C와 엔지 F에 의한 회절파와, 2차 회절파, 회절-반사파들만이 존재하다가 2차 반사파, 1차 반사파, 반사-회절파, 직접파가 생긴다. 입사파는  $TM_z$  평면파이므로

$$\vec{E}_i = \hat{z} E_0 e^{-j\vec{k}_i \cdot \vec{r}} \quad (1)$$

이다. 여기서

$$\vec{k}_i = \beta(\hat{x} \cos\theta - \hat{y} \sin\theta) \quad (2)$$

이므로, 입사파는

$$\vec{E}_i = \hat{z} E_0 e^{-j\beta(\hat{x} \cos\theta - \hat{y} \sin\theta)} \quad (3)$$

와 같이 표현된다.

### 2.2 수신점에 나타나는 1차파

수신점에 나타나는 1차파는 그림 2와 같이 엔지 C에 의한 회절파, 엔지 F에 의한 회절파, EF면에 의한 반사파이다.

이차원 엔지 C에 의해서 회절되는 파는 다음과 같다.

$$\vec{E}_d^C = \vec{E}_i(C) D_s(\phi, \phi', n) \frac{e^{-j\beta\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (4)$$

여기서  $D_s(\phi, \phi', n)$ 은 soft편파일 때의 회절 계수로써 다음과 같이 표현된다.

$$D_s(\phi, \phi', n) = \frac{-e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2n\sqrt{2\pi\beta}} \times \left[ \left\{ \cot\left(\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n}\right) F(\beta\rho a^+(\phi - \phi')) + \cot\left(\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n}\right) F(\beta\rho a^-(\phi - \phi')) \right\} \times \left\{ \cot\left(\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n}\right) F(\beta\rho a^+(\phi + \phi')) + \cot\left(\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n}\right) F(\beta\rho a^-(\phi + \phi')) \right\} \right] \quad (5)$$

여기서,

$$F(x) = 2j\sqrt{x} e^{jx} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-j\tau^2} d\tau \quad (6)$$

$$a^{\pm}(\beta) = 2\cos^2 \frac{2\pi N^{\pm} - \beta}{2} \quad (7)$$

이며,  $N^{\pm}$ 는 아래의 식을 가장 가깝게 만족시키는 정수이다.

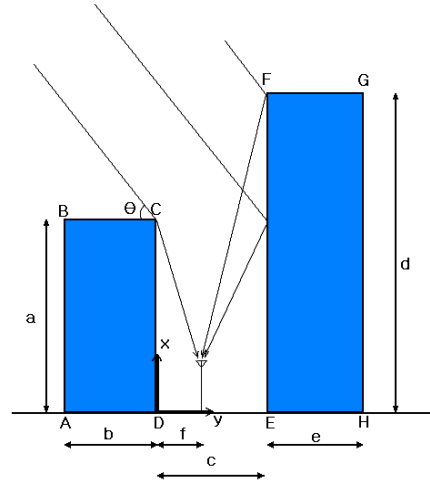


그림 2. 수신점에 나타나는 1차파  
Fig. 2 Primary Wave at the Receiving Antenna

$$2\pi n N^{\pm} - \beta = \pm \pi \quad (8)$$

엔지가 2차원 사각형의 꼭지점이므로  $n = 1.5$ 이고, 회절각  $\phi$ 와 입사각  $\phi'$ , 회절점과 수신점사이의 거리  $\rho$ 는 각각 다음과 같다.

$$\phi = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{f}{a}\right)$$

$$\phi' = \theta$$

$$\rho = \sqrt{f^2 + a^2}$$

엔지 F에 의한 회절파는 식(4)로부터

$$\vec{E}_d^F = \vec{E}_i(F) D_s(\phi, \phi', 1.5) \frac{e^{-j\beta\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (9)$$

이다. 여기서, 회절각, 입사각, 회절점과 수신점사이의 거리는 각각 다음과 같다.

$$\phi = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{d}{c-f}\right)$$

$$\phi' = \pi - \theta$$

$$\rho = \sqrt{(c-f)^2 + d^2}$$

이 때 EF면에 의해서 반사되는 파는

$$\overrightarrow{E_r^{EF}} = \hat{z} E_r e^{-jk_r^{EF} \cdot \vec{r}} \quad (10)$$

이고, 여기서

$$\overrightarrow{k_r^{EF}} = \beta(-\hat{x} \cos\theta - \hat{y} \sin\theta) \quad (11)$$

이다.

반사점을  $(x', y')$  이라 하면, 경계조건에 의하여

$$E_i e^{-j\beta(x' \cos\theta - y' \sin\theta)} + E_r e^{-j\beta(-x' \cos\theta - y' \sin\theta)} = 0 \quad (12)$$

가 되어, 반사계수는

$$E_r = -E_0 e^{-2j\beta \cos\theta x'} \quad (13)$$

이다. 따라서 반사파는

$$\overrightarrow{E_r} = -\hat{z} \{E_0 e^{-2j\beta \cos\theta x'}\} e^{-j\beta(-x \cos\theta - y \sin\theta)} \quad (14)$$

으로 표현된다. 또한  $x' = c$ 이고  $(x, y) = (f, 0)$  이므로 반사파는 다음과 같다.

$$\overrightarrow{E_r} = -\hat{z} \{E_0 e^{-2j\beta \cos\theta c}\} e^{-j\beta(-f \cos\theta)} \quad (15)$$

### 2.3 수신점에 나타나는 2차파

수신점에 나타나는 2차파는 그림3.과 같이 2차 반사파, 2차 회절파, 회절-반사파, 반사-회절파이다.

2차 반사파를 살펴보면 EF면에서 반사되어 다시 CD면에서 반사되는 파가 존재한다. 우선 CD면에서 반사되는 파는

$$\overrightarrow{E_r^{CD}} = \hat{z} E_r e^{-jk_r^{CD} \cdot \vec{r}} \quad (16)$$

이 되고, 여기서

$$\overrightarrow{k_r^{CD}} = \beta(\hat{x} \cos\theta - \hat{y} \sin\theta) \quad (17)$$

이다. 반사점을  $(x', y')$  이라하면, 경계조건에 의하여

$$E_i e^{-j\beta(-x' \cos\theta - y' \sin\theta)} + E_r e^{-j\beta(x' \cos\theta - y' \sin\theta)} = 0 \quad (18)$$

이므로, 반사파는

$$E_r = -E_i e^{2j\beta \cos\theta x'} \quad (19)$$

가 되어, CD면에 의한 반사파는 다음식으로 주어진다.

$$\overrightarrow{E_r} = -\hat{z} E_0 e^{-j\beta(x \cos\theta - y \sin\theta)} \quad (20)$$

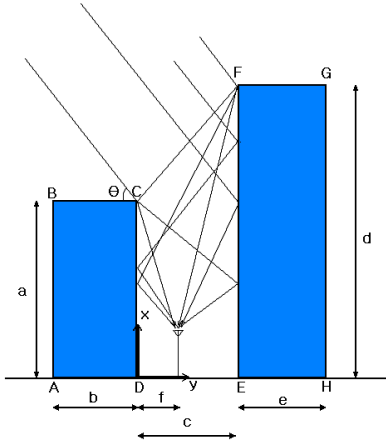


그림 3. 수신점에 나타나는 2차파  
Fig. 3 Secondary Wave at the Receiving Antenna

따라서, EF면에서 반사되어 CD면 위의 2차반사점에 도달하는 파는 식(14)로부터

$$\vec{E}_r^{EF}(x', y') = -\hat{z} \{ E_0 e^{-2j\beta \cos\theta c} \} \times e^{-j\beta(-x' \cos\theta - y' \sin\theta)} \quad (21)$$

이므로, 다시 CD면에서 반사되어 수신점에 도달하는 파는 다음과 같다.

$$\vec{E}_r = \hat{z} \{ E_0 e^{-2j\beta \cos\theta c} \} e^{-j\beta(f \cos\theta)} \quad (22)$$

2차파 중에 반사-회절파를 고려하여 보면 먼저 BC면에서 반사되어 엔지 F에 의하여 회절되는 파는

BC면 위의 반사점  $(x', y') = (- (d-a)\cot\theta + c, a)$  이므로, BC면에 의한 반사파는

$$\vec{E}_r^{BC} = \hat{z} E_r e^{-j\vec{k}_r^{BC} \cdot \vec{r}} \quad (23)$$

이고, 여기서

$$\vec{k}_r^{BC} = \beta(\hat{x} \cos\theta + \hat{y} \sin\theta) \quad (24)$$

$$E_r = - E_i e^{-2j\beta \sin\theta y'} = - E_i e^{-j2\beta \sin\theta a} \quad (25)$$

가 되므로 반사파는

$$\vec{E}_r^{BC}(x, y) = -\hat{z} \{ E_i e^{j2\beta \sin\theta a} \} \times e^{-j\beta(x \cos\theta + y \sin\theta)} \quad (26)$$

이다. 또 다시 엔지 F에 의해 회절되어 수신점에 도달하는 파는 식(9)에 의하여

$$\vec{E}_d^F = \vec{E}_F^{BC}(F) D_s(\phi, \phi', 1.5) \frac{e^{-j\beta\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (27)$$

이며, 여기서 회절각, 입사각, 회절점과 수신점사이의 거리는 각각 다음과 같다.

$$\phi = \pi + \tan^{-1} \left( \frac{d}{c-f} \right)$$

$$\phi' = \pi + \theta$$

$$\rho = \sqrt{(c-f)^2 + d^2}$$

2차파의 반사-회절파중 EF면에서 반사되어 엔지 C에서 회절되는 파를 고려하여 보면 EF면 위의 반사점  $(x', y') = (c, a + c \tan\theta)$ 에서 반사되어 엔지 C에 입사하는 파는

$$\vec{E}_i(C) = -\hat{z} \{ E_0 e^{-2j\beta \cos\theta c} \} e^{-j\beta(-a \sin\theta)} \quad (28)$$

이므로, 다시 엔지 C에서 회절되어 수신점에 도달하는 파는 식(4)로부터

$$\vec{E}_d^C = \vec{E}_i(C) D_s(\phi, \phi', n) \frac{e^{-j\beta\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (29)$$

이다. 여기서 회절각, 입사각, 회절점과 수신점사이의 거리는 각각 다음과 같다.

$$\phi = \frac{3}{2}\pi - \tan^{-1}\left(\frac{f}{a}\right)$$

$$\phi' = \frac{3}{2}\pi - \theta$$

$$\rho = \sqrt{c^2 + f^2}$$

이제 2차 회절파를 고려하여 보자. 엔지B에서 회절되어 다시 엔지F에서 회절되는 파는

$$\vec{E}_d^F = \vec{E}_{i(B)} D_s(\phi, \phi', 1.5) \frac{e^{-j\beta\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (30)$$

이고 엔지F에서 회절되어 수신점에 도달하는 파는

$$\vec{E}_d^F = \vec{E}_d^B(F) D_s(\phi, \phi', 1.5) \frac{e^{-j\beta\rho'}}{\sqrt{\rho'}} \quad (31)$$

이다. 여기서 회절각, 입사각, 회절점과 수신점사이의 거리는 각각 다음과 같다.

$$\phi = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{d}{c-f}\right)$$

$$\phi' = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{d-a}{b+c}\right)$$

$$\rho' = \sqrt{(c-f)^2 + d^2}$$

2차회절파중에 엔지 B에서 회절되어 다시 엔지 C에서 회절되는 파는

$$\vec{E}_d^B = \vec{E}_i(B) D_s(\phi, \phi', 1.5) \frac{e^{-j\beta\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (32)$$

이고, 여기서 회절각, 입사각, 회절점과 수신점사이의 거리는 각각

$$\phi = 0$$

$$\phi' = \pi - \theta$$

$$\rho = b$$

이다. 다시 C에서 회절하여 수신점에 도달하는 파는

$$\vec{E}_d^C = \vec{E}_d^B(C) D_s(\phi, \phi', 1.5) \frac{e^{-j\beta\rho'}}{\sqrt{\rho'}} \quad (33)$$

이고, 여기서 회절각, 입사각, 회절점과 수신점사이의 거리는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\phi = \frac{3}{2}\pi - \tan^{-1}\left(\frac{f}{a}\right)$$

$$\phi' = 0$$

$$\rho' = \sqrt{a^2 + f^2}$$

2차회절파중에 엔지 C에서 회절되어 다시 엔지 F에서 회절되는 파는

$$\vec{E}_d^C = \vec{E}_i(C) D_s(\phi, \phi', n) \frac{e^{-j\beta\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (34)$$

이고, 여기서 회절각, 입사각, 회절점과 수신점사이의 거리는 각각

$$\phi = \theta$$

$$\phi' = \pi - \tan^{-1}\left(\frac{d-a}{c}\right)$$

$$\rho = \sqrt{c^2 + (d-a)^2}$$

이다. 다시 F에서 회절하여 수신점에 도달하는 파는

$$\vec{E}_d^F = \vec{E}_d^C(F)D_s(\phi, \phi', 1.5) \frac{e^{-j\beta\rho'}}{\sqrt{\rho'}} \quad (35)$$

이고, 여기서 회절각, 입사각, 회절점과 수신점사이의 거리는

$$\phi = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{d}{c-f}\right)$$

$$\phi' = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{d-a}{c}\right)$$

$$\rho' = \sqrt{(c-f)^2 + d^2}$$

이다.

### III. 해석결과

입사파를 평면파, 두 사각형을 완전도체라고 가정하였기 때문에 회절파는 전파됨에 따라서 식(4)와 같이  $1/\sqrt{\rho}$ 의 크기로 감소하지만, 반사파는 식(10),(20),(26)과 같이 위상만이 바뀔 뿐 크기는 변하지 않는다.

입사각이 작아질수록 2차 반사파, 3차 반사파, 4차 반사파 등의 순서로 고차반사파들이 생기게 된다. 그런데 이러한 고차 반사파들은 입사파와 위상만 다르고 크기는 같기 때문에 전계 해석에 중요한 영향을 미치게 된다. 즉 입사각이 작을 때에는 3차 이상의 반사파들도 고려를 해주어야만 한다. 여기서는 2차파까지만 고려하여 전계를 해석 한다.

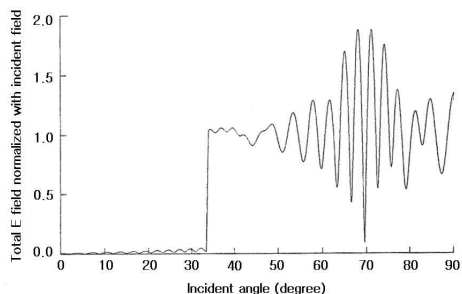


그림 4.  $a=20\lambda$ ,  $b=10\lambda$ ,  $c=20\lambda$ ,  $d=35\lambda$ ,  $e=10\lambda$ 일 때 1차파만을 고려한 전계

Fig. 4 Electric field considering only the primary wave when  $a=20\lambda$ ,  $b=10\lambda$ ,  $c=20\lambda$ ,  $d=35\lambda$ ,  $e=10\lambda$

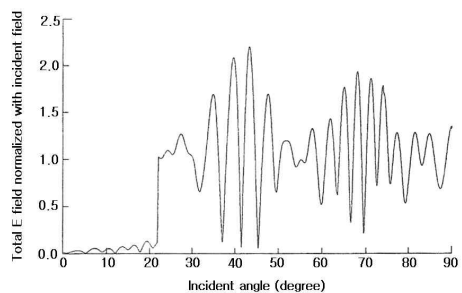


그림 5.  $a=20\lambda$ ,  $b=10\lambda$ ,  $c=20\lambda$ ,  $d=35\lambda$ ,  $e=10\lambda$ 일 때 2차파까지 고려한 전계

Fig. 5 Electric field considering the primary and secondary wave when  $a=20\lambda$ ,  $b=10\lambda$ ,  $c=20\lambda$ ,  $d=35\lambda$ ,  $e=10\lambda$

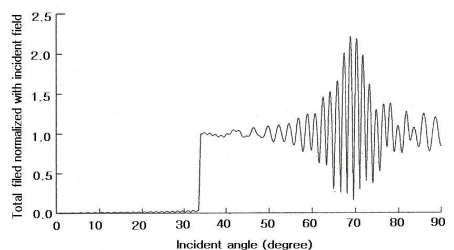


그림 6.  $a=40\lambda$ ,  $b=20\lambda$ ,  $c=40\lambda$ ,  $d=70\lambda$ ,  $e=20\lambda$ 일 때 1차파만을 고려한 전계

Fig. 6 Electric field considering only the primary wave when  $a=40\lambda$ ,  $b=20\lambda$ ,  $c=40\lambda$ ,  $d=70\lambda$ ,  $e=20\lambda$

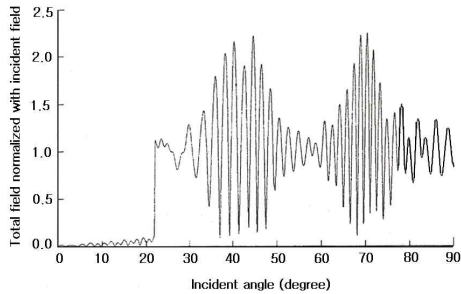


그림 7.  $a=40\lambda$ ,  $b=20\lambda$ ,  $c=40\lambda$ ,  $d=70\lambda$ ,  $e=20\lambda$ 일 때 2차파까지 고려한 전계

Fig. 7 Electric field considering the primary and secondary wave when  $a=40\lambda$ ,  $b=20\lambda$ ,  $c=40\lambda$ ,  $d=70\lambda$ ,  $e=20\lambda$

$a=20\lambda$ ,  $b=10\lambda$ ,  $c=20\lambda$ ,  $d=35\lambda$ ,  $e=10\lambda$ 일 때 그림4. 와 그림5. 에서 전계의 불연속점이 고차파를 고려할수록 앞쪽에서 생김을 볼 수 있다.  $a=40\lambda$ ,  $b=20\lambda$ ,  $c=40\lambda$ ,  $d=70\lambda$ ,  $e=20\lambda$  일 때 그림 6. 과 그림 7.에서 전계의 불연속점이 앞에서와 마찬가지로 고차파를 고려할수록 앞쪽에서 생긴다. 이것은  $a=4\lambda$ ,  $b=2\lambda$ ,  $c=4\lambda$ ,  $d=7\lambda$ ,  $e=2\lambda$ 로 모의실험했을 때와 비교하면 모의실험시 1차파만을 고려시 입사각이  $34^\circ$  일 때 1차반사파로 인한 불연속점이 생겼고, 2차파까지 고려하여 보면 그 점에서의 불연속점은 없어 졌으나 2차 반사파로 인하여 앞쪽에서 전계의 세기가 강해지고  $34^\circ$ 보다 앞쪽에서 불연속점이 나타난다. 3차 반사파까지 고려하면 불연속점이 더 앞에 나타나게 된다.

위의 결과들을 종합해 볼 때 크기가 입사파와 같고 위상만이 다른 반사파(1차, 2차, 3차, ...)를 모두 고려한다면 연속적인 전계를 얻을 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 위성 이동 통신망의 전파 환경 분석에 필요한 전파 환경 모델링기법과 고주파 해석 이론인 UTD, 그리고 이동 수신 시스템에서의 위성 신호 폐

이딩 모델링 및 신호 환경 분석에 대해 연구하였다. 전파환경 모델링에는 여러 가지 기법들이 있으나, 본 연구에서는 파 추적법을 이용하여 위성으로부터 개인 휴대 단말에 이르는 다중 경로를 찾아내고, 각 경로에 의해 발생하는 전파의 전달특성을 해석하였다. 2차원 도심지역에 대하여 완전 도체에 의한 UTD이론을 적용시켜 전자파의 산란 특성을 알아보았다. 도심지역은 번두리 지역에 비하여 여러 구조물에 의한 영향을 더욱 받게되는데, 1차파만을 고려한 전계는 전계의 불연속점이 입사각에 따라 뒤쪽에 위치해 있었으나 2차 산란파까지를 고려하면, 불연속점은 앞으로 옮겨져 관측되어 지나, 이는 고차 산란파의 추가로 해결할 수 있다. 이에 대한 연구는 건물이나 지형지물들의 불완전 도체 성격을 고려한 회절이론과 함께, 계속 연구 되어져야 한다.

#### 참고문헌

- [1] Okumura Y., Ohmori E., Kawano, T. and Fukuda, K., 'Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service', Review Elec. Commun. lab., 16, No. 9-10, pp. 825-873, 1968.
- [2] Hata M., 'Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services', IEEE Tran., VT-29, No. 3, pp. 317-325, 1980.
- [3] Akeyama A., Nagatsu, T. and Ebine Y., 'Mobile radio propagation characteristics and radio zone design method in local cities', Review Elec. Commun. lab., 30, pp. 308-317, 1982.
- [4] Lee W. C.-Y., *Mobile Communications Engineering*, McGraw Hill, New York, 1982.
- [5] Young W. R., 'Comparison of mobile radio transmission at 150, 450, 900 and 3700 MC', Bell Syst. Tech J., 31, pp. 1068-1085, 1952.
- [6] Allsebrook K. and Parsons J.D., 'Mobile radio propagation in British cities at frequencies in the VHF and UHF bands',

- IEEE Proc., 124, No. 2, pp. 95-102, 1977.
- [7] D. A. McNarama, C. W. I. Pistorius & J. A. G. Malherbe, Introduction to Uniform Geometrical Theory of Diffraction, Artech House London, pp.159-178, 1986.
- [8] Yusuf Z. Umul, "Modified diffraction theory of Kirchhoff", JOSA A, Vol. 25, Issue 8, pp. 1850-1860, 2008.
- [9] Ibrahim M.F. and Parsons J.C., 'Signal strength prediction in built-up areas. Part 1: median signal strength', IEE Proc., 130, Part F, No. 5, pp.377-384, 1983.
- [10] Takeshi Manabe and Yoji Furuhashi, 'Recent Propagation Studies in Japan', IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 36, No. 5, pp.7-13, October 1994.
- [11] Kurt R. Schaubach, 'Microcellular Radio-Channel Propagation Prediction', IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 36, No. 4, pp.25-33, August 1994.

### 감사의 글

"이 논문은 2011년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음"

---

### 저자소개



최재연(Jae-Yeon Choi)

1985년 한양대학교 공학사  
1987년 한양대학교 공학석사  
1998년 한양대학교 공학박사  
1987. 삼성종합기술원  
1990 LG정보통신

1996년 ~ 현재 남서울대학교 정보통신공학과 교수