
실내 피코셀 환경에서 건물 재질의 투과손실을 고려한 통신 시스템의 성능 분석

이양선* · 강희조**

Performance Analysis of Communication Systems with Penetration Loss of Building Materials in Pico-cell Environment

Yang-Sun Lee* · Heau-Jo Kang**

요 약

본 논문에서는 고층 건물내의 층간 셀구성에 있어서 기존의 층간 셀간섭 분석에서 고려되지 않았던 건물 매질에 의한 영향을 분석하고 각 주파수대역에서의 매질에 따른 손실치를 측정실험을 통하여 추출하였다. 특히, 매질에 따른 투과손실 측정시 직접과 경로로 유입되는 간섭신호와 기울기(slant)를 갖는 경로로 유입되는 간섭신호에 관하여 측정함으로써 층간 셀구성에 있어서 기준셀로 유입되는 간섭신호의 경로에 따른 시스템 성능을 분석하였다.

ABSTRACT

In this paper, we analyzed the effect by building materials in the case of floor cell design and the penetration loss value by material in each frequency bands through an experiment in high building. Specially, the penetration loss measured about interference signal that is received to direct path, interference signal and flowed in slant path. Also, we analyzed system performance according to path of standard Cell received interference signal.

키워드

materials penetration loss, Pico-cell, inter-cell interference

I. 서 론

실내의 피코셀은 건물의 구조와 재질 그리고 가구 배열 등에 따라서 전파특성이 결정되며, 건물 주변의 환경에도 영향을 받는다. 이에 관한 전파특성을 예측하는 것은 셀 설계에 있어서 중요하면서도 매우 어려운 일이다. 지금까지 실내의 전파특성에 관한 많은 연구가 발표되었으며, 수신전력 또는 경로손실 그리고

지연확산의 측정과 예측에 관한 내용들이 주를 이룬다 [1]. 실내 전파분야에서 특히 고층 건물내의 층간 경로 손실에 대한 연구는 상대적으로 그 수가 적은 편이다. 기존의 연구로는 측정을 통한 결과로부터 층간 감쇄인자(Floor Attenuation Factor: FAF)를 추출하여 경로손실을 예측하는 통계모델이 제안되었다[2]. 이 경로손실은 FAF, 송수신 안테나간 거리, 그리고 층수 차의 함수로서 표현되며, FAF는 건물마다 그 값이 달라진다. 이와

* 목원대학교 대학원 IT공학과 박사과정
** 목원대학교 컴퓨터멀티미디어콘텐츠공학부 조교수

같이 각 건물마다 매질의 형태와 종류에 따라 다르지만 약 15~35 dB 정도의 값을 갖는다[3].

본 논문에서는 고층 건물내의 층간 셀구성에 있어서 기존의 층간 셀간섭 분석에서 고려되지 않았던 건물 매질에 의한 영향을 분석하고, 각 주파수대역에서의 매질에 따른 손실치를 측정실험을 통하여 추출하였다. 특히, 매질에 따른 투과손실 측정시 직접파 경로로 유입되는 간섭신호와 기울기(slant)를 갖는 경로로 유입되는 간섭신호에 관하여 측정함으로써 층간 셀구성에 있어서 기준 셀로 유입되는 간섭신호의 경로에 따른 시스템 성능을 분석하였다.

II. 인접 셀간 간섭분석 방법

2.1 다중접속 간섭의 발생

기지국이 동일 셀내의 모든 사용자에게 같은 전력으로 신호를 송신한다면 간섭신호도 기준 신호와 똑같은 경로손실을 갖는다고 간주할 수 있다. 기준 사용자 이외의 다른 사용자에 의한 다중접속은 가우시안 랜덤 변수로 간주할 수 있는데 하나의 간섭파가 다중접속간섭 MUI에 기여하는 정도는 다음과 같다[4].

$$MUI = \frac{2}{3M} E_b \cdot A_0^2 \quad (1)$$

식(1)은 동일 셀내에 1개의 간섭신호가 존재할 경우의 다중접속간섭을 표시한 것으로 실제로 기준 사용자는 동일 셀내에서 다른 많은 사용자 및 인접 셀의 사용자에게 간섭을 받는다. 동일 셀내에서 기준 사용자에게 간섭을 주는 실제의 다른 사용자 수를 K_c 라고 가정하면 이들 사용자들에 의한 실제 간섭은 식(1)에 K_c 를 곱하여 얻어진다. 여기서 K_c 는 다음과 같이 구해진다[4].

$$K_c = \frac{V_{on} \cdot K}{N_{sect}} - 1 \quad (2)$$

단, N_{sect} : 셀의 섹터수,

V_{on} : 음성구동계수로서 $\frac{3}{8}$,

K : 셀당 전체 사용자 수.

따라서 동일 셀내에서의 간섭 I_1 은 다음과 같다.

$$I_1 = K_c \frac{2}{3M} E_b \cdot A_0^2 \quad (3)$$

또한 인접 셀로부터는 $K_c + 1$ 의 사용자에게 의해 간섭이 발생하므로 인접 셀에서의 간섭 I_2 는 다음과 같다.

$$I_2 = (K_c + 1) \sum_{k=1}^k \frac{2}{3M} E_b \cdot A_k^2 \quad (4)$$

단, A_k 는 k번째 기지국으로부터 송신되는 신호의 순시진폭이다.

따라서 기준 사용자가 받는 다중접속간섭 MUI는 동일 셀내에서의 간섭 I_1 과 인접 셀로부터의 간섭 I_2 의 합이 된다. 식(4)의 간섭 I_2 는, 인접 셀까지의 거리에 따른 전파감쇠정수($\alpha=3.5$)를 고려하면 그림 1과 같이 3부분으로 구분할 수 있다[5].

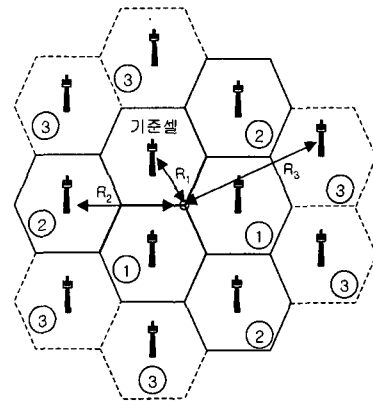


그림 1. 다중접속 간섭모델
Fig 1. Multiple access interference model

그림 1은 이동국이 기준 셀에서는 가장 멀리 떨어져 있고 인접 셀에서는 가장 가까운 위치에 있을 때로서 신호의 수신상태가 가장 열악한 경우이다. 기준 셀의 반경을 R_1 이라고 하면 셀 ①에 의한 간섭의 세기는 기준 셀의 간섭세기와 같으며 셀 ②에 의한 간섭의 세

기와 셀 ③에 의한 간섭의 세기는 거리에 따라 달라진다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다[3].

$$\begin{aligned}
 I_2 &= (K_c + 1) \sum_{k=1}^k \frac{2}{3M} E_b \cdot A_k^2 \\
 &= (K_c + 1) \frac{2}{3M} E_b \cdot A_0^2 \\
 &\quad \cdot \left(\frac{2}{R^\alpha} + \frac{3}{(2R)^\alpha} + \frac{6}{(2.633R)^\alpha} \right) \\
 &= (K_c + 1) \frac{2}{3M} E_b \cdot A_0^2 \cdot 2.467
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

단, $\alpha = 3.5$ (도심지역의 전파감쇠 정수),
 $R = 1$ (기준 셀의 반지름),
 $2R =$ 셀 ②까지의 거리,
 $2.633R =$ 셀 ③까지의 거리.

그러므로 DS-CDMA 시스템의 신호전력 대 잡음전력비(SNR) γ 는 다음과 같다[5].

$$\gamma = \frac{E_b \cdot A_0^2}{MUI + N_0}
 \tag{6}$$

2.2 인빌딩 환경에서 WCDMA/TDD 시스템의 셀 간 간섭 분석

WCDMA/TDD시스템은 가드타임에 대한 문제점 때문에 피코 셀이나 인빌딩 목적으로 적용할 경우, 각 층은 단일 셀로 형성이 된다. 따라서 고층 건물에서의 셀 간 간섭을 고려한 시스템 분석 시 기존의 횡축 셀 간섭모델은 인빌딩 환경에서 적합하지 않게 된다. 따라서, 본 절에서는 인빌딩 환경에서 셀 간섭을 분석하는 모델로 종축으로 형성되는 셀 간섭모델을 제시한다. 간섭분석 모델은 그림 2와 같고 종축 셀형성 환경에서는 층간 간섭에 대한 영향을 고려해야 한다. 여기서, MUI는 동일 셀내에서 간섭 I_1 과 층간 셀로부터의 간섭 I_2 의 합이 된다[5]. 거리에 따른 층간 셀로부터의 간섭은 감쇠정수 α 에 의해 간섭의 영향을 받는다.

각 층에 대한 간섭의 영향은 층간을 구성하는 건축 자재에 따라 감쇠정수 α 에 의해 신호전력이 감쇄된다. 또한, 투과 층수가 많을수록 감쇠정수 α 가 커지므로 간섭의 영향이 작아짐을 알 수 있다.

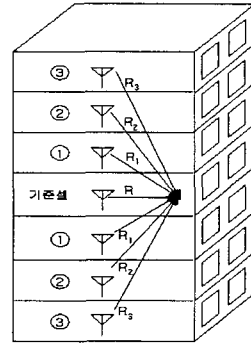


그림 2. 빌딩내에서 층간 간섭분석 모델
 Fig 2. Floor interference analysis model in building environment

III. 간섭신호의 유입경로에 따라 건물재질의 투과손실을 고려한 층간 간섭분석

본 논문에서는 고층 건물내의 층간 셀구성에 있어서 기존의 층간 셀간섭 분석에서 고려되지 않았던 건물매질에 의한 영향을 분석하고, 건물의 구성 매질에 따른 손실치를 측정실험을 통하여 추출하였다. 특히, 매질에 따른 투과손실 측정시 직접과 경로로 유입되는 간섭신호와 기울기(slant)를 갖는 경로로 유입되는 간섭신호에 관하여 측정함으로써 층간 셀구성에 있어서 기준 셀로 유입되는 간섭신호의 경로에 따른 매질 투과 손실값을 구하였다. 그림 3은 기준 셀로 유입되는 간섭신호의 경로에 따라 건물재질의 투과손실을 고려한 간섭분석 모델이다.

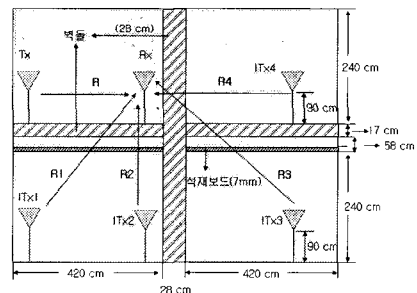


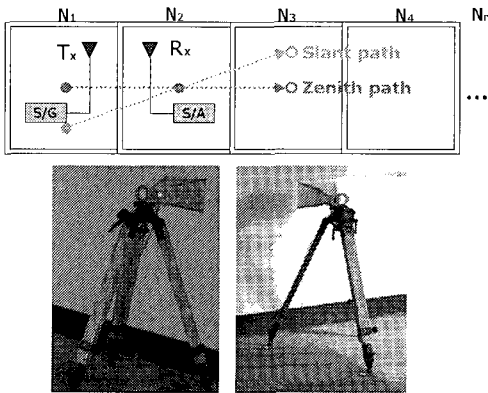
그림 3. 간섭신호 경로에 따른 층간 간섭분석 모델
 Fig 3. Floor interference analysis model according to interference signal path

도심지역에서의 전파감쇠와 함께 건축자재에 따른 신호감쇠 dB를 적용하여 각 층별에 따른 감쇠정수 α 를 산출하고 간략화된 층간 간섭분석모델을 기반으로 SNR을 산출하면 다음과 같다[5]. 본 논문에서는 건축자재에 따른 신호 감쇠에 대해 그림 3과 같은 간섭시나리오를 바탕으로 측정을 통하여 건물재질에 따른 투과 손실치를 구하였다.

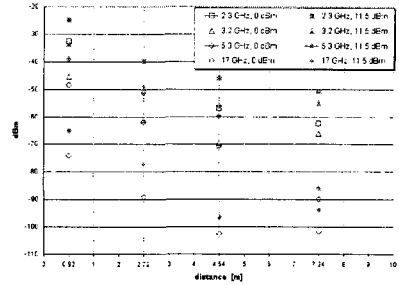
$$\begin{aligned}
 SNR &= \frac{E_b \cdot A^2}{\frac{2K}{3M} + \frac{2(K+1)}{3M} E_b \cdot A^2} \\
 &\cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1^{\alpha_1}} + \frac{1}{R_2^{\alpha_2}} + \frac{1}{R_3^{\alpha_3}} + \frac{1}{R_4^{\alpha_4}} \right) + N_0} \\
 &= \frac{1}{\frac{2K + (2K+2) \times \alpha_{total}}{3M} + \frac{1}{r}} \quad (7)
 \end{aligned}$$

그림 3의 간섭분석 모델은 2층 구조를 갖는 건물모델이며 표 1은 건축 자재별 전파의 직접파 및 반사파에 대한 투과손실을 측정하여 정규화한 손실치이다.

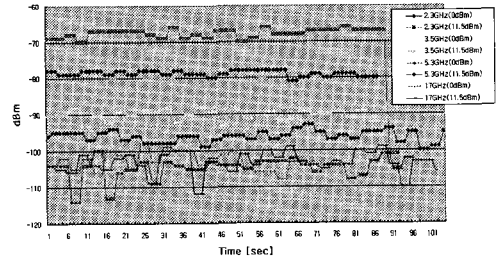
그림 4~그림 6은 그림 3의 간섭분석을 위하여 측정된 직접파 경로 및 기울기를 갖는 경로를 측정된 수신레벨을 나타내고 있다. 본 연구에서는 전파측정을 통하여 다양한 주파수 대역에서의 건물 매질에 따른 손실치를 표 1과 같이 도출하였다. 또한, 표 1의 파라미터를 기반으로 전파연구소 시험동에서 측정된 직접파 간섭신호와 기울기를 갖는 간섭신호의 투과손실을 고려하여 층간 간섭분석을 행하였다. 표 2는 층간 간섭분석에 적용된 시스템 파라미터를 나타내었다.



(a) 측정 시나리오 구성도(In-Indoor 환경)

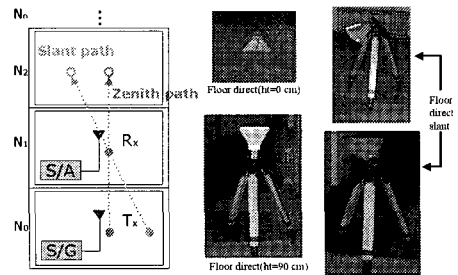


(b) Rx 위치에 따른 직접경로 수신레벨 측정결과

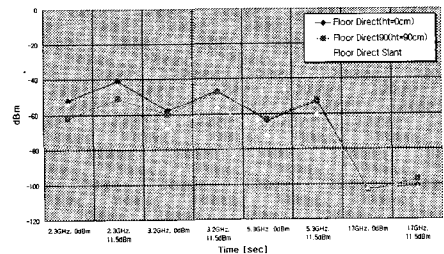


(c) 수평구조에서 기울기 경로 수신레벨 측정결과

그림 4. 층간 간섭분석을 위한 수평구조 수신 레벨 측정 결과
Fig 4. Horizontal received level measurement for floor interference analysis

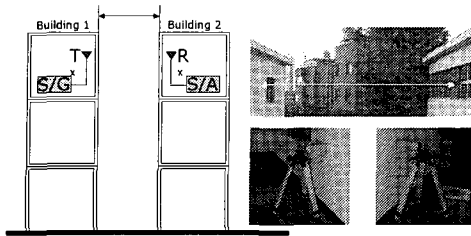


(a) 측정 시나리오 구성도(In-Indoor 환경)

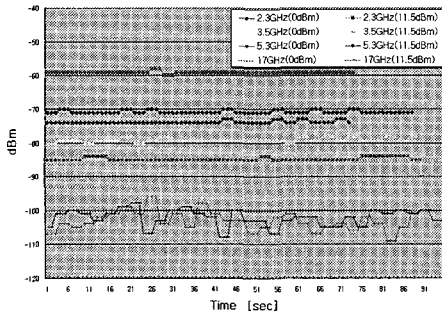


(b) 수직구조에서 직접경로 및 기울기 경로 수신레벨 측정결과

그림 5. 층간 간섭분석을 위한 수직구조 수신레벨 측정 결과
Fig 5. Vertical received level measurement for floor interference analysis



(a) 측정 시나리오 구성도(In-Out-Indoor 환경)



(b) In-Out-In 환경의 수평구조에서 직접경로 수신레벨 측정결과

그림 6. Indoor-Outdoor-Indoor 환경에서 수평구조 수신레벨 측정

Fig 6. Horizontal received level measurement in Indoor-Outdoor-Indoor environment

표 1. 건축자재의 종류별 전파의 투과손실

Table 1. penetration loss of propagation according to building materials

시료(두께)		주파수(GHz)			
		2.3	3.5	5.3	17
외벽재	칸막이 재료 Chipwood (1.23 cm)	2.4883	4.2441	4.677	5.1099
	벽돌 (28 cm)	27.07	36.2	39.5	65
	Reinforced glass (1.8 cm)	5.5617	5.8583	6.1550	5.3225
	Plywood (0.83 cm)	0.7873	2.6871	4.4405	6.1938
단열재	Acrylic (1.5 cm)	3.2526	3.2848	5.2763	7.2677

표 2. 성능분석 파라미터
Table 2. Simulation parameter

Length of PN code (M)	64
벽돌 투과손실 28cm 투과손실 17cm slant 투과손실 28cm slant 투과손실 17cm	27.07 dB 16.43 dB 35.07 dB 24.43 dB
석고보드 투과손실 7mm slant 투과손실 7mm	3.5 dB 11.5 dB
건물규모	870cm × 600cm
주파수	2.3 GHz
층간높이	3.5 m
Modulation	QPSK
Convolution Coding	R=1/3, K=9

그림 7은 AWGN 환경에서 투과손실을 고려하지 않은 경우의 시스템 성능과 건물 재질에 따른 투과손실을 직접파 간섭 성분만 존재하는 경우와 기울기를 갖는 간섭 성분이 혼재하는 경우의 시스템 성능을 나타내고 있다. 직접파 경로만을 갖는 간섭 신호의 경우, 분석 모델에서와 같이 간섭 경로의 수가 많지 않기 때문에 건물 매질의 투과손실을 고려하지 않은 경우와 거의 유사한 성능을 보이게 되지만, 직접파 경로와 기울기를 갖는 간섭신호가 혼재하는 경우는 표 2에서와 같이 기울기를 갖는 간섭신호의 경우 직접파 성분의 간섭신호보다 건물 재질에 따른 투과손실이 더 크기 때문에 간섭신호의 크기가 상대적으로 약해지므로 시스템 성능에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다. 결과적으로 AWGN 환경에서 직접파 성분만을 고려한 간섭신호와 기울기 성분을 동시에 고려한 간섭신호의 환경은 약간의 차이지만 간섭신호의 투과경로를 세분화함으로써 시스템 성능에 미치는 영향이 변화된다는 것을 확인할 수 있다.

그림 8~그림 10은 Rician 분포 모델을 이용한 페이딩 환경에서 Rician factor K값에 따른 간섭 신호의 영향을 나타내고 있다. K=0dB인 경우는 레일리 분포 페이딩을 갖는 환경으로 시스템 성능이 전체적으로 크게 열화됨을 알 수 있고 간섭으로 유입되는 신호역시 동일한 레일리 페이딩 특성을 받기 때문에 시스템에 미

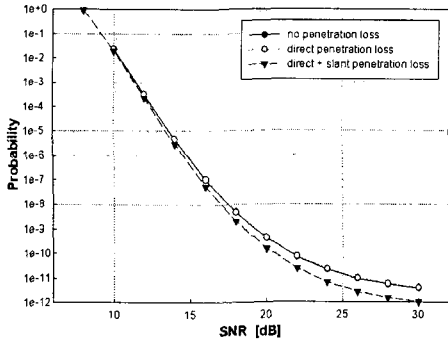


그림 7. AWGN 환경에서 층간 간섭 성능 비교
Fig 7. Floor interference performance in AWGN Environment

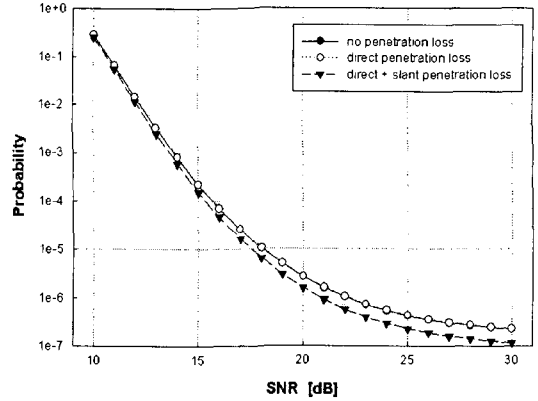


그림 10. 페이딩 환경에서 층간 간섭 성능 비교(K=8dB)
Fig 10. Floor interference performance in fading environment(K=8dB)

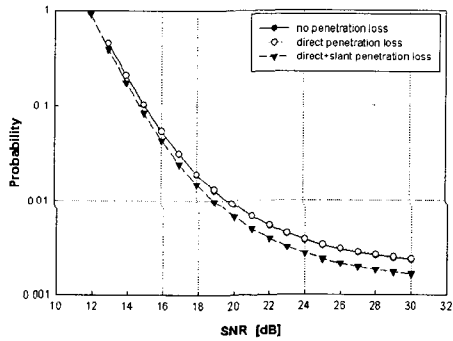


그림 8. 페이딩 환경에서 층간 간섭 성능 비교(K=0dB)
Fig 8. Floor interference performance in Rayleigh fading environment(K=0dB)

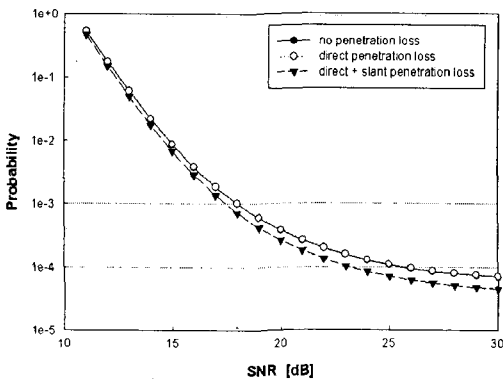


그림 9. 페이딩 환경에서 층간 간섭 성능 비교(K=4dB)
Fig 9. Floor interference performance in fading environment(K=4dB)

치는 영향이 동일하게 적용된다. K=4, 8dB인 경우는 레일리 페이딩보다 비교적 양호한 페이딩 분포 환경으로써 AWGN 환경에서의 시스템 성능과 유사한 패턴의 특성을 갖게 되고 간섭신호의 기울기 성분을 동시에 고려한 경우 시스템 성능에 변화가 발생함을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서 검토한 신규 광대역 무선통신 시스템은 향후 차세대 무선통신망으로써 맥내 및 고층 건물의 사무실에서 응용이 예상되기 때문에 광대역 신호의 건물재질에 따른 투과손실을 분석하여 무선 통신 시스템에 적용한다면 효율적인 시스템 설계가 가능하리라 생각된다. 또한, 본 논문에서의 간섭분석은 경로수가 비교적 작은 경우로 제한된 분석을 수행하였으나 고층의 층수가 많은 인빌딩 구조의 경우 건물의 매질을 투과함으로써 발생하는 투과손실을 고려했을 때 시스템의 성능변화에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 그러나, 국내의 환경에 맞는 건축 재질의 투과손실 즉, 전자기적 특성에 관한 연구는 매우 미흡하기 때문에 최우선으로 국내 환경에서 적용 가능한 건축 재질에 따른 전자기적 특성에 관한 연구가 수행되어야 한다.

감사의 글
본 연구는 산업자원부의 지역혁신인력양성사업의
연구결과로 수행되었음.

참고문헌

[1] H.L. Bertoni, W. Honcharenko, L. R. Maciel, and H.H. Xia, "UHF propagation prediction for wireless personal communications," *Proc. of the IEEE*, vol. 82, no. 9, pp. 1333-1359, Sept. 1994.

[2] S.Y. Seidel and T.S. Rapport, "914MHz path loss prediction model for indoor wireless communications in multifloored building," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, no. 2, pp. 207-217, Feb. 1992.

[3] K.M. Ju, C.C. Chiang, H.S. Liaw, and S.L. Her, "Radio propagation in office buildings at 1.8GHz," in *7th IEEE Int. Symp. PIMRC'96*, vol.. 3, pp. 766-770, Oct. 1996.

[4] Kerr, R., Wang, Q. and Bhargava, V. K, "Capacity Analysis of Cellular CDMA," *IEEE Proc. ISSSTA'92*, pp. 235-238, Nov. 1992.

[5] Kim, K. I., "CDMA Cellular Engineering Issues," *IEEE Trans. on. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 3, pp. 345-349, Aug. 1993.

저자약력

이양선(Yang-Sun Lee)



2001년 동신대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)
2003년 동신대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)

2004년 3월 ~ 현재 목원대학교 대학원 IT공학과 박사과정

※ 관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, UWB통신, 무선통신시스템

강희조(Heau-Jo Kang)



1994년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업(공학박사)

1996년 8월 ~ 1997년 8월 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수

1990년 3월 ~ 2003년 2월 동신대학교 전자정보통신공학부 교수

2003년 3월 ~ 현재 목원대학교 컴퓨터멀티미디어콘텐츠공학부 조교수

※ 관심분야 : 멀티미디어 통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, 무선통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, 밀리미터파, 디지털콘텐츠