

펨토셀 기반 계층셀 구조 시스템 용량 및 서비스 반경 분석

준회원 오 남 겐*, 정회원 김 훈*

System Capacity and Coverage Analysis of Hierarchical Femtocell Networks

Nam-geol O* Associate Member, Hoon Kim* Regular Member

요 약

최근 들어 실내에서의 고속 무선 통신과 음영지역 해소를 위한 해결책의 하나로 옥내용 기지국인 펨토셀(femtocell)을 활용하는 계층구조 방안이 제시되고 있으며, 이동통신 표준화 단체에서 관련 이슈에 대한 표준화 작업이 활발히 진행되고 있다. 그러나 펨토셀 환경에서 발생할 수 있는 여러 가지 기술적 문제들이 존재하며, 그 중 가장 중요한 문제가 간섭으로 인한 시스템의 열화이다. 따라서 전체 시스템의 안정적이고 효율적인 운용을 위해 펨토셀 환경에서의 상호 간섭과 이에 따른 시스템 성능 분석이 요구된다. 본 고에서는 펨토셀 설치 주변의 다양한 전파 환경을 고려하여 매크로셀(macrocell)이나 펨토셀간 상호 간섭에 따른 시스템 용량 및 서비스 영역을 살펴본다. 특히 펨토셀의 주 설치 지역이 되는 실내 환경에서 매크로셀과 펨토셀간의 거리, 펨토셀 내에서 사용자의 위치, 옥내 구조물의 특징 등을 반영한 의 전파전파 모델을 적용하고 그에 따른 주파수 효율성과 서비스 반경 등의 시스템 성능을 분석한다.

Key Words : Femtocell, Hierarchical Cell Structure, Capacity, Coverage.

ABSTRACT

Recently much attention has been devoted to femtocell's potential to improve indoor cellular coverage and high speed wireless communications. Femtocell based commercial services have been already launched in some countries and standardization activities are actively on-going, there has been concern however over potential issues of interference between femtocells and the micro/macro networks. With universal frequency reuse, the ensuing cross-tier interference causes unacceptable data rate and outage probability, so an analysis of effect of interference in femtocell embedded networks would be necessary for a stable system design. This paper investigates the effect of interference on system performances of femtocell embedded hierarchical cell structure (HCS) networks considering the characteristics of propagation environments. Various channel parameters are specially considered for indoor environments where most of femtocells are deployed to investigate the effect of interference of femtocell embedded HCS networks. System capacity and coverage are provided with variant distance between macrocell and femtocell, location of the user in femtocell coverage, and characteristic of building structures.

I. 서 론

현재 사용되고 있는 매크로셀 기반의 통신 시스템

은 기지국으로부터 먼 거리에 있거나 밀폐된 실내에 있는 사용자에게는 상대적으로 취약한 서비스를 제공 하게 된다. 이를 해결하기 위해서는 더욱 많은 기지국

※ 이 논문은 인천대학교 2009년도 자체연구비 지원에 의하여 연구 되었음.

* 인천대학교 전자공학과 무선정보전송 연구실(namgeol@incheon.ac.kr, hoon@incheon.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2009-04-150, 접수일자 : 2009년 4월 3일, 최종논문접수일자 : 2009년 6월 8일

을 설치해야 하지만 이는 많은 비용을 필요로 한다. 이 대안으로 펠토셀에 대한 연구가 최근 관심을 받고 있다. 펠토셀은 기존의 무선 공유기와 비슷한 작은 크기의 초소형 기지국으로서, 기존의 단말을 옥내의 digital subscriber line(DSL) 망 또는 케이블 광대역 망을 통하여 서비스 사업자의 네트워크에 연결시켜주는 소형 기지국이다. 사업자 측면에서 펠토셀의 도입은 커버리지 확보를 위해 많은 비용이 요구되는 매크로셀을 설치할 필요성이 적어지며 또한 고속의 서비스도 제공할 수 있게 됨으로써 다양한 홈 부가가치 사업을 펼칠 수 있다. 또한 사용자 측면에서는 실내에서 저렴한 가격으로 고속의 서비스를 안정적으로 제공 받을 수 있다. 이와 같은 장점에 따라 펠토셀 상용화와 표준화에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다^{[1][4]}. 국내에서는 Telecommunication Technology association(TTA, 한국정보통신기술협회)를 중심으로 와이브로(WIBRO) 시스템에 적용 펠토셀에 대한 표준화를 추진하고 있다. 표준화의 주된 내용은 와이브로 펠토셀 서비스의 정의, 개념 그리고 형태에 대한 것과 커버리지, 핸드오버, 동기기능, 기지국, 제어국, 그리고 인증 및 보안, 과금 등으로 국내 서비스 보급 확산에 대비하여 표준화 작업이 활발하게 추진되고 있다. 대표적인 이동통신 국제 표준화 기구인 3rd Generation Partnership Project(3GPP)에서도 Home Node B라는 명칭으로 wideband code division multiple access(WCDMA) 펠토셀에 대한 표준화를 진행 중에 있으며, 최근 차세대 이동통신 시스템의 대표적 표준화 기구인 LTE(Long Term Evolution) 역시 펠토셀 운용을 반영한 표준화 작업이 진행 중에 있다.

이와 같이 옥내에서의 서비스 품질 향상 및 전송률 증대를 위한 해결책으로 펠토셀이 주목 받고 있으며, 관련 표준화 작업도 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 그러나 펠토셀을 현실적으로 구현하기 위해서는 여러 가지 기술적 문제를 해결하여야 하며, 특히 펠토셀간 또는 매크로셀과의 간섭으로 인한 시스템 성능 저하에 효과적인 대응이 요구된다.

이를 위해 우선적으로 펠토셀 기반 시스템에서의 간섭과 이에 따른 시스템 성능 분석이 필요하다. 최근 계층셀 구조로 동작되는 시스템에서의 간섭 시나리오와 기본적인 셀 운용 방식에 따른 용량 분석에 관한 연구가 수행되어 왔다. [5]에서는 CDMA 계층셀 구조에서 계층셀간의 위치, 사용자 분포, 셀 반경 등에 따른 동시접속 가능한 사용자 수를 도출하고 분석하였다. [6]에서는 Worldwide Inter-operability for Microwave Access(WiMax) 시스템 orthogonal frequency division

multiple access(OFDMA) 하향링크 환경에서 매크로셀 반경, 펠토셀의 분포 및 계층간 핸드오프(handoff) 지원 여부 등에 따른 커버리지와 시스템 용량을 제시하였다. [7]에서는 펠토셀과 기존 매크로셀간의 간섭을 완화하기 위한 방법으로 하향링크와 상향링크에서 각각 계층간 간섭이 큰 영역에 위치하는 펠토셀 사용자(하향링크의 경우 셀 근처, 상향링크의 경우 셀 경계지역)의 주파수 대역을 매크로셀에 의해 할당되는 주파수 대역을 달리하는 주파수 재사용 방법을 제시하였다.

이상의 연구에서 공통적으로 옥내 전파전파 모델 등에서 비교적 단순한 전파전파모델이 적용되었다. 그러나 상당수의 펠토셀이 옥내에 설치되는 상황에서 적용되는 옥내 전파전파 모델, 펠토셀 및 펠토셀 접속 사용자의 위치 등에 따라 간섭의 영향과 시스템 용량에 대한 결과가 크게 달라질 수 있다. 즉, 사용자에게 신호가 도달하는 동안 통과해야 하는 벽의 개수, 옥내에서의 펠토셀과 사용자와의 거리, 옥내 구조물의 종류 등 다양한 환경을 고려한 보다 세밀한 시스템 성능 분석이 요구된다.

본 고에서는 펠토셀 기반 네트워크 성능을 보다 세밀하게 고찰하기 위해 세분화된 옥내 전파전파 모델을 적용한다. 벽의 개수 및 구조물 종류 등 전파전파 모델 파라미터 값과 펠토셀 접속 사용자 위치 등에 변화를 주면서 매크로셀 펠토셀간 상호 간섭과 그에 따른 시스템 용량 및 서비스 가능 영역을 살펴 본다. 간섭 회피 기법이 적용되는 시스템 설계에 필요한 파라미터를 제시한다. 본 고의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 펠토셀 기반 계층셀 구조 셀룰라 시스템 모델을 소개하며, 제3장에서는 옥내 환경을 보다 세밀하게 반영할 수 있는 전파전파 모델을 소개한다. 제 4장에서는 모의실험을 통해 시스템 용량과 서비스 가능 영역 등의 성능 분석을 하고 제 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 매크로셀 반경 내에 다수의 펠토셀이 중첩되어 설치되는 계층셀 구조 시스템에서의 하향링크 통신을 고려한다. 그림 1과 같이 매크로셀의 반경이 M 이며, 송신전력 P_M 을 갖고 통신 하는 주파수는 모두 같은 대역을 사용한다. 매크로셀을 중심으로 다수의 펠토셀이 일정한 간격으로 분포하며, 펠토셀의 송신전력과 반경은 모두 동일하다고 가정한다. 단, 펠토셀의 위치가 매크로셀과 셀 중심이 이 겹치는 경우는 제외하며, 펠토셀 내에 위치하는 펠토셀 사용

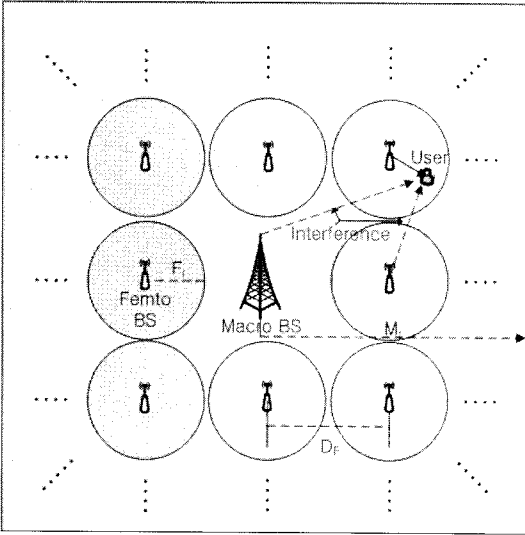


그림 1. 매크로셀-펌토셀 중첩 구조 시스템 모델

자를 고려한다.

통신 시스템에서 안정적인 통신을 위해서는 각 통신 시스템에서 원하는 요구 SINR을 만족해야만 한다. 그러나 위와 같이 동일한 주파수를 사용하는 계층 구조에서는 동일 계층(펌토셀)에서의 간섭뿐만 아니라 다른 계층(매크로셀)에서의 간섭도 고려해야 한다.

이런 환경에서의 펌토셀 j 와 통신하는 사용자 i 의 SINR_{ij}는 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR_{ij} = \frac{S_{ij}}{\eta W + I_M + \sum_{k \neq j} I_{ki}} \quad (1)$$

여기서 S_{ij} 는 펌토셀 j 의 사용자 i 의 수신 전력으로서 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$S_{ij} = P_F \cdot L_{ij} \cdot F_{ij} \quad (2)$$

식 (2)는 펌토 기지국에서 송신되는 전력 P_F 에 펌토셀 j 로부터 사용자 i 까지의 경로손실 L_{ij} 과 fading 성분 F_{ij} 의 곱으로 나타낼 수 있다.

I_M 는 매크로셀이 사용자 i 에게 미치는 간섭전력으로 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$I_M = P_M \cdot L_M \cdot F_M \quad (3)$$

I_{ki} 는 사용자 i 가 통신하고 있는 펌토셀 j 와 다른 주변 펌토셀 k 가 주는 간섭전력으로 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{kj} = P_F \cdot L_{ki} \cdot F_{ki} \quad (4)$$

η 은 백색가우스잡음밀도이며 W 는 대역폭이다.

III. 경로감쇄 및 간섭 모델

본 절에서는 펌토셀 사용자에게 대한 수신 신호의 세기와 간섭량을 계산하기 위해 적용되는 전파전파모델을 소개하고 간섭 시나리오에 따른 적용 방법을 기술한다.

3.1 경로감쇄 모델

대부분의 펌토셀 기반 계층 구조 성능 분석 연구에서 사용된 전파전파 모델은 ITU-R에서 제시한 경로감쇄 모델 중에서도 단순화된 모델이다⁸⁾.

본 고에서는 각기 다른 환경에서의 옥내 경로감쇄 정도를 보다 정확하게 반영하기 위해 기존 단순화된 모델이 아닌, 신호가 통과하는 벽의 종류와 수 등이 반영이 된 경로감쇄 모델을 사용한다. 경로감쇄 양을 L_I 라하면 경로감쇄 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$L_I = L_{fs} + L_c + \sum k_{wi} L_{wi} + n \left(\frac{n+2}{n+1} - b \right) L_f \quad (5)$$

여기서 L_{fs} 는 자유공간에서의 경로손실로서 송신기와 수신기 사이의 거리 R 과 파장의 길이 λ 에 따라 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_{fs} = -10 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (6)$$

L_c 와 b 는 실험적으로 얻은 상수값으로서 보통 각 37dB와 0.46의 값을 갖는다. k_{wi} 는 통과되는 i 종류 벽의 수이고 L_{wi} 는 i 종류의 벽 하나 통과 시 발생하는 경로손실이다. n 은 통과하는 층의 개수로서 보통의 옥내모델에서는 4를 사용한다. L_f 는 통과하는 층 하나에 의해 발생하는 경로감쇄이다.

L_{w1} 와 L_f 는 각각 벽의 종류와 층을 재질에 따라 각기 다른 경로감쇄값으로 결정된다. 표 1은 각기 다른 구조물 종류별 경로감쇄량을 정리 한 것이다. 표 1에서 L_{w1} 으로 분류되는 석고(plasterboard)나 창문 등의 구멍이 많은 벽의 경우에는 3.4dB의 손실이 발생하고 L_{w2} 에 속하는 벽돌이나 콘크리트 또는 구멍이 거의 없는 벽의 경우에는 6.9dB의 손실이 발생함을

표 1. 구조물 종류별 감쇄 량

Loss Category	Description	Factor (dB)
L_{w1}	- 석고(plasterboard) - walls with large number of holes	3.4
L_{w2}	- 콘크리트(concrete), 벽돌(brick) - minimum number of holes	6.9
L_{f1}	- 철근콘크리트(reinforced concrete) - thickness type < 30 cm	18.3

보인다. L_{f3} 로 분류되는 철근 콘크리트의 경우에는 18.3dB로 가장 큰 감쇄를 보인다.

Shadow fading은 log-normal 분포를 따르며, fast fading은 고려하지 않는다.

3.2 간섭 시나리오

본 고에서는 하향링크 펠토셀을 고려한다. 임의의 하향링크 펠토셀 사용자에게 미치는 간섭은 그림 2와 같이 크게 매크로셀로부터의 간섭과 주변의 다른 펠토셀로부터의 간섭으로 나눌 수 있다.

펠토셀 사용자가 옥내에 위치하는 상황으로 적용되는 옥내 경로감쇄 모델 (4)를 동일하게 적용한다. 모든 펠토셀의 반경 지점에 벽이 존재하고 내부 영역에 위치하는 벽의 수는 0 이상으로 한다. 그림 2는 위의 각 시나리오에서의 수신신호와 간섭 신호의 도달 경로를 보여준다. 매크로셀로부터의 간섭 신호 경로에서 통과되는 벽의 수는 펠토셀로부터 도달되는 간섭 신호가 통과되는 벽의 수보다 1개 작은 값을 가진다.

IV. 성능분석

그림 1의 매크로-펠토셀 중첩 구조 시스템 모델과

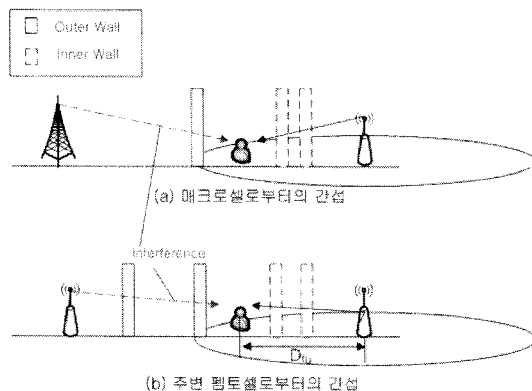


그림 2. 매크로셀-펠토셀 중첩 구조 간섭 시나리오

표 2. 모의실험 파라미터.

이름	수치
매크로셀 반경(M_r)	1 km
매크로셀 파워(P_M)	10 dB
펠토셀 반경(F_r)	25 m
펠토셀 간의 거리(D_F)	50 m
펠토셀 송신전력(P_F)	-20 dB
펠토셀의 개수	1681
잡음전력밀도(N_0)	140
shadow fading 표준편차	12

그림 2에서 제시된 간섭 시나리오를 기반으로 다양한 옥내 환경에서 펠토셀 시스템 주파수 효율 (b/Hz)과 기준이 되는 최소 주파수 효율 이상에 해당하는 서비스 반경을 도출한다.

4.1 모의실험 방법

매크로셀의 반경은 1Km이고 송신 전력은 10dBW이다. 펠토셀의 반경은 25m이고 송신전력은 -20dBW로 한다. 펠토셀 간의 거리는 50m이고 백색가우스잡음전력밀도와 shadow fading 표준편차는 각각 140과 12dB로 한다. 이때 펠토셀의 개수는 1681개가 되며, 표 2에 이상의 파라미터들을 정리하여 나타내었다.

이와 같은 시스템 및 셀 구조에서 옥내 환경 특성과 관련된 항목에 대한 파라미터를 달리하여 성능을 분석한다. 환경특성 관련 항목으로 옥내 구조물, 펠토셀과 사용자 간 거리, 펠토셀과 사용자 간 벽의 수, 매크로셀과 펠토셀간의 거리 등을 고려한다.

4.2 성능 분석

옥내를 구성하고 있는 벽의 구조물을 다르게 하면서 SINR의 분포와 주파수 효율성과 서비스 가능영역을 알아본다. 펠토셀과 사용자 간, 사용자로부터 펠토셀 반경에 위치하는 벽 사이에 위치하는 벽은 없다고 가정한다. 주파수 효율은 Shannon의 Capacity이론에 따라 $\log_2(1 + SINR)$ 의 수식으로 구하며, 모든 펠토셀의 주파수 효율의 평균값을 평균 주파수 효율로 구한다.

4.2.1 구조물 종류

그림 3은 각 구조물 환경에서의 펠토셀 사용자의 SINR 분포를 보인다. 철근 콘크리트의 경우가 가장 좋은 SINR 분포를 가지며, 석고재질의 경우 SINR 분포 특성이 가장 좋지 않다. 이는 철근 콘크리트의 경우 벽 구조물에 따른 간섭 전력이 18.3dB로 그만큼 SINR이 향상되고, 석고재질의 경우 간섭전력 감쇄가

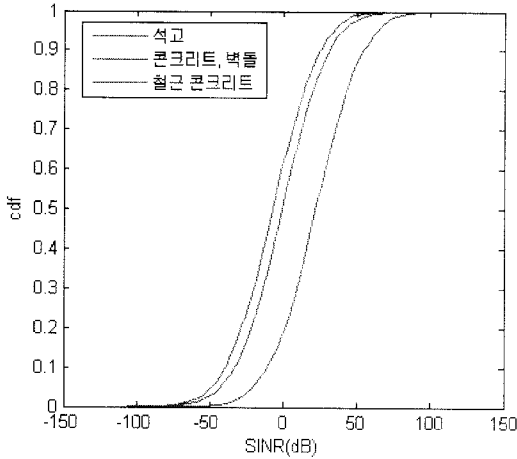


그림 3. 각 구조물에 환경에서의 SINR 분포

표 3. 구조물 종류에 따른 용량

종류	주파수 효율 (b/Hz)
철근 콘크리트	15.04
콘크리트, 벽돌	8.19
석고	5.92

3.4dB에 그쳐 철근 콘크리트에 비해 낮은 SINR을 가지는 것에 기인한다. 평균 주파수 효율은 철근 콘크리트인 경우와 보통의 콘크리트나 벽돌인 경우 평균 주파수 효율이 각각 15.0449(b/Hz), 8.1936(b/Hz)로 나타난다. 또한 석고재질의 구조물의 경우 5.9218(b/Hz)의 평균 주파수 효율을 보이며, 이와 같은 결과를 표 3에 정리하였다.

4.2.2 펠토셀과 사용자간 거리

펠토셀과 사용자 사이의 거리를 달리하여 시스템 성능을 분석한다. 펠토셀과 사용자 간, 사용자로부터 펠토셀 반경에 위치하는 벽 사이에 위치하는 벽은 없다고 가정한다.

그림 4와 5에 거리에 따른 SINR 분포와 평균 주파수 효율을 도식한다. 펠토셀과의 거리를 1m에서 펠토셀 반경인 25m까지 변화를 줄 때, 24b/Hz에서 10b/Hz범위의 평균 주파수 효율을 가진다. 수신 신호 감쇄 정도가 펠토셀과 사용자 간 거리에 비례하여 커짐에 따라 주파수 효율의 저하가 발생하며, 거리 변화 범위 내에서 평균 주파수 효율이 최대값 대비 최대 60% 저하가 발생함을 알 수 있다.

4.2.3 펠토셀과 사용자간 벽의 수

펠토셀과 사용자 사이 벽의 수(N_w)를 달리하여 시

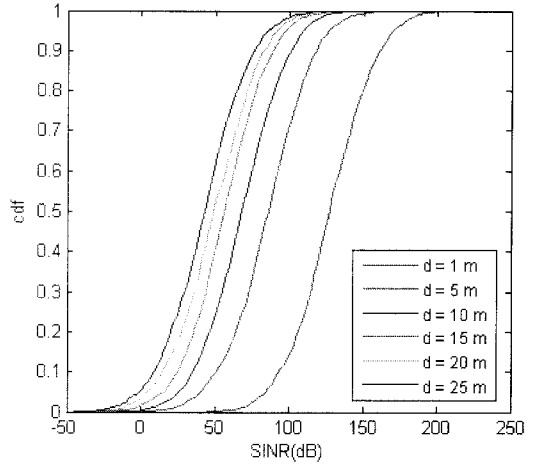


그림 4. 펠토셀과 사용자간 거리(d)에 따른 SINR 분포

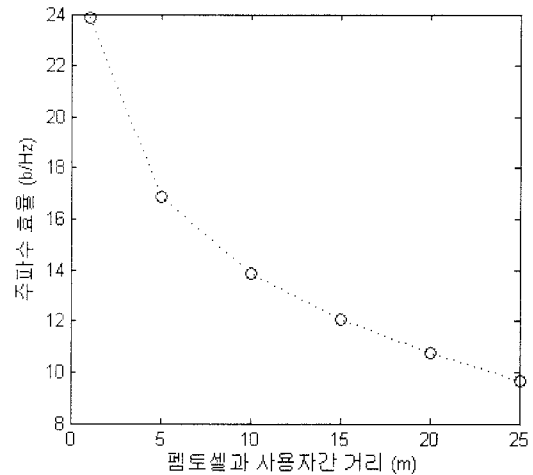


그림 5. 펠토셀과 사용자간 거리(d)에 따른 주파수 효율

스템 성능을 분석한다. 벽의 수를 0~5까지 달리 하여 SINR 분포와 평균 주파수 효율을 측정한다. 이때 간섭 신호 경로에 위치하는 벽의 수는 고정(매크로셀로부터의 간섭 : 1개, 펠토셀로부터의 간섭 : 2 개)되어 있고 벽 구조물은 벽돌이라 가정한다.

그림 6과 7은 벽의 수에 따른 SINR 분포와 평균 주파수 효율을 나타낸다. 그림 7에서 평균 주파수 효율이 통과하는 벽의 개수에 따라 선형적으로 감소됨을 알 수 있다. 이는 간섭 신호 경로의 벽의 수가 고정된 상황에서 수신 신호 경로의 벽의 수에 따라 감쇄되는 수신 신호 세기가 지수적으로 변화함에 기인한다. 수신 신호 세기의 지수적인 변화는 SINR 또한 지수적인 변화를 야기하며, dB단위의 SINR의 경우 선형적인 변화가 된다. SINR이 충분히 큰 범위에서 주파수

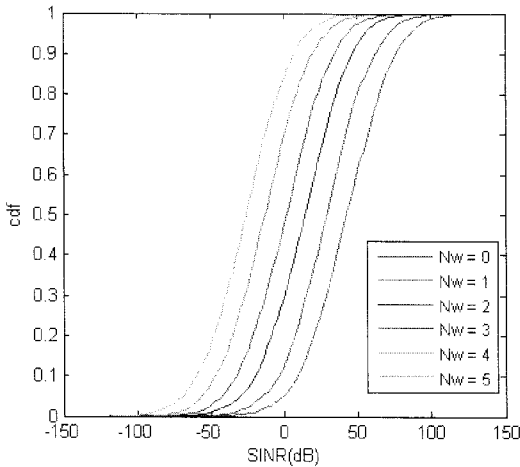


그림 6. 통과하는 벽의 수(N_w)에 따른 SINR 분포

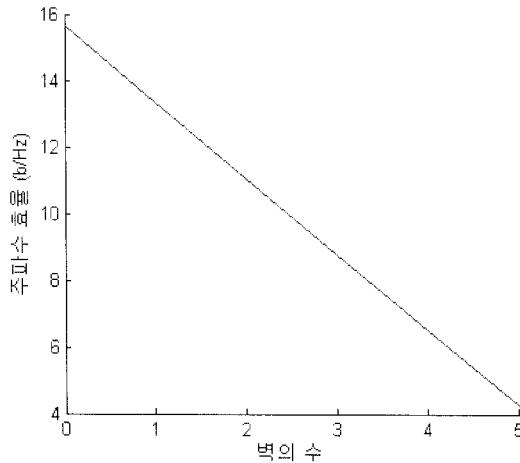


그림 7. 통과하는 벽의 수(N_w)에 따른 주파수 효율

효율이 SINR의 log-scale로 결정되므로, 결과적으로 벽수와 주파수 효율은 선형적인 관계가 된다. 그림 9에서 수신 신호가 벽을 하나도 통과하지 않는 경우 15b/Hz 정도의 수율을 보이며, 벽을 1개 통과할 때 마다 2.2b/Hz의 성능 저하를 가져옴을 알 수 있다. 통과하는 벽의 수가 5개 이르러서 최대치의 30% 수준의 평균 주파수 효율 성능을 보인다.

4.2.4 펠토셀과 매크로셀간 거리

사용자가 접속 중인 펠토셀과 매크로셀 간의 거리에 따른 시스템 성능을 보인다. 앞선 환경 특성 항목에서와 달리 각기 위치가 다른 모든 펠토셀에 대한 성능이 아닌 특정 지점에 위치하는 단일 펠토셀(관심 펠토셀)의 성능을 보인다. 관심 펠토셀이 매크로셀로 부

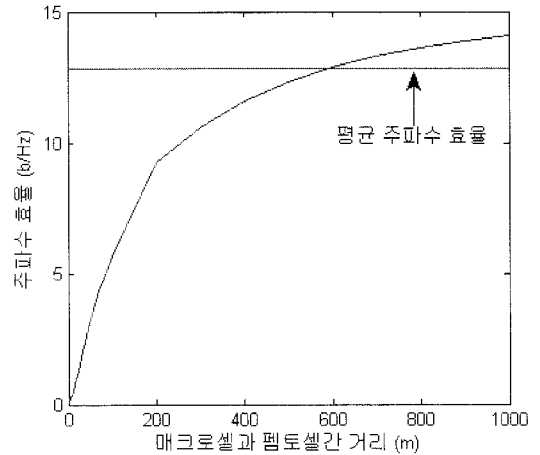


그림 8. 펠토셀 매크로셀간의 거리에 따른 서비스가능 지역

터 멀리 위치한 경우에는 매크로셀로부터의 간섭이 적어 상대적으로 좋은 성능을 가지며, 둘 간의 거리가 가까워 질수록 간섭 신호의 세기가 증가하여 성능이 저하된다. 본 모의실험에서는 두 셀간의 거리를 5m부터 1km까지 변화하면서 주파수 효율을 분석하였다. 그림 8은 두 셀간 거리에 따른 주파수 효율을 도시한다. 그림에서 펠토셀이 매크로셀 중심으로부터 500m 이내에 위치하는 경우 전체 펠토셀의 평균 주파수 효율의 50% 미만의 성능을 보임을 알 수 있다.

또한 각 펠토셀에 요구되는 최소 주파수 효율 기준을 5b/Hz로 하고 그 기준을 만족하지 못하는 상황을 outage 조건이라 하고 outage가 발생하지 않는 지역을 펠토셀 서비스 가능 지역이라 하자. 그림 8은 둘 간의 거리가 200m 이하일 때 outage가 발생함을 보인다. 즉 펠토셀의 위치가 매크로셀로부터 200m 이상 이격된 상태가 서비스 가능 지역이 됨을 알 수 있다.

4.2.5 구조물 종류 (서비스 가능 지역 성능)

1)에 언급하였듯이 옥내 벽 구조물 종류에 따라 신호의 통과시 경로감쇄 정도가 상이하고, 그에 따른 펠토셀 성능 차이가 발생한다.

B-1과 같이 옥내에서 사용자의 위치는 펠토셀 반경 중앙에 고정되어 있고 펠토셀과 사용자 사이에 벽이 존재하지 않는 환경에서의 펠토셀 서비스 가능 지역을 도출한다.

그림 9은 구조물 종류 차이에 따른 서비스 가능 지역이 되기 위한 두 셀간 이격 거리를 보인다. 최소 요구 주파수 효율을 5b/Hz로 하면, 철근 콘크리트의 서비스 가능 지역은 매크로셀과 펠토셀 간의 거리가 30m 이상이 되는 지역이며, 벽돌 구조물의 경우 220m

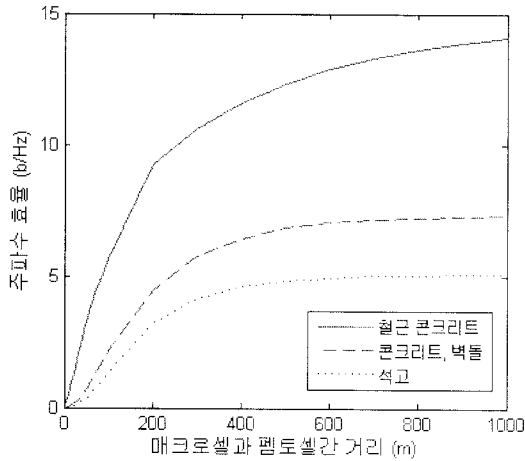


그림 9. 구조물 종류에 따른 서비스 가능 지역

이상, plasterboard의 경우 700m 이상이 되는 지역이 서비스 가능 지역임을 보인다.

4.2.6 펌토셀과 사용자 간의 벽의 수(서비스 가능 지역 성능)

펌토셀과 사용자 간의 벽의 수에 따른 서비스 가능 지역을 살펴본다. 간접 신호 경로에 위치하는 벽의 수는 고정(매크로셀로부터의 간섭 : 1개, 펌토셀로부터의 간섭 : 2 개)되어 있고 벽 구조물은 벽돌이라 가정한다.

그림 10은 벽돌 구조물에 대해 벽의 수를 0~3까지 달리하여 서비스 가능 지역 조건(두 셀간 최소 이격 거리)을 도시한다. 최소 요구 주파수 효율을 5b/Hz이다. 이 때 벽의 수개 1개일 때의 서비스 가능 지역은 셀간 이격 거리가 160m 이상인 지역이며, 2개인 경우는 이격 거리가 240m 이상, 3개인 경우 490m 이상인 조건을 만족하여야 한다.

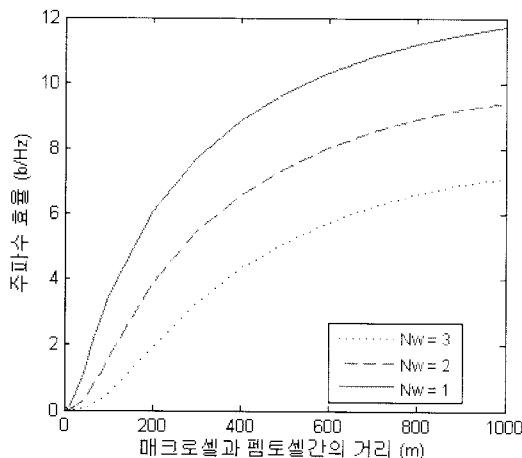


그림 10. 통과하는 벽의 수(Nw)에 따른 서비스 가능 지역

V. 결 론

본고에서는 매크로셀 반경 내에 펌토셀이 분포해 있는 중첩셀 환경에서 펌토셀을 실제로 상용화함에 있어서 다양한 옥내 건축물 특성을 고려하여 모의실험을 통한 분석을 하였다. 펌토셀의 성능은 건축물을 구성하고 있는 구조물, 실내 구조, 실내에서 펌토셀의 위치에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 outage 요구 조건을 만족하는 펌토셀 서비스 가능 지역 역시 환경적 특성과 셀의 위치에 따라 상이하게 나타난다. 이와 같은 옥내 환경의 다양한 특성과 펌토셀과 매크로셀간의 거리 등에 따라 달라지는 펌토셀 시스템 주파수 효율과 서비스 가능 지역의 관계를 셀 설계와 운용에 적극 반영함으로써 보다 효율적인 시스템 구축이 가능할 것이다. 또한 펌토셀을 활용한 고속 데이터 통신 서비스 제공을 위해 매크로셀 주변의 펌토셀에 별도의 주파수를 할당하는 등의 간섭완화 기법을 적용하는 방안에 대한 연구가 필요할 것이다. 동일한 형식으로 결론을 작성한다.

참 고 문 헌

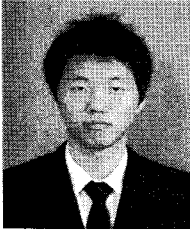
- [1] 3GPP TR25.820, "3G Home NodeB Study Item Technical Report", v8.0.0, March 2008.
- [2] 신재승, 신연승, 김영진, "3GPP Home (e)NodeB 기술동향", 정보통신 연구진흥원, 주간 기술 동향, 주간 기술 동향 통권 1336호, 2008년 3월.
- [3] Vikram Chandrasekhar and Jeffrey G. Andrews, "Femtocell Networks : A Survey", IEEE Communications Magazine, Vol. 46, pp. 59-67, Sept. 2008.
- [4] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Spectrum Allocation in Two-tier Networks", IEEE Trans. On Wireless Comm.
- [5] S. Yeh, S. Talwar, S. Lee, and H. Kim, "WiMAX Femtocells: A Perspective on Network Architecture, Capacity, and Coverage", IEEE Communications magazine, vol. 46, no.10, pp.58-65, Oct. 2008.
- [6] S. Kishore, L.J. Greenstein, H.V. Poor, S.C. Schwartz, "Uplink User Capacity in a Multicell CDMA System with Hotspot Microcells", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 5, no. 6, pp. 1333-1342, Jun. 2006.
- [7] I. Guvenc, M. R. Jeong, F. Watanabe, H.

Inamura "A Hybrid Frequency Assignment for Femtocells and Coverage Area Analysis for Co-Channel Operation", IEEE Communications Letters, Vol. 12, NO. 12, Dec. 2008.

- [8] ITU-R Rec. M.1225, "Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000."

오 남 곁 (Nam-geol O)

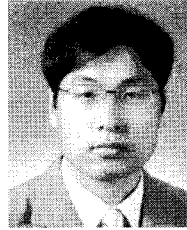
준회원



2009년 2월 인천대학교 전자공학과 졸업
2009년 2월~현재 인천대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 펠토셀 네트워크, 센서 네트워크

김 훈 (Hoon Kim)

정회원



1998년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업
1999년 2월 ICU 공학부 석사
2004년 2월 ICU 공학부 박사
1998년~2001년 ETRI 위촉연구원
2004년~2005년 삼성종합기술원 책임연구원

2005년~2007년 정보통신부 사무관

2007년~2008년 Stanford Univ. 박사후연구원

2008년~현재 인천대학교 전임 강사

<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 펠토셀 네트워크, 무선자원관리