

# 펌토셀 접근 제어

권정안 · 김병국 · 이장원 (연세대학교)

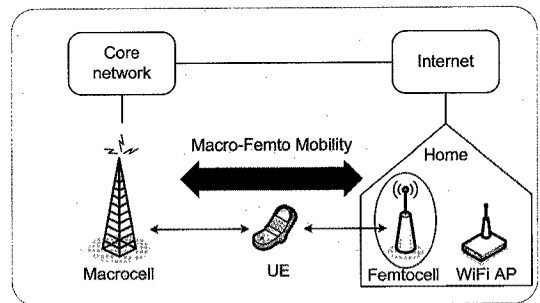
## I. 서론

무선 통신망을 통한 고속 데이터 통신을 가능하게 하기 위해서는 통신망 용량의 증가가 필요하다. 무선 통신의 용량을 증가시키는 방법은 여러 가지가 있지만 그 중 한 가지 방법으로는 셀의 크기를 줄이는 것이 있다. 즉, 기지국의 수를 늘려서 주파수 재사용률을 높이는 것이다. 이런 의미에서 셀의 크기를 극도로 줄여 가정용으로 활용할 수 있다면 효율적일 것으로 기대된다. 특히 가정은 대표적인 음영지역으로서, 실제로 반 지하구조의 가정의 경우 가정용 소형 중계기를 사용하기도 한다. 또한 대부분의 서비스 이용자들은 외부에서 이동중인 경우에 비하여 가정 내에서 더 안정적으로 높은 전송속도를 얻기를 원한다. 따라서 가정 내의 음영지역을 없애고 더불어 높은 전송률을 제공할 수 있는 새로운 기술로 최근 이동통신 사업자들이 펌토셀을 고려하고 있다.

펌토셀은 각 가정에서 사용할 수 있는 초소형 기지국으로서, 가정 내에 설치된 초고속 유선 통신망을 이용하여 옥내를 커버하는 기술이다. 일반적인 기지국이나 중계기등과 구별되는 펌토셀

의 특징은 <그림 1>과 같이 IP 망에 연결되어 일반 휴대폰으로 통신을 수행한다는 점이다. 따라서 사용자는 보다 저렴한 비용으로 끊임 없는 통신을 이용할 수 있으며, 기존에 사용하고 있는 IP 망을 이용함으로써, 자원의 낭비를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 중복된 서비스를 이용하기 위해 지출하는 비용을 줄일 수 있게 된다. 더불어 통신 서비스 사업자들은 기지국을 위해 별도로 전용선을 설치할 필요가 없고 원격으로 유지 및 관리가 가능하기 때문에 투자 비용 및 운용 비용의 감소 효과가 있다. 이러한 장점들 때문에 국내외 사업자들이 펌토셀과 관련된 연구 및 상용 서비스들을 확대하고 있는 추세이다.

이러한 장점들에도 불구하고 펌토셀의 상용화



<그림 1> 펌토셀 시스템

에는 셀 간 간섭이나 자원할당, 핸드오버, 보안 등의 기술적 이슈들이 존재한다. 특히 펠토셀의 접근 제어 (access control) 기법은 펠토셀 사용자 뿐만 아니라 기존의 매크로셀 사용자들의 성능에도 상당한 영향을 미친다. 펠토셀 접근 방식은 단말의 접근 허용 수준에 따라 폐쇄형 (closed), 개방형 (open), 혼합형 (hybrid)의 세 가지 모드로 나눌 수 있다. 각 접근 모드는 뚜렷한 장단점을 가지고 있으며 이와 관련하여 펠토셀의 탐색이나 핸드오버 등 해결해야 할 여러 가지 기술적 문제가 존재한다. 특히 펠토셀 표준이 정의되고 있는 3GPP LTE 시스템에서도 펠토셀 접근 기법에 관련해 많은 연구가 진행 중이다.

본 고에서는 각 접근 방식의 기술적 장단점을 살펴보고 펠토셀 접근 관리 및 제어와 관련한 3GPP LTE 표준화 기술에 대해 알아본다.

## II. 펠토셀 시스템의 접근 방식

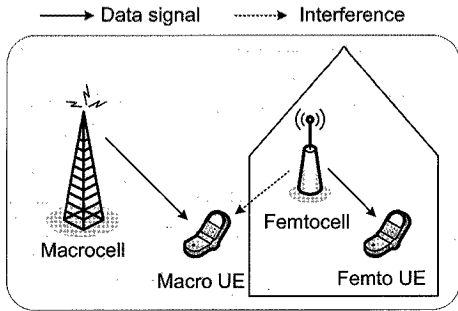
본 절에서는 펠토셀의 기본적인 세 가지 접근 모드의 동작 예와 기술적 이슈들에 대해 살펴본다. 폐쇄형 접근 모드의 펠토셀은 미리 설정되어 있는 closed subscriber group (CSG) 내의 단말들에게만 무선 자원의 사용과 서비스를 제공한다. 이와 반대로 개방형 접근 모드의 펠토셀에는 CSG가 설정되어 있지 않고 기존의 매크로셀처럼 모든 단말에게 접근을 허용한다. 두 접근 모드의 혼용 모드인 혼합 접근 모드에서는 각 펠토셀이 CSG를 설정하고 있지만 CSG에 포함되지 않은 단말들에게도 최소한의 QoS를 보장하기 위해 제한적인 접근을 허용한다.

### 1. 폐쇄형 접근 (Closed Access) 모드

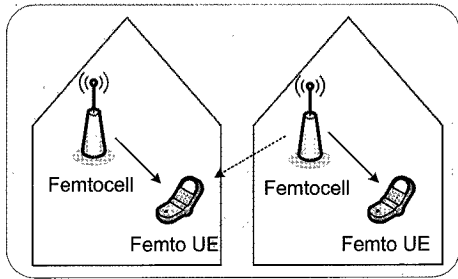
펠토셀은 2007년 Sprint사에 의해 미국에서 인구 밀도가 작고 이동통신망 서비스가 원활하지 않은 지역을 중심으로 설치되기 시작했다. 이러한 지역에서는 일반적으로 셀 간 거리가 멀고 그 수가 많지 않아 셀 간 간섭이 심각한 문제가 되지 않았다. 하지만 미래에는 오피스나 아파트와 같은 보다 밀집된 지역에서의 펠토셀에 대한 수요가 급증할 것으로 예상되고 있기 때문에 셀 간 간섭이 본격적인 이슈로 떠오르고 있다. 특히 폐쇄형 접근 모드의 펠토셀이 설치될 경우 간섭 문제가 더욱 복잡해 질 수 있다. 다음은 폐쇄형 접근 모드에서의 대표적인 두 가지의 간섭 시나리오를 살펴본다.

#### 가. 매크로셀과 펠토셀 사이의 간섭

첫 번째 간섭 시나리오는 매크로셀과 펠토셀이 서로 간섭을 일으키는 경우이다. 만약 폐쇄형 접근 모드로 동작하는 펠토셀의 CSG에 포함되지 않은 매크로 사용자가 해당 펠토셀의 인접한 지역에 들어왔다면 매크로셀 기지국보다 가까이 있음에도 불구하고 펠토셀로의 접근이 허용되지 않는다. <그림 2>-(a)는 위와 같은 상황에서 펠토셀의 하향링크가 인접한 매크로 단말의 하향링크 신호에 심각한 간섭을 발생시킬 수 있음을 도식화 한 것이다. 이와 마찬가지로 매크로셀의 상향링크 역시 펠토셀의 상향링크 신호에 심각한 간섭을 발생시킬 수 있다. 만약 펠토셀의 소유자가 인접해 있는 매크로 단말을 CSG에 업데이트 한다면 위와 같은 간섭 문제를 해결할 수 있지만 불특정 다수의 매크로 단말 대해서 현실적인 해결책은 아니다.



(a) 매크로셀과 펌토셀 사이의 간섭



(b) 펌토셀과 펌토셀 사이의 간섭

<그림 2> 폐쇄형 접근 모드의 간섭 시나리오

#### 나. 펌토셀과 펌토셀 사이의 간섭

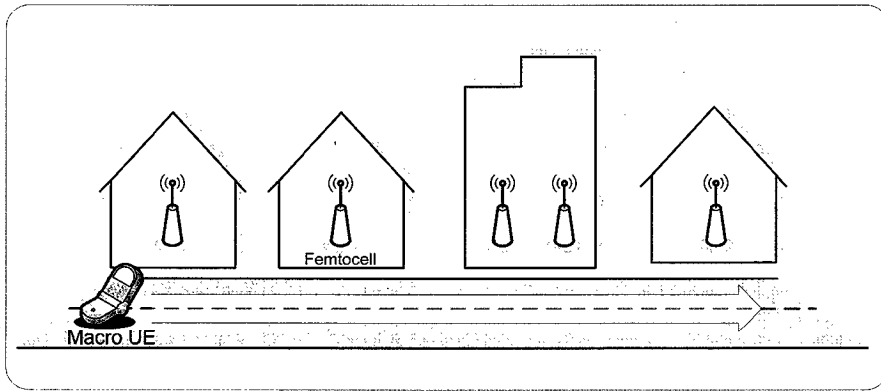
두 번째 간섭 시나리오는 펌토셀과 펌토셀이 서로 간섭을 일으키는 경우이다. 펌토셀이 사용자에 의해 직접 설치되는 경우 설치 장소를 예측할 수 없고 특히 주거단지와 같이 펌토셀의 밀도가 매우 높은 지역에서는 상당히 짧은 거리를 두고 다수의 펌토셀이 설치될 수 있다. 만약 <그림 2>-(b)와 같이 두 이웃 펌토셀이 매우 가까이 설치되어 있다면 두 펌토셀을 사용 중인 단말들은 서로 심각한 간섭을 겪을 수 있다. 이와 같은 문제는 펌토셀의 송신 전력이나 사용 채널과 같은 무선 자원의 관리와 간섭 제거 기술에 의해 어느 정도는 완화될 수 있다. 하지만 폐쇄형 접근 모드의 특성상 인접 펌토셀 단말, 특히 간섭을 발생시킬 수 있는 단말에 대한 CSG 관리가 불가

능 하다면 효율적으로 간섭 문제를 해결하기 힘들다.

## 2. 개방형 접근 (Open Access) 모드

개방형 접근 모드에서는 CSG에 의한 단말의 구분이 없기 때문에 모든 단말이 가장 좋은 성능을 제공하는 펌토셀에 접근이 가능하다. 따라서 폐쇄형 접근 모드에서와 달리 매크로 셀과 펌토셀 사이의 간섭 문제가 비교적 쉽게 해결될 수 있다. 또한 인터넷 백본 망을 사실상 무료로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 self organization에 의한 운용 정보의 자동 최적화를 보다 쉽게 구현 할 수 있다. 이러한 장점들 때문에 개방형 접근 모드는 폐쇄형 접근 모드에 비해 높은 셀 용량을 제공할 수 있다.

비록 개방형 접근 모드가 상당한 성능 향상을 제공하지만 폐쇄형 접근 모드에는 없는 새로운 기술적 문제들을 야기한다. 첫 번째로 모든 단말들에게 펌토셀의 자원을 공유할 수 있게 함으로써 펌토셀 소유자의 성능 열화와 프라이버시, 보안 등의 새로운 문제를 야기한다. 이는 많은 사용자들이 폐쇄형 접근 모드의 펌토셀을 선호하는 이유이기도하다. 두 번째 문제는 펌토셀의 수가 많아질수록 불필요한 핸드오버의 횟수가 증가한다는 점이다. 예를 들어 <그림 3>과 같이 빠른 속도로 도로를 지나가는 단말은 다수의 펌토셀 영역을 통과하게 되어 의도치 않은 핸드오버를 발생시킬 수도 있다. 핸드오버에 의해 증가된 시그널링은 네트워크에 걸리는 부하와 단말기의 배터리 소모를 증가시킨다. 이와 함께 많은 수의 펌토셀은 이웃 펌토셀 리스트의 설정과 업데이트를 부정확하게 만들어 핸드오버의 실패가 잦



〈그림 3〉 핸드오버 발생 시나리오

아지게 되는 원인이 될 수도 있다. 또한 현재의 이동통신 시스템에서는 neighbor cell list에서 관리할 수 있는 셀의 수가 제한적이기 때문에 핸드오버 시 많은 수의 이웃 펌토셀의 정보를 효율적으로 이용하기 위한 해결책이 필요하다.

### 3. 혼합형 접근 (Hybrid Access) 모드

앞 절에서와 같이 폐쇄형 접근 모드와 개방형 개방 모드는 각자 장점과 단점을 가지고 있으며, 두 기법의 단점을 보완하기 위해 절충안인 혼합형 접근 모드가 제안되고 있다. 혼합형 모드의 펌토셀은 폐쇄형 개방 모드와 같이 정해진 CSG에 속한 단말들에게 접근 자격과 일정한 서비스 수준을 보장하지만 설정된 CSG이외의 단말들을 위해 일정량의 자원을 사용할 수 있다. 하지만 펌토셀 자원의 일부를 공용으로 사용하는 것은 펌토셀 소비자의 서비스 만족도를 감소시킬 수 있으므로 네트워크 성능과 경제적 효과를 함께 고려하여 조심스럽게 설계되어야 한다.

논문 [1]에서는 펌토셀 시스템에 혼합형 접근 모드를 적용했을 때 얻을 수 있는 성능 향상을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 펌토셀이 CSG 이외의 단말들을 위해 많

은 자원을 할당할수록 사용자들의 outage 확률을 줄일 수 있음을 확인할 수 있다. 특히 펌토셀이 CSG에 속하지 않은 단말들을 위해 아주 작은 양의 자원을 공유하는 경우에도 outage 확률 측면에서 상당한 이득을 볼 수 있음을 알 수 있다. 따라서 사업자들은 혼합형 접근 모드의 펌토셀을 설치할 경우 제공하고자 하는 서비스에 따라 위와 같은 특성을 잘 고려할 필요가 있다.

## III. 3GPP LTE 시스템에서의 접근 관리 및 제어 기법

본 장에서는 3GPP LTE 시스템에서 펌토셀을 이용할 경우 이에 대한 접근 관리 및 제어 기법에 대하여 살펴본다. 펌토셀의 동작은 기본적으로는 매크로셀의 동작과 유사하므로 본 장에서는 매크로셀과 다른 펌토셀의 특징을 중점적으로 다루도록 하겠다.

### 1. 네트워크 아키텍처

먼저 펌토셀이 추가되었을 경우의 네트워크 아키텍처에 대하여 살펴보도록 하겠다. 3GPP는

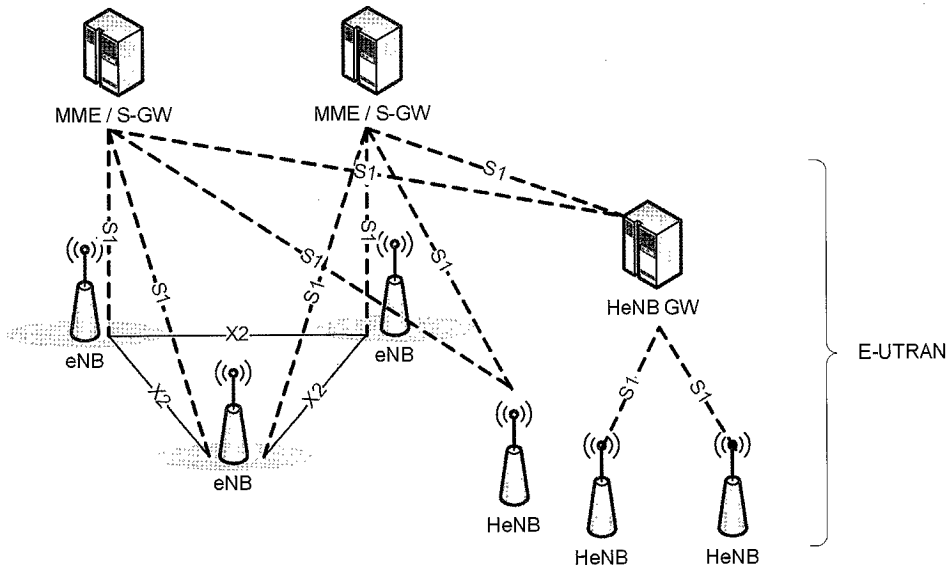
LTE 시스템에서 별도의 펄토셀 (HeNB)들을 관리하기 위한 HeNB-gateway (HeNB-GW)를 추가할 수 있도록 하였다. HeNB-GW가 추가되지 않는다면, 각 HeNB는 MME와 직접적으로 연결이 이루어지게 되고, 이 경우 펄토셀은 매크로셀과 유사하게 동작한다. 단, LTE에서는 각 펄토셀 간의 직접적인 연결을 위한 X2 interface를 정의하지 않고 있다.

HeNB-GW가 추가될 경우 E-UTRAN의 아키텍처는 <그림 4>와 같다. 이때 각 HeNB-GW는 일정 수의 펄토셀들을 관리하며 MME를 통하여 코어 네트워크와 연결되어 있다. 이 경우 모든 펄토셀들은 S1 interface를 이용해 HeNB-GW를 통하여 코어 네트워크와 통신하게 되고, HeNB-GW는 자신이 관리하는 펄토셀들의 자원 할당, 핸드오버, 컨트롤 메시지 전송 등을 담당한다. 핸드오버와 같이 펄토셀간의 컨트롤 메시지의 전송이 필요할 경우 이는 HeNB-GW를 통하여 이루어진다.

## 2. 펄토셀 식별

기본적으로 펄토셀 기지국은 매크로셀 기지국과 동일한 방식으로 동작한다. 각 펄토셀은 고유의 식별자를 가지고 있지만, 일반적인 통신에 있어서는 매크로셀과 동일한 PCI (Physical Cell Identity)를 이용한다. 이는 일정 지역 내에서 각 기지국을 구분 짓는 역할을 하며 펄토셀 기지국의 경우 전원이 켜질 때마다 바뀔 수 있다<sup>[2]</sup>. 펄토셀은 그 크기가 작고, 수가 매우 많으므로, 좁은 지역 내에 동일한 PCI를 갖는 펄토셀 기지국이 존재할 수 있을 것 (PCI confusion)으로 예상된다. 따라서 이를 해결하기 위한 연구가 필요하다.

앞에서 기술한 바와 같이, 일반적으로 펄토셀은 세 가지 모드로 구분지어 동작한다. LTE에서는 폐쇄형 접근 모드로 동작할 경우 각각의 CSG에 대하여 CSG identity를 정의한다. 이는 각각의 CSG를 나타내주는 식별자로서 동일한 CSG



<그림 4> HeNB 및 HeNB-GW가 추가된 경우의 E-UTRAN 아키텍처 <sup>[2]</sup>

를 담당하는 펌토셀 기지국들은 동일한 CSG identity를 갖는다. 하나의 단말은 여러개의 CSG identity를 할당 받을 수 있으며, 이를 관리하기 위해 CSG identity list를 갖는다<sup>[3]</sup>.

단말들은 펌토셀을 식별함에 있어, 각 펌토셀이 동작하는 접근 모드를 확인하여야 한다. LTE 시스템에서는 이러한 모드를 구분하기 위하여 CSG indicator를 정의하였다. 이는 폐쇄형 접근 모드의 셀일 경우엔 'true'의 값을 갖고 그 이외에는 'false' 값을 갖으며, 각 펌토셀은 이를 broadcast 한다. 이때 개방형 접근 모드인 펌토셀의 경우 CSG가 없기 때문에 CSG identity를 갖지 않고 혼합형 접근 모드인 펌토셀은 담당하는 CSG가 있기 때문에 이에 대응하는 CSG identity를 갖게 된다. 따라서 각 단말은 CSG indicator와 CSG identity의 존재 유무에 대한 정보를 통하여 각 펌토셀의 동작 모드를 확인할 수 있다. 예를 들어 자신이 속한 CSG가 없는 단말의 경우 인접 펌토셀의 CSG indicator가 'true'라면 해당 펌토셀로의 접근을 시도하지 않는다. 반면 CSG list를 가지고 있는 단말의 경우 CSG indicator를 확인한 후 해당 셀의 CSG identity를 이용하여 해당 셀을 식별한다.

### 3. 인접 펌토셀 탐색

한 개 이상의 CSG에 등록되어 있는 단말은 보다 저렴한 요금이나 혹은 양질의 서비스를 제공받기 위해서 등록 되어있는 CSG를 이용하여 서비스 받기를 원할 것이다. 따라서 이러한 사용자들에게 인접 펌토셀을 탐색하는 과정이 중요하다. LTE에서는 이를 위해서 자동 CSG 셀 탐색을 정의하고 있다. 이는 적어도 하나의 CSG identity를 가지고 있는 단말만이 수행하며<sup>[4]</sup> 이

에 관한 구체적 동작은 구현에 맡기고 있다. 일반적으로 펌토셀은 그 서비스 범위가 좁기 때문에 탐색과정을 자주 수행하는 것은 전력의 낭비를 초래하며 따라서 탐색 과정을 제한적으로 수행할 필요가 있다. 이를 구현하는 간단한 예로는 각 단말이 자신의 CSG 셀이 속한 매크로셀의 identity를 저장하고, 해당 매크로셀을 통하여 서비스를 받을 경우에만 펌토셀 탐색 과정을 수행하도록 하는 방법이 있다. 이외에도 GPS 수신 장치를 가지고 있는 단말이라면 이를 이용하여 자신이 CSG 셀 근처에 도달하였을 경우에만 인접 셀 탐색을 수행하도록 하는 방법이 있다.

인접 펌토셀 탐색 이후의 구체적인 접근 제어 과정은 기존의 매크로셀과 유사하게 동작하므로 본 고에서는 이에 대하여 생략하도록 한다.

### 4. 핸드오버

펌토셀의 도입으로 인해 보다 다양한 형태의 핸드오버가 발생할 수 있다. 즉, 기존의 매크로셀 (eNB)간의 핸드오버뿐만 아니라 펌토셀 (HeNB)간의 핸드오버와 매크로셀과 펌토셀간의 핸드오버가 추가되었다. 이들 중 매크로셀에서 펌토셀로의 핸드오버를 hand-in 혹은 inbound 핸드오버라 하고, 펌토셀에서 매크로셀로의 핸드오버를 hand-out 혹은 outbound 핸드오버라 한다.

앞에서 기술한 바와 같이 LTE에서는 기존의 매크로 셀과는 달리 펌토셀간의 X2 interface를 정의하지 않으므로 펌토셀로의 혹은 펌토셀로부터의 핸드오버가 발생한다면 이는 모두 S1 핸드오버 절차로 처리된다.

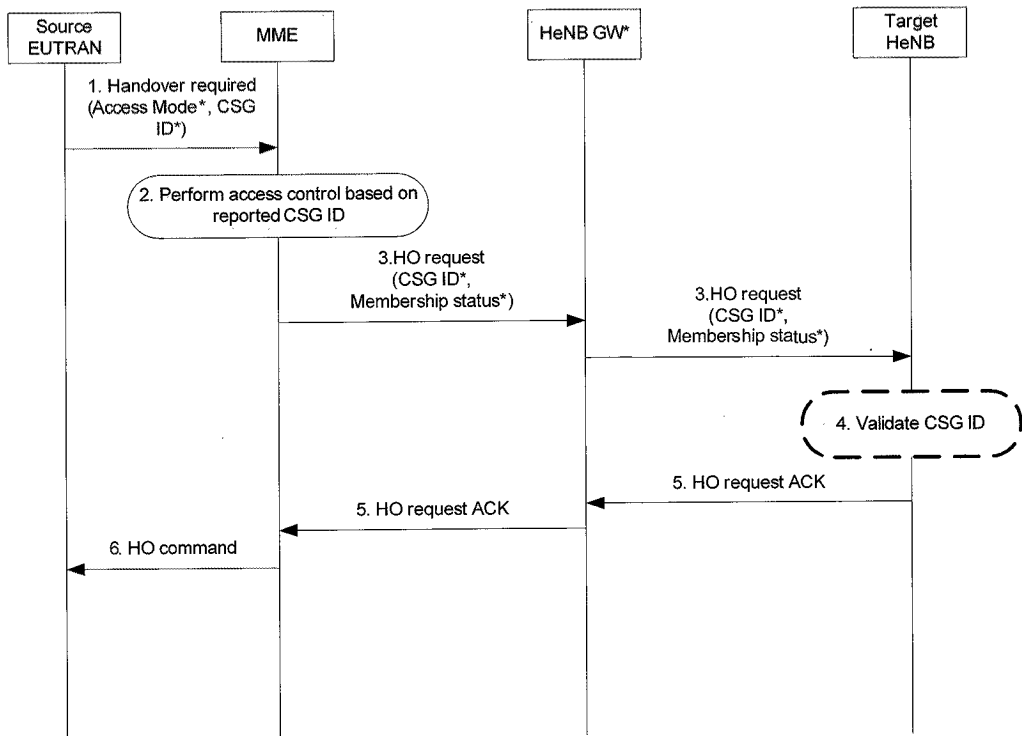
매크로셀은 펌토셀과 달리 모든 셀이 개방형 접근 모드로 동작하고, PCI 중복 할당 문제가 존재하지 않는다. 따라서 outbound 핸드오버의 경

우 별다른 추가기능 없이 기존의 매크로셀 간 핸드오버의 절차와 방법을 따른다. 이에 반하여 inbound 핸드오버의 경우에는 핸드오버의 대상이 되는 펌토셀의 동작 모드가 다양하고, 앞에서 언급한 PCI confusion 등의 문제가 존재하므로 보다 복잡한 절차와 과정이 요구된다.

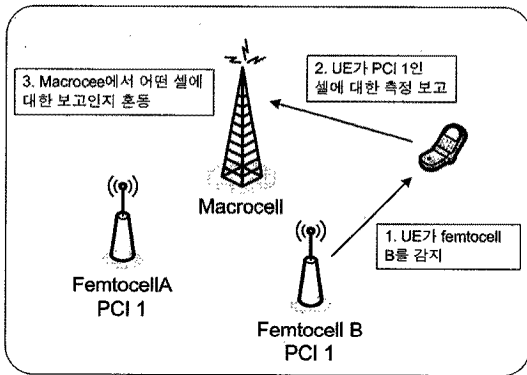
<그림 5>는 매크로셀 혹은 펌토셀로부터 폐쇄형 접근 모드 혹은 혼합형 접근 모드인 펌토셀로의 핸드오버 과정을 나타내고 있다<sup>[2]</sup>. 먼저 소스 E-UTRAN 즉, 현재 단말이 서비스 받고 있는 기지국 (매크로셀 혹은 펌토셀)은 MME에 단말이 핸드오버 하고자 하는 타겟 기지국의 CGI (Cell Global Identity)와 CSG ID를 포함한 Handover Required 메시지를 전달한다. 이를 전달받은 MME는 전달받은 정보의 CSG ID를

기반으로 하여 타겟 펌토셀로의 UE 접근 제어를 수행한다. 이후 MME는 타겟 펌토셀에게 CSG ID가 포함된 Handover Request 메시지를 전달한다. 이때, 타겟 펌토셀이 혼합형 접근 모드라면, CSG Membership Status 정보를 함께 전달한다. 이를 받은 타겟 펌토셀은 전달받은 CSG ID가 유효한지 확인하고, 유효하다면 자원을 할당한다. 이후 이에 대한 정보를 Handover Request Acknowledge 메시지에 실어서 MME를 통하여 소스 E-UTRAN에 전달한다.

이러한 inbound 핸드오버에서 발생할 수 있는 대표적인 문제점은 앞에서 논의한 바 있는 PCI confusion이다. 핸드오버가 발생할 경우 먼저 각 단말은 인접 셀들을 탐색한 후 핸드오버 하고자 하는 대상 셀의 PCI를 현재 자신이 속한 셀의 기



<그림 5> CSG 혹은 혼합형 접근 모드인 펌토셀로의 핸드오버<sup>[2]</sup>



<그림 6> PCI confusion의 예시

지국에 전송하고, 기지국은 이를 통하여 핸드오버 절차를 수행한다. 하지만 펌토셀은 그 크기가 매크로셀에 비하여 매우 작기 때문에 하나의 매크로셀 영역 내에는 여러개의 펌토셀이 존재한다. 따라서 <그림 6>에서와 같이 하나의 매크로셀이 관리하는 영역 내에 동일한 PCI를 사용하는 펌토셀들이 존재할 수 있다. 이 경우 매크로셀 기지국은 단말로부터 전송되어온 PCI 정보만을 가지고는 정확한 타겟 셀을 판별할 수 없게 되어 핸드오버 과정이 제대로 이루어지지 못할 수 있다. 현재 LTE 에서는 이러한 부분에 대한 연구가 진행되고 있다.

#### IV. 결론

본고에서는 3GPP LTE 시스템에서 펌토셀의 여러 접근 모드 및 접근 기법에 대하여 다루었다. 펌토셀 접근 모드는 현재 크게 세 가지로 나뉘어 있으며, 각기 뚜렷한 장단점을 지니고 있는 만큼 LTE에서는 상황에 따라서 서로 다른 모드를 사용하게 하고 있다. 펌토셀의 접근 기법의 경우 기본적으로는 기존의 매크로셀을 위한 것과 동일

한 방법으로 이루어진다. 하지만 펌토셀은 기존의 매크로셀과는 다른 특징을 지니고 있으므로 이를 위해 몇 가지 추가된 사항이 있다. 하지만 아직 해결하지 못한 문제점도 남아 있으므로 이에 대한 활발한 연구가 필요하다.

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임(No. 2009-0073581).

#### 참고문헌

- [1] A. Valcarce, D. Lopez Perez, G. De La Roche and J. Zhang, "Limited Access to OFDMA femtocells", in IEEE PIMRC, Sep., 2009.
- [2] 3GPP TS 36.300, E-UTRAN Overall Description.
- [3] 3GPP TS 22.220, Service requirement for Home NodeBs and Home eNodeBs.
- [4] 3GPP TS 36.304, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); UE Procedures in Idle Mode.



## 저자소개



권 정 안

2006년 2월 연세대학교 전기전자공학부 학사  
 2008년 2월 연세대학교 전기전자공학과 석사  
 2008년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사  
 과정

주관심 분야 : 펄토셀, 3GPP LTE, 스케줄링, 최적화,  
 Cognitive Radio

## 저자소개



이 장 원

1994년 2월 연세대학교 전자공학과 학사  
 1996년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사  
 2004년 8월 Purdue University, ECE, 박사  
 2004년 9월~2005년 8월 Princeton University, EE,  
 박사후연구원

2005년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학부 조교수

주관심 분야 : 네트워크 자원할당 및 최적화



김 병 국

2007년 8월 연세대학교 전기전자공학부 학사  
 2007년 9월~ 현재 연세대학교 전기전자공학과 석박사  
 통합과정

주관심 분야 : Opportunistic scheduling in communication  
 networks, Multi-hop relaying, Femtocell