

국내외 펌토셀 동향 및 전파이용조건 연구

A Study on the Radio Requirements and Trends for Femtocells

박진아 (J.A. Park) 스펙트럼공학연구팀 연구원
박승근 (S.K. Park) 스펙트럼공학연구팀 책임연구원

목 차

-
- I. 서론
 - II. 펌토셀 특징
 - III. 국내외 표준화 동향
 - IV. 국내외 산업체 동향
 - V. 펌토셀 기술 이슈
 - VI. 펌토셀 제도 이슈
 - VII. 시사점

본 논문에서는 FMC/FMS의 네트워크 진화에 따른 펌토셀의 도입 배경 및 특징, 국내외 펌토셀 표준화 현황, 통신사업자/제조업체 동향 등을 간단히 기술한 후, 국내 WiBro 펌토셀 도입을 위한 논의단계에서 검토해야 할 항목으로서 실내동기, 출력, 이용자 제한 등을 필수적인 전파이용조건 항목으로 제시하고 있다.

I. 서론

최근 국내 통신서비스 시장이 포화국면에 접어들고, 통신사업자의 경쟁심화와 수익성의 저하, 소비자의 다양한 요구는 통신시장에 또 다른 소비자 니즈를 만족할 서비스의 창출을 필요로 하고 있다. 이와 같은 요구에 부응하여 2008년 6월, '인터넷 경제의 미래'라는 주제로 10년 만에 개최된 OECD 장관회의 핵심의제 중 하나로 convergence가 논의되었고, 이러한 상황에서 정부가 규제완화 로드맵을 통해 유무선 교차진입을 허용하고, 신규 통신사업자의 출현을 독려하면서 사업자간 경쟁은 유선, 무선 또는 통신 역무와 관계 없이 더욱 첨예화 되어 가고 있다. 또 다른 변화 중의 하나는 '실내에서는 유선전화, 실외에서는 이동전화'를 사용하던 소비자의 통신기기 이용 패턴이 이동전화가 주는 '이동성'의 편리함을 이유로 점차적으로 실내에서도 이동전화의 사용량이 증가하고 있다는 것이다. 실제로 Yankee Group의 조사에 따르면, 장거리 전화의 80% 이상을 이동전화로 대체하는 것으로 조사되었고, Northstream은 현재 서유럽의 이동전화 이용률은 57%가 집과 직장 등 실내에서 이용되고 있다고 조사했으며, VisionGain은 2011년까지 3G 이동전화의 실내 이용률은 75%로 예상된다고 밝혔다[1]. 또한, 데이터 서비스의 90%, 음성서비스의 60%가 실내에서 일어날 것이라고 전망되고 있다[2]. 이러한 변화와 더불어 발달한 유무선 통신 기술은 유무선 통합(FMC) 및 유무선 대체(FMS)의 출현과 발전을 촉진시켰다. 피라미드 리서치에 따르면, 2009년 FMC 서비스 세계 시장규모는 800억 달러로 전체 통신시장의 6%를 차지할 것으로 전망했다[3]. 유선사업자가 무선사업자 영역으로 서비스를 제공하는 FMC는 단말기 하나로 실외에서는 이동통신 네트워크를 통해, 실내에서는 유선전화망인 IP 네트워크를 통해 통화할 수 있는 유무선 통합 서비스이고, 무선사업자가 유선사업자 영역으로 서비스를 제공하는 FMS는 이동통신망을 사용하되 집안 등 특정지역에서 이동통신 요금을 유선전화보다 저렴하게 설정해 유선서

비스를 일부 대체할 수 있는 서비스를 일컫는다[4].

FMC의 대표적인 원폰(Onephone) 서비스 사례로는 KT의 Du:, 덴마크 Duet, 영국 BT Fusion, 일본 Passage Duple 등이 있고, Wi-Fi 이동전화 듀얼 서비스로는 KT 네스팟 스위, 프랑스 Unik, 미국 T-Mobile Hotspot@Home 등이 있다. 현재까지 FMS의 홈존(Homezone) 서비스 사례에는 LGT의 기본Zone, 독일 Genion, 미국 T-Mobile@Home, 덴마크 UnoFon 등이 있다.

FMC 서비스들은 대부분 Wi-Fi로 대표되는 UMA를 이용한 별도의 듀얼 단말기를 필요로 하는 반면, FMS 서비스는 별도의 단말기 없이 기존 휴대폰 단말을 그대로 이용할 수 있는 장점이 있다. 특히, LGT의 기본Zone은 '알라미'라는 중계기 개념의 고정장치를 통해 단말기가 접속하는 경우, 유선전화의 저렴한 요금혜택을 받도록 한 서비스이고, 펌토셀(femtocell)은 무선랜과 같이 xDSL 망 또는 IP 망을 통해 서비스되는 차이점이 있다. 본 논문에서는 최근 활발히 논의되고 있는 펌토셀의 개념, 시스템 특징, 국내외 표준화 및 사업자 동향, 기술적인 문제점들과 정책적인 이슈를 다룬다.

II. 펌토셀 특징

펌토셀은 100조 분의 1을 의미하는 펌토(femto, 10^{-15})와 이동통신에서 커버리지를 정의하는 데 사용되는 cell의 합성어로서, 펌토만큼 촘촘한 커버리지를 제공한다는 의미를 갖는다. 앞서 언급한 바와 같이 펌토셀은 이동전화와 인터넷을 연결하여 저렴한 비용으로 유무선 통합 서비스를 제공하는 FMS의 대표적인 솔루션이며, 크기는 무선랜 AP와 유사하고 가격은 현재 200달러 미만이나 향후, 100달러 미만까지 예상하고 있다. 펌토포럼(femtoforum)에서 제공하는 펌토셀의 정의[5]는 다음과 같다.

Femtocells are low-power wireless access points that operate in licensed spectrum to connect standard mobile devices to a mobile op-

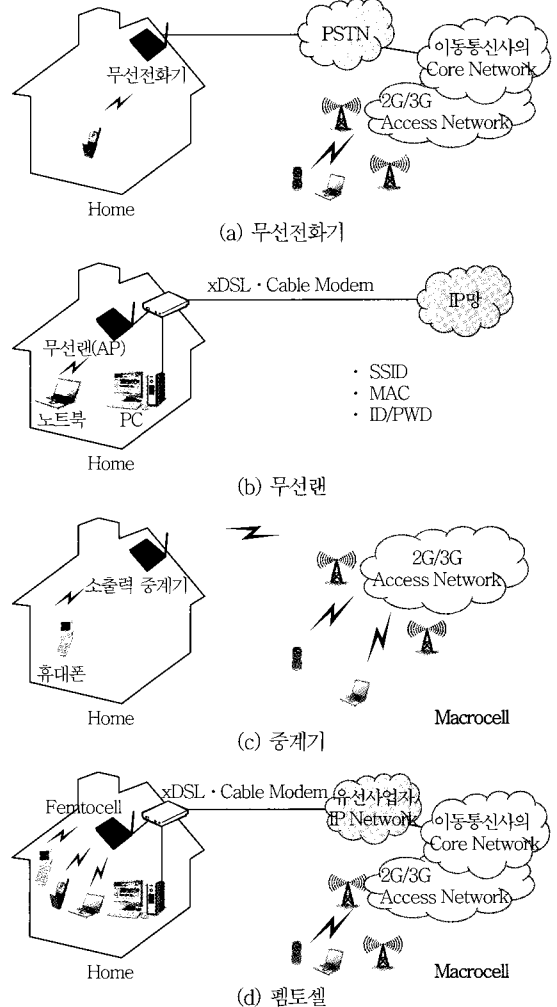
erator's network using residential DSL or cable broadband connections.

정의에서 알 수 있듯이 펌토셀은 가정이나 사무실 등 실내에서 사용되는 초소형 이동통신용 기지국으로서, 실내 커버리지 확대와 허가대역을 이용하고 기지국으로서 자체 용량을 갖는 데서 오는 통화품질 향상 등을 가장 큰 장점으로 꼽는다. 또한, 기존 단말기를 그대로 사용하고, 저렴한 요금제 혜택을 받을 수 있으며, 다양한 유무선 서비스를 효율적으로 제공할 수 있고, 기지국이기에 때문에 가능한 시스템 관리뿐만 아니라, 만약 펌토 서비스가 상용화 된다면 펌토에 붙은 단말정보를 수집할 수 있으므로 기존에 실내에서 이용하는 데 어려움이 있었던 위치기반서비스(LBS)를 구현할 수 있다. 이 밖에도 홈게이트웨이(home gateway), 저장장치로서의 역할 및 각종 홈 가전 소출력 장치간의 홈네트워킹(home networking)을 실현시킬 핵심장비가 될 것으로 전망되고 있다. 현재까지 펌토셀과 유사하게 실내에서 무선으로 이용할 수 있도록 제공되던 서비스에는 대표적으로 무선전화기(codeless phone), 무선랜(WLAN), 중계기(repeater) 등이 있다. (그림 1)은 펌토셀과의 망구성 차이점 및 특징을 나타내고 있다.

무선전화기는 10 mW의 출력으로, 46 MHz, 49 MHz, 900 MHz, 1.7 GHz 및 2.4 GHz 주파수 대역을 사용하여 단말기와 고정장치간을 무선으로 연결하여 PSTN 망에 연결되는 구조이며, 고정장치는 총 40개 채널 중에 가장 낮은 전계강도를 나타내는 채널을 선택하여 통신한다. 만약 40개 채널이 포화되는 경우에는 무선전화기 채널간 혼신이 발생할 수 있다. 무선랜의 출력은 MHz 당 10 mW를 사용하고 대표적으로 2.4 GHz(비허가 대역) 및 5 GHz 주파수 대역을 이용하여 단말기(노트북)와 무선랜 AP간을 무선으로 연결한다. 무선랜은 IP 망에 접속하여 주로 인터넷 서비스를 제공하기 위한 목적으로 이용된다. 무선랜은 11~13개 채널을 제공하며, 주변의 무선랜 이용에 따라 채널간 혼신이 발생할 수 있다.

중계기는 주거지역, 아파트, 빌딩, 지하의 음영지역을 해소하기 위한 장치로서, 무선랜과 같이 MHz

당 10 mW의 출력을 사용하고 허가대역을 이용하며 단말기와 중계기간, 중계기(광중계기를 제외)와 기지국간은 무선으로 연결된다. 중계기는 기지국과 용량을 공유하고, 기지국과 동일한 주파수를 사용함에 따른 혼신이 발생할 수 있다. 펌토셀의 출력은 현재 표준이나 기술기준으로 표준이 정해져 있지 않은 상태이며, 허가대역을 이용하여 단말기와 펌토간은 무선으로, 펌토와 2G/3G 이동통신망과는 backhaul로 널리 상용화되어 있는 광대역 유선 인터넷 망(xDSL) 및 전용 케이블 망을 통해 접속하는 구조이다. <표 1>은 기지국과 중계기 및 AP의 차이점을 간략히 정



(그림 1) 펌토셀과 무선전화기, 무선랜 및 중계기의 망구성 비교

〈표 1〉 기지국과 중계기 및 AP 시스템 비교

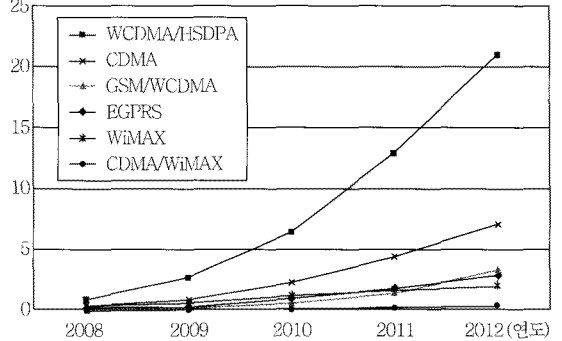
기지국	자체적으로 이동통신 호(call) 처리 수행이 가능한 시스템(STS, Node B, RAS) 높은 출력(43 dBm), Backhaul로 전용선 사용 <hr/> Femtocell Requires. Portable/~mW/~calls Plug and Play/Auto Configuration Handover/Backhaul(xDSL, cable...)
중계기	중계기는 기지국의 신호를 받아 단순 증폭해 주는 Direct 방식의 중계시스템(Repeater)과 Non-Direct 방식의 중계시스템(Relay)이 있으며, Relay는 Repeater와 달리 변조 및 복조과정을 통해 신호의 SNR 지원(일반적으로 중계기는 Repeater 의미) 낮은 출력(20 dBm 미만)
AP	802.11 기반의 무선랜에서 사용하는 AP를 일반적으로 일컬으며, 기지국과 유사하나 인터넷 접속이 주 목적, 낮은 출력(20 dBm 미만), Backhaul로 초고속 인터넷 보편 사용

리한 것이다.

무선전화기와 무선랜, 중계기는 현행 특정소출력 무선기기로 분류되어 방송통신위원회 고시 제2008-138호에 의거 비신고로 운영되고 있으며, 펌토셀에 관심을 보이는 사업자는 펌토셀이 비신고로 운영되어야 활성화 될 수 있다는 입장이지만, 펌토셀의 운영은 펌토셀이 기지국이라는 점과 출력 및 애플리케이션의 미정, 사업자간 간섭 정도에 따라 추가적인 논의 후 결정되어야 할 사항이다.

한편, 피코셀(picocell)과 펌토셀은 어떻게 다를까? 단위로는 펌토셀이 더 작은 의미를 갖지만, 이미 피코셀이 WLAN 등을 통해 피코셀의 영역을 넘어섰듯이 펌토셀 역시 펌토셀의 영역을 넘어서고 있고, 피코셀과 펌토셀의 구현기술도 WLAN 및 WPAN 등을 공유하고 있다. 따라서 피코셀과 펌토셀의 구분은 응용서비스와 망구조, 혹은 기존의 피코셀에서는 WLAN이 WPAN이 자가망으로 운영되는 비신고 AP 개념이었다면, 펌토셀에서는 공중망(사업자망)으로 응용되는 기지국이라는 등의 시각에서 셀을 구분해야 할 것이다. (그림 2)는 ABI Research가 조사한 펌토셀 시장예측 결과로서, 펌토셀 단가가 200달러 이하인 경우에 2012년까지 3,600만 개의 펌토셀이 설치되어 약 1억 200만 명의 사용자가 발생할 것으로 예측되며, WCDMA 계열 펌토셀이 전체

No. of Femtocells Shipped(Millions)



(그림 2) 펌토셀 시장전망

물량의 80%, CDMA 계열 15%, WiMAX 계열이 5% 미만으로 예측되고 있다[6].

Ⅲ. 국내외 표준화 동향





1. 국외 표준화 동향

펌토셀의 개념이 출현한 것은 약 4, 5년 전이고, 활발히 논의가 시작된 것은 표준화 기구마다 조금씩 다르지만 2007년 하반기부터이다. 비동기계열의 펌토셀은 3GPP, 동기계열은 3GPP2, WiMAX 계열은 WiMAX Forum을 중심으로 진행중이며, 또한 femtoforum과 IEEE 802.16m 등이 펌토셀 표준화를 논의하고 있다. femtoforum은 초기 펌토셀 홍보 및 펌토셀간 호환성, 그리고 WCDMA 계열을 중점적으로 다루었으나, 현재는 다른 펌토 표준화 단체와 연계되어 다양한 계열의 기술을 표준화 하고 있다. 현재 51개 provider와 28개 operator가 참여하고 있는 가운데, 4개의 작업반(WG)을 두고 연구를 진행하고 있다. WG1은 마케팅과 프로모션, WG2는 무선 및 물리 계층, WG3은 망 및 호환성 그리고

〈표 2〉 femtoforum의 펌토셀 애플리케이션

펌토 Class	Residential	Office	Enterprise	Metro
설치 위치	실내	실내	실내	실외
용량(user)	4	8	8	8/16
Power	<13 dBm	<13 dBm	<24 dBm	<24 dBm
Backhaul	IP	IP	IP	IP

〈표 3〉 표준화 기구별 동향

계열	동향		
 3GPP A GLOBAL INITIATIVE	'Home Node-B'라는 이름으로 2007년 3월, TSG RAN에서 표준화가 시작, SA도 진행 LTE/UMTS 공통/개별항목 정의, WCDMA HNB(상대적 관심 적음)/LTE HNB(관심 높음) 전반적으로는 Top level requires.만 정의한 상태(Technical issues 논의)		
	TSG RAN(2~4)	TSG SA(3, 5)	LTE/SAE
WCDMA 계열	WG2: 측정/핸드오버 WG3: 구조/기능/이동성 WG4: RF/Interference	WG3: 보안 WG5: 가입자 관리, 응급전화 지원/인증 및 위치관리	인식문제 핸드오버 프로토콜 이슈
 3GPP2 3G	2007년, 5월 회의에서 스프린트, 켈컴, LG사 등의 찬성으로 WI 선정 "cdma2000 air interface enhancements for Femto and Picocell support"		
	TSG-S(service and system aspects)	Other WIs	
CDMA 계열	WG1 진행 - S.P0126-0 v.1.0 publish (Network Architecture 완료) - 2008. 5., requirements에 대한 표준화 마무리 - 주요 내용: system/radio/mobility/security/ accounting/regulatory...	TSG-C WI - 펌토-피코 애플리케이션 - air interface enhance TSG-X WI - 펌토/마이크로/피코/매크로 HO TSG-A WI: 'Virtual A21' usage	
 WiMAX Forum WiMAX FORUM	2008년 1월, 하와이 미팅에서 SPWG WI 2.0으로 처음 제안 WiMAX SPWG에서 추진		
	Scope <SPWG>		
WiMAX 계열	- WiMAX 펌토셀을 위한 서비스 사례 정의 - 펌토셀 지원을 위한 PHY/MAC, 네트워킹, 단말 및 기지국 등 요구사항 정의 - WiMAX 매크로 네트워크와 기존 단말과의 호환성 확보를 위한 요구사항 - Beam forming, MIMO 등 진보된 무선접속기술을 위한 검토 - 네트워크 탐색 및 선택 지원 <향후 논의사항>: HO/Idle mode에서의 동작/동기화 및 상호간섭/자동설정 가능 NWG(Network WG, 2009. 4Q 표준예정)/TWG(Technical WG, 2008. 11. 결성) 연계		
 802.16m IEEE WirelessMAN 802.16	주로 Femtocell의 기술적인 문제 다룸 - Mobility/Interference/Synchronization/SON - 기타		

WG4는 제도적인 관점을 다루고 있다. <표 2>는 femtoforum에서 논의하고 있는 펌토셀의 애플리케이션을 나타낸다. 초기 주거형(residential)을 고려했지만, 2008년 하반기부터 office 및 enterprise형 애플리케이션 등 pico node B 영역으로 확대하고 있다. 이 밖에 기술 계열별 표준화 기구의 동향을 <표 3>에 나타내었다.

2. 국내 동향

국내에서는 (그림 3)과 같이 크게 한국정보통신기술협회(TTA)와 방송통신위원회(KCC)를 중심으로 펌토셀에 대한 표준화 연구가 진행되고 있다. TTA

에서는 이동통신기술위원회(TG) 7 산하 IMT Wi-Bro 프로젝트 그룹(PG) 702 산하 서비스 및 네트워크 작업반(WG) 7022에서 옥내용 펌토표준에 대한 요구사항을 정의하고 있으며, 기술보고서 <휴대인터넷 서비스 및 네트워크 요구사항>에 펌토셀 요구사항을 추가하여 개정하고, 현재 핸드오버 기능, idle 모드 기능, self-optimization & auto-configuration 기능 등에 대한 표준화를 추진중이다. 또한, TTA 포럼사업의 일환으로 2008년에 활동하던 펌토셀 포럼이 FMC 포럼으로 개명이 되어 IEEE/WiMAX, ITU, MNI, 3GPP/3GPP2, 응용 비즈니스 등 다섯 개 분과로 구성되어 표준화를 진행중이다. TTA는 WiBro 펌토셀 네트워크 구성을 세 가지 ASN Pro-

file Type(Profile A: Centralized Model/Profile B: OneBox Model/Profile C: Distributed Model) 중에 펌토셀 단독형(ASN Profile B) 또는 펌토-ACR 연결형(ASN Profile C) 동시 수용이 가능하도록 표준화하고 있다. 옥내용 휴대인터넷 서비스를 위해 펌토셀 서비스(가정용 휴대인터넷, 반경 30 m)와 피코셀 서비스(기업용 휴대인터넷, 반경 100 m)

를 구분하고, 펌토셀간 핸드오버는 지원하지 않으며, 옥외용 휴대인터넷 기지국과의 핸드오버 및 피코셀과 피코셀간, 피코셀과 옥외망과의 핸드오버를 지원하도록 규격화하고 있다. 또한, GPS 미수신에 대처하기 위한 별도의 수단을 논의중이며, 이 밖에도 인증, 보안, 망 관리에 대한 연구가 논의중이다.

TTA	
이동통신기술위원회 TG 7	TTA 포럼 표준화 사업중
IMT WiBro PG 702	FMC Forum 2008년 Femtocell Forum 활동
서비스 넷 네트워크 WG 7022	사무국: OSIA
옥내용 펌토 표준 요구사항 정의하는 수준	5개 분과 추진
	IEEE/WIMAX 분과
	ITU 분과
	MNI 분과
	3GPP/3GPP2
	응용 비즈니스 분과

(그림 3) 국내 펌토셀 표준화 현황

IV. 국내외 산업체 동향

1. 국외 동향

국외든 국내든 무선랜 AP 및 중계기 제조업체는 대부분 펌토셀 개발에 관심을 쏟고 있으며, 국외의 대표적인 end-to-end solutions 제조업체로는 Ericsson, 국내 SKT 및 KTF와 기술협력을 맺은바 있는 Huawei, Alcatel-Lucent, Samsung, NEC 등이 있고, chip vender로는 picoChip사와 최근 활발한 Percello, ARICNET가 있다. 또한 Femto AP에 주력하고 있는 제조 업체로는 Ubiquisys, SAGEM, ip.access, Airvana, THOMSON, AirWalk 등이 있다. 국외 사업자는 대부분 인빌딩 커버리지 확대용으로 펌토셀에 관심을 갖고, 개발 및 상용화를 위한

<표 4> 국외 사업자의 펌토셀 개발 동향

사업자	주요 도입 목적	기술 동향
O2	실내 커버리지 확대	2008년 2월 기술 이슈 검토를 위해 NEC, Ubiquisys와 영국에서 Trial 추진 2009년 Femtocell을 활용한 상용 서비스 제공 예정임
Vodafone	실내 커버리지 확대	2008년 1월 기술검토를 위해 ALU, Huawei와 Trial(스페인) 추진 Femtocell 장비가격의 저가화(100달러 이하) 요구
T-Mobile	실내 커버리지 확대 데이터 서비스 활성화	2008년 3월 영국에서 Trial, Ubiquisys에 투자 Wi-Fi를 이용한 고속 데이터 서비스 지속 제공 예정
NTT DoCoMo	Softbank 대응 실내 커버리지 확대	기존 기지국과 동일한 장비로 취급 2007년 9월 기지국 Only형 시험장비 설치를 통해 기술 검토 추진/ NEC Solution을 활용하여 2008년 3월 Trial추진
Softbank	데이터 서비스 활성화 (yahoo Japan 활용)	2008년 1월 NEC, ALU, Huawei 장비를 대상으로 BMT 추진 2008년 5월 상용 Trial을 추진/Wi-Fi를 이용한 고속 데이터 서비스와 병행 추진/ picoChip사로부터 ~백 식 구매 -> Trial
Sprint	실내 커버리지 확대 (음성위주)	2007년 9월 삼성 cdma 1x 기반 'Ubicell' 5만 대 도입(3개 도시) 2008년 미 전역 49주(알래스카 제외) 상용화 2009년 상용서비스를 목표로 WiMAX Femtocell 개발 기업용 Femtocell에 집중, H/O 등 일부 기능 고려 안함
AT&T	실내 커버리지 확대	2009년 상반기 대규모 상용화 계획(without IPSec) Cisco, ip.access사 10만 여 식 구매

trial을 시행하고 있다. <표 4>는 국외 대표적인 사업자의 펌토셀 연구개발 및 상용화 동향을 세부적으로 정리한 것이다.

2. 국내 동향

국내에서도 중계기, 무선랜 AP를 개발해왔던 제조업체들은 대부분 펌토셀에 대한 관심이 높으며, 기술 계열과 관계없이 현재 펌토셀을 개발완료 하였거나 추진중이다. 대표적으로 삼성은 cdma 1x 기반의 펌토셀, 'Ubicell'을 개발하여 미국 스프린트사에 판매하는 성과를 얻게 되었으며, 현재 cdma 1x+EV-DO 펌토셀을 개발중이다. 엑시엄와이어리스는 UMTS 기반의 펌토셀, 'Cello'를 개발했다. SK 텔레시스는 WiMAX 기반의 펌토셀을 개발하여 SKT와 상용화를 위한 협력을 계속하고 있으며, 또 다른 WiMAX 펌토셀 제조업체로는 주니 와이어리스, 영우통신, 솔리테크 등이 있다. 국내 사업자는 대부분 자체개발 보다는 국제 공동연구나 구매한 칩셋을 조립하여 테스트하고 기존 매크로 망과의 연동 등에 대한 연구에 중점을 두고 있는 형태를 띄고 있다. SKT와 KT는 주로 WiBro femto, KTF는 WCDMA femto에 연구를 집중하고 있다. <표 5>는 국내 대표적인 이동통신 사업자의 펌토셀 개발 동향을 정리한 것이다.

V. 펌토셀 기술 이슈

V장에서는 펌토셀의 편리성, 기술적 특징, 가격 경쟁력 등의 장점을 바탕으로 시장전망도 밝고, 제조업자와 사업자의 관심이 고조된 가운데, 기술적인 문제들로 인해 표준화와 상용화가 늦어지는 문제를 살펴본다.

1. Indoor Synchronization

펌토셀은 가정이나 사무실 등 실내 환경에서 이용되기 때문에 실내 동기가 대단히 중요하다. CDMA 계열 펌토셀은 현재 사업화하려는 사업자가 없고, WCDMA 경우에도 이미 많은 중계기가 배치된 상황인데다, 비동기, FDD 시스템이기 때문에 실내 동기문제에서 상대적으로 문제의 심각성이 덜하다. 따라서, 실내 동기에 대한 문제는 WiBro 시스템에 대해서만 다룬다. WiBro 펌토셀은 현재 별도의 기술 기준이 마련되어 있지 않았기 때문에, WiBro 시스템 기술기준인 방송통신위원회 고시 제2009-13호 무선설비규칙 제92조(휴대인터넷용 무선설비)를 따라야 한다. 주요 공통조건으로는 9 MHz의 점유주파수대폭, 사업자간 보호 대역은 4.5 MHz, OFDMA를 사용하는 TDD 시스템일 것 등이 있다. 특히, 기지국 송신 동기 오차(GPS 시간의 매 초를 기준으로 하여

<표 5> 국내 사업자의 펌토셀 개발 동향

사업자	동향
SKT	2007년, Huawei사와 공동 개발 합의/2009년 상용화 예정/CDMA Femtocell 계획 없음/WCDMA Femto 자체 개발 계획 없음(중계기 대비 경쟁력 없음, 가격 1.3배/ Huawei사 합동 시험/ WiBro Femtocell, 2009년 6월 개발완료 예정 - 가정용: 100 mW, 5 users(비신고) - 기업용: 3 W, Max. 100 users(허가사항) 'In-building lBcell'은 전용선 활용한 단순 기능만 구현(전파연구소 인증)
KT	2006년 10월 picoChip사와 전략적 제휴체결/삼성과 개발 협의/국책 연구과제 추진(~2009년): 표준화 및 기술확보/WiBro형 Femtocell 개발 추진, 시험 운용중 - Home Femtocell: 5~10 users, Max. 100 mW(10 mW/MHz), 1FA/Omni Ant.(비신고) - SOHO Picocell: 20~30 users, Max. 100 mW, 1FA/Omni Ant.(비신고) - In-building Picocell(Enterprise): 50 users, 1~10 W, 1FA/Omni Ant.(허가)
KTF	KTF 연구소+Huawei사와 연구개발 과제 수행(2008. 11.~2009. 5.) 현재 개발된 펌토셀 Lab test/WCDMA Femtocell 개발(현재 모델명 없는 상태) 삼성동, 일산, 고창, 고양(Home: 20 mW/Enterprise: 100 mW) 시험 운행
LGT	WiBro/CDMA/WCDMA Femtocell 특별한 개발계획 없음 '기분Zone' 운영중, Femto에 대해 상대적으로 관심이 적은 편

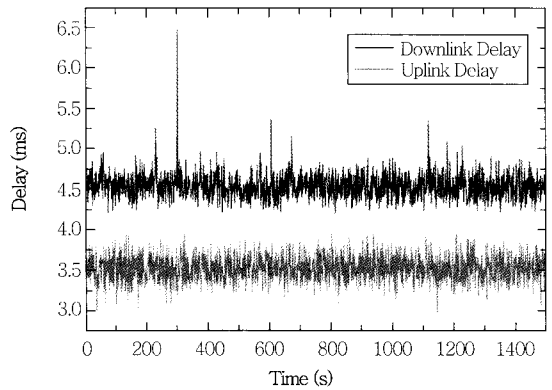
〈표 6〉 실내 동기를 맞추기 위한 대안

대안	내용	통신링크	비용
IEEE 1588	Packet Network 동기분배 방식 ITU SG5 G.8261, 'Timing over Packet', v.2로 마무리중 Up/Down Link의 양방향 대칭성이 확보되는 Ethernet 망에서 TDD 시간동기 정확도 확보 가능(전용선 사용하는 경우 가능성)	Network	저
CDMA 망 동기 방식	CDMA 1x DL의 Pilot, Synch. 채널 사용 Synch. 채널 내의 절대 시간 정보 확보	RF	중
Assist GPS (A-GPS)	실내형 GPS 소프트웨어적으로 수신감도를 높이고, 동기 맞추는 시간을 줄인 GPS	Satellite	중
WiBro 신호 동기	WiBro 매크로 망의 preamble 신호로 동기 확보 Macro 망 커버리지 내에서 펌토셀 사용하는 경우 적용 가능	RF	중

±20 μs 이내일 것)는 실내에서 이용되는 펌토셀의 경우 기술적으로 중요한 기술기준 항목이 된다.

매크로 셀 환경에서는 실외 GPS를 사용하지만, 펌토셀은 실내 애플리케이션이기 때문에 실외 GPS 신호 수신 불가로 인해 동기오차 기준을 만족하지 못하거나, 또는 수신하더라도 정확성이 저하되어 전파혼신의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 <표 6>과 같은 대안들이 논의되고 있다.

IEEE 1588은 Ethernet 망 기반 동기기법으로서, 실외 GPS를 통해 IEEE 1588 master clock을 동기시키고, 멀티캐스팅 프로토콜을 통해 동기 및 지연보상 시간 등의 정보를 200개의 slave에게 전달해주는 방식이다. IEEE 1588은 현재 네트워크에서도 널리 쓰이는 동기방식으로 up/down link의 대칭성이 확보된다는 가정 하에 합의된 프로토콜로서, 전용선을 사용하는 경우 사용이 가능하나, 펌토셀이 주로 사용할 xDSL 망은 (그림 4)와 같이 up/down link의 대칭성 확보를 보장할 수 없으므로, WiBro TDD 시간동기 오차 규격을 준수하지 못할 가능성이 있다[7]. CDMA 망 동기 방식은 CDMA 1x DL pilot/synch. 채널을 사용하여 synch. 채널 내의 절대 시간 정보를 확보하고자 하는 방식으로, synch 채널 복조까지 가능한 수신기(chip)를 별도로 구현해야 하는 비용의 문제와 CDMA 1x 기지국에서 펌토셀까지의 air delay 보상 문제, 특히 광중계기를 거쳐서 오는 경우는 delay가 클 수 있으며, 향후 CDMA 망 철거시 또 다른 대안을 모색해야 하는 한



(그림 4) VDSL 망에서 측정된 Delay 측정결과

계가 있다. A-GPS는 실내형 GPS로 휴대폰이나 내비게이션에도 응용될 수 있다. A-GPS는 인터넷 서버에 접속하여 위성의 위치정보를 받아 저장하고 있다가 GPS를 켜면 이 정보들을 이용하여 위성을 더 빨리 찾을 수 있도록 하는 방식이며, 정밀도 보다는 실용적인 측면으로 많이 고려되고 있다. 그러나 실내에서도 어느 정도(약 5 m)까지만 GPS 신호를 획득하게 되므로, 용례에 제한적이라는 문제가 있다. WiBro 신호동기를 이용하는 방법은 WiBro 매크로 망의 preamble 신호로 동기를 확보하는 방식으로 RF 중계기가 동기를 획득하는 모듈과 동일한 방식이다. 이 방식은 매크로 망 커버리지 내에서 펌토셀이 설치된 경우에는 적용이 가능하지만, 펌토셀은 실제 WiBro 매크로 망이 없는 곳의 커버리지 확장용으로 설치되는 용도이므로, 매크로 망이 없는 곳에 펌토셀이 설치될 확률이 높고, 이와 같은 경우 활용이 불가능하다는 문제가 있다.

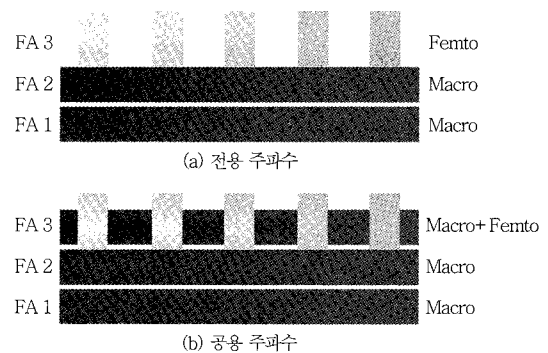
2. Auto Configuration

일반적으로 매크로 기지국은 각 이동통신사업자 소속의 기술자가 주변 전파환경을 종합적으로 판단하여 RF 출력, 기지국 IP 주소, MAC 주소, FA 설정 등 각종 파라미터를 설정한다. 펌토셀 역시 기지국으로서 여러 가지 파라미터의 설정이 요구되나, 실 내에 설치되고 또한 무선랜 AP와 같이 수없이 많은 빌딩 및 주택마다 일일이 기사가 방문하여 설치할 수 없는 펌토셀의 특징상 펌토셀에 요구되는 기술로 auto configuration 기능이 있다. Auto configuration 기능은 먼저 plug & play 기능을 이용하여 펌토셀을 망에 연결하면 설치(installation) 및 등록(registration) 과정을 거쳐 각종 필요한 정보를 다운받게 된다. 또한 주변 매크로 및 펌토셀을 검색하여 이웃 매크로셀 및 AP에 대한 정보(수신신호, 기지국 ID, FA의 프리앰블 인덱스, CINR 등)를 리스트업 및 등록하고 이 정보들은 차후 최적의 망구성 및 핸드오버 등에 이용된다. 이렇게 수집된 정보로부터 펌토셀은 주변에서 수신신호가 가장 작은 FA를 선택하고 수신신호 및 신호대잡음비(CINR)에 기반하여 초기 출력을 설정하고, 이용하지 않는 프리앰블 인덱스를 설정한다. Auto configuration 기능은 기술적으로는 동기, SON 및 핸드오버 이슈, 제도적으로는 접속규정(개방형/폐쇄형), 인증, 위치확인 등의 문제와 연결되어 아직 표준이 완성되지 않은 단계이다. 특히, 핸드오버와 관련하여 표준화 기구마다 입장이 다르지만, 주로 펌토셀과 매크로셀간 핸드오버만을 mandatory로 규정하고, 수백, 수천 개의 펌토셀에서 빈번하게 발생하게 될 핸드오버는 고가의 ACR 장비 투자문제, 한정된 프리앰블의 부족, 추가적인 스캐닝 등의 이유로 optional로 추진하고 있다. 또한, 셀 경계에서 발생하는 near-far 문제도 핸드오버 측면에서 어떻게 다룰지 많은 논의가 요구된다.

3. Carrier Deployment

펌토셀은 이동통신사업자의 허가대역을 사용하

므로, 매크로 셀과 펌토셀에 FA를 어떻게 배치할 것인가에 대한 논의도 활발히 이루어지고 있다. 크게 매크로셀과 펌토셀이 다른 FA를 사용하는 경우, 즉 펌토셀에 전용 FA를 설정해주는 경우와 매크로셀과 펌토셀이 같은 FA를 사용하는 경우로 나누어 생각할 수 있다. 기본적으로는 전용 주파수를 사용하는 경우가 공용 주파수를 사용하는 경우에 비해 상대적으로 혼신 가능성이 적고, 전용 주파수를 사용하는 경우라 하더라도 매크로의 용량부족에 따라 FA를 확장해야 하는 상황이 발생하면, 공용 주파수로의 전환이 요구된다. 혼신에 더 민감할 수 밖에 없는 공용 주파수의 경우, 매크로셀과 펌토셀 및 각 셀에 붙어 있는 단말의 거리 등에 따라 혼신의 정도가 심각할 수 있다. 예를 들어 매크로 신호가 높게 잡히는 지역(매크로셀과 펌토셀이 가까울 때)에서 단말기는 수신신호가 큰 매크로에 접속하게 되므로, 펌토셀을 사용할 수 없는 경우도 발생하게 된다. (그림 5)는 FA 배치 시나리오를 나타낸다[8].



(그림 5) FA 배치 시나리오

4. Coverage

셀 커버리지는 송신기의 출력과 밀접한 연관이 있다. 특히 현재 펌토셀의 출력이 표준이나 기술 기준으로 정해져 있지 않으므로 동일 사업자 및 타 사업자와의 매크로셀간, 펌토셀간 혼신을 분석하여 요구되는 서비스를 제공함과 동시에 혼신을 최소화할 수 있는 출력을 결정하고, 그 출력에 따라 허가 및 비허가로의 운영도 결정되기 때문에 커버리지는

<표 7> 실내·외 커버리지 비교

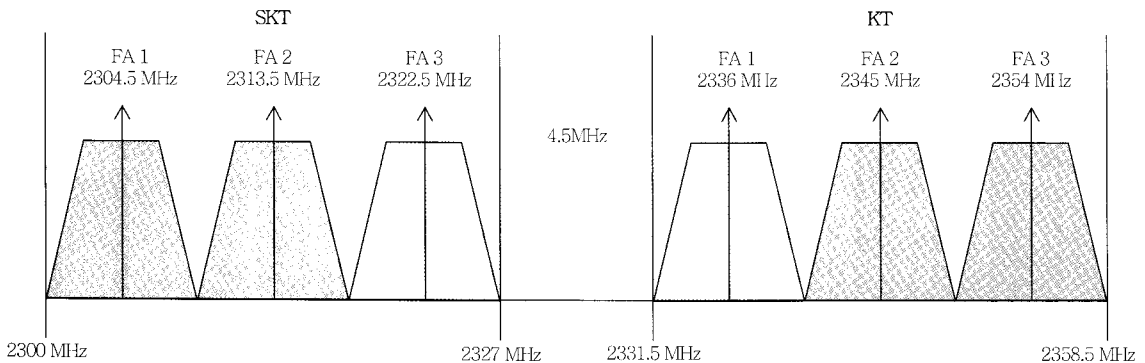
Coverage(%)		Large cell scenario				Small cell scenario				
		Sparse deployment		Dense deployment		Sparse deployment		Dense deployment		
		Public	Private	Public	Private	Public	Private	Public	Private	
FS transmit power	0 dBm	Indoor	99.7992	99.7992	98.3728	93.787	97.9310	93.7931	89.8050	70.0355
		Outdoor	75.4035	75.2498	72.9183	68.5603	71.3465	69.1297	67.8608	55.4464
	10 dBm	Indoor	100	100	98.8116	94.0828	99.0038	94.3295	91.3121	70.3901
		Outdoor	75.3267	73.1745	71.4397	57.4319	71.0181	64.1215	64.9468	33.4971
	20 dBm	Indoor	100	100	99.0385	94.1568	99.387	94.4061	91.1348	69.9468
		Outdoor	74.6349	68.6395	67.2374	37.7432	69.4581	51.6420	65.7658	13.5954
Coverage (%) without Femto-AP	Indoor	70.48		70.86		80.15		79.34		
	Outdoor	76.10		74.32		72.33		73.55		

중요한 이슈 사항이 될 수 있다. 출력과 커버리지 문제와 관련하여, <표 7>와 같은 시뮬레이션 결과는 많은 시사점을 가지고 있다[9]. <표 7>은 매크로 셀과 펌토셀이 공용 주파수를 사용할 경우로서, 'large cell'은 매크로 기지국 출력 46 dBm와 커버리지 1500 m를 표시한 것이고, 'small cell'은 매크로 기지국 출력 36 dBm와 커버리지는 500 m를 표현한 것이며, 'sparse'는 섹터 당 10명의 가입자, 'dense'는 섹터 당 100명의 가입자가 있는 상황이다. 또한, 앞서 언급한 open access는 'public'으로, close access는 'private'에 각각 해당한다. <표 7>의 커버리지 시뮬레이션 결과에 의하면, 1) 펌토셀 출력이 증가할수록 실내 커버리지는 증가하고 실외 커버리지는 감소하며, 2) private 운영보다는 public 운영이 커버리지 확대 효과가 크고, 3) small cell 시나리오에서 private 펌토셀 출력이 100 mW이면, 심각한 커버리지 축소가 발생한다 등을 관찰할 수가 있다. 따라서 매크로 망 구축 상황과 펌토셀 출력에

따라 실외 커버리지 축소가 심각하게 발생할 수 있으므로, 펌토셀의 설치권한은 일반 이용자에서 주는 것보다는 통신사업자에게 한정하여 부여하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

5. Interference

일반적으로 무선랜은 ISM 대역을 사용하기 때문에 기본적으로 혼신을 용인해야 하지만, 펌토셀은 허가 받은 사업자 대역을 이용하기 때문에, 혼신으로 인한 펌토셀의 QoS 저하는 매우 민감한 문제일 수 있다. 펌토셀과 관련된 혼신 시나리오는 동일사업자, 동일사업자 및 타 사업자간의 매크로셀간 혼신, 펌토셀간 혼신 등으로 다양하지만, 펌토셀의 비신고 운영과 관련하여 중요한 것은 타 사업자 펌토셀간의 간섭문제이다. 현재, femtoforum에서 공식적으로 발표한 UMTS 펌토셀의 동일사업자간 혼신 이외에 타 사업자간 펌토셀간 혼신 분석이 이루어지



(그림 6) 휴대인터넷 주파수 분배 현황

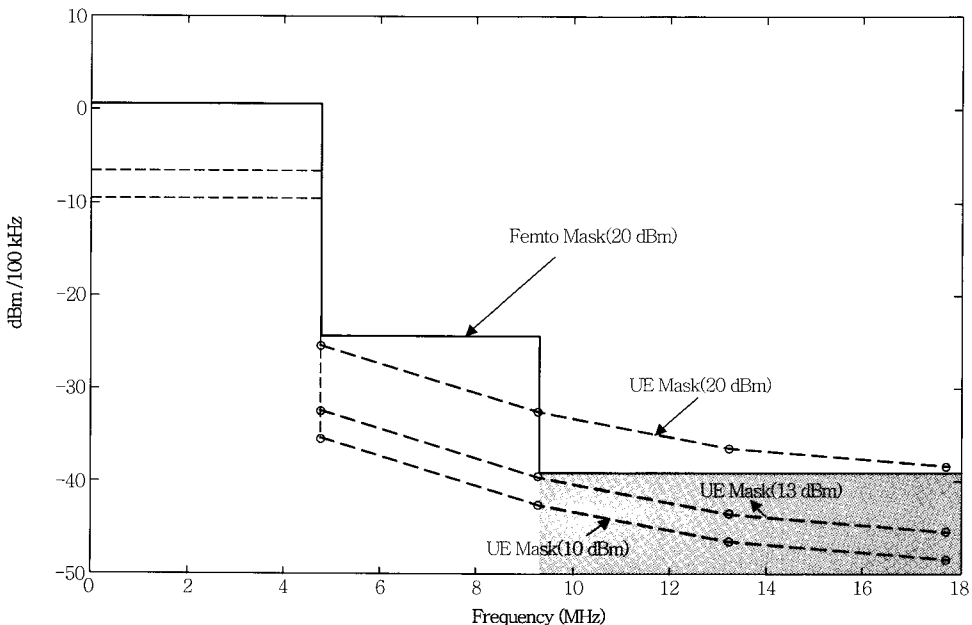
지 않은 상태이다. 특히, 현행 WiBro 기술기준의 스펙트럼 마스크는 매크로 기지국과 단말기간의 최소 이격거리 70 m라는 가정에서 도출되었기 때문에 펌토 기지국과 단말기의 공간거리는 3 m 이내일 수 있는 펌토셀 전파이용 환경에서는 맞지 않을 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 (그림 6)과 같은 WiBro 주파수 상황에서 SKT FA3번과 KT FA1번이 같은 건물, 같은 층에서 서비스 되는 경우에 대한 혼신분석을 수행하였다.

DL보다 UL 혼신이 더 민감하다는 게 일반적인 견해인데, 현재 국내 WiBro 기술기준에 의하면, (그림 7)과 같이 기지국의 불요발사 기준치가 기지국의 출력에 상관없이 동일한 절대치로 되어 있고, 단말기는 출력에 따라 불요발사 기준치를 상대적으로 적용하고 있다. 그러므로 단말기의 출력에 따라 타 대역에 누설되는 단말기의 불요발사 전력크기가 펌토의 불요발사 전력보다 작을 수 있다. (그림 7)의 스펙트럼 마스크에서 펌토 출력은 20 dBm(100 mW)로 가정한 것이고, 음영부분은 타 사업자의 수신대역으로 누설되는 불요발사 영역을 표시하고 있다.

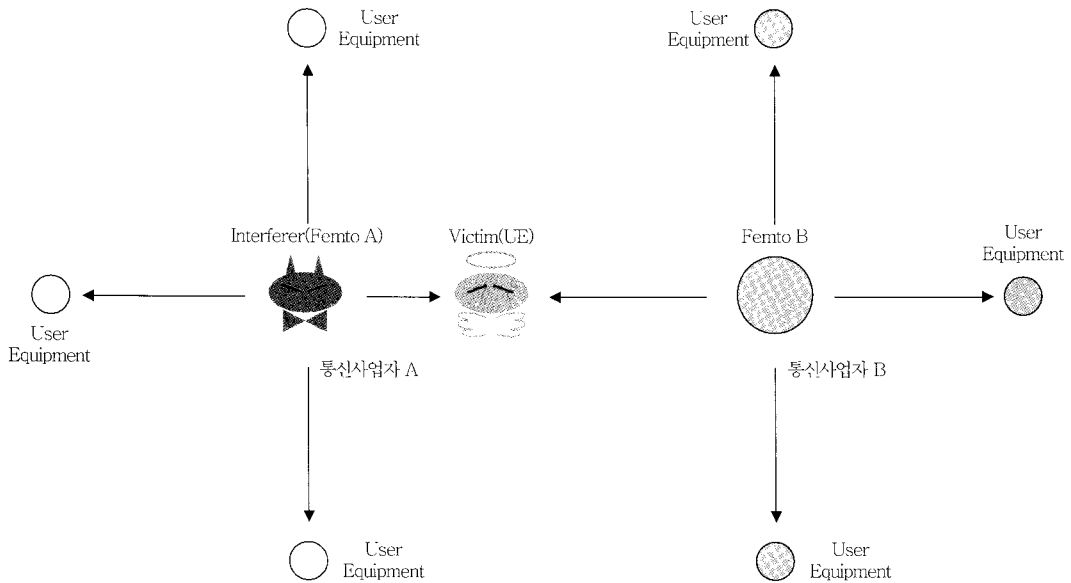
본 논문에서는 현행 WiBro 기술기준 조건을 만

족한다는 가정 하에서 SEAMCAT-3 소프트웨어를 이용한 혼신 시뮬레이션을 수행하였다. 우선적으로 간섭기준은 16QAM 변조를 기준으로 10% PER을 만족하는 CNR 13 dB과 수신감도는 -81 dBm로 정하였다[10]. 펌토셀의 RF Power이 20 dBm, 수신감도는 -81 dBm, CNR이 13 dB인 경우, SEAMCAT-3 tool의 'Extended Hata Model_Short Range Device'에 의해 계산된 펌토셀의 커버리지는 75 m로 나타났다. (그림 8)은 DL 혼신을 분석하기 위한 시뮬레이션 구성도로 통신사업자 A의 펌토셀이 이웃한 통신사업자 B의 단말에 미치는 영향을 분석한 것으로, SEAMCAT-3 시뮬레이션 결과에 의하면, 바로 인접한 경우에는 약 20%의 혼신 영향이 발생한 것으로 도출되었다. 그러나 전체 평균적으로 보면, 타 사업자들이 바로 인접한 채널을 이용하는 경우 발생할 확률은 1/9이 되므로, 최종적인 평균간섭 확률은 3%가 된다(그림 9) 참조.

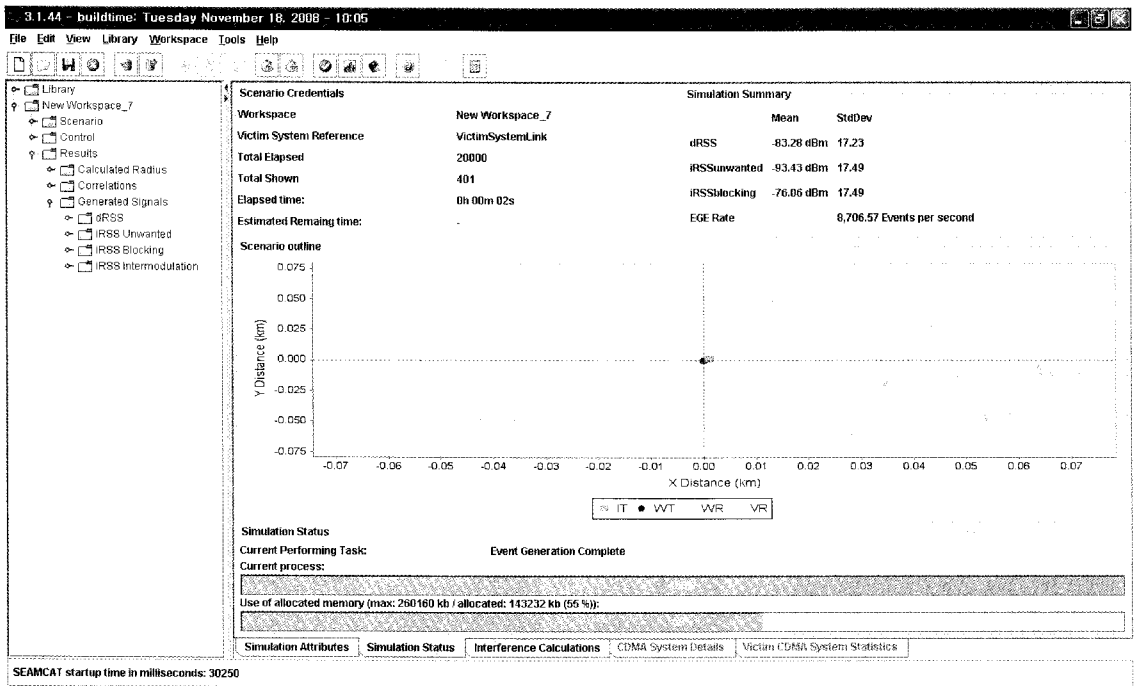
다음으로 UL 혼신분석을 위한 시뮬레이션 구성도는 (그림 10)과 같이 통신사업자 B의 단말(10 mW)이 통신사업자 A의 펌토셀에 영향을 미치는 경우이다. 바로 인접 주파수를 이용한 경우에 SEAMCAT-3



(그림 7) WiBro 기지국 및 단말기 불요발사 기술기준



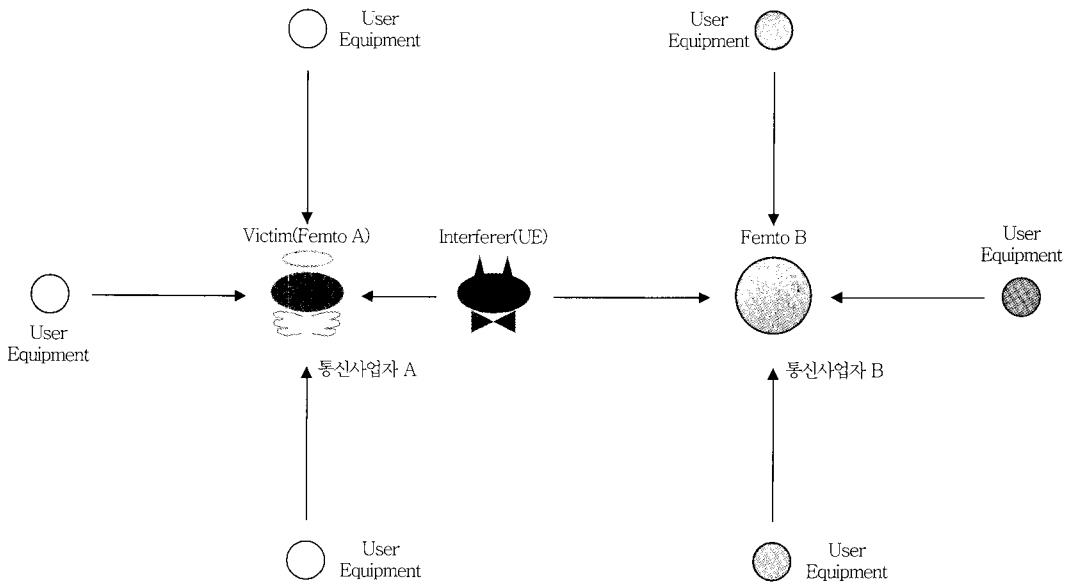
(그림 8) DL 시뮬레이션 구성도



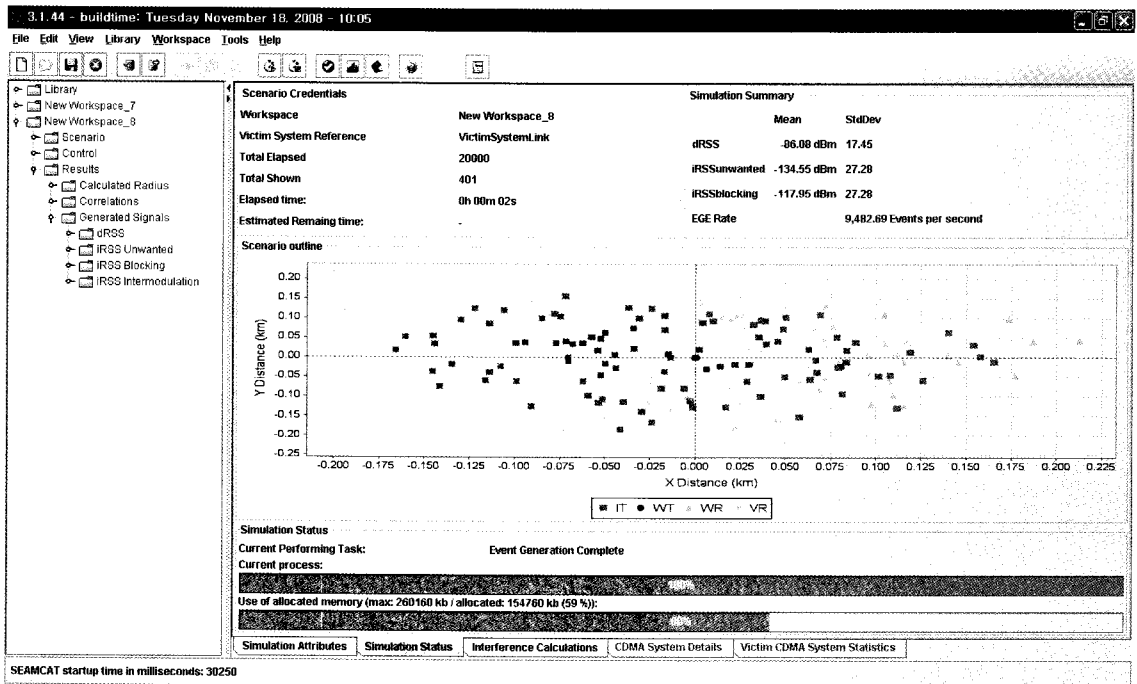
(그림 9) DL SEAMCAT 시뮬레이션 결과

에 의한 시뮬레이션 결과는(그림 11)과 같이 약 3%의 혼신이 발생하는 것으로서, 경우의 확률 1/9을 고려하면, 공중선 전력 10 mW 이하의 단말기에 의한 타사업자의 영향은 거의 없을 것으로 판단된다.

펌토셀의 출력은 WiBro 사업자들이 참여한 연구 그룹에서 펌토셀 전파혼신의 시나리오를 합의한 후, SEAMCAT 등의 전파혼신 소프트웨어를 이용한 결과를 바탕으로 하여 합의형태로 결정되어야 할 것으



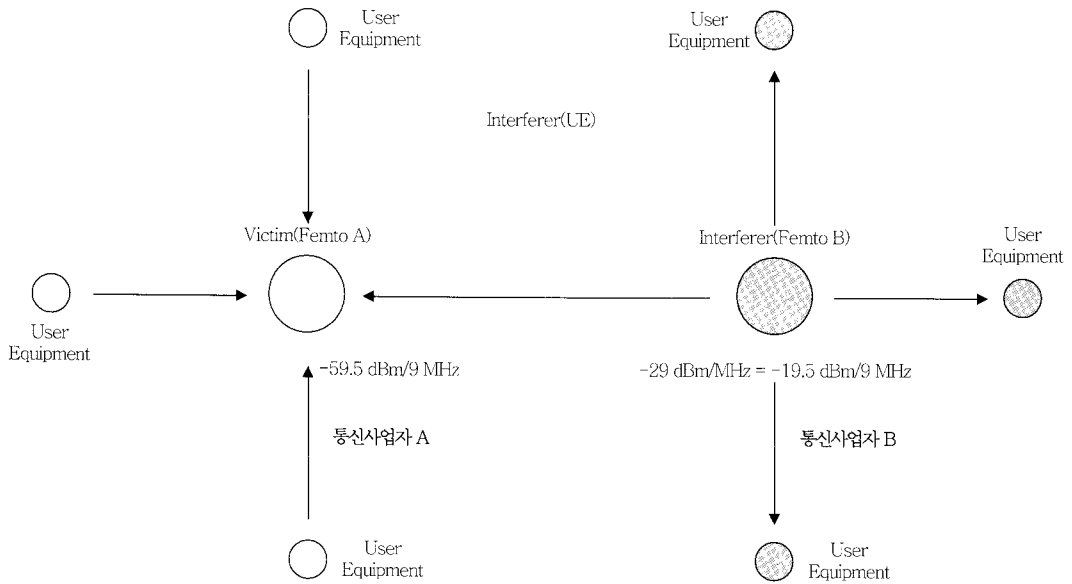
(그림 10) DL 시뮬레이션 구성도



(그림 11) DL SEAMCAT 시뮬레이션 결과

로 보인다. 이상과 같은 혼신문제에서 무엇보다 중요한 것은 펌토셀의 동기문제이다. (그림 12)와 같이 사업자간 비동기 상태(통신사업자 A: UL/통신사업자 B: DL)는 훨씬 심각한 혼신을 발생한다. 예를

들어 통신사업자 B의 펌토셀이 채널대역폭 9 MHz 당 -19.5 dBm을 발사하고, 통신사업자 A 펌토셀과 1 m 떨어져 있다고 가정하면, 1 m의 자유공간손실은 40 dB이므로, 통신사업자 A 펌토셀에 통신사업



(그림 12) 펠토셀 사업자간 비동기에 의한 혼신

자 B 펠토셀의 간섭전력이 9 MHz 당 -59.5 dBm 유입되는 셈이다. 이는 16QAM을 이용하는 펠토셀의 수신감도가 -81 dBm이라는 것을 가정하면, 간섭전력(-59.5 dBm)이 훨씬 커서 호가 끊기는 상황이 발생됨을 의미하는 것이다. 따라서 펠토기지국의 비동기에 대한 전파이용조건은 매우 중요하다.

VI. 펠토셀 제도 이슈

앞서 살펴본 펠토셀의 기술적인 문제 이외에도 (그림 13)과 같이 고려해야 할 제도적 이슈가 있다 [8]. 펠토셀이 소출력 기지국이라는 점 때문에 제도적, 운영적 측면에서 다양한 입장차이가 있다. 무선랜과 유사하기 때문에 비신고로 운영하고, 소비자가 직접 구매할 수 있게 할 것인가 아니면, 통신사업자가 가입자에 한하여 장비를 대여할 것인가 하는 문제는 장비의 소유권 및 운영과 향후 혼신 발생시, 책임여부와 맞물린 매우 중요한 사안이다. 또한, 백홀(backhaul) 사용에 있어서도 전용선을 충분히 확보하지 못한 통신사업자가 유선사업자와의 망 접속 비용과 유지 보수 등에 관한 문제, 펠토셀을 open access로 할 것인가 close access로 운영할 것인가?

무선랜과 같이 장치 이동에 대한 제한을 둘 것인가? 이동시마다 위치를 등록하게 할 것인가? 비신고로 운영할 것인가? 등 다양하게 고려해야 할 문제들이 있다.

이와 관련하여 일본에서 아직 펠토셀이 정규 서비스로 상용화된 사례는 없으나, 펠토셀 상용화를 활성화하는 측면에서 법제도를 정비하였다[11]. 국내 전파법규는 일본과 유사하고 거의 최초로 펠토셀 관련 법안을 정비한 것이므로, 향후 우리 전파법규 개정에 있어 시사하는 바가 클 것으로 판단된다. 우선 일본은 전파법 허가절차를 개정하여 펠토셀 기지국을 일반기지국과 마찬가지로 별도의 허가가 필요하더라도 다음과 같이 간단한 허가 절차에 따라 신청할 수 있도록 하였다.

- 동일 기관 관할 구역 내에 일괄 신청할 수 있도록 편리성 제공
- 간단한 설치장소만 등록하고 허가 신청(위경도 등 생략)

또한, 펠토셀은 무선설비 기술기준으로, 1) 공중선 전력 20 mW 이하 2) 고장탐지기능 준수 3) 무선설비 기술기준에 적합할 것 등의 조건을 명시했다.

펨토셀 도입을 위한 이슈		
1. 판매	A. 대리점 B. Retail Shop C. 미판매	· Femtocell 활성화 제약 · 미인증 하드웨어 유통 가능 · Femtocell 장치의 소유권 문제
2. 설치	A. 방문 기사 B. 사용자	· 비용 발생 · 무분별한 설치로 셀간 간섭 발생 · 무선국 허가/검사(기자국: 준공검사 대상)
3. 백홀	A. 별도 임대 B. 가입자망 공유	· 비용 발생 · ISP와 망접속 비용 산정 · 법적 공유 가능 여부
4. 운용	A. 운용자 B. 사용자 C. Auto	· 원격에서 Air 상황 파악 불가 · 부적절한 관리 경우 발생 가능 · Auto로 관리 가능한 파라미터 제약(기술적 이슈)
5. 사용자 제한	A. Open Access B. 사용자가 직접 제한	· 타 사용자 접속으로 인한 성능저하 · 망을 close로 운영시 해당 Femtocell에 접속이 불가능한 사용자에게는 간섭으로 작용
6. 이동	A. 장치 이동 제한 X B. 장치 이동 제한 O	· Wi-Fi AP와 같이 무분별 이동 사용으로 인한 관리 불가 · 사용자 이동시 변경 등록 필요
7. WiBro 요금제	A. Femto 전용 요금제 B. Macro와 동일 요금	· 실내 Femto Zone이 불가능한 경우 부당요금에 대한 항의 · Femtocell 활성화 미흡

(그림 13) 펨토셀의 단계별 제도 이슈

이동전화 사업자 이외의 자에 의한 운용기준으로는 펨토셀 기지국 면허를 받은 '이동전화 사업자 외 제3자가 기지국에 대해 이설, 복구 등을 위한 간편한 조작 등을 이행할 수 있다', '사업자는 타 무선국의 혼신방지를 위하여 적절한 감독을 실시해야 한다', 그리고 '이동통신 사업자는 제3자가 운용하는 펨토셀 기지국에 대해 총무성에 신고해야 한다', '펨토셀 기지국에 대해 부적절한 운용이 행해질 경우 운용의 책임은 운용자에게 있으며 운용중지 명령도 운용자가 시행한다' 등 비교적 세부적으로 운영방침을 정해놓고 있다. 또한, 전기통신사업법 개정을 통해 서비스 제공 주체와 책임에 대하여 펨토셀 기지국을 통한 이동전화 가입자의 서비스는 이동전화사업자가 책임질 필요가 있다고 명시하고 있다. 이 밖에도 전기통신 설비에 대한 기술기준 적합 유지 의무(펨토셀 기지국 취급/고객 구내배선 등 취급/광대역 회선 취급)에 대한 법개정을 마련하였다. 사업자간 협의사항으로는 회선이용조건(브로드밴드 가입자 본인여부를 확인하는 절차 및 방법에 대하여 적절한

조치), 장애발생시 등의 책임분담(이동통신 사업자가 전반적인 고객 대응을 할 수 있도록 체계를 구축), 펨토셀 이용자에게의 사전설명(기지국을 이용함에 있어 취급주의, 기술적 설명을 하고 이용자의 동의를 얻도록 하고, 펨토셀을 이전할 경우, 이동통신 사업자에게 승인을 얻고 주소 및 시기에 대해 사전 통보) 등이 있다.

Ⅷ. 시사점

본 논문에서는 이동통신의 하부 망구조로 논의되고 있는 펨토셀의 도입배경, 표준화 및 사업화 현황 등을 간단히 살펴보고, WiBro 펨토셀의 국내도입에 필요한 전파이용조건 마련에 있어서 필수적으로 요구되는 항목을 알아 보았다. 매크로셀 구축과 펨토 출력에 따라 실외 커버리지가 영향을 많이 받으므로, 펨토셀의 설치 주체는 해당 통신사업자로 한정하여야 한다. 또한, 실내 동기의 오차는 펨토셀의 혼신에 직접적으로 영향을 주므로, 펨토셀의 기술적

조건으로 실내 동기의 오차범위를 반드시 포함시켜야 할 것으로 판단된다. 펌토셀의 출력으로는 현행 중계기에 적용되고 있는 10 mW/MHz를 고려한 100 mW 출력 허용치를 고려해도 실내동기 오차가 크지 않다면, 타 사업자간에는 큰 문제가 없을 것으로 보인다.

약어 정리

ACR	Access Control Router
ASN	Access Service Network
DL	Down Link
FMC	Fixed Mobile Convergence
FMS	Fixed Mobile Substitution
LBS	Location-Based Service
MNI	Mobile Network Interworking
SPWG	Service Provider WG
SON	Self Organizing Network
UL	Up Link
UMA	Unlicensed Mobile Access
WG	Working Group
WI	Working Item

참고 문헌

- [1] Simon Saunders, "The Role of Cooperation in Establishing a Femto Efficient Economy," femtoforum.
- [2] Gordon Mansfield, "Femto Cells in the Us Market - Business Drivers and Femto Cells in Us Market - Business Drivers and Consumer Propositions" *FemtoCells Europe 2008*, 2008.
- [3] 박상현, 김재경, "유무선 융합 시대의 다크호스, 펌토셀 - 시장 잠재력과 정책 이슈-", NIA, 2007. 10.
- [4] 노미진, 김주성, "유무선 통합 시대의 펌토셀 동향 및 비즈니스 모델," 전자통신동향분석 제23권 제2호, 2008년 4월., pp.91-97.
- [5] <http://www.femtoforum.org/>
- [6] ABI Research, Femtocell Market Challenges and Opportunities:: Cellular-Based Fixed Mobile Convergence for Consumers, SMEs, and Enterprises, 2007.
- [7] 이종식, "WiBro Femtocell 기술개발 동향," ICT Forum Korea 2009, 2009. 5.
- [8] 송승호, "펌토셀 기술이슈," SKT 발표자료, Oct. 2008.
- [9] Yeh Shu-ping, S. Talwar, Lee Seong-choon, and Kim Heechang, "WiMAX Femtocells; A Perspective on Network Architecture, Capacity, and Coverage," *Communications Magazine*, IEEE, Vol.46, Issue 10, Oct. 2008., pp.58-65.
- [10] Agilent Application Notes, 'Mobile WiMAX™ PHY Layer(RF) Operation and Measurement.'
- [11] 윤민호, "일본 펌토셀 관계법령 현황," KTF 발표자료, 2009. 5.