

WiBro/Mobile-WiMAX 표준 개요

한국전자통신연구원 | 윤철식 · 차재선

1. 개요

2006년 6월 30일, 한국이 세계 최초로 휴대인터넷 서비스(WiBro)의 상용화를 선언하였다. WiBro는 차량 속도로 이동(~60 km/hr) 중에도 언제 어디서나 고속(~1 Mb/s)의 휴대인터넷 접속 서비스를 제공하는 것을 목표로 하는 서비스이다.

WiBro는 우리나라의 기술진들이 국제 표준화를 주도하여 규격을 개발하고, 그 규격에 따른 제품으로 세계 최초로 상용화를 하였다는 데에서, 무엇보다도 더 큰 의미를 갖는다고 하겠다. 이는 IT839 정책의 일환으로 WiBro에 대한 기술 개발 및 표준화 정책을 적극적으로 추진해 온 정보통신부의 정책 의지와 연구기관 및 제조업체의 긴밀한 협조체제에 의한 기술 개발 및 표준화 협력, 사업자를 중심으로 한 서비스 개발 및 사업 추진 의지 등이 결합된 성공 사례라고 할 수 있겠다.

본 고에서는 WiBro와 관련한 국제 표준화 및 국내 표준화 동향에 대하여 소개하고, PHY 및 MAC 규격의 핵심적인 요소기술에 대하여 개념 위주로 간략히 설명한다.

2. 국제표준화 현황

2.1 IEEE 802.16

광대역 무선가입자망 기술의 개념에서 출발한 Wireless MAN(Metropolitan Area Network)은 도심 및 부심지에서의 고정수신 안테나와 가입자 장치(Subscriber Station)를 이용하여 10~66 GHz 대역의 Line-of-Sight 통신환경에서의 서비스를 제공하기 위한 PHY 및 MAC 규격을 개발하기 위하여, 2000년 3월 IEEE 802 LAN/MAN Standard Committee(LMSC) 산하에 IEEE 802.16 작업반(Working Group)을 결성하여 표준화 활동을 시작하였다. IEEE 802.16 작업반은 상용 케이블모뎀의 표준규격인 DOCSIS(Data-Over-Cable Service Interface Specification)를 근간으로 10~66 GHz 대역의 LOS 환

경의 PHY 및 MAC 규격을 개발하였으며, 이는 IEEE Std. 802.16-2001으로서 승인되었다.

이후, 도심지 등에서의 Non-Line-of-Sight 사용자 환경에서의 서비스 제공을 위하여 2~11 GHz 대역에서의 새로운 PHY 모드들이 추가로 개발되었으며(SCA, OFDM, OFDMA), MAC 규격에 있어서는 PHY에 따르는 수정사항을 제외한 대부분의 규격을 공유하는 개념으로 IEEE 802.16a(IEEE Std. 802.16a-2003) 표준화가 추진되었다. 그러나, 이 규격은 개선될 여지가 많았으며 수정사항(Amendment) 관련부분만을 기술함으로써 규격의 이해에 어려움이 많은 등의 문제점이 있었다.

따라서, 기존 Single Carrier 방식만을 지원하는 LOS 환경의 IEEE 802.16-2001 규격, 새로운 PHY 모드를 추가한 Non LOS 환경의 IEEE 802.16a-2003 규격, 그리고 시스템 간 호환성을 위한 프로파일을 정의한 IEEE Std. 802.16c-2002 규격의 다수의 모드들을 그대로 유지하면서 이들 규격을 하나로 통합하고 성능 개선 및 규격의 불명료성의 해소, deployment의 용이성을 위한 수정 및 보완 작업을 하기 위한 Task Group-d(TGd)가 결성되었다. TGd는 활발한 표준화 작업을 통하여 2004년 10월 IEEE Std. 802.16-2004 규격을 승인하고 발간하였다.

또한, IEEE Std. 802.16-2004와의 역방향 호환성(backward compatibility)을 유지하면서, 단말의 이동성을 지원하기 위한 표준화 작업그룹(Task Group e; TGe)이 2002년 12월에 결성되어 표준화 작업을 활발히 진행하였다. TGe 그룹의 표준화 범위는 2~6 GHz 대역에서 licensed bands에서의 이동성을 지원하기 위한 규격을 개발하는 것으로 이동성의 지원을 위한 규격의 변경뿐만 아니라, 고정형 규격의 개선을 위한 여지를 남겨두었으며, OFDMA mode에서의 scalability를 지원하기 위한 128, 512, 1024 FFT mode의 추가 등을 반영하며, 이에 대해서는 backward compatibility의 유예 등이 포함된다.

IEEE 802.16 TG에서는 이동성을 지원하기 위하여 Handover 및 Sleep Mode 기능 제공뿐만 아니라, 단말의 절전 기능을 극대화시키며 광역에서 기지국간 seam-less한 멀티캐스트/브로드캐스트 서비스를 제공하기 위한 MBS(Multicast & Broadcast Service) 및 Idle Mode 기능, 착신 서비스를 고려한 Paging 기능, 그리고 보다 빠른 핸드오버를 제공하기 위한 FBSS(Fast Base Station Switching) 기능 등이 표준에 반영되었다. 또한, 고정형 시스템 및 이동 시스템에서의 보안 기능을 강화하기 위한 PKMv2(Privacy and Key Management version 2) 관련 제안들이 반영되었다.

또한 시스템의 성능을 향상시키기 위한 다중안테나 관련 기술(AAS 및 MIMO; Adaptive Antenna System 및 Multiple-Input Multiple-Output)들이 다수 제안되고 채택되었으며, 보다 개선된 Channel Coding 방식이라고 볼 수 있는 LDPC 기술 등도 채택됨으로써 규격이 보다 다양한 기능을 제공하는 반면 복잡도를 더하게 되었다.

이처럼 다양한 기술들이 제안 및 논의됨에 따라, 당초 2005년 1월중 사실상 Working Group 수준에서의 표준화 완료를 목표로 했던 일정이 다소 지연되어, 2005년 12월 IEEE-SA Standards Board의 승인을 거쳐 2006년 2월에 발간되었으며, 발간된 규격에는 규격상의 오류나 기술 내용의 일관성 유지를 위한 수정/보완 규격(Corrigendum)인 IEEE 802.16-2004/Cor1 규격이 함께 포함되어 있다.

한편, IEEE 802.16에서는 이 외에도 NetMan Task Group에서 망관리를 위한 MIB(Management Information Base) 규격을 개발하기 위한 TGf 및 제어 절차 및 서비스(Management Plane Procedures and Services) 등을 정의하기 위한 TGg가 구성되어 활동하고 있다. 특히, TGg는 IEEE 802 계열 규격의 scope가 물리계층 및 매체접근제어 계층만을 다룸으로써 제외되었던, Handover, Paging 및 Location Update, MBS 등의 서비스를 제공하기 위하여 필수적인 망 측면의 절차 및 서비스의 표준화도 범위로 삼고 있다. 하지만, 이는 backbone 메시지의 표준화를 의미하는 것은 아니며, 망 차원의 제어 및 서비스가 가능하도록 802.16 MAC 계층과 상위 계층 간의 서비스 프리미티브(primitive)를 정의하는 것으로 제한하고 있다. 고정형 단말을 위한 MIB 규격은 TGf에서 2005년 12월에 완료하였으며, 현재 이동 MIB 규격이 TGg에서 개발 중이다. TGg는 현재 Draft 8 문서가 완료되었으며, 2007년 8월 WG 승인을 목표로 막바지 표준 작업이 활발하게 진행 중에 있다.

현재 802.16 WG 산하의 Maintenance TG에서는 IEEE Std. 802.16-2004 규격과 IEEE Std. 802.16e-2005 규격 그리고 IEEE Std. 802.16f-2005 규격의 완성도를 높이기 위한 두 번째 수정/보완 규격인 IEEE 802.16-2004/Cor2 규격을 개발하고 있다. Cor2 규격의 표준화 범위는 규격상의 오류나 기술 내용의 일관성 유지를 위한 수정/보완만이 포함되며, 성능 향상 및 기능 추가와 같은 부분은 허락되지 않고 있다. 현재 Draft 2 문서가 완료된 상태이며, 2007년도 3월 WG 승인을 목표로 표준화가 진행 중이다.

Relay Task Group(TGj)은 단말 규격의 변화 없이 Relay Station(RS)을 이용한 Multi-hop 기능을 통한 커버리지 확장 및 시스템 throughput 향상을 목표로 표준화 활동을 하고 있다. 2006년 3월부터 활동을 시작하여, 2007년 3월 현재 Frame Structure, Network Entry, Mobility Management 등의 기능에 대한 표준 기고서들의 harmonization을 통한 baseline 문서의 작성이 활발하게 진행 중이다. 2007년 9월 규격 완료를 목표로 하고 있으므로, 표준화 일정이 급하게 추진될 것이나, 일정 수준의 지연은 불가피할 것으로 보인다.

현재 16j의 Relay 규격은 디지털 증계기(repeater)와 유사한 transparent RS 기능에서부터 자체적인 자원관리 기능까지를 갖춘 RS까지의 다양한 범위를 다루고 있다. IMT-Advanced(4세대 이동통신)에서도 Mobile Multihop Relay 기능을 포함하여야 한다는 요구들이 증대되고 있어 중요성이 강조되는 분야이기는 하나 시스템의 복잡도 및 최적화된 성능을 제공하기 위해서는 제안된 기술 중 프로파일링을 통한 최적화 작업 등이 요구된다고 하겠다.

IMT-Advanced를 목표로 하는 새로운 Task Group인 TGm이 2007년 1월 런던 회의에서부터 출범되었다. 16m은 ITU-R WP 8F에서 진행 중인 IMT-Advanced 표준에 Mobile-WiMAX(WiBro)의 evolution 기술이 표준으로 채택되도록 하는 것을 목표로 하여, IEEE 802.16m amendment 규격 및 ITU-R 제안서의 작성을 목표로 표준화 작업을 진행한다. 16m은 16e 규격 및 Mobile WiMAX System Profile을 참조기준으로 하며, 6GHz 이하의 면허 대역(licensed bands)에서의 사용을 전제로 한다. TDD 및 FDD 대역 모두에서 최적화된 성능을 제공하는 amendment 규격을 개발한다. IEEE 802는 PHY 및 MAC 계층 규격만을 범위(scope)로 하므로 16m 규격에는 상위계층 규격들이 포함되지 않겠지만, ITU-R에 제출될 제안서는 WiMAX NWG의 Network 규격 등과 같은 내용들도 포함되어 작성될 것이다. 2007년 1월 및 3월 회의에서는 16m 요구사항 baseline 문서의

작성 위주로 기고 및 협의가 진행되었으며, 2007년 5월 회의에서는 평가 방법론(Evaluation Methodology and Key Criteria) 문서의 작성 위주로 진행될 것이다. 본격적인 기술 기고는 2007년 7월, 9월 및 11월 회의를 통하여 이 평가 방법론에 따라 성능 개선을 정량적으로 제시할 수 있는 기고서들을 위주로 기고 활동이 진행될 것으로 보인다.

16m은 IMT-Advanced의 표준화 진행 일정에 따른 입력 문서의 제출도 병행하여야 하므로, 16m 규격서의 개발 이외에 요구사항, 평가방법론, 시스템 설명서(System Description Document) 등의 문서를 적절한 시기에 맞게 개발하여 제출하여야 한다.

16m에서 주로 제안될 것으로 기대되는, 또는 기존 Mobile WiMAX(WiBro) 대비 개선이 필요한, 주요 이슈 들로는 Closed-loop MIMO, Multi-user MIMO 등 다중 안테나 기술을 통한 스펙트럼 효율 향상 기술, 가변 대역폭 지원 및 기존 대역과의 공존을 위한 기술, MAC overhead 감소를 위한 기술, 셀 경계에서의 간섭 제거/간섭 회피/간섭 관리를 통한 전송률 향상 기술, 고속 핸드오버를 위한 기술, 음성(VoIP)의 효과적인 지원을 위한 기술, 멀티캐스트 및 브로드캐스트 서비스의 효율적인 지원 및 전송률 향상을 위한 기술 등이 중요하게 다루어질 것으로 보인다.

또한, 기존 Mobile WiMAX/WiBro와의 호환성/공존과 IMT-Advanced의 성능 요구사항을 만족시켜야 하는 다소 상충되는 요구를 만족시키기 위한 Backward Compatibility level 및 표준안의 완료 시기 등 표준화 과정에서 다양한 변수에 따른 변화가 주목된다.

2.2 WiMAX

WiMAX Forum은 IEEE 802.16 규격에 기반한 BWA 시스템의 시장 활성화를 위하여 제조업체 및 서비스 제공업체들이 중심이 되어 만든 비영리 단체이다. 한국의 TTA에서의 IOT/CT 실무반에서와 같은 IOT Profile, 시험 규격 등에 대한 작업이 주로 WiMAX Forum에서 이루어지고 있다. 주요 참여사는 Intel, Alvarion, Fujitsu, WiLAN 등의 기존 BWA 진영과 삼성전자, Motorola, Sprint, KT, LG, PosData 등의 Mobile 시스템을 위한 제조업체 및 사업자들이다.

WiMAX는 실제 제품의 구현에 포함될 규격들을 정하는 역할을 하며, WiMAX Forum에서 채택하는 프로파일에 기술들이 얼마나 많이 포함되느냐가 실제 업체들의 표준에의 채택된 기술들이 제품에 얼마나 반영되느냐의 척도가 된다고 볼 수 있다. 삼성전자와 KT는 WiMAX의 Board Member로서 활동하고 있다.

Mobile WiMAX 무선 접속 규격에 대한 profiling 및 IOT 작업은 WiMAX TWG(Technical Working Group) 산하의 MTG(Mobile Task Group)에서 시작되었으며, 현재는 MTG가 TWG로 통합되면서 TWG에서 진행되고 있다. Mobile WiMAX의 system profile 및 certification wave는 2006년 2월에 1차 버전이 확정 발간되었으며, PICS는 2006년 9월 정식 버전 v.1.0이 발간되었다. Wave 1에 대한 RCT 규격은 2007년 1월에 정식 버전 v.1.0이 발간되었으며, 현재 Wave 2에 대한 RCT 작업이 진행 중이다. 프로토콜 시험을 위해서는 TSS/TP 문서 및 test code 작성이 수행되어야 하며, ETSI STF25에서의 작성 및 TWG에서의 review 과정이 맞물려 돌아가는 구조로 작업이 진행 중이다. 현재 일부 항목을 제외한 모든 항목에 대해 TSS/TP 작업이 마무리되었으며, 2007년 3월 완료를 목표로 작업을 진행 중이다. WiMAX 제품 인증을 위한 시험장비에 대한 validation 작업이 현재 진행 중이며, 2007년 2/4분기에 Wave 1 그리고 2007년 3/4 분기에 Wave 2에 대한 제품 인증을 확보하기 위해 노력 중이다. 그림 1에 TWG의 시험 규격 개발 과정을 도시하였다.

Network 측면의 IOT 작업은 2006년 7월 시작되었으며, 테스트 규격 작성 작업, 테스트 장비, 그리고 테스트 랩 선정 등 여러 가지 난제가 남아 있어, wave 1에 대한 network IOT는 사실상 어렵고, wave 2에서 적용하게 될 것으로 보인다.

WiMAX TWG는 이러한 IOT 및 인증에 관련된 규격 작성 이외에 규격의 미흡으로 IOT 시 발생할 수 있는 문제점들을 해결하기 위해 2006년 5월부터 IEEE 802.16의 Cor2 작업에도 적극 참여하고 있으며, 이러한 pre-harmonization 작업은 Cor2 규격의 개발 완료 시점 때까지 계속될 예정이다.

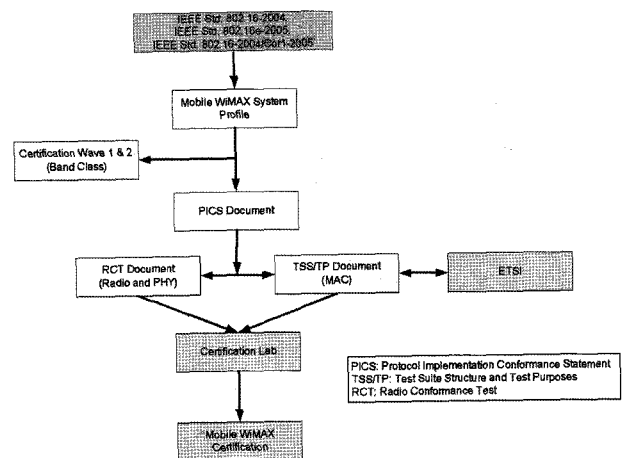


그림 1 WiMAX TWG의 시험 규격 개발 과정

3. 국내표준화 현황

국내 휴대인터넷 표준화는 2003년 7월 TTA 산하에 휴대인터넷 프로젝트 그룹(PG302)이 휴대인터넷 서비스를 위한 규격 개발을 목적으로 결성됨으로서 시작되었다. PG302는 산하에 2개의 실무반(무선접속실무반, 서비스 및 네트워크 실무반)과 3개의 특별반(IPR 특별반, 국제협력 특별반, IP-OFDMA 평가 특별반)을 두고 있다. 무선접속실무반은 물리계층(PHY)과 매체 접근제어계층(MAC) 규격을 개발하는 것을 목표로 한다. 서비스 및 네트워크 실무반은 서비스 및 네트워크의 요구사항을 정의하며, 그에 따른 네트워크 참조모델과 관련 요소기술에 대한 표준규격을 개발하는 것을 목표로 한다. 한편, IPR 특별반은 관련 지적재산권 취급사례와 휴대인터넷 기술과 관련된 지적재산권 현황을 분석하여 향후 그 취급방안을 마련하기 위한 작업을 수행한다. 국제협력 특별반은 국내 표준기술을 국제 표준규격(IEEE 802.16)과 공조하기 위한 협력방안을 수립하고 실행하는 역할을 수행한다. IP-OFDMA 평가 특별반은 Mobile WiMAX 규격(IP-OFDMA의 이름으로 ITU-R에 제안)이 IMT-2000의 6번째 규격으로 적합한지에 대한 자체평가 및 보고서를 ITU-R에 제출함을 목적으로 한다. 또한, 이들 실무반과 특별반간의 효율적인 의견조정과 전체일정 등을 총괄 조정하기 위한 조정위원회를 별도로 두어 운영하고 있다.

무선접속실무반(PG3021)은 여러 차례의 실무반 회의를 거쳐 회원사간의 의견조율을 통하여 2.3GHz 휴대인터넷의 무선접속에 적합한 주요 방식, 파라미터 및 요구사항(요구사항 문서는 서비스 및 네트워크 실무반에서 작업)을 결정하고, 이를 만족하는 무선접속 후보기술을 선정하였다. 성능평가를 위한 평가단을 구성하여, 기술평가 기준을 작성, 기준을 만족하는 것으로 제안된 기술들을 베이스라인으로 선정하고, 시뮬레이션 결과 등을 종합하여 잠정규격 초안을 승인하고, 보완 및 총회승인 절차를 따랐다.

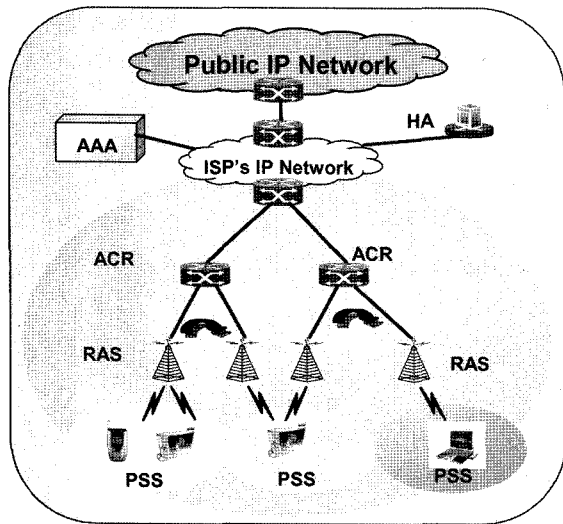
실무반에서는 무선접속 주요 시스템 파라미터 및 필수요구사항을 선정하였으며, 그 기준을 표 1과 같이 제시하였다. 상기 기준을 만족하는 것으로 제안된 2개의 표준안에 대하여, 제출된 시뮬레이션 결과 등을 바탕으로 평가단 회의를 거쳐 (주)삼성전자/한국전자통신연구원에서 제안된 규격을 2004년 3월 표준초안으로 채택하였고, 성능향상에 대한 요소기술의 반영을 통하여 2004년 6월 TTA WiBro Phase-I 규격(TTAS.KO-06.0064, 휴대인터넷 표준-물리계층 규격 및 TTAS.KO-06.0065 휴대인터넷 표준-매체접근제어계층 규격)이 총회의 승인을 통하여 확정되었다.

표 1 무선접속 주요 파라미터 및 필수 요구사항

다중접속방식	OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
채널대역폭	10 MHz
가입자당 전송속도	상향최소전송속도: 128kb/s, 하향최소전송속도: 512kb/s
주파수 재사용계수	1
주파수효율	최대 주파수 효율: DL/UL = 6/2 (bits/sec/sector) 평균 주파수 효율: DL/UL = 2/1 (bits/sec/sector)
핸드오프	섹터간 핸드오프 및 기지국간 핸드오프 < 150msec
이동성	최대 60km/hr
서비스 커버리지	피코셀(Picocell): 100m 마이크로셀(Microcell): 400m 매크로셀(Macrocell): 1 km

Phase-I 규격은 상당부분 국내 독자 규격의 성격을 가지고 있었으나, 협소한 국내 시장의 한계를 넘어서 규모의 경제에 따른 효과를 거두고 외국 시장에의 진출을 위해서 그리고 외국 업체에 대한 시장개방의 요구 등을 고려할 때 국제표준화를 만족하여야 할 필요성이 제기되었으며, 2004년 7월 정보통신부의 휴대인터넷 추진일정 및 기술방식 확정 발표에 따라 WiBro 규격이 IEEE 802.16 과 상호 호환성을 유지하여야 하는 것이 가장 중요한 요구사항 중의 하나가 되었다. 따라서, 무선접속실무반에서는 2004년 8월 TTA WiBro Phase-I 규격과 IEEE 802.16 규격과의 공통점 및 차이점을 분석한 Gap Document를 작성하고, 차이가 있는 부분에 대한 IEEE 802.16 표준에의 적극적인 반영을 지원하고, 미 반영된 부분에 대한 Phase-I 규격에의 적절한 반영을 통한 호환성을 제공하는 수정/보완된 TTA WiBro Phase-I Step-I 규격을 2004년 12월 작성/승인하였다. 주된 수정/변경은 IEEE 802.16에서의 mandatory 기능들을 수용하며, 성능개선을 위하여 Phase-I 규격에 반영된 제한요소들을 해소하는 것 등에 해당되었다.

서비스 및 네트워크실무반에서는 서비스 및 네트워크 요구사항 및 네트워크 참조모델 등을 정의하였다. 서비스 요구사항은 앞에서 기술한 바와 같은 셀의 형태 및 최소 전송속도의 제공, 핸드오버 등의 이동성 제공, 다양한 서비스 클래스에 따른 QoS 제공, 인증 및 암호화, 그리고 타 망간의 연동서비스에 대한 요구사항 등이 포함된다. 네트워크 요구사항은 주파수 효율성, 서비스 관점에서의 전송속도 및 핸드오버 지연 시간 등이 제시되었다. 단말기 측면의 요구사항으로



PSS: Portable Subscriber Station
 RAS: Radio Access Station
 ACR: Access Control Router
 AAA: Authentication, Authorization, and Accounting
 HA: Home Agent

그림 2 망 구성 예

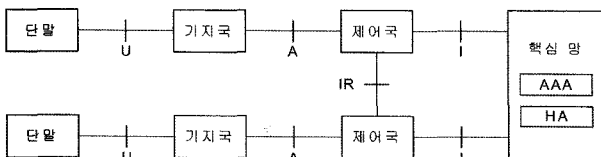


그림 3 망 참조모델(제어평면)

서는 단말기 전력소모 절약기능 및 멀티캐스트/브로드캐스트 수신 기능 등이 추가로 제시되었다. 제어국 및 코어 네트워크 요구사항으로서는 망관리, IP 기반의 이동성, 과금 관리 기능, 접속제어 기능, 전송제어 기능 등이 제시되었다. 한편, 네트워크 참조모델 및 망 구성 예 등을 제시하였다. 이를 그림 2, 3 및 표 2에 보였다.

PG302 휴대인터넷 프로젝트 그룹에서는 제조업체 및 사업자간 시스템의 호환성을 극대화하고 조속한 상용화의 추진을 지원하기 위하여 2005년 1월 무선접속 실무반 내에 WiBro IOT/CT Task Force를 구성하였다.

표 2 제어평면에서의 인터페이스 참조점

참조점	정의	비고
U	단말(PSS)과 기지국(RAS)간의 인터페이스	scope
A	기지국(RAS)과 제어국(ACR)간의 인터페이스	out-of-scope
IR	제어국(ACR)과 제어국(ACR)간의 인터페이스	out-of-scope
I	제어국(ACR)과 Core망 요소(AAA, HA 등)간의 인터페이스	out-of-scope

표 3 WiBro 규격의 주요 프로파일 항목(예)

항목	파라미터	비고
Frequency Bands	2.3 GHz	
Multiple Access	OFDMA	
Duplexing	TDD	
(Nominal) Channel Bandwidth	8.75 MHz	FA: 9 MHz Spacing
FFT Size	1024	
Sampling Frequency	10 MHz	
Sub-carrier Spacing	9.765625 kHz	
Symbol Duration	102.4 us	
Cyclic Prefix(1/8)	12.8 us	
TDD Frame Length	5 ms	42 symbols
DL/UL Ratio(symbols)	27:15	
Modulation	QPSK/16QAM /64QAM(DL)	
Channel Coding	CC*, CTC	
ARQ	MAC ARQ, HARQ	

* FCH에 대해서는 Convolutional Coding이 Mandatory임

이에 따라, IOT/CT Task Force는 2005년 6월에 WiBro IOT Profile을 작성완료하고, 2005년 10월 WiBro IOT/CT 규격을 작성하였으며, 2005년 12월 정식 승인을 받았다. 당초 계획은 2005년 4/4분기에 사업자 및 TTA를 중심으로 시험규격 작성 및 호환성/적합성 시험을 실시하는 것이었으나 시험규격 작성만 이루어졌을 뿐 호환성/적합성 시험을 이루어지지 않았다. 표 3은 WiBro 프로파일의 대표적인 항목이다.

휴대인터넷 프로젝트 그룹에서는 TTA WiBro Phase-II 표준규격 개발을 위하여 요소기술 제안 및 논의를 거쳐 2005년 2/4분기에 다중안테나 기술 등 성능향상을 위한 제안요소기술들을 포함하는 규격의 개정안을 발표하였다. Phase-II 표준화는 Phase-I에 대한 2단계 수정/보완 작업과 병행하여 추진되었으며, 이에 따라 IEEE 802.16 규격과의 공조를 위한 규격의 수정/변경, 기능 및 성능 향상을 위한 규격의 개선 작업이 동시에 이루어졌다. 2005년 2월 무선접속실무반 회의를 통하여 FRSS(Fast RAS Switching), Idle Mode, Header 및 Subheader 관련 수정, HARQ를 위한 Normal MAP Extension의 수정 등과 다중안테나 기술인 AAS, MIMO, 그리고 LDPC 기술 등의 요소 기술들이 제안 채택되어 Phase-II 규격에 포함되었다.

4. PHY 및 MAC 계층 규격

본 장에서는 WiBro 표준기술에 대한 이해를 높이기 위하여 그 기준이 되는 규격인 IEEE 802.16(IEEE

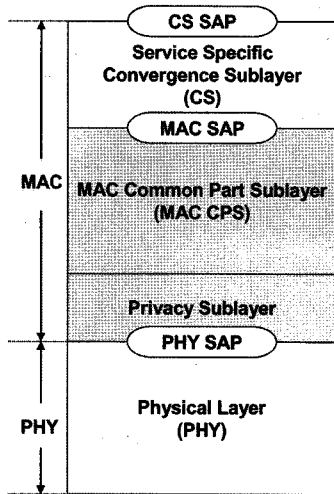


그림 4 휴대인터넷 프로토콜 계층 구조

802.16-2004, IEEE Std. 802.16e-2005, TTAS.KO-06.0064R1(휴대인터넷 표준-물리계층 규격) 및 TTAS.KO-06.0065R1(휴대인터넷 표준-매체접근제어계층 규격)에 기술된 PHY 및 MAC 규격의 핵심 요소기술에 대하여 개념위주로 설명하고자 한다.

그림 4에 휴대인터넷 프로토콜 계층 구조를 보였다.

4.1 PHY(물리계층) 규격

WiBro 물리계층 규격은 OFDMA/TDD PHY를 사용한다. IEEE 802.16에는 Single Carrier, OFDM, OFDMA의 다양한 PHY mode가 존재하는 데, 이 중에서 주파수재사용계수(Frequency Reuse Factor; FRF) 1(정보통신부의 휴대인터넷 기술방향 결정시 5개 요구사항 중 하나)을 사용할 수 있는 PHY mode는 사실상 OFDMA PHY이기 때문이다. FRF 1을 사용함으로써, 인접한 기지국(또는 셀)에서 동일한 주파수 대역을 사용함으로써 CDMA에서와 유사한 유연한 셀 planning을 할 수 있게 되며, 이를 위하여 인접 셀간 상호 간섭을 균형되게 낮추는(interference averaging) diversity subchannelization 개념을 사용한다. 이에 따라, 방송형 채널의 경우에 낮은 변조 및 채널코딩 수준(Adaptive Modulation & Coding level)을 적용하게 되지만, 사용자 버스트에 대해서는 각 사용자별 채널환경에 최적화된 변조 및 채널코딩 수준을 적용하여 전송할 수 있으므로 전반적인 시스템 성능을 보장할 수 있다고 보는 것이다.

OFDM PHY는 자원할당에 있어서 한 심볼 구간에는 한 사용자에게만 자원을 할당할 수 있으므로 자원할당의 최소 단위를 의미하는 granularity 측면에서 한계가 있으나, OFDMA PHY는 주파수 축(subchannels) 및 시간 축(symbols) 2차원적으로 자원할당을 할 수 있으므로, granularity 측면의 장점이 있다. 즉, 전송 당 작

은 자원을 요구하는 real time 성격의 서비스(예, VoIP 등) 제공시 유리하다.

채널 대역폭에 따른 적절한 FFT Size를 적용하기 위한 scalability 규격을 지향한다. 9 MHz channel 간격을 사용하는 WiBro 규격은 1024 FFT를 사용한다. 이는 동일한 carrier spacing으로서 다양한 대역폭에 적용할 수 있는 시스템이 가능하도록 한다. 즉, 동일한 수준의 설계기술을 128 FFT/1.25 MHz, 512 FFT/5 MHz, 1024 FFT/10 MHz, 2048 FFT/20 MHz에 적용할 수 있다는 것이다.

WiBro OFDMA의 채널은 전 주파수 대역에 산재되어 있는 부반송파들로 구성되는 다이버시티 채널과 인접한 부반송파들로 구성되는 band MAC 채널로서 구분된다. WiBro는 동일한 프레임워크 내에서 단말의 채널 상황에 따라 다이버시티 채널 및 band AMC 채널을 선택적으로 적용함으로써 시스템의 성능을 향상시키기 위한 규격을 제공한다. 다이버시티 채널은 기본 모드로서 단말의 이동속도가 큰 경우에 주로 사용될 것으로 생각되며, 시간에 따른 채널의 변화가 크므로 전체 full carrier 대역에 산재되어 있는 부반송파들로 구성되는 부채널을 사용하며, 인접 기지국간 간섭을 평균적으로 상쇄시키는 기법을 사용함으로써 주파수 다이버시티 및 시간 다이버시티를 동시에 얻고자 하는 것이다. 반면, 단말의 이동성이 작고 채널이 안정되어 있는 경우에는 특정한 주파수 대역에 우수한 채널특성을 보이는 주파수 선택성(frequency selectivity)을 활용하여, 우수한 채널특성을 보이는 인접한 부반송파들로 구성된 band AMC 부채널을 사용함으로써 전송속도를 높이는 효과를 얻고자 하는 것이다. 단말의 이동속도가 큰 경우에 유용할 것으로 판단된다. 단말에서 측정하여 보고한 채널 상황에 기초하여 다이버시티 채널 또는 band AMC 채널을 선택하여 통신을 함으로써 안정적이고 시스템 성능을 향상시키도록 하는 기법을 사용한다. band AMC 채널은 AAS(Adaptive Antenna System)를 적용하기에 유리하다.

한편, 기존 셀룰러 방식의 음성 중심의 이동통신 시스템인 CDMA에서는 모든 단말에게 동일한 전송속도를 제공하기 위하여 필요한 최소한의 전송전력으로서 전송함으로써 시스템의 간섭을 줄여서 보다 많은 사용자를 수용하고자 하는 기본적인 접근방식을 가지고 있는데 반해, 패킷데이터 중심의 WiBro에서는 부반송파에 최대 출력(부반송파당 에너지 밀도)을 제공하되 채널 상황을 최대한 반영하여 순간적으로 전송 가능한 최대 전송속도로 전송함으로써 시스템의 throughput을 높이기 위한 AMC(Adaptive Modulation & Coding)을 적

용하는 것을 주요 기법으로 사용한다. 이를 위해서는 신속한(이동성에 따른 coherence time 이내의) 채널품질정보의 측정 및 보고가 이루어지고 이에 따른 AMC의 적용이 이루어져야 한다. 따라서, WiBro에서는 최대 매 프레임마다 최소한의 오버헤드로서 단말의 채널품질정보를 보고하기 위한 CQI(Channel Quality Indicator) 채널을 사용한다. CQI 채널을 통하여 단말은 최대 매 프레임(5 msec) 마다 CQI 값을 기지국에 보고하며, 기지국 scheduler는 이를 활용하여 신속한 AMC level을 적용할 수 있다. 현재 채널 상황에서 가장 높은 coding gain을 얻을 수 있는 Transport Format을 사용하여 전송하는 CTC(Convolutional Turbo Code) 방식을 사용하며, CINR의 측정의 신뢰성 및 보고 및 적용시 까지의 채널의 가변성의 문제를 극복하기 위하여 H-ARQ(Hybrid ARQ) 방식을 사용한 time diversity 효과 및 soft combining에 따른 이득을 얻는 방식을 취한다.

4.2 MAC(매체접근제어계층) 규격

PHY 계층규격은 채널코딩 및 변복조 등과 관련된 일반적인 전송과 관련된 내용을 기술하는 데 반해, 휴대인터넷의 MAC 계층규격은 시스템의 운용에 필요한 전반적인 절차 등을 기술한다고 할 수 있다. MAC 계층은 특정서비스수렴부계층(Service Specific Convergence Sublayer), MAC 공통부계층(MAC Common Part Sublayer; CPS), 그리고 프라이버시부계층(Privacy Sublayer)의 세 부계층으로 다시 세분화된다. IEEE 802 계열의 규격은 PHY 계층과 MAC 계층만을 기술하므로, WiBro의 경우 MAC 계층의 상위에는 바로 IP 계층이 존재한다고 볼 수 있다.

수렴부계층은 외부 IP망으로부터의 CS SAP(Service Access Point)을 통하여 수신된 데이터와 MAC SAP을 통하여 수신된 MAC SDU(Service Data Unit) 데이터를 변환/매핑해 주는 역할을 수행한다. 외부망으로부터 수신된 SDU들을 적절한 MAC service flow 및 CID들과의 mapping을 수행한다. 또한, 탑재물헤더억압(Payload Header Suppression) 또는 헤더압축(Header Compression)을 수행한다.

MAC CPS는 대부분의 시스템 접속과 관련된 주요 기능을 처리한다. 예를 들면, 대역폭 할당, 커넥션의 설정/관리, 특정 MAC 커넥션들의 QOS 관리, ARQ 기능, 스케줄링 및 MAC PDU 구성 등이 이에 해당된다.

프라이버시 부계층은 단말인증(단말기의 인증서를 사용하는 RSA 기반의 인증절차 수행), 키분배, 그리고 데이터 암호화를 수행한다. EAP에 기반하는 사용자 인증 절차의 수행은 MAC 계층의 상위인 응용계층에

서 수행한다.

본 절에서는 MAC 계층을 구성하는 대표적인 기능들에 대하여 간략하게 소개한다.

먼저 단말에서는 여러 가지의 연결식별자(Connection Identifier; CID)가 사용된다. 초기접속 단계에서 기지국에 단말의 고유 식별자인 MAC Address에 매핑된 Basic CID(기본 연결식별자)가 이후 해당 기지국에서 단말을 고유하게 식별하기 위한 용도 및 보다 빠른 응답을 요구하는 트랜잭션 시 사용하기 위하여 할당된다. 또한, 지연 요구사항에 있어서는 좀 더 여유가 있는 MAC 관리메시지(MAC Management Messages)들의 식별을 위하여 Primary Management CID(일차 관리 연결식별자; Primary Management CID)가 할당 및 사용된다. 일차 연결식별자는 인증 메시지 및 동적자원할당(DSA; Dynamic Service Addition) 관련 메시지에서 사용된다. IP망을 통한 SNMP 기반의 단말의 원격 제어를 위하여 Secondary Management CID(이차 관리 연결식별자; Secondary Management CID)가 할당될 수도 있다. Secondary CID는 원격 제어가 가능한 단말에 한해서만 사용되는 선택사항으로서 단말의 제공능력(capability) 협상 과정에서 사용 여부가 결정된다. 이들 관리연결식별자들은 MAC 계층의 관리 목적으로 주로 사용되며, 사용자 트래픽의 서비스별 구분을 위한 transport CID들이 다수 할당되어 사용될 수 있다. transport CID들은 DSA 과정을 통하여 할당되며, QoS를 달리하는 다수의 연결마다 각기 다른 transport CID들이 할당될 수 있다. 이 외에도, 여러 단말에 의하여 공통적으로 사용되는 연결식별자들로서, 초기 접속의 레인징(ranging) 시 사용되는 Initial Ranging CID, 주기적 레인징 시 특정 그룹의 단말에 대한 폴링의 용도로 사용되는 Multicast polling CID, 방송용 관리메시지의 전송시 사용되는 Broadcast CID, MBS(Multicast and Broadcast Service)의 서비스 별 식별자의 용도로 사용되는 Multicast CID 등이 정의된다. 모든 연결식별자는 16 비트의 길이를 가지며, 특정한 번호의 영역이 할당된다.

MAC PDU의 구성은 MAC 관리용 PDU 및 사용자 데이터의 전송용 PDU의 구성으로 나뉜다. 기본적으로 MAC PDU에는 6 bytes의 헤더가 붙게 되며, 대표적인 MAC 헤더에는 일반 MAC 헤더와 대역폭요청 헤더가 있다. 그림 5와 6에 이들 헤더의 형식을 보였다.

WiBro MAC 규격은 상위 계층에서 수신된 SDU들을 PDU의 크기에 맞추어 잘라서 여러 개의 PDU에 나누어서 전송하는 개념의 MAC PDU 분할(Fragmentation), 하나의 PDU에 여러 개의 SDU들을 모아서 전

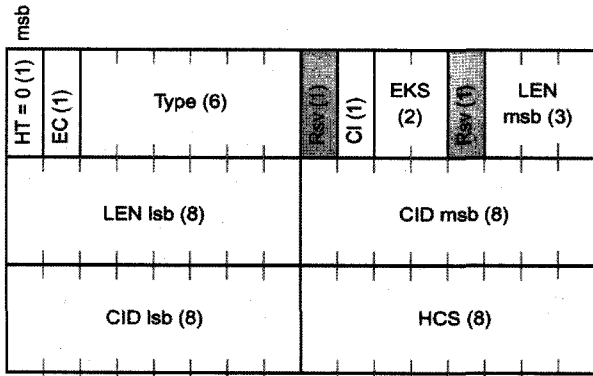


그림 5 일반 MAC 헤더 형식

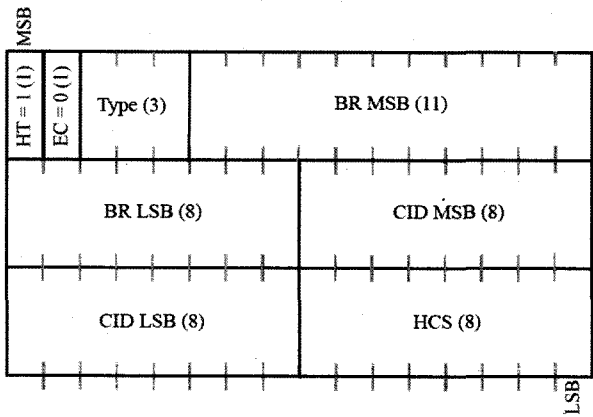


그림 6 대역폭 할당 MAC 헤더 형식

송하는 개념의 MAC PDU 패킹(Packing)의 개념을 지원한다. 이를 위하여, 분할 부헤더(sub-header) 및 패킹 부헤더를 정의한다. 또한, 다수의 PDU들을 하나의 MAC data burst 내에 연결하여 전송하는 개념의 PDU 연결(Concatenation) 개념도 지원함으로써, 다양한 형태의 PDU 구성을 허용하는 매우 유연한 형태의 PDU 구성방식을 지원한다. 그림 7에 PDU 구성의 예를 보였다.

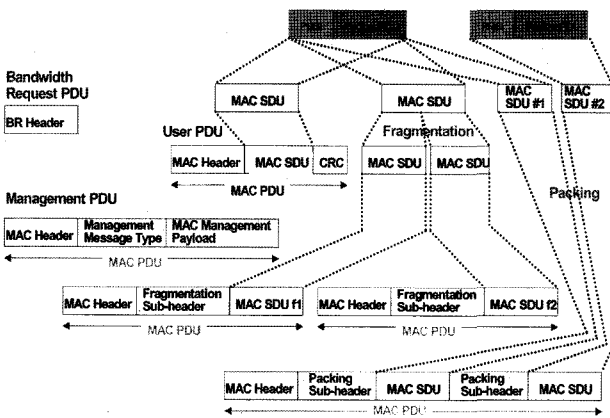


그림 7 PDU 구성의 예

MAP은 MAC layer의 자원할당 정보를 제공하는 주요한 기능으로서 해당 단말에 대한 전송레벨 및 할당된 자원의 크기를 나타내는 MAP Information Element(하향링크에서는 802.16 규격의 원래 개념은 동일한 전송레벨에 속하는 다수의 사용자 버스트를 한꺼번에 전송하는 개념을 사용하나, HARQ 적용을 위해서는 단일 사용자 버스트의 전송 개념만이 사용됨)가 사용된다. 그림 8에 MAP 운용의 예를 보였다. 그림에서 보였듯이 일반 MAP에 의하여 자원할당이 될 수도 있고(다수 사용자 버스트; non-HARQ & DIUC/UIUC 사용시), 일반 MAP 확장 IE에 의하여 HARQ용 사용자 버스트가 할당될 수도 있다. MAP의 오버헤드를 줄이기 위하여 AMC level을 달리하는 MAP burst를 정의하는 Sub-map 개념이 적용될 수도 있다. 해당 단말의 버스트의 전송포맷과 전송레벨은 Nsch-code 및 Nsch-code에 의하여 지정된다.

MAC 규격에서는 네트워크 진입 절차를 그림 9에 보였다. 우선 망 접속을 위해서는 하향링크 수신을 통하여 망 동기를 획득하고, 해당 기지국을 식별하며, 방송정보(FCH, DL-MAP, DCD)를 수신한다. 상향링크 파라미터를 획득하여 레인징에 필요한 정보를 바탕으로 레인징(코드 기반의 레인징 및 메시지 기반의 레인징)을 수행한다. 이를 통하여 타이밍 및 전력제어의 기본 파라미터 값을 조정한다. 또한 초기 레인징 메시지를 통하여 단말의 고유식별자를 전송하여 해당 기지국과의 association 과정을 통한 Basic CID를 할당 받는다. 선호되는 DIUC 수준 또는 CQI 값을 바탕으로 이후부터는 적절한 AMC level에 따른 전송이 가능하도록 한다.

기본 제공능력 협상(Basic Capabilities Negotiation) 과정을 통하여 해당 단말과 기지국 사이에서 사용될 수 있는 제공능력을 확인하고 협상된 모드에 따라 동작한다. 인증 버전 및 인증 모드 등도 이 단계에서 협상되며, 이에 따라 다음 절차인 PKM 과정에서 적절한 인

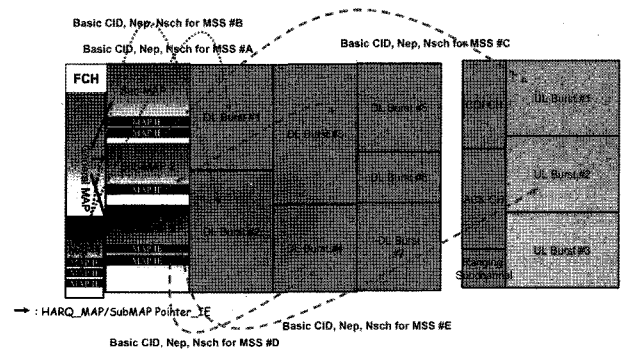


그림 8 MAP 운용 예

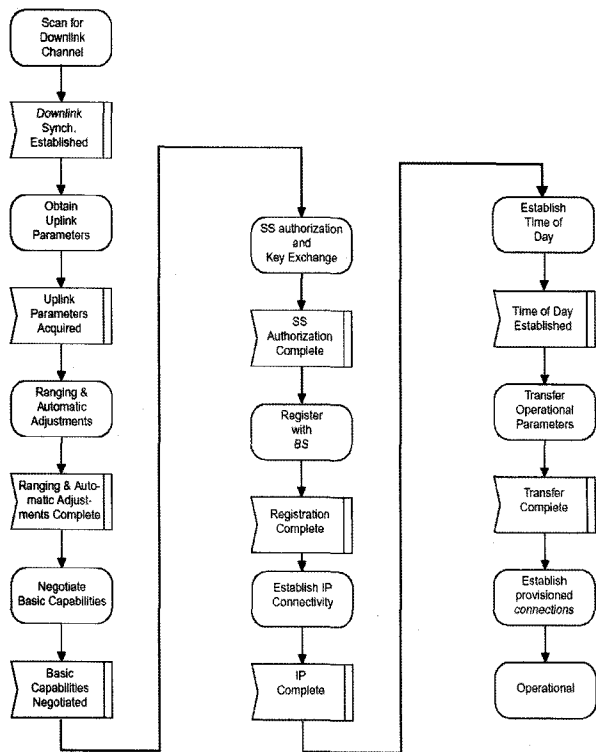


그림 9 네트워크 접속 절차

중 및 키분배가 이루어진다. 인증이 이루어진 단말에 대해서는 등록(Registration) 과정에서 Secondary CID가 할당되며(또는 그 대체수단으로서의 pre-provisioned connection 설정 과정을 통한 default transport connection 설정 수행), 이를 통한 IP connectivity 과정이 수행되고, 단말에서 사용될 IP address가 설정된다. Mobile IP 또는 DHCP를 통한 IP address 설정이 수행될 수 있다. 필요한 경우, Time of Day 및 Operational parameter download 과정이 수행될 수 있으며, 이 과정이 모두 완료되면 정상동작(normal operation) 상태가 되며, 이 때부터 사용자 서비스를 위한 DSx 과정이 수행될 수 있다.

레인징 과정은 802.16 기반의 규격에서 중요한 절차 중의 하나로서 초기 레인징에 대한 일반적인 절차도를

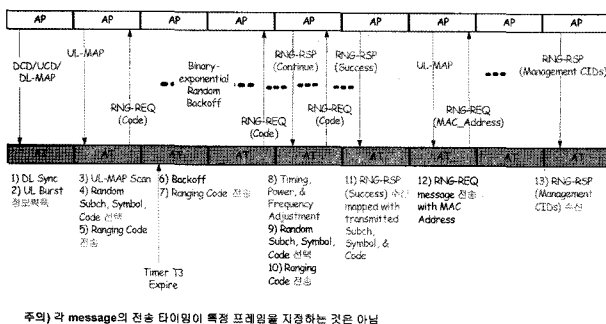


그림 10 초기 레인징의 예

그림 10에 보였다. OFDMA PHY 규격에서는 CDMA code 기반의 레인징에 뒤이어서 메시지 기반의 레인징 절차가 수행된다. code 기반의 레인징을 수행한 단말을 식별하기 위하여 CDMA_Allocation_IE가 사용된다.

WiBro에서는 차량이동속도로 이동중에도 연속적인 서비스가 제공되어야 하므로, 핸드오버의 기능이 매우 중요한 요소가 된다. 핸드오버 절차는 주기적인 또는 CINR 기준에 도달한 이벤트에 따른 인접 셀을 탐색하기 위한 scanning 과정 및 이후의 핸드오버 메시징 과정으로 나뉘어진다. 그림 11 및 12에 보였다. 단말은 NBR-ADV 메시지를 통하여 수신된 인접 셀 정보를 이용하여 scanning 구간 동안 인접 셀을 탐색하여 해당 인접 셀에 대한 CINR level을 측정하고(구현에 따라서는 동일 주파수의 경우에는 별도의 scanning 구간을 설정하지 않을 수도 있음), 핸드오버를 개시할 기준에 도달한 경우 핸드오버 절차를 개시한다. 핸드오버를 개시하면, 단말은 인접 기지국의 CINR 측정 결과에 바탕한 candidate 기지국들을 기지국에 보고하고, serving 기지국은 candidate 기지국들에 해당 단말에 대한 동일한 서비스 수준 및 인증모드 등에 대하여 기지국간 통신을 통하여 정보를 주고 받는다. 적절한 기지국이 선택되면, 기지국은 HO-RSP 메시지를 통하여 핸드오버의 적정 기지국을 추천하게 되며, 단말은 HO-IND 메시지를 통하여 핸드오버를 수행할 최종 target 기지국을 선정하였음을 통보하고, 이후에는 서빙 기지국과의 통신이 단절된다. 핸드오버 절차를 신속하게 수행하기 위한 핸드오버 최적화(handover optimization) 개념이 도입되었으며, 이것을 적용할 수 있는지의 여부는 단말 및 기지국의 능력에 따른다.

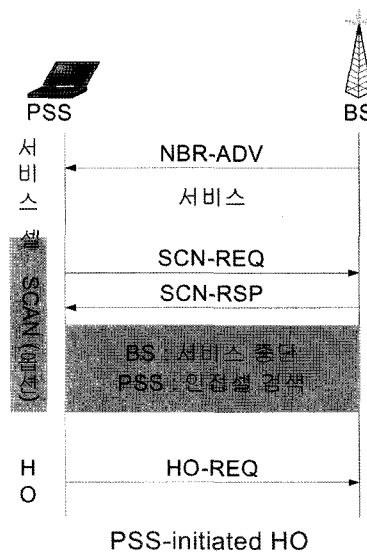


그림 11 인접 셀 탐색 과정 및 핸드오버 절차의 개시

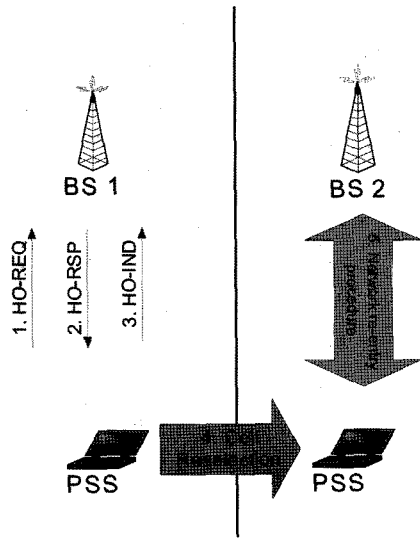


그림 12 단말에서 개시하는 핸드오버의 예

이 밖에도 인증 및 암호화 모드에 따른 PKMv1 및 PKMv2의 기능, 단말의 전력 소모를 최소화하기 위한 Sleep Mode 운용 관련 절차, seamless 방송 서비스를 제공하기 위한 MBS 서비스 관련 규격, 그리고 착신 서비스 및 그에 따른 전력절약을 위한 Idle mode 및 위치등록절차 등도 규격에 기술된다. 상세한 기술의 설명은 다음 기회로 미루기로 한다. 참고 자료에 상술되어 있으므로 참고하시기 바란다.

5. 결론

WiBro 서비스는 한국에서 세계 최초로 상용화되는 공중 사업자망을 통한 이동무선환경에서의 무선인터넷 접속 서비스로서 그 기술적 및 경제적 파급효과가 매우 크다고 할 수 있다.

또한 2007년 후반기부터 Mobile WiMAX의 제품 인증이 시작되면 WiBro 서비스의 상용화는 더욱더 가속화될 것으로 예상된다.

하지만 WiBro 서비스가 진정한 4세대 서비스로 자리매김하기 위해서는 초기 상용화 과정에서 발생할 수 있는 문제점, 예를 들어 커버리지 제약, 사용자 기대에 비해 낮은 전송 속도, 핸드오버 문제 등을 해결하여야 하며, 표준 기술의 진화를 통해 WiBro 서비스를 한 단계 끌어올려야 할 것이다. 이를 위해 정부, 연구기관, 학계, 제조업체 및 사업자 모두 최선의 노력을 경주하여야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 정보통신부, 휴대인터넷 기술방식 확정발표, 2003. 7
- [2] IEEE Standard 802.16-2001, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," 2001. 12
- [3] IEEE Standard 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," 2004. 10
- [4] IEEE P802.16e/D6, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems—Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1," 2006. 2
- [5] TTA, TTAS.KO-06.0064R1, "휴대인터넷표준 - 물리계층," 2004.12
- [6] TTA, TTAS.KO-06.0065R1, "휴대인터넷표준 - 매체접근제어계층," 2004. 12



윤철식

1988. 2 서울대학교(학사)
1990. 2 포항공대 대학원(석사)
2000. 2 서강대학교 대학원(박사수료)
1993. 2~현재 ETRI 이동통신연구단 WiBro표준 연구팀장
E-mail : csyoon@etri.re.kr



차재선

1998. 2 충북대학교(학사)
2000. 2 광주과학기술원(석사)
2000. 3~현재 ETRI 이동통신연구단 WiBro표준 연구팀
E-mail : jscha@etri.re.kr