

# IEEE 802.16m 규격의 표준화 및 기술동향

임치우 삼성전자 책임 연구원  
김태영 삼성전자 책임 연구원  
손중제 TTA PG702 부의장, 삼성전자 수석 연구원



## 1. 머리말

지난 2006년 12월, IEEE 802.16 워킹그룹은 P802.16m 프로젝트를 IEEE-SA로부터 승인 받았으며, 이 프로젝트를 담당할 작업그룹인 TGm(Task Group m)을 802.16 WG 산하에 구성했다. 802.16m은 기존 802.16 표준 기반의 단말 및 기지국 장비와 상호호환성을 유지하면서 ITU-R에서 정의될 IMT-Advanced의 시스템 요구사항을 만족시키는 802.16m 표준 규격 개발을 목표로 했다. 현재 상용 서비스 중인 국내의 WiBro 시스템과 해외의 WiMAX 시스템은 802.16 표준 규격을 기반으로 개발되었기 때문에 802.16m 표준 규격은 WiBro와 WiMAX 시스템을 자연스럽게 IMT-Advanced 시스템으로 진화시키는 로드맵(roadmap)을 제공하는 데 그 목적이 있었다. 현재, 802.16m 기술은 2010년 10월 IMT-Advanced 표준 기술로 인정받았고, 2011년 1월 모든 기술 개발을 마무리해, IEEE802 내에서는 2011년 3월에 최종 승인만을 남겨두고 있다.

본 고에서는 IMT-Advanced 기술로서의 802.16m 기술의 ITU-R, IEEE802.16에서의 표준화 일정 및 적용된 주요 기술들을 간략히 살펴보고자 한다.

## 2. 본문

### 2.1 IMT-Advanced로서의 802.16 표준화 현황

IMT-Advanced는 2003년 ITU-R M.1645 문서에서 그 개념이 처음 제시되었다. M.1645에 따르면 IMT-Advanced 기술은 향후 증가될 미래 이동통신의 데이터 요구사항을 만족시키기 위해서, 향상된 속도 및 이동성을 지원하는 기술이어야 하며, 이동 시 100Mbps, 정지 시 1Gbps의 전송 속도를 지원해야 한다. 또한, 기존 IMT-2000과의 핸드오버 및 인터워킹도 중요한 사항으로 제시되었다.

IMT-Advanced의 구체적인 요구사항은 2008년 6월 ITU-R WP5D에서 정리한 M.2134에 제시되어 있다. 또한, 요구사항의 평가를 위한 기술 평가 가이드라인 문서인 M.2135도 완료되었다. 두 문서에서 나타난 기술적 요구사항의 검증을 위해서 4가지의 검증 환경(실내, 마이크로 셀, 매크로 셀, 고속 환경)에서의 성능 측정을 요구하고 있다.

ITU-R WP5D는 IMT-Advanced의 표준화를 위해서 총 8단계의 표준화 과정을 제시했다. 이 중 Step 1, Step 2, Step 3은 IMT-Advanced를 위한 표준 무선접

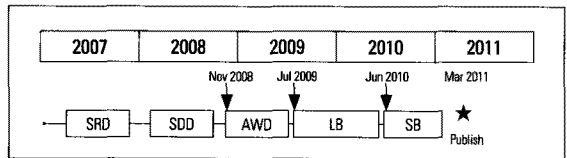
〈표 1〉 IMT-Advanced 성능 요구 사항

주요 항목	ITU-R IMT-Adv. 요구사항 수치				
	환경	실내	마이크로 셀	매크로 셀	고속 환경
최대 전송 속도 (bps/Hz)	다운링크 (4x4): 15, 업링크 (2x4): 6.75 (600MHz @ 40MHz / 270MHz @ 40MHz)				
평균 전송 효율 (bps/Hz/Cell)	다운링크 (4x2 MIMO)	3	2.6	2.2	1.1
	업링크 (2x4 MIMO)	2.25	1.8	1.4	0.7
셀 경계 전송 효율 (bps/Hz)	다운링크 (4x2 MIMO)	0.1	0.075	0.06	0.04
	업링크 (2x4 MIMO)	0.07	0.05	0.03	0.015
이동 시, 링크 기준 주파수 효율 (bps/Hz)	1.0 (3km/h)    0.75 (30km/h)    0.55 (120km/h)    0.25 (350km/h)				
VoIP 사용자 (명/MHz/셀)	50    40    40    30				
대역폭 (MHz)	Scalable 40 (Multi-carrier 허용)				
핸드오버 지연 (ms)	27.5 (동일 FA)/40(인접 FA)/60 (다른 대역FA)				
지연	Control Plane: 100 ms / User Plane: 10 ms				

속 기술에 대한 기고문의 모집, 관련 표준 단체에서 무선 접속 기술의 개발 그리고, ITU-R에 무선 접속 기술을 제안하는 과정을 담고 있다. 이 중, Step 3의 과정에서 제안되는 무선 접속 기술들은 제안 기술의 세부 규격 및 성능, 성능에 대한 실험치에 따른 성능 보고서를 포함하도록 되었다. 2009년 10월 WP5D 회의에서 IMT-Advanced 기술로 3GPP에서 LTE-Advanced 기술, IEEE802에서 IEEE802.16m 기술의 2가지를 제안되었다. Step 4와 Step 5, Step 6는 제안된 기술들에 대해서, ITU-R에 등록된 총 14개의 평가반(Evaluation Group)으로 등록된 표준 기관들에서의 평가와 이를 수렴한 ITU-R에서의 기술 평가 작업이 진행되는 단계이다.

ITU-R에서는 평가 결과에 따른 최종 결정을 도출하는 Step 7까지 완료되었으며, Step 7 단계에서 LTE-ADV, IEEE802.16m 기술이 IMT-Advanced의 요구사항을 모두 만족하는 IMT-Advanced 표준 기술로 선정되었다. 앞으로 선정된 표준 기술을 제안한 표준 단체에서 ITU-R의 절차에 맞추어 표준 기술을 담은 실제 표준 문서들을 제공하고 이에 따라서 2011년 말에 ITU-R에서 최종 승인을 얻는 Step 8, Step 9의 단계들이 진행될 예정이다.

## 2.2 IEEE 802.16m 표준화 일정



[그림 1] IEEE802.16m 표준화 일정

[그림 1]은 IEEE802.16m의 표준화 일정을 도시한 그림이다. 앞서 언급한 바와 같이 IEEE 802.16m 표준은 2007년 1월 규격 개발을 시작했으며, ITU-R에서 제시된 요구사항들을 바탕으로 시스템 요구사항 문서(SRD: System Requirements Document)를 완료했으며, 시스템 설계 문서(SDD: System Description Document)를 완료했다. 이들 문서는 ITU-R의 제안서 작성의 기초로 활용되었다. IEEE802.16에서의 IEEE802.16m의 세부 기술 사항들을 담은 표준 규격 문서의 작성은 2008년 11월에 AWD(Amendment Working Document) 문서를 작성하면서 시작되었고, IEEE 802.16 멤버들의 승인을 얻는 Working Group Letter Ballot의 절차와 IEEE SA(Standard Association)에서의 규격 검토 단계인 IEEE SA Sponsor Ballot의 절차를 완료했다. 이에 따라서, IEEE802.16m의 표준화는 2011년 3월 IEEE SA

〈표 2〉 OFDMA 변수 정의

시스템 대역폭(MHz)		5	7	8.75	10	20	
샘플링 요소		28/25	8/7	8/7	28/25	28/25	
샘플링 주파수(MHz)		5.6	8	10	11.2	22.4	
FFT 크기		512	1024	1024	1024	2048	
반송파 간격(KHz)		10.94	7.81	9.76	10.94	10.94	
유효 심볼시간(us)		91.43	7.81	9.76	91.43	91.43	
1/8 CP 길이	심볼시간(us)		102.8	144	115.2	102.8	102.8
	FDD	OFDM 심볼개수	48	34	43	48	48
		Idle 시간(us)	62.8	104	46.4	62.8	62.8
	TDD	OFDM 심볼개수	47	33	42	47	47
		TTG+RTG (us)	165.7	248	108.8	165.7	165.7
	심볼시간(us)		97.14	136	161.6	97.14	97.14
1/16 CP 길이	FDD	OFDM 심볼개수	51	36	45	51	51
		Idle 시간(us)	45.71	104	104	45.71	45.71
	TDD	OFDM 심볼개수	50	35	44	50	50
		TTG+RTG (us)	142.8	240	212.8	142.8	142.8
	심볼시간(us)		114.3	160	128	114.3	114.3
	FDD	OFDM 심볼개수	43	31	39	43	43
Idle 시간(us)		85.69	40	8	85.69	85.69	
TDD	OFDM 심볼개수	42	30	37	42	42	
	TTG+RTG (us)	199.9	200	264	199.9	199.9	

에 최종 규격 문서를 제출함으로 종료될 예정이다. 최종 규격은 IEEE SA에서의 승인을 거쳐서 2011년 6월 경에 발간될 예정이다.

### 2.3 IEEE 802.16m 기술

본 장에서는 IEEE 802.16m에 적용된 주요 기술을 소개하고자 한다.

#### 2.3.1 다중 접속 기법

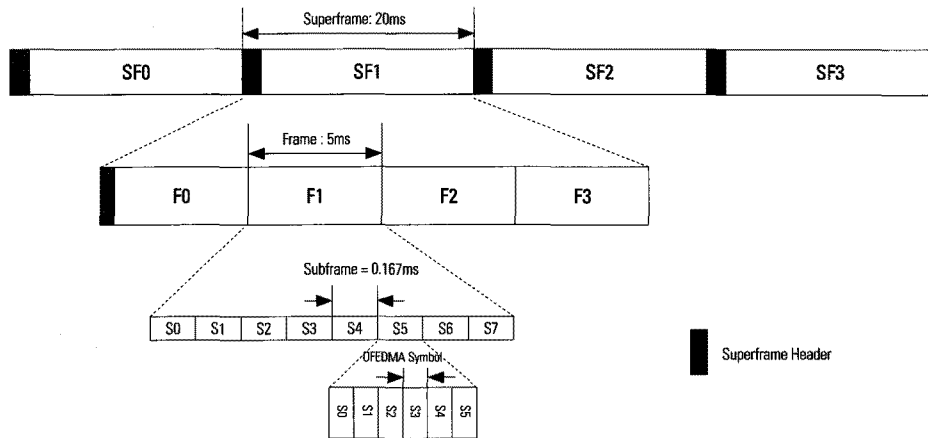
IEEE 802.16m 무선 통신 시스템의 상·하향 링크에서 다중 접속 기법은 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 사용한다. 또한, 시분할 다중화(TDD: Time Division Duplex) 및 주파수 분할 다중화(FDD: Frequency Division Duplex) 방식 모두

를 지원한다. 〈표 2〉에서는 시스템 대역폭, 다중화 기법 및 CP(Cyclic Prefix) 길이에 따른 OFDMA의 변수들을 보여준다.

#### 2.3.2 프레임 구조

IEEE 802.16m 무선 통신 시스템의 프레임 구조는 계층 구조로 구성된다. 하나의 슈퍼 프레임(super frame)은 같은 크기의 연속하는 프레임들로 구성된다. 각 슈퍼 프레임은 슈퍼 프레임 헤더(Super Frame Header)부터 시작 되는데, 슈퍼 프레임 헤더는 무선 통신 시스템의 단기간 혹은 장기간 주기를 갖는 시스템 구성 정보를 전송한다.

무선 접속 대기 시간을 줄이기 위해, 802.16m의 프레임은 다수의 서브 프레임(subframe)으로 세분화되고,



[그림 2] IEEE 802.16m 기본적인 프레임 구조

각 서브 프레임은 6, 7, 5 그리고 9개의 OFDMA 심볼들로 구성되며 이는 4가지 다른 종류의 서브 프레임을 구성하게 된다. 사용 시스템 대역폭, CP 길이, 다중화 방법 그리고 상·하향 링크 비율에 따라 프레임을 구성하는 서브 프레임 종류 및 조합이 달라진다.

[그림 2]는 IEEE 802.16m 시스템의 기본적인 프레임 구조이다. 하나의 슈퍼 프레임은 4개의 프레임으로, 하나의 프레임은 8개의 서브 프레임으로 구성된다. 슈퍼 프레임 시간 구간은 20msec이고 프레임 시간 구간은 5msec이다. 시스템 대역폭에 따라서 하나의 프레임은 8개보다 작은 개수의 서브 프레임으로 구성될 수도 있다. 또한, CP 길이에 따라서 서브 프레임을 구성하는 OFDMA 심볼의 개수가 다르다. 한편, IEEE 802.16e 무선 시스템과의 공존 모드를 지원하기 위해 시분할 혹은 주파수 분할 방법을 사용한다. 하향 링크의 경우, 시분할 방법을 사용해 기존 단말과 IEEE 802.16m 단말 모두를 지원하며, 상향 링크의 경우는 주파수 분할 방법 또한 적용 가능하다.

### 2.3.3 물리 자원 구조 및 채널 부호화

물리적 자원 단위(PRU: Physical Resource Unit)는 물리적 자원 할당을 위한 기본 단위로서, 주파수 축으로 Psc 개의 연속된 부반송파와 시간축으로 연속된

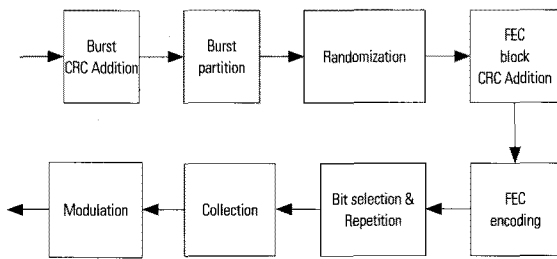
Nsym OFDMA 심볼로 구성된다. 여기서, Psc는 18개의 부반송파이며, Nsym은 서브 프레임의 종류에 따라서 6, 7, 5, 9개의 OFDMA 심볼이다. 논리적 자원 단위(LRU: Logical Resource Unit)는 논리적 자원 할당을 위한 기본 단위로서, PRU와 동일한 크기의 구조를 갖는다. 즉, PscxNsym 부반송파들로 구성된다.

LRU는 자원할당 방법에 따라서 분산(Distributed) LRU와 지역적(Localized) LRU 두 가지로 구분된다. 분산 LRU는 주파수 다이버시티 이득을 얻기 위해 사용되며, 전 대역에 분포되어 있는 부반송파들로 구성된다. 지역적 LRU는 선택적 주파수 스케줄링 이득을 얻기 위해 사용되며, 주파수 축으로 연속된 다수의 부반송파들로 구성된다.

PRU를 구성하는 부반송파들은, DC 반송파 및 가드 부반송파들은 제외된다. 각 PRU에는 파일럿 및 데이터 부반송파들이 포함되며, 사용되는 파일럿 및 데이터 부반송파 개수는 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 모드, 랭크 및 서브 프레임별 OFDMA 심볼 개수 등에 의해 결정된다.

[그림 3]은 채널 부호화와 변조 과정을 보여준다. 버스트로 나누기 전 버스트에 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 붙인다. 해당 버스트에 있는 모든 비트들로부터 16 비트의 CRC가 계산된다. CRC까지 포함된 버

스트의 크기가 최대 FEC(Forward Error Correction) 블록 크기(4,800 비트)를 넘는 경우, 버스트는  $K_{FB}$ 개 FEC 블록들로 나뉘어지고, 각 FEC 블록은 각각 인코딩 된다. 만약 버스트가 하나 이상의 FEC 블록들로 나뉘어진다면 FEC 인코딩 되기 전, 해당 FEC 블록에 해당하는 CRC가 각 FEC 블록에 추가된다. 16비트 CRC 까지 포함된 분할된 FEC 블록의 크기는 동일하다. 비트 선택 및 반복(Bit selection 및 repetition)은 요구하는 레이트(rate)를 맞추기 위해 사용된다. 변조 방식은 QPSK, 16QAM 그리고 64QAM까지 사용한다. 기존 IEEE 802.16e와 가장 큰 차이점은 변조 방식 및 부호화율이 버스트 크기 및 할당된 자원의 크기에 따라 결정된다는 점이다.



[그림 3] 채널 부호화 및 변조 과정

### 2.3.4 상향/하향링크 제어 채널

IEEE 802.16m 무선 통신 시스템의 하향 링크 제어 채널로는 슈퍼 프레임 헤더와 에이-맵(A-MAP: Advanced MAP)으로 구분된다. 슈퍼 프레임 헤더에는 주요 시스템 변수 및 시스템 구성 정보를 전송하는 물리 방송 채널로서, 프라이머리(Primary)/세컨더리(Secondary) 슈퍼 프레임 헤더로 구분된다. 그리고, 세컨더리 슈퍼 프레임 헤더는 세 가지 다른 부패킷(Sub-Packet)들을 전송한다. 프라이머리 슈퍼 프레임 헤더는 매 슈퍼 프레임마다 전송되는 반면, 세컨더리 슈퍼 프레임 헤더는 서로 다른 전송 주기로 세 가지 서로 다른 부패킷들을 포함하고 각 부패킷들은 예정된 시간에 전송된다. 프라이머리/세컨더리 슈퍼 프레임 헤더는 슈

퍼 프레임의 첫 번째 서브 프레임에 위치하며, 에이-프리앰블(A-Preamble: Advanced Preamble)과 시분할되어 같은 서브 프레임에 공존한다. 프라이머리 슈퍼 프레임 헤더는 고정된 변조 방식과 부호화 방법을 사용한다. 이와 비슷하게 세컨더리 슈퍼 프레임 헤더의 변조 방식은 미리 정의되지만, 반복 회수는 프라이머리 슈퍼 프레임 헤더에서 알려준다. 전송 기법으로는 모두 SFBC(Space-Frequency Block Code)를 사용한다.

에이-맵(A-MAP)은 단말별(user-specific) 제어 정보와 공통(non-user-specific) 제어 정보로 구성된다. 공동 에이-맵은 단말별 제어 정보를 해석하기 위해 필요한 정보가 포함된다. 단말별 에이-맵은 한 명 혹은 그 이상의 사용자들을 위한 정보가 포함된다. 즉, 스케줄링 된 사용자들을 위한 정보가 포함된 할당(Assignment) 에이-맵, 전력 제어를 위한 전력제어(Power Control) 에이-맵 그리고 UL HARQ 버스트 복호 응답인 HARQ 피드백 에이-맵이 있다. 전송되는 에이-맵 영역은 해당 서브 프레임에서 데이터와 주파수 분할 방식으로 함께 전송되며, 에이-맵은 분산(distributed) LRU에 할당되어 전송된다.

상향링크 제어 채널은 <표 3>에 나와 있는 것처럼 총 5개의 제어 채널이 있다. 각각의 채널의 설명은 <표 3>을 참고 바란다.

### 2.3.5 MAC 계층

IEEE 802.16은 연결 지향 프로토콜로서, 단말과 기지국 간에 연결 설정 시, 각각의 연결을 지칭하기 위한 연결 지시자들을 사용한다. IEEE802.16m의 기술도 기존과의 호환성을 위하여 기존 IEEE802.16의 연결 지시자들을 사용하고 있다. 이때, 핸드오버나 매체제어계층 메시지에서 오버헤드를 최소화 하기 위해 연결 지시자들을 단말에 대한 단말 ID(station ID)와 단말 내에서 각각의 연결(flow)들을 지정하기 위한 flow ID로 분리했다.

모든 IEEE802 계열은 단말을 분리하기 위해 48bit

〈표 3〉상향링크 제어 채널

상향링크 제어 채널	설명
HARQ Feedback	하향 데이터 전송에 대한 HARQ 피드백 정보(ACK/NACK) 제공한다.
대역할당 요청 (Bandwidth Request)	해당 단말에서 필요한 자원의 양을 요구할 때 사용된다. 경쟁 혹은 비경쟁 기반의 액세스 방식이 사용된다. 5단계 절차가 일반적인 방식이며, 3단계 축소된 절차도 정의되어 있다.
패스트피드백채널 (Fast Feedback Channel)	단말 입장에서의 채널 상태에 대한 정보를 제공하며, AMC와 MIMO 피드백 전송에 사용된다. Primary/Secondary Fast Feedback Channel 이 있다.
사운딩 채널 (Sounding Channel)	상향 링크의 채널 상태를 기지국에서 측정할 수 있도록 사운딩 기준 신호를 전송하는데 사용된다. UL sounding 채널은 제어 채널 위치를 제외한 데이터 영역의 첫 번째 OFDMA 심볼에 전송된다.
레인징 채널 (Ranging Channel)	레인징 채널은 상향 링크의 동기 획득을 위해 사용된다. 동기/비동기 사용자들을 위한 레인징 채널로 분류된다. 또한, 레인징은 경쟁 또는 비경쟁 기반의 액세스 방식이 사용된다. 경쟁 기반의 방식은 초기 레인징, 주기적인 레인징을 위해서 사용되고, 핸드오버는 상황에 따라서 경쟁/비경쟁 기반 액세스 방식이 사용 가능하다.

크기의 MAC address를 가지고 있다. MAC address는 시스템에 단말을 인증시키기 위한 절차 동안에 사용된다. 단말의 초기 접속 시, 단말은 위치 정보를 숨기기 위해서 난수를 발생시켜서 이를 토대로 기지국과 연결설정을 수행할 수도 있다. 이후에 단말의 인증 시에 단말의 인증서와 단말의 MAC address를 사용하여, 인증 받은 단말임을 확인한다. 단말의 초기 접속이 성공적으로 이루어지면, 단말은 기지국에게서 12bit의 단말 ID를 할당 받으며, 또한 단말 내에서, 제어 연결(MAC control message)들을 주고 받기 위한 연결과 각각의 서비스들을 구별하기 위한 서비스(transport) 연결들에 대해서, flow ID들을 할당해 이를 구별한다. 이 값은 단말 내에서 유일한 값들로, 동일한 서비스들이 지원되는 경우에는 단말이 핸드오버를 하더라도, 변경되지 않는다.

IEEE802.16m의 주요 특징 중 하나는 각각의 연결별로 서로 다른 서비스 레벨을 부여할 수 있다는 것이다. 이를 위해서, 초기 접속이 완료된 후, 단말은 서비스의 레벨을 기지국과 협의하게 된다. 단말이 기지국과 서비스 협상을 진행 할 때, 상향링크와 하향링크 각각에 대한 서비스를 생성하게 되며, 이는 각각 다른 QoS값들로 나타나게 된다. 단말이 기지국과 서비스 협상을 완료하게 되면, 해당 서비스는 QoS값들을 나타내는 Service flow ID와 무선 구간에서의 해당 서

비스의 데이터 을 나타내기 위한 flow ID들이 생성된다. IEEE802.16m은 다양한 서비스 레벨을 지원하기 위하여, UGS(unsolicited grant service), RTPS(real time polling service), NRTPS(non real time polling service), ERTPS(extended RTPS, BE(best effort) 서비스 등의 상향 링크 스케줄링 방식을 제공한다. 또한, 하나의 서비스 내에서 여러 가지의 QoS 특성을 가지는 경우에 대응하기 위해서 AGPS(adaptive grant and polling service)를 지원한다.


IEEE802.16m은 IP 기반 통신을 지원하며, 각각 IP 패킷들을 해당 매체제어 계층 연결(flow) 등에 연결하기 위해, IPCS(IP based Convergence Sublayer)를 정의했다. IPCS를 통과한 IP 패킷들은 가능한 대역폭에 맞도록 변경되어 MAC PDU로 변환된다. 이때, MAC PDU는 해당 서비스를 나타내기 위해서, 헤더 부분에 flow ID값을 포함하게 된다.

단말의 이동성 지원을 위해서 IEEE802.16m은 핸드오버를 지원한다. 이때, 지원되는 핸드오버 방식은 기지국 제어, 단말 제어의 두 가지 방식이 있다. 또한, 이동 단말의 전력소모 효율의 향상을 위해서 슬립 모드, 아이들 모드를 정의하고 있다. 슬립 모드는 단말과 기지국이 서비스를 관리하고 동안에도 전력 소모 효율을 향상시키기 위한 것으로, 단말이 슬립 모드에 진입한 경우에도, 주기적으로 데이터 송수신을 위한 단계와

슬립 단계를 번갈아 수행할 수 있다. 아이들 모드는 단말과 기지국 간에 서비스가 진행 중인 연결이 없을 때 진행되며, 이때, 단말은 기지국과의 생성된 모든 연결을 해제한다. IEEE802.16m 아이들 모드의 주요 특징은 단말이 복수 개의 페이징 그룹에 가입할 수 있다는 것이다. 이를 통해서 단말의 이동 중에, 위치 등록을 위한 불필요한 액세스의 절차를 최소화하도록 하였다.

### 3. 맺음말

기존 WiBro 및 WiMAX 시스템과 호환성을 유지하면서 IMT-Advanced 시스템 요구사항을 만족하도록 개발된 IEEE 802.16m 표준규격은 WiBro/WiMAX 시

스템의 표준 및 시장 로드맵을 IMT-Advanced까지 연결시키는 역할을 함으로써 4세대 이동통신 표준화에 중요한 부분을 차지하게 되었다. 차세대 이동통신 기술의 주도권을 확보하고자 세계 각국이 치열하게 경쟁하는 현재의 상황에서, IEEE802.16m 표준규격의 개발에 많은 기여를 한 우리나라의 이동통신 산업계는 분명 유리한 위치에 있다고 할 수 있으며, 적극적 활용을 통해, 앞으로의 이동통신 진화 기술들의 선점을 위한 노력이 지속 필요하겠다. 

#### 정보통신 용어해설

### 에너지 하베스팅

Energy Harvesting [기초]



자연에 존재하는 아주 작은 에너지를 전기 에너지로 변환하여 사용하는 기술.

사람이나 교량의 진동, 실내의 조명광, 자동차의 폐열, 방송의 전파와 같이 우리 주변에 존재하는 에너지를 회수하여 전기를 얻을 수 있는 기술이 에너지 하베스팅 기술이다. 전력은 대단히 적지만, 용도에 따라서는 건전지를 충전할 필요도 없는 친환경적 무공해 에너지로 고효율, 저소비전력 회로를 가진 IC가 나오으로써 활용 범위가 확대되고 있다.

