

# IEEE 802.16 WirelessMAN™ 무선접속 표준화 동향

김윤희\* 김광순\* 이상현\*\* 장경희\*\*\*

광역 무선접속 방식은 광 케이블나 유선 케이블 없이 고정 가입자들에게 저비용으로 대용량의 고속의 데이터를 제공할 수 있다. 이러한 광대역 무선접속에 대한 표준을 담당하고 있는 IEEE 802.16 은 최근에 규격을 일차적으로 완성하였고, 규격의 확장 및 보완을 가속화하고 있다. 이러한 규격을 바탕으로 무선 MAN 개발 및 상용화가 빠르게 진행되고 있으며, 이에 본 고에선 IEEE 802.16 에서 현재 진행중인 표준화 동향과 무선접속 기술을 소개하고자 한다. ☐

목	차
---	---

- I. 머리말
- II. 표준화 동향
- III. 무선접속 규격
- IV. 맺음말

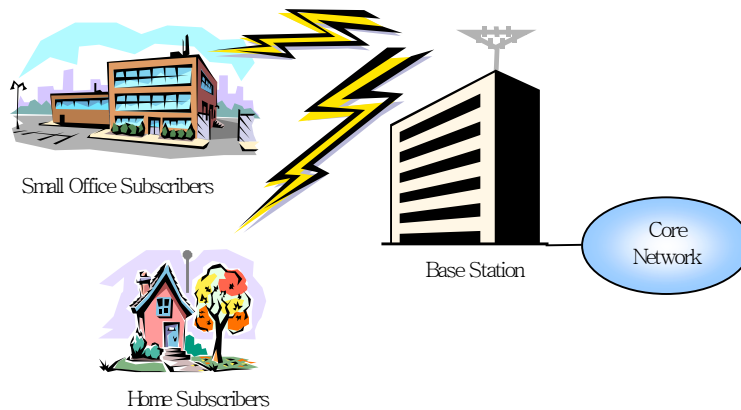
## I. 서론

지난 10 년 동안 건물 안의 제한된 영역 안에서 통신망을 형성하는 LAN(Local Area Network)이나 지방과 지방, 국가와 국가의 특정 지역을 연결하는 WAN(Wide Area Network) 에 대한 투자가 많았으나, 그 사이의 영역에 있는 MAN(Metropolitan Area Network)에는 투자가 그리 많지 않았다. 그러나, 지역 내 데이터 통신 양이 크게 증가하면서 WAN 과 LAN 사이의 공간을 채워 줄 MAN 시장도 빠르게 성장하고 있다. 현재, MAN 을 형성하는 망으로 광통신망, 케이블 모뎀, DSL(Digital Subscriber Line) 등이 있다.

대형 회사에서는 많은 사람들이 통신망에 접속하고 처리하는 데이터 양이 많기 때문에 대용량의 고속 광통신망을 접속해야 한다. 그러나, 전체 통신망

\* 무선전송방식연구팀/선임연구원  
 \*\* 무선전송방식연구팀/연구원  
 \*\*\* 무선전송방식연구팀/팀장

에서 광통신망이 차지하는 비율은 5% 이하이고 새로 광통신 망을 구축하기 위해서는 비용과 시간이 많이 필요하다. 한편, 소규모 회사나 가정에서는 일반적으로 케이블 모뎀이나 DSL 과 같은 유선 망을 사용하고 있다. 케이블 시스템은 거주 지역의 케이블 TV 설치 구조에 근거를 두고 있기 때문에 비즈니스 가입자를 지원하기가 어렵고, 기존의 전화선을 이용하는 DSL 은 거리 제한과 전송률의 한계가 있다. 또한, DSL, 케이블 등의 시스템은 가입자가 데이터를 송신할 때의 주파수 대역이 상대적으로 적기 때문에 데이터 전송률이 높은 인구 밀도가 높은 도시 지역에서는 응용하기가 어렵다.

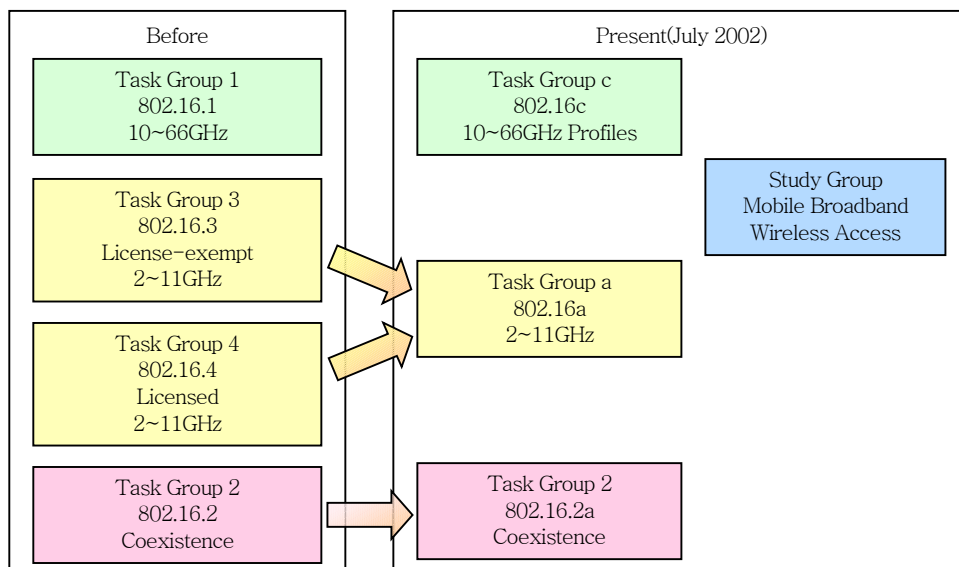


(그림 1) 고정 광대역 무선 접속

이러한 문제점을 대처하는 한 방안으로 (그림 1)에서와 같이 광케이블이나 케이블 대신 무선으로 망을 형성하여 광케이블 설치 등에 필요한 비용을 줄이고 싼 가격으로 서비스를 제공하는 고정 광대역 무선 접속을 바탕으로 하는 무선 MAN 에 대한 관심이 대폭 증가하였다. 이러한 요구에 따라 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 의 LAN/MAN 표준 위원회인 IEEE 802 에서는 광대역 무선접속 규격 개발을 목적으로 802.16 WG(Working Group)을 1999 년 설립하였다. IEEE 802.16 은 약 2년 동안의 집중적인 표준화 작업 끝에 2002 년 4 월 10~66GHz 대역에서의 무선 MAN 서비스를 위한 IEEE Standard 802.16 WirelessMAN™ 규격을 발표하였고, 현재 보완 및 2~11GHz 대역으로의 확장을 위한 수정 작업을 진행하고 있다 [1-4]. IEEE 802.16 무선 접속 규격의 가장 큰 특징은 수많은 가입자가 음성, 영상, 데이터 등의 전송을 위한 용량을 공유하면서 대역폭에 대한 가입자의 요구에 따라 채널이나 셀을 추가하여 대역폭을 바꿀 수 있다는 점이다. 이렇게 광대역 무선접속 방식의 공통 표준이 일차적으로 완성됨으로써, 많은 사업자들이 고속 무선 MAN 개발 및 상용화 단계에 이르렀다고 볼 수 있다.

## II. 표준화 동향<sup>1)</sup>

IEEE 802.16 은 광대역 무선접속에 관한 무선접속 규격 및 이와 관련된 기능을 표준화하는 역할을 수행하고 있다. (그림 2)는 IEEE 802.16 의 WG 를 나타낸 것이다. 1999 년에는 TG(Task Group)이 4 개로 나뉘어져 있었으며, TG1(Task Group 1)에서 10~66GHz 대역에서의 무선접속 규격 작성을 담당하였고, TG2(Task Group 2)에서 광대역 무선접속 시스템의 공존에 관한 권고 표준을 작성하였으며, TG3(Task Group 3)에서는 2~11GHz 인가 대역에서의 무선접속 규격 작성, TG4(Task Group 4)에서는 2~11GHz 비인가 대역에서의 무선접속 규격 작성을 담당하였다. TG1 은 2 년 동안 10~66GHz 대역에서의 무선 접속 규격인 IEEE Standard 802.16<sup>2)</sup>을 작성하여 2001 년 12 월에 승인을 받고, 2002 년 4 월 8 일에 그 규격을 발표하였고, TG2 에서 는 광대역 무선접속 시스템의 공존에 관한 권고 표준인 IEEE Standard 802.16.2 를 작성하여 2001 년 9 월 10 일에 발표하였다. 현재 IEEE 802.16 WG 는 130 명의 회원으로 구성되어 있으며, (그림 2)에서와 같이 TGa(Task Group a), TGc(Task Group c), TG2, MBWA SG(Mobile Broadband Wireless Access Study Group)로 구성되어 802.16 규격의 수정 및 보완을 계속하고 있다[5].



(그림 2) IEEE 802.16 Working Group

1) 2002년 7월 20일을 기준으로 작성하였으며, 이후 표준화 진행에 따라 다소 바뀔 수 있다.

2) 다른 802.16 표준과의 구분을 위해 이후에는 802.16.1로 명명한다.

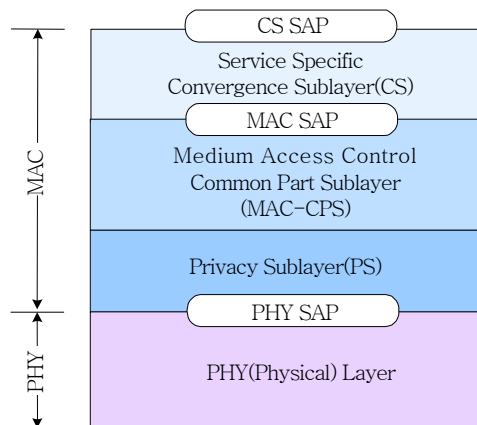
현재 IEEE 802.16 WG 의 규격 개발 동향은 <표 1>과 같다.

<표 1> IEEE 802.16 WG 의 규격 개발 현황

WG	업무 내용 및 현황
TGa	2~11GHz 대역을 위한 MAC(Medium Access Control) 보완 및 물리 계층 무선접속 규격 보완 모든 물리 계층 규격에 스마트 안테나를 지원하기 위한 추가 규격을 정의하고, ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 추가하였으며, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 물리 계층 사양을 포함한 Draft 4 를 조건부 승인하였으며, 2002 년 10 월까지 규격 작성을 완료할 예정이다.
TGc	10~66GHz 프로파일 TGc 는 10~66GHz 대역 시스템의 상호운영(interoperability)을 서비스 프로파일에 대한 규격 802.16c Draft 1 이 조건부 승인 하에 있으며, 10 월까지 작성을 완료할 예정이다. 현재, 10~66GHz 대역 무선접속 규격에 대한 프로토콜 구현 일치 보고서를 작성할 새로운 프로젝트를 제안하였고 이에 대한 인가를 기다리고 있다.
TG2	고정 광대역 무선접속 시스템의 공존에 대한 권고 실행 수정 2001 년 9 월 802.16.2 규격을 발효한 이후 TG2 에서는 점대점 통신에 대한 권고 사항을 향상시키고, 2~11GHz 에서의 인가 대역에 대한 권고 사항을 포함하는 802.16.2a 를 작성하고 있다.
MBWA SG	이동 광대역 무선접속을 위한 무선접속 규격 연구 2002 년 3 월에 광대역 무선 접속에 이동성을 향상시키기 위한 목적으로 MBWA SG 가 결성되었고, 5 월 말에 첫 회의, 7 월 초에 두번째 회의를 개최하였다. 현재 802 에서는 MBWA SG 에 대한 필요성에 대해 동의하고 있으나, 이에 대한 SG 가 802.16 에 계속 존재할지 아니면 802 위원회 하의 새로운 WG 을 형성할지는 추후 결정될 예정이다.

### III. 무선접속 규격

IEEE 802.16 무선접속 규격은 (그림 3)과 같이 크게 MAC(Medium Access Control) 계층과 물리 계층(physical layer)을 정의한다. MAC 계층은 크게 CS(Convergence Sublayer),



(그림 3) IEEE 802.16 규격 정의 범위

MAC CPS(Common Part Sublayer), PS(Privacy Sublayer)로 나눌 수 있다. CS는 디지털 오디오/비디오 멀티캐스트, 디지털 전화, 인터넷 접속 등의 제공 서비스 프로토콜을 802.16 MAC 프로토콜에 맞도록 변환하는 기능을 수행하며, PS는 보안 기능을 수행한다. MAC-CPS는 프레임을 만들어 데이터를 송신하고 공유 무선 매체로의 접속을 제어하는 기능을 수행하며, 기지국이나 가입자가 송신을 어떻게 언제 시작할지를 정의하는 MAC 프로토콜에 따라 데이터 및 제어 신호의 흐름을 제어한다. 물리 계층은 데이터 및 제어 신호의 무선 전송을 위한 주파수 대역, 변조 방식, 오류정정기술, 송신단과 수신단 사이의 동기, 데이터 전송률, 프레임 구조 등을 정의한다[1].

IEEE 802.16 MAC은 가입자가 많고 상향 링크와 하향 링크 모두에 고속 데이터 전송이 요구되는 대용량 광대역 환경을 지원하고, 연속적인 트래픽과 비연속적인 패킷 데이터를 모두 지원하며, 서비스마다 다른 QoS(Quality of Service)를 제공하면서, ATM, IP, Ethernet과 같은 망에 연결될 수 있다. IEEE 802.16의 가장 큰 특징은 통일된 물리 계층 규격을 지원하는 것이 아니라 다양한 물리 계층 접속 규격을 지원할 수 있다는 것이다.

### 1. IEEE 802.16.1[1]

현재 규격이 완성된 IEEE 802.16.1 무선접속 규격은 10~66GHz 대역을 이용하여 무선 MAN 서비스를 제공하기 위한 규격으로, 양방향 통신을 위해 10.5, 25, 26, 31, 38, 39GHz 대역과 같은 인가 대역에서 20, 25, 28MHz 폭의 광대역으로 전송한다. 이 규격의 물리 계층 설계 조건은 기지국과 가입자 사이의 무선 채널에 LOS(Line-Of-Sight)가 있다는 것이다. 이런 상황에서는 다중경로에 의한 간섭이 크지 않으므로 단일 반송파 방식의 사용이 가능하다.<sup>3)</sup>

단일 기지국에서 여러 가입자로 데이터를 전송하는 하향 링크에서는 디지털 오디오/비디오와 같은 연속적인 데이터 전송이나 인터넷 패킷 데이터와 같은 버스트 데이터를 시간 영역에서 구분하여 여러 가입자에게 전송하는 TDM(Time Division Multiplexing) 방식을 사용한다. 한편, 여러 가입자가 단일 기지국으로 접속하는 상향 링크에서는 시간 자원을 일렬의 프레임으로 나누고 프레임을 구성하는 시간 슬롯을 사용자 요구에 따라 동적으로 할당하는 TDMA(Time Division Multiple Access)를 사용한다. 다중화 기법으로 상하향 링크가 동일 주파수 대역을 사용하고 상하향 신호를 동시에 전송할 수 없는 TDD, 상하향 링크가 다른 주파수 대역을 사용하면서 상하향 신호를 동시에 전송하는 것이 가능한 FDD(Frequency Division Multiplexing), FDD 보다는 값이 저렴한 대신 송수신을 동시에 병행할 수 없는 H-FDD(Half-FDD)를 모두 지원한다.

3) 이 무선접속방식을 WirelessMAN-SC(Single Carrier)라고 부른다.

IEEE 802.16.1 의 가장 중요한 특징 가운데 하나가 하향 링크와 상향 링크에서 모두 적응 변조/부호화 기법을 사용하는 점이다. 저차 변조 방식과 부호율이 낮은 부호화 방식을 사용하면 열악한 채널에 비교적 안정적으로 보낼 수 있으나 데이터 전송 면에서 효율이 떨어진다. 반면 고차 변조 방식 및 높은 부호율의 부호화 방식을 사용하면 채널이 나쁠 때 오류율이 크게 증가하는 대신 데이터 전송률이 높아진다. 따라서, 가입자에 따라 가입자 채널 상태에 알맞은 변조 방식 및 부호화 방식을 사용하면 요구 성능을 만족시키면서 데이터 전송률을 높일 수 있다. 변조 방식으로는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM을 지원하며, 부호화 방식은 RS(Reed-Solomon) 부호와 길쌈 부호를 연결한 부호를 기반으로 다른 선택 사양이 있다. 이 때 각 대역폭에서 전송할 수 있는 최대 데이터 전송률은 20MHz 대역에서 96Mbps, 25MHz 대역에서 120Mbps, 28MHz 대역에서 134.4Mbps 이다.

## 2. IEEE 802.16a[2]

IEEE 802.16 의 TGa 에서는 2~11GHz 대역 안의 인가 대역과 비인가 대역을 모두 이용하여 무선 MAN 을 제공하기 위한 무선접속 규격 IEEE 802.16a 를 작성하고 있다. 현재 IEEE 802.16a 의 내용은 고정된 것이 아니고 투표 결과 및 앞으로의 수정에 따라 그 내용이 바뀔 수 있으며, 아래의 내용은 Draft 3 의 내용을 바탕으로 기술한 것이다. 2~11GHz 대역용 무선 접속 규격은 10~66GHz 대역보다 파장이 길기 때문에 꼭 LOS 환경일 필요는 없다. 또한 이용할 수 있는 대역폭이 1.5~14MHz 으로 10~66GHz 대역에서의 대역폭보다는 좁기 때문에, 대용량을 필요로 하는 대형 회사보다는 주로 거주 지역의 가입자에게 응용될 것으로 기대하고 있다. 특히 거주 지역에서는 안테나 위치가 비교적 낮고 주변 물체에 의해 전파 경로가 차단되는 경우가 많아 LOS 가 없는 환경이 빈번히 발생하기 때문에, IEEE 802.16a 에서는 LOS 가 없는 환경에서의 다중 경로 지연이나 간섭 등을 대처하기 위한 방법을 고려한다. 이러한 방법에는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식과, 스마트 안테나 방식, 그리고 무선 매체

<표 2> IEEE Standard 802.16a 무선접속 방식의 특징

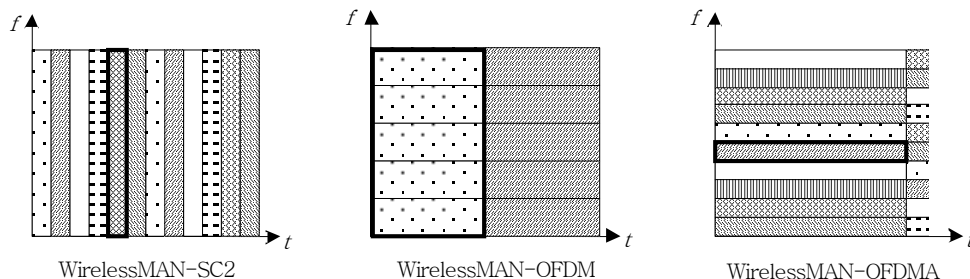
무선접속 방식	특징
WirelessMAN-SC2(Single Carrier type 2)	단일 반송파 방식을 사용하며 다중 접속 방식은 TDMA 이다.
WirelessMAN-OFDM	FFT(Fast Fourier Transform) 크기가 256 인 OFDM 변조 기법을 사용하며, 다중접속 방식은 TDMA 이다. 5~6GHz 비인가 대역에서는 이 방식만을 사용할 수 있다.
WirelessMAN-OFDMA (OFDM-Frequency Division Multiple Access)	FFT 크기가 2048 인 OFDM 변조 기법을 사용하며, 다중접속 방식은 사용자마다 OFDM 심볼의 부채널의 일부를 할당하는 OFDMA 방식이다.

에서 일어날 수 있는 데이터 손실을 대처하는 ARQ(Automatic Repeat reQuest) 기능이 있다. 한편, 2~11GHz 대역 안의 비인가 대역(5~6GHz)에서는 간섭 문제와 다른 시스템과의 공존 문제 등을 고려하여 다중화 방식이나 변조 방식에 있어서 제한을 두고 있다.

현재 IEEE 802.16a 에 명시되어 있는 무선접속 방식은 <표 2>와 같다.

세 접속 규격은 데이터 스크램블링, 채널 부호화, 인터리버, 변조 방식에 따른 심볼 매핑까지는 그 구조가 서로 비슷하며, 다음 단계의 단일 반송과 변조와 OFDM 변조 방식에서 차별성을 지닌다. 세 접속 규격에 대한 채널 부호화 방식은 IEEE 802.16.1 에서처럼 RS 부호와 길쌘 부호의 연결 부호를 기본으로 하며, 선택 사양으로 반복 복호로 지연 시간이 길지만 성능이 우수한 TPC(Turbo Product Code) 방식을 두었다. 변조 방식은 QPSK와 16-QAM이 기본이며, 64-QAM 은 SC2 에서만 필수적으로 지원한다. 또한, 안테나 송신 다양성을 얻기 위해 선택 사양으로 Alamouti 의 STC(Space Time Coding) 기법을 지원한다[6].

세 접속 규격의 큰 차이점은 변조 반송과 수와 다중접속 방식, 그리고 자원 할당 최소 크기이다. 변조 반송과 수가 하나이나 여럿이나에 따라 SC2 와 OFDM/OFDMA 를 구분할 수 있으며, 다중 접속 방식에 의해 OFDM 방식과 OFDMA 방식을 구분할 수 있다. (그림 4)는 세 무선 접속 규격이 시간과 주파수 자원을 어떻게 활용하는가와 자원 할당의 최소 크기를 개념적으로 보여 주는 것이다. SC2 방식은 사용 주파수 대역을 모두 차지하는 시간에서의 길이가 짧은 심볼들을 전송하는 것으로, 이 심볼을 단위 크기로 자원 할당을 바꿀 수 있다. OFDM 방식은 SC2 심볼보다 시간에서의 길이가 길고 주파수 대역폭이 작은 여러 심볼들을 여러 부채널로 병렬로 전송하며, 병렬로 전송하는 심볼들로 이루어진 OFDM 심볼이 자원을 할당하는 최소 크기이다. OFDMA 방식은 OFDM 심볼을 구성하는 여러 부채널 심볼들을 최소 단위로 자원을 할당할 수 있다. 따라서, OFDMA 방식은 OFDM 방식보다 최소 자원 할당 크기가 작기 때문에 OFDM 방식보다 사용자 요구에 따른 자원 할당이 용이하다.



(그림 4) 802.16a 무선접속 규격의 자원 할당 크기

### 3. IEEE 802.16.1 과 IEEE 802.16a 무선접속 규격 비교

<표 3>은 IEEE 802.16.1 의 WirelessMAN-SC 방식과 IEEE 802.16a 의 WirelessMAN-SC2, WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA 방식을 비교 정리한 것이다. 괄호 안의 내용은 선택 사양이다.

<표 3> IEEE WirelessMAN™ 무선접속 규격 비교

	WirelessMAN-SC	WirelessMAN-SC2	WirelessMAN-OFDM		WirelessMAN-OFDMA	
응용 주파수 대역	10~66GHz 인가 대역	2~11GHz 인가 대역	2~11GHz 인가 대역	2~11GHz 비인가 대역	2~11GHz 인가 대역	(2~11GHz 비인가 대역)
대역폭	20, 25, 28 MHz	1.5, 1.75, 3, 3.5, 6, 7, 10, 14MHz	1.5, 1.75, 3, 3.5, 6, 7, 10, 14MHz	1.5, 1.75, 3, 3.5, 6, 7, 10, 14MHz	1.5, 1.75, 3, 3.5, 6, 7, 10, 14MHz	1.5, 1.75, 3, 3.5, 6, 7, 10, 14MHz
물리 계층	SC	SC2	OFDM	OFDM	OFDMA	OFDMA (OFDMA2)
MAC 계층	기본	기본, (ARQ), (STC), (AAS)*	기본, (ARQ), (STC), (AAS)	기본, (ARQ), (STC), (AAS), (MSH)**	기본, (ARQ), (STC), (AAS)	기본, (ARQ), (STC), (AAS), (MSH)
다중화	TDD, FDD, HFDD	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD	TDD, FDD	TDD
다중접속	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA	OFDMA	OFDMA
부호화 방식	RS, RS-CC, (RS-PCC),*** (TPC)	RS-CC, (TPC)	RS-CC, (TPC)	RS-CC, (TPC)	RS-CC, (TPC)	RS-CC, (TPC)
하향 링크 변조 방식	적응 변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)	적응 변조 QPSK, 16QAM, 64QAM, (BPSK), (256QAM)	적응 변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)	적응 변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)	적응 변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)	적응 변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)
상향 링크 변조 방식	적응변조 QPSK, (16QAM), (64QAM)	적응변조 QPSK, 16QAM, (BPSK), (64QAM)	적응변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)	적응변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)	적응변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)	적응변조 QPSK, 16QAM, (64QAM)

\* AAS: Adaptive Antenna System

\*\* MSH(MESH): 여러 다른 통신 단말에게 데이터를 전달할 수 있는 망 구조이다.

\*\*\* RS-PCC(Parity Check Code): RS 와 PCC 의 연결 부호이다.

## IV. 맺음말

IEEE 802.16 은 무선 MAN 을 위한 광대역 무선접속 서비스 규격을 작성하여 무선 MAN 의 개발 및 상용화를 가속화하고 있다. IEEE 802.16 규격은 여러 사업자, 제조업체들이 상호호



환이 가능한 제품을 만들면서도 회사별로 차별성 있는 제품을 생산할 수 있도록 유연성을 제공하고 있다. 따라서, 무선 MAN 시장에서 큰 회사뿐만 아니라 기술력 있는 벤처들이 성공할 여지가 크다고 할 수 있다.

한편으로, IEEE 802.16 에 이동 광대역 무선접속에 대한 연구 그룹이 만들어졌다는 것은 중요한 의미를 지닌다. 현재의 고정 광대역 무선접속 방식에 이동성을 부여함으로써 대용량 고속 데이터 전송 기술을 바탕으로 무선 MAN 시장의 범위를 이동통신 시장으로까지 확장하여 4 세대 이동통신 시스템에 주도권을 확보하고자 하는 의도로 볼 수 있다. 따라서, 무선 MAN 관련 업체뿐만 아니라 이동통신 관련 업체에서도 이 연구 그룹의 활동에 관심을 두고 적극적으로 참여할 필요가 있다.

#### <참 고 문 헌>

- [1] IEEE 802.16-2001, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems," Apr. 8, 2002.
- [2] IEEE 802.16a/D3-2001, "Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks- Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems- Medium access control modifications and additional physical layers specification," Mar. 25, 2002.
- [3] IEEE 802.16.2-2001, "IEEE Recommended Practice for Local and Metropolitan Area Networks- Coexistence of fixed broadband wireless access systems," Sep. 10, 2001.
- [4] C. Eklud, R.B. Marks, K.L. Stanwood, and S. Wang, "IEEE Standard 802.16: A technical overview of the WirelessMAN™ air interface for broadband wireless access," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.40, No.6, June 2002, pp.98-107.
- [5] <http://WirelessMan.org>
- [6] S.M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.16, No.8, Oct. 1998, pp.1451-1458.