

# OFDM 무선전송 시스템

□ 김남경, 손인수 / 동국대학교

## 1. 서론

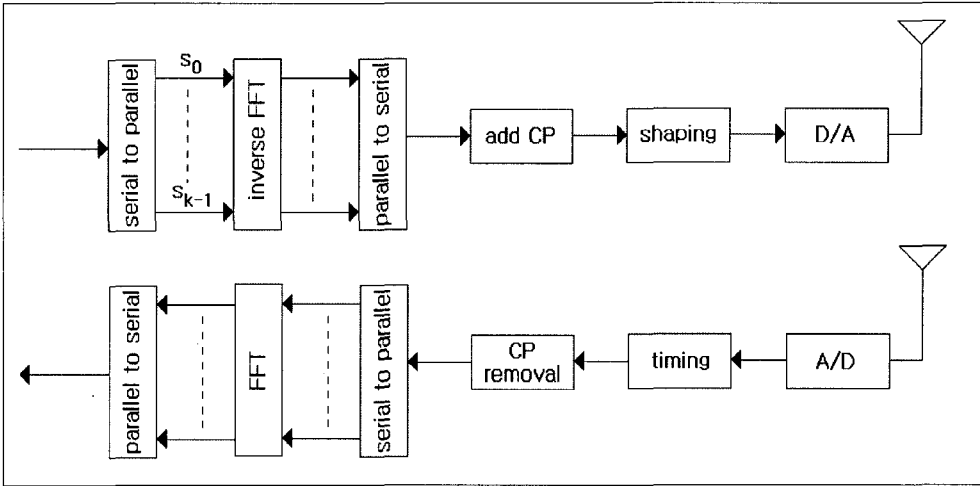
방송통신융합 등과 같은 여러 가지 사회적 이슈로 인해서 점점 데이터 전송량이 많아지고 고속화됨으로 인해서 빠른 전송 속도를 요구하게 되었다. 이러한 요구에 의해서 데이터 단위인 심볼을 빠르게 전송하게 되면 여러 개의 전송 경로에 의해서 심볼간의 간섭(ISI: Inter-symbol Interference)이 발생하게 되고 이렇게 되면 데이터의 손실이 매우 커지게 되어서 빠른 전송속도에 비해서 단점이 너무 많아지게 된다. 이에 따라 어느 정도의 오류가 수정될 수 있을 정도로 빠른 통신 방식이 요구되고 있다. 이러한 요구는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이라는 기술에 의해 해결이 된다.

OFDM은 한 개의 반송파를 이용하는 것이 아니고 여러 개의 반송파를 이용한다. 이때, 한 개의 심

볼 내의 데이터를 여러 개로 잘라서 각 반송파로 실어 보내게 된다. 이렇게 되면 전체적인 데이터 전송률은 빨라지지만 각각의 반송파는 오류를 충분히 수정할 수 있을 만큼 느리게 전송이 되어서 노이즈나 간섭의 영향에 강한 면을 보이게 된다.

1990년 초에 무선 LAN 기술로서 처음 OFDM이 장려되었고, 현재 디지털 오디오 방송(DAB: Digital Audio Broadcast)과 디지털 지상 텔레비전 방송(DTTB: Digital Terrestrial Television Broadcast), ASDL (Asymmetric Digital Subscriber Line)과 VSDL(Very high data rate Digital Subscriber Line)의 표준방식으로 사용되고 있다. 이후에도 유럽, 일본 및 호주의 디지털 TV 표준으로 채택될 것으로 기대된다.

이 논문에서는 OFDM 기술에 대해서 살펴보고, 앞으로의 차세대 OFDM 무선전송 기술이 어떻게 발전해 나아가는지에 대해 논할 것이다.



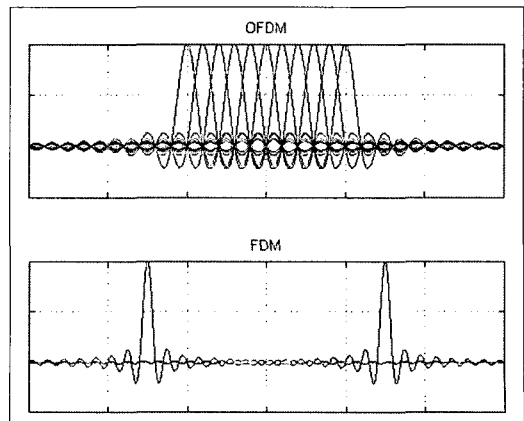
〈그림 1〉 OFDM block diagram

## II. OFDM 기술

OFDM은 직교주파수 분할 다중 기술이라고 하며, 다수의 반송파를 정교하게 분리하여 사용하는 변조방식이다. 각각의 반송파에 데이터를 실어서 보냄으로써 한 개의 반송파를 사용하는 것보다 훨씬 고속으로 보낼 수 있는 방식이다.

OFDM은 기본적으로 〈그림 1〉과 같은 구조를 가지고 있다. 즉, 처음에 한 개의 심볼의 데이터를 K개 만큼의 병렬로 바꾸어 준 다음에 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 통해서 각각의 반송파를 직교성 있게 만들어 준다. 이후 다시 직렬신호로 만들고 심볼의 마지막 부분에 뒤의  $N_g$  포인트 정도 잘라서 심볼의 앞에 붙이는 작업을 한다. 이것을 CP(Cyclic Prefix) 라고 한다. 이후에 shaping이라는 작업을 통해서 샘플링을 해주고 Digital-to-Analog 변환을 통해서 아날로그 신호로 바꾸어서 신호를 전송하게 된다. 수신단에서는 위에서 했던 일을 거꾸로 하게 되고 원래의 데이터를 복원하게 된다.

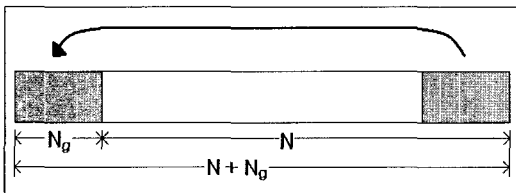
앞서서 FFT, IFFT를 통해서 반송파간의 직교성을 유지한다고 했던 이유가 〈그림 2〉에 나와있다. 각 반송파로 보내어지는 데이터는 시간영역에서 심볼길이만큼 주기를 갖고 구형파를 곱한 형태이므로 IFFT를 하게 되면 싱크(sinc)함수 형태로 나타나게 된다. 이때 이 싱크함수들은 심볼길이의 역수만큼 정해지면 〈그림 2〉와 같이 직교성이 유지가 된다.



〈그림 2〉 OFDM과 FDM 반송파 스펙트럼

여기서 나오는 직교성으로 인해서 일반적인 FDM(Frequency Division Multiplexing)과의 차이를 나타낸다. FDM은 앞선 반송파 스펙트럼의 영향이 거의 없을 때까지 반송파 간의 폭을 넓혀서 전송하는 반면에 OFDM은 반송파 간에 서로 영향을 미치지 않는 점을 찾아내서 그 폭만큼 반송파를 사용하게 되고 이러한 점 때문에 FDM보다 훨씬 효율적으로 주파수 자원을 활용할 수 있게 된다. 그리고 여기서 나타나는 반송파 간의 폭을 나타내는 심볼주기도 FDM보다 OFDM이 훨씬 짧게 된다.

CP는 간섭에 의한 데이터의 손실을 차단하는 역할을 하게 된다. OFDM의 특성상 다중의 반송파를 사용하게 되므로 여러 경로를 통해 들어오는 동안 반송파끼리 서로 간섭을 줄 수가 있다. 그러므로 한 심볼의 뒷부분의  $N_g$ 만큼 길이를 잘라서 앞부분에 덧붙이고 원래의 심볼크기인  $N$ 과 더해져서  $N+N_g$ 만큼 전송하는 방식이다. 이것은 <그림 3>에 잘 나타나어져 있다. 이 방식으로 ISI(Inter-Symbol Interference) 문제를 해결할 수 있다.



<그림 3> Cyclic Prefix

하지만 위와 같은 기법에 의한 장점에도 불구하고 주변의 간섭이나 노이즈 등에 의해서 채널왜곡이 심하게 되어버리면 직교성을 유지하기 힘들다. 그렇게 되면 옆의 심볼에 영향을 주어서 데이터가 많이 손상이 되고 원래의 데이터를 복원할 수 없게 된다. 이러한 점을 해결하기 위해서 많은 채널추정 기법이 나와

있다. 대표적으로는 LS(Least Square), MMSE (Minimum Mean-Square Error) 등이 있다. 이외에도 앞으로 많은 채널추정 기법이 개발될 것이다.

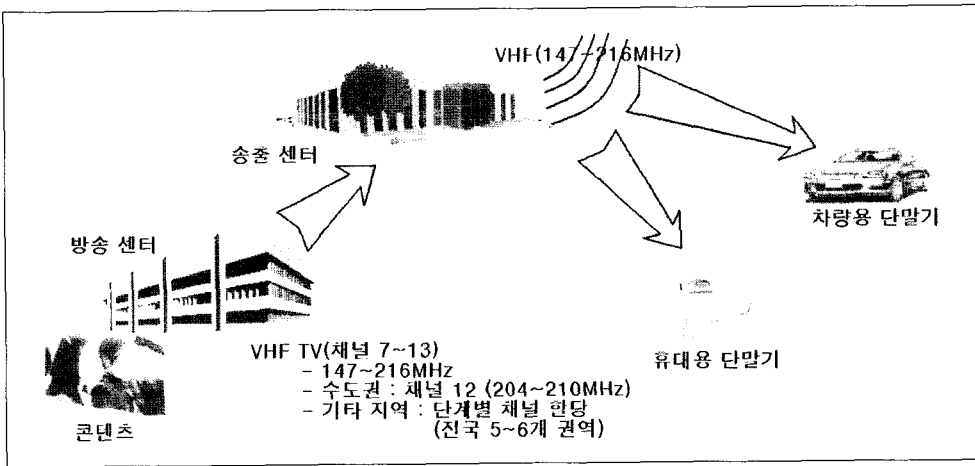
최근에 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 기술과 접목하여 MIMO-OFDM이라는 기술을 SK텔레콤이 제주도에서 시연을 한 적이 있다. 또한 Multi-user OFDM과 같은 기술이 개발이 되고 있고, 4세대 이동통신으로 주목받고 있는 WiBro (Mobile WiMAX)도 OFDM 기술을 이용한 것이다. 점점 더 OFDM을 기반으로 한 기술들이 많이 늘어날 것이고 이에 따라 점점 더 발달하게 될 것이다.

### III. OFDM 무선전송 시스템

#### 1. T-DMB

DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 기술은 보행이나 차량으로 고속 이동 중(최대 200km/h)에도 사용자에게 동영상이나 CD (Compact Disk) 수준의 오디오, 비디오, 그리고 데이터 서비스 등과 같은 다양한 멀티미디어 서비스를 안정적으로 수신할 수 있도록 제공하는 이동 멀티미디어 방송이다. 이 중에서 T-DMB(Terrestrial-DMB) 즉, 지상파 DMB는 2005년 상반기부터 서비스에 들어갔다.

우리나라의 T-DMB 시스템은 유럽의 Eureka-147 DAB(Digital Audio Broadcasting) 시스템에 기반을 두고 있으며, 차량에 부착해 다니는 차량 이동 수신용(최대 100km/h)이 기본 개념으로 되어있다. 변조기법은 DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying)을 사용하고 신호 전송방법은 이동채 수신에서 다중경로 페이딩 및 도플러 확산에 대처하기 위해서 오류정정 코드를 삽입한 Coded



〈그림 4〉 국내 T-DMB 개념도

OFDM을 사용했다. 동영상 압축 및 복원 규격은 국내 기업들이 지적 재산권을 상당수 보유하고 있는 MPEG-4로 결정하였다.

채널 수는 최소 6개 이상을 유지하며, VHF 주파수 대역(147~216MHz)을 이용한다. 이것은 핸드폰을 통한 멀티미디어 서비스보다 훨씬 넓은 대역폭이다. 이러한 다채널을 이용하여 음성 프로그램과 데이터 프로그램을 동시에 서로 다른 데이터율로 전송이 가능하다. 또한 다른 서비스와 상관없이 독립적으로 문자나 그래픽 또는 화면으로 프로그램을 제공하는 NPAD (Non-Program Associated Data) 서비스가 가능하다. NPAD 서비스란, 순수 부가 데이터 서비스를 말하며, 기차나 비행기 시간표, 날씨, 증권정보 등을 말한다. 휴대폰을 통한 멀티미디어 서비스보다 저렴한 가격으로 앞서 말한 다른 장점과 함께 매우 유용한 멀티미디어 서비스를 제공할 수가 있다.

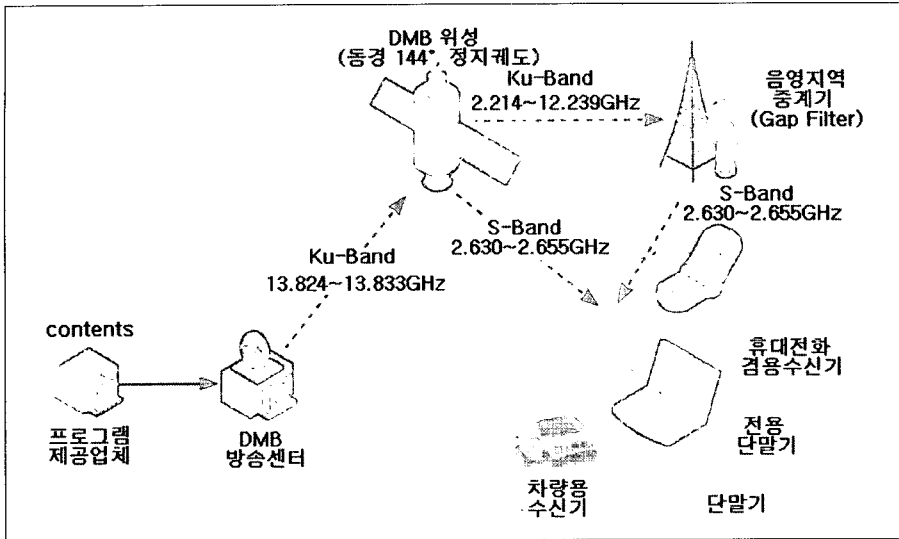
## 2. S-DMB

2005년 1월부터 Tu미디어가 SK텔레콤을 통해

서 위성 DMB 즉, S-DMB(Satellite-Digital Multimedia Broadcasting)를 이용해 서비스에 들어갔다. 기존 방송의 공간적 한계를 극복했다는 점에서 기존의 DMB와는 다른 점이다. 또한 이동속도(최대 250km/h) 면에서도 지상파 DMB 보다 훨씬 성능이 좋다. 하지만 우리나라에서는 지상파 DMB에 비해서 DMB 시장에서 많이 밀리고 있는 실정이다.

S-DMB는 System A, B, Ds, Dh, E와 같이 다섯 가지 방식이 있다. 이 중에서 System A가 OFDM 전송 방식을 사용하고 있어서 다른 방식보다 주파수 사용 효율이 높다. 이 방식은 유럽 표준 DAB 방식(Eureka-147)으로 사용이 되고 있다. 반면에 우리나라에서는 System E를 표준으로 하고 있고 TDM(Time Division Multiplexing)방식과 CDM(Code Division Multiplexing)방식으로 신호를 주고 받는다.

이 중에서 특기할만한 것은 음영지역에서는 위성 신호를 Gap-Filter를 통해 수신한다는 것이다. 위성의 특성상 도심 건물 등 장애물에 의해 음영지



(그림 5) S-DMB 서비스 구성도

역이 발생하게 된다. 이때 Gap Filter가 위성 TDM 신호를 CDM 신호로 변환하고 증폭하여 단말기로 송신하게 된다.

OFDM 전송방식이 채택된 앞서 말한 유럽의 위성 DAB 방식은 오디오 위주의 서비스에서 벗어나 시청각 서비스를 제공하며, 이동성이 있다는 점에서 본격적인 휴대형 멀티미디어로서 DMB로 확장하는데 중요한 특성을 부여해 주고 있다. 기존의 아날로그 방식인 AM/FM 방식보다 잡음 및 다중경로 방해 등에 강하며, OFDM 전송방식 만의 특징을 살려서 차별화된 다양한 데이터 서비스가 함께 제공이 된다. 즉, 비디오 전송, GPS(Global Positioning System) 서비스와 같은 서비스와 더불어 광역호출 등의 고부가가치 서비스를 제공한다.

### 3. Wi-Fi

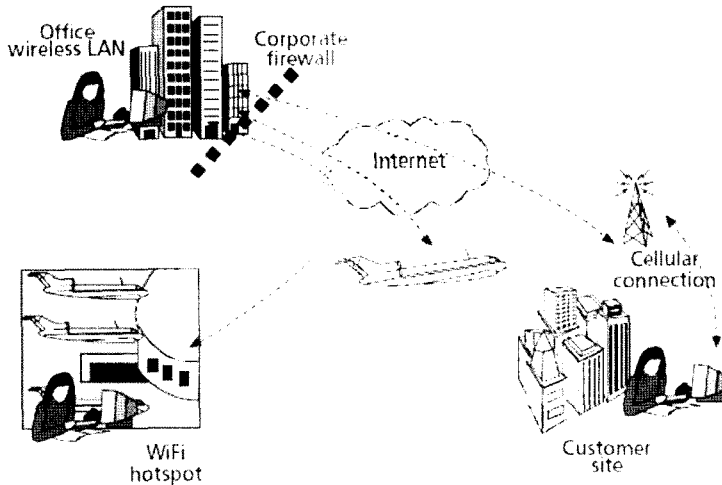
Wi-Fi(Wireless Fidelity)는 무선 LAN (Local

Area Network) 통신을 고성능으로 할 수 있도록 하는 것으로 현재 IEEE 802.11b 표준으로 되어있다. 초기에는 도달거리가 10m 밖에 되지 않았지만 2000년도에 들어서면서 50~200m까지 늘어났고 대학과 기업 등에서 유용하게 사용되고 있다.

WECA(Wireless Ethernet Compatibility Alliance)에서 처음 제안했으며, WISPr (Wireless Internet Service Provider roaming)에 의해서 국가간의 통신 즉, 로밍 기술이 포함되었다. 또한 Mobile IP에 의해서 개인 IP를 가지고 통신을 하는 방식도 개발이 되고 있다.

협대역 채널(Narrow-band radio channel)을 사용하고, 주파수 분할, 시간 분할, 공간 분할 방식을 사용하고 있다. 전송방식으로는 현재 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 방식과 OFDM 방식 두 가지를 사용하고 있다.

Wi-Fi는 앞서 설명한 대로 무선 LAN 접속 방식이므로 (그림 6)과 같이 무선접속장치(AP: Access



〈그림 6〉 Wi-Fi를 이용한 무선 인터넷 접속

Point)가 있으면 노트북이나 모바일(mobile)을 통해서 어디서든지 접속이 가능하게 된다.

하지만 Wi-Fi는 쉽게 방화벽이 뚫린다는 점에서 안전성 등이 문제되고, 거리가 너무 멀어지게 되면 지원이 안 되는 단점이 있다. 안전성 문제는 현재 암호화 과정을 거치고 주파수 도약(Frequency Hopping)방법에 의해서 데이터 보안을 하고 있다. 거리 문제는 AP를 많이 설치할 수 없을뿐더러 만약 설치하더라도 유지비용이 사업자에게 너무 많은 부담을 안겨주기 때문에 현실성이 없다. 이 문제는 아직 해결이 되지 않은 것으로서 앞으로 많이 개선 보완이 되어야 할 것이다.

#### 4. WiBro

현재 미국은 워싱턴 DC를 포함한 동부지역에서 WiBro(Wireless Broadband)가 미국 스프린트라는 회사에 의해 상용화 될 예정이라고 한다. 이에 따라

삼성전자는 스프린트와 손을 잡고 WiBro 장비를 지원하기로 했다.

이처럼 미래의 통신 시스템으로 주목받고 있는 WiBro는 휴대형 무선 단말기를 이용하여 정지 및 보행상태 중에 언제, 어디서나 초고속으로 인터넷에 접속하여 다양한 정보 및 콘텐츠 사용이 가능한 서비스이다. 우리나라에서도 KT와 SK텔레콤에서 서울과 수도권 소재 일부 대학에서 올해 4월부터 상용화하기 시작했다.

외국에서는 Mobile WiMAX(World Interoperability for Microwave Access)로 더 잘 알려져 있는 WiBro는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술을 중심으로 최대 60km/h까지 이동성이 보장된다. 이 기술은 휴대폰과 무선 LAN 기술의 중간 지점에 있는 기술이기는 하나, 무선 LAN 기술에 더 가깝다고 할 수가 있다. 하지만 이동성이 보장된다는 점에서 무선 LAN과는 다르다.

OFDM과 OFDMA의 차이는 주파수 자원을 어떻

게 분배하는가에 따른다. 한 명의 사용자가 유효한 주파수 자원을 전부 혹은 일정하게 차지하는 OFDM과는 다르게 OFDMA는 사용자마다 서로 다르게 할당받아 사용하는 것이다.

WiBro에서 특기할만한 점은 잡음이나 간섭에 따라 Power Control을 사용하지 않고 적응변조방식(AMC: Adaptive Modulation and Coding)을 사용한다는 점이다. 이것은 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)에서와 같은 방식인데, 측정된 SIR(Signal-to-Interference Ratio) 값에 따라 전력을 조정하는 것이 아니고 BPSK(Binary Phase Shift Keying)나 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)와 같은 변조방식을 바꾸어서 송신하는 것이다. 이것은 기존의 Power Control 방식보다 훨씬 전송이득이 크다.

또한 HSDPA에 비해 주파수 전송효율이 2배 가량 높고 장비가격이 저렴해서 이동 중에 저렴한 요

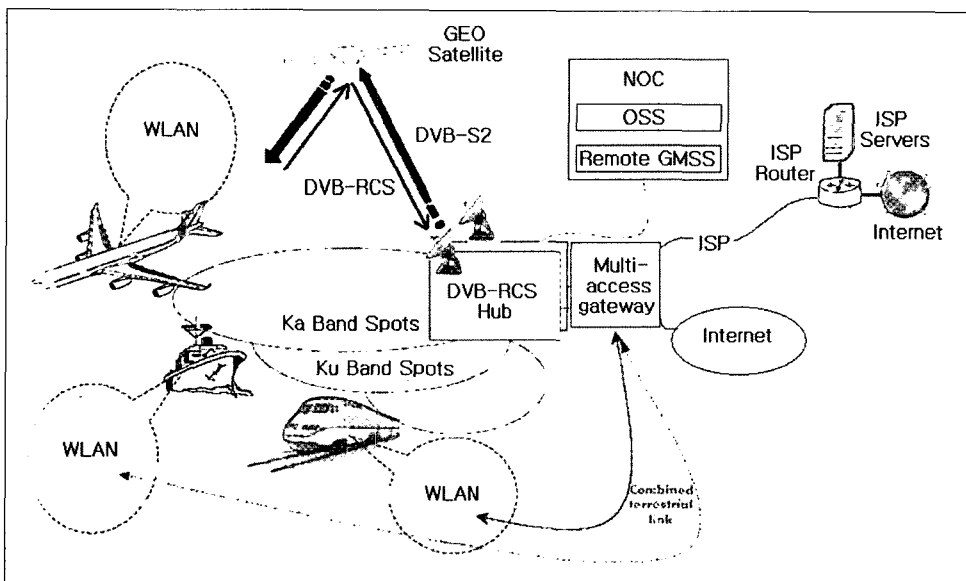
금으로 고속의 대용량 데이터 사용이 가능한 서비스이다. 그리고 단방향 실시간 서비스인 DMB에 비해서 WiBro는 인터넷을 중심으로 훨씬 많은 콘텐츠와 서비스가 가능하다.

앞으로 4세대 통신 중에 하나로 관심받고 있는 WiBro wave 2 (외국에서는 Gigabit WiMAX)를 현재 삼성전자에서 2007년 4월 베이징에서 개막한 'WiMAX, 월드 아시아 2007'에 선보였다. 이처럼 우리나라에서 선도하고 있는 WiBro 기술은 앞으로 미래의 통신 방식으로 주목받을 것이다.

## IV. 차세대 OFDM 무선전송 시스템

### 1. 차세대 DMB

디지털 방송 서비스의 도입에 따라 디지털 방송



(그림 7) 차세대 위성 방송·통신 융합 기술의 서비스 개념도

의 다양한 응용과 활성화를 위해 새로운 기술의 도입과 규격이 필요하다. 이에 따라 우리나라는 차세대 대방송표준포럼을 열고 DMB분과위원회를 안에 두어서 차세대 DMB를 개발, 연구하도록 했다.

차세대 DMB로 손꼽히는 것은 위성을 이용한 유럽의 DVB(Digital Video Broadcasting)산하 DVB-S2(DVB over Satellite 2)와 DVB-RCS(DVB-Return Channel by Satellite)가 있고 <그림 7>과 같다. 또한 지상파 DMB를 좀더 발전시킨 그리고 현재 우리나라에서 디지털 TV의 기술 근거가 된 미국의 8-VSB (8-level Vestigial SideBand) 방식이 있다. 현재 지상파 DMB가 대부분의 DMB 시장을 차지하고 있지만, 차세대 DMB가 규격이 완성되고 상용화가 되면 대부분의 시장이 차세대 DMB로 옮겨갈 공산이 크다.

DVB-S2M(Mobility)는 2006년 8월 ITU-R 서울 회의에서 정식으로 ITU 국제표준으로 채택되었다. 3GHz 이상의 대역에서 사용되는 mobile 서비스에 적합한 표준의 필요성이 대두되면서 본격적으로 DVB-S2M에 관한 표준이 진행되고 있다. 이것은 기존의 DVB-S2에 비해서 이동성에 관한 기준이 증점적으로 바뀌었다. 특히 NLOS 환경에서의 채널링이 다른 특이한 구조로 구성된다. 이외에도 채널 인터리버 기술, 이동채널 환경에서 채널 추정이 용이한 파일럿 심볼 배치 기술, 가변 및 적응형 채널부호화/변조(VCM/ACM) 기술이 이슈가 되었다.

DVB-RCS는 이동형 서비스를 위해서 도플러 편이(Doppler Shift) 현상을 극복하기 위한 가이드라인이 만들어 졌고 DVB-S2와 호환되기 위한 작업이 진행 중이다. 하지만 고속 이동체와 신호 음영지역에서는 제대로 된 해결책을 찾아내지 못해서 2006년부터 ETRI를 비롯한 유럽의 연구소와 기업체에서 mobile DVB-RCS 표준화 작업을 요구하였고 2006

년 말부터 본격적인 표준화 작업에 들어갔다.

8-VSB는 2006년 말 국내 KBS방송의 경우 방송망의 약 92% 이상을 디지털방송으로 서비스하고 있다. 현재 우리나라에서 지상파 디지털방송 서비스는 1080i의 HDTV(High Definition Television) 방송을 실시하고 있다. HDTV 확대 계획은 다음 <표 1>에 나와있다.

<표 1> 방송위원회의 HDTV 방송 확대계획

구 분		비 율
2003년		13시간
2004년		13시간
2005년	상반기	20시간
	하반기	25시간
2006년		25%
2007년		35%
2008년		50%
2009년		70%
2010년		100%

이러한 디지털방송의 특징은 아날로그 방송에 비해 전송효율이 뛰어나 동일한 대역폭으로 많은 데이터를 보낼 수 있어서 질 좋은 영상을 받아 볼 수가 있고, 동일한 출력으로 좀더 넓은 지역을 커버리지로 할 수가 있으며, 확장성이 우수하여 양방향성 방송과 같은 더 많은 서비스를 구축하여 호환할 수 있다.

## 2. LTE

LTE(Long Term Evolution)는 현재, 3GPP에서 규격화를 진행하고 있고 IMT-2000에 할당된 주파수대를 이용하여, W-CDMA 방식의 확장이 아니라 새로운 무선방식을 도입하는 3G 방식의 장기적 진화형으로 3.5G에서 다음 세대의 IMT-Advanced으



로 유연하게 이행할 수 있도록 이들 사이를 보완하는 위치에 있으며 제3.9세대(3.9G) 또는 Super 3G라 불리고 있다. 2004년 11월 캐나다 토론토에서 “RAN Future Evolution Workshop”을 개최하여 약 60개사, 160여명이 참가한 가운데 LTE에 대한 목표로 다음을 지정했다.



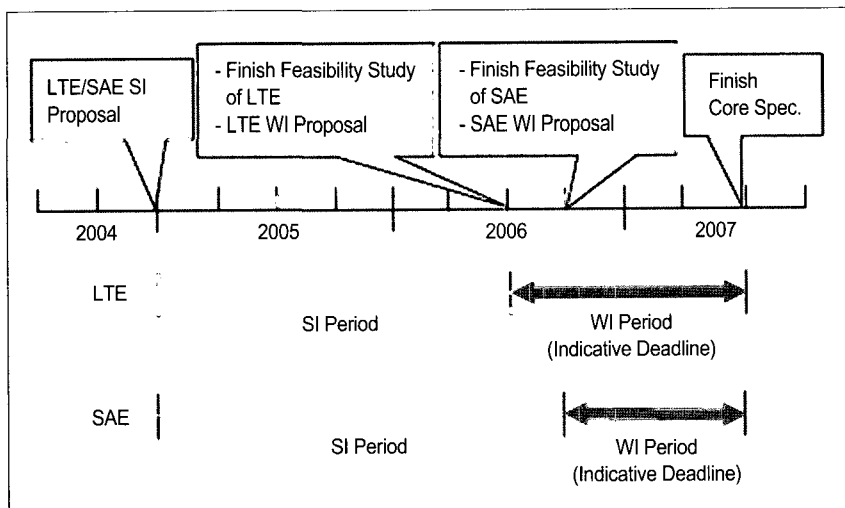
- OFDM 베이스의 변조방식 도입
- 융통성 있는 주파수밴드 사용
- 비트당 비용감소
- 전송지연/접속지연(지연시간)의 단축
- 2007년 무렵 규격화, 상용화는 2009~ 2010년경

상향링크에는 SC-FDMA(Single-Carrier Frequency Division Multiple Access)를 사용하고 하향링크에서는 OFDMA를 사용한다. 상향링크에서 OFDMA를 사용하지 않는 이유는 각 반송파끼리 신호가 겹치면 생기는 PAPR (Peak to Average

Power Ratio)을 해결하지 못했기 때문이다. 여기에 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 기술을 접목해서 사용할 수 있도록 현재 개발 중이다. 무엇보다도 LTE와 병행하여 SAE(System Architecture Evolution) 코어 네트워크를 중심으로 IP기반 서비스가 될 예정이어서 핸드오버를 효율적으로 지원하고 다양한 인터넷 서비스도 받을 수 있을 것이라고 기대된다. <그림 8>은 3GPP LTE/SAE의 개발, 표준화 작업 스케줄이다.

## V. 결론

현재와 같이 기술이 급속도로 변화되고 있는 상황에서 빠른 데이터 전송을 필요로 하는 시스템이 반드시 필요하다. 이런 상황에서 OFDM 시스템은 데이터의 빠른 전송뿐만 아니라 다양한 채널을 이용해서 여러 서비스를 받을 수 있는 시스템이어서 신세대 통신 기술로 생각되고 있다. 현재 대표적으



<그림 8> 3GPP LTE/SAE의 개발, 표준화 작업 스케줄

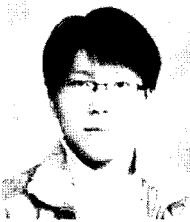
로 사용되고 있는 것은 WiBro가 있고, 앞으로도 LTE나 차세대 DMB 등과 같이 새로운 멀티미디어 서비스들이 이 OFDM 시스템을 중심으로 개발될 것이다. 국내의 경우에도 방송통신융합과 같은 사회적인 필요성에 의해서 지상파 DMB나 차세대 DMB와 같은 멀티미디어 서비스를 지원하게 되고 이에 따라 OFDM 기술 개발에 박차를 가하고 있으

며, 현재 일부에서는 OFDM 기술을 사용 중이다. 하지만 이렇게 무분별하게 OFDM 기술만을 이용한 기술들이 개발되고 나면 기존의 다른 통신 시스템을 가진 통신망과 호환문제가 대두될 수가 있다. 그러므로 호환성 문제를 항상 염두하면서 OFDM 기술을 기반으로 한 새로운 시스템을 개발, 발전시켜 나가야 할 것이다.

### 참고 문헌

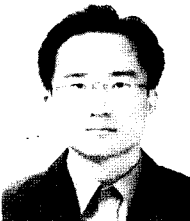
- [1] L. Hanzo, T. Keller, "OFDM and MC-CDMA", John Willy & Sons Ltd., 2006
- [2] Hui Liu, Guoqing Li, "OFDM-Based Broadband Wireless Networks", John Willy & Sons Ltd., 2005
- [3] 배성수, 한중수, 김철묵, 최규태, "Digital Multimedia Broadcasting", 세화, 2005년
- [4] 한국정보통신기술협회 TTA Journal 제109권, 2007년
- [5] 이봉주, 신연승, "3GPP UTRA-UTRAN LTE 및 SAE 표준화 동향", 전자통신동향분석 제21권 제3호 2006년 6월

### 필자 소개



#### 김 남 검

- 2007년 : 동국대학교 전자공학과 졸업
- 2007년~현재: 동국대학교 전자공학과 석사 과정
- 주관심분야 : OFDM, MIMO, Channel Estimation



#### 손 인 수

- 1994년 : Rensselaer Polytechnic Institute 컴퓨터공학과 졸업
- 1996년 : New Jersey Institute of Technology 전기공학 석사
- 1998년 : Southern Methodist University 전기공학 박사
- 1998년 : Ericsson USA 선임연구원
- 1999년~2004년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
- 2004년~2006년 : 명지대학교 통신공학과 조교수
- 2006년~현재 : 동국대학교 전자공학과 조교수
- 주관심분야 : 통신신호처리, 4G 이동통신