

차세대 유럽형 디지털 지상파 텔레비전 표준 DVB-T2 송신기술

서정욱 | 이연성 | 전원기 | 백종호 | 김현욱* | 김동구**
전자부품연구원, 공군사관학교*, 연세대학교**

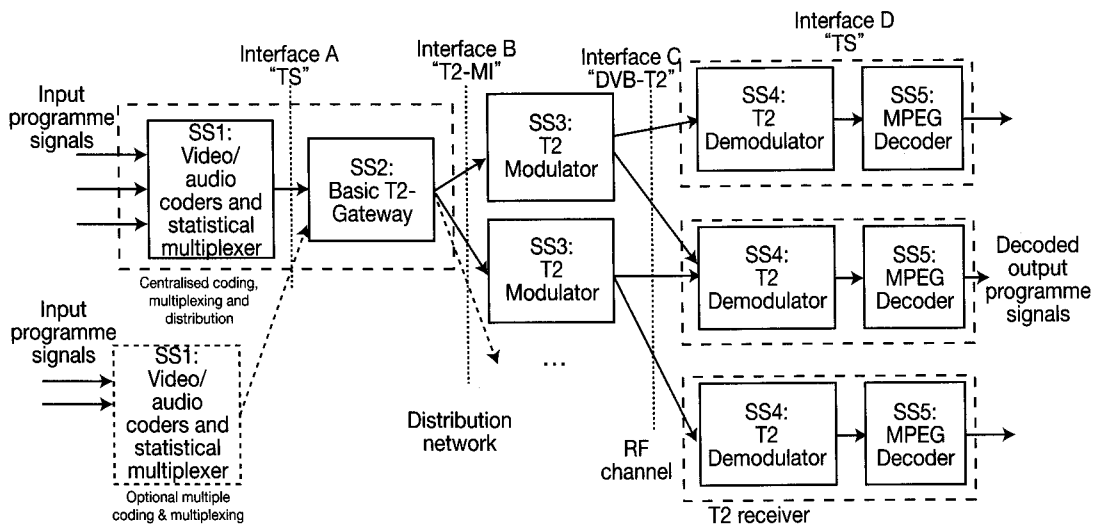
요약

고 송신기술에 대해 개괄적으로 설명한다.

차세대 유럽형 디지털 지상파 TV 표준인 DVB-T2 (Digital Video Broadcasting; a 2nd Generation Terrestrial)는 아날로그 TV시대의 끝을 알리는 ASO(Analogue Switch Off)에 의해 새롭게 확보될 방송 주파수를 통해 다채널 HDTV 서비스와 다양한 데이터 서비스를 제공해줄 것으로 예상된다. DVB-T2는 DVB-T에 비해 전송효율을 30% 이상 향상시켰으며 기존 송신 인프라와 수신 안테나를 그대로 사용할 수 있어 상업화 조건을 고루 갖추고 있다고 볼 수 있다. 본고에서는 이러한 DVB-T2의 End-to-End 체인 참조모형을 간략히 소개하

I. DVB-T2 End-to-End 체인 참조모델

DVB-T2의 End-to-End 체인에 대한 참조모형은 그림 1과 같다. 전체 DVB-T2 시스템은 네트워크 측면에서 세 가지 기본 서브 시스템(SS1, SS2, SS3)으로 나누어질 수 있고, 수신기 측면에서는 두 가지 서브 시스템(SS4, SS5)으로 나누어질



(그림 1) DVB-T2 End-to-End 체인 참조모형 (MPEG-TS 처리)

수 있다. 인터페이스의 경우 네트워크에 두 개의 인터페이스(A, B), 네트워크와 수신기에 공통적인 RF 인터페이스(C), 마지막으로 수신기에 한 개의 내부 인터페이스(D)가 존재한다.

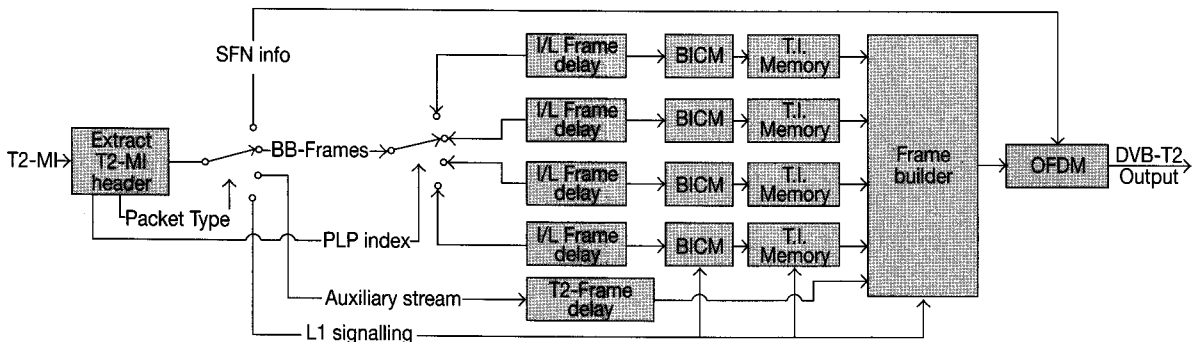
SS1은 부호화 및 다중화 서브 시스템으로 MPEG-2 TS(Transport Streams), GSE(Generic Streams) 등을 생성한다. 또한 SS1은 PSI/SI(Program Specific Information/Service Information)와 L2 시그널링(Layer-2 signaling)을 포함한다. SS2는 Basic T2-Gateway 서브 시스템으로 스케줄링과 용량 할당을 포함한 모드 적응(Mode Adaptation)과 스트림 적응(Stream Adaptation) 기능을 수행하며 T2-MI 스트림(T2-Modulator Interface Stream)을 생성한다. T2-MI 스트림은 T2-MI 패킷 시퀀스로 구성되며 각 패킷은 BB-프레임(BaseBand-Frame), 보조 스트림(Auxiliary Stream) IQ 벡터 데이터, 시그널링(L1: Layer 1 및 SFN: Single Frequency Network) 정보 등을 포함하고 있으며 T2-프레임의 콘텐츠와 송출시간에 대한 모든 정보를 가지고 있다. T2-MI 스트림은 네트워크를 통해 한 개나 그 이상의 변조기(Modulator)로 전송된다. SS3는 DVB-T2 변조기 서브 시스템을 나타내며, T2-MI 스트림에 의해 전달되는 BB-프레임과 T2-프레임 어셈블리 명령을 사용하여 T2-프레임을 생성하고 정확한 SFN 동기에 맞게 적절한 시간에 프레임을 송출한다. SS4는 DVB-T2 복조기(Demodulator) 서브 시스템을 나타내며 송신기로부터 RF 신호를 수신하고 MPEG-2 TS, GSE등을 출력하게 된다. SS5는 스트림 복호기(Decoder) 서브 시스템을 나타내며 수신된 스트림으로부터 비디오와 오디오 신호를 출력한다.

II. T2-MI 스트림 및 T2 변조기 처리과정

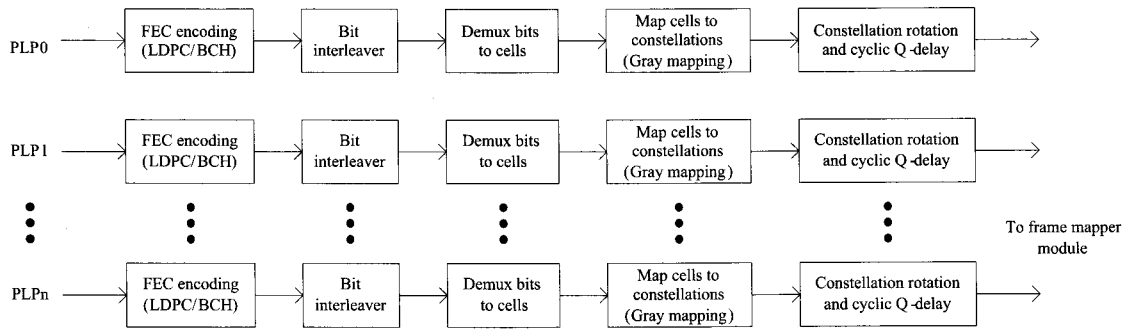
본 절에서는 Basic T2-Gateway로부터 입력되는 T2-MI 스트림이 T2 변조기에서 처리되는 과정과 T2 변조기에 사용된 주요 기술들에 대해 간략히 소개한다.

(그림 2)는 T2-MI 입력 스트림이 변조기에서 어떠한 과정을 거쳐 처리되는지를 보여주고 있다. 먼저 입력되는 T2-MI 스트림 내에 있는 패킷이 어떤 종류인지를 판단하기 위해 패킷 헤더를 복호한다. 헤더로부터 PLP(Physical Layer Pipe) 인덱스가 복호되면 해당 BB-프레임을 BICM(Bit Interleaved Coding and Modulation) 모듈로 전송한다. BB-프레임들은 하나의 인터리빙 프레임(Interleaving Frame)을 구성하기 위해 버퍼링되며, L1(Layer-1) 시그널링 정보를 수신할 때까지 대기하게 된다. 이러한 과정은 몇 가지 BICM 단계(특히 셀/시간 인터리버)에서 인터리빙 프레임을 TI-블록으로 분할하기 위한 정보가 필요하기 때문이다.

보조 데이터 스트림을 포함하는 T2-MI 패킷은 PLP에서의 시간지연을 보상하기 위해 한 T2-프레임 동안 지연되며 프레임 생성기(Frame Builder)로 직접 입력된다. L1 시그널링을 포함하는 T2-MI 패킷의 경우 해당 정보가 추출된 후 BICM과 프레임 생성기로 입력된다. 프레임 생성기는 L1 정보를 사용하여 PLP가 프레임의 어느 셀로 매핑될 지를 결정하고, 부호화되고 변조된 L1 시그널링을 P2 심볼에 삽입한다. SFN 데이터를 포함하는 T2-MI 패킷은 정확한 송출 시간



(그림 2) T2 변조기의 T2-MI 입력 스트림 처리



(그림 3) BICM 처리

을 조절하기 위해 OFDM 출력 단계로 전송된다.

다음으로 BICM 처리, 프레임 생성기, OFDM 변조 등에 대해 설명한다. BICM 처리과정은 (그림 3)과 같으며 FEC(Forward Error Correction) 부호화, 비트 인터리버, 역다중화, 성좌도 매핑, 성좌도 회전(constellation rotation) 등으로 구성된다.

에러 정정을 위한 FEC로는 BCH(Bose-Chaudhuri-Hocquengham)/LDPC(Low Density Parity Check) 부호가 사용된다. BCH 부호는 LDPC 복호 후에도 남아 있는 잔여 에러를 제거하기 위해 사용되며 부호화 방식은 DVB-S2에서와 동일하다. BCH 부호의 에러정정능력은 LDPC 부호율에 따라서 10 또는 12비트가 된다. LDPC 부호의 경우 2가지의 부호길이(일반 블록 64800 Bits, 짧은 블록 16200 Bits)와 6가지 부호율(1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6)을 지원한다. 짧은 블록 부호는 3/5 부호율을 제외하고는 DVB-S2에서 사용되는 부호와 동일하다. 짧은 블록 부호의 성능은 일반 블록 부호에 비해 떨어지지만 짧은 지연 시간을 필요로 하는 전송률이 낮은 애플리케이션에 사용되기에 적합하다.

비트 인터리버와 역다중화기는 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM 성좌도용으로 새롭게 설계되었다. 비트 인터리버는 각각의 LDPC 부호에 적용되는 블록 인터리버이다. 또한 0dB-echo 채널 등에서 성능을 향상시키기 위해 PCT(Parity and Column-Twist) 인터리버도 사용된다.

QPSK, 16-QAM, 64-QAM에서 성좌도를 매핑하는 방법은 기존 DVB-T와 동일하며 256-QAM이 새롭게 추가되었다. 256QAM은 셀당 8 비트를 전송하며 잡음에 민감하지만 앞서 언급한 LDPC 부호에 의해 적절한 성능을 유지할 수 있어

전송용량을 약 30% 이상 향상시킬 수 있다.

성좌도 회전은 심볼을 먼저 기본적인 QAM 성좌도로 매핑한 뒤 이를 회전시켜 새로운 심볼을 생성하는 기술이다. 예를 들어, 16QAM 신호의 경우 I축을 통해 2 비트, Q축을 통해 2비트가 전송되게 되는데 이를 회전하게 되면 각 축은 4비트의 정보를 각각 전송하게 된다. 특히 Q축으로 전송되는 심볼들은 환형 지연(cyclic delay)을 시키는데, 이를 통해 심볼의 I와 Q 성분은 서로 다른 시간 동안 서로 다른 부반송파를 통해 전송되게 된다. 이 기술을 통해 채널에 의해 두 성분 중 한 성분이 심각하게 왜곡되더라도 다른 한 성분으로 원래 심볼을 복원할 수 있게 된다. 잡음 채널에서는 성능 향상이 없으나, 딥 페이딩 채널, 0dB-echo 채널, erasure 채널 등에서는 성능이 크게 향상된다. 성좌도 회전각도는 QPSK 29°, 16QAM 16.8°, 64QAM 8.6°, 256QAM arctan(1/16)이다.

프레임 생성과 OFDM 처리과정은 (그림 4)에 나타내었다. (그림 4(a))에 있는 프레임 생성기를 살펴보면 3가지 인터리버가 존재한다. 셀 인터리버와 시간 인터리버는 FEC 블록의 데이터 셀들을 서브 슬라이스 전체로 분산시키기 위해 사용된다. 주파수 인터리버는 한 OFDM 심볼에서 인접한 데이터 셀들을 랜덤화하기 위해 사용되며 이를 통해 주파수 선택성 페이딩에 강한 특성을 갖게 된다.

DVB-T2에서 프레임은 슈퍼 프레임 단위로 구성되며 이것은 다시 T2-프레임과 FEF(Future Extension Frame)로 분류된다. 한 슈퍼 프레임이 가질 수 있는 최대 T2-프레임 개수는 255이며, T2-프레임의 최대 길이와 FEF의 최대 길이는 모두 250ms이다. T2-프레임은 논리적으로는 P1 심볼, P2 심볼, 데이터 심볼로 구성되며 물리적으로 OFDM 심볼 단위로 나

뉘지게 된다. FEF는 DVB-T2 표준에 정의된 서비스를 유연하게 혼합하거나 향후 표준에 정의될 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)나 이동 서비스를 위해 사용된다. P1 심볼은 FFT 사이즈, MISO (Multiple-Input Single-Output) 사용여부 등을 나타내는 7비트 정보를 포함하고 있다. 빠른 T2 신호 스캔과 T2 프리앰블 판별, 초기화 단계에서 필요한 나머지 프리앰블들을 복호하기 위한 송신 파라미터들을 포함하고 있으며 대략적인 주파수와 시간 동기를 위해 사용된다. 또한 P2심볼은 L1시그널링 정보를 제공하는데 이것은 L1 프리-시그널링과 L1 포스트-시그널링으로 분류된다. L1프리-시그널링은 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 사용여부, L1 포스트-시그널링 관련 정보, 파일럿 패턴, 데이터 심볼 수, T2-프레임 수, 보호 구간 정보 등이 실리고, L1 포스트-시그널링에는 PLP, FEF 관련 정보 등이 실리게 된다.

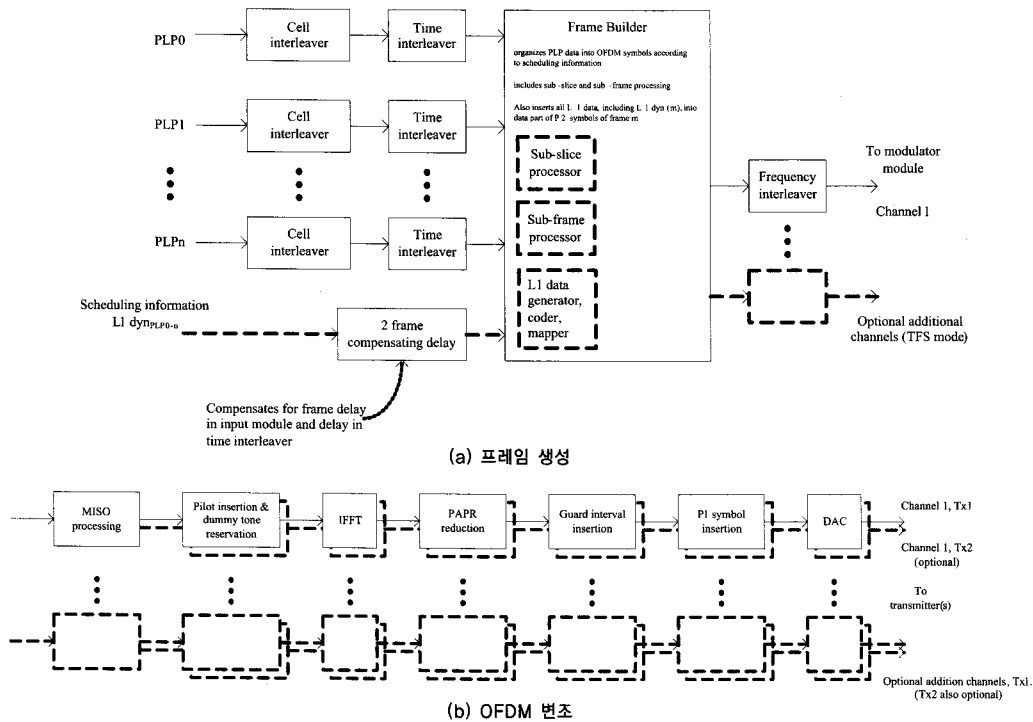
(그림 4(b))는 OFDM 변조과정을 나타낸다. DVB-T2에서는 옵션으로 MISO가 사용될 수 있다. 기존 DVB-T에서 SFN의 두 송신기로부터 비슷한 크기의 신호가 수신될 경우 채널의 Notch 현상으로 인해 성능이 열화되는데 MISO 기술은

이러한 문제점을 해결해줄 수 있다. 이 기술은 일종의 Alamouti 부호화를 사용하여 Tx1 데이터는 그대로 전송하고 Tx2 데이터는 주파수 방향으로 반전 및 변형시켜 전송한다. 수신기에서 두 신호를 최적으로 조합할 경우 다이버시티 이득이 발생하여 성능을 높일 수 있게 된다.

파일럿 심볼은 채널추정 및 등화, CPE(Common Phase Estimation), 동기 등을 위해 사용되는데, DVB-T2에서는 분산 파일럿과 연속 파일럿 외에도 P2 심볼에만 포함되는 P2 파일럿, 프레임 종료 심볼의 프레임 종료 파일럿 등 여러 종류의 파일럿 등이 존재한다. 분산 파일럿은 오버헤드를 줄이기 위해 FFT와 보호구간에 따라 PP1에서 PP8까지 8가지 파일럿 패턴이 유연하게 사용된다.

T2가 지원할 수 있는 대역폭은 1.7 MHz, 5 MHz, 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz, 10 MHz 이며, OFDM을 위한 파라미터는 다음 <표 1>과 같다.

16K와 32K는 SFN의 성능을 향상시키기 위해, 1K는 대역폭과 주파수의 가변성을 증대시키기 위해 추가되었다. 일반적으로 큰 사이즈의 FFT를 사용하면 OFDM 부반송과 간격



(그림 4) 프레임 생성(frame builder) 및 OFDM 변조

〈표 1〉 OFDM 파라미터

Parameter		1K mode	2K mode	4K mode	8K mode	16K mode	32K mode
Number of carriers K_{total}	normal carrier mode	853	1 705	3 409	6 817	13 633	27 265
	extended carrier mode	NA	NA	NA	6 913	13 921	27 841
Value of carrier number K_{min}	normal carrier mode	0	0	0	0	0	0
	extended carrier mode	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Value of carrier number K_{max}	normal carrier mode	852	1 704	3 408	6 816	13 632	27 264
	extended carrier mode	NA	NA	NA	6 912	13 920	27 840
Number of carriers added on each side in extended carrier mode K_{ext} (see note 2)		0	0	0	48	144	288
Duration T_U		1 024T	20 48T	40 96T	81 92T	16 384T	32 768T
Duration T_U μ s (see note 3)		112	224	448	896	1 792	3 584
Carrier spacing $1/T_U$ (Hz) (see note 1 and 2)		8 929	4 464	2 232	1 116	558	279
Spacing between carriers K_{min} and K_{max} ($K_{total}-1$) T_U (see note 3)	normal carrier mode	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz
	extended carrier mode	NA	NA	NA	7,71 MHz	7,77 MHz	7,77 MHz

은 좁아지지만 심볼 길이가 길어지게 된다. 좁아진 부반송파 간격으로 인해 ICI(Inter-Carrier Interference)가 발생할 확률이 높아지게 되는 단점이 있지만 심볼 길이가 길어지면 보호구간의 비율이 상대적으로 낮아지게 되어 전송률이 증가되는 장점이 있다. 또한 FFT 사이즈가 클수록 신호 스펙트럼의 롤-오프(roll-off)가 높아 신호 스펙트럼을 확장해도 규격에 정의된 RF 스펙트럼 마스크를 만족시킬 수 있다. DVB-T2에서는 8K, 16K, 32K 모드에서 확장모드를 사용하여 전송효율을 더 높일 수 있게 하였다.

PAPR이 높은 OFDM 시스템은 매우 높은 성능의 RF 증폭기를 필요로 한다. DVB-T2에서는 PAPR를 감소시키기 위해서 ACE(Active Constellation Extension) 기법과 TR(Tone Reservation) 기법을 사용한다. ACE는 일정 크기 이상의 피크 신호를 클리핑하고 이를 통해 발생하는 성좌도 왜곡에 대해 성능에 열화가 없도록 바깥쪽 성좌도 상의 심볼들을 동적으로 확장시키는 기술을 말한다. 이 기술은 약간의 전력 증가로 인해 SNR(Signal-to-Noise Ratio) 열화가 발생하지만 증폭기의 최대 전력 요구사항을 20% 정도 줄일 수 있다. TR은 약 1% 정도의 부반송파를 사용하여 PAPR을 줄이는 방식으로 전송효율이 다소 낮아지는 단점이 있지만 수신기에서는 사용된 부반송파를 무시하고 복조하기 때문에 복잡도가 증가하지 않는 장점이 있다. ACE는 비교적 낮은 차원의 성좌도(특히 QPSK)에서 큰 PAPR 감소를 보이는 반면 TR은 비교적 높은 차원의 성좌에서 PAPR 감소를 보인다. ACE와 TR을 동시에 같이 사용하는 것도 가능하지만 변조방식에 따라서 보다 더 이득이 되는 기법을 선택하는 것이 좋다.

III. 결 론

본고에서는 End-to-End 체인 참조모델을 통해 DVB-T2 시스템이 네트워크 측면에서 세 가지 서브 시스템으로 구성되고 수신기 측면에서는 두 가지 서브 시스템으로 구성됨을 알 수 있었으며 각 서브 시스템의 기능과 역할에 대해 살펴볼 수 있었다. 특히 세 번째 서브 시스템인 변조기의 개괄적인 설명을 통해 DVB-T2에서 사용된 송신기술에 대해 알 수 있었다. DVB-T2는 BCH/LDPC 부호와 비트/셀/시간/주파수 인터리빙을 통해 에러정정능력을 향상시켰으며 256QAM을 통해 데이터 전송률을 증가시켰다. 또한 다양한 사이즈의 FFT와 보호구간, 효율적인 파일럿 패턴 등을 통해 오버헤드를 줄였고 성좌도 회전, PAPR 감쇄기법, MISO 등을 통해 성능을 개선하였음을 확인할 수 있었다.

세계 방송서비스 시장은 아날로그TV 시대에서 디지털TV 시대로 전환되는 중요한 변화의 시기에 접어들고 있으며 미국, 유럽, 일본 등의 선진국들은 ASO 이후의 디지털 방송기술을 중점 육성하고 있다. 본고에서 살펴본 DVB-T2는 고정 환경은 물론 이동 환경에서도 다채널 고품질의 방송 서비스를 제공할 수 있기 때문에 ASO 이후 막대한 시장을 창출할 것으로 예상된다. 따라서 이에 대한 적극적인 투자와 연구 개발을 통해 산업적인 파급효과가 큰 차세대 디지털 TV 시장을 선점할 필요가 있다.

Acknowledgment

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음

[2009-S-032-01, 차세대 휴대이동방송용 다중안테나 다중홉 릴레이 전송기술연구]

참 고 문 헌

- [1] ETSI EN 302 755 V1.2.0c (2008.7), Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital

broadcasting system (DVB-T2).

- [2] ESTI TR 102 831 V0.9.2 (2008.9), Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital broadcasting system (DVB-T2)
- [3] 서정욱, 김현식, 전원기, 백종호, 김동구, "ASO 시대를 위한 차세대 지상파 TV 표준 DVB-T2 기술 소개", 한국통신학회지 제25권 제8호, pp. 55~61, 2008년 7월.
- [4] 이영진, 오영호, 정해주, "DVB-T2 기술 및 개발 현황", 방송공학회지 제14권 제1호, pp.53-64, 2009년 3월.

약 령



1999년 한국항공대학교 학사
 2001년 한국항공대학교 석사
 2005년 ~ 현재 연세대학교 박사과정
 2001년 ~ 현재 KETI 모바일단말연구센터 선임연구원
 관심분야: 방송통신융합시스템

서 정 욱



1996년 광운대학교 학사
 1998년 광운대학교 석사
 2003년 ~ 현재 KETI 모바일단말연구센터 선임연구원
 관심분야: 방송통신 모델 설계

이 연 성



1994년 중앙대학교 학사
 1996년 중앙대학교 석사
 1999년 중앙대학교 박사
 2001년 ~ 현재 KETI 모바일단말연구센터 책임연구원
 관심분야: 방송통신융합시스템

전 원 기

약 령



1994년 중앙대학교 학사
 1997년 중앙대학교 석사
 2007년 중앙대학교 박사
 2003년 ~ 현재 KETI 모바일단말연구센터 센터장
 2007년 ~ 현재 서울여자대학교 겸임교수
 관심분야: 방송통신융합시스템

백 종 호



2002년 공군사관학교 학사
 2005년 연세대학교 석사
 2003년 ~ 현재 공군사관학교 전기전자공학과 교관
 관심분야: 이동통신 등

김 현 욱



1983년 한국항공대학교 학사
 1985년 U.S.C. 석사
 1992년 U.S.C. 박사
 1994년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
 관심분야: 이동통신, MIMO 기술, 다중접속기술 등

김 동 구

