

# 디지털 라디오방송 방식

정 신 일

KBS 기술연구소 차장

## 1. 서론

1995년 영국, 스웨덴, 덴마크 등에서 상용 DAB(Digital Audio Broadcasting) 서비스를 개시함으로써 라디오방송의 디지털시대가 개막되게 되었다. 디지털라디오는 기존의 라디오방송의 단점을 제거하고 새로운 형태의 서비스를 제공하는 능력을 가진 우수한 시스템으로 차세대 라디오방송으로 각광을 받고 있다.

일반적으로 디지털라디오는 오디오신호를 디지털방식으로 변조하여 공중파를 통하여 고정, 휴대용, 차량용 수신기에 제공하며 수신안테나로는 무지향성 안테나를 사용하는 시스템을 통칭하는 단어로써, 지상파 DAB와 위성 DAB 그리고 중단파 AM대역 디지털라디오를 포함한다.

DAB 서비스는 분배형태에 따라 지상서비스와 위성서비스로 분류되며, 사용하는 주파수대역에 따라 in-band 시스템과 out-of-band 시스템으로 분류되고, 대역폭에 따라 광대역 시스템과 협대역 시스템으로 분류된다.

In-band 시스템은 지상방송에 사용되며, AM 또는 FM 방송과 같은 주파수대역을 공유하는 방식으로, 별도의 스펙트럼을 할당할 필요가 없다. Out-of-band 시스템은 광대역 전송과 새로운 스펙트럼을 이용하는 것을 특징으로 한다. 이 시스템에 할당되는 주파수 스펙트럼은 위성과 지상으로 나누어지며, 양쪽이 같은 주파수대역을 이용하는 복합 시스템도 고려되고 있다. 현재까지 추진되고 있는 DAB 시스템은 다음과 같다.

- 유럽의 Eureka-147 : 광대역시스템, Out-of-band, 위성/지상/복합
- 일본의 협대역 ISDB : 광대역시스템, Out-of-band, 위성/지상
- 미국의 In-band 시스템 : 협대역시스템, 지상 -IBOC FM, IBOC AM
- 미국의 위성 DAB 시스템 : Out-of-band, 위성 -CD Radio, AMRC
- 국제 위성방송 시스템 : Out-of-band, 위성

-NASA/VOA, Workspace

중단파대역 디지털라디오는 AM 방송을 디지털화하는 것이며, 디지털 AM 방송으로 표현되기도 한다. 현재의 AM 방송의 RF 대역폭인 9 kHz 안에 디지털방송 1 채널을 수용하는 것을 목표로 하며, 이를 위해 주파수효율이 우수한 변조방법을 사용한다. 따라서 DAB에 비해 음질과 전송능력이 열악한 것으로 평가된다. 주로 국제방송을 목적으로 하여 개발되었으며, 대표적인 것으로는 다음의 3가지 시스템이 있다. 미국의 국내 디지털 AM 방송으로 개발된 시스템들은 편의상 지상파 DAB에 포함시키기로 한다.

- 톰캐스트사 : Skywave2000
- 독일텔레콤과 텔레폰켄 : T<sup>2</sup>M
- Voice of America(VOA)와 Jet Propulsion Lab.(JPL)

본 고에서는 위성 DAB를 제외하고, 지상파 디지털라디오의 방송방식에 대하여만 논하고자 한다. 먼저 지상파 DAB 전송기술의 일반 사항에 대하여 논하고, 지상파 DAB 시스템, 중단파대역 디지털라디오 시스템, 그리고 결론의 순으로 기술한다.

## 2. 지상파 DAB 전송기술 (OFDM의 응용)

RF 통신에서 수신신호의 손상요인은 여러가지가 있으며, 디지털 이동체 방송채널에서 가장 중요하게 고려해야 하는 것은 다중경로 전파전파와 도플러 효과이다. 다중경로 효과는 신호강도의 변화(페이딩)와 심볼간의 간섭(intersymbol interference : ISI)으로 나타난다.

DAB 시스템은 다중경로 전파전파와 도플러 효과를 극복하기 위해 다양한 기술을 채택하고 있다. 현재까지 제안되어 있는 DAB 시스템에서 채택한 전송기술은 표 1 과 같다. 표에서 보는 바와 같이 지상파 DAB에서는 공통적으로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 근간으로 하는 전송기법을 채택하고 있

다. OFDM의 원리나 특징, 구현방법 등은 방송공학회지 제1권 제3호에 상세히 기술되어 있다. 따라서 본 장에서는 OFDM이 DAB에 응용되는 방향과 고려사항에 대하여 기술하기로 한다.

표 1. DAB 시스템의 전송기술

DAB 시스템	유럽		일본		미국	
	지상	위성	지상	위성	지상 IBOC	위성
전송기술	OFDM	OFDM	OFDM	CDM	OFDM	SCM

• 각 반송파의 변조

OFDM은 signal mapper, 역 FFT 블록, 아날로그 인터페이스로 구성된다. Signal mapping은 입력 비트열을 채널의 특성에 따라 적당히 몇 개의 비트를 한 단위씩 묶어서 constellation 상의 심볼로 mapping을 하는 과정이며, constellation의 선택은 사용목적에 맞추어 결정한다.

각 반송파의 변조방법은 OFDM의 대역폭 효율을 결정하며, 수신품질을 결정하는 요소이다. 일반적으로 디지털방송에서 완벽한 수신에 요구되는 심볼당 비트수는 수신환경에 따라서 달라지며, 현재까지의 연구결과는 표 3과 같다.

DAB는 고정, 휴대용, 및 이동수신을 모두 수용하도록 규정되어 있으므로 대역폭 효율을 Hz 당 1 bps 이하로 유지하도록 설계되어 있다. Eureka-147 시스템에서는 시스템 대역폭을 1.536 MHz로 정하고 이 대역안에 대략 15 Mbps 정도의 유효 데이터를 전송하는 것으로 되어 있다. 최종변조방법으로는  $\pi/4$ -DQPSK를 채택하고 있어 Hz 당 2 bps의 데이터를 전송하는 것처럼 보이나, 오류정정부호를 사용하고 보호구간(guard interval)과 널 심볼(null-symbol) 및 위상기준심볼이 부가되는

공간이 필요해, 유효 데이터는 실제로는 Hz 당 1 bps의 비율로 전송된다.

• 반송파 수와 간격 (시스템 대역폭)

OFDM에서 반송파 간격은 유효심볼구간의 역수가 된다. 유효심볼구간이 길수록 다중경로 지연시간의 허용치를 길게할 수 있으므로 전송성능이 우수해지는 반면, 차량 이동시에 생기는 도플러 효과에 의해 수신되는 OFDM 신호의 직교조건이 무너지게 된다. 도플러효과에 의해 생기는 주파수 편이는 차량의 속도와 전송 주파수에 비례하며, 이에 따라 반송파 간격의 최소허용치가 제한된다. 반송파 수는 페이딩의 대역폭과 관계가 있다. 대역폭이 커질수록 DAB의 시스템대역폭을 크게 설정하고 반송파 수를 증가시켜 주파수 인터리빙의 효과를 높여야 한다.

• 보호구간

전송채널에서 다중경로 효과로 인해 수신측에서 반송파들 사이에 직교조건이 성립하지 않는 부분이 생기게 된다. 이것을 해결하기 위하여 심볼구간 사이에 보호시간을 추가한다. 수신기에서는 이 보호시간 대의 신호는 무시하고, 심볼구간의 신호만을 복조하게 된다. 다중경로의 지연확산(delay spread) 값이 보호구간 보다 작으면 심볼구간 내에서는 항상 반송파간의 직교조건이 성립하므로 심볼간의 간섭을 방지하게 된다. 유럽과 일본의 DAB 방식에서는 보호구간을 채용하고, 미국의 방식에서는 채택하지 않고 있다.

• 오류정정 부호화

페이딩에는 주파수 선택적 페이딩, 광대역 페이딩, 時變 페이딩의 3종류가 있다. 페이딩을 극복하기 위해서는 이로 인해 생기는 데이터오류를 정정하는 부호화

표 2. OFDM에서의 반송파 변조

심볼당 비트수	1	2	3	4	5
변조방법	BPSK	QPSK	8-PSK	16-QAM	32-QAM
	DBPSK	DQPSK	8-DPSK		
		4QAM	8-QAM		

표 3. 수신환경에 따른 단위 전송율

수신환경	Hz 당 전송율
지향성 안테나(roof-top 또는 위성 안테나)를 사용하는 고정수신	5 bits/s
rod 안테나를 사용하는 휴대용 기기에서의 수신	3 bits/s
차량에서의 이동수신	1 bits/s

기법을 채택하는 것이 필수적이다. DAB에서는 길쌈부호화와 연결부호화가 사용되고 있으며, 길쌈부호를 사용하는 시스템에서는 부호화율을 가변하도록 설계하는 것이 일반화되어 있다. 또한 오류정정부호화의 효과를 높이기 위해 불균등 오류정정(Unequal Error Protection) 기법을 병용하기도 한다.

#### • 시간/주파수 인터리빙

페이딩을 극복하기 위해서는 오류정정 부호화기법을 채택하는 것 외에 오류를 분산시키는 인터리빙 기법을 채용해야 한다. 주파수 선택적 페이딩은 주파수 인터리빙과 오류정정부호화를 통하여 극복할 수 있다. 이때 페이딩대역폭이 클수록 OFDM의 반송파 수가 커지고 주파수 인터리빙 방법이 복잡해진다.

대역폭이 아주 큰 광대역 페이딩의 경우에는 주파수 인터리빙 만으로는 해결할 수 없다. 차량용 수신기의 경우 이동 중에는 시간 인터리빙을 사용하면 광대역 페이딩을 효과적으로 극복할 수 있으나, 정지하고 있을 때에는 시간 인터리빙의 효과가 없어지므로 복수의 수신안테나를 사용하여 공간 다이버시티 개념을 도입해야 한다. 그러나 복수의 안테나를 사용하는 것은 차량 제조업체나 소비자가 선호하지 않을 것으로 판단된다. 고정수신시에는 공간다이버시티를 도입하기가 수월할 것이다. 시변 페이딩은 시간 인터리빙에 의해 해결할 수 있으며, 페이딩 길이는 전송시스템을 설계할 때 시간 인터리빙 방법의 복잡도를 결정하게 된다.

유럽과 일본의 DAB에서는 시간 인터리빙과 주파수 인터리빙을 모두 채택하고 있으며, 미국의 시스템에서는 DAB 파형을 중심주파수의 양 측면에 대칭적으로 2개의 동일하게 배치함으로써 주파수 다이버시티를 사용한다.

### 3. Eureka-147 DAB 시스템

Eureka-147 DAB 규격은 ETSI 표준 300 401에 상세히 기록되어 있다. 이 시스템은 오디오부호화 기법으로 ISO/IEC 11172-3 (MPEG 1 Audio)의 Layer II를, 전송 방식으로 Coded OFDM(COFDM)을 각각 채용하며, 독자적인 다중화 구조를 가지고 있다. DAB 전송규격은 4가지로 지상 SFN과 주파수 밴드 I, II, III의 지역방송에 적합한 전송모드 1, 주파수 밴드 I, II, III, IV, V와 L 밴드에 적합한 전송모드 2와 4 그리고 3 GHz 이하의 지상방송, 위성방송, 지상 및 위성방송에 사용하는 전송모드 3이 있다.

### 3.1 오디오 부호화 및 시스템 구조

Eureka-147에서 채택한 오디오 부호화 기법은 MPEG 1 Audio Layer II와 동일하며, 오디오 프레임의 구조도 동일하다. ISO 11172-3 Layer II의 오디오 프레임에서 보조데이터 영역을 프로그램 관련 데이터와 오디오 Scale factor의 Cyclic Redundancy Check(CRC)을 전송하는 데 사용한다. 사용 가능한 전송율은 표 4와 같다.

표 4. 오디오 전송율

음성 모드	비트 전송율 (kbps/ch)
single(mono)	32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192
stereo, dual intensity stereo	64, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256, 320, 384

DAB 전송프레임은 일차 동기용 널 심볼(RF 신호 없음)을 선두로 하여 DQPSK 복조를 위한 위상기준심볼(phase reference symbol)의 동기화 채널과 FIC(Fast Information Channel)가 이어지며, 나머지 심볼에 오디오 데이터와 일반 데이터를 전송하는 주 서비스채널인 MSC(Main Service Channel)가 할당된다. 데이터 전송은 FIC와 MSC이다. FIC는 256 비트 FIB(Fast Information Blocks)로 구성되며 MSC 배열을 제어한다.

제어정보의 핵심은 다중화 배열정보(Multiplex Configuration Information, MCI)로 FIC로 전송되며, 필요하면 재배열된다. FIC에 포함된 또 다른 정보로 수신기의 디스플레이 표시용 데이터와 제어용 데이터를 전송하는 서비스 정보(Service Information, SI), CA(Conditional Access) 관리 정보 그리고 FIDC(Fast Information Data Channel)가 있다. 오디오 데이터를 복조하기 위해서는 이 MCI 정보가 제일 먼저 필요하므로, FIC는 지연의 영향을 받지 않도록 시간 인터리빙을 하지 않고 정정부호만을 부가하여 전송한다.

MSC는 여러개 CIF(Common Interleaved Frames)로 구성되며, 한 CIF는 55,296 비트 데이터로 24 msec 오디오 프레임에 해당된다. CIF의 최소 주순단위는 64 비트 CU(Capacity Unit)이다. 서브채널은 CU의 정수배로 구성되며 MSC의 기본 전송단위가 된다. 즉, MSC는 서브채널의 다중화로 구성된다. MSC는 시간 인터리빙되고 채널 부호화된다. 각 서브채널은 한 개 또는 그 이상의 서비스 성분을 나타내며 서비스 성분과 서브채널이 결합하여 다중화 배열이 된다. 동기화 채널은 전송 프레임 동기, 자동 주파수 제어, 채널 상태 추정 그리고 송신기 명명과 같이 기본적인 복조 기능을 위해 사용된다.

3.2 COFDM 전송방식

COFDM은 OFDM에 보호시간 개념을 도입하고, 시

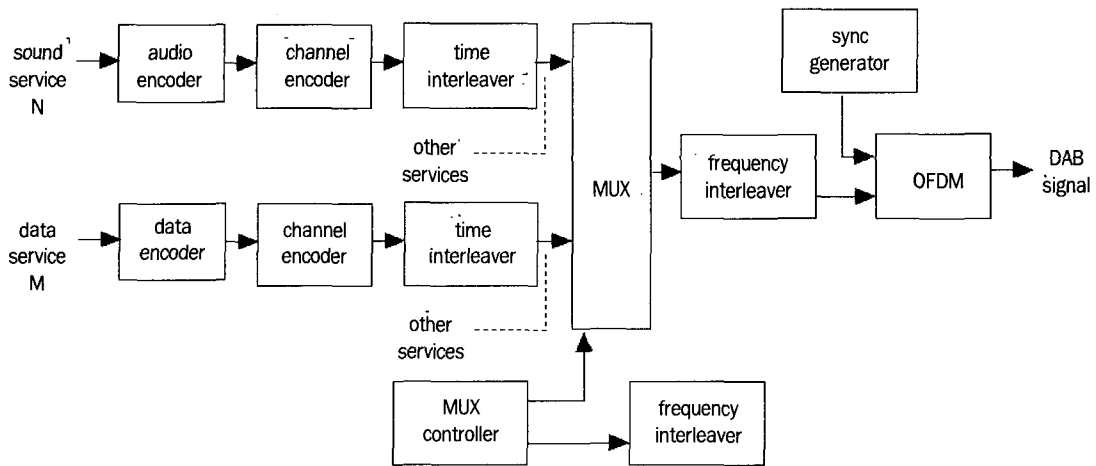
간/주파수 인터리빙 및 오류정정 부호화를 결합한 시스템이다. COFDM은 지상방송, 위성방송 그리고 케이블 방송에 모두 사용할 수 있으며, 사용 가능한 주파수

표 5. COFDM의 규격

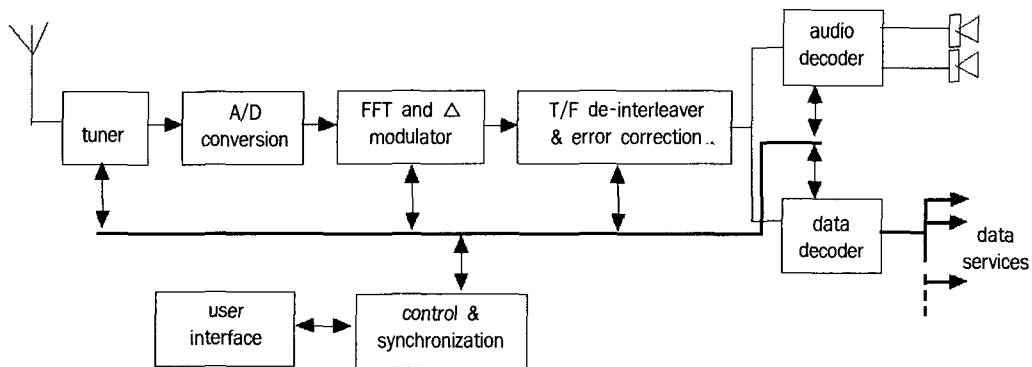
시스템 파라미터	규격	전송 모드			
		I	II	III	IV
오류정정 부호	RCPC, Viterbi 복호화				
전송	OFDM, $\pi/4$ -DQPSK				
보호시간	유효심볼구간의 25%				
시스템대역폭	1.536MHz				
총 전송속도	2.3Mbps				
유효 전송속도	0.8~1.7Mbps				
전송모드	모드 I, II, III, IV				
시스템 파라미터					
프레임 길이		96ms	24ms	24ms	48ms
보호시간		246 $\mu$ s	62 $\mu$ s	31 $\mu$ s	124 $\mu$ s
유효심볼구간		1ms	250 $\mu$ s	125 $\mu$ s	500 $\mu$ s
전체심볼구간		1,246 $\mu$ s	312 $\mu$ s	156 $\mu$ s	624 $\mu$ s
반송파수		1,536	384	192	768
주파수(GHz)		$\leq 0.375$	$\leq 1.5$	$\leq 3$	$\leq 1.5$

(a) 기본규격

(b) 시스템 파라미터



(a) DAB 송신기



(b) DAB 수신기

그림 1. Eureka-147 DAB 시스템 개념도

범위는 30MHz~3GHz 사이이다.

COFDM에는 반송파의 수와 간격이 각기 다른 4가지의 전송모드가 있다. 전송모드 1은 많은 수의 반송파를 조밀하게 배치하여 주파수 인터리빙의 효과를 극대화하고, 심볼구간을 길게 함으로써 허용 가능한 다중경로 전파의 지연시간을 길게 하여 단일주파수 방송망에 적합하게 설계되었으나, 사용가능한 주파수 영역이 250 MHz 까지로 제한 된다. 전송모드 3은 반송파 간격을 넓게 하여 도플러 주파수의 허용치를 크게 함으로써, 동작주파수 영역을 3 GHz까지로 확장한다.

오류정정 부호로는 부호화율을 변화시킬 수 있는 길쌈부호를 사용한다(Rate Compatible Punctured Convolutional code, RCPC). RCPC는 길쌈부호화를 사용하여 mother code를 만든 후에 이 mother code에서 실제로 전송할 부분을 선정(puncturing)하는 방법으로 부호화율을 가변할 수 있다. COFDM의 구속장 길이는 7이고, 유효 데이터와 mother code의 비가 1:4인 길쌈부호화를 사용하며, 부호화율은 8/12에서 8/24까지 13단계로 조절할 수 있다.

COFDM의 시간 인터리빙의 폭은 384 msec 로 길게 설계되었다. 보호구간은 유효심볼구간의 25%로 정하였고, 반송파들의 최종 변조는  $\pi/4$ -DQPSK를 이용하여 이루어 진다. Eureka-147에서 사용한 COFDM의 규격은 표 5와 같으며, 이 시스템의 송수신기의 기본개념은 그림 1과 같다.

4. 미국의 In-band 시스템

미국내의 DAB 시스템 개발은 1990년대 초반부터 시작되어, 한때는 10개 정도의 개발업체가 난립하였으나 지금은 USADR(USA Digital Radio), LDR(Lucent Digital Radio), DRE(Digital Radio Express)의 3개 사로 정리되었

다. 미국은 지상 DAB 시스템으로, AM 또는 FM방송이 사용하는 채널과 동일한 채널에 DAB 신호를 수용하는 IBOC 시스템을 추진하고 있다. 이 방식은 기존의 AM 또는 FM 방송과의 양립성을 유지하고 있어 새로운 스펙트럼 할당 문제가 없어 실용화가 쉽다는 장점이 있다.

4.1 IBOC 시스템의 개념

FM IBOC 시스템은 기본적으로 두 가지가 있다. FM 채널 내에서 FM 신호와 DAB 신호를 동시에 전송하는 하이브리드 모드와 DAB 신호만을 전송하는 디지털 모드가 그것이다. FM 방송과의 동시방송 기간에는 하이브리드 모드를 사용하고 FM 방송을 중단한 후에는 디지털 모드를 사용할 예정이다. 두가지 모드의 개념이 그림 2에 나타나 있다.

하이브리드 모드에서는 저출력의 DAB 신호가 아날로그 FM 신호의 양쪽 측파대에 배치되며, 배치 기준은 FCC의 스펙트럼 마스크를 따른다. 하이브리드 모드의 송수신에서는 디지털방송에서 일반적으로 요구되는 다중경로 전파전파 효과 극복 이외에 동일채널 또는 인접채널의 FM 신호의 간섭에 의해 야기되는 DAB 신호의 전송오류를 최소화하는 것과 DAB 신호가 FM 신호에 주는 간섭을 최소화하는 것이 요구된다. 이 모드에서는 FM 신호에 주는 간섭을 줄이기 위해 DAB 신호의 출력을 제한하므로 커버리지 축소 문제가 야기된다. 디지털 모드에서는 DAB 신호만을 전송하므로 기술적으로 간단하며, 출력을 높일 수 있어 커버리지를 향상시킬 수 있다. 또한 다양한 데이터서비스를 제공할 수 있다.

IBOC 시스템도 다중경로 전파전파를 극복하기 위해 Eureka-147과 마찬가지로 OFDM을 기본으로 하는 변조방식을 채택하고 있으며, 시스템 파라미터들이 조금씩

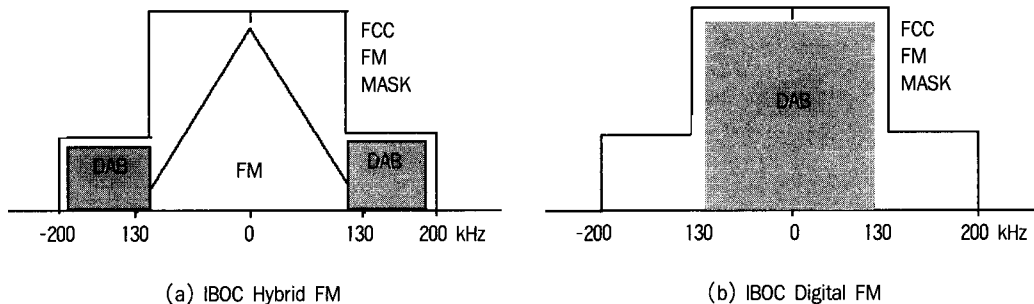


그림 2. IBOC 시스템의 동작 모드

다르다. 채널 부호화와 오디오 부호화 방법은 시스템마다 다르다.

4.2 LDR의 DAB 시스템

LDR의 IBOC 시스템에서 사용하는 음성부호화 방법은 Perceptual Audio Coding(PAC)이다. IBOC FM 시스템에서는 96 kbps의 비트율로 CD 음질의 스테레오 오디오를 수용하며, IBOC AM 시스템에서는 48 kbps 이하의 비트율로 FM방송 수준의 음질을 목표로 한다. PAC의 블록도가 그림 3에 나타나 있다.

96 kbps의 비트율에서 CD 수준의 음질을 달성하기 위해, PAC는 향상된 분석필터뱅크를 사용한다. 필터뱅크는 변화가 적은 오디오신호에 효율이 좋은 MDCT 필터뱅크와 오디오 신호가 급격히 변할 때 효과가 좋은 웨이브렛 기반 필터뱅크로 구성된다. 또한 PAC는 잡음 할당에서 향상을 기하기 위해 binaural과 interaural 마스킹을 채용하였으며, 개선된 다차원 양자화 기술을 적용 호프만 부호에 기반을 둔 효율적인 무잡음 부호화에 결합하여 사용한다. 부호화된 오디오 데이터는 가변 프레임길이의 제어 비트들을 가진 비트열이 된다. PAC의 전송 비트율은 16 ~ 128 kbps 이다.

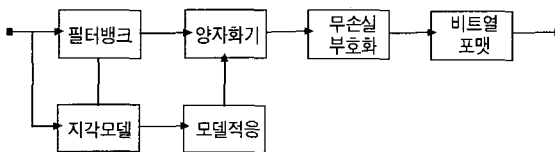


그림 3. Perceptual Audio Encoder의 블록도

하이브리드 모드에서 FM 신호의 양쪽 측파대에 배치되는 저출력의 DAB 신호는 모두 100 kHz의 대역폭에 100 kbps의 유효 데이터 전송용량을 가지므로, 각 측파대는 CD 음질 스테레오 오디오를 수용한다.

LDR의 IBOC 시스템은 오류 정정 부호로 complementary puncture pair convolutional channel coding(CPPCC)을 불균등 오류보호와 결합하여 사용한다. 페이딩에 대항하기 위해 시간, 주파수 인터리빙을 사용한다. 인터리빙은 페이딩 효과를 다수의 부호 심볼에 분산시키며, 인터리빙의 폭을 깊게 할수록 전송 성능이 좋아진다.

LDR의 시스템은 오디오 소스의 특성과 잘 조화되는 오류 은폐/완화 기술을 사용하며, 오디오 데이터 영역의 남은 부분을 오류 은폐/완화 알고리즘에 활용한다. 오류 은폐/완화 알고리즘을 효율적으로 활용하려면 오류 제어 디코더에서 제공하는 오류검출신호의 신뢰도가 중요하며, 이를 위해 LDR 시스템에서는 리드-솔로몬

부호에다 중요한 제어 비트를 위한 채널부호를 추가하는 방법을 사용한다. 리드-솔로몬 디코더에서는 일정수준까지의 심볼오류를 정정하고 그 이상의 오류가 발생하면 오류 플래그를 출력한다. 이 오류 플래그는 PAC 음성복호기에 수신된 리드-솔로몬 부호가 신뢰할 수 없는 것임을 알려주고 이에 따라 PAC 복호기는 오류 은폐 알고리즘을 가동한다. 이 알고리즘은 뮤트보다 우수한 음질을 복구해낸다. 하이브리드 IBOC 시스템에서의 오류은폐 알고리즘은 아날로그 신호와 혼합하는 메커니즘을 포함한다.

4.3 USADR의 DAB 시스템

USADR의 하이브리드 IBOC 시스템은 200 kHz FM 대역의 첫 번째 인접대역에 DAB 신호를 넣는 방식으로 70 kHz 단측파대에 95개의 반송파를 갖는 시스템으로 변조방식은 OFDM-QPSK이며 보호시간은 사용하지 않는다. 상세 사양은 표 6과 같다.

표 6. 하이브리드 IBOC DAB 사양

변조방식	OFDM-QPSK
반송파수	95개 (단측파대)
반송파 배열	· 중심주파수를 0으로 400 kHz 대역폭 : 좌우 끝까지 ±275번 · 제일 바깥쪽 반송파(274번)의 주파수 : ±199.128 kHz · 제일 안쪽 반송파(179번)의 주파수 : ±130.087 kHz · 파일럿 부반송파(178번)의 주파수 : ±129.361 kHz
보호시간	사용 안함
대역폭	70 kHz (단측파대)

디지털 IBOC 시스템은 FM 신호를 배제하고 DAB 신호만 전송하는 방식으로 FM 신호와의 상호간섭을 고려하지 않아도 된다. FM 대역을 사용하므로 차지 대역폭은 400 kHz이다. 변조방식은 OFDM-QPSK이며 136개의 단측파대 반송파를 갖고 보호시간은 갖지 않는다. 상세 사양은 표 7과 같다.

표 7. 디지털 IBOC DAB 시스템 사양

변조방식	OFDM-QPSK
반송파수	136개 (단측파대)
반송파 배열	-137~137번의 총 275의 부반송파 137번은 사용하지 않음 0번은 파일럿톤 송출용으로 사용
보호시간	사용 안함
대역폭	400 kHz

5. 일본의 협대역 ISDB-T

일본은 1998년 9월에 협대역 ISDB-T(Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial) 방식을 지상 DAB 잠정표준으로 채택하였다. 이 시스템은 유럽의 COFDM과 유사한 전송방식을 채택하나, 시스템대역폭을 일본의 주파수환경에 맞도록 조정하고, 데이터 패킷의 구성방법을 MPEG-2와 동일하게 하는 방식이다. 협대역 ISDB-T의 전송기법은 일본의 지상파 디지털 TV 방식인 광대역 ISDB-T와 동일하다. 전송대역폭은 두 가지가 있는데 하나는 4295 ~ 4325 kHz 대역폭의 OFDM 세그먼트 한 개를 사용하는 것이고 다른 하나는 세그먼트 세 개를 사용하여 약 13 MHz가 되는 것이다.

5.1. 전송기법

ISDB-T의 전송기법은 대역분할전송(Band Segmented Transmission, BST) OFDM (BST-OFDM)에 기본을 두고 있다. BST-OFDM 채널은 OFDM 세그먼트

트라고 불리는 주파수 블록들로 구성된다. 각 세그먼트의 대역폭은 같고 반송파 수와 간격도 동일하다. 협대역 ISDB-T의 송수신 개념이 그림 4에 나타나 있으며, 송신기의 구성은 그림 5와 같다.

그림 4에서 보는 바와 같이 두 가지 대역폭이 사용된다. 3 세그먼트 전송의 경우 두 개의 다른 전송 파라미터들이 선택될 수 있다. 그러나 중앙의 OFDM 세그먼트의 주파수인터리빙은 1 세그먼트 수신기와의 호환성을 유지해야 한다. 이러한 제한은 광대역 ISDB-T의 중앙 세그먼트에도 적용된다.

오류정정 방식은 리드 솔로몬 부호(RS(204,188))와 길쌈부호를 결합한 것이다. 내부호인 길쌈부호의 부호화율은 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 중에서 선택할 수 있고, 3 세그먼트 전송의 경우에는 계층 A와 B 세그먼트의 부호화율을 달리 할 수 있다. 오류정정 성능을 높이기 위해 시간과 주파수 인터리빙을 사용하였으며, 다중경로 전파전파로 인한 심볼간의 간섭을 피하기 위해 보호구간을 채택하였다. 변조방법은 QPSK, DQPSK, 16QAM, 64QAM 중에서 선택할 수 있다.

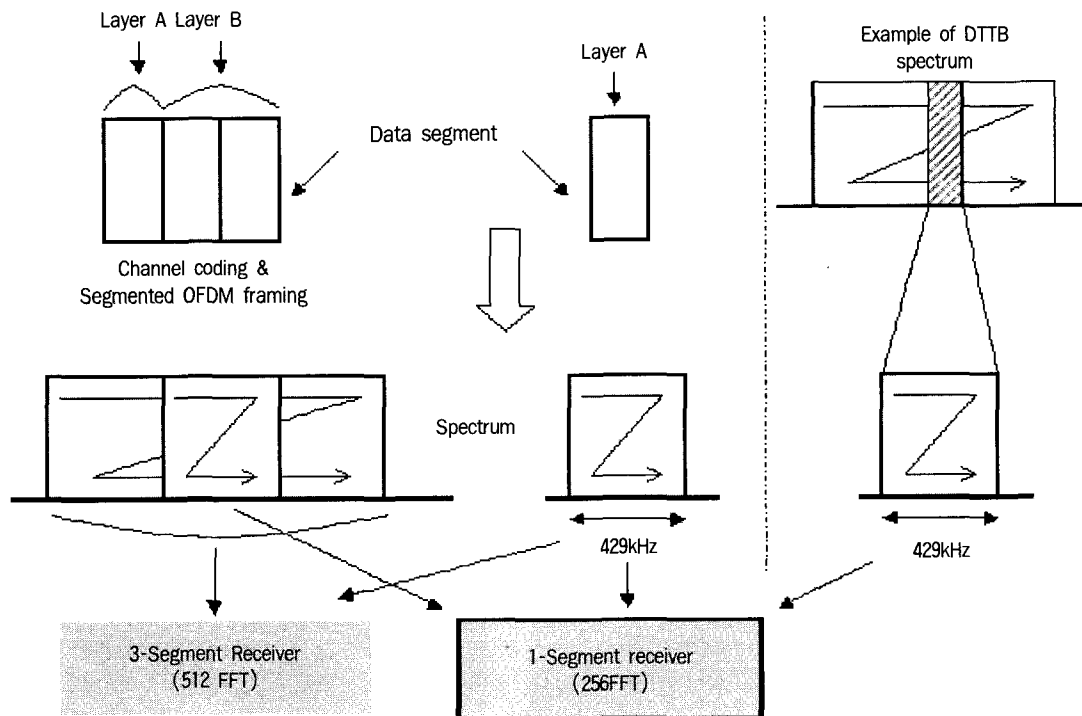


그림 4. 협대역 ISDB-T의 송수신 개념

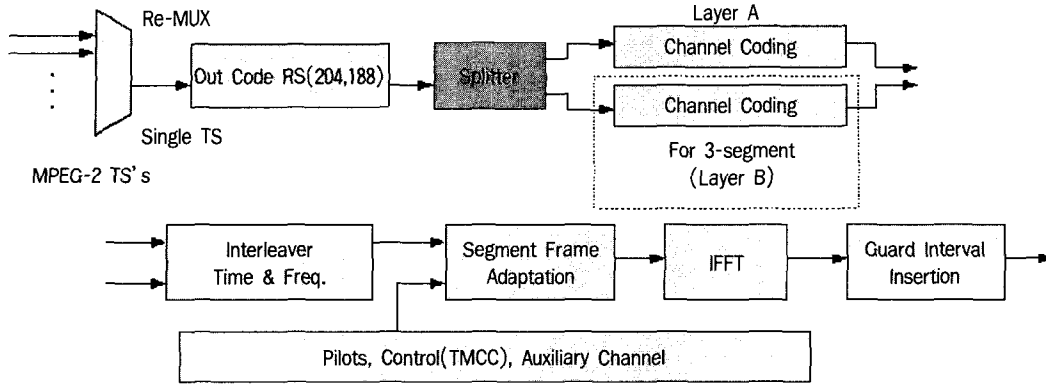


그림 5. 현대역 ISDB-T의 송신시스템 구성도

5.2 음성부호화와 다중화

음성부호화 방식으로 압축율이 높은 MPEG-2 AAC Audio (ISO/IEC13818-7)를 채택하여 144 kbps 정도에서 CD 수준의 음질을 실현한다. 따라서 우수한 전송성능을 보장하도록 주파수효율이 낮은 변조방법을 사용하고, 내부호의 부호화율을 낮추더라도 한 세그먼트에 3개의 CD 음질 스테레오 프로그램을 수용할 수 있다. 다중화 방식으로 MPEG-2 시스템 (ISO/IEC13818-1)을 채택하여 타 미디어와의 호환성을 보장하고 있다.

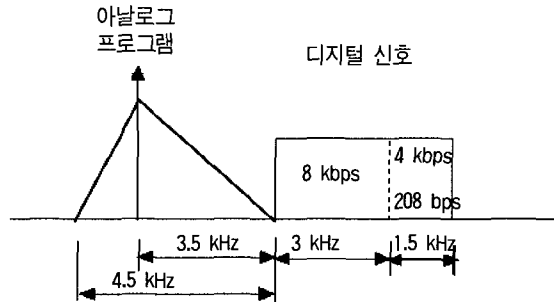


그림 6. AM 하이브리드 모드

6. 중단파대역 디지털 라디오 (디지털 AM 라디오) 시스템

6.1 Skywave 2000

이 시스템은 톰캐스트사에서 개발한 중단파대역 디지털라디오 시스템으로서 미국의 AM IBOC 시스템과 마찬가지로 하이브리드 모드와 디지털 모드의 두가지로 동작한다. 하이브리드 모드로 동작할 때의 주파수 배치가 그림 6에 나타나 있다.

이 시스템은 오디오 부호화기, 디지털 변조기, RF 여진기 그리고 파워 앰프로 구성된다. 입력신호로는 오디오와 데이터 및 정지화를 사용한다. 오디오부호화 기법으로는 MPEG 2 Layer III를 사용하였으며, 점진적 열화(graceful degradation) 기능을 추가하기 위해 향후에는 MPEG-4 로 변경하는 것을 고려하고 있다. 디지털 변조기의 구성은 그림 7과 같다.

중단파 대역의 AM 방송은 대역폭이 9 kHz로 좁기 때문에 스펙트럼 효율이 좋은 변조방법을 사용해야 한다. 즉 유효데이터 2~3 비트 당 1 Hz의 스펙트럼 효율을 필요로 한다. Skywave 2000에서는 TCM/QAM을 기본으로 하는 전송방식을 채택하였다. TCM의 부호화율은 2/3과 3/4 중에서 선택하도록 하였고, QAM 도 64 QAM과 16 QAM 중에서 선택하도록 설계하였다.

- 64 QAM : 정상변조 모드
- 16 QAM : 전송조건이 좋지 않은 경우의 fallback 모드

Skywave 2000은 불균등 오류보호를 채택하였으며, 시간과 주파수 인터리빙을 사용하였다. 시간 인터리빙의 길이는 4×288 ms 와 164×288 ms 중에서 선택하도록 되어 있다.



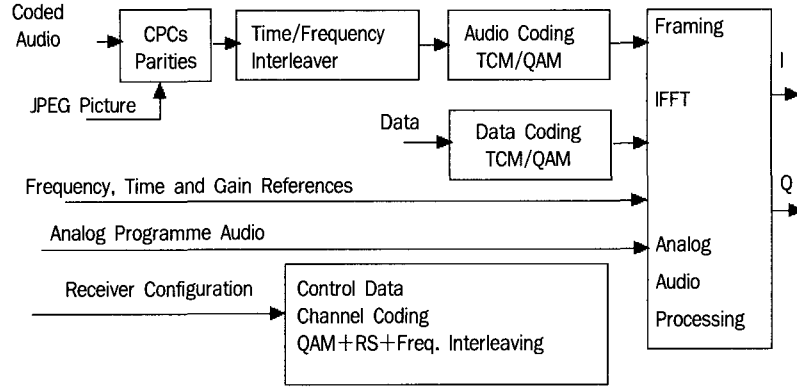


그림 7. Skywave 2000의 변조기 블록도

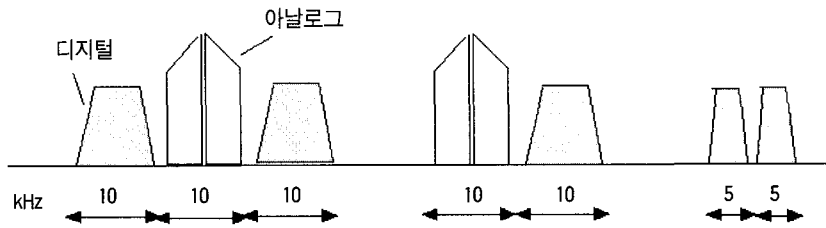


그림 8. 멀티캐스트의 조합

6.2 T<sup>2</sup>M

이 시스템은 도이취 텔레콤과 텔레폰켄에 의해 개발되었으며 멀티캐스트를 목표로 하고 있다. 즉 하나의 송신기에서 3개의 HF 채널까지 동시에 전송할 수 있다. 그림 8에서 보는 바와 같이 가능한 조합은 1 아날로그와 2 디지털 채널, 1 아날로그와 1 디지털 채널 또는 1-2 디지털 채널이다.

T<sup>2</sup>M은 오디오부호화 기법으로 MPEG Layer III를 사용하고 있으며, 부호화 효율을 높이기 위해 MPEG 4의 채택을 검토하고 있다. 변조방법으로는 단일반송파 APSK를 채택하였고, 수신단에서 다이내믹 등화기를 사용할 수 있다. 단파방송의 경우 기본적으로는 64 APSK 변조를 고려하고 있다. 이것은 9 kHz의 대역폭에 수용가능한 전송용량을 43 kbps로 하기 위함이며, 이 경우에 오류정정, 기준신호, 데이터 열 구조 등을 고려하면 유효 데이터의 용량은 25 kbps 정도이다.

T<sup>2</sup>M은 채널조건이 좋지 않을 경우 음질의 점진적 열화가 가능하다. 이를 위해 64, 16, 4의 세 단계 레벨을 갖는 계층적 변조시스템을 채택하였다. 변조계층에 따라 프로그램 내용은 조인트 스테레오 오디오와 부가

데이터, 모노 오디오와 데이터로 변환한다. 계층적 변조시스템이 효과적이 되려면 오디오 부호화에서도 이와 유사한 계층화가 불가피 한데, 이것은 MPEG 4 기법을 사용하면 된다. Skywave와 T<sup>2</sup>M의 특징이 표 8에 비교, 요약되어 있다.

표 8. 디지털 AM 방송방식 비교

	Skywave 2000	T2M
변조방식	TCM QPSK	APSK
반송파	다중반송파	단일 반송파
오디오코딩	MPEG 2 Layer II MPEG 4 고려중	MPEG 2 Layer III MPEG 4 고려중
동시방송	가능	HF 3 채널까지 가능
RF 대역폭	9 kHz	9 kHz
오디오 대역폭	> 8 kHz	> 8 kHz
전송속도	24 kbps	21 kbps
심볼 전송속도	8600 Sym/s	7200 Sym/s
점진적 열화	고려중	가능

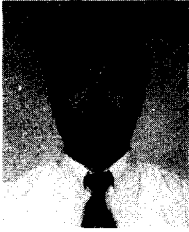
## 7. 결론

유럽, 미국, 일본의 DAB 방송방식은 각각 장단점을 가지고 있다. 유럽의 Eureka-147 방식은 전송성능이 가장 우수하고 전송용량이 커서 많은 수의 오디오 프로그램을 동시에 전송할 수 있으며, 다중구조의 용통성을 최대한 보장하고 있다. 일본의 ISDB-T 방식은 가장 우수한 음성부호화 기법을 채택하고 있고, 전송방식의 용통성을 최대한 보장하며, 다중구조를 MPEG-2와 호환

이 되도록 한 것이 강점이다.

오래 전부터 진행되어 온 라디오방송의 디지털화는 이제 완성단계에 들어서고 있으며, 우리에게도 디지털화는 피할 수 없는 과제가 되고 있다. 디지털 라디오는 기술과 기기와 시장을 가지고 있으며, 따라서 디지털 라디오의 정착은 시간문제일 것으로 판단된다. 우리는 각 방식의 장단점을 면밀히 검토하여 국내 방송방식 결정과 실용화전략 수립 과정에 반영해야 할 것으로 판단된다.

## 필자소개



### 정신일

- 1980년 한양대학교 전자공학과 졸업
- 1982년 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(석사)
- 1982년 KBS 기술연구소 입사
- 현재 KBS 기술연구소 차장
- 주관심 분야: 디지털 라디오방송, 오디오 부호화, 음성/음향 신호처리, 음장 합성