

유럽의 DAB

정 신 일
KBS연구소 차장

1. 서론

1995년 영국, 스웨덴, 덴마크 등에서 상용 DAB 서비스를 개시함으로써 라디오 방송의 디지털시대가 개막되게 되었다. DAB는 기존의 라디오방송의 단점을 제거하고 새로운 형태의 서비스를 제공하는 능력을 가진 우수한 시스템으로 차세대의 라디오 방송으로 자리잡을 것이 확실시된다. 본 고에서는 유럽 DAB의 배경과 현황, DAB의 전송기술, Eureka-147 DAB 시스템 그리고 결론의 순으로 유럽의 DAB에 대하여 논한다.

2. 유럽 DAB 배경과 현황

유럽의 DAB는 '85년 프랑스, 독일, 네덜란드의 컨소시엄 구성을 시발로 '86년 스웨덴 스톡홀름의 연구장관회의에서 DAB를 Eureka-147 프로젝트로 선정하였다. '88년부터 '91년까지 1단계에서 유럽 각국의 16개 이상의 단체가 연 360명의 연구인력과 연 8000만 마르크의 개발비를 투입하였고 운영위원회, 프로그램위원회 및 4개의 Working 그룹으로 구성되어 운영하였다. '92년부터 '94년까지 2단계에서는 20여개의 단체에서 연 170명의 연구인력과 4500만 마르크의 개발비를 투입하였으며, 3개의 Working 그룹으로 나누어 운영하였다.

제1단계에서는 200kbps/stereo 이하에서도 CD 수준의 음질을 수신할 수 있는 데이터 압축기술, 이동체 상태에서도 음질의 손상없는 수신, 주파수 효율제고 및 카라디오 크기의 저가 수신기 개발 등 4가지 연구목표를 가지고 MUSICAM(Masking pattern adapted Universal Sound Integrated Coding And Multiplexing)의 사운드 부호화방식 개발과 이동체 수신이 가능한 COFDM(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex)

방식을 개발하였다. 제2단계에서는 개발된 사양들에 대한 실험과 필드 테스트, 다른 서비스간의 보호비 및 서비스 질의 기준 측정, 프로그램 공급자로부터 전달되는 프로그램을 다중화하여 전송하는 문제 및 보조 데이터 채널의 프로토콜과 구조의 결정 등 4가지 목표를 갖고 실제 방송서비스를 앞두고 실용화에 관련된 문제들을 주로 연구하였다.

실용화를 위하여 이동체 수신이 가능한 형태의 지상파 방송을 단일 주파수방송망(Single frequency network, SFN) 형태로 구축하며, 6개 프로그램을 송출할 수 있는 1.5MHz 주파수 대역을 한 블록으로, 4개의 블록과 가드밴드를 포함해서 약 7MHz의 대역폭으로 채널 12에 할당하고, 채널 12를 사용할 수 없는 국가에서는 채널 2, 4 또는 FM 대역을 사용하는 등 유럽 전체에서 국가별로 주파수 할당을 위한 협의를 마쳤다. 유럽은 DAB의 확산과 실용화에 따르는 제반 문제들을 해결하여 조기에 DAB 서비스를 개시하기 위한 EuroDab Forum을 구성하였으며 총회가 '95년 10월 런던에서 최초로 개최되었다. 이는 그동안 기술과 관련된 문제에서 DAB 방송 서비스의 구현 즉 마케팅, 프로그래밍, 기금조성 및 각종 관련규정 등으로의 방향 전환을 의미한다.

'94년 11월과 12월에 걸쳐 체네바에서 열린 국제전기통신연합 무선통신부문(ITU-R) 회의에서 Eureka-147 DAB 시스템을 지상 및 위성 음성방송을 위한 디지털 시스템 A로 권고되었다. 1995년 7월에는 유럽에서 각국이 사용할 주파수 할당에 대한 유럽전체 합의가 이루어졌다. 오랫동안 기다려온 미국의 EIA(Electronics Industry Association)의 미국방식 결정을 위한 랩 테스트에 관한 보고서에서도 기존의 Eureka 147 DAB 시스템에 대하여 유럽방송연맹(EBU)의 테스트 결과와 동일한 결론을 냈다. 그러나 무엇보다도 덴마크, 영국, 스웨덴 등의 국가에서 정규 DAB 방송을 시작하였다는 점은 그동안

어떤 성취에도 비교할 수 없는 귀중한 결과이다. 또한 독일 및 프랑스등 유럽의 거의 모든 나라에서 시험방송을 하고 있으며, 유럽의 많은 방송국들은 최초로 상용 수신기가 발매될 '97년까지 DAB 정규방송을 실시할 계획으로 있다. EuroDab Forum의 추산에 의하면 '97년 가을까지 유럽에서 1억명 이상의 인구가 DAB 청취가 가능할 것으로 보고 있다.

3. DAB 전송기술

3.1 이동체 디지털방송의 채널특성

RF 통신에서 수신신호의 손상요인은 여러가지가 있다. 이를 정리하면 다음과 같으며, 이중에서 디지털 이동체 방송채널에서 중요하게 고려해야 하는 것은 다중경로 전파전파 효과와 도플러 효과이다.

- 직접전송경로(가시거리)에서의 특성
- ◆ 거리에 따른 감쇄 : 실제의 전송환경에서 $1/d^3 - 1/d^6$
- ◆ Shadowing(slow fading) : 건물등에 의해 전파의 진행이 방해되는 현상
- 다중경로 전파전파 효과(multipath propagation effect) : 시간영역에서의 신호 확산
- 도플러 효과(doppler shift) : 주파수영역에서의 신호 확산
- 잡음 및 간섭 : 가우시안 잡음, 임펄스 잡음, 다른 서비스로부터의 간섭

다중경로 효과는 신호강도의 변화(페이딩)와 심볼간의 간섭(intersymbol interference : ISI)으로 나타난다. 다중경로 전파전파로 인해 수신점에는 여러개의 전파(직접파 및 반사파)가 시차를 두고 도달하게 되며, 이에 따라 심볼간의 간섭이 발생하게 된다. 각 전파들의 시간 지연의 표준편차를 delay spread라 정의하며, 일반적으로 심볼구간이 delay spread 보다 상당히 큰 경우에는 심볼간의 간섭이 일어나지 않도록 복조를 할 수 있다. 그렇지 않은 경우에는 간섭이 발생하게 되며, 이로 인해 비트에러가 발생하게 된다. 이 비트에러는 송신출력을 증가시키는 방법으로는 개선할 수 없으며, 채널등화기법이나 심볼구간을 늘려주는 방법으로 해결해야 한다.

페이딩은 주파수선택적 페이딩, 광대역 페이딩, 시변(時變)페이딩의 3종류가 있는데 종류에 따른 특징과 해결방안이 표 1에 요약되어 있다.

3.2 디지털 전송

디지털 방송환경은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 다중경로 페이딩 채널 : 일반적으로 다중경로 전파전파로 인한 반사파들의 delay spread는 수 μ sec에서 수십 μ sec까지 분포한다. 따라서 다중경로에 강한 전송방식이 요구된다.
- 단방향성 : 방송채널에는 상업용 통신과는 달리 케환(feedback) 채널이 없다. 따라서 보다 강력한 오류정정 능력이 요구된다.
- 광대역전송 : DAB나 디지털 TV는 수 Mbps 정도의

표 1. 페이딩의 종류, 특징 및 해결방안

페이딩의 종류	특 징	해 결 방 안
주파수 선택적 페이딩	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 신호의 위상과 크기의 변동 ◇ 레일레이 또는 정규대수 분포 ◇ 페이딩의 깊이와 간격은 반송파 주파수에 따라 변화 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 다수의 반송파 사용 ◇ 주파수 인터리빙 ◇ 오류정정 부호화
광대역 페이딩	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 대역폭 = 수십 - 수백 kHz ◇ 최대 깊이 = -30dB ◇ 평균 길이 = 17cm 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 시간 인터리빙(이동수신) ◇ 오류정정 부호화(이동수신) ◇ 공간 다이버시티(고정수신)
시변 페이딩	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 기상조건의 변화등에 따른 slow fading ◇ 수신기의 이동 등에 의한 fast fading 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 시간 인터리빙(이동수신) ◇ 오류정정 부호화(이동수신)

전송속도를 가진다.

- 무선주파수 자원의 제한 : 따라서 스펙트럼 효율이 높은 전송방식이 요구된다.

일반적으로 데이터 전송속도가 아주 낮은 협대역시스템에서는 심볼구간이 delay spread보다 크므로 심볼간에 간섭이 없이 수신측에서 복조를 하는 것이 가능하며, 대역폭이 아주 작으므로 페이딩은 주파수 비선택적이다. 주파수 비선택적 페이딩을 해결하기 위해 파일럿 톤이나 파일럿 심볼의 사용이 요구된다. 데이터 전송속도가 높은 광대역시스템에서는 심볼구간이 delay spread에 비해 작으므로 심볼간의 간섭이 발생하게 되고, 페이딩은 주파수 선택적이 된다. 심볼간 간섭문제를 해결하는 방안으로 채널등화기법을 사용하기도 하나, 이 방법은 시스템 구성이 복잡하고, 잡음 증가의 문제를 안고 있다. 심볼간 간섭과 주파수 선택적 페이딩을 해결하는 간단하면서도 우수한 방법은 대역확산(spread spectrum)시스템과 다중반송파 변조(multicarrier modulation, MCM) 시스템이다.

MCM은 전송 데이터를 여러개의 반송파에 나누어 전송하는 방법이다. 이 방법을 사용하면 각 반송파를 통해 전송되는 데이터 열의 전송속도는 낮으므로 심볼구간이 길어지고, 각 부(副)채널의 대역폭은 작아지므로 (전체의 대역폭을 반송파의 수로 나눈 것) 주파수 비선택적 페이딩을 갖게 된다. MCM의 장점은 다중경로 delay spread와 시간영역 임펄스잡음에 강하면서 잡음 증가 문제가 적다는 것이다. 단점은 주파수영역 톤 잡음에 약하다는 점이다. MCM 시스템으로는 L. J. Cimini가 제안한 직교 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)과 J. M Cioffi가 제안한 Discrete Multitone Tranceiver(DMT)가 있다.

4. Eureka-147 DAB 시스템

4.1 시스템 개요

Eureka-147 DAB 사양서는 EBU와 유럽통신 표준국(ETSI)에서 1992년부터 1993년까지 2년여에 걸쳐 만들어 1994년초에 최종 초안이 발표됐고 1994년말에 최종 사양서가 확장되어 ETSI 표준 300 401로 명명되

었다. 이 사양서는 ITU-R에서 채택한 DAB 전체 시스템과 서비스 조건을 만족하며 ISO(International Standards Organization)/MPEG 표준화에 기초한 오디오 부호화 기법, COFDM 전송방식 그리고 오디오와 데이터의 다중화를 포함하고 있다. DAB 전송규격은 3가지로 지상 SFN과 주파수 밴드 I, II, III의 지역방송에 적합한 전송모드 1, 주파수 밴드 I, II, III, IV, V 와 L 밴드에 적합한 전송모드 2와 4 그리고 3GHz 이하의 지상 방송, 위성방송, 지상 및 위성방송에 이용하는 전송모드 3이 있다.

채널 부호화는 구속장이 7인 길쌈 부호화와 채널 부호화율을 조절하는 punctured부호화로 되어 있고 에러 보호 정도는 오디오 서비스의 경우 5가지, 데이터 서비스의 경우 4가지이다. 채널효율을 크게 하기 위해 부호화시 16 오디오 프레임(384 msce)동안 시간 인터리브를 하며 64 비트로 구성된 블록으로 분할되어 처리된다. 다중경로 페이딩효과를 줄이기 위해 주파수영역에서 다중 반송파를 주파수 인터리브한 후 $\pi/4$ -DQPSK로 전송된다. 상세한 전송규격은 표 2에 있다.

4.2 음성부호화

음성부호화는 초창기 독일의 IRT(Institut für Rundfunktechnik)사가 음성신호를 대역분할(당초 사양에서는 16kHz까지의 음성신호를 500Hz~1kHz의 대역으로 24분할)한 후 심리음향특성(ps psychoacoustic characteristic)에 기초한 적응적인 비트 배분을 행하여 정보량을 줄이는 방식을 개발하였고, 그 후 ISO/IEC(International Electrical Commission)의 방식표준화 작업중 명칭을 MUSICAM으로 변경하였다. MUSICAM 방식은 오디오 서브밴드 부호화이며 ISO/IEC 11172-3의 Layer II (MPEG Layer II)로 권고되고 있다. 이 방식은 약 1/4~1/8의 비트 감소효과를 가지는데 CD 음질의 스테레오 프로그램이 약 200kbps로 재생될 수 있음을 나타낸다.

MUSICAM 방식은 음성신호를 750Hz의 대역폭을 갖는 필터를 이용, 32개 서브밴드로 분할, scale factor를 이용하여 데이터를 줄이며, 다른 한편으로 심리음향 특성을 이용하기 위해 FFT 분석, 마스킹한계값을 결정하여 dynamic하게 비트를 할당하는 방식이다. 음성신호 대역

폭은 20kHz이고 표본화 주파수는 48kHz, 신호해상도는 22비트 이하, 서브밴드수는 32개 그리고 음성프레임 길이는 24ms(1152표본)이다. 음성모드는 표 3과 같이 복수의 비트전송율을 가진다.

표 3. 음성 비트전송율

음성모드	비트 전송율
single(mono)	32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192(kbps/ch)
Stereo, dual intensity stereo	64, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256, 320, 384(kbps/2ch)

MUSICAM 시스템에 대한 listening 테스트는 Eureka-147 프로젝트의 일환으로 1990년초에 영국의 Kingswood Warren에 있는 BBC 연구센터에서 수행되었는데 다른 시스템과 비교하여 가장 좋은 결과를 나타내었고 이 후 캐나다의 오타와에서도 성공리에 테스트를 마쳤다.

4.3 시스템 구조

음성과 함께 음성프로그램 관련 데이터 등 각종 데이터가 전송될 수 있는데, 이러한 DAB 전송프레임은 일차 동기용 null 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 음성 데이터와 일반 데이터를 전송하는 주서비스채널인 MSC(Main Service Channel)가 할당된다. 데이터 전송은 FIC와 MSC이다. FIC는 256비트 FIB(Fast Information, Blocks)로 구성되며 MSC배열을 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. 음성데이터를 복조하기 위해서는 이 MCI 정보가 제일 먼저 필요하므로, FIC는

지연의 영향을 받지 않도록 시간 인터리브를 하지 않고 정정부호만을 부가하여 전송한다.

MSC는 여러개 CIF(Common Interleaved Frames)로 구성되며, 한 CIF는 55,296비트 데이터로 24msec 오디오 프레임에 해당된다. CIF의 최소 주소단위는 64비트 CU(Capacity Unit)이다. 서브채널은 CU의 정수배로 구성되며 MSC의 기본 전송단위가 된다. 즉, MSC는 서브채널의 다중화로 구성된다. MSC는 시간 인터리브되고 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.

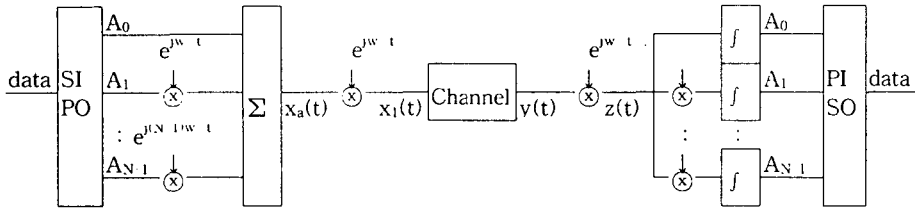
MCI는 CIF의 크기와 위치, 에러 보호에 의한 서브채널의 조직, 서비스 목록, 서비스와 서비스 성분 사이의 연결, 서비스 성분과 서브채널 사이의 연결 그리고 다중화 배열의 표시 등 5가지 기능을 가지고 있다.

4.4 COFDM 전송방식

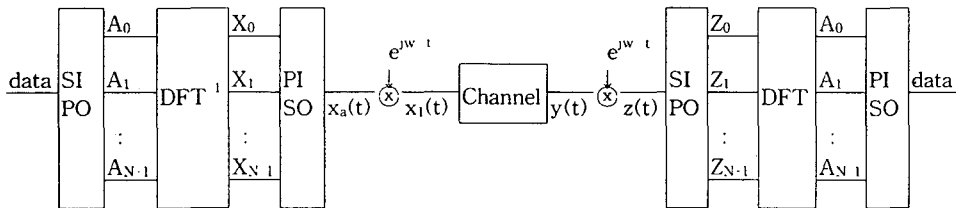
OFDM의 기본원리는 동일한 주파수 간격을 가지는 여러개의 RF 반송파들이 각각 변조된다는 것이다. 변조방법은 PSK 계열과 QAM 계열을 주로 사용하며 반송파들의 간격은 심볼구간의 역수가 된다. 반송파들은 서로 직교조건을 유지하며, 겹쳐지도록 배치되어, 인접심볼간의 간섭을 방지하며 주파수효율이 우수하다. OFDM은 원리면에서 우수함에도 불구하고 다수의 RF 주파수를 합성해야 하는 단점 때문에 구현하기가 어려웠다. 근래에 우수한 성능을 보유한 디지털 신호처리 소자들이 나옴에 따라, 이를 이용하여 반송파 합성과 위상변조를 동시에 할 수 있게 되어, OFDM을 쉽게 구현할 수 있게 되었다. OFDM 변복조 시스템의 기본원리와 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용한 구현방법이 그림 1에 나타나 있다.

OFDM의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 변조는 IFFT로, 복조는 FFT 연산으로 수행한다.
- 다수의 반송파에 데이터를 분산시켜 전송하기 때문에, 단일반송파 방식에 비해 1심볼의 지속시간이 길다. 여기에 시간축으로 보호시간(guard interval)을 부가함



(a) 기본개념



(b) DFT를 이용한 구현

그림 1. OFDM 변복조 시스템

로써, 반사파의 지연시간이 이 간격내에 들어가므로 다중 경로가 있어도 전송특성에는 영향이 적다.

- 신호파형이 가우시안잡음에 가깝기 때문에 다른 통신에 방해를 미치지 어려우며, 다른 신호로부터의 방해도 별로 받지 않게 된다.

- 디지털 데이터열을 주파수축상에서 주파수 인터리브 효과를 얻도록 배치하고, 적절한 정정부호화 조합시키면 주파수 선택적 페이딩에 강하게 된다.

- 동일주파수의 단일 주파수방송망이 가능하다.

- 단일방송파 QPSK에 비해, 방송파의 주파수를 증가시킬수록 대역이용효율이 100%에 가까운 roll-off 특성을 갖는 경우에 거의 동등하게 되어 효율이 높다.

- 주파수 간격이 균일한 다수방송파 방식이므로, 비직선성을 갖는 전송로에서는 상호변조에 의한 특성열화가 발생하기 쉽다는 단점이 있다. 따라서 방송장비의 전력증폭 및 수신기의 고주파와 중간주파 회로는 충분한 직선성이 보장되는 영역에서 사용해야 한다.

COFDM은 이동수신시의 다중경로 효과를 극복하기 위해 특별히 개발된 전송방식으로 OFDM에 보호시간 개념

을 도입하고, 시간/주파수 인터리브 및 오류정정 부호화를 결합한 시스템이다. COFDM은 유럽의 DAB 개발 프로젝트인 Eureka-147에서 DAB 전송방식으로 개발하였으며, TV전송분야에도 응용이 가능하다. COFDM은 지상방송 및 위성방송, 지상파를 위성으로 보완하는 하이브리드 방송 그리고 케이블방송에 모두 사용할 수 있으며, 사용가능한 주파수범위는 30MHz~3GHz 사이이다.

전송채널에서 다중경로 효과로 인해 수신측에서 반송파들 사이에 직교조건이 성립하지 않는 부분이 생기게 된다. 이것을 해결하기 위하여 COFDM에서는 심볼구간 사이에 보호시간을 추가한다. 수신기에서는 이 보호시간대의 신호는 무시하고, 심볼구간의 신호만을 복조하게 된다. 다중경로의 delay spread가 보호시간 보다 작으면 심볼구간 내에서는 항상 반송파간의 직교조건이 성립하므로 심볼간의 간섭을 방지하게 된다.

오류정정 부호로는 code rate를 변화시킬 수 있는 길썩 부호를 사용한다(Rate Compatible Punctured Convolutional code, RCPC), RCPC는 길썩부호화를 사용하여 mother code를 만든 후에 이 mother code에서 실제로 전송할 부분을 선정(puncturing)하는 방법으로 code

표 2. COFDM의 규격

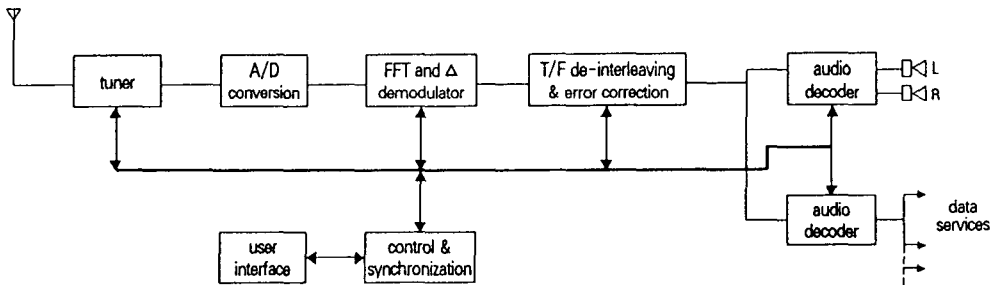
시스템 파라미터	규격	전송 모드			
		I	II	III	IV
오류정정 부호	RCPC, Viterbi 복호화				
전송	OFDM, $\pi/4$ -DQPSK				
보호시간	유효심볼구간의 25%				
시스템대역폭	1.536MHz				
총 전송속도	2.3Mbps				
유효 전송속도	0.8~1.7Mbps				
전송모드	모드 I, II, III, IV				
시스템 파라미터					
프레임 길이		96ms	24ms	24ms	48ms
보호시간		246 μ s	62 μ s	31 μ s	124 μ s
유효심볼구간		1ms	250 μ s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

(a) 기본규격

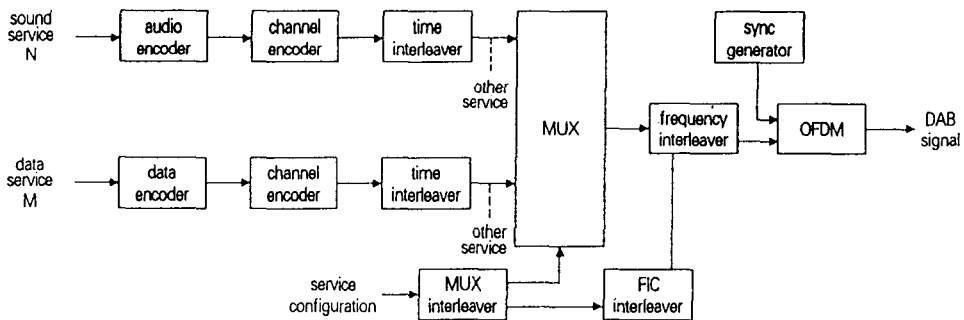
(b) 시스템 파라미터

rate를 가변할 수 있다. COFDM의 구축장 길이는 7이고, 유효 데이터와 mother code의 비가 1 : 4인 길쌈부호화를 사용하며, code rate는 8/12에서 8/24까지

13단계로 조정할 수 있다. Eureka-147에서 사용한 COFDM의 규격은 표 2와 같으며, 이 시스템의 송수신기의 기본개념은 그림 2와 같다.



(a) DAB 송신기



(b) DAB 수신기

그림 2. Eureka-147 DAB 시스템의 개념도

5. 결론

DAB 시스템은 이동중인 차량에서도 CD 수준의 음질로 수신 가능한 여러개의 프로그램을 방송할 수 있을 뿐만 아니라, 프로그램 관련정보 및 일반데이터에 의한 일기예보, 교통정보, 페이징 나아가서 정치화의 전송도 가능하다. 이러한 유럽의 Eureka-147 DAB 시스템의 기술개

발 및 성능평가는 거의 완성단계라고 볼 수 있으며 앞서 언급했듯이 1995년 9월부터 영국, 스웨덴, 덴마크 등에서 DAB의 정규방송 서비스를 시작함으로써 라디오방송의 디지털시대가 개막되기에 이르렀다. 물론 미국과 일본을 제외한 나라에서 일어나고 있는 일이지만 DAB의 우수성과 세계적인 실용화 추세로 볼 때 Eureka-147은 새로운 개념의 라디오가 될 것임에는 틀림없다.

필자소개

정 신 일(정회원)

1977. 경북대학교 전자공학과 졸업

1977~1982. 국방과학연구소 연구원

1982. KBS 기술연구소 입사

현재 KBS 기술연구원 책임연구원

주관심분야 : 오디오 및 음성신호처리, RF 전송 및 데이터 방송