

미국의 DAB 시스템 개발현황

서 증 수
연세대학교 전파공학과

요약

본 논문에서는 지상망 디지털 오디오방송 (DAB) 시스템의 출현 배경과 미국 내에서 DAB 시스템의 개발과 성능시험 평가를 위한 NAB, NRSC, EIA, FCC, NASA Lewis 연구소, 캐나다 CRC의 활동상을 소개한다. 구체적으로는 미국에서 개발 중에 있는 USA Digital Radio사, Amati Communications사와 Kintel Technologies사의 FM In-Band On-Channel(IBOC) 방식, AT&T사의 FM In-Band Adjacent-Channel (IBAC) 방식과 USA Digital Radio사의 AM IBOC 방식의 원리와 특성, 핵심기술, 개발현황, 성능시험 결과와 각 방식의 장단점을 비교 분석하며 또한 미국의 In-Band 방식과 유럽의 Eureka 147 New-Band 방식을 비교 분석한다.

I. DAB 시스템의 출현 배경

유럽에서는 1988년초에 DAB 관련 방송업자, 제조업자, 정부 관계자들의 협회인 Eureka가 Eureka 147/DAB 시스템을 시연한 이래로 DAB 시스템의 상용화 개발과 성능시험이 계속되고 있으나, 미국에서는 1990년 4월 유럽방송연합(EBU)이 Atlanta의 방송인 협회(NAB) 모임에서 Eureka 147/DAB 시스템을 시연함으로써 비로소 DAB 시스템 개발을 위한 태동이 시작되었다. 이로부터 6개월도 채 안되는 짧은 기간에, DAB는 미국 방송산업계의 가장 중요한 이슈로 등장하게 되었다.

1990년 5월, 미국의 두 회사가 미국 내에서 직접위성 디지털 오디오방송을 제공하기 위해 연방통신위원회(FCC)에 신청서를 제출하였다. Satellite CD Radio사는 FCC에 1.5GHz(L-band)에서 새로운 디지털 오디오 위성서비스를 제공하자는 청원서 제출과 함께 DAB 전

용위성을 제작·발사할 것을 제안하였으며, Radio Satellite Corporation은 1.6GHz 밴드에서 10개의 전국 디지털 오디오 채널을 제공하기 위하여 AMSC 소유의 위성으로부터 주파수대역을 임차할 것을 제안하였다.

1990년 7월, NAB는 라디오 방송 산업의 DAB 정책 개발을 돕기 위한 DAB 특별 조사단을 구성하였다. 1990년 8월, FCC는 DAB의 조사 고시를 발표하였으며 이 즈음에 기존 라디오 방송대역에서 운용 가능한 DAB 시스템(즉, In-Band DAB 시스템)에 대한 제안이 출현했다. 이리하여 1990년 9월 NAB Radio show에서 DAB는 라디오 방송산업에서 가장 각광받는 주제중의 하나임이 입증되었다.

거의 같은 시기에, Digital Cable Radio(DCR), Digital Planet, Digital Music Express(DMX) 3사는 디지털 케이블 라디오 서비스를 개시했다. 비록 3사의 프로그램과 판촉 전략이 달랐지만, 세 시스템 모두 20~30 채널의 CD 음질의 압축 디지털 오디오 신호를 제공하도록 설계되었다. 케이블을 통하여 프로그램을 공급하므로 기존 라디오에서와 같은 주파수 배정과 공중전파 등의 문제가 없으므로, 공중파 DAB 시스템보다 훨씬 용이하게 구현할 수 있으나 이동체에 대한 방송서비스는 불가능했다. 곧이어 Digital Planet은 방송사업을 중단하였고, 1993년 현재 DCR과 DMX는 미국내의 17만 5천 가구에 디지털 오디오 방송서비스를 제공하고 있다.

II. DAB 시스템의 방식 비교

2.1 In-Band 방식의 특성

미국의 방송업자들이 요구하는 DAB 시스템에 대한 3가지 조건은

1) 다중경로 페이딩 환경에서도 CD수준에 가까운 음질을 제공할 것

2) AM 또는 FM신호에 중첩된 DAB신호가 기존 AM 또는 FM방송 수신을 저해하지 않을 것

3) AM 또는 FM과 DAB의 복합신호가 채널간 간섭을 규정하는 모든 FCC규정을 만족할 것 등이다.

미국에서 지상망 서비스용으로 고려된 DAB 방식은 기존 AM, FM 아날로그 방송용 스펙트럼을 기준으로 하여 New-band 방식, In-band/Adjacent-channel (IBAC) 방식과 In-band/On-channel (IBOC) 방식의 3가지가 있다. New-band 방식은 기존 지상망 라디오 서비스에 할당된 스펙트럼과 다른 새로운 스펙트럼을 사용하며, IBAC 방식은 기존 아날로그 FM 밴드에서 FM 신호와 인접하는 디지털신호를 사용하며, IBOC 방식은 디지털 방송파를 기존 AM 또는 FM 신호에 같이 실어 보내는 것이다. 1991년 NAB는 미국에서 Eureka-147 시스템의 도입가능성을 검토하였고 기존의 모든 방송국(당시 11,000개)을 수용하기 위해서는 57~130MHz의 새로운 스펙트럼이 필요하다는 결론을 내렸다. 그러나 현실적으로 미국에서 이를 수용할 수 있는 새로운 스펙트럼을 확보한다는 것은 거의 불가능하다. 표 1은 지상망 및 위성망 DAB의 방식을 비교한다.

표 1. DAB 방식 비교

FM In-band 방식의 DAB 시스템에서 요구되는 사항은 다음과 같다.

1) 다중경로 페이딩 환경에서 DAB 수신기는 기존의

FM 신호를 수신하는 고급 FM수신기 보다 수신능력이 우수해야 한다.

2) DAB신호는 FM 신호에 영향을 주어서도 또는 받아서도 안된다.

3) DAB와 FM 수신기는 인접채널 간섭환경에서 우수하게 작동해야 한다.

4) DAB/FM 복합신호는 FCC가 규정하는 전력 스펙트럼 밀도를 만족해야 한다.

표 2는 FM In-band 방식 DAB 시스템의 특성을 비교한다. In-Band 방식중 특히, IBOC 방식은 다음과 같은 장점을 가지므로 미국의 기존 방송체제를 그대로 유지하면서 CD음질의 방송서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

1) 가용 스펙트럼 : 미국에서 주파수 스펙트럼은 가장 제한된 자원 중의 하나로서 New-band 방식의 경우 스펙트럼 확보가 첫째 문제로 대두되며 만약에 가용 스펙트럼이 배정되더라도 현재 검토중인 Advanced TV(ATV)와 함께 주파수 경매에 대한 논의가 있어야 한다. 그러나 IBOC 방식의 경우에는 가용 스펙트럼의 확보가 문제시 되지 않는다.

2) 추가 투자 : IBOC 방식은 기존 방송업자가 투자한 방송시설과 확보한 가입자를 그대로 유지할 수 있으며, 따라서 IBOC 방식을 구현하기 위해 소요되는 추가투자는 New-band 방식에 비해 훨씬 작으므로 매우 경제적인 방식이다.

3) 방송업자의 독립성 : New-band 방식의 Eureka-147 시스템은 방송프로그램이 어느 시점에서 한곳에 모아져서 다중화되어야 하나 IBOC 방식은 서로 독립적으로 프

표 1. DAB 방식 비교

방식	Band	구 분
Eureka 147	1452-1492MHz	New Band(NB)
AT&T	88-108MHz	In-Band/Adjacent Channel(FM IBAC)
USADR-AM	.54-1.7MHz	In-Band/On-Channel(AM IBOC)
AT&T/Amati	88-108MHz	In-Band/On-Channel(FM IBOC)
USADR-FM #1	88-108MHz	In-Band/On-Channel(FM IBOC)
USADR-FM #2	88-108MHz	In-Band/On-Channel(FM IBOC)
VOA/JPL	2310-2360MHz	Direct Broadcast Satellite(DBS)

표 2. FM In-band DAB 시스템 특성 비교

	USA Digital Radio	Amati Comm.	AT&T
Sound Coding	MUSICAM (192kbps joint stereo)	PAC (128 or 160kbps)	PAC (128kbps joint stereo)
핵심기술	Coded Polyvector Digital Modulation	Discrete Multitone	Single Carrier Modulation
Carrier 수	21	32	1
Carrier 간격	9.5kHz	4kHz	×
Freq. Diversity	Yes	Yes	No
Time Interleaving	No	No	Yes
변복조	BPSK	QPSK & 8-PSK	QPSK
Data Rate/Carrier	10kbps	15kbps	360kbps
에러정정코드	1/2 rate error correction	(32,20) RS code	(32,n) RS code (n : 12~20)
Guard Interval	×	14.5μsec	×
Channel Quantization	Yes	No	Yes

로그램을 전송할 수 있다. 따라서 IBOC방식은 기존 아날로그 방송에서 디지털 방송으로 가장 원활하게 전환 가능하다.

반면에 IBOC방식의 단점으로는 New-band 방식은 In-band 간섭이 없으나 IBOC방식은 동일주파수의 기존 아날로그 AM 또는 FM신호와 서로 간섭하는 것이다.

IBOC방식은 이론상 기존 FM 방송업자에게 FM대역에서 새로운 DAB대역을 제공하므로 IBOC 방식보다 기존 FM 신호와 DAB 신호간의 간섭문제가 심각하지 않으나, 반면에 기존 AM 방송사업자에 대한 DAB대역 제공의 배려가 없다는 사실과, 기존의 모든 방송국에 각각 200kHz의 새로운 DAB대역을 제공하기에는 기존 FM 대역의 여유 스펙트럼이 충분하지 않다는 단점이 있다.

2.2 In-Band On-Channel 방식의 특성

USA Digital Radio(USADR)사와 Amati Communications사는 기존의 FM 방송 라디오 신호와 같은 채널에서 동작할 수 있는 FM In-band On-channel (IBOC) 방식의 DAB 시스템을 개발했다. USADR사는 또한 AM 주파수대역에서 동작할 수 있는 AM IBOC DAB 시스템을 개발 중에 있다.

FM 주파수대의 IBOC DAB 신호는 동일채널 아날로그 FM신호보다 30dB 낮은 전력에서 동작할 수 있다. 이것은 낮은 전력에서도 디지털 신호의 수신이 가능하기 때문이다. 물론, 이것은 IBOC 시스템의 구현에서 강한 동일채널의 간섭신호로부터 미약한 전력의 원하는 신호를 추출해 내어야 하는 수신기의 기술적 문제 (전력이 1000배 되는 동일 주파수의 아날로그 신호로부터 디지털 신호를 복원하는 것)로 대두된다. 그러나 IBOC DAB에서 간섭신호는 아날로그 신호로서 이것은 DAB 송신시에 이미 알고 있는 신호이므로 수신기에서 쉽게 찾아내어 제거할 수 있다. DAB 신호는 아날로그 신호보다 30dB 낮지만, 여전히 아날로그 신호에 간섭을 야기할 수 있다. 예를 들어, DAB 신호가 단순한 M-PSK 파형이면 잡음과 유사한 스펙트럼을 갖는다. 실험에 의하면 FM 수신기의 열화를 방지하기 위해서 FM 주파수대의 On-channel 디지털 신호는 FM 신호보다 45~50dB 낮아야 한다. 이를 위하여 USADR사는 FM 수신시 보다 투명한 새로운 DAB 파형을 개발하였다.

IBOC 시스템의 또 다른 문제는 다중경로 보상이다. VHF 신호는 300kHz 또는 그 이상의 다중경로 페이딩을 받는다. DAB 수신기가 이동중의 차량에 있을 때는 time interleaving을 사용하여 다중경로 문제를 해결할 수 있

다. 그러나 수신기가 정지해 있으면 깊은 페이딩을 보상하는 것이 어렵다. space diversity는 다중경로 문제를 효과적으로 해결할 수 있으나 미국 자동차 제조업자들은 자동차에 여러 개의 안테나를 설치하는 것을 원치 않는다. 그림 1은 현 FCC 규정의 FM 스펙트럼 마스크이다. DAB 신호가 FM 신호보다 30dB 낮을 때 DAB 신호의 대역폭은 480kHz로 확장되며 이것은 다중경로 문제를 극복하는데 도움을 줄 것이다. 다중경로 페이딩이 심하여 수신기가 DAB 신호를 상실했을 때는 아날로그 신호를 디폴트로 수신하게 된다.

In-band AM 동작시, 가장 중요한 문제는 AM 스펙트럼 마스크와 디지털 오디오 압축의 개선에 있다. 그림 2는 FCC의 AM 스펙트럼 마스크로서 DAB 신호가 AM

신호보다 26dB이상 낮을 때 DAB신호는 40kHz의 대역폭을 가지며 여전히 FCC의 AM 마스크를 만족한다. 이론상 16-QAM을 사용할 때 40kHz 대역폭에서 최대 160kbps의 전송이 가능하며, 보다 실제적인 148kbps를 가정하면 3/4비로 코딩된 96kbps의 신호와 20kbps의 추가 데이터를 전송할 수 있다. AM 주파수대에서는 다중경로가 DAB의 성능을 좌우하는 요인이 아니므로 VHF 주파수대처럼 협대역이 큰 문제로 되지는 않는다.

III. DAB 시스템의 개발현황

3.1 USA Digital Radio사의 FM IBOC DAB 시스템

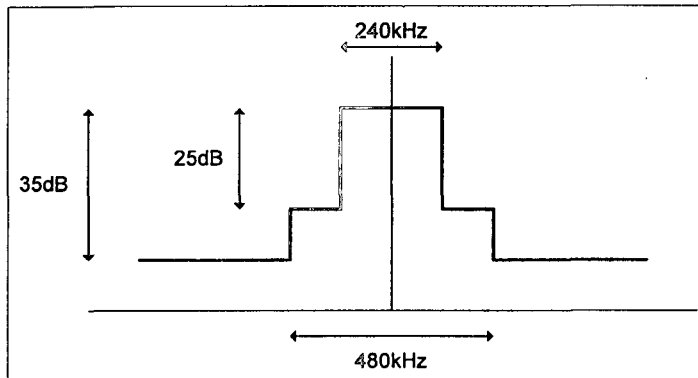


그림 1. FCC FM 스펙트럼 마스크

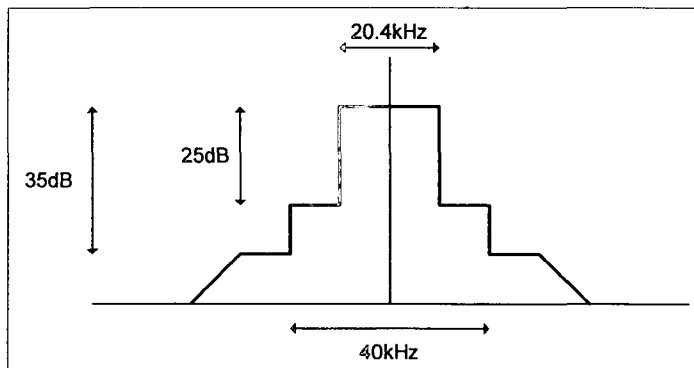


그림 2. FCC AM 스펙트럼 마스크

USA Digital Radio(USADR)사는 FM 주파수대에서 FM 방송 신호와 동일채널에서 동작하는 DAB 시스템을 개발했다. 오디오 소스 압축 방식으로 MUSICAM 방식을 사용하며 스테레오 채널당 192kbps의 전송속도를 가진다. USADR사는 Eureka의 OFDM방식처럼 부호화된 다백터 디지털 변조(CPVDM)라고 하는 다중반송파 변조방식을 사용한다. 따라서 각각의 반송파는 비교적 낮은 데이터율로 변조되며, 긴 비트 주기를 가짐으로써 다중경로 반사에 대해 개선된 성능을 가진다. USADR의 FM IBOC DAB 파형은 아날로그 FM 반송파로부터 약 9.5kHz 떨어진 양변에 21개의 BPSK 변조된 반송파로 구성된다. 그림 3은 USADR의 IBOC DAB 신호와 아날로그 FM 신호와의 관계를 도시한다. FM 신호의 양쪽에 있는 반송파들은 1/2비 오류정정 부호화되며 10kbps의 동일한 데이터 속도로 변조된다.

다음은 IBOC DAB 신호가 미약한 전력을 사용함으로써 동일채널의 FM 신호를 간섭하지 않으며, 또한 이동채 수신에서 발생하는 다중경로 페이딩에서도 CD음질의 DAB 신호를 추출하는 동작 원리를 기술한다.

가. FM 수신시의 간섭 방지

USADR은 DAB신호가 동일채널 FM 신호를 간섭하는 것을 방지하기 위해서 진폭천이키잉(ASK)과 같이

FM 수신기에 투명한 DAB 신호 파형을 개발하였으며, 디지털 반송파와 아날로그 FM 신호간의 관계를 이용하여 기존 FM 수신기에서 FM 신호를 수신할 때 DAB신호의 간섭을 방지한다.

이를 수식적으로 분석하면 다음과 같다. 이 때 분석을 쉽게 하기 위해 먼저 분산이 없는 이상적인 채널을 통해 신호가 전송된다고 가정하고, 차후에 이 분석을 다중경로채널에 대해 확장한다.

FM신호는 다음과 같이 표현된다.

$$V_{FM}(t) = V_c \sin(\omega_c t + \theta(t)) \tag{1}$$

여기서 $\theta(t) = K \int V_a(t) dt$ 이고 $V_a(t)$ 는 오디오 신호이다.

$$W_{FM}(t) = \omega_c t + \theta(t) \text{ 일 때}$$

$$V_{FM}(t) = V_c \sin(W_{FM}(t)) \tag{2}$$

$$W_D(t) = W_{FM}(t) \pm w_{diff} t \tag{3}$$

식(3)과 같은 주파수를 가지는 두 개의 다른 신호를 더하면 즉, FM신호에 대하여 항상 $\pm w_{diff}$ 의 일정한 주파수차를 유지하면서 시간에 대한 FM 신호의 주파수변이를 추적하는 두 신호를 더할때 (그림 4 참조) FM 수신기에서의 수신신호는 다음식과 같이 표현된다.

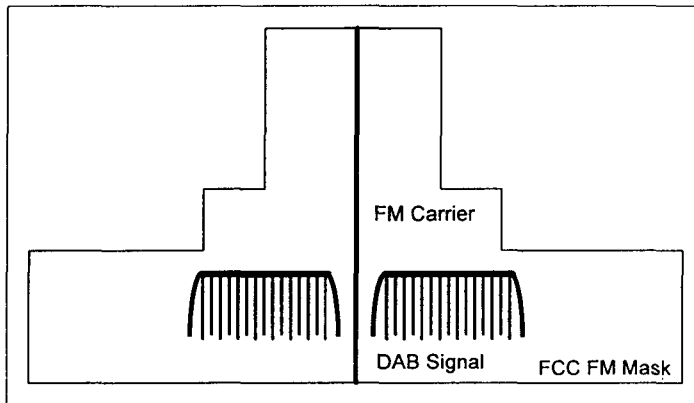


그림 3. USA Digital Radio사의 FM IBOC DAB 신호 스펙트럼(FM 반송파가 순간적으로 고정될때)

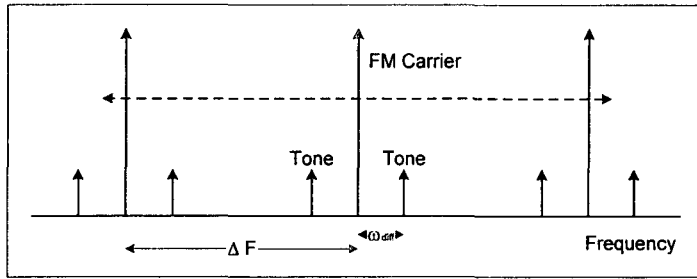


그림 4. FM IBOC DAB 시스템에서 FM신호를 추적하는 두개의 DAB 톤

$$\begin{aligned}
 V_{rec}(t) &= V_C \sin(W_{FM}(t)) + V_D \sin(W_{FM}(t) + w_{dif}t) + V_D \sin(W_{FM}(t) - w_{dif}t) \\
 &= V_C \sin(W_{FM}(t)) + \{V_D \sin(W_{FM}(t)) \cos(w_{dif}t) + V_D \cos(W_{FM}(t)) \sin(w_{dif}t)\} \\
 &\quad + \{V_D \sin(W_{FM}(t)) \cos(w_{dif}t) - V_D \cos(W_{FM}(t)) \sin(w_{dif}t)\} \\
 &= [V_C + 2V_D \cos(w_{dif}t)] \sin(W_{FM}(t)) \quad (4)
 \end{aligned}$$

또는

$$V_{rec}(t) = A(t) \sin(W_{FM}(t)) \quad (5)$$

여기서

$$A(t) = [V_C + 2V_D \cos(w_{dif}t)]$$

식(4)에서 원래의 FM신호와 FM신호 양측에 대칭으

로 배치된 두 개의 반송파 성분들이 합친 수신신호는 진폭 변조된 FM 파형과 같다는 사실을 주목해야 한다. 따라서 두 개의 대칭으로 배치된 DAB 주파수톤은 원래의 FM 반송파를 위상변조 또는 주파수변조하지 않으며 식(4)의 진폭변조성분은 FM 수신기의 리미터에 의해 제거된다.

이상의 분석은 $w_{dif}t$ 항을 $w_{dif}t + \theta(t)$ 로 대체할 때 변조된 반송파의 경우로 확장할 수 있다.

이 경우 식(4)의 진폭변조 항만 바뀌고 나머지 결과는 같다. 즉, FM 반송파에 어떠한 위상변조 또는 주파수 변조도 더해지지 않는다. 따라서 FM수신기는 주파수 변이만을 검출하고 진폭변조는 무시하므로 주파수축상에서

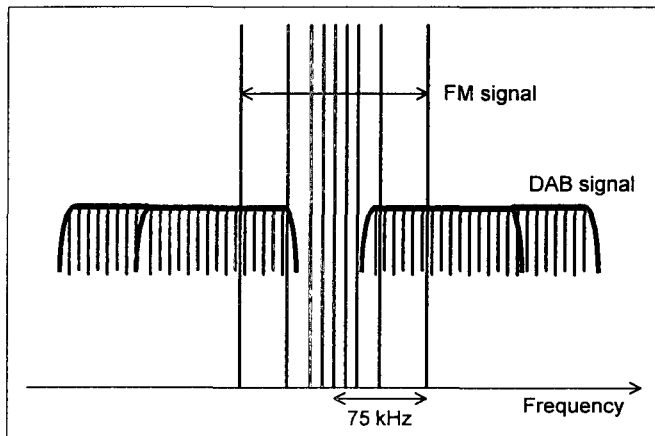


그림 5. USA Digital Radio사의 FM IBOC DAB 신호 스펙트럼(FM 반송파가 움직일때)

FM 신호를 추적하는 한쌍의 디지털 변조된 톤(즉, DAB신호)으로부터 영향을 받지 않는다. 이것이 바로 USADR사의 DAB 신호가 FM 수신기에 대하여 투명지를 설명하는 기본 원리이다.

그림 5는 USADR사의 FM IBOC DAB 스펙트럼을 도시한 것이다. FM 방송신호는 중심주파수(F) \pm 100kHz에서 대부분의 전력을 가지며 어느 특정 순간에 $F-75\text{kHz}$ 와 $F+75\text{kHz}$ 사이에서 단일한 주파수 대역을 점유한다. FM 반송파가 $\pm 75\text{kHz}$ 사이에서 움직일 때 디지털 반송파는 모두 lock step으로 간다. 식(4)에서 보인 바와 같이 이것은 FM 신호의 진폭변조를 초래하지만 FM 수신기의 리미터에 의해서 제거되므로 FM 신호 수신시에 발생하는 간섭은 최소화된다.

실제적인 방송채널에서 즉, 방송신호가 협대역 페이딩의 영향을 받으면, FM 수신기에서 양쪽 반송파의 진폭 감쇄가 다르게 되며, 이때 디지털 반송파는 FM 신호를 진폭 변조할 뿐만 아니라 수신된 FM신호에 상당한 간섭을 일으키게 된다. 그러나 여기서 명심해야 할 두가지 사실은 첫째, 디지털 신호는 FM신호보다 30dB 낮은 전력에서 작동함으로써 간섭을 줄일 수 있으며 둘째, 협대역 페이딩이 존재하는 다중경로 환경에서 FM신호는 이미 심각하게 열화될 수 있으므로 DAB 신호 자체에 의한 간섭은 무시할 수 있다는 것이다.

나. DAB 신호의 추출

IBOC DAB 시스템에서 중요한 수신기능은 동일 주파수이며 전력레벨이 30dB 더 큰 FM 신호로부터 낮은 레벨의 디지털 신호를 추출해 내는 것이다. IBOC DAB 신호에 의한 기존 FM 방송 수신에 간섭을 방지하기 위하여 USADR사의 FM IBOC 파형은 FM 신호가 $\pm 75\text{kHz}$ 의 편차를 가지고 움직일때 모든 디지털 반송파는 lock 스텝으로 움직이도록 설계된다. 또한 동일 채널에서 DAB 신호와 FM 신호사이에는 항상 5~30kHz의 고정된 주파수 보호대역을 둬으로써 두 신호를 분리하고 DAB 신호를 그대로 둔 상태에서 FM 신호제거가 가능하다. 이 때 요구되는 notch filter의 특성은 (1) 인접한 DAB 신호에 영향을 미치지 않고 FM 신호를 제거할 수 있는 충분한 선택도를 가지며, (2) FM 신호가 $\pm 75\text{kHz}$ 사이에서 빠르게 스윙할 때 그것을 추적할 수 있어야 한다. 이러한 트

래킹 필터를 적응필터라고 하며 transversal 필터는 적응 필터를 구현하기 위한 가장 일반적인 방법으로, FIR(Finite Impulse Response) 필터라고도 부르며 DSP를 사용하여 쉽게 구현할 수 있다. DAB 응용을 위해서는 고속의 디지털 multiply & accumulate 회로 구현이 요구되므로 USADR사는 전용 DSP IC를 사용하지 않고 Acoustic Charge Transport(ACT) 기술을 이용하여 고속의 적응필터를 아날로그방식으로 구현하였다. ACT filter는 DSP에 기초한 디지털 필터의 프로그래밍 용이성과 함께 협대역 특성과 SAW filter의 안정성을 가지고 있다. ACT notch 필터는 DSP보다 더 빠르게 ACT 필터 계수를 산출하므로 FM 신호가 $\pm 75\text{kHz}$ 의 편차로 움직일 때 그 주파수를 추적할 수 있다.

또한 PLL FM 복조기를 사용하여 FM 주파수를 복원하며 적응 ACT notch 필터를 조정하는 control 전압을 제공할 수 있다. FM IBOC DAB 시스템에서 사용하는 ACT filter는 10MHz 속도로 갱신되며 35dB의 FM 신호레벨 억압이 가능하다. 그러나 ACT 회로는 현재 갈륨 비소로 만들어지기 때문에 실리콘 IC보다 훨씬 비싸며 1watt 이상의 큰 전력을 소비하므로 휴대용 수신기용으로는 아직 문제점이 있다. 최근에 반도체사 기술이 발달함에 따라 값싸고 저전력 소모의 실리콘으로 유사한 기능의 필터를 구현하는 것이 가능해질 것이다. 요컨대 USADR사는 FM신호로부터 항상 일정한 주파수 오프셋을 유지할 수 있는 DAB 파형을 사용함으로써 상호간섭없이 FM과 DAB 신호를 분리하며 복원할 수 있다.

다. 다중경로보상

USADR사는 다중경로 영향을 보상하기 위하여 다음과 같은 기술을 사용한다. 즉 디지털 오디오 신호를 Interleaving함으로써 전송 bit 스트림에서 시간 다이버시티 효과를 주며, DAB 파형에 다음 두가지 방식의 주파수 다이버시티를 사용한다. 첫째, DAB 파형은 FM 신호의 양 측면에 대칭적으로 2개의 동일한 신호를 전송하며 둘째, DAB 파형은 주파수축에서 FM 신호를 따라 배열되고 약 400kHz의 주파수 대역을 차지한다. 이것은 DAB 신호가 FM 신호보다 훨씬 낮은 전력레벨에서 동작하고 FCC의 FM 스펙트럼 마스크내에 들기 때문에 가능하다. 또한 USADR사는 자사 고유의 적응 등화기술을 사용하여 전송채널의 다중경로 문제를 보상한다. 그림 6은 USA

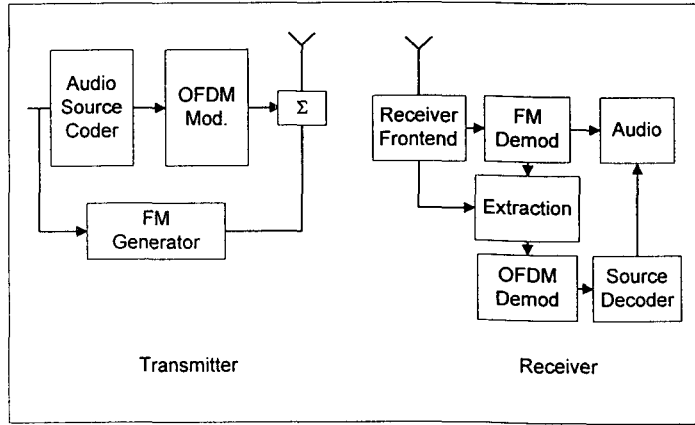


그림 6. USA Digital Radio사의 FM IBOC DAB 시스템 동작 구성도

Digital Radio사의 FM IBOC DAB 시스템 동작구성을 보여준다.

3.2 Amati Communications사의 FM IBOC DAB 시스템

1992년 Amati Communications사는 FM대역의 IBOC DAB 시스템을 개발하기 위해 AT&T사와 파트너십을 맺었다. Amati는 AT&T의 Perceptual Audio Coding(PAC) 방식을 사용하여 오디오 소오스를 128kbps 또는 160kbps의 속도로 압축하고, 에러정정을 위하여 (32,20) 또는 (24,16) 코드율로 Reed-Solomon 블록 코딩하며 여기에 aux data 채널을 다중화한다. 이 때 음질의 저하, 또는 전송데이터 속도나 대역폭의 증가없이 전송할 수 있는 aux 채널의 최대 데이터 속도는 15kbps가 된다.

가. Auxiliary Overhead Channel(AOC)

Amati사 IBOC 방식의 핵심은 auxiliary overhead 채널(AOC)을 사용하여 FM 스펙트럼내에 DAB 신호를 삽입하며, 방송업자들이 FM 채널내에서 DAB 신호를 유연하게 구성할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 Amati의 aux. overhead는 어떠한 전송모드가 사용되더라도 수신기가 이를 식별하여 올바르게 재구성할 수 있게 해준다. AOC는 FM 채널중 하나의 고정된 주파수의 반

송파를 사용하여 전송되므로 수신기는 전송모드에 관계없이 AOC에 동조할 수 있고 채널내 DAB 신호의 구성패턴을 찾아낼 수 있다. 또한 AOC는 다중톤 반송파의 위치를 알아내기 위해 필요한 수신기의 DSP 알고리즘을 갱신하는데 사용된다. AOC는 64 비트 프레임의 전송모드 식별 및 수신기 제어 데이터를 반복해서 전송하며, 각 데이터는 8kbps로 전송되기 때문에 각 프레임은 16msec가 수신되게 하는 것이다. 따라서 전력면에서 수 dB 정도 낮은 신호는 거의 완전하게 제거되는 반면에 강한 신호는 좋은 품질로 수신된다.

Kintel 시스템은 송신단에서 기존 FM 신호와 주파수가 같고 전력이 FM 신호보다 10dB 낮은 디지털 신호를 전송하고, 수신기에서 수신된 FM과 DAB의 합성신호는 위상추적회로를 통과시켜 FM 신호를 충분히 제거하여 DAB 신호보다 약하게 만든다. 따라서 위상추적회로의 출력에서 DAB 신호는 FM 신호보다 강하므로 수신기에서 포착되고 잔여 FM 신호는 Capture effect에 의해 제거된다.(그림 7 참조). Capture effect를 이용하기 위해 DAB 파형은 원칙적으로 FSK 변조되어야 하나 진폭 변조 형태도 가능하다.

3.4 USA Digital Radio사의 AM IBOC DAB 시스템

USADR사는 AM 방송대역에서 기존 AM 방송신호와 동일채널에서 동작하는 IBOC 방식의 DAB 시스템을

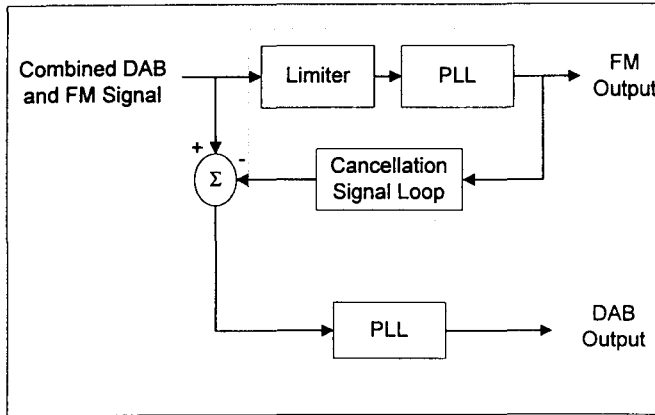


그림 7. FM Capture Effect를 이용한 Kintel의 FM/DAB 신호추출회로

개발했다. AM IBOC DAB 시스템은 FCC의 AM 스펙트럼 마스크내에서 96kbps의 압축된 스테레오 오디오 신호를 전송한다. 변조된 DAB 신호는 40kHz의 대역폭을 가지며 동일 채널 AM신호보다 30dB 낮은 전력레벨에서 동작한다. 96kbps의 디지털 오디오 신호를 만들기 위해 MUSICAM 코딩(15kHz) 방식을 사용하며 2.4kbps의 추가 데이터 전송도 가능하다. 또한 충격파 잡음(impulse noise)에 대항하고 시스템의 비트 오율성능을 향상시키기 위해 코드율 3/4의 전치에러정정코드(FEC)와 time interleaver를 사용한다.

3.5 AT & T사의 FM IBAC DAB 시스템

AT&T는 88~108MHz의 FM 방송대역에서 유용한 보호대역 또는 인접채널 주파수에서 동작하는 DAB 시스템을 개발했다. 대부분의 경우 FM송신기의 인접채널간에는 상당한 공간이 있으며 In-band Adjacent-channel(IBAC) 시스템은 이와 같은 스펙트럼상의 공간을 이용하여 낮은 레벨의 디지털 오디오 신호를 전송한다. IBAC 시스템에서 DAB 신호 전송을 위해 필요한 RF대역폭은 200kHz이다. IBAC 시스템은 IBOC 시스템처럼 제한된 주파수 다이버시티를 사용하여 다중경로 간섭을 보상해야 하는 문제점을 안고 있다. 그러나, IBAC 시스템은 IBOC 시스템과는 달리 점유되지 않은 스펙트럼을

이용하여 DAB 신호를 전송하기 때문에 복잡한 신호추출 과정이 필요없다.

가. PAC Audio Codec

AT&T의 IBAC DAB시스템은 소오스 압축코딩방식으로 Perceptual Audio Coding(PAC) 방식을 사용한다. 인간의 청각시스템은 어떤 신호가 주파수 또는 시간 상에서 다른 신호보다 훨씬 강할 때 미약한 신호를 완전히 덮어 쓰는 특성을 가진다. 즉 우리가 원하는 오디오 신호는 강하므로 코딩에서 발생하는 미약한 찌그러짐을 masking하게 된다. 이와 같은 masking-to-masked 신호의 요구 전력비는, CD 또는 DAT와 같이 16-bit PCM 코딩을 사용할 경우, 96dB 보다 훨씬 작다. AM, FM 및 위성 주파수 대역에서 DAB용으로 적합한 PAC 코딩된 스테레오 신호의 전송속도는 96~160kbps이며 초창기에 AT&T가 사용한 전송속도는 152kbps였다.

DAB시스템에서 부가 데이터 전송은 PAC encoder를 이용하는 비동기식 데이터 전송과 PAC 출력단을 이용하는 동기식 데이터 전송이 있으며 유효 데이터 throughput은 10~20kbps가 된다. 1차 모드 DAB시스템은 PAC bit rate가 160kbps, 내부 RS코드의 코드율이 1/2이며 다중경로에러를 줄이기 위한 time interleaver의 depth는 640 μ s이다. 2차 모드 DAB 시스템은 PAC bit rate가 128kbps 또는 192kbps이며 따라서 RS 코

드음이 1차모드와 다르다.

나. 채널 코딩

주행중인 차량의 DAB 수신 환경은 다중경로 페이딩과 차량의 속도에 따른 영향 즉, 고속 주행시의 도플러 효과와 저속주행 또는 정차시의 deep fade와 null 효과등을 들 수 있다. AT&T 시스템은 주파수 선택적인 채널 페이딩을 보상하기 위하여 적응채널등화기를 사용하고, slow fading에 따른 bursty error를 줄이고 비트에러 성능을 향상시키기 위하여 다음과 같은 3단계의 에러방지방법을 사용한다.

1) 외부 코드 : 전송 비트 스트림 중 가장 중요한 정보(전체 160kbps 중 8kbps 정도)를 보호한다. 된다. AOC는 다중경로에 의한 에러를 방지하기 위하여 에러정정코드를 사용하며 동시에 같은 정보를 반복적으로 전송한다.

나. Discrete Multitone(DMT) 방식 다중반송파 변조 무선신호의 다중경로전파는 크게 다음 두가지의 특성을 가진다.

첫째, 지연확산(delay spread)과 신호대역폭의 곱이 0.5 보다 크면, 채널의 신호감쇄와 지연반응이 주파수에 따라 크게 변하며 심플한 간섭(ISI)이 발생한다. 둘째, 위의 곱이 0.25 보다 작으면 신호감쇄와 지연반응이 전체 주파수 대역에 걸쳐 일정하며, 분산된 경로에서 오는 신호는 더욱 강해지거나 또는 광대역 fade를 유발한다. 지연확산이 클 때 발생하는 ISI 문제는 단일 반송파변조와 수신신호의 등화로서 해결할 수 있으나 이동수신기를 추적할 수 있을 정도로 빠른 적응등화를 위해서는 엄청난 계산량이 요구된다. 다른 해결 방법은 지연확산의 최대값보다 큰 보호 주기를 가지는 다중 반송파 변조방식을 사용하는 것이다. 반면에 지연 확산이 작을 때 발생하는 광대역 페이드 문제는 해결하기가 어려우며 이에 대한 최선의 해결방법은 두개 이상의 안테나를 사용하는 space diversity이나 이는 자동차 제조업체가 선호하는 방법이 아니다. 차선의 방법은 주파수 interleaving, trellis coding과 FEC 기술을 함께 사용함으로써 frequency diversity 효과를 얻는 것으로 Eureka 시스템도 이 방법을 사용하고 있다. 그러나 최소 1.5MHz의 광대역을 사용하는 Eureka 시스템과 비교하여 IBOC시스템은 400kHz이하의 협대역을 사용

하므로 frequency diversity 효과가 작다. 사실상 DAB 시스템에서 다중 반송파 방식을 사용하는 주된 이유는 성능상의 장점보다는 시스템 운용상 데이터 속도와 주파수 대역을 다양하게 선택할 수 있다는 것이다.

Eureka나 USADR과 유사하게 Amati는 이산다중톤이라고 부르는 다중반송파 변조방식을 사용함으로써 다중 경로반사에 의한 성능저하를 방지한다. 다중톤 반송파는 개개의 변조 발진기 대신에 DSP에 의해 디지털적으로만 들어지기 때문에 DSP 알고리즘을 바꿈으로써 소프트웨어적으로 만들어진다. 이중측대(DSB) 모드에서는 (32, 20) RS코드를 사용하고 약 32개의 QPSK와 8-PSK 변조된 부반송파들의 조합을 사용하며 이 부반송파들은 128개의 가능한 주파수에서 약 4kHz 간격으로 배치된다. 단일측대(SSB) 모드에서 RS 코딩율은 (24,16)이며 부반송파는 18개로 된다. Amati방식은 3개의 IBOC와 2개의 IBAC 신호를 전송할 수 있으며 심플 간격은 250 μ s, 보호 간격은 14.5 μ s로서 이것은 다중경로에 의한 지연확산을 보상한다. DMT나 COFDM과 같은 일반적인 다중반송파 신호의 스펙트럼은 대역폭의 가장자리에서 전력이 천천히 떨어지므로 기존 FM신호와의 간섭을 줄이기 위해서는 강력한 필터링이 요구된다. Amati는 보호신호의 포락선을 raised-cosine 파형으로 대역제한함으로써 송신 필터를 사용하지 않고도 FM 대역에서 DAB 신호를 25dB 이상 더 억제할 수 있다. 각 sidelobe에서 하나의 부반송파는 데이터 전송용으로 사용하지 않고 수신기에서 동기를 용이하게 하기 위한 pilot신호 전송이나 저속의 AOC 전송용으로 사용한다.

초기의 Amati 수신기는 차동복조방식을 사용하였으나 동기복조방식도 가능하다. 수신기의 FEC 디코더에서 데이터를 hard decoding할 경우 각 블록에서 6byte 에러를 수정할 수 있다. Amati 시스템에서는 수신 FFT의 출력 즉, 복조된 부반송파로부터 각 신호에 대한 신뢰도(즉, FEC 블록의 신뢰도)를 산출하여 그것이 임계치 이하이면 그 블록을 제거함으로써 각 블록별로 12byte 에러를 수정할 수 있다. FEC 디코더가 어느 블록에서 발생하는 에러를 완전히 수정할 수 없을 경우에는, 복조기에서 flag신호를 발생하여 오디오 디코더가 은폐 알고리즘을 작동케 함으로써 복호되는 오디오신호의 음질을 개선할 수 있다.

3.3 Kintel Technologies사의 FM IBOC DAB 시스템

1991년 Kintel사는 동일 전송채널에서, 기존의 아날로그 FM 신호와 평화적으로 공존하는 FM 대역의 IBOC 방식 DAB 시스템의 구현을 제안하였다. Kintel은 동일한 전송채널에서 둘 또는 그 이상의 신호를 보내기 위하여 기존의 FDM이나 TDM 다중화 방식과 다르게 FM 시스템에서 사용할 수 있는 특유한 방식의 Power Division Multiplexing을 개발하였다. Power Division Multiplexing은 동일한 주파수 채널에서 동시에 하나 이상의 신호를 다중화하기 위해 FM 수신기의 Capture effect를 이용한다. Capture effect는 두 개의 각각 크기가 다른 FM 신호가 동일 주파수에서 공존할 때 나타나는 현상으로 복조시에 약한 신호의 변조를 감소시켜 오직 강한 신호만

ii) 내부 코드 : 코드를 가변의 단축된 Reed-Solomon (32,n) 코드를 사용하여 오디오와 부가데이터를 보호한다. 이때 n은 12~20까지 가변한다.

iii) 에러 감춤 : Reed-Solomon decoder가 원래 정보를 복호할 수 없을 때 block-error flag을 발생하여 PAC decoder에 입력되는 error를 차단한다. 이 방식은 기존의 muting 방식보다 재생음질이 뛰어나다.

다. Modem과 송수신장치

이동체 수신에 적합한 차동 4상 PSK 변복조 방식을 사용하며 변조기의 입력 데이터 속도는 360kbps로서 이것은 340kbps의 오디오와 데이터가 다중화된 신호와, 20kbps의 동기 및 채널 등화를 위한 overhead로 구성된다. 200kHz FM 대역에 360kbps 데이터를 전송하므로 대역폭 사용효율은 1.8 b/s/Hz이다. 수신시에 반송파 복원을 용이하게 하기 위하여 전송시 pilot tone을 삽입한다. 채널 등화기는 T/3의 fractional-spacing 알고리즘을 사용하며 매 1700 bit마다 주기적 적응등화를 수행한다. training sequence용의 overhead는 100/1800 (즉, 20kbps/360kbps)으로서 100 bit의 PN sequence를 사용하며 채널 impulse response 평가와 bit 동기기에 이용한다. 그림 8은 AT&T사의 FM IBAC DAB 시스템의 동작구성도를 보인다.

IV. DAB 시스템의 성능 평가

1993년 4월, National Radio System Committee (NRSC)는 IBOC 방식 DAB 시스템의 성능을 시험 평가하는 소위원회는 구성하였으며, 전자산업협회(EIA)의 디지털 오디오 라디오(DAR) 소위원회는 Non-IBOC 방식 DAB 시스템의 시험과 평가에 참여하게 되었다.

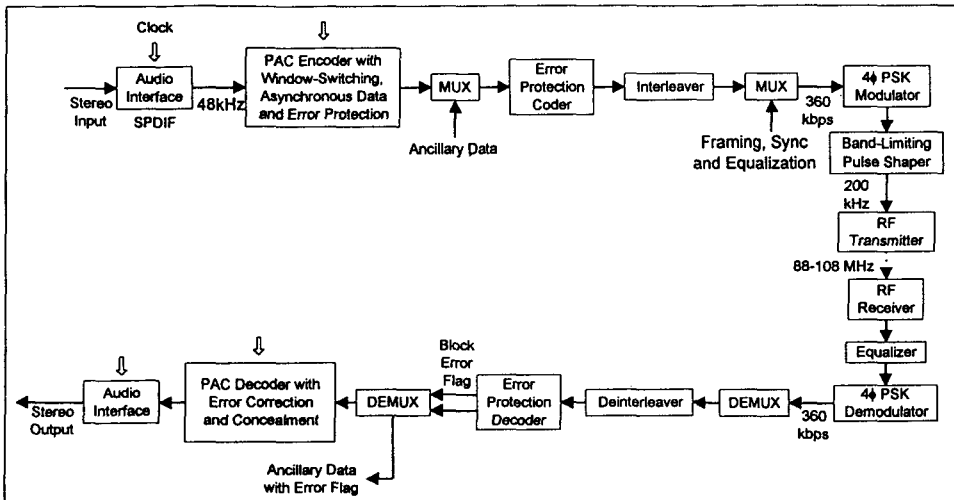


그림 8. AT & T사의 FM IBAC DAB 시스템 동작구성도

EIA는 또한 NRSC의 감수 아래 IBOC DAB 시스템의 구매와 함께 DAB 시스템 시험관리, IBOC 시험절차 승인, IBOC DAB 시험 보고서의 작성 등을 수행한다. EIA와 NRSC는 표 3과 같은 5 종류의 IBOC 시스템에 대한 성능시험을 실시하였다. 1995년 8월 NRSC의 DAB 소위원회 보고서 작성 Working Group은 최선의 IBOC시스템을 선정하기 위하여 1차 실험실 및 현장시험 보고서를 발표하였으며, 1996년 상반기 샌프란시스코 Bay 지역에서 실시한 IBOC시스템의 현장시험에 대한 2차 시험보고서를 준비하고 있다.

DAB 시스템의 성능 평가를 위하여 미국 오하이오주 클리블랜드의 NASA Lewis 연구소 전송연구실은 디지털 호환성 시험과 In-band 호환성 시험을 한다. 디지털 호환성 시험은 음질, 신호상실, 다중경로, 동일채널 및 인접 채널간섭 등을 시험하며, In-band 호환성 시험은 새로운 In-band DAB 서비스가 기존 아날로그 방송에 미치는 영향과 부반송파를 사용하는 부가서비스에 미치는 영향을 시험 분석하는 것이다. 캐나다 통신연구소(CRC)의 Subjective Quality Assessment 연구실은 각 DAB방식에 대한 인간의 청각반응을 분석연구하고 각 방식의 음질을 평가한다.

CRC의 전문가들은 DAB시스템의 음질평가를 위해 5점만점의 등급으로 다음과 같이 표기한다.

- 5점 : 음질저하를 느낄수 없음
- 4점 : 음질저하를 느끼나 귀에 거슬리지 않음
- 3점 : 귀에 약간 거슬림
- 2점 : 귀에 거슬림
- 1점 : 귀에 몹시 거슬림

IBOC방식은 이미 1988년에 그 성능을 시연한 Eureka-147의 New-band 방식과 비교하여 아직 성숙되지 않은 개발도중의 기술이다. 그러나 USADR사가 1993년 4월 라스베가스에서 열린 NAB '93에서 AM IBOC DAB 시스템을 시연한 이후로 지난 2년간 IBOC시스템의 성능은 크게 향상되었으며, 실험실 시험 결과는 IBOC 신호의 음질이 기존 AM, FM 신호보다 월등하게 우수하며 기존 아날로그 수신기로 수신된 아날로그 신호와 호환적임을 보여준다. IBOC 방식 중 USADR사의 FM-1 방식은 224kbps의 Eureka-147 방식과 음질이 동일하

며, 160kbps의 AT&T/Amati Dual Sideband 방식은 192kbps의 Eureka-147 방식보다 음질이 우수하다.

Amati 시스템에서 PAC 부호기와 복호기를 직접 연결하여, 기저대역에서 128~160kbps의 스테레오 신호를 송수신하고 그 성능을 시험하였을 때 대부분의 경우 CD 음질의 오디오신호를 재생하였다. 또한 Amati 시스템의 송신기와 수신기를 PAC 부호기와 복호기 사이에 연결하고 채널열화가 없을 경우, FM신호와 DAB신호는 전혀 간섭함이 없이 각각 거의 완벽한 FM신호와 DAB신호를 재생할 수 있었다. DAB/FM 복합신호를 최대 10 μ s의 지연확산을 가지는 RF 다중경로 채널에서 전송하였을 때, 지연확산이 클 경우 FM신호는 크게 열화되었으나 DAB신호는 전혀 열화되지 않았다.

대체적으로 FM 밴드 IBOC 시스템은 음질시험에서 매우 우수한 성능을 보였으며, 완벽한 CD 음질기준과 비교하여 4점(음질저하를 느끼나 귀에 거슬리지 않음)을 기록하였다. USADR사의 AM 밴드 IBOC 방식은 동일한 평가기준으로 2점(귀에 거슬림)을 기록하였으나 기존 아날로그 AM 음질보다는 우수하였다. 이것은 AM 밴드 IBOC 방식의 데이터 속도는 96kbps로서 표 3에서 보이는 IBOC 방식 중 가장 작은데서 기인한다. IBAC 방식은 간섭과 커버리지 특성에서 IBOC 방식보다 우수한 특성을 보인다.

표 3. IBOC 방식 DAB 시스템의 Audio Codec 데이터 속도

방식	전송속도 (Kb/s)
Compact disc (source)	1,411
USA Digital Radio FM-1	256
USA Digital Radio FM-2	256
AT&T/Amati FM Dual Sideband	160
AT&T/Amati FM Lower Sideband	128
USA Digital Radio AM	96

V. 결론

DAB 방식은 크게 In-Band 방식과 New-Band (Out-of-Band) 방식으로 나눌 수 있으며, In-Band 방식 중 IBOC 방식은 기존 방송체제를 그대로 유

지하면서 CD 음질을 제공할 수 있는 가능성을 가지므로 방송사업자들이 가장 선호하는 방식이다. 미국은 1990년 8월 자국의 지상망 DAB 방식(잠정안)으로 In-Band 방식을 채택하였다. USA Digital Radio, AT&T, Amati, Kintel사는 AM/FM IBOC 또는 IBAC 방식의 DAB 시스템을 개발하였으며, DAB 신호에 의한 기존 AM/FM 방송 신호의 간섭 방지, AM/FM 신호와 동일 채널에서 미약한 DAB 신호의 추출 및 이동체 수신에서 다중경로 반사의 보상 등의 핵심 기술을 개발하였다.

NRSC, EIA, NASA Lewis 연구소 및 캐나다 CRC 등은 상기 In-Band 방식 DAB 시스템의 성능 평가를 진행 중에 있으며 1995년 8월 제1차 시험결과 보고서를 제출하였다. 시험결과 FM 밴드 IBOC 방식은 기존 AM, FM 신호보다 음질이 월등하게 우수하고 Eureka-147 방식과 음질이 유사하며 CRC 음질 평가 기준으로 4점을 기록하였고, AM 밴드 IBOC 방식은 2점을 기록하였다. IBAC 방식은 간섭과 커버리지 특성에서 IBOC 방식보다 우수하나 기존의 AM/FM 방송사업자 모두에게 새로운 DAB 대역을 제공할 수 있는 여유 스펙트럼이 충분하지 않다는 단점이 있다. 대체적으로 IBOC 방식은 New-Band 방식과 비교하여 기존 AM 또는 FM 방송과 상호간섭 및 이동체 수신시의 음질저하등 문제가 있으며 수신기 구현이 복잡하고 가격이 비쌀 것으로 예측되고 있다. 일부에서는 New-band 방식이 DAB 서비스 권고기준을 만족할 수 있는 유일한 방식이라는 판단아래 IBOC 방식을 비판하는 사람들도 있다. 그러나 IBOC 방식은 여전히 개발 도중에 있는 기술로서 지난 2년간 그 성

능이 크게 향상되고 있으므로 현시점에서 IBOC 방식의 가능성을 완전히 배제할 수 없는 입장이며 더구나, 미국에서 지상망 DAB 서비스를 위한 새로운 스펙트럼을 할당할 가능성은 거의 없다는 현실을 간과해서는 안된다. 따라서 FCC는 2차 시험이 완료되는 1996년 하반기에 미국 방식의 최종 DAB 표준을 결정할 예정이다.

참 고 문 헌

1. D.H. Layer, D. Wilson, "IBOC DAB : Its potential for Broadcasters", NAB'96 Broadcast Engineering Conference Proceedings
2. T.B. Keller, "Laboratory Testing Digital Audio Radio in the U.S.", 2nd International Symposium on DAB, March 1994
3. N.S. Jayant et al., "The AT&T In-Band Adjacent Channel System for Digital Audio Broadcasting", 2nd International Symposium on DAB, March 1994
4. J.A.C. Bingham, "In-Band Digital Audio Radio : An Update on the AT&T/Amati PAC/DMT Solution", 2nd International Symposium on DAB, March 1994
5. Understanding DAB : A Guide for Broadcast Managers and Engineers, National Association of Broadcasters, 1992

필자소개



서 종 수

1975. 연세대학교 공과대학 전자공학과 공학사
 1984. University of Ottawa, Canda 공학석사
 1988. University of Ottawa, Canda 공학박사
 1975~1981. 금성정밀 중앙연구소 연구원
 1987~1989. (카)IDC위성통신 (주) 책임연구원
 1992~1993. 삼성종합기술원 정보시스템 연구소 수석연구원
 1993~1995. Canadian Astronautics Ltd. 책임연구원
 1995~현재 연세대학교 공과대학 전파공학과 부교수
 주요연구분야
 디지털 위성통신, 이동위성통신 시스템
 디지털 방송시스템
 디지털 변복조방식
 디지털 마이크로웨이브 전송방식