

# FM 환경에서 DAB 시스템의 성능 검증

## A Performance Verification of DAB System in FM Environment

김태훈\*, 조병록\*, 오길남\*\*, 정영호\*\*, 박소라\*\*, 김건\*\*

\* 순천대학교 전자공학과, \*\* ETRI 무선방송기술연구소 DAB 시스템 연구팀

Kim Tae Huun\*, Cho Byung Lok\*, Oh Kil Nam\*\*, Jeong Young Ho\*\*, Park So Ra\*\*, Kim Geon\*\*

\* Dept. of Electronics Eng. Sunchon National Univ.

\*\* Broadcasting Technology Department, Radio & Broadcasting Technology Lab., ETRI

Phone : 0661 750-3573 E-mail : blcho@sunchon.sunchon.ac.kr,

thkim@comsys.sunchon.ac.kr

### 요약

DAB는 기존의 아날로그 대역을 사용하게 됨에 따라 기존의 FM 방송신호의 간섭으로 수신성능의 저하가 예상된다. 본 논문에서는 FM신호의 간섭에 따른 DAB 시스템의 성능저하를 SNR의 관점에서 성능평가를 하였으며, DAB와 FM신호간의 혼신보호비를 제시 하였다.

### I. 서론

CD의 등장과 이에 관련한 하이파이 오디오 기술의 발전으로 CD음질 수준의 라디오 방송에 대한 관심이 대두되었으며, FM 방송의 다국화에 따라 혼신에 의한 음질열화, 차내에서의 수신불량등이 문제가 됨에 따라 유럽에서는 1980년대 초부터 Eureka 147그룹을 중심으로, CD수준의 음질이면서 이동체 수신에서도 다중경로의 영향 없이 안정된 수신이 가능한 디지털 오디오 방송에 관한 연구가 추진되어 왔다. 국내의 DAB(Digital Audio Broadcasting)방송은 기존의 아날로그 FM주파수대역 내에서 전환할 예정으로(IBAC 방식 : In Band Adjacent Channel) 이에 따라 DAB와 기존 아날로그 방송과의 상호간섭을 최소화하고 고품질의 음질과 고속의 데이터 서비스를 위한 COFDM 방식의 DAB에 대한 연구와 기존 FM방송 채널의

배치와 전환에 대한 연구개발이 필요하다. FM 환경에서의 채널 간섭을 모델링 하기 위해서, 실제 측정치인 0.36dB / kHz 기울기를 가지는 FM PSD(Power Spectral Density)특성을 이용하여 도식적으로 모델링 하여, 200kHz 간격의 100개의 채널로 구분된 FM방송 환경에서 DAB 시스템의 차지대역폭과 전력레벨에 따른 수신성능을 모의실험 하였으며, DAB 와 FM간의 혼신보호비를 제시하고자 하다.

### II In-Band DAB

현재의 방송대역내에서 AM/FM과 동시에 서비스하는 대역내방식으로써 크게 IBOC(In Band On Channel)과 IBAC(In Band Adjacent Channel)로 나눌수 있다.

#### 1. IBOC

IBOC는 현재의 AM/FM신호와 같은 주파수에서 서비스하고 미국에서 개발되고 있으며, 디지털 오디오 신호를 기존FM신호에 실어 보내는 것으로 FM과 똑같은 채널을 공유하게 되므로, 상호간섭이 가장중요한 요인이 된다. IBOC의 구조는 그림1)과 같으며, DAB신호를 FM총과 위레벨 보다25[dB]낮게 구성되어져 있다.

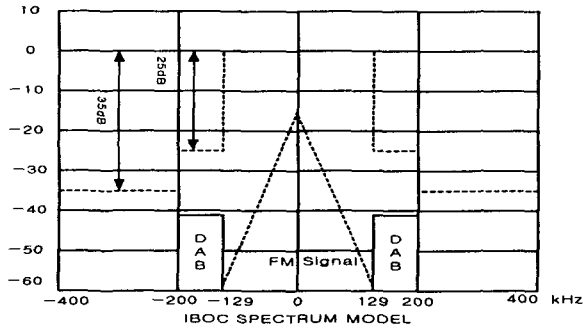


그림 1 USADR IBOC 모델

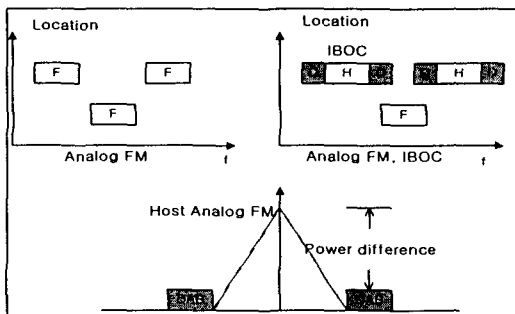


그림 2 IBOC 스펙트럼 배치도

## 2. IBOC

IBOC는 88~108MHz의 FM방송대역에서 가용한 가드밴드 또는 인접채널 주파수에서 동작하는 방식이다. 대부분의 경우 FM 송신기의 인접 채널간에는 상당한 공간이 있으며 IBOC 시스템은 이와같은 스펙트럼상의 공간을 이용하여 낮은 레벨의 디지털 오디오 신호를 전송한다. IBOC의 모델은 그림3)과 같다

## III FM, DAB 스펙트럼 모델링

FM신호를 수학적으로 Triangular Function으로 묘사할수 있으며, 필드테스트 결과 FM 방송신호의 PSD(Power Spectral Density) 0.36

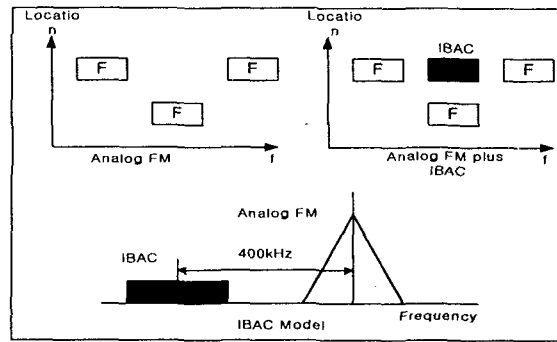


그림 3 IBOC 스펙트럼 배치도

dB/kHz 의 기울기를 가진다.[1][2]

$$tri(f) = \begin{cases} 0.00036 \cdot f & f \leq f_c \\ -0.00036 \cdot f & f > f_c \end{cases} \quad (1)$$

1kHz의 주파수 해상도를 가지는 FM 전력식은 식2)와 같다. [2]

$$P_{total} = \int_{-\infty}^{\infty} P_{peak} \cdot 10^{-0.36|f|/10} df = 24.12747 \cdot P_{peak}$$

$$10 \log \frac{P_{total}}{P_{peak}} = 13.8 [dB] \quad (2)$$

그림1)에서보는 것처럼 FM PSD는 FM 총전력보다13.8[dB]아래에 놓여지게 된다. DAB시스템의 신호 스펙트럼을 FM신호 스펙트럼의 Peak Level 보다 25[dB]낮게 구성 한다면, DAB의 송출 전력은 식3)와 같다.

$$\begin{aligned} DABPower &= -13.8[dB] + 25[dB] + 10 \log(BW) \\ &= -38.8[dB] + 27.09[dB] \\ &= -11.707[dB] \end{aligned}$$

$$10 \log(DABPower/10 \cdot 10^3) = -11.707 [dB] \quad (3)$$

현재 국내의 FM송신기의 최대출력이 10[kW]이고, 여기서는 DAB 점유대역폭을 512[kHz]를 기준으로 하였다. 식3)에 의해서 DAB Power는 약 674.99[W]가된다. 현재 국내의 FM 방송과

주파수는 88~108[MHz]대역에서 200[kHz]간격으로 채널이 할당되어 있으나, 일반적으로 인접지역의 두 방송국은 최소 800[kHz] 간격으로 할당되어 있다. 동일 사이트에서 기본적인 DAB의 모델은 그림4)와 같다. FM환경에서 DAB 시스템의 성능평가를 위해서 전파법 시행

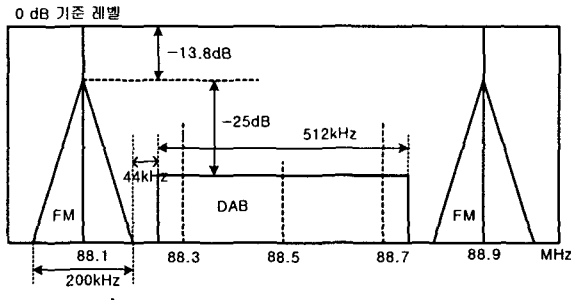


그림4 FM과DAB의 스펙트럼 관계

령 제2조제75호 규정에 의한 초단파방송의 중첩음 지역의 전계강도 1[mv/m]를 기준으로 해서 DAB시스템의 SNR 및 FM간섭에 따른 SNR의 성능 열화를 모의 실험 하였다.

### 1.잡음

$$N = kT \cdot W \quad [\text{watts}]$$

$$K = 1.38 \cdot 10^{-23} J/K = -228.6 \text{ [dBW/K-Hz]}$$

$$T^\circ = \text{절대온도}, \quad W = \text{Bandwidth}$$

Noise PSD  $N_0$ 는 식(4)와 같다

$$N_0 = \frac{N}{W} = kT \quad [\text{watts/hertz}] \quad (4)$$

FM주파수 밴드에서 대기중의 절대온도는 10,000K로 나타낼수 있다. 그러므로 FM대역에서의 Noise PSD는 식5)와 같다.[5]

$$\begin{aligned} N_0 &= 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 10,000 \text{ [K} \cdot \text{W} / \text{K} \cdot \text{HZ]} \\ &= 1.38 \cdot 10^{-19} \text{ [W/Hz]} \\ &= -188.6 \text{ [dBW/Hz]} \end{aligned} \quad (5)$$

### 2. 수신전력

초단파 방송구역의 전계강도의 1[mv/m]전계를 이용해서 필요한 반송파 전력을 구하기 위해서 포인팅이론을 적용한다. 전계에너지 밀도와 자계에너지 밀도는 각각  $\frac{1}{2} \epsilon E^2 [J/m^3]$ 과

$$\frac{1}{2} uH^2 [J/m^3]$$

이되며 전체 자계에너지 밀

$$W = \frac{1}{2} \epsilon E^2 + \frac{1}{2} uH^2 = \frac{1}{2} (\epsilon E^2 + uH^2) \quad (6)$$

$$= \frac{1}{2} (\epsilon \sqrt{\frac{u}{\epsilon}} EH + u \sqrt{\frac{\epsilon}{u}} EH) = \sqrt{u\epsilon} EH [J/m^3]$$

이러한 에너지 밀도를 가지는 전자파가 자유공간을  $v [m/s]$ 의 속도로 전파할 때, 파의 진행 방향에 직각인 단위면적을 통과하는 전력은 다음과 같다.

$$P = W \cdot v = \sqrt{u\epsilon} EH \times \frac{1}{\sqrt{u\epsilon}} = EH [W/m^2] \quad (7)$$

한편  $Z_0 = \frac{E}{H}$ 의 관계에서  $H = \frac{E}{Z_0} = \frac{E}{120\pi}$ 이므로

$$P = EH = E \cdot \frac{E}{120\pi} = \frac{E^2}{120\pi} [W/m] \quad \text{그러므로}$$

안테나에 수신된 전력은 다음식과 같다.[3]

Received Carrier Power = 포인팅전력  $\times$  실효개

$$\text{구면적} = \frac{E^2}{120\pi} \cdot A_e \quad (8)$$

등방성 안테나의 실효개구면적은  $0.08\lambda^2$ ,

$E = 1 [mv/m]$ 이므로 수신된 Carrier Power

는  $C = 0.191 \cdot 10^{-8} [W] = -87.19 [dB]$ 이다. 단

주파수는 100[MHz]로 가정 하였다.

수신된 DAB Carrier Power는  $-11.707 [dB]$

낮아진  $-98.897 [dBW]$ 가 된다. 그러므로 초단파

방송구역내의 방송을 양호하게 수신할수 있는

DAB SNR은 다음식을 이용해서 구할수 있다.

$$\begin{aligned} E_b &= P_s \cdot T_b \\ &= 1.289 \times 10^{-10} \times 1 \times 10 \\ &= 1.289 \times 10^{-16} \end{aligned} \quad (9)$$

$$E_b/N_o = 10 \log \frac{1.289 \times 10^{-16}}{1.38 \times 10^{-19}} \approx 29.703 [a] \quad (10)$$

단 시스템의 최대전송률을 1[Mbps]로 설정했다 이상에서 DAB시스템의 점유대역폭이 512[kHz] 일 때, 방송구역내의 최소한의 SNR은 29.703[dB]가 되므로, 요구되는 DAB시스템의 BER에 따른 Margin(SNR여유도)를 구할수 있으며, DAB시스템의 Margin이 FM간섭으로 인한 DAB SNR감소량보다 크면 DAB시스템은 FM간섭에 영향을 무시할수 있다.

#### IV 모의실험

##### 1. 간섭 시나리오

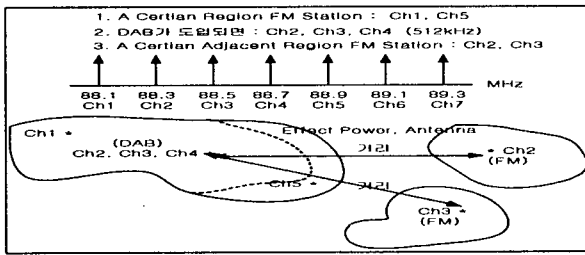


그림 5 FM 채널간섭 시나리오

FM간섭의 시나리오는 그림5)와 같고, 다른 지역에서 FM 방송국이 Ch2 또는 Ch3에 할당되어 있으므로 인접채널간섭 또는 동일채널간섭을 받게 되고, 간섭레벨은 간섭국의 송신 안테나의 높이나, Power, 거리간격등에 따라 변하게 되며, 방송구역의 경계부분에 많은 간섭이 존재하게된다. FM간섭량은 다음식과 같으며

$$\begin{aligned} \cdot \text{FM간섭량} &= \text{간섭 전력량} - \text{대역밖의 간섭량} \\ &= (A + 13.8[\text{dB}]) - (B + 10.8[\text{dB}]) \end{aligned}$$

실제 FM환경에서 A점에 오는 간섭레벨은 간섭국의 거리와 송출전력, 안테나의 높이등에 따

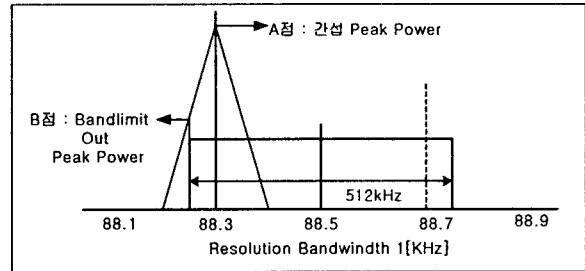


그림 6 인접채널 간섭 계산량 모형

라 변화하게 되는데, A점의 간섭레벨을 구하는 것이 FM 간섭환경을 분석하는 중요한 요소가 된다. DAB는 인접채널 또는 동일 채널의 영향으로 FM신호의 간섭을 받게되는데 그영향으로 DAB시스템의 SNR의 성능열화를 초래한다. FM간섭으로 야기되는 SNR은 다음과 같다.

$$\text{SNR(Interferenced)} = \frac{E_b}{N_o + P_{FM} \cdot T_b} \quad (11)$$

양청구역내의 수신되는 최소한의 SNR값의 성능열화를 야기시키는  $P_{FM}$  값을 구하기 위해서 식(12)와(13)를 이용한다.

$$20 \log \frac{E}{1 \text{ mv/m}} = P_{total} [dB] \quad (12)$$

$$P_{FM} = \frac{E^2}{120 \times \pi} \times A_e (0.08 \lambda^2) \quad (13)$$

식12)의  $P_{total} [dB]$ 는 1[kHz]주파수 해상도를 가지고 도식적으로 구한 간섭량이다. 이 간섭량으로 SNR값에 감쇠를 주기 위해서 식12)에서 간섭되는 전계강도 E를 구하고, 식13)를 이용해서 식11)의 Noise값과 합산되는  $P_{FM}$  를 구하면

된다.

## 2. 모의실험

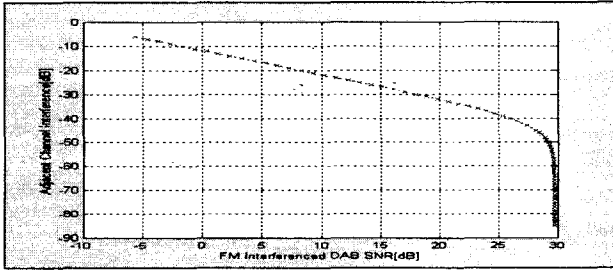


그림 7 인접채널간섭(DAB:512[kHz])

FM 간섭레벨은 0[dB]기준레벨을 중심으로 Total Power를 -6[dB]~-85[dB]변화 시키면서 DAB시스템의 성능평가를 하였다. -6[dB]의 간섭레벨에서는 FM 간섭의 영향으로 DAB SNR이 크게 감소된다. 그러나 -58[dB]레벨 이하의 FM 간섭은 DAB SNR이 29.703[dB]에 수렴하므로 무시할수 있다. DAB System의 Margin이 M이라면, 그림7)에서 M에 해당하는 SNR의 차이값에서 FM간섭의 영향을 무시할수 있다. DAB System의 전력은 FM전력보다 상대적으로 송출전력이 적으므로 인접 FM채널의 간섭이 크게 오게되면 성능이 크게 저하되므로 강한 FM간섭신호를 효과적으로 억압 할수 있는 기능이 DAB수신부에 요구된다.

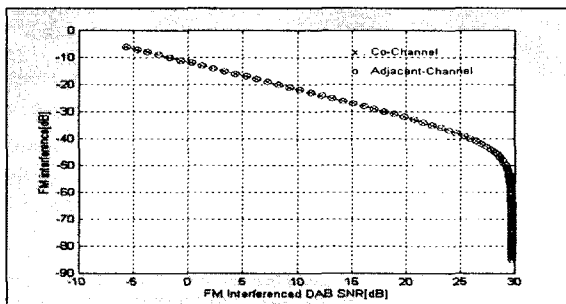


그림 8 512[kHz] 채널간섭 비교

그림8)과 같이 512[kHz]을 점유하고 있는 DAB

시스템의 채널 간섭은 인접채널이나 동일채널의 FM간섭의 영향은 거의 비슷하다. FM신호의 Power는 중심주파수에 집중되어 있으며, 인접채널의 간섭은 동일채널의 간섭과 마찬가지로 인접채널의 Center 주파수에 Overlap 되어 있기 때문이다.

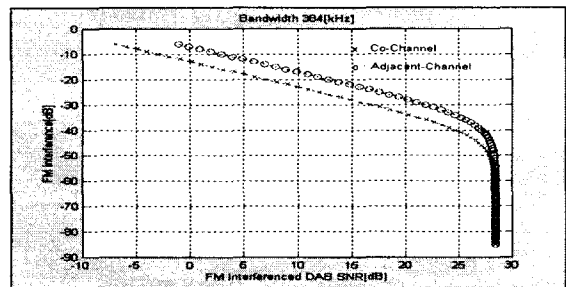


그림 9 384kHz 인접, 동일채널 간섭 384[kHz]를 점유하고 있는 DAB System의 SNR은 28.45[dB]이다. 모의실험결과 512[kHz]를 점유하고 있는 시스템보다 FM의 인접채널 간섭에 영향을 덜 받는다.(그림9) 이것은 인접채널의 Center 주파수에 직접적으로 Overlap을 피할수 있기 때문이다.

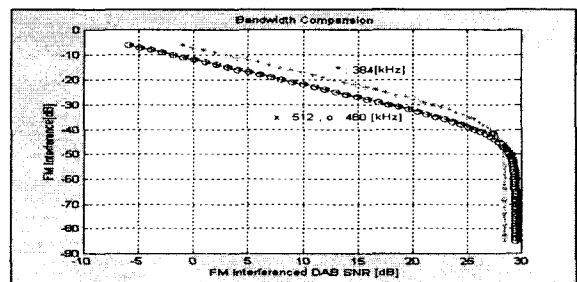


그림 10 대역폭 변화에 따른 인접채널 간섭 실험도

모의실험결과 동일 채널의 간섭의 경우 Center 주파수에 Overlap되기 때문에 점유 대역폭에 상관없이 성능이 유사하며, 인접채널간섭에 효과적으로 대처하기 위해서는 대역폭과 전송률에 Trade Off가 필요함을 알수가 있다.

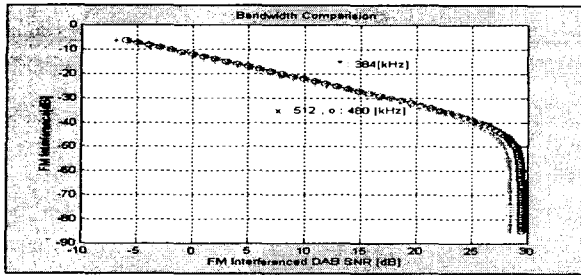


그림 11 대역폭 변화에 따른 동일채널 간섭실험도

### 3. DAB 과 FM 혼신보호비

DAB와 FM의 전계강도의 혼신 보호비를 유도 하기 위해서 식(14)와 15)를 이용한다

$$P_r(\text{Carrier Power}) = \frac{E^2}{120\pi} \times A \quad (14)$$

$$E = \sqrt{\frac{P \times 120\pi}{A_e}} \quad (15)$$

식(14)를이용 희망과 전계강도와 간섭과 전계강도의 비를 구한다. 간섭과 전계강도는 대역폭에 따른 DAB의 SNR에 수렴되는 FM 간섭의 한계레벨을 이용한다. 512[kHz]인 경우 FM 간섭 한계 레벨은 -58[dB]이다.

$$\text{희망과(전계강도)} = 20 \log \sqrt{\frac{P(\text{DAB평균}) \times 120\pi}{A_e}} \quad (16)$$

$$\text{간섭과(전계강도)} = 20 \log \sqrt{\frac{P(\text{FM}_{\text{threshold}}) \times 120\pi}{A_e}} \quad (17)$$

식(16)과(17)를 이용해서 구한 DAB / FM 혼신 보호비는 표(1)과 같다.DAB 시스템은 FEC로인한 시스템의 Margin이 상당히 크므로 본 논문에서 제시한 혼신보호비는 마진에 따라 가변될 수 있다.(표1 마진이 없는 경우의 혼신 보호비)

이 논문의 결과는 ETRI 위탁과제의 일부분입니다. 이 논문과 관련한 ETRI의 DAB 시스템팀 여러분들께 감사드립니다.

<표1>

Bandwith [kHz]	혼신 보호비	
	인접간섭채널 [dB]	동일 채널 [dB]
512	약 +46.5	약 +46.5
480	약 +45	약 +45
384	약 +38	약 +43

### V. 결론

본 논문에서 DAB와 FM간의 혼신보호비를 유도하였으며, FM In-Band 환경하에서 FM신호가 DAB 시스템에 미치는 영향을 방송구역내의 기본 SNR를 이용해서 성능평가를 하였다. 실험 결과 간섭을 주는 FM신호는 DAB SNR에 성능감쇠를 일으키게되며, 대역폭에 따른 FM면역성이 가변되므로 대역폭과 전송률간에 Trade off가 요구되어 진다.

### [참고문헌]

- [1] Michael Chrysochoos, "Performance of an In-Band Adjacent-Channel DAB System for Frequency-Selective Rayleigh and Ricean Slow Fading Channels under Analog FM Interference", IEEE Transactions on Broadcasting, VOL. 44, NO. 2, JUNE 1998.
- [2] Brian W. Kroeger, "Robust IBOC DAB AM and FM Technology for Digital Audio Broadcasting".
- [3]김남수 역 "CDMA 이동통신 공학".
- [4]양운석 "안테나 공학"
- [5]MOFFET, LARSON & JOHNSON, INC. "Engineering Report".