

특집논문-00-5-2-06

동일채널 FM 간섭원에 대한 IBAC DAB 시스템의 혼신 보호비 분석

정영호*, 박소라*, 김건*, 이현*, 이수인*

Analysis on Protection Ratio of IBAC DAB System for Co-Channel FM Interferer

Young-Ho Jeong*, So-Ra Park*, Geon Kim*, Hyun Lee* and Soo-In Lee*

요 약

IBAC(In-Band Adjacent-Channel) 디지털 오디오 방송(Digital Audio Broadcasting : DAB) 시스템은 기존 아날로그 라디오 방송이 서비스되는 FM 대역(88~108 MHz)에서 CD 음질의 다채널 오디오 및 멀티미디어 데이터 서비스 제공을 목표로 하고 있다. 따라서 기존 아날로그 FM 신호와의 간섭에 따른 혼신 보호비 분석은 두 방식간의 양립성 검증 및 신규 DAB 채널 할당을 위해 반드시 수행되어야 한다. 이를 위해 FM 신호가 DAB 신호에 주는 간섭 영향, DAB 신호가 FM 신호에 주는 간섭 영향, DAB 신호가 DAB 신호에 주는 간섭 영향에 대한 분석이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 FM 간섭원에 대한 모델링과 다중경로 페이딩 채널 환경을 고려한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 상기 간섭조건 중에서 동일채널 FM 간섭원에 대한 IBAC DAB 시스템의 혼신 보호비를 분석하였다. IBAC DAB 시스템은 Eureka 147 시스템에 비해 월등히 높은 수신 감도를 가지며, 1/3 정도 적은 신호 대역폭으로 인해 동일채널 FM 간섭원에 대한 혼신 보호비는 비교적 높은 값을 나타내었다.

Abstract

The IBAC (In-Band Adjacent-Channel) DAB (Digital Audio Broadcasting) system is to provide multichannel CD quality audio services and multimedia data services including text and picture in FM band (88 ~ 108 MHz). As the FM band is being used by the existing analog radio broadcasting, there must be an analysis of the interference effect between IBAC DAB and analog FM signal. Therefore, the protection ratio should be evaluated to verify the system compatibility and allocate the new IBAC DAB channel in FM band. In this paper, among the three types of interferences, FM-to-DAB, DAB-to-FM and DAB-to-DAB, that can be occurred, the protection ratio of IBAC DAB system for co-channel FM interferer is analyzed by modeling the FM interferer and considering the multipath fading channel. The simulation results show that IBAC DAB system has far better sensitivity than Eureka 147 and needs a relatively high protection ratio for co-channel FM interferer, because of its narrow bandwidth, about one third of that of Eureka 147.

I. 서 론

FM 아날로그 방송은 날로 증가하는 고층 빌딩과 주택의 밀집화에 따른 다중경로 페이딩과 이동체 수신 시 반송파 주파수의 도플러효과 등의 영향으로 인해 음질열

화가 심화되고 있다. 또한 FM 대역내 라디오 방송국의 수가 늘어남에 따라 주파수 혼잡도가 매우 심각한 상태이며, 이에 따른 채널간 상호간섭은 신규 채널의 할당을 어렵게 하고 있다.

이와 같은 아날로그 방송의 문제점을 해결하기 위해서 디지털로의 전환은 필수적이다. 디지털 오디오 방송은 고음질의 오디오 서비스 뿐만 아니라, 향후 멀티미디어 정보, 주식정보, 교통정보, GPS, fax, 광역호출 등과 같은 고

* 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 방송시스템연구부
Broadcasting System Technology Dept., Radio & Broadcasting
Technology Lab., ETRI

부가가치 서비스로 확대 이용될 수 있는 무한한 잠재력을 지니고 있다.

유럽은 1980년대 후반부터 첨단기술 공동개발 계획의 Eureka 147 프로젝트를 중심으로 DAB 연구를 시작하여, '95년 2월, 표준화 작업을 마무리하고^[1] 영국에서 공식적인 첫 시험방송을 실시하였다. 그러나 낮은 수신기 보급률로 인해 현재까지도 DAB 서비스의 대중화가 지연되고 있다.

90년대 접어들면서 Eureka 147 방식의 도입을 전제로 한 DAB에 대한 연구가 미국에서 시작되었으나, 아날로그 방송사업자들의 거센 반발과 DAB를 위한 신규 주파수 대역 할당의 어려움으로 인해 기존 FM 대역에서 서비스 가능한 IBOC(In-Band On-Channel) DAB 전송방식에 대한 연구가 시작되었다. '98년 10월, USADR는 미국의 DAB 방식 표준화와 이의 관련 규정 제정을 요구하는 청원서를 FCC에 제출하였으며^[2], 최근 개발업체들의 합병으로 빠른 시일 내에 DAB 표준화가 이루어질 것으로 전망된다.

일본은 '89년, 이동체 음성 방송 연구회 구성을 시작으로 '94년부터는 TTC의 주도하에 DAB를 위한 기술적 검토가 본격적으로 추진되었다. '95년부터 공영 방송국인 NHK는 종합 디지털 방송 서비스(ISDB : Integrated Service Digital Broadcasting)의 구현을 위해 BST-OFDM(Band Segmented Transmission-OFDM) 방식을 기초로 디지털 TV/오디오 통합 전송방식을 개발하였으며^[3], 현재 2003년 본 방송을 목표로 동경에서 실험방송을 실시하고 있다.

앞서 설명한 바와 같이 세계 각국은 자국의 상황에 적합한 DAB 전송방식들을 개발하였으며, 이에 ETRI에서는 다음과 같은 이유로 국내에 적용 가능한 새로운 구조의 IBAC DAB 시스템을 개발중에 있다. 유럽의 Eureka 147의 경우 RF 신호 전송을 위한 신규 주파수 확보가 어려운 이유로, IBOC 방식은 낮은 전송 데이터율로 인해 DAB의 장점을 충분히 살릴 수 없는 이유로, 또한 TV/오디오 통합 전송방식인 ISDB-T는 국내 지상파 DTV 전송방식이 ATSC 방식으로 선정된 이유로 인해 국내 도입은 어려울 수밖에 없는 실정이다.

개발중인 IBAC DAB 시스템은 아날로그 라디오 방송이 서비스되고 있는 FM 대역에서의 운용을 전제로 하기 때문에, 신규 DAB 채널 할당시 기존 아날로그 시스템과의 간섭분석은 매우 중요하다. 이에 본 논문에서는 DAB 시스템과 기존 아날로그 FM 시스템간의 간섭여부를 판단할 수 있는 혼신 보호비에 대한 분석을 위해, FM 간섭원과 다중경로 페이딩 채널의 모델링 방법을 설명하고,

이를 적용한 동일채널 FM 간섭원에 대한 DAB 시스템의 혼신 보호비를 분석한다. 또한 얻어진 혼신 보호비를 이용하여 FM과 DAB 시스템간의 간섭분석 방법에 대하여 기술한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 개발중인 IBAC DAB 시스템의 구조에 대해 간략히 소개하고, 제3장에서는 FM 간섭 신호원과 다중경로 페이딩 채널에 대한 모델링 방법에 대해 설명한다. 제4장에서는 컴퓨터 모의실험을 통해 얻어진 혼신 보호비 분석결과를 제시하고, 제5장에서 결론을 맺는다.

II. IBAC DAB 시스템

IBAC DAB 시스템의 주요 변수는 표 1과 같다. IBAC DAB 신호의 점유 대역폭은 현재 FM 대역에서 서비스중인 아날로그 라디오 주파수 배치현황을 조사·검토하여 512 kHz로 정하였으며, 하나의 OFDM 심벌은 512개의 서브캐리어 신호로 구성된다.

표 1. IBAC DAB 시스템 변수

Table 1. IBAC DAB system parameters

시스템 변수		IBAC DAB 시스템	
적용 주파수 대역 (MHz)		88 ~ 108 (FM band)	
점유 대역폭 (kHz)		512	
외부호		Shortened Reed-Solomon Coder (204, 188, t=8)	
외인터리버		Convolutional Byte Interleaver (12 x 17)	
내부호		Convolutional Coder (R=1/2, K=7)	
내 인 터 리 버	Time Interleaver	Interleaved bit 수	16 x 16 x Multiple
		Depth (ms)	Multiple 값 2048 4096
	Frequency Interleaver	Symbol Interleaver $A(i)=[13 \cdot A(i-1)+127] \pmod{512}$ and $A(0)=0$; for $i=1,2,\dots,511$ $B(n)=[A(i)-64]$, if $64 \leq A(i) < 448$; for $i=0,1,2,\dots,511$	
변조		16QAM	
반송파 수		512	
FFT 크기		512	
반송파 간격 (kHz)		1	
유효심벌 길이 (ms)		1	
보호구간 길이 (μ s)		31.25	
채널추정		Two-dimensional Gaussian Interpolation	
유효 전송 데이터율 (kbps)		820.196	

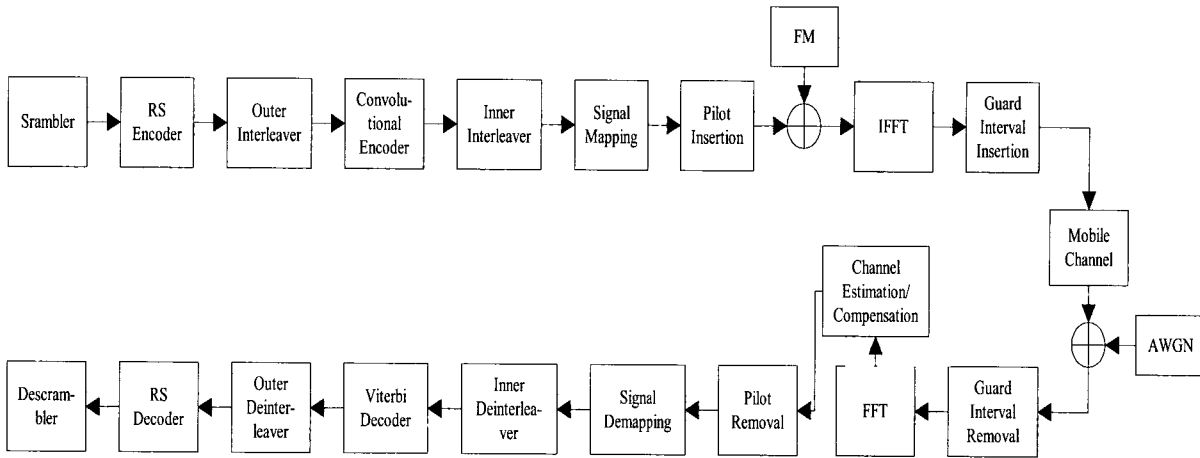


그림 1. IBAC DAB 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram of IBAC DAB system

제안된 IBAC DAB 시스템의 구조는 그림 1과 같다.

오디오 및 데이터 인코더의 출력은 다중화기를 거쳐 MPEG-2 TS(Transport Stream)로 변환되고, RF 전송신호의 에너지 분산을 위해 스크램블러(scrambler)부를 통과한다. 단일 채널 부호화 방식에 비해 전체적으로 낮은 시스템 구현 복잡도를 갖고도 동일한 BER 성능을 얻기 위해 연접부호화 방식이 채택되었다. 또한 시간 영역과 주파수 영역에서 발생하는 버스트성 에러를 랜덤 에러로 변환시키기 위해 콘벌루션 바이트 인터리버(convolutional byte interleaver), 시간/주파수 인터리버(time/frequency interleaver)가 사용된다. 채널추정 및 보상을 위한 파일럿 심벌이 삽입되고, IFFT를 통해 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심벌을 생성한다. ISI(Inter-Symbol Interference)를 제거하기 위해 OFDM 심벌 앞에 보호구간(guard interval)을 삽입한다. 혼신 보호비 분석을 위해 주파수 영역에서 FM 간섭신호가 삽입되고 다중 경로 페이딩 채널을 통과시킨 후, 잡음이 더해진다.

채널을 통과한 신호는 보호구간 제거부에서 보호구간이 제거되고, FFT를 통해 주파수 영역 신호로 변환된다. 파일럿 심벌을 이용하여 채널추정/보상(channel estimation/compensation)부에서 채널 상태를 추정하고, 추정된 채널 상태 정보를 이용하여 손상된 신호를 보상한다. 보상된 신호는 신호 디맵퍼(signal demapper)와 내디인터리버(inner deinterleaver)를 통과하여 랜덤 에러에 대한 정정을 위해 비터비 복호기(Viterbi decoder)에 입력된다. 외디인터리

버를 통과한 데이터는 RS 복호부에서 버스트성 에러에 대한 정정이 수행된 후, 디스크램블러(descrambler)부를 거쳐 출력된다. 출력된 MPEG-2 TS는 역다중화기를 거쳐 오디오 및 데이터 디코더를 통해 복원된다.

III. FM 간섭신호 및 채널 모델링

1. FM 간섭원 모델링

주파수 영역에서 FM 신호의 PSD(power spectral density)를 통계 처리하여 얻어진 식 (1)과 같은 삼각함수(triangular function)로 FM 신호를 모델링 하였으며^{[4][5]}, 이는 USADR의 IBOC DAB 시스템에 대한 FM 간섭분석에 적용되었다.

$$\begin{aligned} TRI(f) &= -0.36 \text{ (dB/kHz)}, f > 0 \\ &= 0.36 \text{ (dB/kHz)}, f < 0 \end{aligned} \quad (1)$$

상기 FM 신호의 PSD의 기울기는 미국 Baltimore와 Washington 지역의 5개 송신소에서 5분 동안 FM 신호의 전력 스펙트럼을 평균하여 결정된 값이다. 각 송신소의 전송되는 FM 신호는 0.35 ~ 0.38 dB/kHz의 기울기를 갖는 삼각형 형태의 PSD를 나타냈으며, 이들의 평균 기울기 값이 0.36 dB/kHz인 것으로 조사되었다. 이 때 사용된 음원은 헤비메탈(heavy metal) 음악부터 대담 프로그램까지

다양하게 선택되었다^[4].

FM 신호에 대한 삼각형 형태의 PSD 표현 방식은 구현하기 용이하며, 실제 송신기에 의해 전송되는 신호를 묘사할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 5분 동안의 평균전력을 기초로 모델링을 했기 때문에 순시 주파수 성분변화를 모델링 할 수 없고 시간 영역에서의 분석이 불가능하다는 단점이 있다.

주파수 영역에서의 FM 및 DAB 신호의 PSD는 그림 2와 같으며, FM 신호의 총 전력(P_{total_FM})과 peak 전력(P_{peak_FM})간의 관계는 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{total_FM}(W) &= 2 \int_0^{\infty} P_{peak_FM} \cdot 10^{-0.36f/10} df \\ &= -\frac{2 \cdot P_{peak_FM}}{0.036} \left[\frac{10^{-x}}{\ln 10} \right]_0^{\infty} \\ &= \frac{2 \cdot P_{peak_FM}}{0.036 \cdot \ln 10} \\ &= 24.12747 \cdot P_{peak_FM}(W) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)를 dB scale로 변환하면, 식 (3)과 같이 약 13.825 dB의 레벨 차이를 갖는다.

$$\begin{aligned} 10 \log \left[\frac{P_{total_FM}(W)}{P_{peak_FM}(W)} \right] &= P_{total_FM}(dB) - P_{peak_FM}(dB) \\ &= 10 \log(24.12747) = 13.825118 \text{ dB} \end{aligned} \quad (3)$$

그림 2로부터 혼신 보호비, D/U(Desired to Undesired

signal power ratio)비와 FM peak 전력과의 상관관계를 구하기 위해 DAB 신호의 총 전력을 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} P_{total_DAB}(dB) &= P_{total_DAB}(dB) + 10 \log 512 \\ &= P_{total_FM}(dB) - 13.825118 - \\ &P_{diff}(dB) + 10 \log 512 (= 27.092699) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $10 \log 512$ 값은 그림 2와 같이 각 신호의 PSD가 1kHz 주파수 해상도를 기준으로 표시될 경우의 보정값에 해당되며, 이 식을 FM신호와 DAB 신호의 peak 전력 차로 정리하면 식 (5)와 (6)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} P_{diff}(dB) &= 13.26758 - [P_{total_DAB}(dB) - P_{total_FM}(dB)] \\ &= 13.26758 - D/U \end{aligned} \quad (5)$$

$$10 \log \left[\frac{P_{peak_FM}(W)}{P_{peak_DAB}(W)} \right] = 13.26758 - D/U(dB) \quad (6)$$

식 (6)으로부터 D/U비와 FM peak 전력과의 상관관계를 나타내는 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$P_{peak_FM}(W) = 10^{\left[\frac{13.26758 - D/U(dB)}{10} \right]}, \because P_{peak_DAB}(W) = 1W \quad (7)$$

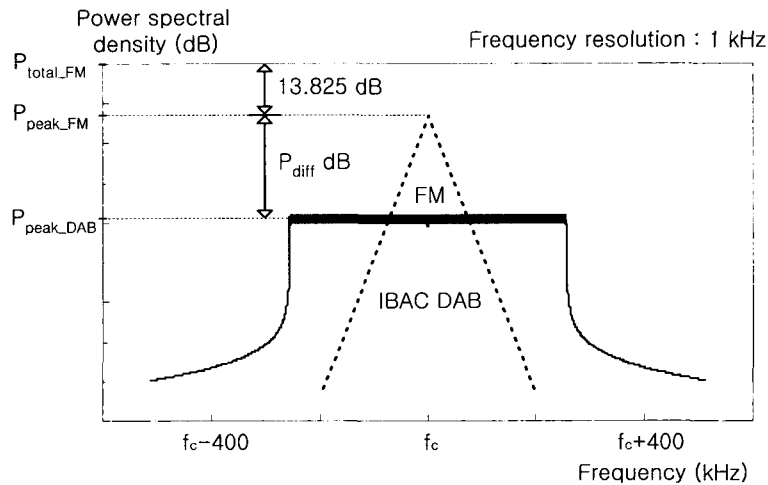


그림 2. IBAC DAB 신호와 동일채널 FM 신호의 PSD
Fig. 2. PSD of co-channel FM and IBAC DAB signals

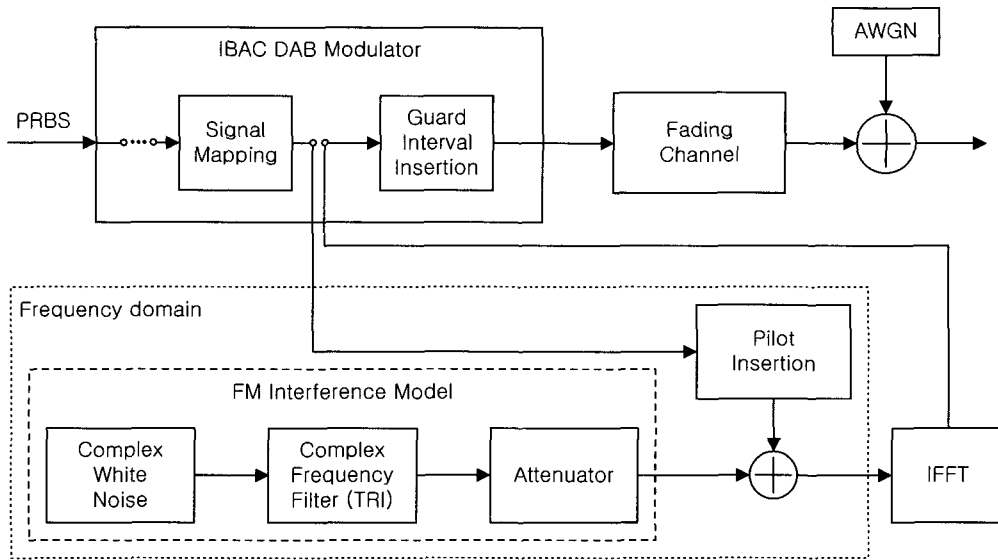


그림 3. FM 간섭원 모델링
Fig. 3. Modeling of FM interfeerer

위의 관계식을 이용하여 그림 3과 같이 파일럿 심벌의 삽입 이후에, 주어진 D/U비에 해당하는 peak 전력을 갖는 동일채널 FM 간섭원을 주파수 영역에서 더함으로써 간섭환경을 구현한다.

2. 다중경로 Rayleigh 페이딩 채널 모델

Rayleigh 페이딩 채널 환경을 모사하기 위해 그림 4의 구조를 갖는 Jakes 모델을 이용한다^[6]. 그림에서 보는 바와 같이, 도플러 편이(Doppler shift) $\omega_m \cos \frac{2\pi n}{N}$, $n = 1, 2, \dots, N_0$ 에 해당하는 N_0 개의 주파수 발진기와 ω_m 에 해당하는 주파수 발진기가 필요하다. 위상 β_n 은 균일분포 $1/2\pi$ 를 갖도록 구성하며, 이 때 출력신호는 식 (8)과 같다.

$$y(t) = x_c(t) \cos \omega_c t + x_s(t) \sin \omega_c t \quad (8)$$

여기서,

$$x_c(t) = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \cos \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \cos \alpha \cos \omega_m t$$

$$x_s(t) = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \sin \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \sin \alpha \cos \omega_m t$$

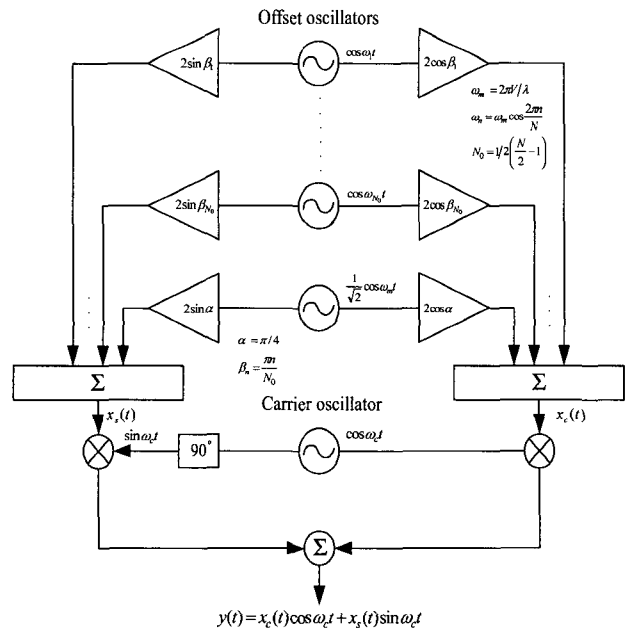


그림 4. Rayleigh 페이딩 채널 시뮬레이터
Fig. 4. Rayleigh fading channel simulator

다중경로 지연이 전송신호의 심벌길이에 비하여 무시할 수 없을 때 주파수 선택적 페이딩 현상이 나타나며, 이는 그림 5와 같이 적절히 시간 지연된 독립된 페이딩 채널들의 합으로 모델링 할 수 있다. 각 독립된 페이딩 채널은

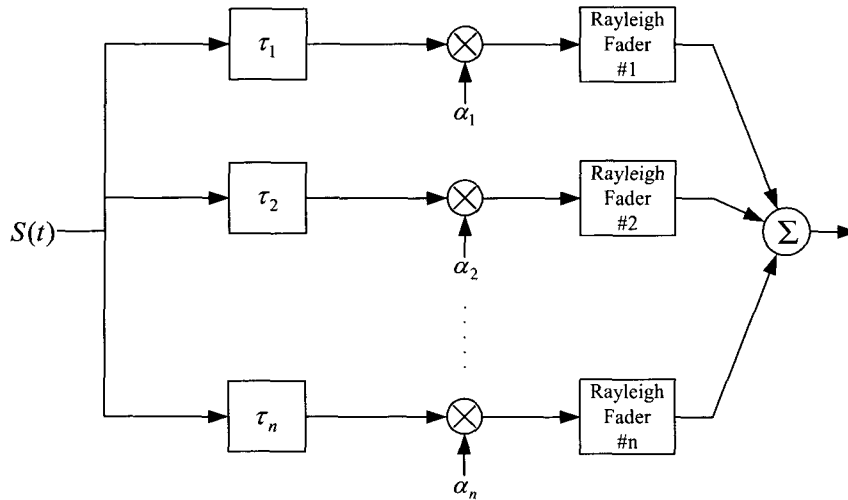


그림 5. 주파수 선택적 페이딩 채널 시뮬레이터
Fig. 5. Frequency selective fading channel simulator

앞서 언급한 Jakes 모델을 이용하여 구성하였으며, 각 독립된 페이딩 채널의 지연시간, 평균 페이딩 크기 및 개수는 EIA(Electronic Industries Association)의 Rayleigh 다중경로 프로파일을 적용하였다.

3. EIA Rayleigh multipath profile

1993년, EIA는 Utah주 Salt Lake시에서 다중경로 채널 특성 측정시험을 실시하였다. Salt Lake시를 선택한 이유는 이 곳이 다른 곳에 비해 심각한 다중경로 페이딩 환경을 가지고 있었기 때문이었으며, 이 시험을 통해 EIA는 표 2 ~ 표 4의 특성을 지닌 다음과 같은 4개의 다중경로 프로파일을 만들어냈다^[5].

표 2. Urban slow/fast Rayleigh 다중경로 프로파일
Table 2. Urban slow/fast Rayleigh multipath profile

Ray	Delay (μs)	Doppler(Hz)		Attenuation(dB)
		Slow	Fast	
1	0.0	0.1744	5.2314	2.0
2	0.2	0.1744	5.2314	0.0
3	0.5	0.1744	5.2314	3.0
4	0.9	0.1744	5.2314	4.0
5	1.2	0.1744	5.2314	2.0
6	1.4	0.1744	5.2314	0.0
7	2.0	0.1744	5.2314	3.0
8	2.4	0.1744	5.2314	5.0
9	3.0	0.1744	5.2314	10.0

표 3. Rural fast Rayleigh 다중경로 프로파일
Table 3. Rural fast Rayleigh multipath profile

Ray	Delay (μs)	Doppler(Hz)	Attenuation (dB)
1	0.0	13.0785	4.0
2	0.3	13.0785	8.0
3	0.5	13.0785	0.0
4	0.9	13.0785	5.0
5	1.2	13.0785	16.0
6	1.9	13.0785	18.0
7	2.1	13.0785	14.0
8	2.5	13.0785	20.0
9	3.0	13.0785	25.0

표 4. Terrain-obstructed fast Rayleigh 다중경로 프로파일
Table 4. Terrain-obstructed fast Rayleigh multipath profile

Ray	Delay (μs)	Doppler(Hz)	Attenuation (dB)
1	0.0	5.2314	10.0
2	1.0	5.2314	4.0
3	2.5	5.2314	2.0
4	3.5	5.2314	3.0
5	5.0	5.2314	4.0
6	8.0	5.2314	5.0
7	12.0	5.2314	2.0
8	14.0	5.2314	8.0
9	16.0	5.2314	5.0

- Urban slow(US) : 도심지에서의 도보 속도 기준
- Urban fast(UF) : 도심지를 대략 35 mph로 달리는 속도 기준

- Rural fast(RF) : 인공 구조물이 없는 환경에서 대략 88 mph로 달리는 속도 기준
- Terrain-obstructed fast(TOF) : 전파의 직접 경로(direct path)를 막는 자연 차폐물이 있는 환경에서 대략 30 mph로 달리는 속도 기준

USADR는 EIA의 다중경로 프로파일을 개발중인 IBOC DAB 시스템의 성능분석을 위한 주파수 선택적 페이딩 채널 모델링을 위해 적용하였으며, 테스트 결과 전형적인 다중경로 환경보다 더 열악한 것으로 나타났다.

IV. 실험 결과

컴퓨터 모의실험에서는 송수신 동기는 완벽하게 일치한 것으로 가정하였으며, 또한 국부 발진기의 phase noise 및 송수신기의 비선형성은 고려하지 않았다. 혼신 보호비 분석을 위해 FM 간섭원은 triangular 형태의 PSD를 갖도록 모델링 하였다.

1. FM 간섭원이 존재하지 않는 경우의 성능분석 결과

16QAM IBAC DAB 시스템의 성능분석은 비터비 복호기 출력단의 데이터와 길쌈부호기(convolutional encoder)의 입력 데이터를 비교하여 2×10^{-4} BER을 만족하도록 요구되는 Es/No(ratio of symbol energy to noise power spectral energy) 값을 조사함으로써 수행되며, 데이터 서비스 요구기준인 QEF(Quasi-Error-Free)상태를^[7] 유지하기 위해 시스템은 비터비 복호기 출력단에서 상기 BER 조건을 만족해야 한다. 여기서, QEF는 MPEG-2 디멀티플렉서의 입력이 10^{-11} 의 BER에 해당하는 즉, 시간당 하나 이하의 오류가 발생하는 조건이다.

그림 6 ~ 그림 9의 BER 곡선은 FM 간섭원이 존재하

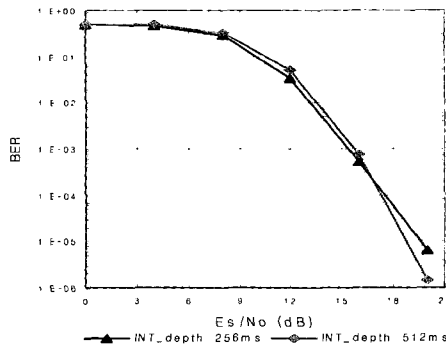


그림 6. FM 신호 없는 US 채널
Fig. 6. US channel without FM

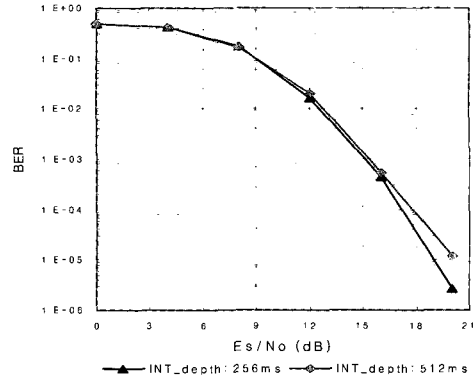


그림 7. FM 신호 없는 UF 채널
Fig. 7. UF channel without FM

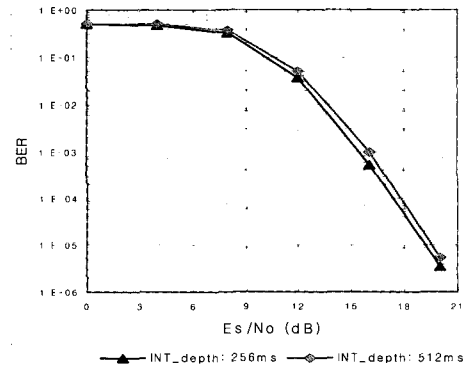


그림 8. FM 신호 없는 RF 채널
Fig. 8. RF channel without FM

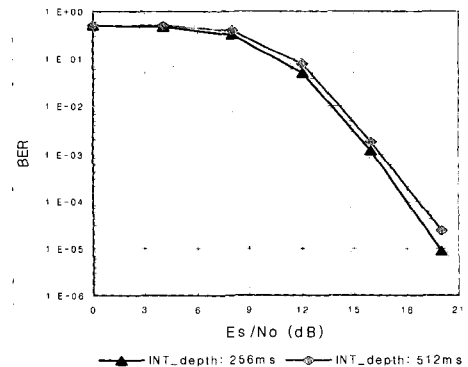


그림 9. FM 신호 없는 TOF 채널
Fig. 9. TOF channel without FM

지 않는 EIA 채널 환경에서 16QAM IBAC DAB 시스템의 성능결과이며, 이로부터 표 5의 시스템 성능조건을 만

족하기 위한 요구 Es/No 값을 얻을 수 있다.

표 5. 16QAM IBAC DAB 시스템의 요구 Es/No
Table 5. Required Es/No for 16QAM IBAC DAB system to achieve a BER=2x10⁻⁴ after the Viterbi decoder

		Urban slow	Urban fast	Rural fast	TOF
TID (ms)	256	16.6 dB	16.9 dB	17.5 dB	16.6 dB
	512	17.1 dB	16.9 dB	18.1 dB	17.1 dB

2. 동일채널 FM 간섭원에 대한 혼신 보호비 분석 결과

동일채널 FM 간섭원이 존재하는 경우, EIA 채널 환경에서 16QAM IBAC DAB 신호와 FM 간섭원과의 전력비 (D/U) 변화에 대한 시스템의 성능열화 결과는 그림 10 ~ 그림 17과 같다.

그림 10에서 보는 바와 같이 urban slow 채널에서 TID(Time Interleaving Depth)가 256ms인 경우, 16dB 이하의 Es/No 값에 대해서는 FM 간섭원의 전력을 DAB 신호전력에 비해 40dB이상 낮추어도 원하는 BER 성능을 만족할 수 없다. 또한 Es/No 값이 17dB인 경우에는 높은 D/U비가 요구되므로, FM 간섭원을 고려한 IBAC DAB의 방송 커버리지 분석 및 간섭분석을 위해서는 요구 Es/No 값을 18dB로 정하고, 18.6dB의 혼신 보호비를 확보해야 한다. 그림 11은 TID가 512ms인 경우의 분석결과이며, 이는 앞서 설명한 TID가 256ms인 경우와 유사하다. 요구 Es/No 값이 18dB인 경우, 18.4dB의 혼신 보호비가 확보되어야 원하는 성능을 만족시킬 수 있다.

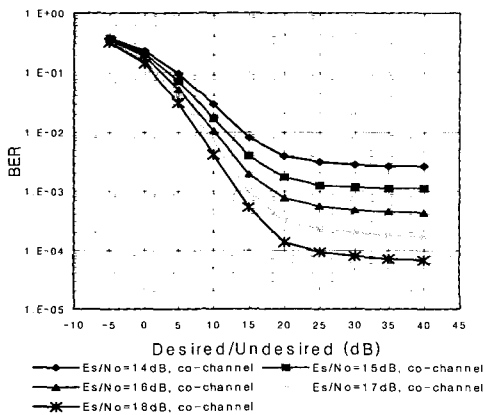


그림 10. US 채널, TID=256ms
Fig. 10. US channel, TID=256ms

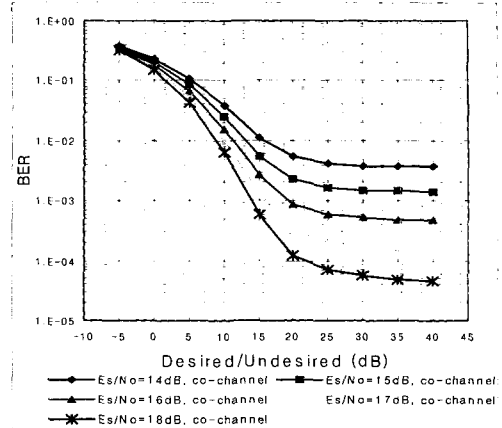


그림 11. US 채널, TID=512ms
Fig. 11. US channel, TID=512ms

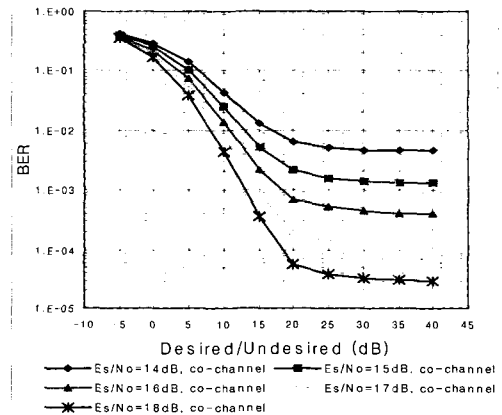


그림 12. UF 채널, TID=256ms
Fig. 12. UF channel, TID=256ms

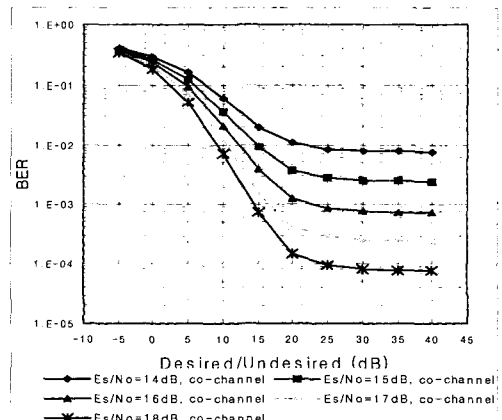


그림 13. UF 채널, TID=512ms
Fig. 13. UF channel, TID=512ms

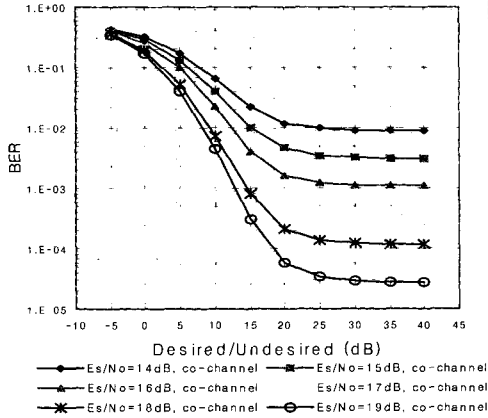


그림 14. RF 채널, TID=256ms
Fig. 14. RF channel, TID=256ms

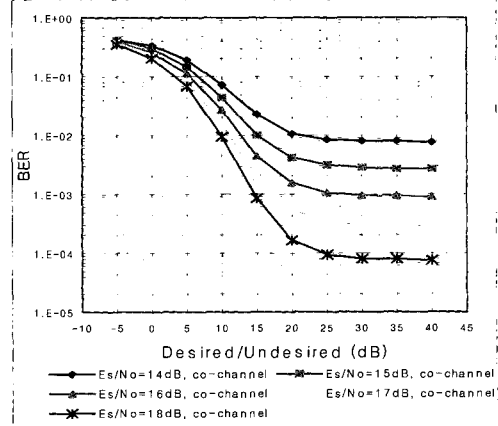


그림 17. TOF 채널, TID=512ms
Fig. 17. TOF channel, TID=512ms

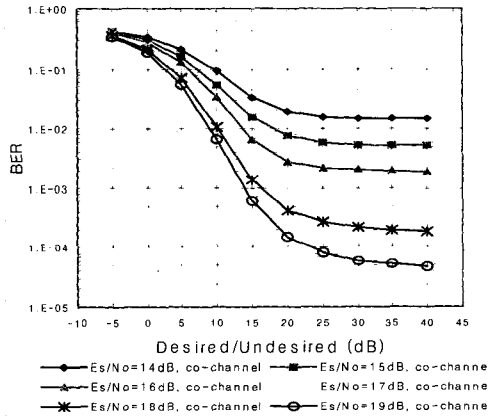


그림 15. RF 채널, TID=512ms
Fig. 15. RF channel, TID=512ms

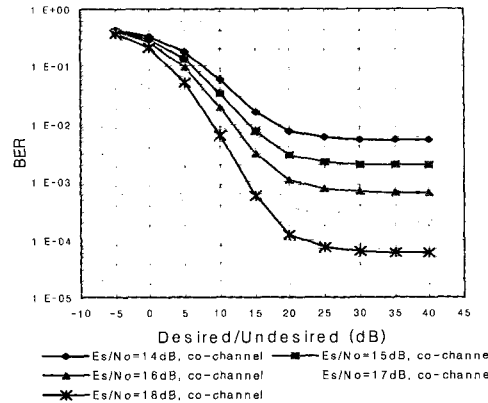


그림 16. TOF 채널, TID=256ms
Fig. 16. TOF channel, TID=256ms

Urban fast 채널에서는 그림 12에서 보는 바와 같이 TID가 256ms인 경우, 16dB 이하의 Es/No 값에 대해서는 FM 간섭원의 전력을 DAB 신호전력에 비해 40dB 이상 낮추어도 원하는 BER 성능을 만족할 수 없다. 또한 Es/No 값이 17dB인 경우에 대해서는 비교적 높은 D/U비가 요구되므로, 시스템 요구성능을 만족하는 Es/No 값을 18dB로 정하고, 16.6dB의 혼신 보호비를 확보해야 한다. 그림 13은 TID가 512ms인 경우의 분석결과이며, 원하는 성능을 만족시키기 위해서는 요구 Es/No 값을 18dB로 정하고, 19.1dB의 혼신 보호비를 확보해야 한다.

Rural fast 채널에서는 그림 14에서 보는 바와 같이 TID가 256ms인 경우, 17dB 이하의 Es/No 값에 대해서는 FM 간섭원 전력의 크기를 DAB 신호전력에 비해 40dB 이상 낮추어도 원하는 BER 성능을 만족할 수 없다. 또한 Es/No 값이 18dB인 경우에 대해서는 비교적 높은 D/U비가 요구되므로, 시스템 요구성능을 만족하는 Es/No 값을 19dB로 정하고, 16.3dB의 보호비를 확보해야 한다. 그림 15는 TID가 512ms인 경우의 분석결과이며, 원하는 성능을 만족시키기 위해서는 요구 Es/No 값을 19dB로 정하고, 18.9dB의 혼신 보호비를 확보해야 한다.

그림 16에서 보는 바와 같이 terrain-obstructed fast 채널에서 TID가 256ms인 경우, 원하는 BER 성능을 만족하기 위해 요구 Es/No 값을 18dB로 정하고, 18.4dB의 보호비를 확보해야 한다. 그림 17은 TID가 512ms인 경우의 분석결과이며, 이는 앞서 설명한 TID가 256ms인 경우와 유사하다. 요구 Es/No 값이 18dB인 경우, 19.5dB의 보호비가 확보되어야 비터비 복호기 출력단에서 원하는 BER

성능을 만족시킬 수 있다

앞선 분석결과로부터 16QAM IBAC DAB 시스템의 각 EIA 채널 프로파일 별로, 요구 Es/No에 대한 동일채널 FM 간섭원의 혼신 보호비(D/U비)를 표 6과 같이 정리할 수 있다.

표 6에서 보는 바와 같이 TID가 256ms의 경우, 동일채널 FM 간섭원이 존재할 때 시스템 성능을 만족시키기 위한 요구 Es/No 값이 표 5와 비교하여 약 1.0 ~ 1.5dB 정도 증가되고, 이때 각 채널별로 약 16.3 ~ 18.6 dB 정도의 혼신 보호비가 요구됨을 알 수 있다. 즉, 동일채널에 위치한 FM 간섭원 전력보다 DAB 전력이 상기 혼신 보호비 이상 되어야 해당 Es/No 값에서 원하는 성능의 DAB 신호수신이 가능함을 의미한다.

표 6. 16QAM IBAC DAB 시스템의 동일채널 FM 간섭원에 대한 D/U비(dB)

Table 6. D/U ratio of 16QAM IBAC DAB system for co-channel FM interfeerer

		Urban slow		Urban fast		Rural fast		TOF	
		Es/No	D/U	Es/No	D/U	Es/No	D/U	Es/No	D/U
TID (ms)	256	18.0	18.6	18.0	16.6	19.0	16.3	18.0	18.4
	512	18.0	18.4	18.0	19.1	19.0	18.9	18.0	19.5

3. 혼신 보호비 적용방법

IBAC DAB 신호 수신가능 지역(service coverage) 분석은 다음과 같은 절차에 따라 이루어진다. 먼저 수신감도를 결정하는 열잡음 레벨을 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$\text{Thermal Noise} = 10\log(kBT) \approx -146.74 \text{ dB} = -116.74 \text{ dBm} \quad (10)$$

여기서, k (Boltzmann's constant) = 1.38×10^{-23} J/K

B (Bandwidth) = 512×10^3 Hz

T (Temperature in degree Kelvin) : 300 K

(상온 30도 기준)

표 5에서 보는바와 같이 rural fast 채널에서 TID가 256ms인 경우, IBAC DAB 시스템 성능을 만족하기 위해 요구되는 Es/No값은 17.5dB이며, 이때 요구되는 수신기 NF(Noise Figure)가 7dB인 경우 수신감도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{수신감도(PdBm)} &= \text{Thermal Noise} + \text{Required C/N} + \\ &\quad \text{Receiver NF} + \text{Correction factor} \quad (11) \\ &= -116.74 + 17.5 + 7 \\ &= -92.24 \text{ dBm} + \text{Correction factor} \end{aligned}$$

식 (11)에 의해 구해진 수신감도에 포함된 correction factor는 송수신기 H/W 구현 손실, 고출력 증폭기의 비선형에 의한 손실 등을 고려한 보정값이다. 반파장 다이폴 안테나를 사용할 경우 수신감도는 식 (12)를 이용하여 수신 전계강도로 변환될 수 있으며[8], FM 간섭원이 존재하지 않는 경우에 한하여 IBAC DAB 신호 수신가능 지역에 대한 예측에 이용된다.

$$E[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = 75.1 + P_{dBm} + 20\log f \quad (12)$$

동일채널 FM 간섭원이 존재하는 경우, 앞서 정리한 혼신 보호비를 이용하여 FM 신호로부터의 간섭 여부를 판단할 수 있다. 표 6에 명기된 Es/No값을 IBAC DAB 시스템의 요구 Es/No값으로 적용하여 얻어진 식 (12)의 수신 전계강도를 기준으로 수신가능 지역을 분석한 후, 각각의 DAB 수신가능 지점에서 DAB 신호와 FM 신호의 수신전력을 비교한다. 이 때 DAB 신호전력이 FM 신호전력에 비해 해당 혼신 보호비(D/U) 보다 큰 경우, 해당 지점에서 요구되는 시스템 성능을 만족시킬 수 있음을 나타내며, 이는 FM 신호로부터의 간섭이 발생하지 않음을 의미한다. 이와 같은 방법으로 동일채널 FM 신호에 대한 간섭분석을 수행한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 IBAC DAB 시스템의 동일채널 FM 간섭원에 대한 혼신 보호비를 분석하였으며, 얻어진 결과값을 이용한 간섭여부 평가방법에 대해 설명하였다. 제안된 IBAC DAB 시스템은 Eureka 147 시스템에 비해 월등히 높은 수신감도를 가짐으로써 적은 출력으로도 더 넓은 지역을 서비스할 수 있으며, 1/3 정도 작은 신호 대역폭으로 인해 동일채널 FM 간섭원에 대한 혼신 보호비는 비교적 높은 값을 나타내었다. 그러나 동일채널 간섭원인 경우, 두 송신소간의 거리 이격을 둠으로써 간섭 영향을 최소화시킬 수 있으므로 이에 대한 영향은 크지 않을 것으로 여겨진다.

향후 FM 대역에서의 신규 IBAC DAB 채널 할당을 위해서는 본 논문의 결과와 더불어 인접채널 FM 신호에 대한 혼신 보호비 분석, IBAC DAB 신호가 FM 신호에 미치는 간섭영향 분석, 그리고 IBAC DAB 신호 상호간의 간섭 영향에 대한 평가가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Radio Broadcasting Systems: Digital Audio Broadcasting (DAB) to Mobile, Portable and Fixed Receivers, ETSI EN 300 401, Sep. 2000.
- [2] Petition for Rulemaking to the United States Federal Communications Commission for In-Band On-Channel Digital Audio Broadcasting, USADR, Oct. 1998.
- [3] Uehara, M., et. al., "Transmission Scheme for the Terrestrial ISDB System," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 45, pp. 101-106, Feb. 1999.
- [4] Brian W. Kroeger & Paul J. Peyla, "Compatibility of FM Hybrid In-Band On-Channel (IBOC) System for Digital Audio Broadcasting," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 43, no. 4, pp. 421-430, Dec. 1997.
- [5] Performance Analysis of American Terrestrial Digital Audio Broadcasting (DAB) Systems, Toledo Univ., Final Project Report, Oct. 1997.
- [6] William C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, pp. 65-78, 1974.
- [7] Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television, ETSI EN 300 799, June 1999.
- [8] 이강영, 이동통신과 마이크로파 통신의 실무와 이론, 기다리, 1993.

저 자 소 개

정 영 호



1992년 2월 : 전북대학교 전자공학과 학사
 1994년 2월 : 전북대학교 전자공학과 석사
 1994년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 선임연구원
 주관심분야 : 디지털 오디오 방송, 디지털 TV 방송, Software Defined Radio

박 소 라



1995년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 학사
 1999년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 석사
 1995년 1월 ~ 1996년 11월 : 삼성전자 영상미디어본부 연구원
 1999년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 연구원
 주관심분야 : 디지털 오디오 방송, 디지털 TV 방송, OFDM 변복조

김 건



1997년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 학사
 1999년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 석사
 1999년 4월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 연구원
 주관심분야 : 디지털 오디오 방송, 통신 및 신호처리, FPGA & ASIC 설계



이 현

1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1996년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1996년 2월 ~ 1999년 3월 : 한국통신기술(주) 연구원
 1999년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 연구원
 주관심분야 : 디지털 방송, 디지털 전송방식, 전파전파모델



이 수 인

1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학박사
 1990년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 DAB시스템연구팀장
 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 변복조 및 채널코딩