

HD Radio에 의한 FM 방송의 간섭 연구

이상운* 종신회원

A study on the interference on FM Radio channel from HD Radio signal

SangWoon Lee* Lifelong Member

요 약

본 연구에서는 디지털 라디오 방송을 도입할 경우 기존의 FM 라디오가 새로 배치되는 디지털 라디오 신호의 배치에 의해 받을 수 있는 간섭에 대해 분석을 하였다. 특히 국내에는 FM 라디오 채널에 DARC 방식의 데이터 채널이 포함되어 서비스 되는 라디오 방송이 있어, 디지털 라디오에 의한 FM DARC 채널에의 간섭에 관심이 많은 상황이다. 디지털 라디오 방식은 기존의 FM 라디오와 동일대역에서 서비스가 가능한 HD Radio 를 적용하였으며, HD Radio 신호와 DARC 신호를 포함한 FM 라디오 방송 시스템의 파라미터들을 고려하여 모의실험을 실시하여 분석하였으며, 그 결과 HD Radio 신호의 배치 및 서비스모드에 따라 DARC를 포함한 FM 라디오에 미치는 간섭을 확인하였다.

Key Words : Digital Radio, FM Radio, HD Radio, DARC, Interference

ABSTRACT

The purpose of this study is to know about the interference on FM Radio channel from HD Radio signal. In Korea, a data service channel, named DARC is operated by a major FM radio broadcaster which has national wide service area. Therefore, an analysis of the interference on FM radio channel with DARC data channel from HD Radio, most recently developed digital radio system. Technical parameters of FM radio with DARC data channel and HD Radio system are considered for this simulation. As results some interference generated because of HD Radio signal according to its signal allocation and service mode of HD Radio.

I. 서 론

최근 라디오방송 디지털화에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있으며, DMB를 포함한 DAB계열 방식, DRM+ 방식 및 HD Radio들이 적용 가능한 방식들이며, 이들을 도입하기 위한 연구들이 수행되고 있다.[1,4]

국내에서 라디오디지털화를 위한 논의는 1997년 텔레비전의 디지털화와 함께 시작되었다. 이후 라디오 디지털화 논의는 수년간 지속되어 2001년에는 FM 라디오를 위한 국내 디지털라디오 방식을 결정하는 결실을 맺게 되었으며, 국내에 적용할 표준방식으로는 유럽방식인 DAB (Eureka-147)가 선정되었다. [2]

그러나 디지털 라디오 방식을 결정하고 상용서비스 추진에 대한 논의가 본격화 되기 전에 디지털텔레비전 이동수신 요구를 해결하기 위한 방안으로 DAB를 이용한 이동텔레비

전서비스인 DMB 서비스의 도입이 결정되었고, 디지털 라디오 도입 추진은 중단되었다. 이후 2005년 말에 지상파 DMB 서비스의 성공적인 상용화가 이루어지게 되었으며, 2006년에는 중단되었던 라디오 디지털화에 대한 논의가 재개되었다.[3]

디지털 라디오 도입 및 방식 결정을 위해서는 고려해야 할 사항들이 여럿 있지만, 새롭게 배치될 디지털 라디오 방송 신호들과 기존 방송신호들과의 간섭에 대한 분석은 방식 결정에 있어서 중요하다.

본 연구에서는 HD Radio 방식의 디지털 라디오 신호가 기존의 FM 라디오 채널에 부가할 경우, 기존 아날로그 방송이 새로 추가되는 디지털 신호에 의해 받는 간섭에 대한 분석을 실시하였다. 특히 국내는 DARC(Data Radio Channel) 방식의 데이터 채널이 FM 라디오 방송에 포함되어 송출되고 있어 이런 특수한 상황을 고려하였다. [4]

*이 논문은 2012년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

*남서울대학교 멀티미디어학과 이동멀티미디어연구실 (Quattro@nsu.ac.kr)

접수일자: 2012년 6월 4일, 수정완료일자 : 2012년 6월 19일, 최종재확정일자 : 2012년 6월 25일

본 서론에 이어서 II장에서는 HD RAdio의 특성에 대해 간략히 설명하고, III장에서는 DARC를 포함한 FM 라디오의 특성에 대해 간략하게 기술한다. IV장에서는 HD Radio와 DARC 신호를 포함한 FM 라디오 신호의 간섭에 대한 분석 방법과 그 실험결과에 대해 상세하게 기술한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 제시한다.

II. HD Radio 시스템

HD Radio는 현재의 아날로그 AM과 FM 라디오에서 완전한 디지털 방송으로 무리 없이 전환하기 위해 개발된 기술로서, 이 방식은 디지털 오디오와 데이터를 기존에 사용하고 있는 중파 및 초단파 라디오 주파수 대역을 이용하여 이동식, 휴대용, 또는 고정형 수신기로 송신할 수 있는 기술이다. 타 디지털 라디오 방식과 차별화되는 특징으로는 현재 서비스되고 있는 아날로그 AM과 FM을 방송서비스를 유지하면서 새로운 디지털 라디오 방송서비스를 함께 제공할 수 있어, 청취자들이 기존의 아날로그 수신기 혹은 새로운 디지털 수신기 모두로 방송 서비스를 이용할 수 있는 장점이 있다.[5]

표 1. HD Radio 방식의 기본 스펙

비교사항	적용 대역			
	AM		FM	
사용 주파수 대역	중파		88~108MHz	
대역 할당 방법	In-Band			
점유 대역폭	H : 30Khz A : 20Khz		H : 140Khz A : 400Khz	
오디오 코딩	PAC			
동시 방송	가능			
전송 방식	OFDM			
변조 방식	QAM		QPSK	
비트율	오디오	36	오디오	96
	데이터	1.2	데이터	48

HD Radio 전송 방식은 현재 라디오 방송에 할당된 주파수 내에서 사용하고 있는 아날로그 방송 대역 위에 디지털 방송 신호를 전달하는 방식이기 때문에, 기존의 AM과 FM 방송 대역 내에서 서비스가 가능하다.

HD Radio의 주파수 대역 할당 방식은 다음과 같이 크게 3가지로 나눌 수 있으며, 아날로그 음성신호의 양 옆에 디지털 정보를 배치하여 전송하는 혼합(hybrid)Mode와 디지털 대역을 확대한 Extended hybrid Mode, 아날로그 대역을 모두 디지털 신호를 보내는 전 디지털(All-digital) Mode가 있다.

1. Hybrid Mode

디지털 신호가 아날로그 FM 신호 외곽의 양 측대역을 통해 송출되는 방식이다. 각 측대역의 강도는 아날로그 FM 신호 강도보다 약 23dB 낮게 전송된다. 아날로그 신호는 모노 또는 스테레오이며, 부가 서비스 채널(SCA)도 포함된다. 양 측대역은 총 20개의 주파수 대역으로 구성되며 Primary Main 대역이라 불린다. 각각은 356에서 545, -356에서 -545 사이의 부반송파(subcarrier)에 할당된다.

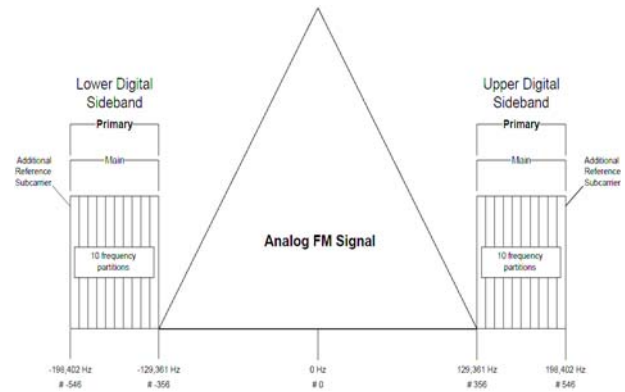


그림 1. Hybrid Mode의 주파수 스펙트럼

2. Extended Hybrid Mode

Extended Hybrid Mode에서는 Primary Main 대역에 Primary Extended 대역을 추가로 할당하여 디지털 전송 신호의 대역폭을 확장한 Mode이다. 추가된 Primary Extended 대역은 기존의 아날로그 FM 대역 안쪽으로 놓이게 된다. Extended Hybrid Mode는 서비스 Mode에 따라 1개, 2개, 혹은 4개의 새로운 디지털 서비스용 주파수 대역이 기본 Primary Main 대역 안쪽에 추가되는 방식으로, 337에서 355(1개 주파수 대역), 318에서 355(2개 주파수 대역), 280에서 355(4개 주파수 대역)을 포함하게 된다.

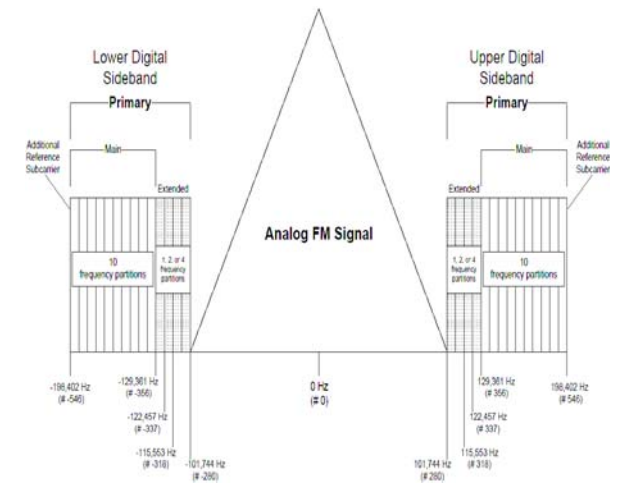


그림 2. Extended Hybrid Mode의 주파수 스펙트럼

3. All Digital Mode

기존의 아날로그 방송대역을 전부 디지털 방송 신호로 대체하는 Mode인 All Digital Mode는 Primary Digital 측대역을 완전히 확장하여 아날로그 신호의 빈 대역에 낮은 전력의 Secondary Digital 대역을 추가하여 만들어진다.

Extended Hybrid Mode에서 지원하는 10개의 Primary Main 대역과 4개의 Extended 대역에다가 기존의 아날로그 대역에 각각의 10개의 Secondary Main과 4개의 Extended 대역을 더 추가하여 지원하는 Mode이다. 각 Secondary 대역은 Additional Reference 방송파를 이용하여 보호 대역을 채널의 정중앙(0)과 Primary 대역과 경계부분에 위치한다.

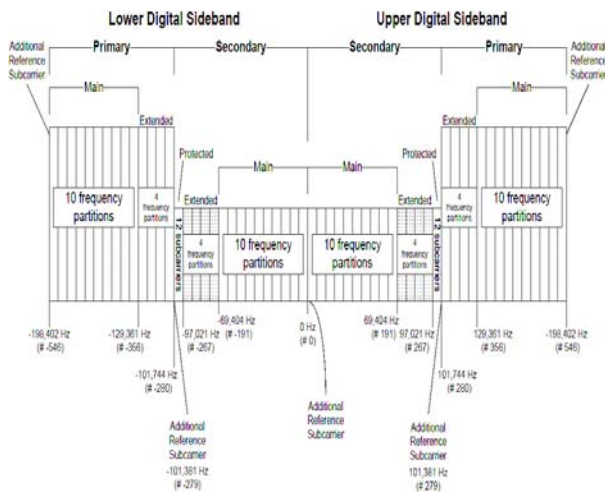


그림 3. All Digital Mode의 주파수 스펙트럼

HD Radio는 디지털 신호를 Primary와 Secondary 영역 (All Digital Mode 일 경우)으로 구분하여 기존 아날로그 AM 및 FM 채널에 방송할 수 있는 방식으로 압축된 디지털 오디오 신호를 인터리빙, 오류 정정부호와 같은 기저대역 신호 처리 기술을 사용하여 전송채널에 안정적인 수신을 보장하고, 기존의 아날로그 신호와의 간섭을 최소화 할 수 있도록 한다.

HD Radio는 서비스 모드에 따라 논리적 구조의 오디오 및 데이터 채널이 다르게 구성되며, 주파수 스펙트럼 형식도 달라진다. Primary 및 Secondary 영역에 적용 가능한 서비스 모드는 <표 2> 및 <표 3>와 같다.

표 2. Primary 영역의 서비스모드 및 스펙트럼

Service Mode	Approximate Information Rate (kbit/s)					Waveform
	P1	P2	P3	P4	PIDS	
MP1	98	N/A	N/A	N/A	1	Hybrid
MP2	98	N/A	12	N/A	1	Extended Hybrid
MP3	98	N/A	25	N/A	1	Extended Hybrid
MP11	98	N/A	25	25	1	Extended Hybrid
MP5	25	74	25	N/A	1	Extended Hybrid, All Digital
MP6	50	49	N/A	N/A	1	Extended Hybrid, All Digital

표 3. Secondary 영역의 서비스모드 및 스펙트럼

Service Mode	Approximate Information Rate (kbit/s)						Waveform
	S1	S2	S3	S4	S5	SIDS	
MS1	0	0	0	98	6	1	All Digital
MS2	25	74	25	0	6	1	All Digital
MS3	50	49	0	0	6	1	All Digital
MS4	25	98	25	0	6	1	All Digital

한편 HD Radio 에서는 오디오 및 데이터 정보신호를 멀티플렉싱하여 Punctured convolution 부호화 한 후 시간 및 주파수 영역에서 diversity 이득을 얻도록 인터리빙을 시킨 다음 QAM(BPSK, QPSK, 16-QAM 및 64 QAM) 변조를 한다. 최종적으로 OFDM 변조된 RF 신호를 기존의 아날로그 방송신호와 blending 시켜 전송하게 된다.

HD Radio 송신 시스템에서 오류정정부호로는 complementary puncture pair convolutional channel coding (CPPCC)을 시간, 주파수 인터리빙과 결합하여 사용한다.

Hybrid 혹은 Extended Hybrid 방식의 HD Radio 전송 시스템의 구성은 [그림 4]와 같다.

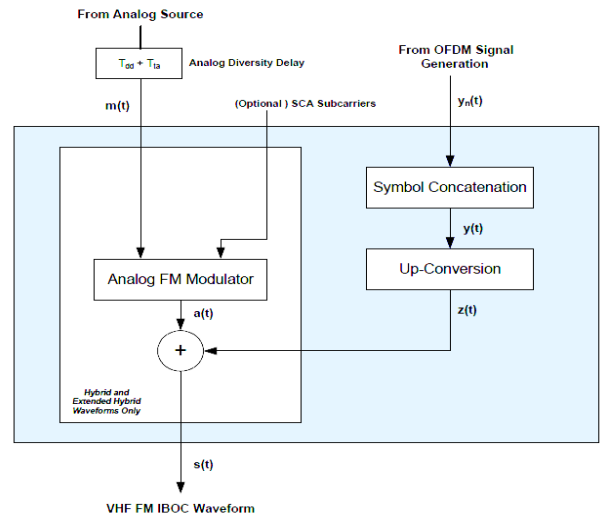


그림 4. Hybrid / Extended Hybrid 전송 시스템

HD Radio 에서는 아날로그와 디지털 신호가 동일한 오디오 방송 프로그램을 전송되는데 아날로그 방식의 오디오 신호와 디지털 방식의 오디오 신호는 전송과정에서 디지털처리시간만큼의 지연 T_{dd} 가 발생된다. 따라서 수신기에서는 아날로그 신호와 디지털 신호로부터 복조된 오디오 프로그램은 시간차가 있어, 이를 보정하기 위해 아날로그 신호단에는 T_{dd} + T_{ta} 만큼의 시간지연을 인위적으로 적용한다. 또한 시간 영역에서 발생하는 각각의 OFDM 심벌신호들은 (식 1)과 같으며, RF 신호로 변환된 신호는 (식 2)와 같다. [5]

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} y_n(t) \tag{1}$$

$$z(t) = \text{Re} \left(e^{j2\pi f_c t} \cdot y(t) \right) \quad (2)$$

III. FM DARC 라디오 시스템

DARC 방식은 FM 라디오의 기저대역에 (식 3)와 같은 방식으로 디지털 신호를 부가하여 전송하는 방식으로서 16KBPS의 데이터 전송율을 갖는다. 데이터를 DARC의 채널 모델은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있으며, e(t)는 입력, s(t)는 출력이다. [6]

$$s(t) = d_I(t) \cos \frac{\pi}{2T} \cos 2\pi f_0 t + d_Q(t) \sin \frac{\pi}{2T} \sin 2\pi f_0 t \quad (3)$$

여기서 $d_I(t)$ 와 $d_Q(t)$ 는 I채널과 Q채널을 나타낸다.

$$d_I(t) = d_0, d_2, d_4, d_6, \dots \text{ (even bits)}$$

$$d_Q(t) = d_1, d_3, d_5, d_7, \dots \text{ (odd bits)}$$

P가 변조된 신호 파형의 평균 주파수일 때 MSK를 적용한 경우의 주파수 스펙트럼 밀도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(f) = \frac{16PT}{\pi^2} \left(\frac{\cos 2\pi f T}{1 - 16f^2 T^2} \right)^2 \quad (4)$$

DARC와 다른 FM 데이터 전송방식인 RDS (Radio Data System)는 BPSK 변조방식을 이용한다.

FM 스테레오 라디오 방송 기저대역에는 좌우채널 오디오 신호의 합신호와 차신호 및 파일럿 신호가 다중화되어 있다. 여기에 데이터 채널이 포함될 수 있으며, RDS와 DARC 방식의 데이터 채널이 부가된 경우, 음성의 차신호(L-R)가 간섭원으로 작용할 수 있다. []

전력레벨이 일정한 RDS와 달리 DARC는 좌우측 채널 음성신호의 차(L-R) 신호의 변조 레벨에 따라 간섭을 최소화하도록 자신의 전력레벨을 변화시키도록 설계되어 있다. (L-R)신호에 의해 야기된 주 FM 방송파의 변이가 2.5% 이하이면 MSK신호는 주 FM 방송파의 4%의 변이를 일으킨다. (L-R) 신호에 의해 야기된 주 FM 방송파의 변이가 5% 이상이면, MSK 신호는 주 FM 방송파의 10%의 최대 주파수 변이를 일으킨다. 이 한계치 사이에서 변이는 선형 관계를 갖는다. MSK는 진폭에 관한 정보를 포함하지 않는 변조 방식이므로, 디코더 측에서 리미터 회로를 사용하여 진폭을 일정하게 유지할 수 있다.

한편 DARC는 16KBits/s의 전송 속도를 가지는 이진 디지털 신호를 입력하며, LMSK (Level Controlled MSK) 변조 방식을 채택하고 있다.

전송주파수로는 이진 디지털 신호는 중심 주파수가 76KHz이고 입력 데이터가 1일 때 76KHz + 4KHz, 입력 데이터가 0일 때는 76KHz - 4KHz인 주파수가 사용된다. DARC신호는 다른 FM 부가 방송용 신호인 RDS에 영향을 주지 않아 양립성이 보장된다.

DARC신호는 LMSK 변조 방식을 사용하기 때문에 DARC신호 발생기의 입력은 16kbps의 디지털 신호뿐만 아니라 L-R신호도 포함된다. [7]

IV. HD Radio 와 FM DARC 신호의 간섭 분석

본 연구에서는 HD Radio와 FM DARC 시스템의 특성들을 고려한 전산모의실험을 통하여 HD Radio와 DARC방식의 데이터 서비스 채널을 포함한 FM라디오 채널간의 간섭 분석을 실시하였다. 전산모의 실험에 사용된 FM-DARC 시스템의 파라미터들은 <표 2>와 같다. 데이터 전송율은 16kbps로 설정하고 오류정정부호는 가로 RS(34,24), 세로 RS(34,24)를 사용하는 프리덱트 부호인 RS(34,24) × RS(34,24)를 사용한다.

FM 변조의 최대 주파수 편이는 75kHz를 사용한다. 전산모의 실험을 위한 채널은 AWGN 채널을 적용하였다.

[그림 5]는 성능분석 대상인 FM-DARC 신호와 간섭신호인 HD-Radio의 주파수 배치도를 보여준다. HD-Radio는 396.804kHz 대역폭을 가지고 FM-DARC 신호의 양 옆의 주파수 대역을 점유하는 In Band 간섭신호와 고주파 대역에 위치하는 N+1 간섭신호, 저주파 대역에 위치하는 N-1 간섭신호로 구성된다. 전산모의실험을 위한 HD Radio 파라미터들은 <표 3>와 같이 MP5와 MP5 + MS1 두 가지 모드가 적용되었고, 아날로그 FM DARC 신호 주파수와 동일 주파수 및 200KHz, 400KHz 의 이격에 대해 간섭 분석이 실시되었다.

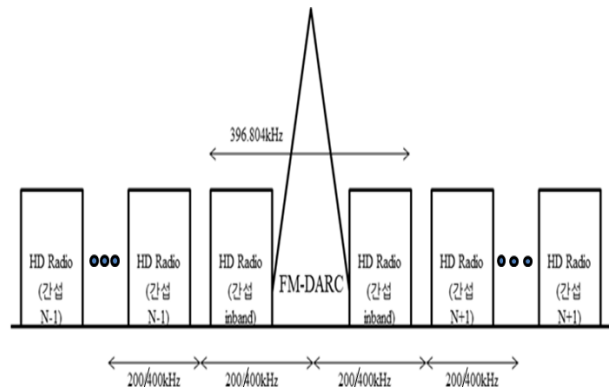


표 3. 동일채널 및 인접채널 간섭

	측정	간섭	채널간격 f_{diff} (kHz)	간섭위치
1	FM+DARC	HD-Radio Hybrid(MP5)	-	In Band
2	FM+DARC	HD-Radio Hybrid (MP5+MS1)	-	In Band
3	FM+DARC	HD-Radio Hybrid(MP5)	200	In Band, N-1, N+1
4	FM+DARC	HD-Radio Hybrid (MP5+MS1)	200	In Band N-1, N+1
5	FM+DARC	HD-Radio Hybrid(MP5)	400	In Band N-1, N+1
6	FM+DARC	HD-Radio Hybrid (MP5+MS1)	400	In Band N-1, N+1

[그림 6]은 AWGN 채널에서의 FM-DARC의 BER 성능을 분석한 결과이며, C/N(반송파 전력 대 잡음 전력비) = 5.3dB에서 BER = 1×10^{-2} 임을 알 수 있다.

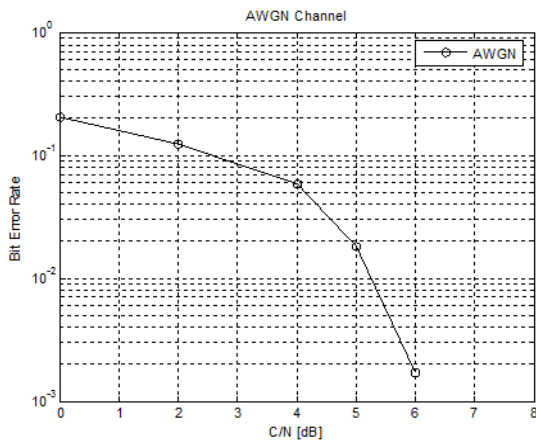


그림 6. AWGN 채널에서의 FM DARC의 BER 성능

[그림 7]은 HD Radio 간섭환경에서 FM-DARC와 HD Radio의 전력 스펙트럼을 보여준다. f_c 는 FM-DARC의 중심 주파수이며 In Band 간섭신호는 전산모의 실험의 모든 경우에 존재한다고 가정한다. FM-DARC와 HD Radio의 채널간격인 f_{diff} 값에 따라서 고주파 대역 간섭인 HD Radio (N+1)과 저주파 대역 간섭인 HD Radio (N-1)가 FM-DARC 신호의 인접대역에 생성됨을 볼 수 있으며, FM 신호와 간섭원으로 작용하는 HD Radio 신호비 (CIR)의 차이가 4dB, 8dB, 12dB인 3 경우를 보여준다.

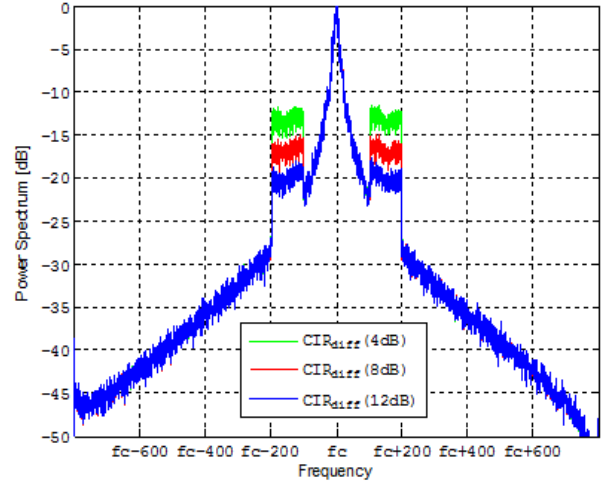


그림 7. HD Radio (MP5) 간섭환경에서 FM-DARC와 HD Radio의 전력 스펙트럼 (In Band)

[그림 8], [그림 9]는 HD Radio 간섭환경에서 FM-DARC의 BER 성능을 보이고 있다. 전산모의 실험에 사용된 HD Radio 간섭환경에서는 AWGN 및 페이딩 왜곡이 모두 없는 이상적인 채널환경에서 HD Radio 간섭만이 존재한다고 가정하였다. 앞서 언급한 바와 같이 HD Radio는 MP5와 MP5+MS1의 두 가지 모드를 실험에 적용하였으며, FM 신호와 간섭원으로 작용하는 HD Radio 신호비 (CIR)을 변화시켜가면서 BER 성능을 분석하였다. [8]

실험결과, MP5 모드의 경우 In band 만 존재하는 경우와 $f_{diff} = 400\text{kHz}$ 인 경우는 10.5dB, $f_{diff} = 200\text{kHz}$ 인 경우 11dB 임을 확인하였다.

MP5+MS1 모드의 경우 In band 만 존재하는 경우와 $f_{diff} = 400\text{kHz}$ 인 경우는 8.5dB, $f_{diff} = 200\text{kHz}$ 인 경우 9dB 임을 확인하였다.

MP5+MS1 모드인 경우 MP5모드에 비해 BER = 1×10^{-2} 를 만족시키는 CIR이 약 2dB 낮았다. 또한 두 모드 모두 주파수 이격 f_{diff} 가 증가함에 따라 커짐에 따라서 FM DARC의 BER 성능이 In Band 만 존재하는 경우의 FM DARC BER 성능에 근접함을 확인할 수 있었다.

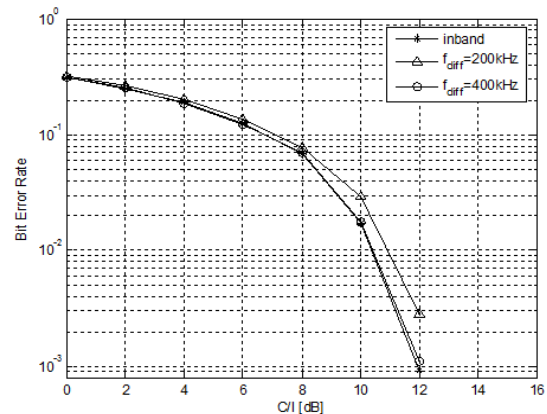


그림 8. HD Radio (MP5) 간섭환경에서 FM-DARC의 BER 성능

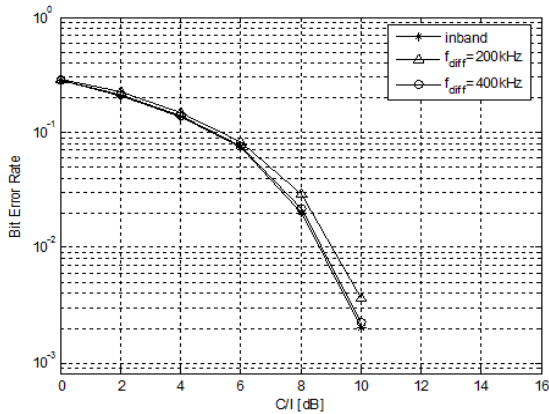


그림 9. HD Radio (MP5+MS1) 간섭환경에서 FM-DARC의 BER 성능

V. 결론

본 논문에서는 현재 서비스가 실시되고 있는 DARC 방식의 데이터 채널을 포함한 FM 라디오 신호에 HD Radio 방식의 디지털 라디오 신호가 주는 간섭을 분석하기 위하여 HD Radio 및 FM DARC 시스템 특성을 살펴보고, 상호 간의 주파수 배치 및 서비스 모드를 고려하여 간섭에 대한 전산실험을 수행하였다.

그 결과 HD Radio 방식의 디지털 라디오 신호가 추가될 경우 간섭이 없는 FM DARC 신호만 존재할 경우 BER = 1×10^{-2} 만족하는 C/N은 5.3 dB 였으나, HD Radio 신호가 MP5 모드로 추가된 경우 10.5dB 및 11dB, MP5+MS1 모드로 추가 배치된 경우 8.5dB, 9dB임을 확인하였다.

또한 두 모드 모두 주파수 이격 f_{diff} 가 증가함에 따라 커짐에 따라서 FM DARC의 BER 성능이 In Band 만 존재하는 경우의 FM DARC BER 성능과 유사해짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 신성균* , 김주석* , 조주필** , 김경석***DRM+의 효율적인 채널배치 방안, 통신위성우주산업연구회논문지 제6권 제1호, p.97-102
- [2] 이상운, “디지털 라디오방송기술 및 표준화 동향”, TTA Journal, 통권 제 109호, 2007, pp. 71-76
- [3] 이상운, 디지털 라디오, 방송과 기술, Vol 195~197, 2012.3~5
- [4] 이상운, DRM+에 의한 FM 라디오 방송채널의 간섭연구, 통신위성우주산업연구회논문지, 제6권 2호, 2011.12, P. 35-40
- [5] HD Radio™ Air Interface Design Description Layer 1 FM, Rev. F, August. 2007
- [6] Lee SangWoon, Bandwith Estimate Scheme with the DARC in FM Broadcasting Networks, LNCS, vol. 3645/2005, p791-800
- [7] EIA 794 - Data Radio Channel (DARC) System, July, 1999
- [8] HD Radio™ FM Transmission System Specifications, Rev.

E, January 30, 2008

- [9] Gorka Prieto, DRM Measurement-System Design and Measurement Methodology for Fixed and Mobile Reception, IEEE Tran. on Instrument and Mesurement, Vol. 57. No.3, Mar.2008

저자

이 상 운(Lee SangWoon)

종신회원



- 1987년 2월 : 연세대학교 전기공학과 학사졸업
 - 1989년 2월 : 연세대학교 전기공학과 석사졸업
 - 2005년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 박사졸업
 - 1991년 5월 ~ 2005년 5월 : MBC 기술연구소
 - 2005년 6월 ~ 2009년 2월 : 연세대학교 연구교수 (차세대방송기술연구센터)
 - 2009년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 멀티미디어학과 교수
- <관심분야> : Mobile Broadcasting, ITS