

DRM+에 의한 FM 라디오 방송채널의 간섭 연구

이 상 운* 종신회원

A study on the interference on FM Radio channel from DRM+ signal

Lee Sang-Woon* 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 가장 최근에 개발된 DRM+를 적용하였으며, DRM+ 와 DARC를 포함한 FM 라디오 방송 시스템의 파라미터들을 고려하여 모의실험을 실시하여 분석하였으며, 그 결과 DARC를 포함한 FM 라디오방송이 DRM+에 의해 간섭을 받지 않는 조건은 이격 주파수 150KHz를 기준할 경우 14.7dB임을 알 수 있었다.

Key Words: Digital Radio, FM Radio, DRM+, DARC, Interference

ABSTRACT

The purpose of this study is to know about the interference on FM Radio channel from DRM+ 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 DRM+, most recently developed digital radio system. Technical parameters of FM radio with DARC data channel and DRM+ system are considered for this simulation. To maintain without no interference from DRM+, FM radio channel with DARC data channel should have the power level difference over 14.7dB at 150KHz frequency distance.

I. 서 론

라디오는 텔레비전과 더불어 중요한 방송매체이며, 집중해서 시청해야하는 텔레비전과 달리 운전 중이거나 일하면서 수도 부담없이 청취가 가능하여 뉴스 등의 정보 전달과 가요 청취 등 여가활용에도 널리 이용되고 있다.

아날로그 라디오 방송의 경우 변조 방식에 따라 AM, FM으로 분류되며, 전송 주파수 대역에 따라 중파, 단파, 초단파로 구분되며, 변조방식 및 주파수 대역은 다음과 같다.

- 진폭 변조: 단파(SW), 3000~30000KHz, 중파(MW) 535~1605KHz

- 주파수 변조: 초단파(VHF) 88~108MHz

한편 디지털 기술의 발전으로 기존 여러 종류의 아날로그 미디어가 디지털로 전환되고 있으나, 라디오의 디지털화

에 대한 논의는 그간 상대적으로 활발하지 않은 편이었다. 그 이유는 방송의 디지털화 과정에서 텔레비전에 많은 관심이 집중됨으로써 상대적으로 라디오의 디지털화는 논의의 우선 순위에서 밀렸던 것으로 판단된다. 그 좋은 예로 디지털 라디오 도입을 위해 추진되어 오던 DAB가 DMB로 변환되어, 라디오 보다는 TV 서비스 위주의 새로운 멀티미디어 방송매체로 전환된 것을 들 수 있다.[1]

그러나 다음과 같은 차원에서 아날로그 라디오의 디지털 전환 필요성은 증가하고 있다.

첫째, 라디오 방송 수용자에게 고급의 방송서비스를 제공, 디지털 라디오 관련 산업 경쟁력 제고, 라디오 방송의 위상 제고와 DMB, IPTV 등 타 미디어와의 경쟁 및 주파수 자원의 효율적 이용 등의 이유로서 라디오의 디지털화가 필요한 상황이다.

디지털라디오 기술로는 DAB(DAB+, T-DMB 포함), HD

*남서울대학교 멀티미디어공학과 모바일멀티미디어연구실 (Quattro@nsu.ac.kr)

※ 이 논문은 2009년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

접수일자 : 2011년 8월 2일, 수정완료일자 : 2011년 12월 2일, 최종 게재 확정일자 : 2011년 12월 15일

Radio, DRM/DRM+ 등이 있으며, 이중 라디오 매체 중에서도 가장 신호도가 높은 FM 라디오의 디지털 전환이 적용이 가능한 방식은 DAB+, DRM+, HD Radio 등이 있다. 국외에서 디지털 라디오 도입을 위한 여러 연구들이 활발하게 수행이 되고 있으며,[2] 국내에도 디지털 라디오 방식들에 대한 도입 및 주파수 배치 방안들이 제시되고 있다.[3]

DRM+는 2009년도에 표준이 제정된 가장 최신의 디지털 라디오 방식으로서 기존의 FM 대역 내외에 배치가 가능하다. 기존 FM 라디오 대역 내에 배치할 경우는 아날로그 라디오주파수의 상측 및 하측대역에 디지털 신호를 부가하여 기존의 아날로그 라디오 주파수에서 아날로그 방송과 디지털 방송을 동시에 수신할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 DRM+ 방식의 디지털 신호를 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 포함이 되어 송출이 되고 있는 특수한 환경임을 고려하여 이 연구를 수행하였다.[4]

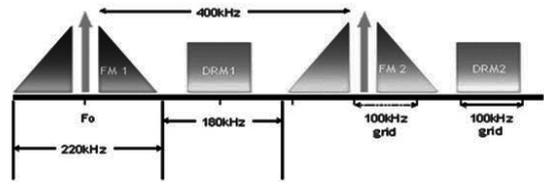
II. DRM+ 시스템 특성

DRM+는 30MHz 이하의 방송주파수까지에만 적용이 가능한 DRM시스템을 120MHz까지 사용할 수 있도록 시스템을 확장하기 위하여 새롭게 개발되었다. 기존 유럽이 제안한 디지털 라디오 방식 중 FM 라디오에 대한 디지털 라디오 기술은 DAB(DAB+)였으며, 이 기술은 아날로그 FM 라디오주파수 대역 외에만 적용이 가능하였으며, 2002년에 표준이 제정된 미국방식 디지털 라디오인 HD Radio가 아날로그 FM 라디오 대역 내에서 서비스가 가능한 것에 자극받아 FM 라디오 대역 내 외에 모두 적용이 가능하도록 기존의 DRM을 개선한 방식이다. 또한 단파, 중파에 적용 가능한 DRM과 호환성이 유지되는 잇점도 있으며, 다양한 종류의 오디오 코덱을 탑재하여 뉴스, 대담 등의 프로그램에는 비트율을 절감하고, 음악 프로그램에는 고품질의 오디오 서비스를 지원한다.

기존 FM 대역 내의 FM 방송채널들 사이의 대역(보호대역)에 DRM+ 신호를 전송하는 방법은 기존의 FM 라디오 방송에 영향을 주지 않는 방법이고 디지털 전환 시 아날로그 FM의 주파수를 그대로 유지할 수 있는 특징이 있다. 이것은 기존 FM 사업자의 기득권을 인정하면서 단계적인 디지털화를 가능하게 하는 대역 할당 방법이다. 통상 FM 라디오채널은 220kHz의 대역폭을 점유하고 있으며, 채널과 채널사이에는 약 180kHz의 보호대역이 설정되어 있다. DRM+는 [그림 1]과 같이 이 180kHz의 보호대역에 1~3개의 DRM+ 블록을 전송할 수 있다.

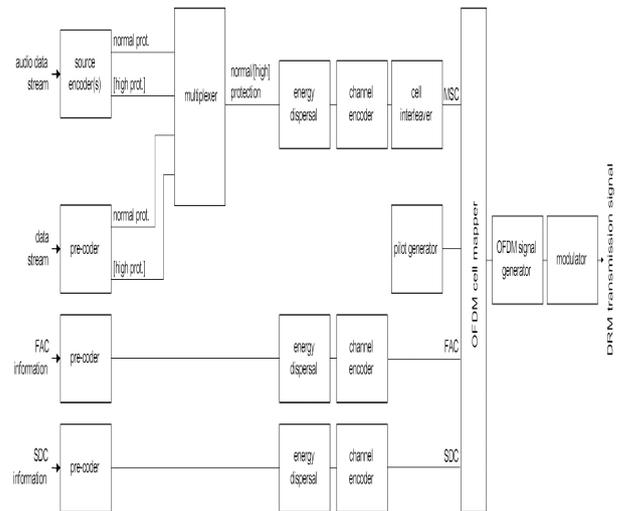
또 다른 대역할당 방법으로는 기존 아날로그 FM 라디오의 송출을 중단하고 그 대역에 DRM+ 신호를 전송하는 방

식이다. 아날로그 FM 라디오의 220kHz 대역을 모두 사용하면 50kHz 대역폭의 DRM+ 블록 4개를 할당할 수 있다. 이와 같은 방식을 사용하면 기존 아날로그 FM의 증폭기를 비롯한 송출 인프라를 그대로 사용할 수 있다.



[그림 1] DRM+ 대역할당

DRM+의 오디오 코딩 방식은 DRM의 코딩을 대부분 수용하였으며, 대역폭의 증가로 높아진 데이터율을 이용해 Dolby surround 5.1 채널까지 수용하도록 향상되었다. DRM은 오디오 압축 부호화 기법으로 MPEG-4 AAC와 SBR (Spectral Band Replication)을 사용하며, 음성 압축 부호화 기법으로는 사용 가능한 비트율에 따라 MPEG-4 CELP (Code Excited Linear Prediction)와 MPEG-4 HVXC(Harmonic Vector eXcitation Coding)를 사용한다. DRM에서 사용하는 SBR은 채널당 약 2Kbps정도의 적은 데이터 량으로 고품질의 오디오 서비스 재생가능하다. DRM+는 주 콘텐츠인 오디오, 데이터, 고속접속채널 (FAC ; Fast Access Channel) 및 SDC (Station Description Channel) 등을 포함하며, 종단에 위치한 OFDM 신호발생기와 변조기 등을 포함하는 구조이며 [그림 2]와 같다.[5]



[그림 2] DRM 전송시스템 구조

DRM+의 채널 모델은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있으며, e(t)는 입력, s(t)는 출력이다.

$$s(t) = \sum_{k=1}^n \rho_k c_{k(t)} e(t - \Delta_k) \tag{1}$$

pk : 경로 k의 감쇄상수
 Δk : 경로 k의 상대적 지연

식 (1)의 {ck(t)}는 시변 탭의 가중치이며, 영의 평균을 갖는 고정 가우시안 랜덤 프로세스 (stationary Gaussian random processes)이다. 절대치 |ck(t)|는 레이라이분포이며, ϕ(t)는 균일하게 분포되어있다.[5]

한편 DRM+의 OFDM 전파전도 파라미터들은 <표 1>과 같이 주어지며, 채널 모델은 <표 2>와 같다. [6]

<표 1> DRM+의 OFDM 파라미터

Elementary time period T	83 1/3 μs
Duration of useful (orthogonal) part $T_u = 27 \cdot T$	2.25 ms
Duration of guard interval $T_g = 3 \cdot T$	0.25 ms
Duration of symbol $T_s = T_u + T_g$	2.5 ms
T_g/T_u	1/9
Duration of transmission frame T_f	100 ms
Number of symbols per frame N_s	40
Channel bandwidth B	96 kHz
Carrier spacing $1/T_u$	444 4/9 Hz
Carrier number space	$K_{min} = -106; K_{max} = 106$
Unused carriers	none

<표 2> DRM+의 채널 모델

Channel model (Name)	Velocity	Remark
Channel 7 (AWGN)	0 km/h	no time variation
Channel 8 (Urban)	2 km/h and 60 km/h	pedestrian and vehicle speed
Channel 9 (Rural)	150 km/h	vehicle speed on highways
Channel 10 (Terrain obstructed)	60 km/h	vehicle speed within built-in areas
Channel 11 (Hilly terrain)	100 km/h	vehicle speed along country roads
Channel 12 (SFN)	150 km/h	vehicle speed on highways

III. FM DARC의 시스템 특성

DARC 방식은 FM 라디오의 기저대역에 (식 2)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.

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

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

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

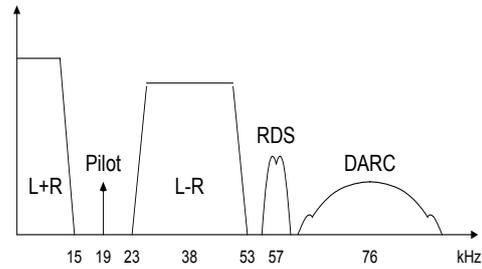
$$d_Q(t) = d_1, d_3, d_5, d_7, \dots \quad (\text{odd bits})$$

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

$$G(f) = \frac{16 PT}{\pi^2} \left(\frac{\cos 2\pi f T}{1 - 16 f^2 T^2} \right)^2 \quad (3)$$

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 경우의 기저대역 신호를 [그림 3]에 나타내었다. RDS나 DARC 방식의 데이터의 신호에 대해 상대적으로 전력이 높은 좌우측채널 음성의 차신호(L-R)가 간섭원으로 작용할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 3] 디지털 데이터신호를 포함한 FM라디오 기저대역신호

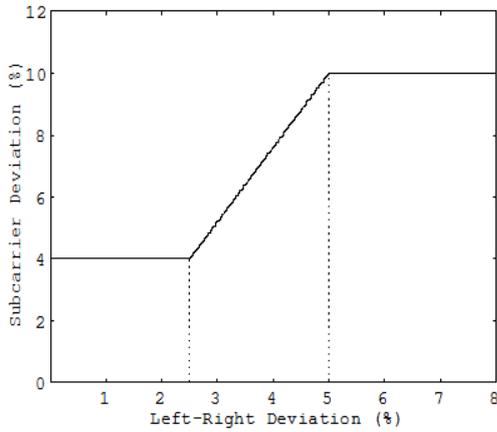
전력레벨이 일정한 RDS와 달리 DARC는 좌우측 채널 음성신호의 차(L-R) 신호의 변조 레벨에 따라 간섭을 최소화하도록 자신의 전력레벨을 변화시키도록 설계되어 있으며, [그림 4]는 L-R신호와 MSK신호의 최대 주파수 변이와의 관계를 보여주고 있다. (L-R)신호에 의해 야기된 주 FM 방송파의 변이가 2.5% 이하이면 MSK신호는 주 FM 방송파의 4%의 변이를 일으킨다. (L-R) 신호에 의해 야기된 주 FM 방송파의 변이가 5% 이상이면, MSK 신호는 주 FM 방송파의 10%의 최대 주파수 변이를 일으킨다. 이 한계치 사이에서 변이는 선형 관계를 갖는다.

MSK는 진폭에 관한 정보를 포함하지 않는 변조 방식이므로, 디코더 측에서 리미터 회로를 사용하여 진폭을 일정하게 유지할 수 있다. 따라서 MSK변조는 레벨이 제어되는 시스템 적합하며, 레벨이 제어되는 MSK를 LMSK (Level-controlled Minimum Shift Keying) 라고 한다. [7]

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

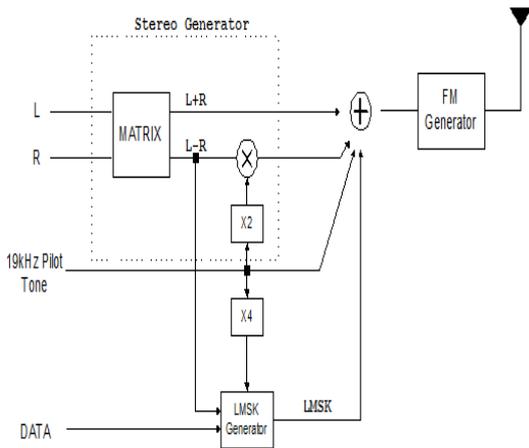
전송주파수로는 이진 디지털 신호는 중심 주파수가 76KHz이고 입력 데이터가 1일 때 76KHz + 4KHz, 입력

데이터가 0일 때는 76KHz - 4KHz인 주파수가 사용된다. DARC신호는 다른 FM 부가 방송용 신호인 RDS에 영향을 주지 않아 양립성이 보장된다.



[그림 4] DARC 변이 특성

DARC신호는 LMSK 변조 방식을 사용하기 때문에 DARC신호 발생기의 입력은 16kbps의 디지털 신호뿐만 아니라 L-R신호도 포함된다. [그림 5]는 DARC 방식의 FM 부가 방송을 위한 시스템의 구조를 보여준다.



[그림 5] DARC를 포함하는 FM방송시스템 구조

IV. 간섭 분석을 위한 모의 시스템 구성

본 연구에서는 앞서 살펴본 DRM+ 와 FM DARC 시스템의 특성들을 고려한 전산모의실험을 통하여 DRM+ 와 DARC방식의 데이터 서비스 채널을 포함한 FM라디오 채널 간의 간섭 분석을 실시하였다. 전산모의 실험에 사용된 FM-DARC 시스템의 파라미터들은 다음과 같다.

데이터 전송율은 16kbps로 설정하고 오류정정부호는 가로 RS(34,24), 세로 RS(34,24)를 사용하는 프리덕트 부호인 RS(34,24)×RS(34,24)를 사용한다.

또한 FM 변조의 최대 주파수 편이는 75kHz를 사용한다. 전산모의 실험을 위한 채널은 AWGN 채널, DRM+ 의

OFDM 파라미터들은 <표 1>을, 채널 프로파일은 <표 2>의 프로파일 8(Urban)과 9(Rural)를 적용하였고, 수신기 이동 속도는 프로파일 8에 대해 2km/h, 60km/h가 적용되었으며, 프로파일 9에 대해서는 150km/h를 적용하였으며, 수신성능에 대한 분석 결과는 <표 4>, <표 5>와 같다.

<표 3> FM DARC 시스템 파라미터

시스템 파라미터	값
전송률	16kbps
오류정정부호	RS(34,24)×RS(34,24)
인터리빙	블록 인터리빙
전송 프레임	272bits × 272bits
최대 주파수편이	75kbps

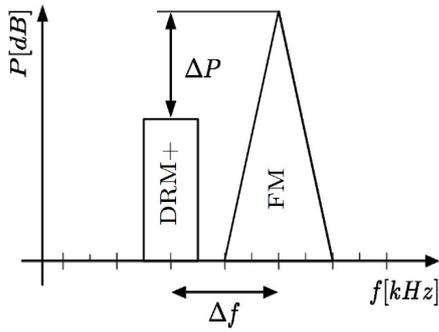
<표 4> DRM+ 채널 프로파일 8 (Urban)

Velocities: 2km/h and 60km/h (pedestrian and vehicle speed)			
Path no.	Delay in μ s	Relative power in dB	Path type
1	0.0	-2.0	Classical
2	0.2	0.0	Classical
3	0.5	-3.0	Classical
4	0.9	-4.0	Classical
5	1.2	-2.0	Classical
6	1.4	0.0	Classical
7	2.0	-3.0	Classical
8	2.4	-5.0	Classical
9	3.0	-10.0	Classical

<표 5> DRM+ 채널 프로파일 9 (Rural)

Velocities: 150km/h (vehicle speed on highways)			
Path no.	Delay in μ s	Relative power in dB	Path type
1	0.0	-4.0	Classical
2	0.3	-8.0	Classical
3	0.5	0.0	Classical
4	0.9	-5.0	Classical
5	1.2	-16.0	Classical
6	1.9	-18.0	Classical
7	2.1	-14.0	Classical
8	2.5	-20.0	Classical
9	3.0	-25.0	Classical

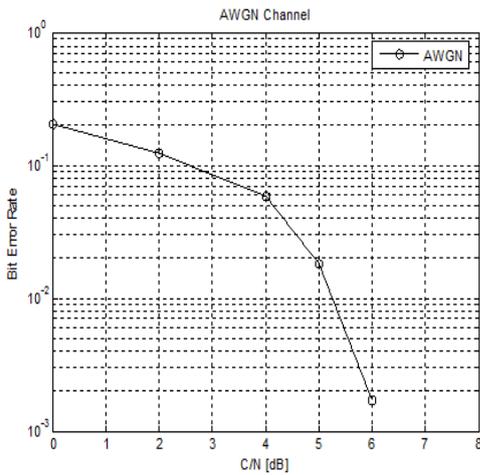
<그림 6>은 성능분석 대상인 FM DARC 신호와 간섭신호인 DRM+ 의 주파수 배치도이며, DRM+ 규격에서 FM 신호와 DRM+ 의 전력차 ΔP 는 20dB 이상, FM 주파수와 DRM+ 주파수 차 Δf 는 150KHz 이상이 되어야 함을 제시하고 있다. 본 모의실험에서는 FM과 DRM+ 간의 주파수차 Δf 를 150, 200, 250KHz로 적용하였다.



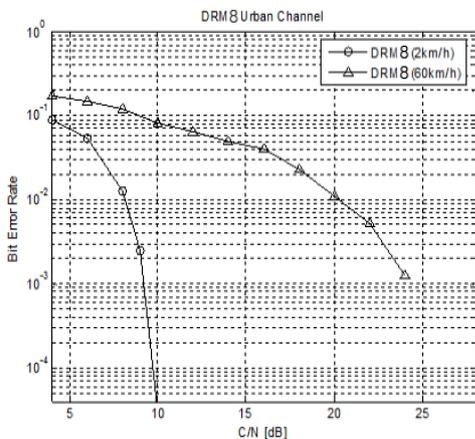
[그림 6] FM DARC와 DRM+의 신호 배치

V. 분석 결과

DRM+ 와 DARC를 포함한 FM 라디오와의 간섭 정도를 파악하기 위하여 앞서 설정한 채널 환경 하에서 FM DARC의 BER 성능을 분석하였다. <그림 7>은 AWGN 채널에서의 FM DARC의 BER 성능을 보이고 있으며 C/N(반송파 전력 대 잡음 전력비) = 5.3dB에서 BER = 1×10⁻²을 만족함을 알 수 있다.

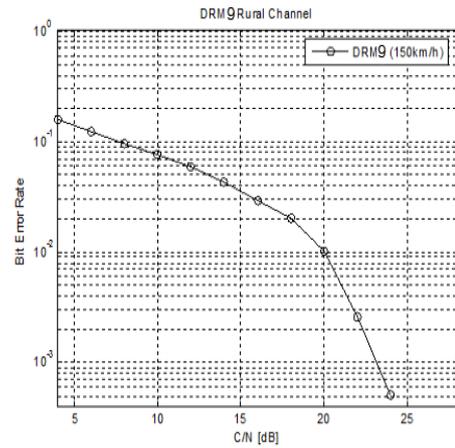


[그림 7] AWGN 채널에서의 FM DARC의 BER 성능

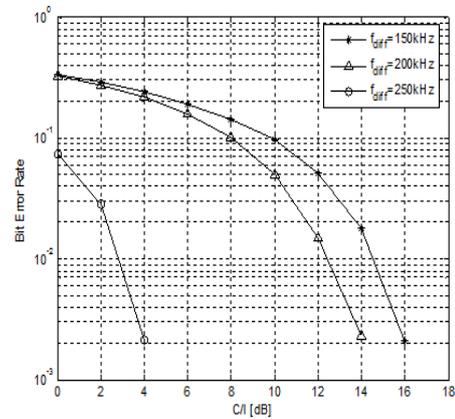


[그림 8] DRM+ 채널 프로파일 8에서의 FM DARC의 BER 성능

[그림 8]과 [그림 9]는 DRM+ 채널 프로파일 8와 9을 적용했을 경우의 FM DARC의 BER 성능을 보여준다. DRM+ 채널 프로파일 8의 경우, 수신기의 이동속도를 2km/h와 60km/h로 설정하고 FM DARC의 BER을 측정하였으며, 이동속도가 2km/h인 경우 더 우수함을 확인하였다. 2km/h인 경우는 C/N = 8dB에서 BER = 1×10⁻²을 만족하였고 60km/h인 경우는 C/N = 20dB에서 BER = 1×10⁻²을 만족하였다. DRM+ 채널 프로파일 9의 경우, 수신기의 이동속도는 고속도로에서의 이동체를 가정하여 150km/h로 적용하였으며 C/N = 20dB에서 BER = 1×10⁻²을 만족함을 확인하였다.



[그림 9] DRM+ 채널 프로파일 9에서의 FM DARC의 BER 성능



[그림 10] DRM+ 간섭환경에서의 FM DARC BER 성능

[그림 10]은 DRM+ 간섭환경에서 FM DARC의 BER 성능을 보이고 있다. 전산모의 실험에 사용된 DRM+ 간섭환경에서는 AWGN 및 페이딩 왜곡이 모두 없는 이상적인 채널환경을 가정하였으며, 오직 DRM+ 간섭만이 존재한다고 가정하였다. 실험결과 fdiff가 커짐에 따라서 FM DARC의 BER 성능이 향상됨을 확인할 수 있는데, BER = 1×10⁻²를 만족하는 C/I(반송파 전력 대 간섭 전력비)는 fdiff=150kHz인 경우 14.7dB, fdiff=200kHz인 경우 12.5dB, fdiff=250kHz인 경우는 2.8dB 임을 확인하였다.

즉 DARC 방식의 데이터신호가 포함된 경우에도 DRM+와 FM 주파수 간격 Δf 가 가장 가까운 150KHz 인 경우에도 FM 신호와 DRM+의 전력차 ΔP 는 14.7dB면 아날로그 FM 방송만인 경우의 성능이 보장되므로, DRM+ 규격에서 제시하는 20dB의 전력차를 유지했을 경우, FM 신호의 성능은 더욱 우수하여 DRM+의 간섭영향을 무시해도 좋다는 결론을 도출할 수 있었다.

VI. 결 론

본 연구에서는 현재 아날로그 방송으로 제공되고 있는 FM 라디오의 디지털 방식 전환에 활용하기 위해 DRM+ 방식의 디지털 라디오 신호가 DARC 방식의 데이터 서비스 채널을 포함한 아날로그 FM 라디오에 미치는 간섭 영향을 분석하였다.

모의실험 결과, DRM+와 FM 주파수 간격 Δf 가 커짐에 따라서 FM DARC의 BER 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한 DRM+에 의해 DARC를 포함한 FM 라디오 방송 채널에 간섭을 주지 않는 조건은 DRM+와 FM 주파수 간격이 150KHz인 경우 14.7dB, 200KHz인 경우 12.5dB, 250KHz인 경우는 2.8dB임을 확인하였다. 또한 이 결과는 DRM+ 규격에서 제시하는 Δf 150KHz 이상이며, FM 신호와 DRM+의 전력차 20dB에 비해 충분한 여유가 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 이상운, "디지털 라디오방송기술 및 표준화 동향", TTA Journal, 통권 제 109호, 2007, pp. 71-76
- [2] Gorka Prieto, "DRM Measurement-System Design and Measurement Methodology for Fixed and Mobile Reception", IEEE Tran. on Instrument and Measurement, Vol. 57. No.3, Mar.2008
- [3] 신성균, 김주석, 조주필, 김경석, "DRM+의 효율적인 채널배치 방안", 통신위성우주산업연구회논문지 제6권 제1호, p.97-102
- [4] Lee SangWoon, Bandwith Estimate Scheme with the DARC in FM Broadcasting Networks, LNCS, vol. 3645/2005, p791-800
- [5] ETSI ES 201 980 V3.1.1 (2009-08), "Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification"
- [6] Planning Parameters for DRM Mode E (DRM+) Vol. 3.0
- [7] EIA 794-Data Radio Channel (DARC) System, July, 1999

저자

이 상 운 (Lee Sang-Woon)

중신회원



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