

# 전세계 디지털 라디오 수신 베이스밴드 프로세서의 설계 및 FPGA 구현

이경택, 김성준, 박용석, 김용훈\*  
전자부품연구원, \*피애피네트웍

## 요약

디지털 라디오는 세계적인 디지털화에 따라 아날로그 AM/FM을 대체하는 차세대 라디오 기술이다. 그러나 단일 표준을 제공하는 아날로그 AM/FM 서비스와는 달리 디지털 라디오 서비스는 국가와 대륙에 따라 상이한 기술표준 방식을 채택하거나 하나에 국가에서도 주파수에 따라 다른 표준을 채택하고 있어 서로 호환이 불가능하여 호환성 문제가 야기되고 있다. 전세계적으로 디지털라디오는 DAB/DAB+, DRM30/DRM+, HD-Radio 방식이 있다. 본 논문에서는 하나의 단일 플랫폼으로 이러한 복수 디지털 라디오 기술 표준을 지원하는 FPGA기반 전세계 디지털 라디오 수신 베이스밴드 프로세서의 설계와 구현 방안을 제시한다.

최근 차량용 디지털 라디오 수신기를 제조하는 제조사 중심으로 디지털라디오의 표준인 DRM, DRM+, DAB, DAB+, DMB-Radio, 및 HD Radio를 동시에 지원하는 전세계 디지털 라디오 수신 칩셋의 요구가 시장에서 일고 있다.

본 고에서는 전세계 디지털 라디오 방송 표준인 Digital Radio Mondiale (DRM30/DRM+), Digital Audio Broadcasting(DAB/DAB+), 및 HD-Radio를 지원하는 전세계 디지털 라디오 멀티 수신 베이스밴드 프로세서의 설계 및 FPGA 구현에 대해 제시하고자 한다. 다양한 디지털 라디오 표준에서 제공하는 오디오 및 데이터 서비스가 하나의 통합된 FPGA 플랫폼에서 효과적으로 디코딩될 수 있도록 설계 방안을 제시하고 FPGA를 통해 구현한다. 구현된 FPGA를 사용하여 수신 플랫폼을 설계 제작하여 그 성능을 테스트 하였다.

## I. 서론

전세계 디지털 라디오는 유럽의 Eureka-147 기반의 DAB/DAB+/DMB-Radio와 유럽의 디지털 AM/FM 방식인 DRM30/DRM+, 및 북미지역의 디지털 AM/FM 방식의 HD-Radio 등을 포함하며 전 세계적으로 상용화 방송중이거나 상용화 예정인 라디오 방송이다.

디지털 라디오는 고품질 오디오 서비스는 물론, 교통, 증권 및 영상 등 다양한 부가데이터 서비스를 언제 어디서나 제공할 수 있는 라디오 방송이다. 전세계 디지털 라디오의 다양한 디지털 라디오 서비스 방식은 대륙별 국가별로 서로 다른 방식이 채택되고 있으며, 아날로그에서 디지털로의 변환 시점과 맞물려 인프라 및 관련 산업 시장이 급격히 증가되는 추세이다.

라디오 방송의 경우, 전 세계적으로 단순 오디오 서비스만을 제공하던 기존 아날로그 라디오 방송에서 고품질 오디오 및 부가 데이터 서비스가 가능한 디지털 방송 방식으로의 전환을 위한 다양한 시도들이 이루어지고 있으며 일부 국가는 이미 디지털라디오 방송 서비스를 제공하고 있다.

## II. 본론

### 1. 디지털 라디오 기술 표준

본 섹션에서는 디지털 라디오 방송 표준에 대해 각 표준별 특징을 간략한 설명을 하고자 한다.

#### 1.1 DAB/DAB+ 기술 표준

Eureka-147(European research coordination agency project-147)은 1987년부터 영국을 중심으로 유럽에서 개발된 차세대 디지털 라디오 프로젝트 이름으로 실용화 과정에서 DAB(Digital Audio Broadcasting)라 부르기 시작하였으며, '디지털 오디오 방송'을 총칭한다.

유럽의 방송통신 표준화 기관인 ETSI에서 1995년 유럽 표준(ETSI EN300 401)으로 채택하였으며, ITU-R에서는 BO.1130-4의 권고안에 System A로 채택하였음

DAB/DAB+/T-DMB Audio의 규격은 Eureka-147의 DAB Family 규격으로 Codec Issue를 제외하면 거의 동일한 규격이다. 기존의 아날로그 방식인 AM/FM 방송보다 잡음 및 다중 경

로 방해 등에 강하며, CD 수준의 고품질 방송이 가능하다. 또한 주파수를 효율적으로 사용할 수 있으며 디지털 방송을 통하여 부가 데이터 서비스가 가능하여 문자, 이미지 등 다양한 멀티미디어 서비스를 통하여 새로운 산업과 시장을 창출 할 수 있다.

표 1. DAB 전송모드

전송모드 항목	1	2	3	4
용용	지상파(SFN)	지상파	지상/케이블	지상파
반송파 주파수	< 375 MHz	< 1.5 GHz	< 3 GHz	< 1.5 GHz
부반송파 수	1,536	384	192	768
부반송파 간격	1 KHz	4 KHz	8 KHz	4 KHz
보호구간 길이	246 μs	62 μs	31 μs	123 μs
유효심볼 길이	1ms	250 μs	125 μs	500 μs
프레임 길이	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
널 심볼 길이	1,297 ms	324 μs	168 μs	648 μs
프레임당 심볼수	76	76	153	76
변조방식	$\pi/4$ -DQPSK			
샘플링 주파수	2.048 MHz			
시간 인터리빙	Depth = 384 MHz			
주파수 인터리빙	Width = 1.536 MHz			
시스템 대역폭	1.536 MHz			
유효 데이터율	0.8 ~ 1.7 Mbps			

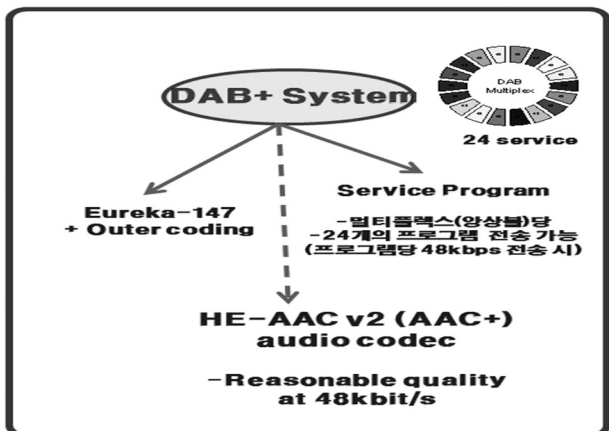
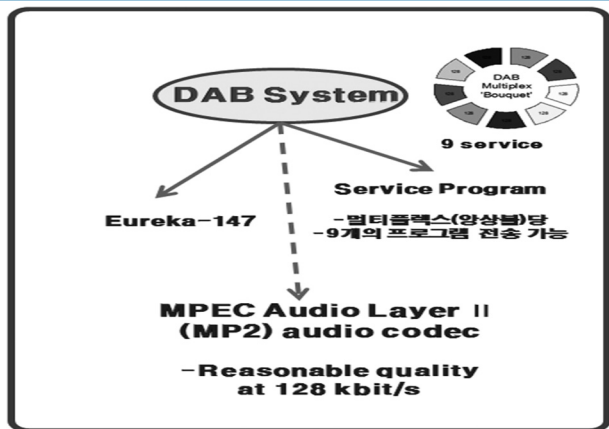


그림 1. DAB/DAB+ 시스템비교

DAB+는 DAB에 비해 전송 용량이 2배 향상된 기술로 멀티플렉스 당 24개의 프로그램(프로그램 당 48Kbps 전송 시)을 전송 가능하다. 그림1에 DAB와 DAB+ 시스템을 비교하였다.

### 1.2 DRM(DRM30/DRM+) 기술 표준

미국, 유럽 기업의 연합 컨소시엄이 개발한 DRM(Digital Radio Mondiale)은 2009년 하반기 유럽의 표준기구인 ETSI(ETSI ES 201 980 v3.1.1)에서 승인된 새로운 디지털 라디오 기술로 9KHz 혹은 10KHz의 전송 대역폭을 기본으로 하고 오디오 압축 부호화 기법으로 MPEG-4 AAC와 SBR (Spectral Band Replication)을 사용하는 디지털 라디오 기술 표준이다.

DRM은 초기에 30MHz 이하의 AM 주파수 대역을 위한 디지털 솔루션으로 개발되었으나(DRM30), 기술적 향상으로 150KHz에서 120MHz 사이의 모든 라디오 주파수 영역에서 사용 가능한 유연한 디지털 라디오 표준으로 탈바꿈 하였다(DRM+). DRM을 확장하는 이 기술은 DRM+ 라는 이름으로 명명되었고 좀 더 넓은 대역이 사용되며, 방송 사업자들과 수신기 제조업체의 요구사항을 수용한 결과이다. <그림 2>에 기술 표준별 사용 주파수 대역을 나타냈다.

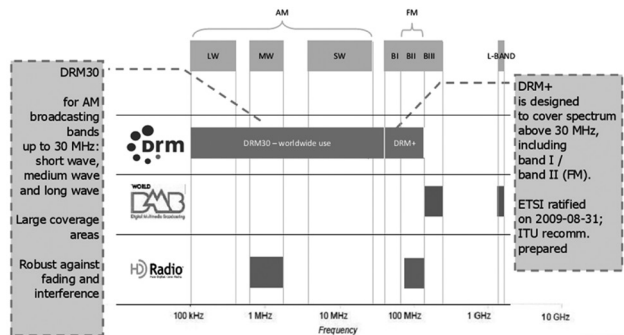


그림 2. 기술표준별 사용 주파수 대역

FM대역에서 라디오 방송사가 더 높은 비트율을 사용할 수 있도록 함으로써 더 좋은 음질의 오디오 제공을 위하여 DRM+는 CD 수준으로 라디오 방송을 하기 위해서는 100kHz의 대역폭을 사용하며 최대 190kbps의 전송률을 지원한다. <그림 3>에 In-band로 사용되는 DRM+의 주파수 밴드를 나타냈다. <표 2>에는 DRM의 전송모드와 전송파라미터를 나타냈다.

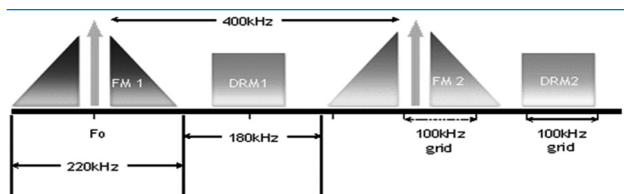


그림 3. In-band로 사용 되는 DRM+ 주파수 대역

DRM30/DRM+에서 오디오 외에 데이터 서비스는 오디오 부가 정보로써 간단한 문자 또는 이미지 전달 및 양방향서비스가 가능하며 방송 부가정보 외에 방송과 독립적으로 외부 디바이스와의 연결을 통한 데이터 서비스를 제공할 수 있다.

표 2. DRM 전송 모드

항목	모드 A	모드 B	모드 C	모드 D	모드 E (DRM+)
T (μs)	83 <sup>1/3</sup>	83 <sup>1/3</sup>	83 <sup>1/3</sup>	83 <sup>1/3</sup>	83 <sup>1/3</sup>
유효심볼 길이(ms)	24(288×T)	21 <sup>1/3</sup> (256×T)	14 <sup>2/3</sup> (176×T)	9 <sup>1/3</sup> (112×T)	2 <sup>1/4</sup> (27×T)
보호구간 길이(ms)	2 <sup>2/3</sup> (32×T)	5 <sup>1/3</sup> (64×T)	5 <sup>1/3</sup> (64×T)	7 <sup>1/3</sup> (88×T)	0 <sup>1/4</sup> (3×T)
보호구간/유효심볼	1/9	1/4	4/11	11/14	1/9
전체심볼 길이(ms)	26 <sup>2/3</sup>	26 <sup>2/3</sup>	20	16 <sup>2/3</sup>	2 <sup>1/2</sup>
프레임 길이(ms)	400				100

DRM은 아날로그 사업자의 기존 방송 서비스 제공 및 기존 인프라 활용을 통한 디지털 전환 비용 최소화 등의 요구사항을 만족시킬 수 있는 아날로그, 디지털 동시 방송(Simulcast) 서비스 기능을 지원하며, 각 시스템간의 인터페이스 표준 규격을 포함한다.

### 1.3 HD Radio 기술 표준

HD Radio는 미국의 Ibiquity가 개발한 IBOC (In-Band On-Channel) 라는 새로운 라디오 기술 방식에 기반을 두고 있다. HD Radio는 88에서 108MHz FM 대역과 525에서 1705KHz의 AM 대역의 아날로그 라디오를 대체하는 디지털 라디오 방송 표준이다.

HD Radio는 아날로그 AM과 FM 라디오에서 완전한 디지털 방송으로 무리 없이 진화하기 위해 개발된 기술로, 현재 대부분의 방송은 아날로그 FM과 디지털 방송을 동시에 지원하는 Hybrid Mode형태의 방송 서비스를 하고 있다.

HD Radio는 2002년 PAC 오디오 코덱을 사용하였으나 2003년부터 MPEG-4 HE-AAC와 유사한 HDC (High-Definition Coding) 코덱을 사용하고 있다.

#### 1.3.1 HD Radio FM : 하이브리드(Hybrid)모드

HD Radio는 디지털 전환을 위한 Hybrid 단계는 Hybrid와 Extended Hybrid 모드가 있다. <그림 3>처럼 첫번째 단계에서는 기존의 AM 또는 FM 아날로그 신호와 디지털 신호를 컴바인하여 동시 방송한다[4].

- 100kbps data throughput, 96kbps for audio, and 4kbps for PAD
- Allocation adjustable
- Supports Stereo Analog and SCA / RDS

- Digital sub-carriers are 20dB (1/100th) below analog

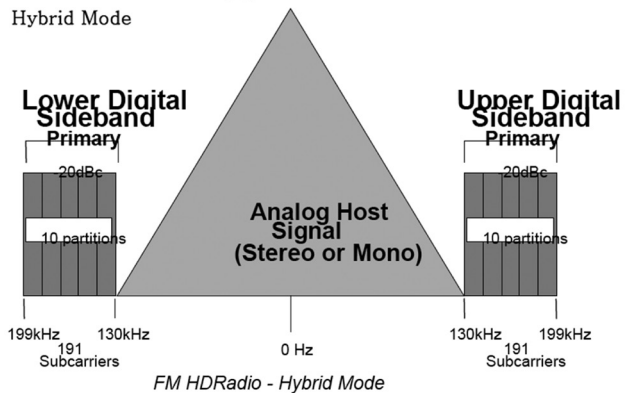


그림 4. HD Radio FM 하이브리드 모드

#### 1.3.2 HD Radio FM : 확장 하이브리드 모드

다음은 확장 하이브리드 모드의 특징이다.

- 151kbps data throughput, 96kbps for audio, and 55kbps for data
- There will be some impact to the host in extended hybrid mode
- Allocation adjustable
- Supports Stereo Analog and SCA / RDS
- Digital sub-carriers are 20dB (1/100th) below analog

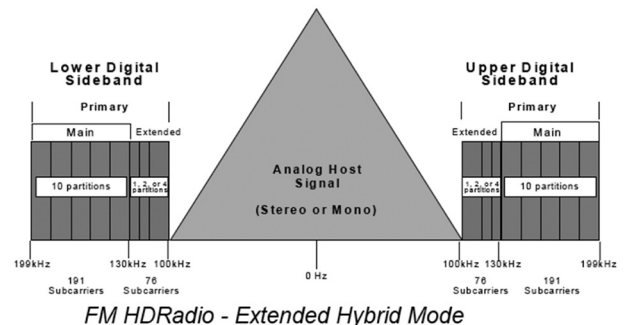


그림 5. HD Radio FM 확장 하이브리드 분석

#### 1.3.3 HD Radio FM : Full 디지털 모드

HD-Radio는 ASO(Analog Swich Off)를 위하여 전 대역에서 디지털만 사용하는 Full Digital Mode를 지원한다. 그 특징은 아래와 같다.

- 300kbps data throughput, 96kbps for audio, and 204kbps for data
- Allocation adjustable
- Conventional FM signal is no longer present

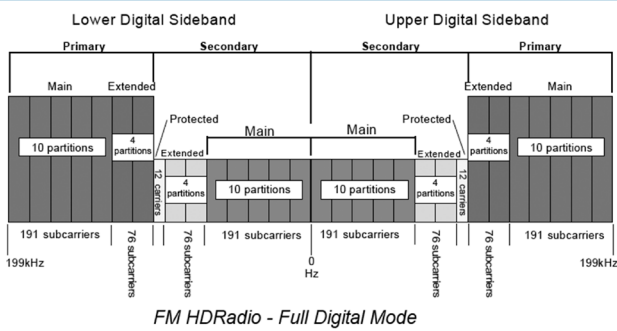


그림 6. HD Radio FM Full 디지털모드 분석

## 2. 시스템 설계

〈표 3〉은 각각의 기술표준에 대한 디지털라디오의 특징이 나타난다. 표에서 보는 바와 같이 각각의 기술표준은 OFDM 전송방식을 사용하며 코덱에 있어서도 유사성을 볼 수 있다. 따라서 이러한 유사성으로 서로 다른 기술표준에 대해 수신 베이스밴드 프로세서 설계 시 공통 블록을 사용하여 재 사용률을 높여 FPGA 구현 시 전체 게이트 사용률을 최소화 하는 것이 가능하다. 게이트 사용률은 향후에 베이스밴드 프로세서를 칩셋으로 제작하는 경우 칩셋 크기와 가격 경쟁력에 가장 주요한 요소가 된다. 공유블록은 ADC, 디지털필터링, 기술표준에 대한 채널 디코딩, 오디오 코덱, 데이터 스트림 디코딩등 여러 블록에 적용될 수 있다.

표 3. 디지털 라디오 기술표준에 따른 특징

	DAB/DAB+	DRM
Frequency Band	Band-I, II, III, IV, L-Band	<30MHz
Bandwidth (kHz)	1536	4.5/5/9/10/18/20
Transmission Scheme	OFDM	OFDM
Used subcarriers	192/384/768/1536	288/256/176/1125
Subcarrier spacing(Hz)	1/2/4/8 (kHz)	41.67/46.88/68.18/107.14
Modulation	p/4-DQPSK	4/16/64 QAM
Channel Coding	Punctured CC R=1/4,3/8,1/2,3/4	Punctured CC based MLC
Data Rate (kbps)	1152(PL3)	20-24 (9~10kHz)
Audio Codec	MUSICAM HE-AAC v2	AAC/CELP/HXVR + SBR

	DRM+	HD Radio
Frequency Band	<174MHz	AM:MF FM:88~108MHz
Bandwidth (kHz)	96	AM:30(H1),20(A2) FM:140(H1),400(A2)

	DRM+	HD Radio
Transmission Scheme	OFDM	OFDM
Used subcarriers	-	AM:105, FM:1093
Subcarrier spacing(Hz)	447.1	AM:181.7, FM:726.74
Modulation	4/16 QAM	AM:2/4/16/64QAM FM:QPSK
Channel Coding	Punctured CC based MLC RS+CC for packet	CPPCC4
Data Rate (kbps)	35 -190	AM:36(AU),12(DA) FM:96(AU),48(DA)
Audio Codec	AAC/CELP/HXVR +SBR MPS 5.1/7.1 ch	HDC

〈그림 7〉에 단일방식을 지원하는 기존의 수신기 블록도 대비 공유블록을 사용하는 전세계 디지털 라디오 수신기의 블록도를 비교하여 나타낸다. 기존에는 각각의 RF, 베이스밴드, 미들웨어, 오디오 코덱이 각 디지털 기술표준에 대해 필요하였다. 본 논문에서는 1개 이상의 기술표준이 재사용할 수 있는 공유블록을 설계하여 베이스밴드, 미들웨어, 오디오코덱의 크기를 최적화함으로써 전세계 디지털 라디오 수신모듈의 크기와 가격에 대해 경쟁력을 확보하고자 한다.

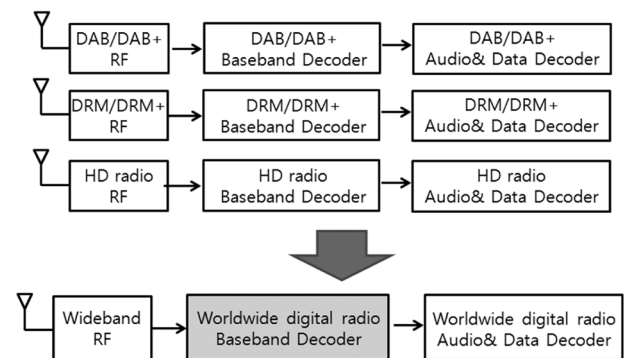


그림 7. 전세계 디지털 라디오 수신 베이스밴드 디코더 블록도

## 3. 전세계 디지털라디오 수신 베이스밴드 구현

### 3.1 FPGA 기반 베이스밴드 디코더 구현

DAB/DAB+, DRM30/DRM+, 및 HD-Radio 수신을 지원하는 전세계 디지털 라디오 수신 베이스밴드 디코더를 Xilinx Vertex-4 FPGA 2개를 사용하여 구현하였다. 〈표 4〉에 Vertex-4 FPGA에 대한 주요 사양을 나타내었다.



표 4. Vertex-4 FPGA의 주요 사양

	Vertex-4
Device	XC4VLX200
Slices	89,088
Block RAM(Kb)	6048
Speed Grade	-10
User I/O	960

〈그림 8〉은 전세계 디지털 라디오 베이스밴드 디코더의 블록도를 나타낸다. 회색 블록이 1개 이상의 기술표준에서 사용하는 공유블록을 나타낸다. 외부 SRAM은 수신단에서 시간 도메인에서 수행한 인터리빙을 디코딩하는 디인터리빙을 위해 사용되었다. 외부의 DSP는 I2C 시리얼 인터페이스를 통해 FPGA 동작을 제어한다. FPGA상에서 구현된 디지털라디오 수신 베이스밴드는 DSP에 의해 제어되는 레지스터 세팅에 따라서 전세계 디지털라디오 모드중 하나로 동작하게 된다.

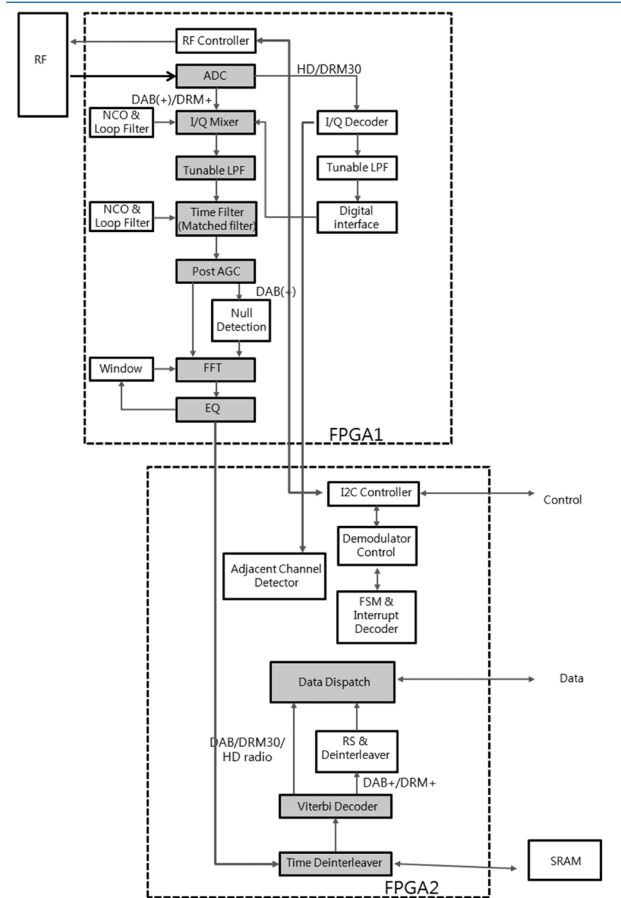


그림 8. 전세계 디지털 라디오 수신 베이스밴드 디코더 블록도

### 3.2 수신 플랫폼 구현

수신플랫폼은 RF 모듈, FPGA상에서 구현된 베이스밴드 디

코더, DSP 보드, 그리고 PC 기반 운영 소프트웨어로 구성되어 있다. 〈그림 9〉에 수신 플랫폼의 블록도가 나타나 있다. DSP 프로세서로는 피앤피네트웍사의 PN3022를 사용하였다[6]. PN3022는 180MHz로 동작하는 텍사스 24bit DSP 코어, USB 디바이스, 그리고 여러 통신 인터페이스 디바이스를 포함하고 있다. RF 튜너로 미릭스의 MSi002가 사용되었다[7]. MSi002는 AM의 장파로부터 L-Band 영역까지의 주파수 밴드 내에 디지털라디오 기술표준의 수신을 지원하는 멀티밴드, 멀티모드 튜너 IC이다. PC기반의 애플리케이션 소프트웨어는 수신 플랫폼을 제어하고 오디오 디코딩, 데이터 디코딩, 수신 파라미터 모니터링, 그리고 사용자 인터페이스를 담당한다.

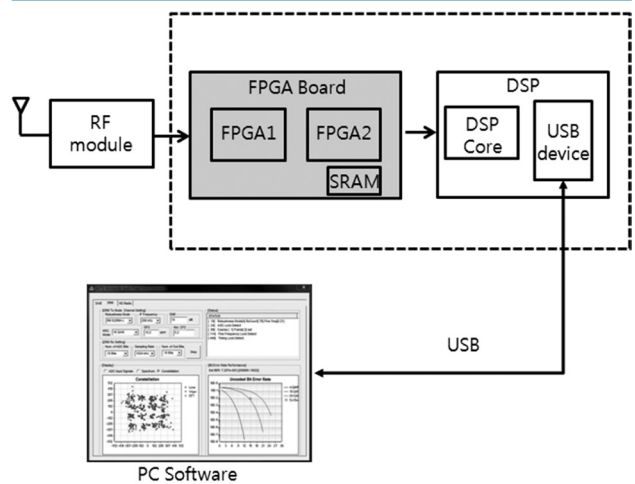


그림 9. 전세계 디지털라디오 수신 플랫폼 블록도

## 4. 테스트와 결과

개발된 시스템은 실험실 환경에서 디지털라디오 표준인 DAB/DAB+, DRM30/DRM+, 및 HD-Radio 각각에 대해 상용 송신기를 구축하여 온에어로 수신 테스트를 진행하였다. 〈그림 10〉에 수신테스트 환경을 나타내었다.

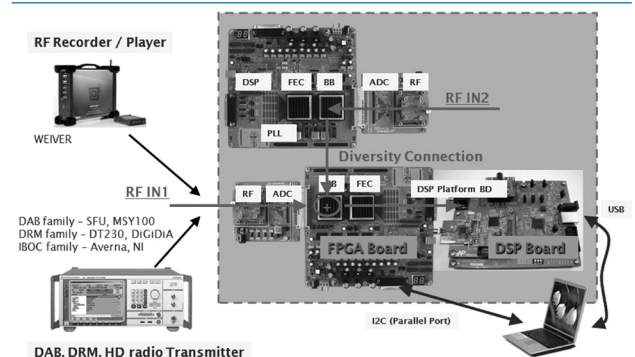


그림 10. 수신테스트 환경

또한 DAB, DRM30, DRM+에 대해서는 상용 및 실험 방송 스트림에 대해서도 수신 테스트를 진행하였다.

〈그림 11〉은 구현된 전세계 디지털 라디오 수신 플랫폼을 보여준다.

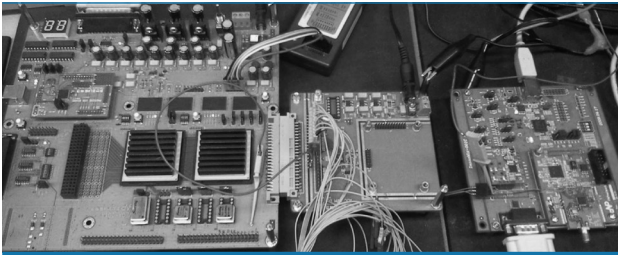


그림 11. 구현된 전세계 디지털 라디오 수신 플랫폼

〈표 5〉에는 FPGA1과 FPGA2에 대한 설계 파라미터를 정리하였다.

표 5. FPGA 설계 파라미터

	FPGA1	FPGA2
Slices	89,086(99%)	87,766(98%)
Block RAM(Kb)	78(23%)	190(56%)
Gate count	7,215,672	14,107,924

〈그림 12〉에는 구현된 전세계 디지털 라디오 베이스밴드 디코더의 BER 성능을 보여준다.

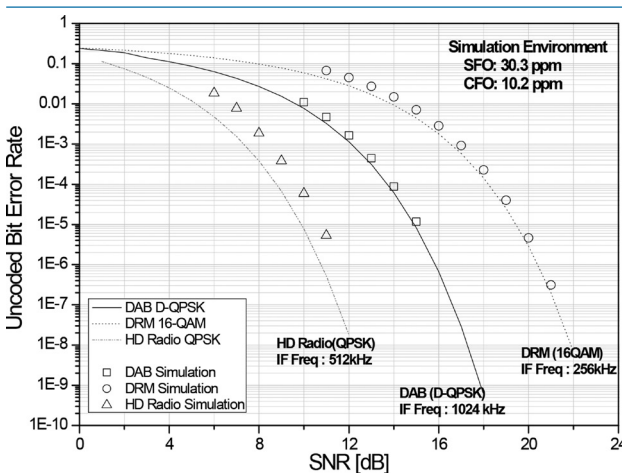


그림 12. 전세계 디지털 라디오 수신 베이스밴드 프로세서의 BER 성능

DAB는 D-QPSK, DRM의 경우 16-QAM, HD-Radio의 경우 QPSK에 대해 BER 성능을 실험실 환경에서 테스트한 결과이다.

### III. 결론

디지털 라디오 기술 표준인 DAB/DAB+, DRM30/DRMM+, 및 HD-Radio 수신을 지원하는 전세계 디지털 라디오 수신 베이스밴드 프로세서를 FPGA로 구현하였다. 또한 각각의 디지털 라디오 기술표준이 제공하는 서비스들을 디코딩하기 위해 PC 기반의 애플리케이션 소프트웨어를 구현하였다. 구현된 시스템은 전세계에서 방송중인 디지털 라디오 방송을 하나의 플랫폼에서 수신이 가능하여 수신기 제조사에 다양한 유연성을 제공할 수 있다. 구현된 FPGA 기반 베이스밴드 플랫폼은 향후 DSP를 포함하여 하나의 SoC로 구현할 예정이다.

### Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10039196, 전 세계 라디오 수신기술 및 스마트 기기 연동을 위한 스마트 플랫폼 개발]

### 참고 문헌

- [1] ETSI Standard, Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification, ETSI ES 201 980, V3.1.1, 2009-08.
- [2] "Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers," ETSI EN 300 401 v1.4.1, Jan, 2006
- [3] Kyung-Taek Lee Yong-Suk Park, Se-Ho Park, Jong-Ho Paik and Jong-Soo Seo, "Development of Portable T-DMB Receiver for Data Service," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol.53, no.1, February 2007.
- [4] Young-Hwan You and Kyung-Taek Lee "Accurate Pilot-Aided Sampling Frequency Offset Estimation Scheme for DRM Broadcasting Systems," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol.56, no. 4, December 2010
- [5] Seong-Jun Kim, Kyung-Won Park, Kyung-Taek Lee, and Hyung-Jin Choi, "Digital Tuner Implementation Using FM Tuner for DRM Plus Receivers," IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2012

- [6] PnpNetwork Technologies, Inc., "PN3022 [DAB/FM/RDS/MP3 SOC] DATA SHEET," Ver. 1.2, October 2007.
- [7] Mirics Semiconductor, "MSi002 Multi-mode Tuner data sheet"
- [8] 강민구, 권기원, 백종호, 이경택, "차세대 World Wide Radio 동향 분석", 한국인터넷정보학회, pp. 30~36, 2010.10

## 약 력



이 경 택

1994년 인하대학교 전자재료공학과 학사  
 1996년 인하대학교 전자재료공학과 석사  
 2008년 연세대학교 전기전자공학과 박사  
 1996년~1998년 (주)인켈 연구원  
 1998년~2001년 (주)아이앤씨테크놀로지  
 선임연구원  
 2002년~현재 전자부품연구원 미래방송통신사업  
 기획단 단장  
 관심분야: 디지털방송시스템, 임베디드SW



김 성 준

2002년 성균관대학교 전기전자및컴퓨터 공학부  
 학사  
 2004년 성균관대학교 전기전자및컴퓨터 공학과  
 석사  
 2013년 성균관대학교 전기전자및컴퓨터 공학과  
 박사수로  
 2004년~2006년 (주)삼성탈레스 주임연구원  
 2006년~현재 전자부품연구원 네트워크융합연구  
 센터 선임연구원  
 관심분야: 차세대디지털방송시스템,  
 디지털 신호처리



박 용 석

1997년 (美)카네기멜론대학교 전기컴퓨터공학 학사  
 1998년 (美)카네기멜론대학교 전기컴퓨터공학 석사  
 1998년~2000년 (주)에스원 주임연구원  
 2000년~2003년 (주)아이앤씨테크놀로지  
 주임연구원  
 2013년~현재 전자부품연구원 네트워크융합연구  
 센터 선임연구원  
 관심분야: 유무선 통신 시스템, 홈 네트워크,  
 모바일 스마트 운영체제



김 용 훈

1986년 경북대학교 전자공학 학사  
 1986년~2000년 삼성전자 시스템 LSI사업부  
 선임연구원  
 2000년~현재 피앤피네트워크(주) 대표이사