

# 등화형 T-DMB 동일채널 중계기 성능 검증을 위한 계측 기능 개발

\*박소라 \*\*이용훈 \*\*\*김건 \*\*\*\*배병준 \*\*\*\*\*이용태 \*\*\*\*\*송윤정

한국전자통신연구원

\*parksora@etri.re.kr

## Development of Monitoring Equipment for E-DMBR

\*Park, So-Ra \*\*Lee, Yong Hoon \*\*\*Kim, Geon \*\*\*\*Bae, Byungjun \*\*\*\*\*Lee, Yong Tae

\*\*\*\*\*Song, Yun Jeong

Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

### 요약

지상파디지털멀티미디어방송(Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting: T-DMB) 시스템 수신기는 이동 환경에서 방송신호의 원활한 수신을 요구한다. 따라서, 일정 레벨 이상의 전계강도와 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN) 구축을 반드시 요구하게 된다. 본 논문에서는 단일 주파수 망을 통해 T-DMB 신호를 서비스하기 위해 설치하고 있는 등화형 T-DMB 동일채널 중계기(Equalization-Digital Multimedia Broadcasting On-Channel Repeater, E-DMBR)의 성능 및 신호 품질을 측정하기 위한 T-DMB RF 신호 모니터링 장비(T-DMB Monitoring System : DMR)에 대한 요구사항을 고찰하고, 그러한 요구사항을 만족하기 위한 모니터링 장비의 구조 및 구현 방법을 제안하며, 이를 이용한 개발 사례에 대한 결과를 보인다.

## 1. 서론

T-DMB 시스템은 이동수신 성능이 우수한 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송기술을 사용하는 Eureka-147 DAB (Digital Audio Broadcasting) 시스템을 기반으로 개발 되었다 [1]. 이동 수신의 원활한 서비스를 위해서는 수신기에 일정 레벨 이상의 전계강도와 SFN 망 구축이 요구된다. T-DMB 시스템에서 SFN을 구성하기 위한 기술로는 GPS (Global Positioning System)를 이용하여 송신기간 동일한 주파수를 사용하는 DTxT(Distributed Transmitter) 기술과 송신기와 중계기가 동일한 주파수를 사용하는 동일채널 중계기 기술로 크게 나누어지며, 두 기술을 혼용하여 SFN을 구성하는 것이 일반적이다 [2]. DTxT를 이용하는 방법은 출력전력이 높고 송신신호의 품질이 우수한 장점이 있지만, OFDM 시스템의 보호 구간(guard interval) 길이에 따라 송신기들 사이의 거리가 제한되고 유지 및 보수 비용이 높다는 단점을 가지고 있고, 동일채널중계기를 이용하는 방법은 설치가 용이하고 유지 및 보수 비용이 낮지만, 출력전력이 낮고 출력신호의 품질이 떨어진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 단일 주파수 망을 통해 T-DMB를 서비스 하기 위해 설치하고 있는 E-DMBR의 개발에 있어 중계기 성능에 크게 영향을 미치는 케환신호 제거 및 채널 등화 성능 측정을 용이하게 하기 위해 필요한 DMR에 대해 기술한다. DMR은 T-DMB 신호의 RF 특성 및 수신 상태를 간략히 측정할 수 있는 장비로, E-DMBR 개발 시 시스템의 케환신호 제거 성능 및 채널 등화 성능을 측정하여 시스템 개

발에 있어 편의성 및 신뢰도를 보장할 수 있다. 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 DMR에 대한 요구사항을 고찰한다. 둘째, 이러한 요구사항을 만족하기 위한 DMR의 구조 및 구현 방법을 제안한다. 셋째, 구현된 DMR을 이용하여 E-DMBR의 개발에 이용한 결과를 보이고자 한다.

## 2. T-DMB 모니터링 장비 요구사항

E-DMBR의 개발에 있어 등화기의 성능 검증[3] 및 케환신호 제거기의 성능[4]을 검증하기 위해서는 E-DMBR 출력신호의 RF 특성을 측정하는 것이 필요하다. 이를 위한 DMR의 요구사항을 아래와 같이 정의 하였다.

1. A/V 모니터링 : 현재 측정하고자 하는 채널의 대략적인 구성 정보 및 서비스 정보를 모니터링 하기 위해, 비디오 출력, 오디오 출력, 앙상블 라벨, 서비스 라벨, TII(Transmitter Identification Information) 정보 등
2. 신호 성좌도 : 수신 성능을 예측 할 수 있도록 하기 위해, 수신 신호의 성좌도, 대략적인 SNR(Signal to Noise Ratio) 및 SER(Symbol Error Rate) 등
3. 스펙트럼 : 주파수 영역에서의 신호 특성을 보기 위해, 일반적인 상용 RF 계측기와 같이 정확한 값은 아니지만, 주파수상에서의 수신 신호의 특성을 대략적으로 읽을 수 있도록 하기 위해
4. CIR(Channel Impulse Response) : 수신 채널의 시간영역 특성을 보기 위해, E-DMBR 개발에 있어 등화기 성능 및 케환신호 제거기의 특성을 보기 위해

※ 본 연구는 방송통신위원회, 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술 개발사업의 일환으로 수행하였음. [2009-S-021-01, 동일주파수망에서의 터널용 T-DMB 재난방송 기술개발]

### 3. 구조 및 구현 방법

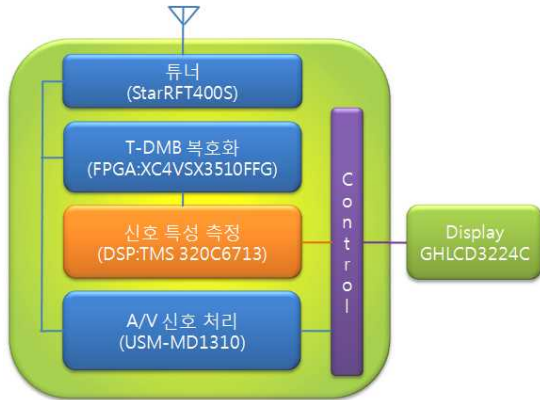


그림 1. DMR의 구조

2절의 요구사항을 만족하기 위한 DMR의 구조는 그림 1과 같다. 수신된 RF 신호 중 특정 채널을 선택하고, IF 신호로 내린 신호를 T-DMB 복호화부가 받아 수신 동기를 맞춘 후 PRS(Phase Reference Symbol)를 포함한 3개의 OFDM 심볼 신호를 신호 특성 측정부로 보낸다. 신호 특성 측정부에서는 신호 성좌도, CIR, 스펙트럼 등을 위한 신호를 처리하게 된다. 또한 튜너로부터 수신된 신호는 A/V 신호처리부가 받아 A/V 모니터링을 위한 신호 처리를 하게 된다. 처리된 신호들은 디스플레이 장치 등을 통해 화면, 스피커 등으로 외부로 전달하는 구조이다. 그림 2는 상기 구조를 구현하기 위한 전체 블록도이다.

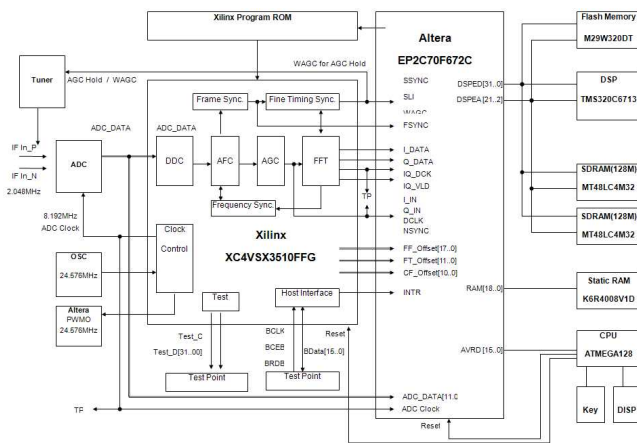


그림 2. 전체 시스템 블록도

그림 3은 RF 수신을 하고 T-DMB 복호화부와 호환되며 RF 회로부의 RF 설계 오차를 줄일 수 있도록 인티그레이션된 StarRFT400S 튜너이다. 튜너는 Band-3를 지원하고 주파수는 174~240 MHz 범위를 갖으며 최대 Sensitivity는 -102dB이다. 출력되는 IF 출력의 중심주파수는 2.048MHz 이다. PLL을 위한 X-tal의 Reference 클럭은 24.576MHz를 사용하였다.

그림 4는 T-DMB 복호화부로 튜너에서 처리된 IF 신호를 수신하여 신호 특성 측정부에서 사용할 PRS 신호 앞 뒤 3개 심볼을 찾아 수신 동기 오류를 보상하여 신호 특성 측정부로 보내는 역할을 한다. FPGA의 내부 기능 블록으로는 IF 대역의 ADC 신호를 기저 대역의 I, Q 신호로 분리하는 Digital Down Converter(DDC), 추정된 주파수 오차를 이용하여 보정해주는 Automatic Frequency

Control(AFC), OFDM 심볼 별로 신호 전력을 계산하여 적절한 신호 크기를 유지시켜 주는 Automatic Gain Control(AGC), 시간축 상의 신호를 주파수축 상의 신호로 변환해주는 Fast Frequency Transform(FFT), 96ms 주기를 갖는 T-DMB 프레임의 시작위치를 검출하는 프레임 동기, OFDM 심볼의 정확한 시작 위치를 검출하는 미세 심볼 동기, OFDM 신호의 소수배 주파수 오프셋을 추정하는 미세 주파수 동기, OFDM 신호의 정수배 주파수 오프셋을 추정하는 대략적 주파수 동기, 24.576Mhz 클럭 신호를 입력 받아 8.192 MHz ADC 클럭, 2.048 MHz 기저 클럭 등으로 분주하고, Power on reset 신호를 입력 받아 동기 블록과 연계하여 soft reset 신호를 발생하는 클럭/Reset Controller 등이 있다.

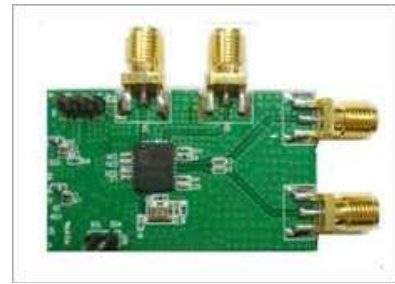


그림 3. StarRFT400S 튜너

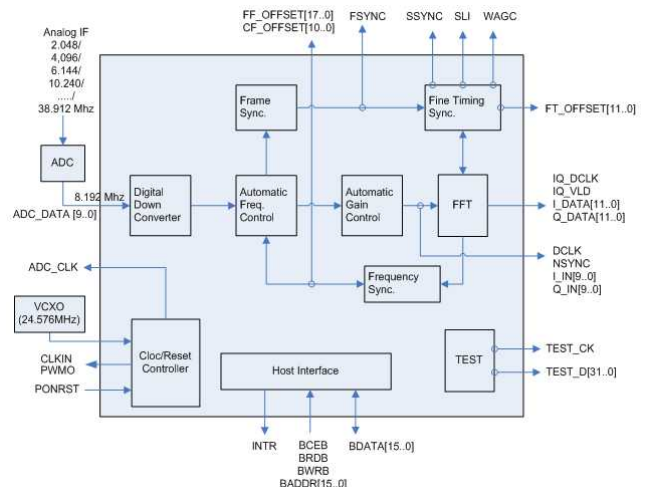


그림 4. T-DMB 복호화부

신호 특성 측정부는 T-DMB 복호화부로부터 받은 PRS 앞 뒤 3개 심볼을 받아 스펙트럼, 성좌도, CIR 등을 연산하는 역할을 한다. 신호의 수신 특성을 측정하기 위해서 T-DMB 복호화부로부터 받은 신호는 채널에 의한 특성 이외에는 어떠한 영향도 남아있지 않아야 한다.



그림 5. 신호 특성 측정부의 잔존 동기 오류 보상

그러나, 실제 구현에 있어 튜너 및 복호화부의 성능에 의해 영향이 남아있게 된다. 이러한 부가적인 영향을 제거하지 않으면 측정된 신호 특성의 신뢰도가 떨어지게 된다. 따라서 이러한 부가적인 영향을 줄이기 위해 신호 특성 측정부는 부가적인 신호 처리 동작이 추가되어야 한다. 우선 T-DMB 복호화기의 동기 성능 한계로 잔존하는 동기 오류값들을 추정하여 재 보상한다. 그림 5에서와 같이 심볼 동기, 주파수 동기, 위상 동기, 샘플링 동기 들을 재 추정하여 보상한다.

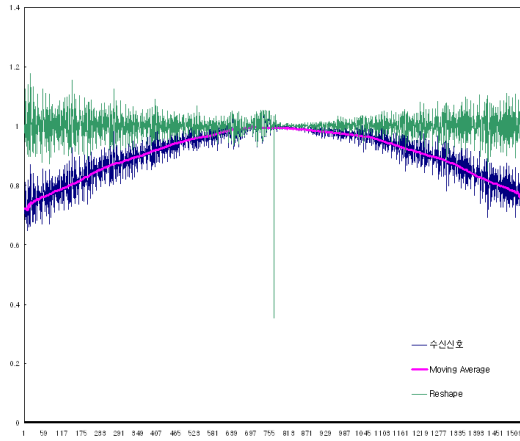
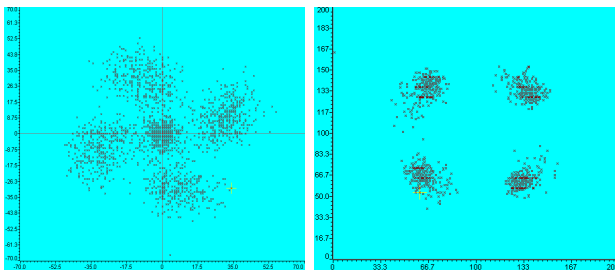


그림 6. 튜너 및 T-DMB 복호화기 필터 성능 보상

그리고, 그림 6에서와 같이 튜너 및 T-DMB 복호화기에서 사용되는 필터에 의한 영향을 찾아 보상한다. 그림 7(a)는 튜너 및 복호화기 로 인한 부가적인 영향을 제거하기 전의 성좌도이고 (b)는 제거 후의 성좌도이다.



(a) 제거 전 (b) 제거 후  
그림 7. 부가적인 영향에 따른 DMR의 성좌도

스펙트럼은 튜너의 IF 출력을 ADC로 변환한 디지털 신호를 받아서 소프트웨어로 FFT함으로서 구한다.

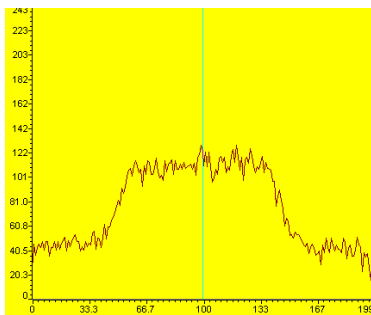


그림 8. 스펙트럼

튜너의 IF 출력을 8.192MSPS의 속도로 ADC로 변환한 양자화된 디지털 데이터 8192개를 FFT한다. 이 과정을 5번 반복하여 평균값으로 구한다. 출력 형태는 그림 8과 같다.

CIR은 그림 9.에서와 같이 안정적으로 생성하기 위해 Homomorphic Decomposition을 이용하여 추정된 채널을 Minimum Phase 성분과 All-pass성분으로 재구성한다. Minimum Phase 성분은 Stability와 Causality가 보장되므로 Direct Inversion이 가능하다. All-pass 성분은 Group Delay Equalization을 통해 보상한다.

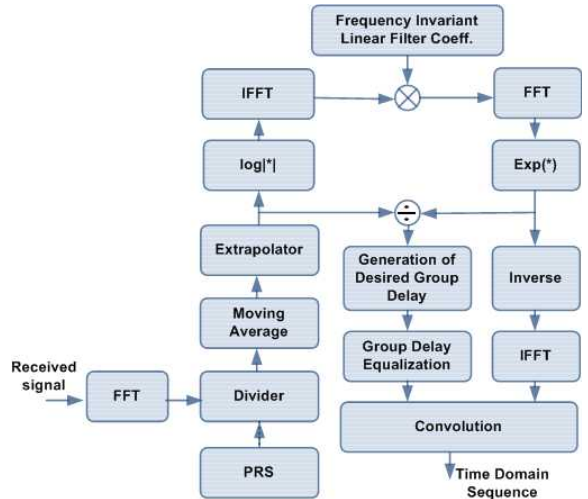


그림 9. Homomorphic Decomposition

#### 4. 구현 및 테스트 결과

그림 10은 3절에서 제시된 구조를 토대로 실제 구현한 DMR 장비의 모습이다. 19" 3U의 크기에 RF 측정화면과 비디오 LCD창과 제어 버튼, 스피커 등으로 구성되어 있다.

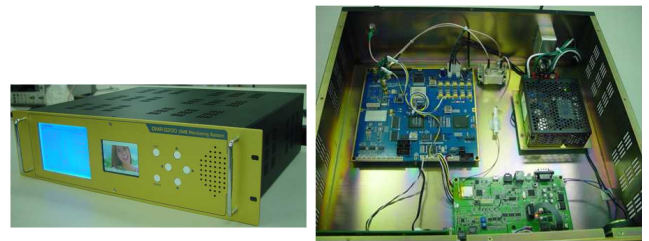


그림 10. DMR 장비 외관 및 내부

그림 11은 DMR 장비의 전면부로 신호 특성 측정부로부터 계산된 특성 값들이 디스플레이 되고, A/V 신호 처리된 비디오 화면을 디스플레이 하며, 오디오를 출력하도록 구성 되어있고, 장비 설정용 버튼이 있다.



그림 11. DMR 장비 전면부

그림 12는 장비 설정 및 설정된 채널 정보에 대한 화면이다. 설정 화면에서는 모니터링하고자 하는 채널을 선택하는 기능을 한다. 정보 화면에서는 설정된 양상블 및 서비스의 양상블 라벨, 서비스 라벨, BER, RSSI, TII 정보를 보여 준다.



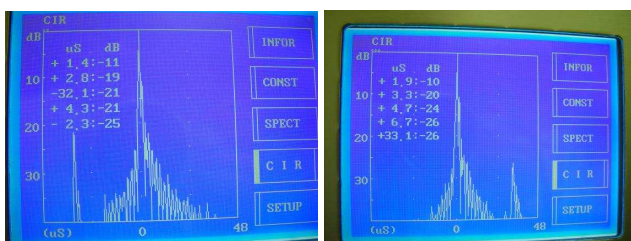
그림 12. 설정 및 정보 화면

그림 13은 성좌도 및 스펙트럼의 화면이다. 성좌도는 측정을 시작하고 1~2초 정도 후에 성좌를 그리기 시작한다. 다시 샘플링하여 디스플레이 하는 데에는 1초 정도가 소요된다. 스펙트럼은 튜너 출력의 IF의 상태를 보여 준다. 튜너 출력의 IF주파수의 중심주파수는 2.048 MHz이다. 대역폭은 0 ~ 4.096MHz이다 측정된 수신감도를 스펙트럼 위에 dB로 표시한다.



그림 13. 성좌도 및 스펙트럼 화면

그림 14 및 15는 CIR의 화면이다. CIR 화면은 E-DMBR의 성능 측정을 위해 가장 요구되었던 기능이다.



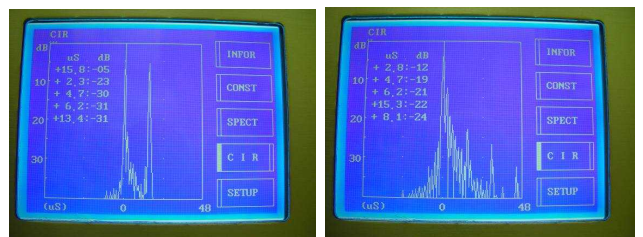
(a) 퀘환신호 20dB 입력 (b) 퀘환신호 제거 후

그림 14. 퀘환신호 제거능력 측정 스펙트럼 결과.

E-DMBR의 출력은 송수신 안테나 간 분리도와 퀘환신호 제거 능력에 따라 제한을 받는다. 중계기의 송수신 안테나 간 분리도가 일정하다고 가정한다면 퀘환신호 제거 능력에 따라 출력 레벨이 결정된다. 중계기의 출력레벨을 가능한 한 높임으로써 서비스 지역을 넓힐 수 있다. 그림 14은 E-DMBR의 퀘환신호 제거 능력을 측정하기 위한 것으로 그림 14(a)는 E-DMBR의 입력으로 퀘환신호가 수신 신호보다 20dB 크게 들어오고 있음을 알 수 있다. E-DMBR의 출력은 그림 14(b)에서와 같이 퀘환신호가 메인 신호에 비해 -26dB 억압 된 것을 확인하였

다. 이러한 방법을 통해 E-DMBR의 퀘환신호 제거 성능을 측정할 수 있었다.

또한, T-DMB 송신기에서 송출되는 신호는 채널의 왜곡과 산악 지역이나 건물 등 장애물에 반사되는 다중경로의 영향으로 품질이 저하된 신호가 되어 E-DMBR에 입력된다. 기존의 중계기는 이 왜곡신호를 단순히 증폭하여 재 송신하기 때문에 신호의 품질을 향상시키지 못한다. E-DMBR은 등화기능을 가지고 있어 이런 왜곡신호를 주 송신기의 신호에 가깝게 복원하여 재 송신함으로써 고품질의 신호를 재 전송한다. 그림 15는 이러한 E-DMBR의 다중경로 제거능력을 측정하기 위한 것으로 그림 15(a)에서와 같이 입력 신호에 15us 지연되고 크기가 주 신호에 비해 -3dB 작은 다중경로 신호의 신호가 들어 올 때, 중계기에서 송출 되는 신호는 그림 15(b)에서와 같이 제거되었음을 확인하였다. 이러한 방법을 통해 E-DMBR의 등화 성능을 측정할 수 있었다.



(a)싱글패스(15us, 3dB) 입력 (b)싱글패스 제거 후 출력 신호

그림 15. 싱글패스 제거 전과 후의 스펙트럼 결과.

## 5. 결론

본 논문에서는 T-DMB 신호의 RF 특성 측정을 용이하게 하기 위한 T-DMB RF 신호 모니터링 장비인 DMR의 시스템 요구사항, 구조 및 구현 방법 그리고 구현된 장비에 대한 설명 및 DMR을 이용한 E-DMBR의 퀘환신호 제거 성능 및 채널 등화 성능을 측정할 결과를 기술하였다. 개발된 DMR 장비를 이용하여 E-DMBR의 성능을 측정함으로써 해서, E-DMBR의 개발에 있어 신뢰도와 편이성을 높일 수 있었다.

## 6. 참고문헌

- [1] ETSI, "Radio Broadcasting System; Digital Audio Broadcasting(DAB) to mobile, portable and fixed receiver," *ETSI EN 300 401 v1.4.1*, June. 2006
- [2] ATSC, "Recommended Practice: Design of Synchronized Multiple Transmitter Networks," *Doc. A/111*, Sept. 2004.
- [3] S.I.Park, H.M. Kim, S.R.Park, Y.T.Lee, J.S.Lim, "A Novel On-Channel Repeater for Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting System of Korea" *IEEE VTC Spring 2008*, pp.1826~1830.
- [4] 박성익, 박소라, 음호민, 이용태, 김홍묵, "T-DMB의 SFN을 위한 등화형 동일채널 중계기," 방송공학회논문지, 제 13권, 제3호, pp. 365~379, 2008년.