

고성능 DTV Exciter 개발

□ 서영우, 이재권, 서종수 / KBS 기술연구소, 연세대학교

I. 서론

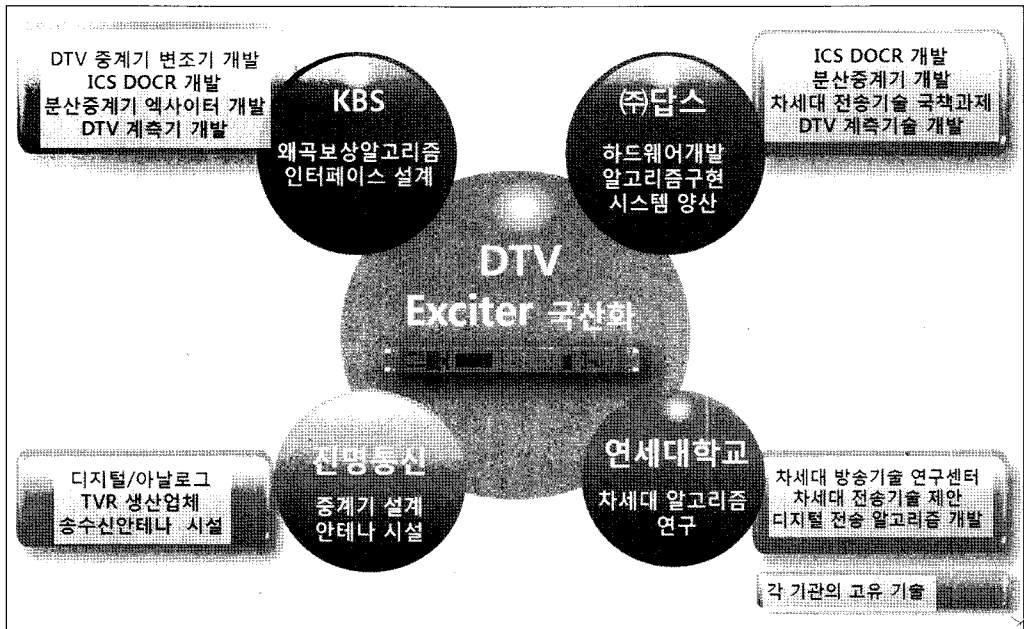
지상파 TV는 2012년 12월 DTV로 완전전환을 목표로 하고 있으며, 각 방송사는 DTV 방송망 확충을 위해 노력하고 있다. KBS는 2010년 신규 DTVR(DTV Repeater)시설 80개소 설치를 비롯하여 2009년부터 2012년까지 309개소 모두 922개 매체의 DTV 중계 시설 설치를 완료할 예정이다.

이처럼 DTV전환을 앞두고 많은 DTV 중계기 수요가 있지만 2009년 까지 국내 업체의 DTV 중계기 납품 현황을 종합적으로 조사한 결과 외산 Exciter를 수입한 중계기가 대부분이었다. Exciter는 송신소로부터 수신한 RF(Radio Frequency)신호를 복조한 후 DTV 변조신호를 생성하는 중계기의 핵심장비로, 이를 외산 장비로 설치할 경우 과도한 비용 지출과 향후 유지 보수의 어려움이 예상되어 방송장비 국산화를 위한 필수 장비로 인식되었다.

KBS 기술연구소는 KBS 뉴미디어·테크놀로지 본부와 공동으로 방송사들의 디지털 전환 및 유지 비용의 절감과 국내 산업 경쟁력 확보를 목표로 하여 DTV Exciter 개발을 위한 컨소시엄을 제안하였다. 많은 국내 업체들이 KBS 컨소시엄에 신청을 하였으며 공개 심사를 거쳐 DTV Exciter 개발을 위한 원천 기술을 보유한 ㈜답스 및 진명통신, 연세대학교가 최종 선정되었다. 이 중 개발 장비의 생산을 담당할 ㈜답스가 주관 기관을 맡았으며 KBS는 참여기관으로서 DTV Exciter의 핵심기술인 왜곡보상 알고리즘의 설계를 담당하였다. 각 기관의 고유 기술과 이번 과제에서의 역할은 <그림 1>에서 간략히 소개하였다.

개발기간은 2009년 7월 1일에서 2010년 9월 30일 까지이며 KBS의 현업 운영자들이 주축이된 T/F(Task Force)도 함께 운영되어 사용자 중심의 장비 개발로 추진되었다.

장비 개발은 1차 시제품개발 및 상용 제품 개발이



<그림 1> 고성능 DTV Exciter개발 참여기관의 고유기술 및 주요 역할

바로 이루어졌으며 2010년 미국 라스베가스에서 열린 NAB에 개발 제품을 발표하였고, 국내 양산을 앞두고 2010년 8월 12일에 KBS 국제회의실에서 상용제품 개발에 따른 발표회를 개최하였다.

본 고에서는 DTV Exciter개발을 위한 현업 요구 사항을 소개하고 개발된 Exciter의 핵심기술을 실험실 및 필드테스트 결과와 함께 소개하고자 한다.

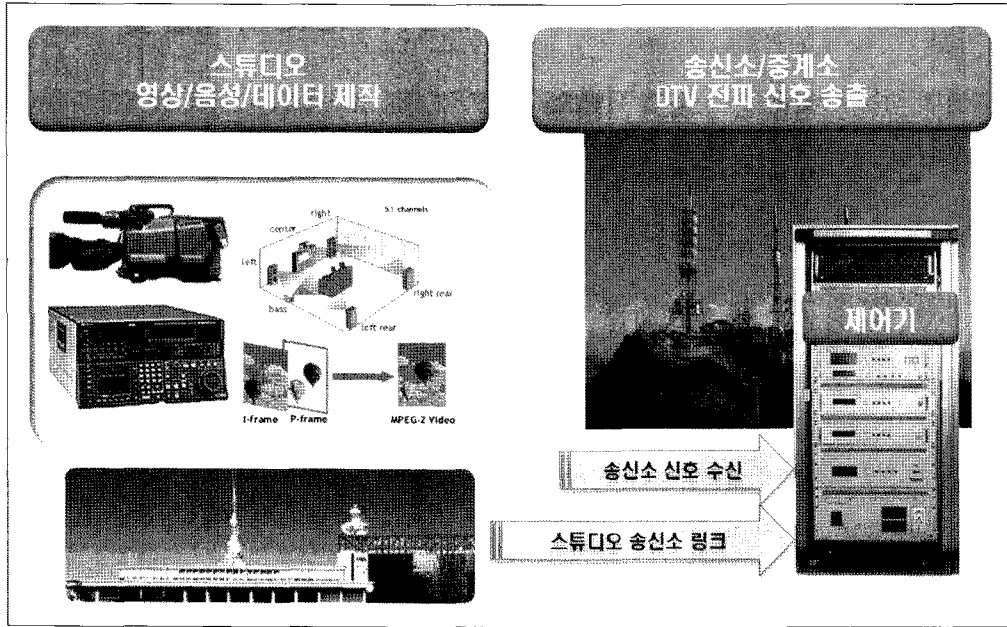
II. DTV Exciter의 요구사항

DTV Exciter는 DTV 송신 및 중계를 위한 핵심 장비로 <그림 2>와 같이 송출을 위한 고출력 증폭기(HPA; High Power Amplifier) 앞 단에 위치한다. 최근 출시되는 중계기용 Exciter는 DTV 수신 신호를 MPEG TS(Transport Stream)로 복조하는 복조기

(demodulator)가 포함되는 것이 일반적이다. 따라서 송신기 및 중계기는 Exciter와 HPA 그리고 이들을 제어하는 제어기가 주요 구성요소가 된다. 그 밖에 DTV 송출 시스템을 구성하는 요소로는 채널필터, 전원부 등이 있다. 이 중에서 DTV Exciter는 이들 송출 시스템의 핵심 장비로서 8-VSB(Vestigial Side Band) DTV 변조 신호를 생성하는 중요한 기능을 수행한다[1].

DTV 중계기에는 수신 주파수와 동일한 주파수로 중계하는 동일채널 중계기[2] [3]과 수신 주파수와 다른 주파수로 변환하는 채널 변환형 중계기가 있다. 채널 변환형 중계기에는 중계기 끼리 동일 주파수로 묶는 분산형 중계기도 포함된다[4] [5]. DTV Exciter는 주로 채널 변환형 중계기에 적용되는 장비이다.

본 장비의 본격적인 개발에 앞서, 수년간 방송 송출 현업에 참여한 실무 엔지니어들을 중심으로 T/F



〈그림 2〉 DTV 신호 제작 및 송출 시스템의 구성

를 구성하여 DTV Exciter의 핵심 기능 및 인터페이스를 정의하였다. 수 차례의 회의를 통해 만들어진 요구사항에 의해 국산 DTV Exciter의 기능과 사용자 인터페이스가 설계 및 보완되었다.

이 중 핵심 기능에 해당되는 주요 내용은 다음과 같다.

1. DTV 송신기와 중계기에 공통 적용 가능
2. UHF 전대역 채널 변환
3. 광대역 고성능 적응 선형 및 비선형 왜곡보상
4. 송출신호 정밀 계측기능
5. 방송국의 원격제어 인터페이스 지원

1. DTV 송신기와 중계기에 공통 적용 가능

DTV 송신기가 처음 도입이 된 지 10년 지나가면

서 송신기에 대한 유지보수의 필요성도 제기되고 있다. 따라서 개발되는 Exciter는 중계기에 적용하기 위해 송신기의 RF 신호를 받아 TS로 복조하는 수신단[6]을 내장할 뿐만 아니라 TS를 별도의 입력으로 받을 수 있도록 설계한다.

2. UHF 전대역 채널 변환

DTV 방송 주파수 대역인 UHF 채널 14~52번을 지원하는 정밀 주파수 합성기 및 광대역 증폭기를 내장하여 Exciter를 어느 채널에서도 사용할 수 있도록 한다. 이를 통해 적은 수의 예비 Exciter를 통해서 응급 상황 발생시 적절히 교체 활용할 수 있도록 하여 방송사의 유지보수가 용이하도록 한다. 또한, 고정밀 주파수 합성기의 적용을 통해 엄격한 위상 잡음 규격을 만족하고 주파수 편이에 의한 오프셋

(offset) 설정이 가능하도록 한다.

3. 광대역 고성능 적응 선형 및 비선형 왜곡보상

DTV 중계기는 광대역 고출력 증폭기(HPA)를 채택하도록 되어있는 것이 일반적이다. 따라서 특정 주파수 대역에서 발생할 수 있는 HPA의 다양한 왜곡 특성에도 적절히 대응할 수 있는 고성능의 선형 및 비선형 왜곡보상 회로를 채택하여 일정한 송신 품질을 보장하도록 한다. 특히, 엄격한 SNR 및 스펙트럼 마스크(spectrum mask) 규정을 충족시켜 무선국 검사기준을 여유있게 만족하도록 한다[7].

4. 송출신호 정밀 계측기능

DTV 중계소는 대부분 무인시설이며 수량도 많고 교통이 불편한 곳이 많다. 따라서 현업 엔지니어들이 일일이 찾아다니며 정비하기 곤란하므로 고성능의 측정기를 내장하도록 하여 유지 보수를 위한 품질 측정이 자동으로 이루어지며 이 결과가 주송신소 또는 연주소로 보내지도록 하는 방안이 필수적이다. 계측기능의 정밀도는 무선국 검사 장비 수준의 정확도를 담보하며 자체 측정기능에 의한 결과 표시가 가능해야 한다[8] [9].

5. 방송국의 원격제어 인터페이스 지원

각 방송사들은 송중계 시설 관리를 위해 자체적인 유지 보수 망을 가동하고 있다. 따라서, 방송국 요구 조건에 맞는 원격 제어 인터페이스의 지원을 통해 방송사 자체 유지 보수 망을 이용해 용이하게 관리될 수 있도록 해야 한다.

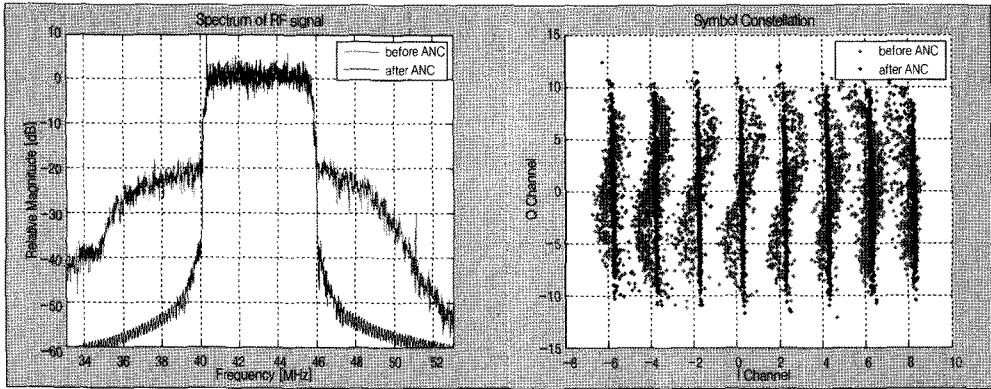
III. DTV Exciter의 개발 및 핵심 기술

DTV Exciter 개발은 다음의 3단계의 과정을 거쳐서 이루어졌다.

- 1단계 (2009년 7월~2009년 12월) : 왜곡보상 기능을 제외한 다른 기능이 완벽하게 구성되는 시제품의 개발이 이루어졌으며 동시에 선형 및 비선형 왜곡보상에 대한 알고리즘 구현과 모의 실험 병행됨.
- 2단계 (2010년 1월~2010년 4월) : 개발된 왜곡보상 알고리즘이 채택되었으며 1단계 제품의 문제점이 보완된 상용 시제품의 개발이 이루어짐. 개발된 제품에 대한 실험실 테스트와 챔버(chamber)를 통한 환경시험이 수행되었음.
- 3단계 (2010년 5월~2010년 9월) : 개발된 상용 시제품이 채택된 중계기 시제품 개발. 중계기 시스템에 대한 챔버 환경 테스트 및 부산 정관 DTVR에 중계기 시제품 설치 및 실제 필드 테스트 실시.

선형 및 비선형 알고리즘은 KBS 기술연구소와 ㈜답스의 공동연구로 진행되었으며 핵심 연구인력이 집중적으로 투입되어 다양한 알고리즘을 실험하고 이를 위한 하드웨어 플랫폼을 설계 및 보완하였다.

특히 KBS에서는 고성능의 AD(Analog to Digital) 변환기와 대량의 데이터 캡처(capture) 모듈을 내장한 HPA 알고리즘 테스트 시스템을 설계하여 소프트웨어 복조기 및 HPA특성 곡선을 추정하는 시스템을 제안하였다. 이를 통해서, 왜곡보상에 필요한 하드웨어의 구조를 최소화하는 소프트웨어를 활용한 다양한 적응 필터기술 및 구조를 제안하였다. 이 기술을 바탕으로 어떤 유형의 하드웨어에도 용이하



〈그림 3〉 제안된 왜곡보상 알고리즘(ANC, Adaptive Noise Cancelling) 모의실험 결과

게 적용할 수 있는 다양한 왜곡보상 알고리즘을 설계하였다.

개발된 알고리즘에 의해 설계된 왜곡보상 시스템을 이용한 왜곡보상 모의실험 결과는 <그림 3>과 같다.

개발된 DTV Exciter는 앞서 제시한 DTV Exciter의 요구사항을 모두 충족하며 앞 장에서 제시된 주요 기능에 대응되는 다음과 같은 핵심 기능들을 구현하였다[10][11].

1. DTV 송신기와 중계기에 공통 적용

개발된 Exciter는 1RU의 작은 크기이지만 내부에 DTV 고성능 복조기를 내장하고 있다. 따라서, 중계기에 적용될 때는 고감도의 DTV 수신기 가능하며 MPEG TS로 신호를 복조한다. 송신기와 함께 사용하기 위해서 외부에 2개의 TS의 입력이 가능하다. TS는 SMPTE-310과 ASI(Asynchronous Serial Interface)를 모두 지원할 수 있도록 하였으며 자동 절체 기능이 있어 하나의 회선에 문제가 생길 경우 이를 감지하고 바로 절체된다.

2. UHF 전대역 채널 변환

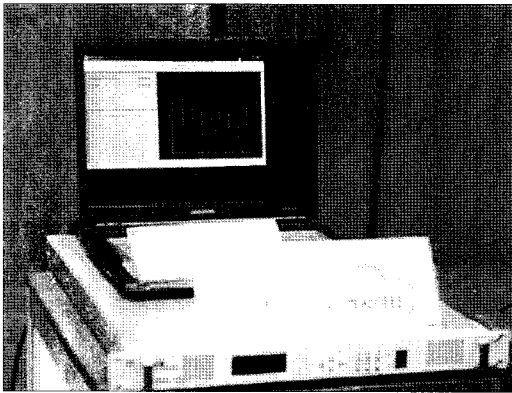
고정밀 주파수 합성기를 설계하여 1Hz단위로 주파수 설정 및 조정이 가능하다. 또한 UHF 전대역에 대해 주파수 변환이 가능하며 IF를 이용하지 않는 직접 변환방식을 적용하여 불요파가 발생하지 않는다. 또한 I-Q 변환 과정에서 발생하는 위상차에 의한 잔류 신호를 자동으로 측정 및 보상하는 기능이 있어 최적의 주파수 변환 성능을 구현하였다.

3. 광대역 고성능 적응 선형 및 비선형 왜곡보상

수신단의 왜곡을 자동으로 보상하는 기능을 통해 Exciter자체로는 39~40dB 이상의 SNR을 구현하였으며 다양한 종류의 HPA 특성 곡선에 대해서 알고리즘을 테스트한 고성능의 적응 왜곡보상 기능이 구현되어 HPA의 주파수 대역 변경 뿐 아니라 장기간 사용에 따른 성능열화 상황에서도 최적의 성능을 유지하도록 설계하였다.

4. 송출신호 정밀 계측기능

정밀 측정 기능은 RFA-300A 대비 +/- 2dB의 정밀도를 보이며 40dB이상의 정밀한 측정이 가능하다. <그림 4>와 같이 노트북 컴퓨터를 LAN 케이블을 이용하여 연결하면 측정결과의 수치 및 그래프와 함께 스펙트럼과 성상도를 볼 수 있다.



<그림 4> 노트북을 이용한 DTVR 정밀 측정 기능 시연

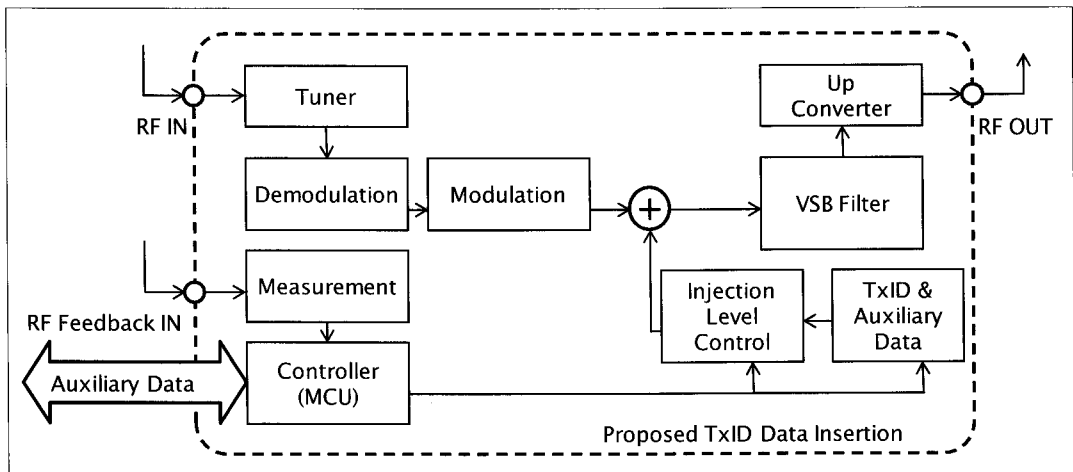
5. 방송국의 원격제어 인터페이스 지원

개발장비는 ATSC 표준에 의한 TxID의 삽입 및 이를 이용한 부가 데이터 삽입 기능을 내장하여 방송 구역 내에서 별도의 외부 통신망 없이도 중계기의 상태 정보 등을 제공할 수 있는 기능을 내장하고 있다[12]. <그림 5>에서는 TxID를 이용한 부가 데이터 삽입 방법에 대한 간략한 설명을 보여 준다.

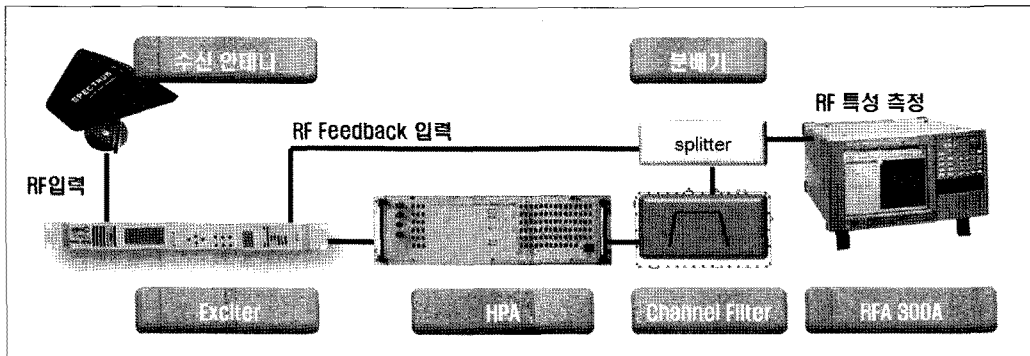
IV. 실험실 및 필드 테스트

1. 실험실 테스트

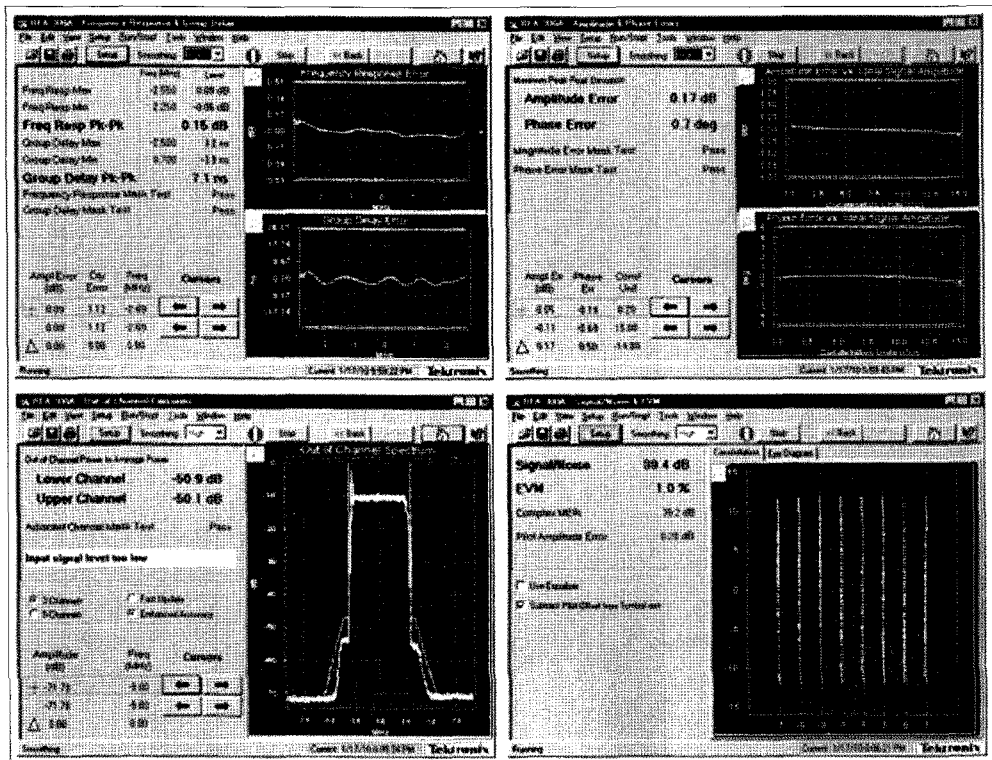
개발 장비에 대한 실험실 테스트를 위해 <그림 6>과 같이 Exciter의 출력에 HPA 및 채널 필터를 연결하고 Exciter의 선형 및 비선형 왜곡보상을 수행한



<그림 5> TxID를 이용한 부가 데이터 전송 개념도



〈그림 6〉 실험실 테스트 시스템 구성



〈그림 7〉 실험실 테스트 결과 (주파수 응답, 진폭 및 위상 에러, 마스크 특성, SNR)

후 그 결과를 측정하였다.

측정 결과는 〈그림 7〉과 같으며 선형 및 비선형 특성이 매우 양호함을 알 수 있다.

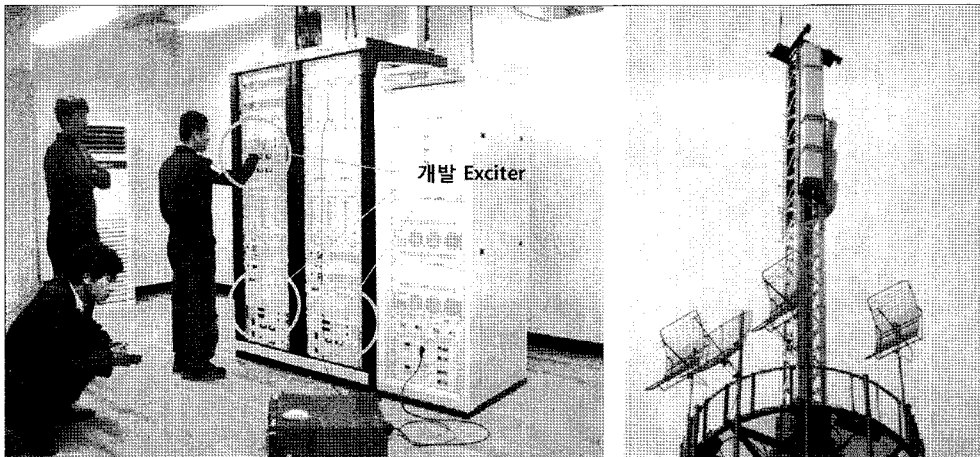
2. 필드 테스트

필드테스트를 위한 시범사이트는 부산 정관신도

시에 위치한 정관 DTV 중계소로 결정되었다. 장비 설치에 앞서 개발 중계기는 KBS 품질관리부의 엄격한 품질 검사를 받았다. 각종 송출 항목에 대한 정밀 측정 및 중계기 전체에 대한 체임버(chamber) 테스트를 실시하였으며 모든 검사에 합격하였다.

장비의 설치는 2010년 5월 14일에 완료되었다. DTVR의 서비스 위치는 경북 기준으로 북서쪽에 위치한 정관신도시를 주로 서비스하며 기타 방향

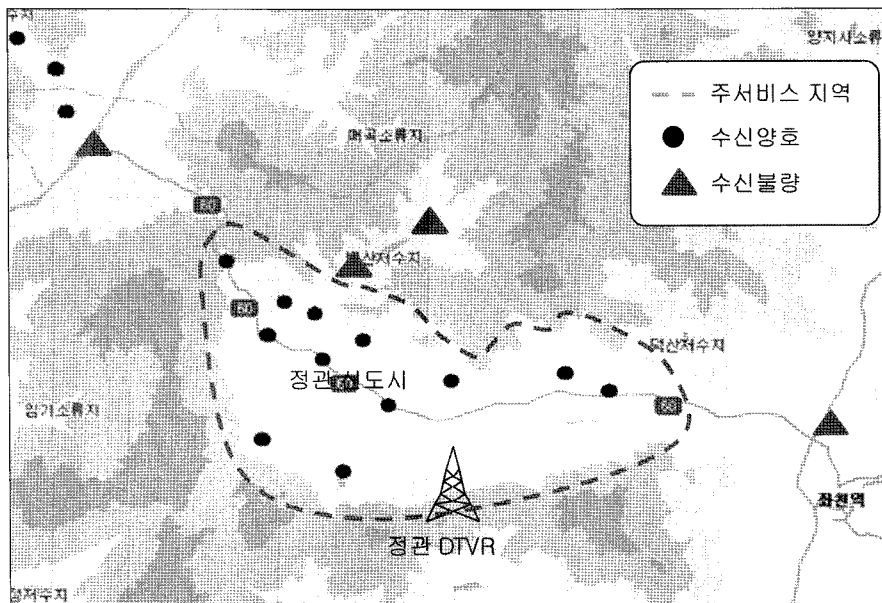
스트를 실시하였으며 모든 검사에 합격하였다. 장비의 설치는 2010년 5월 14일에 완료되었다. DTVR의 서비스 위치는 경북 기준으로 북서쪽에 위치한 정관신도시를 주로 서비스하며 기타 방향



(a) 중계소 내부 시설

(b) 송출 안테나

<그림 8> 부산 정관 DTVR에 설치된 개발 시스템 (총 6대의 Exciter 설치)



<그림 9> 필드테스트 결과

에서는 기존 커버리지를 보완하는 역할을 수행한다. <그림 9>의 송신 안테나 방향은 315도, 45도, 170도의 세 방향이며 각 매체 별로 1패널(panel)씩 설치되었다.

필드테스트는 무선국 검사 및 장비 검증을 위한 1차 집중 측정이 5-6월에 걸쳐 이루어졌으며 9월까지 2차 상시 측정을 통한 송신 특성 측정이 진행되었다.

<그림 8>에서는 정관 DTVR에 시설된 개발 시스템 및 운영 요원들의 장비 설정모습과 안테나 배치 현황을 보여준다. KBS1, KBS2, EBS의 세 매체에 대해 각 2대씩 총 6대의 Exciter가 설치되었다. 중계기의 출력은 모두 50W로 동일하다.

측정은 5세대 이상 급의 최신 수신기를 이용하여 9m높이의 야기안테나를 통하여 이루어졌으며 IMAS 측정 시스템이 활용되었다[13]. 1차 필드테스트 결과 <그림 9>와 같이 중계기의 주 서비스 구역인 12지역 모두에서 양호하게 측정되었다.

이를 통해 개발 장비의 성능에 대해서는 기본적으로 검증이 모두 완료되었으며 2010년 9월 현재 장기 운용에 따른 안정성 시험이 계속 진행되고 있다.

V. 전시 및 홍보

미국에서 열리는 세계 최대의 방송 장비 전시회인 NAB Show 2010에 KBS와 ㈜답스가 공동으로 부스를 운영하였다. 개발된 Exciter에 대해서 HPA와 채널 필터 및 계측기를 이용해서 직접 성능 시연을 진행하였다(<그림 10>).

KOBA 2010에서도 개발된 Exciter에 대해 성능 시연과 함께 전시하였으며, 많은 방송 관계자들이 방문하여 제품에 대해 성능을 참관하였다.

VI. 결론

2012년 TV방송의 DTV 전환을 앞두고 본격적인 DTV 중계기의 도입에 앞서, KBS 기술연구소와 ㈜답스를 주축으로한 컨소시엄에서 고성능 DTV Exciter를 국산화하는데 성공했다.

개발된 Exciter는 송신기 및 중계기에 모두 적용 가능하며 UHF 전대역에 대해 신호를 송출할 수 있어 방송사의 예비장비 운용에 융통성을 제공한다. Exciter의 수신단은 고정밀 AD변환기와 보상회로



<그림 10> 개발 장비의 NAB 2010 전시 및 시연

를 통해 계측기 수준의 정밀한 신호 분석이 가능하며 이를 통해 증계기 출력에 대한 정밀 측정 및 측정 결과 표시가 가능하다. 또한, 이러한 정밀 측정기능을 바탕으로 고성능의 적응형 선형 및 비선형 왜곡 보상 기술을 구현하여 HPA의 열화에 따른 증계기 특성 변화를 보상하고 최적의 송출 상태를 유지할

수 있다.

본 Exciter는 실험실 및 필드테스트를 통한 성능 검증을 완료했으며, 상용제품으로 출시되어 각 방송사의 DTV 송중계소 디지털 전환을 위한 핵심 장비로 보급될 예정이다.

참고 문헌

- [1] ATSC, Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard, ATSC Oct. 1995
- [2] 서영우, 목하균, 권태훈, "지상파 DTV 동일채널 증계기 필드테스트 결과 분석, 방송공학회 논문지 제7권 제1호, 2002년 3월
- [3] 박성익 외 6명, "등화형 디지털 동일채널증계기 Part I, II", 방송공학회 논문지 제10권 제2호, 2005
- [4] Young-Woo Suh, Sung Ik Park, Ha-Kyun Mok, Heung Mook Kim, Jin-Yong Choi, Jong-Soo Seo, "Network Design and Field Application of ATSC Distributed Translators," IEEE Trans. On Broadcasting, Vol. 56, Issue 2, June. 2010
- [5] Young-Woo Suh, Jaekwon Lee, Jin-Yong Choi and Jong-Soo Seo, "A Novel Data Synchronization Method for ATSC Distributed Translator", IEEE PIMRC, Sep 2009
- [6] W. Bretl, "ATSC/VSB Tutorial : Receiver Technology", Zenith Electronics Technical Paper, 1999
- [7] G. Best, "8-VSB DTV Transmitter FCC Emission Mask Compliance Measurement Standard", IEEE Broadcast Technology Symposium, 2005
- [8] IEEE Broadcast Technology Society Committee, "Draft for Standard Test Methods for Measuring the Performance of Digitally Modulated Signals in Television Transmission Systems", IEEE Broadcast Technology Society Committee, Aug 1994
- [9] G. Sgrinoli, "A Tutorial on DTV Measurement : What, How and Why?", IEEE Broadcast Technology Symposium, 2005
- [10] Sungho Jeon, Junghyun Kim, Jaekwon Lee, Ho Jin Ryu, Young-Woo Suh, Ha-Kyun Mok and Man-Sik Kim, "An Adaptive Digital Predistorter with Iterative Noise Cancelation," 2010 IEEE BMSB 2010, March 2010
- [11] Sungho Jeon, Junghyun Kim, Jaekwon Lee, Ho Jin Ryu, Young-Woo Suh, Ha-Kyun Mok and Man-Sik Kim, "An Adaptive Digital Predistorter with Iterative Noise Cancelation," IEEE BMSB 2010, March 2010
- [12] Young-Woo Suh, Sung Ik Park, Jaekwon Lee, Heung Mook Kim, Jin-Yong Choi, and Jong-Soo Seo, "A New Synchronous Watermark Data Insertion Method for ATSC Transmission Systems", IEEE BMSB, May 2009
- [13] Young-Woo Suh, Sang-Hun Kim, Man-Sik Kim, Jin-Yong Choi, Jong-Soo Seo, "A Novel Integrated Measurement and Analysis System for Digital Broadcasting," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 55, no. 1, pp. 56-62, Feb. 2009

필자소개



서영우

- 1991년 ~ 1995년 : 서울대학교 제어계측공학과 학사
- 1995년 ~ 1997년 : 서울대학교 제어계측공학과 석사
- 2007년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 1997년 ~ 현재 : KBS 기술연구소 수석연구원



이재권

- 2002년 ~ 2006년 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 학사
- 2006년 ~ 2008년 : 과학기술연합대학원대학교 이동통신 및 디지털방송공학과 석사
- 2006년 ~ 2008년 : 한국전자통신연구원 인지접속연구팀 석사과정연구생
- 2008년 ~ 현재 : KBS 방송기술연구소 연구원



서종수

- 1971년 ~ 1975년 : 연세대학교 전자공학과 학사
- 1982년 ~ 1984년 : University of Ottawa, Canada 통신 공학 석사
- 1984년 ~ 1988년 : University of Ottawa, Canada 통신 공학 박사
- 2001년 ~ 2009년 : 연세대학교 차세대방송기술연구센터 센터장
- 1995년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학부 교수