

KBS의 지상파 DTV 송신시스템 구축현황

구자득, 목하균, 양경석, 서영우
KBS 기술연구소

요약

KBS는 올해 국내 최초로 업체와 공동으로 개발한 디지털 송신기를 사용하여 실험방송 송출에 성공하였으며, 이 실험방송은 본격적인 필드테스트를 위해 내년도 하반기까지 계속될 예정이다. 본 논문에서는 지상파 디지털 TV 실험 방송을 위해 구축되고 있는 KBS의 지상파 DTV 송신 시스템에 대해 기술적인 사양과 구성, 그리고 구축 현황에 대해 소개한다.

I. 서론

오늘날 TV 방송은 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 전환되고 있다. 이미 위성 방송의 경우에는 수년 전부터 디지털 방식으로 방송하고 있으며, 지상파 방송의 경우에도 미국에서는 1987년에 ATV(Advanced TV)에 대한 검토를 시작하여 1996년 12월에 지상파 디지털 TV 기술 규격을 결정하고, 1997년 4월에는 지상파 디지털 방송 도입에 관한 규격을 제정한 후, 1998년 11월부터 지상파 디지털 방송을 실시하고 있다. 유럽에서도 1993년에 범유럽 디지털 방송방식을 개발하기 위해 DVB(Digital Video Broadcasting)를 설립하여 1997년 2월에 DVB-T방식을 ETSI(유럽 전기 통신 표준화 기구)의 지상파 디지털 방송 규격으로 채택하고, 1998년 가을부터 영국을 시작으로 디지털 방송을 시작하였다.

이러한 세계적 추세에 대응하기 위해서 우리나라에서도 1997년 2월에 지상파 방송의 디지털 방식 전환 기본 계획을 발표하였다. 이 계획에 따라 KBS, MBC, SBS 등 지상파 방송사와 가전사 등으로 구성된 지상파 디지털 방송 추진협의회가 지상파 디지털 방송 전환계획 보고서를 작성하였다. 이 안에 따라 국내 디지털 지상파 방송은 1999년 말까지 국내 표준 규격 완성 및 기술 검증을 완료하고, 2000년에 시험 방송을 실시하고, 2001년에 서울에서 지상파 디지털 TV 본방송을 시작하여 2005년까지 수도권 지역, 광역시 지역, 도청소재지 지역, 시, 군 지역 네 단계로 나누어 단계적으로 본방송

을 실시할 계획이다.

KBS에서는 1996년부터 지상파 디지털 방송 방식을 검토하기 시작하였고, 방식 선정 후 prototype의 지상파 디지털 변조기를 개발한 후, 1998년부터 지상파 디지털 송신기를 상용화하기 위해서 업체와 공동 개발에 착수하여 1999년 3월에 개발 시연회를 성공적으로 마침으로써 송신기 국산화를 할 수 있는 기반을 구축하게 되었다. 1999년 5월 18일에는 관악산에서 채널 15로 디지털 방송 실험전파를 발사하고, KBS 본관에서 수신하여 국내 최초의 지상파 디지털 실험 방송을 개시하였다. 여기에 사용된 HDTV Encoder와, 송신기는 KBS가 국내 제조업체와 공동으로 개발한 것이고, 안테나 및 수신기도 순수 국산 장비여서 지금까지는 외국 제품에 의지해오던 방송 장비를 국산화할 수 있는 전기가 마련됐다는 점에서 의미가 더욱 컸다. 그 후 6월 10부터 3일간 COEX에서 개최된 KOBIA 전시회에서 일반 시청자들에게 처음 공개되었고, 9월부터 한달여에 걸쳐 예비 필드 테스트를 실시하였다. 본 논문에서는 지상파 디지털 방송의 필드 테스트를 위해 구축되고 있는 송신시스템에 관해 전체 시스템의 구성을 알아본 후, 송출분야, STL, 전송 분야로 나누어 각각 설명하고 구축 현황에 대해서도 기술한다.

II. DTV 송신 시스템의 구성

DTV 실험 방송을 위한 전체 시스템의 구조는 <그림 1, 2>와 같다. DTV 방송은 하나의 HDTV 프로그램이나, 4 개의 SDTV 프로그램을 송출할 수 있도록 되어 있다. HDTV 프로그램은 HDTV 카메라로 제작된 것과 SDTV 급으로 제작된 프로그램을 Digital Format Converter로 변환한 것을 사용하게 된다. SDTV 급 프로그램은 KBS 1 TV를 사용할 예정이다. 이 신호는 로고가 삽입되어 KBS에서 개발한 Encoder나 Harris의 Encoder에서 인코딩된 후, STL을 거쳐 송신소에 보내지게 되고, 송신소에서 송신기로 입력된 후 안테나를 통해 전파되게 된다.

SDTV는 4 채널을 보낼 수 있는데, 각각 KBS 1TV, 2TV, VTR1, VTR2로 방송할 예정이다. 4 개의 신호는 SDTV Encoder에서 Encoding된 후 STL을 거쳐 관악산의 송신기에서 채널 15로 변환된 후 안테나를 통해 송신된다.

Logo를 삽입한 후의 소스 프로그램을 모니터와 WFMI125 waveform Monitor를 사용하여 모니터링한다. 또 송신소의 출력 파형은 RFA300을 사용하여 전파되는 신호를 모니터링 할 수 있도록 했다.

III. 송출 부분

제작된 프로그램은 테이프 또는 케이블을 통하여 주조정실에 보내진다. 프로그램 소스로는 HDTV로 제작된 프로그램과 NTSC로 제작된 프로그램이 사용된다. HDTV 방송을 위해서 NTSC 신호는 Digital Format Translator(DFT)를 통과한 후 Router에 입력되고, HDTV로 제작된 신호는 곧바로 HDTV Router를 입력된다. Router는 이 중 하나의 신호를 선택하여 출력하고, 이 신호는 Log Inserter에서 Logo가 삽입된 후, HD Distribution Amplifier에서 Encoder와 모니터 Waveform 모니터로 보내진다. KBS에서 개발한 Encoder와 Harris Encoder 중 하나를 사용하여 인코딩한 후 외부 TS Inserter에서 선택하여 SMPTE 310M 규격으로 STL로 보내진다.

오디오는 HDTV로 제작된 것은 바로 Router에 입력되지만 NTSC로 제작된 것은 AD 변환을 한 후, DFT의 비디오 지연에 해당하는 부분만 클 지연시킨 후 Router에 입력한다. 이 신호는 AC-3 부호기에서 부호화한 후 Encoder의 MUX부분에 입력된다.

한편 SDTV 방송을 위해서, 4개의 SDTV 신호는 곧바로 SDTV 부호기에 입력된 후, STL에 보내지게 된다. 각 부분에 대한 자세한 설명은 아래와 같다.

DTV 시스템(연주소)

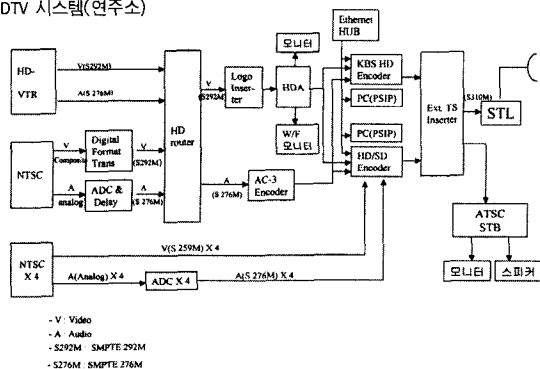


그림1 DTV 시스템(연주소)

DTV 시스템(관악산 송신소)

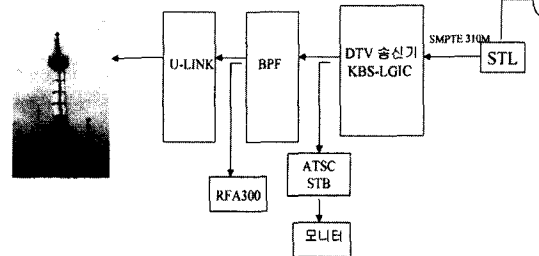


그림2 DTV 시스템(송신소)

1. HD-VTR

HDTV 녹화기로는 HDW-500을 사용한다. 디지털 HDTV 영상 및 음성신호를 기록, 재생 및 편집할 수 있는 VTR인데, 영상 신호는 SMPTE 292M 규격으로, 음성 신호는 SMPTE 276M으로 Router에 입력된다. 주요 기능을 요약하면 다음과 같다.

- Video I/O signals : 1920 x 1080(16:9), 2:1 interlaced, 10-bit digital component
- 비디오 입출력 규격 : SMPTE 292M
- 필드 주파수 : 59.94 Hz, 60 Hz
- 오디오 : Dual AES/EBU, SMPTE 276M

2. Digital Format Translator

Digital Format Translator는 NTSC 방송 신호를 입력받아서 실시간으로 노이즈 제거 및 라인 보상 등을 한 후에 ATSC의 480p, 720p 와 1080i HDTV 신호로 변환하는 장비이다. NTSC 콤포지트 신호를 입력받아서 SMPTE 292M 규격으로 출력한다.

3. HDTV Router

HDTV Router는 4개의 HDTV 비디오, 오디오 신호를 각각 입력으로 받아서 그중 1개를 선택하여 출력하는 장치이다. 입력 비디오 신호는 HDTV VTR인 HDW-500과 Digital Format Translator의 출력을 입력으로 받아서 선택하여 출력한다. 오디오 신호는 HDW-500 오디오 출력 신호와 NTSC 신호를 Delay한 신호를 선택하여 출력한다. 2 개의 AES/EBU 규격 즉 4 채널의 오디오가 가능하다. 비디오 입·출력 규격은 SMPTE 292M이고, 오디오는 SMPTE 276M이다.

4. 로고 삽입기

HDTV 신호에 로고를 삽입하는데 사용되는 장비이다. 로고는 플래쉬 메모리에 저장되거나 RS-232 인터페이스를 통해 다운로드될 수 있다. 입·출력 규격은 SMPTE 292M이다.

5. HDTV-DA

HDTV Distribution Amplifier는 1개의 HDTV 디지털 직렬 신호를 받아서 4 개의 출력으로 분배해 주는 장비이다. 내부에 등화기와 re_clock 장치가 들어있다. 입·출력 규격은 SMPTE 292M이다.

6. Encoder

6.1 KBS Encoder

HDTV 인코더 시스템은 그림 3에 나타난 바와 같이 비디오 인코더, 오디오 인코더, 시스템 컨트롤 및 멀티플렉스, 제어 및 관리 시스템 등 4개의 주요부분으로 구성된다. 이 시스템의 주요 특징 및 입출력은 다음과 같다.

- 1) 비디오 포맷 : 1080i, 720p
- 2) 컬러 포맷 : 4 : 2 : 0, 4 : 2 : 2
- 3) 비디오 코딩 : MPEG-2 MP@HL, 4 : 2 : 2@HL
- 4) 오디오 코딩 : Dolby AC-3, MPEG-2 L-II
- 5) 특징 - full frame Encoding
- Full Search ME Method
- 6) Packetizer : MPEG-2 System Mux, DVB-SI, ATSC-PSIP
- 7) 입력신호 규격 : SMPTE260M, SMPTE274M (1080I), SMPTE 292M
- 8) 출력 인터페이스 : SMPTE310M, DVB-ASI, DVB-SPI, ATM

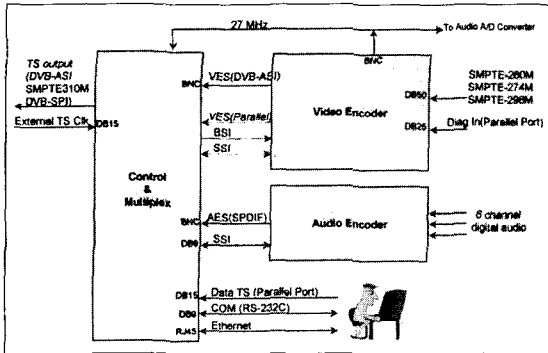


그림3 HDTV 인코더 시스템

6.2 Harris Encoder

Harris Encoder의 주요 특성 및 입출력은 다음과 같다.

- 1) HDTV & SDTV encoding
- 2) HDTV Encoder
-MPEG-2 4:2:0 MP@HL : 480p60, 720p60, 1080i30
-SMPTE 292M/299M/272M

3) SDTV Encoder

- MPEG-2 4:2:0 MP@ML : NTSC
- SMPTE 259M (SD-SDI format)

4) 오디오

- Dobly AC-3 20 채널 스테레오 encoder 내장
- Dobly AC-3 5.1 채널 외부 입력 가능
- AES/EBU

5) PSIP 와 Closed Caption system 지원

6) 출력 인터페이스 : SMPTE 310M, ASI, DS-3

7. External TS Inserter

이 장비는 KBS의 Encoder와 Harris의 Encoder를 선택 하는 역할을 한다.

IV. STL(Studio to Transmitter Link)

STL 시스템은 연주소에서 송신소로 Microwave 회선을 통해 제작된 방송 프로그램을 전달하는 장치로, DTV 송신 시스템의 경우에는 19.39Mbps의 ATSC 디지털 신호를 6.6875 GHz의 25MHz RF 채널 대역으로 640mW의 출력으로 전송한다. KBS에서는 DTV 방송을 위해 MRC의 DAR 20로서 hot_standby 링크 시스템이다. 본 시스템에 사용되는 마이크로웨이브 전송 기술에는 16QAM 변조를 사용하고, IF 주파수는 70MHz이다. 입력 데이터는 19.39 Mbps의 transport stream이 SMPTE 310M 규격으로 입력된다. 주요 규격은 다음과 같다.

1. STL 송신기

- 1) 주파수 안정도 : $\pm 0.001\%$
- 2) 출력 전력 : +28 dBm
- 3) 주파수 : 6.6875 GHz
- 4) IF 입력 주파수 : 70MHz

2. STL 수신기

- 1) 잡음지수 : 35 dB
- 2) 수신 임계치 : -81 dBm

V. 전송 부분

STL을 통하여 관악산에 도달한 신호는 SMPTE 310M 규격으로 송신기에 입력된다. 출력이 평균 전력 1KW인 디지털 송신기는 KBS 기술연구소와 LG정보통신이 공동으로 개발한 것이다. 이 중 디지털 송신기의 핵심 부분인 Modulator를 개발하고, 고출력 증폭기(High Power Amp) 부분은 NEC 송신기를 사용하였는데, 향후 이 부분도 국산화 할 예정이다. 이 송신기를 통과한 신호는 Channel 15로 안테나를 통하여 공중으로 전파된

다. 각 부분에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

1. 송신기

1.1 송신기 구성

8-VSB 송신기는 MPEG-2 시스템 다중화기의 TS(Transport Stream) 출력 데이터를 입력으로 받아 채널 부호화와 필터링을 한 후, RF 신호로 변환하여 UHF 채널 15 번으로 전송한다. 이 송신기의 외관은 <그림 4>와 같다. 송신기는 크게 모듈레이터와 Exciter, 200 W 6 개를 combining하여 1 KW 출력을 내는 HPA(High Power Amp), 송신기의 여러 동작 상태를 나타내는 전면표시부, HPA에 전원을 공급하는 전원부, 그리고 시스템 전체에 전원을 공급하는 메인 전원부로 구성되어 있다.

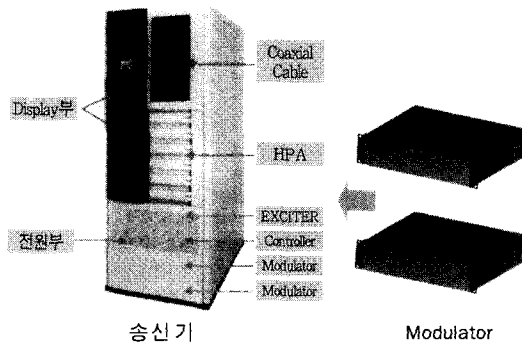


그림4 송신기의 외관

1.2 8-VSB 변조기

8-VSB 변조기는 MPEG-2 시스템 다중화기의 TS 신호를 입력으로 받아들여서 오류 정정을 할 수 있도록 Channel Coding을 하고, ISI(Inter Symbol Interference)가 없이 보낼 수 있도록 디지털 필터링을 한 후에, IF 신호로 만드는 부분이다. 변조기는 디지털 지상파 송신에 사용하는 8-VSB와 케이블 모드인 16-VSB 모두 사용할 수 있도록 설계하였다. 본 시스템의 입력 규격은 SMPTE 310M을 사용하였다. 8-VSB의 경우 입력 데이터율은 19.39 Mbps이고, 16-VSB의 경우는 38.78 Mbps의 신호이다. <그림 5>는 송신기의 블록도와 실제 보드의 구성을 보여준다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 모듈레이터는 크게 SMPTE 310 규격의 MPEG2-TS를 받아 처리해 주는 SMPTE Interface 기능과 채널 코딩을 하

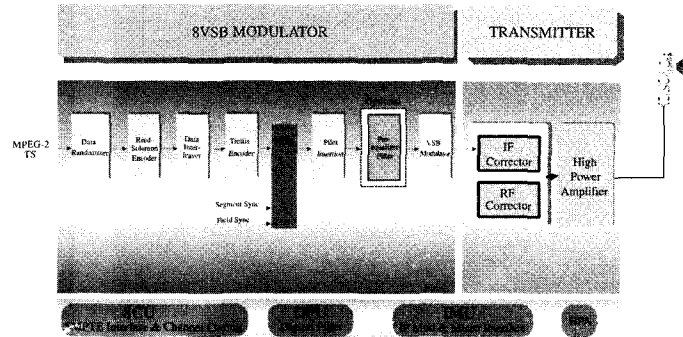


그림5 송신기의 구성

는 SCU(Smpte Interface & Channel Coding Unit) 보드, 디지털 필터링과 비선형 보상 기능을 처리하는 DFU(Digital Filter Unit) 보드, 그리고 VSB 변조와 전체 보드의 제어 역할을 담당하는 IMU(IF Modulator & Micro Control Unit) 보드로 구성되어 있다.

SCU 보드는 SMPTE 310M 형식으로 입력된 데이터를 ATSC 데이터 프레임 형식으로 바꾸어 주고, 각 보드에서 필요한 클럭을 발생시킨다. 또한 오류 정정 부호화를 하고, 동기신호와 파일럿을 삽입한다. 출력 데이터는 데이터율이 10.76 Msymbols/s인 TCM 부호화된 데이터이고, 8 비트로 구성되어 있다.

DFU 보드에서는 TCM 부호화된 데이터를 8-VSB 변조를 위해 FIR 필터를 사용하여 필터링한다. 이 보드는 Linear 필터부와 Non-Linear 필터부로 구성되어 있다. Linear 필터 SCU 보드로부터 입력되는 신호를 각각 I 채널과 Q 채널로 나누어서 복소 필터링한다. 이 필터는 ATSC 규격에서 요구하는 대로 roll-off가 0.1152 이고, root-raised cosine 스펙트럼 특성을 가진다. Nonlinear 필터부는 변조기의 종단이나 HPA(High Power Amplifier)의 비선형 특성 등에 의한 비선형 왜곡을 보상하기 위해 Linear 필터로부터 입력되는 21.52Mbps의 신호에 전치왜곡(Pre-distortion)을 행하여 최종 송신기 출력단에서 선형 특성을 향상시킨다.

IMU 보드는 디지털 필터링된 신호를 IF 신호로 변환시키는 부분과 전체 시스템을 모니터링하고 제어하는 Micro Control 부로 구성되어 있다. IF 신호는 중간주파수가 44 MHz 이고, 대역폭이 6 MHz이며, 출력 level 은 -10 dBm 이다.

1.3 RF 부분의 구성

RF 부분은 IF 신호를 입력받아서 RF 신호로 변환하는 Exciter 부분과 RF 신호를 증폭하는 HPA(High Power Amplifier) 부분, 전력을 감시하는 부분, 송신기

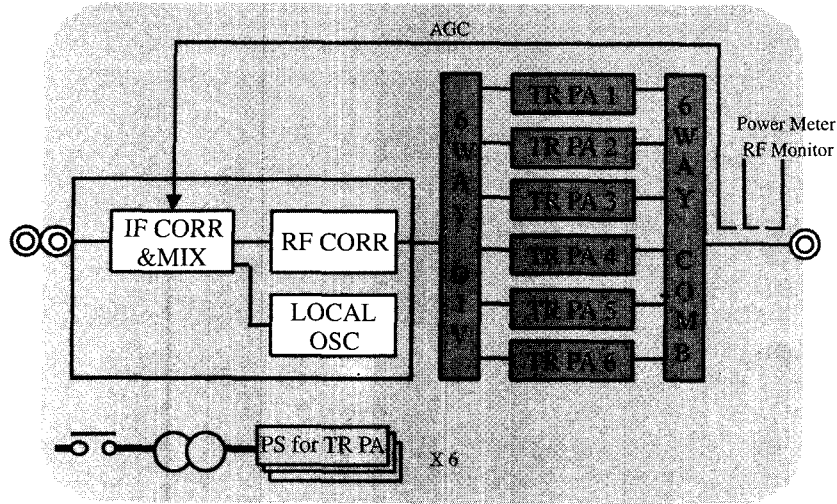


그림 HPA의 구성

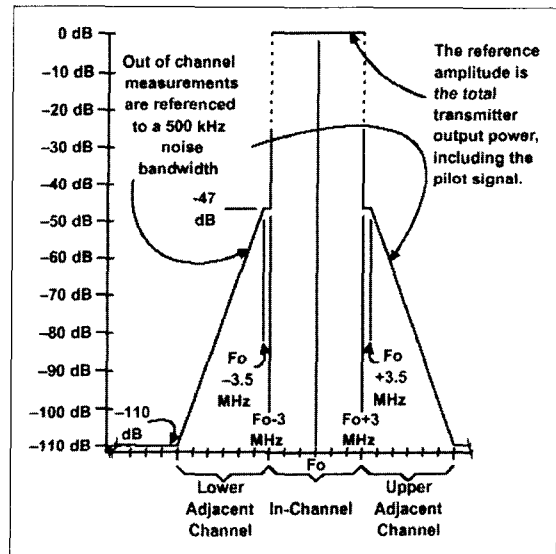
제어 시스템, 냉각(cooling) 시스템으로 구성되어 있다. RF의 구성은 <그림 6>과 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 HPA는 6 개의 PA(Power Amp) Module로 구성되어 있다.

송신기의 사양은 다음과 같다.

- 송신기 타입 : DTU-10/1ROS 1kW 디지털 TV 송신기
- 출력 전력 : 평균 1 KW
- 동작 주파수 : 470 ~ 580MHz (채널 15)
- 주파수 안정도 : $\pm 250\text{Hz} / 3$ 개월
- 내부 10 MHz 기준 주파수에 Lock이 가능
- 주파수 응답 : $\pm 0.5\text{dB}$ or Less, Without BPF
- Group Delay : $\pm 50\text{nS}$ or Less, Without BPF
- 대역의 혼변조 특성 : BPF를 가지는 FCC Spectrum Mask를 완전히 만족함
- IF 입력 : 50, BNC, -10dBm
- 전력 : 220 Volt 50/60Hz, 3 상, 3-Wire or 4-Wire

2. Channel Filter

ATSC 방식의 디지털 TV 송신기는 FCC(Federal Communications Commission)에서 권고하고 있는 스펙트럼 마스크(Out of Channel Emission) 조건을 만족시키기 위해 송신 채널에 맞는 Channel Filter를 추가한다. 이 규정에 의하면 채널의 중심주파수에서 35MHz 떨어진 지점에서 송신기 평균 전력보다 47 dB이하이어야 하며, 채널의 대역 끝에서 6MHz 떨어진 곳에서 110 dB이하이어야 한다. 마스크 특성을 보면 다음과 같다. 이 규격을 만족시키기 위해 8 Pole의 BPF를 사용하였다.



3. 안테나

송신 안테나는 (주)하이게인 안테나의 UHF 4 Dipole 16 Pannel 안테나를 사용하였다. main cable과 branch 케이블은 Andrew의 HJ7-50A(1 5/8 인치) HJ5-50(7/8인치)를 사용하였다. 송신기의 출력은 하이게인 안테나에서 제작한 U-LINK를 통과한 후, 두 개의 메인 케이블로 나뉘어진다. 메인 케이블의 신호는 다시 8개의 branch 케이블에 나뉘어져서 이 송신 전력은 안테나의 상단 8개에 나뉘어 공급된다. 15 %의 Null ㅁ을 했고,

항 목	기 준
형별	UHF 4 Dipole 16 Panel Antenna
채널	Ch-15(479 MHz)
임피던스	공칭 50 ohm
정재파비	Fo ± 25 MHz 1.1 이하
	Return Loss -26.4 dB 이하
입력 Connector	7/8" Flanged
편파	수평
허용 전력	2.5 KW이상
패널별 안테나 이득	10.75 dB 이상
패널별 주 복사각도 폭	90° ± 5°
패널별 전, 후방비	15 dB
Null Fill	15 %
Beam tilt	1.5 도
케이블	HJ7-50A(1-5/8")
	HJ5-50(7/8")

표 안테나 사양

1.5도의 틸를 했다. 안테나 시스템의 주요 사양은 다음과 같다.

V. 결론

현재 KBS에서 지상파 DTV 실험방송을 위해 구축되고 있는 송신시스템에 대해 설명하였다. DTV용 송신기와 Encoder를 국내 개발한 장비를 사용하였으며 안테나 등 송신 장비 부분도 국내 업체에 의해 제작되었다. 이 시스템은 실험 방송의 필드 테스트를 위해 활용될 예정이다. DTV 송신관련 장비 개발은 향후 디지털 송신기의 핵심부인 채널코딩부와 디지털 필터부를 ASIC화 하고, DTV 중계기 개발도 이루어질 전망이다.

필자소개

구 자 득

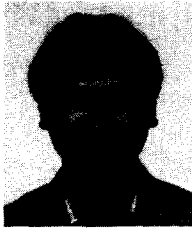
- 1991년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
- 1996년 2월 포항공대 전자전기와 졸업(석사)
- 1996년 1월 ~ KBS 기술연구소

목 하 균



- 1980년 서울대학교 전기공학과 졸업
- 1982년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업
- 1982년 !현재 한국방송공사 기술연구소 선임연구원
- 주관심분야 : 지상파 디지털 TV 방송, 위성방송

양 경 석



- 1983년 고려대학교 전자공학과 졸업
- 1987년 ~ 현재 한국방송공사 기술연구소 연구원
- 주관심분야 : 지상파 디지털 TV 방송

서 영 우

