일반논문-09-14-4-13

DTV 분산중계망의 구축 및 실험방송 결과분석

목 하 균^{a)*}, 왕 수 현^{a)}, 성 영 모^{a)}, 이 용 태^{b)}, 이 용 훈^{b)}, 김 흥 목^{b)}

Implementation & Test Results analysis Of a DTV Distributed Translator(DTxR) Network

Ha-Kyun Mok^{a)*}, Soo-Hyun Wang^{a)}, Young-Mo Sung^{a)}, Yong-Tae Lee^{b)}, Yong-Hoon Lee^{b)},
and Heung-Mook Kim^{b)}

요 약

기존의 방송망 중계소 5곳을 선정하여 분산중계망 송신 시스템으로 설계, 구축한 후 서비스 예상지역의 수신 성능을 확인하기 위해 필드테스트를 수행하였다. 중계소 5곳은 수신지역이 겹칠 것으로 예상되는 조밀하게 인접한 4곳과 다소 원거리에 있는 긴 지연시간의 다중신호(Multipath) 영향을 분석하기 위한 1곳을 선정하였다. 측정절차는 각 중계소의 분산중계망의 효과를 알아보기 위해 모국(Main Station)의 수신 상태를 측정한 후, 각각의 중계 송신기의 송출과 휴지상태에서의 수신 상황을 측정, 비교하였다. 측정항목은 DTV의 표준측정 절차인 9 미터 높이의 수신안테나로 고정 측정 항목 중 수신 전계강도, 노이즈마진과 수신가능각의 변화를 측정하였다. 또 수신기의 수신능력을 수신기 세대별로 확인하기 위해 3세대, 5세대 및 6세대 수신기를 사용하여 측정하였으며 동시에 수신화질의 주관적 평가도 수행하였다. 측정은 총 60개 지점에서 이루어졌다. 측정결과 예상 서비스지역에서 모국 신호나 기존의 1곳의 중계기에 의한 수신 성공률보다 분산중계망 시스템에 의한 수신 성공률이 향상됨을 알 수 있었다. 그리고 5, 6세대 수신기에서는 수신조건도 모두 개선되어 분산중계망을 도입, 사용할 경우 방송채널 주파수자원의 효율적 이용을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

Abstract

To verify the performance of a Distributed Translator Network(DTxR) system in the real world conditions, 5 legacy DTV broadcasting repeater sites were implemented with 5 DTxR systems and field-tested by the DTV field test truck. The 4 DTV broadcasting repeater sites are selected in congested areas where their service areas are overlapped and the 5th site is deviated from the other sites to examine the effect of long-delayed multipath signals. First of all, we checked the receiving signal of the main station that used as a transmitting signal in 5 DTxR systems on the pre-selected 60 test points and tested every case of a DTxR system's on & off except 1 repeater site due to the already built-in DTV repeater system. The test items are received signal electric field strength, noise margin, ease of reception and subjective evaluation of the picture quality for received signals. We used 3rd, 5th, and 6th generation DTV receivers to examine the differences of the receivability by each generation of DTV receivers. Reviewing the test results, we conclude that the DTxR system can be adopted in the current DTV Repeater sites and it could improve the quality and receivability of the main signals by extending the service areas and enhancing the signal levels in the shadow areas without using the extra broadcasting channels.

Keyword : MFN(Multi - Frequency Network), SFN(Single Frequency Network), OCR(On Channel Repeater), DTxR, TxID(Transmitter Identification), IMAS(Integrated Measurement and Analysis system), Field Test

I. 서 론

전통적으로 지상파 방송 채널의 수신음영 지역을 보완하는 방법으로는 신규 방송 채널을 할당하여 새로운 중계소를 구축하는 것이나, 디지털방송의 전환과 동시방송을 수행해야 하는 현재의 여건으로는 이와 같은 다중채널망(MFN)은 현실적으로 어려운 점이 많다. 또한 최근에 실시된 순수한 단일 주파수망(SFN)기술인 디지털 동일채널 중계기술(DOCR)은 그 자체로 여러 가지 기술적 제약을 갖고 있어 일반적으로 적용하기에는 한계가 있다. 이에 따라 2007년도에 실시한 서울지역에서의 DTV 분산중계망 필드테스트가 인위적으로 선정, 구축된 지역에서 송수신 신호가 중복되는 지역을 대상으로 비교적 단거리, 소규모의 분산중계기의 수신 성능을 조사한 것이라면, 본 DTV 분산중계망 실험 방송에서는 실제 운영되고 있는 아날로그 및 DTV 중계소들로 분산 중계망을 구축하고 그 성능을 측정하였다. 분산 중계망이란 송신모국(Main Transmitter Station)의 신호를 받는 각 중계국이 동일한 하나의 재송신 신호를 공유하는 단일주파수망으로서 전통적인 다중주파수망이 모국을 포함하여 N+1의 주파수 채널을 필요로 한다면 분산 중계망은 1+1 즉, N-1개의 주파수 채널 대역 절감 효과를 갖게 되는 것이다. DOCR은 모국과 동일한 채널이므로 모국을 포함하여 단지 1개의 채널로 시스템을 구성하는 것이다.

분산 중계망 실험방송을 위해 사전 조사, 선정된 지역은 여수, 순천 지역의 TVR(Television Repeater) 사이트인 순천 TVR, 쌍봉 TVR, 문수 TVR, 여수 TVR, 그리고 구봉 TVR로서, 이들 지역은 경남 망운산 송신소로부터 채널 44번의 DTV 신호를 수신하여 채널 32번으로 송신하고 있다. 이와 같이 분산중계기의 숫자도 최대 5대로 늘렸고, 공간적으로 밀집된 지역의 분산중계기만이 아니라 순천TVR과 같은 다소 먼 거리의 분산중계기를 포함시킴으로써, 상대적으로 긴 지연신호를 발생시키는 분산중계망을 구축하고 그

성능을 측정하였다. 분산중계기의 각 송신 출력은 90와트부터 2와트까지 다양하며, 송신안테나는 아날로그 방송망의 송신패턴을 그대로 사용하였다.

측정 항목은 일반적인 DTV의 고정측정 항목과 주관적인 수신 가능여부 판단에 해당되는 측정절차를 도입하였고, 여기에 분산중계망에서 필요로 하는 항목들을 추가하여 측정하였다. 그리고 분산중계망의 장시간에 걸친 안정적 동작을 확인하기 위하여 분산중계망 성능 모니터링 시스템을 설치 운영하였으며, 총 60여개 지점의 수신점을 선정하여 위의 항목들에 대해 측정 및 분석하였다.

II. DTV 분산중계 시스템

1. 분산중계망 시스템

분산중계망 시스템은 여수지역 4곳의 TVR 사이트인 쌍봉 TVR, 문수 TVR, 여수 TVR, 그리고 구봉 TVR과 순천 지역에 있는 순천 TVR에 설치되었다. 이들 각 사이트 별 제원은 표 1과 같다.

구봉 TVR에는 DTVR이 이미 설치되어 있으므로 원격절체가 가능한 분산중계기를 설치하였다. 순천 TVR은 여수시 지역의 분산중계망과 약 30km 떨어진 지점에 위치하고 있으며 여수시 인근에 설치된 분산중계망과의 긴 지연 신호의 효과를 알아보기 위하여 추가적으로 선정하였다.

각각의 분산중계기들의 송신 신호를 식별하기 위해 확산코드를 이용한 TxID (Transmitter Identification) 신호를 각 분산 중계기의 송신신호에 삽입하고, TxID 분석기를 이용하여 초기에 망 구축 완료 후 전체적인 분산중계망의 지연도(Delay Offset)를 조정하였다. 즉, 상대적으로 먼 곳에 위치한 분산중계망 신호에 의한 긴 지연신호의 선행 고스트(pre ghost)를 후행 고스트(post ghost)로 바꾸기 위해 심볼 단위의 지연기(Symbol delayer) 삽입을 통해 각 분산 중계기의 송출시간을 조정하여 전체의 송출환경을 최적으로 설정하였다. 분산중계기는 주 송신소에서 전송된 방송 신호를 수신하는 수신 안테나 및 수신부, 필터링, 복조 및 등화 등을 수행하는 신호 처리부, TxID 삽입부, 재변조부,

a) 한국방송 방송기술연구소

Broadcast Technical Research Institute, KBS,

b) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부

Broadcasting System Research Department, ETRI

* 교신저자 : 목하균(mok@kbs.co.kr)

· 접수일(2009년5월13일), 수정일(2009년6월17일), 게재확정일(2009년6월17일)

표 1. 분산중계망 시스템 제원

Table 1. Specifications of DTxR systems

송/중계소 명	위치	좌표		해발고	절탐	매체	수신 CH	송신 CH	출 력	안테나 패턴	비고
		북위	동경								
망운(송)	남해군 서면	34-50-46.3	127-50-54.0	770m	40m			44	1kW	4 : 4 (215:305)	
구봉(중)	여수 여서동	34-44-18.8	127-42-27.9	380m	25m	분산중계	44	32	90W	1 : 2 : 2 (80:170:350)	기존 DTV와 공용
쌍봉(중)	여수 소라면	34-47-15.0	127-37-14.2	240m	25m	분산중계	44	32	20W	4D-3P (50(2), 140)	
						동일채널 (ETRI)	44	44	20W	4D-2P (230)	
문수(중)	여수 문수동	34-45-39.8	127-41-41.3	340m	20m	분산중계	44	32	10W	4D-3P (15:105:275)	
여수(중)	여수 봉산동	34-44-11.6	127-43-40.1	94m	18m	분산중계	44	32	2W	4D-2P (0:250)	
						동일채널 (KBS)	44	44	20W	4D-2P (0:250)	
순천(중)	순천 덕월동	34-56-08.5	127-28-30.5	344m	31m	분산중계	44	32	90W	4D-2P (100(2))	여수향

채널변환 및 증폭을 수행하는 중계기 송신부 및 송신 안테나로 구성되어 있다. 그림 1은 분산중계망 구축을 위해 사

용되는 분산중계기의 구성도이며 그림 2는 구봉TVR 사이트에 설치된 분산중계망 시스템이다.

그림 1. 분산중계기(DTxR) 시스템

Fig 1. DTxR System

그림 2. 분산중계 시스템(구봉)
Fig 2. DTxR System(Ku-bong)

III. 분산중계 실험방송의 측정

1. 측정지점 선정

분산중계망의 측정점은 순천, 여수지역의 기존 중계망 서비스 지역 중 난청지역과 중계기의 신호가 겹치는 지역

으로 기존의 디지털방송 서비스지역 조사 때 측정했던 지점과 분산중계망을 위한 추가 지점을 지도상 선정하고 현장답사를 통해 최종적으로 60개 지점을 결정하였다. 측정지점은 각 중계소의 위치를 중심으로 크게 두 지역인 여수와 순천으로 분류하여, 여수지역에 40여 지점, 순천지역에 10여 지점, 그리고 중간지역에 10여 지점을 선정하였다. 분산중계기 측정 이외에 참고로 주송신소인 망운산 신호의 측정과 기존 DTVR이 설치된 구봉신호를 사전에 측정하였다. 그림 3은 측정지점 60개소를 나타낸다.

5곳의 분산 중계망 중계 송신기의 위치와 측정지점 60곳의 각각의 거리는 최하 0.5Km에서부터 최장 35Km에 이르는 폭넓은 분포를 나타내고 있다.

2. 측정 절차

측정 절차는 DTV 필드테스트의 고정측정 절차를 준용하되, 동일 측정점에서 우선 망운산 신호를 측정 후 각각의 분산중계기 신호의 수신 여부와 수신 상태를 측정한다. 그리고 최종적으로 전체 분산중계망의 수신 신호를 측정한다. 다만 구봉 중계소는 현재 방송중인 것을 감안하여 항상 신호를 송신하는 조건으로 한다.

분산중계기 신호의 측정은 360도 수신패턴을 측정 후 수

그림 3. 분산중계망 측정점
Fig 3. DTxR Test Points

신 가능한 모든 각도에서 측정하되 주관적 화질평가가 가능한 신호까지로 한정한다. 단계별 측정 절차는 다음과 같다.

단계 1. Calibration 사이트에서 계측기 및 시스템을 점검, 교정한다.

단계 2. 측정점에 도착후 망운산 수신신호에 대하여 고정 측정항목을 측정한다.

단계 3. 5곳의 모든 분산 중계기신호가 켜진 상태에서 수신 가능한 모든 각도에 대하여 고정 측정항목을 측정한다.

단계 4. 수신안테나를 전방향 안테나(Omni-Directional Antenna)로 교체한 후 분산 중계기신호에 대하여 송신기 식별분석기(TxID Analyzer)로 측정한다.

단계 5. 구봉 중계소를 제외한 나머지 4곳의 중계소 신호를 모두 끈 후 한 곳씩 차례로 켜면서 각각 고정 측정항목을 측정한다.

단계 6. TxID 신호크기인 BR(Bury Ratio)를 변경(-21dB/-24dB/-27dB/-30dB/-33dB/ -36dB/-39dB /Off) 하면서 (구봉 중계소를 제외한 나머지 4곳의 중계소 신호를 모두 끈 상태) 고정 측정항목을 측정한다.

3. 측정 항목

측정 항목은 DTV 실험방송의 고정측정 항목을 대부분 준용하고 측정 채널은 여수, 순천 지역의 분산 중계망 설

표 2. 측정 항목
Table 2. Test Items

번호	측정 항목	항목 분류	비 고
1	송신소	일반정보 (송신기 및 송신점)	수동 선택
2	매체		수동 선택
3	채널		자동 입력
4	송신점경도		자동 입력
5	송신점위도		자동 입력
6	송신점거리		자동 입력
7	송신소방위각		자동 입력
8	차량방위각		수동 입력
9	송신소로터각		자동 계산
10	측정로터각		수동 입력
11	출력	수신시스템 정보	자동 입력
12	중심주파수		자동 입력
13	안테나이름		수동 선택
14	안테나팩터		자동 입력
15	시스템이득		자동 입력
16	신호감쇄량		수동 입력
17	LOS 여부		수동 선택
18	2차원지형고도프로파일		자동측정, 수동입력
19	360도 수신전계패턴		자동측정, 수동입력
20	수신가능각도		수동 입력
21	측정일자	일반정보 (수신점)	자동 입력
22	측정시간		자동 입력
23	수신점주소		수동 입력
24	수신점명		수동 입력
25	수신점경도		자동 입력
26	수신점위도		자동 입력
27	지표고		자동 입력
28	안테나높이		수동 입력
29	기상정보		수동 입력
30	수신점지도영상		수동 입력

번호	측정 항목	항목 분류	비 고
31	채널파워	스펙트럼 분석기 (ESPi)	자동 측정
32	노이즈파워		자동 측정
33	C/N		자동 계산
34	수신전계강도		자동 계산
35	PassBand Spectrum		그림 자동입력
36	수신기명	3세대 STB	수동 입력
37	주관평가		수동 선택
38	수신기SNR		수동 입력
39	기타특이사항		수동 입력
40	임계점채널파워		자동 측정
41	입력신호마진	ESPi@ S사 6세대 STB	자동 계산
42	임계점노이즈파워		자동 측정
43	노이즈마진		자동 계산
44	수신기명		수동 입력
45	주관평가		수동 선택
46	수신기SNR	L사 5세대 STB	수동 입력
47	기타특이사항		수동 입력
48	임계점채널파워		자동 측정
49	입력신호마진		자동 계산
50	임계점노이즈파워		자동 측정
51	노이즈마진	ESPi@ L사 6세대 STB	자동 계산
52	멀티패스 성분(CIR)		TxID 분석기
53	기타		특이 정보

치 중계소들의 모국인 망운산 KBS DTV Ch.44(653MHz) 신호 및 Ch.32(581MHz)의 각 중계소 전송 신호를 측정한다. 분산중계망의 수신 성능을 측정하기 위하여 수신기는 세대별로 준비하여 측정 항목을 반복 측정한다. 수신가능 여부를 판단하기 위하여 최종적으로는 측정자에 의한 수신화질 주관평가를 실시하였다. 고정 측정 항목에 추가하여 분산중계망의 특성을 파악할 수 있도록 TxID 분석기를 이용한 수신채널 내 각 중계소 수신 신호의 멀티패스성분 (CIR : Channel Impulse Response)을 측정 기록한다. 측정 항목은 표 2와 같다.

4. 측정 차량 및 장비

측정 차량에는 먼저 9m 높이에서 DTV 신호를 수신할 수 있도록 공기압을 이용한 안테나 마스트가 설치되어 있으며, 안테나 마스트 끝에는 581 MHz와 653MHz 모두 수신할 수 있는 광대역 안테나가 설치되어 있다. 안테나가 최적의 수신 전계 분포를 수신할 수 있는 방향을 파악하여 해당 방향으로 고정할 수 있도록 하는 안테나방향 설정 장치가 내장되어 있으며, 설정 장치의 구동은 측정 소프트웨어를 통해 조절 가능하다. 측정 시스템에는 수신전계 분포를 360도 방향에 따라 측정하여 수신전계 패턴을 파악하고, 신호 스펙트럼을 저장할 수 있는 기능을 가지고 있다. 차량 내에는 3세대 및 5세대 수신기를 통해 화면을 볼 수 있는 모니터가 상단에 설치되어 있고, 하단 부분에는 스펙트럼 분석기와 테스트 수신기, 로터, 전자 나침반, 전계강도 측정기 및 시스템 컴퓨터 등이 설치되어 있다. 뒷면에는 6세대 수상기를 설치해서 화면 상태를 비교할 수 있다. 그림 4는 측정차 사진, 그림 5는 측정차 내부 사진이다.

수신기는 3, 5, 6세대 수신기를 사용하였는데, 수신기의 세대구분은 사용 수신칩의 다중 경로 간섭신호 제거능력을 나타내는 수신동화기의 성능에 따른 구분으로, 그림 6은 2001년도의 3세대 수신기, 2005년의 5세대 수신기, 2006년의 6세대 수신기의 단일 정적다중신호에 대한 수신능력을 표시한 것이다.

그림 4. 분산중계망 필드테스트 측정 차량
Fig. 4. DTxR Field Test Vehicle

그림 5. 분산중계망 필드테스트 측정 시스템
Fig. 5. DTxR Field Test System

그림 6. 세대별 DTV 수신기의 단일 정적 다중 신호에 대한 수신특성
Fig. 6. The susceptibility to single static echo for several generations of DTV Receivers

그림 7. 분산중계망 필드테스트 측정 시스템 구성도
Fig. 7. DTxR Field Test System Block Diagram

그림 7은 측정차에 설치된 측정 시스템의 구성을 나타낸다.

5. 통합 측정 및 분석 시스템(IMAS)

이번 필드 테스트를 수행함에 있어서도 측정시간의 단축과 측정 데이터의 신뢰성의 향상을 위하여 개발된 통합 측정 및 분석 시스템을 이용하였다. 그림 8은 IMAS의 구성을 나타낸다.

측정에 이용된 시스템은 지리 정보를 분석하는 지리정보 (Geographic Information System : GIS) 모듈, 측정을 담당하는 자동측정모듈, 측정된 데이터를 분석하여 사용자가 원하는 양식의 보고서를 자동 생성하는 데이터 분석 및 보고서 작성 모듈, 계측장비(스펙트럼분석기 등) 및 운용장비 (GPS, 로터 등)를 연결하고 제어하는 장비 인터페이스 및 관리모듈로 구성되며 전체가 하나의 프로그램으로 통합되

그림 8. 통합 측정 분석 시스템(IMAS)
Fig. 8. IMAS System

어 운용된다.

또한, 측정용 시스템은 측정뿐 아니라 지형정보시스템을 이용한 전계강도 예측 시스템을 도입하여 측정지점 주변의

수신환경 분석 및 최적 수신위치의 검색정보 등을 제공하며, 다량의 측정결과에 대한 다양한 분석이 가능하여 커버리지 분석 및 송신 네트워크의 설계 등에 활용될 수 있도록 설계되었다.

측정용 시스템의 측정 소프트웨어는 Windows2000 및 WindowsXP 등의 Windows OS 환경에서 Delphi 5.0을 이용하여 개발하였으며, 기지국과 측정값 등의 데이터베이스화를 위해 MDB를 사용하였고, 계측 및 운용 장비와의 연결은 GPIB(IEEE 488.2), RS-232 등의 인터페이스를 사용하였다.

6. 측정 자료

측정 순서는 매일 측정 전에 측정시스템과 계측기를 점검한 후 측정을 시작하였는데, 순천 지역과 가까운 지점들은 순천KBS에서, 여수 지역과 가까운 지점들은 구 여수KBS에서 보정 하였다. 측정은 먼저 IMAS를 사용해서 측정점의 지도를 파일로 생성하였다. 그리고 측정차를 포함한 측정점의 사진을 촬영하였고, 측정차의 방위각을 측정하였다. 한 지점에서 6개의 송, 중계소 지형고도 프로파일이 그려지며, 지형고도 프로파일은 텍스트 형태로도 저장이 가능하다.

측정은 다음과 같은 방법으로 수행되었다. 먼저 안테나를 360도 회전하여 수신전계 패턴을 측정하였다. 수신전계 패턴은 텍스트 형태로도 저장이 가능하다. 그리고 계측장비인 ESPi로부터 채널파워, 노이즈파워, Passband 스펙트럼 등을 IMAS 시스템으로 저장하였고, 그때의 안테나 방향 사진을 찍었다. 이에 따른 데이터 파일이 엑셀로 저장된다. 그림 9는 수신전계 패턴이다. 또 그림 10은 채널파워, 그림 11은 노이즈파워를 나타낸다.

각 측정 점에서 생성되는 파일은 지도 파일, 사진 파일, 2차원 지형고도 프로파일 관련 12개, 9가지 경우 각 7개로 모두 63개 등 총 77개의 파일이 생성된다. 표 3은 각 측정점에서 수기로 작성하는 측정데이터 체크표이다.

측정은 전체→구분→여수→순천→문수→쌍봉→전체(순천제외)의 순서대로 분산중계기를 ON/OFF 하면서 수행하였다.

그림 9. 측정된 수신전계 패턴

Fig. 9. Electric Field Strength Pattern

Date: 26.NOV.2008 09:01:38

그림 10. 측정된 채널파워

Fig. 10. Channel Power

Date: 26.NOV.2008 09:02:24

그림 11. 측정된 노이즈 파워

Fig. 11. Noise Power

표 3. 측정데이터 표

[일반사항] 측정지점명 : 55.여수KBS				2008. 11. 25. 오전 10 시 10 분 ~ 12 시 20 분				
측정지역 지도 저장여부, 사진 촬영여부 [지도.jpg] (O), [사진.jpg] (X)				송수신 지형고도 프로파일 그림/데이터 저장여부 [송/중계소명-지형.jpg.txt] (망운/구봉/여수/순천/문수/쌍봉)				
파일 명칭		전체	구봉	여수	순천	문수	쌍봉	전-순
중계소(on/off)		전체ON	구봉ON 나머지 OFF	구봉,여수 ON 나머지 OFF	구봉,순천 ON 나머지 OFF	구봉,문수 ON 나머지 OFF	구봉,쌍봉 ON 나머지 OFF	전체ON 순천OFF
수신상태		수신양호	수신양호	수신양호	수신양호	수신양호	수신양호	수신양호
차량방위각		105	105	105	105	105	105	105
측정로터각		167	166	167	165	167	165	167
Attenuation		20	20	20	20	20	20	20
스펙트럼 분석기(ESPI)	채널파워	-33.32	-33.87	-33.80	-34.44	-34.41	-34.50	-34.41
	수신전계강도	86.81	86.26	86.33	85.69	85.72	85.63	85.72
	노이즈파워	-70.82	-71.13	-71.13	-71.58	-71.65	-71.61	-71.67
텔레뷰 3세대 STB	노이즈마진	40.71	39.66	39.69	39.65	39.79	39.66	39.64
	수신가능각	90~230	90~230	90~230	90~230	90~230	90~230	90~230
		255~265 300~310	255~265 295~315	255~265 300~310	255~265 295~315	255~265 295~315	255~265 295~315	255~265 300~310
LG 5세대 STB	노이즈마진	41.69	41.78	41.73	41.69	41.68	41.66	41.63
	수신가능각	5~40	5~40	5~40	5~40	5~40	5~40	5~40
		85~230 255~265 295~325	85~230 260~265 295~325	85~230 255~265 295~325	85~230 260~265 295~325	85~230 260~265 295~325	85~230 260~265 295~325	85~230 255~265 295~325
삼성 6세대 TV	노이즈마진	41.69	41.71	41.64	41.74	41.78	41.58	41.71
	수신가능각	5~45	5~45	5~45	5~45	5~45	5~45	5~45
		85~235	85~235	85~235	85~235	85~235	85~235	85~235
		255~270	255~265	255~270	255~265	255~265	255~265	255~270
		300~325 345~355	295~325 345~350	300~325 345~355	295~325 345~350	295~325 345~350	295~325 345~350	300~325 345~355
테스트수신기(EFA) SNR		22.0	27.5	22.5	27.3	27.0	27.1	22.2
채널 분석기(지향성)								
TxID 분석기(지향성)								
TxID 분석기(무지향성)								
수신전계패턴 그림/데이터 저장여부 [명칭:망운/구봉/여수/순천/문수/쌍봉/전-순/전제] [명칭-수신.jpg/txt] (구봉/여수/순천/문수/쌍봉/전-순/전제)					안테나화면 촬영여부 [명칭:망운/구봉/여수/순천/문수/쌍봉/전-순/전제] [명칭-안테나.jpg] (구봉/여수/순천/문수/쌍봉/전-순/전제)			
기타사항	전체							
	1.폐추레이선 발생으로 Atten20dB 적용후 측정함							
	구봉.여수							
	1.TXID측정(무지향)->구봉메인 다른DTXR 신호없음							
	구봉.순천							
	1.TXID측정(무지향)->구봉메인 다른DTXR 신호없음							
	구봉.문수							
	1.TXID측정(무지향)->구봉메인 다른DTXR 신호없음							
	구봉.쌍봉							
	1.TXID측정(무지향)->구봉메인 다른DTXR 신호없음							
전체ON,순천OFF								
1.TXID측정(무지향)->구봉메인 다른DTXR 신호없음								

IV. 측정 결과 및 분석

본고에서는 각 중계소의 분산 중계기 신호를 조건별로 나누어 송신하고 그에 따른 수신 성공률, 수신 전계강도, 노이즈 마진, 수신 가능각의 측정값을 항목별 및 지점별로 분석하였다. 분산 중계기의 송신상태는 전체 ON, 구봉 ON, 구봉/여수 ON, 구봉/순천 ON, 구봉/문수 ON, 구봉/쌍봉 ON, 그리고 순천을 제외한 나머지 ON의 7가지 경우이며, 이외에 망운산 송신소의 신호 및 구봉 중계소의 기존 DTVR 중계기 송신신호를 비교 자료로 사용하기 위해 측정하였다.

결과 분석은 각 측정 지점별로 측정된 신호 레벨, 잡음 레벨 및 채널 전력을 이용하여 노이즈 마진 및 신호 수신 상태를 파악하였다. 파악된 수신 상태를 이용하여 전파 특성 파라미터를 분석하여 성능 평가를 도출하였으며, 성능 평가 결과를 통해 DTxR 신호에 대하여 수신기의 수신 성능 개선 효과를 파악하였다.

수신 성공률은 수신기별로 수신 신호에 의한 화면 상태를 파악하여 양호하면 성공한 상태이며, 수신 화면이 불안정하거나 불가능하면 수신에 실패한 상태를 나타낸다. 또한 수신 노이즈 마진은 수신 신호의 임계치와 수신 신호 레벨과의 차이를 나타낸다.

1. 수신 전계강도

측정된 채널파워와 수신시스템의 특성 파라미터를 사용하면 해당 지역의 수신 전계강도를 계산할 수 있다. 수신 전계강도는 다음 식으로 계산된다.

$$\text{수신 전계강도(dBuV/m)} = \text{채널파워(dBm)} + \text{안테나팩터} - \text{시스템이득} + \text{신호감쇄량} + 107.7(\text{임피던스 } 50\Omega \text{의 경우})$$

2. 수신 노이즈 마진

수신 노이즈 마진은 DTV가 오류(화면 깨짐) 없이 수신하는데 필요한 최소한의 신호대 잡음비(Threshold of visibility : TOV)보다 얼마나 더 많은 수신 전계강도를 확보하

고 있나를 말하며, 일반적으로는 수신 전계강도에 비례한다. 본 측정에서는 안테나 높이 9m 에서 수신 상태가 양호한 사이트에 대해서 노이즈 마진을 측정하였으며 수신에 실패한 경우는 수신 마진을 '0'으로 간주하였다. 노이즈 마진을 측정하면 그 측정 지점에서 거리 또는 주변 환경으로 인한 전파 환경으로부터의 강인성을 알 수 있다. 수신 노이즈 마진 계산 방법은 아래 식과 같다.

$$\text{수신 노이즈 마진(dB)} = \text{S/N(dB)} - \text{임계점에서의 S/N(TOV)} + \text{기존 신호 감쇄량(dB)}$$

$$\text{S/N(dB)} = \text{Signal level(dBm)} - \text{Noise level(dBm)}$$

3. 수신 성공률 분석

표 4는 송신 조건별 수신 성공률을 나타낸다. 모든 조건에서 5세대 수신기와 6세대 수신기의 경우 동일한 결과를 얻었고, 기존의 구봉 DTVR과 구봉 DTxR도 비슷한 성능을 보였다. 표 4에 송신 조건별 수신 성공률이 그림 12에, 수신기의 세대별 수신 성공률이 그림 13에 나타나 있다.

표 4. 조건별 수신 성공률

Table 4. Receivability by the DTxR Transmitting Condition

구분	망운	구봉 DTVR	구봉 DTxR	전체 DTxR
3세대	58%(35개소)	65%(39개소)	63%(38개소)	90%(54개소)
5세대	87%(52개소)	73%(44개소)	73%(44개소)	97%(58개소)
6세대	87%(52개소)	73%(44개소)	73%(44개소)	97%(58개소)

그림 12. 조건별 수신 성공률

Fig 12. Receivability by the DTxR Transmitting Condition

그림 13. 수신기 세대별 수신 성공률

Fig 13. Receivability by the Generation of DTV Receivers

그림 14는 전체 DTxR을 ON한 경우, 60개 측정지점에서

수신되는 DTxR을 나타내고 있다. 구봉 DTxR 신호가 광범위하게 25개 지점에서 수신되었고, 순천 지역에서는 순천 DTxR이 15개 지점에서 수신되었다. 쌍봉 DTxR은 8개소, 문수 DTxR은 7개소, 그리고 여수 DTxR은 5개소에서 수신되었다.

그 외에 분산중계기 DTxR을 조건별로 ON/OFF한 경우의 조건별 수신 성공률이 표 5에 있다.

4. 수신 개선을 분석

우선 모국인 망운산 송신소의 신호는 3세대 수신기로는 35개소(58%), 5세대/6세대는 52개소(87%)에서 수신되었고, 구봉 DTVR 신호의 경우 3세대는 39개소(65%), 5세대

그림 14. 분산중계망의 수신상태

Fig 14. Receivability by the DTxR Systems

표 5. 조건별 수신성공률

Table 5. Receivability by the DTxR Transmitting Condition

구분	구봉/여수 on	구봉/순천 on	구봉/문수 on	구봉/쌍봉 on	순천 off/나머지 on
3세대	67%(40개소)	78%(47개소)	67%(40개소)	70%(42개소)	78%(47개소)
5세대	73%(44개소)	93%(56개소)	73%(44개소)	77%(46개소)	78%(47개소)
6세대	73%(44개소)	93%(56개소)	73%(44개소)	77%(46개소)	78%(47개소)

/6세대는 44개소(73%)에서 수신이 가능하였다.

분산중계기 신호 전체를 송신하면 3세대 수신기의 경우에는 구봉 DTxR의 수신불량 지점 19개소에서 수신 성공이 되었고, 기존의 수신 성공 지점 3개소에서 수신불량이 되어 총 16개 지점에서 수신개선이 이루어져 27%의 수신 개선율을 보였다.

5세대/6세대 수신기의 경우에는 구봉 DTxR의 수신불량 지점 14개소에서 수신 성공이 되었고, 수신개악은 없어서 수신 개선율은 23%를 나타내었다.

즉, 결과적으로 전체 분산중계망으로 송신하면 모국인 망운산 신호만의 수신율보다 수신기 세대별로 10%에서 27%까지 수신율이 향상되고 구봉 단독의 DTxR에 비해서는 25%까지 수신율이 개선됨을 확인하였다.

5. 수신 전계강도 분석

망운, 구봉 DTVR, 구봉 DTxR, 그리고 전체 DTxR에 대한 평균 수신 전계강도가 표 6에 있고, 그림 15에 그래프로 표시하였다.

표 6. 평균 수신 전계강도
Table 6. Average Receiving Electric Field Strength

	망운	구봉 DTVR	구봉 DTxR	전체 DTxR
평균(dBuV/m)	67.60	65.45	67.15	79.93

그림 15. 평균 수신 전계강도
Fig 15. Average Receiving Electric Field Strength

전체 DTxR 시스템을 ON한 경우 망운산 신호만이나 구봉 DTxR만 ON한 경우보다 평균적으로 수신 전계강도가 약 12 dBuV/m 정도 증가하였다. 그림 16은 60개 측정지점에 대한 망운, 구봉 DTVR, 구봉 DTxR, 그리고 전체 DTxR의 전계강도를 그래프로 나타내었다. 구봉 DTVR과 구봉 DTxR의 수신 전계강도는 비슷한 결과를 나타낸다.

그 외에 분산중계기 DTxR을 조건별로 ON/OFF 한 경우의 평균 수신 전계강도가 표 7에 있다.

표 7. 평균 수신 전계강도
Table 7. Average Receiving Electric Field Strength

	구봉/여수 on	구봉/순천 on	구봉/문수 on	구봉/쌍봉 on	순천 off/ 나머지 on
평균(dBuV/m)	67.67	75.64	68.05	69.90	71.39

그림 16. 전계강도 분포
Fig 16. Electric Field Strength

6. 노이즈 마진 분석

망운, 구봉 DTVR, 구봉 DTxR, 그리고 전체 DTxR에 대한 평균 노이즈 마진이 표 8에 있고, 그림 17은 조건별 평균

표 8. 평균 노이즈 마진(dB)

Table 8. Average Noise Margin(dB)

구분	망운	구봉 DTVR	구봉 DTxR	전체 DTxR
3세대	15.83	20.49	20.94	31.89
5세대	19.91	22.70	23.01	34.28
6세대	19.90	22.67	23.06	34.28

그림 17. 조건별 평균 노이즈 마진

Fig 17. Average Noise Margin by the DTxR Transmitting Condition

노이즈 마진, 그림 18은 세대별 평균 노이즈 마진을 그래프로 표시하였다. 전체 DTxR을 ON한 경우 구봉 DTxR만 ON한 경우보다 노이즈 마진이 3세대는 10.95 dB, 5세대는 11.27 dB, 6세대는 10.68 dB 증가함을 알 수 있었고 모국인 망운산 신호에 비해서는 약 14dB 향상되었다.

그림 18. 세대별 평균 노이즈 마진

Fig 18 Average Noise Margin by the Generation of DTV Receivers

그림 19부터 그림 21까지는 세대별로 60개 측정지점에 대한 망운, 구봉 DTVR, 구봉 DTxR, 그리고 전체 DTxR의 노이즈 마진을 그래프로 나타내었다. 그 외에 분산중계기를

그림 19. 노이즈 마진(3세대)

Fig 19. Noise Margin(3rd. Generation)

그림 20. 노이즈 마진(5세대)
Fig 20. Noise Margin(5th. Generation)

그림 21. 노이즈 마진(6세대)
Fig 21. Noise Margin(6th. Generation)

표 9. 평균 노이즈 마진(dB)
Table 9. Average Noise Margin(dB)

구분	구봉/여수 on	구봉/순천 on	구봉/문수 on	구봉/쌍봉 on	순천 off/ 나머지 on
3세대	22.05	26.90	22.19	23.88	26.45
5세대	23.55	30.04	23.81	25.71	27.34
6세대	23.63	30.05	23.90	25.69	27.40

조건별로 ON/OFF한 경우의 평균 노이즈 마진이 표 9에 있다.

7. 수신 가능각 분석

망운, 구봉 DTVR, 구봉 DTxR, 그리고 전체 DTxR에 대한 평균 수신 가능각이 표 10에 있고, 그림 22는 조건별 평균 수신 가능각, 그림 23은 세대별 평균 수신 가능각을 그

래프로 표시하였다. 전체 DTxR을 ON한 경우 구봉 DTxR만 ON한 경우보다 수신 가능각이 3세대는 17도, 5세대는 34도, 6세대는 42도 증가하는 것을 알 수 있다.

표 10. 평균 수신 가능각

Table 10. Average Ease of Reception

구분	망운	구봉 DTVR	구봉 DTxR	전체 DTxR
3세대	56	69	71	88
5세대	123	101	100	134
6세대	121	106	110	152

그림 22. 조건별 평균 수신 가능각

Fig. 22 Average Ease of Reception by the DTxR Transmitting Condition

그림 23. 세대별 평균 수신 가능각

Fig 23. Average Noise Margin by the Generation of DTV Receivers

그림 24부터 그림 26까지는 세대별로 60개 측정지점에 대한 망운, 구봉 DTVR, 구봉 DTxR, 그리고 전체 DTxR의 수신 가능각을 그래프로 나타내었다.

그림 27부터 그림 29까지는 세대별로 60개 측정지점에 대한 망운, 구봉 DTVR, 구봉 DTxR, 그리고 전체 DTxR의 수신 가능 누적각을 그래프로 나타내었다. 그림에서 보듯이 분산 중계망에 의해 수신 가능 누적각이 현저히 증가함을 확인할 수 있으며 수신의 용이함을 도모할 수 있게 된다.

그 외에 각 사이트의 분산중계기를 조건별로 ON/OFF 한 경우의 평균 수신 가능각이 표 11에 있다.

그림 24. 수신 가능각(3세대)

Fig 24. Ease of Reception(3rd. Generation)

그림 25. 수신 가능각(5세대)

Fig 25. Ease of Reception(5th. Generation)

그림 26. 수신 가능각(6세대)

Fig 26. Ease of Reception(6th. Generation)

그림 27. 수신 가능 누적각(3세대)

Fig 27. Cumulative Ease of Reception(3rd. Generation)

그림 28. 수신 가능 누적각(5세대)

Fig 28. Cumulative Ease of Reception(5th. Generation)

그림 29. 수신 가능 누적각(6세대)

Fig 29. Cumulative Ease of Reception(6th. Generation)

표 11. 평균 수신 가능각

Table 11. Average Ease of Reception

구분	구룡/여수 on	구룡/순천 on	구룡/문수 on	구룡/쌍봉 on	순천 off/ 나머지 on
3세대	73	89	63	75	72
5세대	104	134	99	104	106
6세대	116	147	111	115	123

V. 결 론

지상파 TV방송의 수신음영 지역을 개선하기위한 방법으

로는 신규의 방송 채널을 할당하여 음영지역을 위한 새로운 중계소를 구축하는 것이 일반적이나 디지털방송의 전환과 동시방송을 수행해야하는 현재의 여건으로는 이와 같은 다중채널망(MFN)은 현실적으로 어려운 점이 있고 주파수 자원의 사용도 비효율적이 된다. 또한 최근에 실시된 순수한 단일 주파수망(SFN)기술인 디지털 동일채널 중계기술(DOCR)은 시스템 자체로 여러 가지 기술적 제약을 갖고 있어 일반적으로 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 본고에서는 이에 대한 대안으로 제안되고 있는 디지털방송의 분산 중계망 기술의 적용을 위해 현재 아날로그 TVR과 DTVR을 운용하고 있는 여수, 순천 지역의 5개 중계소에

분산중계망을 구축하고, 측정지점 60개소를 선정하여 그 성능을 측정하였다.

측정 결과 5대의 분산중계기 신호 전체를 송신하게 되면 모국인 망운산 신호 송신만의 경우와 기존에 설치되어있는 구봉 DTVR만에 의한 송신보다 수신 성공률이 10%에서 24%까지 향상됨을 확인하였다. 그리고 평균 수신전계 강도는 10dB 이상 증가되었고 안정적인 수신을 위해 가장 중요한 요소 중의 하나인 수신 노이즈마진도 전계강도의 증가에 비례하여 10dB 이상 개선되었다. 또한 수신 편의성을 나타내는 수신가능 누적각의 경우에도 평균적으로 10도 이상 확장되었다.

분산중계망 신호에 의한 DTV 수신기의 세대별 영향을 확인하기위해 측정한 3세대 수신기의 경우 60개 측정 지점 중 3개 지점에서 수신의 개악이 보고된 반면 수신 개선은 19개 지점에서 나타나 분산중계망 신호에 의해 수신 성능이 향상되는 것을 알 수 있었고 5세대나 6세대 수신기의 경우에는 수신개선만 이루어지는 것을 확인하였다.

본 실험방송에서는 인위적으로 30Km이상 떨어져있는 순천TVR 중계소를 포함하여 분산중계망 시스템을 구축함으로써 상대적으로 긴 지연시간의 다중(Multipath)신호를 발생시켜 그 영향을 측정하였으나 수신율에 변화는 없음을 확인하였고, 분산중계망 자체에 의한 동일 신호의 중첩지역에서도 수신가능 누적각의 일부 감소는 측정되었으나 수신 성공률에는 변동이 없었다. 다만 분산중계망 기술을 현장에 적용하기 위해서는 기존의 3세대 수신기를 고려한 수

신지역의 설계가 필요하고 관련된 기술들 즉 채널 주파수 및 송신시각 동기 기술등이 확립되어야 할 것이다.

결론적으로 지상파 디지털방송에서 분산중계망 기술을 실제 방송에 도입 적용함으로써 난시청지역을 위한 추가적인 방송시스템의 구축에 필요한 주파수 채널 자원을 효율적으로 사용할 수 있고 수신 음영지역에서 수신 성공률을 향상시킴으로써 방송망 구축의 효율성을 도모 할 수 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] DTV 분산중계망 필드테스트 결과, 방송공학회 논문지 2008년 제13권 제4호
- [2] ATSC, "ATSC Digital Television Standard, Rev.E with Amendments No.1 and 2", A/53E, Dec. 2005
- [3] ATSC, "Transmission Measurement and Compliance for Digital Television, Rev.A", A/64A, May 2000
- [4] ATSC, "Synchronization Standard for Distributed Transmission, Rev.A", A/110A, July 2005
- [5] ATSC, "Guide to the use of the ATSC Digital Television Standard, Rev. A", A/54, Dec. 2003
- [6] ATSC, "Receiver Performance Guidelines", A/74, June 2004
- [7] ATSC, "Developing DTV Field Test Plans", A/75, July 2001
- [8] ATSC, "Design of Synchronized Multiple Transmitter Networks", A/111, Sep. 2004
- [9] K. Salehian et al, "Design Procedures and Field Test Results of a Distributed -Translator Network, and a Case Study for an Application of Distributed -Transmission", IEEE Trans. on Broadcasting, Vol.52, No.3, Sep. 2006

저 자 소 개

목 하 군

- 1976년 3월 ~ 1980년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학사)
- 1980년 3월 ~ 1982년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
- 1991년 3월 ~ 2000년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
- 1992년 9월 ~ 1995년 6월 : 무궁화위성(Koreasat) 탑재체(payload)개발 파견연수(영국, 미국)
- 1982년 8월 ~ 현재 : 한국방송 방송기술연구소 수석연구원
- 주관심분야 : 지상파 디지털TV 방송시스템, RF 및 위성 시스템, 전송시스템

 저 자 소 개

왕 수 현

- 1980년 3월 ~ 1984년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학사)
- 1984년 3월 ~ 1986년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1987년 4월 ~ 현재 : 한국방송 방송기술연구소 책임연구원
- 주관심분야 : 디지털방송 시스템, 멀티미디어 서비스

성 영 모

- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1996년 8월 : 한국방송공사(KBS) 입사
- 2002년 3월 현재 : 한국방송공사(KBS) 기술기획팀
- 주관심분야 : 방송 송신시설 디지털 전환, 자세대 방송 시스템

이 용 태

- 1993년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 학사
- 1995년 8월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 석사
- 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 박사
- 1995년 8월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 책임연구원
- 2008년 ~ 현재 : 한국방송공학회 학회지 편집위원장
- 주관심분야 : DTV, DMB, 디지털라디오 시스템

이 용 훈

- 2005년 2월 : 한밭대학교 전자공학과 학사
- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 석사
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀
- 주관심분야 : DMB, DTV 시스템, 영상신호처리

김 흥 목

- 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1993년 2월 ~ 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1995년 3월 ~ 2001년 12월 : 포스코 기술연구소 근무
- 2002년 1월 ~ 2003년 10월 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 팀장
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템