

특집논문-02-07-1-02

지상파 DTV 동일채널 중계기 필드테스트 결과 분석

서영우*, 목하균*, 권태훈*

Analysis of Field Test Results of Digital TV On-Channel Repeaters

Young-Woo Suh*, Ha-Kyun Mok*, and Tae-Hoon Kwon*

요 약

지상파 DTV 방송 구역내의 음영지역을 보완하기 위하여 KBS 기술연구소에서는 DTV 중계기와 동일채널 중계기술을 연구하고 있다. 특히, 동일채널 중계기법은 주파수 자원을 재사용하여 서비스 범위를 확장할 수 있으나 ATSC DTV 시스템에 적용하기 위해서는 많은 제약이 따른다. 본 논문에서는 동일 채널 중계방식 중 단순 중계방식과 재생 중계방식을 실제 필드테스트를 통해서 비교하고, DTV 방송 시스템을 위한 동일 채널 중계기의 설치 조건과 활용 가능성에 대해서 분석한다.

Abstract

In order to fill the gaps in DTV coverage, KBS Technical Research Institute has researched on DTV on-channel repeating systems as well as DTV translators. The on-channel repeater can reuse frequency resources for expanding service coverage, but it has also many restricts in applications for ATSC DTV system. This paper compares two kinds of DTV on-channel repeater systems and also presents field test results of both systems. From these results, we infer their characteristics and summarize the conditions and possibilities of the application for our broadcasting networks.

I. 서 론

2001년 10월부터 각 지상파 방송사들은 관악산 송신소에서 서울과 경기 지방에 대한 본격적인 DTV 본방송을 시작하였으며, 2002년 하반기에는 남산 및 용문산 송신소도 송신설비를 완료하여 수도권의 서비스 영역을 확대하게 된다. 그러나 기존의 아날로그 텔레비전 방송과 공존하여야 하는 상황에서 중계국과 간이국 등의 수요 증가는 주파수 자원의 부족을 초래할 것이며 새로운 DTV 채널 배치 등에 있어 많은 어려움이 따르게 될 것이다. 이러한 주파수 부족에 대한 대안으로 DTV 동일 채널 중계기가 제안되었다. 동일 채널 중계를 하게 되면 도심지의 작은 산이나 고층 건물군 등에 의한 국부적인 음영지역이나 중

계를 위한 여유 채널이 부족한 지역 등에서 효과적으로 활용할 수 있다. 이러한 동일 채널 중계기 시스템(On Channel Repeater, OCR)은 주송신기의 신호를 수신하여 주파수 변환 없이 재전송 하는 구조를 갖고 있으며 주송신기의 신호가 지형지물 등에 막혀 수신되지 않는 영역에 대해 서비스 할 수 있도록 설치하여 주송신기 신호의 전송 영역을 넓히게 된다.

동일 채널 중계기의 도입에 있어서 가장 중요하게 고려해야 할 점은 서비스 구역에서의 주송신기 신호와 중계 신호의 간섭에 의한 다중경로신호(고스트)의 분포와 중계기의 송수신 안테나간의 커플링(coupling) 신호 제거 문제이다.

만약 중계기의 서비스 지역에서 주송신기의 신호가 인입되면 이 역시 후행 고스트 신호(post ghost)가 된다. 따라서 동일 채널 중계기의 설계 및 설치에 있어서 이러한 점

* 한국방송 기술연구소
Korean Broadcasting System, Technical Research Institute

을 고려하여 최대한 기존 서비스 구역에 영향을 주지 않으면서 주송신기의 난시청지역을 보완해 갈 수 있도록 정밀한 검증이 필요하다.

기존 연구 결과로는 미국의 ATTC(Advanced Television Technology Center)를 중심으로 지금까지 수 차례의 동일 채널 중계기 실험이 있었으며 다양한 방식의 동일 채널 중계기들의 특성을 분석하고 주로 지형적으로 격리된 지역에서 제한된 실험을 통해서 동일 채널 중계기의 활용 가능성을 입증하였다. DTV의 경우 임계 C/N(Carrier/Noise) 값이 양청 환경을 기준으로 NTSC보다 약 30 dB의 이득이 있으며 이것은 상대적으로 다중경로 간섭에 대하여 강한 특성을 갖는 장점에 따른 것이었다. 또한 실제 운용 실험 결과 지형적으로 어느 정도 송신신호와 중계신호가 분리가 되는 환경에서 양호한 수신 특성이 보고된 바 있다 [1-3].

II. 디지털 동일 채널 중계기의 설계

1. 시스템 개요

측정에 사용된 중계기는 단순 중계 방식과 재생 중계 방식의 두 가지 종류이다. 단순중계기는 송신소의 RF 신호를 안테나로 수신하여 이 신호를 중간주파수(IF)로 떨어뜨린 후, 증폭하여 다시 RF변환하여 재전송하는 방식을 사용한다. 반면 재생중계기는 입력된 RF 신호를 복조기(demodulator)를 이용하여 TS 신호로 복조한 후 에러 정정 처리를 수행하고 이 신호를 다시 변조한 후 RF 신호로 변환하여 재송출하는 방식이다.

단순중계기는 기존 아날로그 NTSC 중계기와 거의 동일한 구조로 시스템이 간단하고, 입력된 DTV 신호를 처리해서 내보내는 과정에 증폭 외에는 별다른 처리를 하지 않기 때문에 원신호와 동일하다. 따라서 수신기에서는 중계기의 재전송 신호가 단지 송신기 신호와 함께 들어오는

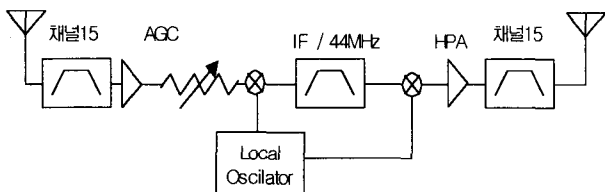


그림 1. 단순 중계 시스템 구성도
Fig 1. Block diagram of non-regenerative repeater system

다중 경로 신호(멀티패스 신호)로 인식된다. 다시 말해서 단순중계기의 신호와 관악산에서 직접 수신된 DTV 신호가 중첩되어 수신 될 때 수신기는 가장 센 신호 외에는 나머지를 고스트 신호로 처리하기 때문에 등화기의 성능에 따라 주 신호와 고스트 신호가 3~4 dB의 이상의 차이만 나면 복조 및 화면의 재생이 가능하다고 알려져 있다[1].

재생중계기는 수신 신호를 기저대역 데이터(MPEG Transport Stream) 수준까지 완전히 복조하여 에러를 제거하기 때문에 30 dB정도의 높은 송출 신호대 잡음비(SNR)를 보장할 수 있다. 그러나 동일 채널 중계기를 사용하는 경우에는 수신기 입장에서 보면 관악산에서 직접 수신된 신호와 재생중계기의 신호는 전혀 다른 별개의 신호이므로 수신 전계 강도가 낮은 쪽의 신호를 동일 채널에 존재하는 잡음으로 인식하게 되며 수신 전계의 차이가 15 dB 이상 나는 경우에는 수신된 신호의 재생 가능성이 있지만 그 이하인 경우에는 재생이 불가능하게 된다.

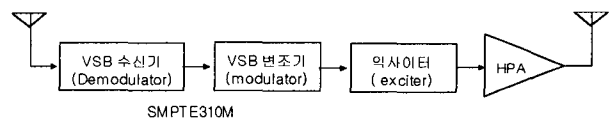
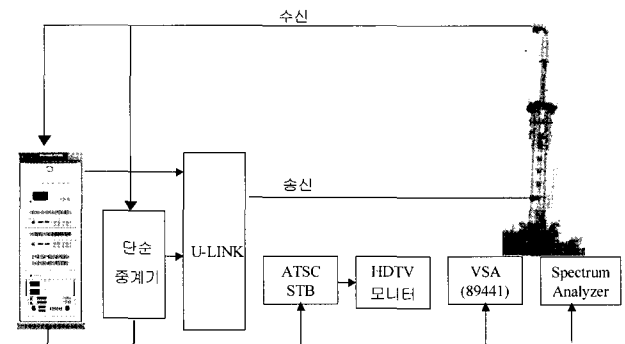


그림 2. 재생 중계 시스템 구성도
Fig 2. Block diagram of regenerative repeater system

2. 동일 채널 중계 시스템 구축

동일 채널 중계기 시스템의 구성도는 그림 3과 같다. 철탑 위 부분에 설치된 수신안테나를 통해 수신된 DTV RF



재생중계기
그림 3. 동일 채널 중계시스템 구성도
Fig 3. Block diagram of the On-Channel Repeating system

신호는 재생중계기와 단순중계기로 입력된다. 이 곳에서 복조, 에러정정 및 변조(재생중계기), 증폭 등의 처리를 거쳐 다시 RF 신호로 변환되며 이 신호가 철탑의 중앙부에 위치한 송신안테나를 거쳐 공중으로 방사된다. 이 중계 시스템의 송출 신호 모니터링을 위해서 셋톱박스 및 벡터 신호 분석기(Vector Signal Analyzer, VSA), 스펙트럼 분석기 등을 설치하였다.

2.1 중계용 송수신 안테나의 구현

동일 채널 중계기를 구현하기 위해서는 먼저 송출 신호와 이 신호가 수신 안테나로 유입되어 들어오는 커플링 신호 사이의 차이인 송수신 안테나의 분리도(isolation)를 100 dB 정도로 충분히 확보하여야 한다. 그렇지 않으면 송신 신호의 재입력으로 인한 발진 현상으로 전송 신호의 품질이 열화되며 송출 출력을 높이는 데도 제약이 생긴다. 안테나의 분리도를 측정하기 위해서는 먼저 송신안테나를 네트워크 분석기의 TX 단에 연결하고 수신 안테나를 RX 단에 연결한 후, 동일 채널로 피드백 되는 신호의 세기를 측정한다. 이 측정을 통해 송출신호와 다시 유입되는 커플링 신호의 차이를 계산하여 그 값이 100 dB 이상이 되도록 송신 안테나의 위치를 바꾸고 틸트도 조정한다. 안테나의 종류와 위치를 바꾸며 여러 번의 실험을 수행한 끝에 송신 안테나는 4 dipole의 패널안테나, 수신안테나는 차폐된 파라볼릭 안테나로 결정했으며 위치는 송신안테나를 아래쪽에, 수신 안테나를 철탑의 항공유도등이 있는 가장 윗 부분에 설치하기로 결정하였다.

송수신 분리도는 수신안테나를 회전시킴으로서 110 dB 까지 더 큰 값을 얻을 수도 있었지만 관악산으로부터의 수신 레벨이 급격히 감소하여 부적당하였다. 이런 조정 과정을 거쳐 측정된 최적의 송수신 안테나의 분리도가 100 dB 이다.

최종 설치된 송수신 안테나의 특성은 다음과 같다.

- 송신안테나 종류 : 4 Dipole (4단 2면)
- 송신안테나 이득 : 13.8 dBi
- 송신안테나 높이 : 25 m (지상 기준)
- 수신안테나 종류 : Shielded parabolic type
- 수신안테나 전후방비 : 18 dB
- 수신안테나 높이 : 45 m (지상 기준)
- 송수신안테나 분리도 실험결과 : 대략 100 dB

중계기 안테나는 주송신기의 방향에서 반대편으로 약 180도 가량을 서비스하게 된다. 그림 4는 주송신기 수신안

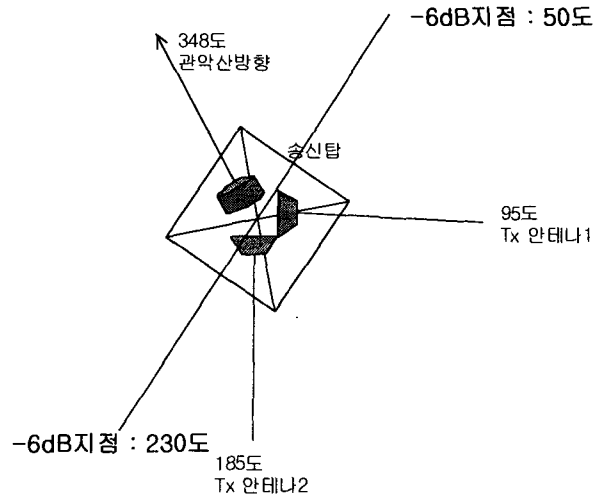


그림 4. 중계기 철탑의 안테나 배치도
Fig 4. Placement of Transmission(Tx) and Reception(Rx) antennas

테나와 중계용 송출안테나의 송신탑 위에서의 위치를 표시한 것이다.

2.2 송출 전력 산출

이론적으로 재송신 전력을 계산하기 위해서는 송신기의 송출전력과 중계기까지의 거리를 이용하여 자유공간 전파 손실 및 수신점 전력을 계산하고 그로부터 다시 중계기의

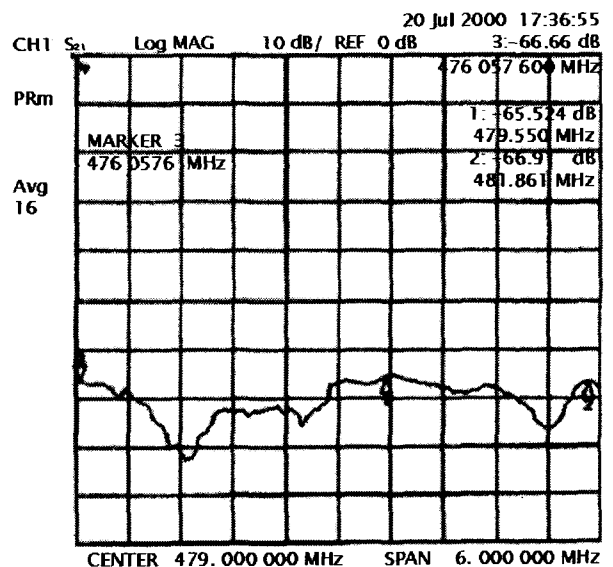


그림 5. 중계기 송수신 안테나의 상호 결합 측정 결과
Fig 5. Measurement of mutual coupling between Transmission and Reception antennas

재송신 전력을 계산하는 방법^[1]을 이용한다. 우선 자유공간 손실은 대상 주파수 479MHz(채널 15), 송중계소간 거리 18.6 km 에서 약 111.45 dB를 산출해내며 송신 실효 출력(ERP, Effective Radiation Power)은 2001년 현재 관악산에서 약 25 kW(약 84 dBm)이다. 그리고 송신 안테나 패턴 보상값은 약 2 dB 정도이므로 이들 수치를 통해 얻은 이론적인 중계기의 수신값은 약 -29.5 dBm이다. 송수신 안테나 커플링이 100 dB 라면 송출 가능 전력은 이론적으로 약 50.5 dBm이다. 그러나 중계소의 수신 전력 실측값은 수원지역에 대한 KBS 송신탑의 방사특성상 이론값과 많은 차이를 보였다.

측정결과 수신 전력은 약 -50 dBm 이었으며 이를 수식 1에 대입하여 송출 가능전력을 계산^[1]하면 약 30 dBm의 결과를 얻을 수 있다. 따라서 적정 출력은 적어도 10 dB의 마진을 감안하면 약 1~10 W 사이임을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Ptx(\text{중계기송출전력}) &= 100 \text{ dB}(\text{안테나분리도}) + \\
 &\quad Prx(\text{수신전력}) - 20 \text{ dB}(\text{마진}) \quad (1) \\
 &= 100 - 50 - 20 = 30 \text{ (dBm)}
 \end{aligned}$$

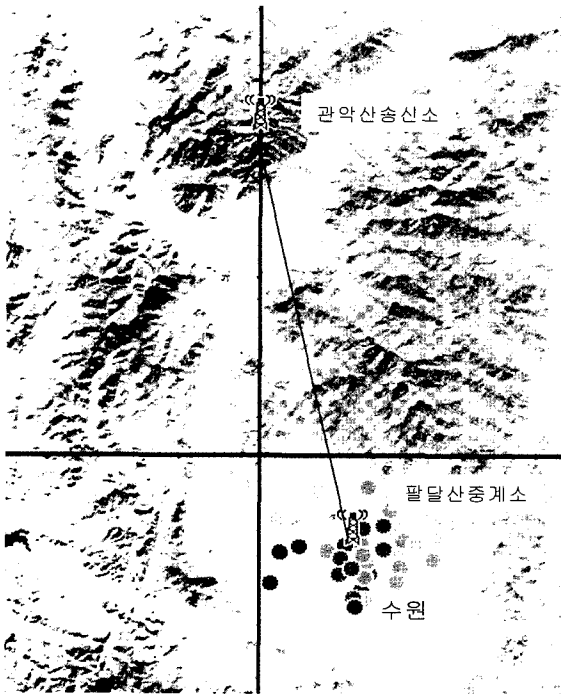


그림 6. 송신소와 중계소사이의 지형 및 측정지점
 Fig 6. Test sites and terrain between the transmission station and the repeating station

Ⅲ. 필드테스트 계획

동일 채널 중계기의 필드테스트를 위한 장소로 지도 분석 및 사전 답사를 통해서 서울 정릉 중계소 등 여러 지역이 검토되었으나 실험의 용이성 및 다양한 도심지 특성 검증 등을 고려하여 송신소에서 약 18 km 떨어져 있는 수원 팔달산 중계소로 실험지가 최종 결정되었다. 수원 지역은 전반적으로 전방(송신소로부터 10~12 km 지점)의 높이 400~600여 미터의 산들에 가려져 전계가 약하며 도심 중간에 중계소가 있으므로 동일 채널 중계기의 실험을 위해 좋은 조건을 갖고 있다고 여겨진다. 다만 중계소 인근에서는 지형 특성상 적정 출력을 위한 높은 송수신 분리(isolation)가 힘들어서 출력을 원하는 만큼 높일 수가 없는 문제점이 있었다.

측정은 크게 그리드(grid) 측정, 호상(arc) 측정, 방사선(radial) 측정의 세 가지 유형으로 모두 40지점에서 이루어졌다.

그리드 측정은 도심지에서의 중계기신호와 송신기 신호의 수신 양상을 비교해 보기 위한 것이다. 수원지역을 모두 네 개의 지역으로 구분해서(구분기호: A~D) 상대적인 관악산 송신소의 양청 지역이나 팔달산 중계기에 의해 영향을 받는 지역(A, B 일부, C)과 관악산 송신소의 난청지역이나 팔달산 중계기에 의해 영향을 받는 지역(B 일부, D)으로 나누었다. 측정지점은 27지역이다.

호상 측정지역은 중계기 안테나의 후면 지역에서 중계기에 의한 영향을 보기 위한 것으로 약 1.5 km에서 2 km 반

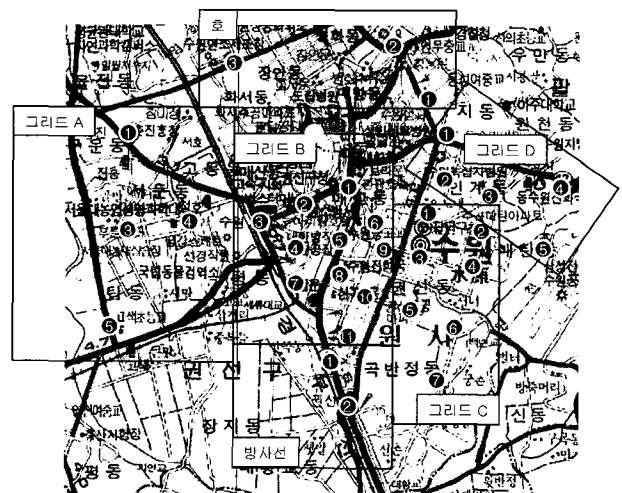


그림 7. 측정 지점 구분
 Fig 7. Grouping of test sites

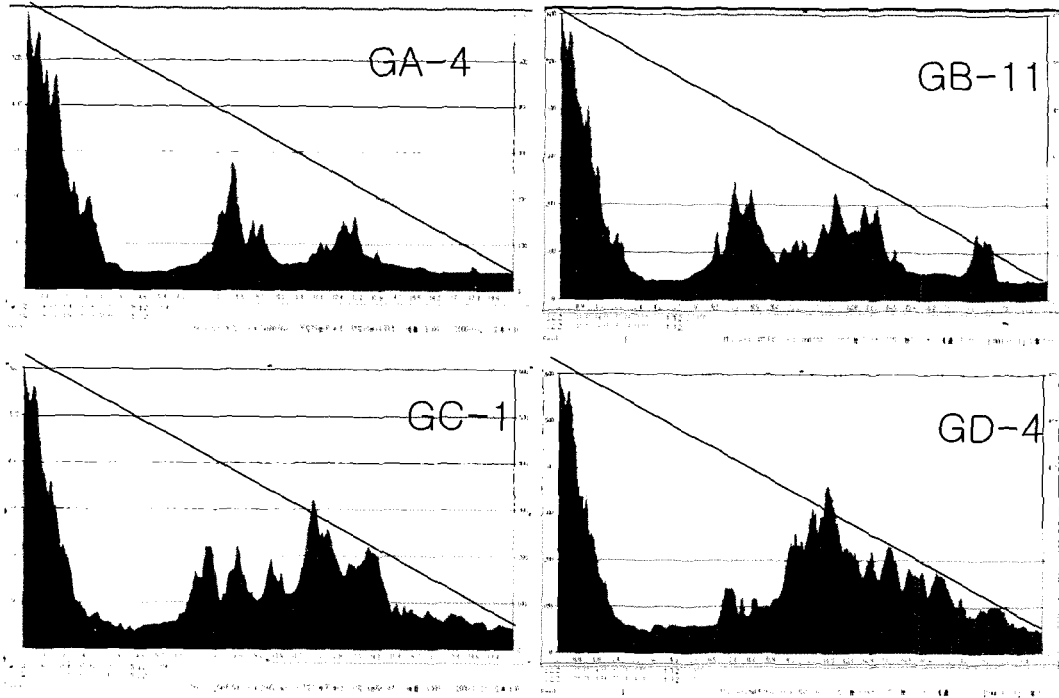


그림 8. 그리드 A - D의 송수신점간 지형분포
Fig 8. Terrain profiles for Grid measurements

경의 3개 지점을 측정한다.

방사선 측정은 거리에 따른 중계기와 송신기 신호의 특성을 파악하기 위한 것으로 재생중계기와의 비교도 집중적으로 이루어진다. 총 측정 지역은 2지점이다. 이외에도 8지점의 집중측정이 있다. 원래 계획은 이 보다 더 많았으나 실제 측정결과 더 이상 측정할 필요가 없다고 판단되는 지역은 측정에서 제외하였다.

측정 절차는 DTV 실험방송의 측정 절차를 준용하되 동일 측정점에서 관악산 신호를 측정 후 차례로 중계기를 켜고 각 수신 상태를 측정한다.

중계 신호)를 각각 측정한다.

주요 측정항목은 다음과 같다.

- 수신 전계강도 및 스펙트럼
- S/N 및 EVM(Error Vector Magnitude), TOV(Threshold of Visibility), BER(Bit Error Rate), 수신 마진(margin) 측정 및 산출
- 수신 화면 등급 (주관적 평가)
- GPS(Global Positioning System) 좌표, 지형정보
- 등화기 탭에너지(equalizer tap energy) 측정 (다중경로 성분조사)

- ▶ 단계 1. 중계기 비사용, 주송신기 신호 측정
- ▶ 단계 2. 단순중계기 사용 - 송신소/중계소 방향 측정
- ▶ 단계 3. 재생중계기 사용 - 송신소/중계소 방향 측정

측정에 사용한 수신기는 실험방송 필드테스트에서 사용되었던 제니스사의 2세대 수신기(Pro-Demod)와 삼성전자의 3세대 수신기(ARX-H200)가 비교를 위해 선택되었다.

측정 항목은 DTV 실험방송 필드테스트^[4]에서의 측정 항목을 준용하고 측정 채널은 KBS DTV 채널 15의 관악산 신호와 두 대의 중계기 신호(채널 15의 단순 및 재생

IV. 필드테스트 결과 및 분석

1. 측정결과개요

1.1 수신성공률

3세대 수신기로 측정한 수신성공률은 중계기 운용을 하지 않을 경우 82.5 % 였으며 단순중계기의 운용시 90 %, 재생중계기의 경우는 52.5 % 였다. 애초 예상보다 송신기 신호의 수신율이 높은 편이어서 상대적으로 중계기의 이점을 확인하기 용이하지 않았다. 특히 수신이 안 되는 지역은

대부분 주변 고층 건물에 의해 가리는 지역이어서 중계기 신호의 수신에도 어려운 점이 있었다.

표 1. 수신성공률 측정 결과
Table 1. Average service availabilities

수신기 종류	중계기 비사용		단순중계기 사용		재생중계기 사용	
	2세대	3세대	2세대	3세대	2세대	3세대
수신 양호 지점 개수	31	33	23	36	18	21
수신 불가 지점 개수	9	7	17	4	22	19
비율(%)	77.5	82.5	57.5	90	45	52.5

* 총 측정 지점 수 : 40지점

단순중계기를 켜었을 때 2세대 수신기와 3세대 수신기의 성능차이가 제일 많이 났다. 중계기를 켜게 되면 송신기 신호가 우세한 지역에서는 후행 고스트가, 중계기 신호가 우세한 지역에서는 선행 고스트가 발생하는데 그 크기와 지연시간이 2세대 수신기의 처리 능력을 벗어나는 곳이 많이 있어서 전반적으로 2세대 수신기의 성능의 불안해지는 경향이 있었다. 특히 송신기 및 중계기의 신호 전계강도 차이가 많이 나지 않는 지역에서는 이런 현상이 두드러졌다.

1.2 수신전계강도 - 수신마진

중계기를 켜지 않았을 때 수신 전계와 마진 그래프는 일반적인 선형관계를 보였다. 수신 전계는 50 dB $\mu V/m$ ~ 90 dB $\mu V/m$ 에 분포했다.

단순중계기를 켜었을 때에는 2세대 수신기에서 수신 실패하는 지점이 많이 발생했고 3세대 수신기에서는 60~80 dB $\mu V/m$ 의 중전계 지역에서 수신 마진이 좀 작아지는 특성

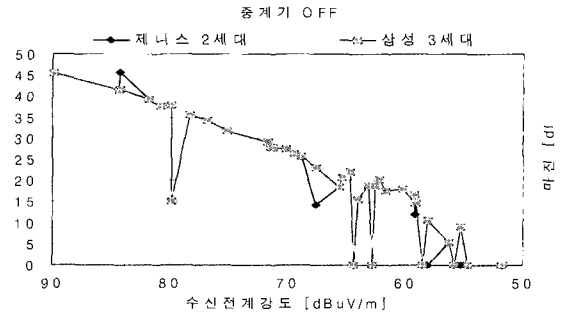


그림 9. 중계기 비사용시 수신전계강도에 따른 수신 마진
Fig. 9. Field strength vs margin (repeater off)

을 나타냈다. 재생중계기에서는 약 60~75 dB $\mu V/m$ 의 중전계 지역은 거의 수신이 불가능했다. 특히, 중계기 근처나 중계기에서 멀리 떨어진 곳을 제외하고는 수신이 곤란하게 되었는데 이는 송신기와 중계기 두 신호가 동일 채널 간섭신호로 서로 작용하기 때문이다. 즉 어느 한 쪽이 15 dB이상의 우위를 나타내야 수신이 겨우 가능했다.

1.3 등화기 탭 에너지

수신기의 탭에너지는 등화기를 구성하는 필터의 주 탭(main tap)의 파워(power)에 대한 나머지 탭들의 파워의 합의 비율로 그 값이 작을수록 고스트 성분이 적은 양호한 신호를 의미한다. 송신기 신호 수신지역의 평균 탭에너지는 -11.1 dB이나 단순중계기 운용시는 -10.8 dB, 재생중계기 운용시는 -9.8 dB이다. 단순중계기 신호는 송신신호와 서로 고스트로 작용하므로 탭에너지가 나빠지는 경향이 있었다.

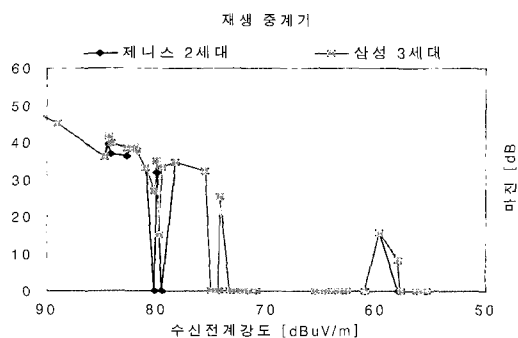
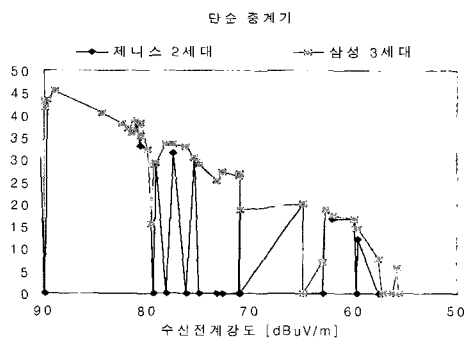


그림 10. 단순중계기(좌) 및 재생중계기(우) 사용시 수신 전계강도에 따른 수신 마진
Fig. 10. Field strength vs margin (repeaters on)

2. 단순중계기 운용시 다중경로간섭에서의 수신기 성능 분석

2.1 등화기의 계수와 수신 스펙트럼의 관계

동일 채널 중계기의 도입에 있어서 가장 중요한 관건이 수신기의 다중경로간섭 처리능력일 것이다. 앞서 설명한 바와 같이 단순중계기의 원리는 수신된 신호를 단지 증폭하여 재송신하는 것이므로 이에 따른 송/중계 신호간의 시간적 차이가 수신자 입장에서는 다중경로 신호로 나타나게 되며 스펙트럼상에서 골짜기(null)를 형성하게 된다. 즉 주 고스트(dominant multipath)의 지연시간에 해당하는 주파수에 따라 스펙트럼에 주기적인 골짜기가 발생하며 그 크기는 고스트의 크기와 연관되어 있다^[5]. 물론 대부분의 경우 복합 고스트가 발생하므로 그 현상은 뚜렷하지 않을 수도 있지만 그림 11의 예에서와 같이 뚜렷한 고스트가 있는 경우 스펙트럼에 일정한 주기의 리플이 생긴다. 따라서 스펙트럼에 생기는 특정한 형태의 리플을 관측 및 분석함으로써 어떤 고스트가 어느 정도 크기로 유입되고 있는지를 역으로 추정해 낼 수도 있다.

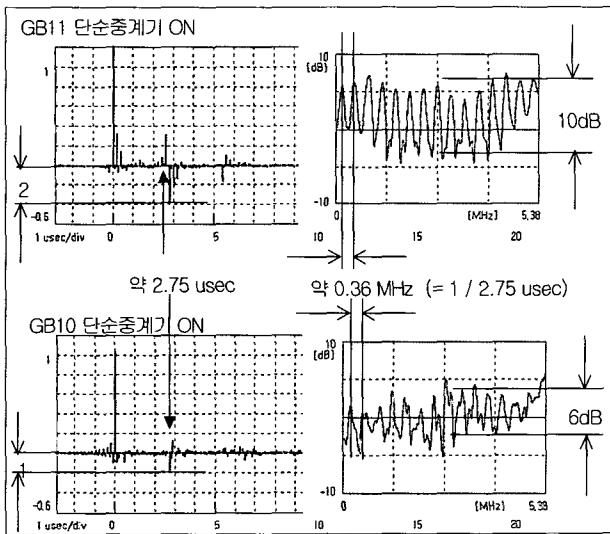


그림 11. 등화기 계수값과 수신 스펙트럼의 관계
Fig 11. Relationship between spectrum and equalizer coefficients

2.2 각 세대별 수신기의 등화기 성능 분석

일반적으로 ATSC 디지털 TV 수신기의 다중경로 처리 능력은 2세대 수신기의 경우 선행 고스트 3~6 μsec, 후행 고스트 19~22 μsec, 2001년 출시된 3세대는 3~6 μsec, 22~44 μsec 정도의 처리능력을 갖는다. 실험에 사용한 2세대 표준 수신기는 약 3 μsec와 22 μsec, 3세대 수신기는 6 μ

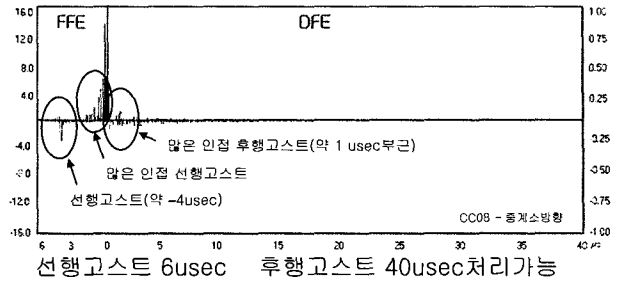


그림 12. 3세대 수신기의 등화기 처리 능력
Fig 12. Performance of the equalizer of the 3rd generation receiver

sec와 40 μsec의 처리능력을 갖는 장비이다.

전파의 진행속도는 대략 0.3 km/μsec이므로 앞서의 처리 가능한 고스트의 범위로 계산해보면 3세대 수신기에서는 주신호 보다 앞서 들어오는 선행 고스트는 약 1.8 km 이내로 앞서 들어오는 신호, 나중에 들어오는 후행 고스트는 약 12 km이내의 거리를 돌아오는 신호가 처리 가능한 범위에 들게 된다. 이것을 예를 들어 설명하면 그림 13에서 경로 1과 경로 2는 일반적으로 송신소와의 거리는 충분히 멀기 때문에 거의 근사한 값이라고 여길 수 있다. 따라서 그림 13의 경로 3 중계기까지의 거리를 주 다중경로 신호가 도달해야 할 거리로 간주한다면 앞서와 같은 수신기를 사용하는 경우 중계기의 서비스 구역은 최악의 경우 선행 고스트의 처리 능력 한도인 1.8 km 이내가 된다.

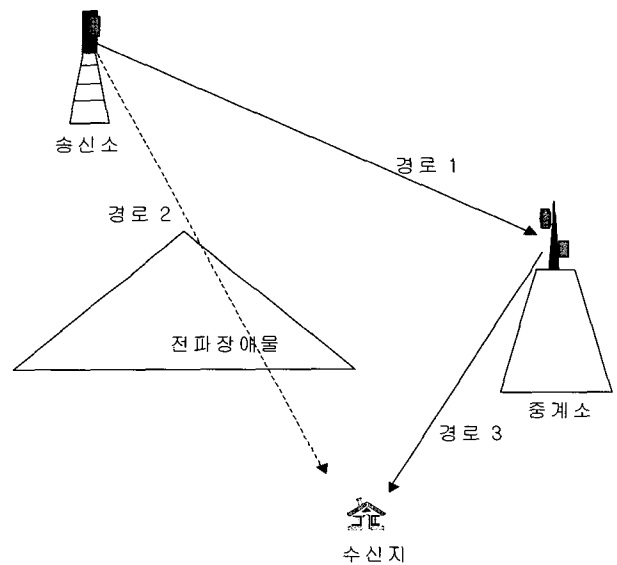


그림 13. 중계 신호와 송신 신호의 경로 개념도
Fig 13. Paths of a direct signal and a repeated signal

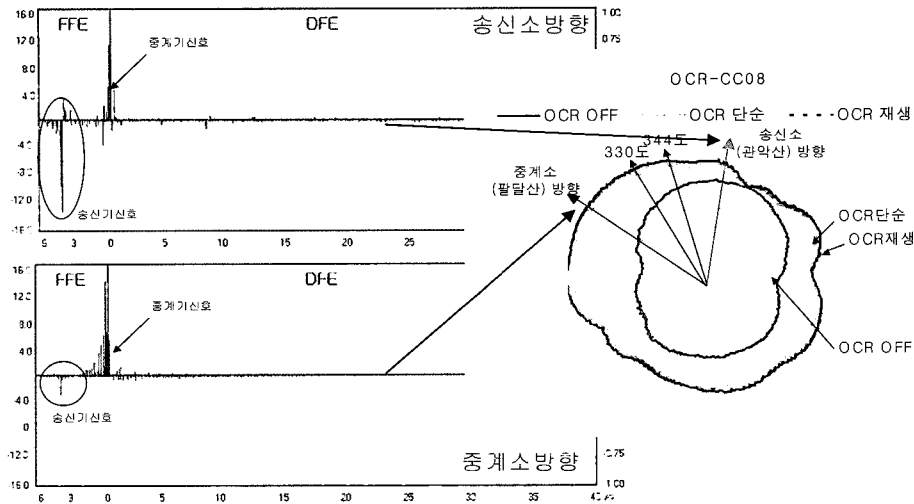


그림 14. 중계기의 운용에 따른 수신 전계와 등화기 계수값의 관계
 Fig 14. Relationship between field strength and equalizer coefficients according to on/off of repeaters

물론 송신기 신호방향과 중계기 신호방향의 각도가 유사할수록 고스트의 발생 범위가 좁아지므로 서비스 가능거리는 더 길어지기는 하나 수신 안테나의 지향 특성을 이용한 두 신호의 분리가 곤란해지므로 0 dB에 가까운 고스트의 발생 가능성이 높아져서 서비스가 곤란해지는 경우가 많아진다. 이와 반대로 송신기와 중계기의 서비스 방향이 많이 벌어지는 지역에서는 그림 14에서와 같이 안테나의 지향 특성을 이용하여 두 신호를 용이하게 분리해낼 수 있다. 하지만 이와 같은 서비스 지역을 확보하기 위해서는 중계기의 송출안테나를 송신기 방향으로 많이 움직여야 하는데 이 경우 수신지에서 고스트의 지연시간이 길어져서 수신기의 고스트 처리범위를 벗어나기 쉽고 무엇보다도 중계기의 송

수신안테나간의 커플링이 많아져 송출 출력을 높이는 것이 곤란해지므로 현실적으로 구현에 쉽지 않다.

2.3 중계기 운용에 따른 수신 전계 강도 및 각 수신기 별 수신 성능 비교

중계기 운용에 따른 수신 스펙트럼의 변화를 보여주는 하나의 예로 팔달산의 오른편 약 1km 지점의 측정결과를 그림 15에서 예시하고 있다. 이 지역의 경우 관악산과 중계소가 약 56도의 방향각을 이루고 있어 지향성 수신안테나의 패턴에 의한 수신 전계의 차이를 확인할 수 있는 좋은 예이다.

이 지점은 송신소의 신호가 약하긴 하지만 수신은 양호한 지역이라 수신기의 탭에너지 측정 결과 중계기를 켜기

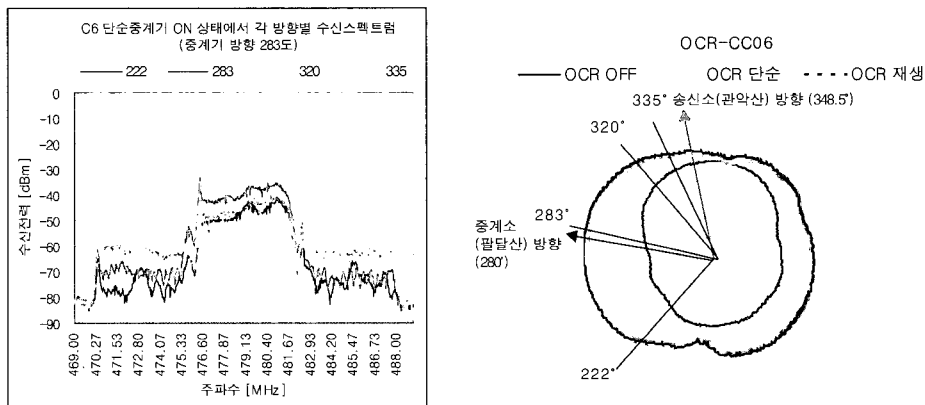


그림 15. 중계기 운용에 따른 수신 전계 분포와 스펙트럼의 비교
 Fig 15. Comparison of field strength and spectrums (repeaters on/off)

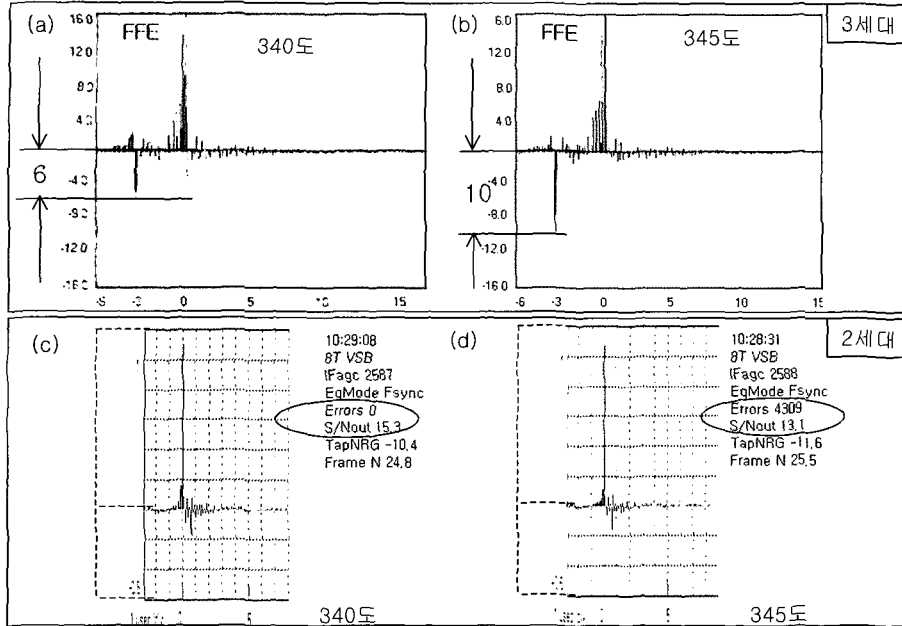


그림 16. 수신 각도에 따른 등화기 계수값의 변화
 Fig 16. Variation of equalizer coefficients according to reception angles

전 -15 dB에서 권 후 -10 dB로 5 dB나 나빠졌지만 중계기의 운용으로 인해 수신 전계가 충분히 강해졌으므로 수신 마진은 단순중계기 사용시 34.2 dB에서 47.1 dB로 높아졌다. 등화기의 탭에너지가 나빠진 이유는 그림 16의 등화기 탭에너지 분포의 변화를 보면 확인할 수 있다. 중계기 신호를 메인 신호로 잡은 경우로 약 4 μ sec부근에 송신기 신호에 의한 선행 고스트가 발생하며 송신기 방향을 향할수록 그 크기가 커짐을 알 수 있다.

따라서 이러한 지역에서는 중계기가 켜져 있을 때 중계기 방향으로 안테나를 돌리지 않으면 중계소 인접 지역임에도 불구하고 양호한 수신을 기대하기 힘들어진다. 특히 2세대 수신기와 3세대 수신기는 처리할 수 있는 선행 고스트의 길이가 앞서 설명한 바와 같이 각각 3 μ sec와 6 μ sec이므로 위와 같은 4 μ sec의 고스트가 들어오면 2세대 수신기에서는 처리하기가 곤란해지므로 수신 성능에 차이가 나게 된다. 실제로 각 수신기는 측정결과 중계기가 켜진 상태에서 점점 송신소 방향으로 수신안테나를 회전 시킬 때 약 15도 정도의 수신가능각도(수신용이성, Ease of Reception)의 차이를 보였다. 즉, 2세대 수신기는 안테나 방위각 330도까지 수신이 가능했으며 3세대 수신기는 344도까지 수신이 가능했다. (참고로, 안테나 방향각으로 관악산 방향은 북쪽을 기준으로 약 5도이며 중계소 방향은 약 305도이다.)

따라서 동일 채널 중계기 운용시 수신기의 등화기 처리능력에 따라 수신용이성에서 많은 차이를 나타낸다.

2.4 측정 지역별 다중 경로 신호의 분포 및 중계기의 서비스 구역 분석

각 측정 지역별 고스트의 분포를 한번에 표시한 그림 17에서 보면 중계기의 서비스 구역 밖에 드는 좌, 우측 지역

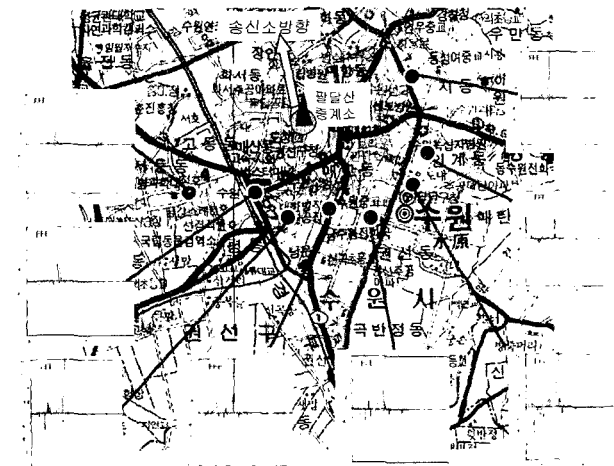


그림 17. 측정 지역별 고스트분포
 Fig 17. Distribution of multipath signals at each test site

에서는 주송신기의 신호를 주 신호로 그리고 중계기의 신호를 고스트로 나타낸다. 반면 중계기신호 서비스 구역인 가운데 지역에서는 이와 반대의 양상이 나타나는 것을 볼 수 있다.

측정 결과 대부분 2km내외의 지역에서 중계기 신호의 수신이 용이했으며 중계기와 송신기를 바라보는 각도가 많이 커질수록 중계기까지의 거리와 고스트의 지연시간(고스트가 나타나는 탭의 위치)에서 환산한 지연 거리가 거의 일치하는 결과를 보이고 있다. 따라서 이 결과로 볼 때, 6 μ sec의 선행 고스트 처리 능력을 갖고있는 3세대 수신기를 대상으로 한다면 동일 채널 중계를 통해서 중계소에서 약 2km정도 떨어진 지역까지를 서비스 범위로 고려할 수 있을 것이다.

2.5 ATSC 수신기의 동일 채널 중계 환경에서의 문제점

이번 측정에서는 등화기 탭의 분석을 통해서 각 지역에서의 고스트의 분포와 수신 스펙트럼과의 관계를 정리하였다. 이를 통해서 드러난 동일 채널 중계시 ATSC 수신기의 문제점은 앞서 분석한 바와 같이 현재까지 출시된 수신기들의 고스트 처리 가능 범위가 너무 짧고 선행 고스트 처리 능력이 부족하다는 것이다. 특히 선행 고스트는 수신기 등화기의 처리 범위 안에 있더라도 선행 고스트 자체가 시간적으로 급격하게 변하면(다이내믹 고스트 등) 수신 안정성이 매우 떨어진다는 것이 이번 실험을 통해 확인되었다. 예를 들어 선행 고스트가 있는 상태에서 양호한 수신을 하고 있더라도 인근의 대형 차량의 이동 등에 의해 집중에러(burst error)가 발생하면 수신 불량상태에 빠지게 되며 다시 회복되는데 많은 시간이 소요되거나 아예 회복이 되지 않는 경우가 종종 발생하였다. 이는 미국에서 실시된 상용 수신기에 대한 수신 성능 실험실 테스트에서도 일부 확인된 바^[6]와 같이 아직까지 많은 수신기들이 선행 고스트에 대해서는 수렴 속도가 느린 FF(Feed Forward) 방식의 등화기를 사용하므로 DF(Decision Feedback) 등화기를 사용하는 후행 고스트 처리부 보다 상대적으로 다이내믹 고스트 처리능력 등이 많이 부족하여 발생하는 것으로 여겨지며 동일 채널 중계 방식의 도입에 있어서는 매우 치명적인 약점이다. 따라서 본격적인 지상파 DTV 동일 채널 중계 서비스를 위해서는 이러한 수신기의 성능개선이 반드시 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

실험결과 중계기의 서비스 구역은 단순 중계 방식을 사용했을 경우 수신기의 선행 고스트 처리능력의 범위 내에

서 결정되는 것으로 확인되었으며 3세대 수신기 기준으로 약 1.8 km 였다. 각 중계방식별 수신성공률을 보면 단순중계기는 다중경로 간섭을 유발하기는 하나 수신기의 고스트 처리 능력에 따라 많은 지역에서 복구가 가능했다. 재생중계기의 경우 수신이 곤란한 지역이 많이 발생하여 오히려 수신율을 떨어뜨리는 결과가 나타났다.

단순 중계 실험결과를 보면 향후 수신기술의 발전에 따라 수신성공률은 높아질 가능성이 있다고 여겨지나 현 시점에서 개방된 환경에서의 동일 채널 중계기의 도입은 기존 서비스구역에의 영향도를 검토하여 신중하게 결정해야 한다고 여겨진다. 다만 빔(beam)폭이 적은 중계안테나의 도입과 소출력 중계로 서비스 구역을 국소화 하는 것이 기존 서비스 구역에 대한 영향을 최소화하면서도 어느 정도 성공가능성이 있다. 수신기의 등화기는 선행 고스트가 다이나믹 성분이 많을 경우 수신실패가능성이 높았으며 송신기와 중계기의 방향각은 30~40도 이상 차이가 날수록 수신 확률이 높아졌다. 또한 안정된 중계기 송수신 안테나의 분리도 확보를 위한 방법으로 물리적인 전파 차단 방법연구뿐 아니라 RF 제거 기술 도입을 통한 능동적인 분리도 확보 방법(active RF canceller)을 도입하면 중계기의 설치 및 운용이 훨씬 용이할 것으로 기대된다.

이번 필드테스트를 통해서 동일 채널 중계를 일반적인 우리나라의 중계소에서 실시할 경우 발생할 수 있는 현상 및 문제점에 대해서 확인하였다. 이들 결과는 향후 방송 네트워크의 구성에 있어서 동일 채널 중계기술을 실제로 적용하기 위한 기준 자료로 활용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Walt Husak, C. Einolf, S. Salamon, "Implementation and Test of an On-Channel Repeater," ATTC, 1999.
- [2] W. Husak, E. Helm, "Design and Construction of a Commercial DTV On-Channel Repeater," NAB Broadcasting Engineering Conference Proceedings, Apr. 2000.
- [3] Khalil Slaehian et al., "On-Channel Repeater for Digital Television Broadcasting Service," IEEE Broadcast Symposium, Oct. 2001.
- [4] 지상파 DTV 실험방송전담반, 지상파 DTV 테스트베드 구축지원에 관한 연구 최종 결과보고서, 정보통신부, 2000. 8.
- [5] 三木信之, "지상디지털텔레비전의 전송특성," 放送技術 (일본), 2000. 7.
- [6] ATSC Task Force on RF System Performance, "Performance Assessment of the ATSC Transmission System, Equipment and Future Directions (Draft 4.3)," ATSC, Nov. 2000.

 저 자 소 개

서 영 우


- 1995년 : 서울대학교 제어계측공학과 학사
- 1997년 : 서울대학교 제어계측공학과 석사
- 현재 : 한국방송 기술연구소 연구원
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 방송 시스템, 멀티미디어 서비스

목 하 균


- 1976년~1980년 : 서울대학교 전기공학과(B.S.)
- 1980년~1982년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(M.S.)
- 1992년~1995년 : 무궁화 위성(Koreasat) 탑재체(payload) 현장훈련 파견연수(영국, 미국)
- 1991년~2000년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(Ph.D.)
- 1982년~현재 : 한국방송 기술연구소, 차장(선임연구원)
- 주관심분야 : 지상파 디지털TV 방송 시스템, RF 및 위성 시스템, 위성 방송

권 태 훈


- 1992년~1996년 : 고려대학교 전파공학과 학사
- 1996년~1998년 : 고려대학교 전파공학과 석사
- 1998년 3월~현재 : 한국방송 기술연구소
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 방송 시스템, MPEG, 멀티미디어 서비스