

국내 DTV 방송망에서의 디지털 동일채널중계기 필드테스트

*서영우 *김영민 *목하균 *이상길 *권태훈 **박성익 **이용태 **음호민 **서재현 **김홍묵 **김승원
*한국방송 방송기술연구팀

**전자통신연구원 디지털방송연구단
*ysuh@kbs.co.kr

Field Test Results of Digital On-Channel Repeater in a DTV Transmission Network in Korea

*Young-Woo Suh, *Young-Min Kim, *Ha-Kyun Mok, *Sang-Gil Lee, *Tae-Hoon Kwon,
**Sung Ik Park, **Yong-Tae Lee, **Homin Eum, **Jae Hyun Seo, **Heung Mook Kim, and **Seung Won Kim
* Broadcast Technical Research Team, KBS
**Digital Broadcasting Research Division, ETRI

요약

한국방송(KBS)은 전자통신연구원(ETRI)과 공동으로 송수신 안테나의 낮은 분리도(isolation)하에서도 운용이 용이하며 중계기 내부의 왜곡을 보상할 수 있는 DOCR(Digital On-Channel Repeater)을 개발하였다. 개발된 DOCR의 성능과 서비스 커버리지를 측정하기 위하여 수원 지역에서 2004년과 2005년 두 차례의 필드테스트를 공동으로 실시하였다.

본 논문에서는 개발된 DOCR시스템에 대하여 그 특징을 설명하고 수원 지역에서 실시된 필드테스트 결과를 분석한다. 또한, 다양한 세대의 ATSC 수신기를 측정에 사용함으로써 수신기 성능에 따른 DOCR 서비스 커버리지의 변화를 측정하였다.

측정결과에는 DOCR의 사용에 따른 수신성공률, 수신마진, 수신용이성(수신가능각도)등이 포함되며 측정 지역의 수 년간의 테스트 결과를 종합하여 서비스 범위내의 수신성능을 분석한다.

1. 서론

국내 지상파 방송사들은 DTV 전환 일정에 따라 2006년까지 주요 시도에 대한 DTV송신기의 설치를 완료할 예정이다. 또한, 2007년도부터 설치되는 간이국의 DTV 중계망을 구축하기 위해서 방송국에서는 각 지역의 전계강도 현황의 조사와 함께 중계 채널 확보에 노력을 기울이고 있다. 현재 방송사는 디지털 방송과 아날로그 방송을 일정기간 동시에 방송을 해야 하는 상황으로, 수 백 개의 간이 중계소에 각 매체별로 주파수를 할당하는 것은 매우 어려운 일이다. 이와 같은 주파수 부족 문제를 해결하기 위한 대안으로 같은 채널을 사용하여 중계할 수 있는 동일채널중계기(OCR)의 도입이 신중하게 검토되고 있다.

KBS방송기술연구팀에서는 2001년도 수원 팔달산 중계소에서 아날로그 형태의 OCR을 이용하여 필드테스트를 수행한바 있다 [1]. 측정에 사용한 수신기는 2세대와 3세대 급의 수신기였으며, 측정결과 당시 수신기들은 OCR에 의한 강한 멀티패스를 처리하는데 한계가 있었다. 이들 수신기를 대상으로 서비스를 한다면 2km이내의 범위 또는 지형적으로 완벽히 격리된 곳에서 사용 가능할 것이라고 분석하였다. 그 뒤 국내 가전사를 중심으로 새롭게 성능이 개선된 DTV 칩셋이 개발되면서 방송사에서는 DTV 서비스 구역에 대해서 집중적인 전파 측정 및 수신기 성능 측정을 실시하였다. 그 결과 다중경로 간섭신호에 대한 처리능력이 매우 향상되어 각 수신기들의 도심지의 수신성공률이 개

신되었음을 확인하였다.

이와 함께, KBS방송기술연구팀과 ETRI 디지털 방송연구단은, 2003년부터 2005년까지 공동으로 지상파 DTV RSFN(Regional Single Frequency Network)연구를 수행하여 개선된 성능의 DOCR을 개발하여 발표하였다. 개발된 DOCR은 기존 아날로그 방식의 OCR의 단점을 극복하여 송수신 부분의 성능 향상을 이루었다. 이러한 송수신 부분의 성능개선여부를 실제 방송망에 적용하기 위하여, 2004년 4월과 2005년 3월 두 차례에 걸쳐서 수원지역에서 필드테스트를 수행하였다.

본 논문에서는 이들 결과와 2001년 측정결과와의 비교를 통해서 DOCR의 커버리지의 변화 등 개선된 DOCR의 성능 및 서비스 범위를 검증하고 아울러 DOCR 네트워크의 설계를 위한 기본 자료를 추출하고자 한다.

2. DTV 수신칩의 성능 비교

ATSC방송방식은 90년대 후반 도입초기에는 MFN(Multiple Frequency Network) 방송망으로 인해 건물 옥상에 고정식 안테나를 설치하여 수신하는 형태가 일반적이었다. 이를 위해 수신기의 등화기는 인접건물에 의한 다중경로간섭신호 정도를 처리할 수 있는 수준이었다. DTV 칩셋은 주도적인 개발업체인 제니스(LG)사에서 새롭게 출시하는 칩셋의 사양을 기준으로 세대를 구분하는 것이 일반적인데

2000년대 이전의 2세대수신기는 $-3\mu\text{sec}$ 에서 $20\mu\text{sec}$ 의 처리 범위를 가지고 있었다. 2000년에서 2003년까지는 3세대 수신기가 주로 시판이 되었는데 이 수신칩의 경우 후행고스트(post-ghost)는 $4\mu\text{sec}$ 까지 처리할 수 있었으나 여전히 선행고스트(pre-ghost)는 $6\mu\text{sec}$ 이내에서 제한적으로 처리되었다 [2].

그러나 실내수신 및 휴대수신에 대한 기대와 또한 동일 채널 중계 기술이 여러 국가에서 시험되는 등 [3], 상용화의 가능성이 높아짐에 따라 후행고스트 처리 성능 수준의 선행고스트의 처리 능력에 대한 요구가 높아졌다. 2004년 후반, 이러한 요구에 부응하는 규격을 포함하고 있는 5세대 수신칩이 출시되었으며 방송사 및 학계에 발표되었다 [4]. 이 5세대 수신칩의 주요 특징은 $53\mu\text{sec}$ 까지 선행고스트를 동일한 수준으로 제거할 수 있는 등화기 윈도우를 가진다는 점이다.

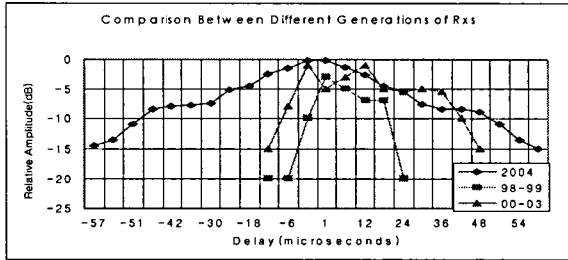


그림 1. ATSC 수신기 세대별 등화기 처리 범위 비교

3. 개발된 DOCR 시스템

KBS 방송기술연구팀과 ETRI 디지털방송연구단이 공동으로 개발한 DOCR 시스템의 구조는 다음 그림과 같이 수신부, 신호처리부, 송출부의 세부분으로 크게 나눌 수 있다.

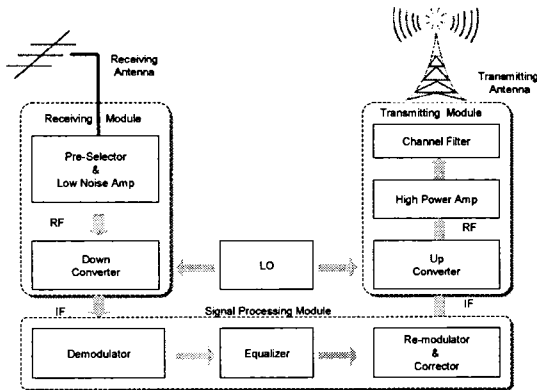


그림 2. 개발된 DOCR의 기본 구조

이 중에서 신호처리부의 구조는 완벽하게 디지털 심볼 복구, 등화 및 재변조를 수행하는 모드로도 동작할 수도 있고 디지털 필터에 의한 기본적인 왜곡보상만 수행하는 모드로도 동작 가능하도록 듀얼모드를 지원한다(그림 3).

등화 및 파형 재변조 모드 경우 입력신호에 대해 트렐리스 복호에 의한 판정장치(intelligent slicer)를 이용하여 등화(equalization)를 수행하므로 상당히 우수한 심볼 복구 성능을 보장하며, 이렇게 복원한 심볼을 다시 재변조하는 과정을 거쳐 대역 제한이 우수하며 신호품질이 높은 출력을 제공할 수 있다. 캐나다에서 실시된 실험실테스트 결과에 의하면, 등화형 DOCR(Equalization DOCR)은 -50dBm 의 입력신호 레벨에서 $4.5\sim 5.5\text{dB}$ 레벨(D/U:Desired to Undesire)의 레환신호를 제거하였다 [5]. 이는, 송출신호가 다시 수신안테나로 타고 들어오는 루

프백(loop back) 왜곡을 기준 신호대비 -5dB 의 비율까지는 등화함으로써, 송수신 안테나 사이의 분리도(isolation)에 대해 DOCR 송출출력을 높일 수 있어 설치조건이 완화될 수 있음을 의미한다.

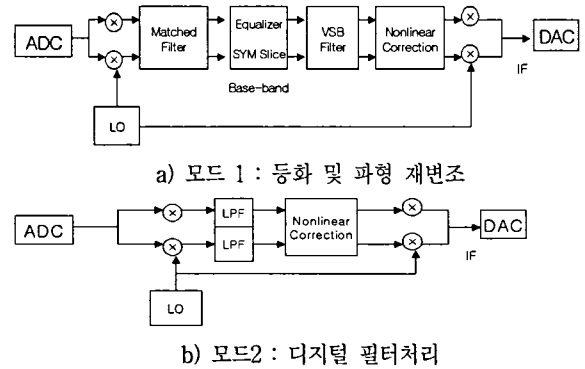


그림 3. DOCR 신호처리부의 두가지 동작 모드

디지털 필터처리모드 경우 입력신호를 급격하게 대역제한 되도록 설계된 저역통과필터를 통해서 송출하므로 매우 짧은 지연시간을 보여준다. 짧은 지연시간은 선행 고스트를 처리하는 능력이 떨어지는 3세대 급의 수신기들에게 매우 유리하지만 입력 신호 품질에 대한 복구를 수행하지 않아 송출 S/N이 저하되는 문제가 있다. 이 모드는 신호 품질의 복구를 일반 수신기에 의존하는 유형으로 저출력의 인접채널이 없는 지역이나 지역 특성상 등화 및 재변조 모드의 기능을 적용하기 힘든 경우 이용 될 수 있다.

4. 캐나다 필드테스트 결과

캐나다의 오타와에 위치한 CRC(Communication Research Centre, Canada)에서 개발된 DOCR에 대해서 오타와 일원을 대상으로 필드테스트를 수행하였다 [6]. 이 지역은 오타와강 아래쪽으로 점차로 기울어지는 지형을 가지고 있으며 높고 낮은 건물이 많아 주송신소의 수신전계가 약한 곳이다(그림 4a). 측정점은 주송신소 수신율이 안 좋은 지역에서 일정간격으로 선정되었다.



(a)송신안테나와 서비스지역 (b)수신안테나와 측정차량

그림 4. 송수신 안테나

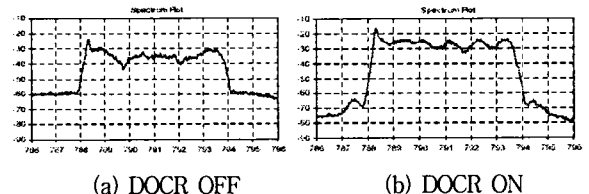


그림 5. 동일지역에서의 DOCR의 On/Off시 스펙트럼의 비교

측정은 서로 다른 제조사의 2001년 1종류, 2004년 2종류의 수신기에 대해서 실시되었다. 수신 안테나는 지향성 LPD(log periodic dipole)안테나와 무지향성 안테나를 지상 1.5m높이에 설치하고 측정하

였다(그림 4b). DOCR이 켜졌을 때 그림 5와 같이 수신전계가 증가하는 곳이 많았으며 세 종류의 수신기 모두 수신율이 개선되었다.

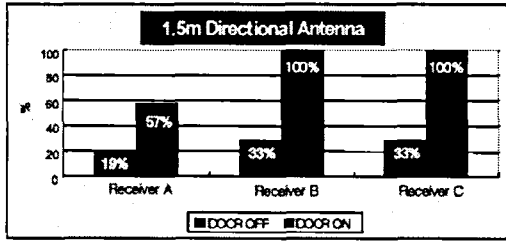
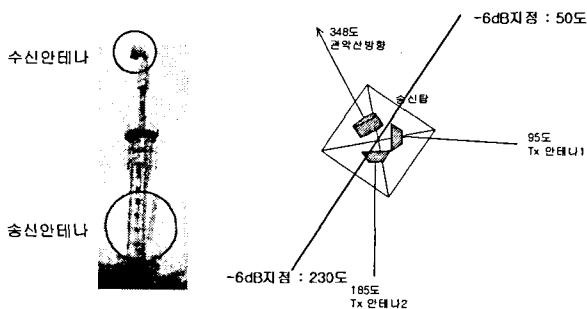


그림 6. DOCR On/Off에 따른 수신율의 변화

5. 국내 필드테스트 결과

국내 DTV중계환경의 OCR의 적용가능성 및 서비스 커버리지를 측정하기 위하여, 2004년과 2005년에 걸쳐 수원지역에서 두 차례의 필드테스트를 수행하였다. DOCR이 설치된 팔달산중계소는 주송신소인 관악산송신소(안테나높이 약 680m)로부터 약 18km떨어져 있으며 전과 경로상에 400~600m 정도 높이의 산들이 걸쳐있다. DOCR 수신안테나는 파라볼라 형태의 안테나를 철탑의 끝부분에 설치하였으며 송신안테나는 4단 2면 안테나를 설치하였다.



(a) 송수신 안테나 배치 (b) 송수신안테나 설치방향
그림 7. DOCR 송수신 안테나 배치

DOCR의 송출출력은 20W(TPO)이었다. 측정은 9m안테나 높이에서 KBS 측정차량을 이용하여 실시되었으며, KBS에서 자체 개발한 통합측정소프트웨어 IMAS(Integrated Measurement and Analysis System)를 사용하여 측정의 효율화를 이루었다 [7].

가. 1차 측정(2004년 4월~5월)

측정에는 기존 측정에 사용되었던 제니스사의 2세대 표준 수신기(1999년)와 A사에서 출시된 4세대 수신기(2002년), B사의 4.5세대 수신기(2004년)가 이용되었다. 4세대 수신기는 3세대 수신기와 동일한 등화기의 사양(-6μsec~+44μsec)을 가지며, B사의 4.5세대 수신기는 선행고스트를 15μsec까지 처리한다.

측정지점은 2001년도 측정지점에 9지점을 추가하여 총 50지점을 선택하였다. 그리고 이들 측정지역은 전체 서비스 가능지역을 상세하게 살펴보기 위한 그리드 측정이 대부분이며 원거리 특성을 보기 위한 방사선측정, 중계소의 간섭신호의 영향을 보기 위한 호상측정이 이루어졌다.(그림 8)

측정결과에서 2세대 수신기는 전체적인 수신율이 70%정도인 상황에서 DOCR을 켜 경우 수신율이 44%로 떨어지면서 선행고스트에 매우 취약함을 보였다(표 2). 4세대 수신기는 DOCR을 운용함에 따라 4지점에서 수신이 악화되었으나 다른 4지점에서 수신이 가능해져서

전체적인 수신 성공률에서는 변화가 없었다. 선행고스트를 가장 길게 처리할 수 있는 4.5세대 수신기의 경우 기존 주송신소 신호에 대한 수신율도 높아졌을 뿐 아니라 DOCR을 켜으로써 수신상태가 불량하거나 불가능했던 지역 대부분이 수신 가능해졌다.

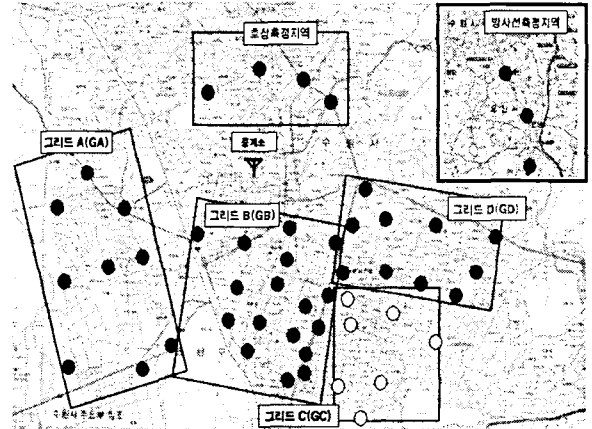


그림 8. 2004년 수원지역 1차 측정 측정지점

표 1. 수신 성공률 측정결과(2004)

수신기 종류	DOCR OFF			DOCR ON		
	2세대	4세대	4.5세대	2세대	4세대	4.5세대
수신양호지점개수	35	43	37	22	43	39
수신불가지점개수	15	7	3	28	7	1
비율(%)	70	86	92.5	44	86	97.5

표 2. DOCR을 동작에 따른 수신 상태의 변화 비교(2004)

수신기 종류	DOCR ON		
	2세대	4세대	4.5세대
수신양호였으나 DOCR로 수신이 악화된 지점	19	4	1
수신불가였으나 DOCR로 수신이 개선된 지점	4	4	3

나. 2차 측정(2005년 3월~4월)

2004년의 1차 측정이후로 등화기의 성능이 획기적으로 개선된 5세대 수신기가 출시되면서 DOCR의 운용범위가 그만큼 높아질 것으로 기대되어 2차 측정을 실시하였다.

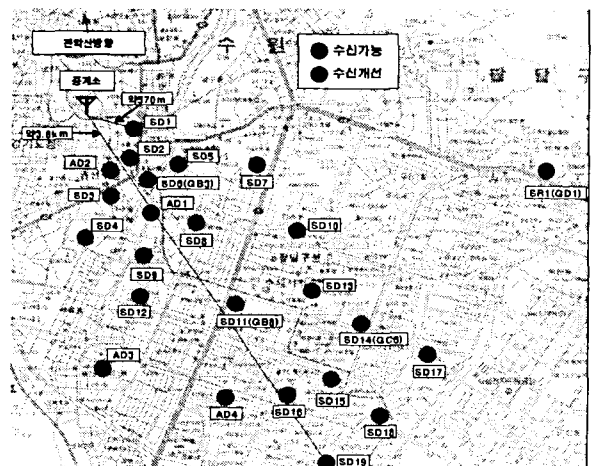


그림 9. 2005년 수원지역 2차 측정 측정결과(5세대 수신기)

2005년의 수원지역 2차 측정에서는 송출환경은 2004년과 동일하게 설정하였으며, 새로 개발된 5세대 수신기와 기존 2세대 표준 수신기를 비교하며 측정하였다.

측정지점은 1차 측정 결과에서 DOCR의 동작 전 후로 기존 수신기들이 수신상태에 영향을 받는 지역 위주로 선정되었다.(총 24지점)

측정결과를 분석해보면 2세대 표준수신기의 경우 수신율이 29% 정도 밖에 되지 않을 정도로 수신전계강도가 열악하였다(기존 측정의 경우 표준수신기의 수신율은 70% 전후였음). 새로 개발된 5세대 수신기의 경우 수신율이 83%까지 측정이 되어 감도 및 등화기의 개선으로 인한 성능의 차이를 알 수 있었다. 특히 동일채널 중계기를 작동시켰을 때, 수신율은 100%가 되어 선행고스트에 대한 처리가 완벽하게 이루어졌다.

표 3. 수신 성공률 측정결과(2005)

수신기 종류	DOCR OFF		DOCR ON	
	2세대	5세대	2세대	5세대
수신 양호 지점 개수	7	20	8	24
수신 불가 지점 개수	17	4	16	0
비율(%)	29.2	83.3	33.3	100

또한, 수신안테나를 회전시켜 수신가능범위를 측정하는 수신용이성(ease of reception) 측정을 통해서, DOCR을 켜에 따라 일부방향에서 수신되던 수신가능각도가 거의 360도 전방향으로 대부분의 측정지점에서 증가(그림 10, 18개지점)하였다. DOCR 환경에서는 수신안테나 방향의 설정에 크게 영향을 받지 않기 때문에, 지향성안테나 사용의 단점이었던 수신안테나 방향에 따른 방송국별 수신성능차이를 극복하는데도 도움이 된다.

또한, 고스트의 방향이 일정하지 않은 실내수신성능도 개선될 수 있음을 이를 통해 추정할 수 있다.

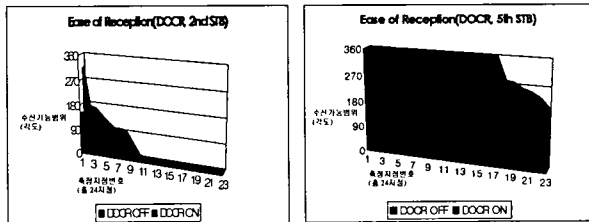


그림 10. 수신용이성 측정결과(2세대 수신기, 5세대 수신기, 2005)

표 4. DOCR을 동작에 따른 수신 상태의 변화 비교(2005)

수신기 종류	DOCR ON	
	2세대	5세대
수신양호였으나 DOCR로 수신이 악화된 지점	3	0
수신불가였으나 DOCR로 수신이 개선된 지점	4	4

다. 측정결과 정리

2001년도의 필드테스트와 2004년 및 2005년도의 필드테스트를 비교해보면, 관악산 주신호만 존재하는 경우에서의 2세대 표준수신기의 성능은 오히려 더 나빠졌다. 즉, 2004년 및 2005년도 측정지점이 더욱 열악한 측정조건을 가진다. 특히, DOCR의 출력증가(2001년 5W, 2004년 20W)에 따라 DOCR 운용시 성능의 열화가 더 심해지는 결과를 보였다. 그러나, 4세대 수신기의 성능은 기존 3세대 수신기보다 향상되었으며 DOCR을 송출해도 크게 영향을 받지 않았다.

특히, 2004년과 2005년도의 측정결과만을 비교해 보면 4.5세대 수신기와 5세대 수신기의 경우 수원 팔달산 DOCR의 운용결과 측정지점에서 거의 100%의 수신성공률을 보였다. 이와 같이 ATSC DTV의 수신기의 발전에 따라 20W급 DOCR의 서비스가 성공적으로 실시되어 DOCR의 적용가능 커버리지도 그만큼 확대 될 수 있다.

라. 국내 방송망에서 DOCR의 적용방안

DOCR의 서비스 가능구역은 수신기의 고스트 처리 능력이 개선됨에 따라 5세대 수신기의 -6dB의 D/U(Desired to Undesired ratio) 구역(그림 1 참조)을 목표로 한다면 20μsec 즉, 6km이내에서 DOCR 서비스 커버리지를 설계할 수 있다. 다만, 2004년까지 보급된 3세대 및 4세대 DTV 수신기의 경우 서비스 반경 2km이상의 지역에서는 간섭으로 인한 수신불가 현상이 지역에 따라 발생할 수 있으므로, 해당 서비스 지역의 수신기 보급현황을 고려하여 DTV 망을 설계하여야 한다.

6. 결론

DTV 수신기의 성능이 비약적으로 발전하면서 ATSC 방송망에서도 동일채널중계기술에 의한 전파영역지역해소에 대한 기대가 높아지고 있다. KBS와 ETRI는 2003년부터 2005년까지 공동연구를 통해서 낮은 송수신 안테나 분리도(isolation)에서도 상대적으로 높은 출력을 송출할 수 있는 개선된 성능의 DOCR을 개발하였다.

2004년과 2005년도에 수원 팔달산 지역에서 실시한 필드테스트에서 15μsec의 선행고스트를 처리할 수 있는 4.5세대 수신기와 50μsec의 선행고스트를 처리할 수 있는 5세대 수신기는 DOCR을 사용함에 따라 거의 전 측정지점에서 안정된 수신을 할 수 있었다. 특히, 상당히 많은 지점에서 270도 이상의 안테나 방향에서 수신이 가능해져 안테나 방향에 거의 상관없이 어느 채널이든 깨끗하게 수신할 수 있는 결과를 보였다. 이번 실험결과와 DTV 수신기의 사양에 따르면, DOCR의 서비스 가능구역이 6km이상까지 확장 가능할 것으로 판단된다. 다만, 2004년까지 보급되어있는 기존 수신기들이 선행고스트에 취약한 만큼 DOCR 대상 서비스 구역에 대한 수신기 보급현황 등의 면밀한 분석이 선행되어야 기존 서비스 이용자들의 불편을 최소화 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 서영우, 목하균, 권태훈, "지상파 DTV 동일채널 중계기 필드테스트 결과 분석", 방송공학회 논문지 제7권 제1호(ISSN 1226-7953) pp10-20, 2002년 3월
- [2] ATSC Task Force on RF System Performance, "Performance Assessment of the ATSC Transmission System, Equipment and Future Directions (Draft 4.3)," ATSC, Nov. 2000.
- [3] W. Husak, E. Helm, "Design and Construction of a Commercial DTV On-Channel Repeater," NAB Broadcasting Engineering Conference Proceedings, Apr. 2000.
- [4] Tim Laud, "Performance of 5th Generation 8-VSB Receivers", Broadcast Technology Symposium, 2004.
- [5] 박성익, 이용태, 음호민, 서재현, 김홍묵, 김승원, 이수인, "등화형 디지털 동일 채널 중계기 Part I : 실험실 테스트 결과", 방송공학회 논문지 제10권 제2호, pp210-220, 2005년.
- [6] 박성익, 이용태, 음호민, 서재현, 김홍묵, 김승원, 이수인, "등화형 디지털 동일 채널 중계기 Part II : 필드 테스트 결과", 방송공학회 논문지 제10권 제2호, pp221-237, 2005년.
- [7] Young-Min Kim, Young-Woo Suh, Tae-Hoon Kwon, and Ha-Kyun Mok, "Development of an Integrated Measurement and Analysis System for DTV Field Test", BCA Conference Proceedings, June, 2005.