

디지털 지상파 TV방송 시스템에 관한 성능분석 보고서 (ATSC 8-VSB방식과 DVB-T COFDM방식의 성능 비교)

1. 서론

90년대 초부터 세계 각국의 연구 개발에 힘입어 이제 지상파 디지털 TV방송이 실시 단계에 이르렀다. 1998년 11월 이후 미국 및 유럽에서는 지상파 디지털 TV방송을 시작하였고 이와 함께 여러 나라가 지상파 Digital Television 방송실시를 위한 계획을 발표하고 있다. 지상파 디지털 TV 방송의 변조 방식으로는 두 가지 매우 다른 방식이 있다. 미국의 ATSC에서 채택한 전송 방식으로는 8-VSB(Trellis Coded 8-level Vestigial Side-Band) 변조 방식이 있고, DVB-T(Digital Video Terrestrial Broadcasting)의 COFDM(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조 방식이 있다. 이외에 COFDM에 근거한 BST(bandwidth Segmented Transmission)-OFDM이 있으며 일본에서 채택한 방식이다.

많은 나라들은 시스템 선정에 있어서, 주파수 자원현황과 방송정책, 시청영역에 관한 요구사항, 방송망 구조, 수신 조건, 요구 서비스의 형태, 프로그램 교환, 소비자 및 생산자에 대한 비용 등의 특수 조건들에 대한 최적의 변조방식에 따라 시스템을 선정하려고 하고 있다.

이 보고서는 미국과 유럽방식 이 여러가지 열화조건과 운용환경에서 나타내는 성능을 비교한다 먼저 일반적인 비교를 제시하였고 최근의 실험실 실험결과와 이론적 분석결과를 제시하였다.

두 시스템이 이 모두 사용되고 있는 시스템이고 이미 정상적인 DTV 서비스를 제공하고 있음을 먼저 밝혀둔다. 그러나 여기에서의 성능비교는 현재의 기술만을 반영한 것이다.

2. 일반적 비교

일반적으로 각 시스템은 고유의 장단점을 가지고 있다. 즉, ATSC의 8-VSB는 주파수 효율이 높으며 잡음에 강하다. 따라서 다채널 환경과 6MHz 채널로 HDTV를 전송하는데 유리하다.

DVB-T COFDM은 0db이상에서 다중경로 왜곡에 대해 장점이 있고, 대규모 단일 주파수 방송망 구축과 이동 수신에 대하여 유리하다.

그러나 어느 방식이나 대역폭에 있어서도 동시에 단일 주파수 방송망과 이동 수신을 가능토록 할 수는 없다.



성능 항목	ATSC 8-VSB	DVB-T COFDM (ITU mode M3)	비 고
최대신호 대 평균전력비	7 dB	9.5 dB	3.1 절 참조 99.99% 시간율
부가백색잡음 채널에서의 비트당 에너지 대 잡음비 이론치 RF 실험치	10.6 dB 11.0 dB	11.9 dB 14.6 dB	3.2 및 3.3 절 참조 측정 기준치의 차이 때문에 0.8 dB 보상치가 사용됨
다중경로 왜곡 정적 다중경로: 4 dB 이하 4 dB 이상 동적 다중경로:	양호 불량 불량	불량 양호 우수	3.4 절 참조 3.4 절 참조 3.4 및 3.5 절 참조
이동수신	불가	2k-mode	3.5 절 참조
주파수 효율	양호	불량	3.6 절 참조
HDTV 방송 능력	있음	있음*	*DVB-T의 경우, 6 MHz 대역으로는 저속 데이터 전송률을 가지므로 HDTV 구현 어려움 3.7 절 참조
기존 아날로그 TV에 대한 간섭	낮음	중간	ATSC의 E_b/N_0 가 낮음 3.8 절 참조
단일 주파수 방송망 구축 대규모 단일 주파수 망 동일채널 중계기 이용시	불가능 가능	가능 가능	3.9 절 참조 DVB-T 8k mode. ATSC and DVB-T 2k mode
임펄스 잡음	양호	불량	3.10 절 참조.
톤 간섭	불량	양호	3.11 절 참조
DTV에 대한 아날로그 동일채널 TV의 간섭	동일	동일	3.12 절 참조 ATSC 시스템에 comb-filter 장착을 가정
동일채널 DTV의 간섭	양호	불량	3.13 절 참조
위상 잡음의 영향	양호	불량	3.14 절 참조
잡음 지수	동일	동일	3.15 절 참조
옥내 수신	적용사항 없음	적용사항 없음	3.16 절 참조 추가 조사 요구됨
다른 대역폭에서의 시스템 비교	동일	동일	ATSC는 다른 comb-filter 요구됨. DVB-T 6 MHz (8k mode)는 위상 잡음에 민감함. 3.1 절 참조



3. 시스템 성능 비교

3.1 DTTB 신호 피크전력 대 평균전력비

COFDM 신호는 통계적으로 이차원 가우시안 프로세스로 모델링할 수 있다. 이 신호의 피크 전력대 평균 전력비(PAR)는 필터링에 의해서 크게 영향받지 않는다. 한편, 8-VSB 신호의 PAR은 스펙트럼 성형 필터의 롤오프 (ATSC 8-VSB 신호인 경우 11.5%임)에 따라 크게 의존한다. 연구결과에 의하면 DVB-T 신호의 PAR (전체시간의 99.99% 동안의 신호에 대해) ATSC의 PAR보다 약 2.5dB 더 크다[3-5].

인접채널 간섭의 주원인은 인접 채널 방사인데, 같은 수준의 인접채널 방사를 기준으로 DVB-T 시스템은 전력이 2.5dB 혹은 1.8배 큰 송신기를 사용하여 추가로 2.5dB back off를 시키거나 또는 더 성능이 좋은 채널필터를 사용하여 사이드 로브를 더 많이 감쇄시켜야 한다. 그러나 높은 PAR은 시스템 성능에 전혀 영향을 주지 않는다. 단지 방송사들의 초기 투자 비용을 조금 증가시킬 뿐이다.

3.2 C/N Threshold

이론적으로 변조의 관점에서 볼 때, VSB, QAM 같은 단일 캐리어 변조방식과 OFDM은 AWGN 채널에서 같은 C/N 스톨레쉬홀드를 가져야 한다. C/N 스톨레쉬홀드가 다르게 얻어진다면 그 이유는 채널 코딩, 채널 예측, 등화 방법, 구현상의 마진 (위상 에러, 양자화 에러, 상호간섭성분) 등 때문이다.

DVB-T 시스템과 ATSC 시스템 모두 전방향 에러 정정과 인터리빙을 연이어 사용한다. DVB-T의 외부 코드는 12 R-S 블록 인터리빙을 사용하는 R-S(204, 188, t = 8)이다. R-S(255, 239) code에서 단축된 R-S(204,188) 코드는 8 바이트 송신 에러를 정정할 수 있고 DVB-S(위성)과 DVB-C(유선) 표준과 공유성과 연결의 용이성 측면에서 일관된다.

ATSC 시스템은 보다 강력한 R-S (207,187, t = 10) 코드를 사용하여 10 바이트 에러를 정정할 수 있고, 임펄스와 동일채널 NTSC 간섭을 약화하기 위해 훨씬 큰 52 R-S 블록 인터리버를 사용하였다. R-S 코드구현의 차이 때문에 ATSC 시스템의 C/N 성능이 약 0.5 dB 좋다. 한편 ATSC 시스템은 내부 코드로 R = 2/3 트렐리스 코드 변조(TCM)를 사용하고, DVB-T 시스템은 준최적 punctured convolutional



코드(공유성을 고려하여 DVB-S 표준과 같은)를 사용한다. ATSC 시스템이 1dB 정도 까지 유리하다. 따라서, 전방향 에러 정정기능 구현의 차이 때문에 ATSC 시스템의 C/N 이 약 1.5dB 더 좋다. 이 1.5 dB의 차이는 기술적으로 더 발전시키거나 시스템을 개선시켜도 줄이기 힘들 것이다.

Grand Alliance 프로토타입 수신기에는 결정 케환 등화기(DFE)를 사용하였다. DFE는 에러를 케환시키기 때문에 잡음이 증가되지 않을 뿐더러 매우 예리한 비트 에러율(BER) 스톱시홀드를 갖는다. 한편, DVB-T 시스템은 빠른 채널예측을 위해 밴드내 파일럿을 이용하고, 아직 채널등화를 위해 탭 수가 하나인 선형 등화기를 사용하기 때문에 2 dB의 C/N이 저하된다[6,7]. 현 기술에 근거한 전체 C/N 성능은 ATSC가 AWGN 채널에서 3.5dB 우수하다[5,8,9].

송신기 구현관점에서 볼 때, DVB-T 송신기는 동일한 커버리지와 같은 불요 인접 간섭 제한을 얻기 위해 ATSC 송신기보다 6dB (3.5dB C/N 차이와 2.5 dB PAR) 혹은 4배 더 전력이 높은 송신기를 사용해야 한다. 하지만 AWGN C/N 성능은 여러 가지의 송신 시스템 비교 기준 중 하나에 지나지않는다. 이는 중요한 성능 지수이지만 실제 채널 상황을 잘 대변하지 못할 수 있다. 한편 AWGN 채널에서 잘 동작하도록 설계된 등화기나 자동이득제어(AGC)는 움직이는 에코나 신호 변화에 대해 느리게 반응할 수 있다. DVB-T의 추가의 2dB 구현 마진은 차후에 줄어들 수 있다.

유럽에서는 DTTB 스펙트럼 계획을 위해 라이시안 채널모델을 사용한다[7, 21]. 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 가우시안 채널과 라이시안 채널($K = 10$ dB)의 C/N 스톱시홀드에는 변조방식과 사용된 채널코딩에 따라 약 0.5에서 1dB 정도 차이가 있다. 계획 작업을 위해 권고된 실제 C/N 스톱시홀드는 등화기와 수신기 잡음레벨에 기인한 2dB의 잡음열화를 고려하였다. 하지만, 가우시안 채널과 라이시안 채널의 0.5에서 1dB의 C/N 차이는 유지하였다.

ATSC의 주파수 계획은 다른 접근방식을 취하였다. 미국에서 FCC는 가우시안 채널 성능을 사용한다 [5]. 캐나다에서는 유럽의 접근방식처럼 다경로 왜곡($K=7.6$ dB) 때문에 여유있게 1.3 dB의 C/N 마진을 할당하였다.

표 2는 컴퓨터 시뮬레이션 [1,2] (100% 채널 상태 정보 가정) 과 최근에 실험실에서 행한 백투백 실험 결과[5,7,9]에 근거한 두개의 DTTB 시스템의 C/N을 나타내었다. 보통, UHF 밴드와 VHF 밴드에서 행한 실험에는 약 0.2 ~ 0.5dB의 차이가 있다. 성능은 또한 수신기에서 사용된 RF 튜너에 많이 의존한다. 싱글



컨버전 튜너는 더블 컨버전 튜너보다 성능이 좋지만, 인접채널간섭 성능은 좋지 않다.

표 2: C/N thresholds 시험 결과치

C/N (AWGN)	이론치	RF 시험치
ATSC	14.8 dB	15.2 dB
DVB-T	16.5 dB	19.2 dB

3.3 C/N 성능의 공정한 비교

표 2에 제시한 스레시홀드는 시스템이 다른 데이터율을 갖고, 각각의 스레시홀드가 다르게 정의되어 있으므로 공정한 비교가 될 수 없다. 다른 대안으로는 E_b/N_0 , 즉 비트당 에너지를 사용하는 것인데, 이는 시스템 성능을 평가하기 위해 시스템 데이터율을 고려한다.

$$E_b/N_0 \text{ (dB)} = C/N - 10 \log (R_b / BW) \quad (1)$$

여기서 R_b 는 코딩된 시스템 데이터 처리량이고 BW 는 시스템 대역폭이다. 6 MHz ATSC 시스템에서, 데이터율은 $R_b = 19.4 \text{ Mbps}$ 이다[1]. $R = 2/3$ 코딩과 1/16의 가드 구간을 사용하는 DVB-T 6 MHz 시스템에서는 $R_b = 17.4 \text{ Mbps}$ 이다[2]. 같은 코딩을 사용하지만 다른 가드 구간을 사용하는 DVB-T 시스템에서는, 시스템 C/N은 같아야 하나 다른 데이터 처리율 때문에 E_b/N_0 가 다르다.

DVB-T의 스레시홀드는 R-S 디코딩 이전의 비트 에러율 $2E-4$ 로 정의하였다 R-S 디코딩 이후에는, $1E-11$ 의 BER, 혹은 거의 에러가 없는(QEF) 수신에 해당되는데, 이는 매 수시간마다 한번의 에러에 해당한다. 이 스레시홀드 정의는 데이터 송신에서 자주 이용된다.

ATSC의 스레시홀드는 영상화면의 TOV(threshold of visibility)로부터 주관적으로 유도되었는데, 이때에 수신 단에서 특정한 영상 에러 숨김 또는 회복기능이 구현되어있다는 가정을 하였다. 객관적인 측정으로는 R-S 디코딩 이후에 $BER = 3E-6$, 혹은 세그먼트 에러율 (SER) = $2E-4$ 로 정의되었다. 이 SER은 등화기 이후(트렐리스 디코딩 이전) 8-VSB 심볼 에러율 0.2에 해당된다. 이는 또한 트렐리스 디코딩이후 바이트 에러율 $1.4E-2$ 에 해당한다[10]. ATSC의 스레시홀드가 DVB-T의 스레시홀드보다 훨씬 낮게 정의되어있음을 알 수 있다. 비교를 공정히 하기 위해 ATSC 스레시홀드에 조금 수정을 가해야 한다. 하지만 다른 수신기에서 측정한 값들은 수신기가 어떻게 구현되어있느냐에 따라 다른 값을 갖는다. AWGN 채널에서 결정 제한 등화기를 사용할 때 수정 인자는 약 0.8dB 이어야 한다[10].



위에 언급한 내용에 근거하여 표 3에 데이터 율의 차이와 스톱시홀드 정의의 차이, 계산한 E_b/N_0 스톱시홀드 값을 제시하였다. RF 백투백 실험데이터에 의하면, ATSC 시스템은 현재 AWGN 채널상에서 3.6dB 더 성능이 좋다. 다시 한번 언급하지만 두 시스템 모두 개선의 여지를 갖고있으며 AWGN 채널이 DTTB 채널 모델의 최선의 선택이 아닐 수 있다.

표 3: 시스템 E_b/N_0 thresholds

C/N (AWGN)	이론치	시험치
ATSC 6 MHz R = 2/3 $R_b = 19.4$ Mbps	10.6 dB	11.0 dB
DVB-T 6 MHz R=2/3, GI=1/16 $R_b = 17.4$ Mbps	11.9 dB	14.6 dB
DVB-T 6 MHz R=3/4, GI=1/16 $R_b = 19.6$ Mbps	12.9 dB	15.6 dB (예상치)

3.4 다중 경로 왜곡

COFDM 시스템은 다중 경로 왜곡에 매우 강하여 0dB에 달하는 반사신호(echo)까지도 극복할 수 있다. 보호구간을 둬으로써 인접심불간섭(ISI)를 제거할 수 있으나, in-band 페이딩은 여전히 존재한다. DVB-T 시스템이 0dB의 반사신호를 극복할 수 있기 위해서는 강력한 내부(inner) 오류정정부호와 우수한 채널 추정 시스템이 필수적이며, 신호전력이 최소한 7dB 커야 한다[4,8]. 제거기법(eraser technique)을 사용하여 연관성 복호를 수행하면 성능을 향상시킬 수 있다[11]. 4~6dB보다 작은 레벨의 정적인(static) 반사신호에 대해, 결정 패환 등화기(DFE)를 사용하는 8-VSB 시스템은 잡음증폭(noise enhancement)이 작게 나타난다.

DVB-T 시스템의 보호구간은 앞서거나 지연된 다중 경로 왜곡에 대처하는데 모두 사용될 수 있다. 이것은 SFN 동작에 매우 중요하다. ATSC 시스템은 앞선 긴 반사신호에 대처할 수가 없다. 그러나, ATSC 시스템은 MFN 환경에 대하여 설계되었기 때문에 앞선 긴 반사신호가 거의 발생하지 않는다.

3.5 이동 수신

COFDM은 이동수신에 사용될 수 있지만, 신뢰 있는 수신을 위해 OFDM 부반송파에 낮은 차수의 변조를 사용해야 하며, 낮은 부호율의 컨볼루션 부호를 사용해야 한다. 그러므로, 고정수신에 비해 이동 수신시에는 데이터 처리율이 매우 낮아지게 되어서, 한 개의 HDTV 프로그램과 관련된 다채널 오디오 및 데이터 서비스에 필요한 19Mbps 데이터 용량을 얻기가 거의 불가능하다. 높은 UHF 대역에서, 수신기가 129km/hr의 속도로 이동하고 있다고 가정할 때, OFDM 부반송파 간격은 도플러 효과 때문에 2kHz보다 커야만 한다. 이것은 이동수신을 위해서는 단지 DVB-T 2k 모



드만이 가능하다는 것을 의미한다. 2k 모드는 대규모의 SFN을 지원하기 위해 만들어진 것은 아니다. 만약 OFDM 부반송파에 QPSK가 사용되면, 데이터율은 8Mbps (BW=8MHz, R=2/3, GI=1/32)까지 가능하다[2]. 16QAM을 사용하면 데이터율은 16Mbps (BW=8MHz, R=2/3, GI=1/32)까지 가능하다. 고차의 변조를 사용하는 시스템은 페이딩과 도플러 효과에 민감하여, 큰 전송 전력을 필요로 한다.

이동 서비스를 제공하는데 한가지 잠재적 문제점은 스펙트럼 가용성이다. 이동 수신을 하기 위해서는 고정 서비스와는 다른 변조와 채널 부호가 필요하기 때문에, 이동 서비스는 분리된 채널에서 제공되어야 할 것이다. 많은 국가들이 현존하는 모든 아날로그 TV 방송국에 한 개의 고정 서비스 DTV 채널을 할당하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 이동서비스를 위해 추가 스펙트럼을 찾는 일은 매우 힘들다. 이동 서비스는 주로 오디오, 데이터 그리고 자동차 운전자를 위한 낮은 해상도의 비디오 서비스를 전송 하려고 하는 것이기 때문에, DAB와 이동전화서비스와 직접적인 경쟁에 놓여 있을 뿐 만 아니라 정부의 승인도 필요하다.

3.6 주파수 효율성

변조 기법으로서 OFDM은 출력 스펙트럼-성형 필터가 없는 경우 조차도 스펙트럼이 매우 빠른 초기 롤-오프를 가질 수 있기 때문에, 단일반송파변조시스템에 비해 스펙트럼이 조금 효율적이다. 사용 가능한(3dB) 대역폭이 5.38MHz(즉, $5.38/6 = 90\%$)인 ATSC 시스템[1]에 비해 6MHz 채널에서 사용 가능한(3dB) 대역폭은 5.65MHz(즉, $5.65/6 = 94\%$)로 높다[2]. 그러므로, OFDM 변조는 주파수 효율성에서 4%의 이익을 얻을 수 있다.

그러나, 강한 다중 경로 왜곡을 줄이기 위한 보호구간과 빠른 채널 추정을 위해 삽입되는 in-band 파일럿 때문에 DVB-T 시스템의 데이터 용량은 크게 줄어든다. 예를 들어, DVB-T는 시스템 보호 구간을 심볼 구간의 1/4, 1/8, 1/16, 1/32로 선택할 수 있게 하고 있다. 이것은 각각 20%, 11%, 6%, 3%의 데이터 용량의 감소와 동일하다. 1/12 in-band 파일럿을 삽입하면 데이터 유효율이 8% 감소하게 된다. 전체적으로, 데이터 처리율의 손실은 각 보호구간에 대해 28%, 19%, 14%, 11%에 달하게 된다. OFDM 시스템의 4% 대역폭 효율성을 빼면, DVB-T 시스템에 대해 전체 데이터 용량의 감소는 ATSC 시스템에 비해 각각 24%, 19%, 10%, 7%이다. 이것은 두 시스템이 등가의 채널 부호 기법을 사용한다고 가정할 때, 6MHz 시스템에서 DVB-T 시스템이 1.4, 1.9, 3.7, 4.7 Mbps 데이터 용량 감소를 겪게 된다는 것을 의미한다. 결국 데이터율은 각각 14.8, 16.4, 17.4, 17.9Mbps가 된다[2].

3.7 HDTV 방송능력

현재의 기술을 기준으로 했을 때, 스포츠와 빠른 동작 프로그래밍을 위해서는 최소한 18Mbps의 데이터율이 필요하다는 것은 디지털 비디오 압축에 관한 연구를 보면 알 수 있다[2]. 추가적인 데이터 용량은 다채널 오디오와 부가적인 데이터 서



비스에 따라 요구된다.

ATSC 8-VSB 시스템($R=2/3$ 펄스 코딩 변조 부호, 즉 ITU-mode M3[7,21])과 등가의 채널 부호 기법을 사용하는 DVB-T 표준을 기준으로 하면, 6MHz DVB-T 시스템의 데이터 처리율은 보호구간의 선택에 따라 14.7Mbps 와 17.90Mbps 사이이다. 그러므로, DVB-T 시스템은 약한 오류정정부호를 사용하지 않는다면, 한 개의 6MHz 채널에서 HDTV 서비스를 제공하기가 힘들다. 예를 들어, 변조율을 3/4 로 증가하고 GI 를 1/16 으로 선택하면 데이터 율은 19.6Mbps 가 되며 ATSC 시스템의 데이터 율 19.4Mbps 와 비교할 만 하다. 그러나, 이 경우에 최소한 1.5dB 의 추가적인 신호 전력이 필요하게 된다[2]. 추정된 시스템 성능은 표 3. 에 나열되어 있다. 부호율 증가 시키면 다중 경로 왜곡, 특히 실내 수신과 SFN 환경에 대한 성능이 나빠진다.

in-band 파일릿을 사용하지 않고 COFDM 신호를 복호할 수 있는 다른 기술들이 있다. 이 기술들은 스펙트럼 효율을 크게 증가 시킬 것이다. 불행하게도, 이러한 기술들은 DVB-T 표준이 끝 마쳐질 때 완전하게 개발되지 못했다.

3.8 기존 아날로그 TV 에 대한 간섭

DVB-T 시스템이 2.5 배 더 많은 전력을 전송하기 위해서는 4dB C/N 차가 요구된다. 그러나, 더 높은 전력 소비는 DTV 구현에 주요관심사가 아니다. 많은 국가에서, 아날로그 TV 와 디지털 TV 가 긴 기간동안 공존할 수 있는 정책이 필요하며, DTV 구현에 사용할 수 있는 추가의 스펙트럼 자원이 없다. DTV 는 단지 할당되지 않거나 사용하기 힘든(taboo) 채널만을 사용할 수 있다. 제한적 요소중의 한가지는 아날로그 TV 에서 DTV 로 넘어가는 기간동안에 기존의 아날로그 TV 로의 DTV 간섭이다. DVB-T 시스템의 더 높은 전송 전력 요구는 설계를 더 힘들게 하며 추가적인 간섭을 유발한다. 동일 채널 간격을 증가 시키거나 DTV 전송 전력 (즉 방송범위)을 줄이기 위해서는 별도의 측정을 하여야 한다.

3.9 단일 주파수 방송망 (SFN)

8k 모드 DVB-T 시스템은 대규모(nation-wide or region-wide)의 SFN 용으로 설계되었다. SFN 은 한 송신기 군(cluster)이 지정된 서비스 지역을 서비스하기위해 사용된다. 8k 모드 DVB-T 시스템은 매우 긴 보호 간격을 지원할 수 있는 작은 반송파 간격을 사용하며, 만약 강력한 변조 부호($R<3/4$)를 사용한다면 0dB 다중 경로 왜곡을 견딜 수 있다. 그러나, 이 0dB 다중 경로 왜곡에 대처하기위해서는 최소한 7dB 의 신호 전력이 더 필요하게 된다[4,8]. 이 부가의 전력 요구는 앞에서 언급한 6dB 송신기 headroom 에 추가된다. 부가의 송신 전력을 줄일 수 있는 다른 방법은 방향성 수신 안테나를 사용하는 것이며, 이를 통해 0dB 다중 경로 왜곡을 제거할 수 있다. 이러한 방향성 수신 안테나는 ATSC 8-VSB 시스템의 수신도 향상시킬 것이다.



대규모 SFN 구현에 영향을 주는 다른 문제는 동일 채널과 인접채널 간섭이다. 많은 국가에서, 아날로그 TV 에서 DTV 로 넘어가는 기간동안 기존의 아날로그 TV 서비스에 심각한 간섭을 끼치지 않는 대규모 SFN 운용을 위한 DTV 채널을 할당하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 원하는 위치의 타워 기지와 관련된 소요경비(토지, 장비, 법, 공사, 운용 그리고 환경 연구 등)의 추가부담은 실용적이지도 않고 경제적으로 존립할 수도 없을 것이다.

반면에, SFN 접근은 핵심 방송지역 전체에 걸쳐 더 강한 전계 강도를 제공할 수 있으며 서비스 가용성을 크게 향상시킨다. 수신기는 여러 개의 송신기로부터 신호를 수신하여(다이버시티 이득), 신뢰도 있는 서비스를 위해 그 중 한 송신기와 LOS 를 가질 기회가 커진다.

송신 전력뿐 만 아니라, 송신기 밀도, 타워 높이와 위치를 최적화함으로써, SFN 은 이웃하는 망으로부터 그리고 이웃하는 망으로의 만족할 만한 간섭을 유지하면서 더 좋은 방송 범위와 주파수 경제성을 얻을 수 있다[22].

ATSC 시스템은 SFN 구현을 위해 특별하게 설계되지 않았다. 만약 방송되지 않는 신호의 검출(the pick-up of the off-air signal)과 그 신호의 재전송 사이의 충분한 격리가 확보되지 않으면, On-channel 중계기와 gap 여파기 운용의 제한이 발생할 수 있다[14]. 다른 선택은 완전히 디지털로 신호가 on-channel 에서 복조, 복호, 재변조 되는 것이다. 맨 처음 중계기에서의 전송오류는 정정될 수 있으며 시스템에 pick-up 과 재전송 안테나 사이의 높은 수준의 격리가 필요치 않게 된다.

DTV 와 아날로그 TV 시스템의 중요한 차이는 DTV 는 최소한 20dB 의 동일 채널 간섭을 견딜 수 있고, 반면에 아날로그 TV 의 동일 채널 TOV(가시청 임계치)는 약 50dB 이다는 것이다. 즉, DTV 는 아날로그 TV 보다 30dB 까지 robust 하다. 이 때문에 중계기 설계와 계획에 더 많은 융통성을 가진다. ATSC 시스템 중계기 구현에 방향성 수신 안테나를 사용하면 빠른 이동 또는 긴 지연 다중 경로 왜곡의 영향을 줄일 수 있을 뿐 만 아니라 중계기 위치의 유용성도 증가하게 된다. 운용상의 요소(parameter)는 인구 분포, 지형 그리고 원하는 방송범위지역에 따라 달라진다.

ATSC 또는 DVB-T, SFN 또는 MFN, 어떤 상황에서도 100% 위치 가용성은 얻을 수 없다는 것을 알아야 한다.

3.10 임펄스 잡음

이론적으로 OFDM 변조 방식은 수신기에서 이루어지는 FFT 과정을 통해 짧은 주기의 임펄스 성분을 평준화 (average out)시킬 수 있기 때문에 시간축 상의 임펄스 간섭에 더 강하다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 채널코딩과 인터리버의 구현 역시 중요하다. ATSC 시스템은 DVB-T 보다 임펄스 간섭에 더 강한데 그 이유는 DVB-T 에서는 RS 코드(204,188), 12 세그먼트의 인터리버를 갖는 반면 ATSC 시스템은 이보다 긴 코드를 갖는 RS 코드와 인터리버를 갖기 때문인데



각각 RS(207,187), 52 세그먼트이다[9]. 내부부호를 살펴보면 ATSC는 DVB-T이 갖는 7의 구속장 보다 짧은 2의 구속장을 갖으므로 짧은 주기의 버스트성의 오류가 외부부호에서 정정하기 쉽다.

임펄스 잡음 간섭은 산업장비와 전자레인지, 형광등, 헤어드라이어, 전기청소기와 같이 집에서 쓰는 가전기구로 인해 VHF 밴드와 일부 낮은 대역의 UHF 밴드에서 종종 일어난다. 또한 고압전력선에서 발생하는 arcing과 corona도 임펄스 잡음을 발생시킨다.

이러한 임펄스 잡음을 제거할 수 있는 반송파 복원과 동기회로가 얼마나 완벽히 구성되는가도 시스템 성능을 알 수 있는 요소가 된다.

3.11 톤 간섭

COFDM 시스템을 주파수상에서 보면 데이터 전송을 위해 일정한 대역에 많은 부 반송파를 발생시키는데 이는 단일 톤 혹은 좁은 대역의 간섭은 몇 개의 부 반송파 성분만을 회손 시키므로 에러복원 코드에 의해 대부분 쉽게 복원되는 반면 단일 톤 간섭 성분은 8-VSB 변조에서는 눈이 감기도록 한다.

적용등화기가 톤 간섭의 영향을 줄일 수는 있으나 일반적으로 톤 간섭측면에서 보면 DVB-T 시스템이 ATSC 시스템 보다 우수하다[4,9]. 그러나 톤 간섭은 단지 하나의 성능 비교에 불과하다. 실제로는 매우 정교한 주파수 할당(well engineered spectrum allocation)이 이러한 톤 간섭의 문제를 해결할 수 있기 때문에 DTTB 시스템에서는 톤 간섭이 주로 있는 환경은 고려하지 않는다. 동일채널 아날로그 TV 간섭은 특별한 톤 간섭 같은 간섭이 있는 경우로 고려한다. 이는 다음 절에서 설명한다.

3.12 DTV에 대한 아날로그 동일채널 TV의 간섭

앞 절에서 설명한 바와 같이 DTV에 대한 동일채널 아날로그 TV의 간섭은 DTTB 대역내의 특정한 위치에 있는 COFDM 부 반송파성분을 회손 시키게 된다. 만약 eraser technique을 이용한 연판정 디코딩을 채용한 우수한 채널 추정 시스템을 적용하면 아날로그 TV 간섭에 좋은 특성을 갖도록 할 수 있다.

ATSC 시스템의 경우는 좀 다른데 아날로그 TV 신호의 비디오 오디오 그리고 색 정보를 담은 부 반송파 성분을 제거 시킬 수 있도록 설계된 콤 필터를 이용하여 시스템 성능을 향상시킨다.

두 시스템 모두 유사한 성능을 갖는데 Ref[9]에서는 7MHz 아날로그 TV 신호가 6MHz의 ATSC 신호에 동일채널간섭으로 작용할 때 콤 필터가 제외되었음을 밝힐 필요가 있다. DTV 주파수 계획에 있어서는 동일채널 아날로그 TV 간섭은 그리



민감한 성분이 아니다 다만 현재의 아날로그 TV에 대한 DTV 간섭이 좀더 문제가 된다.

3.13 동일채널 DTV의 간섭

동일채널내의 DTV 간섭신호는 부가백색잡음과 같다. 따라서 동일채널 DTV 간섭 특성은 C/N 특성과 관련이 많은데 이는 채널코딩과 변조 방식에 의해 결정된다. 표 4에서 알 수 있듯이 ATSC 시스템은 약 3~4dB의 이익을 갖는데 이는 전치 왜곡보상 시스템 때문이다. 이와 같이 우수한 동일채널 DTV C/I 특성은 현존하는 아날로그 TV에 대한 간섭을 최소화 할 수 있을 것이다. 또한 아날로그 TV 서비스가 사라지게 되면 좀더 우수한 주파수 효율을 갖도록 할 것이다.

3.14 위상잡음의 영향

이론적으로, OFDM 변조방식은 튜너의 위상잡음에 더욱 민감하다. 위상잡음의 영향은 두 성분으로 모델링할 수 있다[16,17]. 하나는 공통 순환 성분(a common rotation component)이 있는데 이는 전체 OFDM 부 반송파의 위상 순환을 야기 시킨다. 둘째는 산발성분 혹은 반송파간 간섭성분(inter-carrier interference component)이 있는데 이로 인해 잡음이 있는 것과 같이 부 반송파의 정상도의 초점이 흐려지게 된다. 첫번째 성분은 in-band 파이롯을 기준신호로 삼아 쉽게 극복할 수 있으나 두번째 성분은 복원해 내기가 어렵다. 이로 인해 DVB-T 시스템 잡음 한계가 조금씩 저하된다.

8-VSB와 같은 단일 반송파 변조방식에서의 위상잡음은 정상도의 회전을 야기 시키지만 대부분 위상동기 루프를 이용하여 보상할 수 있다. DVB-T 시스템에서는 좀더 좋은 위상잡음특성을 갖는 튜너를 사용해야만 한다[18]. 단일변환방식의 튜너를 사용하느냐 양변환 방식의 튜너를 사용하느냐에 따라 성능의 차이가 날 수 있다. 단일변환방식의 튜너는 위상잡음성분이 작으나 인접채널간섭에 취약하다. 그리고 VHF 대역과 UHF 대역을 수신할 수 있는 튜너는 단일대역을 수신할 수 있는 튜너에 비해 성능이 열악하다.

3.15 잡음 지수

일반적으로 잡음지수는 수신기 제작에 있어 주 관심사이다. 수신기 초단에서의 낮은 잡음지수는 수신기의 감도를 증가 시키게 된다.



단일변환 튜너는 낮은 잡음지수와 낮은 위상 잡음 성분을 갖게 되나 잡음지수는 수신되는 채널에 따라 달라진다. 어떤 채널에서는 훨씬 더 낮은 잡음지수를 갖기도 한다.

그러나 단일변환 튜너는 인접채널 간섭을 많이 억압시키지 못하고 그 양도 채널에 따라 다르게 된다.

반면 양변환 튜너는 높은 잡음지수와 높은 위상 잡음성분을 갖게 된다. 그러나 인접채널간섭을 많이 억압시킬 수 있을 뿐 만 아니라, 잡음지수와 억압량이 채널에 관계없이 일정하다.

튜너의 성능은 가격(재질, 부품, 주파수 대역)에 따라 차이가 난다. 현재의 기술수준으로 볼 때 단일변환 방식의 low cost consumer grade 튜너의 잡음지수는 7dB 정도이고 양변환 방식의 튜너의 잡음지수는 9dB 정도이다. 튜너의 잡음지수는 동일채널간섭이 없는 환경에서 수신신호 coverage에만 영향을 미친다. 그러나 이러한 환경은 매우 드물기 때문에 coverage는 대부분 간섭의 영향을 받는다. 그러나 일부 국가에서는 수신기 잡음지수를 규정하였다.

3.16 옥내 수신

DTTB 시스템의 옥내 수신에 대해서는 좀더 연구할 필요가 있다. 현재 시스템을 비교할만한 충분한 자료가 아직 발표되지 않았다. 일반적으로 옥내에 들어온 신호는 옥내의 벽뿐만 아니라 외부 건물에 의해 많은 다중신호 간섭의 영향을 받게 된다. 심지어는 사람의 움직임이나 애완 동물들의 움직임으로 인해 신호의 반사가 달라지고 전계 강도가 변하게 된다.

옥내의 신호강도와 신호 분포는 많은 성분에 의해 결정되는데 이러한 성분에는 건물구조 (콘크리트, 나무, 벽돌), 건물외관 재질(알루미늄, 플라스틱, 나무), 단열재(금속 코팅의 여부), 창문 재질(색유리, 다층접착 유리)등이 있다.

옥내에서 수신기에 안테나를 연결하여 측정하는 경우 안테나의 이득과 지향성은 주로 수신주파수와 안테나 위치에 따라 결정된다[21]. 토끼 귀모양의 실내안테나의 경우 측정이득이 -10에서 -4 dB까지 변하게 된다. 5단 로그 안테나의 경우에는 이득이 -15에서 +3 dB까지 변한다[21]. 더욱이 옥내에서는 전선과 가전제품에서 나오는 높은 레벨의 임펄스 잡음의 영향을 받기도 한다.



3.17 다른 대역폭에서의 시스템 비교

DVB-T 시스템은 본래 7-8MHz의 전송 대역폭을 갖도록 설계되었다. 이러한 전송 대역폭은 시스템 클럭을 변화시켜 6 혹은 7 혹은 8MHz로 정해진다. 이에 따른 하드웨어 변동은 채널필터, IF 단 그리고 시스템 클럭에서 발생하게 된다. 반면 ATSC 시스템은 애초에 6MHz의 전송 대역폭을 갖도록 설계되었고 DVB-T 시스템과 마찬가지로 시스템 클럭을 변화시켜 전송대역폭을 6 또는 7MHz로 변화시킬 수 있다.

ATSC 시스템은 동일 대역내에서의 NTSC 신호 간섭을 제거하기 위해 콤 필터를 이용하여 할 수 있다. 이러한 콤 필터는 간섭을 일으키는 아날로그 TV 신호에 따라 다르게 설계되어야 하고 상황에 따라서 즉 아날로그 TV 신호가 간섭의 주 원인이 아닐 경우는 필요 없을 수도 있다. 예를 들어 어떤 나라에서는 동일 대역내에서 아날로그 TV 신호 간섭이 없는 대역에 DTV 채널을 설정할 수도 있다.

일반적으로 좁은 채널폭에서는 낮은 데이터 및 심볼 전송율을 갖게 된다. 그러나 이러한 좁은 채널폭은 DVB-T의 경우에는 넓은 여유 대역폭을 갖도록 해주고 ATSC의 경우 긴 에코 정정능력을 보장하게 된다.

6MHz DVB-T의 약점은 좁은 부 반송파간의 간격으로 인해 위상 잡음에 더 민감하다는 것이다.