

PAL 표준 지역에 적합한 8VSB 송수신 시스템 설계

김대진*, 박성우*

A Design of 8VSB Transmission System for Use in PAL Standard

Dae Jin Kim* and Sung Woo Park*

요 약

디지털 지상파 TV 방송 규격으로 미국의 8VSB 방식과 유럽의 OFDM 방식이 국제 표준화되고 있다. 아날로그 NTSC 방식을 근간으로 해서 표준화된 미국의 8VSB 방식을 PAL 방식을 쓰고 있는 지역에 적용시킬 때 생기는 중요한 문제점은 대역폭과 비디오, 컬러, 오디오 캐리어의 위치가 달라서 동일 채널 PAL 간섭이 발생한다는 것이다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 7가지 PAL 방식을 대역폭에 따라 세 부류로 나누고 각 부류에 알맞게 동일 채널 PAL 간섭 제거 필터인 콤 필터를 설계함으로써 동일 채널 PAL 간섭을 제거할 수 있는 새로운 시스템인 PAL-8VSB를 제안하였다. 동일 채널 PAL 간섭이 있는 채널 환경에서 제안된 방식의 전산모의실험을 통하여 콤 필터를 사용했을 경우 TOV(Threshold Of Visibility)를 만족시키기 위한 D/U 비(Desired/Undesired ratio)가 약 9dB 만큼 개선이 됨을 확인하였다.

Abstract

8VSB transmission system of American standard and OFDM system of European standard are to be international standards for the transmission of digital terrestrial television. When countries using PAL standard adopt the American 8VSB system which is designed under the circumstance of NTSC system, one of strong interference is the co-channel PAL interference coming from analog PAL signal. In this paper, in order to solve this problem, we classified seven types of PAL system into three groups according to the bandwidth and a new PAL-8VSB system is proposed to reject the co-channel PAL interference by using modified comb filters suitable for each group. By computer simulations of the proposed PAL-8VSB system with the co-channel PAL interference it is confirmed that the proposed comb filter results in the improvement of D/U ratio by about 9 dB.

I. 서 론

디지털 지상 방송의 규격 중 비디오 압축 방식은 MPEG(Motion Picture Expert Group)에서 제정한 MPEG 2 Video^[1]로 통일이 될 것이다. 현재 미국, 유럽을 포함하여 디지털 방송을 시행 또는 계획 중인 나라는 모두 이

규격을 따를 예정이다^[2].

반면 디지털 지상 방송 전송 방식은 전세계적으로 2 가지 방식이 주도하고 있는데, 하나는 미국의 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 규격인 8VSB (Vestigial Sideband Modulation) 방식이고^[3,4] 다른 하나는 유럽 DVB-T(Digital Video Broadcasting-Terrestrial)의 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식이다^[5]. 8VSB 방식은 미국에서 먼저 시제품이 만들어져 95년 필드 테스트를 거쳐 미국 규격으로 채택되었고 OFDM 방식은 DAB(Digital Audio Broadcasting)의 성공

* 전남대학교 공과대학 전자공학과
Dept. of Electronics Engineering, Chonnam National University

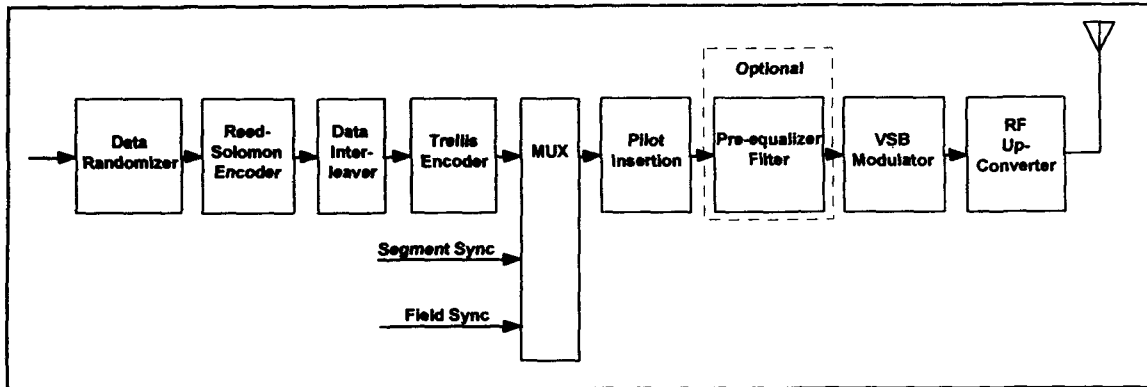


그림 1. 8VSB 송신기의 블럭 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of 8VSB transmitter

에 힘입어 그 뒤에 지상 방송 규격으로 DVB에서 채택되었다. OFDM 방식이 단일 주파수망이 되고 이동체 수신이 가능할 수 있다는 장점 때문에 방송사들이 선호하는 방식이 되어 미국에서도 일부 방송사의 후원으로 Communication Research Center에서 6MHz대역에 맞는 시스템을 설계하여 미국 규격 경쟁에 뒤늦게 뛰어들었으나 원래 주장했던 것만큼의 성능이 나온다는 것을 증명하지 못하고 ATV (Advanced TV: 미국의 디지털 지상파 TV로 HDTV까지 포함하고 있음) 일정을 무한정 늦출 수 없어 8VSB 방식으로 미국 규격이 확정되었다²⁾.

두 가지 방식을 비교하면 8VSB 방식은 단일 캐리어 방식이고 OFDM은 다중 캐리어 방식이다. 그래서 8VSB 방식은 전송 효율이 높고 SNR 또는 전송 전력 측면에서 유리하고 OFDM 방식은 하나의 심볼 길이가 길어 이동 안테나에서의 수신과 단일 주파수망의 구현 측면에서 유리하다. 그러나 OFDM 방식이 DAB에서는 자동차에서의 수신 가능성 때문에 확실한 표준으로 자리잡고 있지만 지상파 TV에서는 그 장점을 확실하게 설득하지 못해 미국과 유럽 이외의 나라들은 8VSB와 OFDM 두 가지 방식 중 하나를 채택하든지 아니면 약간 변형된 독자 규격을 마련할 것으로 보여진다²⁾. 그렇다고 볼 때 NTSC 표준지역에서도 OFDM을 표준으로 채택할 수 있고 PAL이나 SECAM 지역에서도 8VSB 방식을 표준으로 채택할 수도 있다. 이 논문은 PAL 표준을 쓰는 나라에서 8VSB를 표준으로 채택하고자 할 때의 8VSB 송수신 방식인 PAL-8VSB를 설계하고자 한다. 이 때 미국에서의 표준과는 몇 가지가 다른 형태의 규격이 되어야 하는데 그 이유는 주파수 채널의 대역폭이 미국의 경우 6 MHz 이지만 PAL지역은 7 MHz, 8 MHz 이기 때문에 대역폭이 다르고, 미국의 경우 NTSC 표준을 기준으로 동일 채널 간섭을 줄이는 방식을 제안했지만 PAL지역의 경우에는 PAL을 기준으로 동일 채널의 간섭을 줄이는 기술을 고려해야 하기 때문이다.

본 논문에서는 2 장에서 미국 디지털 TV의 전송방식인

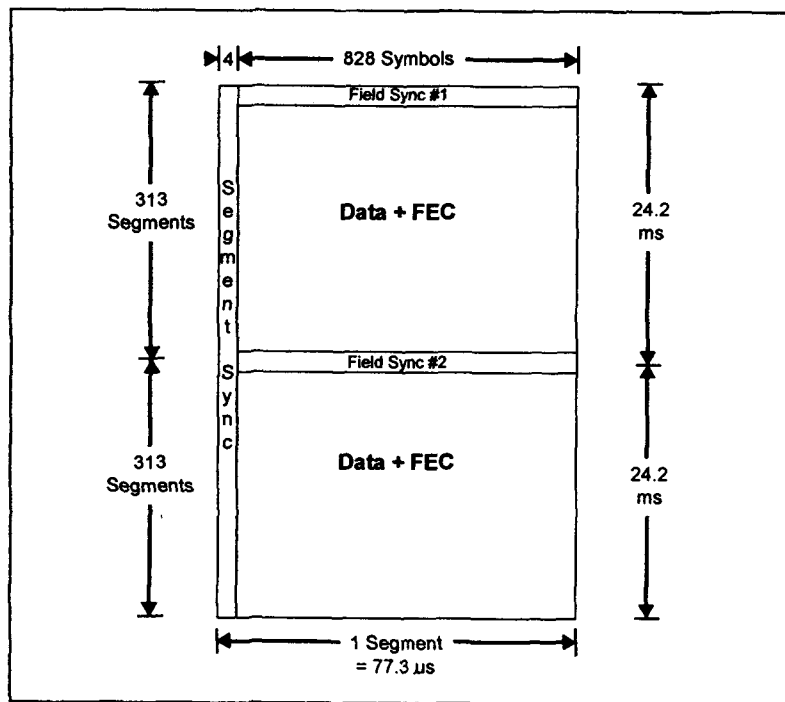
8VSB 시스템 사양을 데이터 프레임과 송수신기 블럭도 위주로 설명하고 3장에서 PAL 표준 국가에 알맞은 PAL-8VSB 송수신 시스템을 설계하고 4장에서 전산모의 실험한 결과를 분석하여 5장에서 결론을 맺으려고 한다.

II. 8VSB 전송 시스템^{3[4][6]}

지상 방송용 8VSB 방식은 NTSC를 기존 아날로그 방송으로 사용한다는 가정하에 만들었으며 6 MHz 채널에 19.39 Mbps의 데이터를 전송할 수 있다. 그림 1은 8VSB 디지털 지상 방송용 송신기의 블럭 다이어그램인데, 송신기의 입력 데이터는 MPEG트랜스포트 시스템에서 출력된 한 패킷이 188 바이트로 구성된 MPEG2-TS (Transport Stream)의 구조이다.

입력 데이터는 맨 처음 데이터 랜덤화기(Data Randomizer)에서 랜덤한 신호로 바뀐 다음 각 패킷에 20 바이트 RS (Reed Solomon) 패리티가 더해진 RS 부호화, 1/6 데이터 필드 인터리빙과 2/3 비율의 트렐리스 부호화의 형태로 에러 정정 부호화 (FEC; Forward Error Correction)가 수행된다. 랜덤화와 에러 정정 부호화 처리는 전송시 데이터 세그먼트 동기신호에 해당하는 트랜스포트 패킷의 동기 바이트(Sync Byte)에는 행하지 않는다. 랜덤화와 FEC 처리 다음에 데이터 패킷은 전송용 데이터 프레임으로 변형되고 데이터 세그먼트 동기 신호와 데이터 필드 동기 신호가 더해지게 된다.

그림 2는 전송 프레임의 구성도이다. 각 데이터 프레임은 2 개의 데이터 필드로 이루어져 있고 각 필드 당 313 데이터 세그먼트로 이루어져 있다. 데이터 필드의 첫 번째 데이터 세그먼트는 동기용 신호인 데이터 필드 동기 신호이고 이 신호는 수신기에서 동기화에 의해 사용되는 혼련용 데이터 시퀀스를 포함하고 있다. 나머지 312 데이터 세그먼트들은 각각 188 바이트 트랜스포트 패킷에 FEC용 데이터가 추가로 20 바이트씩 실려 있다. 실



187 data bytes + 20 RS parity bytes = 207 bytes
 207 bytes × 8 bits/byte = 1656 bits
 2/3 rate trellis coding requires 3/2 × 1656 bits = 2484 bits.

그림 2. 8VSB 데이터 프레임
 Fig. 2. 8VSB data frame

제로는 각 데이터 세그먼트에 있는 데이터는 데이터 인터리빙 때문에 몇 개의 전송 패킷들로부터 나온다. 데이터 세그먼트는 832 개의 심볼들로 이루어져 있다. 첫번째 4 개 심볼은 2진 형태로 전송되어지고 세그먼트 동기화를 제공한다.

이 데이터 세그먼트 동기 신호는 MPEG2-TS의 188 바이트 중 첫 번째 바이트인 동기 바이트를 나타낸다. 나머지 828 심볼들은 트랜스포트 패킷의 187바이트와 FEC의 데이터이다. 이들 828 심볼들은 8 레벨 신호로 전송되어짐으로서 각 심볼당 3 비트를 살려 보낸다. 따라서 2484 비트 (828×3)의 데이터가 각 데이터 세그먼트마다 실려 보내진다.

정확한 심볼 속도 방정식은

$$S_r \text{ (MHz)} = 4.5/286 \times 684 = 10.76... \text{ MHz.} \quad (1)$$

데이터 세그먼트 속도 방정식은

$$f_{seg} = S_r/832 = 12.94... \times 10^3 \text{ Data Segments/s.} \quad (2)$$

데이터 프레임 속도 방정식은

$$f_{frame} = f_{seg}/626 = 20.66 ... \text{ frames/s.} \quad (3)$$

2진 데이터 세그먼트 동기과 데이터 필드 동기 신호 그리고 8 레벨 심볼들은 압축 캐리어를 사용한다. 그리고 전송전에 저측과 대역은 VSB로 변조하기 때문에 제거된다. 결과 스펙트럼은 620 kHz 전이 영역(제공된 상승 코사인 (Square Root Raised Cosine) 형태를 따르는 대역 끝부분)을 제외하고는 통과 대역 주파수에서는 평탄하다. 저역 끝부분으로부터 310 kHz 위치의 압축 캐리어 주파수에서는 작은 파일럿 신호가 원래 신호에 더해지게 된다. 그림 3은 송출된 8VSB 신호의 주파수 특성을 보여주고 있다.

이 파일럿의 주파수는 그림 3에서의 압축 캐리어 주파수와 같다. 이것의 발생 방법은 8 레벨의 크기를 ±1, ±3, ±5, ±7로 했을 때 작은 량의 DC 레벨인 1.25 값을 동기 신호를 포함한 모든 심볼에 더한다. 파일럿의 전력은 평균 데이터 신호전력보다 11.3 dB 만큼 작다. 여기서 데

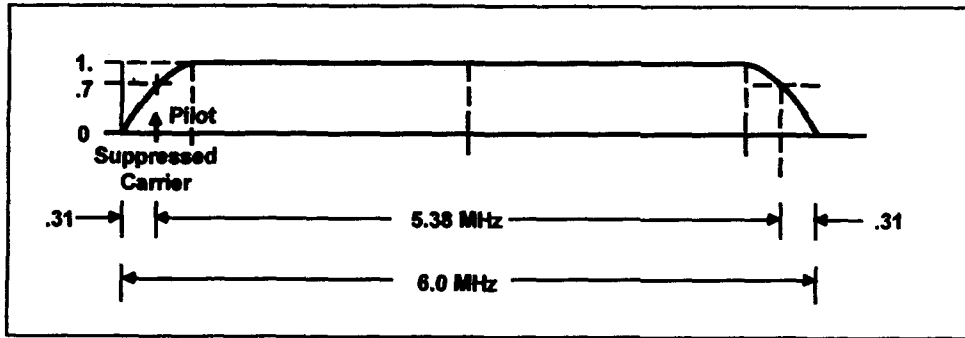


그림 3. 8VSB 의 주파수 특성도
Fig. 3. 8VSB channel occupancy

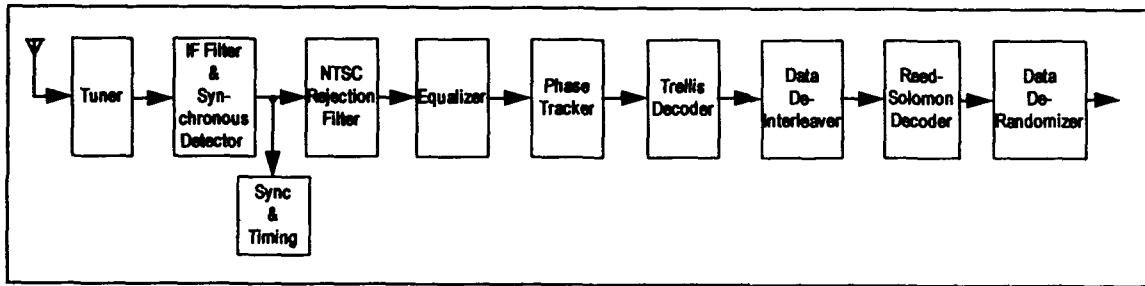


그림 4. 8VSB 수신기의 블럭 다이어그램
Fig. 4. Block diagram of 8VSB receiver

이터 세그먼트 동기 신호와 데이터 필드 동기 신호의 레벨은 -5와 +5이다.

VSB 변조기는 8 레벨로 트렐리스 부호화된 신호를 10.76 Msymbols/sec로 받아들여 변조한다. ATV 시스템 주파수 특성은 송신기와 수신기에 상승 코사인 나이퀴스트 필터(Raised Cosine Nyquist filter) 형태를 따르는데 롤오프팩터(Roll-Off-Factor)는 0.115이고, 필터의 응답은 본질적으로 대역 각 끝의 전이 영역을 제외하고는 전대역에 따라 평탄하다. 전송기에서의 주파수 특성은 제곱근 상승 코사인 필터의 형태를 취하는데 그 형태는 그림 3과 같다.

그림 4는 VSB 지상파 방송 전송 시스템의 수신기 블럭 다이어그램을 보여준다. 튜너에서 채널을 선택하고 IF 필터에서 중간 대역 필터를 한 다음 동기 주파수 검출기(Synchronous Detector)로 주파수를 찾아낸다.

동기 신호와 클럭 신호는 동기 검출기와 타이밍 검출기에서 찾아내고 NTSC 간섭 제거 필터를 거친 다음 등화기(Equalizer)에서 다중 경로에 의한 간섭을 제거한다. 그리고 위상 보정기(Phase Tracker)에서는 남아 있는 위상 에러를 보상하고 이하의 채널 디코더는 송신기의 역으로 되어 있다. 이와 같이 구성된 수신기의 C/N 경계가 14.9 dB이다. 수신기 중에서 큰 특성 중의 하나는 NTSC 제거 필터가 있다는 것이다. 이는 콤 필터로서 동일 채널의

NTSC 방송으로부터 오는 비디오 캐리어, 컬러 캐리어, 오디오 캐리어를 제거하는 역할을 한다. 동일 채널상에 NTSC 방송으로 부터의 신호가 있으면 이 필터가 작동하고 NTSC 방송으로 부터의 신호가 없으면 이 필터를 통과하게 되어 있다.

III. PAL 지역에 적합한 8VSB 송수신 시스템 설계

미국 표준의 8VSB는 현행 아날로그 TV 방송으로 6MHz 대역폭의 NTSC 방송을 기준으로 하여 아날로그와 디지털 동시 방송의 이행기간에도 서로간의 간섭을 최소화할 수 있는 방식으로 제정되었다. 아날로그 TV 방송으로 PAL 규격을 쓰고 있는 나라에 VSB 방식을 적용하기 위해서는 두 가지 요소를 고려해야 한다. 하나는 사용 대역폭이 다르다는 것이고 다른 하나는 아날로그 방송과 디지털 방송을 동시에 했을 때의 아날로그 방송과 디지털 방송간의 동일 채널 간섭을 최소화할 수 있는 방식으로 설계해야 한다는 것이다.

PAL 규격의 경우 표 1과 같이 여러 가지 표준이 있는데 나라마다 조금씩 다른 표준을 사용하고 있다^[7]. PAL 방식을 채널 간격과 컬러 부 캐리어, 오디오 캐리어의 위치에 따라 크게 세 부류로 나눌 수 있다. 첫번째는 PAL

표 1. PAL 표준 규격에서의 캐리어의 위치
Table 1. The description of carrier positions in the various type of PAL standard

시스템	PAL					NTSC
	PAL B, G, H	PAL I	PAL D	PAL N	PAL M	
라인수 / 필드 주파수	625/50	625/50	625/50	625/50	525/60	525/60
수평 주파수	15.625 kHz	15.625 kHz	15.625 kHz	15.625 kHz	15.750 kHz	15.734 kHz
수직 주파수	50Hz	50Hz	50Hz	50Hz	60Hz	59.94Hz
컬러 부 캐리어 주파수	4.433618 MHz	4.433618 MHz	4.433618 MHz	3.582056 MHz	3.575611 MHz	3.579545 MHz
비디오 대역폭	5.0 MHz	5.5 MHz	6.0 MHz	4.2 MHz	4.2 MHz	4.2 MHz
오디오 캐리어	5.5 MHz	6.0 MHz	6.5 MHz	4.5 MHz	4.5 MHz	4.5 MHz
채널 간격	7 MHz	8 MHz	8 MHz	6 MHz	6 MHz	6 MHz
주요 사용 국가	이탈리아, 덴마크, 독일, 인도, 네덜란드	영국, 홍콩, 남아프리카 공화국, 아일랜드	중국	파라과아이	브라질	미국, 캐나다, 한국

N과 PAL M으로 채널 간격이 NTSC와 같은 6MHz 대역인 시스템이고, 두번째는 7MHz 대역의 PAL B, G, H 방식이고, 세번째는 8MHz 대역을 사용하는 PAL I와 PAL D 방식이다. 이 중 첫번째의 PAL N, M 방식은 오디오 캐리어의 위치가 NTSC의 그것과 똑 같고 컬러 캐리어의 경우는 NTSC의 컬러 캐리어 위치에 비해 PAL N이 2.511 kHz만큼 크고 PAL M 이 3.934 kHz 만큼 작은데 이는 8VSB 콤 필터의 한 주기인 $57f_{H1} = 896.838 \text{ kHz}$ 에 비해 아주 작아 미국 8VSB의 콤 필터를 그대로 사용해도 컬러 캐리어가 제거된다. 또한 채널 간격도 미국 규격과 같은 6MHz이므로 디지털 방송으로 8VSB 방식을 사용하고자 할 경우 원래의 미국 방식 8VSB 방식을 그대로 사용하면 된다.

1. PAL B, G, H 표준 국가에서의 PAL-8VSB 전송 시스템

PAL B, G, H의 경우 비디오 캐리어는 맨 좌측 밴드의 끝으로부터 1.25MHz 떨어져서 위치하고 컬러 캐리어는 비디오 캐리어에서 4.433618 MHz 만큼 높은 곳에 위치하고, 오디오 캐리어는 비디오 캐리어에서 5.5 MHz 위에 위치하며 채널 간격은 7 MHz 이다. 이 경우 비디오, 컬러, 오디오 캐리어를 동시에 제거할 수 있는 동일 채널 PAL 간섭 제거 필터를 그림 5와 같이 14개의 심볼 지연을 갖는 메모리를 사용하여 설계하였다. 미국 방식의 8VSB의 동일 채널 NTSC 간섭 제거 필터는 그림 5와 같은 구조이나 12개의 심볼 지연을 가지는 메모리를 사용하고 있고 [4] 여기에서는 14개의 심볼 지연을 갖는 메모리를 사용한

다. 7 MHz 의 채널 안에서 동일 채널상에 PAL 방송이 있을 경우 이 PAL 신호의 캐리어의 위치와 VSB 수신기에서의 콤 필터가 주기적으로 제로가 되는 위치를 일치하도록 함으로서 동일 채널 PAL 간섭 신호가 제거된다. 이 원리를 스펙트럼상에서 각 캐리어의 위치와 콤 필터의 영점 위치를 표시한 그림이 그림 6인데 아날로그 TV로 6 MHz 대역폭의 NTSC 방식을 사용하는 상황에서 설계된 미국의 8VSB 방식^[4]과 다른 점은 사용되는 3 dB 대역폭이 6.23 MHz 이고 이 대역폭 안에 7개의 날을 가진 콤 형태의 필터라는 점이다.

이때 전송 데이터 프레임의 구조는 그림 2와 똑같은 구조를 사용하지만 정확한 심볼 속도 방정식은

$$S_r(\text{MHz}) = 5.5/352 \times 2 \times 399 = 12.46875 \text{ MHz}. \quad (4)$$

데이터 세그먼트 속도 방정식은

$$f_{\text{seg}} = S_r/832 = 14.986... \times 10 \text{ Data segments/s}. \quad (5)$$

데이터 프레임 속도 방정식은

$$f_{\text{frame}} = f_{\text{seg}}/626 = 23.94 \text{ frames/s}. \quad (6)$$

VSB 필터링을 하는 상승 코사인 필터의 롤오프팩터는 0.115이고 순수한 데이터 전송속도는

$$12.46875 \times 2 \times 188/208 \times 308/309 [\text{Mbps}] = 22.46672 [\text{Mbps}]. \quad (7)$$

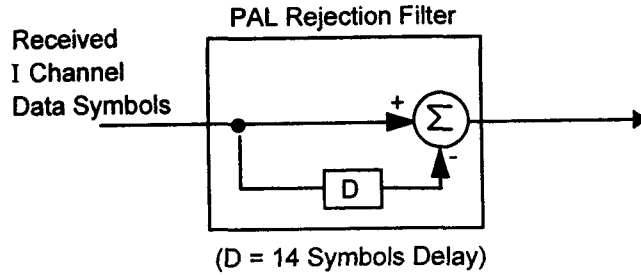


그림 5. 동일 채널 PAL 간섭 제거를 위한 콤 필터
Fig. 5. Comb filter for the rejection of co-channel PAL interference

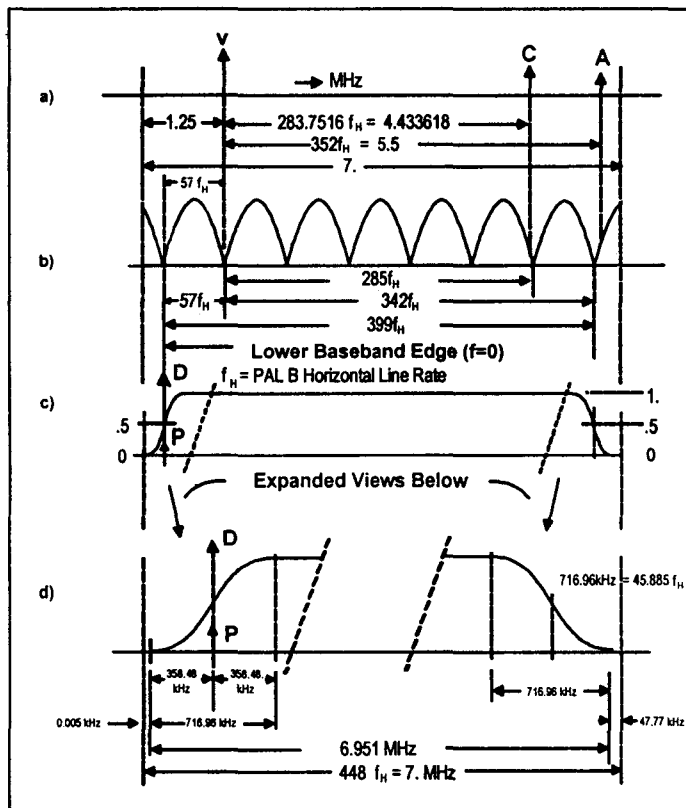


그림 6. PAL B, G, H 방식의 캐리어 위치와 콤 필터의 구성 a) PAL B,G,H 방식의 비디오, 컬러, 오디오 캐리어 위치, b) D=14 심볼 지연을 갖는 PAL 간섭제거용 콤 필터의 주파수 특성, c) 7 MHz 대역의 8VSB 주파수 특성, d) 7 MHz 대역중 $\alpha=0.115$ 의 상승 코사인 필터 형태인 전이

Fig. 6. Carrier position of PAL B, G, and H system and comb filtering. a) Video, color, and audio carrier positions of PAL B, G, and H system, b) Frequency characteristics of comb filter with D=14 symbol delay, c) Frequency characteristics of 8VSB system with 7MHz bandwidth, d) Detail view of transition edges of a raised cosine filter with $\alpha=0.115$

여기서 필드당 순수 데이터 세그먼트를 308로 하는 이유는 그림 5의 콤 필터가 14개의 심볼 지연을 사용하기 때문에 14의 배수가 되도록 하기 위함이다. 그래서 그림 2의 데이터 프레임 포맷을 필드당 세그먼트 수만 309로 바

꾸고 심볼 속도가 12.47 MHz로 바뀐 점 이외에는 그대로 사용한다.

PAL 간섭 제거 필터인 콤 필터는 그림 5에서 보는 바와 같이 탭 수가 하나인 선형 순차 연결 필터이다. 그림

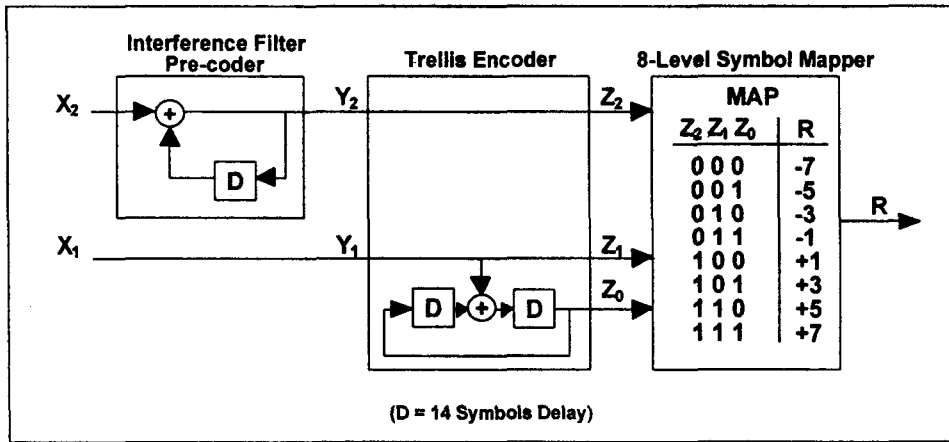


그림 7. 8VSB 트렐리스 인코더, 프리코더, 심볼 교환기¹⁴⁾
 Fig. 7. 8VSB Trellis encoder, precoder and symbol mapper

6.b를 보면 콤 필터의 주파수 특성이 $57 * f_H$ (890.625 kHz)를 주기로 제로가 됨을 알 수 있다. 그래서 7 MHz의 밴드 안에서 8 개의 제로 점이 생긴다. 비디오 캐리어는 정확히 좌로부터 2번째 영점에 위치하고 컬러 캐리어는 7 번째 영점에서 $1.7516 f_H$ 만큼 떨어져 있는데 이는 23 dB의 감쇄가 일어나는 위치이다. 오디오 캐리어의 경우는 8 번째 영점에서 $10 f_H$ 만큼 떨어져 있어 약 5.6 dB의 신호 감쇄 밖에 일어나지 않지만 오디오 캐리어가 비디오 캐리어에 비해 7 dB 신호가 작고 또한 그림 6.c에서 보듯이 제곱근 상승 코사인 필터에 의해 약 16.94 dB 감쇄되는 영역에 존재하므로 전체적으로 보면 감쇄가 충분히 된다는 것을 알 수 있다.

그림 5와 같은 콤 필터를 사용할 경우 신호대 잡음비를 3 dB 감소시키는 역할을 하기 때문에 PAL 간섭 여부 검출 회로를 사용하여 PAL 간섭이 많을 경우에는 제거 필터를 동작시키고 없을 경우에는 콤 필터를 통과시키도록 하는 것이 필요하다. 그 판단 회로는 콤 필터 전후에서 데이터 펄드 동기 신호 구간 동안의 신호 대 간섭 비를 측정하여 이 두 가지 값을 비교한다¹⁴⁾. 즉 하나는 콤 필터를 하지 않을 경우의 신호 대 잡음 비를 측정하고 다른 하나는 콤 필터를 했을 경우의 신호 대 잡음 비율을 측정하여 어느쪽의 잡음 에너지가 작은지 비교하여 작은 쪽을 선택한다.

미국 규격의 8VSB에서는 콤 필터를 12심볼 지연기를 사용하여 구성하지만 7MHz 대역의 PAL-8VSB 방식의 경우 14 심볼 지연기를 사용한다. 이 때문에 PAL-8VSB 트렐리스 인코더 및 트렐리스 코드 인터리버는 미국 규격의 트렐리스 인코더 및 트렐리스 코드 인터리버¹³⁾¹⁴⁾를 다음과 같이 수정하여 사용한다. 8VSB 전송부 시스템은 1 개의 부호화하지 않은 비트를 포함하여 2/3 비율의 트렐리스 코드를 구현한다. 한 개의 입력 비트는 다른 입력 비트가 프리코더를 거치는 동안 1/2 비율의 콘볼루션 코드를 사용하여 2 개의 출력 비트로 된다. 그래서 그림 7에서 보는 바와 같이 3 비트는 1차원 상에서 성상도가 8 레벨로 나타난다. 그림 7은 미국 ATSC 규격 구조¹³⁾와 똑같으나 지연기를 12개 심볼 지연기 대신 14개 심볼 지연기를 사용한다. 그림 8에서 보는 바와 같이 트렐리스 코드에서 세그먼트 내부의 인터리빙이 사용되는데 인터리빙된 데이터 심볼을 만들기 위해 ATSC 규격에서는 12개를 사용했지만¹³⁾¹⁴⁾ PAL-8VSB에서는 14 개의 동일한 트렐리스 부호화기와 프리코더를 사용한다. 코드 인터리빙은 14 개 경로로 나누어지는데 각 경로를 하나의 그룹이라 하면 첫번째 그룹은 부호화 신호 (0, 14, 28,...)이고 두 번째 그룹은 (1, 15, 29, 43,...), 세 번째 그룹은 (2, 16, 30, 44,...) 등등 전체 14 그룹이 된다. 병렬 바이트들로부터 직렬 바이트들을 생성할 경우 MSB가 첫번째로 보내지게 된다 (7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0). 두개의 비트씩 나누어 신호처리 하는데 MSB는 프리코더화 되고 (7, 5, 3, 1), LSB는 콘볼루션 부호화된다 (6, 4, 2, 0). 부호화하는 데에는 표준 4상 최적 응거백 코드 (4-State Optimal Ungerboeck Code)를 사용한다. 트렐리스 코드는 그림 7에서 보여지는 4 상 콘볼루션 부호화를 이용한다. 트렐리스 코드와 프리코더한 것을 세그먼트 내부에서 인터리빙하는 것은 그림 8에 나타나 있고 그 출력을 8 레벨로 변환하는 것은 그림 7에 나타나 있다.

그림 8의 트렐리스 코드 인터리버는 바이트 단위로 각 트렐리스 인코더에 배분하고 트렐리스 부호화된 심볼들을 출력 다중화기에서 인터리빙한다. ATSC 규격에서는 심볼 지연이 12개이기 때문에 한 세그먼트 내의 828 심볼을 12 개씩 69 블록으로 나눌 수가 있다. 그리고 출력의 다중화기에서는 매 세그먼트마다 4개의 심볼 만큼씩 시작점을 건너 뛰면서 다중화한다¹³⁾. PAL-8VSB에서는 심볼 지연이 14개이기 때문에 828 심볼이 14개씩 맞아 떨어지게 나누어지지 않고 2개의 심볼이 남지만 펄드당 14의 배수가 되

를 사용하여 2 개의 출력 비트로 된다. 그래서 그림 7에서 보는 바와 같이 3 비트는 1차원 상에서 성상도가 8 레벨로 나타난다. 그림 7은 미국 ATSC 규격 구조¹³⁾와 똑같으나 지연기를 12개 심볼 지연기 대신 14개 심볼 지연기를 사용한다. 그림 8에서 보는 바와 같이 트렐리스 코드에서 세그먼트 내부의 인터리빙이 사용되는데 인터리빙된 데이터 심볼을 만들기 위해 ATSC 규격에서는 12개를 사용했지만¹³⁾¹⁴⁾ PAL-8VSB에서는 14 개의 동일한 트렐리스 부호화기와 프리코더를 사용한다. 코드 인터리빙은 14 개 경로로 나누어지는데 각 경로를 하나의 그룹이라 하면 첫번째 그룹은 부호화 신호 (0, 14, 28,...)이고 두 번째 그룹은 (1, 15, 29, 43,...), 세 번째 그룹은 (2, 16, 30, 44,...) 등등 전체 14 그룹이 된다. 병렬 바이트들로부터 직렬 바이트들을 생성할 경우 MSB가 첫번째로 보내지게 된다 (7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0). 두개의 비트씩 나누어 신호처리 하는데 MSB는 프리코더화 되고 (7, 5, 3, 1), LSB는 콘볼루션 부호화된다 (6, 4, 2, 0). 부호화하는 데에는 표준 4상 최적 응거백 코드 (4-State Optimal Ungerboeck Code)를 사용한다. 트렐리스 코드는 그림 7에서 보여지는 4 상 콘볼루션 부호화를 이용한다. 트렐리스 코드와 프리코더한 것을 세그먼트 내부에서 인터리빙하는 것은 그림 8에 나타나 있고 그 출력을 8 레벨로 변환하는 것은 그림 7에 나타나 있다.

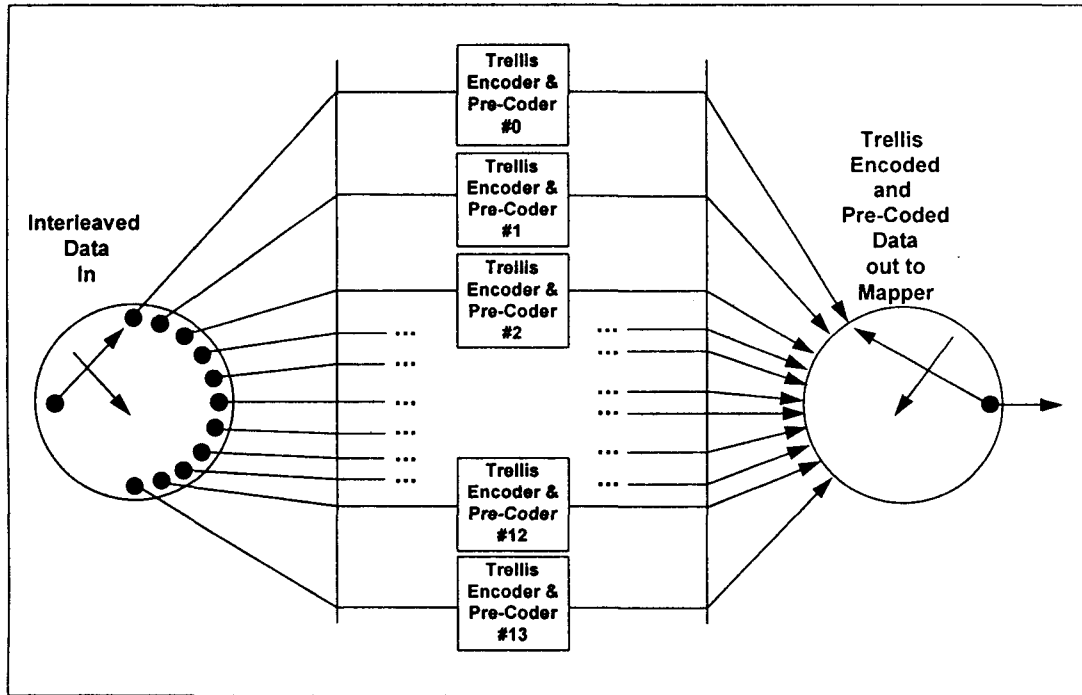


그림 8. 수정된 트렐리스 코드 인터리버
Fig. 8. Modified Trellis code interleaver

는 308 세그먼트를 순수 데이터 세그먼트로 사용하면 필드 단위로 정렬이 된다. 즉, 출력 다중화기는 세그먼트 번호와 관계없이 순차적으로 인코더 0부터 13까지를 필드가 끝날 때까지 반복한다.

2. PAL I, D 표준 국가에서의 PAL-8VSB 전송 시스템

PAL I 방식의 경우는 오디오 캐리어의 위치가 비디오 캐리어에서 6.0 MHz 만큼 떨어져 있다. 이때 PAL 간섭 제거 필터는 그림 5의 콤 필터에서 메모리를 사용한 지연기를 18개의 심볼 기간 동안의 지연이 되도록 설계한다. 그래서 비디오, 컬러, 오디오 캐리어를 콤 필터를 사용해 제거하는 것을 스펙트럼 상에서 보여주는 그림이 그림 9이다. 이 경우 심볼 속도는 $2 \times 423f_H$ symbols/sec = 13.21875 Msymbols/sec 이고 롤오프팩터는 $\alpha=0.156$ 그리고 순수한 데이터 전송속도는 $13.21875 \times 2 \times 188/208 \times 312/313$ [Mbps] = 23.819 Mbps 이다. 콤 필터의 영점과 영점 사이를 $47f_H = 734.375$ kHz 로 설계하여 비디오 캐리어는 정확히 영점에 일치시키고 컬러 캐리어는 18.6 dB 만큼, 오디오 캐리어는 5.9 dB 만큼 감쇄가 된다. 오디오 캐리어의 경우 비디오 캐리어보다 7 dB 신호 크기가 작고 또한 그림 9.c의 제공된 상승 코사인 필터에 의해 약 11.58 dB 감쇄가 되므로 동일 채널의 영향을 무시할 수

있다.

PAL D 방식의 경우는 PAL I와 비교시 오디오 캐리어의 위치가 비디오 캐리어에서 6.5 MHz 만큼 떨어져 있다는 점만 다르다. 이 경우 PAL I의 경우와 같은 동일 채널 PAL 간섭 제거 필터를 사용하면 오디오 캐리어의 위치가 그림 10.c의 상승 코사인 필터의 끝부분에 위치하고 있어 완전히 무시할 만하다. PAL I와 PAL D 방식의 경우 그림 5의 지연기 D를 18 심볼길이로 사용해야 되고 그림 9의 트렐리스 코드 인터리버의 MUX DEMUX 부분을 18개로 두어 설계해야 된다. 이 경우 출력 다중화 기능은 매 세그먼트마다 6개 심볼 만큼씩 시작점이 건너 뛰면서 수행한다. 즉 다중화기로부터 나오는 데이터가 프레임의 첫 번째 세그먼트는 인코더 0부터 17까지 정상 순서로 진행되지만 두번째 세그먼트 순서는 먼저 7-17 인코더들이 출력된 다음 0-6의 출력이 나오고 세번째 세그먼트는 인코더 13-17이 먼저 출력된 다음 0-12가 출력된다.

IV. 전산모의실험 결과

이 장에서는 7MHz 대역폭인 PAL B,G,H 표준을 쓰는 국가에 알맞은 PAL-8VSB 전송 시스템을 Cadence 사의 SPW(Signal Processing Worksystem) 툴을 이용하여 시

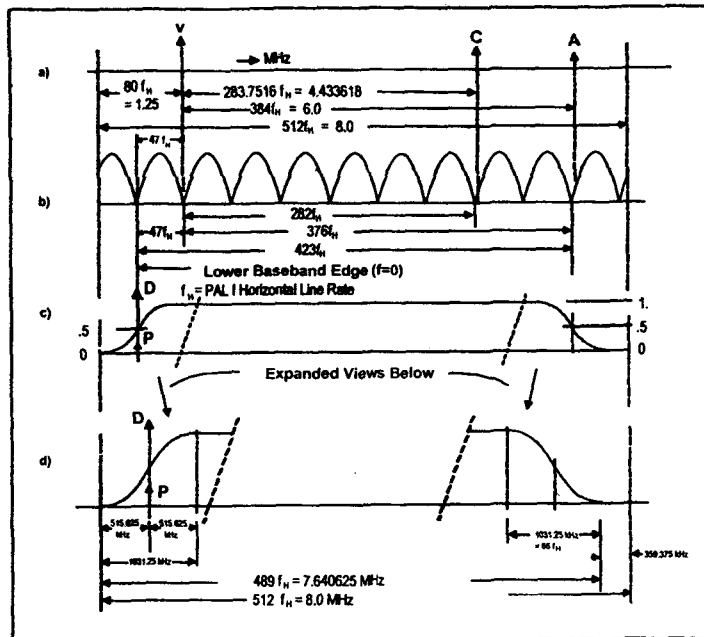


그림 9. PAL I 방식의 캐리어의 위치와 콤 필터 a) PAL I 방식의 비디오, 컬러, 오디오 캐리어 위치, b) D=18 심볼 지연을 갖는 PAL 간섭 제거용 콤 필터의 주파수 특성, c) 8 MHz 대역의 8VSB 주파수 특성, d) 8 MHz 대역중 $\alpha=0.156$ 의 상승 코사인 필터 형태인 전이 영역의 자세한 모양.

Fig. 9. Carrier position of PAL I system and comb filtering a) Video, color, and audio carrier positions of PAL I system, b) Frequency characteristics of comb filter with D=18 symbol delay, c) Frequency characteristics of 8VSB system with 8 MHz bandwidth d) Detail view of transition edges of a raised cosine filter with $\alpha=0.156$

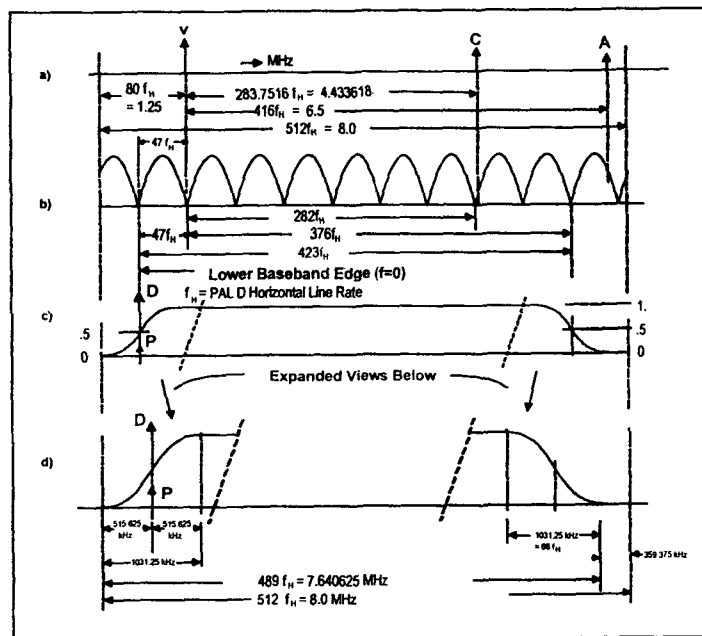


그림 10. PAL D 방식의 캐리어의 위치와 콤 필터 a) PAL D 방식의 비디오, 컬러, 오디오 캐리어 위치, b) D=18 심볼 지연을 갖는 PAL 간섭 제거용 콤 필터의 주파수 특성, c) 8 MHz 대역의 8VSB 주파수 특성, d) 8 MHz 대역 $\alpha=0.156$ 의 상승 코사인 필터 형태인 전이 영역의 자세한 모양.

Fig. 10. Carrier position of PAL D system and comb filtering. a) Video, color, and audio carrier positions of PAL D system, b) Frequency characteristics of the comb filter with D=18 symbol delay, c) Frequency characteristics of 8VSB system with 8 MHz bandwidth, d) Detail view of transition edge of a raised cosine filter with $\alpha=0.156$

시스템을 구성하고 전산모의실험을 하였다.

전산모의실험의 블럭 구성은 그림 1과 그림 4의 구성도에서 RF 대역을 제외한 기저대역상에서 실험하였으며 수신기에서는 캐리어, 심볼 타이밍 및 동기가 이루어졌다고 가정하였다. 채널에서는 동일 채널 PAL 간섭 신호가 더해지고 8VSB 전송을 위한 데이터로는 PN 시퀀스를 사용하였다. PAL 신호는 비디오 데이터로 MPEG의 압축 복원시 널리 사용되는 풍차 영상을 사용하였다.

에러를 측정하기 위해 원래의 데이터와 복원된 데이터를 비교하여 세그먼트 에러를 검출하는 부분을 만들어 사용하였으며 콤프 필터를 사용한 시스템과 사용하지 않은 시스템을 각각 구성하여 전산모의실험하고 비교 분석하였다.

먼저 가우시안 잡음상에서 TOV(Threshold Of Visibility)^[3]를 만족하는 신호대 잡음비는 14.6 dB이다. ATSC의 14.9 dB 보다 작게 나온 이유는 실수형 전산모의실험이고 구현상의 손실이 없기 때문이다. 그림 11은 VSB 필터를 거친 PAL 신호의 주파수 특성인데 가로축의 0 점이 8VSB에서 DC 레벨인 파일럿의 위치이므로 그림 6의 a)와 비교하여 비디오 캐리어, 컬러 캐리어, 오디오 캐리어가 정확한 위치에 있음을 확인할 수 있다. FFT가 원형적이므로 맨 오른쪽과 맨 왼쪽이 연속되어 오디오 캐

리어가 왼쪽 끝부분에 위치한다. 그림 12는 8VSB 신호에 PAL 신호가 더해진 합성신호의 주파수 특성인데 가로축의 0점 위치에 8VSB의 파일럿이 존재함을 볼 수 있고 PAL 신호의 캐리어 중에 비디오 캐리어가 PAL-8VSB 신호에 영향을 가장 많이 끼치는 것을 알 수 있다. 그림 13은 그림 12의 합성신호가 파일럿이 제거되고 콤프 필터를 거친 후의 주파수 특성이다. 콤프 필터의 주기인 890.625 kHz 마다 전력이 감쇄되는데 이 지점이 PAL 신호의 캐리어들의 위치와 일치하여 PAL 신호가 제거됨을 확인할 수 있다.

위 시스템을 전산모의실험하여 얻은 SER(Segment Error Rate) 커브는 그림 14와 같다. 콤프 필터를 사용하지 않으면 동일 채널 PAL 간섭이 비디오, 컬러, 오디오 캐리어의 특정 주파수에 응집된 잡음 형태이기 때문에 SER 커브의 기울기가 크게 나타나고 콤프 필터를 사용하면 동일 채널 PAL 간섭이 3가지 캐리어 성분이 제거되어 화이트 잡음 형태로 변화되기 때문에 기울기가 완만해진다. 그림 14에서 + 표시는 콤프 필터를 사용하지 않았을 때이고 o 표시는 콤프 필터를 사용했을 때인데 TOV(Threshold Of Visibility)에서의 D/U를 비교해 보면 약 9 dB 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

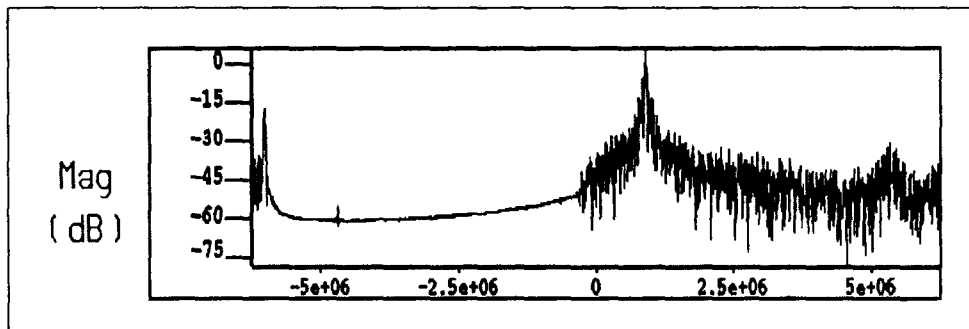


그림 11. VSB 필터를 거친 PAL 신호의 주파수 특성
Fig. 11. Frequency domain view of PAL signal after passing VSB filter

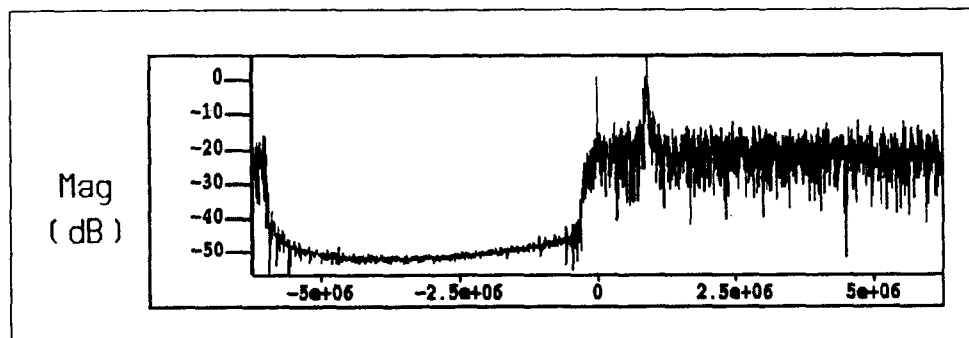


그림 12. 8VSB신호와 PAL 신호가 합성된 신호의 주파수 특성
Fig. 12. Frequency domain view of the composite signal of 8VSB and PAL

V. 토의 및 결론

이상과 같이 본 논문에서는 PAL 지역에 알맞은 8VSB 시스템을 설계하였는데 설계의 핵심은 PAL 방식의 비디오, 컬러, 오디오 캐리어의 위치에 근거하여 아날로그와 디지털 동시 방송시 동일 채널 PAL 간섭을 최소화 할 수 있는 필터의 설계이다. PAL N과 PAL M 경우에는 미국 방식과 똑같은 8VSB 규격을 그대로 사용하여 간섭 제거 필터의 지연을 12개 심볼로 하고 PAL B, G, H의 경우에는 간섭 제거 필터의 지연이 14개 심볼, PAL I와 PAL D는 그 지연이 18개의 심볼이 되도록 설계하여 동일채널 PAL 간섭을 최소화하도록 하였다. 간섭 제거 필터 사용시 3 dB SNR이 감소하는 특성이 있으므로 간섭의 강도

를 판단하는 회로를 구성하여 간섭이 심할 경우에는 간섭 제거 필터를 작동시키고 심하지 않을 경우에는 통과한다. 위와 같이 설계된 동일 채널 PAL 간섭 제거 필터를 사용했을 때 약 9 dB의 D/U 비의 개선이 있음을 전산모의실험에 의하여 확인하였다.

PAL 표준이 여러 가지가 있어 세 가지의 서로 다른 심볼률, 간섭 제거 필터, 그리고 트렐리스 디인터리버가 있는데 수신단에서 이 세 가지 경우를 모두 수용하도록 복조 칩을 어렵지 않게 구성할 수 있다. 세가지 모드를 모두 지원하는 복조 칩 구성 시 고려해야 할 점은 VSB 필터링을 하는 제곱근 상승 코사인 필터를 디지털로 구현하여 마이크로 프로세서 제어에 의해 이 필터의 계수값을 다운로드 할 수 있게 설계하고, 심볼률이 다른 것은 클럭을 만

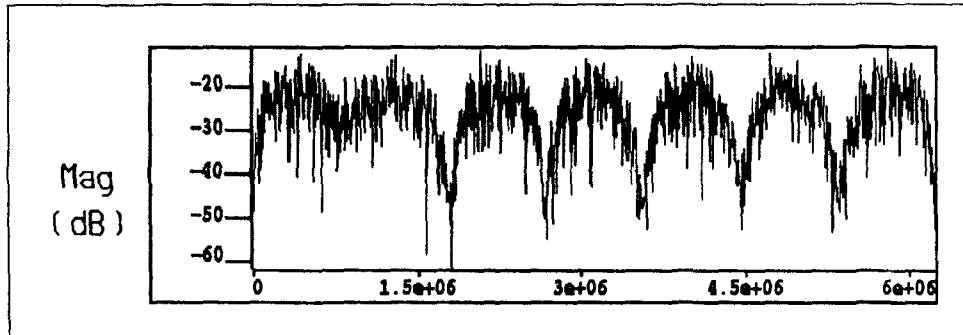


그림 13. 합성 신호가 콤 필터를 통과한 후의 주파수 특성
Fig. 13. Frequency domain view of the composite signal of 8VSB and PAL after comb-filtering

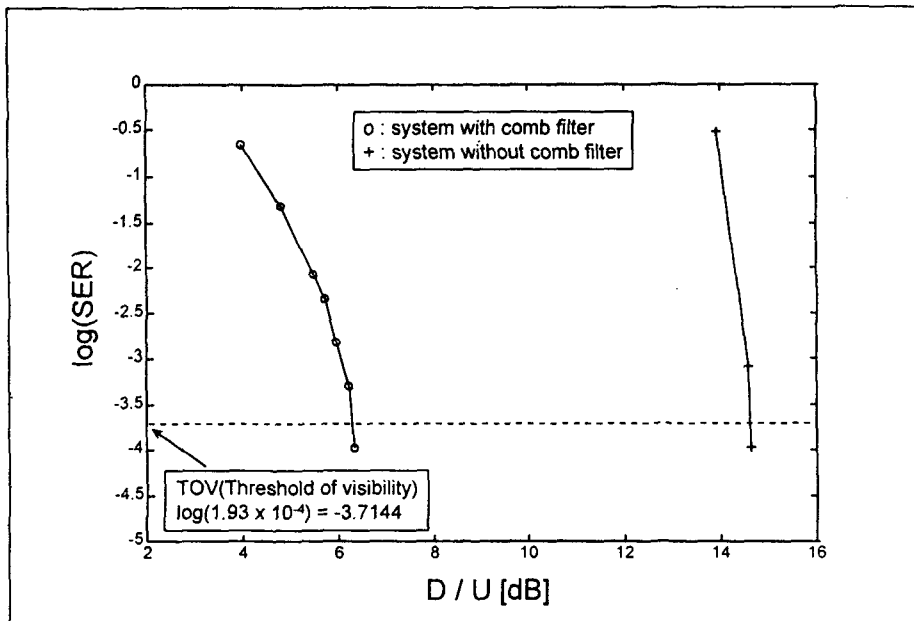


그림 14. PAL-8VSB 시스템의 SER(Segment Error Rate) 커브
Fig. 14. The simulated SER(Segment Error Rate) curve of PAL-8VSB system

들어주는 수정발진기를 바꾸어 사용하고, 콤 필터의 지연 기도 모드 선택에 의하여 그 길이를 12, 14, 18개의 심볼로 변화할 수 있게 하고, 트렐리스 코드 인터리버는 18개 까지 구성하여 12개, 14개, 18개를 모드에 따라 선택하여 쓰게 하면 세 가지 경우를 모두 수용하는 복조 칩을 구성할 수 있다.

위와 같이 설계된 PAL-8VSB 전송 시스템은 중국과 같이 PAL 방식을 사용하는 나라와 공동 규격의 HDTV 전송 규격을 제정하고자 할 때 상호 각국의 아날로그 방송 및 채널 상황을 그대로 존중하면서 공동으로 쓸 수 있는 VSB 방식의 디지털 지상파 TV 전송 규격이 될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] ISO/IEC 13818-2 | Recommendation ITU-T H.262,

1995.
 [2] 한국 HDTV 표준 방식 연구 협력 컨소시엄, "한국 HDTV 표준화에 관한 연구", 1996년 12월.
 [3] ATSC standard A/53, "ATSC digital television standard," 1995.
 [4] ATSC standard A/54, "Guide to the use of the ATSC digital television standard," 1995.
 [5] ETSI, Draft pr ETS 300 744, "Digital broadcasting systems for television, sound and data services: framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television," Apr. 1996.
 [6] 김대진, "8VSB 송수신 시스템", 방송공학회지 제2권 제2호, 1997년 6월.
 [7] 체신부, 방송 업무 (TV), CCIR 권고 및 보고서, 제 XI-1 권, 권고 407-2, 보고서 624-3, 1986.

저 자 소 개



김 대 진

1984년 2월 서울대학교 전자공학과 학사
 1986년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1991년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
 1993년 6월 미국 제니스사 LG전자에서 파견 선임연구원
 1996년 12월 LG전자 멀티미디어(연) 책임연구원
 현 재 전남대학교 전자공학과 조교수
 주관심분야: 멀티미디어 통신, 디지털 통신, 디지털 방송 송수신



박 성 우

1997년 2월 전남대학교 전자공학과 학사
 현 재 전남대학교 전자공학과 석사과정
 주관심분야: 멀티미디어 통신, 디지털 통신, 디지털 방송 송수신