

# 光纖維를 利用한 컬러TV信號 3채널의 周波數 分割 多重 傳送試驗

柳康熙·徐完錫·姜玟鎬 / 光通信研究室·傳送研究部

## [Abstract]

Frequency division multiplexed 3ch. color TV signals have been transmitted via optical fiber by employing  $1.3\mu\text{m}$  InGaAsP DH-laser diode, graded index optical fiber and Ge-APD as optical components. Overall system margin of 20 dB was realized at weighted SNR of more than 49 dB. With this system margin, measured DG and DP were less than 10% and 5%, respectively. Throughout this experiment, it was confirmed that multichannel TV signals could be economically transmitted over optical fiber in short haul networks. This paper describes system outlines and hardware implementation results.

## I. 序 論

광섬유를 통한 컬러TV 신호의 전송 방식으로는 크게 디지털 전송과 애널로그 전송으로 구분할 수 있으며, 디지털 전송방식은 3R(Reshaping, Regenerating, Retiming) 중계기를 사용

하여 중계할 수 있으므로 중계기를 여러개 사용하여도 전송 품질이 기하급수적으로 나빠지지 않기 때문에 장거리 전송에 유리하다. 그러나 TV 신호를 PCM으로 變復調하기 위해서는 고속 A/D, D/A, P/S, S/P 변환기 및 frame, timing 회로가 필요하게 되어 가격이 비싸지고 여러 채널을 다중화할 경우 帶域幅이 너무 커지는 단점이 있다. 따라서 여러 채널의 CATV 품질의 TV 신호 전송이 요구되는 加入者網, CATV, TV會議 응용의 무중계 전송시에는 광섬유를 이용한 FM-FDM 전송방식이 최근 많이 응용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 3채널 TV 신호의 주파수 분할 다중 전송 시스템을 구성하여 CATV 품질의 컬러TV 신호를 전송시키고 그 특성을 분석하였다.

## II. 光FM 傳送方式의 SNR

### 1. 광 FM 전송방식과 광 AM 전송방식의 비교

광FM 전송방식의 SNR은 AM 방식의 SNR보다 통상적인 FM 개선도만큼 개선된다. 일반적으로 송신파형을 正弦波라고 가정한다면 FM

방식과 AM 방식의 관계는 (1)식과 같다.<sup>[1]</sup>

$$\frac{\gamma_{FM}}{\gamma_{AM}} = \frac{\frac{3}{2}\beta^2}{\frac{m^2}{2+m^2}} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서  $\gamma$  : figure of merit

$\beta$  :  $\Delta f / f_m$

$m$  : 변조도

(1)식에서 계산된 광FM 전송방식과 광AM 방식의 SNR 관계는 (2)식과 같다.

$$(S/N)_{FM} = (S/N)_{AM} + 20 \log \Delta f / f_m + 6.53 [dB] \dots\dots\dots (2)$$

여기에서  $\Delta f$  : 최대 주파수편이

$f_m$  : 신호의 주파수

$(S/N)_{AM}$  : AM 전송시의 SNR

2. 광AM 전송방식의 SNR

광수신기의 SNR은 光檢出器에 입사되는 광 power 및 그 때의 잡음에 의해 결정된다. 광검출기의 잡음원에는 散彈雜音, 熱雜音, 暗電流雜音 등이 있으며 광검출기에서 발생되는 mean square 신호전류는 (3)식과 같다.

$$\langle i_s^2 \rangle = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\eta q}{h\nu} G m P_r \right\}^2 \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $\eta$  : 양자효율

$q$  : 전자의 전하

$h$  : Plank 상수

$\nu$  : 광주파수

$G$  : 광검출기의 avalanche gain factor

$m$  : 변조지수

$P_r$  : 입력 광 power

각각의 잡음원에 의해 발생되는 mean-square 잡음전류는 아래의 식들과 같이 표시할 수 있다.<sup>[2]</sup> 산탄잡음  $\langle i_s^2 \rangle$ 는

$$\langle i_s^2 \rangle = \frac{2\eta q^2}{h\nu} G^2 F_a B_n P_r \dots\dots\dots (4)$$

여기서  $F_a$  : avalanche gain의 잡음지수

$B_n$  : 등가 잡음 대역폭

(4)식에서  $F_a$ 는 silicon 광검출기일 경우  $F_a \approx \sqrt{G}$ , germanium 광검출기일 경우  $F_a \approx G$  와 같다.<sup>[3]</sup> 열잡음 전류  $\langle i_r^2 \rangle$ 는

$$\langle i_r^2 \rangle = 4KT_n B_n / R_L \dots\dots\dots (5)$$

여기서  $K$  : Boltzmann 상수

$T_n$  : 수신기 잡음온도 ( $^{\circ}K$ )

$R_L$  : 부하저항 ( $\Omega$ )

(5)식에서  $T_n = T_0(10^{NF/10} - 1)$  이고,  $T_0$ 는 동작온도,  $NF$ 는 前置增幅器의 잡음지수이다. 암전류 잡음전류  $\langle i_d^2 \rangle$ 는

$$\langle i_d^2 \rangle = 2qI_d F_a B_n \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $I_d$  : 광검출기의 암전류

광검출기로서 Ge-APD를 사용할 경우, (3)~(6)식에서 광AM 전송방식의 SNR은 (7)식과 같다.

$$(S/N)_{AM} = \frac{\frac{1}{2} \left\{ \frac{\eta q}{h\nu} G m P_r \right\}^2}{\left\{ \frac{2\eta q^2}{h\nu} P_r + 2qI_d \right\} G^2 B_n + \frac{4KT_n B_n}{R_L}} \dots\dots\dots (7)$$

이 식을 (2)식에 대입하면 광FM 전송방식의  $(S/N)_{FM}$ 을 계산할 수 있다. (7)식에서 SNR을 최적화하기 위한  $G_{opt}$ 는 (8)식과 같다.

$$G_{opt} = \left\{ \frac{8KT_n}{R_L} \cdot \frac{1}{\frac{2\eta q}{h\nu} P_r + 2qI_d} \right\}^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (8)$$

III. 傳送試驗

시스템의 설계 특성을 <表 1>과 같이 설정하고, 이 설계치를 만족시키는 3채널의 NTSC 컬러TV 신호를 10MHz, 25MHz, 53MHz의 캐리어 주파수에 6MHz, 12MHz, 18MHz의 周波

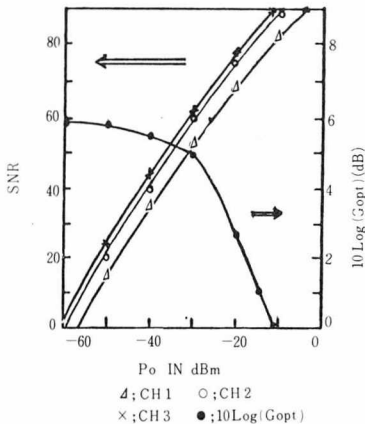
항목	특성	설 계 치
전 송 신 호		NTSC 컬러 TV 신호 3채널
파라미터설계	채 널 1	$f_c$ : 10MHz, $\Delta f$ : 6MHz $T_p$ : 25nS
	채 널 2	$f_c$ : 25MHz, $\Delta f$ : 12MHz $T_p$ : 25nS
	채 널 3	$f_c$ : 53MHz, $\Delta f$ : 18MHz $T_p$ : 15nS
전송품질목표		SNR $\geq$ 49dB, DG $\leq$ 10%, DP $\leq$ 5 $^{\circ}$
광 원	구조 및 재료	DH, InGaAsP LD
	발생 파장	1300nm
	광출력안정방식	TEC 및 OFC
	제조회사	Northern Telecom
광 검 출 기	재 료	Ge-APD
	전치증폭기	전압병렬귀환 방식
	제조회사	NEC
신호전송방식		FM-FDM
최대전송거리		15km

<表 1> 전송시스템 설계특성

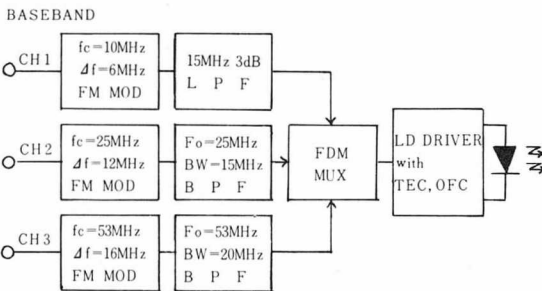
數偏移로 주파수 변조하여 주파수 분할 다중 전송하였다.

위의 설계지에 의한 (2)식, (7)식, (8)식의 입력 광power에 대한 SNR 및  $G_{opt}$  계산 결과는 (그림 1)과 같다. 이때 각각의 파라미터 값은  $\lambda$ 는  $1.3\mu m$ , 광검출기의 암전류는  $1\mu A$ , 等価雜音帶域幅은 4.2MHz, 變調指數는 0.8, 量子效率는 0.75, 負荷抵抗은  $20k\Omega$ 이었으며, 전치 증폭기의 잡음지수는 8 dB로 설계하였다.

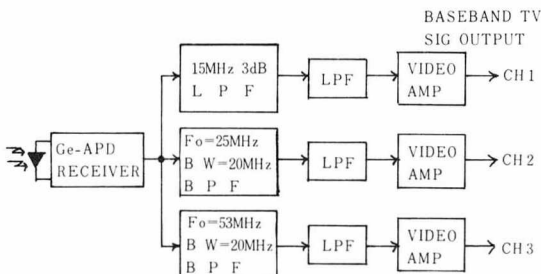
구성한 송신부와 수신부의 구성도는 (그림 2), (그림 3)과 같다.



〈그림 1〉 CH1, CH2, CH3 신호의 受光 power에 대한 SNR과 최적  $G_{opt}$  값



〈그림 2〉 송신부 구성도



〈그림 3〉 수신부 구성도

### 1. 송신부

FM 변조를 위한  $v-f$  변환기로는 MC 1658을 사용하였으며 발생된 주파수에 의한 高調波의 영향을 줄이기 위하여 저역 및 대역통과 여파기를 통하여 주파수 분할 다중화하였다.

광송신기의 광원으로는 패키지 내부에 TEC (Thermal Electric Cooler)와 PIN이 내장된 Northern Telecom의  $1.3\mu m$ 용 반도체 레이저를 사용하였으며 OFC (Optical Feedback Control)와 TEC방식을 병용하여 온도 및 시간경과에 따른 광출력의 변화를 안정화하였다. 송신신호는 pre-bias 전류에 驅動信號 전류를 중첩하여 직접 강도 변조하였다.

### 2. 수신부

광검출기는 일본 NEC의 Ge-APD를 사용하였으며 電圧竝列歸還 방식에 의하여 DC부터 105MHz까지 상당히 안정된 주파수 특성을 얻었다. 광수신기에서 재생된 신호는 저역 및 대역통과여파기를 거쳐 본래의 10MHz, 25MHz, 53MHz의 주파수 변조된 신호로 분리하였다. 이 신호를 reshaping한 후 PFM형태로 재생하였다. 이때, 이 신호의 시간영역에서 구한 일반식은 (9)식과 같다.<sup>14)</sup> (9)식을 Fourier 변환하여 구한 power spectrum은 (그림 4)와 같고 이 spectrum에서 TV 신호 기본대역 정보는 (10)식으로 구할 수 있다.<sup>15)</sup>

$$E(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m (2m+1)^{-1} \left\{ \cos(2m+1) \left\{ \frac{\omega_c}{2} \left( t - \frac{T_p}{2} \right) + \frac{\beta}{2} \frac{\omega_m}{\omega} \sin \omega \left( t - \frac{T_p}{2} \right) \right\} - \cos(2m+1) \left\{ \frac{\omega_c}{2} \left( t + \frac{T_p}{2} \right) + \frac{\beta}{2} \frac{\omega_m}{\omega} \sin \omega \left( t + \frac{T_p}{2} \right) \right\} \right\} \dots (9)$$

여기서  $\omega_m = 2\pi f_m$

$\omega_c = 2\pi f_c$

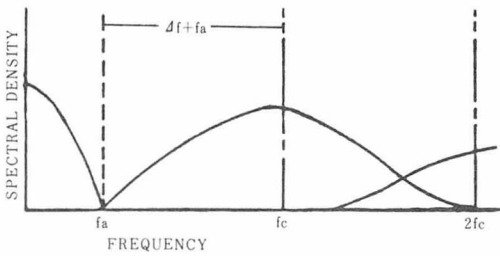
$\beta = \Delta f / f_m$

$T_p =$  전송신호의 펄스 폭

$$V(t) = \Delta f T_p \sin \omega t \dots (10)$$

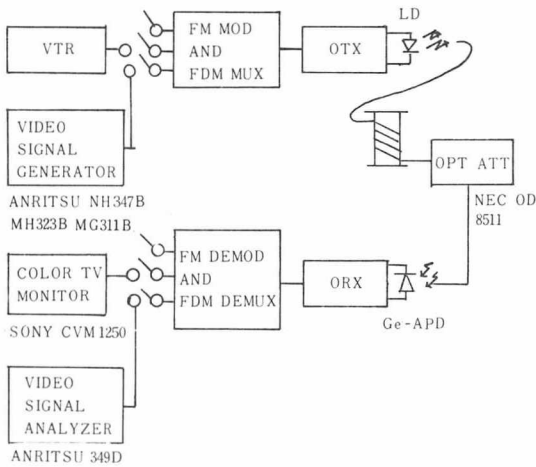
이 기본대역 신호는 4 MHz에서 3 dB, 5 MHz에서 30 dB 이상의 감쇠 특성을 갖는 저역통과 여파기를 이용해 원래의 신호를 복조하고 (10)식에 의해서 16~23 dB 증폭시켜  $1V_{p-p}$ 의 기본대

역 비디오 신호를 재생하였다.



〈그림 4〉 PFM신호의 power spectrum

IV. 試驗結果 및 分析

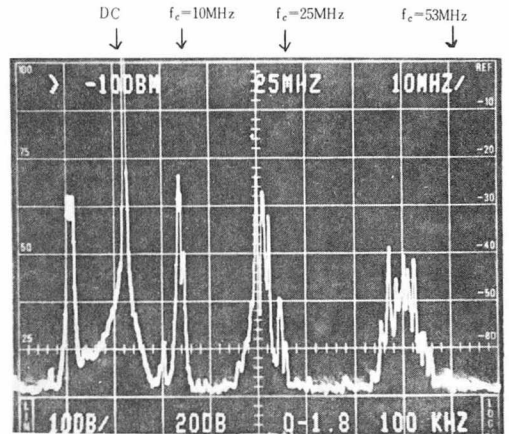


〈그림 5〉 전송시험 시스템

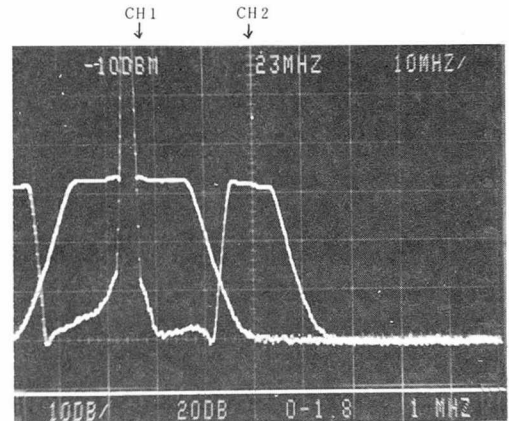
〈그림 5〉는 전송시험 시스템 구성도이다. 전송시험은 다중모드 광섬유 2.5km, NEC사 제조 continuous optical attenuator, NEC connector 등의 광 부품과 National사 제조 VTR, Anritsu사 제조 MEV 5 컬러TV 전송품질 측정기 set로 weighted SNR, DP, DG를 측정 하였다.

주파수 변조된 컬러TV신호 3 채널의 주파수 분할 다중화된 power spectrum은 〈그림 6〉과 같으며 이 신호의 분리를 위하여 제작된 저역 및 대역통과 여파기의 주파수 특성은 〈그림 7〉에 보였다. 그림에서 보듯이 인접 채널과의 분리도가 30dB 이상이었으므로 신호의 분리에는 문제가 없었다.

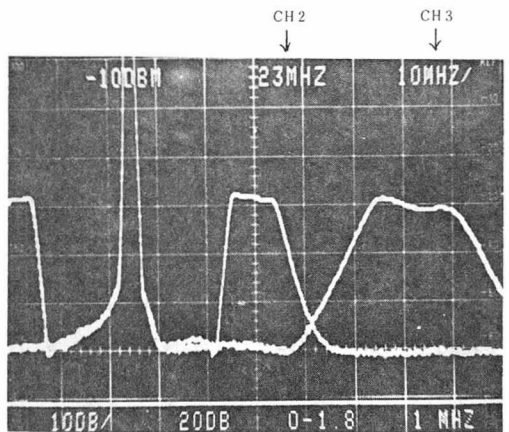
제작된 광송수신기의 주파수 특성은 〈그림 8〉과 같이 상당히 안정된 주파수 특성을 보이고



〈그림 6〉 주파수 분할 다중화된 3 채널의 FM신호 spectrum

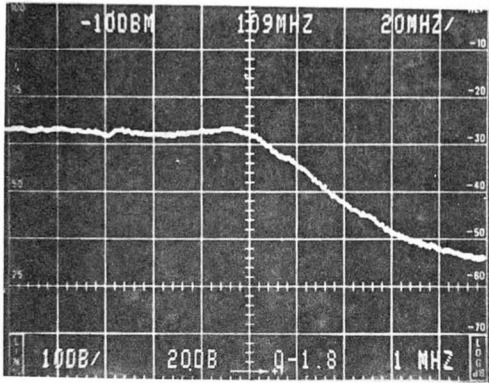


a) 제작된 CH1, CH2의 대역통과 여파기 주파수 특성

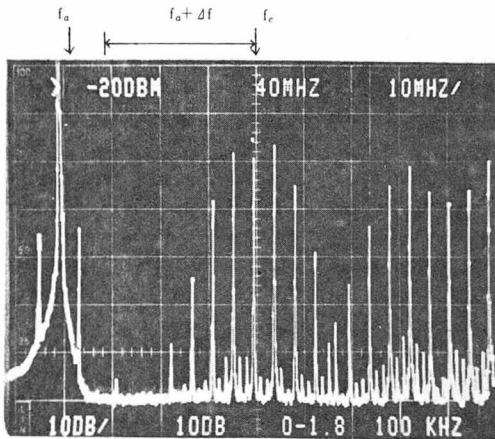


b) 제작된 CH2, CH3의 대역통과 여파기 주파수 특성

〈그림 7〉 대역 통과 여파기의 주파수 특성

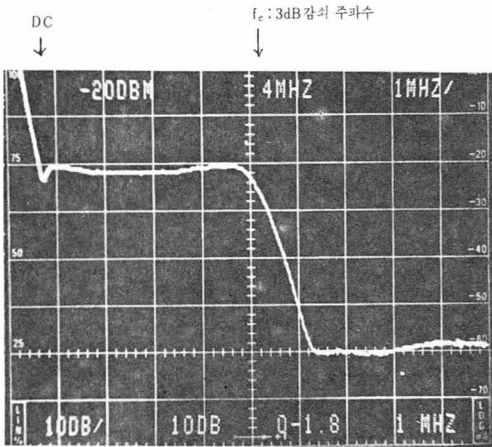


〈그림 8〉 제작한 광 송수신기의 주파수 특성



$f_a = 4 \text{ MHz}, \Delta f = 15 \text{ MHz}, f_c = 40 \text{ MHz}$

〈그림 9〉 PFM신호의 power spectrum

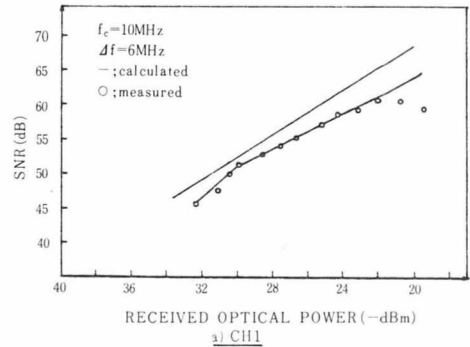


3 dB point : 4 MHz  
stop freq. 5.3 MHz에서 40 dB 감쇠

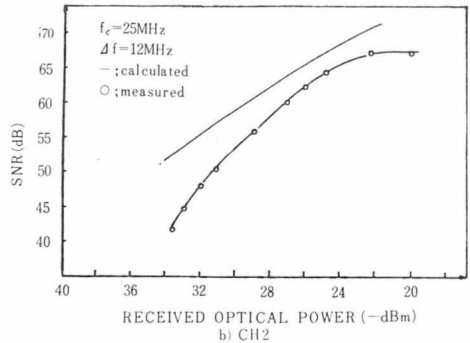
〈그림 10〉 저역 통과 여파기의 주파수 특성

있음을 알 수 있다. 〈그림 9〉는 정현파 4 MHz PFM신호의 power spectrum으로서 원래의 정보신호가 저역통과 여파기로 충분히 복조될 수 있었다. 따라서 컬러TV 기본대역 신호는 〈그림 10〉의 저역통과 여파기로 무난히 복조할 수 있음을 알 수 있다. 〈그림 11〉에는 CH1, CH2, CH3의 (7)식을 이용한 (2)식의 FM SNR 계산치와 실험치를 비교하였다. 시험 결과 계산식 (2)에서와 같이 광FM 전송방식의 SNR은 캐리어 주파수  $f_c$ 와는 무관하고 최대 주파수편이  $\Delta f$ 와 관계가 있음을 확인하였다. 〈그림 11〉에 나타난 계산치와 실험치의 SNR 차이는 여파기의 간섭과 APD avalanche gain factor를 (8)식의  $G_{opt}$  값과 동일하게 해주지 못한 이유 때문으로 생각된다.

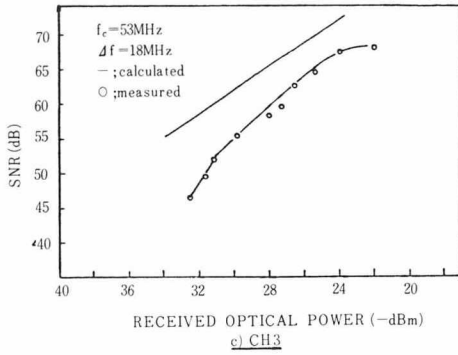
설계치 49dB SNR을 만족시키는 3 채널의 수신감도는 각각 -30.5, -31.5, -32dBm이었으며 이때의 DG, DP는 10%, 5° 이하이었다. 이 시스템의 마진은 26.5dB이고 송신기의 광출력이 -3 dBm 이므로 현재 상용되는 다중모드 광섬유(접속손실 포함하여 손실이 1.0dB/km로 가정)를 사용하여 설계 목표치의 품질을 만족하는 TV 신호 3 채널을 20km 이상 무중계 전송이 가능함을 확인하였다.



a) CH1



b) CH2



〈그림 11〉 수신 광power에 따른 CH1, CH2, CH3의 SNR 변화

### V. 結 論

본 연구 결과 상용 전자소자들로써 구성된 간단한 변복조 장치와 다중모드 광섬유를 이용하여 여러 채널의 컬러TV 신호 전송이 가능함을 입증하였다. 본 연구에 이어 WDM 방식과 비디오 교환방식 등의 연구가 병행된다면 본 연구의 결과는 光加入者網에 더욱 경제적으로 응용될 수 있을 것이다.

### 参 考 文 献

1. Taub and Schilling, Principles of Communication Systems, McGraw-Hill, 1971.
2. Hara, E. H., "Conceptual Design of a Switched Television-Distribution System Using Optical-Fiber Waveguides," IEEE Trans. on Cable TV, Vol. CATV-2, No. 3, July, 1977.
3. Kressel, H., Semiconductor Devices for Optical Communication, Springer-Verlag, 1980.
4. 유강희, 강민호, "PFM 방식에 의한 칼라 TV 신호의 광섬유 전송시험", 電氣通信, Vol. 4, No3, 1982, pp. 3-10.
5. Takasaki, Y. et al., "New Fiber Optic Analog Base Band Transmission Plan for Color TV Signals", IEEE Trans. on Com. Vol. 26, No. 6, 1978, pp 902-907.
6. Yoneda, E. et al., "Design and Performance of Optical Fiber Transmission Systems for Color TV Signals, Review of ECL, Vol. 29, No. 11~12, 1981, pp 1107-1117.
7. 川上大三, "画像伝送 技術の動向", 方苞説, Vol. 32, No. 4, 1978, pp 35.