

# 무선광연결에서 편광판을 이용한 광잡음 감소

## Optical Noise Reduction Using Polarizers in Wireless Optical Interconnections

이 성 호

Seong-Ho Lee

### 요 약

본 논문에서는 무선광연결에서 편광판을 이용하여 잡음광을 소거하는 방법에 대하여 소개한다. 잡음광을 소거하기 위한 차동검출기에 편광판을 사용하면 잡음소거능력이 향상된다. 또한 유사한 파장을 가진 두 개의 광신호가 공간에 중첩되어 혼신이 발생하는 경우에는 각각의 수신부에 편광판을 서로 수직으로 부착하면 각각의 광신호를 쉽게 분리 검출할 수 있다. 이 방법은 매우 간단하여 사용하기가 쉽다.

### Abstract

In this paper, we introduce a noise reduction method using polarizers in a wireless optical interconnections. If we use polarizers in a differential detector, the noise reduction capability is improved.

In a case that two optical signal beams of similar wavelength are overlapped in space and crosstalk is a serious problem, we can detect each channel separately without crosstalk using two orthogonal polarizers. This method is very simple and easy to use.

### I. 서 론

무선광연결기술은 케이블의 초기설치와 유지보수 비용을 절감하고, 기존의 무선주파수와 상호간섭이 적으며, 구현이 간편하여 실내의 짧은 광전송구간과 빌딩간의 고속광전송에 그 이용이 점점 증가하고 있다.

무선광연결에서는 자유공간을 전송매체로 사용하므로 주변의 조명등이나, 햇빛과 같은 잡음광의 영향을 받기 쉽다. 잡음광의 영향을 줄이기 위하여 많은 연구가 계속 발표되고 있으며, 그 방법으로는 광학적 필터, 전기적 필터 그리고 부반송파가 많이 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 이외에도 2개의 포토다이오드와 1개

의 차동증폭기로 이루어진 차동검출기를 사용하여 잡음광을 소거하는 방법도 소개되었다<sup>[2,3]</sup>.

본 논문에서는 편광판(Polarizer)을 사용하여 차동검출기의 잡음광 소거능력을 개선하는 방법을 새로이 소개한다. 또한 유사한 파장을 가진 두 개의 무선광신호가 동일한 공간에서 서로 중복되어 혼신이 발생하는 경우에 편광판을 이용하여 두 개의 채널을 분리하는 방법을 소개한다.

### II. 편광판을 이용한 차동검출기의 원리

편광판을 이용한 차동검출기의 구성도는 그림 1과 같다.

「이 논문은 정보통신부 대학기초연구지원사업에 의하여 연구되었음.」

서울산업대학교 전자공학과(Electronics Department, Seoul National University of Technology)

· 논문 번호 : 991012-087

· 수정완료일자 : 1999년 12월 18일

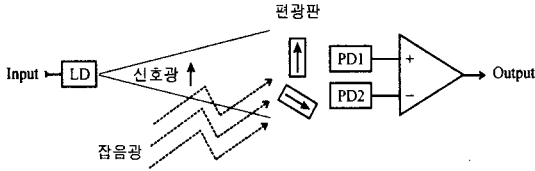


그림 1. 편광판을 이용한 차동검출기의 구성도  
화살표(↑)는 편파방향을 나타냄

Fig. 1. A differential detector with polarizers.  
The arrow(↑) indicates polarization.

그림 1에서 레이저다이오드(Laserdiode; LD)는 신호발생용 광원이며 보통 단일방향으로 편파(Polarization)가 정해져 있다. 실내의 조명시설로 사용되는 백열등이나 형광등은 잡음광이며 대개 편파가 단일방향으로 정해져 있지 않다. 그림 1에서 LD의 신호광에 표시된 화살표는 신호광의 편파를 나타낸다. 수신부는 2개의 PD(Photodiode; PD)와 한 개의 차동증폭기로 이루어진 차동검출기<sup>[2]</sup>이며, 각각의 PD 앞단에 편광판이 설치되어 있다. PD1의 앞단에 설치된 편광판은 신호광의 편파와 일치하는 방향으로 부착하고, PD2의 앞단에 설치된 편광판은 신호광의 편파와 수직이 되도록 부착한다.

따라서 PD1에서는 신호광이 검출되지만 PD2에서는 신호광이 검출되지 않는다. 한편 잡음광은 편파가 단일방향으로 정해져 있지 않아 편광판의 방향과 무관하게 PD1과 PD2 모두에서 유사한 강도로 검출된다. 즉 PD1에서는 신호광과 잡음광이 혼합된 상태로 검출되며, PD2에서는 신호광은 차단되고 잡음광만이 검출된다.

두 개의 포토다이오드의 응답도  $\rho$ 와 부하저항  $R_L$ 을 동일하게 사용하고, 각 부하저항에 검출되는 전압( $v_{pd1}$ ,  $v_{pd2}$ )을 차동증폭기의 (+)와 (-)입력단에 1:1이 되도록 가하면, 차동증폭기의 출력전압  $v_o$ 는

$$v_o = (v_{pd1} - v_{pd2}) \cdot G$$

$$= \{ (C_{s1}P_s + C_{n1}P_n) - (C_{s2}P_s + C_{n2}P_n) \}$$

$$\cdot \rho \cdot R_L \cdot G \quad (1)$$

이다<sup>[2]</sup>.

여기에서  $P_s$ 와  $P_n$ 은 각각 신호광과 잡음광의

출력파워이며,  $G$ 는 전압증폭율이다.  $C_{s1}$ 과  $C_{s2}$ 는 각각 신호광으로부터 PD1과 PD2로의 광결합계수,  $C_{n1}$ 과  $C_{n2}$ 는 각각 잡음광으로부터 PD1과 PD2로의 광결합계수이다.

잡음광이 실내의 조명등인 경우, 조명등과 광검출기 사이의 거리는 보통 수 m 이고, PD1과 PD2간의 간격은 신호빔의 반경에 해당하는 수 cm로 근접하기 때문에 잡음광으로부터 PD1, PD2로의 광결합계수는 거의 동일하다. 따라서  $C_{n1} \approx C_{n2}$ 이며, 차동증폭기의 출력전압  $v_o$ 는

$$v_o = (C_{s1} - C_{s2}) \cdot P_s \cdot \rho \cdot R_L \cdot G \quad (2)$$

이다. 편광판을 사용하는 경우에는 PD2에서는 신호광과 편광판의 방향이 직교하므로  $C_{s2} \approx 0$ 이다. 따라서 식 (1)에서 차동증폭기의 출력전압  $v_o$ 는

$$v_o \approx C_{s1} \cdot P_s \cdot \rho \cdot R_L \cdot G \quad (3)$$

이 되어 출력전압에는 잡음광은 소거되고 신호성분만 검출된다.

식 (2)와 식 (3)을 비교하면 동일한 정렬조건하에서 편광판을 사용하는 경우에는 편광판을 사용하지 않는 경우에 비하여  $C_{s1}/(C_{s1} - C_{s2})$ 배만큼 신호전압이 증가하며, 그 결과 개선되는 신호대잡음비는 동일한 조건하에서  $[C_{s1}/(C_{s1} - C_{s2})]^2$ 만큼 개선된다.

편광판을 사용하지 않은 차동검출기와 비교하면, 편광판을 사용하지 않은 경우에는 PD1의 위치를 신호광의 중심부근에 오도록 하고, PD1과 PD2 사이의 거리를 신호광의 반치빔폭에 비하여 크게 설정하면 신호검출에 문제가 없다. 그러나 PD1과 PD2 사이의 거리를 신호광의 반치빔폭에 비하여 너무 작게 설정하는 경우나 혹은 신호광의 방향이 PD1과 PD2의 위치에서 유사한 강도를 갖도록 잘못 정렬되어  $C_{s1} \approx C_{s2}$ 이 되면, 신호성분도 매우 작아질 수 있다. 이러한 관계를 도식적으로 설명하면 그림 2와 같다.

그림 2에서 실선의 가우시안 곡선은 수신부에서 신호광의 횡방향 분포의 예이며, 수평의 점선은 근사적으로 잡음광의 분포를 나타낸다. 편광판을 사용하지 않는 경우에 그림(a)와 같이 PD1과 PD2에서의 신호광의 결합계수가  $C_{s1} > C_{s2}$ 가 되면 신호의

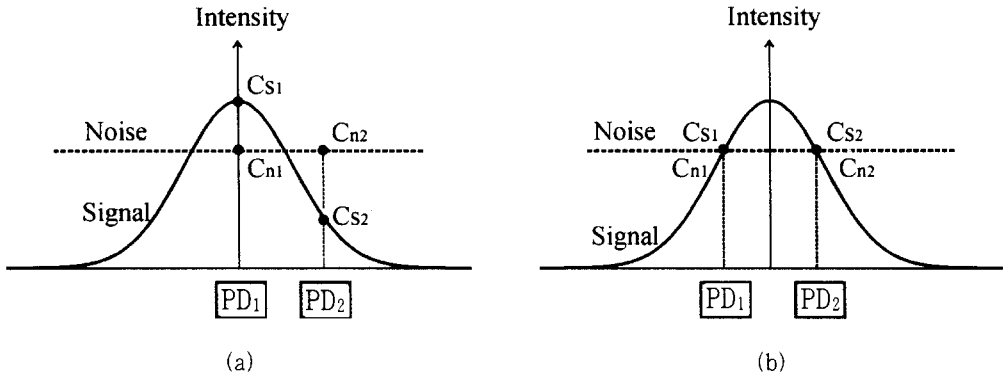


그림 2. 편광판을 사용하지 않고 차동검출하는 경우

(a)  $C_{s1} > C_{s2}$ 인 경우(신호검출이 양호한 상태), (b)  $C_{s1} \approx C_{s2}$ 인 경우(신호검출이 어려운 상태)

Fig. 2. Differential detection without polarizers.

(a) In case  $C_{s1} > C_{s2}$ (signal detection is good.), (b) In case  $C_{s1} \approx C_{s2}$ (signal detection is bad).

수신상태가 양호하다. 그러나 그림(b)에서와 같이  $C_{s1} \approx C_{s2}$ 가 되면 신호성분도 상쇄되어 수신상태가 좋지 못하다.

반면에 편광판을 사용하는 경우에는 PD2의 편광판과 신호광의 편파가 직교하므로  $C_{s2} \approx 0$ 이 되어 PD1과 PD2가 매우 가까이 접근되어도 이러한 문제가 없다. 따라서 신호빔과 PD의 정렬에 민감하지 않아 사용이 매우 편리하다.

### III. 편광판을 가진 차동검출기를 이용한 잡음 광 소거 실험

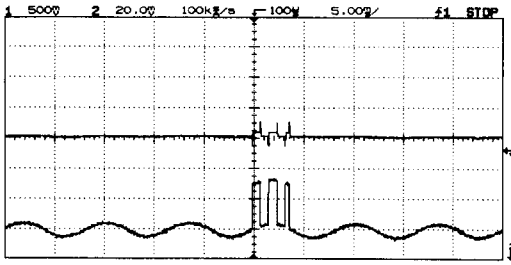
편광판이 설치된 차동검출기의 잡음소거효과를 확인하기 위하여 두 대의 PC간에 무선광연결을 구성하여 데이터를 전송하였다. 송신측에서는 PC1의 Serial port로부터의 전기적 신호로 LD를 강도변조(Intensity modulation)하여 신호광을 생성하고, 수신측에서는 그림 1과 같이 편광판이 부착된 차동검출기를 사용하여 광신호를 수신하고 PC2의 Serial port로 연결하였다. 광원으로 사용되는 LD의 광편파는 수직편파로 되어 있으며, 파장은 780 nm이고, 주입전류 50 mA에서 광출력이 약 10 mW이다. 이 LD의 출력광의 수직편파와 수평편파의 파워 비는 약 15:1로 측정되었다.

수신부는 2개의 PD와 한 개의 차동증폭기로 구

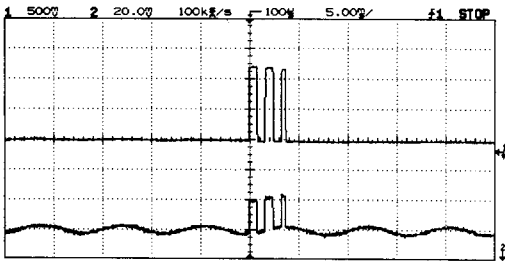
성되는 차동검출기를 사용하며, 각각의 PD의 바로 앞에 한변의 길이 1 cm인 정사각형으로 작게 자른 편광판을 부착하였다. PD1의 편광판의 방향은 수직이 되게 하고, PD2의 편광판은 수평이 되도록 설치하였다. 이 상태에서는 PD1에서는 신호성분이 검출되지만, PD2에서는 신호성분이 검출되지 않는다.

검출기의 전면에 약 1m의 거리를 두고 200W의 강한 백열등을 설치하여 잡음광으로 사용하였다. 이 잡음광에서 방출되는 빛은 편파가 Random하여 PD1과 PD2에서 모두 검출된다. 2개의 PD간의 거리는 약 2 cm로 근접하고, 잡음광과 PD간의 거리는 약 1 m 정도 이어서 PD1과 PD2의 위치에서 잡음광의 강도는 거의 동일하다. 실험에서 사용한 Si-PIN 포토다이오드의 응답도는  $\rho = 0.4 [A/W]$ 이며, 부하저항  $R_L = 1 k\Omega$ 으로 하였다. 그림 3은 편광판을 이용한 경우와 편광판을 이용하지 않은 경우에 나타나는 수신파형을 오실로스코프로 관측한 것이다.

그림 3은 그림 1(b)에서와 같이 PD1과 PD2의 위치가 알맞지 않아  $C_{s1} \approx C_{s2}$  일 때 오실로스코프를 사용하여 관측한 출력파형이다. 그림 3(a)에서 하부 파형은 차동검출을 하지 않고 단일의 PD를 사용하는 경우이다. 디지털 전송부호는 문자 "F"자를 수신하는 경우의 비트를 나타내며, 사인파와 같은 형태로 섞여있는 성분은 잡음광의 영향이다. 이 상태에서는 잡음성분이 신호성분과 심하게 혼합되어 있어



(a) 편광판을 사용하지 않은 경우  
 상부파형 : 차동검출을 하는 경우 (2개의 PD)  
 하부파형 : 차동검출을 하지 않은 경우(1개의 PD)  
 (a) Without polarizers.  
 The upper : With differential detection. (2 PD's)  
 The lower : Without differential detection. (1 PD's)



(b) 편광판을 사용한 경우  
 상부파형 : 차동검출을 하는 경우 (2개의 PD)  
 하부파형 : 차동검출을 하지 않은 경우(1개의 PD)  
 (b) With polarizers.  
 Upper : With differential detection. (2 PD's)  
 Lower : Without differential detection. (1 PD's)

그림 3. 오실로스코프로 관측된 출력 파형  
 Fig. 3. Output waveforms observed with an oscilloscope.

올바로 수신하기가 어려운 상태이다. 그림 3(a)의 상부파형은 차동검출한 경우이다. 이 상태에서는 차동검출의 원리에 의하여 잡음성분은 소거되고 신호성분만 남아있다. 그러나 지금과 같이 두 개의 PD에서의 수신되는 신호광의 세기가 거의 유사한 경우에는 신호성분도 많이 상쇄되어 검출되는 신호전압이 작아서 후단에 추가로 증폭기를 설치하여 신호전압을 높여주어야 올바르게 전송된다.

그림 3(b)에서는 차동검출기를 구성하는 PD의 앞에 편광판을 사용한 경우이다. PD1에 부착된 편광판은 신호광의 편파와 일치하도록 하고, PD2에

부착된 편광판은 신호광의 편파와 수직하도록 설치하였다. 잡음광은 편광판의 각도에 무관하게 통과하므로 이 상태에서는 PD1에는 신호광과 잡음광이 혼합된 성분이 검출되고 PD2에서는 잡음광만 검출된다. 그림 3(b)의 하부파형은 그림 3(a)의 하부파형과 같이 차동검출하지 않고 단일 PD로 수신한 경우이다. 그림 3(b)의 상부파형은 편광판을 사용하여 차동검출한 경우이다. 이 때에도 잡음은 소거되고 신호성분만 검출되는 현상은 그림 3(a)와 유사하지만 동일한 조건하에서 검출된 신호전압의 크기가 그림 3(a)의 경우보다 약 10배정도 강하게 검출된다. 따라서 전압이득 10배인 증폭기를 절약할 수 있다.

편광판을 사용하지 않는 경우에는 신호광빔의 중심이 PD1에 오도록 정렬해야(즉  $C_{s1} > C_{s2}$  인 상태) 잡음소거효과가 높지만, 편광판을 사용하는 경우에는  $C_{s1} > C_{s2}$  가 되도록 특별히 주의할 필요가 없으므로 사용하기가 더 편리하다. 그 대신에 편광판을 추가로 설치해야 하는 부담이 있다. 또한 신호광이 일정한 방향의 편파를 가지지 않는 광원인 경우에는 광원의 앞단에 별도의 편광판을 설치하여야 하고, 그 방향은 수신부의 PD1 앞단에 설치된 편파 방향과 동일한 방향을 갖도록 하여야 한다.

편광판을 사용하지 않은 경우의 차동검출기의 출력전압  $V_{(no-pol)}$ 에 비하여 편광판을 사용한 경우의 출력전압  $V_{(pol)}$ 이 개선되는 비율  $V_{(pol)}/V_{(no-pol)}$ 을 신호광의 결합계수비( $C_{s2}/C_{s1}$ )에 따라 측정한 데이터는 그림 4와 같다.

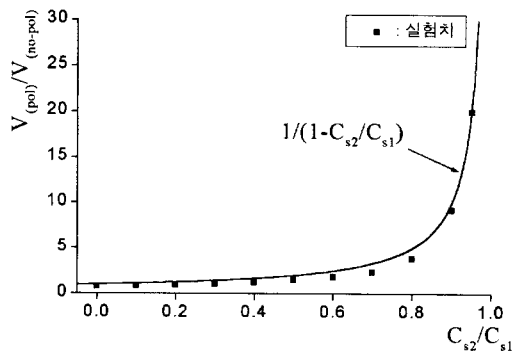


그림 4. 편광판을 이용한 차동검출 성능개선  
 Fig. 4. Performance improvement of differential detection with polarizers.

#### IV. 편광판을 이용한 채널분리

무선광연결에서는 자유공간을 전송매체로 사용하므로 동일한 공간에 서로 다른 신호광이 서로 중첩되어 혼신을 발생하는 경우가 있다. 이 때에는 사용하는 광원의 중심파장을 서로 다르게 하고 수신부에서는 각 채널에 맞도록 광학적 필터를 설치하면 문제가 쉽게 해결되지만, 본 논문에서는 두 광원의 중심파장이 유사한 경우에 편광판을 사용하여 2개의 서로 다른 광신호를 분리하는 간단한 실험을 보인다. 여기에서는 주변광의 세기가 신호광에 비하여 매우 약하여 문제되지 않는 경우이며, 앞에서 설명한 차동검출기와의 관계가 없다. 편광판을 사용하여 채널을 분리하는 실험구성도의 예는 그림 5와 같다.

이 실험에서는 아날로그 영상신호를 전송하기 위한 신호광과 디지털데이터를 전송하기 위한 신호광이 혼합되어 수신부에서 혼신이 발생하는 경우 편광판을 사용하여 각각의 채널을 분리해낸다. 사용한 광원은 둘다 800 nm 파장을 가진 GaAs 레이저다이오드이며, 광출력은 주입전류 50 mA에서 약 10 mW이다. CCD카메라로부터의 6 MHz대역폭을 가진 NTSC영상신호를 사용하여 LD1을 변조하고, 이와 독립적으로 PC1의 Serial port로부터 9.6 kbps 디지털 데이터신호를 사용하여 LD2를 변조하였다.

이 때 LD1은 수직편파를 갖도록 Mounting 하였으며, LD2는 수평편파를 갖도록 Mounting 하였다. 그림에서 LD1과 LD2의 오른쪽에 표시된 화살표는 각각의 광신호의 편파를 나타낸다. 수신부에서는 PD1으로 영상신호를 수신하여 모니터로 전송하고, PD2로 디지털데이터를 수신하여 PC2로 전송한다.

그러나 PD1과 PD2가 위치하는 곳에서는 두 개의 광신호가 중첩되어 혼신을 일으키므로 각각의 신호를 분리하기 위하여 PD1과 PD2앞에는 각각의 신호광의 편파와 일치하도록 편광판을 설치하였다. 두 개의 편광판의 방향은 서로 수직이다. 따라서 PD1에서는 LD1의 광신호만 수신하고, PD2에서는 LD2로부터의 광신호만 수신할 수 있다. 사용된 PD는 둘다 응답도가  $\rho = 0.4 [A/W]$ 인 Si-PIN포토다이오드이다. PD1의 수신부에서는 Analog Device사에서 제작된 OP-Amp AD8011칩을 사용하여 전압이득 100, 대역폭 15 MHz인 영상증폭기를 제작하여 사용하였다. PD2의 수신부에서는 Op-Amp OP05를 사용하여 전압이득이 100배이고, 약 30 kHz의 대역폭을 가지는 증폭기를 제작하여 사용하였다. 각각의 수신신호를 오실로스코프로 관측한 파형은 그림 6과 같다.

그림 6(a)는 PD1에서 관측된 파형이고 time scale이 50 us/div이다. 그림 6(b)는 PD2에서 관측된 파형이며 time scale이 500 us/div 이다.

그림 6(a)에서 하부파형은 편광판을 사용하지 않았을 때이며, 이 때는 CCD카메라로부터의 영상신호에 PC간의 데이터신호가 혼합되어 잡음이 유발된다. 그림 6(a)의 하부파형의 영상신호에서 불연속적인 레벨변화는 PC간의 데이터신호의 한 개의 비트에 해당한다. 반면에 그림 6(a)의 상부파형은 편광판을 사용한 경우를 나타낸다. 이 때에는 데이터 신호는 소거되고 깨끗한 영상신호만 수신됨을 볼 수 있다.

그림 6(b)에서 상부파형은 편광판을 사용하지 않았을 때 PD2에서 수신된 신호이다. 이 때에는 영상 전송신호와 데이터 신호(문자"F"자)가 중복되어 문

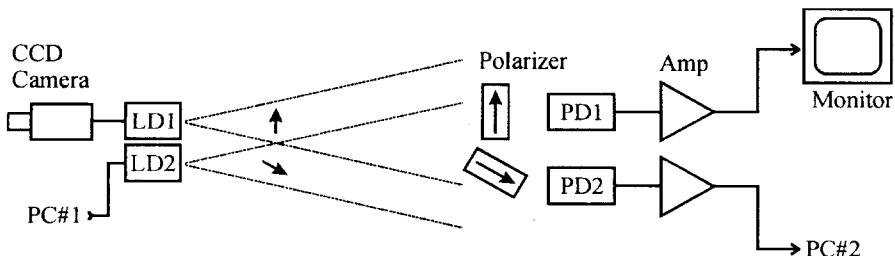
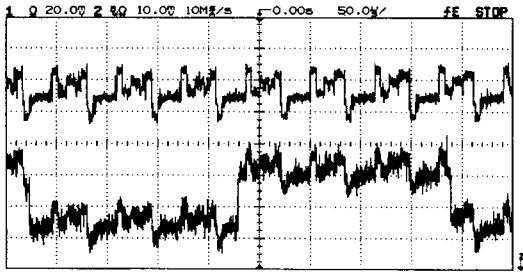
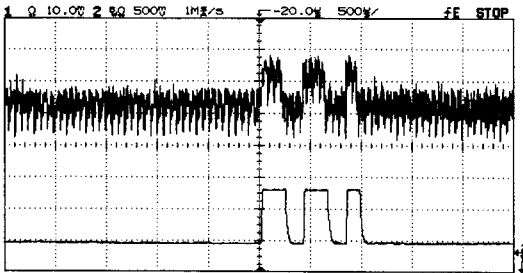


그림 5. 편광기를 이용한 광신호 분리실험 구성도

Fig. 5. Experimental setup for optical channel selection using polarizers.



(a)



(b)

그림 6. 오실로스코프로 관측한 수신파형

(a) PD1에서 관측된 파형

상부파형 : 편광판을 사용할 때

하부파형 : 편광판을 사용하지 않을 때

(b) PD2에서 관측된 파형

상부파형 : 편광판을 사용하지 않을 때

하부파형 : 편광판을 사용할 때

Fig. 6. Waveforms observed with an oscilloscope.

(a) Observed waveforms at PD1.

The upper : With polarizers.

The lower : Without polarizers.

(b) Observed waveforms at PD2.

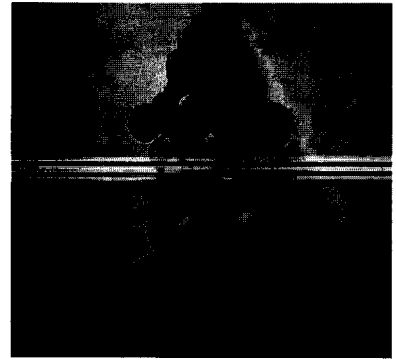
The upper : Without polarizers.

The lower : With polarizers.

자가 제대로 전송되지 않은 상태이다. 그림 6(b)에서 하부파형은 편광판을 사용한 경우이며, 이 때에는 데이터에 혼합된 영상신호가 소거되고 PC간의 데이터 신호만 수신할 수 있음을 볼 수 있다.

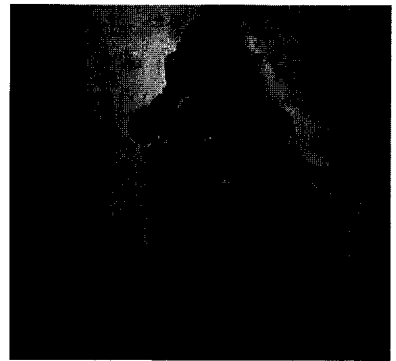
그림 7은 PD1의 수신부를 통하여 모니터에 나타난 영상을 나타낸다.

그림 7(a)는 그림 6(a)의 하부파형에서와 같이 편광판을 사용하지 않을 때 모니터에 나타난 영상이



(a) 편광판을 사용하지 않은 경우

(a) Without Polarizers.



(b) 편광판을 사용한 경우

(b) With Polarizers.

그림 7. 모니터에서 관측된 영상

Fig. 7. Observed images on a monitor.

다. 이 때는 아날로그 영상신호에 디지털데이터가 혼합되어 영상의 가운데에 흰색의 굵은 줄무늬가 나타나며, 이 줄무늬는 상하로 불규칙하게 이동하는 모양이 관측되었다. 따라서 이 때는 수신상태가 매우 좋지 않다. 반면에 그림 7(b)는 그림 6(a)의 상부파형에서와 같이 편광판을 사용하여 데이터신호가 소거되고 영상신호만 수신되고 있는 상태를 나타낸다. 이 때에는 영상에 잡음에 의한 줄무늬가 없어지고 깨끗한 영상신호가 수신된다.

이와 같이 파장이 서로 유사한 2개의 신호광이 공간에서 서로 중첩되어 혼신이 발생하는 경우에 수신부에 편광판을 부착하여 사용하면 각각의 신호를 쉽게 분리할 수 있다.

있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 편광판을 사용하여 잡음광의 영향을 감소하는 방법을 소개하였다. 차동검출기에서 편광판을 사용하면 편광판을 사용하지 않는 경우보다  $C_{s1}/(C_{s1} - C_{s2})$ 배만큼 신호전압의 크기를 증가시켜서 잡음소거효과가 개선될 수 있음을 보였다.

편광판을 사용하지 않는 차동검출기에서는 PD1과 PD2간의 간격이 신호광의 반치빔폭에 비하여 훨씬 작은 경우에는 두 지점에서 광결합계수  $C_{s1} \approx C_{s2}$ 이 되어 신호전압의 크기가 작아지는 경우가 발생할 수 있다. 그러나 PD1과 PD2 앞에 편광판을 상호 수직하게 설치하면 이러한 문제가 없어 잡음광의 소거에 더 효과적임을 실험을 통하여 소개하였다.

또한 유사한 파장을 가진 두 개의 무선광신호가 동일한 공간에서 서로 중복되어 혼신이 발생하는 경우에, 편광판을 이용하면 혼신을 소거하고 두 개의 채널을 따로따로 분리해낼 수 있음을 보였다. 이 때에는 두 개의 광신호의 편파가 서로 직교하도록 광원을 설치하고, 수신부에서는 각 PD 앞단에 편광판을 신호광과 일치하도록 설치하면 된다. 이와 같은 채널분리방식은 그 구성이 매우 간단하여 실내무선광연결을 실시하는 경우에 매우 유용하게 사용할 수

## 참 고 문 헌

- [1] M. Street, P. N. Stavrinou, D. C. O'Brien, and D. J. Edwards, "Indoor optical wireless systems-a review," *Optical and Quantum Electronics*, 29, pp. 349-378, 1997.
- [2] 이성호, 강희창, "실내 무선광연결에서 차동증폭기를 이용한 혼신 및 잡음의 감소", 한국전자과학기술논문집, vol. 9, no. 5, pp. 660-667, 1998.
- [3] 이성호, 강희창, "차동검출기를 이용한 무선광연결에서 신호대잡음비의 개선", 한국전자과학기술논문집, vol. 10, no. 1, pp. 54-62, 1999.
- [4] 이성호, 최순식, 설순권, 강희창, "실내무선광통신에서 광궤환잡음의 개선", 한국통신학회 98 추계종합학술발표회논문집, pp. 996-997, 1998.
- [5] 설순권, 최순식, 김학민, 이성호, 강희창, "차동검출을 이용한 무선광연결용 증계기", 제6회 광전자공학 학술회의논문 FB1-5, pp. 141-142, 1999.

## 이 성 호



1957년 8월 12일생  
 1980년 2월 : 한국항공대학 전자공학과(공학사)  
 1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)  
 1993년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1995년 3월~현재 : 서울산업대학교 전자공학과 조교수  
 [주 관심분야] 광통신, 초고주파회로