

論文95-32A-9-16

## 광흡수 소자를 이용한 광온도 센서 시스템의 구현

(Implementation of fiber-optic temperature sensor system based on optical absorption device)

金永洙\*, 金堯喜\*

(Young Soo Kim and Yo Hee Kim)

### 요 약

광흡수 소자(InP)를 이용하여 광섬유 온도 센서를 제작하고, 온도 변화에 따른 InP 센서 소자의 광흡수 특성 변화에 기인한 변조 신호용 광원의 스펙트럼 변화 과정을 세점의 온도(249 K, 298 K, 369 K)에서 구하였다.

변조신호 광원(940nm)과 기준 신호 광원(1300nm)이 온도변화의 영향을 받지않도록 안정화 구동회로를 구현하고, 수광 회로와 신호처리 회로를 적용 광섬유 온도 센서 시스템을 제작하였다. 광섬유 외란의 영향을 최소화 하기 위하여 분압에 의한 광강도 Referencing을 하였다.

InP의 경우 단위 온도 상승시 기초 광흡수단의 이동거리는 약 0.42nm/K 이고 에너지 갭은 1.35 eV(300 K)이므로 중심 파장이 940nm, 스펙트럼폭 50nm인 LED 사용시 온도 측정 범위는 약 300 K 정도임을 예측할 수 있었다. 설계 시스템으로 온도 측정된 결과 -30 °C ~ +150 °C 피측정 온도 범위에서 양호한 선형성을 가짐을 확인하였다.

### Abstract

A fiber-optic temperature sensor utilizing an optical absorption device (InP) was fabricated. The spectrum of transmitted light through an InP device was obtained at the three temperatures(249 K, 298 K, 369 K).

A stabilized LED(light emitting diode) driver, photoreceiver, and signal processing electronics were designed. An intensity referencing technique was adopted in order to minimize the fluctuation of output signal due to external perturbation of the transmitting optical fiber.

The optical absorption edge of the InP device moves to longer wavelength at a rate of 0.42 nm / K, and energy gap of InP is 1.35 eV at room temperature. From these results, it is concluded that the InP device has temperature dynamic range of 300 K with LED of center wavelength of 940nm and spectral width of 50nm. The designed fiber-optic temperature sensor system showed good linearity within the temperature range from -30°C to +150°C.

\* 正會員, 韓國電氣研究所 光應用시스템 研究팀  
(Applied Optical System Research Team,

Korea Electrotechnology Research Institute)  
接受日字: 1995年4月8日, 수정완료일: 1995年9月4日

I. 서론

광통신용으로 널리 사용되고 있는 광섬유가 값싸게 보급됨에 따라 전기적 화학적으로 불활성 매질인 광섬유를 통하여 측정에 필요한 에너지원을 공급하고, 동시에 측정대상 파라미터의 정보를 받아들일 수 있는 광섬유 센서 기술에 대한 연구가 지난 20년 가까이 진행되어 눈부신 성과를 거두어 왔다<sup>[1-2]</sup>. 이 새로운 감지 기술을 이용하여 고신뢰성, 소형화, 다중화, 원격감지 능력 등을 갖춘 광섬유 센서가 연구 개발되어 일부 센서는 실용화 단계에 이른 것도 있다<sup>[3]</sup>. 또 많은 종류의 광섬유 센서가 의료, 선박, 항공, 전력, 석유화학, 오일, 가스 산업 등의 분야에서 실장 시험되고 있다.

광섬유 센서로 측정할 수 있는 대상으로는 이론상 거의 모든 물리, 화학, 환경요소를 포함하며, 실제로 측정 가능성을 증명한 시스템의 종류는 많다. 이러한 다양한 종류의 측정대상을 감지하기 위해 이용되는 빛의 성질로는 광의 세기, 위상, Doppler 편이, 편광 상태, 산란, 색 등 광의 모든 성질이 이용되고 있다<sup>[4]</sup>.

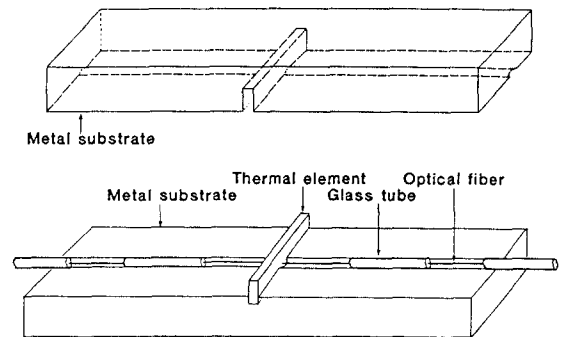
광섬유 온도 센서 시스템은 원리 및 그 구성 방식에 따라 여러가지로 분류할 수 있지만 그중에서 센서 시스템 구현이 간단한 방식으로서 반도체 소자의 광흡수형 온도 센서가 주목받고 있다. Kyuma<sup>[5]</sup>는 GaAs 반도체 재료의 광흡수 특성을 이용하여 온도 측정의 가능성을 최초로 제시하였다. 이후로 외부 섭동등에 의한 시스템의 불안정 동작을 제거하기 위한 연구는 계속 이루어졌으나, 최적의 온도 센서 시스템을 설계하기 위한 파라미터 분석 연구가 거의 없었다.

본 연구에서는 앞서 연구된 광섬유 온도센서를 위한 InP의 광학적 특성 연구<sup>[6]</sup>에 이어서 -30 °C ~ +150 °C 온도 범위에서 선형성이 우수한 InP 반도체 소자를 이용한 광섬유 온도 센서 시스템을 설계하고 실험하는 과정에 관하여 논한다.

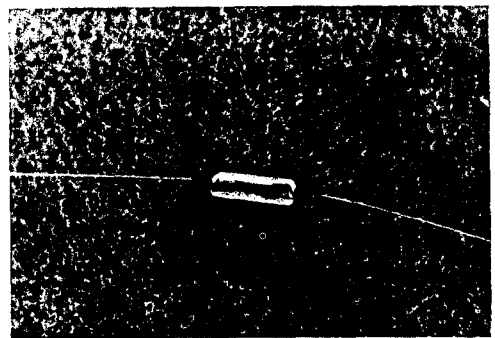
센서를 통과하지 않은 변조 신호용 LED 스펙트럼이 센서를 통과한 후 변화하는 모양을 조사한다. 최적의 온도 센서 시스템 구성을 위한 광원 구동회로, 수광회로, 그리고 신호처리 회로 설계하고 시스템 평가를 행한다. 시스템의 신뢰성을 높이기 위하여 변조 신호용 광원과 기준 신호용 광원을 구동하여 나눔으로써 외부 섭동에 의한 출력 신호의 흔들림을 최소화 하는 방안 에 대하여 분석한다.

II. 센서의 원리

제작한 광섬유 온도 센서의 구성을 그림 1에 나타낸다. 그림 1의 (a)에서 열전도도가 큰 금속 기판의 중앙부에 InP센서 소자를 두고 양면에 Glass tube로 송수신용 광섬유를 고정한다. 송수신용 광섬유는 개구수가 큰 100/140 μm인 계단형 다중모드 광섬유를 사용하였다. 송수신용 광섬유를 InP 센서 소자에 접촉시킬 때 광섬유 종단 단면의 연마상태에 의하여 결합효율이 정해지기 때문에 광섬유 절단시 단면상태를 고르게 유지되도록 해야한다. 그림 1의 (b)는 제작된 센서의 사진을 보여준다.



(a)



(b)

그림 1. 센서의 구성

(a) 센서의 형태

(b) 센서 사진

Fig. 1. Configuration of sensor

(a) Shape of sensor

(b) Photograph of sensor

그림 2는 온도 센서의 원리도로서 온도변화에 따른 기호 광흡수단 가장자리의 이동특성을 광 스펙트럼 분석기를 통하여 조사한 결과와 임의 단위에서 변조신호

용 LED 스펙트럼을 함께 나타낸 것이다. 온도가 증가함에 따라 반도체 소자의 기초 광흡수단이 장파장대로 선형적으로 이동함을 보여주고 있다. 이러한 광흡수단의 이동은 반도체 소자의 온도가 상승함으로써 반도체의 에너지 갭이 감소하기 때문에 일어나는 현상으로 해석된다. 반도체 소자의 에너지 갭은 결국 반도체 소자의 흡수 특성과 관계가 있기때문에, 이 결과를 이용하여 소자의 광흡수계수를 구하고 여러가지 소자 두께에 대한 전달특성을 구하여 광섭음 온도 센서 시스템 설계 파라미터로 이용하게 된다.

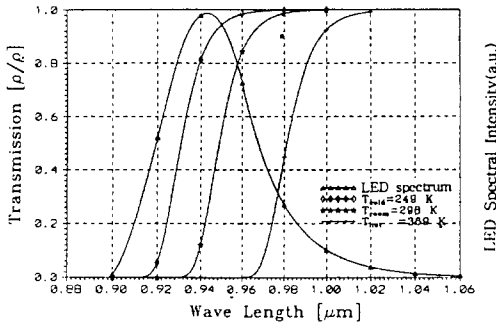


그림 2. 임의의 단위의 LED 스펙트럼과 광흡수단 이동

Fig. 2. LED spectrum in an arbitrary unit and absorption edge shift.

일반적으로 반도체 재료의 흡수계수<sup>[7]</sup>  $\Omega(\text{cm}^{-1})$ 는 아래식으로 주어진다.

$$\Omega = A\sqrt{\frac{kT}{2\sigma}} \cdot \exp\left[\frac{\sigma}{kT} \cdot (h\nu - h\nu^*)\right] \quad (1)$$

여기서  $A$ 는 반도체 센서 소자의 재료상수,  $k$ 는 볼츠만 상수( $8.615 \times 10^{-5} \text{ eV / K}$ ),  $T$ 는 온도,  $\sigma$ 는 볼츠만 계수( $3 \text{ eV}^{-1}$ ),  $h\nu$ 는 광원의 에너지,  $h\nu^*$ 는 반도체 소자의 에너지 갭과 관련되어  $h\nu^* = E_g(T) + \frac{kT}{2\sigma}$ 이고 임의의 온도에서 에너지 갭  $E_g$ 는  $E_g(T) = E_0 - \alpha \cdot \frac{T^2}{T + \beta}$ 이다. 실험에 사용한 InP(n-type)의 경우  $\alpha$ 는  $4.906 \times 10^{-4} \text{ eV/K}$  이고,  $E_0$ 는  $T=0 \text{ K}$ 일때 반도체의 에너지 갭( $E_g$ )으로  $1.42 \text{ eV}$ ,  $\beta$ 는 Debye 온도( $327 \text{ K}$ )이다. 이때  $E_g(T)$ 는  $1.35 \text{ eV}$ ( $T = 300 \text{ K}$ )이고 이에 해당하는 파장은  $0.92 \mu\text{m}$ 이다. 이로부터 중심 파장이  $940\text{nm}$ , 스펙트럼폭  $50\text{nm}$ 인 LED 사용하면 온도 측정 범위가 약  $300 \text{ K}$  정도임을 예측할 수 있다.

실험에 사용한 InP 센서의 상수를 구하기 위하여 세점의 온도에서 얻어진 온도 변화에 의한 광흡수단의

이동특성 곡선의 출력 광파위를 정규화하고 각각의 에너지(파장)에 해당하는 정리하면 InP의 광흡수계수  $\Omega$ <sup>[6]</sup>는 식(2)와 같이 된다.

$$\Omega = 0.027 \exp\left[92 \cdot \left(\frac{1.24}{\lambda} - h\nu^*\right) + 0.017(T - 118)\right] \quad (2)$$

식(2)는 실험 결과로부터 얻어진 반도체 소자의 광흡수특성에 관한 식으로서 반도체의 광 흡수계수가 광원의 에너지(파장)와 반도체 소자의 에너지 갭과 온도의 함수임을 알 수 있다. 따라서 스펙트럼이 일정한 광을 반도체 센서에 투과시키고 센서의 온도를 변화시키면 반도체 센서의 에너지 갭이 변화하여 투과되는 광량이 변하므로 온도측정이 가능하게 된다.

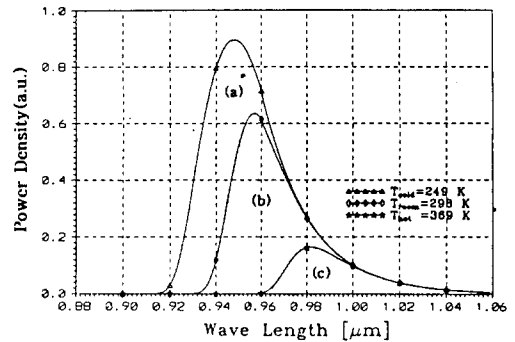


그림 3. 온도 변화에 의한 LED 스펙트럼의 변화  
(a)  $T = 249 \text{ K}$  (b)  $T = 298 \text{ K}$   
(c)  $T = 369 \text{ K}$

Fig. 3. Variations of LED spectrum due to temperature change.

(a)  $T = 249 \text{ K}$  (b)  $T = 298 \text{ K}$   
(c)  $T = 369 \text{ K}$

그림 3은 각각의 온도에 대응하여 생성된 새로운 투과광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 이 새로운 스펙트럼은 광원의 스펙트럼  $\rho_0(\lambda)$ 에 온도에 대응한 반도체 소자의 전달 특성( $T_1 = \rho_1(\lambda)/\rho_0(\lambda)$ ,  $T_2 = \rho_2(\lambda)/\rho_0(\lambda)$ ,  $T_3 = \rho_3(\lambda)/\rho_0(\lambda)$ )을 곱하여 계산한 결과를 나타낸 것이다. 온도가  $249 \text{ K}$  일때는  $\rho_1(\lambda)$ 의 스펙트럼을 갖는 광이 수광소자에 전달되고, 온도가  $298 \text{ K}$  일때는  $\rho_2(\lambda)$ 의 스펙트럼을 갖는 광이 수광소자에 전달되며, 온도가  $369 \text{ K}$  일때는  $\rho_3(\lambda)$ 의 스펙트럼을 갖는 광이 수광소자에 전달된다. 출력 스펙트럼에 대한 전체 광 파워는 온도가  $249 \text{ K}$  일때는  $P_1 = \int \rho_1(\lambda) \cdot d\lambda$ , 온도가  $298 \text{ K}$  일때는  $P_2 = \int \rho_2(\lambda) \cdot d\lambda$ , 온도가  $369 \text{ K}$  일때는  $P_3 = \int \rho_3(\lambda) \cdot d\lambda$ 의 광 파워를 갖는 광이 수광소자에 전달된다.

### III. 온도 센서 시스템 설계

#### 1. 시스템 구성

광섬유 온도 센서 시스템의 구성도를 그림 4에 나타낸다. 광강도 Referencing을 위하여 파장이 서로 다른 두개( $\lambda_w = 0.94 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_r = 1.3 \mu\text{m}$ )의 광원을 이용한다. 두 광원은 안정화 구동회로에 의하여 펄스 구동한다. 이들 두 광원은 광 커플러(X-형)에 의해 두 부분으로 나누어진다. 이들중 한쪽은 FC형 광콘넥터를 통과한 후 광센서 소자로 가서 광-전기 변환한 후 Lock in amplifier로 간다. 다른 쪽은 광-전기 변환 후 Comparative lock in amplifier로 간다. Lock in amplifier에서 나오는 두개의 전기적 신호는 분압기의 입력측으로 간다. Pw/Pr의 출력은 디지털 디스플레이에 표시된다. Comparative lock in amplifier는 LED의 출력 광파워(Pow, Por)를 안정화시키기 위하여 사용한다. 트랜지스터 온도계는 변조 신호용 LED ( $\lambda_w$ )의 온도를 일정하게 유지해주기 위한 LED의 온도 모니터용이다. 분압기는 평균 파워(여기서 ~는 시간 평균)에 비례하는 전압을 표시하고 LED( $\lambda_w$ )의 온도와 광온도 센서 소자를 제어하기 위해 사용한 트랜지스터 온도계에 의하여 측정된 온도를 표시하기 위하여 사용된다. 디지털 제어회로는 증폭기, 전류 구동회로, 분압기를 Locking하기 위하여 사용된다.

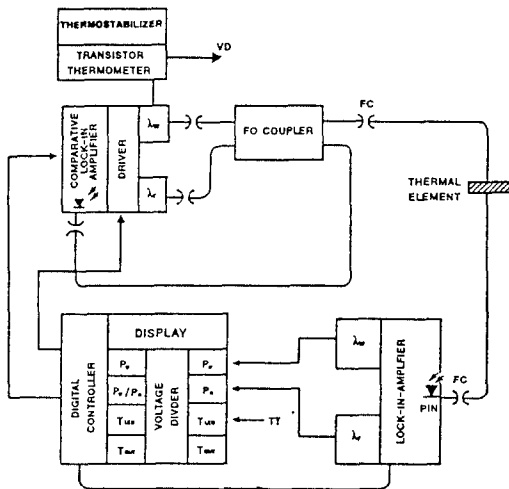


그림 4. 광섬유 온도 센서 시스템 전체 구성도  
Fig. 4. Overall configuration of fiber-optic temperature sensor system

관련 Pow 와 Por의 타이밍도 및 분압기의 원리를

그림 5에 나타낸다. 기준 신호용 LED와 변조 신호용 LED의 구동을 위해서 이중 진폭변조 방식을 사용한다. 디지털 제어회로를 이용하여 3 Hz의 디지털 신호에 3 kHz의 디지털 신호를 중첩시켜 기준 신호용 LED와 변조 신호용 LED를 교대로 번갈아 구동한다. 변조신호용 LED 광원으로는 중심파장이  $0.94 \mu\text{m}$  이고 스펙트럼 폭이 51 nm인 GaAs LED를 이용하고, 기준신호용 광원으로는  $1.3 \mu\text{m}$ 의 LED를 이용한다. 변조 신호용 LED의 출력 광 파워와 스펙트럼을 일정하게 유지하기 위하여 LED의 온도와 LED의 출력 광 파워를 각각의 트랜지스터 온도센싱 회로와 출력 광 파워 검출회로에 의하여 검출하고 내부 피드백 회로를 이용하여 일정한 온도와 일정한 광 파워를 유지할 수 있도록 회로를 구성한다.

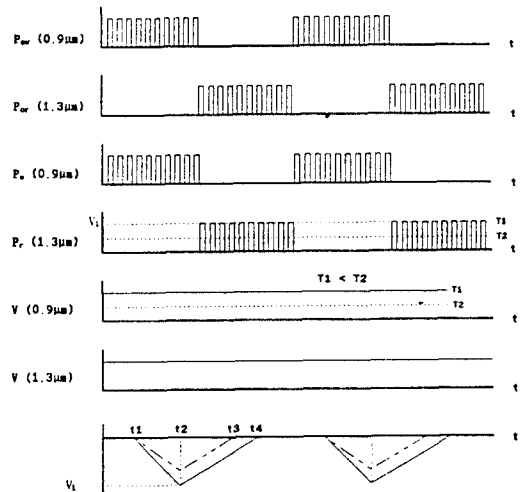


그림 5. 온도 센서 시스템 타이밍도  
Fig. 5. Timing diagram of temperature sensor system.

분압기 회로는 이중 적분형 분압기로 구성되며 원리를 설명하면 아래와 같다. 일정시간( $t_1 - t_2$ )동안 콘덴서에 온도에 따라서 변하는 변조 신호의 출력 전압이 충전된다. 이때 충전 피크 전압  $V_1(t_2)$ 는 분압기의 첫 번째 입력시 인가한 전압 즉, 변조 신호의 출력전압  $U_1$ (변조신호의 평균값)에 비례한다. 센서의 온도가 증가함에 따라서 변조신호의 평균값이 감소한다. 즉,  $T_1 < T_2$  일 때  $T_2$ 의 평균값이  $T_1$ 의 평균값보다 작다. 이 변조 신호의 출력 전압  $U_1$ 은 일정시간( $t_1 - t_2$ )동안 콘덴서에 가해진다. 기준신호의 출력전압  $U_2$ (기준신호의

평균값)의 극성이  $U_1$ 과 반대가 되도록 분압기 회로를 설계하면 콘덴서는 방전을 시작한다. 방전시간( $t_3 - t_2$ )은  $V_1$ 과  $U_2$ 에 의존하므로  $(t_3 - t_2) / (t_2 - t_1) = U_1 / U_2$ 로 된다. 전압  $U_2$ 는 분압기의 두번째 입력측에 가해진다. 시간( $t_2 - t_1$ )을 일정하게 고정하면 시간( $t_3 - t_2$ )는 0에서  $2(t_2 - t_1)$ 까지 변화할 수 있으므로 온도가 변화하면 디스플레이에 표시되는 숫자가 0000에서 1999까지 변화한다. 1999는  $U_1$ 이  $U_2$ 보다 1,999배 만큼 더 크다는 것을 의미한다. 다음의  $t_3$ 에서  $t_1$ 까지의 시간은 Zero correction을 위한 보정 시간이다.

## 2. 광강도 Referencing

진폭변조형 광섬유 온도측정 시스템에서는 광섬유의 전송손실, 광 콘넥터 손실, 그리고 반도체 소자와 광섬유 사이의 결합손실에 의한 광신호의 변화량과 온도변화에 의한 변조신호의 변화량의 구별이 쉽지가 않다. 따라서 이러한 손실에 기인한 측정정도의 저하 문제를 개선하기 위하여 두개의 LED를 사용 광강도 Referencing을 하였다. 첫번째 LED는 온도에 따라 기초 광흡수단 가장자리가 이동하는 변조신호용 광원으로 사용하고, 두번째 LED는 기초 광흡수단에서 멀리 떨어진 장파장대의 광원(온도변화에 의한 광흡수의 영향을 받지 않음)을 기준신호용 광원으로 사용하여 광강도 Referencing( $P_w/P_r$ )을 행함으로써 광손실에 의한 측정정도의 저하를 개선하였다. 광강도 Referencing을 위해서는 기준신호용 LED와 변조신호용 LED를 다중화 하여 설계한다. 광커플러를 이용하여 변조 신호 광과 기준 신호광을 다중화할 수 있다. 광커플러의 출력중 하나는 LED 출력 파워를 안정화시키기 위하여 Feedback 된다. 나머지 하나는 광섬유를 거쳐 센서를 통과하고 다시 광섬유를 통하여 수광소자에 도달한다. 이후에 Lock in amplifier에 의하여 변조 신호의 출력과 기준 신호의 출력을 분리한 후 각각의 신호를 증폭한다. 변조 신호의 출력을 기준 신호의 출력으로 나눈 후 출력한다. 이렇게 하면 최종 출력은 광섬유의 외란이나 섭동의 영향을 받지않고 온도에 의해서만 출력이 변하여 안정된 시스템 설계가 가능해진다.

## IV. 실험 및 고찰

광섬유 온도 센서의 최종 출력은 광의 파워로 나타난다. 이 경우 광파워와 광스펙트럼 사이에 다음의 관

계가 있다. 변조 신호용 광원이 센서를 통과하지 않았을 때 출력 광파워  $P_0$ 는  $P_0 = \int \rho_0(\lambda) d\lambda$ 의 관계이고, 이 변조 신호용 광원이 센서를 통과한 후 출력 광파워는  $P = \int \rho(\lambda) d\lambda$ 의 관계가 있다. 따라서 이 관계에 의하여 임의의 온도에서 출력 광파워  $P$  ( $P_1 = \int \rho_1(\lambda) d\lambda$ ,  $P_2 = \int \rho_2(\lambda) d\lambda$ ,  $P_3 = \int \rho_3(\lambda) d\lambda$ )값을 구하고 센서를 통과하지 않은 변조 신호용 광원의 출력 광파워  $P_0$ 로 나누면 센서의 입출력 특성을 알아볼 수 있다.

그림 6은 반도체 소자의 두께별 온도변화에 대한 Power density 특성곡선을 나타낸 것이다. 반도체 소자의 두께가 증가할수록 특성곡선이 좌측으로 이동함을 알 수 있다. 반도체 소자의 두께가  $72\mu\text{m}$ 와  $398\mu\text{m}$ 일때의 특성을 비교해보면 전체적인 특성곡선이 좌측으로 37 K만큼 이동하였음을 알 수 있다. 소자의 두께를 좀더 길게 설계하면 특성곡선의 이동폭을 더 크게 할 수 있다. 이와 같은 특성에 의해 반도체 소자의 두께를 길게 할수록 낮은 온도에서 선형성이 우수해지고 짧게 할수록 높은 온도에서 선형성이 우수해진다. 소자의 두께가 증가할수록 같은 온도에서 출력 광파워가 감소하는데, 이것은 센서의 두께가 증가할수록 기초 광흡수단이 장파장 영역으로 이동하기 때문에 일어나는 현상이다. 임의의 두께의 센서에 있어 온도가 증가할수록 광출력은 온도에 반비례하여 감소하는데, 이는 반도체 소자 InP의 기초 광흡수단이 장파장대로 이동하여 결국 출력 스펙트럼이 감소하기 때문이다.

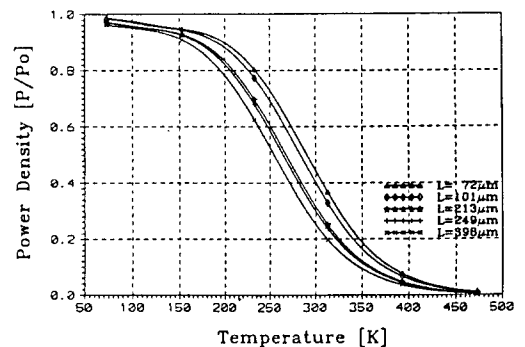


그림 6. 온도변화에 따른  $P/P_0$  값의 변화

Fig. 6. Variations of optical power ratio  $P/P_0$  with temperature change.

본 연구에서 구현한 광섬유 온도 센서 시스템을 이용하여 온도 측정 실험을 하였다. 그림 7은 광섬유 온도 센서 시스템의 입출력 특성을 보여준다. 가로축은

피측정 온도를, 좌측의 세로축은 센서의 출력율, 우측의 세로축은 오차( $P_o$ , 드리프트 오차, 랜덤오차)를 나타낸다. 광파워  $P_o$ 의 드리프트에 의한 오차는 LED의 출력 광 파워의 변동에 의하여 발생하는 오차(다른 LED가 안정하다고 할 때)를 나타낸 것이다. 이 특성 곡선은 변조신호용 LED( $0.94 \mu\text{m}$ )에 대하여 광파워의 변동율( $\Delta P_o/P_o$ )이 1%이고, 기준신호용 LED( $1.3 \mu\text{m}$ )에 대하여는 광파워의 변동율( $\Delta P_o/P_o$ )이 0%인 구동회로 설계시 발생하는 오차를 계산한 값이다. 랜덤 오차는 수광소자의 잡음과 디지털 분압기에 의해 발생할 수 있는 오차를 나타낸다. LED의 출력율을 증가시켜 수광소자에 입력되는 광 파워 마진을 충분히 줌으로써 오차를 줄일 수 있다. 설계 시스템으로 온도 측정 실험을 하여 온도범위( $-30 \text{ }^\circ\text{C} \sim +150 \text{ }^\circ\text{C}$ )에서 측정오차  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  이내로 온도측정이 가능하였다.

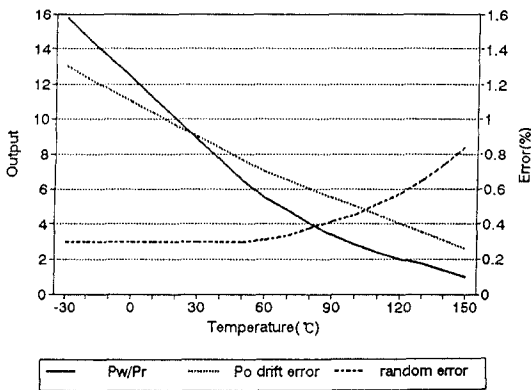


그림 7. 광섬유 온도측정 시스템의 입출력 특성  
Fig. 7. Input-output characteristics of temperature measurement system.

### V. 결론

광흡수 소자(InP)를 이용 광섬유 온도 센서 시스템을 제작하여 실험하였다. 변조 신호용 광원의 불안정 동작에 의한 영향을 줄이기 위하여 LED의 온도를 일정하게 유지하는 회로를 부가하였고, LED 출력율 Feedback시켜 기준값과 비교하는 방식으로 LED의 출력파워를 안정화 시켰다. 온도 측정시 광섬유 외란이나 섭동에 기인한 오차를 제거하기 위하여 두개의 광원을 구동 변조 신호용 광파워( $P_w$ )를 기준 신호용 광파워( $P_r$ )로 나누어 Referencing을 하였다.

실험으로 InP의 경우 단위 온도 상승시 기초 광흡

수단의 이동거리는 약  $0.42\text{nm/K}$  이고 에너지 갭은  $1.35 \text{ eV}$ (300 K)이므로 중심 파장이  $0.94\mu\text{m}$ , 스펙트럼폭  $50\text{nm}$ 인 LED 사용시 온도 측정 범위는 약 300 K 정도임을 예측할 수 있었다.

본 연구에서 구현한 시스템을 이용 온도측정 실험을 행한 결과  $-30 \text{ }^\circ\text{C} \sim +150 \text{ }^\circ\text{C}$  범위에서  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  이하로 온도 측정이 가능하였다.

광섬유가 두개의 LED에 의하여 다른 여기모드로 동작할때 손실변화가 두파장( $\lambda_w = 0.94 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_r = 1.3 \mu\text{m}$ )에 대하여 서로 다르게 나타난다. 이러한 경우 광 콘넥터 사이의 거리가 증가하거나 외부 섭동이 가해진다면  $P_w/P_r$  값이 일정한 값이 되지 않고 손실특성이 경우에 따라 다른 경우가 있으므로 센서 시스템의 안정도를 높이기 위해서는 여기 모드의 제어가 필요하다.

### 참고 문헌

- [1] G. B. Hocker, "Fiber-optic sensing of pressure and temperature," *Appl. Opt.*, Vol. 18, No.9, pp. 1445-1448, 1979.
- [2] T. G. Giallorenzi, et al., "Optical fiber sensor technology," *Journ. of Quantum Electron.*, Vol. QE-18, No.4, pp. 626-665, 1982.
- [3] 久間和生 外 "光ファイバセンサ(基礎と應用)" 情報調査會, 1986.
- [4] B. Culshaw, J. Dakin, "Optical fiber sensors: systems and applications" AR-TECH HOUSE, 1989.
- [5] K. Kyuma, S. Tai, T. Sanada, and M. Nunoshita, "Fiber optic instrument for temperature measurement," *Journ. Quantum. Electron.*, Vol. 18, No. 4, pp. 676-679, 1982.
- [6] 김영수, 신견학, 전병실, "광섬유 온도센서를 위한 InP의 광학적 특성 연구," 센서학회지, 제 3 권, 제3호, pp. 36-44, 1994
- [7] С. Л. Галкин и др. Волокonn - оптический датчик мемпературы С сен сором на арсенде гал лця. Цзданце Лзвецця Вуз ов. Пв цбороенце. Цзданце Ленин грского цнеишту цнеишута. Т очной механц и опішкц : 1990-Том xxxш N7 - С.75 - 80

## 저 자 소 개



金永洙(正會員)

1959年 1月 4日生. 1982年 전북대학교 전자공학과 졸업. 1984年 전북대학교 대학원 석사학위 취득. 1994年 전북대학교 대학원 박사학위 취득. 1984年3月 - 현재 한국전기연구소 광응용시스템 연구팀 선임연구원. 주관심분야는 광섬유 센서, 광센서 Networking, 분포형 광섬유 센서 및 신호처리 등임.



金堯禧(正會員)

1944年 10月 2日生. 1992年 경희대학교 전자공학과 대학원 공학박사 취득. 1964年-1981年 한국전력공사 계통운용부, 전자계산소, 기술연구원(실장대리). 1981年-현재 한국전기연구소 계통연구실장, 전력통신연구실장, 광응용연구팀장, 전력전자연구부장(책임연구원). 주관심분야는 광저자 및 광응용센서 등임.