

광섬유를 이용한 형광식 온도센서 시스템에 관한 연구

임창만, 김현덕, 이명구, 박민용
연세대학교 공과대학 전자공학과

A study on Temperature measurement system
with Optical fiber and fluorescent material

Im Chang Man, Kim Hyun Duck, Lee Myong Gu, Park Mignon
Dept. of Electronical Eng., Yonsei University

Abstract

This paper is dedicated to a research on fluorescent temperature-sensor system, which analyses the characteristic of fluorescent material and observes the relation between temperature and time delay of reflected beam from red light through experiment.

From the experiment, We know that the reflected beam from fluorescent material has some time delay.

The intensity of reflected beam is inversely proportional to the temperature around the material.

1. 서론

본 논문은 광섬유를 이용한 형광식 온도센서 시스템에 관한 연구로서 형광물질의 특성을 분석하고 고감도 적색광을 형광체에 반사시켜 온도와 반사광의 지연시간의 관계를 실험으로 알아보았다.

실험에서는 0.25mm의 광섬유와 YE, (Yr, Eb)의 형광물질을 사용하였으며, 광신호의 입사와 반사광의 양이 속정에 미치는 영향이 아주 크기때문에 고휘도의 적색레이저 다이오드 및 고감도의 포토다이오드를 사용하여 측정하였다.

실험결과 형광체에서 반사하는 광의 파형은 지연시간을 갖고 있었으며 형광체 주변의 온도가 낮을 때에는 반사광의 휘도 첨두치가 크게 나타나고 반대로 형광체 주변의 온도가 높을 때에는 휘도 첨두치가 낮음을 알 수 있었다.

입출력 신호의 분석과 지연시간 계산을 위하여 16Bit 컴퓨터를 사용하였으며 실험을 통해서 광손실이 신호검출에 미치는 영향이 대단히 큼을 알수있었고 이를 줄이기 위하여 광 결합기의 정밀한 접속이 필요하였다.

본 연구결과 광섬유를 이용한 형광식 온도측정 기술은 광의 특성상 주변환경의 영향을 거의 받지 않기때문에 앞으로 많은 부분에서 실용화 가능성이 있다 하겠다.

2. 형광식 온도계속시스템의 설계

2.1 측정원리

광섬유를 이용한 형광식 온도센서 시스템은 접속식 온도 측정기기로서 기본원리는 다음과 같다. 형광물질에 빛이 입사하면 발광하는 빛이 지연시간을 가지고 입사파와는 다른 파형을 띠며, 이파형이 온도와 일정한 관계를 유지하게 되는데 이 파형을 측정하여 온도를 측정하는 것이다.

발광하는 광을 측정하는 방법은 그 특성에 따른 파형의 적분휘도곡선을 분석하는 방법과 지연시간을 계산하는 방법이 있으며 본 논문에서는 전자를 택하였다.

형광체에 강한 펄스 형태의 가시광선을 조사하면 형광체에서 빛을 흡수하였다가 일정시간동안 방사하게 되는 특성이 있으며, 특히 형광체 주변의 온도가 낮을수록 반사광의 휘도 첨두치는 크게 나타나고 반대로 고온에서는 휘도첨두치가 작게 나타난다. 주위온도에 따라 형광체에서 반사되

는 빛의 파형을 분석하여 보면 반사되는 빛의 간광적분 위도의 크기가 일정한 변화곡선을 알수있다.(그림 2-1 참조)

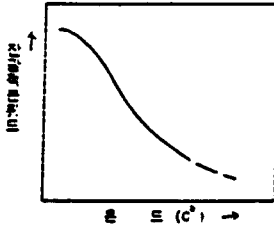


그림 2-1 간광적분위도의 온도특성

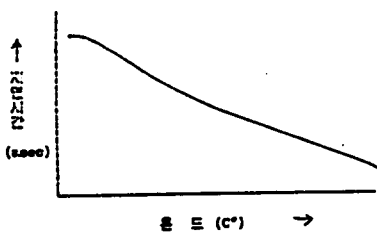
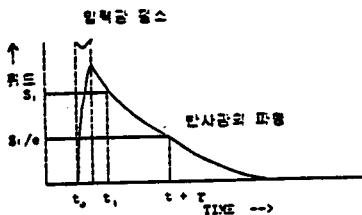
그림 2-2에서 보는 바와 같이 입출력 신호는 아주 다르게 검출되게 되는데 이는 형광체에서는 빛이 반사될때 지연시간을 갖고 여기발광하기 때문이다. 이때 반사광 파형의 최고치인 I_0 와 반감기인 $I_0/2$ 의 시간을 분석해 지연시간을 계산하고, 이값을 온도에따라 변화시켜보면 그림 2-3와 같은 관계를 갖게 됨을 알수있다. 이를 지연시간-온도곡선이라 한다.

반사광은 실제로는 아주 미약한 광신호가 검출되며 이 빛을 포토다이오드에 의하여 검출 증폭하고 다음식에의하여 계산하게된다.

$$I(t) = I_0 e^{-t/d} \quad (2-1)$$

여기서 I_0 는 $t = 0$ 에서의 I 이고 d 는 지연시간이다.

또한 $d = |t_2 - t_1| / \ln(2)$ 로써 I_0 에서 $I_0/2$ 까지의 시간이다.



이러한 형광체의 성질을 응용, 형광 물질들을 이용한 화이버 광학 센서를 제작하여 온도센서로서 활용할 수있다. 광 화이버를 이용한 형광식 온도센서의 두가지 특징적인 성질로서 첫째는 형광물질 자체의 재료에따라 빛의 감도가 달라지며 둘째로 입사광의 종류에 따라 형광체의 반사특성이 변화될 수있다는 것이다.

2.2 측정 시스템의 구성

본 연구에서는 형광체에 빛을 쬐어 여기 발광하게 할때 온도에 따라 그 파장이 지연시간을 가지고 반사하여, 온도와 지연시간과의 관계가 일정한 곡선으로 나타나게 되는 것을 이용하여 광검속을 위한 광학부와 형광물질로 구성된 감지부 및 검출된 파형을 분석하는 신호처리부 등을 설계하여 온도측정 시스템을 구성하고 이를 여러 온도조건에서 실험하여 그결과를 비교 분석하였다.

본 연구를 수행하기 위한 광학부의 구성은 이론상 원리는 간단하나 형광체에서 빛을 흡수 여기 발광하는 양이 입사광보다는 아주 적기 때문에 광손실을 최소화하기 위하여 직선성이 강한 레이저다이오드를 사용하였으며 집광렌즈를 사용하여 빛의 분산을 막고, 고감도의 포토다이오드를 사용하여 반사광의 검출을 용이하도록 하였다.

또한 검출된 신호의 분석과 온도와 지연시간을 측정하기 위하여 신호처리부를 설계, 구성하고 이를 연산제어를 위하여 16Bit 컴퓨터를 이용하였다.

본 연구에서 형광체에 펄스 형태의 단속적인 광을 입사하였을 때 형광체에서 반사되는 여기광은 일정한 형태의 여기시간을 갖는 파형으로 나타났으며 온도의 변화에 따라 파형의 변화가 뚜렷함을 알 수 있었다.

2.3 광 화이버의 특성및 광학장치

광 화이버를 이용 형태상으로 분류하면 광정보 전달을 사용하는 단심화이버, 광 에너지 전송용 화이버 및 화상을 직접 전송하는 이미징화이버가 있으며, 구성재료로 분류하면 석영계, PCF(Plastic Clad Fiber), 다성분 유리, 플라 스틱 필 적외선용 화이버가 있다. 이중 석영계 화이버는 가시광에서 $2\mu\text{m}$ 부터 $20\mu\text{m}$ 대의 적외선광에 대하여 투명한 광

화이버가 연구되고 있는데, 이용 목적은 $10.6\mu\text{m}$ 의 CO_2 레이저 광을 사용한 레이저가공, 레이저 메스등의 에너지 전송이지만 최근 계속분야에서 적외선 분광분석이나 저온용 방사온도계등 많은 응용이 시도되고 있다.

광 화이버를 사용하여 광전송 또는 계속하기 위해서 필요한 발광소자와 수광소자의 대표적인 특성은 $0.8\mu\text{m} - 1.0\mu\text{m}$ 의 단파장 대용은 발광소자에 GaAs 계 발광 다이오드 및 반도체 레이저(LD)가, 수광소자는 Si계 포토 다이오드가 사용되고 있다. $1.1\mu\text{m} - 1.6\mu\text{m}$ 의 장파장대는 $1.3\mu\text{m}$ 용이 실용화되고 있다. 발광소자에는 InGaAs계 화합물 반도체가, 수광소자에는 Ge계 에벌랜치 포토 다이오드(ADP)가 사용되고 있다.

한편 계속 시스템을 유연성있고 또 기능을 향상시키기 위해서 광분리기, 광분파기, 광스위치 등의 광컴포넌트를 사용하여 쌍방향 파장다중등의 광전송 회로구성이 실용화되고 있으나, 이들은 모두 빛의 공간반전을 이용한 광학계 방식으로 구성되기때문에 각 소자가 뜨고 기계적인 안정성이나 신뢰성, 경제성 등에서 개선이 요망되고 있다.

2.4 기본 회로의 구성

광섬유를 이용한 형광식 온도센서 시스템의 블록다이어그램은 그림 2-4와같이 발광다이오드와 펄스제너레이터로 구성된 광원 및 광신호의 통로인 광학부, 형광체로 구성된 온도감지부, 포토다이오드로 구성된 검출부, 측정회로 및 연산제어부 등으로 구성되며 시스템의 각 단위별 기능은 다음 그림과 같다.

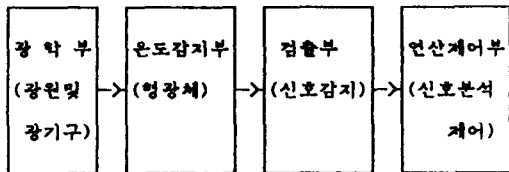


그림 2-4 온도측정 시스템의 블록다이어그램

2.5 신호처리 시스템

광학부를 제외한 발광신호의 입력반사광의 증류 분석을

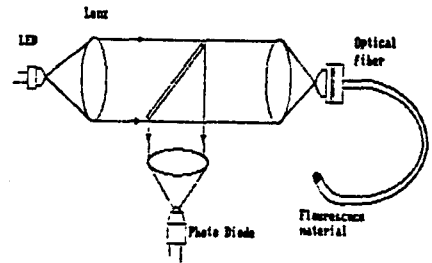


그림 2-5 광학부의 개념도

표 2-1 광신호의 흐름도

구동전류 → LED → 집광렌즈 → 하프밀러 → 집광렌즈 → 화이버 → 형광체(반사광) → 화이버 → 집광렌즈 → 하프밀러 → 집광렌즈 → 포토다이오드 → 신호전류

온도를 측정하는 기본 회로의 블록다이어그램은 그림 2-6와 같이 구성되어 16비트 컴퓨터에 연결 연산 제어 하게 된다.

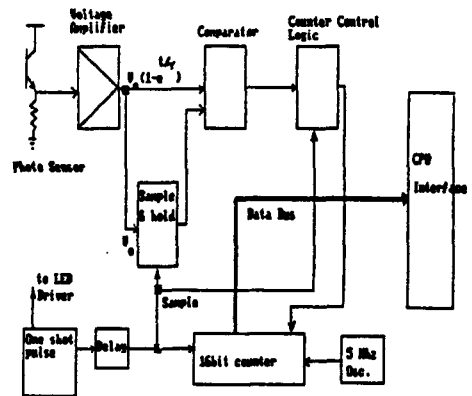


그림 2-6 시스템의 신호처리부 블록다이어그램

3 실험 및 결과 고찰

3.1 형광체의 반사특성 측정

광화이버를 이용한 형광식 온도센서의 온도특성변화를 측정하기 위해 그림 3-1과 같이 실험장치를 구성 하였다.

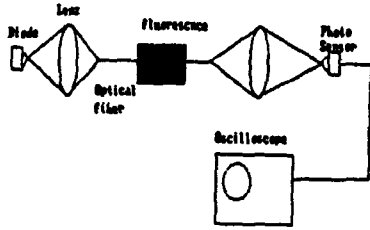


그림 3-1 측정회로

실험에서 사용된 레이저 다이오드는 100mW급의 적색광을 발하는 다이오드로 파장은 632 nm 이다. 다이오드에서 나온 빛은 배율이 20배인 대물렌즈를 통과하면서 광섬유에 접속 되어 형광체에 전달 되고 형광체에서는 일정한 시간 동안 잔광으로 여기광 하여 광섬유를 통하여 포토센서에 전달 되게 된다.

광섬유 및 형광체는 AMOTH 제품으로 광섬유는 0.25mm의 길이 1.5M 이고, 형광물질은 YE 를 사용 하였다. 형광체에서 여기된 잔광으로 광섬유를 통하여 나온 빛은 대물렌즈에서 집속 되어 포토다이오드에 의해 광센서가 검출된다.

포토다이오드에서 검출되는 빛의 파형을 분석하기 위하여 포토센서와 오실로스코프를 연결하여 형광체에 온도변화를 주면서 파형을 비교 측정 하였다. 본 연구에서 쓰인 형광물질은 적정 측정 온도 범위가 이론상으로 $-40^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ 이나, 실험에서는 형광체 주변의 온도를 $0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ 에서 변화 시켜 측정하였다.

3.2 파형의 분석 및 지연시간 특성

포토다이오드에 의하여 검출된 신호는 그림 3-2 과같이 나타나며 이를 온도변화에 따른 잔광적분 휘도곡선으로 분석하여 보면 그림 3-3 와같이 나타나고 있음을 알 수 있다.

동 특성 실험 결과로 산출된 잔광적분 휘도 곡선은 지연 시간을 계산하는 것보다 휘도적인 면적이 정확한 감도를 가지게 됨을 알 수 있다. 측정값을 가지고 온도와 적분휘도 곡선을 구해내면 본 온도 시스템으로 온도를 실측 할 수 있게 된다.

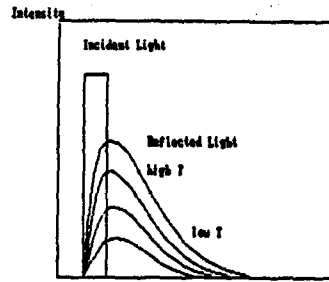


그림 3-2 온도변화에 따른 잔광파형

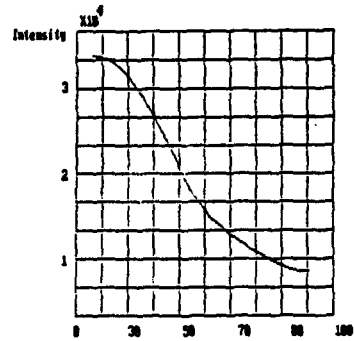


그림 3-3 잔광적분휘도의 온도 특성

4 결과 및 고찰

실험결과 광화이버를 이용한 형광식 온도센서의 온도와 반사광과의 관계는 형광체 주변의 온도가 고온일 때는 휘도첨두치가 크게 나타나고 저온일수록 적게 나타남을 알 수 있으며 입사된 펄스형태의 파형과는 달리 일정시간 지연됨을 확인 하였다.

실험결과 분석된 반사광의 파형을 사진 4-1 에서 나타내었다. 사진에서 보는바와 같이 온도에 따른 파형의 상태는 지연시간을 계산해 내는 것보다 잔광파형의 면적 즉 잔광적분휘도와 온도곡선의 관계를 찾아내느것이 고감도의 온도측정이 가능 하다는 것을 알 수 있다. 실험에서 알 수 있듯이 형광체의 구조적 특성은 빛을 흡수, 발광 하는 성질이 온도에 따라 현저하게 변화 하고 있음을 보여준다. 특히 형광체에서 흡수되는 에너지의 손실 때문에 형광체의 반사잔광은 반드시 입사광 보다 파형이 길어 지며 자외선을 조사시에는 색깔이 변하게 됨을 알 수 있다.

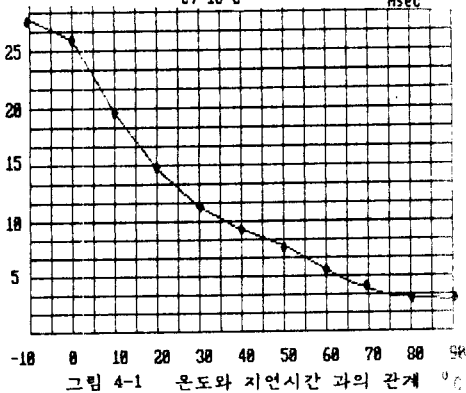
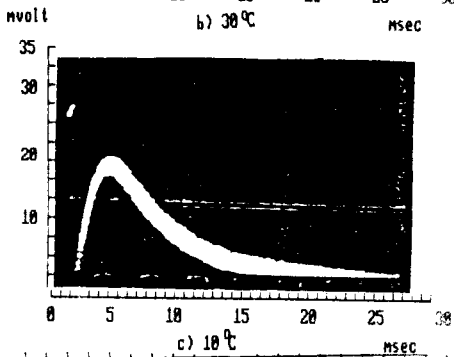
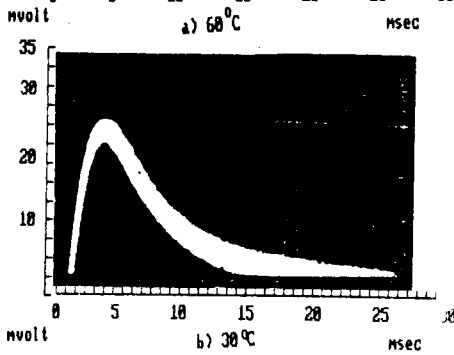
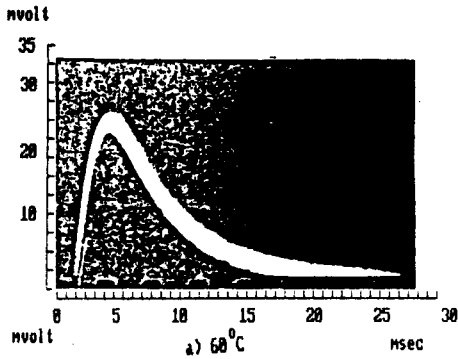


그림 4-1 온도과 지연시간과의 관계 °C

5 결론

본 논문에서는 광섬유를 이용한 형광식 온도센서 시스템을 구성, 실험 하였다. 실험에 앞서 광섬유의 입출력 휘도를 분석하여 발광다이오드의 입사광이 형광체에 전달되는 전달 계수를 알아 보았으며 형광체의 특성상 광학부의

정확한 장치구성 조건하에서는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

형광체에 여기광을 입사하게 되면 형광물질은 빛을 흡수하였다가 발광(형광)하게 되는데, 흡수와 발광의 과정에서 에너지 전이가 일어나고 이때 형광체 주변의 온도변화는 형광체의 흡수와 발광의 상호작용에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

실험결과 형광체의 반사광은 주변의 온도변화에 따라 민감하게 변화함을 알 수 있으며 특히 0°C - 60°C에서 파형이 크게 변함을 알 수 있다. 파형의 분석으로 나타난 온도와 적분휘도곡선의 관계는 정확한 온도측정에 반드시 선행되어야 할 과제이며 본 연구에서는 그 가능성을 제시하는데 그 의의를 찾을 수 있다. 본 연구에서 쓰인 형광물질은 측정 온도 범위가 -40°C - 200°C 이었으나, 형광물질의 종류에 따라 고온특성 저온특성이 달라질 수 있어 생체용, 화학용, 공업용 등에 각기 적당한 형광물질을 이용한 온도센서의 가능성을 시사 하고 있다. 동 온도시스템의 장점은 앞에서 언급 하였듯이 주변환경의 영향을 거의 받지 않음으로 고온, 고전압, 폭발물, 화학약품, 식품제조 등 그 응용범위가 광범위하여 앞으로 많은 연구가 진행 되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. Thoms G. Giallorenzi, "Optical fiber sensor technology", J. of Quantum Electronics, Vol. QE-18, No.4, pp.626-665, 1982
2. G.B. Hocker, "Fiber Optic sensing of pressure and temperature", Applied Optics, Vol.18, No9, pp. 1445-1448, 1979
3. Toshihiko Yoshino, Kiyoshi Kurosawa, Katsuji Itch, "Fiber-Optic Fabry-Perot Interferometer and its sensor application", IEEE J. of Quantum Electronics, Vol. QE-18, No.10, pp.1624-1633, 1984.
4. Kenneth A. Wickersham and Mei H. Sun, "Fiberoptic Thermometry and its Applications", J. Microwave power and electromagn, Vol.22, No.2, pp 85 - 93, 1987
5. Giallorenzi T.G, "Optical-fiber Sensor Challenge the Competition", IEEE J. Optoelectron, Vol.134, No.5, pp.291 - 294, 1987