

Flourescence 원리를 이용한 광온도 계측 시스템 개발에 관한 연구

홍성수*, 김만식, 송우성, 양길호, 오면택*, 이복규*, 계광희, 김기대
금성전선(주)연구소, 한국전력공사 기술연구원*

A Study on the Implementation of the Optical Fiber Temperature Measurement System Using the Principle of Flourescence

S.S.Hong*, M.S.Kim, W.S.Song, G.H.Yang, M.T.Oh*, B.k.Lee*, K.H.Keh, K.D.Kim

Goldstar Cable co., R&D Lab., KEPCO Research Center*

요 약

본 논문에서는 광학적 온도계측 시스템의 장점을 지니면서 비교적 광학계 구성이 간단한 flourescence를 이용한 광온도 계측 시스템의 개발과 그 응용에 관한 내용을 다루었다. 이 광온도 계측 시스템은 형광 물질에 특정 파장의 빛을 입사한 후, 형광이 사라지는 시간(decay time)이 온도에 따라 일정하게 감소한다는 원리를 이용하여 온도를 계측한다. 현재 전자기적 환경이 열악한 발/변전소의 온도정보를 이용한 원격감시시스템에 응용하기 위한 목적으로 개발중이며, 향후 발전소의 종합 광계측 시스템의 구현에 새로운 전환점이 되리라 기대된다.

서 론

기존의 전기식 온도센서를 이용한 온도계측 시스템이 전자기적 잡음에 큰 영향을 받는다는 문제점이 있는 반면, 광온도 센서를 이용한 계측시스템은 광이 가지고 있는 여러가지 장점때문에 기존의 시스템의 단점을 해결할 수 있다. 이러한 광이 갖는매력 때문에 다양한 종류의 광온도 센서가 개발되고 있다. 적외선 방사, photoluminescence 온도센서, flourescence 온도센서 등이 그것이다.

본논문에서는 다른 방식에 비해 주위환경에 영향을 적게받으므로 비교적 광학계의 구성이 용이하고 정확한 측정이 가능한 flourescence 온도센서 방식을 채택해서 발/변전소와 같이 전자기적 환경이 열악한 곳에 응용하기 위한 광온도 계측 시스템을 소개하고자 한다.

1. 광온도 센서

적외선 방사 방식은 그 방사율이 물체에 따라 온도가 달라지기 때문에 온도의 절대치를 측정하기가 곤란하고, Photoluminescence 온도 센서를 이용한 시스템은 GaAs 칩(chip)에 특정 파장의 빛을 인가하면 온도에 따라서 방출되는 파장이 변한다는 원리를 이용하여 두 개의 파장을 적절히 선택해서 각 파장에서의 광출력을 측정하는데, 이는 동일한 wafer상의 칩들도 약간의 특성차가 있기 때문에 표준화가 어렵고, photoluminescence가 입사광량에 비례하므로 광원 출력의 변화에 영향을 받는 단점이 있다.

반면, flourescence 온도 센서를 이용하는 시스템은 빛을 입사한 후 입사량이 사라지면 형광이 지수함수적으로

감소하게 된다. 이것을 잔광시간이라 하는데, 잔광시간이 온도에 반비례하는 원리를 이용하여 온도를 측정하는 것으로, 이 방식은 다른 방식에 비해 자기의 세기변화나 광섬유의 굴곡과 같은 주위환경에 영향을 적게 받으므로 비교적 쉽고 정확하게 온도 측정이 가능하다는 장점이 있다.

2. 온도 측정원리

형광물질에 빛을(λ_1) 입사하면 그 빛에너지를 흡수했다가 다시 안정된 상태를 유지하기 위해 특정파장(λ_2)의 빛을 방출하는 형광특성을 이용하여 온도를 측정하는데 형광물질내에서의 electron-hole 생성과 재결합 과정은 그림1와 같다.

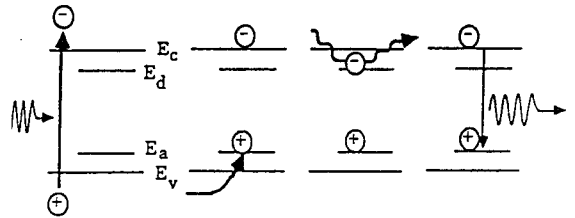


그림1. 형광 물질 내에서의 electron-hole 생성과 재결합 과정

형광유지시간(lifetime)은 아래와 같이 표현된다.

$$\text{형광유지시간} \approx Q \exp[(E_c - E_d) / kT] \quad (1)$$

여기서 $Q : 10^{-8}$ sec
 E_c : conduction band
 E_d : donor band

k : boltzman 상수(1.38×10^{-23} JK⁻¹)
 T : 절대온도.

이다.

형광유지시간은 (1)식에서처럼 주위온도에 반비례하는 특성을 갖고 있다. 결과적으로 형광유지시간을 측정함으로써 상대적인 온도를 알 수 있다.

3. 광온도 시스템의 전체 구성

이 시스템은 크게 광학부와 전자회로부로 나눌 수 있으며, 전자회로부는 아날로그 회로부와 디지털회로부로 구분되는데, 아날로그 회로부(analog part)는 광신호를 전기적 신호로 변환하는 광전변환 회로(photo detector)를 비롯하여 이 전기적으로 변환된 신호에 포함되어 있는 온도정보를 찾아내는 아날로그 회로로 구성되고, 디지털 회로부는 아날로그 회로에서 찾아낸 온도정보를 온도로 환산하기 위한 카운터 회로 및 이 값을 저장하는 버퍼(buffer)로 구성된다. 그밖에 전원공급 장치 및 구동장치들이 있다. 아래의 그림2은 광온도 시스템의 블록 다이어그램을 보여주고 있다.

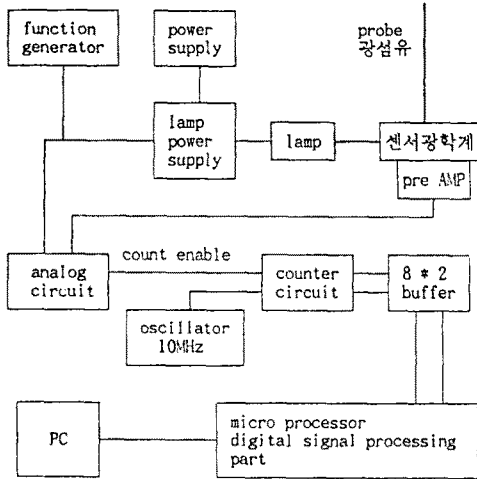


그림2. 광온도 계측시스템의 블록 다이어그램

3.1. 광학계

광학계 구성은 그림3과 같이 램프광학계와 센서광학계로 나누어진다.

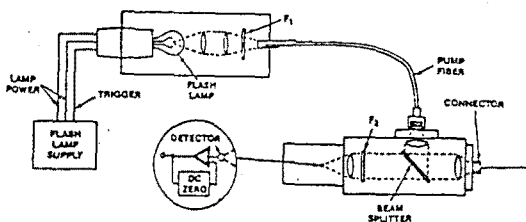


그림3. 광학계 구성

램프에서 출력된 광은 집광용 렌즈의 조합에 의해 광섬유로 집속하게되며, 이때 청색부와 필터(F1)에 의해 여기에 필요한 청색광만 통과하게 된다. 광섬유를 진행한 청색광은 콜리메이팅 렌즈(collimating lens)에 의해 평행광이 되고, 빔분할기(beam splitter)를 통해 광섬유로 보내진다. 이 광은 집속렌즈에 의해 센서광섬유로 집속되며, 센서광섬유 끝에 있는 센서물질(형광물질)에 입사하여 파장이 다른 광(적색)으로 형광 되게 한다. 형광된 광은 센서광섬유를 통해 센서광학계로 입사되어 파장분할기를 거쳐 수광 소자 쪽으로 보내지며, 이때 적색 투과필터(F2)을 통해 순수한 적색광만을 통과 시킨다. 이 적색광이 원하는 신호이며, 적색광의 잔광시간을 측정하므로써 상대적인 온도를 알 수 있게 한다.

3.2 전자회로부

디지털 회로부는 두 부분으로 나눌 수 있는데, 비교기 출력을 받아 신호레벨이 high상태인 동안 카운트하는 부분과 이 카운트된 신호를 저장하는 버퍼부분이다. 카운터는 보다 정확한 잔광시간을 측정하기 위해 10MHz oscillator를 사용하였다.

그림4는 한 주기에 대한 전체 시스템의 타이밍 다이어그램을 보여주고 있다.

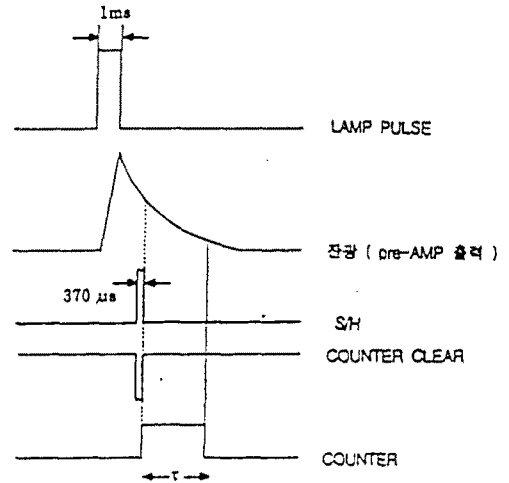


그림4. 타이밍 다이어그램

램프 트리거 펄스의 폴링에지에서 폭이 약 370µs인 서로 반전된 두 개의 펄스를 만들어 그 하나는 샘플앤홀드(sample & hold)신호와 카운터 클리어(counter clear)신호로 사용한다. 그림4에서 처럼 우리가 얻고자하는 잔광시간은 비교기 출력신호의 high상태 중에서 카운터를 클리어하고 난 이후 동안의 시간이 된다. 한편, 비교기 출력신호의 폴링에지에서 폭이 100µs이하의 짧은 펄스를 만들어 버퍼의 래치 인에이블(latch enable)신호로 사용하여 측정된 잔광시간을 저장한다.

이 저장된 잔광시간은 마이크로프로세서에서 필요한 시기에 읽어들이어 소프트웨어에 의해 온도로 환산되는 중요한 데이터가 된다.

4. 실험 및 고찰

온도와 잔광 시간과의 관계를 측정하기 위하여 그림5와 같이 실험장치를 구성하였다. 램프에서 나온 청색광은 램프 광학계 내의 비구면렌즈에 의해서 대구경 광섬유로 들어가고 이 빛은 센서 광학계 내의 청색 필터와 광분할기를 통과하여 센서 광섬유에 입사된다. 이 청색광은 센서 광섬유의 끝단에 발라져 있는 형광물질에 의하여 빨간색의 형광을 방출된다.

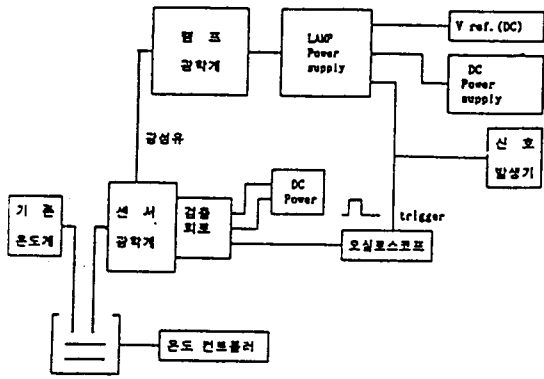
온도 정보를 갖고있는 적색광은 광섬유에 다시 입사되어 되돌아오고 센서 광학계와 광검출회로에 의해 전기적 신호로 바뀐다.

이 신호에서 전자회로 신호처리과정을 통해 감쇄시간을 구할 수 있으며 그 감쇄 시간으로부터 측정하고자하는 온도를 간접적으로 알 수 있다.

결 론

본 논문에서는 최근 여러 분야에서 활발한 연구가 진행 중인 광계측시스템 중에서 fluorescence 온도센싱 방식을 이용한 광온도 계측 시스템의 개발에 관한 내용을 다루었다. 일반적으로 많이 쓰이는 thermocouple, thermister 와 같은 전기식 온도센서를 이용하는 시스템은 EMI의 영향을 크게받기 때문에 전자기적 환경이 열악한 곳에서의 응용이 매우 어렵다. 반면에 적외선 방사, photoluminescence, fluorescence를 이용하는 광학식 온도계측 시스템은 구성이 어렵기는 하지만 전기적 절연성 때문에 고전압 변압기, 송전선 감시, 고주파 가열로와 같은 응용분야에 적용이 용이 하다.

본 논문에서 다룬 광온도계측시스템은 상대적으로 장점이 많은 fluorescence 원리를 이용한 온도 계측 시스템으로서 전자기적 영향이 심한 발/변전소의 온도정보를 이용한 원격 감시시스템에 응용하기 위한 목적으로 개발 중이며, 향후 발전소의 광온도 계측 시스템의 구현 새로운 전환점이 될 것으로 기대된다.



온도 범위 : 30°C ~ 220°C (1°C/분)

그림5. 온도 실험 장치

그래서 항온조의 온도를 30°C 부터 220°C 까지 증가시키면서 감쇄 시간을 측정하여 항온조의 온도와 잔광시간의 그래프를 그림 6에 나타내었다. 위 결과로 부터 잔광시간과 온도와의 관계가 선형적임을 확인할 수 있었다. 온도와 잔광시간과의 관계를 나타내는 최적의 함수식을 구해보면 식(2)과 같다.

$$T = a_0 + a_1 * t + a_2 / t \dots\dots\dots (2)$$

여기서 t는 잔광시간 (decay time) 이고, 식(2)의 각 계수 a0, a1, a2 의 값을 구함으로써 잔광시간에 대응하는 온도 T를 구할수 있다.

(2)식을 이용한 그래프와 실제 측정된 온도 데이터와의 관계를 그림6에 나타냈다.

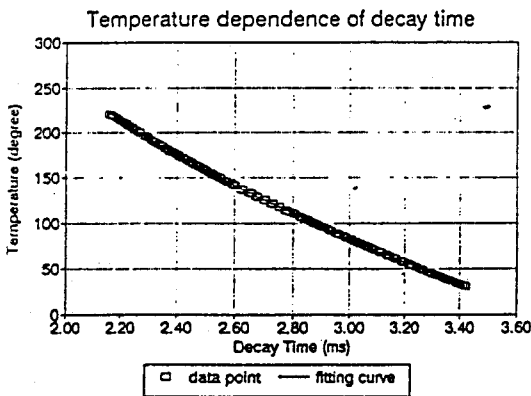


그림6. 잔광시간의 온도 의존성 그래프

그림6에서 알 수 있듯이 실제 측정된 data는 약간의 비선형 특성을 갖고 있으나, 여러번의 실험에서 얻어진 data를 식(2)의 함수에 적용하여 정확한 온도 정보를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. 岩間喜之: "光ファイバ 溫度計", OHM, pp30-32 '81
2. Hiroshi Mamashita: "耐熱型 光ファイバ 溫度計の仕様と用途", 計測技術 pp 75-77, '91
3. J.Wilson & J.F.B. Hawkes: "Optoelectronics an Introduction", Prentice Hall internation
4. 한전기술 연구원:"광시스템을 발전소 계측제어 분야에 적용방안 연구", 최종 보고서, '89
5. Zhiyi Zhang:" Sensitive fiver optic thermometer using Cr:LiSAF Fluorescence for bio-medical sensing Applications", OFC, pp93-96, '92.
6. E.W.Saask:"Optical temperature sensor for transformers", Electronic Power Research Institute Report, '86.
7. K.Wickershein:"Phosphors and fiber optic remove doubt from difficult temperature measurements", Research & Development, pp114-119, '85.
8. D.E.Holmes:"Fiber optic probe for thermal profiling of liquids during crystal growth", American Institute of Physics, pp662-663, '79.
9. Ole Lumholt:"Simple fiber optic sensor", Technical University of Denmark, '91.
10. Herbert Kaplan: "Fiber optic sensor:A Boom to electric Utilitiess", Photonics, pp86-87, '91.
11. S.M.L.Sim:"fiber optic temperature sensor with wide temperature range characteristics", IEEE Proceedings, vol.134, No.5, '87.
12. S. Cecchi:"Nd³⁺ Fluorescence based fiber optic temperature sensor", TuB4-5, pp161-164, '91.