

## 광섬유를 이용한 화재 감시 시스템

이근량, 원정희

*파이버컴*

### Fire Detection System using Optical Fiber

Lee Keun Yang and Woon Jung Hee

*FibeCom*

#### I. 서론

화재에 의한 손실이 매년 증가되고 있으며, 규모도 대형화되는 추세이다. 이러한 화재를 감지하는 장비가 많이 활용되고, 신제품도 개발되고 있으나 관련 장비들은 협소한 지역만을 감시하므로 공장과 같은 대규모 시설에 대한 방재 설비로 사용하기에는 경제적인 부담이 크고 설치 효과가 미비하다. 최근 선진 해외 업체에서 광섬유를 센서로 활용하여 온도를 계측하는 광섬유 분포 온도 측정시스템을 변형하여 대규모 설비의 화재 감시용으로 활용하고 있다. 금번 논문에서는 이러한 광섬유 분포 온도 측정 시스템의 원리와 특성을 점검하고 기존의 화재 감지 방법과 비교하여 화재 감시 시스템으로 활용이 가능한가를 검토하였다.

#### II. 본론

광섬유는 일반적으로 통신용으로만 사용되는 것으로 알려져 있으나 광섬유에 여러 가지 장점을 이용하여 통신이 아닌 센서용으로 활용되고 있다. 통신용 광섬유를 센서로 사용함으로써 완벽한 절연특성과 경량, 소형의 센서가 가능하다. 이러한 광섬유 센서의 상용화는 광섬유 끝 부분을 특수 처리하여 물리량의 변화를 검지 하는 포인트 센서를 시작으로 광섬유 자체가 전부 센서의 역할을 하는 분포형 센서로 발전하였다. 분포형 광섬유 센서 분야에서도 온도를 측정하는 분야는 오래 전부터 연구, 개발이 되어 세계적으로 몇몇 업체에서 이미 상용화하여 사용되고 있다. 광섬유를 이용한 분포온도 측정 시스템은 센서가 단순히 광섬유 자체이며 측정 가능한 거리가 수km에서 최대 30km까지 가능하여 일반 온도 센서로 계측이 불가능한 넓은 지역의 온도 감시에 활용되고 있다. 이러한 특성을 이용하여 화재를 감지하는 용도로 활용한다면 기존 화재 감시 방법보다 효과적으로 넓은 지역의 화재 여부를 감시할 수 있다. 특히 최근 정보화 사회의 발달과 더불어 중요성이 증대되고 있는 전력구, 통신구, 공동구 등의 화재 예방 및 감시를 위해서는 이러한 장거리 화재 감시 시스템의 적용이 가능하리라 판단된다.

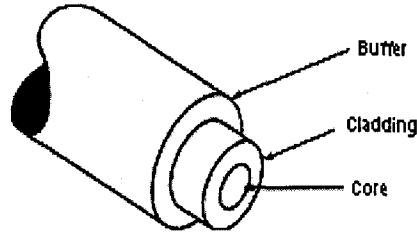


그림 1. 광섬유의 구조

1. 광섬유의 구조

광섬유는 가늘게 뽑은 고순도의 유리 섬유이다. 광섬유의 구조는 그림 1과 같이 빛이 통과하는 코어와 빛이 밖으로 누출되는 것을 막는 크래드로 구성되어 있고 외부 충격을 막는 버퍼층이 씌워져 있다. 통신에서 사용되는 광섬유는 크게 두가지 종류로 나뉘어지는데 단거리 통신용으로 코어의 구경이 넓은(50 또는 62.5um) 멀티모드 광섬유와 장거리 통신용으로 코어의 구경이 더 좁은(10um) 싱글모드 광섬유가 있다. 일반적으로 센서로 사용되는 광섬유는 광의 입사가 용이한 멀티모드 광섬유가 많이 사용되고 있으며 분포형 광온도 센서도 멀티모드 광섬유를 센서로 사용하고 있다.

2. 온도 측정 원리

광섬유에 레이저 펄스 형태의 고출력 광을 입사시키면 광섬유 내의 유리 격자(SiO<sub>2</sub>)들에 부딪혀 산란, 흡수 등이 일어난다. 산란광 중에는 입사광과 동일한 파장 성분의 Rayleigh 산란광과 다른 파장 성분의 산란광이 존재하며 이를 Raman 산란광이라 한다. 이 Raman 산란광이 온도에 반응하는 광신호이며 두 가지 파장 성분을 갖는다. 광섬유 내부의 유리 격자는 주변 온도가 절대 온도 0°C가 아니므로 주위 열에 의해서 격자가 열운동(진동)을 하고 있어 이 진동하고 있는 격자에 입사 레이저광이 부딪히면서 에너지의 흡수와 방출이 일어난다. 입사광이 석영 분자에 흡수되어 열 진동의 횡파 모드를 여기한 후 재발광하면서 광 에너지를 잃으면 입사광보다 장파장의 광(Stokes광, λ<sub>s</sub>)으로 변환되고, 횡파 모드를 흡수하고 재 발광하면서 에너지를 얻으면 입사광보다 단파장의 광(Anti-Stokes, λ<sub>a</sub>)으로 변환된다.

그림 2는 입사광이 분자에 의해 산란되는 예를 보여준다. 산란광이 발생된 위치는 광섬유 내에 빛의 속도가 일정하므로 레이저광이 입사되는 시점을 기준으로 되돌아오는 시간을 측정하면 계산이 가능하다. 일정 거리 x만큼 떨어진 곳에서 반사되는 Raman산란광의 위치는 (1)식으로부터 구할 수 있다.

$$x = v * \frac{t}{2} \tag{1}$$

v = 광섬유 내에서 빛의 전송 속도(2 \* 10<sup>8</sup>m/sec)

t = 산란광이 되돌아오는데 걸리는 시간

즉 시간을 알면 산란광이 반사된 지점을 정확히 알아낼 수 있다.

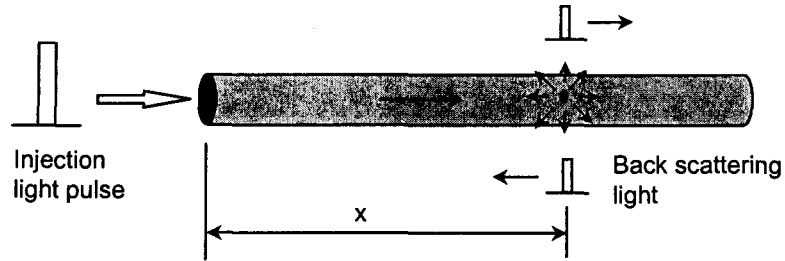


그림 2. 광섬유 내에서의 구성 입자에 의한 광의 산란

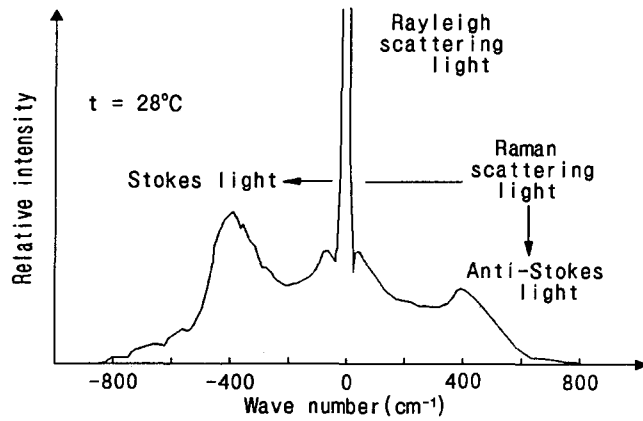


그림 3. Rayleigh 산란과 Raman 산란광의 스펙트럼

그림 3는 상온에서의 Raman과 Rayleigh 스펙트럼을 나타낸 그림이다. 그림 3에서처럼 Rayleigh 광으로부터 주파수 분리 간격이 같은 Raman 산란광 중에서 Stokes 광과 Anti-Stokes 광의 강도 비  $R(T)$ 는 (2)식과 같다.

$$R(T) = \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_a}\right)^4 \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right) \quad (2)$$

여기서  $h$ 와  $k$ 는 각각 Planck 상수와 Boltzmann 상수이고,  $c$ 는 진공중의 광속도,  $T$ 는 산란광을 수신한 광섬유 주위의 절대온도,  $\nu$ 는 입사광의 주파수이다. 이 관계식으로부터 광섬유 주위의 온도는 아래와 같이 (3)식으로부터 구할 수 있다.

$$t(j) = \frac{K_0}{K_0/\tau + f(r) - f(j)} \quad (3)$$

$$f(j) = K1[j] + \log 2 \left( \frac{AS[j] - K2[j]}{S[j] - K3[j]} \right)$$

여기서,  $\tau$  = 기준점(센서 내부의 기준 광섬유) 절대 온도

$r$  = 기준 광섬유 내에서 기준 위치  
 $AS[j]$  = Anti-stokes광의 가산치,  
 $S[j]$  = Stokes광의 가산치  
 $K1, K2, K3$ 는 상수 값이다.

광섬유 내의 Stokes광과 Anti-Stokes광의 역 산란광 비를 측정하면 광 강도나 입사 조건, 광섬유의 구조, 재질의 조성에 상관없이 매체의 절대온도를 계측할 수 있다. 이와 같은 원리로 시간을 측정해서 산란광의 위치를 측정하고 산란 파장의 비를 계산하여 온도를 측정함으로써 광섬유 전체의 주변 온도를 거리별로 측정이 가능하다.

### 3. 시스템의 구성

그림 4와 같이 Laser에서 나온 광 펄스는 광학 필터를 지나서 광섬유로 입사되고 광섬유 안에서 Raman 산란광이 발생하여 입사 단으로 돌아오면 분광 필터에 의해서 Stokes 광과 Anti-Stokes광으로 분리된 후에 검출 소자(PD: Photo Detector)를 거치면서 전기 신호로 변환된다. 이 신호는 너무 미약하여 직접 측정이 불가능하다. 그래서 신호는 아날로그 앰프에 의해서 증폭된 후 A/D (Analog to Digital) 변환기로 디지털화되어 측정 때마다 메모리에 기억되며, SNR(Signal to Noise Ratio) 개선을 위하여 평균화 처리된다. 이 과정을 수만번 반복하여 평균화 처리한 데이터는 컴퓨터로 전송하여 최종적으로는 온도 데이터로 환산된다. 그림 5는 국산화된 광섬유 분포온도 측정 시스템의 외형이다.

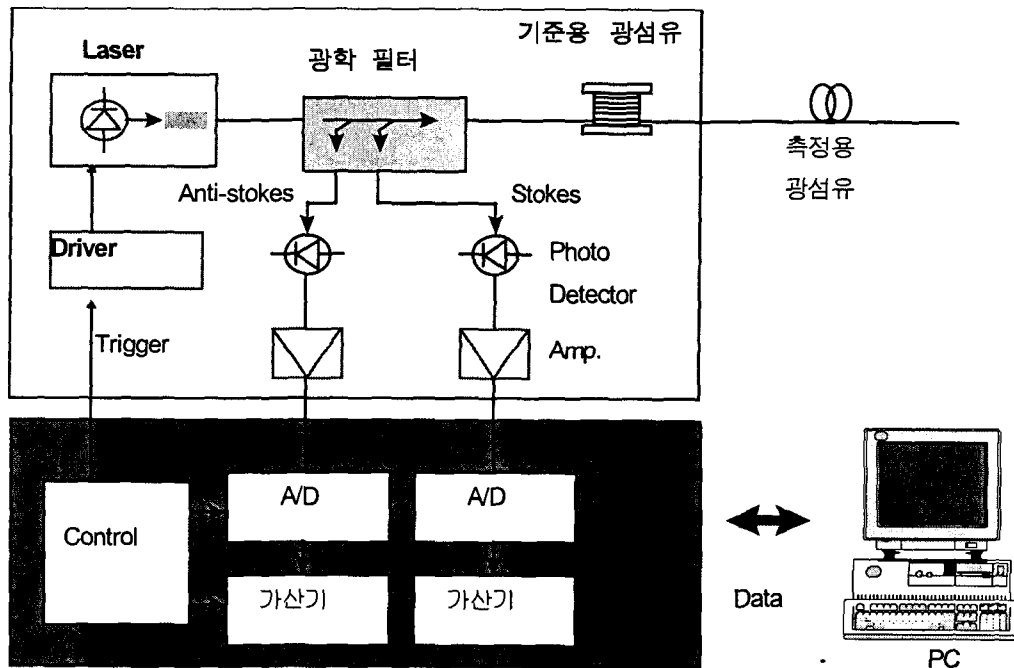


그림 4. 광섬유 분포온도 측정시스템의 구성도

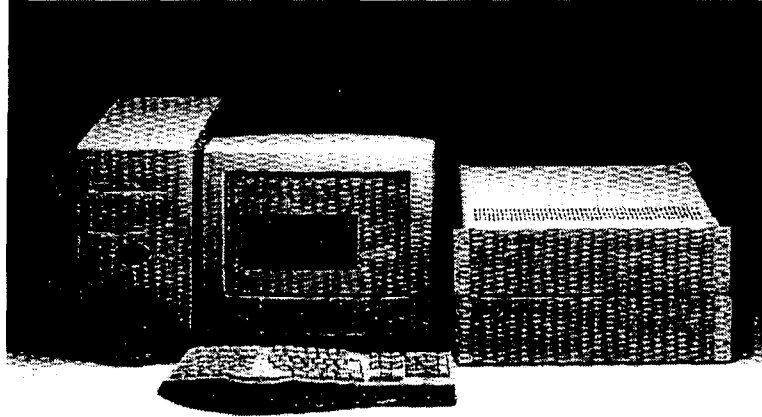


그림 5. 국산화된 광섬유 분포온도측정 시스템 외형

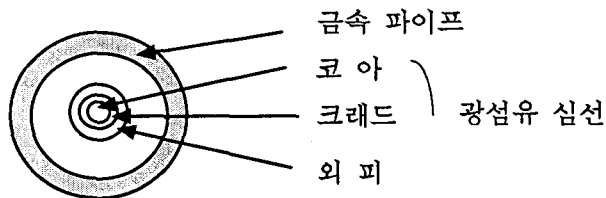


그림 6. 센서용 광섬유 구조

#### 4. 센서용 광섬유의 구조

그림 1과 같은 구조의 광섬유는 기구적으로 취약하므로 별도의 외피가 필요하나 열 전도 및 포설의 편의성을 고려하여 그림 6과 같이 금속 파이프 보호관에 내장하여 사용한다.

### III. 실험 및 결과

국산화 된 광섬유 분포온도 측정 시스템을 이용하여 그림 7과 같이 구성하여 온도 특성 실험을 행하였다. 본 실험에서는 12km의 일반 통신용 멀티모드(50/125um) 광섬유를 사용하였다. 실제 현장에서의 포설 광 손실을 고려하여 10km보다 2km가 더 긴 12km로 실험하였다.

그림 8은 전구간의 온도 데이터로 앞단과 뒷단에서 동일하게 50℃로 상승한 부분을 볼 수 있다. 그림 9는 뒷단 부분을 확대한 것이다. 최대 50.1℃의 값을 얻을 수 있었다.

실험 결과에서 알 수 있듯이 12km까지 ±1℃ 이내의 오차 범위로 온도 측정이 가능하며 전체 장비의 특성은 표1과 같다. 특성 항목 중에 측정 시간 60초는 화재를 감지하기에 너무 오랜 시간이나 측정 거리를 짧게 하고 온도의 정밀도 ±1℃를 낮추면 측정

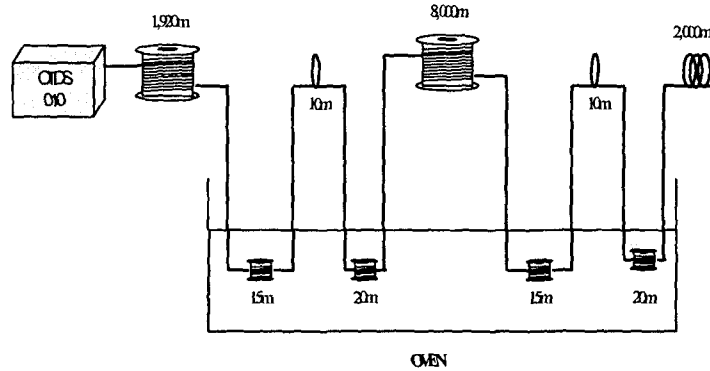


그림 7. 실험 구성도

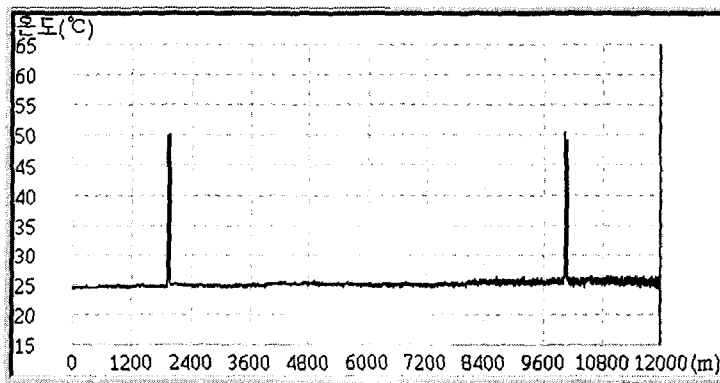


그림 8. 전구간 온도 측정 결과

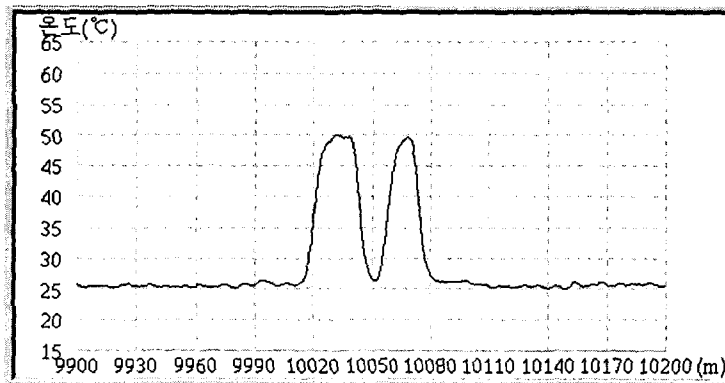


그림 9. 끝부분 확대 측정 결과

가능 시간을 훨씬 단축 할 수 있어 수초 단위로 온도 측정이 가능하다. 실제로 측정 거리가 2km 구간에서  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  이내로 한정한다면 측정 시간은 10초 이내에, 1km구간으로 한정하면 5초 이내에 측정도 가능하다.

표 1. 광분포 온도 측정시스템 사양

항 목	특 성
측정 거리	10km
온도 정확도	±1℃
온도 분해능	0.1℃
Sampling 거리	5m
측정 시간	최대 60초
센서 광섬유	MM 50/125

### 1. 기존 화재 센서와의 비교

기존 화재 센서 중에 넓은 지역의 화재를 검지 할 수 있는 센서는 정온식 선형 감지기가 사용되고 있으나 제조시 설정된 온도를 초과해야만 반응하며 대기시 상태가 개방 상태이라서 감지기의 단선 등의 이상을 검지 할 수 없으며, 장거리 포설시에는 중계기와 통신 배선을 별도로 설치해야 한다는 단점과 동시 다발의 화재나 화재의 진행 방향 등의 검출이 불가능하다. 광섬유를 이용 한 분포온도 측정 시스템을 사용한다면 평상시에도 온도 확인이 가능하고 광 선로 단선이 자동으로 검지되며 온도 상승률과 같이 다양한 조건을 조합하여 화재 여부를 자동으로 검지가 가능하고 전력케이블 접속부와 같이 지속적인 과열의 의한 화재는 사전에 검출이 가능하여 사고를 예방할 수도 있다. 검출된 측정 결과를 근거로 화재의 정확한 위치 및 진화 방향 등 다양한 정보를 얻을 수 있고 각 선로의 온도 변화에 대한 이력 관리도 가능하다. 그 이외에 광섬유를 센서로 사용함으로써 센서부에 전기회로가 없어 유지보수가 필요 없고 내 방폭성의 안전한 센서이다. 또한 완전한 절연체이므로 주위 장비나 선로에 영향을 주지 않는 장점도 있다.

## IV. 결론

광섬유를 이용한 화재 감지시스템은 종래의 센서와는 다른 특징을 갖고 있어 향후 공동구와 같은 터널 방제를 중심으로 빌딩, 지하 공간 등 환경이 열악하고 넓은 지역의 적용이 기대된다. 향후 화재 감시 시스템으로 실제 적용이 가능한가를 직접 실험과 적용을 통하여 검토하여 최적의 장비 사양과 기능을 개선 할 예정이다.