

광섬유 센서와 이력온도정보를 이용한 온도 감시 시스템

이창근*, 구명모**, 김현주**, 김영수***, 김상복****

요약

요즘 환경적인 요인의 변화로 인하여 예기치 못한 사고가 발생하기 쉬운 산업현장에서는 대상에 따라 정확한 온도측정을 위하여 온도센서를 요구하고 있다. 온도센서 중 가장 많이 활용되고 있는 RTD(Resistance Temperature Detector)센서는 안정도가 높으며 감도가 좋아 고정밀 온도 계측이 가능하다. 그러나 외부 환경의 영향으로 인한 온도 편차가 발생할 수 있어 자동제어시스템에서 요구하는 고정밀 제어가 어려운 부분이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 주변 환경에 영향을 적게 받는 광섬유 센서를 이용하여 정확한 온도변화를 감시하도록 하는 온도 감시 시스템을 제안하고 RTD 온도센서를 이용한 시스템에서 수집된 온도 정보를 분석하여 평가한다. 실험결과 광섬유 센서를 이용한 시스템에서 더 정밀한 온도 변화를 측정 할 수 있었다.

Temperature Monitoring System using Optic Fiber Sensor and Historical Temperature Information

Chang-Kun Lee*, Myeong-Mo Gu**, Hyun-Ju Kim**, Young-Su Kim***, Sang-Bok Kim****

ABSTRACT

Today, due to changes of the environmental factors, temperature sensors are required in the industry area in which an unexpected accident may occur in order to measure the temperature exactly. RTD sensor is used most often among the temperature sensors. Because of high stability and high sensitivity it is possible to measure the high accuracy temperature measurement. However, due to the influence of the external environment, a temperature difference can occur. It may cause high precision to control difficult which required in the automatic control systems. Therefore, in this paper, we suggest a temperature monitoring system which can be monitored the temperature changes exactly using optic fiber sensor less influenced in the external environment. We also analyze and evaluate the collected temperature information in the system using the RTD temperature sensor. After the experiment results, we could measure the more accurate temperature changes in the system using optic fiber sensor.

Key Words : Optic Fiber, Optic Fiber Sensor, RTD, Temperature monitoring, Temperature sensor

* 거제대학 조선정보기술학부(✉lckun@koje.ac.kr)

** 진주산업대학교 컴퓨터공학과

*** (주)지인정보

**** 경상대학교 컴퓨터과학부

· 제1저자(First Author) : 이창근 · 교신저자(Correspondent Author) : 김상복

· 접수일(2010년 10월 18일), 수정일(1차 : 2010년 11월 16일), 게재확정일(2010년 11월 19일)

I. 서 론

최근 모든 산업분야의 장치와 통신기기 등의 급속한 발달에 따라 고정밀, 소형화의 등을 만족시키는 신뢰성이 있는 온도센서가 요구된다. 외부환경의 변화로 인하여 예기치 못한 사고가 발생하기 쉬운 산업현장에서는 대상에 따라 정확한 온도측정을 위하여 온도센서를 요구하고 있다. 특히, 온도센서는 성능과 안전성이 요구되는 많은 분야에 응용이 될 수 있으며, 실시간 측정이 가능하고 전송되는 결과가 비교적 정확한 값을 나타낼 수가 있어야 한다. RTD 온도센서는 전기저항이 온도에 의해 변화하는 성질을 이용한 측정에 이용되며 고온 고정밀의 온도를 측정할 수 있는 우수한 특성을 가지고 있다[1-3]. 그러나 전파장애, 자기장의 영향으로 인하여 노이즈가 발생되고 검출에서 제어시스템으로 전송 시 노이즈의 영향으로 인하여 정밀한 온도 검출에 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 광섬유가 가지는 전자파 간섭에 대한 내성, 센서부에서 전기를 사용하지 않기 때문에 폭발성이 강한 환경에서도 사용이 가능하며, 고감도와 가느다란 광섬유에서 오는 소형, 경량, 고속 측정 및 유연성, 그리고 다중화와 분포 측정 능력 등의 장점[4-7]이 있는 광섬유 센서를 이용하여 사고 위험지역과 원거리에서 정밀하게 온도를 측정하고 감시할 수 있는 온도 감시 시스템을 구축하고 성능을 평가해 보도록 한다. 제안한 온도 감시 시스템에서는 정밀한 온도 감시를 위하여 임계값을 설정하고, 측정된 온도 변화 값이 임계값을 초과할 경우에는 문제발생으로 판단한다. 그러나 RTD 온도센서를 이용한 시스템에서는 온도 값의 편차가 발생하여 임계값을 정밀하게 설정할 경우에는 실제 문제가 발생하지 않아도 문제가 발생한 것으로 진단하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 RTD 온도센서를 이용한 시스템구성과 광섬유 센서를 이용한 온도 측정 원리에 대하여 알아보고, 3장에는 본 논문에서 제안하는

온도 감시 시스템에 대하여 알아본다. 4장에서 실험을 통하여 성능을 평가하고 5장에서 결론을 내린다.

II. 관련연구

2.1 RTD 온도센서를 이용한 온도측정

금속의 전기저항은 일반적으로 온도의 변화에 따라 증감하며 전기저항과 온도는 일정한 관계가 있다. 전기저항의 원리를 이용하여 온도를 측정하는 계기가 저항온도계이다. 열전대에서는 전류를 흘리지 않고 측정하는데 비하여 RTD 온도센서는 전류를 흘려 측정하는 점의 본질적인 차이가 있다. 도체의 전기저항이 온도에 의해 변화하는 성질을 이용한 RTD는 널리 실용화되고 있는 써미스터, 열전쌍보다 훨씬 우수한 특성을 가지고 있다[1-3]. 그림 1은 이러한 특성을 가지고 있는 RTD 온도센서를 이용하여 온도 측정을 하는 그림을 나타낸다. RTD는 소자의 온도변화에 따른 저항 값의 변화를 이용하며 특히 상온 부근에 있어 안정도가 높으며 감도가 좋아 고정밀 온도 계측이 가능하다. 단점으로는 고온 측정이 어렵고(최고 사용온도 600°C) 기계적 충격이나 진동에 약하다[3].

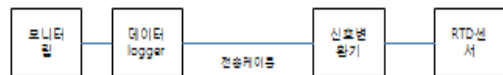


그림 1. RTD 온도센서를 이용한 온도 측정
Fig. 1. Principles of temperature measurement using the RTD temperature sensor

2.2 광섬유 센서를 이용한 온도측정

광섬유 케이블을 통하여 아주 폭이 좁은 레이저파 신호를 보내면 케이블 안에서 산란 현상이 발생한다. 그 중 일부는 반사되며 광다이오드에 의하여 수신되는 진폭은 입사광의 진폭보다 대단히 작다. 만일 광섬

유의 주변 환경(온도, 변형, 압력 등)이 변화하면 세 가지 종류의 산란현상(Rayleigh Scattering, Raman Scattering, Brillouin Scattering)이 나타난다.

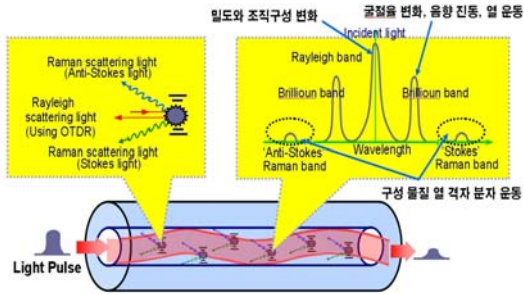


그림 2. 광섬유를 이용한 온도 측정 원리

Fig. 2. Principles of temperature measurement using the optical sensor cable

그림 2에서 Rayleigh 산란은 큰 진폭을 가지며 대체로 케이블 주위 밀도 변화와 연관되며 파장 변위는 없다. Raman 산란은 레이저파의 진행 방향의 전후방에서 케이블 주변의 온도 변화에 따라 영향을 받으며 나타난다. Stokes 범위에 속한 후방 Raman 산란은 온도 변화에 무관하게 나타난다. anti-stokes 범위의 전방 Raman 산란은 온도 변화에 따라 진폭에서 예민한 반응을 나타낸다. 그러므로 온도 측정은 Stokes와 anti-stokes의 Raman 산란 조도(intensities)를 분석함으로써 이루어진 온도 변화 Raman 산란은 파장 변위 폭이 크기 때문에 분석 측면에 있어 파장 변위 폭을 분리하기 비교적 용이하며 이는 온도 측정 분해능을 높이는 데 유리하다. Brillouin 산란은 분포 온도와 변형감지 시스템의 핵심이며 분포 온도와 변형을 측정기법인 DTSS(Distributed Temperature and Strain Sensing)이다[4]. 그림 2에서 Brillouin 산란의 Stokes 및 anti-stokes 신호는 주파수에 대해 Raman 산란의 주파수보다 Rayleigh 산란 지점과 훨씬 인접하고 있기 때문에 Brillouin 산란에 대한 분석이 상대적으로 어렵다. 그러므로 광섬유 주변의 온도가 변하게 되면

Stokes 및 anti-stokes 신호의 진폭이 변하며 변형율의 변화가 있는 경우는 주파수 특성이 변하게 된다[8]. 광섬유센서케이블의 온도 감시 성능은 0.01°C의 해상도와 -150°C~600°C 범위 온도를 측정 할 수 있으며 이는 광케이블 피복물질의 개발과 다양한 모델의 광섬유센서케이블을 적용으로 가능하다.

III. 온도 감시 시스템

본 논문에서 제안하는 온도 감시 시스템의 구성은 그림 3과 같다.

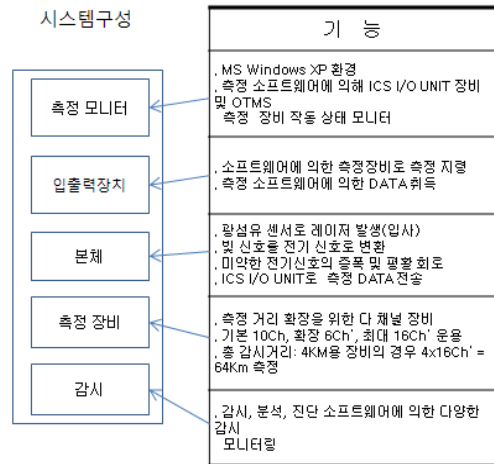


그림 3. 온도 감시 시스템 구조

Fig. 3. Structure of temperature monitoring system

온도 감시 시스템은 정확하고 정밀한 온도 측정을 위하여 기존의 온도 측정 센서를 사용하는 대신 광섬유 센서를 이용하도록 하고 정확한 진단을 위하여 임계값을 동적으로 적용하도록 한다. 그림에서와 같이 광섬유 센서를 통하여 수집된 온도 정보를 감시 시스템에서 모니터링 할 수 있도록 하였다.

그림에서는 본체는 온도를 측정하기 위하여 광섬유 센서로 레이저를 발생시켜 보낸다. 그리고 전송된 광 신호는 신호변환 장치를 통하여 온도 정보를 확보할 수 있도록 한다. 측정 모니터, 입출력 장치, 측정장비 그리고 보다 정확한 온도 분석을 위하여 감시 장치로 구성하여 운영한다.

그림 4는 본 논문에서 제안하는 온도 감시 시스템의 현장 구성에 대하여 나타내었다. 현장에는 온도 측정 및 분석 장비와 온도를 측정할 수 있는 광섬유 센서를 설치한다. 그리고 본체와 광 신호를 통하여 온도 데이터를 확보할 수 있도록 하고 기존의 이력 온도정보와 비교하여 분석할 수 있도록 한다. 설치된 광섬유의 온도 센서의 신호는 신호변환기를 거쳐 네트워크로 전송되며, 전송에 필요한 네트워크 환경은 유무선에 모두 적용할 수 있도록 한다. 라우터를 통하여 전송된 온도 데이터는 원격 시스템에서도 실시간으로 모니터링이 가능하며 원격에서 제어 및 통제할 수 있다.

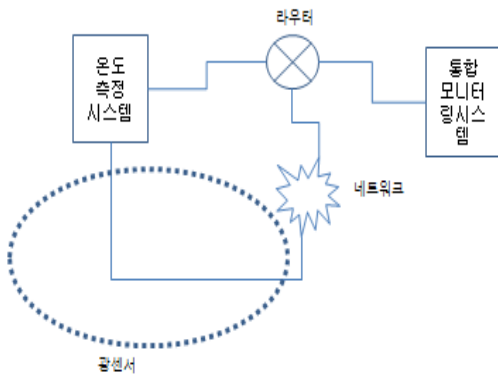


그림 4. 온도 감시 시스템 동작
Fig. 4. Operating of temperature monitoring system

표 1은 온도 감시 시스템에서 온도를 감시하는 알고리즘을 나타내었다. 알고리즘에서 설정된 온도 임계값(Δ)를 이용한다. 임계값은 온도 변화에 대한 민감도와 정밀한 측정을 할 수 있는 데 이용된다.

표 1. 온도 감시 알고리즘
Table 1. An Algorithm for temperature monitoring

<pre> Procedure temperature monitoring collection from opic fiber sensor store at the DB calculate the mean temperature(H_c) prepare historical temperature(H_i) if $H_c \geq \Delta$ then set alarm display site automatical control if $H_c \geq H_i$ then display analysis repair trouble monitoring temperature comparison with temperatue of same tray section else goto collection else goto collection End procedure *Δ: temperature threshold </pre>

먼저 현장에 설치된 광섬유 센서로부터 전송된 온도 정보를 수집하여 데이터베이스에 저장한다. 이 저장된 온도 정보는 향후 이력정보에 이용될 것이다. 만약 온도 변화를 정밀하게 감시하기 위하여 임계값을 낮게 설정하고 현재 평균 온도 정보와 비교했을 경우 온도 정보가 임계값 이상일 경우 알람을 발생시키고 현장 위치를 파악한다. 그리고 정확한 진단을 위하여 이력온도정보와 비교하여 그 이상이 되면 최종 문제점이 있다고 판단하여 실시간으로 분석하고 문제점을 수정한다. 그리고 수정 후 최종 온도 변화를 감시한다.

IV. 실험

본 논문에서 제안하는 광섬유 센서를 이용한 자동 온도 분석시스템과 RTD 온도센서가 설치된 시스템을

이용하였을 경우 온도 변화 및 안정성에 대한 평가를 제안 시스템의 알고리즘에 적용하여 측정하였다. 실험환경은 상온(30℃이하)에서 온도 변화에 따른 결과 값을 나타낸다. 온도 값의 차이는 센서부에서 측정된 온도 값과 감시 시스템에서 측정된 온도 값을 비교하도록 한다.

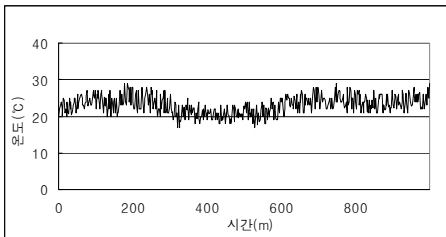


그림 5. 온도 측정 결과(RTD)
Fig. 5. Results of measured temperature(RTD)

그림 5는 RTD 온도센서를 적용한 시스템으로 측정된 온도 값을 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 센서로부터 측정된 온도 값이 신호변환장치와 중계기를 거치면서 측정 시스템에 전송된 온도 값이 실제 온도 값과 차이를 보였다. 그림에서 온도의 변화 값이 다양한 형태를 나타내고 있어 본 논문에서 제안한 미세온도 변화 감지를 위한 임계값 조절을 미세하게 하였을 경우 정상적인 온도 변화에도 위험성을 알리게 되는 경우가 있었다. 즉, 본 논문에서 제안하는 감시 시스템에서는 현장의 위험도에 따라 온도의 임계값을 설정하는데 기존의 온도센서를 적용한 시스템에서는 임계값을 초과하여 오동작을 나타내는 경우가 많았다. 실제 임계값을 초과하여 알람을 발생시키는 경우는 화재, 고장 등 주변 환경의 영향으로 인하여 미세한 온도 변화가 발생한 경우이다. 그 온도차이 정도는 그림 6에서 보여주고 있는 편차 값을 통하여 알 수 있는데 제안한 시스템에서 적용하고자 하는 감시 시스템에서의 고정밀 온도 측정에 적용하기에는 어려움이 있었다.

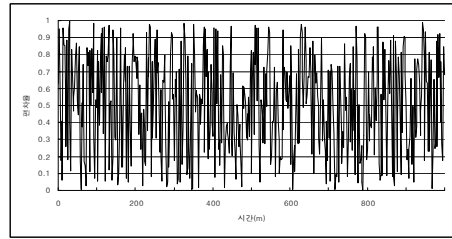


그림 6. 측정온도 편차율(RTD)
Fig. 6. Deviation factors of measured temperature(RTD)

그림 7, 그림 8은 광섬유 센서를 적용한 시스템으로 측정된 온도 값과 편차율에 대하여 나타내었다. 실제 측정 및 수집된 온도정보는 실제온도와 미세한 정도의 차이를 보였으며, 적용하고자 하는 임계값의 변화에 따라 비교적 정확한 동작을 나타낼 수 있었다. 제안한 감시 시스템에서는 본 실험에 적용한 임계값에서는 오동작이 나타나지 않았다.

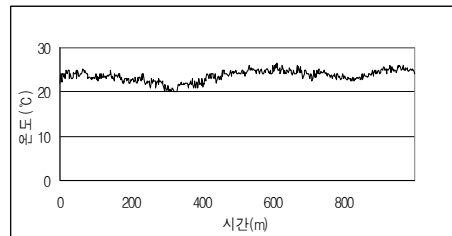


그림 7. 온도 측정 결과(제안시스템)
Fig. 7. Results of measured temperature(proposed system)

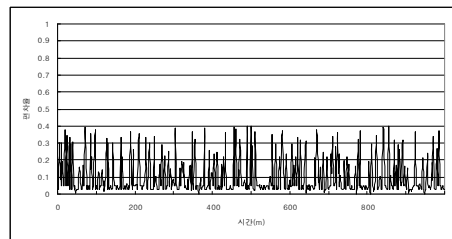


그림 8. 측정온도 편차율(제안시스템)
Fig. 8. Deviation factors of measured temperature(proposed system)

그림 7에서와 같이 광섬유 센서를 이용한 시스템에서 온도를 측정하였을 경우에는 그 변화 폭이 상당히 적고 변화에 민감하기 때문에 더 정밀하고 정확하게 변화를 감지할 수 있었다. 따라서 고장, 열, 화재 등 주변의 변화에 민감하게 반응하여 사고를 미리 예방 또는 고장수리가 이루어 질 수 있음을 실험을 통하여 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서 제안한 광섬유 센서를 이용한 온도 감시시스템에서는 기존의 온도센서를 이용한 온도 분석시스템보다는 더 주변의 간섭에 덜 영향을 받아 안정적이고 비교적 정확한 온도 데이터를 수집할 수 있었다. 그리고 수집된 데이터를 바탕으로 주변 온도 변화에 대하여 더 정밀한 임계값을 두어 온도 변화를 정확하게 판단할 수 있었다. 따라서 주변에 미세한 온도 변화를 감지하여 사고 예방 및 고장 수리에 대하여 더 실시간적으로 이루어 질 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] B. Timble, "Fifty thousand pressure sensors per year. A successful fiber sensor for medical applications", *OFS-9*, pp. 457-462. 1993.
- [2] G.C. M Meijer and C. H. Voorwinder, "A Novel BiCMOS Signal Processor for Pt-100 Temperature Sensor with Microcontroller Interfacing", *Sensor and Actuators A*, 25, 613-620, 1991.
- [3] 정형진, "RTD 온도센서의 개발", 한국과학기술연구원, 과학기술처, 1992.
- [4] 김경수, 배대석, 고용권, 김종열, "광섬유센서케이블을

이용한 지하연구시설의 지반변위 및 온도변화 감시시스템 구축", *The Journal of Engineering Geology*, Vol.19, No.1, pp. 63-70, March, 2009.

- [5] J. A. Bucaro et. al., "Optical fiber acoustic sensor", *Appl. Opt.*, 16(7), pp. 1761-1762. 1977.
- [6] T. G. Giallorenzi. et. al., "Optical fiber sensor technology". *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-18, pp. 626-665, 1982.
- [7] B. Culshaw, "Optical fiber sensing and signal processing", Peter Peregrinus. 1984.
- [8] Paker, T. R., Farhadiroushan, M., Handerek, V. A., and Rogers, A. J., "A Fully Distributed Simultaneous Strain and temperature Sensor using Spontaneous Brillouin Backscatter", *IEEE Photonics Technology Letters*, 9(7), 979-981, 1997.



이창근(Chang-Kun Lee)

1994년 독일 도르트문트대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

2010년 경상대학교 컴퓨터과학과(공학박사) 수료

현재 거제대학 조선정보기술학부 부교수

※ 관심분야: 컴퓨터네트워크, 시스템설계, 선박설계



구명모(Myeong-Mo Gu)

2001년 경상대학교 컴퓨터과학과(공학석사)

2006년 경상대학교 컴퓨터과학과(공학박사)

현재 진주산업대학교 컴퓨터공학과 겸임교수

※ 관심분야: 컴퓨터네트워크, 멀티캐스트, 시스템설계



김현주(Hyun-Ju Kim)

1990년 숭실대학교(공학석사)
2000년 경상대학교 컴퓨터과학과
(공학박사)

현재 진주산업대학교 컴퓨터공학과 부교수
※ 관심분야: 정보검색, 컴퓨터교육, 웹프로그래밍



김영수(Young-Su Kim)

(주) 지인정보
경남 창원시 상남동 69-1번지

현재 (주) 지인정보 대표이사
※ 관심분야: 광섬유 센서, 정보검색, 시스템설계



김상복(Sang-Bok Kim)

1989년 중앙대학교 (공학박사)
2007. 12 ~ 2010. 8 교육정보전산원장

현재 경상대학교 컴퓨터과학과 교수, 경상대학교 컴퓨터정보통신연구소원
※ 관심분야: 컴퓨터네트워크, 컴퓨터구조