

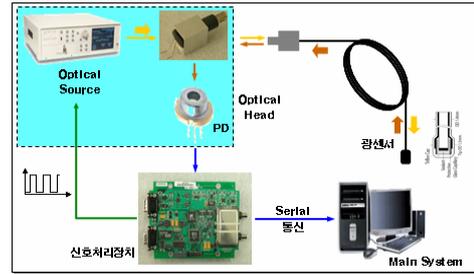
광섬유 온도센서를 이용한 진공차단기(VCB) On-line 온도 감시 시스템 개발

이현욱, 강원중, 박기훈, 신양섭, 김영근, 오일성
LS산전주

On-line Temperature Monitoring System for Vacuum Circuit Breaker(VCB) using Optical Sensor

H.W.Lee, W.J.Kang, K.H.Park, Y.S.Shin, Y.G.Kim, I.S.Oh
LS Industrial Systems. Co. Ltd.

Abstract - 광섬유 온도센서를 이용하여 밀폐형 폐쇄배전반 내부에 설치된 진공차단기(Vacuum Circuit Breaker: 이하 VCB)의 접촉부 및 부싱부 이상 온도변화를 상시 감시할 수 있는 On-line 온도 감시 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 온도변화를 측정하는 광센서부, 광신호의 이동 통로역할을 하는 Optical Head부, 변환된 전기신호를 신호처리하고 상위 시스템으로 통신을 수행할 신호처리장치의 세 부분으로 구성되어 있다. 구현한 시스템은 측정 범위가 -25 ~ 200 °C인 희토류 원소가 첨가된 광섬유 온도센서를 사용하였고, 시스템의 측정 범위는 -20 ~ 150 °C, 측정 정밀도는 Full Scale의 ±2 %, 측정 주파수는 0.1 Hz이었다. 검출된 온도 값은 Modbus Protocol을 이용하여 상위 시스템으로 송신하도록 구현하였다.



1. 서 론

현재 사회 전반에 걸쳐 커다란 영향을 미치고 있는 전력설비는 나날이 대형·고압화 되고 있으며, 이에 따라 전력설비에 사고가 발생할 경우 수반되는 산업/경제/사회적 손실 또한 그 규모가 매우 커지는 경향을 가진다. VCB는 전력설비에 고장 발생 시 이를 신속히 자동차단하는 역할을 하는 장치로서 밀폐형 폐쇄배전반 내에 설치된 VCB의 경우 환기에 의한 냉각효과가 낮아 접촉부 및 부싱부의 과열발생 비율이 높아지고 있다. 이러한 이상과열 현상에 의한 사고를 예방하기 위하여 변전소 직원 등이 주기적으로 육안점검을 실시하거나 IR Camera를 이용한 진단을 실시하고 있는 실정이며, 이에 VCB 접촉부 및 부싱부 온도를 상시 감시할 수 있는 On-line 감시 시스템에 대한 요구가 증가하고 있는 추세이다. 그러나 기존에 널리 사용되고 있는 축온저항센서는 주변 전자장치의 영향을 많이 받고 절연 문제로 인하여 측정 대상체에 직접 부착이 불가능하다는 등의 단점이 있고, 변색테이프나 IR 카메라 등은 밀폐형 배전반 내부의 온도측정이 불가능하다는 단점으로 인해 이를 적용한 감시 시스템의 구현은 어려운 실정이다. 이에 비하여 광센서의 경우 전자장치의 영향을 받지 않고, 전기적 노이즈의 영향을 최소화할 수 있으며, 광섬유 자체가 절연물로 구성되어 있기 때문에 별도의 절연처리 없이 부착가능하다는 등의 장점을 가지고 있다[1]. 따라서 광센서가 구현하고자 하는 시스템에 적합하다고 판단되어 이를 이용한 On-line 온도 감시 시스템을 개발하고 검증실험을 실시하여 현장 적용 가능성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

본 연구에서 구현한 시스템은 <그림 1>과 같이 VCB 접촉부 및 부싱부 등 측정하고자 하는 위치에 직접 부착하여 온도변화를 측정하는 광섬유 온도센서(이하 광센서), 광원(Optical Source)으로부터 출력된 광신호가 광센서를 거쳐 광검출기(Photo Detector: 이하 PD)에 의해 검출되기까지 경로를 설정해 주는 Optical Head, 광원에 구동신호를 인가함과 동시에 PD에 의해 변환된 전기신호를 신호처리하여 온도 값을 검출하고 아날로그값으로 출력하거나 상위 시스템으로 송신하는 신호처리장치의 세 부분으로 구성되어 있다.

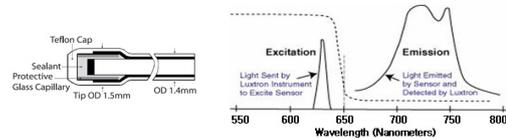
신호처리장치에서 발생된 구동신호에 따라 광원은 광신호를 조사하게 되고, 이 신호는 Optical Head를 거쳐 광센서에 인가된다. 광센서에서 온도정보를 갖고 있는 광신호가 발생되고 다시 Optical Head를 거쳐 PD에 의해 전기신호로 변환되어 신호처리장치에 입력된다. 신호처리장치에서는 정해진 온도측정방법에 의해 온도정보를 추출하여 4~20 mA 아날로그 값으로 출력하거나 통신을 이용하여 상위 시스템에 결과 값을 송신하게 된다.

시스템 구현을 위해 사용된 광원은 출력파장 대역이 620 ~ 629 nm 이고 절두파장이 약 624 nm 인 LED를 사용하였고, PD는 400 ~ 1000 nm 대역의 광신호를 검출할 수 있는 소자를 사용하였다.

<그림 1> 광섬유 온도센서를 이용한 On-line 온도 감시 시스템

2.1.1 광섬유 온도센서

실험에 사용된 광센서는 Luxtron社에서 제작된 것으로서 희토류 원소가 첨가된 광섬유의 인광효과를 이용하여 온도변화에 따른 센서의 출력곡선으로부터 온도 값을 검출하는 센서이다[2]. 광원에서 조사되던 광신호가 계단과 형태로 off될 경우 광센서에서 출력되던 신호는 계단과 형태가 아닌 일정한 감쇠곡선을 그리게 된다. 이때 감쇠곡선의 형태가 온도에 따라 다른 특성을 갖게 되고 이를 분석하여 온도정보를 추출한다.

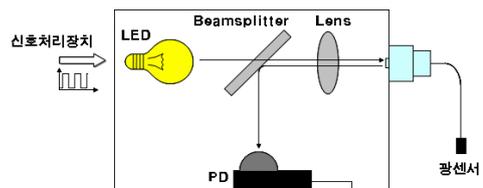


<그림 2> 광섬유 온도센서의 구조 및 입/출력 파장

이러한 광센서는 Europium-doped Lanthanum oxysulfide 처리된 것으로서 core/clad 직경이 각각 200/230 um인 실리카 광섬유가 사용되었고, 약 630 nm 대역의 광신호가 인가되면 700 ~ 750 nm 대역의 신호가 출력되는 특성을 갖고 있다. <그림 2>는 사용된 광센서의 구조와 입/출력 파장 특성을 나타낸 것이다.

2.1.2 Optical Head

광원에서 조사된 광신호는 beamsplitter를 통과하여 광센서에 인가되고, 광센서로부터 나온 출력신호는 다시 beamsplitter에 의해 반사되어 PD에 인가되게 된다. 이 때 광신호가 광원으로 부터 조사되어 광센서를 거쳐 PD까지 제대로 이동하도록 광경로를 설정해 주는 것은 매우 중요한데 이러한 역할을 하는 것이 Optical Head이다.

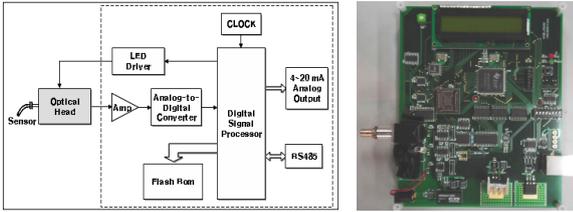


<그림 3> Optical Head의 구조

이러한 Optical Head는 광원으로 사용된 LED, 광신호를 투과/반사시키는 beamsplitter, 광신호를 한 점으로 모아줄 렌즈, 광전 변환을 위해 사용되는 PD로 구성되어 있고, 그 구조는 <그림 3>과 같다.

2.1.3 신호처리장치

PD에 의해 변환된 전기신호를 신호처리하여 온도정보를 추출하는 것 뿐만 아니라 온도정보가 들어있는 광센서의 감쇠곡선을 발생시키기 위한 LED 구동신호 역시 신호처리장치에서 발생시킨다.

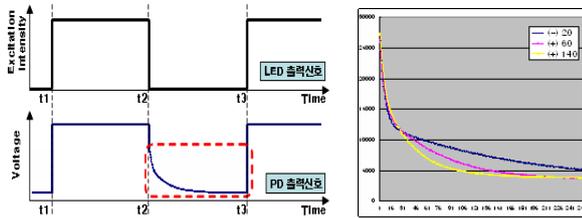


〈그림 4〉 신호처리장치

신호처리장치에서 발생된 20 ms 주기를 갖는 구형과 구동신호에 의해 LED는 on/off를 반복하게 되고, 이에 따라 광센서 역시 유사한 모양의 출력신호를 내보내게 된다. 출력된 광신호는 PD에 의해 전기신호로 변환되어 신호처리장치에 인가되고, 변환된 전기신호의 파형이 광센서에 의해 출력된 광신호와 같은 형태이므로 이를 분석하여 온도정보를 추출할 수 있다. 이때 PD 출력 값은 ADC(Analog-Digital Converter)에 의해 digital 값으로 변환되고 이를 신호처리하게 되며 추출된 온도정보는 4~20 mA 아날로그 출력으로 변환되어 배전반 전면에 부착된 제어부의 LCD에 표시되거나 Modbus Protocol을 이용하여 상위 시스템으로 송신된다. 〈그림 4〉는 구현한 신호처리장치의 Block Diagram과 사진이다.

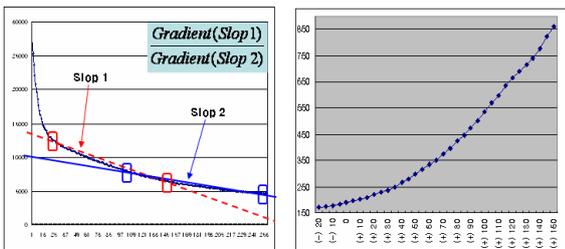
2.2 온도측정 방법

〈그림 5〉 좌측의 두 그래프를 비교해 보면, 신호처리장치에서 발생된 구형파에 따라 on/off되는 LED와 달리 광센서의 출력과형인 PD 출력신호는 LED가 off 상태인 $t_2 \sim t_3$ 구간에서 감쇠곡선을 그리는 것을 확인할 수 있다. 이러한 감쇠곡선은 센서 주위의 온도변화에 따라 다른 모양을 띄게 되고 이를 분석함으로써 온도정보를 추출하게 된다. 〈그림 5〉의 우측 그래프는 20 °C, 60 °C, 140 °C에서 발생한 각각의 감쇠곡선을 비교한 것으로서 온도변화에 따라 확연한 차이를 보임을 알 수 있다.



〈그림 5〉 LED/PD 출력신호 및 온도에 따른 PD 출력 변화

감쇠곡선을 분석하여 온도정보를 추출하기 위해 감쇠구간($t_2 \sim t_3$)을 256 등분하여 단위시간마다 데이터를 획득하였다. 즉, 주기가 20 ms인 구형파를 LED 구동신호로 사용하였으므로 총 10 ms의 감쇠구간동안 약 0.04 ms마다 한 개씩 총 256개의 PD 출력 값을 저장함으로써 하나의 감쇠곡선 데이터를 획득하였다. 감쇠곡선과 온도의 상관관계를 찾기 위해 -20 ~ 150 °C까지 5 °C 단위로 온도를 변화시키며 감쇠곡선 데이터를 취득하였고, 데이터 취득과정에서 발생할 수 있는 random noise의 영향을 최소화하기 위해 각 온도에서 12번(1번/256데이터)의 데이터를 획득하여 그 평균값을 해당 온도에서의 감쇠곡선으로 선정하였다.



〈그림 6〉 연산 방법 및 온도에 따른 결과값

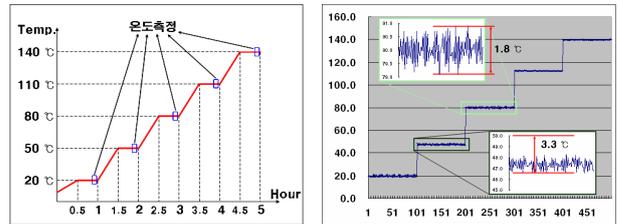
이렇게 획득한 감쇠곡선 데이터에 여러 가지 연산을 취하며 온도와 연산 결과 값이 일대일 대응관계에 있는 연산 방법을 검색하였다. 그 결과 〈그림 6〉의 왼쪽 그래프와 같이 감쇠곡선의 두 부분에서 기술기를 구

한 후 나누기 연산을 취함으로써 온도와 연산 값 사이에 일대일 대응관계를 찾을 수 있었고, 이를 이용하여 Lookup Table을 작성하였다. 〈그림 6〉의 오른쪽 그래프는 온도에 따른 연산 값 변화 그래프이다.

이러한 실험을 통해 얻은 Lookup Table은 5 °C 단위로 온도를 변화시키며 취득한 감쇠곡선 데이터에 연산을 수행한 결과를 이용하여 작성한 것이므로 임의의 감쇠곡선에 대한 연산 값이 〈그림 6〉 오른쪽 그래프의 각 점들 사이에 오는 경우 어떠한 방식으로 처리할 것인지에 대한 결정이 필요하다. 여러 가지 처리방법 중 본 논문에서는 〈그림 6〉의 인접한 두 점 사이에서 온도 값과 연산 값이 비례한다고 가정하고 두 점을 지나는 일차 다항식을 만들어 임의의 감쇠곡선에 대한 연산 결과 값을 해당 구간의 다항식에 대입하여 온도 값을 검출하도록 하였다. 즉, 임의의 감쇠곡선 데이터가 입력되면 이에 대한 연산을 수행한 후 그 결과 값을 Lookup Table과 비교하여 해당 구간을 찾고, 그 구간에 설정되어 있는 일차 다항식에 대입함으로써 온도 값을 검출하는 것이다.

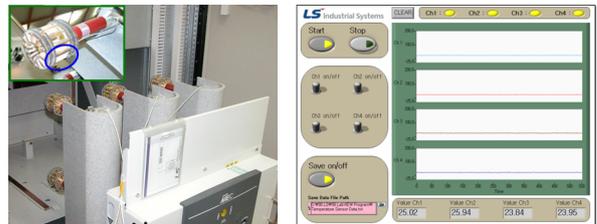
2.3 검증실험 및 결과

앞의 2.2절에서 기술한 온도측정방법을 적용하여 온도변화에 따른 광센서 출력 값을 확인하기 위해 광센서를 chamber에 넣고 20 °C, 50 °C, 80 °C, 110 °C, 140 °C 순서로 온도를 변화시키며 출력 값을 관찰하였다.



〈그림 7〉 Chamber 온도설정 곡선 및 광센서 출력

〈그림 7〉 오른쪽 그래프는 실험 결과를 나타내며, 그래프가 계단모양으로 나타난 이유는 실험에 chamber를 각 온도에서 일정시간 포화시킨 후 온도를 검출하였기 때문이다. 각 온도에서 광센서에 의해 측정된 온도 값을 확인해 보면 각 step에서 모두 chamber의 설정온도를 비교적 충실히 재현하고 있음을 확인할 수 있었다. 이 실험결과 중 3번째 step(80 °C)에서의 drift가 약 1.8 °C로 가장 크게 나타났고, 2번째 step(50 °C)에서 약 3.3 °C의 가장 큰 오차가 확인되었다. 그러나 3.3 °C의 오차는 구현한 시스템이 요구하는 측정 정밀도인 Full Scale $\pm 2\%$ 를 만족하므로 2.2 절에서 기술한 온도측정 방법은 적용 가능함을 확인할 수 있었다.



〈그림 8〉 VCB 접촉부의 광센서 부착 사진 및 HMI 화면

현재 구현된 시스템을 이용하여 광센서를 VCB Tulip부에 고정시키고 환선상태에서의 온도변화를 측정하는 실험을 진행할 계획이다. 〈그림 8〉은 VCB Tulip부에 센서를 부착한 사진과 측정된 온도 값을 표현하는 HMI 화면이다.

3. 결 론

VCB 접촉부 및 부싱부 온도의 실시간 감시를 위한 On-line 온도 감시 시스템을 구현하고, 온도변화에 따른 출력 값 비교실험을 실시하여 요구 정밀도를 만족함으로써 적용 가능함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Grattan, K. T. V., "The use of fibre optic techniques for temperature measurement", Measurement and Control, 20, 32-39, 1989
- [2] Wickersheim, K. A., "Application of fibre optic thermometry to the monitoring of winding temperatures in medium and large power transformers", SPIE Proceedings, 1584, 3-14, 1991