

FBG 온도센서를 이용한 전력용 변압기 과열감시 시스템 연구

김우진, 박형준*, 송민호*, 이준호
 호서대학교 전기공학과, *전북대학교 전자정보공학부

A Study on the Overheat Inspecting System for Power Transformer using Fiber Bragg Grating Temperature Sensor

Woo-Jin Kim, Hyung-jun Park, Min-Ho Song, June-Ho Lee
 Dept. of Electrical Eng. Hoseo Univ., *Division of Electronics and Information Eng. Chonbuk Univ.

Abstract - 대형화, 고압화되고 있는 전력설비는 사고가 발생할 경우 그에 수반되는 산업, 경제, 사회적인 손실의 규모가 매우 커지는 경향을 가진다. 특히 적정온도 이상에서의 운전은 전력설비의 오동작을 일으키는 주요한 원인 중 하나이므로 비정상적인 온도상승을 조기에 감지하여 사고의 가능성을 감소시키는 시스템의 개발은 안정적인 전력설비 운용에 반드시 필요한 요소기술이다.

기존의 감시 시스템은 대부분 여러 위치의 정보를 동시에 얻기 위하여 여러 개의 개별 센서를 배열하여야하므로 대형중량화가 불가피하다는 단점을 갖고 있다. 그러나 광섬유 FBG 온도센서는 전자기 간섭의 영향을 받지 않고, 여러 개의 센서를 하나의 광섬유 라인에 설치하여 동시에 여러 부위의 온도를 측정할 수 있는 준분배형 온도센서 구현이 가능하다는 장점으로 과열감시 시스템에 적합한 센서로 인식된다.

본 연구에서는 광섬유 FBG 온도센서를 이용하여 변압기 단락시험을 통해 변압기의 온도 변화를 T-type thermocouple(이하 TC)과 동일한 지점에서 측정하고, 그 데이터를 비교분석함으로써 광섬유 FBG 온도센서 시스템의 신뢰성을 검증하였고, 이를 전력용 변압기 과열감시 시스템으로 적용할 수 있음을 제시하였다.

반사파장은 굴절률과 격자간격에 변화가 가해지는 경우 달라진다. 일반적으로 광섬유 주원료인 실리카(silica glass, SiO2)는 온도의 변화에 따라 굴절률이 변화하며 FBG의 반사파장도 따라서 같이 변화하게 되는데 실리카 광섬유 FBG의 온도에 따른 파장변화율은 다음과 같이 알려져 있다[5].

$$\lambda_B = 2\Lambda[n_{eff} + n_{eff}\alpha\Delta T + \frac{dn_{eff}}{dT}\Delta T] \quad (2)$$

$$\Delta\lambda_B = 2\Lambda n_{eff}[\alpha + \frac{1}{n_{eff}} \frac{dn_{eff}}{dT}] \Delta T \quad (3)$$

$$\frac{1}{\lambda_B} \frac{d\lambda_B}{dT} = \alpha + \frac{1}{n_{eff}} \frac{dn_{eff}}{dT} \quad (4)$$

위식에서 α 는 광섬유의 열팽창계수, dn/dT 는 온도에 따른 광섬유의 굴절률 변화를 나타내는 열광학계수로 실리카의 경우 각각 $0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $11 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 정도의 값을 갖는다. 따라서 1550nm 파장대역에서 FBG의 온도에 따른 반사파장 변화는 대략 $10 \sim 20\text{pm}/^\circ\text{C}$ 정도의 범위를 가진다[6][7].

1. 서 론

최근 전기에너지의 대량소비에 따른 전력설비용량의 증가로 인해 설비운용의 안정성과 효율성을 확보하는 것은 환경 친화적 전력설비를 구축하기 위해 매우 중요한 과제로 인식되었다. 또한 최근 사회적 인식이 높아지고 있는 기간설비의 안전성 확보 및 이상시 조기경보시스템을 위한 새로운 방식의 연구개발이 시급한 실정이다. 특히 전력용 변압기는 여러 가지 원인에 의해 열화되지만 그 원인과 상관없이 대부분의 경우 최종적인 사고의 단계에서는 비정상적인 온도상승 또는 화재가 같은 열적 현상으로 표출된다. 따라서 이러한 전력설비의 열적 변화를 상시 감시하고 화재를 조기에 경보하는 시스템의 연구는 일차적으로 전력설비 안전사고를 예방하고, 사고발생시 피해확산을 최소화할 수 있는 중요한 과제이다.

기존의 온도감시 및 경보시스템은 전력설비와 전력공급 계통의 주변의 강한 전자기 간섭의 영향으로 큰 측정오차를 갖고, 동시에 여러 위치 정보를 얻기 위해 분배형 센서 네트워크를 구성할 경우, 병렬로 연결되어 연결선이 복잡해지고 대형중량화가 불가피하다는 단점을 갖는다. 반면, 광섬유 FBG 온도센서는 전자기 간섭의 영향이 적고, 가벼우며 부식되지 않는 점 등의 장점으로 전력설비 보호를 위한 온도센서로 사용하기에 적합하다. 특히 1990년대부터 많은 관심을 받아 온 광섬유 FBG온도센서는 하나의 광섬유 라인에 여러 개를 직렬로 설치함으로써 동시에 여러 부위의 온도측정이 가능하며 온도변화에 반응하는 부위가 FBG의 길이에 한정되므로 넓은 범위의 다중점 온도측정에 가장 적합하다[1][2].

본 연구에서는 광섬유 FBG 온도센서의 이러한 장점을 이용하여 준분배형 온도센서 시스템을 파장가변필터(wavelength-scanned tunable filter)를 이용하여 구성하였다[3][4]. 변압기 단락시험을 통해 4개소의 온도변화를 측정하였으며, 동일한 지점에서 TC와 함께 측정하고, 그 데이터를 비교분석하여 광섬유 FBG 온도센서 시스템의 신뢰성을 확인하였고, 이를 전력용 변압기 과열감시 시스템에 적용할 수 있음을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 광섬유 격자

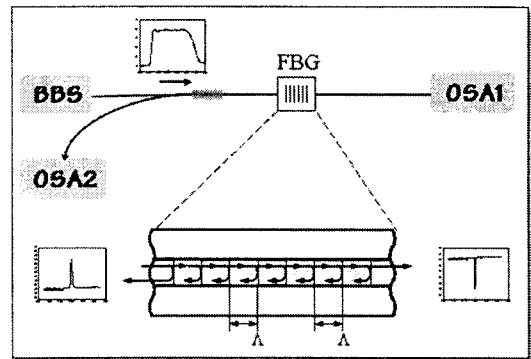
통신과 센서 응용분야에서 활발히 연구되어 온 광섬유 격자(Fiber Bragg Grating, 이하 FBG)는 광섬유에 자외선을 조사시키면 광섬유 코어의 굴절률이 변하는 특성을 이용, 코어에 격자를 새겨 특정 파장은 반사시키고 그 외의 파장은 통과시키도록 만든 것이다[1].

그림 1은 FBG의 구조와 동작특성을 나타낸 것이다. 광원은 Broad Band Source(이하 BBS)를 사용하고 커플러를 통해 FBG에 입사한 빛이 각각 반사되고 투과한 후의 Optical Spectrum Analyzer(이하 OSA)를 통해 검출된 신호를 보여준다. BBS로부터 출력된 광대역 신호가 FBG에 의해 반사·투과된 신호를 OSA1과 OSA2의 출력신호에서 확인할 수 있다.

FBG에 의한 반사 파장은 다음 식(1)에 의해 결정된다.

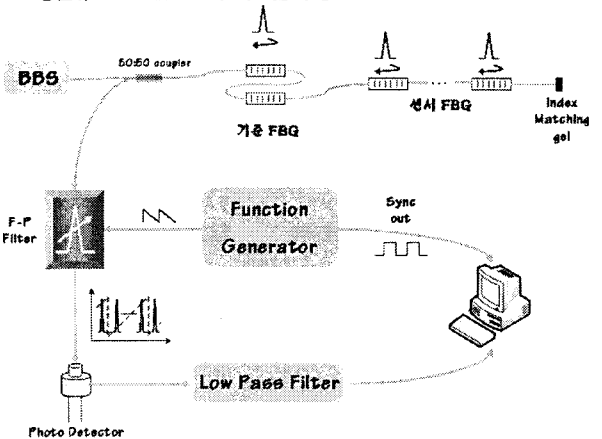
$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

위 식에서 n_{eff} 는 FBG의 유효굴절률이며 Λ 는 굴절률 변화의 간격이므로



〈그림 1〉 FBG의 반사·투과 특성

2.2 광섬유 FBG 온도센서 시스템 구성

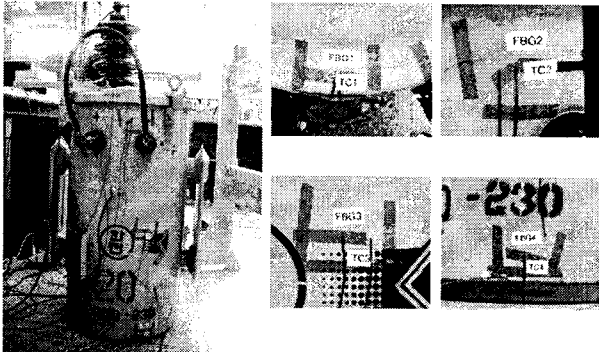


〈그림 2〉 광섬유 FBG 온도센서 시스템 구성도

그림 2는 제작한 광섬유 FBG 온도센서 시스템의 개략적인 구성도이다. 광원의 출력이 50:50의 분리비를 가지는 광섬유 커플러를 거쳐서 FBG 센서아레이로 입사하며, 각 FBG 센서에서 반사된 광신호는 다시 커플러와 FP(Fabry-Perot) 필터를 거쳐 PD(photodetector)에서 전기신호를 발생시킨다. FBG가 연결된 광섬유의 끝단에는 index matching gel을 발라서 절단면에서 반사되는 광노이즈를 제거하였다. PD출력신호는 저대역 통과필터를 거친 후, DAQ 보드에 입력되어 컴퓨터로 읽어 들여지고 그 피크의 위치를 검출하여 온도변화를 측정하는 구조를 가지고 있다[8].

본 연구에서 사용한 방법은 FBG를 하나의 광섬유 라인에 직렬로 설치하므로, 각 FBG의 반사파장은 서로 겹치지 않아야 한다. 기술한 바와 같이 FBG의 온도에 대한 민감성은 대략 1nm/100°C 정도이므로 측정하고자 하는 전력용 변압기의 온도변화가 200°C 정도임을 가정하여, 각 센서 FBG의 초기 반사파장은 2nm 이상의 파장간격을 유지하도록 설정하였다. 광원은 중심파장이 1550±20nm인 SLD(Super Luminescent Diode)를 사용하였고, 센서 어레이는 1540nm, 1545nm, 1547nm, 1552nm, 1557nm, 그리고 1560nm의 반사파장을 갖는 6개의 FBG로 구성하였다. 2개의 기준 FBG는 측정대상체가 아닌 시스템의 외함내부에 설치하였다[9].

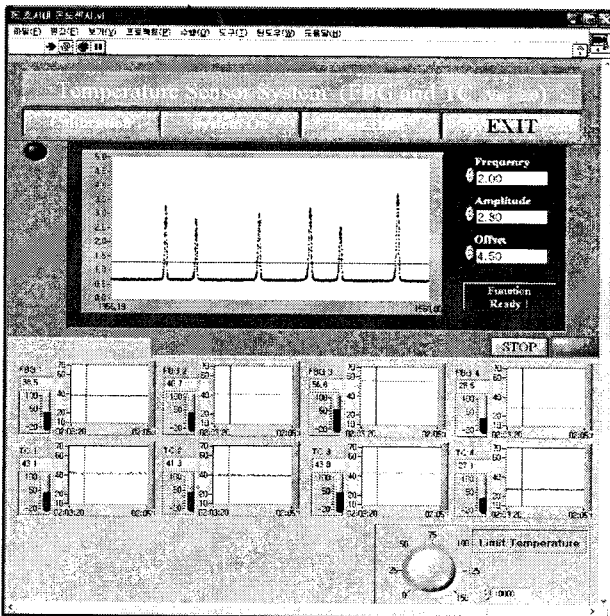
2.3 실험 및 결과



〈그림 3〉 전력용 변압기에 부착된 FBG센서와 TC센서의 위치

그림 3은 전력용 변압기에 동일한 지점에 부착된 FBG센서와 TC센서를 나타낸 것이다. 전력용 변압기의 모의시험을 위해 변압기 과부하시험용 전원장치를 이용하여 1차측 입력전압과 전류를 조절하여 2차측 단락시험을 하였다. FBG 온도센서의 정확성을 확인하기 위해 TC센서를 동일한 위치에 부착하여 측정하고 그 데이터를 비교해보았다.

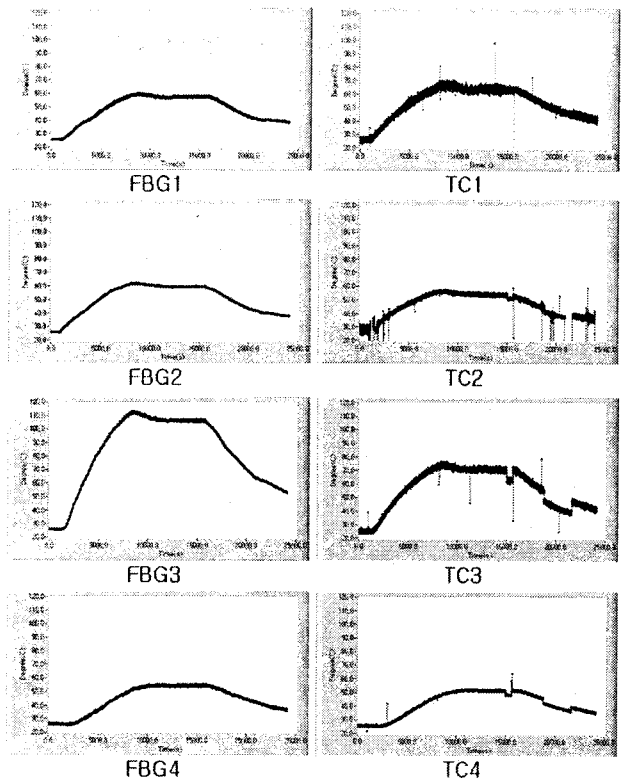
전원장치를 이용하여 변압기 1차측에 740V, 3.0A를 입력하고 온도변화를 측정할 후 100°C에 근접할 쯤 540V, 2.0A로 감압하여 온도변화를 측정하였다.



〈그림 4〉 실시간 온도측정 및 시스템

그림 4는 각 센서에서의 실시간 온도감시 및 측정을 위해 User Interface 프로그래밍 화면의 모습이다.

그림 5는 전력용 모의변압기 단락시험을 하고 위의 프로그램을 이용해 온도변화를 측정할 결과 그래프이다. 그래프에서 나타난 것과 같이 TC 센서는 외란으로 인한 노이즈가 많은 것을 알 수 있다. 반면 FBG 센서는 외부 영향을 거의 받지 않은 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 FBG3과 TC3의 데이터를 보면 온도차이가 나는 것을 알 수 있다. 즉, 90°C 이상을 측정할 경우 TC 센서에서 오차가 많이 난 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 FBG 온도센서가 전력용 변압기 온도변화를 측정하는데 적합하다는 것을 알 수 있고, 이를 이용하여 전력용 변압기 과열감시 시스템에 적용 가능하다고 판단된다.



〈그림 5〉 전력용 변압기 온도변화 측정 그래프

3. 결 론

광섬유 FBG 온도센서를 이용하여 전력용 변압기 과열감시 시스템을 구성하였다. 총 4개의 FBG 센서를 이용하여 단락시험을 통한 변압기의 온도변화를 측정하고 동일한 위치에 설치한 TC 센서의 데이터와 비교하여 FBG 센서의 정확성을 확인하였고, 이를 이용하여 과열감시 시스템에 적용 가능성을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, M. LeBlanc, K. P. Koo, C. G. A. skins, M. A. Putnam, and E. J. Friebel, "Fiber Grating Sensors", *J. Lightwave Technol.*, 15, 1442-1462, 1997.
- [2] A. Orthonos and K. Kalli, *Fiber Bragg gratings: Fundamentals and applications in telecommunications and sensing*, Boston, Artech House, 1999
- [3] A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, "Multiplexed fiber Bragg grating strain-sensor system with a fiber Fabry-Perot wavelength filter", *Opt. Lett.*, 18, 1370-1372, 1993.
- [4] S. H. Yun, D. J. Richardson, and B. Y. Kim, "Interrogation of fiber grating sensor arrays with a wavelength-swept fiber laser", *Opt. Lett.*, 23, 843-845, 1998.
- [5] W. W. Morey, G. Meltz, W. H. Glenn, "Bragg-grating temperature and strain sensors", *Proc. OFS*, 526, 1989.
- [6] K. O. Hill, B. Malo, K. A. Vineberg, F. Bilodeau, D. C. Johnson, and I. Skinner, "Efficient mode conversion in telecommunication fiber using externally written gratings.", *Electron. Lett.*, 26, 1270, 1990.
- [7] R. J. Campbell and R. Kashyap, "Spectral profile and multiplexing of Bragg gratings in photosensitive fiber", *Opt. Lett.*, 16, 898-900, 1991.
- [8] H. Lee, M. Song, "FBG interrogation with a scanning Fabry-Perot filter and gaussian line-fitting algorithm", 2005 IEEE LEOS Annual Meeting, 963-964, 2005.
- [9] 박형준, 이준호, 송민호, "전력설비 보호를 위한 분배형 광섬유 온도센서", *한국조명·전기설비학회논문지* 제20권 제5호, 64-71, 2006.