

광화이버를 이용한 전력케이블 진단을 위한 새로운 이론적 모델링

김태선, 서철현 ·
 송실대학교 정보통신공학과

New theoretical modeling for diagnosis of power cable
 using optic fiber

Taesun Kim, Chulhun Seo

Dept. Information and Telecommunication Eng., Soongsil Univ.

Abstract - This paper proposes the strain-insensitive temperature sensing in quasi-distributed sensor system using different thermal expansion coefficient materials. This system has the high sensitivity and hasn't the necessity of reference signal. We can monitor the condition of the power cable with this system.

1. 서론

특정한 부분에서 전력 케이블의 파손이나 노화는 전력 공급 케이블에서의 부분방전에 의한 전력손실을 가져온다. 전력 공급자 측은 전력의 손실이 있는 정확한 위치의 파악과 빠른 복구가 요구되어진다. 부분방전에 의한 전력 누화는 송수신간의 전력 비로써 감지할 수 있다. 그러나 정확한 위치의 파악은 다른 기술이 요구되어진다. 부분방전의 위치 파악 없이 전력 누화의 감지만으로는 지하에 매립된 케이블을 모두 파내어 위치를 파악하고 복구해야 하는데, 이는 많은 비용과 시간을 요구하는 문제점을 갖고 있다. 적은 비용으로 신속한 복구를 위해서는 부분방전이 되고 있는 위치의 파악이 우선되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 특정 파장만을 반사시키는 특성을 갖는 광섬유 격자를 이용한 전력케이블의 진단을 제안하고 있다. 광섬유 격자는 온도나 인장의 변화로 안정성을 요구하는 구조물이나 시스템의 노화나 오동작과 같은 현상을 감지할 수 있는 시스템 구현에 많은 연구들이 진행되어 오고 있다. 이러한 광섬유 격자는 전기적인 신호에 대한 수동적인 동작, 높은 감지능력, 제조의 용이성, 다중화의 가능, 대량생산성과 기존의 전기 신호에 의한 센서 시스템에서 문제가 되는 EMI에 대한 영향을 받지않는 등의 여러장점을 가지고 있어 많은 부분에 활용이 되어지고 있고[1-3], 또한 많은 분야에 걸쳐 활용 가능성을 가지고 있다.

기존의 광섬유 격자를 이용한 센서에서는 광

섬유에 가해지는 인장과 온도가 동시에 반사파장의 천이를 일으키므로 온도감지를 목적으로 하는 전력케이블 진단 시스템에서는 인장에 의한 반사파장의 천이가 문제가 되고 있다. 본 논문에서는 Bragg 격자에 광섬유와 다른 열팽창계수를 갖는 금속을 광섬유 격자에 부착하여 사용함으로써 인장에는 영향을 받지않고 온도의 변화만을 감지할 수 있는 센서를 제안하고 있다. 본 논문에서 제안하고 있는 센서는 기존의 센서에 비해 보다 높은 감지도를 갖을 뿐만 아니라 기준신호의 생성이 필요없다는 장점을 가지고 있다. 또한 전력케이블의 전범위를 감지하기 위하여 요구되는 quasi-distributed 시스템의 구현에도 적합하다는 장점을 가지고 있다.

2. 광섬유 센서

광섬유 격자 센서의 기본 원리는 광섬유에 가해지는 온도나 인장과 같은 요인에 의해 광섬유 격자에 의해 반사되는 신호는 파장천이를 유발하고 이 파장천이 정도를 모니터함으로써 이루어진다. 광섬유 격자에 의해 반사되는 파장은 격자의 공진조건을 만족하는 파장으로 Bragg 파장이라하며 다음과 같이 표현된다[4].

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

여기서 n_{eff} 은 광섬유내 코어의 유효 굴절률, Λ 은 격자의 주기를 각각 나타내는 것으로 Bragg 파장은 광섬유의 굴절률과 격자의 주기에 영향을 받는다. 인장이나 온도가 가해지면 유효굴절률과 격자의 주기가 변화게 되고 이는 Bragg 파장의 천이를 가져온다. 인장에 의한 파장천이는 센서에 가해지는 물리적인 힘에 의한 영향과 편광탄성 효과에 의한 광섬유 지수의 변화에 의해 발생한다. 반면, 온도에 의한 응답은 온도에 대한 광섬유 물질의 팽창정도와 온도에 의한 굴절률의 변화에 의해 형성된다. 이러한 온도와 인장에 의한 Bragg 파장의 관

계는 다음과 같이 표현된다[5].

$$\Delta\lambda_B = 2n\Lambda\left\{1 - \frac{n^2}{2}[P_{12} - \nu(P_{11} + P_{12})]\right\}\epsilon + 2n\Lambda\left[\alpha + \frac{\left(\frac{dn}{dT}\right)}{n}\right]\Delta T \quad (2)$$

상단의 식은 인장에 대한 응답, 하단은 온도에 대한 응답을 각각 나타낸다. 여기서 ϵ 은 인가되는 인장 강도, $P_{i,j}$ 는 stress-optic tensor의 Pockel 계수, ν 는 Poisson 비, α 는 광섬유의 구성 물질의 열팽창계수를 각각 나타낸다.

이러한 관계에 의해 광섬유격자에 의해 반사되어 오는 신호의 파장천이 정보로부터 온도나 인장의 변화를 검출한다. 온도나 인장의 인가에 의한 파장천이 검출시 신호의 크기에는 관여하지 않고 신호의 파장에만 의존하기 때문에 광섬유내의 손실이나 감쇠에 대한 고려가 필요 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 각기 다른 격자주기를 갖는 센서들을 그림 1과 같이 광섬유 라인에 배열하여 각 센서가 위치한 부분을 각각의 다른 Bragg 파장을 갖도록 격자센서를 구성하여 부호화할 수 있다. 이로써 온도나 인장에 대한 변화의 감지와 동시에 위치에 대한 정보까지 파악할 수 있는 quasi-distributed 감지 시스템이 구성될 수 있다.

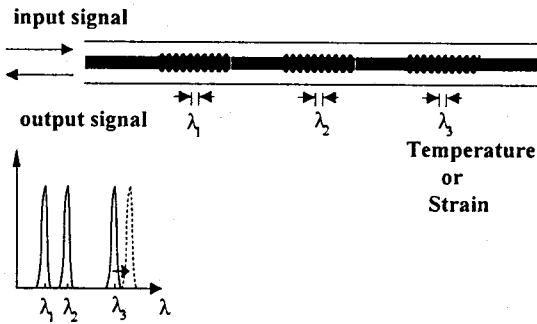


그림 1. FBG를 이용한 quasi-distributed 센서 시스템

이러한 감지 시스템에서 격자를 배열할 수 있는 용량은 광원의 폭과 각 격자 요소의 동작 파장폭에 의해 제한되어진다. 이러한 제한을 보완하기 위하여 시분할 다중화와 같은 다중화 방식을 도입하게 된다. 온도와 인장에 대한 영향을 분리하기 위하여 제안되어오던 장주기 격자섬유와 Bragg 격자섬유를 사용하는 방법으로 다른 격자 주기를 갖는 센서를 사용하는 제안되어졌다[6,7]. 그러나 이러한 방법들은 이러한 파장분할 용량의 제한을 가중시키기 때문에 quasi-distributed 감지 시스템의 구현에는 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 이러한 제한을 최소화하고 온도변화만을 검출하기 위

하여 광섬유 물질과 열팽창계수와 다른 금속들의 사용을 제안하고 있다.

3. 광섬유에 금속 부착을 통한 인장에 무관한 온도 센서

온도의 변화에 대한 Bragg 파장의 천이는 식 (2)에서 기술된 바와 같이 온도팽창 계수의 변화에 의한 부분(α)과 thermo-optic 계수($\frac{1}{n} \frac{dn}{dT}$)의 변화에 대한 부분으로 나누어진다. silica는 상온에서 약 $0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 온도팽창 계수를 갖는다[8]. 이러한 특성을 갖는 광섬유에 다른 온도팽창계수를 갖는 금속과 같은 화합물을 부착함으로써 본래 광섬유의 온도에 대한 응답을 변화시켜준다[9]. 이때 thermo-optic 계수에 의한 영향은 열팽창계수에 의한 영향에 비해 상대적으로 적은 부분을 차지한다. 그림 2와 같이 같은 Bragg 파장을 갖는 두 개의 센서에 서로 다른 열팽창계수를 갖는 두 금속물질을 부착하여 각각 온도에 대한 파장천이 정도를 다르게 해준다. 이로써 그림 3과 같이 두 개의 FBG로 구성된 센서 요소로부터 반사되는 파장은 열팽창계수에 관계하므로 온도 변화에 대해 두 개의 격자 센서로부터 반사되어 오는 파장의 차가 변화하게 된다. 이 변화의 정도는 두 금속의 열팽창계수의 차와 온도의 변화에 비례하는 응답을 갖는다. 그러므로 반사되어 오는 신호 스펙트럼의 간격으로 온도의 변화를 감지할 수 있게 된다. 이렇게 두 개의 센서로부터 온도차를 검출할 수 있기 때문에 부가적인 기준신호의 발생장치가 필요없게 된다.

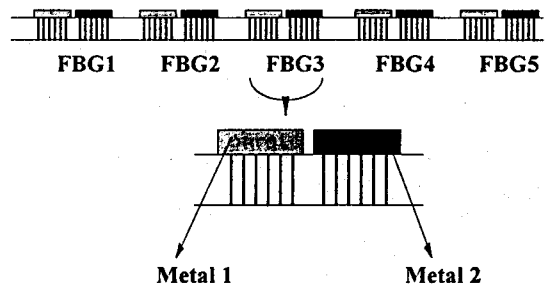


그림 2. 서로 다른 열팽창계수를 갖는 금속 부착을 통한 온도 센서 시스템

이때 온도 검출의 민감도를 높이기 위해 두 금속의 온도팽창계수는 적절한 차를 갖는 물질로 선택을 하고, 인장에 대해 무관하게 온도만을 검출하기 위하여 단금질, 뜨임처리등과 같은 제조과정에서의 적절한 처리를 통한 같은 인장강도를 갖는 두 물질을 선택한다.

예를 들어, $29.2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 의 열팽창계수를 갖는 납과 $1.2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 의 구리를 부착금속으로 선택할 수 있다. 이때 두 물질의 인장강도를 같게하기 위하여 적절한 제조과정을 거친 물질을 사용하게 된다.

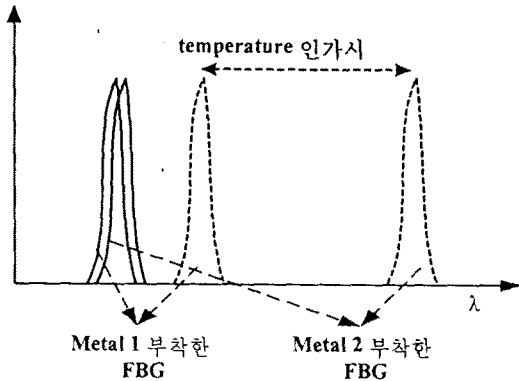


그림 3. 온도 인가시 서로 다른 열팽창계수를 갖는 두 개의 금속이 부착된 센서로부터의 반사 스펙트럼

이러한 원리로 그림 4와 같이 전력 케이블의 노화나 절단에 의한 전력의 누화를 감지할 수 있다.

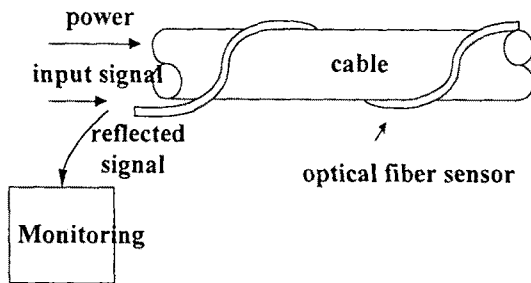


그림 4. 광섬유 센서를 이용한 전력 케이블 진단.

4. 결론

전력 공급체계에 문제를 가져오는 전력 케이블의 부분적인 방전을 감지하기 위하여 본 논문에서는 광섬유격자 센서의 사용을 제안하였다. 전력 케이블의 방전이 가져오는 열을 감지하기 위하여 물리적이 인장강도는 같고 서로 다른 열팽창계수를 갖는 금속 물질을 격자 센서에 부착하는 방법으로 인장에 무관한 고감도의 온도센서를 제안하고 있다. 이러한 시스템은 quasi-distribute 시스템의 구현을 가능하

게 하고 기준 신호를 요구하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 향후 과제로 실험을 통하여 상기에서 제안하고 있는 시스템의 타당성과 성능의 파악과 보완하는 일과 quasi-distribute 시스템의 구성을 위하여 파장다중화의 용량과 온도의 감지도등이 고려하여 여러 금속물질들의 부착을 통한 최적화된 시스템의 구현이 남아있다.

5. 참고문헌

- [1] A. D. Kersey *et al.*, "Fiber Grating Sensor," *J. Lightwave Technol.* vol. 15, pp. 1442-1463, 1997.
- [2] A. Mendez and T. F. Morse, "Overveiw of optical fiber sensors embedded in concrete," *Proc. SPIE* vol. 1798, pp. 205-216, 1992
- [3] R. Maaskant *et al.*, "Fiber optic Bragg grating laser sensors for civil engineering," in *Proc., SPIE Distributed and Multiplexed Fiber Optic Sensor III*, vol. 2071, pp. 21, 1993
- [4] W. W. Morey, G. Meltz, and W. H. Glenn, "Fiber Bragg grating sensors," in *Proc. SPIE Fiber Optic & Laser Sensors VII*, vol. 1169, pp. 98, 1989.
- [5] J. Dakin and B. Culshaw, "Optical fiber sensors," *Artech House*, 1997.
- [6] M. G. Xu *et al.*, "Discrimination between strain and temperature effects using dual-wavelength fiber grating sensors," *Electron. Lett.*, vol. 30, pp. 1085-1086, 1994.
- [7] H. J. Patrick, *et al.*, "Hybrid fiber Bragg grating/ temperature discrimination," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, pp. 1223-1225, 1996.
- [8] I. H. Malitson, "Interspecimen comparison of the refractive index of fused silica," *J. Opt. Soc. Amer.* pp.1205-1209, 1965.
- [9] M. Song, *et al.*, "Simultaneous measurement of temperature and strain using two fiber Bragg gratings embedded in a glass tube," *Opt, Fiber Technol.* pp. 194-196, 1997.