

초고압 케이블의 송전 감시 시스템 소개 및 기술동향

권 병일·남 정세·강 덕환*

대한전선(주)

Application of Supervisory System in Extra High Voltage Cable

Byung-il Kwon, Jeong-se Nam, Deok-hwan Kang

Taihan Electric Wire Co.,Ltd

[Abstract]

Since Korea was initiated a industrialization , many transmission lines have been installed to meet the increasing demand for the electric power. In large city, underground transmission lines were widely installed because of the environmental issue. But there have been appeared many failures on the lines, such as the external scar of cable, a fire in the culvert, overheating of cable, and so on. There have been many studies to monitor them and improve the reliability of the power supply. As a method monitoring the lines, a DTS(Distributed Temperature Sensor) system is developed and applied. This system monitors the lines and predicts the failures, using a optical fiber sensor

This paper describes this DTS system and its application for the underground transmission lines.

1. 서 론

본격적인 산업화가 이루어지기 시작한 1970년대부터 전력의 안정적 공급 및 전력전송의 신뢰성과 효율을 높이기 위해 송전전압의 초고압화가 요구되었고, 또한 환경문제의 지속적인 대두로 인해 송전선의 지중화가 활발히 이루어져 왔다. 이러한 시대적 요구에 의해 20여 년 간 설치된 지중 송전 케이블은, 케이블 외상, 화재, 온도상승에 따른 케이블 과열, 복잡한 상황에서의 적절한 정격 전류 설정의 곤란함 등과 같은 문제점이 제기 되었다.

따라서, 본고에서는 정상시의 상태를 연속적으로 감시하고, 사고를 예측하여 미연에 방지할 수 있는 DTS(Distributed Temperature Sensor)시스템의 지중송전선 적용에 대하여 논하고자 한다.

2. 본 론

송전 설비가 고전압화, 대용량화되어짐에 따라 지중송전 케이블에 일단 사고가 발생되면 사고는 대형화되어 사회적인 파급효과가 광범위해지지만, 구조상 일단 발생된 사고의 복구에는 상당한 기간이 소요될 수밖에 없다.

따라서, 현재 각국에서는 다양한 송전 감시 시스템을 연구 개발하여 적용하는 추세에 있다. 이러한 여러 가지 감시 시스템중 가공지선, 기계류, 파이프라인, 터널, 건물공조등 광범위하게 사용되고 있는 DTS (Distributed Temperature Sensor) 시스템을 지중 송전 케이블에 적용하는 방안 및 구성 원리 등에 대하여 살펴보기로 하겠다.

2.1 DTS의 원리 및 구성

2.1.1. DTS의 원리

DTS (Distributed Temperature Sensor)는 광펄스를 입사, 그 반사광과 후방산란광의 강도 등을 시간의 함수로서 해석하는 OTDR (Optical Time Domain Reflectometry)의 원리를

이용하여 광화이버 자신이 온도센서가 되어 길이방향으로 온 도상향을 연속적으로 측정할 수 있다.

사고 점의 거리측정

$$L = \frac{c}{n} \cdot \frac{t}{2}$$

c : Light velocity

t : Elapsed time

n : Index of refraction of the fiber

온도의 측정식

$$\frac{I_{as}}{I_s} \propto \exp\left(-\frac{hc\nu}{kT}\right)$$

I_{as} : Intensity of Anti-Stokes light

I_s : Intensity of Stokes light

T : Absolute temperature (K)

h : Plank constant (J.s)

c : Light velocity (m/s)

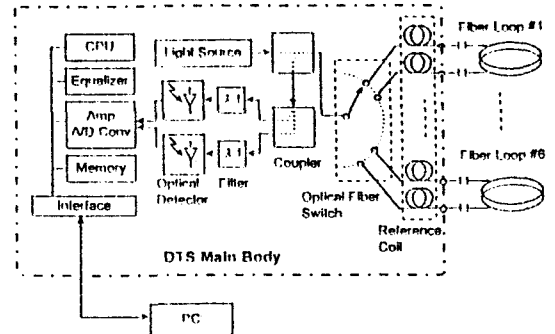
ν : Raman shift (m⁻¹)

k : Boltzmann constant (J/K)

2.1.2. DTS의 구성

DTS(광화이버 온도 계측센서)의 구성은 그림과 같으며, 그 구성요소의 기능과 성능은 아래와 같다.

- 중앙장치 (MS : Master Station)
 - * 감시 시스템의 전송신호를 받아 비교, 판정제어
 - * 제어용 컴퓨터, 기술 데이터 수집 컴퓨터로 분리
 - * 부속장치 : 킬러 모니터, 컨트롤 보드, 프린터
- 단국장치 (LS : Local Station)
 - * 각 센서와 중앙장치간의 통신전송
 - * 저 소비 전력형으로 전송단말 내장
 - * 완전밀폐 구조 (스테인레스 외함)
 - * 전자식 제습기, 5시간 백업 배터리 내장
 - * 아날로그 데이터의 일시기억, 통계처리 가능
- 센서류
 - * 악조건 하에서도 연속적으로 작동가능
 - * 전자기 영향을 받지 않는 광센서 채택



(그림 1) Block Diagram of DTS

- 전송로
 - * 광화이버 케이블
 - * 난연

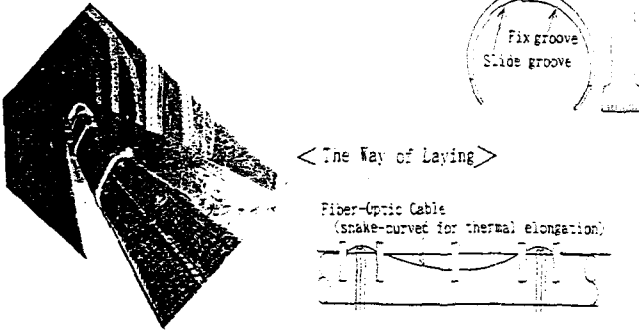
위 그림은 일반적인 DTS(광화이버 온도 계측센서)시스템의 Block Diagram을 보여주는 그림이다.

2.2. DTS 시스템의 설치

DTS(광화이버 온도 계측센서)시스템은 전송손실이 적고 많은 신호를 보낼 수 있는 경량의 광 케이블을 사용하므로 신뢰성 있고 위험한 환경에도 광범위하게 적용될 수 있다. 또한, 설치가 간단하고 이상 시에는 Alarm 경보를 발생하며, 전자기 간섭이 없고, 일일이 작동시험을 하지 않아도 되므로 유지 및 보수가 용이하다.

2.2.1. 전력구내 설치

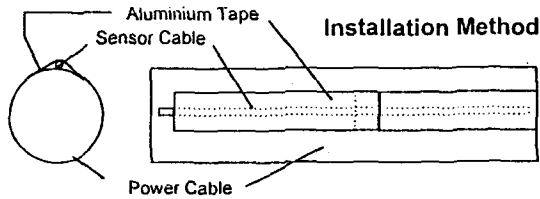
< 布設状況 >



(그림 2) 전력구내 DTS 적용(예)

전력구에서의 광 케이블의 취부는 케이블에 고정할 수 있는 그림과 같은 링을 사용한다. 또한 링은 케이블의 열 신축의 영향을 고려하여 광 케이블이 자유로이 움직일 수 있도록 스프링 설치에 용이한 구조여야 한다.

2.2.2. 관로내 설치



(그림 3) 관로내 DTS 적용(예)

관로 내에서는 케이블 포설시 케이블 표면에 취부한 광 케이블이 상처를 입지 않도록 알루미늄 테이프로 고정시킨다.

2.3 DTS의 전류관리에의 응용

전력케이블의 허용전류는 일반적으로 가정된 주위조건하에서 일부 경험 데이터를 부가한 이론 식에 의해 산출되어 케이블 계통 설계 및 운용에 이용되고 있다.

그런데 이 허용전류는 계통이 정상적으로 주어진 조건하에서 운용되고 있을 때 유효한 것으로서 주위조건이 급변한 경우 또는 주위조건이 허용하는 한 과부하 운전을 해야하는 등 특별한 경우에는 도움이 되지 못한다.

이러한 특수조건하에서 경험만에 의존하여 운전하는 것은 케이블 수명을 크게 단축시키거나 또는 큰 사고로 전이될 수 있는 위험요소를 안게 된다. 특수조건하에서의 케이블의 허용

전류는 계산이 복잡하고 이론적 상황과 실질적 상황이 일치하지 않는 면도 있으므로, 지금까지는 이러한 계통 운전을 피해오고 있는 것이 현실이다.

그런데 DTS(광화이버 온도 계측센서)시스템을 이용하여 케이블의 온도나 주위온도를 모니터링하는 장치를 전력계통에 구축하게 되면, 계통의 운전이 있어 이렇듯 이용되지 못하고 있던 부분을 이용할 수가 있게되어 설비효율을 극대화 할 수 있게 된다.

2.3.1. 일반 조건하에서의 상시 허용전류

케이블이 연속적으로 운전되고 있는 경우의 케이블의 허용전류는 다음과 같이 산출된다.

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\theta - Wd [0.5T1 + n(T2 + T3 + T4)] - \Delta\theta_s}{R [T1 + nT2(1 + \lambda1) + n(1 + \lambda1 + \lambda2)(T3 + T4]}}$$

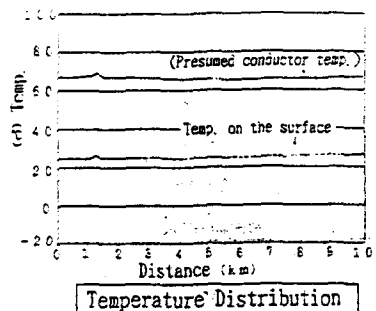
- 여기서, $\Delta\theta$ = 도체온도와 주위온도와의 차이 [°C]
 $\Delta\theta_s$ = 일사에 의한 온도상승 [°C]
 R = 사용온도에서의 교류저항 [Ω/m]
 Wd = 유전체 손실 [W/m]
 $T1$ = 절연체 열저항 [°K.m/W]
 $T2$ = 베딩층 열저항 [°K.m/W]
 $T3$ = 써빙층 열저항 [°K.m/W]
 $T4$ = 케이블 표면이후의 열저항 [°K.m/W]
 n = 선심수
 $\lambda1$ = 베딩과 절연체간 금속 부의 손실계수
 $\lambda2$ = 써빙과 베딩간 금속 부의 손실계수

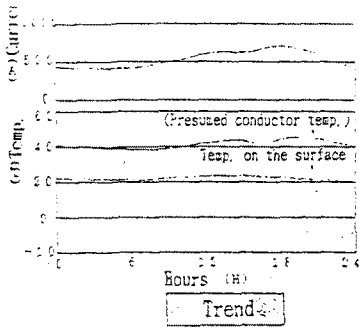
위의 계산 식에 적용되는 계 정수들은 대부분 케이블의 구조 및 설치상황에 따라 결정되어 지는데 허용전류란 도체에서 발생하는 열량이 케이블을 통해 외부로 방사되면서 도체 온도가 일정치(XLPE케이블의 경우 90°C)로 유지되면서 열 평형이 이루어지는 전류를 말하는 것이다.

일반적인 경우 주위온도를 어떤 값 (전력구내 기중포설의 경우 통상 40°C)을 적용하여 계산하고 있는데 이 주위온도는 일정한 값이 아니며 계절, 시간에 따라 다르고 전력구내의 다른 케이블의 부하 상태도 영향을 받게된다. 초기에 적절한 검토를 하여 케이블의 용량을 선정하였다고 하더라도 케이블의 증가 등에 따라 과부하 운전되어 버리는 경우도 발생할 수 있는 것이다.

따라서 케이블에 흘릴 수 있는 전류는 실질적으로 도체온도가 일정치에 이를 때까지인데 운전중인 케이블의 도체온도를 측정할 수는 없으므로 케이블 표면온도를 측정하여 도체온도를 역 추정할 수 있고, 이를 관리하면 상시 운전 상황에서의 최적부하 운전을 할 수 있는 모델을 산정할 수 있다.

즉 DTS(광화이버 온도 계측센서)시스템으로 부터 모니터링된 케이블 온도를 이용하여 최대 송전 가능한 전류를 컴퓨터로 자동 계산하여 수시 판정할 수 있고 주위상황이 급변하여 도체온도가 규정치 이상으로 되는 경우 경보신호를 내어 사고를 미연에 방지할 수 있게 할 수 있는 것이다.





(그림 4) Cable Monitoring (예)

그림 4는 DTS(광화이버 온도 계측센서)시스템을 적용하여 케이블을 모니터링한 것을 그래프로 나타낸 것이다. 전력구내 1화선의 154kV 1C x 400mm² XLPE Cable이 설치되어 있는 경우의 계산 예에서 통상적으로 허용전류를 계산하는 경우 전력구의 온도를 40도로 상정하여 허용전류를 계산하는데, 전력구의 온도변화에 따라 다음과 같은 정도의 송전용량의 차이가 발생하게 된다.

전력구 의 온도 [°C]	허용전류[A]	전력구 의 온도 [°C]	허용전류[A]
10	976	40	770
15	945	45	731
20	913	50	688
25	879	55	643
30	845	60	595
35	808	65	542

2.3.2. 순시허용전류

위의 상시 허용전류는 연속적으로(1일 이상) 일정치 이상의 전류를 주위여건에 맞추어 흘리고자 할 때 적용할 수 있는 기준이 되는데 만약 어떤 크기의 전류를 흘리고 있는 상황에서 비정상적으로 과부하 운전을 하지 않을 수 없는 경우 단기간이라면 상시허용전류보다 더 많은 전류를 흘릴 수 있다.

이 값은 초기에 케이블에 흐르고 있던 전류의 크기, 과부하 전류의 크기, 과부하 운전 예상시간 등에 따라 결정되는데 상황은 위의 경우보다 복잡하지만 온도를 모니터링 해가면서 컴퓨터로 관리하게 되면 비상시 훌륭한 과부하 운전 기능으로서 응용될 수 있다.

2.3.3. 소프트웨어에의 응용방안

DTS(광화이버 온도 계측센서) 시스템을 이용하면 전력구의 온도와 케이블 표면의 온도를 측정할 수 있다. 이 측정 온도를 연속허용전류 및 단시간 허용전류의 식에 대입하여 도체의 온도를 추정하고 현 상황하에서 흘릴 수 있는 최대 크기의 전류치를 계산한다.

이러한 조건에서 흐르고 있는 전류를 계산할 수도 있으므로 변전소에서 계측되고 있는 전류치와 비교하여 실제와 추정의 경우를 비교하여 보정하면 비상운전시의 운전한계를 예측하는 것이 가능하다. 또 운전시의 피복온도가 일정치 이상이 되면 다른 상황의 발생에 따라 케이블이 과열되는 것을 방지하기 위하여 경보를 사전 발할 수 있도록 처리해준다

3. 결 론

이상과 같이 광화이버를 이용한 DTS(광화이버 온도 계측센서)시스템의 작동 원리 및 활용에 대하여 논하여 보았다. DTS(광화이버 온도 계측센서)시스템은 타 보호설비에 비해 탁월한 성능과 고신뢰도를 자랑하며, 활용하기에 따라 다양한 목적으로의 전환이 가능한 방식이다. 현재와 같이 도심의 전

력집중화가 심각한 상황에서 화재 및 기타 사고 시에 엄청난 파급이 일어날 우려가 있기 때문에 DTS(광화이버 온도 계측센서)시스템과 같은 감시설비가 그 어느때 보다도 절실하다 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] SEI(Japan), "New Technologies for Transmission Cables", 1996. 05
- [2] 대한전선(주), "광화이버 이용 다점 온도분포 계측 시스템", 1996. 04
- [3] 정무원 2, "전력케이블 대용량화에 따른 ...", 대한전기학회, C권, Page 1842, 1996. 07