The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 17, No. 3, pp.197-201, Jun. 30, 2017. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.3.197
JIIBC 2017-3-24

활선 6 kV CV 단심 케이블의 도체 및 표면온도 측정 데이터에 관한 타사 데이터와의 비교검토

Comparison and Examination of the Measured Data With the Data from Other Company for the Conductor and Sheath Temperatures of Live 6 kV CV Single Core Cables

엄기홍*

Kee-Hong Um*

요 약 국내의 전기수요량은 매년 증가하고 있다. 발전소에서 전력을 생산하고 공급하기위하여 채택된 모든 장비들은 신뢰할 수 있는 상태에서 완전하게 동작하여야 한다. 생산된 고전압의 전기를 공급하기 위한 장비로서 6 kV CV 단심케이블이 사용되고 있다. 케이블 제작사는 케이블의 동작 수명이 약 30년 이라고 공개적으로 알리고 있다. 그러나 설치된 케이블이 동작을 시작함과 동시에, 성능이 악화되는 열화과정이 시작된다. 동작 중인 케이블의 열화 상태로 인한 신뢰성을 진단을 받지 않았기 때문에, 케이블은 예측하지 못하는 시점에서 언제든지 파괴될 수 있다. 우리는 케이블의 사고를 체계적으로 감시 및 예방하기 위한 측정 장비를 개발, 한국서부발전 주식회사(Korea Western Power Co. Ltd.)에 설치하여 활선 케이블을 진단하였다. 이 논문에서 우리는 케이블을 구성하고 있는 도체와 표면온도를 측정하였고, 타사의 데이터와 비교하여 서로가 일치한다는 연구결과를 제시한다.

Abstract The demand for electric power is increasing every year in Korea. All the systems adopted at power stations in order to generate and transmit electric power should operate in perfect condition or reliability. The device for transmitting the generated high-voltage electric power is 6 kV CV single core cables. The manufacturing companies of the cables makes an official announcement that the operating lifetime of their cables is about 30years. But from the moment of operation the deterioration precesses of worsening the characteristics of cables starts. Since the reliability for the status of installed cables in deterioration has not been diagnosed, the cables can be broken at any unexpected moments. In order to prevent the abrupt cable accident by systematically monitoring the cable status, we have invented the first device in Korea. We have installed our device at Korea Western Power Co. Ltd. in order to diagnose the live cables. In this paper, we present our research results of measured temperatures of inner conductor and surface and the compared results of those data with other cable company. We also show that our results agree with those made by other company.

Key Words : CV cables, Lifetime, Inner conductor, Cable sheath, Surface Temperature, Ampacity

*정회원, 한세대학교 IT학부 교수
접수일자 2017년 3월 8일, 수정완료 2017년 5월 8일
게재확정일자 2017년 6월 9일

Received: 8 March, 2017 / Revised: 8 May, 2017 /
Accepted: 9 June, 2017
*Corresponding Author: um@hansei.ac.kr
Dept. of Information Technology, Hansei University, Korea

Ⅰ. 서 론

최근 우리나라의 1 년간 평균 전력소모량은 8,092 kWh 로서 1980년의 전력소모량에 비교하여 9배 만큼 증가한 바와 같이 전력 수요의 증가로 인하여 전력을 수급하기 위한 여건이 계속 악화되고 있는 추세이다[1,2]. 화력발전은 단시간 내 최대 출력을 낼 수 있어서 급격한 전기수요의 증가에 효과적으로 대응할 수 있는 장점이 있으나, 화석 연료를 사용하여 다량의 질소산화물, 황산화물, CO_2를 대기 중으로 배출하여 지구 온난화의 주원인이 된다. 한국전력 산하 발전 공공기관인 서부발전은 꾸준한 기술의 발전에 의하여 연내 가동 예정인 석탄가스화(IGCC) 화력발전시설도 기존 석탄화력발전보다 배출물 중 황산화물을 90% 이상, 이산화탄소는 25%까지 저감하는 신기술을 개발하기 위한 많은 노력을 하고 있다[3,4].

이 논문에서 우리는 케이블을 구성하고 있는 도체와 표면온도를 측정하였고, 타사의 데이터와 비교하여 서로가 일치한다는 연구결과를 제시한다. 그 결과 우리가 측정한 케이블의 표면온도를 근거로 계산한 도체의 온도는 오차의 크기가 감소되었다는 성능의 개선을 확인하였으며, 우리가 검토한 6 kV CV 100 SQ 단심케이블의 부하전류에 따른 도체온도와 피복표면온도의 data에서 오류가 없다는 것이 검증되었다.

Ⅱ. 일본 전력 중앙연구소의 온도시험 data

一定負荷	通電電流 : 390A-24時間
変動負荷	通電電流 : 490A-8時間 (9:00-17:00) 通電電流 : 332A-16時間 (17:00-9:00)

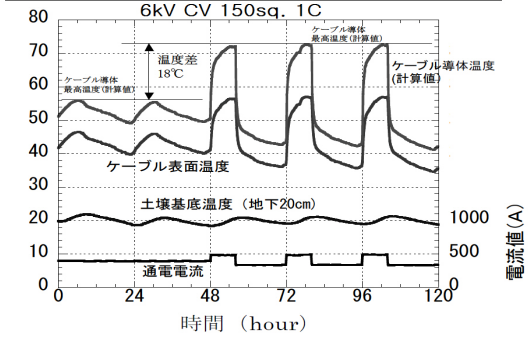

그림 1. 일본전력중앙연구소의 통전전류에 따른 케이블 피복 표면온도 및 도체온도

Fig. 1. Temperature of sheath surface of cables depending on the current from Japanese Central Research for Electric Power

그림 1 은 2008년 일본 전력중앙 연구보고서 H 07016호(淺層埋設トラフ内に設置されるケーブル許容電流の檢討)에 기재된 그림이다[5].

상기 data를 보면 6 kV CV 150 SQ 단심케이블의 연속허용전류에 해당하는 약 390 A를 연속 통전 시에는 케이블 도체온도는 약 56 °C이고 케이블 피복표면온도는 약 47 °C정도이므로 케이블 도체온도와 케이블 피복표면온도와의 차이는 약 9 °C정도이다. 그리고, 150 SQ의 연속허용전류보다 100 A정도 많은 490 A의 통전전류를 흘렸을 때에는 케이블 도체온도는 약 74 ℃이고 케이블 피복온도는 약 56 °C이고 케이블 피복온도와의 차이는 약 18 °C이다. 또한 332 A의 전류를 흘렸을 때에는 케이블 도체온도와 케이블 피복온도와의 차이는 약 7 °C이하이다.

Ⅲ. 활선 100 SQ 케이블을 흐르는 전류

그림 2 는 활선 100 SQ 케이블을 흐르는 345 A 전류에 따른 도체온도와 피복표면온도와의 온도차를 검토한 그림이다.

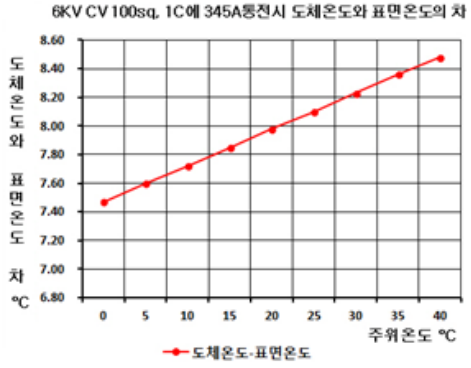

그림 2. 주위온도에 따른 케이블 도체온도와 피복표면온도와의 온도차

Fig. 2. Temperature difference of conductor and sheath surface depending the ambient temperature

케이블의 포설조건과 사용조건에 따라 전류에 의해 도체에 발생하는 온도는 달라지지만, 그림 2의 본 연구과제에서 검토한 6 kV CV 100 SQ 단심케이블 및 주위온도 30 °C조건에서 도체온도를 90 °C되도록 최대 허용부하전류(345 A)를 흘렸을 때 도체온도와 피복표면온도와의 차이가 약 8.2 °C이었고, 일본 전력중앙연구소의

자료에서는 6 kV CV 150 SQ케이블에 최대허용전류(390 A)를 흘렸을 때 도체온도와 피복표면온도와의 차이가 약 9 °C이었다. 따라서, 케이블 포설조건과 사용조건에 따라 온도차이가 발생하는 사항을 고려하면 일본 전력중앙연구소에서의 도체온도와 피복표면온도와 차이를 제시한 data와 본 연구과제에서 검토한 도체온도와 피복표면온도와의 차이data가 거의 동일한 값을 나타내었다. 따라서, 상기에서 검토한 6 kV CV 100 SQ 단심 케이블에서 부하전류에 따르는 케이블 중심 도체가 발생하는 온도와 피복표면온도에서 추출한 data에서 오류가 없음을 확인할 수 있었다.

IV. 전류 및 온도 실험 dada의 비교

연구과제 수행을 위하여 한세대학교 실험실에서의 전류, 온도실험 data와 계산에 의한 도체온도와 피복 표면온도차의 비교 검토하였다. 이 내용을 서부발전(주)에 제출한 최종 보고서(2016. 05)에도 수록하였다. 현장에서 케이블에 운전 부하전류가 흐를 때 케이블의 도체온도를 직접 측정할 수 없어 표면온도를 측정하여 도체온도를 예측, 계산하여야 한다. 본 연구 과제에서도 현장에서 케이블의 도체온도를 예측하기 위해 별도의 한세대 실험실 내에서 6 kV CV 100 SQ 단심(single-core) 케이블에 전류를 흘려서 케이블의 피복 표면온도와 도체온도를 측정할 수 있도록 그림 3과 같이 구성하였다. 그림 3 은 운전중인 케이블의 도체온도와 표면 온도를 측정하기 위하여 우리들이 개발하여 실험데이터를 추출하기위하여 운영중인 시스템의 외관이다. 이 시스템은 한세대학교 연구실에 설치되어 있다[6]. 이 장치를 사용하여 측정하려는 케이블의 도체에 부하 전류가 흐르면 열이 발생한다. 전류가 흐르는 동안에는 열저항(thermal resistance)으로 인하여 케이블의 중심 도체의 온도와 케이블표면의 온도가 차이가 발생하게 된다. 열저항은 물질이 열의 흐름을 저항하는 두 지점 사이의 온도 차이를 나타내는 열의 특성이다. 열전도(thermal conductance)의 역수이다. 열저항의 SI 단위는 kelvins/watt 또는 degrees Celsius/watt 이다. △1K= △1 °C 이므로 이 두 단위는 같다. 대부분의 전기 소자 또는 장치들은 동작하는 동안에 열을 발생시키며, 이열은 냉각시켜야 하므로 물질의 열저항은 매우 중요하게 고려해야할 물리량이다[7].

발전소의 부하 전류 만큼의 전류를 측정 장치에서 발생시켜서 흐르게 하면, 케이블로 루프를 만들어 도체단자를 통하여 전류 순환 루프가 형성된다. 그러면, 도체내에 전류가 흐른다. 이 때 도체 온도와 표면 온도를 측정하게 되면, 도체 온도와 표면 온도의 상관 관계를 알 수 있다. 단, 상관관계를 알기 위해서는 발전소 내의 온도와 실험실 내의 온도 변화를 동일한 조건으로 설정하여야 한다. 고전압 케이블의 전류 및 온도는 측정 장치에 연결되어 있는 화면을 통하여 확인할 수 있으며, 이로써 도체 온도와 부하 전류와의 상관 관계를 특정할 수 있다. 동작 중인 고전력 케이블의 도체의 온도를 측정하는 작업은 거의 불가능하다. 이 문제를 해결하기 위하여 케이블의 표면에서의 온도를 측정하고 도체의 온도로 변환하기 한 장치가 바로 이 장치이다.

그림 3. 도체온도와 표면온도의 변환장치 설치 상태
Fig. 3. Installation status of device for converting conductor temperature into surface temperature

그림 4 는 그림 3의 장치에 설치되어 실시간으로 동작하는 장치로서 운전 중인 케이블에서 측정된 도체온도와 표면 온도를 표시하는 화면이다[6]. 케이블의 도체에 전류가 흐르면, 열이 발생된다. 이 열은 케이블 절연체의 열화를 가져오게 되는 데, 절연 재료에 따라 허용온도가 정하여져 있다. 운전 중인 케이블의 열화에 미치는 요인은 여러 가지가 있다. 대표적인 것으로 부하 전류, 주위 온도 및 습도인데 케이블 허용 전류는 아래의 식으로 주어진다.

$$I = \sqrt{\frac{T_1 - T_2 - T_d}{r \cdot R_{th}}} \quad (1)$$

식 (1)에서, I : 허용전류, T_1 : 도체 온도, T_2 : 주위 온도, T_d : 유전체온도상승, r : 교류 도체 실효저항, R_{th} : 전열 저항이다[8].

즉, 이 식에 의하여 케이블 허용 전류가 산출되긴 하지만, 케이블 수명을 30년 보장한다는 주장의 정당성 여부를 확인할 수 있는 방법은 여태까지 없다. 그러나, 이 식에 의하면, 전기 절연체 Y-종의 경우, XLPE 에서 T_1이 90 ° 인 상태에서의 케이블이 연속 운전할 경우에 30년의 수명이 보장하는 것으로 정의되어 있다. 도체 온도 T_1는 아레니우스 이론 (즉, 도체의 온도가 10 ° 상승하면, 수명이 반으로 감소한다는 이론) 에 의하여 결정된다. 그러나, 실제 상황의 경우, 와이블 분포 (Weibull distribution) 함수의 이론에 의하여 수명을 예측할 수 있다[9,10].

그림 4. 도체 온도, 표면온도 변환장치 표시화면
Fig. 4. Screen of device for converting conductor temperature into surface temperature

한세대 실험실에서 실험을 하기 위하여 케이블에 공급하는 전류는 그림 5 와 같이 태안발전본부의 연구과제 케이블에서 실제 흐르는 운전 부하전류의 조건과 거의 유사한 50A를 사용하였다[6].

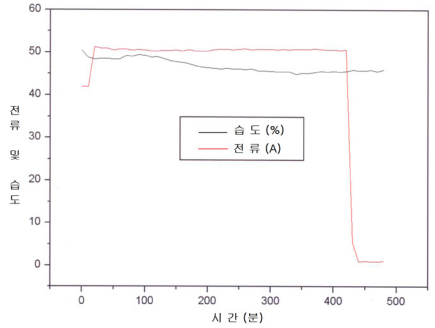

그림 5. 실험 케이블에 공급하는 전류
Fig. 5. Current applied to the cable

그림의 data를 보면 실험 시 케이블 도체에 50A의 전류를 약 7 시간정도 공급되었음을 알 수 있다. 이와 같은 조건으로 50 A의 전류를 6 kV CV 100 SQ 단심케이블에 흘렸을 때에 케이블의 피복 표면온도와 도체온도는 그림 6과 같은 data가 측정되었다[6].

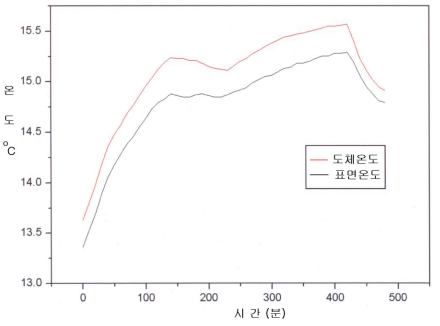

그림 6. 도체온도 및 표면온도 측정 data
Fig. 6. Measured data of temperatures in conductor and surface of cables

그림 6의 data를 우리들 실험실 내에서 6 kV CV 100 SQ 단심케이블에 50 A를 흘렸을 때, 케이블 피복 표면온도는 최대 15.3 ℃, 케이블 도체온도는 최대 15.6 ℃, 도체온도와 피복 표면온도차는 0.3 ℃정도이다. 그림 7은 실험실 내에서 50 A의 전류를 흘렸을 때의 도체온도와 피복 표면온도차 0.3 ℃는 계산에 의해 검토한 그림이다.

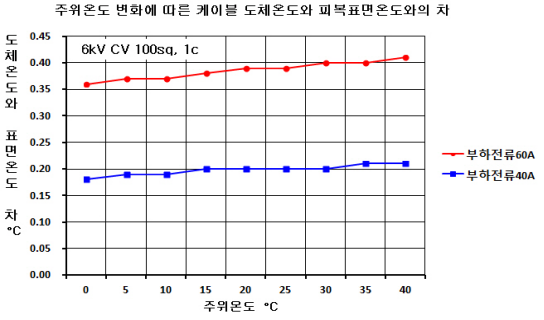

그림 7. 주위온도 변화에 따른 케이블 도체온도와 피복표면온도와의 차
Fig. 7. Difference of temperatures for conductor and sheath of cables depending on the change of ambient temperature

따라서, 부하전류 50 A가 흐를 때 도체온도와 피복 표면온도차는 계산에 의한 값과 실험에 의한 값이 거의 같으므로, 상기에서 검토한 6 kV CV 100 SQ 단심케이블의

부하전류에 따른 도체온도와 피복표면온도의 data가 오류가 없다는 것이 검증되었다.

V. 결 론

우리는 케이블의 사고를 체계적으로 감시 및 예방하기 위한 측정 장비를 개발, 한국서부발전 주식회사(Korea Western Power Co. Ltd.)에 설치하여 활선 케이블을 진단하였다. 이 논문에서 우리는 케이블을 구성하고 있는 도체와 표면온도를 측정하였고, 타사의 데이터와 비교하여 서로가 일치한다는 연구결과를 제시하였다. 이 논문에서 우리는 케이블을 구성하고 있는 도체와 표면온도를 측정하였고, 타사의 데이터와 비교하여 서로가 일치한다는 연구결과를 제시하였으며, 측정한 케이블의 표면온도를 근거로 계산한 도체의 온도는 정확하다는 결론을 얻을 수 있었다. 측정한 케이블의 표면온도를 근거로 계산한 도체의 온도는 오차가 없다는 성능개선을 확인함으로써 참값을 정확히 나타낸다는 결론을 얻을 수 있었다.

Acknowledgement

The author wishes to express his thanks to Professor Dae-Hee Park(Won Kwang University) and President Bo-Kyeong Kim(Osung Mega Power Co., Ltd.).

Without their help and guidance, this work would have been impossible to complete.

References

[1] J. S. Kim, K. H. Kim, J. S. Lee, “The Study on the Variable Orifice Spray of the Steam Power Plant Desuperheater,” Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society(JKAIS), Vol. 14, No. 1, pp. 63-68, 2013.

[2] The Ministry of Knowledge Economy, “The 5th Basic Plan of Long-Term Electricity Supply”, pp.11-20, 2010.

[3] J. S. Kim, K. H. Kim, J. S. Lee, “The Study on the Variable Orifice Spray of the Steam Power Plant Desuperheater,” Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society(JKAIS), Vol. 14, No. 1, pp. 63-68, 2013.

[4] http://news.mk.co.kr/newsRead.php?no=281938 & year=2016

[5] Report of Research Results, No .H07016, Japanese Central Research for Electric Power, 2008

[6] K. H. Um, K. W. Lee, “A Study on Load Current and Temperature to Expect Lifrtime of High-Power Cables”, Journal of the The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol.15, no. 4, pp. 199-203, Aug., 2015.
DOI: https://doi.org/10.7236/JIIBC.2015.16.4.199

[7] H. M. Tong, Y. S. Lai, C. P. Wong, “Advanced Flip Chip Packaging”, Springer Science & Business Media. pp. 460 - 461. ISBN 978-1-4419-5768-9. 2013.

[8] K. H. Um, K. W. Lee, “A Study on Lifetime Evaluation of High-Power Cables Based on Temperature Changes” Journal of IIBC, vol. 15, no. 2, pp. 273-278, Apr. 2015.
DOI: https://doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.2.273

[9] G. Muraleedharan, C.G. Soares,“Characteristic and Moment Generating Functions of Generalised Pareto (GP3) and Weibull Distributions”, Journal of Scientific Research and Reports, 3 (14): 1861 - 1874, 2014.
DOI: https://doi.org/10.9734/JSRR/2014/10087 .

[10] N. C., Sagias, G. K. Karagiannidis, “Gaussian class multivariate Weibull distributions: theory and applications in fading channels”, IEEE Transactions on Information Theory, 51 (10): 3608 - 3619, 2005.
DOI: https://doi.org/10.1109/TIT.2005.855598, ISSN 0018-9448, MR2237527

저자 소개

엄 기 홍(정회원)

• 제 17권 2호 참조