

https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.1.207

IIBC 2017-1-27

## 화력 발전소의 터빈 발전기 부하단에 설치된 XLPE 케이블의 부하전류 측정

### Measurements of Load Current of XLPE Cables Installed at the Load Terminal of Turbine Generator in Operation at Thermoelectric Power Station

엄기홍\*, 김보경\*\*

Kee-Hong Um\*, Bo-Kyeong Kim\*\*

**요약** 화력 발전소의 터빈 발전기에서 생산된 전기를 운반하기 위하여 부하 측에 설치된 케이블은 XLPE 케이블(또는 CV케이블)이다. 사고 발생시 저압 시스템을 포함하는 대부분의 설비들에 정전사고가 발생하여 막대한 경제적 손실을 초래한다. 설계부터 시공 및 관리를 더욱 철저히 해야 한다. 설치환경 및 사용 조건 부하량 등에 따라 차이가 있겠지만, 증설과정, 부적절한 설계 등으로 인하여 케이블의 단면적이 부족할 경우가 발생하며, 운전 전류에 의하여 초과된 허용온도는 케이블의 열화 상태를 초래한다. 우리는 케이블의 사고를 체계적으로 감시 및 예방하기 위한 측정 장비를 개발, 한국서부발전 주식회사(Korean Western Power Co. Ltd.)에 설치하여 운전상태에서 케이블에 흐르는 부하전류를 측정하였다. 이 논문에서 우리는 케이블에 흐르는 부하전류를 측정하고, 측정된 부하전류에 의한 부하특성의 파악 및 IEC규정에 의한 허용전류와 비교하여 케이블의 도체온도를 파악하기 위한 기초자료를 제시한다.

**Abstract** The cables installed to deliver high electric power from a generator at a thermoelectric power station are XLPE (or CV) cables. Depending on the installation and usage conditions, the cables in operation start deteriorating from the time of initial operation. Some cables can cause accidents due to faulty construction or other environmental factors. In order to prevent cable accidents, regular auditing of power cables is required. We have invented a measuring device for systematic surveillance and prevention of accidents, and installed the device at Korean Western Power Co. Ltd. which measures load currents through the cables. In this paper, we present the load current measured using our device, analyze the load characteristics by measures current, compare the ampacity defined by IEC standard, and present a basic data to obtain the temperature of cable conductors.

**Key Words** : Thermoelectric power plant, Main line, High-voltage cable, Current transformer, Three-phase

## 1. 서 론

산업통상자원부는 2013년과 2015년 각각 수립한 6차

· 7차 전력수급기본계획에 따라 석탄화력발전소 설비용량을 2014년 현재 2만 6274MW에서 2029년 4만4018MW로 70% 가까이 확대하겠다고 승인하였다. 석탄화력발전

\*정회원, 한세대학교 IT학부(교신저자, 주저자)

\*\*정회원, 오성메가파워 대표

접수일자 : 2016년 11월 14일, 수정완료 : 2016년 12월 14일

게재확정일자 : 2017년 2월 3일

Received: 14 November, 2016 / Revised: 14 December, 2016 /

Accepted: 3 February, 2017

\*Corresponding Author: um@hansei.ac.kr

Dept. of Information Technology, Hansei University, Korea

은 현재는 물론 향후 15년 뒤에도 전력공급에서 최대 비중을 차지하게 될 것이다<sup>[1]</sup>.

최근들어 화석연료를 사용하는 화력발전소에 의하여 발생하는 미세 먼지등의 환경적인 문제가 논의되고 있으나, 산업부는 ‘안정적 전력수급’과 ‘전력생산의 경제성’을 근거로 석탄화력 발전의 확대를 주장하고 있다. 전기를 생산하기 위한 비용이 비교적 저렴하다는 등의 이유로 인하여 화력 발전은 계속하여 큰 비중은 차지할 것이며, 전기를 생산하기 위한 대안이 제시되지 않는 한, 국내 전력수급 비상상황과 더불어 안정적 전력 확보를 위하여 기존의 화석연료를 사용하는 화력발전소에 대한 중요성이 여전히 크게 지속될 것이다<sup>[2]</sup>.

근년 우리나라의 1 년간 평균 전력소모량은 8,092 kWh 로서 1980년의 전력소모량에 비교하여 9배 만큼 증가한 바와 같이 전력 수요의 증가로 인하여 전력을 공급하기 위한 여건이 계속 악화되고 있는 추세이다<sup>[3]</sup>. 발전소의 변압기 2차 측에 연결되어 동작하는 모선(main line)에는 6.6kV 상용 교류전압이 인가되고 있다. 모선에 연결되어 동작하고 있는 고전압 케이블의 성능평가를 실시하기 위하여 발전소에서는 대부분의 경우, 동작 중인 케이블 가동을 일정한 주기로 중지시킨다. 케이블의 동작을 중지하지 않고 즉, 케이블의 운전 상태를 그대로 유지하면서 케이블의 절연상태를 확인한다면 주변 시스템들의 정상적인 동작에 영향을 주지 않으므로 경제적으로 이득이 될 것이다<sup>[4]</sup>. 우리는 이 논문에서 발전소에서 설치 운영 중인 고압전력 케이블의 성능을 점검하기 위하여, 케이블의 운전 상태를 그대로 유지하는 상태에서 즉, 활선 상태에서 전류 및 온도 측정 장치를 사용하여 추출한 부하 전류를 분석한 결과를 제시한다.

## II. 활선 6.9kV Cable의 전류 측정장치

그림1 은 우리가 제작하여 한국서부발전 주식회사(Korean Western Power Co. Ltd.)에 설치하여 운영 중에 있는 전류 측정 장치에 연결된 전류센서의 실제 상태 모양을 나타낸다. 전류센서 또는 전류 트랜스(CT, current transformer)는 교류전류 및 직류전류를 감지하는 센서이다. 전류를 감지하는 방법에는, 도우넛(doughnut) 모양의 자심(magnetic core)을 사용하여 1차 및 2차 코일을 자심에 감아 2차 전류를 측정함으로써 1차 전류를 감지하는 변류기(變流器) 방식과 전류에 의하여 생기는 자계

속에 홀 소자를 설치하여 홀 전압을 측정함으로써 자계의 강도, 즉 전류의 강약을 감지하는 홀 소자방식, 나아가서는 전류의 대소로 용단(溶斷)하는 시간이 다른 퓨즈방식 등이 있다<sup>[5,6]</sup>. 우리가 채택한 센서는 홀 전압(Hall voltage)을 측정하는 방식이다.

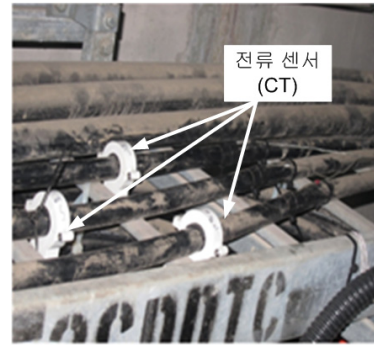


그림 1. 전류센서(CT) 설치상태

Fig. 1. Installation status of current transformer

## III. 각 Feeder별 부하전류측정 Data 및 부하특성검토

부하전류는 케이블 종단에 연결되어 있는 부하에 흐르는 전류이다. 전류측정은 부하와 직렬로 연결해서 측정을 해야 하는데 전선을 자르거나 차단기에서 전선을 분리해야만 직렬로 연결이 가능하므로 현실적으로 전류가 흐르고 있는 부하에서는 전류계로 측정을 하지 않고 클램프메터를 사용한다. 클램프메터의 원리는 전자유도 법칙. 즉 도선에 전류가 흐르면 주변에 전류의 흐름을 방해하는 자장이 발생하게 되는데 이것을 전류값으로 환산해서 나타낸다. 케이블의 절연체는 고전압 6.6 kV 케이블의 중심도체와 외부도체를 전기적으로 분리된 상태를 유지하기 위하여 삽입되어 있으며, 종류로서 대표적인 비닐, 내열비닐, PE(polyethelene), XLPE(cross-linked polyethelene) 이 있다. 특성을 비교하였다. 절연체의 종류별로 허용온도는 다음 표1과 같이 알려져 있다.

발전소에서 동작 중인 고전압 6.6 kV 케이블은 도체의 전기적인 분리를 유지하기 위하여 표 1 에서의 XLPE 절연체를 사용하고 있으며, XLPE 절연체의 상시 최고 허용온도는 90℃ 이다.

우리는 한국서부발전(주)에서 동작 중인 케이블들 중에서 9개 선택하여 연구하였다. 흐르는 전류를 측정하는 케이블은 대부분 6kV CV 100SQ, 1C이다. 표2는 이러한

케이블의 주위온도 40℃조건에서, 도체온도에 따른 케이블에 흐르는 허용전류를 계산한 값을 보여준다.

표 1. 절연체의 종류별 허용온도

Table 1. Allowable temperature of dielectrics types

절연체	허용 온도			
	최저	상시 최고	단시간	단락시
비닐	-20℃	60℃	75℃	120℃
내열비닐	-20℃	75℃	90℃	120℃
PE	-60℃	75℃	90℃	140℃
XLPE	-60℃	90℃	105℃	230℃

표 2. 주위온도 40℃인 경우의 도체온도에 따른 허용전류 계산결과

Table 2. Result of calculated load current for the conductor temperatures in case of air temperature of 40℃

도체 온도 (℃)	90	85	80	75	70
부하 전류 (A)	345	326	306	285	262

도체 온도 (℃)	65	60	55	50	45
부하 전류 (A)	237	209	177	140	93

표2의 결과를 보면 주위온도 40℃ 조건에서 XLPE 절연체에서 동도체 최고사용온도 90℃에서는 345A의 부하전류가 흐르고, 이 값은 전기안전공사의 100SQ 허용전류가 355A인 data와 거의 같다.

#### IV. 각 Feeder별 부하전류Trend

전류 측정장치에서 2014년 3월부터 약7개월간 절연저항 측정시간에 측정된 data를 사용하여 각 feeder별로 케이블에 흐르는 부하전류의 data를 분석하였다. 우리가 선택하여 분석한 케이블(feeder)은 9 개다. 9개 feeder 별 부하 전류를 측정하였다.

##### 1. No.01 Feeder Cable

그림 2는 No.01 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

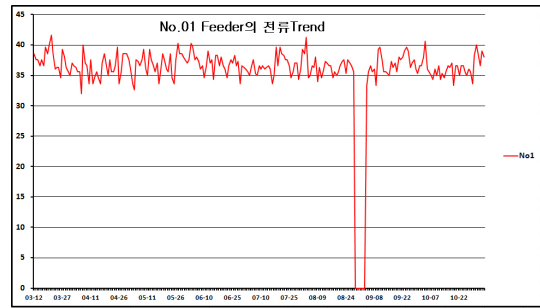


그림 2. No.01 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend

Fig. 2. Trend of average load current in the three phases of feeder #01

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 거의 연속운전하는 특성을 가진 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약 40A이다.

##### 2. No.02 Feeder Cable

그림 3은 No.02 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

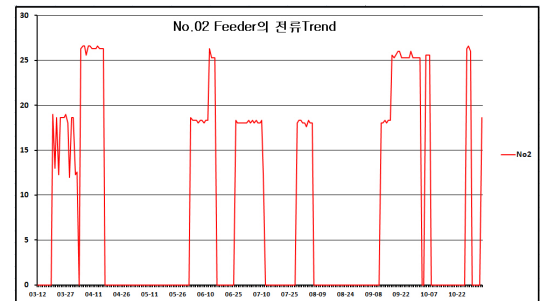


그림 3. No.02 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend

Fig. 3. Trend of average load current in the three phases of feeder #02

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 교대로 운전하는 특성을 가진 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약30A이다.

##### 3. No.03 Feeder Cable

그림 4는 No.03 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

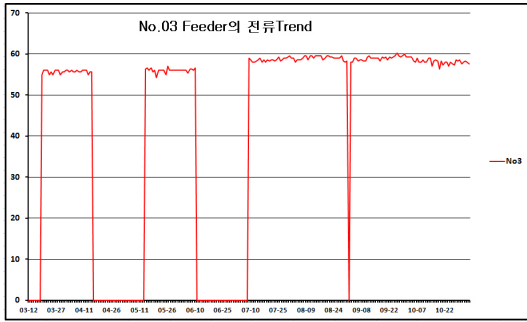


그림 4. No.03 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend  
Fig. 4. Trend of average load current in the three phases of feeder #04

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 대략 1개월주기로 교대로 운전하는 특성을 가진 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약 60A이다.

#### 4. No.04 Feeder Cable

그림 5는 No.04 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

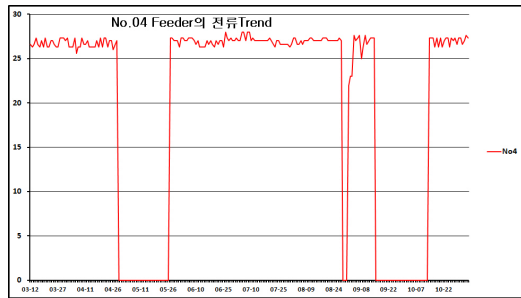


그림 5. No.04 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend  
Fig. 5. Trend of average load current in the three phases of feeder #04

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 연속 운전하는 특성 및 간혹 일정기간동안 운전을 정지하는 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약30A이다.

#### 5. No.05 Feeder Cable

그림 6은 No.05 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

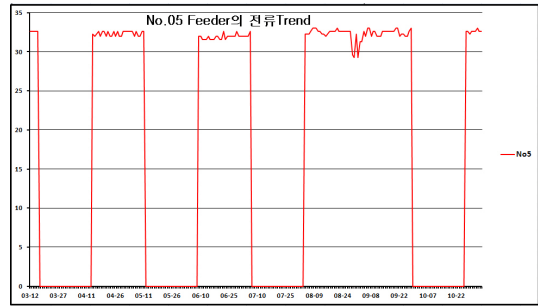


그림 6. No.05 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend  
Fig. 6. Trend of average load current in the three phases of feeder #06

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 대략 1개월주기로 교대로 운전하는 특성을 가진 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약 35A이다.

#### 6. No.06 Feeder Cable

그림 7은 No.06 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

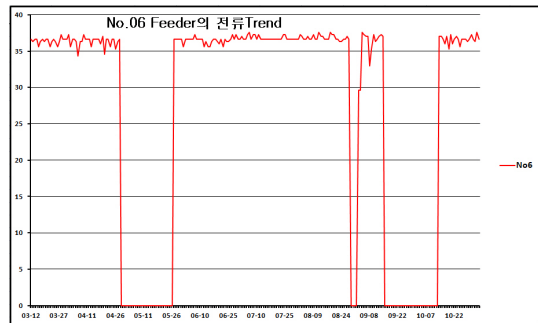


그림 7 No.06 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend  
Fig. 7. Trend of average load current in the three phases of feeder #06

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 연속 운전하는 특성 및 간혹 일정기간동안 운전을 정지하는 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약40A이다.

#### 7. No.07 Feeder Cable

그림 8은 No.07 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

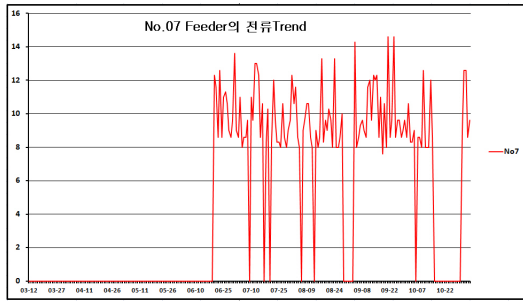


그림 8. No.07 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend  
 Fig. 8. Trend of average load current in the three phases of feeder #08

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 하절기에만 운전하는 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약15A이다.

### 8. No.08 Feeder Cable

그림 9는 No.08 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

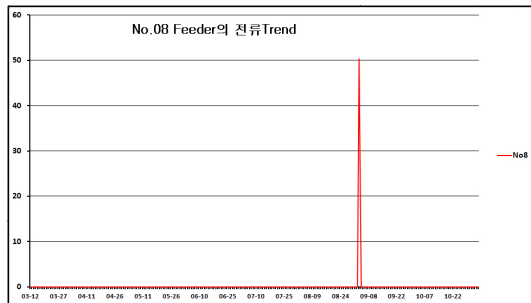


그림 9. No.08 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend  
 Fig. 9. Trend of average load current in the three phases of feeder #08

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 거의 운전하지 않고 비상시에만 운전하는 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약50A이다.

### 9. No.09 Feeder Cable

그림 10은 No.09 feeder cable의 3상 삼상 R, S, T에 대한 평균 부하전류 trend를 나타낸다.

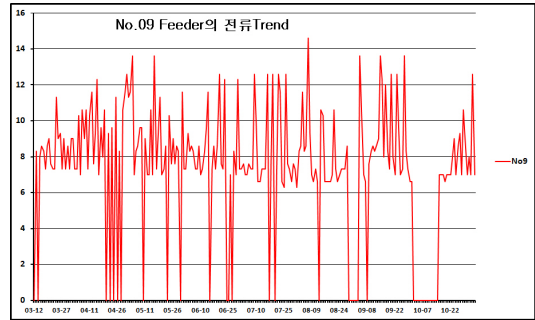


그림 10. No.09 feeder의 삼상 평균 부하 전류 trend  
 Fig. 10. Trend of average load current in the three phases of feeder #09

전류측정data에 대한 부하특성추정: 이 케이블은 매일 운전하지만 TR의 부하의 온도변화에 따라 운전하는 부하에 전력을 공급하는 것으로 추정되며, 최대 운전부하전류는 약15A이다.

### 10. 9개 Feeder별 최대 운전 부하전류 측정 Data의 그래프

그림 11은 9개 feeder별 최대 운전 부하전류 측정 data의 그래프를 나타낸다.

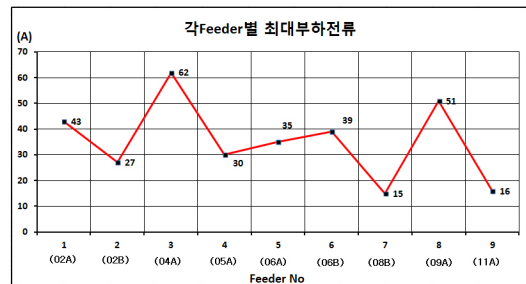


그림 11. 9개의 Feeder (No.1~No.9) 별 최대 운전부하전류  
 Fig. 11. Maxmum load currents in 9 feeders(#01-09)

9개의 feeder별로 운전부하전류중 최대값의 data를 취득하여 분석한결과 전동기 부하로 공급한 feeder에 있어 단시간 정격의 기동전류는 고려하지 않고 보통 30분 이상의 전류가 흐르는 상태의 최대 운전부하전류를 60A로 가정하여 분석하였다. 9개의 feeder중에서 No.03 feeder가 가장 큰 약 60A의 부하전류가 흐르고 있었다. 따라서, 이 전류에 의한 케이블 도체의 온도상승이 가장 큰 케이블이 No.03 케이블이다. 이 케이블은 온도상승이 다른 8개의 케이블보다 클 것이다. 그 다음으로 큰 부하 전류가

흐르고 있는 케이블은 No.08 feeder 로서 큰 약50A의 부하전류가 흐르고 있다. 이 연구에 의하면, 9개의 feeder들 중에서 No.03 및 No.08 이 도체온도가 클 것이고 온도가 높아짐에 따라 다른 케이블에 비해 XLPE절연체에 열이 발생할 수 있으므로 예측될 것이다.

## V. 결 론

우리는 이 논문에서 케이블의 절연 상태의 열화 상태를 감시하기 위하여 한국서부발전 주식회사(Korean Western Power Co. Ltd.)에 설치하여 운영 중에 있는 전류 및 온도 측정 장치를 사용하여 추출한 부하 전류를 측정 한 결과를 제시하였다. 9개의 feeder별로 부하 전류중 최대값의 data를 취득하여 분석한 결과, CV 1C 100 SQ 의 허용전류보다 20%이하로 사용되고 있다. 따라서 허용 전류보다 매우 작은 부하전류가 흘러 케이블 도체에서 발생하는 온도가 허용온도보다 매우 낮아, 도체온도 상승이 없어 XLPE절연체에서는 열열화는 발생하지 않을 것으로 추정할 수 있을 것이다.

## References

- [1] <http://www.edaily.co.kr/news/NewsRead.edy?SCD=JG11&newsid=02961846612677456&DCD=A00701&OutLnkChk=Y>
- [2] K. H. Um, B. K. Kim, "Developing Equipment Measuring Insulation Resistance of High-Power in Operation at Power Station", Journal of the The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 16, no. 4, pp. 159-164, Aug. 2016.
- [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] K. H. Um, B. K. Kim, "Developing Equipment Measuring Insulation Resistance of High-Power in Operation at Power Station", Journal of the The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 16, no. 4, pp. 159-164, Aug. 2016.

- [5] Guile, A.; Paterson, W. (1977). Electrical Power Systems, Volume One. Pergamon. p. 331. ISBN 0-08-021729-X.
- [6] Elkor Technologies Inc., "Application Notes, "Introduction to Current Transformers"( July, 2006).

## 저자 소개

### 엄 기 흥(정회원)



#### 학력

- BS : 한양대학교 전자공학과
- MS : Dept. of Electrical & Computer Engineering, Polytechnic Institute of Engineering, NYU (New York University), New York, USA
- Ph.D : Dept. of Electrical & Computer Engineering, New Jersey Institute of Technology (NJIT), New Jersey, USA

#### 경력

- TA, RA, and Lecturer at NJIT (New Jersey, USA)
  - Researcher at RS Microwave Company Inc. (New Jersey, USA)
  - Researcher at Physics Department, Princeton University (New Jersey, USA)
  - Adjunct Professor at NJIT (New Jersey, USA)
  - 강남대, 상명대, 한양대 강사
  - 현재 : 한세대학교 IT 학부 교수
- <주관심분야 : 안테나, 마이크로파, 전기전자재료>

### 김 보 경(정회원)



#### 학력

- 학사 : 부산대학교 전기공학과

#### 경력

- 대한전선(주) 근무
  - (주)오성완전기 근무
  - 메가파워테크 대표
- 전력케이블 절연진단 업무 20년 이상 수행중
- 현재 : (주)오성메가파워 대표
- <주관심분야 : 절연진단, 전기전자재료, 활선 케이블>