

## 22.9 kV CV 전력케이블의 14주기 고온 열화에 대한 Lightning-Impulse 특성

김위영, 윤대혁\*, 박대곤\*  
 한국전기연구원 산업협력부    창원대학교 전기공학과\*

### Lightning Impulse Characteristics for 22.9 kV CV Power Cable Before and After Cyclic Aging for 14days

We-Young Kim, Dae-Hyuk Yun\*, Tae-Gone Park\*  
 KERI, Changwon Nat'l University\*

**Abstract** - Cyclic aging for 14 days is performed to remove a large amount of the volatiles found in freshly manufactured cable. In this paper, we examined lightning impulse characteristics of 22.9 kV CV power cable before and after cyclic aging for 14days. As the result, the breakdown voltage after aging under normal temperature was lower than that before aging, and the breakdown voltage after aging under hot temperature was lower than that before aging. We found that the dispersion of lightning impulse breakdown voltage before 14 cyclic aging test were reduced rather than those after 14 cyclic aging test.

## 1. 서 론

국내에서 사용하고 있는 지중 배전용 전력케이블의 거의 대부분은 가교폴리에틸렌(XLPE)을 주절연체로 사용하는 CV 케이블로서, 그 구성은 도체, 도체 shield 및 절연체 shield를 위한 반도체층, 절연층, 염화비닐수지(PVC)등으로 된 외피로 이루어진다. CV 케이블은 사용되는 용도에 따라서 케이블이 구성되는 형태도 달라지며, 그 대표적인 형태로서 한국전력공사의 구매시방서에 따른 차수형(CN/CV), 수밀형(CN/CV-W), 난연형(FR CNCO-W), 트리억제형(TR CNCV-W)로 구분할 수 있으나, 차수형(CN/CV)은 최근 한국전력공사 구매시방서에서 제외되었다.

한국전력공사 구매시방서의 14주기 열화시험은 케이블의 비상운전 한계온도 130℃에서 노화된다. 이러한 비상운전 한계온도에서 열화된 절연체 재질의 변화와 구조적 변화에 따르는 Lightning Impulse 파괴전압특성을 비교하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 14주기 반복 노화시험

#### 2.1.1 목적

본 시험은 AEIC CS5-87을 인용하고 있는 한국전력공사 구매시방서에 따른 것으로서, 14주기 동안 규정된 온도를 주기적으로 인가하고 또 일정전압을 노화기간 동안 인가하여 케이블을 노화시키는 것이다. 14주기 노화시험의 목적으로서, 케이블의 절연체 가교에 첨가되는 산화방지제와 가교 촉매제 등으로 인한 가교 부산물의 일부는 가교 시 외부로 배출되지 못하고 절연체 내부에 잔존하게 되며 그 부산물은 메탄(CH<sub>4</sub>), 수소(H<sub>2</sub>), 아세틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)이 대부분을 차지하는 휘발성 물질로서, 130℃의 온도를 주기적으로 인가하는 케이블의 14주기 열적 노화시험을 이용하여 절연체 내부에 잔존하는 가교부산물을 배출함이 가장 큰 목적이다. 또 케이블의 열적과부하상태에서 진행되는 14주기 열화시험의 부수적인 효과로서, XLPE는 고온에서 내부의 고분자사슬이 서로 떨어져 움직이므로 절연체 내에 잔존할 수 있는 수분과 미세 보이드

를 제거하는 효과를 가져오며, 주기적으로 온도의 변화를 가하므로 각 재료의 열적 팽창계수의 차이로 인한 도체와 절연체, 절연체와 반도체층 등에 구조적 변화가 발생할 수 있으며, 130℃ 고온에서 XLPE의 경화는 유전강도의 감소를 가져온다. 따라서 14주기 열화의 결과로 나타나는 휘발성 물질의 제거, 온도변화에 따른 케이블의 구조적 변화, 수분 및 미세보이드 제거, XLPE의 경화 등이 Lightning Impulse 파괴전압특성에 미치는 영향을 알고자함이 그 목적이다.

#### 2.1.2 시험방법

한전구매시방서의 장기과동전시험방법에 따라 14주기 열화시험을 실시하였다.

- 1) 지름 80 mm의 플라스틱 파이프에 케이블을 넣어서 양끝을 봉한다.
- 2) 교류 40 kV 전압을 인가한 상태에서 매일 8시간씩 지속적으로 도체에 전류를 인가한다. 인가 전압은 14주기 노화가 끝날 때까지 연속적으로 인가한다.
- 3) 인가전류는 130℃ 도체온도에서 매일 6시간 이상 가열해야 한다. 전류는 열화주기 동안 최소 16시간 이상 유지시켰다.
- 4) 케이블은 이러한 열화를 14주기 반복하였다.
- 5) 시험 전, 케이블의 온도제어를 위하여 dummy 케이블을 설치하였으며, 시험용 케이블과 같은 방법으로 부하를 인가하고 도체에 열전쌍(thermocouple)을 설치하여 온도보정을 실시하였다.

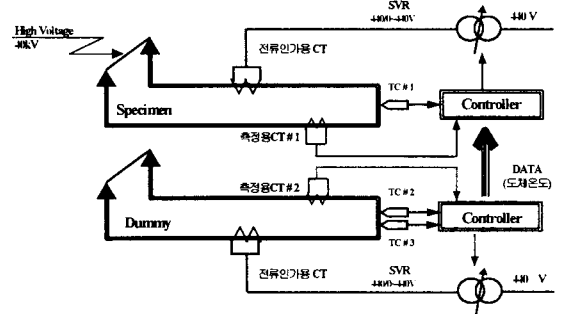


그림 1. 14주기 반복열화시험 회로도

### 2.2 Lightning impulse test

#### 2.2.1 목적

Lightning Impulse Test는 계통에서 뇌의 침입에 대한 전력케이블의 절연강도를 모의하기 위한 시험으로서, 전력용 케이블의 절연체 내부에 존재하는 이물 및 보이드, 반도체층의 계면돌기 및 보이드와 14주기 열화시험에 따른 케이블 절연체의 굴곡과 같은 구조변화, 열적과부하상태에서의 열화에 의한 절연체의 변화 등은 케이블의 절연내력에 영향을 미치는데 이와 같은 변화에 대한 Lightning Impulse 특성을 평가하기 위한 것이다.

### 2.2.2 시험방법

시험을 위한 대상 시료로서 22.9kV CNCV-W 전력용 케이블을 사용하였으며, 시험절차 및 방법은 한국전력 구매시방서에 따라 14주기 열화 전과 후에 상온시험과 고온 시험을 실시하였다. 시험을 위한 전압 파형은  $1.2 \times 50\mu s$ 를 가지는 표준파형을 시료에 인가하였다.

#### 1) 상온 Impulse Test

길이 6m 이상의 3개 시료에 대하여 실시하며, 지름이 80mm인 pipe에 최소 2m의 케이블 시료를 넣고 양끝을 막은 후 시험한다. 240kV(열화 후:190kV)의 충격전압을 정·부극성(+,-)에서 3회씩 인가한다. 그 후 40kV씩 단계적으로 전압을 증가시켜 가면서 충격전압을 인가하여 접속부 이외에서 파괴가 일어날 때까지 충격전압을 부극성으로 시험을 진행한다.

#### 2) 고온 Impulse Test

길이 6m 이상의 3개 시료에 대하여 실시하며, 지름이 80mm인 pipe에 최소 2m의 케이블 시료를 넣고 양끝을 막은 후 시험한다. 190kV의 충격전압을 정·부극성(+,-)에서 3회씩 인가한다. 그 후 40kV씩 단계적으로 전압을 증가시켜 가면서 충격전압을 인가하여 접속부 이외에서 파괴가 일어날 때까지 충격전압을 부극성으로 시험을 진행하며, 도체온도는 130℃로 한다.

## 2.3 Lightning Impulse Test 결과

### 2.3.1 상온 Impulse Test 결과

그림 2와 같이 A사의 상온 Impulse 파괴전압특성은 전반적으로 60sq의 파괴전압이 낮았으며 200sq, 325sq, 600sq의 파괴전압은 비슷한 형태를 보이며 노화 전보다 노화 후의 파괴전압이 약간 낮은 특성을 보여 준다. 반면 노화 전에 비하여 파괴전압의 편차가 줄어드는 특성을 보여준다.

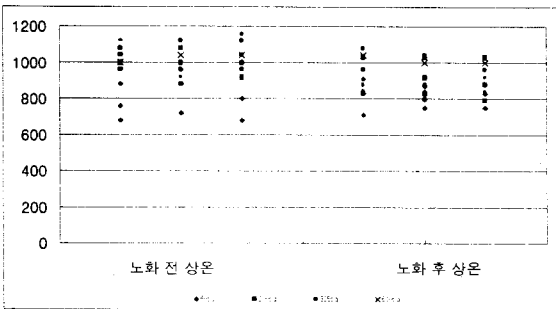


그림 2. A사의 노화 전, 후 상온 Lightning Impu Test 파괴전압 비교

그림 3과 같이 B사의 상온 Impulse 파괴전압특성은 노화 전과 후 모두 60sq가 전반적으로 낮으며 200sq, 325sq의 순서로 파괴전압이 높은 특성을 나타낸다. 또한 노화 전보다 노화 후의 파괴전압이 약간 낮은 특성을 보여 준다.

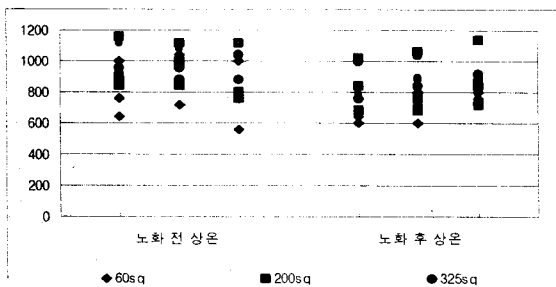


그림 3. B사의 노화 전, 후 상온 Lightning Impu Test 파괴전압 비교

그림 4와 같이 C사의 상온 Impulse 파괴전압특성은 노화 전과 후 파괴전압이 각 케이블 규격별로 일정한 범위를 형성되지 않고 680kV에서 1160kV사이에 분산되어 있으며, 60sq의 경우 노화전에 비해 노화 후 파괴 전압치가 높은 것으로 나타나고 있다.

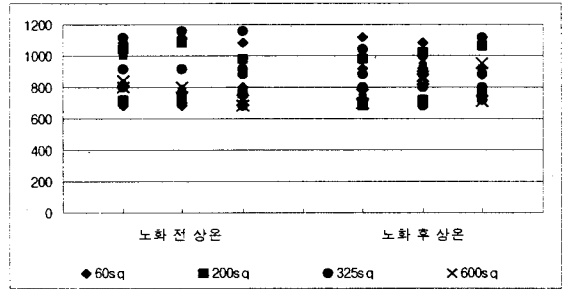


그림 4. C사의 노화 전, 후 상온 Lightning Impu Test 파괴전압 비교

그림 5와 같이 D사의 상온 Impulse 파괴전압특성은 노화 전과 후 모두가 C사와 같이 파괴전압 값들이 분산되어 있으며 325sq의 경우는 노화 전이 1080kV 노화 후가 880kV 부근에 대부분이 분포되어 안정적인 모습을 나타낸다.

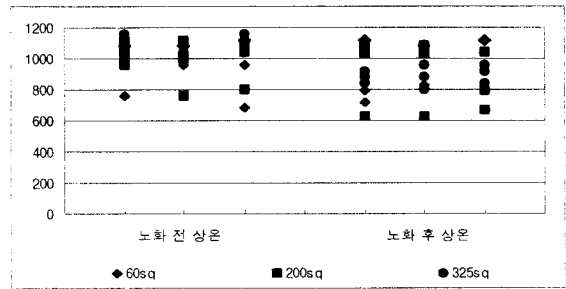


그림 5. D사의 노화 전, 후 상온 Lightning Impu Test 파괴전압 비교

### 2.3.2 고온 Impulse Test 결과

그림 6과 같이 A사의 고온 Impulse 파괴전압특성은 노화 전과 후 고온 파괴전압은 200sq와 325sq가 많은 분산을 보이며 60sq는 노화 전과 후의 값이 거의 비슷한 특징을 보인다. 또한 노화 전보다 노화 후의 파괴전압이 약간 낮은 특성을 보인 반면, 노화전에 비하여 파괴전압의 편차가 줄어드는 안정된 모습을 보여준다.

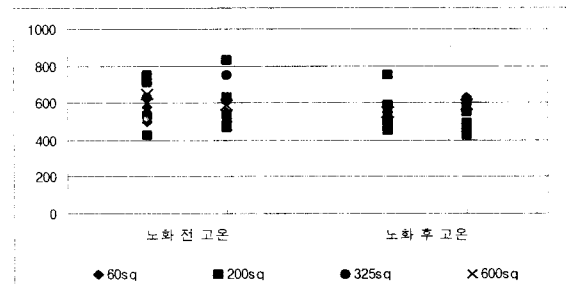


그림 6. A사의 노화 전, 후 고온 Lightning Impu Test 파괴전압 비교

그림 7과 같이 B사의 고온 Impulse 파괴전압특성은 노화 전의 파괴전압이 많은 분산을 보이며 325sq의 파괴전압값이 비교적 낮게 나타난 반면, 노화 전에 비하여 파괴전압의 편차가 상당히 줄어드는 특성을 보여 준다.

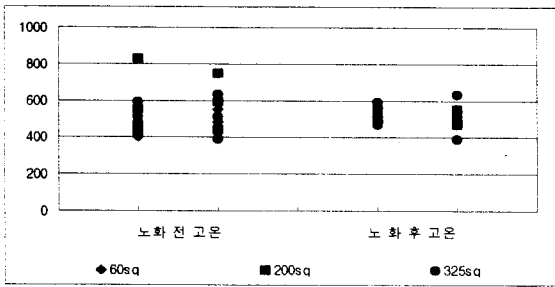


그림 7. B사의 노화 전, 후 고온 Lightning Impulse Test 파괴전압 비교

그림 8와 같이 C사의 고온 Impulse 파괴전압특성은 노화 전과 후 고온 파괴 전압은 특정한 형태가 없이 분산되어 있으며 노화 전과 후의 파괴전압이 비슷한 값을 가지며, 노화전에 비해 파괴전압의 편차가 줄어든 안정된 모습을 보여준다.

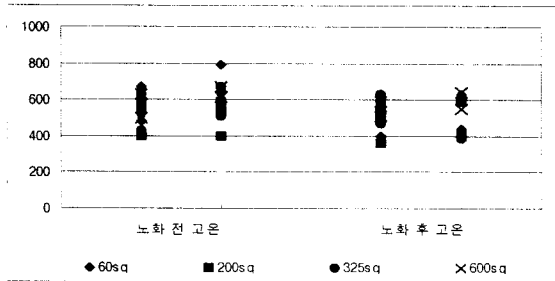


그림 8. C사의 노화 전, 후 고온 Lightning Impulse Test 파괴전압 비교

그림 9와 같이 D사의 고온 Impulse 파괴전압특성은 노화 전이 590kV, 노화 후가 510kV를 중심으로 밀집된 형태를 보이고 있으며, 파괴전압은 다소 낮으나 노화 전, 후 모두 파괴전압의 편차가 크지 않은 안정된 모습을 보여준다.

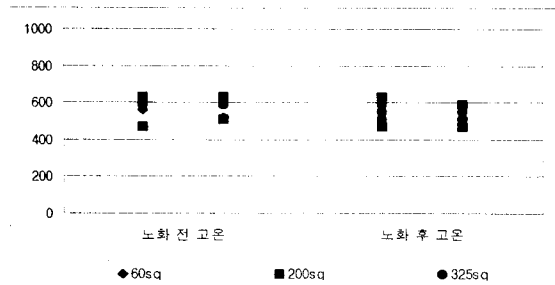


그림 9. D사의 노화 전, 후 고온 Lightning Impulse Test 파괴전압 비교

### 2.3.3 결과 분석

각 시료에 따른 Impulse 파괴전압을 종합하여 각 제조사별의 평균값으로 특성을 비교해보면 그림 10과 같으며 각 제조사들의 공통점으로서 노화 후 상온 파괴전압이 노화 전 상온 파괴전압보다 낮았으며, 노화 후 고온 파괴전압이 노화 전 고온 파괴전압보다 낮다는 것을 알 수 있다. 또 노화 과정을 거침으로서 파괴전압의 편차도 줄어드는 경향을 보였으며, 노화 전과 후의 상온과 고온 파괴전압 평균치를 그래프로 비교해본 결과 그림 10과 같이 노화 전 파괴전압보다 노화 후 파괴전압이 낮았으며, 상온 파

괴전압보다 고온 파괴전압이 낮게 나타났다. 즉 상온파괴전압과 고온 파괴전압의 변화 및 노화 전 파괴전압과 노화 후 파괴전압의 변화가 각 사별 유사한 형태로 감소함을 알 수 있다. 그러나 부분적으로 반대의 경우도 발생하였다. A사의 60sq의 경우는 노화전의 상온파괴전압이 노화 후보다 낮게 나타났으며, B사의 60sq는 노화전의 상온 및 고온 파괴전압 모두가 노화 후보다 낮은 경우도 발생하였다.

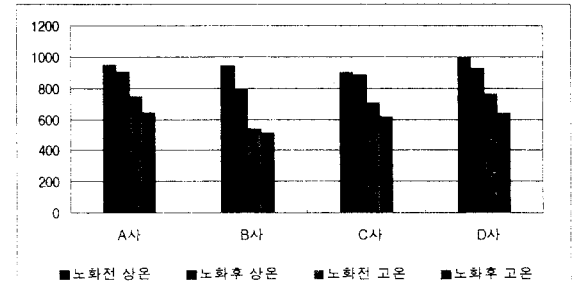


그림 10. 제조사별 평균값 의한 Lightning Impulse Test 파괴전압 비교

### 3. 결론

본 논문에서는 22.9kV CV 전력케이블의 14주기열화에 따른 절연체의 Lightning Impulse 파괴전압특성을 알아 보았다. 실험결과 A사의 60sq와 B사의 60sq를 제외한 모든 제조사가 노화 후 상온 파괴전압이 노화 전 상온 파괴전압보다 낮았으며, 노화 후 고온 파괴전압이 노화 전 고온 파괴전압보다 낮았다. 또 14주기 열화를 거치면서 케이블은 전체적으로 안정되어 열화 후 파괴전압의 편차가 줄어든 것을 알 수 있다. A사의 60sq와 B사의 60sq의 경우 주기열화에 의한 절연체 내부에 잔존 할 수 있는 수분과 미세 보이드의 제거, 가교도의 증가 내부 및 외부 반도전층과 절연체 계면의 접속력의 증가 등에 의한 파괴전압 상승요인이 파괴전압 감소요인보다 크게 작용한 것으로 추정되며, 열화 후 파괴전압의 감소는 노화 시 인가 되는 전압에 의한 절연체의 전기적 스트레스 증가, 비상 운전 한계온도인 130°C에서의 노화에 기인한 절연체의 경화로 발생하는 유전강도의 감소, 노화 후 절연체 안쪽과 바깥쪽 표면에 발생한 굴곡에 의한 것으로 추정된다. 또 모든 제조사가 상온값이 고온값보다 높게 나타나는 것은 Impulse 파괴전압에 열적인 영향이 있음을 확인시켜 주고 있으며, 케이블 굵기에 따라 그 변화가 일정치 않은 것 과 노화 전, 후의 상온값 감소와 고온값의 감소 등이 차이를 보이고 있음은 각 제조사의 설계특성으로 여겨진다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] AEIC CS5-87, "Specification for Thermoplastic and cross Linked Polyethylene Insulated Shielded Power Cables Rated 5 through 35kV (9th Edition)", 1987.
- [2] AEIC CS5-94, "Specification for and cross- Linked Polyethylene Insulated Shielded Power Cables Rated 5 through 46kV (10th Edition)", 1994.
- [3] 한국전력공사 구매시방서, "22.9kV 트리역체형 전력케이블", 1999.
- [4] 한국전력공사 구매시방서, "22.9kV 동심중성선 전력 케이블", 2000.
- [5] 홍진용 외 2명, "Effect of Treatment on Polyethylene Film for Power Cable Insulation", 1997 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1566-1568.
- [6] 김영호 외 4명, "XLPE의 열처리에 의한 결정화도, 가교부 산물의 확산에 따른 교류파괴전압 특성", 2000 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1608-1610.