

14주기 열화에 따른 22.9kV 전력케이블의 Lightning-Impulse 특성분석

김위영, 허종철, 박태곤*
한국전기연구원 시험평가본부 창원대학교 전기공학과*

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

We-Young Kim, Jong-Cheol Heo, Tae-Gone Park*
KERI, Changwon Nat'l University*

Abstract - Cyclic aging for 14days is performed to remove the large amount of the volatiles found in freshly manufactured cable. In this paper, we examined lightning impulse characteristics of power cable before and after cyclic aging for 14days. As the result, the breakdown voltage after aging was lower than that before aging, but the breakdown voltage after aging was higher than that before aging in TR CNCV-W 60 mm² power cable.

1. 서 론

가교폴리에틸렌(XLPE)은 전력용 케이블의 주 절연체로서 가장 많이 선택되고 있는 절연재료 중의 하나이다. 그 이유로서 절연 내력, 고유체적저항, 유전손실율, 연속 최고허용온도, 물리적 특성, 기계적 특성 및 화학적 안정성이 우수하고, 관리 및 유지보수를 비롯한 경제적 측면에서도 유리한 조건을 가지고 있기 때문이다. 현재 국내에서 사용되고 있는 배전급 22.9kV 전력용 케이블은 거의가 XLPE를 주 절연체로 된 것으로서, 최대 사용처인 한국전력공사의 구매시방서에 따라 그 종류가 구분되고 있으며, 그 대표적인 형태로서 기본형이라 할수 있는 차수형(CN/CV-W), 도체 축 방향으로 물이 침투될 수 없는 구조인 수밀형(CNCV-W), 수밀형과 동일한 구조를 지니면서 외피의 난연성을 보강한 난연형(FR-CNCO-W) 및 XLPE 절연체에서 발생하는 수트리의 발생을 억제하는 기능을 가진 트리억제형(TR-CNCV-W)이 있으나, 차수형은 한국전력공사 구매시방서에서 제외되었으며, 최근 구조적 안정성을 강화시킨 수트리억제 충실형(TR-CNCE -W)을 개발하고 있는 추세 속에 있다.

최대 사용자가 주도하는 케이블의 변화를 살펴보다도 구조적인 변화가 그 주된 흐름이며, 중요한 것으로서 수트리의 발생을 억제하는 성질을 가지는 TR-XLPE를 주 절연체로 자리매김하고 있는 실정이다. 따라서 TR-XLPE를 주절연체로 하는 TR-CNCV-W전력 케이블에 대하여 Impulse전압에 대한 특성을 분석하고, 기존의 CNCV-W형 및 FR-CNCO-W형 전력케이블과의 Impulse전압특성을 비교하였으며, XLPE 절연 전력 케이블을 비상운전한계온도 130°C에서 14주기노화를 수행함으로써 수반되는 구조적 재질적 변화가 Impulse전압 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 14주기노화시험

2.1.1 목적

14주기 열화시험의 일반적인 의미는 케이블의 제조공정에서 발생하는 다량의 휘발성 부산물을 제거하기 위함이다. 한국전력공사 구매시방서 상으로 AEIC CS5-87을 인용한 당시에는 1일 1주기로 구성되는 14주기 동안 130°C 의 온도를 주기적으로 인가하고, 케이블 대기 간 전압의 3배 전압이 동시에 인가되어 열주기에 따르는 부산물 제거효과와 더불어 전압에 의한 전기적 열화 효과

까지 얻을 수 있도록 하였으나, AEIC CS5-94 개정에서 14주기 동안 전압은 인가하지 않고 열주기만 수행하도록 하여 가교부산물을 제거하는 것으로 되었으며, 한국전력공사 구매시방서 또한 동일형식으로 변경되었다.

14주기 열화시험은 절연체 가교 시에 첨가되는 산화방지제와 가교촉매제로 인해 발생하는 가교 부산물의 일부는 가교 시에 외부로 완전 배출되지 못하고 절연체 내부에 잔존하게 되는데, 휘발성물질인 매탄(CH4), 수소(H2), 아세틸렌(CH2H2)이 대부분을 차지하며, 이러한 부산물들을 제거하기 위하여 주기노화를 수행한다. 또한 14주기 노화시험은 케이블의 열적과부하상태에서 진행되는 데, 그 부수적인 효과로 고온상태의 절연체는 고분자사슬이 서로 떨어져 움직임으로서 잔존할 수 있는 수분과 미세크기의 보이드를 제거하게 된다. 또, 부 효과로서 케이블의 온도가 상승하면 각 재료의 열팽창계수의 차이로 인해 도체와 XLPE절연체가 접한 부분 등에서 구조적변화가 발생할 수 있으며, 130°C에 이르는 고온은 XLPE에 열적노화를 수반케 하여 유전강도의 감소를 가져온다.

즉 14주기 열화에 따르는 결과로서 열주기에 따른 휘발성 가교부산물의 제거, 구조적 변화, 수분 및 미세 보이드 제거 및 XLPE의 열적노화 등이 나타나며, 이와 연관된 Lightning impulse 파괴전압 특성을 알고자 함이다.

2.1.2 노화방법

한국전력공사 구매시방서에 정해진 장기과동전 시험방법에 따라 14주기 노화시험을 실시하였다.

- 1) 플라스틱파이프에 케이블을 넣어서 양끝을 봉하고 매일 8시간 지속적으로 전류를 흘려서 도체온도가 130°C에 도달하도록 하고 16시간은 전류를 흘리지 않으며, 수밀형과 난연형 케이블에는 14주기 동안 40 KV의 전압이 지속적으로 인가되지만 트리억제형 케이블에는 전압이 인가되지 않는다.
- 2) 그림 1과 같이 케이블의 온도제어를 위하여 dummy 케이블을 설치하였으며, 시험용 케이블과 같은 방법으로 전류를 인가하고 도체에 열전쌍(thermocouple)을 설치하여 온도보정을 실시하였다.

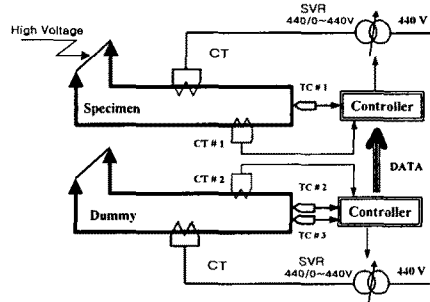


그림 1 14주기 반복노화시험 회로도

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, 보이드와 반도체층 계면돌기 및 14주기 열화시험에 따른 케이블의 구조변화 등은 케이블의 절연내력에 영향을 미치는데 변화의 종류에 따라 케이블에 미치는 영향은 각기 다르며, 그 결과에 대한 전기적 특성을 평가하기 위한 것이다.

2.2.2 시험방법

시험을 위한 대상 시료로서 22.9kV 전력케이블을 사용하였으며, 시험절차 및 방법은 한국전력공사 구매시방서에 따라 실시하였다. 시험을 위한 전압 파형은 1.2×50 μs를 가지는 표준파형을 시료에 인가하였다.

[고온 Impulse Test]

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

2.3 Lightning Impulse Test 결과

2.3.1 고온 Impulse Test 결과

22.9kV CNCV-W 325mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 제조사 간의 Impulse 파괴전압을 표 1과 그림 2에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 634kV 및 572kV로서 약 -9.8%의 감소된 결과를 나타내었으며, A사가 가장 적고 D사가 가장 크게 변화하였으며 F사는 전체 평균과 유사한 변화를 나타내었다.

표 1 CNCV-W 325mm² Impulse 파괴전압

구분	A	D	F	평균
노화 전(kV)	630	723	550	634
노화 후(kV)	617	603	497	572
변화율(%)	-2.1	-16.6	-9.7	-9.8

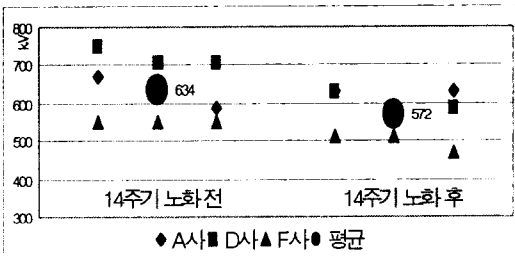


그림 2 CNCV-W 325mm² 14주기 노화 전 후의 Impulse 파괴전압 비교

22.9kV FR CNCO-W 325mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 업체간의 Impulse 파괴전압을 표 2와 그림 3에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 636kV 및 552kV로서 약 -13.2%의 감소된 결과를 나타내었으며, A사는 전 후의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, B사가 가장 크게 변화하였으며 D사는 전체 평균과 유사한 변화를 나타내었다.

표 2 FR CNCO-W 325mm² Impulse 파괴전압

구분	A	B	C	D	E	F	G	평균
노화전(kV)	630	550	670	750	670	550	630	636
노화후(kV)	617	443	523	617	523	510	630	552
변화율(%)	-2.1	-26.5	-18.7	-16.3	-20.3	-7.3	0.0	-13.2

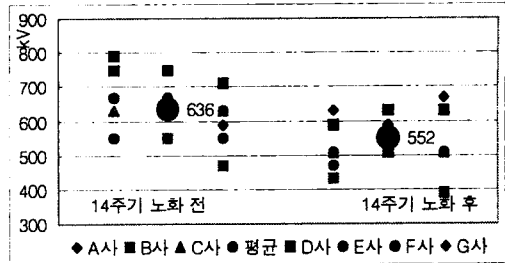


그림 3 FR CNCO-W 325mm² 14주기 노화 전 후의 Impulse 파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 60mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 업체간의 Impulse 파괴전압을 표 3과 그림 4에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 486kV 및 503kV로서 약 +3.7%의 증가된 결과를 나타내었으며, 6사 중 B, D사는 감소된 결과를 보였으며 A, C, E, G사는 노화 후의 파괴전압 값이 증가한 결과를 보였.

표 3 TR CNCV-W 60mm² Impulse 파괴전압

구분	A	B	C	D	E	G	평균
노화전(kV)	457	523	457	417	537	523	486
노화후(kV)	483	510	510	403	577	537	503
변화율(%)	+5.8	-2.5	+11.7	-3.2	+7.5	+2.5	+3.7

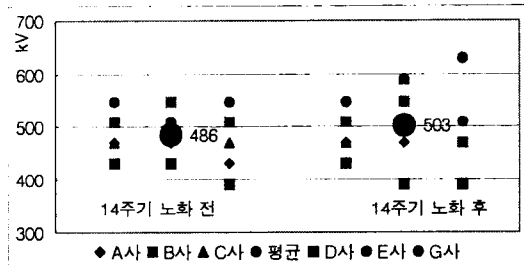


그림 4 TR CNCV-W 60mm² 14주기 노화 전 후의 Impulse 파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 200mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 업체간의 Impulse 파괴전압을 표 4와 그림 5에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 521kV 및 479kV로서 약 -13.2%의 감소된 결과를 나타내었으며, B, G사는 전 후의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, E사가 가장 크게 변화한 것으로 나타났다.

표 4 TR CNCV-W 200mm² Impulse 파괴전압

구분	A	B	C	D	E	G	평균
노화전(kV)	497	590	497	417	537	590	521
노화후(kV)	443	577	430	390	457	577	479
변화율(%)	-10.7	-2.3	-13.4	-6.4	-14.9	-2.3	-8.1

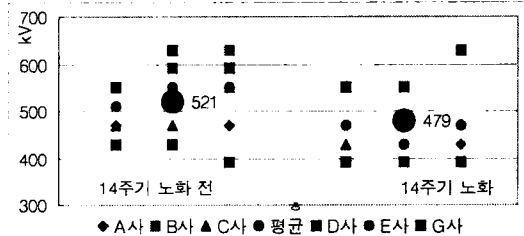


그림 5 TR CNCV-W 200mm² 14주기 노화 전 후의 Impulse 파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 325mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 업체간의 Impulse 파괴전압을 표 5와 그림 6에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각

572kV 및 548 kV로서 약 -4.3%의 감소된 결과를 나타내었으며, G사는 4.7% 증가하였으며, C사가 가장 크게 감소한 것으로 나타났다

표 5 TR CNCV-W 325mm² Impulse 파괴전압

구분	A	B	C	D	E	G	평균
노화전(kV)	577	630	603	443	617	563	572
노화후(kV)	523	617	537	417	603	590	548
변화율(%)	-9.2	-2.1	-11.0	-6.0	-2.2	+4.7	-4.3

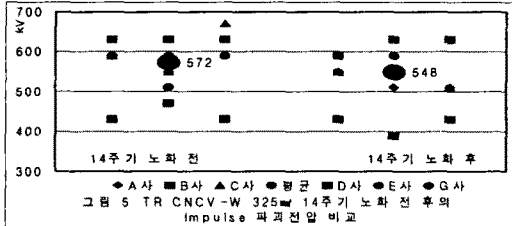


그림 6 TR CNCV-W 325mm² 14주기 노화 전 후의 Impulse 파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 600mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 업체간의 Impulse 파괴전압을 표 6과 그림 7에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 572kV 및 548 kV로서 약 -4.3%의 감소된 결과를 나타내었으며, G사는 4.7% 증가하였으며, C사가 가장 크게 감소한 것으로 나타났다

표 6 TR CNCV-W 600mm² Impulse 파괴전압

구분	D	E	G	평균
노화전(kV)	470	643	670	594
노화후(kV)	417	617	590	541
변화율(%)	-11.3	-4.1	-11.9	-9.0

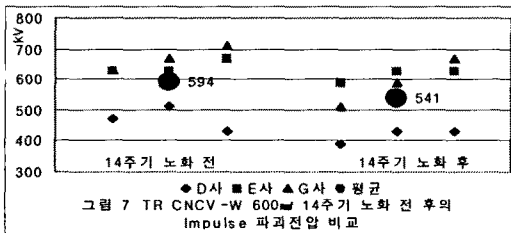


그림 7 TR CNCV-W 600mm² 14주기 노화 전 후의 Impulse 파괴전압 비교

2.3.2 결과 분석

종류별, 제조사별 구분 없이 모든 시료에 대한 노화 전과 후의 Impulse 파괴전압은 각각 574 kV와 533 kV이며 변화율은 -7.2%를 나타내었다. 각 케이블의 종류에 따른 Impulse 파괴전압의 변화를 그림 8로서 나타내었으며, 전반적으로 14주기 노화 후에 Impulse 파괴전압이 낮아지는 경향을 보였지만 TR CNCV-W 60mm² 케이블은 노화 후에 Impulse 파괴전압이 상승하는 결과를 나타내었다.

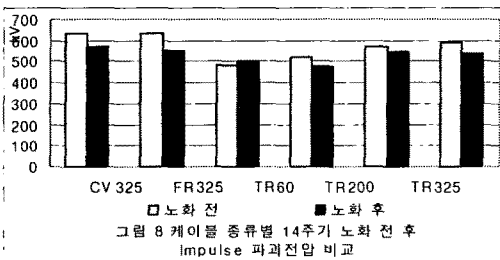


그림 8 케이블 종류별 14주기 노화 전 후 Impulse 파괴전압 비교

3. 결 론

본 논문에서는, 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 배전급 22.9 kV 있는 수밀형(CNCV-W), 난연형(FR CNCV-W) 및 트리억제형(TR CNCV-W) 전력케이블의 14주기노화에 따른 절연체의 Lightning Impulse 파괴전압특성을 알아보았다. 실험에는 7개사, 6종류, 186개의 시료가 소요되었다

[1] 14주기노화에 Stress 전압이 인가되는 수밀형과 난연형의 Impulse 파괴전압이 Stress 전압이 인가되지 않는 트리억제형의 Impulse 파괴전압이 각각 -9.8%, -13.2% 및 -4.3%이므로 14주기노화에 인가되는 전압이 Impulse 파괴전압에 영향을 미치는 것으로 사료됨.

[2] 전반적으로 노화 후 Impulse 파괴전압이 노화 전 Impulse 파괴전압보다 낮았다. 이러한 결과는 14주기노화로서 Impulse 파괴전압의 상승효과를 가져올 수 있는 가교부산물의 배출효과에 비하여 주기노화에 기인한 절연체의 경화가 유전강도의 감소 및 절연체 안쪽과 바깥쪽 표면에 발생한 굴곡에 의한 Impulse 파괴전압의 감소 효과가 더 크게 작용한 것으로 사료됨.

[3] 트리억제형 60mm²의 경우 상승하는 결과를 보이는 것은 주기노화에 따른 상승효과가 감소효과보다 크게 작용한 것으로 추정된다. 즉 다른 종류의 케이블에 비해 도체 단면적이 작으므로 도체에 의한 절연체의 변형이 적은 것으로 사료됨.

[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 트리억제형 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, 가교부산물의 확산에 따른 교류파괴전압 특성", 2000 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1608-1610.
- [7] 김규식 외 3명, "전력 Cable용 XLPE의 제조과정 중 가교제와 가교조제의 함량이 미치는 전기적 특성", 2000 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp2077-2080.
- [8] 김위영 외 4명, "배전급 전력용 케이블의 장기노화시험 및 가속수트림시험에 대한 규격 동향", 2000 합동춘계학술대회 논문집, pp255-260.
- [9] 윤대혁 외 3명, "14주기 열화에 따른 22.9kV XLPE 전력케이블의 파괴전압특성", 2001 대한전기학회 부산, 경남, 울산지부 추계학술대회 논문집, pp229-235.
- [10] 김위영 외 3명, "22.9kV CV 전력케이블의 14주기 고온 열화가 교류파괴전압에 미치는 영향", 2001 대한전기학회 경남지부 춘계학술대회 논문집, pp12-14.