

14주기 열화 및 AWTT에 따른 22.9kV TR CNCV-W 전력케이블의 교류파괴전압 특성분석

김위영, 허종철, 박태곤*
 한국전기연구원 시험평가본부 창원대학교 전기공학과*

AC Breakdown Voltage Characteristics of 22.9kV TR XLPE Power Cable Before and After 14days Cyclic Aging and AWTT

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

Abstract - XLPE 절연 전력케이블의 제조과정에서 발생하는 가교부산물을 제거할 목적으로 14주기노화를 실시하며, XLPE 절연체에 발생하는 수트리를 가속 발생 성장시킬 목적으로 가속수트리 열화를 실시한다. 22.9kV 트리억제형(TR CNCV-W) 케이블에 대하여 14주기노화 전과 후, 120, 240, 360일 가속수트리(AWTT) 후의 파괴전압을 분석하였다. 14주기노화는 상승효과와 감소효과가 비슷하게 작용하는 것으로 나타났으며, 240일 AWTT 이후에 노화가 가속되는 것으로 나타났다.

AWTT 과정을 거친 케이블은 주기적인 온도의 변화와 수분의 침투에 의하여 열화되고, 절연체 내부에서 발생 하는 수트리에 의하여 전기적, 물리적, 화학적 구조가 변하게 된다.

2.2.2 가속수트리 방법

한국전력공사 구매시방서에 정해진 AWTT 시험방법에 따라 실시하였다.
 1) 플라스틱파이프에 외피를 제거한 케이블을 넣어서 물을 채우고 매일 8시간 지속적으로 전류를 흘려서 도체온도가 90°C에 도달하도록 하고 16시간은 전류를 흘리지 않으며, 40 KV의 전압이 지속적으로 인가한다.
 2) 케이블의 온도제어를 위하여 dummy 케이블을 설치하였으며, 시험용 케이블과 같은 방법으로 전류를 인가하고 도체에 열전쌍(thermocouple)을 설치하여 온도보정을 실시하였다.

1. 서 론

가교폴리에틸렌(XLPE)은 전력용 케이블의 주 절연체로서 가장 많이 선택되고 있는 절연재료 중의 하나이다. 그 이유로서 절연 내력, 고유체적저항, 유전손실율, 연속최고허용온도, 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 차수형(CN/CV-W), 수밀형(CNCV-W), 난연형(FR CNCO-W) 및 트리억제형(TR-CNCV-W)이 있으며, 최근 구조적 안정성을 강화시킨 수트리억제 충실형(TR CNCV-W)을 개발하고 있는 추세에 있다.

2.3 교류파괴시험

2.3.1 목적

AC 파괴시험은 전력용 케이블의 절연강도를 모의하기 위한 시험으로서, 케이블의 절연체 내부에 존재하는 이물, 보이드, 내, 외부 반도전층 계면돌기, 14주기 열화시험과 AWTT에 따른 케이블의 구조변화 및 절연체의 열적 변형 및 수트리의 발생 등은 케이블의 절연내력에 영향을 미치는데 이와 같은 케이블의 변화에 대한 교류파괴전압특성을 평가하기 위한 것이다.

2.3.2 시험방법

시험을 위한 대상 시료로서 22.9kV 전력 케이블을 사용하였으며, 시험절차 및 방법은 한국전력 구매시방서에 따라 실시하였다.
 1) 유효길이 6m 이상을 시험용 수단말에 설치.
 2) 시험 전압은 도체와 중성선 사이에 인가하며, 최초 30kV를 5분간 인가하고 이후 10kV 상승시켜 5분간 유지하는 과정을 파괴가 발생할 때까지 계속함.

2. 본 론

2.1 14주기노화시험

2.1.1 목적

14주기 열화시험의 일반적인 의미는 케이블의 제조공정에서 발생하는 다량의 휘발성 부산물을 제거하기 위한 것으로서, 절연체 가교 시에 첨가되는 산화방지제와 가교촉매제로 인해 발생하는 가교 부산물의 일부는 가교시에 일부로 완전 배출되지 못하고 절연체 내부에 잔존하게 되는데, 휘발성 물질인 메탄(CH₄), 수소(H₂), 아세틸렌(CH₂H₂)이 대부분을 차지하며, 이러한 부산물들을 제거하기 위하여 주기노화를 수행한다. 또한 14주기 노화시험은 케이블의 열적과부하상태에서 진행되는데, 그 부수적인 효과로 고온상태의 절연체는 고분자사슬이 서로 떨어져 움직이므로서 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 교류파괴전압 특성을 알고자 함이다.

2.1.2 주기노화방법

한국전력공사 구매시방서에 정해진 장기과통전 시험방법에 따라 14주기 노화시험을 실시하였다.
 플라스틱파이프에 케이블을 넣어서 양끝을 봉하고 매일 8시간 지속적으로 전류를 흘려서 도체온도가 130°C에 도달하도록 하고 16시간은 전류를 흘리지 않으며, 14주기 동안 전압은 인가되지 않는다.

2.2 가속수트리

2.2.1 목적

가속 수트리시험은 일정기간 동안 규정된 온도를 주기적으로 인가하고 40 [kW]의 시험전압을 연속으로 인가하여 수트리의 발생을 가속하는 것이 그 목적이다. 특히 TR XLPE는 수트리 발생의 원인이 되는 절연체 내부의 hole(AWTT 열화 시 발생되는 절연체의 노화로 인해 절연체 내부에서 수분이 집중되는 부분의 발생에 대한 저항성이 있는 것으로 알려져 있다.

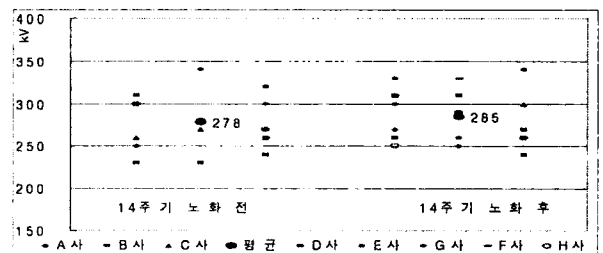
2.4 교류파괴시험 결과

2.4.1 TR CNCV-W의 교류파괴전압

22.9kV TR CNCV-W 60mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 제조사 간의 교류파괴전압을 표 1와 그림 1에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 278kV 및 285kV로서 2.4%의 증가된 결과를 나타내었으나, 이는 C사와 D사의 많은 증가에 기인한 것이며 나머지 4개사는 변화를 무시할 수 있을 정도의 감소를 보였다. 즉, 14주기노화가 교류파괴전압에 미치는 영향은 많지 않은 것으로 볼 수 있다.

<표 1> TR CNCV-W 60mm² 14주기노화 전 후의 교류파괴전압

구분	A	B	C	D	E	F	G	H	평균
노화전(kV)	267	283	263	233	297	280	320	283	278
노화후(kV)	260	280	300	280	283	300	310	267	285
변화율(%)	-2.5	-1.2	+13.9	+20.0	-4.5	+7.1	-3.1	-5.9	+2.4

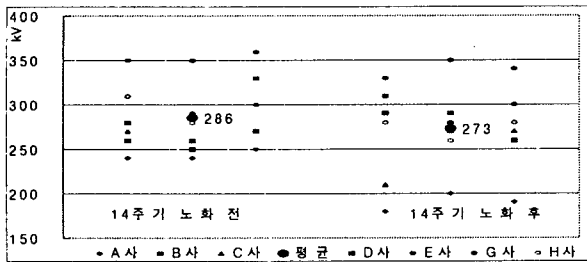


<그림 1> TR CNCV-W 60mm² 14주기노화 전 후의 교류파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 200mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 제조사 간의 교류파괴전압을 표 2와 그림 2에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 286kV 및 273kV로서 -4.3%의 감소한 결과를 나타내었으나, A사의 과도한 변화에 기인한 것며, A사를 제외한다면 평균변화는 -1.7%가 될 것이며 이는 거의 변화가 없는 것으로 판단될 것이다.

〈표 2〉 TR CNCV-W 200 mm² 14주기노화 전 후의 교류파괴전압

구분	A	B	C	D	E	G	H	평균
노화전(kV)	243	290	267	260	290	353	297	286
노화후(kV)	190	287	253	273	297	340	273	273
변화율(%)	-21.9	-1.1	-5.0	+5.1	+2.3	-3.8	-7.9	-4.3

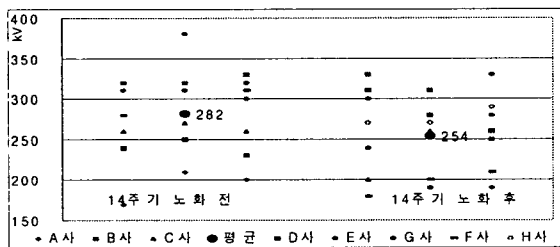


〈그림 2〉 TR CNCV-W 200 mm² 14주기노화 전 후의 교류파괴전압 비교

22.9 kV TR CNCV-W 325 mm²에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 제조사 간의 교류파괴전압을 표 3과 그림 3에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 282 kV 및 254 kV로서 10.0%의 감소한 결과를 나타내었으며, D사를 제외한 7개가 감소하는 변화를 보였다. 증가를 보인 D사와 과도한 감소를 보인 F사를 제외하더라도 10%에 가까운 감소를 나타내므로 14주기 노화가 교류파괴전압의 감소영향을 주는 것으로 판단된다.

〈표 3〉 TR CNCV-W 325 mm² 14주기노화 전 후의 교류파괴전압

구분	A	B	C	D	E	F	G	H	평균
노화전(kV)	193	323	263	240	337	290	313	297	282
노화후(kV)	187	297	240	283	297	197	253	277	254
변화율(%)	-3.4	-8.2	-8.9	+18.1	-11.9	-32.2	-19.1	-6.7	-10.0

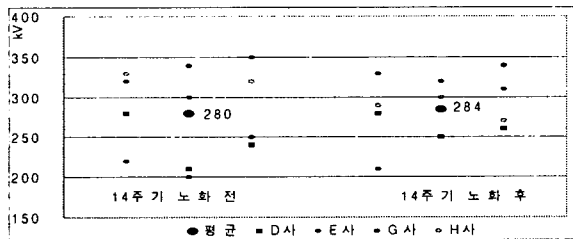


〈그림 3〉 TR CNCV-W 325 mm² 14주기노화 전 후의 교류파괴전압 비교

22.9 kV TR CNCV-W 600 mm²에 대하여 14주기노화 전, 후 및 제조사 간의 교류파괴전압을 표 4와 그림 4에 나타내었다. 전체평균으로 전과 후의 값이 각각 280 kV 및 284 kV로서 1.5%의 증가한 결과를 나타내었지만, D사와 G사의 교류파괴전압 증가와 E사와 H사의 교류파괴전압 감소가 서로 상충하여 나타난 결과이므로 14주기노화가 미치는 영향을 단정할 수 없다.

〈표 4〉 TR CNCV-W 600 mm² 14주기노화 전 후의 교류파괴전압

구분	D	E	G	H	평균
노화전(kV)	243	337	223	317	280
노화후(kV)	263	330	257	287	284
변화율(%)	+8.2	-2.0	+14.9	-9.5	+1.5

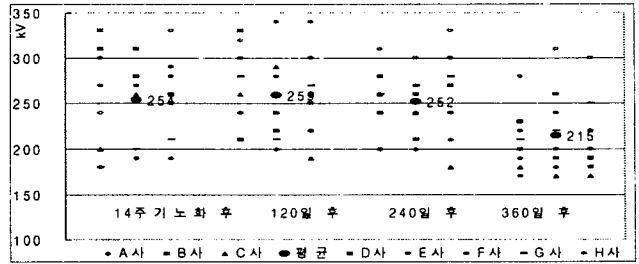


〈그림 4〉 TR CNCV-W 600 mm² 14주기노화 전 후의 교류파괴전압 비교

〈표 5〉 TR CNCV-W 325 mm² AWTT 후의 교류파괴전압

구분	A	B	C	D	E	F	G	H	평균
14주기후(kV)	187	297	240	283	297	277	197	253	254
120일후(kV)	210	273	247	230	293	233	253	333	251
240일후(kV)	203	263	227	257	257	227	270	313	246
360일후(kV)	187	190	173	227	213	203	227	297	203

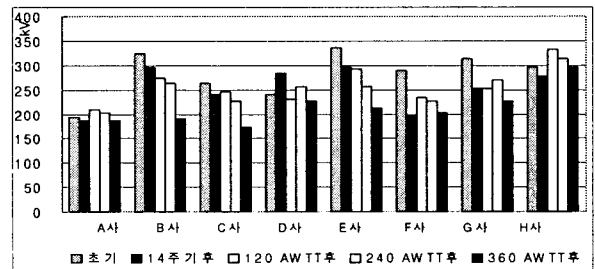
22.9 kV TR CNCV-W 325 mm²에 대하여 AWTT 후의 교류파괴전압을 표 5와 그림 5에 나타내었다. 14주기노화 후의 평균 교류파괴전압 254 kV에 대비하여 120일과 240일 AWTT 후까지는 거의 변화를 보이지 않지만 360일 AWTT 후의 교류파괴전압은 상당한 감소를 보였다.



〈그림 5〉 TR CNCV-W 325 mm² AWTT 후의 교류파괴전압 비교

2.4.2 결과 분석

종류별, 제조사별 구분 없이 모든 시료에 대한 14주기노화 전과 후의 교류파괴전압은 각각 282 kV와 273 kV로서 3.2% 감소한 것으로 나타났다. AWTT를 수행하는 325 mm² 케이블에 대하여 종류 및 제조사별로 주기노화 전, 주기노화 후, 120일 AWTT 후, 240일 AWTT 후 및 360일 AWTT 후의 교류파괴전압을 그림 6에 비교하였다. 다소 차이는 있으나 감소하는 경향을 보이므로 14주기노화와 가속수트리가 케이블의 교류파괴전압에 영향을 미치는 것으로 판단된다.



〈그림 6〉 TR CNCV-W 325 mm² 제조사별 교류파괴전압 비교

3. 결 론

본 논문에서는, 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 배전급 22.9 kV XLPE 케이블 중에서 수트리의 발생을 억제하는 기능을 가진 트리억제형(TR CNCV-W) 전력케이블에 대하여 14주기노화 전, 후, 120일 AWTT 후, 240일 AWTT 후 및 360일 AWTT 후의 교류파괴전압특성을 분석하고 이들 각각이 교류파괴전압에 미치는 영향을 알아보았다. 실험에는 8개사, 4종류, 234개의 시료가 소요되었다.

[1] 전반적으로 노화와 더불어 교류파괴전압도 감소하는 것으로 나타났지만 제조사별 또는 종류별로 각각 증가 또는 감소가 혼재된 양상을 나타내고 있으므로 평균으로 분석한 변화결과가 절대결과를 나타내지는 않는 것으로 사료된다.

[2] 평균 변화를 비교하여 14주기노화는 교류파괴전압에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이는 14주기노화 과정에서 주어지는 파괴전압 상승효과와 감소효과가 적절히 조화된 결과로 볼 수 있으며, 외피를 벗기고 14주기노화를 수행함으로써 증성선에 의한 절연체의 변형이 현저히 줄어든 것이 그 원인으로 사료된다.

[3] 14주기노화, 120일, 240일 및 360일 가속수트리가 후의 교류파괴전압은 각각 259 kV, 251 kV, 246 kV 및 203 kV로서, 240일 가속수트리 열화까지는 교류파괴전압이 거의 변하지 않는 것으로 나타났으며, 240일 이후부터 노화속도가 가속되는 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] AIEC CS5-94, "Specification for and cross-Linked Polyethylene Insulated Shielded Power Cables Rated 5 through 46kV (10th Edition)", 1994.
- [2] 한국전력공사 구매시방서, "22.9kV 트리억제형 전력케이블", 1999.
- [3] 김규식의 3명, "전력 Cable용 XLPE의 제조과정 중 가교제와 가교조제의 함량이 미치는 전기적 특성", 2000 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp2077-2080. 2000
- [4] 유대혁 외 3명, "14주기 열화에 따른 22.9 kV XLPE 전력케이블의 파괴전압특성", 2001 대한전기학회 부산, 경남, 울산지부 추계학술대회 논문집, pp229-235.2001
- [5] 김위영 외 3명, "22.9 kV CV 전력케이블의 14주기 고온 열화가 교류파괴전압에 미치는 영향", 2001 대한전기학회 경남지부 춘계학술대회 논문집, pp12-14. 2001
- [6] 김위영 외 2명, "14주기 열화에 따른 22.9 kV 전력케이블의 교류파괴전압 특성분석", 2005 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp2271-2273. 2005