

14주기 열화에 따른 22.9kV 전력케이블의 교류파괴전압 특성분석

김위영, 허종철, 박태곤\*  
한국전기연구원 시험평가본부    창원대학교 전기공학과\*

AC Breakdown Voltage 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** - The cyclic aging for 14days is performed in order to remove the large amount of the volatiles contained in freshly manufactured cable. And the accelerated water treeing test(AWTT) is performed to accelerate the occurrence of the water tree in the dielectric of XLPE. In this paper, we examined the AC breakdown voltage characteristics of the 22.9kV power cable before and after the cyclic aging for 14days and the AWTT. As the result, the AC breakdown voltage of the TR CNCV-W power cable is higher than that of CNCV-W and FR CNCO-W 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 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 CNCE-W)을 개발하고 있는 추세에 있다.

최근에는 수트리의 발생을 억제하는 능력을 지닌 TR-XLPE가 주절연체로서 가장 많이 사용되고 있다. 따라서 TR-XLPE를 주절연체로 하는 TR-CNCV-W 전력 케이블에 대하여 교류파괴전압특성을 분석하고, 기존의 CNCV-W형 및 FR-CNCO-W형 전력케이블과의 파괴전압특성을 비교하였으며, 14주기노화 전 후의 파괴전압특성과 가속수트리(AWTT) 열화와 연관된 교류파괴전압특성을 분석하였다.

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 일부분은 가교 시에 외부로 완전 배출되지 못하고 절연체 내부에 잔존하게 되는데, 휘발성물질인 메탄(CH4), 수소(H2), 아세트렌(CH2H2)이 대부분을 차지하며, 이러한 부산물들을 제거하기 위하여 주기노화를 수행한다. 또한 14주기 노화 시험은 케이블의 열적과부하상태에서 진행되는데, 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 열적팽창계수의 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 가교 부산물의 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.

- 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 위해 dummy 케이블을 설치하였으며, 시험용 케이블과 같은 방법으로 전류를 인가하고 도체에 열전쌍(thermo couple)을 설치하여 온도보정을 실시하였다.

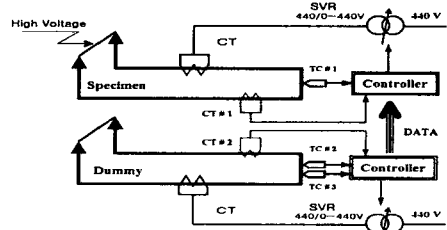


그림 1 14주기노화 및 가속수트리 회로도

2.2 가속수트리

2.2.1 목적

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

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

2.1.2 가속수트리 방법

한국전력공사 구매시방서에 정해진 AWTT 시험방법에 따라 실시하였다.

1) 플라스틱파이프에 외피를 제거한 케이블을 넣어서 물을 채우고 매일 8시간 지속적으로 전류를 흘려서 도체는 도가 90°C에 도달하도록 하고 16시간은 전류를 흘리지 않으며, 40 KV의 전압이 지속적으로 인가한다.  
 2) 그림 1처럼 케이블의 온도계열을 위하여 dummy 케이블을 설치하였으며, 시험용 케이블과 같은 방법으로 전류를 인가하고 도체에 열전쌍(thermocouple)을 설치하여 온도보정을 실시하였다.

## 2.2 교류파괴시험

### 2.2.1 목적

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

### 2.2.2 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 증성선 사이에 인가하며, 최초 30 kV를 5분간 인가하고 이후 10kV 상승시켜 5분간 유지하는 과정을 파괴가 발생할 때까지 계속함.

## 2.3 교류파괴시험 결과

### 2.3.1 CNCV-W와 FR CNCO-W의 파괴전압

22.9kV CNCV-W 325mm<sup>2</sup> 및 FR CNCO-W 325mm<sup>2</sup>에 대하여 14주기노화 전, 후 및 120일 AWTT 후의 교류파괴전압을 표 1과 그림 2에 나타내었다. 한국전력공사 구매규격에 14주기노화 전 후의 교류파괴전압은 160 kV 이상으로만 요구하고 있으므로 시험설비의 한계를 이유로 들어 160 kV를 초과한 240 kV까지만 인가하였으며 실제 파괴전압은 그 이상이다. 따라서 파괴전압의 의미는 없다. 102일 AWTT 후에 나타난 교류파괴전압은 두 품목 모두 확연히 감소하였음을 보여주며, 평균치로 CNCV-W는 182 kV, FR CNCO-W는 203 kV를 나타내어 FR CNCO-W가 다소 높은 것으로 나타났다. 또, CNCV-W의 한 시료는 145 kV까지 떨어진 결과를 보임으로서 내부결함의 가능성을 보이기도 하였다.

표 1 CNCV-W와 FR CNCO-W 교류파괴전압

구분	CNCV-W	FR CNCO-W
노화 전(kV)	240	240
노화 후(kV)	240	240
AWTT 후(kV)	182	203

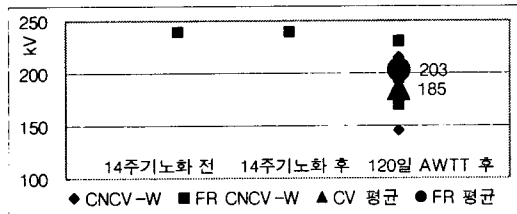


그림 2 CNCV-W와 FR CNCO-W의 교류파괴전압

### 2.3.2 TR CNCV-W의 교류파괴전압

22.9kV TR CNCV-W 60mm<sup>2</sup>에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 제조사 간의 교류파괴전압을 표 2와 그림 3에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 277 kV 및 286 kV로서 약 3%의 증가된 결과를 나타내었으나, 이는 C사와 D사의 많은 증가에 기인한 것이며 나머지 4

개사는 변화를 무시할 수 있을 정도의 감소를 보였다

표 2 TR CNCV-W 60mm<sup>2</sup> 교류파괴전압

구분	A	B	C	D	E	G	평균
노화전(kV)	267	283	263	233	297	320	277
노화후(kV)	260	280	300	280	283	310	286
변화율(%)	-2.5	-1.2	+13.9	+20.0	-4.5	-3.1	+3.0

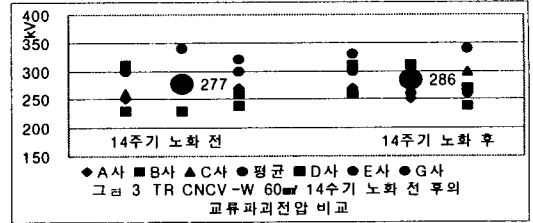


그림 3 TR CNCV-W 60mm<sup>2</sup> 14주기 노화 전 후의 교류파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 200mm<sup>2</sup>에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 제조사 간의 교류파괴전압을 표 3과 그림 4에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 284 kV 및 273 kV로서 약 3.7%의 감소한 결과를 나타내었으나, A사를 제외한 나머지 5개사는 약 5% 이내의 변화였다.

표 3 TR CNCV-W 200mm<sup>2</sup> 교류파괴전압

구분	A	B	C	D	E	G	평균
노화전(kV)	243	290	267	260	290	353	284
노화후(kV)	190	287	253	273	297	340	273
변화율(%)	-21.9	-1.1	-5.0	+5.1	+2.3	-3.8	-3.7

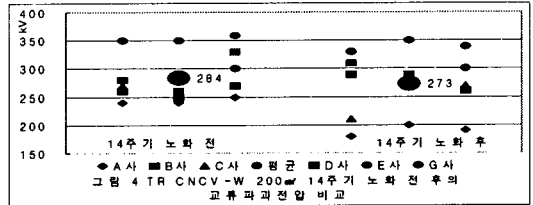


그림 4 TR CNCV-W 200mm<sup>2</sup> 14주기 노화 전 후의 교류파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 325mm<sup>2</sup>에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 제조사 간의 교류파괴전압을 표 4와 그림 5에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 278 kV 및 259 kV로서 약 6.8%의 감소한 결과를 나타내었으며, A사를 제외한 5개가 감소하는 변화를 보였다.

표 4 TR CNCV-W 325mm<sup>2</sup> 교류파괴전압

구분	A	B	C	D	E	G	평균
노화전(kV)	193	323	263	240	337	313	278
노화후(kV)	187	297	240	283	297	253	259
변화율(%)	-3.4	-8.2	-8.9	+18.1	-11.9	-19.1	-6.8

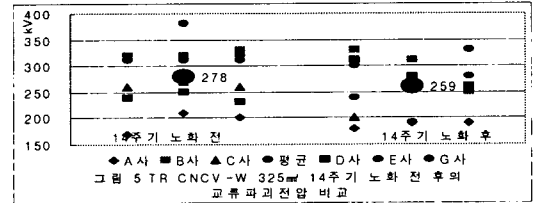


그림 5 TR CNCV-W 325mm<sup>2</sup> 14주기 노화 전 후의 교류파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 600mm<sup>2</sup>에 대하여 14주기 노화 전, 후 및 제조사 간의 교류파괴전압을 표 5와 그림 6에 나타내었다. 전체 평균으로 전과 후의 값이 각각 268 kV 및 283 kV로서 약 5.8%의 증가한 결과를 나타내었다.

표 5 TR CNCV-W 600mm<sup>2</sup> 교류파괴전압

구분	D	E	G	평균
노화전(kV)	243	337	223	268
노화후(kV)	263	330	257	283
변화율(%)	+8.2	-2.0	+14.9	+5.8

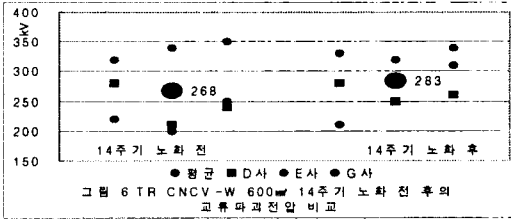
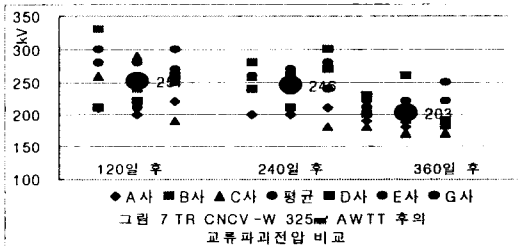


그림 6 TR CNCV-W 600mm² 14주기 노화 전 후의 교류파괴전압 비교

22.9kV TR CNCV-W 325mm²에 대하여 AWTT 후의 교류파괴전압을 표 6과 그림 7에 나타내었다. 14주기노화 후의 평균 교류파괴전압 259kV에 대비하여 240일 AWTT 후까지는 거의 변화를 보이지 않지만 360일 AWTT 후의 교류파괴전압은 상당한 감소를 보였다.

표 6 TR CNCV-W 325mm² AWTT 후의 파괴전압

구분	A	B	C	D	E	G	평균
120일후(kV)	210	273	247	230	293	253	251
240일후(kV)	203	263	227	257	257	270	246
360일후(kV)	187	190	173	227	213	227	203



AWTT를 수행하는 325mm² CNCV-W, FR CNCO-W 및 TR CNCV-W에 대하여 120일 AWTT 후의 교류파괴전압을 그림 8에 나타내었다. 그 결과로서 각각 185kV, 201kV 및 251kV를 나타내었으며 트리억제형 케이블이 가장 높은 값을 보였다.

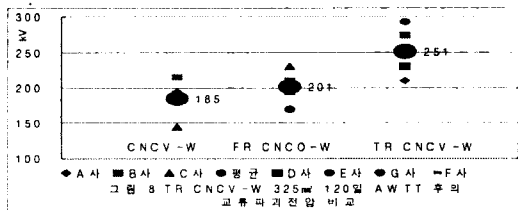


그림 8 TR CNCV-W 325mm² 120일 AWTT 후의 교류파괴전압 비교

### 2.3.2 결과 분석

종류별, 제조사별 구분 없이 모든 시료에 대한 14주기노화 전과 후의 교류파괴전압은 각각 265kV와 263kV로서 변화가 없는 것으로 나타났다. 케이블 품목별로도 분석하려 하였으나 수밀형과 난연형의 경우 설비 한계의 이유를 들어 파괴전압을 찾지 못하므로 비교분석이 불가능하였다. AWTT를 수행하는 325mm² 케이블에 대하여 품목 및 제조사별로 120일 AWTT 후의 교류파괴전압을 그림 9로서 비교하였다. 다소 편차는 있으나 유사한 결과를 보이고 있으며, 전반적으로 TR CNCV-W 케이블의 교류파괴전압이 다소 높게 나타났다.

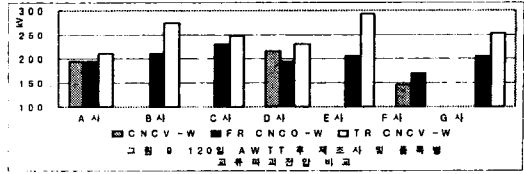


그림 9 120일 AWTT 후 제조사 및 품목별 교류파괴전압 비교

### 3. 결 론

본 논문에서는, 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 배전급 22.9kV 있는 수밀형(CNCV-W), 난연형(FR CNCO-W) 및 트리억제형(TR CNCV-W) 전력케이블에 대한 14주기노화 전, 후 및 가속수트리 후의 교류파괴전압특성을 알아보았다. 실험에는 7개사, 6종류, 268개의 시료가 소요되었다.

- [1] 트리억제형에 있어서 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 중성선에 의한 절연체의 변형이 현저히 줄어든 것이 그 원인으로 사료된다.
- [2] 트리억제형에 있어서 14주기노화, 120일, 240일 및 360일 가속수트리 후의 교류파괴전압은 각각 259kV, 251kV, 246kV 및 203kV로서, 240일 가속수트리 열화까지는 교류파괴전압이 거의 변하지 않는 것으로 나타났으며, 240일 이후부터 노화속도가 가속되는 것으로 사료된다.
- [3] 수밀형, 난연형 및 트리억제형 325mm² 케이블에 대한 120일 가속수트리 후의 평균 교류파괴전압이 각각 185kV, 201kV 및 251kV로서 수밀형과 난연형보다 트리억제형이 가속수트리에 안정된 것으로 사료된다.
- [4] 동일 제조사 내의 어떤 다른 품목보다 트리억제형의 교류파괴전압이 높은 것으로 나타났다.

### [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 가교제제의 함량이 미치는 전기적 특성", 2000 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp2077-2080.
- [8] 김위영 외 4명, "배전급 전력용 케이블의 장기노화시험 및 가속수트리시험에 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.