

배전케이블 진단결과와 교류절연파괴강도의 상관성

Relation between Dielectric Diagnosis and ACBD Strength in URD Cables

한재홍, 김주용, 김동명, 이병성, 정년호
(Jae Hong Han, Ju Yong Kim, Dong Myong Kim, Byung Sung Lee, Nyeon Ho Jeong)

한전전력연구원
(Korea Electric Power Research Institute, KEPCO)

Abstract

This study is for assessing a reliability of diagnostic device through comparing diagnostic results to ACBD strength. The dielectric diagnosis using IRC (isothermal relaxation current) measurement was carried on service-aged cables. From this study, there was little correlation between dielectric diagnosis and ACBD strength in long distance cables. But the correlation between them showed in short distance below 200 m. Therefore, it is desirable to diagnose the URD cables in short distance.

Key Words(중요용어) : Dielectric diagnosis(절연진단), ACBD strength(교류절연파괴강도), URD cables(지중 배전케이블)

1. 서론

지중 배전케이블을 이용한 전력공급은 산업발전과 인구밀집 등으로 인해 매년 증가하고 있다. 이러한 지중 배전케이블은 중요선로의 전력공급을 담당하고 있으며, 가공선로에 비해 공사비가 10배 정도 소요되는 것으로 알려져 있다.

그러나 지중 배전케이블에 고장이 발생하게 되면 복구에 많은 비용과 시간이 요구되기 때문에 사전에 케이블 절연진단을 실시하여 대책을 수립하는 것이 바람직하다.

국내에서는 지중 배전케이블의 절연진단에 직류 내전압시험을 사용해왔으나¹⁾, 직류전압이 절연체 수명을 나쁜 영향을 미친다는 보고에 따라 현재는 대체방안을 마련하기 위해 노력하고 있다²⁾. 이와 같은 맥락에서 한국전력공사는 등온완화전류 (isothermal relaxation current; IRC) 측정방법을 이용한 진단기기를 도입하여 현재 시범적으로 운용 중에 있다.

지중 배전케이블의 고장방지와 적절한 교체를 결정하기 위해서는 진단기기의 신뢰성이 필수적이다. 본 연구에서는 절연진단 결과와 교류절연파괴강도의 상관성 분석을 통해 진단기기의 신뢰성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 시험대상 시료

절연진단과 교류절연파괴강도 시험에 사용된 시료는 표 1과 같이 현장에서 운전중인 4개 D/L의 지중 배전케이블이다. 본 연구에 사용된 시료는 전력구에 설치된 케이블이기 때문에 수트러나 기타 열화현상은 관찰되지 않았다. 현장에서 진단기기로 1차진단을 실시한 다음 교류절연파괴시험을 위해 각 D/L별로 약 150 m 길이의 케이블 시료를 발취하였다. 진단결과의 재현성을 확인하기 위하여 교류파괴 시험 전에 다시 2차진단을 실시하였다.

표 1. 시험시료

D/L명	제조년도
A	1996
B	1989
C	1992
D	1993

2.2 시험방법

절연진단은 등온완화전류 측정방법을 이용한 기기를 사용하였으며, 시험방법은 1 kV의 직류전압을 케이블에 30분 인가한 다음 방전후 나타나는 완화전류를 측정하였다.

한편 교류절연파괴시험은 약 15 m 길이의 케이블 양단을 단말처리하여 케이블 도체와 중성선 사이에 전압을 인가하였다. 시험방법은 5분동안 30 kV의 교류전압을 인가한 다음 5분 단위로 10 kV씩 전압을 증가시켜 파괴가 일어날 때까지 시험하였으며, 각 D/L별로 10개의 시료에 대해 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 진단결과의 재현성

표 2는 진단기기를 이용하여 1차 및 2차 진단한 결과를 나타낸다. 표에서 알 수 있는 것처럼 진단결과는 케이블 공장에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 재현성이 부족한 것으로 판단된다.

표 2. 절연진단 결과

D/L명	제조 년도	1차 진단		2차 진단	
		결과	공장(m)	결과	공장(m)
A	1996	불량 (2.301)	555	불량 (-)	84
B	1989	요주의 (2.126)	557	양호 (1.849)	82
C	1992	양호 (1.816)	578	요주의 (1.918)	82
D	1993	불량 (2.350)	221	요주의 (1.901)	75

* ()는 aging factor임

3.2 교류절연파괴시험

표 3은 절연진단한 시료에 대해 교류절연파괴시험을 실시한 결과를 요약한 것이다. 표에서 알 수 있는 것처럼 모든 케이블은 12 U₀ 이상의 매우 양호한 결과를 나타내었다.

A D/L의 '96년 케이블은 1차 및 2차 진단에서 모두 불량이라는 결과가 나왔지만, 교류절연파괴시험에서는 230 kV에서 파괴가 일어나지 않았다. 이와 같은 결과로부터 '96년 케이블은 건전한 상태인 것으로 판명되었으며, 따라서 진단결과의 신뢰성이 매우 부족한 것으로 나타났다. 이와 같은 원인은 측정

한 케이블이 비교적 신제품이기 때문에 절연층 내부에 가교 잔류물이 잔재하여 나타난 현상이라고 판단된다.

1차진단 결과와 교류절연파괴강도를 비교한 결과가 표 4에 나와 있다. 표로부터 알 수 있는 바와 같이 양호로 진단된 케이블이 요주의로 진단된 케이블보다 낮은 교류절연파괴강도를 보였기 때문에 진단결과의 신뢰성은 다소 미흡한 것으로 판단된다.

표 3. 교류절연파괴시험 결과

D/L명	제조 년도	교류절연파괴시험
A	1996	10개 모두 미파괴 (230 kV)
B	1989	6개 미파괴, 170~210 kV에서 3개 파괴, 140 kV에서 1개 파괴, 16 U ₀ 이상
C	1992	3개 미파괴, 160~180 kV에서 5개 파괴, 130~140 kV에서 2개 파괴, 13 U ₀ 이상
D	1993	150~170 kV에서 모두 파괴 발생, 12 U ₀ 이상

표 4. 1차진단 및 교류절연파괴시험 결과

D/L명	제조 년도	1차 진단		교류절연파괴시험
		결과	공장 (m)	
A	1996	불량 (2.301)	555	17 U ₀ 이상 (미파괴)
B	1989	요주의 (2.126)	557	16 U ₀ 이상
C	1992	양호 (1.816)	578	13 U ₀ 이상
D	1993	불량 (2.350)	221	12 U ₀ 이상

한편 표 5는 비교적 짧은 공장의 케이블에 대하여 실시한 2차진단 결과와 교류절연파괴시험의 결과이다. '96년 케이블의 진단결과를 제외하면 1차진단 결과보다는 교류절연파괴강도와 다소 상관성이 보여진다. 즉, 양호로 진단된 케이블이 요주의로 진단된 케이블보다 높은 교류절연파괴강도를 나타냈

다. 한편 aging factor와 교류절연파괴강도의 상관성을 분석한 결과, 정확한 비례관계는 보이지 않았다.

표 5. 2차진단 및 교류절연파괴시험 결과

D/L명	제조 년도	2차 진단		교류절연파괴시험
		결과	공장 (m)	
A	1996	불량 (-)	84	17 U_0 이상 (미파괴)
B	1989	양호 (1.849)	82	16 U_0 이상
C	1992	요주의 (1.918)	82	13 U_0 이상
D	1993	요주의 (1.901)	75	12 U_0 이상

3.3 고찰

등온완화전류 측정방법을 이용한 진단기기를 사용하여 4개 D/L의 지중 배전케이블을 진단한 결과, 케이블 공장에 따라 진단결과가 변화되는 현상을 발견하였다. 비교적 긴 공장의 케이블에 대해 실시한 1차진단에서 진단결과의 신뢰성은 매우 부족한 것으로 나타났으나, 짧은 공장의 경우에는 다소 상관성이 보여졌다. 이와 같은 원인으로서는 같은 D/L의 케이블일지라도 위치에 따라 열화되는 정도가 다르고 또한 진단기기의 특성상 전체적인 상태를 진단할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

A D/L의 '96년 케이블은 1차 및 2차 진단에서 모두 불량인 결과가 나왔음에도 불구하고 교류절연파괴시험에서 매우 양호한 결과를 나타내었다. 이 케이블이 현장에서 약 4년 정도 사용된 케이블이라는 점을 고려해보면 가교 부산물이 소멸되기 위해서는 4년 이상의 시간이 필요한 것으로 판단되며, 따라서 5년 미만의 지중 배전케이블에 대해서 절연진단을 실시하는 것은 무의미한 것으로 보인다.

표 6은 독일 20 kV 지중케이블에서 절연진단 결과와 교류절연파괴강도의 상관성을 분석한 내용이다³⁾. 시험한 케이블은 '82년 포설하여 약 17년간 운전한 것이며, 외부반도전층으로 graphite 재질을 사용하였다. 절연층의 두께는 국내 케이블보다 약 1 mm 정도 얇은 것으로 알려져 있다.

표에서 알 수 있는 것처럼 본 연구에서 얻어진 결과와는 다소 상이한 결과를 보여준다. 즉, 국내의 경우가 진단결과에 비교하여 훨씬 높은 교류절연파

괴강도가 나타난다. 이와 같은 이유는 절연층 두께 및 외부반도전층 재질의 차이로부터 기인하는 것으로 생각된다. 따라서 국내의 경우에는 독일과는 다른 판정기준이 필요할 것으로 보인다.

케이블의 교류절연파괴가 국부적으로 취약한 부위에서 발생한다는 사실로부터 절연진단 결과와 교류절연파괴강도의 상관성을 보다 정확하게 판단하기 위해서는 고분자 분석방법을 이용한 특성분석이 필요할 것으로 생각된다.

표 6. 국내외 진단결과와 교류절연파괴강도의 상관성 비교

국내	독일
진단결과/교류파괴강도	진단결과/교류파괴강도
양호/ > 17 U_0	양호/ > 10 U_0
	양호/ 6~9 U_0
요주의/ >12~13 U_0	요주의/ 4~7 U_0
-	불량/ 2~4 U_0

표 7은 등온완화전류 측정방법을 이용하는 진단기기에서 aging factor에 따른 진단결과를 나타낸 것이다. 본 연구에서 aging factor와 교류절연파괴강도를 비교한 결과, 둘 사이에 비례적 관계는 나타나지 않았다. 즉, 표 5에서 보여지는 것처럼 C D/L의 케이블이 더 높은 aging factor를 보였음에도 교류절연파괴강도에서는 약간 높은 결과를 보였기 때문이다. 이와 같은 결과가 진단시의 주변환경에 의한 것인지 또는 진단기기의 오차인지는 현재로서는 판단하기 곤란하다.

표 7. Aging factor에 따른 진단결과

Aging factor	진단결과
1.6 미만	양호
1.6~1.84	양호
1.85~2.29	요주의
2.3 이상	불량

4. 결 론

절연진단한 4개 D/L의 케이블에 대하여 교류절연 파괴시험을 실시한 결과 다음과 같은 사실을 발견하였다.

(1) 5년 미만의 케이블에서는 진단결과의 신뢰성이 매우 부족하였다.

(2) 절연진단 결과는 케이블 공장에 영향을 크게 받는 것으로 나타났으며, 신뢰성 있는 진단결과를 얻기 위해서는 200 m 이하의 짧은 공장에 대해 측정을 실시하는 것이 바람직한 것으로 밝혀졌다.

(3) 절연진단의 신뢰성을 높이기 위해서는 전체적인 상태뿐만 아니라 국부적 상태도 분석할 수 있는 진단기기를 병행하여 사용하는 것이 바람직하다.

(4) 향후 고분자 특성분석을 통해 상관성에 대한 연구를 수행할 필요성이 있다.

참고문헌

1. "배전케이블 수명예측 기준결정 및 열화진단 시스템 구축", 한전 전력연구원 보고서, 1997.
2. De Nigris M. et al., "Condition Assessment of Medium Voltage Power Cables in Industrial Environments by means of VLF Techniques", Proc. of JiCable'99, pp. 921-926, 1999.
3. G. Hoff, "Isothermal Relaxation Current Analysis: A Non-destructive Diagnostic Tool for Polymeric Power Distribution Cables", IEEE/PES T&D Conference, pp. 13-20, 1999.