

특고압 케이블(6.6/22kV) 케이블의 활선열화 수명 판정 방법에 관한 연구

이 관우*, 목 영수**, 김 보경***, 이 종복****, 박 대희*****
원광대학교, 한국전력**, 메가파워테크***, 호원대학교****

A Study on the Remain Life with Aging in 22kV CV Cable

Kwan-Woo Lee*, Young-Soo Mok**, Bo-Kyeong Kim***, Bok-Ki Park****, Dae-Hee Park*****
Wonkwang Univ., KEPCO., Mega Power Tech., Howon Univ.*****

Abstract - In this paper, we studied on life-decision of underground cable of live-line state. Data of CV 6.6kV and 22kV cable's life is got data measured insulation resistance by D.C. overlapped current. We confirmed that D.C resistance reduced by time. Aging of cable could be occurred by electrical, thermal, mechanical stress and complex aging confirmed that proceeded by Weibull plot. In the result, life of 6.6kV cable remained 21 years till light caution and 35 years till heavy caution, so aging of 6.6kV XLPE cable was not occurred. Life of 22kV cable remained 10 years till light caution and 22 years till heavy caution. We confirmed that the designed life of 22kV cable is similar to the measured life

다. 그 결과 6.6kV 케이블의 수명이 22kV 보다 높은 것으로 나타났는데 이는 6.6kV 케이블의 절연 두께는 제조 특성에 의하여 더 많은 영향을 받기 때문이다. 그 결과 6.6kV 케이블의 예측 수명은 경주의일 경우 21년, 교체가 필요한 중주의까지는 35년이 남아 있었으며, 22kV 케이블의 경우 경우에는 10년, 중주의까지는 22년 남아 있음을 확인할 수 있었다.

2. 실험방법

그림 1과 같은 방법으로 직류누설전류를 측정하기 위한 회로도를 구성하였으며, 측정 데이터를 10일 간격으로 5년동안 누적하여 그 데이터를 분석하였다. 직류 전압은 50[V]를 인가하였고 케이블 쉬스 부분에서 누설되는 전류를 측정하여 저항으로 환산하였다.

1. 서 론

산업이 발전함에 따라 전력 수요의 증가와 함께 설비의 안정성은 점차 증대되고 있다. 특히 전력설비의 사고는 복구가 오래 걸리며 그 자체로서 산업 사회에 큰 손실을 가져오게 된다. 그러므로 산업사회의 증대와 함께 설비의 신뢰성은 좀더 요구되어지고 있다. 설비의 일종인 케이블은 가공선과 지중선으로 나뉘어지게 된다. 그러나 도심지에서는 환경적인 요인으로 가공선에서 지중 케이블로 바뀌어 지고 있다. 특히 지중케이블은 지중에 매설되기에 사고가 발생시 복구가 오래 걸리고, 수트리 열화의 경우에는 설계 예상수명의 1/3 정도인 10년 정도에서 케이블에 사고가 발생하기에 케이블의 예상 수명을 추정할 수 있다면 미연에 사고를 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 열화가 발생하지 않은 케이블은 교체하지 않고 사용할 수 있기에 그 판별은 매우 중요하다.

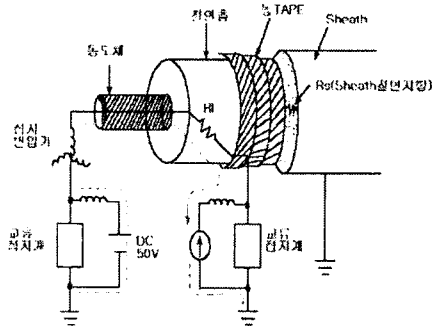


그림 1. 직류 전압중첩법의 측정 회로도

3. 결과 및 검토

그림 2는 필터링 전의 6.6kV 케이블의 직류 누설 전압 측정 데이터이다. 1600일 동안 10일 간격으로 측정하였으며 필터링하기 전의 데이터이다. 케이블은 포설된지 10년이 경과한 케이블이다. 부하 전류는 거의 변하지 않는 경우이다. 그러나 절연 저항은 1년을 단위로 주기적으로 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 절연 저항이 주기적으로 변하는 것은 습도의 영향이다. 습도가 높은 여름철은 절연 저항이 낮고, 습도가 낮은 겨울은 상대적으로 절연 저항이 높은 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 누설 전류는 습도의 영향이 큰 것을 확인할 수 있었다. 또한 지속적으로 측정하여도 측정할 날의 날씨 및 온도의 영향을 확인할 수 있었다. 이 데이터로서는 수명을 판단할 수 있는 데이터로서 부족하기에 이 데이터를 필터링하였다.

케이블의 수명을 판정하는 방법은 사선 진단 방법과 활선 열화진단 방법이 있다. 그러나 사선 진단법은 그 사용이 제한되기에 활선 진단 방법이 권장된다. [1, 2] 현재 한국에서 사용되는 활선 열화 진단 방법은 부분 방전 측정법과 직류 누설법이 사용되어 지고 있다. 부분 방전 측정법은 케이블의 사고가 발생시 발생하는 부분 방전으로 케이블의 열화 여부를 판정하는 이상적인 방법이라 할 수 있다. 그러나 주변의 노이즈는 부분 방전 측정을 어렵게 하고 있으며, 아직 부분 방전으로 케이블 수명을 판정하기에는 그 기술적인 방법이 매우 어렵다. 또 다른 활선 열화 진단 방법으로 직류 누설법이 있는데 이는 케이블의 중성점에 신호용 직류 전압을 가하여 케이블의 직류 누설 저항을 측정하는 방법이다.[3] 이는 주변의 습도 및 부하영향을 받고 있는데, 이 영향을 해결함으로써 케이블의 열화 및 수명 판정을 할 수 있는 방법이 찾을 수 있게 되었다.[4] 본 논문은 6.6 kV 및 22kV 전력케이블을 활선 상태에서 직류 누설법으로 케이블의 수명을 판정하고자 하였

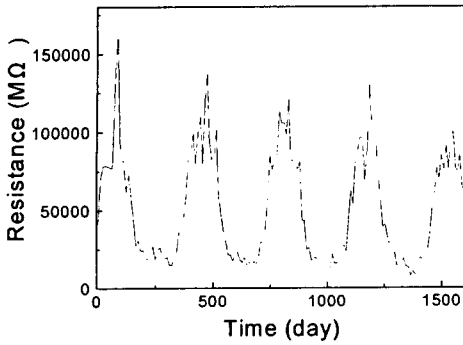


그림 2. 필터링 전의 6.6kV 케이블 직류누설저항

그림 3은 그림 2를 필터링한 경우이다. 그 결과 주기적으로 변하는 절연 저항을 보다 정밀하게 분석할 수 있게 되었다. 또한 특정일에 영향을 받는 것이 아니라 고르게 변화하는 데이터를 얻을 수 있었다. 이 데이터 분석으로 절연 저항은 계절에 따라 주기적으로 감소하는 것을 확인하였다.

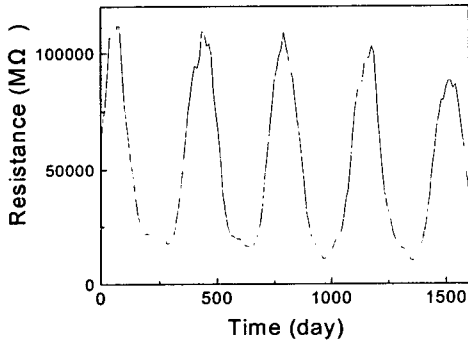


그림 3. 필터링 후의 6.6kV 케이블 직류누설저항

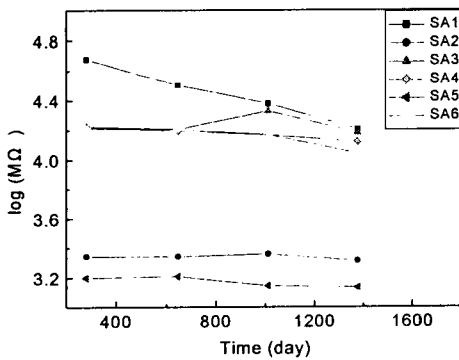


그림 4. 6.6kV 케이블의 시간에 따른 절연 저항의 변화

필터 후 절연 저항을 기준으로 계절에 따른 최저점을 선택하면 그림 4와 같이 진행된다. 그 결과 절연저항이 미세하게 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 최

상단의 경우는 감소되는 것이 선형 직선적으로 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 6.6kV케이블의 잔여 수명을 검토할 수 있었다

표 1은 그림 4를 검토하여 6.6kV 케이블의 잔여 수명의 결과이다. 케이블에 따라 표준 편차가 심한 것을 볼 수 있다. 이는 6.6kV케이블의 경우 전계가 작아 열화가 잘 발생하지 않는 것을 생각하여 볼 수 있다. 예상 수명은 30년이나 교체할 시기인 중주의까지 약 35년 남아있어 약 15년 정도 설계보다 더 사용할 수 있는 결과를 얻었다. SA1의 경우는 절연 저항이 매우 높고 선형적으로 감소하고 있으나 기울기가 매우크며 수명이 매우 적은 것으로 검토되고 있으나 초기 특성에서 수명지수 n 값의 변화가 일어나기 전인지 좀더 검토가 필요하다.

표 1. 그림 4를 기준으로 작성된 6.6kV 예상 잔여 수명

6.6kV cable	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	평균
경주의(년)	11.0	22.1	75.4	59.0	17.4	32.0	21.4
중주의(년)	15.9	47.0	118.5	92.9	40.7	50.2	34.9

그림 5는 22kV 케이블의 직류 누설저항 측정 데이터이다. 케이블은 변들형이다. 이 경우는 부하전류가 여름에 급증하는 경우로서 여름철 습기와 더불어 함께 직류 누설 저항에 영향을 미친 경우이다. 그러므로 부하가 증가하는 6월부터 다시 누설 저항이 상승하는 특성을 나타내고 있다.

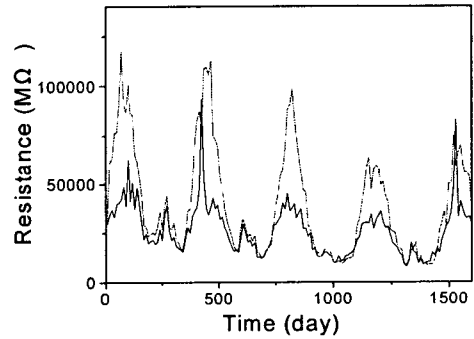


그림 5 필터링 전의 22kV 케이블 직류누설저항

그림 5를 필터링 한 결과는 그림 6과 같다. 그림5와 비교하여 완만한 그래프를 나타내고 있다.

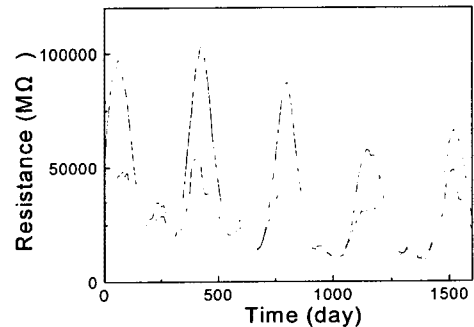


그림 6 필터링 후의 22kV 케이블 직류누설저항

그림 7은 22kV 케이블의 시간에 따른 열화 곡선이다. 6.6kV와 달리 22kV 케이블은 전체 케이블에서 선형적으로 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

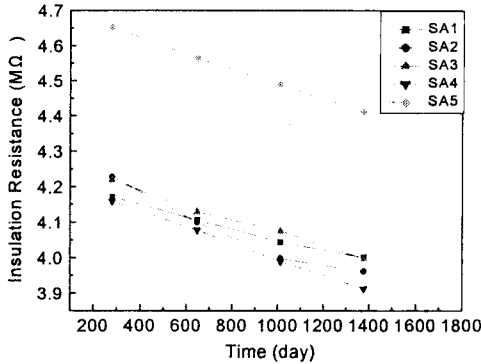


그림 7 22kV 케이블의 시간에 따른 절연 저항 변화

표 2. 22kV 케이블의 예상 수명 결과표

22kV cable	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	평균
경주의(년)	12.0	8.1	10.2	8.3	14.7	10.0
중주의(년)	29.3	19.2	24.1	20.4	27.3	22.6

표 2는 그림 7에 의하여 작성된 22kV 케이블의 예상 수명이다. 실측된 케이블의 수명은 주의상태까지가 10년, 교체시기까지 22.6년으로 케이블은 사용한지 10년 되었으므로, 예상 수명 30년에 거의 근접한다. 열화가 일어나는 원인은 크게 열열화, 전기열화, 기계적 스트레스에 의한 열화로 나뉜다. 열열화는 케이블에 전류가 흐를 경우 열이 발생되는데 이 열은 절연체의 열분해, 용융발생, 결정화, 가교밀도의 증가가 발생하게 된다. 이에 의하여 보이드 및 절연 두께의 감소로 유전 손실의 증대 및 저항의 열화 등으로 열화가 발생하게 된다. 보통 열열화는 아래니우스의 식에 의하여 온도가 10℃ 상승할 때 마다 수명은 반으로 줄어들게 된다. 이를 바탕으로 온도와 수명관계를 예측하게 된다.

다음은 전기 열화의 경우이다. 전기적인 열화는 절연 재료에 전압을 인가함으로써 나타나는 형태의 열화이다. 이 경우 인가 전압, 수명의 관계는 V-t 특성이라 말하는 데 경험적으로 n승 법칙에 의하여 전압과 수명과의 관계를 얻을 수 있다. 이를 와이볼 프롯이라 할 수 있는데 그 식은 $E^n t = k$ 에 의한다. 여기서, k는 정수이고, n은 재료의 종류 및 파괴 메카니즘에 따라 다른 것으로 알려져 있다. 이 가정하에 케이블의 수명을 10년 경과한 후에도 변화가 없다는 가정하에서 수명 측정이 된 것이다. 즉, 10년 경과한 후의 케이블의 절연 저항을 초기치로 하여 n을 선정한다. 절연 저항은 전압과 전류의 비이므로 직류 전압중첩법에서도 유사하게 적용될 수 있다. 그러나, 케이블의 수명은 시편 파괴 시험에서 일정 시간이 지나면 n이 변하는 것으로 알려져 있으나, 여기서 적용시키지는 않았다. 6.6kV 케이블의 수명이 긴 것은 22kV 케이블과 비교하여 100SQMM을 기준으로 6.6kV 케이블은 두께가 4mm이고, 이를 전체로 환산하면 1kV/mm, 22kV 케이블은 8mm이고 이를 전체로 환산하면, 2.1kV/mm로 약 2배 정도 높아 전기적인 열화가 상대적으로 적다.

22[kV] 케이블의 절연 저항은 3,000[MΩ] 이상의 경우는 양호, 300-3,000[MΩ]인 경우는 경주의, 300[MΩ] 이하는 중주의로 케이블을 교체 준비하는 것으로 알려져 있

다. 그리고 6.6 [kV] 케이블의 절연 저항은 300[MΩ] 이상의 경우는 양호, 30-300[MΩ]인 경우는 경주의, 30[MΩ] 이하는 중주의로 케이블을 교체 준비하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 직류전압중첩법에 의한 절연 저항의 열화는 와이볼 분포에 의한 전압 열화가 적용되는 것으로 확인될 수 있다. 또한 기계적 특성에 의한 요인도 무시할 수 없을 것으로 예상된다. 기계적인 검토식은 열신축이나 off-set설계로서 검토할 수 있다. 그러나 수식적으로는 해석하기 어렵고, 실제 케이블 수명 관정에서는 종합적으로 열화 특성이 나타나게 된다. 기계적인 열화의 원인은 연간 및 월간의 열신축에 의하여 나타나게 되며, 부하의 차단과 투입시 특히 부하 케이블이 열화된 상태에서 정전이 오래된 상태로 갑작스런 부하 전류를 투입시 나타난다. 즉 교체시기에 도달된 케이블은 절연 저항으로 바로 사고가 발생하는 것이 아니라 열화된 상태에서 스위칭 서지 및 뇌서지 등의 과전압 및 기계적 스트레스에 의하여 사고가 발생할 것으로 예상할 수 있다. 직류전압중첩법에서는 케이블이 열화 상태에 이른 것을 판정함과 동시에 정상상태에서의 열화 수명을 추정할 수 있는 것이다. 이 수명판정방법은 현재 대규모 공장에서 3.3~22[kV]의 저항접지계통 및 비접지계통(Δ결선)에서 적용할 수 있으며, 한국전력(KEPCO)에서는 6.6[kV] 및 비접지계통(Δ결선)이 적용된 발전 라인의 접지 방식에 적용될 수 있을 것으로 예상할 수 있으며, 다중 접지 방식에서는 좀더 보완적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 한국 전력 공사의 중기 지원과제 R-2003-B-27의 지원에 의하여 수행되었음.

4. 결 론

상기 결과에 의하여 직류전압중첩법에 의한 열화진단의 검토 결과, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 케이블을 직류전압중첩법으로 측정된 복합열화는 오이볼프롯에 의거 선형성을 따른다.
2. 10년 정도 포설된 케이블의 수명 추정 결과, 6.6kV 케이블은 경주의까지 약 21년, 중주의까지는 약 34년 정도로 추정할 수 있어 케이블의 잔여 수명이 설계치 30년 이상이었으며, 22kV 케이블의 경우에는 잔여수명이 경주의까지 10년, 중주의까지 22년으로 설계수명 정도에 근접함을 확인할 수 있었다.
3. 22kV의 경우, 여름철 과부하에 의한 절연 저항의 상승을 확인하였으며, 부하 전류는 흡습의 영향과 동일하게 큰 영향을 미치는 것으로 확인할 수 있었다.
4. 직류전압중첩법은 다중 접지 방식에서도 설치 가능하나 좀더 계통적인 연구가 보완된 후에 적용이 가능할 것으로 예상되어 좀더 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 田中久雄 “設備診断テクニック”, 電気書院, pp.197-2218, 1985.
- [2] S. Yamaguchi et al. "Development of a New Type Insulation Diagnostic Method for Hot-Line XLPE Cables", IEEE, pp.1-8, 1988.
- [3] Jong-Bum Lee et al. "Investigation on Diagnosis of Insulation Deterioration in Live-Line Distribution Power Cable in KOREA", Proceeding of The 1992 Korea-Japan Joint Conference on Electrical and Electronic Materials, pp32-41, May pp.28-29, 1992.
- [4] Kwan-Woo Lee et al., "A Study on Remain life with Aging in 22kV CV Cable", 2003년도 전기학회 전기물성*응용분회 논문집, pp.19-21, 2003년 10월.