

직류 케이블의 절연진단에 관한 연구

A Study on the Insulation Diagnosis of DC Cable

박서준*, 김선재*, 왕국명*, 길경석*[†], 조은제**

Seo-Jun Park*, Sun-Jae Kim*, Guoming Wang*, Gyung-Suk Kil**[†], and Eun-Je Jo**

Abstract A short-circuit fault occurs frequently due to the insulation deterioration of cable. Researches on the insulation diagnosis of cable used in AC power system have been well carried out. However, few investigations have been conducted for cable used in DC power system such as the electric railway system. Therefore, this paper described the insulation diagnosis techniques for cable used in DC railway vehicles with rated voltage of 1,500V. The insulation resistance method generally used and the partial discharge (PD) method that can detect small defect at its early stage were compared. The insulation resistance was measured by applying up to 5,000V to the high voltage cable. PD were analyzed in terms of pulse magnitude, counts, and T-F map.

Keywords : DC cable, Deterioration, Insulation diagnosis, Insulation resistance method, Partial discharge

초 록 케이블 절연열화에 따른 단락사고가 빈번하게 발생한다. 교류 전력계통에 사용하는 케이블의 절연진단에 관한 연구는 많이 수행되었지만, 전기 철도계통과 같이 직류 전력계통에서는 연구가 극히 미흡하다. 따라서 본 논문에서는 직류 1,500V 철도 차량에 사용되는 케이블의 절연진단기술에 대해 연구하였다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 절연저항법과 초기 또는 미소 결함도 검출할 수 있는 부분방전(Partial Discharge, PD)을 비교하였다. 절연저항은 최대 5,000V까지 인가하였다. 부분방전은 펄스 크기, 횟수 및 T-F map으로 분석하였다.

주요어 : 직류 케이블, 절연열화, 절연진단, 절연저항법, 부분방전

1. 서 론

케이블의 절연열화는 열적, 전기적, 환경적 및 기계적인 요인으로 인해 발생된다. 장기간 스트레스에 노출되면 초기의 물성 값이 변질되어, 수명저하 및 절연파괴로 인한 단락이나 지락사고로 이어지게 된다[1-3]. 절연파괴를 사전에 방지하고 계통의 신뢰성을 확보하기 위해 절연열화에 대한 진단기술은 지속적으로 연구 중에 있다. 과거 TBM(Time Based Maintenance)방식에서 온라인 상태진단이 가능한 CBM(Condition Based Maintenance)방식이 적용 중에 있으며, 그 중 부분방전 검출이 많이 활용된다[4,5]. 하지만, 교류 전력계통에서는 많은 연구가 진행중인 반면, 전기 철도와 같이 직류전력계통에서는 미흡한 실정이다.

[†] 교신저자: 한국해양대학교 공과대학 전자전기정보공학부(kilgs@kmou.ac.kr)

* 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학과

** 부산교통공사

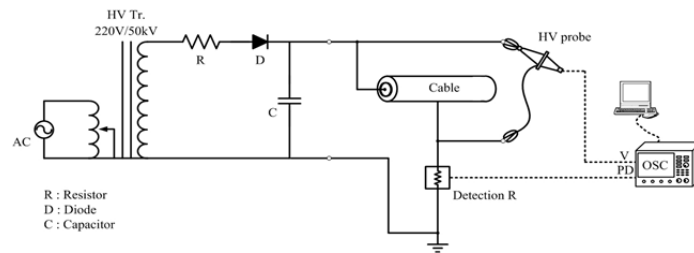
따라서 본 논문에서는 직류 1,500V 철도차량에서 사용되는 케이블을 대상으로 절연저항 측정과 부분방전에 관해 기술하였다.

2. 본 론

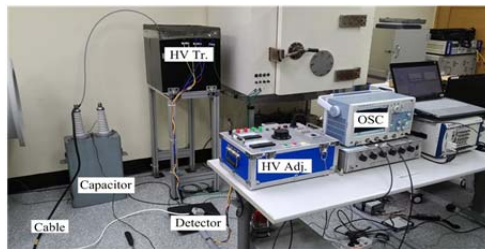
2.1 실험계

전기 철도계통에서 사용되는 차량용 케이블에 직류고전압(High Voltage Direct Current, HVDC)을 인가하였다. 케이블 터미널로부터 약 1m되는 지점에 표면과 수직방향으로 직경 1mm의 공극을 만들어 결함을 모의하였다. 케이블 표면에 두께 0.5mm의 동박(Copper foil)을 감싸서 부분방전을 검출하였다.

절연저항은 DC 5kV 전압을 인가하여 측정하였다. 절연상태를 평가하기 위해 1분 후의 절연저항과 10분 후의 절연저항의 비를 나타내는 성극지수(Polarization Index, PI)로 분석하였다. 부분방전 실험은 Fig. 1과 같이 구성하였다. 220V/50kV 변압기, 고압다이오드 및 커패시터를 통해 직류고전압을 인가하였고, 고전압 프로브(20kV_{DC})를 사용하여 전압을 측정하였다. 케이블에서 발생하는 부분방전 펄스는 오실로스코프(5GS/s) 및 T-F map으로 분석하였다.



(a) Configuration



(b) Photograph

Fig. 1 Experimental setup

2.2 결과 및 분석

2.2.1 절연저항

DC 5kV 전압을 10분동안 인가 하였을 때, 시간에 따른 케이블의 절연저항 변화는 Fig. 2와 같다. 전압인가 1분 및 10분 후 절연저항 값은 98.3GΩ 및 72.8GΩ으로 측정되었다. 성극지수는 0.74이며, 평가지표에 근거하여 1.0미만의 값을 가지므로 케이블의 절연상태는 불량인 것

으로 판단되었다[2,6].

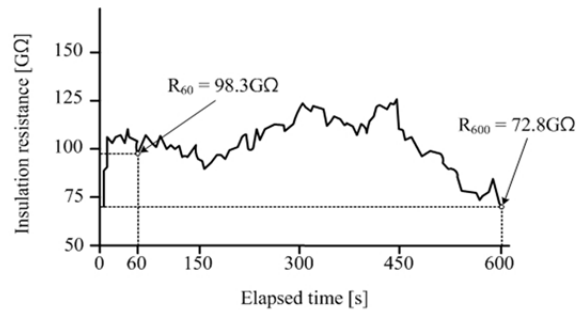


Fig. 2 Insulation resistance-elapsed time curve

2.2.2 부분방전

부분방전 실험 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 케이블에서 발생된 PD의 방전개시전압은 DC 1.4kV 이며, 30초동안 측정한 결과 PD펄스 수는 25회 발생되었다. (a)는 5회 발생된 방전펄스의 파형이며, (b)는 펄스의 크기 및 발생 시간을 나타내었다. 측정된 최대 방전펄스는 32mV이며 (2)-(3)에서 2,480ms로 가장 길며, (3)-(4)에서 30ms로 시간차가 가장 짧았다.

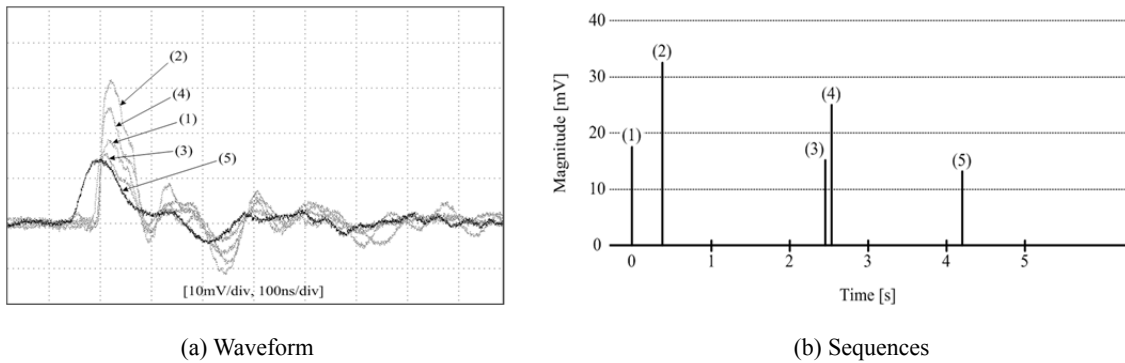


Fig. 3 PD pulses

Fig. 4는 T-F map을 이용하여 100회 발생된 PD펄스를 분석한 결과를 나타낸다. 주파수 성분은 2MHz~7MHz, 펄스 폭은 75ns~210ns 시간영역에서 분포하였다.

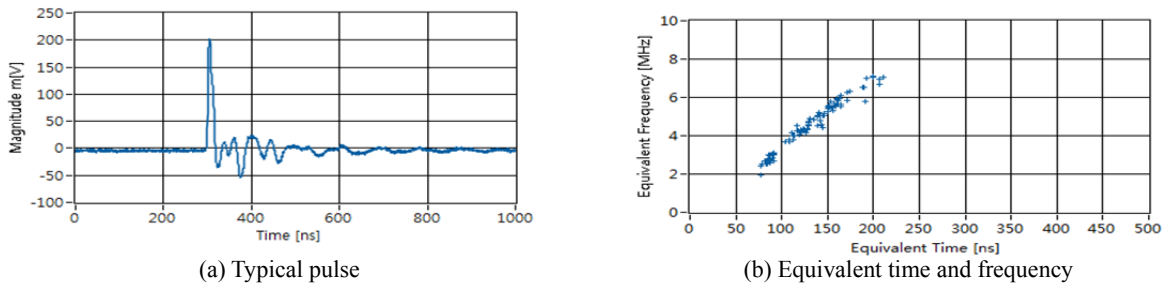


Fig. 4 T-F map

3. 결 론

본 논문에서는 전기철도에서 사용되는 DC 1,500V 차량용 케이블을 대상으로 절연저항 측정 및 부분방전을 분석하였다. 절연저항 상태를 나타내는 성극지수는 0.74로, 평가지표에 따라 케이블의 절연상태가 불량인 것으로 판단되었다. 부분방전 실험결과 방전개시전압은 DC 1.4kV로 이때, 30초동안 발생된 펄스 수는 25개, 최대 펄스크기는 32mV로 나타났다. T-F map으로 분석한 결과 주파수 성분은 2MHz~7MHz, 펄스 폭은 75~210ns의 시간영역에서 분포하였다. 상기 결과 두 측정법 모두 직류케이블에서 열화에 따른 절연상태를 평가할 수 있었으며, 부분방전은 T-F map을 통해 케이블의 다양한 결함을 판별할 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 2015년도 미래창조과학부 및 연구개발특구진흥재단의 기술이전사업화 사업 지원으로 수행 되었음.

참고문헌

- [1] J.S. Choi, C.Y. Park, S.J. Kim, G.S. Kil, et al. (2009) Analysis of PD characteristics by types of insulation defects in power cables, *Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1977-1983.
- [2] D.U. Jang, K.W. Lee, C.Y. Lee, S.H. Park, et al. (2014) Analysis on measurement results to examine the cable degradation of railway vehicle, *Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1353-1357.
- [3] H.S. Han, K.Y. Min, K.S. Ryu (2007) A Study on monitoring means of insulation deterioration of electric power cable, *Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1516-1522.
- [4] M.S. Kim, S.J. Kim, G.S. Kil, D.W. Park (2013) Measurement and analysis of partial discharges in HVDC, *Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 449-453.
- [5] Peter H.F. Morshuis, Johan J. Smit (2005) Partial discharges at DC voltage: their mechanism, detection and analysis, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 12(2),pp.328-340.
- [6] Paul Gill (2008) *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing*, CRC Press, NY, pp. 102-105.