

전력케이블 고장원인 분석에 관한 사례연구

(A Case Study on the Failure Cause Analysis of Power Cables)

황광수* · 최종수 · 정종욱 · 정진수

(Kwang-Su Hwang · Jong-Soo Choi · Jong-Wook Jung · Jin-Soo Jung)

요 약

본 논문에서는 전력케이블 및 그 부속설비에 대한 사고원인을 분석한 사례를 서술하였다. 사고원인을 정밀하게 분석하기 위해서 케이블 외관의 육안검사 단계부터 케이블 해체 단계까지 전기적 검사 및 화학적 검사를 실시하였다. 분석결과, 전력케이블은 시공방법을 준수하지 않아서 수축튜브의 마감부위에 전계가 집중되어 가압 이후 지속적인 부분방전이 발생하여 케이블에 누적된 스트레스로 인해 발생한 고장으로 추정되었다.

Abstract

This paper describes a case study on the failure cause analysis of power cables and their fittings.

For more accurate analysis, electrical and chemical analysis techniques were employed from the macrography stage for the exterior of the cables to the entire disassembly stage.

As a result, it was confirmed that the power cables failed due to improper fabrication by which electric field was concentrated at the deadend of a shrink tube on the cable.

1. 서론

고압이상 자가용전기설비를 소유하고 있는 고객은 2006년 현재 142,286호로 전체고객의 0.79%를 점유하고 있으며 고압고객의 점유율은 매년 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 고압고객이 전체고객에서 차지하고 있는 비율은 비록 적으나 한국전력에서 실시한 2006년도 고객파급 정전분석 자료에 의하면 고압고객의 파급정전은 전체배전선로 정전의 23.4%를 점유하고 있다.

따라서, 고압고객의 설비사고를 사전에 예방하는 것은 파급정전사고를 감소시켜서 전력공급의 신뢰도를 제고시키는 중요한 업무이며 설비사고를 예방하기 위해서는 사고원인을 정확하게 분석하는 기술의 축적이 요구된다.

본 논문은 고압자가용전기설비 고객의 전력케이블에서 발생한 설비사고의 고장원인분석에 관한 것이다. 사고는 2007년 1월 27일 오전 7시경 발생하였으며, 본 케이블에 대한 간략한 개요를 표 1에 나타내었다.

표 1. 사고 케이블에 대한 간략한 개요

품명	제조사	제조년월일	설치년월일	사용기간
22.9kV CN/CV-w 1C×60㎜ ² 144M	(주)모보	2006.6.20	2006.9.23	2006.12.9 ~ 2007.1.27

본 전력케이블의 사고경위를 간략하게 요약하면, 책임분계점 2차측 인입구 케이블 종단접속재(케이블 헤드)가 소손되면서 책임분계점개폐기(COS)가 용단되었다.

2. 분석내용

본 건의 고장원인 규명을 위해 다음과 같은 분석을 수행하였으며, 그 결과를 설명하였다.

2.1 육안검사

건전상에서는 육안상 발견되는 소손 흔적이 없었으며, 사고상 케이블 및 케이블헤드간 접속부위에서 그림 1 및 그림 2와 같은 탄화흔 및 케이블 심선의 용융이 확인되었다.

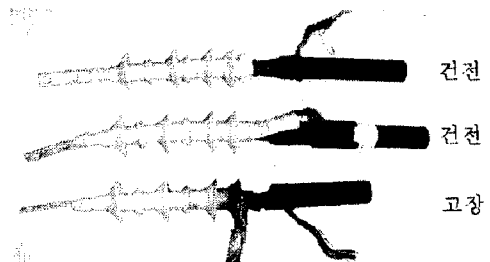


그림 1. 고장케이블과 건전케이블의 외관 비교

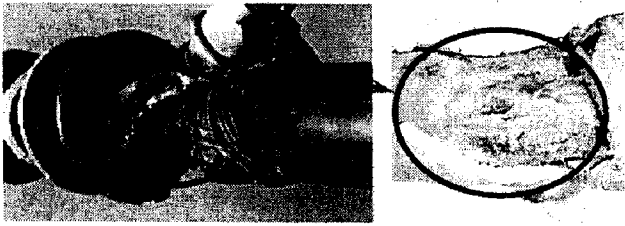


그림 2. 고장상 케이블 소손 부위 확대

2.2 운용환경 분석

고장케이블은 2006년 6월에 제작된 제품으로 비교적 최근에 생산되었다. 또한, 2006년 9월에 설치가 되었으며, 실제로 가압해서 사용한 기간은 고장발생시까지 약 1.5개월 정도 운용되었고 케이블 헤드는 3M에서 생산되었다.



그림 3. 케이블헤드 제작사 확인

2.3 정밀검사

고장케이블 중 일부 편을 그림 4와 같이 발취·가공하여 화학적 검사를 실시하였다.

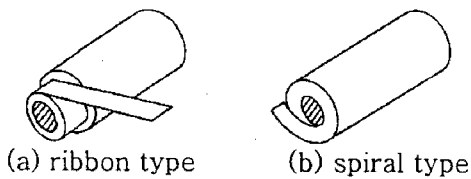


그림 4. 시험용 시료 발취를 위한 케이블 절연체 가공 유형

케이블 절연체 내부 결함 검출을 위해 핫오일 테스트와 수트리 검사와 케이블 절연체에 대해 가교도 분석을 실시하였다.

3. 분석결과

케이블헤드 고장부위에 대한 육안검사 결과, 국내 유통 중인 케이블헤드 중에서 3M사가 공급하는 케이블헤드는 자기수축형 튜브를, 레이캄사에서 공급하는 케이블헤드는 열수축형 튜브를 사용하고 평일사의 케이블헤드는 튜브를 사용하지 않았다.

또한, 3M사의 케이블헤드는 자기수축형 튜브를 사용하며, 조립할 때 이 튜브가 케이블의 외부 반도체층(외도) 위까지 덮혀 있어야 전계가 완화될 수 있으나, 고장원인 규명 의뢰된 케이블의 경우에는 이 자기수축형 튜브가 3개의 상 모두 절연체 위에서 마감되고 마감된 부위에서 실리콘 그리스의 처리가 양호하지 못한 것이 확인되었으며, 케이블 헤드가 밀려 있는 부분이 발견되었다.

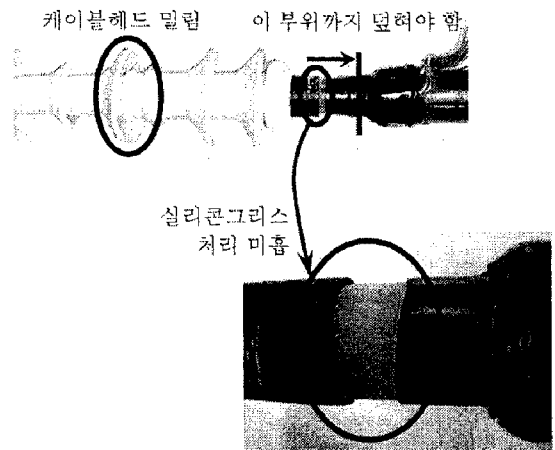


그림 5. 정밀 분석을 위해 케이블헤드 접속부 해체

케이블헤드 부위의 실리콘 그리스 처리는 각 제조사마다 약간의 차이가 있는데, 3M사는 자기수축형 튜브와 반도체층간의 공간을 제거하는데 평일사는 케이블헤드가 잘 들어갈 수 있도록 하는 윤활제 역할로 사용하고 있으며 레이캄사는 열수축형 튜브를 사용하므로 실리콘 그리스 처리를 실시하지 않고 있다.

특히, 고장이 발생한 부위에 대해 정밀 감정을 실시한 결과, 고장이 발생한 부위가 자기수축형 튜브가 마감된 부위와 정확히 일치되었으며, 이 부위에서 전계가 집중되어 부분방전이 장기간 발생되었을 가능성이 있고 특히, 튜브가 절연체 상에 완전히 밀착되지 않고 떠있을 경우나 실리콘 그리스의 처리가 불완전할 경우에는 부분방전이 발생할 가능성이 더욱 증가한다.

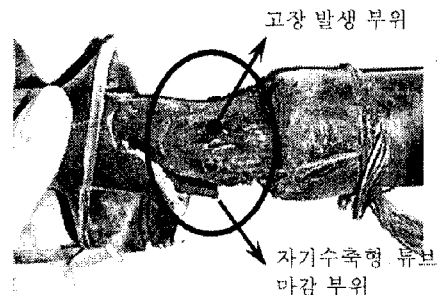
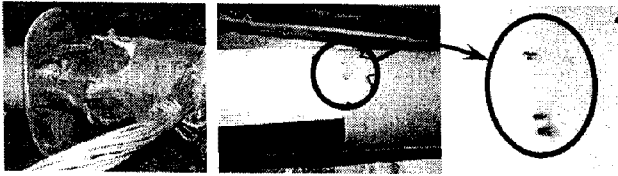


그림 5 자기수축형 튜브의 마감부위와 고장 발생 부위와의 일치

실제로 케이블헤드에서 고장이 발생하는 경우의 대부분이 이와 같은 경우로서, 그림 6과 같은 탄화흔이 발견되는 경우도 있으며, 이는 접속시공 불량량의 대표적인 사례가 되어 왔다.

절연체의 내부결함 여부(케이블 하자 여부)를 알아보기 위해 핫오일 테스트를 실시한 결과, 그림 7과 같이 특이사항이 발견되지 않았다.



(a) 고장 부위 (b) 외피 제거 후 발견된 탄화흔 (c) 부분방전으로 인한 탄화부위

그림 6. 접속시공 불량으로 인해 케이블 말단 접속부에서 발생한 탄화흔(ABC 케이블의 사례)

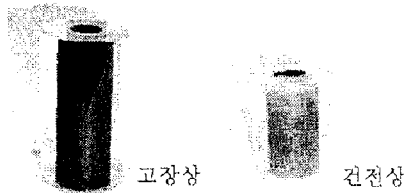


그림 7. 핫오일 테스트 결과 내부 결함과 관련된 특이사항 없음

케이블 단말로의 수분 침투가 의심되어 수트리 검사를 실시하였으며, 동시에 케이블 내·외도 계면 검사를 병행 실시한 결과, 그림 8과 같이 특이사항이 발견되지 않았다.



(a) 고장상 발취 시료 (b) 건전상 발취 시료 (c) 수트리 검출을 위한 시료염색

그림 8. 수트리 및 계면 검사 결과 특이사항(트리, 돌기, 피트, 엠버, 편심 등) 없음

케이블 절연체 밀도 검사를 위해 가교도 분석을 실시한 결과, 고장상 및 건전상의 내·외도측 6개 부위 시료 모두 80[%] 이상의 양호한 결과를 얻었다.

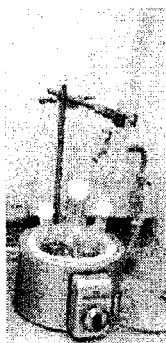


그림 9. DoC 분석 장면

4. 고장원인 추정결과에 대한 소견

고장원인 규명 의뢰된 본 건의 케이블은 비교적 최근에 제작·설치된 신품으로서 케이블 자체 열화에 의한 고장원인은 육안검사 및 화학적 시험 결과, 발견되지 않았다. 다만, 고장 발생부위와 케이블헤드의 제작사가 3M이며, 각 사마다 시공(조립)방법 측면에서 약간의 차이가 있다는 점 및 이의 준수여부는 물론, 과학적 열화원인을 감안할 때, 자기수축형 튜브가 외도까지 덮혀 있어야 비로소 전계완화 효과를 얻을 수 있음에도 불구하고 이 튜브가 절연체 상에서 마감되어 있는 점과 이 마감부위에서 고장이 발생했다는 점으로부터 시공방법을 준수하지 않아 튜브의 마감부위에 전계가 집중되어 가압 이후 지속적인 부분방전이 발생하여 케이블에 누적된 스트레스로 인해 발생한 고장으로 추정되었다.

5. 결론

최근 전력케이블의 사고는 설계수명이 다가옴에 따라 점차 증가하고 있는 추세이다. 이를 억제하기 위해서는 전력케이블에 대한 사전 예방진단도 중요하지만, 사고가 발생한 케이블에 대해서 정확한 원인을 규명하고 이를 체계적으로 DB화 하여 유사사고의 재발을 방지하는 작업도 소홀히 다루어져서는 안된다. 특히, 국내에도 PL법이 발효된 지 5년여가 경과함에 따라 앞으로 제기될 수 있는 케이블 관련 소송에 미리부터 체계적으로 준비한다는 관점에서 그 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다.

References

- [1] Authors' name: "Title of journal papers", IEE of Japan Trans., Vol. 106, No.1, 1999, pp.1-10.
- [2] Writer's name: "Title of book", Publisher, Tokyo, 1999, pp.100-120.