

345 kV 케이블 종단접속부에서의 폭발사고 원인분석

The cause analysis of explosion on junction termination of 345kV cable

송길목 · 방선배 · 김종민 · 김영석 · 최명일

SHONG Kil-Mok · BANG Sun-Bae · KIM Chong-Min ·

KIM Young-Seok · CHOI Myeong-Il

한국전기안전공사 전기안전연구원

KESCO-ESRI

요약

345 kV 케이블의 종단접속부에서는 다수의 아크흔적이 발견된다. 재료분석에 의하면 케이블은 양호한 것으로 판정된다. 제조 및 설계상의 문제점은 없는 것으로 판단된다. 시공상의 결함요인 중 절연유 레벨이 낮은 것으로 추정되었다. XLPE에서는 다수의 Arc trace가 나타난 것을 확인하였다. 그러나 Soots mark가 없고, Yellow band 확인되지 않았으며, 방사형의 spider leg와 연결되지 않은 아크흔적이 없다. 이견사항으로는 XLPE의 내부에 보이드, 이물질 또는 돌기로 의심되는 것은 발견되지 않았다. 따라서 XLPE에서 이물질의 부착에 의한 절연파괴인 것으로 판단된다.

ABSTRACT

It is found to the arc trace on the junction termination of 345kV cable. According to the analysis of the cable material is judged to be good. Manufacturing and design problems are not considered. In construction defects, it was estimated to the low level of insulation oil. In the majority of the arc trace appeared XLPE is found. However, there is no Soots mark, yellow band has not been confirmed, not associated with a radial arc of the spider leg is not evidence. In other opinions, void, contamination or jut are not found on the inside of XLPE. Thus, by the attachment of the impurities in surface of XLPE insulation is judged to the breakdown.

Keywords : 그을음 흔적(soot mark), 황변띠(yellow band), 방사형 탄화트랙(spider leg), XLPE, 지락흔적(ground signs), stress cone, 상시감시 모니터링 (CBM; Condition Based Monitoring)

1. 서 론

고전압에서 사고가 발생하면 현장에서의 사고처리과정이 매우 중요하다. 고전압의 경우 감전에 의한 인명사고의 우려가 크므로 이를 신속하게 차단하고 다수의 불편함을 해소하여야 하는 어려움이 산재해 있다. 서로의 이익을 위해 어떠한 것도 소홀해져서는 안된다. 사고원인을 분석하는 것은 차후의 재발방지를 위한 매우 중요한 단초가 되기 때문이다. 본 논문에서는 사고발생장소와 시점에 대한 내용을 요약하여 사고 전반에 대한 사항을 알기 쉽도록 전개하였다. 또한, 이후 분석과정에서 알고자 하는 근거자료를 제공하고 비교하여 판단하는데 용이하게 하고자 하였다.

사고분석 계획에 있어서 가장 중요한 부분은 제조사와 시공사 및 사용자의 의견을 일치하는데 있다. 일방적인 분석은 상호 의견을 개선하는데 어려움이 있으며, 특히, 최종결론에 도달하였을 경우 많은 시각차를 발견하게 된다. 이러한 오류를 최소화하기 위해서는 많은 의견교환과 일정을 검토하여 상호 이해되는 수준에서 조정할 필요가 있다. 분석계획이 정해지면 일정을 정하여 각각의 전문가를 참여시켜 분석과정에 대한 오류를 없앤다. 특히, 분석 순서를 정하는 데 있어서 사고대상물의 손상이 요구되므로 그 단계를 면밀히 분석하여 오류가 없도록 서로의 의견을 교환하여야 한다. 산업시설의 경우에는 제조회사와 시공회사 및 운용을 담당하는 관리 측에서의 분쟁요소가 다수 발생한다. 따라서 이 분쟁을 해소하기 위해서는 객관성을 확보할 수 있는 제3의 기관에 분석참관을 의뢰하여 검토된 사항을 근거로 진행되어야 함이 당연하다. 본 사고 원인에 있어서도 이를 충실히 이행하여 진행된 사례이다. 사고분석에 있어서는 짧은 기간 동안 좀 더 객관성을 확보할 수 다양한 분석기법을 제시하고 이를 통해 계측된 자료를 검토하였다. 또한, 추정 시나리오(Hypothesis scenario)에 대한 의견불일치에 대해 회의하여 각각의 의견을 정리하는데 도달하였다.

2. 케이블 사양과 사고처리과정 분석

케이블은 XLPE 절연케이블로서 정식명칭은 '362 kV Cables 190/345 kV Single core, XLPE Insulated high voltage power cables'으로 되어 있다. 그림 1은 제조회

사 측에서 제공되는 케이블 단면과 그 명칭을 정리한 것이다.

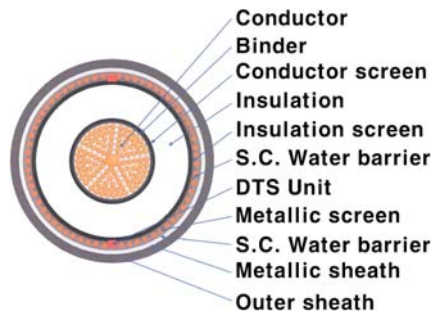


그림 1. 400 kV 단심 XLPE 케이블

케이블의 타입은 Single core cable copper wires screen and aluminium foil로 구성되어 있다. 도체의 크기는 2,000 mm²이며, 절연체는 XLPE이다. 전기적 특성은 최대 10.4 kV/mm에서 5.6 kV/mm로 절연능력이 우수하다. 각 명칭에 대한 특성은 표 1과 같다.

표 1. 400kV 단심 XLPE 케이블의 특성

번호	명칭	공칭두께, mm	특성	공칭직경, mm
1	Conductor		Copper	56.7
2	Binder		Semi-conducting tape	
3	Conductor screen		Super smooth SC polymer	60.9
4	Insulation	26.0	EHV XLPE	113.9
5	Insulation screen		Super smooth SC polymer	117.9
6	S.C. water barrier		S.C. water swelling tapes	119.5
7	DTS unit		2X2 optical fibres elements	
8	Metallic screen	223 mm ²	Copper wires and counter helix tape	123.9
9	S.C. water barrier		S.C. water swelling tapes	127.0
10	Metallic sheath	0.2	Laminated aluminium tape	127.4
11	Outer sheath	5.0	Black HDPE with graphite coating	137.9

도체는 연선가닥을 하나로 하는 구리로 구성되어 있으며, 이를 반도체인 바인더로 감았다. 절연체는 앞서 언급한 EHV급 XLPE로 제조되었다. 케이블의 무게는 대략 31.7kg/m이다. 케이블의 기본적인 설계는 IEC 62067을 따른다.

케이블 종단 접속부의 단말처리는 그림 2와 같은 구조로 되어 있다. 제조업체에서는 CFMT-420으로 명명한다.

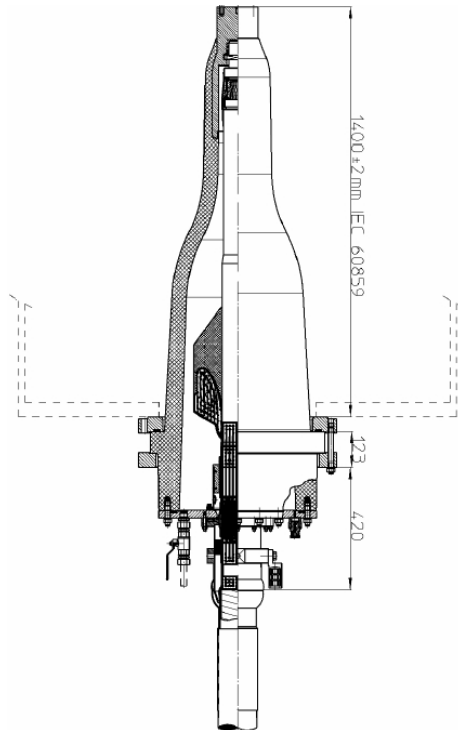
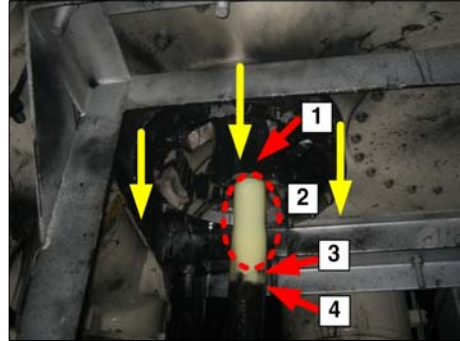


그림 2. 케이블 종단접속부의 개략도

고장이 발생하여 파급된 과정에서 신속한 조치를 통해 사고의 확산이 축소된 것으로 판단된다. 사고현장에서 촬영된 자료를 통해서 보면, 케이블 종단 접속부에서 절연 유가 유출되고 하부로 분출된 형태를 확인할 수 있다. 사고분출의 경우 수직으로 설치된 케이블 종단접속부의 하단부에서 상당한 압력과 충격으로 인해 겉을 싸고 있는 에폭시 수지가 균열되어 부서지면서 주변으로 파편이 날아갔다. 그림 3은 사고현장의 상태를 촬영한 것으로 그림 3(a)는 건전상을 촬영한 것이고, 그림 3(b)는 사고상을 촬영한 것이다.



(a) 건전상



(b) 사고상

그림 3. 사고현장에서의 케이블 종단접속부 촬영

그림 3(a)에서 촬영된 부분은 종단접속부를 감싸는 외함이 상당히 견고하게 잘 체결되어 있는 것을 볼 수 있다. 그림 3(b)는 사고상의 케이블 종단접속부로서 체결된 볼트 부분과 케이블, 스트레스콘이 하단부로 밀려 내려온 것을 확인할 수 있다. ①은 에폭시 부분으로 균열과 부서진 흔적을 확인할 수 있으며, 현장목격자의 진술에 의하면, 상당히 넓은 범위로 조각이 흩어져 비산되었다고 했다. 이는 기계적인 충격과 내부 압력에 의해 발생한 것으로 아크발생이 주 원인이었을 가능성이 높다. ②는 내부의 함침되어 있던 XLPE로서 상당부분 깨끗하고 별 다른 흔적을 발견할 수 없었다. ③부분은 절연파괴가 발생한 것으로 추정되는 아크흔적이 발견되었다. 사고의 원인을 규명하는 중요한 자료가 될 것으로 판단된다. ④부분은 스트레스콘이 있었던 곳으로 추정된다. 까만 부분은 내부 반도체층이 녹았거나 절연유가 탄화되어 그을음이 있었던 것으로 추정된다. ③부분을 확대하여 촬영한 결과는 그림 4와 같았다.

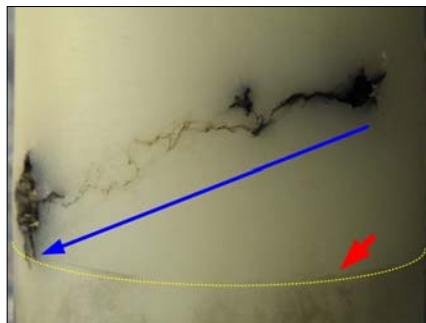


그림 4. ③부분의 탄화진전로와 스트레스콘 위치 확인

점선부분은 스트레스콘이 위치되었을 것으로 추정되는 자국이 있는 것으로 확인되었으며, 아크의 진전방향은 좌측 상방향에서 접지측의 스트레스콘 방향인 좌측 하방향으로 진전된 것을 확인하였다. 절연파괴로 인해 큰 탄화 구멍이 생긴 3개 또는 4개와 탄화진전로를 형성하는 아주 작은 절연파괴 흔적이 10여개 확인되었다.

케이블 사고원인규명을 위해 이해관계가 있는 당사자의 의견을 교환하고 최대한 반영하여 사고원인을 객관적으로 판단할 필요가 있다. 따라서 제조 및 시공을 담당한 측에서 제시한 분석 자료와 일정을 확인하여 사용자 측에서 재료의 적외선 분광분석과 열분석 등을 추가적으로 요구하였다. 이를 정리하여 그림 5와 같은 흐름도에 의해 진행되었다.

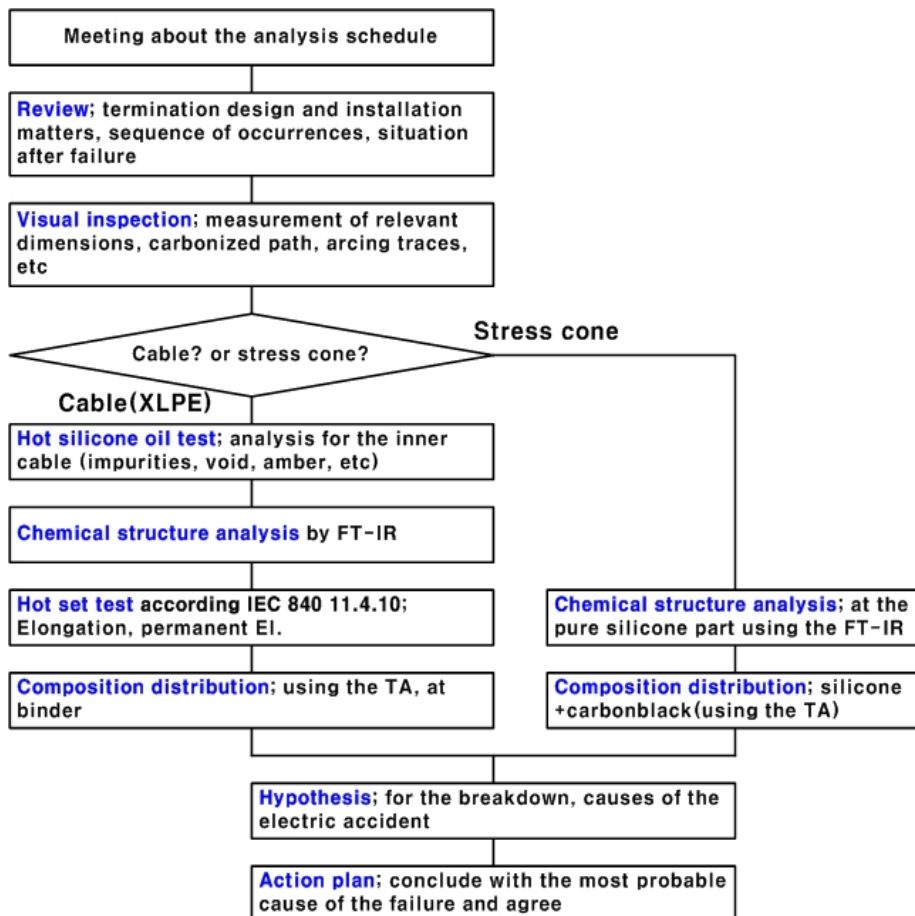


그림 5. 사고 케이블 분석 흐름도

가장 우선적으로 분석을 위해 서로 의견을 교환하고 분석순서와 방향에 대해 논의하였다. 다음으로 케이블의 제조과정과 시험인증에 대한 내용을 정리하였으며, 사고경위에 대한 간단한 리뷰를 실시하였다. 육안검사(Visual inspection)은 가장 길 부분부터 순서대로 제거하면서 세척한 후 촬영하였다. 절연파괴 과정에 대한 서로의 의견을 교환하고, 의문사항에 대해 기록하였다. 제조의 문제가 될 수 있는 직경에 대해 측정하고 그 상태를 규정에 맞는지 확인하였다. 재료분석은 크게 2개의 파트로 나누어 분석되었다. XLPE는 가장 기본이 되는 핫오일시험을 실시하여 약 120 °C의 실리콘유에 적정크기로 절단한 케이블을 넣어 3시간에서 4시간 유지한 후, XLPE가 투명해진 상태에서 내부의 탄화구조 및 이물질 침투여부를 판단하였다.

내부의 화학적 구조의 이상유무를 확인하기 위해 적외선분광분석을 실시하였다. 총 32번 주사하여 주변 환경 오차를 줄였으며, 분해능은 4.0 cm^{-1} 이었다. 시료를 주사하기 전, 공기 중의 상태를 백그라운드로 제거하였다. 무작위로 샘플링한 총 4개의 XLPE 시편과 3개의 스트레스콘 시편에 대해 적외선 흡광스펙트럼을 비교하였다. 만일, 적외선 흡광 스펙트럼이 다르게 나올 경우에는 XLPE가 이상상태로 간주할 수 있으며, 결과적으로 제조불량이라는 것을 입증할 수 있다.

핫 시험(Hot set test)은 XLPE의 열적 특성을 확인하기 위한 것으로 Elongation 평가와 Permanent elongation 평가를 실시하였다. 총 3개의 시료에 대해 각각 평가하였다. Elongation의 경우에는 기중온도를 200 ± 3 °C를 유지하여 15분간 약 20 N/ cm^2 의 기계적 피로를 가하였다. Permanent elongation의 경우에는 온도를 200 ± 3 °C로 유지하여 약 5분 동안에 방치하고 측정시의 온도는 약 23 ± 5 °C에서 실시하였다. 기계적 피로를 가한 경우의 신장율은 최대 175 % 이내가 되어야 하며, 열수축에 의한 불변 신장율은 최대 15 % 이내여야 한다.

열분석은 열중량분석(Thermogravimetric analysis)을 실시하였으며, 카본블랙의 경우 적외선 분광분석에서 흡광되는 특성으로 적외선분광기는 활용되지 못하므로 열분석만을 실시하였다. 온도는 순차적으로 올리는 방법으로 20 °C/min의 속도로 증가하였다. 시료는 XLPE는 약 19.5 mg, 스트레스콘의 경우에는 약 20.7 mg을 이용하였다.

재료분석이 끝난 후에는 가설을 통해 절연파괴 또는 전기사고의 원인에 대해 추정하였다. 서로의 의견이 교환된 상태에서 의문사항과 공통사항을 정리하였다. 이때, 각 의견에 대한 시나리오를 작성하고 공유하였다.

각 가설을 통해 얻은 자료는 향후 수리일정과 방법 등에 대한 구체적인 수행내용을 서로 검토하였다.

3. 사고분석 과정과 결과

3.1 육안 검사를 통한 탄화패턴

사고현장에서 채취한 시료(345 kV C상 케이블 중단접속부분)에 대해 적절한 세척과정을 거친 후 그림 6과 같이 절개하였다.

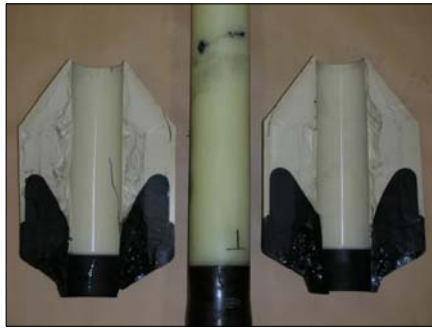
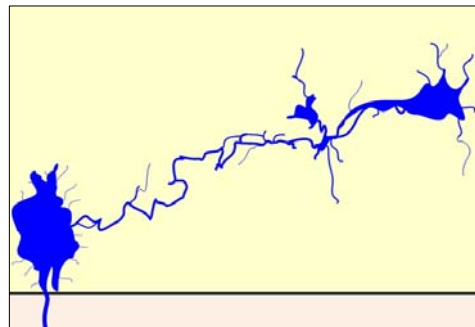


그림 6. 사고케이블과 분리하여 절개된 스트레스콘

그림 7은 사고케이블에 남아 있는 탄화진전로에 대해 촬영한 사진과 이를 분석하기 위하여 그래픽으로 처리한 부분을 비교한 것이다.



(a) 실제 사진



(b) 탄화로 도시

그림 7. 사고케이블의 탄화로 흔적

그림 7에서 보면, 탄화진전의 방향이 그림 7(b)에서와 같이 우측 상단부분에서 좌측 하단으로 진행되었을 것으로 추정되는 부분을 확인할 수 있다. 그 이유로서는 좌측 상단의 절연파괴 부분에 대한 스파이더레그(Spider leg)가 사방으로 뻗어 있어서 초기의 방전 상태를 의미하며, 절연성능이 저하된 부분으로 진전되는 것으로 보이며, 그 방향은 접지가 있는 하단부로 향하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 스트레스콘의 아크흔적을 촬영한 것이다. 그림 8에서 스트레스콘의 아크흔적은 케이블의 절연체와 맞닿은 지점에서 시작하여 스트레스콘 중간부이에서 약간 밑부분에서 터져 있는 것으로 확인된다. 이 부분은 접지와 연결된 스트레스콘의 반도전체 부분이다.



(a) 스트레스콘의 Arc trace



(b) Arc trace 초입부분 확대

그림 8. 스트레스콘의 아크진행 흔적

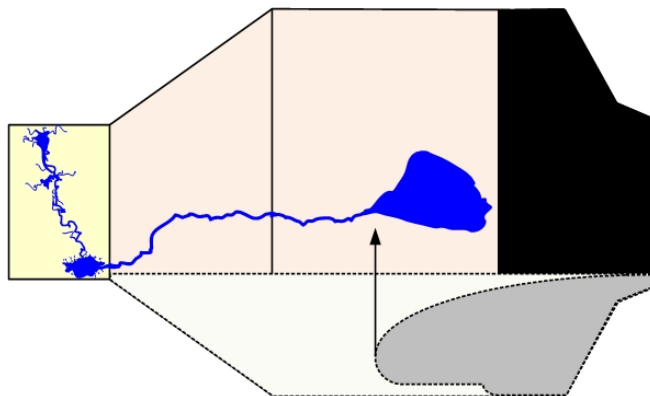


그림 9. 사고케이블에서의 절연파괴 경로

그림 9에서 확인할 수 있듯이 XLPE에서 시작된 아크경로는 스트레스콘으로 옮겨와 접지 측에 해당되는 스트레스콘 중심 하단부에서 터진 것을 볼 수 있다. 특히 단면과 비교하여 보면, 그 위치가 전계집중에 의해 절연파괴 가능성이 가장 높을 것으로 추정되는 부분인 것으로 나타났다.

사고부위를 중심으로 교차 검증을 실시하고자 양옆으로 절개하여 총 3개의 시편에 대해 핫실리콘오일 시험을 수행하였다. 또한, 제조당시 절연체(XLPE)의 두께로 인해 절연성능이 저하되었을 가능성에 대해 조사하기 위해 직경을 계측하여 확인하였다. 그림 10은 사고케이블의 원주를 측정하여 직경을 확인할 수 있는 줄자를 통해 확인하는 장면이다.

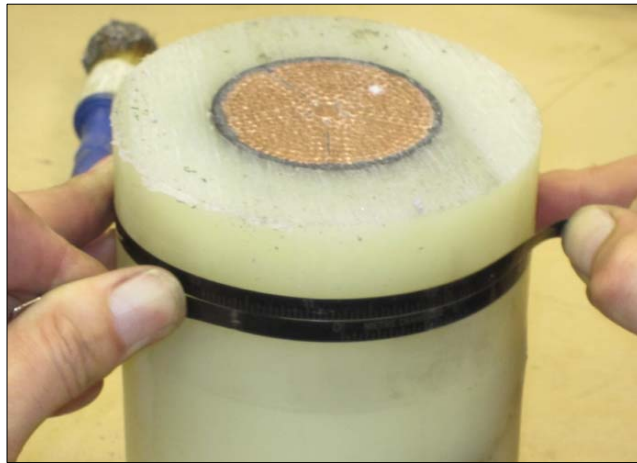


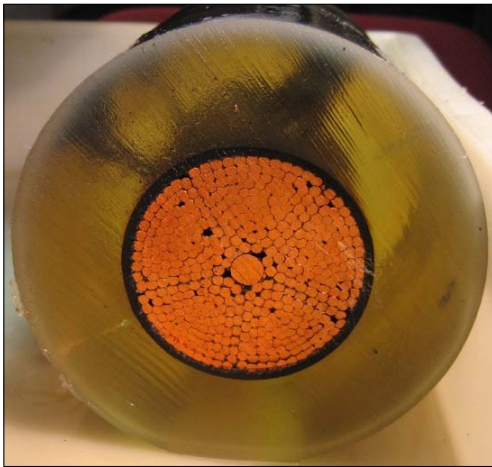
그림 10. 사고케이블 직경측정

사고케이블의 직경을 측정한 결과는 약 112.9 mm인 것으로 확인되었다. 케이블 사양에 의하면, 108.9 mm에서 116.4 mm의 범위에 있으면 정상으로 간주하므로 케이블의 직경은 정상인 것으로 확인하였다.

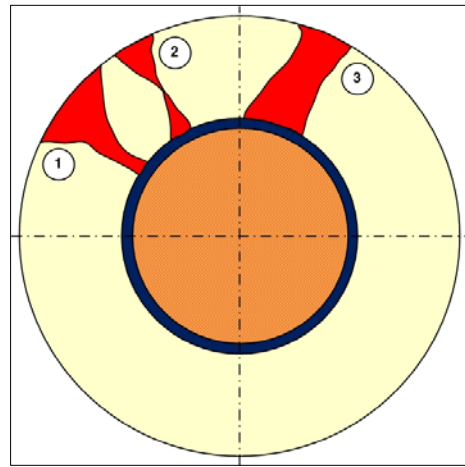
3.2 핫실리콘오일 시험(Hot silicone oil test)

핫실리콘오일 시험을 통해 XLPE가 투명해지면 내부에 보이드, 이물질, 절연파괴 경로 등을 확인하는 데 용이하다. 핫실리콘오일 시험을 하는 장면으로 내부의 진행과정

을 면밀히 관찰하기 위하여 할로겐 등으로 밝게 하여 확인한다. 절연파괴에 의해 구멍이 가장 큰 부분으로 구멍을 중심으로 내부 반도체층과 구리전선이 용융되어 넓게 퍼져 있는 것을 확인하였다. 일반적으로 내부 도체로 이용되는 구리의 용융온도가 1,083℃이므로 내부에 줄열이 상당부분 위치하여 절연파괴가 진행된 것으로 판단된다. 절연층에서의 보이드, 금속이물질, Amber 등과 같은 이물질은 발견되지 않았다. 또한, 신뢰도 향상과 교차검증을 위해 소손시편 양옆으로 절단한 시편을 동일한 조건으로 중탕하여 확인한 결과에 의해서도 절연체 내부에 이상이 있을 것으로 추정되는 이물질은 발견되지 않았다. 그림 3.11은 단면을 통해 확인되는 절연파괴 경로이다.



(a) 실물 촬영



(b) 절연파괴경로 개략도

그림 3.11 절연체 표면과 도체사이에서의 절연파괴 경로

그림 3.11에서 ①부분은 절연파괴가 최초로 시작되었을 것으로 추정되는 부분으로 역삼각형의 절연파괴특성을 확인할 수 있다. ②부분은 ①이 시작된 부분에서 절연성능이 저하되는 부분으로 다시 절연파괴가 일부 진전된 것으로 보이는 아령형의 절연파괴 특성을 볼 수 있다. 끝으로 ③은 가장 큰 구멍을 가지고 있는 절연파괴 부분으로 원통형으로 성장한 절연파괴 특성을 확인할 수 있다.

3.3 핫셋 시험(Hot set test)

사고케이블의 절연체부분을 절취하여 총 3개의 시편을 제작하였다. 가공은 전기톱을 이용하여 일정한 크기로 절단한 다음 시편을 제작하였다.

시편은 200 ± 3 °C의 기중온도를 유지하여 열 피로를 가하여 그때의 시편변형에 대해 조사한다. 그림 3.12는 전기로에 시편을 넣어 고정한 장면을 촬영한 것이다.



그림 3.12 전기로에 고정시킨 시편

각각의 조건에 따라 시편의 결과가 계측되었다. 표 2는 각 시편의 신장율과 신장 복원률에 대해 측정한 자료이다.

표 2. XLPE의 핫셋 시험결과

구분	시편1	시편2	시편3	요구기준
Elongation	55 %	50 %	55 %	max. 175 %
Permanent El.	+1 %	0 %	-1 %	max. 15 %

시험결과는 매우 만족한 것으로 XLPE는 기계적 피로도나 열적 피로도가 매우 안정적인 것으로 확인되었다.

4. 최종회의 및 검토

4.1 제조회사 측의 사고추정 시나리오

이미 현장에서 시공상의 문제가 있는 것으로 판단한다. 제조상의 결함과 설계상의 결함은 매우 미미하므로 시공상에서의 결함요인을 추정하여 가장 취약하다고 판단되는 부분의 공정에서 사고가 발생하였을 것으로 판단한다. 절연유를 내부 탱크에 주입 시 주입호스의 체결불량에 의해 절연유가 일정부분 이하로 채워져 절연능력이 현격하게 저하될 가능성을 추정한다. 그림 13은 절연유가 규정이하의 레벨로 떨어져 케이블의 절연체에 영향을 주는 관계를 나타낸 것이다.

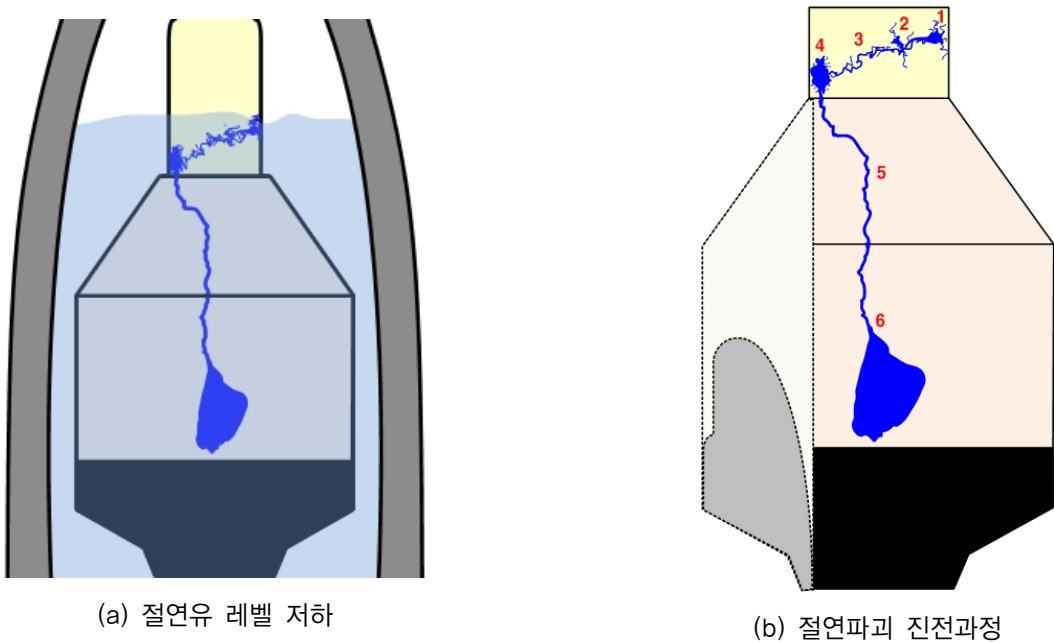


그림 13. 절연유 레벨의 규정치 이하로 절연능력 저하

따라서, 상부의 공기층과 하부의 절연유층 사이에서 미소아크가 발생하여 1차 절연 파괴가 발생하고 그림 13(b)에서와 같이 아크가 진전되면서 4번의 위치에서 스트레스 콘으로 진전되어 스트레스콘 표면에 아크흔적을 남기다가 가장 취약한 부분에서 접지로 지락사고로 이어진 것으로 추정한다.

4.2 케이스코의 사고추정 시나리오

제조상의 문제점과 설계상에서 나타날 수 있는 결함적 요인은 매우 미미한 것으로 확인되어 현장에서의 시공 중 발생한 결함으로 추정한다. 시공 중 임의의 이물질이 케이블 절연체 표면에 부착되어 장시간 진행되면서 아크경로는 1번에서 시작하여 절연 성능이 저하된 부분으로 지속적으로 발생하였다. 또한 절연파괴 과정에서 4번의 스트레스콘 경계부분에서 확대된 특징을 가진다. 스트레스콘 표면의 아크흔적에서 알 수 있듯이 아크진전은 서서히 접지 측으로 향하는 특징을 가진다. 스트레스콘의 반도체층에서 가장 취약한 부분으로 지락이 발생한 사고로 추정한다.

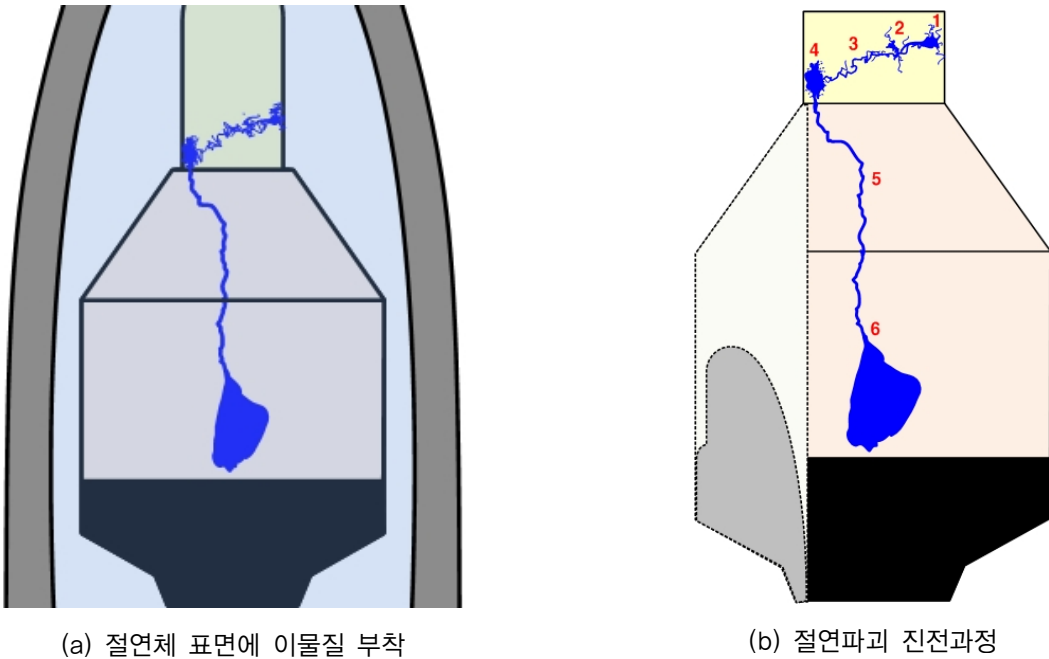


그림 14. 내부 이물질이 표면에 부착되어 절연파괴로 진전

따라서, 탱크 내부에는 절연유가 규정치로 되어 절연유에 의한 영향을 미미한 것으로 판단되며, 이물질의 영향에 의해 최초 절연파괴가 발생하고 이를 통해 절연이 약한 부분으로 진전되어 지락이 발생하였을 것으로 추정된다.

4.3 상호 의견에 대한 비교 및 검토

표 3. 사고 가설 비교와 조치사항

원인과 조치	가설		비고
	제조회사 측	분석기관 측	
케이블	거의 95% 이상 관련없음	케이블 표면에서의 영향 (거의 80% 이상)	<ul style="list-style-type: none"> - 초기발생 절연파괴 구멍 표면의 트리구조 - 반도체층 : 열분석(TGA) → 이상없음 - XLPE : Hot set test(연신율) → 이상없음 - FTIR → 이상없음 - 직경검사 : 112,9mm (108,9~116,4mm) → 이상없음
스트레스콘	관련없음	관련없음	<ul style="list-style-type: none"> - 실리콘 : FTIR→이상없음 - 반도체 : TGA→이상없음
오일의 질	관련없음	모르겠음	<ul style="list-style-type: none"> - 최고 2,4kV/mm (절연성능 매우 높음)
스트레스콘 표면오염	관련없음	관련없음	<ul style="list-style-type: none"> - 육안검사 : 정상
낮은 절연유 레벨	직접적 관련 있음 (현장에서의 휴먼에러)	조금 관련있거나 관련없음	<ul style="list-style-type: none"> - 육안으로 확인되지 않으나 절연파괴시 나타나는 다수의 흔적도 없음
의문사항	여러 절연파괴 흔적에 대한 다른 가정	<ol style="list-style-type: none"> 1. 절연파괴의 연속성에서 프리즈미안의 주장이 맞다면 단절된 절연파괴 흔적도 발견될 확률이 높은 데 없음 2. 황변현상에 의해 기름과 공기의 접촉면사이에 노란 띠가 보아야 함(없음) 3. 공기층에 노출된 부분에서 soots mark(그을음 흔적)가 있어야 하는데 없음 4. 트리발생에 대한 대다수가 스트레스콘 방향으로 진전되어야 하는데 없음 	
조치	<ul style="list-style-type: none"> - 파이핑 시스템 수리, MOM 성실이행 - 압력과 부피의 관계로 내부 절연유레벨 확인 	<ul style="list-style-type: none"> - 케이블 종단접속부 PD 측정과 관리를 통해 패턴 분석 - 절연유레벨은 임팩트해머를 이용하여 내부 진동신호 검출로 확인 	<ul style="list-style-type: none"> - 실험적 검증이 요구되는 사항으로 각 가설에 대한 시뮬레이션 구성과 검증이 필요한부분임

5. 결 론

전력설비에서 설계, 제조, 시공, 관리운영상의 결함으로 고장 또는 사고가 발생한다. 아무리 완벽한 설비라 하더라도 결함은 존재하며, 시공간적 조건이 주어지면 언제라도 사고로 이어지는 것이다. 따라서 이를 현명하게 대처하고 빠른 시간내에 원인을 규명하여 동일 또는 유사사고를 방지하는데 주력할 필요가 있다.

사고분석에 있어서 절연유 레벨저하에 의한 시공상의 휴먼에러와 내부 이물질 혼입에 의한 작업공정상의 휴먼에러에 의한 두 가지의 가설로 의견이 모아졌다. 절연유 레벨 저하의 경우에는 동일 조건에서 설치한 종단접속부의 레벨확인을 위한 작업수행이 이루어져야 한다. 이물질 혼입에 의한 경우에는 내부의 전기적 피로를 확인할 수 있는 진단기법을 적용하여 상시 모니터링하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 전자의 경우에는 현시점에서 가능한 판단방법이며, 후자의 경우에는 향후 지속적인 관리에 의해 가능할 것으로 판단된다.

본 보고서를 통해 사고원인규명을 하는데 있어서 많은 애로사항이 있었음에도 불구하고 단시간내에 매우 많은 양의 분석자료를 도출함으로써 교차검증과 에러를 최소화하였다. 결과의 내용을 분석하여 다시는 전력설비에서 동일한 사고가 발생되지 않도록 안전조치에 대한 수행에 철저를 기하여 전기안전에 도움이 되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 김선구 등, “PL법 환경에서 22.9kV이하 수용가 케이블의 고장사고 처리시스템 및 DB화 구축 연구”, 지식경제부, 2009
- [2] KEMA, “Draft final report on the cause of breakdown of a 400kV XLPE cable termination of Prysmian at Jebel AliStation on June 18, 2006”, Draft final report, 2006
- [3] Henk T.F. Geene, “Investigation program failure CFMT-420”, Prysmian, 2009

- [4] KEMA, "Type test on 400kV high voltage cable and accessories", 70854001-TDT 08-67695A, 2008
- [5] CESI group, "Prequalification Test Prysmian Cables and Systems B.V.", FGH Engineering & Test GmbH, 2009