

도체 수밀형 전력케이블의 가교조사 가스에 의한 직선접속재 부풀음 현상 방지 대책

김 종원, 이 기수, \* 백 흡수, 최 봉남, 박 희철  
대한전선 (주)

The solution for preventing the expansion of cable joint caused by methane(CH<sub>4</sub>) gas to Water proof type of power cable.

Jong-Won Kim, Ki-Soo Lee, Heum-Soo Paek, Bong-Nam Choi, Hee-Cheol Park  
Taihan Electric Wire Co., Ltd

**Abstract** - The cross-linked polyethylene(hereinafter XLPE) insulated power cable emit the methane(CH<sub>4</sub>)gas in the course of chemical cross-linking process. The general stranded conductor easily discharge this methane gas through the gap of each stranded wires. But the special stranded conductor that filled with semi-conducting rubber compound to prevent water penetration which is applied to water proof type of cable(22.9kV CN/CV-W), disturb the methane gas emission. The pre-mold type cable joint shall be expanded gradually by emit of gas left in XLPE insulation. For example, sometimes the corona problem outbreak on a new power distribution line, resulted from the gap between the sleeve and semi-conductive layer of cable joint. If above mentioned problem especially happened on the way of operating. We have to shut down the line and try to discharge the methane gas in cable joint. In this point, we would like to explain the mechanism of methane gas & cable joint and our test result briefly. At last, we are pleased to introduce the solution for preventing reoccurrence of this problem.

1. 서 론

국내 배전선로에 사용되는 22.9KV CN/CV 케이블은 1978년 개발된 이후, 1997년말까지 약 40,000Km의 지중 배전선로가 포설되어 인구 밀집지역 및 공업단지에 전력공급의 중요 역할을 담당하고 있다. 현재까지 조사된 사고자료를 살펴보면 포설후 5년 이내의 초기 고장 사고가 많은 부분을 차지하고 있으며, 이 초기 고장 원인의 많은 부분이 시공결함에 의한 것으로 접속재 조립 실패와 주로 관로 포설시 외상에 의해 수분이 케이블에 침투되어 가교 폴리에틸렌(XLPE) 절연체에 수트리 발생에 의한 것으로 나타났다. 이중 수분에 의한 문제를 해결하기 위하여 케이블 내부로 수분침투를 최소화 할 수 있는 중성선 차수 구조의 케이블을 1992년부터 적용하였다. 또한, 수직입상부에 설치된 케이블의 도체 터미널 러그를 통하여 수분이 침투되는 현상을 방지하기 위하여 도체의 연선티름사이에 수밀 컴파운드를 채우고 중성선 차수 구조의 케이블(CN/CV-W)을 1995년부터 적용하였다. 하지만 1999년부터 모든 배전선로에 도체 수밀형 케이블(CN/CV-W)을 적용하여 사용함에 따라 케이블과 케이블을 접속한 직선 접속재가 부풀어 직선접속재 내부에서 도체 Sleeve Joint와 내부 반도전층이 밀착되었다가 이격되어 통전중 이곳에서 부분방전이 발생하는 현상이 여러곳에서 발견되어 이의 원인을 규명하여 향후 재발방지 대책을 수립하고자 검토하였다.

2. 본 론

2.1 현상 및 원인조사

2.1.1 발생 현상 조사

천전 지점별 발생 현황은 표 1에 나타내었으며, 천안지점에서 조사한 현상은 다음과 같다.

1) 22.9kV CN/CV-W 1C×325mm<sup>2</sup> 케이블을 포설 완료하고 직선 접속재를 접속한 후 통전중 직선 접속재 내부에 Gas에 의한 압력을 못건디고 접속재가 부풀어 접속재의 도체 Sleeve Joint와 내부 반도전층이 이격되면서 코로나를 발생시킴

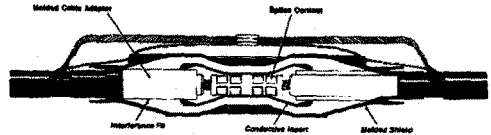


그림 1 정상적인 직선 접속재 조립

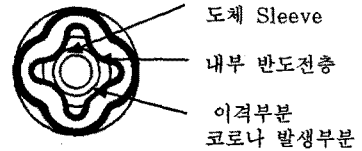


그림 2 직선 접속재 단면의 부풀음 지점에서 코로나 발생부분

2) 정상적인 직선 접속재의 외경은 72mm이나 74~76.5mm로 외경이 2~4.5mm 증가됨.

3) 직선 접속재를 분리 후 고무풍선으로 케이블의 도체와 절연체를 감싸자 Gas의 방출에 의해 그림 3과 같이 고무풍선이 부풀었다.

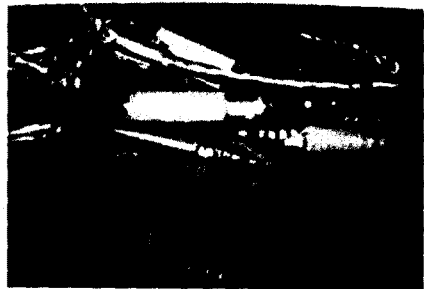


그림 3 케이블에서 Gas가 발생한 모양

표 1 한전지점별 발생 현황

구분	영등포 지점	평택 지점		천안 지점	
품명	CN/CV-W	CN/CV-W	FR CN/CO-W	CN/CV-W	
규격	325mm	325mm	325mm	325mm	
제조사	A사	B사	C사	A사	
케이블 납품	'99.10.26.	'99.12.15.	'99.12.21.	'99.12.29.	
공사 일정	포설	'99.10.27.	'99.12.24.	'99.12.24.	'99.12.30.
	직선접속인가	'99.11.01.	'99.12.26.	'99.12.26.	'00.01.05.
불만 발견	'99.11.01.	'99.12.27.	'99.12.27.	'00.01.10.	
불만 개소	3개소	6개소		12개소	

2.1.2 가교 폴리에틸렌(XLPE) 절연체의 Gas 발생 원인

가교 폴리에틸렌(XLPE) 절연체는 폴리에틸렌에 가교제인 DCP(Dicumyl Peroxide)를 첨가하여 화학적인 가교반응을 시키며 이때 유기 과산화물인 Dicumyl Peroxide는 분자중에 -O-O-결합을 갖게 되고 그 해리(解離)에너지가 적기 때문에 열에 의해 이 부분이 쉽게 절단되어 Free Radical이 된다. 이 Free Radical이 폴리머의 분자간 가교제로 사용되며 이러한 현상에 대한 반응식 및 이때 발생하는 부산물 등이 그림 4에 나와 있는 바와 같이 Acetophenone, Cumyl alcohol, 수분 및 Methane 등이 있다.

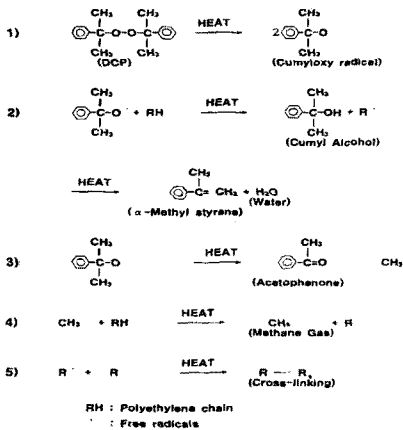


그림 4 DCP의 분해 반응식 및 부산물 발생기구

2.1.3 발생 원인 검토

1) 수밀도체 케이블을 한전에 납품한 모든 업체에서 발생된 것으로 미루어 어느 한 업체의 제조불량에 의한 것은 아니다.

2) 직선 접속개소의 케이블에서 발생하는 Gas는 케이블의 가교 반응의 부산물로 나오는 Methane(CH<sub>4</sub>) 등의 성분으로 가교 폴리에틸렌(XLPE) 절연 케이블의 제

조과정에서 필연적으로 발생하는 현상이며, 상온에서 쉽게 기화. 증발되므로 정상적인 사용시에는 문제가 되지 않는다.

3) 22.9KV CN/CV 1C X 325SQMM 케이블을 납품 후 11일 이전에 사용하였으며, 특히 겨울철에는 기온이 낮아 Methane Gas가 충분히 방출되지 않고 절연체에 남아 있다가 사용중에 직선 접속체를 부풀렸다.

4) 케이블 제조시 수밀 컴파운드를 도체 연선통사이에서 채우는 것을 제외하고는 동일한 제조공정 및 조건으로 작업하였기 때문에 비수밀 도체의 케이블에서 문제가 없었던 것으로 보아 Methane Gas가 연선통사이에서 채워진 수밀도체를 통과하지 못한 것으로 판단된다.

2.2 모의 시험

2.2.1 수밀컴파운드의 Gas 발생여부 시험

수밀컴파운드가 채워진 도체를 90℃로 168시간 동안 가열하여도 아무런 Gas가 발생되지 않았다.

2.2.2 직선접속재의 내압시험

직선접속재 양단을 밀봉하고 질소를 가압하여 측정된 결과 1Kg/cm<sup>2</sup>에서 직선접속재 외경이 약3mm 증가하였다.



그림 5 직선접속재 내압시험 시료

2.2.3 케이블의 건조시 Gas 발생 시험

실제 케이블 제조 공정대로 22.9kV CN/CV 325SQMM 절연 1로트를 온도 50℃로 건조하여 가교 부산물인 Methane Gas가 안 나올때까지의 건조시간을 조사하고, 완제품 출하시에는 조장에 맞춰 여러 드럼으로 절취하여 출하하는 경우 및 포설 후 접속을 하기 위하여 여장을 절단하는 경우를 가정하여 각 단계마다 절연코아를 건조한 후 절단하여 그 다음 단계의 건조를 실시하여 각 단계에서의 건조시간과 총 누계 건조 시간을 시험한 결과는 다음과 같다.

- 1. 시험조건 : 실제조시 절연로트별 건조 상황
  - 2. 시 료 : 절연코아 1로트(약 1500m)
  - 3. 건 조 : 55℃로 31시간 건조후 Gas 방출 완료
- ↓
- 1. 시험조건 : 실제 출하 조장으로 절취 상황
  - 2. 시 료 : 절연코아 300m
  - 3. 건 조 : 55℃로 38시간 건조후 Gas 방출 완료
  - 4. 총건조 시간 : 69시간
- ↓
- 1. 시험조건 : 포설후 잔여량 절단 가정
  - 2. 시 료 : 종단에서 5m 끊어냄
  - 3. 건 조 : 55℃로 36시간 건조후 Gas 방출 완료
  - 4. 총건조 시간 : 105시간
- ↓
- 1. 시험조건 : 포설후 시단 절단 가정
  - 2. 시 료 : 종단에서 2m 끊어냄
  - 3. 건 조 : 55℃로 39시간 건조후 Gas 방출 완료
  - 4. 총건조 시간 : 144시간
- ↓
- 1. 시험조건 : 직선접속시 절단 가정
  - 2. 시 료 : 종단에서 1m 끊어냄
  - 3. 건 조 : Gas 방출없음
  - 4. 총건조 시간 : 144시간

**2.2.4 건조된 케이블의 실사용 조건시 Gas 발생 압력**  
 정상적인 건조후 납땜된 케이블을 시공후 사용시의 Gas 발생여부를 확인하기 위하여 그림 6과 같이 회로를 구성하여 시험하였다.

- 시료 : 22.9kV CN/CV 325SQMM 10m x 2ea
- 케이블 건조 : 55℃ x 2일(48시간)
- Heating cycle : 90℃로 20시간 가열 4시간 냉각을 1Cycle로 하여 6회 실시(그림 7참조)

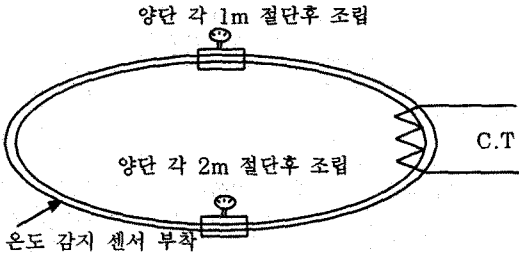


그림 6 Heating 시험회로 구성

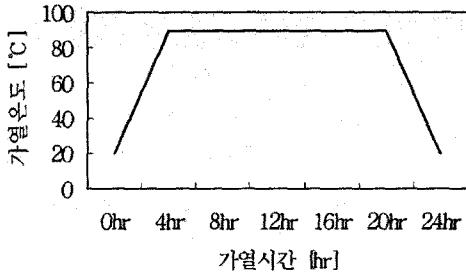


그림 7 Heating cycle

시험결과 케이블 종단을 1m 이내로 절단후 직선접속제를 조립한 경우에는 최대 0.8kg/cm<sup>2</sup>까지 도달하나 1 Cycle 후에는 계속 낮아져 6 Cycle에서는 거의 0kg/cm<sup>2</sup>까지 낮아져 사용시 문제가 없을 것으로 판단되나 종단을 2m이상 절단한 후 접속하여 사용시에는 6 Cycle에서도 약 0.32kg/cm<sup>2</sup>로 처음과 별차이가 없음을 그림 8에 나타내었다.

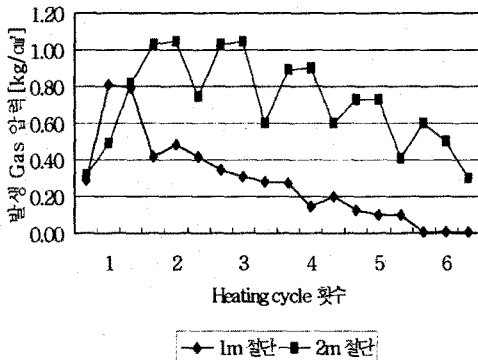


그림 8 실사용 조건시의 시험결과

**3. 결 론**

- 1) 케이블의 건조시 Methane Gas 발생 모의 시험결과 공정드럼에 감긴 절연코어를 절연 Lot별로 7일 이상 방치 또는 55℃로 2일간 건조하여 출하조장으로 절단하여 납땜하여도 포설후 케이블을 접속하기 위하여 케이블 여장을 절단하면 Gas가 또 방출되므로 케이블 제조 공정중에 Gas를 완전히 제거하기는 불가능하다.
- 2) 케이블 제조회사에서 납땜한 케이블을 포설 및 접속 작업시에 반드시 시, 중단 각 1m이내로 절단하여 사용하여야 정상적으로 사용할 수 있다.
- 3) 수밀도체인 경우 가교 부산물인 Methane Gas가 완전히 방출되지 않으므로 수밀도체 본래의 용도대로 수직 입상부에만 사용하고 일반 포설구간에는 비수밀 도체를 적용하는 것이 바람직하다.
- 4) 현재 사용하는 직선 접속재는 고무 성형 프리몰드 제품으로 탄성 특성 등에 대한 검토 및 탄성 한계치를 케이블 제조회사와 공유하여야 한다.
- 5) 동절기 또는 긴급공사는 가급적 지양하여야 하나 부득이한 공사를 진행할 경우에는 직선 접속재를 부풀리는 Methane Gas 압력은 시간이 경과함에 따라 Gas가 점차 확산되어 해소되므로 직선 접속재가 Gas 압력에 견딜 수 있도록 고무밴드 또는 케이블 타이로 묶어주었다가 Gas가 확산된 후에 이것을 제거하면 된다.
- 6) 반드시 수밀 도체를 사용할 필요가 있을 경우에는 가교 부산물인 Methane Gas가 용이하게 방출될 수 있도록 수밀 컴파운드를 수밀 Powder로 변경하여야 한다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] 서 광석, "CV Cable 첨가제 및 충전제 역할", 기초 전력공학 공동 연구소 하계강좌, 제 5장, 1990
- [2] 한 명관, "신설 지중배전 케이블에서의 Gas 발생 현상 분석", 2000년 전력케이블 심포지움, 83페이지, 2000