

국내 지중 케이블 고장현황 분석

강연옥*, 조성배*, 곽방명**, 임현의**, 윤형희**
 한전 전력연구원*, 한국전력공사**

Failure Analysis of Underground Transmission Cable Systems

Y.W.Kang*, S.B.Cho*, B.M.Kwak**, H.E.Lim**, H.H.Yoon**
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract

In order to analyze failure rates of underground transmission power cable systems in Korea, the survey has been performed for the failure cases of cables, joints, and terminations in CV, OF and POF cable systems which occurred from 1983 to 1998. During 16 years, the failure cases due to trips of the systems were 47 among the total 108 cases. These 47 cases could be divided into internal reasons(manufacture/installation, corrosion and degradation) of 16 cases and external reasons (external mechanical damages, lightning, fire, etc.) of 31 cases. For the 154 kV cable systems during 12 years from 1987 to 1998, total failure rate was 0.0057 [case/100C-km/year] and internal reason failure rate was 0.0020 [case/100C-km/year], which is similar to those of foreign countries. Also, the many cases of internal reason failures occurred in the early stage after the operations due to incorrect installations. This implies that the installation process is very important and some diagnostic tests such as PD measurement are needed besides after laying test.

1. 서 론

지중 송전 케이블 시스템의 사고에 대한 현황 분석은 현재까지 포설된 케이블이 어느 정도의 신뢰성을 갖고 있으며, 어떤 종류의 선로에서 주로 사고가 발생되고 어

떤 부위에서 어떠한 형태의 사고가 일어나는지를 파악하여, 향후 전력회사나 케이블 제조업체에서 지중 선로를 새로 시설하는 경우에 주의할 점으로 참고하여 케이블의 생산 및 시공에 피드백시켜 개선할 수 있는 자료를 제공한다는 측면에서 매우 중요하다.

이에 따라, 본 연구에서는 1983년부터 1998년까지 16년간 CV, OF 및 POF 송전 케이블 시스템의 케이블, 접속함 및 종단(EBG 및 EBA)에서 발생한 사고에 대해, 제작/시공 불량, 부식 및 열화 등의 케이블 시스템 자체 요인과 외상, 낙뢰 및 화재 등의 외부적 요인으로 구분하여 사고 분석을 수행하였으며, 기타 낙뢰나 이물질침투에 의해 피뢰기 등에서 발생된 사고는 제외하였다.

2. 본 론

2.1 고장 건수 및 사고율 분석

16년간 기록된 고장 건수는 총 108 건으로, 이 중 송전 케이블 시스템의 케이블, 접속함 및 종단부에서 휴전후 복구한 것을 제외하고 트립(trip)에 의한 것만을 발췌하면 모두 47 건이었다. 이 47 건 중, 케이블 시스템의 자체 요인(제작/시공 불량, 부식 및 열화)은 16 건이며, 기타 외부적 요인(외상, 낙뢰, 화재, 고장파급 등)은 31 건으로 사고의 대부분은 다른 공사중에 지중에 매설되어 있는 케이블에 외상을 입혀 발생된 것이었다.

이와 같은 사고 건수를 연도별로 나타내면 다음 표 1과 같으며, 이러한 사고건수를 선종별 포설 거리에 따른 전체사고율(총사고건수/포설거리)과 자체사고율(자체요인에 의한 사고건수/포설거리)로 나타내면 표 2와 같다. 154 kV 케이블 시스템에 대해 1987년부터 1998년까지 12년간에 대해 분석하면 평균 전체사고율은

표 1. 연도별 사고건수

구 분	사 고 년 도																	계
	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98		
자체 요인	1	1	1	-	2	1	1	1	6	1	2	2	5	4	3	-	16	
외부 요인	-	-	1	-	1	-	-	1	-	3	-	-	4	3	1	2	31	
총 사고건수	1	1	2	-	3	1	1	2	6	4	2	2	9	7	4	2	47	

표 2. 선종별 포설거리에 따른 전체 사고율 및 자체 사고율 [건/100C-km]

구분	전압	선종	년 도												평균 [건/100C- km/year]
			87년	88년	89년	90년	91년	92년	93년	94년	95년	96년	97년	98년	
포설 거리	154 kV	OF	281	344	371	443	467	489	553	430	522	569	613	636	
		CV								133	149	216	309	398	
		POF								37	37	37	21	21	
		계								600	708	822	943	1,055	
	66 kV	OF	12	14	15	17	17	15	18	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
		CV								11.2	10.2	10.0	10.0	10.0	
		계								13.7	12.7	12.5	12.5	12.5	
		계								13.7	12.7	12.5	12.5	12.5	
전체 사고율	154 kV	OF	0.0107	-	0.0027	0.0023	0.0128	0.0061	0.0036	0.0047	0.0134	0.0070	0.0049	-	0.0060
		CV								-	0.0067	0.0139	0.0032	0.0050	0.0058
		POF								-	0.0270	-	-	-	0.0054
		계								0.0033	0.0127	0.0085	0.0042	0.0019	0.0057
	66 kV	OF/CV	-	0.0714	-	0.0588	-	0.0667	-	-	-	-	-	-	0.0164
		계	-	0.0714	-	0.0588	-	0.0667	-	-	-	-	-	-	0.0164
		계	-	0.0714	-	0.0588	-	0.0667	-	-	-	-	-	-	0.0164
		계	-	0.0714	-	0.0588	-	0.0667	-	-	-	-	-	-	0.0164
자체 사고율	154 kV	OF	0.0036	-	-	0.0023	-	0.0061	-	-	0.0038	-	-	-	0.0008
		CV								-	0.0067	0.0139	0.0032	0.0050	0.0058
		POF								-	0.0270	-	-	-	0.0054
		계								-	0.0056	0.0036	0.0011	0.0019	0.0020
	66 kV	OF/CV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000
		계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000
		계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000
		계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000

- * 88, 90, 92년의 외부 요인 사고는 66 kV급이고, 나머지는 모두 154 kV 선로이며, 선종별 포설거리 자료는 94년도부터 입수함.
- * 87년에서 93년까지는 전체 포설거리에 대해 계산하고, 전체 사고율은 (전체 사고건수) / (전체 또는 선종별 포설거리) 로 계산함.
- * 자체 사고율은 (자체 요인에 의한 사고건수) / (전체 또는 선종별 포설거리) 로 계산하고, 평균은 년도별 사고율을 더해 년수로 나눔.
- * 선종별 사고율 평균은 94년에서 98년까지의 평균임.

0.0057 [건/100C-km/year] 이며 외부 요인을 제외한 자체 요인에 의한 자체 사고율은 0.0020 [건/100C-km/year] 로 나타나, 전체 사고중 외부 요인에 의한 것이 더 많은 것을 알 수 있다. 그리고, 자체 요인에 의한 사고에서는 시공불량이 주된 원인으로 포설후 운전 초기에 발생된 사고로서, 시공의 중요함을 의미하는 분석 결과라 할 수 있다. 한편, 외국의 경우에는 케이블, 접속함 및 중단으로 구분하여 데이터를 도출하였기 때문에 우리의 경우와 직접적인 비교는 어려우나 대체로 유사하였다.

2.2 자체 요인 분석

상기한 자체요인으로 인한 사고 16 건을 선종별, 부위별 및 사용년수별로 분석하면 다음 표 3과 같다. 데

이터가 많진 않지만 대체로 CV 케이블의 경우에는 포설 초기에 사고가 집중되어 있으며, OF 케이블의 경우에는 케이블과 EBG는 포설 초기 그리고 접속함은 어느 정도 사용후에 사고가 발생되며, POF 케이블은 운전한지 10년 이후에 사고가 발생된 것을 알 수 있다.

CV 케이블 시스템의 사고분석

(1) 케이블

케이블에서의 사고 3 건은 사고시 케이블 절연층의 사고 부위가 타서 없어지기 때문에 그 원인을 추적하기는 어려우나 대체로 제작불량으로 추정하고 있다.

3 건의 사고 모두 선로 통전후 2 ~ 8 개월 운전된 뒤에 케이블이 절연파괴 되었으며, 사고후 케이블의 결합 조사 및 외상 발생 가능성에 대한 조사가 수행되었다. 이에 대해, 절연층 결합 존재의 가능성 조사를 위

표 3. 선종별 및 사용년수별 분석

선종	부분	사 용 년 수																			소 계	총계	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			19
CV	케이블	3																				3	8
	접속함						1															1	
	EBG	2	1	1																		4	
OF	케이블	2																				2	6
	접속함							1				1										2	
	EBG	2																				2	
POF	케이블											1										1	2
	EBA														1							1	

해 파괴구멍과 그 주변의 절연층에 대해 각종 물성 분석 및 전기적 시험을 수행하였다. 검사 및 시험 결과에서 비정상이라는 특이한 사실을 발견하지는 못하였고, 파괴된 부분이 망실된 상태에서 그 부분에 결함이 있었는지 알 수 없기 때문에 이러한 사고는 절연층에 어떠한 결함이 존재하지 않았으나 하는 추정을 하고 있다.

만일 케이블 제조시에 이러한 결함이 발생될 수 있다면, 제조시 결함에 대한 대책이 보다 강화되어야 할 것이다. 즉, 반도체층의 돌기, 절연층 내의 보이드, 이물(블랙/금속) 및 엠버 등을 제한할 수 있도록, 케이블 제조 공정상에서 절연체 재료의 이물 관리 및 제조후 분석이 철저히 이루어져야 한다.

(2) 접속합

통계적으로 접속합에서의 사고는 1 건으로 많은 비중을 차지하지는 않지만, 케이블과 같이 환경이 좋은 공간에서 만들어지는 것이 아니라 현장에서 작업이 이루어지기 때문에 시공 기준을 지키지 않는 불량이나 이물질에 의한 오염의 우려가 많기 때문에 상당한 사고의 위험성을 안고 있다.

1 건의 사고는 선로 통전한지 약 5 년만에 발생된 것으로, 절연접속재의 시공시에 taping 불량에 의한 수분 부착으로 molding시 접속재 계면에 필름 형태의 보이드가 형성되어 통전후 부분방전이 발생되고 이로 인해 결국 접속재 절연파괴 사고로 이어진 경우이다.

일반적으로 접속재에서의 사고는 사고 이전에 부분방전이 발생되기 때문에 사고의 사전 예방을 위해서는 준공검사시의 부분방전 측정과 아울러 정기적인 부분방전 진단이 필요하다.

(3) EBG

EBG의 사고는 전체 CV 케이블 시스템의 사고중 절반(총 8 건중 4 건)을 차지하고 있으며, 모두가 시공불량이 원인이다. 즉, 시공불량으로 인해 주로 EBG내 반도체층과 스트레스콘 사이에서 발생된 공극에서 부분방전이 일어나 사고로 이어지고 있으며, 선로 통전후 운전 초기에 발생되었다.

결국 상기한 EBG의 사고 검토에서, 시공후 준공검사로서 수행하는 내전압 시험에서는 미세한 공극에서 발생하는 부분방전을 검출할 수 없기 때문에, 내전압 준공검사만으로 선로의 정상여부를 판단하는 것은 부족하고 준공검사시에 부분방전을 검출할 필요가 있으며 운전중에도 이러한 부분방전을 검출할 수 있는 진단시험이 필요하다는 것을 의미하고 있다.

OF 케이블 시스템의 사고분석

(1) 케이블

케이블의 사고 2 건중 1 건은 사실 케이블에서의 사고라기 보다는 종단에서의 사고라고 볼 수 있으며, 다른 1 건이 순수한 케이블에서의 사고이다.

종단에서의 케이블 사고는 EBG와의 연결부에서 도체 인출봉 커넥터를 완전히 조이지 않은 시공불량으로 캐이

블 내로 EBG의 SF₆ 가스가 혼입되어 부분방전이 발생하고 선로 통전후 약 3 개월만에 케이블에서 절연파괴 사고가 일어난 경우이다. 이 사례로부터 준공검사에서는 문제되지 않았던 부분으로 케이블 종단부분 절연유에 대해 SF₆ 가스를 포함한 용해가스 분석이 필요하다는 것을 알 수 있다. 그러나, 사고가 통전후 3 개월만에 일어나 일반적인 가스분석 주기인 1 ~ 3 년의 인터벌로는 역시 사전에 사고를 예방하기 어려운 점이 있어, 포설 초기에는 진단 주기를 짧게 하든가 아니면 부분방전 측정과 같은 다른 진단방법의 적용이 필요하다고 생각된다.

(2) 접속합

OF 케이블의 접속합에서 발생된 사고는 포설후 5 년 이상이 경과되었을 때 발생된 것으로 오래 전에 발생되어 자세한 자료가 없어 원인을 분석하기는 어렵고, 다만 시공불량과 제작불량이라는 것만 알 수 있었다.

일반적으로 절연파괴 사고로 이어지지 않았으나 OF 케이블에서 특히 접속합에서 발생하는 문제점의 대부분은 누유 사고로서, 보통 사고 이전에 누유를 발견하고 휴전후 복구 처리되고 있다. 따라서, OF 케이블에서의 유압 점검은 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 이 외에, 일반적으로 접속합에서 절연 열화에 의한 사고가 발생하는 것으로 알려져 있는데, 이러한 경우에는 절연 열화 단계에서 가연성 가스 등이 발생하므로 유증 가스 분석에 의한 주기적인 진단이 필요하다.

(3) EBG

EBG에서의 사고는 모두 포설한지 4, 5 개월만에 발생한 사고로서 전술한 케이블에서의 사고중 종단부분에서의 사고 유형과 같다. 즉, EBG의 SF₆ 가스가 하부의 절연유로 다량(70,000 ~ 130,000 ppm) 혼입되어 부분방전 열화가 진행되고 이에 따라 예폭시 절연체의 내부 압력이 상승됨으로써 폭발에 이른 사고이다. 이러한 사고 역시 포설후 얼마 되지 않아 발생되었으므로, 포설후 초기에 단말에서의 부분방전 진단 또는 유증가스(주로 SF₆ 가스) 분석이 필요하다는 것을 의미하고 있다.

3. 결 론

국내 지중 송전 케이블 시스템의 사고 현황을 16 년간 선종별로 분석한 결과, 외국의 경우와 유사한 정도의 사고율을 나타내었으며, 제조불량 보다는 시공불량이 많고 초기 사고가 많아 준공시험 이외의 부분방전 측정과 같은 초기 진단이 필요한 것으로 나타났다. 이러한 분석으로부터, 향후 지중 케이블 시스템에 대한 연구가 어떠한 방향으로 설정되어야 할지를 말해주고 있다고 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 지중 케이블 고장분석 자료(1983-1998), 한국전력공사