

OF 케이블 절연유 가스분석을 통한 고장예방

김두진*, 김재승**, 윤종건***
 한국전력공사*, 한국전력공사**, 한국전력공사***

The prevention of Fault by Analyzing the Gas in Oil of Oil-Filled Cable System

Du-Jin Kim*, Jae-Seung Kim**, Jong-keon Yoon***
 Korea Electric Power Corporation*, Korea Electric Power Corporation**, Korea Electric Power Corporation***

Abstract - This paper reviews the known techniques for diagnosing the condition of OF cable system and improving the service reliability. These tests are periodically achieved and intended to provide indications that the insulation system has deteriorated. One of these tests is analyzing the gas in oil on Oil-filled cable that is well known and widely accepted method. In this paper, this method of analysis and the relevant measurement standards overview and the concrete example of preventing fault incidence by performing this test is introduced.

1. 서 론

OF 케이블은 1971년 최초 도입된 이래 환경문제 등 세계적인 추세로 인해 XLPE 케이블에 의해 그 역할을 잃어가고 있지만 2007년 말 현재 국내 지중송전케이블의 약 38%를 차지하고 있고 여전히 지중송전시스템의 중요한 설비로 자리하고 있다. 최근 지중송전선로의 증가추세에 비해 지중전체고장률(건/100C-km)은 감소추세에 있지만 OF 케이블 관련 고장은 전체고장의 약 67%를 나타내고 있고 또한 OF 케이블 고장시 영향을 감안할 때 OF 케이블의 사고예방을 위한 진단기술은 더욱 중요성을 더해가고 있다.

따라서 본 논문에서는 OF 케이블의 절연층정을 위한 절연유 가스분석 기준과 함께 원인분석 과정 및 분석을 통해 고장을 사전에 예방하고 안정적인 전력공급 능력을 향상시킨 사례를 소개하고자 한다.

2. 고장실태 및 절연유 가스분석

2.1 케이블 고장실태

XLPE 케이블 및 OF 케이블시스템의 고장 현황을 분석하면 약 38%가 시공 및 제작불량에 의한 경우로서 작업시 이물질이 혼입되거나 접속자재에 의한 절연파괴 고장이 주요 요인으로 밝혀지고 있다. OF 케이블은 장기 사용에 따른 누유 및 열화고장이 많아 XLPE 케이블 보다 고장률이 높지만 반면에 OF 케이블은 고장원인을 사전에 발견하여 조치할 수 있는 유압감시 및 절연유 분석 등 절연진단 기술로 인해 XLPE 케이블에 비해 선로정지 고장이 낮게 분포되고 있다. 절연재료의 열화는 케이블의 성능을 저하시키고 수명을 단축시키고 있어 시스템의 품질 확보는 물론 고장을 사전에 예방할 수 있는 진단기술의 확립이 중요하다.

2.2 절연유 가스분석

OF 케이블 절연유의 열화도를 판단하기 위해 주기적으로 절연유 내 가연성가스, SF6가스, 유전전압, 체적저항율, 수분 등을 측정하고 있으며, 정확한 측정을 위해서는 시료를 오염없이 채취하는 것이 매우 중요하다. 또한 정상운전 중에도 시스템의 상태를 진단할 수 있도록 활선상태의 측정이 가능하여야 한다. 아세틸렌, TCG의 관리기준과 판정시 조치사항은 표 1, 2와 같다.

〈표 1〉 아세틸렌(C₂H₂)과 TCG 관리기준

관리항목 및 기준값 (ppm)		판 정
아세틸렌	TCG	
50 ≤ C ₂ H ₂	-	위 험
10 ≤ C ₂ H ₂ < 50	TCG ≥ 2,000	
10 ≤ C ₂ H ₂ < 50	TCG < 2,000	
C ₂ H ₂ < 10	TCG ≥ 10,000	이 상
C ₂ H ₂ < 10	TCG ≥ 100	
-	1,000 ≤ TCG < 10,000	요주의
C ₂ H ₂ < 10	TCG < 100	
-	TCG < 1,000	정 상

TCG : Total Combustible Gas(가연성가스)

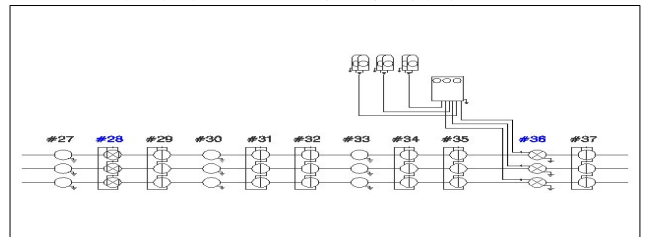
〈표 2〉 분석결과 조치사항

판 정	조치사항
위 험	○ 긴급조치(접속함 해체점검) 즉시 시행
	○ 해체점검 결과에 따라 접속함 또는 절연유 교체 결정
이 상	○ 추적주기 단축 : 6개월후 절연유 분석 재시행
	○ 추적결과 C ₂ H ₂ 및 TCG 미감소시 : 접속함 해체점검
	○ 추적결과 C ₂ H ₂ 및 TCG 감소시 : 6개월후 재분석 시행
요주의	○ 추적주기 시행 : 1년후 절연유 분석 재시행
	○ 추적결과 발생하는 가스량에 따라 관리기준 적용
정 상	○ 정기분석 시행 : 1회/3년

3. AB T/L 고장예방 사례

3.1 사업 개요

본 A S/S와 B S/S간 OF 케이블 선로는 총 7개소의 급유구간으로 구성되어 있으며, 구간별 급유설계에 따라 BPT 및 PT를 사용한 편단 및 양단급유방식을 적용하였다. 가압 후 부분방전(PD) 측정, 접속함 열화상 측정, 절연통보호장치 열화점검 등 선로의 이상유무를 확인하기 위한 점검을 시행하였고, 급유구간을 포함한 7개소 및 제1크로스본드 구간 4개소 등 총 11개소에 대한 절연유 분석을 시행하였다.



〈그림 1〉 선로 및 급유계통도

3.2 절연유 가스분석 결과

절연유 열화측정을 위한 가스분석결과 이상 징후가 있는 구간은 총 3개 구간으로 그 분석결과는 표 3과 같으며, #28~36 구간은 아세틸렌과 TCG 관리기준에 따라 위험상태로 판정되었다.

〈표 3〉 절연유 가스분석결과 이상개소

급유구간	채취장소	상	GAS 분석 결과(ppm)							판정결과	
			H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	TCG		CO ₂
#2	J/B #2	A	563	732	118	-	-	-	1,413	1414	요주의
		B	221	299	49	-	-	-	569	744	정상
		C	1026	141	-	-	-	-	1,167	236	요주의
#28 ~ #36	J/B #28	A	-	27	8	-	-	-	35	251	정상
		B	1103	194	183	162	90	-	1,732	224	위험
		C	36	48	9	-	-	-	93	280	정상
#36 ~ EBG	EBG	A	2047	-	-	-	-	-	2,047	222	요주의
		B	1540	-	-	-	-	-	1,540	215	요주의
		C	14	-	-	-	-	-	14	224	정상

표4는 #28~36 구간 내 동일 상간의 접속함별 절연유 분석결과를 나타내며, 인근 접속함의 C₂H₂ 가스량이 현격한 차이를 보이는 것을 고려할 경우 타 개소는 이상이 없음을 보여주고 있다. 즉, 케이블에서 가

스가 발생해 각 접속함으로 확산되었다면 인근 접속함의 가스량이 유사해야 하나 #28, #29 접속함의 가스량이 현격한 차이를 보이는 것을 고려할 때 케이블 및 타 접속함은 이상이 없음을 판단할 수 있다.

〈표 4〉 접속함별 가스분석결과

단위 : ppm

구 분	H2	CO	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	TCG
#28 (SIJ)	1103	194	183	162	90	-	1732
#29 (IJ)	16	-	14	-	-	-	30
#30 (NJ)	20	-	11	-	-	-	31
#31 (IJ)	35	-	20	-	-	-	55

※ H2, CH4 : 약 200~300℃에서 절연유가 가열될 경우 발생

3.3 가스분석 결과에 대한 원인분석

원인 분석을 위해 절연유, 절연지, 케이블 및 접속함에 대한 각종 시험자료와 점검현황을 분석하였고 그 결과에 따라 접속함의 해체점검 및 원인조사를 시행하였다.

3.3.1 절연유 성분분석

본 공사에 사용된 절연유는 하드알킬벤젠 합성유(2종 4호)이며, 추적관리를 위해 동일한 신유에 대한 성분분석을 시행하였고, 절연유 주입 후 성분 분석한 결과에 대한 이상유무 및 적합성을 확인하였으며 그 결과는 표5, 6과 같이 양호한 것으로 조사되었다.

〈표 5〉 신유 분석결과

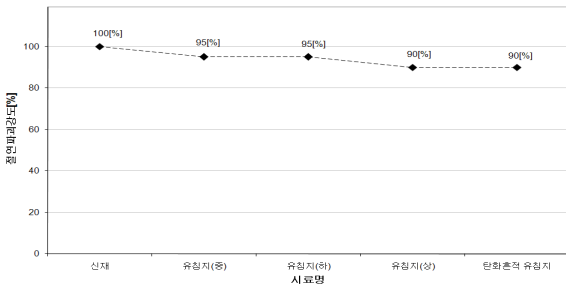
구 분	허용치	결과치	비고
외관검사	Clean	Clean	양호
전산가(mgKOH/g)	0.03 이하	0.01	“
수 분(mg/kg)	75 이하	23.7	“
절연파괴전압(kV/mm)	40 이상	75	“
인화점(℃)	130 이상	146	“
금속성분	불검출	불검출	“
체적저항(Ω·m)	1.0×10 ¹¹ 이상	1.0×10 ¹²	“
유전정접(%)	2 이하	0.0005	“

〈표 6〉 주입후 점검(측정) 현황

항 목	점검시기	측정개소	조사결과
유량 및 유압조정	준공시험	급유구간당	양호함
GAS계수측정	준공시험	급유구간당	양호함
유류저항측정	준공시험	급유구간당	양호함
진공도	접속완료후	접속함마다	양호함

3.3.2 절연지 성분분석

절연지의 열화정도를 판단하기 위해 동일한 신재와 시료에 대해 열중량 분석 및 중합도 조사, 절연파괴 강도측정을 시행하였다. 우선, 물질의 질량을 온도함수로 측정하는 열중량 분석결과 특성차이는 없었으나, 고분자구조의 결합정도를 확인하기 위해 ASTM D 4243에 의거 절연지 점도 측정 후 중합도로 환산한 결과 신재와 비교하여 약 30%가량 저하되었다. 그림 2는 신재와 위치별로 추출한 절연지 시료의 절연파괴 강도 측정결과로 도체 측 절연지의 경우 신재와 비교하여 약 5% 저하되었으며, 시스 측 절연지와 탄화흔적이 있는 절연지의 경우 약 10% 저하된 것을 보여준다.



〈그림 2〉 절연파괴 강도측정 결과

3.3.3 접속함 해체점검

국내의 아세틸렌 가스 발생 및 분석사례를 통해 부분방전을 확인하기 위한 #28 접속함에 대한 해체점검을 시행하였다.

그림 3과 같이 유침지 해체를 통해 외경, 길이 등 시공상태를 확인하였으며 외관 및 치수검사를 시행한 결과 이상이 없음을 알 수 있었다.



〈그림 3〉 유침지 외관, 치수검사

접속함의 해체 후 외관검사 결과 플랜지, 유침지, 벨마우스 등에 불순물이 발견되었고 성분분석을 실시한 결과 금속가루는 슬리브 및 석도연동선 Particle, 땀납 부산물 등으로 확인되었다. 그림 4는 이러한 금속가루에 의한 부분방전흔적을 보여주고 있으며, 금속가루에 의한 동박스 내부에 부분방전이 발생되었고 부분방전이 지속되면서 절연지 탄화로 절연 파괴로 진전되었음을 확인할 수 있었다.



〈그림 4〉 해체점검결과 아크흔적

4. 결 론

본 논문에서는 OF 케이블 절연유 가스분석기술을 통해 절연파괴로 인한 고장을 사전에 예방하고 전력공급 신뢰도를 향상시킨 사례를 소개하였다. 시공 중 생성된 금속가루 등 이물이 접속함 내 잔존함으로써 선로 가압 후 이물과 동박스간 부분방전을 일으키고 절연유가 분해되었다. 이러한 과정에서 발생된 C₂H₂ 가스를 검출, 분석하여 선로 정지 및 심각한 고장으로의 파급을 예방할 수 있었고 가능한 원인들을 추적 조사함으로써 고장원인을 파악하고 필요한 조치를 시행하였다. 이와 같이 절연진단 기술은 절연성능 저하를 사전에 파악하여 피해를 최소화함으로써 전력기술에 있어서 중요한 기술임에 틀림없다. 지중송전케이블의 증가 추세 및 장기 사용에 따른 열화 등을 고려할 때 열화 Data의 체계적인 축적, 종합적인 분석평가 기술과 더불어 절연진단을 통해 잔여 수명을 예측하는 진단 기술의 확립도 요구되고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, “지중송전 고장분석 및 주요 고장사례”, 2007. 6
- [2] 한국전력공사, “지중송전운영기준”, 2006.10
- [3] 일본 전기협동연구회, “전기협동연구 제55권 제2호”, 1996.10