

154kV 가스오일봉입형 변압기 내부고장 예방 방안

김기일, 장성익, 정규원, 박무룡, 김종선, 민병욱
한국전력공사

Prevent Plans for internal fault of 154kV gas oil sealed power transformer

Gill Kim, Sungik Jang, Kyuwon Jeong, Mooryong Park, Jongseon Kim, Byeongwook Min
Korea Electric Power Company(KEPCO)

Abstract - 본 논문은 한전 수원전력관리처의 154kV 3상형 가스오일 봉입형 변압기중에서 동일한 제작형식의 변압기에서 동일 고장이 연속하여 발생하여 그 원인을 정밀 분석하고 재발방지 방안을 제시하였다. 고장 예방 방안으로 가스오일봉입방식을 콘서베이터 형으로 구조개선이 필요하다.

1. 서 론

전력소비자에게 양질의 전압과 주파수, 무정전 전력공급은 필수적이며 전력회사의 최고의 의무이자 가치이다. 최근 대두되고 있는 송전선로 주변의 전자계 영향과 지역주민의 변전소 건설 반대 민원에 따라 전력 수요의 증가에 발맞추어 적절한 전력공급 시설이 제대로 확충되지 않아 기존 변전소의 변압기는 상시 증부하 운전을 하며 장기간 사용할 수밖에 없는 실정이다. 이러한 가운데 1980년 후반 효성중공업에서 제작하여 한전에 도입되어 사용하던 154kV 3상 변압기 중 가스오일봉입식(GOST 방식) 절연유 보존장치를 적용한 변압기가 권선 층간단락 고장을 일으켜 전력공급이 중단된 사례가 수원전력관리처에서 4차례나 발생하여 새로운 변압기로 교체하여야 하는 등 여러가지 문제점이 발생되고 있다.

1980년 후반 효성중공업에서 제작하여 한전에 도입된 154kV 3상 변압기 중 가스오일봉입식 절연유 보존장치를 적용한 것은 현재 101대 운전 중에 있으며, 최근 2005~2007년 사이에 내부고장이 4건 발생하여 전력공급이 중단되고 변압기를 사용할 수 없어 교체하였다. 고장내용을 분석해 보면 동일형식의 변압기에서 동일한 형태의 내부층간단락 고장이 발생하였고, 이러한 변압기는 고장발생 빈도가 높고 구조적으로 변압기 내부에 수분유입이 취약한 것으로 분석되었다.

따라서 본 논문에서는 154kV 3상 변압기 중 가스오일봉입식 변압기를 중심으로 고장원인을 정밀분석하고 그 분석을 근거로 하여 향후 변압기 관리와 그에 대한 예방 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 개요

높은 온도의 변압기 절연유가 직접 외기에 접촉하면 공기 중의 수분을 흡수하여 절연유의 절연내력을 저하시키고, 열화를 촉진하여 변압기의 층간단락, 절연파괴 등의 고장을 일으킨다. 이에 대한 대책으로 한국전력에서 사용하고 있는 변압기 절연유 보존방식은 정격용량에 따라 3000kVA 미만의 변압기는 콘서베이터형을 3000kVA 이상에는 질소봉입형 또는 고무막식 콘서베이터형을 사용하도록 규정하여 변압기 호흡작용에 의한 수분 침투를 방지하고 있다.[1]

'80년대 후반 효성중공업에서 제작한 대용량변압기의 절연유 보존방식은 질소봉입형의 일종인 가스오일봉입형 방식을 채용하였다. 그림1은 가스오일봉입형 변압기의 형태를 나타낸 것이다.

가스오일봉입형 방식은 밀폐형 변압기 본체의 상부까지 절연유를 채우지 않고 일정공간에 질소가스를 충전하고 별도의 가스오일봉입 탱크를 설치하여 변압기 상부와 가스오일봉입탱크를 연결하는 관을 통해 변압기 호흡시 절연유의 신축에 의해 격판으로 분리된 가스오일실탱크 하부에 관을 통해 절연유가 왕래하며 본체의 질소가스 압력을 조절한다.

이 방식의 취약점은 변압기 상부까지 절연유를 채우지 않고 상부에 질소가스를 채웠기 때문에 변압기 부하에 의한 호흡작용과 외기 온도의 변화에 따른 호흡작용이 절연유를 변압기 상부까지 주입한 고무막식 콘서베이터형 보다 커서 변압기와 외부로 연결되는 부싱의 플랜지 부분으로 습기가 유입되는 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 이러한 가스오일봉입형 3상 변압기에서 층간단락고장이 발생하여 새로운 변압기로 교체한 수원전력관리처 관내의 변압기 현황은 표 1과 같다.

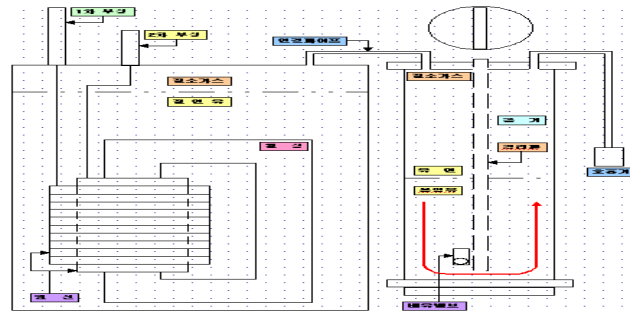


그림 1. 가스오일봉입형 변압기 개략도

<표 1>. 고장 변압기 현황

| 변전소 | 설비제원 | 고장일자 | 고장내용 |
|-----|-----------------------|-----------|-----------|
| 신수원 | 154/23kV 45/60MVA '89 | '05.04.10 | 1차권선 층간단락 |
| 용인 | 154/23kV 45/60MVA '88 | '06.01.13 | " |
| 안성 | 154/23kV 45/60MVA '88 | '06.11.05 | " |
| 오산 | 154/23kV 45/60MVA '88 | '07.03.02 | " |

2.2 내부고장 원인

변압기의 부싱(Bushing)은 변압기 내부의 권선도체를 외함 또는 지지물을 통과하여 외부로 인출하며 도체를 외부에 대하여 절연시키는 변압기의 중요한 부속장치로서 변압기 외함과의 기밀유지는 수분침투를 방지하는 필수조건이다. 최근 발생한 4건의 고장 변압기의 내부를 점검한 결과, 부싱부분에 물방이 맺혀 있는 현상이 보였다. 변압기 상부 외함의 수분침투 부분인 부싱 플랜지 부분은 그림 2와 같고 그림 3은 변압기 내부 부싱 부분에 물방울이 맺힌 모습을 나타내고 있다.

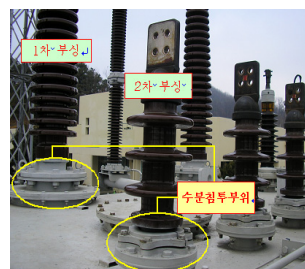


그림 2. 수분침투 부위

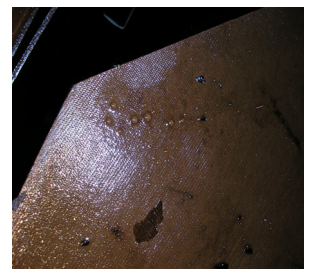


그림 3. 변압기 내부 물방울

수분침투 경로는 변압기 1,2차 부싱을 변압기 외함과 결합하는 플랜지에 사용하는 가스켓이 18여년의 장기 운전에 따른 노후화로 변압기 내부와 외기 간의 기밀유지 기능이 상실하여 변압기 부하 변동 및 외기온도의 변화에 따라 절연유가 수축 팽창할 때 가스오일실탱크에 의한 변압기 호흡과 함께 수분이 함유된 공기가 변압기 내부로 침입한 것으로 추정되며, 변압기 내부의 상부에 침입한 수분이 물방울을 이루어 장기간 동안 부싱을 경유하여 변압기 외측권선인 1차권선을 통해 변압기 하부로 이동하면서 취약한 권선 절연지에 영향을 주어 절연이 파괴되며 층간단락 고장을 일으킨 것으로 그림 4에서 그림 7에서와 같이 알 수 있다.



그림 4. 안성S/S 충전단락



그림 5. 오산S/S 충전단락



그림 6. 용인S/S 충전단락



그림 7. 신수원S/S 충전단락

2.3 고장예방 대책

수원전력관리처에서는 일련의 유사고장이 발생함에 따라 동일형식의 변압기 7대에 대해서 정밀점검을 실시하였으며, 그 정밀점검 대상 변압기는 <표 2>와 같다.

<표 2>. 정밀점검 변압기 현황

| 변전소 | 변압기명 | 변압기 규격 |
|-----|--------|-------------------------|
| 오 산 | #2M.Tr | 154/23kV 45/60MVA '89년식 |
| 평 택 | #1M.Tr | 154/23kV 45/60MVA '89년식 |
| 평 택 | #1M.Tr | 154/23kV 45/60MVA '89년식 |
| 반 월 | #1M.Tr | 154/23kV 45/60MVA '87년식 |
| 안 산 | #1M.Tr | 154/23kV 45/60MVA '88년식 |
| 안 산 | #2M.Tr | 154/23kV 45/60MVA '88년식 |
| 안 산 | #3M.Tr | 154/23kV 45/60MVA '89년식 |

고장재발 방지를 위해 변압기 정밀점검을 다음과 같이 시행하였다. 그림 8과 그림 9에서와 같이 먼저 수분침투 부분으로 예상되는 변압기 상판 부싱의 코르크 재질의 가스켓을 기밀유지가 뛰어난 질소고무로 교체하고, 플랜지 외부에 Sealing 처리하여 수분침투를 최대한 억제하였다.



그림 8. 코르크 가스켓



그림 9. 질소고무 가스켓

아울러 절연유에 포함된 수분을 제거하기 위해 절연유를 100℃ 이상으로 가열한 후 변압기 내부를 순환시키고 여과작업을 시행하여 절연 내전압이 60kV 이상 유지할 수 있도록 하였으며 동일형식의 변압기 고장 예방을 위하여 수원전력관리처 관내 변전소에 운전 중인 변압기에 대하여 정밀점검 전에 절연유를 채취하여 열화생성물(Furfural) 발생여부와 가스분석을 시행하여 변압기의 상태를 예측하였다.

열화생성물은 절연물 특히, 절연지 등이 열화 되었을 때 발생되어 절연유 중에 함유되며, 절연물의 열화정도 추정과 변압기 수명예측의 자료로 활용되는 유기화합물이며 표 3은 한국전력 전력연구원에서 동일형식의 변압기 12대에 대한 분석결과이다. 열화생성물(Furfural) 관리기준은 2 ppm이하 정상, 2~34ppm 요주의, 34ppm 이상은 위험을 나타내며, 분석한 12대의 변압기 중 2대를 제외하고 10대는 위험을 나타내어 변압기가 열화 되었음을 알 수 있었다.

절연유 가스분석은 변압기 내부에서 절연과피, 순환전류, 접촉불량 등에 의해 아크나 국부과열로 인한 온도에 따라 절연유, 절연지 등 절연재료는 열분해 되어 특정가스로 발생하며 발생된 가스는 절연유 중에 용해상태로 존재한다. 절연유를 추출 분석하여 가스량과 조성비로 변압기 내부 이상유무와 이상정도를 진단할 수 있다.

<표 3>. 변압기 열화생성물 분석 결과

| 구 분 | 절연열화생성물(ppm) | 제작년 |
|-------------|--------------|------|
| 서수원 #4 M.Tr | 112 | 1988 |
| 안 산 #1 M.Tr | 113 | 1988 |
| 안 산 #2 M.Tr | 111 | 1988 |
| 안 산 #3 M.Tr | 68 | 1989 |
| 오 산 #2 M.Tr | 70 | 1989 |
| 오 산 #3 M.Tr | 74 | 1989 |
| 평 택 #1 M.Tr | 70 | 1989 |
| 평 택 #2 M.Tr | 95 | 1989 |
| 신수원 #63M.Tr | 88 | 1989 |
| 안 양 #1 M.Tr | ND | 1989 |
| 안 양 #3 M.Tr | ND | 1989 |
| 반 월 #1 M.Tr | 186 | 1987 |

<표 4>. 변압기 절연유 분석결과

(단위 : $\mu\text{m}^3/\text{m}^3$)

| 용해가스 | 오산 #2M.Tr | 오산# 3M.Tr | 안양#1M.Tr |
|-------------------------------|-----------|-----------|----------|
| H ₂ | 13 | 12 | 3 |
| CO | 196 | 304 | 92 |
| CH ₄ | 95 | 108 | 83 |
| C ₂ H ₄ | 17 | 25 | 13 |
| C ₂ H ₆ | 303 | 327 | 252 |
| C ₂ H ₂ | 0 | 0 | 0 |
| C ₃ H ₈ | 164 | 205 | 166 |
| 가연성가스총량 | 788 | 981 | 609 |
| CO ₂ | 1,351 | 1,466 | 709 |
| O ₂ | 5,909 | 4,854 | 6,713 |
| N ₂ | 60,986 | 58,733 | 59,082 |
| 총가스량 | 69,034 | 66,034 | 67,113 |
| 판정 | 요주의 | 요주의 | 요주의 |

분석결과 <표 4>는 요주의 판정을 받아 추적 분석이 필요한 변압기로 절연유의 고온 국부 과열시 발생하는 가스(CnHm)가 다량 검출되어 변압기 내부이상으로 추정됨을 알 수 있다.

오산변전소 #2변압기 등 총 35대의 가스오일봉입형 변압기 관리방안으로 <표 5>와 같이 절연유의 수분함유량, 내전압 측정과 질소가스의 수분함유량과 질소가스 압력을 주기적으로 측정 관리하여 고장징후를 사전에 발견할 있도록 하였으며, 아울러 절연유 보존방식을 가스오일봉입형에서 공기주머니식 콘서베이터로 구조개선을 하는 방안도 검토하여 유사한 고장이 재발하지 않도록 하여야 할 것이다.

<표 5>. 변압기 관리 방안

| 항 목 | 주 기 | 내 용 | 비 고 |
|------|------|----------|-----------------------------|
| 절연유 | 반기1회 | 수분함유량 측정 | 전력연구원 의뢰 |
| | 반기1회 | 내전압 측정 | |
| 질소가스 | 반기1회 | 수분함량 | SF ₆ Gas수분측정기 사용 |
| | 매 일 | 질소가스 압력 | 근무자 |

3. 결 론

본 논문에서는 80년대 제작된 효성중공업계 가스오일봉입형 변압기가 부싱부분 기밀유지 역할을 하고 있는 가스켓의 경화로 수분이 장기간 침투하여 내부고장의 원인이 되고 있어 이를 방지하고자 여러 가지 효과적인 관리방안에 대하여 고찰을 하였다.

가스오일봉입방식 변압기의 경우 절연유의 온도변화에 의한 수축시 변압기 내부압력이 낮아져 부싱 등에서 기밀유지가 되지 않고 외부공기가 유입될 수 있는 취약점을 가지고 있다.

이는 변압기의 절연내력을 약화시키고 궁극적으로 내부고장의 주요 원인이 되고 있어 이러한 유형의 고장을 예방하기 위해서는 가스오일봉입형을 공기주머니식 콘서베이터 형으로 구조개선이 필요하다. 구조개선에는 약 2000만원 정도가 소요될 것으로 추산되고 있으며 변압기의 가격과 내용연수 등을 고려할 때 시급한 추진이 요구된다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력 설계기준-2501(주변압기의 형식 및 정격), 1994