

유중가스농도를 이용한 유입식 변압기 고장진단 기법의 신뢰성에 관한 연구

논문
60P-3-3

A Study on the Reliability of Failure Diagnosis Methods of Oil Filled Transformer using Actual Dissolved Gas Concentration

박진엽* · 진수환[†] · 박인규**
(Jin-Yeub Park · Soo-Hwan Chin · In-Kyoo Park)

Abstract - Large Power transformer is a complex and critical component of power plant and consists of cellulosic paper, insulation oil, core, coil etc. Insulation materials of transformer and related equipment break down to liberate dissolved gas due to corona, partial discharge, pyrolysis or thermal decomposition. The dissolved gas kinds can be related to the type of electrical faults, and the rate of gas generation can indicate the severity of the fault. The identities of gases being generated are using very useful to decide the condition of transformation status. Therefore dissolved gas analysis is one of the best condition monitoring methods for power transformer. Also, on-line multi-gas analyzer has been developed and installed to monitor the condition of critical transformers. Rogers method, IEC method, key gas method and Duval Triangle method are used to failure diagnosis typically, and those methods are using the ratio or kinds of dissolved gas to evaluate the condition of transformer.

This paper analyzes the reliability of transformer diagnostic methods considering actual dissolved gas concentration. Fault diagnosis is performed based on the dissolved gas of five transformers which experienced various fault respectively in the field, and the diagnosis result is compared with the actual off-line fault analysis. In this comparison result, Diagnostic methods using dissolved gas ratio like Rogers method, IEC method are sometimes fall outside the ratio code and no diagnosis but Duval triangle method and Key gas method is correct comparatively.

Key Words : Transformer, DGA, Rogers Method, Duval Triangle Method, Key Gas Method

1. 서 론

유입식 변압기의 절연물로 사용되는 절연유, 절연지, 프레스 보드, 절연테이프 등은 변압기 과부하 또는 고장으로 발생하는 열 또는 아크에 의해 분해되면서 수소(H₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 에탄(C₂H₆), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂), 프로판(C₃H₈) 등 각종 가스를 발생하게 되는데 이를 유중가스라고 한다. 이들 유중가스는 그림 1과 같이 온도에 따라 발생농도 및 종류가 다르고 발생패턴이 다르므로 가스농도, 종류 및 발생패턴을 이용하여 변압기 상태 및 고장을 진단할 수 있다.[1,2,3]

최근에는 변압기가 운전 중인 상태(on-line)에서 8종의 유중가스 농도를 상시 분석하여 진단하는 온라인 분석기가 설치되어 운전되는 등 유입식변압기 고장진단방법 중 유중가스를 이용한 진단방법이 신뢰성이 가장 높고 많이 이용되고 있다.[5]

유중가스농도를 이용한 고장진단 방법에는 IEEE 진단방법(Dornenburg, Rogers, 핵심가스 이용방법), IEC의 가스성분비 진단방법 및 Duval Triangle 방법 등이 있는데, 이중

Dornenburg 법, Rogers 법 및 IEC의 가스성분비 진단방법은 열적 열화이론에 근거하여 변압기 유중가스 중 가연성가스의 성분비를 CH₄/H₂, C₂H₂/C₂H₄, C₂H₂/CH₄, C₂H₆/C₂H₂, C₂H₄/C₂H₆의 5가지로 구분하여 이들 성분비 중 세 가지 또는 네 가지 성분비를 이용하여 진단한다.

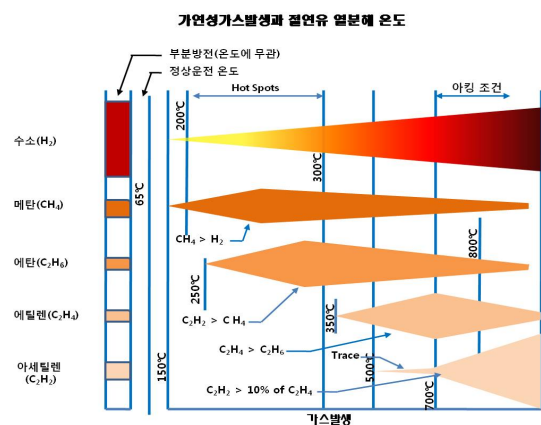


그림 1 절연유 온도에 따른 가스발생 패턴[4]

Fig. 1 Gas generation patterns as Oil TEMP.

핵심가스를 이용한 진단방법은 유중가스 중 H₂, CO, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂의 6가지 핵심가스의 상대적 비율을 이용하여 진단하고 있으며, Duval Triangle 방법은 CH계열 가

* 정 회 원 : 한수원중앙연구원 선임전문원 · 석사 · 기술사
[†] 교신저자, 정 회 원 : 한수원중앙연구원 선임보전문원 · 석사
E-mail : chin6020@khnp.co.kr

** 정 회 원 : 한수원중앙연구원 책임전문원
접수일자 : 2011년 6월 1일
최종완료 : 2011년 8월 3일

스 중 CH₄, C₂H₄와 C₂H₂ 세 가지 가스의 상대적인 비율을 Duval Triangle에 표시하여 세 가지 가스성분 비율이 만나는 점을 진단에 이용하고 있다.

본 논문에서는 실제 고장이 발생했던 5가지의 대용량변압기를 대상으로 일반적으로 많이 사용하는 가연성가스성분비를 이용한 Rogers 법, IEC 법과 핵심가스를 이용한 진단법, CH계열 가스의 상대적인 비율을 이용하는 Duval Triangle 법을 적용하여 진단한 결과와 실제 고장내용을 비교하여 유증가스를 이용한 고장 방법의 신뢰성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 유증가스를 이용한 고장진단 방법

2.1.1 Rogers 법

유증가스중 수소(H₂), 메탄(CH₄), 에탄(C₂H₆), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂)의 5가지의 가연성가스 성분비를 이용하는 방법으로 R1=CH₄/H₂, R2=C₂H₂/C₂H₄, R3=C₂H₄/C₂H₆의 값을 구하여 성분비에 따라 표 1과 같이 6가지의 Case로 고장을 진단할 수 있다.

표 1 Rogers 법의 가스 성분비에 따른 고장원인
Table 1 Fault causes as gas ratio of Rogers method

Case	R1	R2	R3	고장원인
0	>0.1 <1.0	<0.1	<1.0	정상
1	<0.1	<0.1	<1.0	저 에너지 아킹 (부분방전)
2	0.1- 1.0	0.1- 3.0	>3.0	고 에너지 아킹 (방전)
3	>0.1 <1.0	<0.1	1.0- 3.0	저온 과열
4	>1.0	<0.1	1.0- 3.0	고온과열(<700℃)
5	>1.0	<0.1	>3.0	고온과열(>700℃)

2.1.2 IEC 법

IEC법도 Rogers법과 같이 5가지의 가연성가스의 농도를 이용한 성분비를 이용하여 고장을 진단하며 표 2와 같이 성분비에 따라 6가지의 Case로 고장을 진단 할 수 있다.

표 2 IEC 법의 가스 성분비에 따른 고장원인
Table 2 Fault cause as gas ratio of IEC method

Case	R1	R2	R3	고장진단 내용
PD	<0.1	NS*	<0.2	부분방전
D1	0.1-0.5	>1	>1	저에너지 방전
D2	0.1-1	0.6-2.5	>2	고에너지 방전
T1	>1 but NS	NS	<1	과열(T<300℃)
T2	>1	<0.1	1-4	과열(300℃<T<700℃)
T3	>1	<0.2**	>4	과열(T>700℃)

* NS=어떤값이든 관계없음,
**아세틸렌(C₂H₂)의 증가는 Hot Spot 온도가 1000℃이상 임을 의미

2.1.3 Duval Triangle법

메탄(CH₄), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂)의 세 가지 유증가스의 백분율 성분비를 계산한 후 Duval Triangle에 적용하여 고장을 진단하는 방법이다. Duval Triangle의 각 영역마다 기호가 표시되어 있으며 각 가스의 백분율 성분비를 그림 2의 Duval Triangle에 직선으로 표시하여 세 직선이 만나는 영역의 기호가 표 3과 같이 변압기 고장현상을 나타낸다. 각 가스의 가스농도가 1.0ppm, 2.0ppm, 1.5ppm이라면 아세틸렌가스의 백분율 성분비는 %C₂H₂ = 1.5/(1.0+1.5+2.0) × 100 = 33.4%가 되며, 메탄 및 에틸렌가스의 백분율 성분비는 각각 22.2%, 44.4%가 된다.

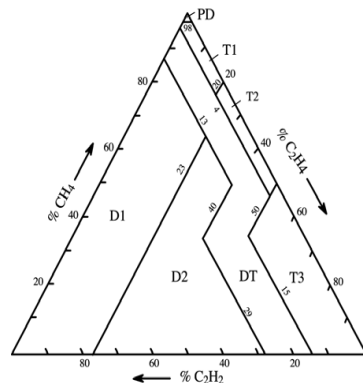


그림 2 Duval 삼각형법

Fig. 2 Duval Triangle

표 3 Duval Triangle 영역별 고장현상

Table 3 Fault cause each range of Duval Triangle

영역	고 장	고장현상
PD	부분방전	버블 또는 보이드에서 코로나 형태의 부분방전
D1	저에너지방전	스파크 형태의 부분방전, 절연지에 핀홀 또는 탄화구멍 생성, 절연유에 탄소물질 형성
D2	고에너지방전	절연지 또는 절연유에서의 고에너지방전(아크방전), 절연지에 많은 손상을 입히고 절연유내 많은 탄소물질 형성, 금속물질 확산, 가스경보와 변압기 정지유발
T1	과열 T<300℃	절연지를 변색시키거나(>200℃) 탄화시킴(>300℃)
T2	과열 300<T<700℃	절연지의 탄화, 절연유내 탄소물질 형성
T3	과열 T>700℃	절연유내 많은 탄소물질 생성, 금속 변색(800℃), 금속 용해(>1,000℃)

2.1.4 핵심가스를 이용한 진단방법

핵심가스를 이용한 진단방법은 유증가스 중 CO, H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂의 6가지 핵심가스의 상대적 비율을 이용하여 4가지 Case로 진단하는 방법으로 각 Case별 유증가스 농도 비율은 표 4와 같다.

표 4 진단 Case 별 핵심가스의 상대적 비율(%)

Table 4 Ratio of key gases each diagnostic case

Case	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
절연유 과열	-	2	16	19	63*	-
절연물 과열	92*	-	-	-	-	-
코로나	-	85	13	1	1	-
아킹	-	60	5	2	3	30*

주) * : 주도가스

2.2 고장사례와 진단결과 비교

2.2.1 변압기 고압측 탭권선 과열 및 손상(사례 1)

외철형의 발전소 승압변압기로서 용량 353MVA, 변압비 20.9/345kV를 갖는 2권선 변압기의 정지 전 최종 유중가스 농도는 수소(H₂) 704ppm, 일산화탄소(CO) 115ppm, 메탄(CH₄) 251ppm, 에탄(C₂H₆) 249ppm, 에틸렌(C₂H₄) 278ppm, 아세틸렌(C₂H₂) 0ppm이었다. 5가지 가연성가스의 성분비는 R1=0.36, R2=0, R3=1.1로 Rogers 법을 적용하면 저온과열로 진단되고, IEC 법을 적용하면 적용되는 Case가 없다. 그리고 메탄(CH₄), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂)의 세 가지 유중가스의 백분율 성분비는 각각 47%, 53% 및 0%이므로 그림 3과 같이 Duval Triangle에 표시하면 세 가지 백분율 성분비가 겹치는 부분이 T3 영역에 있음을 알 수 있고, 표 3에 의하면 변압기에 700℃ 이상의 과열이 발생되어 절연유내 많은 탄소물질이 생성되고 금속이 변색 및 용해된 것으로 진단되었다. 그리고 6가지 핵심가스의 성분비가 각각 7%, 44%, 16%, 16%, 17% 및 0%로 수소가스 주도의 고장으로 진단할 수 있지만 표 4와 비교하면 절연유 과열에 의한 가스발생과 발생가스의 종류는 유사하나 핵심가스 상대적 비율에 많은 차이가 있어 정확한 진단이 곤란했다.

변압기 운전을 정지한 후 내부 정밀점검 결과 그림 4와 같이 고압측 탭권선 3번과 6번의 절연지가 과열로 탄화되었으며, 3번 탭권선의 경우 내부 도체도 열에 의해 손상이 된 것으로 확인되었다. 그림 1의 온도에 따른 유중가스 발생형태를 보면 에틸렌(C₂H₄)의 농도가 에탄(C₂H₆)의 농도를 초과하였으므로 500~700℃정도의 과열이 발생한 것으로 예상할 수 있고, 표 3의 고장현상 중 T3 영역의 현상과 같이

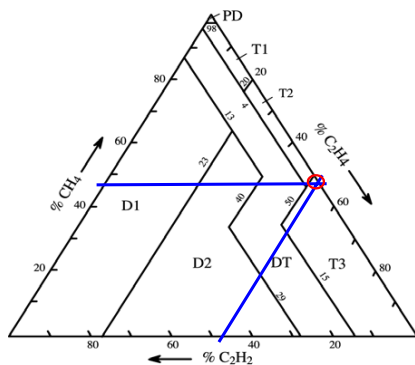


그림 3 사례 1의 백분율 성분 표시
Fig. 3 Duval Triangle of Case 1

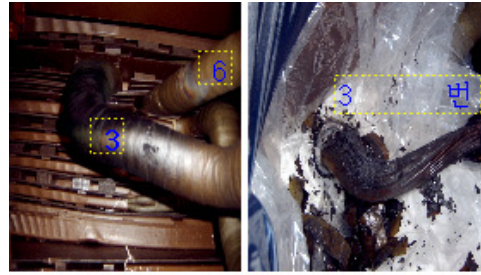


그림 4 고압측 탭권선 과열 및 손상
Fig. 4 Tap lead heating and damage

절연유내 탄소물질의 생성, 과열에 의한 금속의 변색/손상이 동반되었다. 그러나 Rogers 법과 IEC 법, 핵심가스를 이용한 진단결과와 불일치하거나 정확한 진단이 어려웠다.

2.2.2 철심 접합부 과열(사례 2)

내철형의 발전소 승압변압기로서 용량 277MVA, 변압비 20.9/345kV를 갖는 2권선 변압기의 유중가스 농도는 수소(H₂) 19ppm, 일산화탄소(CO) 183ppm, 메탄(CH₄) 198ppm, 에탄(C₂H₆) 79ppm, 에틸렌(C₂H₄) 298ppm, 아세틸렌(C₂H₂) 0ppm으로 에틸렌가스 주도형이다. 5가지 가연성가스의 성분비를 구하면 R1=10.4, R2=0, R3=3.77로 Rogers 법은 700℃ 이상 고온과열, IEC법은 300~700℃범위의 과열로 진단되었으며, 핵심가스의 성분비가 각각 3%, 24%, 25%, 10%, 38%, 0% 이므로 절연유 과열에 의해 가스가 발생된 것으로 진단되었다. 그리고 메탄(CH₄), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂)가스의 세 가지 유중가스의 백분율 성분비는 각각 40%, 60% 및

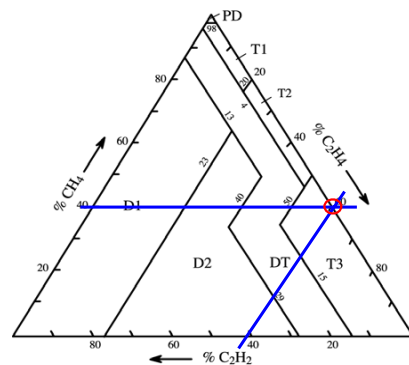


그림 5 사례 2의 백분율 성분표시
Fig. 5 Duval Triangle of Case 2



그림 6 철심의 과열 및 변색
Fig. 6 Core heating and discoloration

0%이므로 Duval Triangle에 표시하면 그림 5와 같이 세 가지 백분율 성분비가 겹치는 점이 T3 영역에 있으므로 사례 1과 같이 변압기에 700℃이상의 과열이 발생되어 절연유내 많은 탄소물질이 생성되고 금속이 변색 및 용해된 것으로 진단되었다.

변압기를 공장으로 반출하여 분해 점검한 결과 그림 6과 같이 철심의 Yoke 코아와 Leg 코아가 만나는 접합부에서 과열 및 변색이 발생한 것이 확인 되었으며, 유증가스 농도의 성분비를 이용한 3가지 진단결과 및 핵심가스를 이용한 진단결과와 일치하였다.

2.2.3 절연물내부 이물질 방전(사례 3)

외철형의 발전소 승압변압기로서 용량 353MVA, 변압비 20.9/765kV를 갖는 2권선 변압기로 초기 가압시 온라인 가스분석기 지시값 중 그림 7과 같이 아세틸렌(C₂H₂)가스가 급격하게 증가하여 곧바로 정지를 하였으며, 정지 후 유증가스를 분석한 결과 수소(H₂) 73ppm, 일산화탄소(CO) 100ppm, 메탄(CH₄) 26ppm, 에탄(C₂H₆)12ppm, 에틸렌(C₂H₄) 15ppm, 아세틸렌(C₂H₂) 79ppm이 발생되었다.

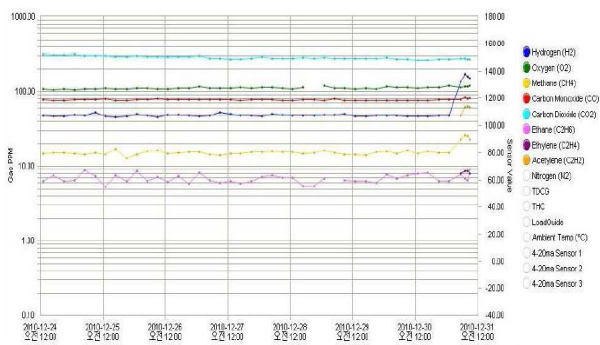


그림 7 사례 3의 온라인가스분석기 가스농도 변화
Fig. 7 On-line gas trend of Case 3

가연성가스의 성분비를 구하면 R1=0.35, R2=5.2, R3=1.25로 Rogers 법에 의하면 해당 코드가 없으며, IEC법을 적용하면 저에너지 방전이 발생된 것으로 진단된다. 핵심가스를 이용하여 진단하면 아세틸렌(C₂H₂)이 일산화탄소(CO)와 같이 발생되었으므로 절연물내에서 방전이 발생된 것으로 진단할 수 있다. 그리고 메탄(CH₄), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂)의 세 가지 유증가스의 백분율 성분비는 각각 22%, 13% 및 65%로

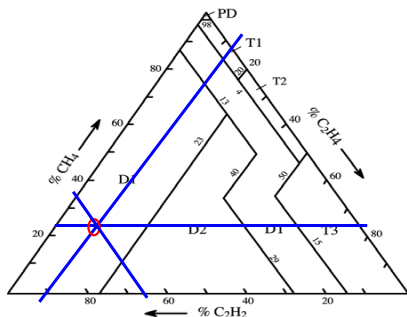


그림 8 사례 3의 백분율 성분표시
Fig. 8 Duval Triangle of Case 3

Duval Triangle에 표시하면 그림 8과 같이 세 가지 백분율 성분비가 겹치는 점이 D1 영역에 있으므로 표 3 에서와 같이 저에너지 방전으로 스파크 형태의 부분방전, 절연지에 핀홀 또는 탄화구멍 생성, 절연유에 탄소물질이 생성된 것으로 진단되었다.

변압기의 고장원인을 점검하기 위해 절연유를 배유한 후 내부점검을 실시하였으나 원인을 발견하지 못하였으며, 공장에서 분해 점검한 결과 그림 9와 같이 변압기 권선 절연물 내부에 셋가루 이물질이 유입되어 변압기 가압시 스위칭서지에 의해 아크 방전을 한 것으로 확인되었으며 그 여파로 프레스보드 절연물에 방전트리 및 탄화 구멍이 발생하였다. 이는 IEC 법, Duval Triangle 법 및 핵심가스를 이용한 진단한 결과와 거의 일치하였으며 Rogers 법의 진단범위를 벗어났다.

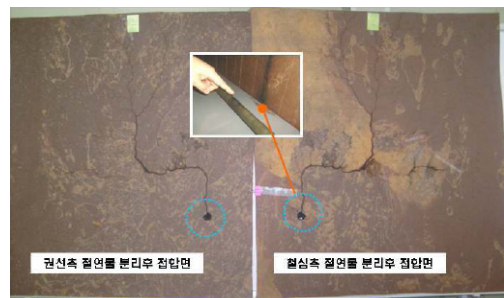


그림 9 철심과 권선사이 절연물의 아크방전흔적
Fig. 9 Arcing discharge tree of Insulation material

2.2.4 변압기 부싱변류기(BCT) 2차측 개방(사례 4)

외철형의 발전소 승압변압기로서 용량 353MVA, 변압비 20.9/345kV를 갖는 2권선 변압기의 운전 중 가스측적경보기가 동작하여 절연유의 유증가스 농도를 분석한 결과 초기에는 내부 아크발생시 발생하는 아세틸렌(C₂H₂)가스가 약 5ppm정도 발생하였으나 더 이상 증가하지 않고 감소하는 반면 수소(H₂), 메탄(CH₄) 에틸렌(C₂H₄) 농도는 지속적으로 증가하였다. 최종 분석결과 수소(H₂) 111ppm, 일산화탄소(CO) 100ppm, 메탄(CH₄) 59ppm, 에탄(C₂H₆) 15ppm, 에틸렌(C₂H₄) 85ppm, 아세틸렌(C₂H₂) 2ppm이 발생되었다. 가연성가스의 성분비를 구하면 R1=0.53, R2=0.02, R3=5.67로 IEC 법 및 Rogers 법 모두 해당 코드가 없어 진단이 불가능했다. 핵심가스의 성분비는 각각 30%, 26.5%, 16%, 4%, 23%, 0.5%로 사례 3과 같이 아세틸렌(C₂H₂)이 일산화탄소(CO)와 같이 발생되었으므로 절연물 내에서 아크가 발생한 것으로 되었다. 그리고 메탄(CH₄), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂)의 세 가지 유증가스의 백분율 성분비는 각각 41%, 58% 및 1%이므로 Duval Triangle에 표시하면 그림 10과 같이 세 가지 백분율 성분비가 겹치는 점이 T3 영역에 있으므로 사례 1, 2와 같이 변압기에 700℃이상의 과열이 발생되어 절연유내 많은 탄소물질이 생성되고 금속이 변색 및 확산된 것으로 진단되었다.

그러나 변압기 정지 후 내부점검 결과 변압기 내부의 저압측 부싱변류기(BCT)의 단자가 그림 11과 같이 접촉불량에 의해 개방되면서 유기된 고전압에 의해 아크가 발생되고 고정용 볼트가 탄화 및 이탈되었으며 옆의 단자들도 그늘음이 심했다. 그리고 Duval Triangle 법에서 진단된 결과인

700℃이상의 과열과는 다른 양상을 보여 변압기 본체 즉 권선 및 철심이 아닌 다른 부분에서 문제가 발생할 경우 기존의 진단방법인 IEC 법, Rogers 법 또는 Duval Triangle 법으로 정확하게 진단이 안될 수도 있음을 보여준다.

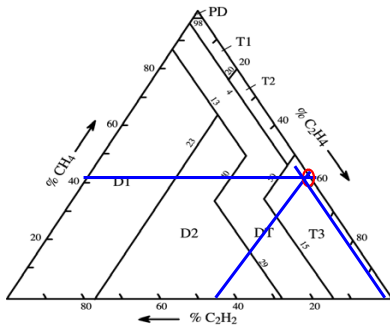


그림 10 사례 4의 백분율 성분표시
Fig. 10 Duval Triangle of Case 4

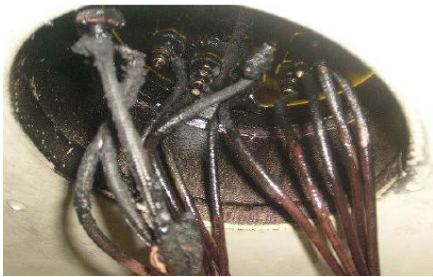


그림 11 아크에 의해 그을린 BCT 단자
Fig. 11 Damaged BCT terminal by ARC

2.2.5 철심면 과열 및 아크발생(사례 5)

사례 1, 3, 4와 유사한 외철형의 발전소 승압변압기로서 용량 353MVA, 변압비 20.9/345kV를 갖는 2권선 변압기로 정지전 유증가스의 농도는 수소(H₂) 171ppm, 일산화탄소(CO) 119ppm, 메탄(CH₄) 191ppm, 에탄(C₂H₆) 20ppm, 에틸렌(C₂H₄) 296ppm, 아세틸렌(C₂H₂) 22ppm 이었다. 가연성가스의 성분비를 구하면 R1=1.11, R2=0.07, R3=14.6으로 Rogers 법으로 진단하면 700℃이상 과열로 진단되고, IEC 법으로도 700℃이상의 과열로 진단된다. 핵심가스의 성분비는 각각 2.5%, 18%, 29.5%, 3%, 45%, 3%로 아세틸렌(C₂H₂)이 일산화탄소(CO)와 같이 발생되었으므로 절연물 내에서 아크가 발생한 것으로 진단되었다. 그리고 메탄(CH₄), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂)의 세 가지 유증가스의 백분율 성분비는 각각 38%, 58% 및 4%로 Duval Triangle에 표시하면 그림 12와 같이 세 가지 백분율 성분비가 겹치는 점이 T3 영역에 있으므로 변압기에 700℃이상의 과열이 발생되어 절연유내 많은 탄소물질이 생성되고 금속이 변색 및 확산된 것으로 진단되었다.

그러나 변압기 공장에서 분해점검 결과 그림 13과 같이 철심의 면이 Burr에 의해 단락되어 순환전류가 흘러 과열되고 철심면의 일부가 아크에 의해 손상되었으며, Rogers 법이나 IEC 법, 핵심 가스 법 및 Duval Triangle 법 의한 진단 결과와 일치하였다.

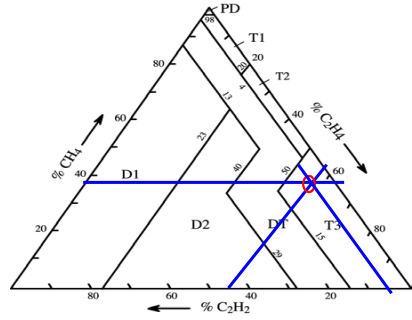


그림 12 사례 5의 백분율 성분표시
Fig. 12 Duval Triangle of Case 5



그림 13 철심면 과열 및 아크손상
Fig. 13 Heating and arcing damage of Core

3. 결 론

유입식변압기 고장진단방법 중 유증가스를 이용한 진단방법은 가장 널리 사용되고 있고 신뢰성이 높으며 여러 가지 진단법이 개발되어 있다. 본 논문에서는 변압기 실제 고장시 발생된 유증가스 종류와 농도를 일반적으로 변압기 고장진단에 적용하는 유증가스 기반의 진단 방법 4가지에 적용하여 진단한 결과와 고장내용을 비교하여 진단법의 신뢰성을 분석하였다.

사례별로 진단한 결과와 고장발생현상의 일치정도는 표 5와 같다. Duval Triangle법은 5개의 사례 중 4개가 일치하였고 1개는 부분적으로 일치하여 진단방법 중 고장진단의 신뢰성이 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한 핵심가스를 이용한 진단방법도 비교적 일치성이 높았다.

그러나 유증가스 중 가연성가스의 성분비를 이용하는 방법인 Rogers법이나 IEC법을 이용한 진단결과 중 일부는 고장

표 5 사례별 진단결과와 고장발생현상의 일치성

Table 5 Conformity of diagnoses and fault results of each case

구분	Rogers 법	IEC 법	Duval Triangle 법	핵심 가스법
사례 1	△	×	○	△
사례 2	○	○	○	○
사례 3	×	○	○	○
사례 4	×	×	△	△
사례 5	○	○	○	○

법례 : 일치(○), 부분일치(△), 불일치 또는 진단범위를 벗어남(×)

현상과 일치하였지만 몇 가지 사례는 진단범위를 벗어나 진단이 불가능 하였다.

특히, 사례 4와 같이 변압기 권선과 철심으로 구성된 본체가 아닌 곳에서 고장이 날 경우 Rogers 법이나 IEC 법으로는 고장진단이 불가능하며, 비교적 신뢰성이 높은 것으로 분석된 Duval Triangle 법도 고장내용을 정확하게 진단을 하지 못했다. 따라서 유증가스를 이용하여 변압기 고장 진단시는 어느 한 가지 진단방법만을 사용하여 진단하기 보다는 우선 Duval Triangle 법을 이용하여 진단하고, 추가로 다른 진단방법을 적용하여 진단 한 다음 최종적인 진단결과를 도출하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Imadullah Khan, Zhongdong Wang, Jie Dai " Fault Gas Generation in Ester based Transformer Fluids and Dissolved Gas Analysis" 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, China
- [2] EPRI TR-1017734 Transformer Guidebook Development(The Copper Book) 2009.12
- [3] EPRI TR-1002913 Power Transformer Maintenance and Application Guide 2002.09
- [4] Martin J.Heathcote, CEng. FIEE "The J&P Transformer Book" Twelfth edition p588~p590, 1998, Published by Elsevier
- [5] S.R. LINDGREN Transformer Condition Assessment Experiences using Automated on-line Dissolved Gas analysis CIGRE, 2004
- [6] IEEE Std C57.104-1991 IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers, 1991.11
- [7] IEC 60599 Mineral oil-impregnated electrical equipment in service-Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis Edition2.1 2007.05
- [8] M. Duval,"A review of fault detectable by gas-in-oil analysis in transformers" IEEE Elect. Insul. Magazine, vol.18, pp.8-17, May/June 2002.

저 자 소 개



박진엽 (朴珍燁)

1967년 10월 12일생. 2002년 울산대학교 산업대학원 메카트로닉스 졸업(석사). 발송배전기술사. 1984년~2007년 원자력발전소 근무. 2008년~현재 한수원중앙연구원 선임전문원

Tel : 042-870-5652

Fax : 042-870-5688

E-mail : parkjinyb@khnp.co.kr



진수환 (陳守煥)

1972년 06월 20일생. 2002년 강릉대학교 산업대학원 산업공학과 졸업(석사). 1994년~2006년 원자력발전소 및 본사 근무. 2006년~현재 한수원중앙연구원 선임보전문원

Tel : 042-870-5656

Fax : 042-870-5688

E-mail : chin0620@khnp.co.kr



박인규 (朴寅奎)

1961년 01월 01일생. 1994년 울산대학교 전기공학과 졸업 1981년~2005년 원자력발전소 근무. 2005년~현재 한수원중앙연구원 책임전문원

Tel : 042-870-5660

Fax : 042-870-5688

E-mail : parking@khnp.co.kr