

 서울시농수산물공사 양곡사업소

변압기 절연유 분석 보고서

2016. 9.

제 출 문

서울시농수산물공사 사장 귀하

귀사 양곡사업소의 유입변압기에 대한 절연유 분석을 완료하고 그 결과를 본 보고서로 제출합니다.

본 보고서의 내용이 귀사의 전기설비 운용(보수·유지관리)에 유익한 자료로 활용되기를 기대합니다.

아울러, 본 용역이 원활하게 이루어질 수 있도록 적극 협조하여 주신 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

2016. 9.

전라북도 완주군 이서면 오공로 12
한 국 전 기 안 전 공 사
사 장 이 상 권

목 차

제 1 장 일반사항	1
1. 개요	2
2. 일반사항	2
3. 절연유 분석항목	2
4. 투입계측장비	2
5. 진단대상	2
6. 절연유 분석 및 판정절차	3
제 2 장 종합의견	4
1. 진단결과	5
2. 진단결과 의견	5
제 3 장 절연유 유중가스분석	7
1. 개요	8
2. 분석장비	8
3. 발생가스와 고장부위의 추정	9
4. 유중가스분석 판정기준	10
5. 유중가스분석 진단방법	12
[부록] 유중가스분석 DATA	18

제1장 일반사항

KESCO



1. 개요

유입변압기의 절연유에 대한 가스분석을 통하여 이상 현상을 초기단계에서 검출, 개선대책을 제시함으로써 향후 개·보수 계획 수립 및 이력관리(Trend)에 참고자료로 활용하도록 하였다.

2. 일반사항

고객명	서울시농수산물공사 양곡사업소
주소	서울시 서초구 양재대로 12길 36
용역기간	2016.09.21. ~ 2016.09.29.
진단수량	1대
진단자	대리 김진주

3. 절연유 분석항목

- 유중가스분석

4. 투입계측장비

No	분석항목	특징	장비사진
1	유중가스분석	<ul style="list-style-type: none">● 제조사 : Agilent Technologies● 모델명 : GC7890A	

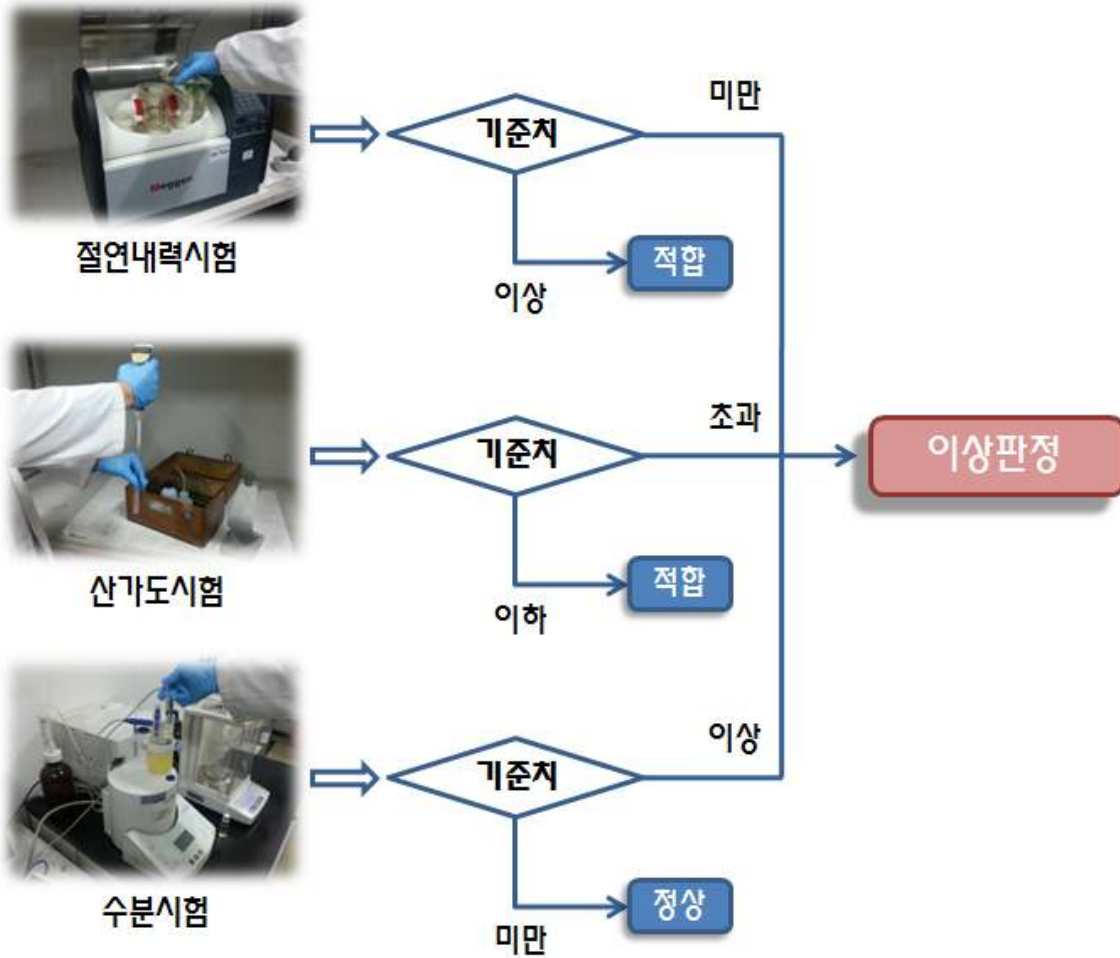
5. 진단대상

No	진단대상	전압	용량(kVA)	제조사	제조년월	제조번호
1	3Ø4W 변압기	22.9kV/380,220V	300	동미	1987년	7P5424

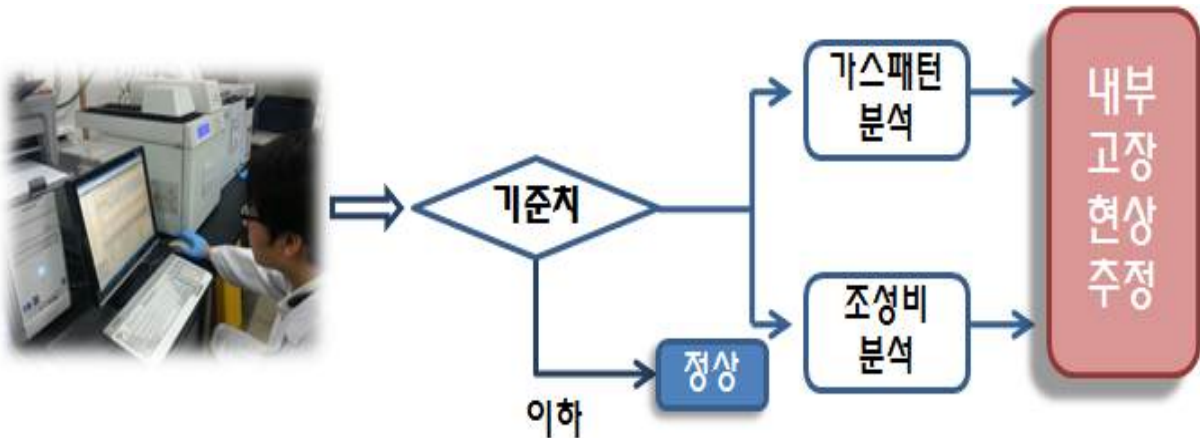
※ 본 보고서는 진단의뢰자가 채취한 절연유의 분석결과임.

6. 절연유 분석 및 판정절차

● 유입변압기 절연유시험



● 유중가스분석



제2장 종합의견

KESCO



1. 진단결과

진단대상	절연유 유증가스분석					
	정 상	요주의 I	요주의 II	이 상	위 험	OLTC
변압기 1대	0	0	0	0	1	0

2. 진단결과 의견

2.1 절연유 유증가스분석

No	제조번호	발 생 가 스 량 (ppm)										TCG	판 정
		H ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CH ₄	C ₃ H ₈	CO	CO ₂	O ₂	N ₂		
판 정 기 준		200 이하	10 이하	100 이하	200 이하	150 이하	150 이하	800 이하	5,000 이하	-	-	500 이하	정 상
		201 ~400	11 ~20	101 ~200	201 ~350	151 ~250	151 ~250	801 ~1,200	5,001 ~7,000			501 ~1,000	요주의 I
		401 ~800	21 ~60	201 ~500	351 ~750	251 ~750	251 ~750	1,200 초과	7,000 초과			1,000 ~2,500	요주의 II
		800 초과	61 ~120	500 초과	750 초과	750 초과	750 초과	-	-			2,501 ~4,000	이 상
		-	120 초과	-	-	-	-	-	-			4,000 초과	위 험
1		0	3	522	190	7	7,763	79	3,239	30,135	42,470	8,485	위 험

- 프로판(C₃H₈)가스는 유침 고체절연물의 과열 및 절연유의 과열 시 발생
- 에틸렌(C₂H₄)가스는 접촉 불량, 누설전류에 의한 과열 시 발생하며, 과열이 부분방전과 아크방전으로 발전할 경우 H₂나 C₂H₂의 비율이 증가됨
- 아세틸렌(C₂H₂)가스 발생량이 3ppm으로 요주의 판정기준치(10ppm 이하) 이내이나 내부 아크 및 부분방전 시에 발생하는 가스로 미량검출시라도 주의가 필요

2.2 가스패턴에 의한 분석

No	제조번호	발 생 량 [ppm]					농 도 비					주 도 형
		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	
1	7P5424	0	7	190	522	3	0.00	0.01	0.36	1.00	0.01	에틸렌(C ₂ H ₄)주도형 -해당패턴없음

2.3 가스조성비에 의한 분석

No	제조번호	조성비			상황	전형적인 이상
		C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆		
1	7P5424	0.0057	-	2.75	T2	온도 이상 300℃ < t < 700℃

2.4 TCG 증가량에 의한 분석

- 이전 진단 내역 없음

2.5 종합판정

No	진단대상	가스발생량	가스패턴	조성비	TCG증가량	종합판정
1	7P5424	위 험	에틸렌(C ₂ H ₄)주도형 -해당패턴없음	온도 이상 300℃ < t < 700℃	이전 내역 없음	위 험

☞ 대책 : 변압기 운전 정지 후 내부정밀점검을 통한 보수 또는 변압기 교체를 권장

※ 평소 변압기 운전시 과부하 운전이 되지 않도록 유의하시기 바라며, 아울러 정상상태인 변압기의 경우에도 주기적인 진단(1년)을 실시하는 것이 바람직합니다.

제3장 절연유 유중가스분석


KESCO



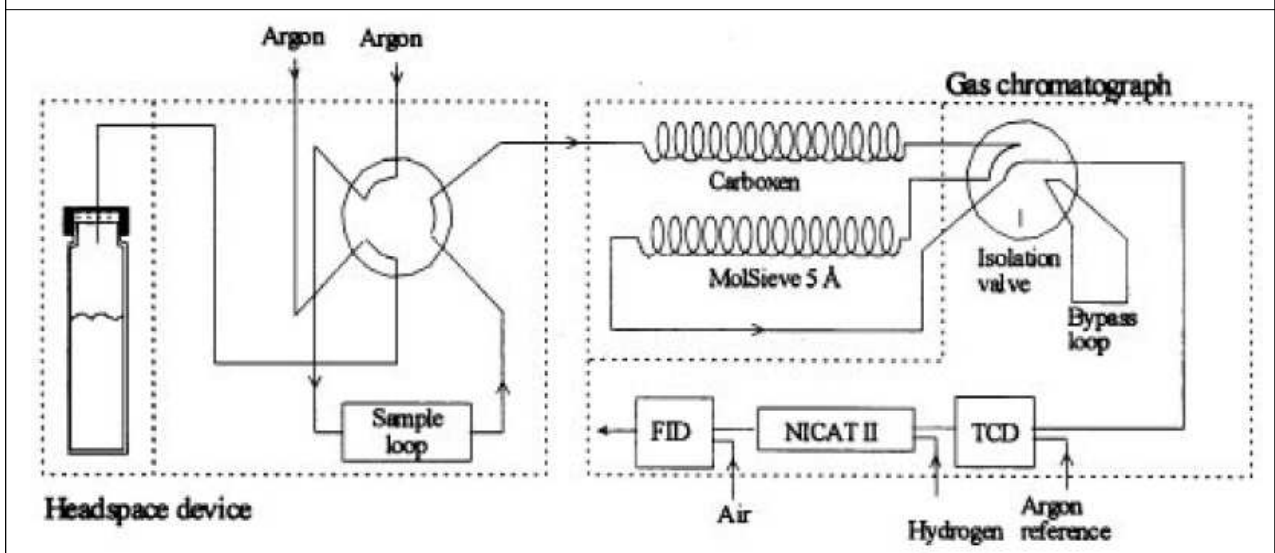
1. 개요

변압기와 같은 유입기기의 내부에 이상현상(즉 절연파괴현상, 국부과열 등)이 생기면 반드시 열 발생을 수반하며, 이 발열원에 접촉한 절연유, 절연지, 프레스 보드, 베이클라이트 등의 절연재료가 열의 영향을 받아 분해하여 CO₂, CO, H₂, CH₄, C₂H₂ 등의 탄화수소가스를 발생하며, 이 대부분의 가스들은 절연유에 용해된다. 유증가스 분석법은 절연유 중에 용해되어 있는 가스를 분석해 변압기 내부의 이상 유무 및 이상의 종류를 진단하는 방법으로, 1960년대에 적극적인 연구가 추진되고 1970년대에 실용화 돼, 현재 세계적으로 널리 이용되고 있는 진단기술이다.

2. 분석장비

가스분석 장비	분석 가스 종류(10종)
 <p data-bbox="239 1288 582 1321"><G1888 / GC 7890A></p>	<ul style="list-style-type: none"> • H₂(수소) • O₂(산소) • N₂(질소) • CO₂(이산화탄소) • C₂H₂(아세틸렌) • C₂H₄(에틸렌) • C₂H₆(에탄) • CH₄(메탄) • CO(일산화탄소) • C₃H₈(프로판)

가스분석장비 구성도



3. 발생가스와 고장부위의 추정

3.1 이상의 종류에 따른 발생가스 성분

이 상 종 류		주 요 발 생 가 스	비 고
절연유의 과 열	저온(300℃ 이하)	C ₂ H ₆ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₈	발생가스량 순으로 나열
	중온(300℃ ~ 700℃)	CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈	
	고온(700℃ 이상)	C ₂ H ₄ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈	
고체절연물의 과열 (200℃ 이상)		CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₃ H ₈	
절연유중 Arc (1000℃ 이상)		C ₂ H ₂ , H ₂ , C ₂ H ₄ , CH ₄	
절연유중 Corona (1000℃ 이상)		H ₂ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , CH ₄	
절연물, 절연유의 열화		CO, CO ₂	

3.2 가스종류별 이상 현상

항 목	이 상 종 류	이 상 현 상
H ₂	<ul style="list-style-type: none"> • 유중 Corona 분해 • 고체절연물 Arc 분해 	<ul style="list-style-type: none"> • Corona 방전 (순환전류에 의한 Arc 발생) • Arc 방전
C ₂ H ₂	<ul style="list-style-type: none"> • 유중 Arc 분해 • 고체절연물 Arc 분해 	<ul style="list-style-type: none"> • Arc 방전
CH ₄ , C ₂ H ₄	<ul style="list-style-type: none"> • 절연유의 열분해 	<ul style="list-style-type: none"> • 순환전류 및 접촉불량 누설전류에 의한 과열
CO	<ul style="list-style-type: none"> • 고체 절연물 열분해, 경년열화 	<ul style="list-style-type: none"> • 과 열 • 소 손
CO ₂		<ul style="list-style-type: none"> • 과 열

- * 탄산가스(CO₂), 수소(H₂), 메탄(CH₄) 등이 검출되고, 아세틸렌(C₂H₂)이 검출되지 않은 경우 절연유가 150℃이상 가열된 경우에 발생한다. 이러한 경우에 탭 절환기 리드 접속부 등에서 도전(導電)관계의 국부과열을 추정할 수 있다.
- * 아세틸렌(C₂H₂)이 검출된 경우 아크등으로 절연유가 1,000℃이상으로 가열되면, 탄산가스, 수소, 메탄 및 아세틸렌(C₂H₂)이 발생한다. 아세틸렌은 아크나 부분방전 등과 같은 고온에 접촉되었을 때에 발생하므로 내부에서 중대한 이상이 발생한 것으로 추정된다.

4. 유증가스분석 판정기준

4.1 초기 운전 변압기

- 1) 초기 운전 변압기 유증가스 분석 기준(운전 개시전)
 - 전 가스의 총량이 10,000ppm이하일 경우에 운전을 개시한다.
- 2) 초기 운전 변압기 유증가스 분석 기준(운전 개시후)

(단위:ppm)

항 목	판 정	정 상	요 주 의	이 상
가연성가스	H ₂	200 이하	201~400	400 초과
	C ₂ H ₂	0.5 이하	0.5 초과	
	C ₂ H ₄	100 이하	101~200	200 초과
	C ₂ H ₆	200 이하	201~350	350 초과
	CH ₄	150 이하	151~250	250 초과
	C ₃ H ₈	150 이하	151~250	250 초과
	가연성가스 총량(TCG)	500 이하	501~1,000	1,000 초과
	가연성가스 증가량	-	「정상」 상태에서 100ppm/월 이상	「요주의」 상태에서 200ppm/월 이상
절연열화성가스	CO	200 이하 (400 이하)	201~400 (401~800)	400 초과 (800 초과)
	CO ₂	2,500 이하 (5,000 이하)	2,500~5,000 (5,001~7,000)	5,000 초과 (7,000 초과)

- * 가압운전 후 3년 이내 변압기에 적용.[단, CO 및 CO₂는 1년 이내 변압기에만 적용하되 1년이 경과된 변압기는 ()값을 적용]
- * 가연성가스의 총량(Total Combustible Gas: TCG) : H₂, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, CH₄, C₃H₈의 가스총합을 말한다.
- * 한국전기안전공사 무정전검사 판정기준 적용

4.2 중·장기 운전 변압기

4.2.1 유증가스분석 판정기준(절연열화성가스 제외)

(단위 : ppm)

판정 항 목	정 상	요 주의 I	요 주의 II	이 상	위 험
H ₂	200 이하	201~400	401~800	800 초과	-
C ₂ H ₂	10 이하	11~20	21~60	61~120	120 초과
C ₂ H ₄	100 이하	101~200	201~500	500 초과	-
C ₂ H ₆	200 이하	201~350	351~750	750 초과	-
CH ₄	150 이하	151~250	251~750	750 초과	-
C ₃ H ₈	150 이하	151~250	251~750	750 초과	-
가연성가스 총량(TCG)	500 이하	501~1,000	1,001~2,500	2,501~4,000	4,000 초과
가연성가스 증가량	-	「정상」 상태에서 100ppm/월 이상	「정상」 상태에서 200ppm/월 이상	「요주의」 상태에서 200ppm/월 이상	「이상」 상태에서 300ppm/월 이상
조치사항		추적분석 (6개월 1회)	추적분석 (3개월 1회)	추적분석(1개월 1회) 또는 운전정지후 내부정밀점검	운전정지후 내부정밀점검

* 한국전기안전공사 무정전검사 판정기준 적용

4.2.2 절연열화성가스 판정기준

(단위 : ppm)

판정 항 목	정 상	요 주의 I	요 주의 II
CO	800 이하	801~1,200	1,200 초과
CO ₂	5,000 이하	5,001~7,000	7,000 초과

* 한국전기안전공사 무정전검사 판정기준 적용

* 요주의 I : 절연유 열화특성(전산가) 분석 후 종합판정

* 요주의 II : 절연유 열화특성(절연파괴전압, 함유수분, 전산가 등) 분석 실시 및 추적분석
(1회/6개월) 실시

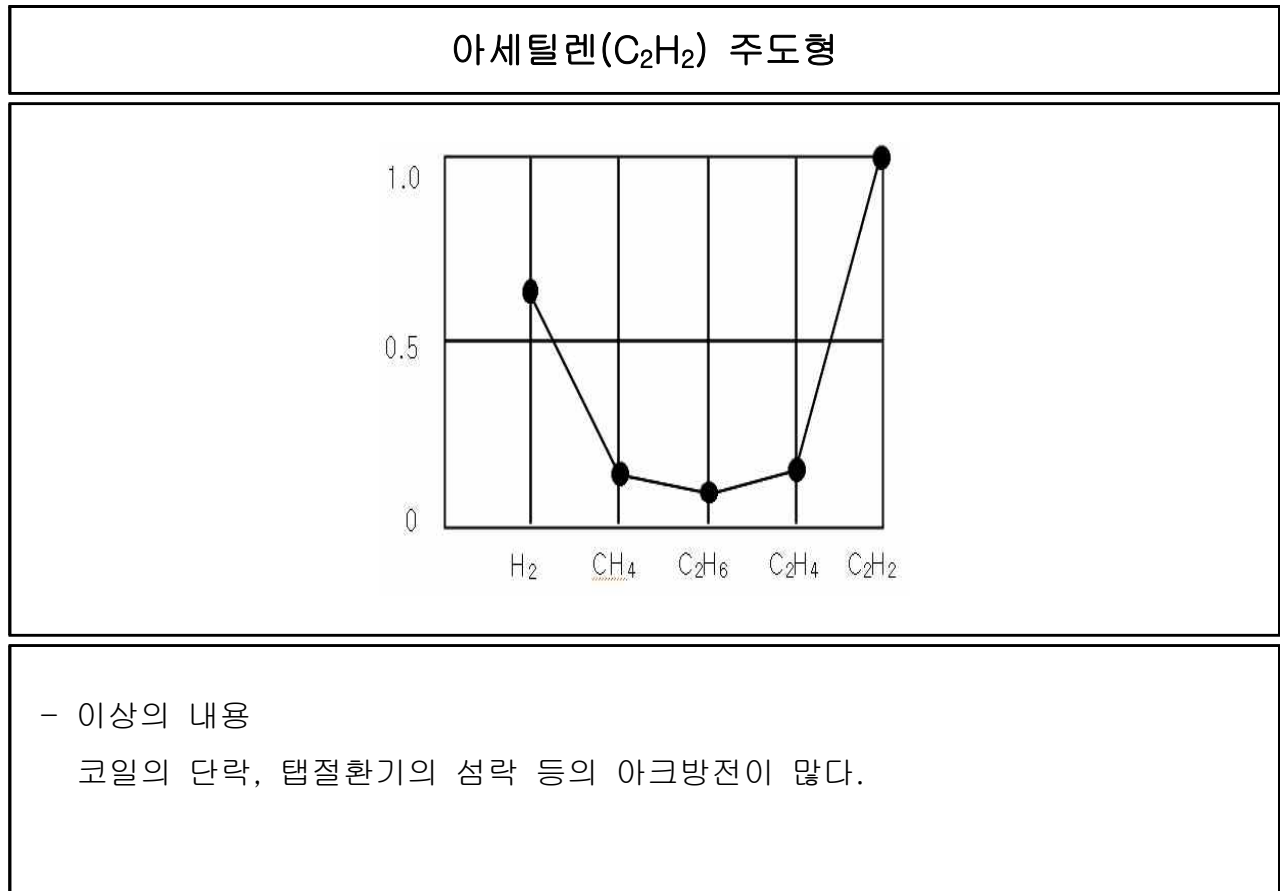
5. 유중가스분석 진단방법

위의 변압기 절연유 유중가스발생량이 요주의 기준치를 초과하는 설비에 대하여 다음의 진단 방법을 적용하여 분석한다.

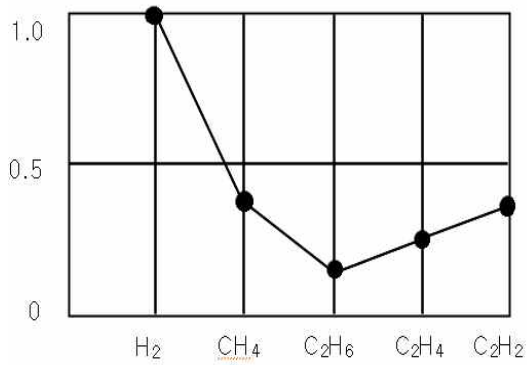
5.1 가스 패턴에 의한 분석

- 1) 가스 패턴에 의한 진단방법은 횡축에 성분 가스를, 종축에 성분 가스의 농도를 나타내서 패턴을 그려서 그 형상으로부터 이상내용을 진단하고자 하는 것이다. 가스 패턴의 표시법은 횡축에 가연성 가스 H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 의 순서로 하고 종축은 상기 성분 가스 중 최대의 것을 1로 한 경우의 조성비를 나타냈다.
- 2) CO 및 CO_2 는 패턴 진단표에는 기재하지 않지만 CO 및 CO_2 특히 CO 가 많이 검출되는 경우는 고체절연물이 손상을 받고 있다고 추정된다.
- 3) 주도형 : C_2H_2 주도형, H_2 주도형, CH_4 주도형, C_2H_4 주도형

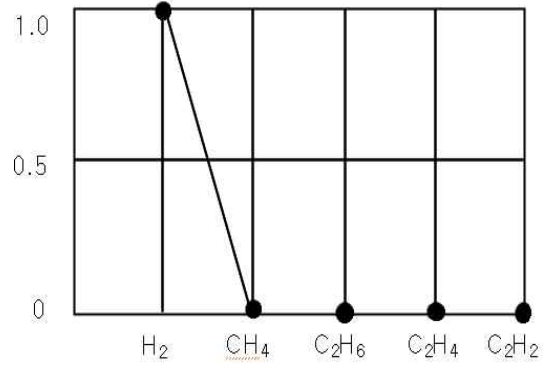
* 일본전기연구협동연구회 기준 적용



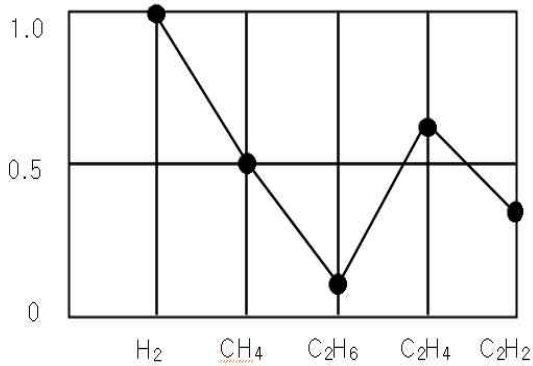
수소(H₂) 주도형



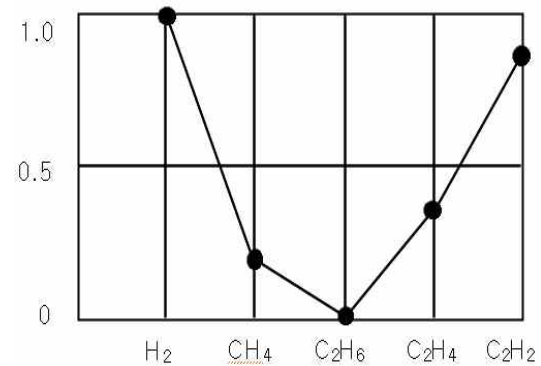
H₂-A



H₂-B



H₂-C



H₂-D

- 이상의 내용

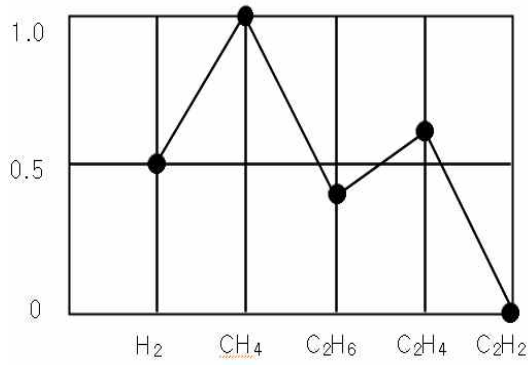
부분방전과 아크방전에 의한 이상이 많다.

아크방전에 의한 이상의 경우에는 타입 D에 보인 것처럼 C₂H₂의 비율이 크다.

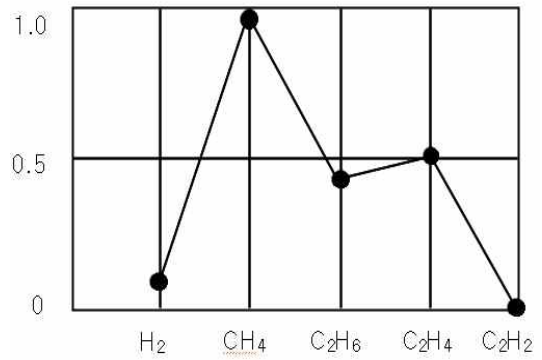
구체적인 사례로는

- 코일의 층간단락
- 코일의 용단
- 탭절환기 접점간의 아크 단락
- 순환전류에 의한 아크 발생 등이 있다.

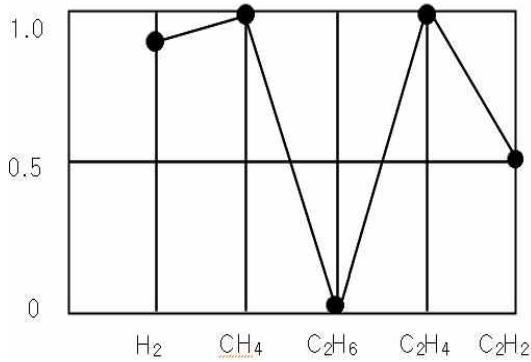
메탄(CH₄) 주도형



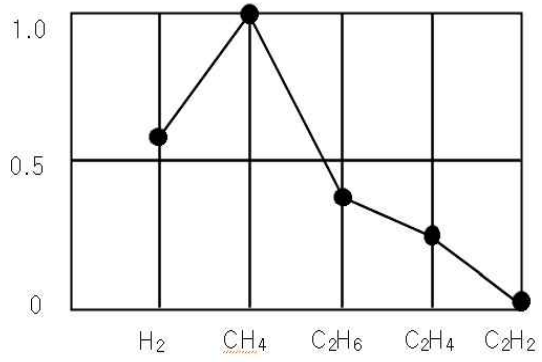
CH₄-A



CH₄-B



CH₄-C



CH₄-D

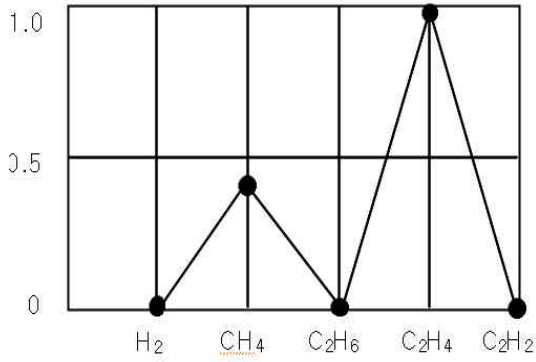
- 이상의 내용

접촉불량, 누설전류에 의한 과열의 이상이 많다. 과열이 부분방전과 아크방전으로 발전할 경우에는 타입 C에 표시한 바와 같이 H₂나 C₂H₂의 비율이 많게 된다.

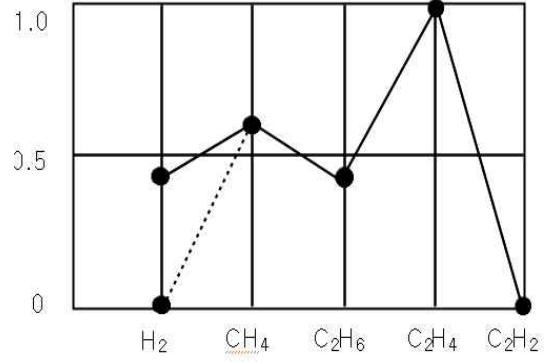
구체적인 사례로는

- 절환기 접촉불량
- 접속부의 이완
- 절연불량
- 다점접지에 의한 국부과열 등이 있다.

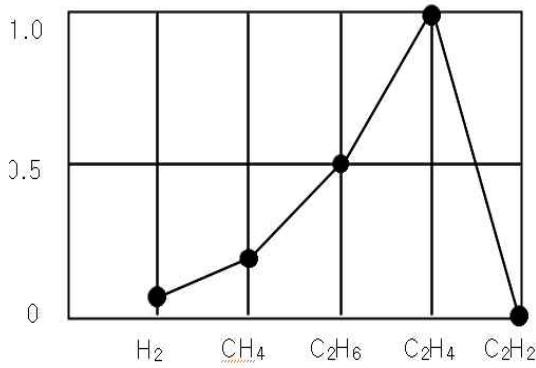
에틸렌(C₂H₄) 주도형



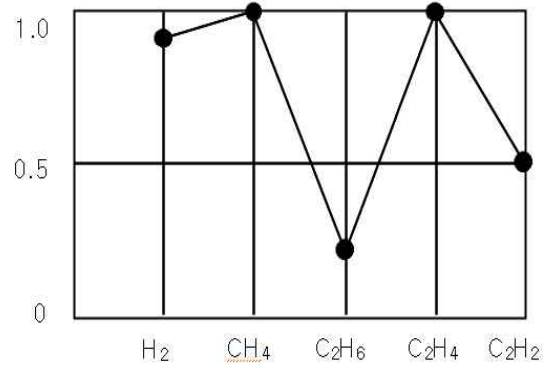
C₂H₄-A



C₂H₄-B



C₂H₄-C



C₂H₄-D

- 이상의 내용
이상의 내용은 CH₄ 주도형과 전부 동일하다.

5.2 가스 조성비에 의한 분석

IEC법은 검출된 가연성 가스중의 H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆의 5종 가스만을 대상으로 하여 3개의 조성비(C₂H₂/C₂H₄, CH₄/H₂, C₂H₄/C₂H₆)를 산출해 IEC법에 의한 이상진단표를 참고하여 이상현상의 내용을 추정하는 방법이다.

또 아래 표로 이상진단을 판정할 수 없을 때 그래프에 의한 해석방법을 이용하여 해석할 수 있다.

[IEC법에 의한 이상진단표]

상 황	전형적인 이상	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
PD	부분방전	NS ¹⁾	<0.1	<0.2
D1	저 에너지 방전	>1	0.1-0.5	>1
D2	고 에너지 방전	0.6 - 2.5	0.1-1	>2
T1	온도 이상 t<300°C	NS ¹⁾	>1 but NS ¹⁾	<1
T2	온도 이상 300°C<t<700°C	<0.1	>1	1-4
T3	온도 이상 t>700°C	<0.2 ²⁾	>1	>4

주1) 일부지역에서는 CH₄/H₂ 대신 C₂H₂/C₂H₆가 사용된다. 또한 약간 조성비의 한계값이 다를 수 있다.

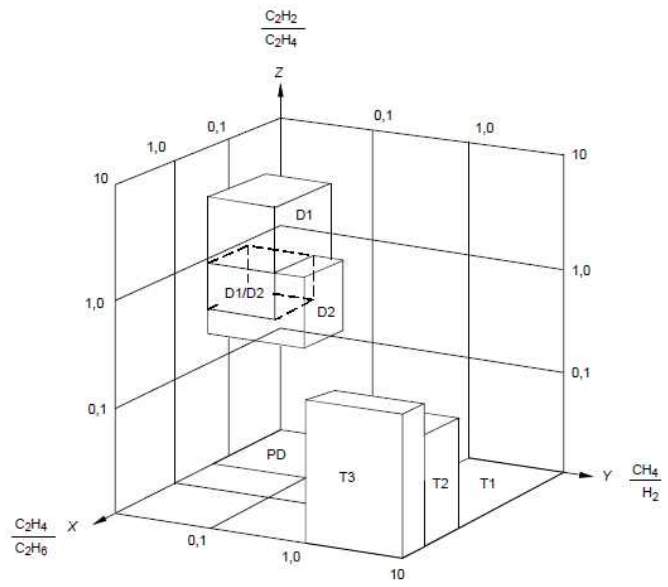
주2) 상기의 조성비는 중요하며, 적어도 그 가스들 중 하나는 주목해서 계산해야하고 대표적인 값 이상의 증가율에 대해 계산해야한다.

주3) 측정 변압기에서 부분방전에 대해서 CH₄/H₂<0.2, 부싱에서 부분방전에 대해서 CH₄/H₂<0.07를 적용한다.

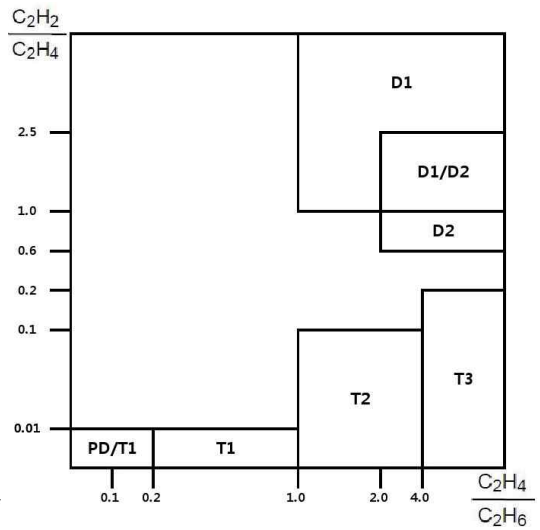
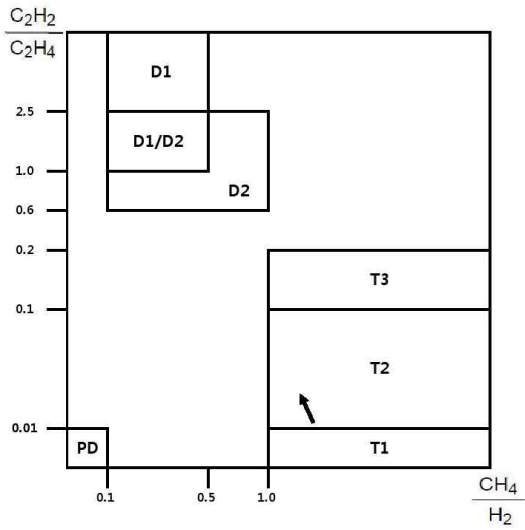
주4) 부분방전과 유사한 가스 분석 패턴은 140°C 이상의 온도에서 과열된 철심 라미네이트 사이에서 얇은 오일 필름의 분해 결과로 형성 된다.

¹⁾NS = 중요하지 않은 값

²⁾C₂H₂ 양의 증가는 고온 부 온도가 1,000°C 이상인 것을 의미한다.



IEC 1 04398



약 호	설 명
PD	부분방전
D1	저 에너지 방전
D2	고 에너지 방전
T1	온도 이상, $t < 300^{\circ}\text{C}$
T2	온도 이상, $300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$
T3	온도 이상, $t > 700^{\circ}\text{C}$

[가스 조성비 그래프에 의한 분석]

주1) 화살표는 증가되는 온도를 지시한다.

주2) 각 축들은 명확한 해석을 위해 10개의 값들로 제한되지만 실제로 값들은 제한 없이 적용된다.

* IEC - 60599(Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis)

[부록] 유중가스분석 DATA

KESCO



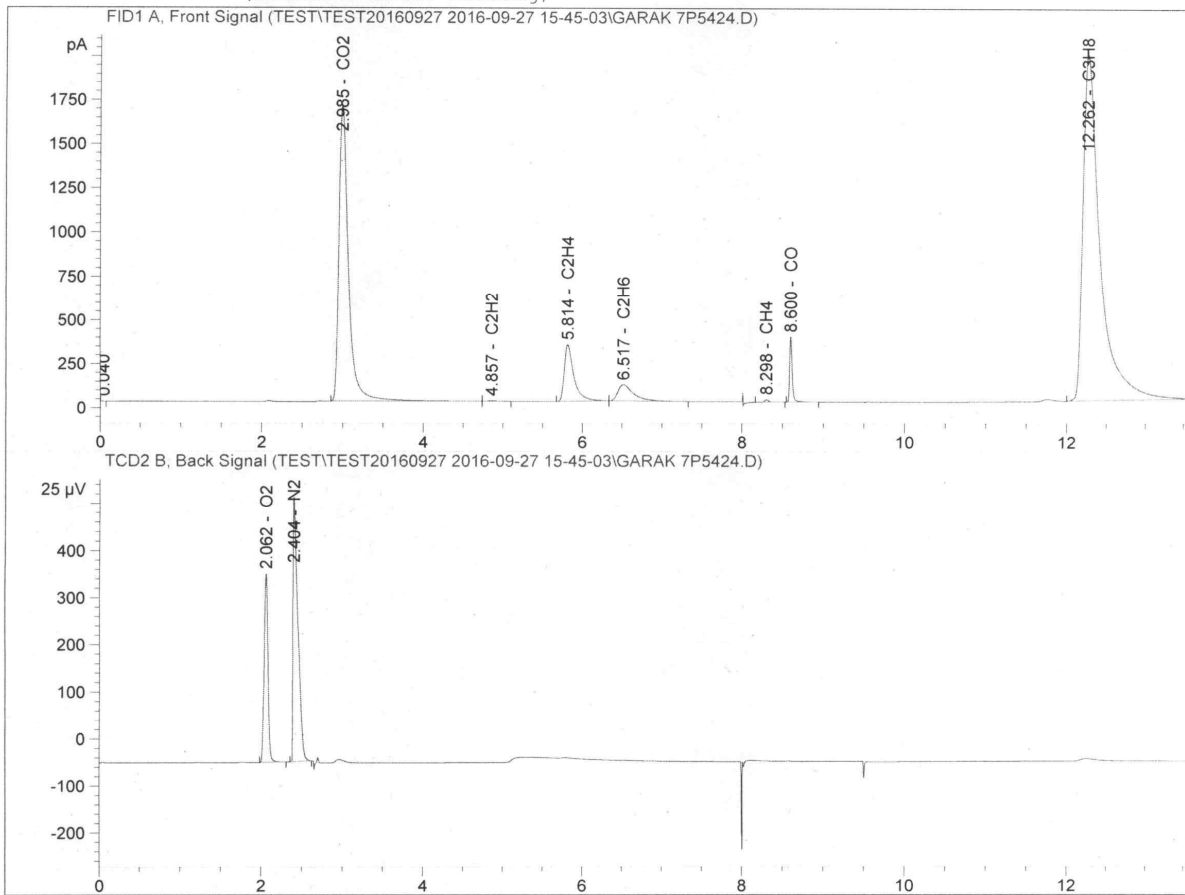
2. 진단 결과 DATA

1	7P5424
---	--------

Data File C:\CHEM32\1\DATA\TEST\TEST20160927 2016-09-27 15-45-03\GARAK 7P5424.D
 Sample Name: TEST

```

=====
Acq. Operator   : KESCO                               Seq. Line : 40
Acq. Instrument : Instrument 1                         Location  : Vial 40
Injection Date  : 9/28/2016 1:34:53 PM                Inj       : 1
                                                    Inj Volume: Manually
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\TEST\TEST20160927 2016-09-27 15-45-03\20160927_B.M
Last changed   : 9/27/2016 2:56:59 PM by KESCO
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\20160927_B.M
Last changed   : 9/28/2016 3:04:58 PM by KESCO
                (modified after loading)
  
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 9/28/2016 3:05:05 PM
Multiplier:    : 1.0000
Dilution:      : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Data File C:\CHEM32\1\DATA\TEST\TEST20160927 2016-09-27 15-45-03\GARAK 7P5424.D
Sample Name: TEST

Signal 1: FID1 A, Front Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [ppm]	Grp	Name
2.985	BB	1.38097e4	2.34525e-1	3238.72101		CO2
4.857	BB	23.77862	1.15506e-1	2.74657		C2H2
5.814	BB	2718.14087	1.91942e-1	521.72566		C2H4
6.517	BBA	1277.69434	1.48944e-1	190.30526		C2H6
8.298	BB	49.11704	1.32614e-1	6.51361		CH4
8.600	BB	836.86816	9.39444e-2	78.61905		CO
12.262	BB	2.99591e4	2.59130e-1	7763.29167		C3H8

Totals : 1.18019e4

Signal 2: TCD2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [25 μ V*s]	Amt/Area	Amount [ppm]	Grp	Name
1.768		-	-	-		H2
2.062	BB	1325.93286	22.72713	3.01346e4		O2
2.404	BBA	2371.82959	17.90602	4.24700e4		N2

Totals : 7.26047e4

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

=====
*** End of Report ***