

절연유중의 수분 및 Furfural 검출을 이용한 유입변압기 상태진단

論 文

54C-12-6

Diagnosis for the Transformer depend on Moisture and Furfural Detecting in Oil

崔光範[†] · 魚秀榮^{*} · 權東震^{**} · 李東俊^{*}

(Gwang-beom Choi · Soo-young Eo · Dong-jin Kweon · Dong-joon Lee)

Abstract - In this paper, a present condition with gas-in-oil diagnosis which used to condition analysis for oil insulated transformer is investigated and reason why hydrogen used to basic diagnosis for the transformer is described. This paper gives an overview of background knowledge that should to consider as moisture detecting of oil immersed paper and how could we approach to life expectancy of oil insulated transformer through detecting furfural compound.

Key Words : Transformer, Diagnosis, Furfural, Moisture-in-Oil, Gas-in-Oil

1. 서 론

전력설비의 안정적인 운영을 위하여 유지 보수하는 과정에서 과거의 TBM(Time Based Method)방식에서 탈피해 최근에는 CBM(Condition Based Method)방식을 선호하는 추세이다. 이러한 보수기법을 이용하기 위해서는 전력설비의 정확한 상태 판단을 위하여 운전중에도 설비의 상태를 감시할 필요가 있으며, 또한 고장의 징후가 보이는 때에도 설비 내부의 정밀 점검 없이도 고장의 원인과 장소를 추론해 낼 수 있는 도구들이 요구된다. 전력용 변압기에서는 이러한 기능들을 수행할 수 있는 진단기법이 여러 가지가 있으나, 현재 국내에서 가장 널리 이용되고 있는 방법이 유증가스 진단기술이며, 고장징후 발생시 고장의 위치 및 정도 파악을 위하여 사용되는 기술이 초음파 진단 기술이다. 유입변압기의 절연유에서 검출이 가능한 가스류, 수분 및 여러 화합물 등은 신유에서는 거의 검출이 되지 않는 것이 정상이며, 변압기의 사용연수가 증가하거나, 변압기 내부에서 어떠한 문제들이 발생함으로써 인하여 절연지와 절연유를 포함한 변압기 부속물들에서 생성되는 부산물로 볼 수 있다. 따라서 이러한 부산물들 중 절연유에 용해되는 것들을 소량의 절연유 채취를 통해 검출하여 변압기 내부의 상태를 간접적으로 유추하는 것이 가능하다. 본 논문에서는 이러한 절연유 내부에 용해된 여러 가지 부산물들 중 수분과 furan 화합물 검사를 통한 변압기 상태진단에 관하여 연구하였다.

2. 본 론

(1) 유증가스 진단기술

절연유중의 가스 진단을 통한 변압기의 상태점검은 아주 유용하고도 신뢰성있는 기술이다. 변압기에서 절연유는 사람으로 비유하자면 혈액과 같은 것으로, 변압기 내부의 많은 부속품들에서 발생할 수 있는 부분방전이나 과부하에 의한 과열 혹은 순환전류고장 등 비정상적인 상태에 대한 대변자 역할을 해 준다. 또한 유증가스를 통한 변압기 상태진단은 변압기의 운전 중에도 가능하므로, 온라인 감시를 위한 장치들도 많이 개발되어 있다. 이러한 여러 가지 장점들로 인하여 변압기 상태진단을 위한 유증가스 진단장치가 세계적으로 널리 쓰이고 있으며, 국내에서도 이미 널리 보급되어 있다. 한국전력공사에서는 가연성 가스인 CO, C₂H₂, H₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈, TCG(Total Combustible Gas)등의 8가지 항목과 추가로 CO₂ 분석을 통하여 변압기의 과열과 부분방전 상태진단을 수행하고 있다. 이 가스들은 변압기 절연물의 이상 혹은 고장으로의 진전 상태를 알아내는데 최적의 결과를 낼 수 있는 종류의 가스들이다. 또한 근래에는 유증수분이나 Furan 화합물의 함량을 검출 및 이력관리하여 절연유의 절연성능 평가와 더불어 절연지의 열화정도 및 수명까지 유추해 낼 수 있는 기반이 조성되고 있다

(2) 절연유중 검출 가스

현재 국내의 전력회사에서 도입 및 실행중인 유증가스 분석 방식은 크게 온라인과 오프라인으로 구분할 수 있다. 온라인 방식으로는 절연유 내의 수소가스 위주로 검출하여 상시 감시를 하고 있으며, 오프라인 방식으로 검출하고 있는 가스는 수소를 포함한 6가지 가연성 가스 및 CO₂ 가스 등이다. 온라인으로 검출하고 있는 수소가스는 주로 변압기의 초기고장을 판단하기 위한 1차진단의 목적으로 쓰이고 있다

[†] 교신저자, 正 會 員 : 태광이엔시 진단팀
E-mail : anliang@hanmail.net

^{*} 正 會 員 : 태광이엔시 영업기술팀

^{**} 正 會 員 : 한전전력연구원 변전기술그룹

接受日字 : 2005年 9月 21日

最終完了 : 2005年 10月 7日

며, 다종류 가스는 정기적인 오프라인 점검을 통하여 좀 더 정밀한 변압기 상태점검에 이용되고 있다.

가. 수소(H₂) 가스

변압기의 내부 고장시 발생하는 열에너지 혹은 전기에너지는 절연지, 절연유 및 기타 변압기 내부 부속물 등에 화학적 분해와 변화를 일으키고, 그 결과물로 여러 가지 가스 및 화합물이 발생한다. 그 중 유증가스에서 내부 고장온도에 대하여 가장 폭넓게 발생하는 가스가 수소가스이며, 그림 1에 이를 나타내었다.

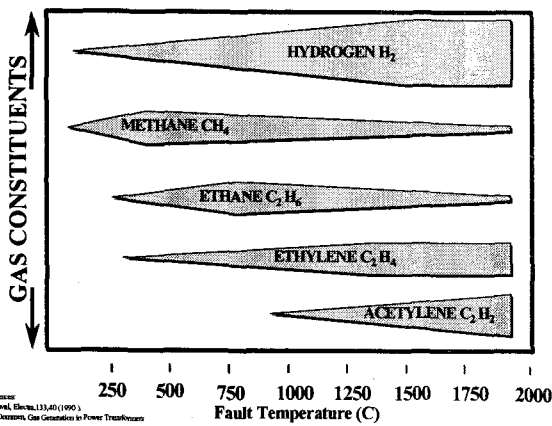


그림 1. 고장온도에 따른 절연유 분해가스 발생량
Fig 1. Gas-in-oil generating rate by fault temperature

수소가스는 고장온도에 따라 발생량이 지속적으로 증가하므로 변압기 내부고장에 따른 모니터링의 대상으로 최적이기 때문에 주로 변압기의 이상 유무만을 실시간으로 판단할 수 있는 1차진단의 목적으로 쓰이고 있다.

나. 다종류 가스

CO, CO₂, H₂ 및 탄화수소계 가스들을 분석할 수 있는 다종류 가스분석장치는 현재 국내 전력회사에 2개소에 설치되어 전체 변전소의 절연유를 정기적으로 분석하고 있다. 단순히 수소가스만을 검출하는 온라인 장비에 비하여 고장상태 및 고장의 심각성 등을 좀 더 세밀하게 분석할 수 있는 장점이 있으나, 경제적인 이유로 온라인 설치는 되지 않고 있다.

절연유에서 검출한 다종류 가스는 여러 가지 기준을 통하여 변압기의 건전성 여부를 판단하게 된다. 이러한 기준들은 전력회사 자체의 주변압기 운영기준을 비롯하여 아래와 같은 여러 가지 진단 알고리즘을 사용하여 종합적인 판단을 하게 된다.

- KEPCO 기준에 의한 진단
- 가스패턴에 의한 진단
- IEC코드를 이용한 진단
- Donenburg법에 의한 진단
- Rogers법에 의한 진단
- Triangle법에 의한 진단

위와 같은 진단법들에 의한 결과로 일단 변압기 내부 방전의 징후가 농후하다고 판단되면 초음파 진단법을 사용하여 고장위치를 파악하는 것이 변압기 유지보수에 효과적이다.

(3) 수분 및 Furan 화합물 진단기술

유입변압기 내의 수분은 변압기에 치명적인 요소이다. 수분은 절연지의 인장강도를 감소시킬 뿐 아니라, 그림 2와 같이 고온에서 거품을 일으켜 변압기의 절연성능을 크게 저하시켜 부분방전을 발생시키는 직접적인 요인으로 작용할 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 변압기 내의 용존 수분을 정확히 측정하여 적절한 조치를 취하는 것이 매우 중요하나, 국내에서는 아직 수분측정이 이루어지지 않고 있으며, 또한 측정된 수분 량에 대한 적절한 판단을 위한 현실적인 진단 기준의 개정이 필요한 상태이다.

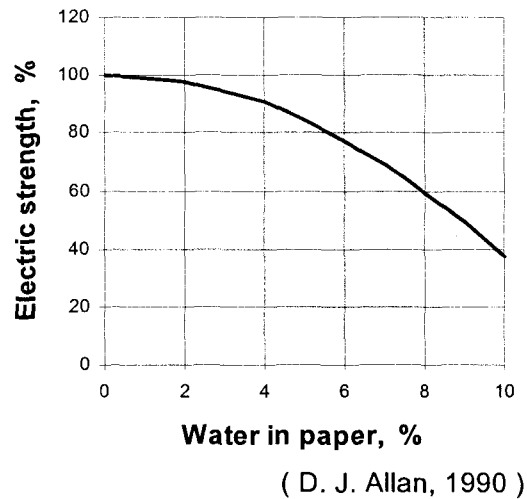


그림 2 절연지 수분함량과 절연강도
Fig 2 Dielectric strength depend on water in paper

Furan 화합물은 절연지를 포함한 변압기 내의 목재성분 절연물의 열화 및 분해에 의해 발생하는 화합물로서 절연지의 열화정도를 가장 잘 파악할 수 있는 검출물이며, 변압기의 수명판단에 주요한 판단수단으로 사용될 수 있다. Furan 화합물 역시 국내에서는 아직까지 크게 활용되고 있지 않는 검출물로서 검출된 양에 따른 변압기의 상태진단 기준의 마련이 필요한 상태이다.

(가) 수분

절연지의 수분함량을 검출하는 것은 측정방법이 어려움에 따라 절연유의 수분을 측정하여 절연지의 수분함량을 유추해 내는 것이 일반적인 방법이다. 이를 위해 절연지와 절연유 사이에 형성될 수 있는 수분 분할곡선을 사용하는데, 이러한 곡선은 반드시 변압기의 절연지와 절연유가 대등관계가 성립되었을 때에만 유용하며, 또한 이 곡선의 데이터에 대해서는 지금까지 외국에서 수많은 연구가 있었다. 그러나 유증 수분함량으로 절연지 내의 수분함량을 유추해 내는 데

는 여러 가지 어려움이 따르는 일이며, 변압기는 항상 절연지와 절연유 사이에 동적 대등관계를 이루고 있지는 않다. 그럼에도 유중 수분 측정의 궁극적 목적은 절연지의 수분함량 측정이며, 실제로 수분 측정은 절연유를 통하여서만 가능하므로 그러한 어려움이 모두 극복되어야만 한다.

(a) 절연지내 수분의 존재형태

절연지에서의 수분의 형태는 네 가지로 구분될 수 있는데, 절연지 표면에 흡착, 증기, 모세관 안의 자유 수분 입자, 절연지에 흡수된 자유 수분 입자 등이다. 또한 절연유중에 존재하는 수분의 형태는 세 가지로서 용해된 수분, 절연유 고분자 경계면에 있는 수분, 응결된 자유 수분 입자 등이다. 이중 절연유 고분자 경계면의 수분은 열화된 절연유에서 많이 발생되며, 응결된 자유 수분 입자는 절연유 안의 수분이 포화되었을 때 더 이상 용해되지 못하여 발생하는 형태의 수분이다.

(b) 절연지와 절연유 수분 사이의 동적 곡선

절연유와 절연지내의 수분은 서로 동적인 대등관계를 가지고 있는데, 절연유가 과다한 수분을 함유하면 절연지가 이를 흡수하고, 절연지에 비해 절연유가 건조하면 절연지가 절연유로 수분을 방출하지만, 둘 사이에 안정한 상태가 되어 서로 균등한 상대습도를 가지게 되는 상태가 되면 동적 대등관계가 성립되었다고 말한다. 그런데 절연유의 수분 용해량은 그림 3과 같이 온도에 따라 변화하는 함수이며, 더구나 절연유의 경년열화 정도에 따라서 변화하는 함수이기도 하다. 따라서 실제로 절연유의 용존 수분량으로 절연지의 정확한 수분함량을 산출하는 것은 어려운 일임에 틀림없다. 현실적으로 절연유의 열화와 온도를 동시에 고려하여 절연지와 절연유간의 대등관계 곡선을 만들어 내는 것은 매우 어려운 일이므로, 지금까지 발표된 연구들은 대부분 절연유의 열화정도는 고려하지 않고, 수분측정시의 온도와 결합하여 절연지의 수분함량을 추정하고 있다.

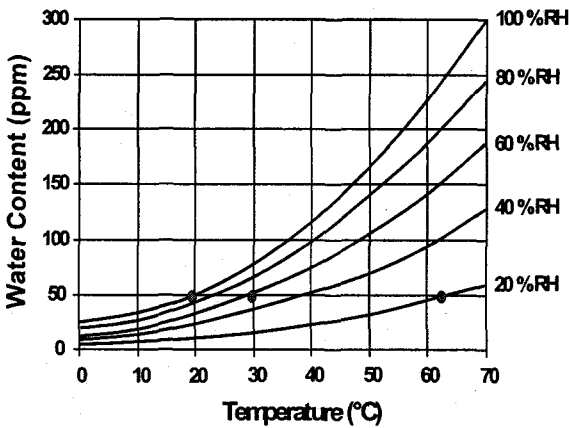


그림 3 온도에 따른 절연유내의 수분포화
Fig 3 Variation of relative saturation depend on oil temperature

제조사마다 차이는 있으나, 일반적으로 절연지는 자체 무게의 약 10%까지의 물을 흡수할 수 있으며, 절연유는 수분에 매우 낮은 용해도를 나타낸다. 전술한 바와 같이 절연유의 수분포화농도는 온도에 따라 차이가 있으나, 그림 3과 같이 50°C에서 절연유가 흡수할 수 있는 최대 수분은 160ppm(0.016%)이다. 따라서 같은 중량을 기준으로 절연지는 절연유보다 약 600배 이상의 수분을 흡수할 수 있다. 따라서 변압기에서 용존 수분의 대부분은 절연지에 존재하고 있으며, 특히 운전중인 변압기 절연유내의 수분 양은 운휴중인 변압기 절연유내의 수분 양보다 월등히 많으며, 절연유의 냉각 중에 절연유로부터 절연지로 수분의 이동현상이 나타나는데, 이때 수분의 이동시간이 절연유의 냉각시간보다 길기 때문에 절연유의 냉각 시에는 절연유의 수분이 포화되는 현상이 나타난다. 따라서 절연유내의 수분의 함량을 결정하는 것은 결국 절연지내 수분의 함량이다.

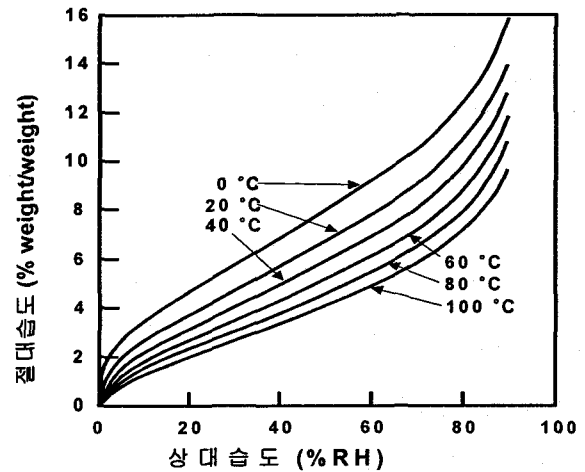


그림 4 절연지의 상대습도와 절대습도
Fig. 4. Absolute humidity with relative humidity

그림 3의 곡선을 사용하여 절연유 샘플링 당시의 온도와 유중절대습도[ppm]를 알면 절연유의 상대습도[%]를 구할 수 있으며, 절연지와 절연유가 동적인 대등관계가 성립되었다고 가정하면, 절연유의 상대습도는 절연지의 상대습도와 같다고 할 수 있으므로, 그림 4와 같은 곡선을 이용하여 절연지의 실제 습도[%]를 구할 수 있다.

(c) 상대습도 측정의 한계점과 극복방안

절연유의 상대습도를 이용하여 절연지의 절대습도를 도출해 내기 위해서는 전술한 바와 같이 절연지와 절연유의 대등관계가 이루어져야 하지만, 변압기의 부하변동이 심하든가 외기 온도의 영향으로 인하여 절연유의 온도가 항상 일정할 수 없으므로, 절연지와 절연유 사이에서는 어느 정도 수분이 항상 이동하고 있으며, 일반적으로 수분의 전파시간이 변압기 절연유의 냉각시간보다 훨씬 길어서 정확한 대등관계를 얻어내기란 매우 힘든 일이다. 이러한 문제점에 대한 해결 방안으로 온도와 수분 값을 온라인 측정장치를 사용하여 지속적으로 감시하여 습기의 대등관계곡선을 적용할 적합한

조건의 검출을 하도록 해주는 방안이 있다.

(d) 절대습도 및 상대습도를 이용한 IEEE 규격

절대습도에 대한 IEEE 권장 지침은 다음과 같으며, 운전 중인 변압기 절연유의 수분함량이 대상이다.

표 1 운전 중 변압기의 절연유 수분함량의 IEEE 권장량 (C57.106/D7)

Table 1 Absolute humidity in oil by IEEE recommendation on service(C57.106/D7)

| 전압 | 절연유중 절대수분함량 |
|----------|-------------|
| <69kV | 20ppm 이하 |
| 69~230kV | 10ppm 이하 |
| 230kV 이상 | 10ppm 이하 |

상대습도 해석을 위한 IEEE 지침은 표 2에 나타난 바와 같으며, 절연지의 절대습도량으로 나타난 IEEE 표준을 표 3에 나타내었다.

표 2 상대습도 해석을 위한 IEEE 지침(C57.106/D7)

Table 2 Relative humidity in oil by IEEE recommendation on service(C57.106/D7)

| 절연유의 상대습도 | 절연지의 상태 |
|-----------|--------------------------|
| 0 - 5 | Dry Insulation |
| 6 - 20 | Moderate - Wet |
| 21 - 30 | Wet Insulation |
| > 30 | Extremely wet Insulation |

표 3 절연지의 절대습도 해석 IEEE 표준(Std 62)

Table 3 Absolute humidity in paper by IEEE standard on service(Std 62)

| 절연지의 절대습도[%] | 절연지의 상태 |
|--------------|------------------------------|
| 0 - 2 | Dry Insulation |
| 2 - 4 | Humid Insulation |
| 4.5 초과 | Excessively Humid Insulation |

(나) Furan 화합물

변압기를 구성하고 있는 부속물들에는 고장 발생시 부품 교체 등을 통하여 유지보수 후에 정상적 운영을 계속할 수 있는 부품이 있는가 하면, 유지보수를 통해 교체가 불가능하여 부속의 수명을 끝 변압기의 수명으로 볼 수 있는 부품이 있다. 예를 들어 변압기의 절연물 중에서 절연유는 전자에

해당하며, 대부분의 고체절연물 특히 절연지가 후자의 경우에 해당하게 된다. 이를대면 절연유 자체의 열화로 인하여 절연유가 기능을 다 하지 못한다면 탈기나 여과 혹은 신유로의 교환을 통하여 변압기가 정상적인 기능을 하도록 할 수 있으나, 절연지나 프레스보드의 열화는 교체할 수 있는 부속물이 아니므로, 사실상 변압기 전체적 열화로 봐도 무방하다고 할 수 있다는 것이다. 또한 절연지와 프레스보드의 기계적 성질을 비교하면 표 4와 같이 정리할 수 있는데, 이러한 점으로 유추해 보아 절연지는 프레스보드에 비해 기능적으로 열성이므로, 절연지의 기계적 성질 즉 인장강도 저하로 인한 절연지 열화는 변압기의 전체 열화로 보아도 된다는 근거이다.

표 4 프레스보드와 절연지의 기계적 성질

Table 4 Mechanical characteristic of insulation paper compare with pressboard

| | 프레스보드 | 절연지 |
|------------------|-------|-----|
| 권선온도상승에 따른 온도상승률 | 낮음 | 높음 |
| 열화에 의한 기능저하 | 낮음 | 높음 |
| 인장강도 저하율 | 낮음 | 높음 |

(a) 절연지의 열화요인

유입변압기 절연지의 열화요인은 과열, 수분, 산소 등 크게 세 가지로 나눌 수 있는데, 이러한 열화요인들의 공통점은 절연지의 화학구조를 변형시킨다는 점이다. 절연지는 흔히 목재성분에서 추출되어 90% 이상이 셀룰로오스로 구성되어 있다. 셀룰로오스는 포도당 분자로 이루어진 고분자 화합물로서 극성 화학구조를 가진 수분에 약하고, 자기 중량의 평균 8-10%까지의 수분을 흡수할 수 있는 물질이기도 하다. 이때 포도당 분자의 체인이 몇 개나 연결되어 이루어졌느냐에 따라 절연지의 기계적 강도가 결정되는데, 이러한 분자의 연결 개수를 DP(Degree of Polymerization)라 하여 절연지 수명의 척도로 사용하고 있는 것이 일반적이다. 그 이유는 DP의 감소는 곧 절연지의 분해정도를 나타내는 것이며, 이것이 절연지의 인장강도와 직접적으로 결부되어 있기 때문이다.

표 5 열화요인이 절연지 화학구조에 미치는 영향

Table 5 Affection to paper composition by degradation element

| 열화요인 | 절연지 화학구조에 미치는 영향 |
|------|--|
| 과열 | <ul style="list-style-type: none"> ● Glucose 분자 생성 ● 수분 생성 ● CO + CO₂ 생성 ● Furan 화합물 생성 |
| 수분 | <ul style="list-style-type: none"> ● Glucose 분자 생성 |
| 산소 | <ul style="list-style-type: none"> ● Glucose 분자 결합 약화 ● 수분 생성 |

일반적으로 새로운 변압기의 DP는 약 800-1,200 사이이며, 이러한 DP가 좋고 나쁨은 절연지 제조 시 건조가 얼마나 잘 되었느냐에 따라 증대하게 영향을 받는다. 절연지의 DP 감소가 기계적 성질에 심각한 영향을 주기는 하나, 그에 비해 상대적으로 전기적 절연성 혹은 유전적 성능에 미치는 영향은 적은 것으로 보고되고 있다. 절연지 열화에 영향을 미치는 열화요인이 절연지의 화학구조에 어떠한 영향을 미치는지 표 5에 정리하였다.

(b) 절연지의 열화지표

절연지를 열화시키는 열화요인들은 그림 5와 같이 절연지에 화학적 변화를 가하여 여러 가지 부산물격의 분자들을 생성해 낸다. 그러한 부산물들은 여러 가지가 있으며, 이들의 성분을 분석해 내고 양을 측정하면, 변압기 절연지의 열화정도를 파악할 수 있으므로, 이들을 변압기 절연지의 열화정도를 파악하는 열화 지표로 사용할 수 있다.

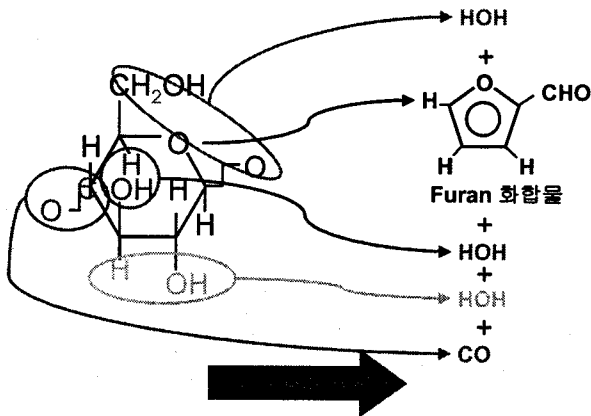


그림 5 Glucose 분자의 열분해
Fig. 5 Thermal degradation of glucose polymer

표 5와 같이 절연지 열화요인들이 절연지를 분해시켜 나오는 열화지표에는 수분과 CO, CO₂, Glucose 분자 등이 있다. 이 중에서 수분은 절연지의 열화로 인하여 발생하기도 하지만, 변압기 제작시 절연지의 흡습성으로 인하여 완전히 건조되지 않고 잔존하여 있던 수분과 내부 점검시 침투, 혹은 누기 등으로 인하여 외부에서 침투할 수 있는 요인이 많은 인자로서, 절연지의 열화를 판가름하는 척도로 즉시 적용하기에 곤란한 문제점이 있다. 또한 절연지와 절연유의 동적대응관계가 변압기 운전온도에 따라 민감하게 변화하여 정량 측정이 까다로운 문제점도 하나의 장애요인이 될 수 있으므로, 절연지의 열화지표로 사용하기에는 적합하지 않다. 그러나 수분은 엄연한 절연지의 열화요인 중 하나이며, 절연유의 절연성능을 저하시켜 변압기의 절연내력을 감쇄시키는 요인이다.

Glucose 분자는 권선에서 발생하는 열에너지에 의하여 산소와 결합하여 수분을 생성하기도 하며 또한 그 자체로 화학적 구조 변경을 반복하여 여러 가지의 Furan 화합물을 생성한다. 이 때 부수적으로 CO, CO₂, 아세톤 및 수분이 동반하여 발생하기 때문에, 변압기 절연지의 열화지표로 사용될

수 있는 것은 Furan 화합물, CO+CO₂, 아세톤이다. 그러나 아세톤은 연구된 사례가 적으므로 실제적으로 쓰이기에 많은 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 절연지 열화진단 지표로서 데이터가 풍부한 CO+CO₂와 Furan 화합물만을 다루었다.

(c) 절연지 열화지표를 사용한 열화진단

CO, CO₂ 및 Furan 화합물과 같은 열화지표를 이용한 열화 진단은 절연지를 직접 채취하여 DP를 측정하는 직접적인 방법에 비해 변압기 운전 중에도 측정이 가능하다는 커다란 장점이 있다. CO, CO₂ 및 Furan 화합물은 광유나 실리콘유에 녹아들어가는 분자이므로 절연유의 채취를 통하여 측정이 가능하므로 활선 감시가 가능하다. Glucose 분자는 오일에 녹지 않고 절연지에 대부분 엉겨있는 상태로 남아 있다.

1) CO+CO₂를 이용한 진단

절연지의 화학성분은 Glucose 고분자 화합물이 주성분이므로 탄소와 수소 및 산소성분으로 구성되어 있다. 또한 절연유는 탄소와 산소성분으로 구성되어 있으므로, CO와 CO₂의 발생 근원은 절연지와 절연유, 내부유입 산소 및 절연지 내의 용존 수분이 그 근원이 된다. 이러한 원리를 통하여 CO와 CO₂의 발생시 절연지의 열화에 의한 것이라고 판단할 수 있는 근거가 된다.

절연지의 DP가 저하하면 절연지의 기계적 성능저하, 즉 인장강도의 저하가 일어나는 이미 전술한 바와 같으며, 이러한 DP와 인장강도의 감소와의 상관관계를 그림 6에 나타내었다.

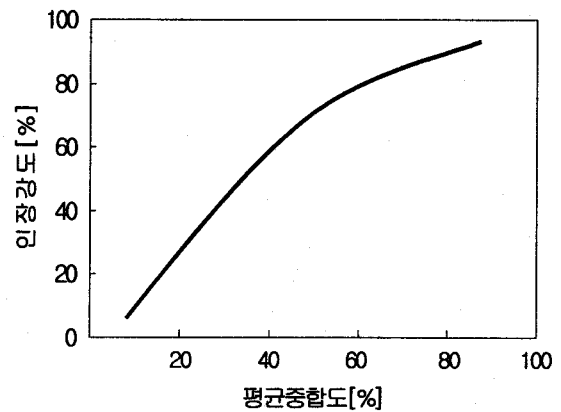


그림 6 절연지 DP와 인장강도의 상관관계
Fig. 6 Tensile strength of insulation paper depend on DP

그림 6과 같이 DP의 저하는 절연지의 인장강도에 비례하는 모습이며 이때 열화지표가 DP에 어떤 영향을 미치는지 알 수 있으면 곧 열화지표들이 절연지의 열화에 어떻게 작용하는지 알 수 있는 것이다. 열화지표인 CO+CO₂와 DP와의 상관관계를 그림 7에 나타내었다.

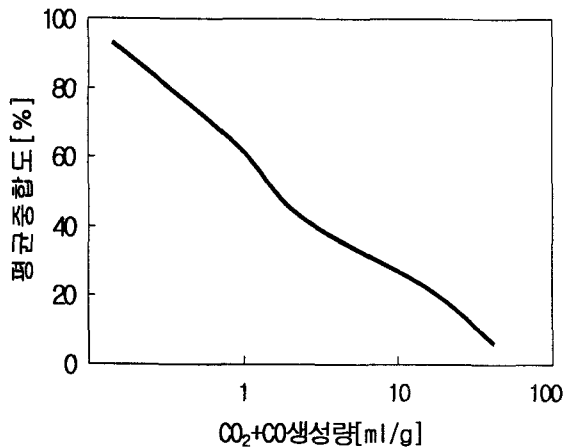


그림 7 CO₂+CO량과 DP의 상관관계
 Fig. 7 DP of insulation paper depend on CO₂+CO generating amount

그림 7을 통하여 CO+CO₂량은 DP와 반비례하는 관계라는 것을 알 수 있으나 정확한 지표로 삼기에 정확도에 약간의 문제는 있다. 그 이유는 CO+CO₂의 발생경로가 비단 절연지뿐만이 아니라 절연유와 용존수분 및 내부 침입 산소 등과의 결합을 통하여서도 발생 할 수 있는 가능성이 있기 때문이다. 그러나 기존의 다종류 유증가스 분석장치를 통하여 쉽게 분석이 가능하고 경제적 부담이 있긴 하지만 온라인으로 상시 감시가 가능한 장치 기술도 많이 발전되어 있는 것이 장점이다.

2) Furan 화합물을 이용한 진단

절연지에서 발생할 수 있는 Furan 화합물에는 Glucose 분자의 분해 및 재생성에 의하여 일반적으로 2-Furaldehyde, 5-Hydroxymethyl-2-Furaldehyde, Furfuryl alcohol, 5-Methyl-2Furaldehyde, 2-Acetyl furan 등의 5가지로 나눌 수 있다. 이는 ASTM에서 HPLC(High Performance Liquid Chromatography)법에 의하여 측정되고 있는 종류이나, 2-Furaldehyde(이하 Furfural로 표기)의 발생량이 가장 높아 DP와의 상관관계 연구에도 많이 활용되어 자료가 풍부하므로 본 논문에서는 Furfural만을 다루었다. 또한 Furfural은 발생근원이 절연지에 한정되어 있는 화합물이며 절연유에 녹는 성분이어서 활선상태에서 절연유의 채취만으로 절연지의 열화 감시를 하기에는 최적의 솔루션이다.

최근 외국에서는 고장온도 수준에 따른 Furan 화합물의 발생비를 연구하던가 Furfural 이외의 나머지 furan 화합물과 절연지 열화종류별 상관관계 연구와 같이 연구범위가 확장되고 있는 추세이며 Furfural과 DP와의 상관관계를 그림 8에 나타내었다.

그림 8과 같이 Furfural량과 DP는 지수적으로 반비례하는 형태를 띠고 있으며, Furfural의 근원이 절연지와 프레스보드 등의 종이 절연물에 국한된다는 점은 장해 요소없이 절연지의 DP상태를 파악하는데 좋은 조건이다.

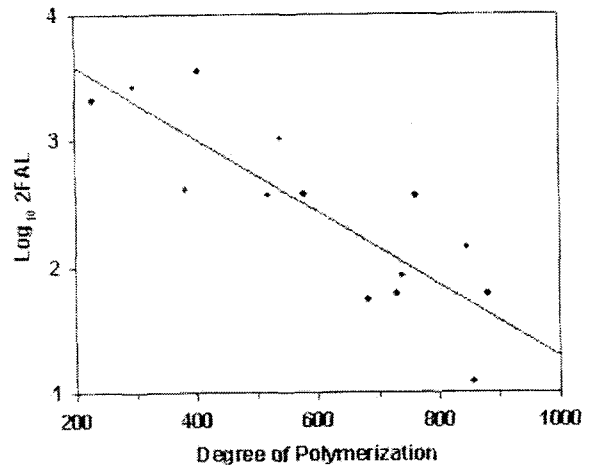


그림 8 Furfural과 DP의 상관관계
 Fig. 8 DP of insulation paper depend on furfural generating amount

3) CO+CO₂ 진단과 Furan 화합물 진단의 장단점

두 가지 열화지표를 사용한 절연지 열화진단은 변압기 절연지의 DP상태 파악에 비교적 좋은 조건들을 가지고 있으나 약간씩은 장단점을 가지고 있다. 이러한 장단점을 국내 전력회사 실정에 맞추어 표 6에 정리하였다.

표 6 열화지표로서의 CO+CO₂와 Furfural의 장단점 비교
 Table 6 Good and bad point of CO+CO₂ and furfural used to degradation index

| 열화지표 | 장점 | 단점 |
|--------------------|---|---|
| CO+CO ₂ | <ul style="list-style-type: none"> 온라인 감시 가능 분석이 이미 활성화됨 측정시간 상대적으로 짧음 | <ul style="list-style-type: none"> 온라인 감시기 경제적 부담 가중 절연지 상태유추에 장애요소 존재 자유 호흡식 변압기에 적용 불가 |
| Furfural | <ul style="list-style-type: none"> 종이절연물 상태 파악에 최적 자유 호흡식 변압기에 적용가능 휴대용 측정기기는 상대적으로 저렴 | <ul style="list-style-type: none"> 온라인 감시 불가 분석 활성화 미비 측정시간 상대적으로 길 |

표 6에 나타난 장단점을 고려하여 볼 때 신뢰성 있는 절연지의 잔여수명 평가를 위해서 Furfural값의 측정이 필요하며, Furfural의 측정 시기는 신규 변압기의 도입시, CO+CO₂량이 증가할 때 및 노후 변압기의 잔여수명 결정이 필요한 시기 등이다. 이때 절연지 중합도가 얼마나 남았을 때를 변압기 수명의 끝으로 정할 것이냐에 대한 것은 연구가 더 필요하다고 사료되나 보통은 절연지 인장강도의 50-60%를 절연지 수명으로 본다.

결 론

본 논문에서는 변압기의 신뢰도를 높이기 위한 변압기 상 태진단 기술로서 일반적으로 사용되고 있는 유증가스 검출 에 대한 진단법 대하여 기술하였고, 현재 국내에서는 활용되 고 있지 않으나 수분 및 Furan 화합물 진단시 얻을 수 있는 변압기 진단의 장점에 대하여 기술하였다. 이러한 것들이 적절히 활용된다면 변압기의 신뢰성을 높여주는 역할 뿐만 아니라 변압기의 수명예측까지도 바라볼 수 있는 기반이 마련 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D.J. Allan, "Transformer Oil Preservation Systems", AIEE Transaction, Part 3, Vol79, April 1990
- [2] T.V. Oommen, "Moisture Equilibrium in Paper-Oil Systems," Proceedings of the Electrical/Electronics Insulation Conference, Chicago ,IL pp. 162-166, October, 1983
- [3] J. Aubin, "Effects of Water in the Oil", GE Seminar on "Transformer Life Management", Canada, Montreal, 2002
- [4] "주변압기 운영 기준", 한국전력공사, 송변전처, 2002년 07월 개정
- [5] D.H. Shroff and A.W. Stannett, " A Review of Paper Aging in Power Transformers", IEE Proc., Vol 132 Part C, 1985
- [6] H Yoshida, Y. Ishioka, T. Suzuki, " Degradation of Insulating Materials of Transformers", IEEE Trans. Elect. Insul, Vol.22, 1987

저 자 소 개



최 광 범 (崔光範)

1973년 10월 14일생. 1998년 원광대 전기 공학과 졸업. 2000년 동대학원 졸업(석사). 2000년~현재 태광이엔시 부설연구소 진단 팀 선임

Tel : 031-467-7994, Fax : 031-444-3244

E-mail : anliang@hanmail.net



어 수 영 (魚秀榮)

1958년 10월 26일생. 1984년 인하대 전기 공학과 졸업. 1984년~2001년 한국전 력공사 재직, 2001년~현재 태광이엔시 영업기술 이사

Tel : 031-467-7929, Fax : 031-444-3244

E-mail : openvessel@tge.co.kr



권 동 진 (權東震)

1963년 1월 20일생. 1986년 서울산업대학 교 전기공학과 졸업. 1992년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 숭 실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전전력연구원 전력계통연 구실 선임연구원

Tel : 042-865-5862, Fax : 042-865-5844

E-mail : djkwon@kepri.re.kr



이 동 준 (李東俊)

1971년 12월 27일생. 1995년 숭실대 전기 공학과 졸업, 1997년 동대학원 졸업(석 사) 2003년 동대학원 졸업(공학). 2002 년~현재 태광이엔시 부설연구소 진단팀 팀장

Tel : 031-467-7990, Fax: 031-444-3244

E-mail : ajoony@tge.co.kr