

가스분석을 이용한 변압기의 이상진단 알고리즘 연구

최인혁*, 권동진*, 정길조*, 유연표**, 선종호***, 김광화***
 *전력연구원, **한국전력공사, ***한국전기연구소

A Study of the Preventive Diagnostic Algorithm of Gas in Oil for Power Transformer

I. H. Choi*, D. J. Kweon*, G. J. Jung*, Y. P. You**, J. H. Sun***, K. H. Kim***
 *KEPRI, **KEPCO, ***KERI

Abstract - Power transformers have a tendency of ultra-high voltage capacity as power demand increases day after day. KEPCO also will have plan to supply transmission power from 345KV to 765KV in the early of 2000. Therefore, the fault by insulation destruction gives rise to large area of power failure in huge capacity transformers. On-line predictive diagnostics is very important in power transformers because of economic loss and its spreading effect.

This study presents the algorithm for transformer oil analysis used KEPCO code, IEC code, gas pattern method and Dornenburg & Roger Ratio method. We also describe the MMI display of expert system programmed by Element Expert Tool(Neuron Data Inc.).

1. 서 론

전력수요가 날로 증가함에 따라 전력용 변압기가 고급화 및 대형화되는 추세에 있다. 이에따라 한전에서도 2000년대 초부터 현재의 345KV 송전을 765KV로 격상 공급할 계획이다. 따라서, 대용량화된 변압기의 절연파괴로 인한 피해가 막대하기 때문에 고신뢰도 운전을 위한 전력용 변압기의 상시 감시용 예방진단의 중요성이 크게 대두되고 있다. 이를 위한 변압기의 상시 예방진단 항목으로는 유증가스진단, 부분방전진단, 변압기온도진단, OLTC 진단, 팬, 펌프 및 모터 동작진단등이 있다.

본 연구에서는 변압기에서 발생하는 유증가스를 다중 가스분석장치를 통해 실시간으로 분석한 후, 이상이 발생되는 경우 변압기 내부의 상태를 진단하기 위한 알고리즘 및 전문가 시스템의 MMI 구축에 대하여 기술하였다. 적용된 판정기준은 한전 적용치를 1차로 적용한 후, 이상이 발생되는 경우 세부적인 이상 원인을 파악하기 위하여 국제적으로 공인된 IEC Code, Dornenburg & Roger법, 가스 Pattern법 등을 순차적으로 적용하였다. 본 연구에서 사용한 전문가 시스템은 Neuron DATA사에서 개발한 Element Expert이다.

2. 본 론

2.1 열분해가스의 발생

유입변압기에 arc 또는 부분방전과 같은 국부 과열현상이 발생하면 이 열원과 접촉하고 있는 절연유나 절연지 등의 절연물은 열에 의해 열화, 분해된다. 절연물의 열열화 현상은 화학반응에 의해 가스를 발생시키고 이 가스는 절연유 중에 용해되기도 하고 일부는 유연 상의 공간에 방출된다. 일반적으로 열분해가스는 수소, 저급 탄화수소(CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_2H_4 , C_3H_6 , C_2H_2)가스, 일산화탄소, 탄산가스 등 10여 종에 이른다. 이상의 종류에 따른 주요 열분해가스를 다음의 표 1에 정리하-

고 표 2에 절연유의 온도별 열분해 가스량을 나타내었다. 이상의 종류에 따라 발생가스가 다른 것은 이상 발생부의 재료 및 과열에 의한 온도가 상이한 데 기인하는 것이다. 또한 부분방전에 의한 열분해가스의 특징은 국부적인 높은 온도 때문에 다량의 수소가스와 아세틸렌 및 기타 탄화수소가스를 함유하며 arc에 의한 열분해가스는 다량의 아세틸렌 가스를 함유하는 것이 특징이다.

표 1 이상의 종류에 따른 주요 발생가스
(밑줄은 특징가스를 나타냄)

이상의 종류	주요 발생가스
절연유의 과열	<u>H₂</u> , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
고체 절연물의 과열	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , CO, CO ₂
절연유중에서의 방전	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , C ₃ H ₆
고체 절연물에서의 방전	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , C ₃ H ₆ , CO, CO ₂

표 2 절연물의 열분해가스 [cc/(1g Oil)]*

가스종류	230°C	300°C	400°C	500°C	600°C
CH ₄	-	-	4.2	425.8	584.8
C ₂ H ₆	-	-	-	4.5	260.1
C ₂ H ₄	-	-	-	1.7	324.7
C ₃ H ₈	-	-	4.2	11.8	20.8
i-C ₄ H ₁₀	-	-	5.5	32.6	69.7
C ₂ H ₂	-	-	-	-	-
H ₂	-	-	-	15.2	32.0
CO ₂	1.7	2.2	21.9	6.7	2.8
기타	-	-	-	9.6	22.5

* [cc/(1g Oil)]은 1g의 절연유가 분해될 때 발생하는 cc 단위의 가스량

2.2 각 유증가스 이상진단법에서의 모니터링 조건

표 1에 의하면 이상의 종류에 따른 발생가스의 종류는 H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, CO, CO₂의 총 9가지로 되어있고, 한전 345kV급 변압기의 가스분석 판정기준 및 분석주기와 IEEE C57.104-1991에 의한 판정기준에 사용되는 가스의 종류는 H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, CO, CO₂의 총 7가지로 구성되어 있다. Pattern에 의한 진단방법과 IEC pub.599에 따른 가스성분비 구성에 의한 진단방법, Dornenburg & Roger Ratio Method에 의한 진단방법에서 사용되는 가스의 종류는 공통적으로 H₂,

CH_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 의 5가지 가스종류를 사용하고 있다. 이와 같이 각 규격에서 사용되는 가스종류 및 수와 판정특성을 간략히 나타내면 표 3과 같다. 표 3에서 각 규격은 다양한 판정특성을 보이고 있으며, 따라서 이러한 다양한 특성들에 대한 공통적이고 신뢰성 있는 판정결과를 도출해 내기 위해서는 가능한 한 많은 가스종류를 측정하여 전문가 시스템에서 여러 가지 방법으로 규칙을 적용 추론한 후 절연상태 진단결과 및 이상유무와 같은 결론을 내리는 것이 바람직하다. 이러한 면에서 총 9가지의 가스를 모두 측정하는 것이 가장 좋은 방법이지만 현실적으로 on-line monitoring에서 9가지 가스를 모두 측정할 수 있는 장비를 구비하는 것은 불가능하다. 따라서, 현재 변압기의 7가지 가스를 on-line으로 분석할 수 있는 장비가 국외에서 개발된 상태이므로, 한전 345kV급 변압기의 가스분석에서 적용하고 있는 판정법 및 가스 Pattern분석법 등에 의한 이상현상진단에 적용할 수 있다. 만약 여러 가지 원인에 의하여 7가지 가스성분의 측정도 불가능하다면 전문가 시스템에서는 5가지 가스의 측정에 의한 IEC법, Dornenborg법 및 가스 Pattern분석법등에 의하여 이상현상을 진단할 수 있으며, 가스측정에 의한 진단을 추론하기 위해서는 최소한 H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 의 5가지 가스를 측정할 수 있는 가스 monitoring장비가 필요하다. 만약 앞에서 설명한 9가지, 7가지, 5가지 가스를 모두 측정할 수 없으면 일반적으로 변압기 절연시스템에서 어떠한 열화에서도 발생하는 H_2 가스를 측정하는 장비를 사용해야 하지만 H_2 가스만으로 전문가 시스템에서 이상의 종류를 판별할 수는 없다. 이상에서 가스 측정에 의한 변압기 절연상상을 종합적이고 신뢰성있게 진단하기 위해서는 가능한 한 많은 종류의 가스를 측정해야 하며 이상진단을 위해서는 최소한 H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 의 5가지 가스는 측정되어야 한다.

표 3 가스분석에 의한 판정 특성

참고문헌	가스종류	분석 가스 수	판정 특성
· 한전 345kV급 · IEEE C57.104-1991 · 대만 전력 345kV급	H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO , CO_2	7	· 절연상태 및 분석주기 결정 · 이상현상진단
· 가스 pattern 분석법 · IEC pub.599-1978 · Dornenborg & Roger Ratio Method	H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6	5	· 이상현상진단

2.2 유증가스 이상진단 알고리즘

본 연구에서 제시할 유증가스 이상진단의 전체 흐름도는 그림 1과 같다. 먼저 Monitoring System에서 각 가스의 농도를 입력받아 한전가스 기준치와 비교하여 요주의 및 이상이 발생되면 전문가 시스템을 활동시킨다. 전문가 시스템이 활동되고 나면 현재 변압기의 전반적인 절연상태를 확인하기 위하여 한전 가스분석 기준으로 요주의, 이상, 위험에 대한 평가를 한다. 그리고 나서, 가스발생 원인을 세부적으로 추적을 한다. 본 연구에서 적용하는 원인 추적방법은 IEC Code법과 Dornenborg법, 가스페턴법 세가지이다. 이중 IEC Code법은 변압기 고장 원인을 6가지로 구분을 짓고 있고 Dornenborg법은 3가지, 가스페턴법은 4가지로 분류하고 있다. 각 진단방법은 그 나름대로의 특징을 가지고 있지만 그 중 IEC법은 현재 한전에서도 참고처로 사용되고 있으며 신뢰도가 높은 원인추적법이다. 먼저 이 방법으로 원인추적을 한 후 해당사항이 없으면

Dornenborg법으로 다시 원인 추적을 한다. 이 방법은 IEC 방법보다는 광범위하게 추적을 한다. 여기서도 해당사항이 없으면 가스페턴법으로 추적을 행한다. 가스페턴법은 말그대로 패턴을 통한 원인 추적이기 때문에 실제적으로 추적 범위가 넓은 반면 신뢰도는 많이 떨어진다. 이후 여기서도 추적이 되지 않으면 전문가에게 문의를 하는 방법을 택하였다.

이상과 같은 원인 추적을 한 후 복합알고리즘에 의해 다시 분석된 결과와 상호 비교하므로 정확한 원인을 추정하게 된다. 복합알고리즘은 변압기 온도진단, OLTC 진단, 펜, 펌프 및 모터 동작 진단, 유연, 부분 방전의 과거, 현재결과를 확인하고 이를 가스 분석 및 고장 원인추적 결과와 비교하여 변압기의 고장원인에 대한 더욱 신뢰성 높은 결과를 유추한다.

이후 이 결과를 토대로 사선 정밀종합점검을 즉시 실시할것인지, 아니면 변압기 정밀점검을 실시 할것인지를 검토하게 된다. 종합점검 진단 항목으로는 권선비 측정시험, 권선저항 측정시험, 여자전류 측정시험 및 절연유분석시험등이 있으며, 이를 통하여 현재 변압기 내부의 몇몇 이상 원인을 추정할 수 있다. 권선비 측정시험을 통하여 권선에서의 Turn간, Section간의 절연계통 상태를 진단할수 있으며, 권선저항 측정시험은 권선의 연결상태를 파악하거나 권선이 병렬로 되어 있는 경우 회로의 개방이나 연결점의 고접촉 여부를 점출하기 위한 시험이다. 또한, 여자전류 측정시험은 권선내의 국부적인 파괴현상이나 자기회로가 존재할 경우 변압기의 상태를 파악하는데 유용한 방법이다. 또한, 고장정도에 따라

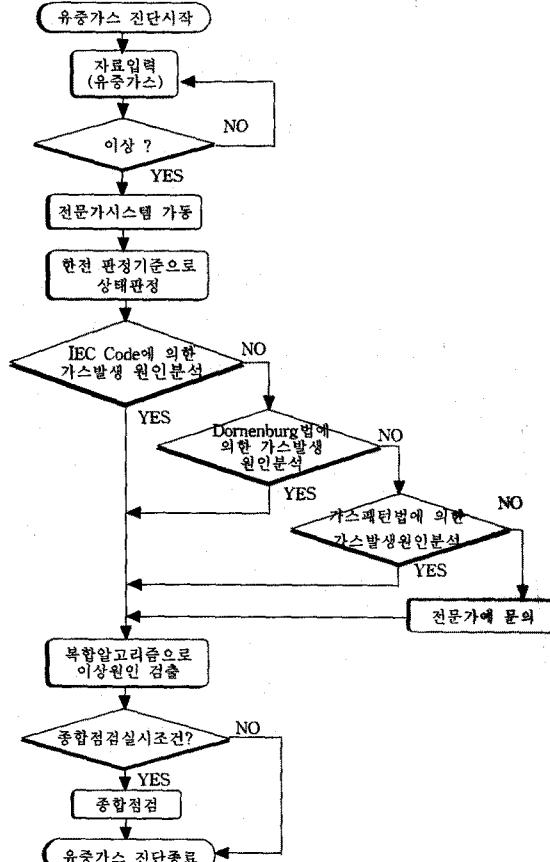


그림 1 유증가스 이상진단 알고리즘

마지막으로 종합점검 실시를 권고하게 되고, 종합점검이 실시되었다면, 그 종합점검 측정 데이터를 이용 마지막으로 변압기 상태를 진단하게 된다.

2.3 전문가 시스템에서의 MMI

이상의 알고리즘을 기초로 하여 현재 변압기 진단용 전문가 시스템을 Element Expert, Visual C++ 및 Visual Basic 프로그래밍 툴을 이용하여 구축하고 있다. 그림 2는 현재 prototype으로 구축된 MMI의 시작 화면이다. 그림 3은 전문가 시스템 구동 MMI 화면이다.

그림 1의 유증가스 이상진단의 전체 흐름도에서 같이 실시간으로 각 가스의 농도가 취득되면, 이상 여부를 확인하여 이상이 발생되면 전문가 시스템이 활동된다. 그림 3에서와 같이 각 가스의 농도에 의하여 한전 판정 기준치는 이상으로 진단되며, 세부적인 대상 변압기의 이상원인 분석을 위하여 IEC Code법에 의하여 분석을 수행한다. 그 결과 변압기 내부의 부분방전이 발생되었음을 알 수 있으며, 이에 따른 예상원인 및 복합 알고리즘에 의한 진단결과도 취득된 각 가스의 농도에 따라 얻을 수 있었다. 따라서, 변전설비에 대한 지식이 없는 비전문가라도 그림 3과 같이 출력된 화면을 통해 해당 기기의 이상 여부 및 진단 결과를 토대로 신속한 대처를 할 수 있을 것으로 사료된다.



그림 2 전문가시스템 구동 MMI 초기화면

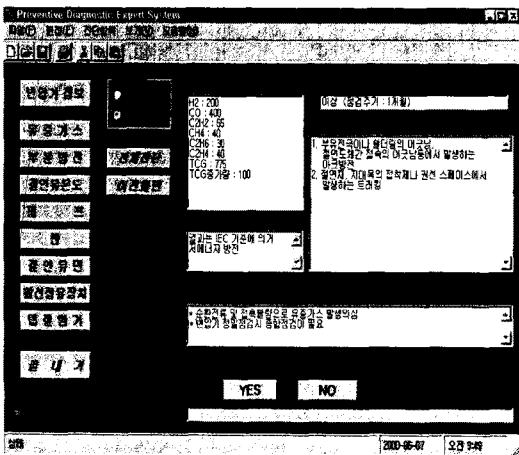


그림 3 전문가시스템 구동 MMI 주화면

3. 결 론

전문가 시스템 프로그램 개발용 tool software인 Element Expert를 사용하여 유증가스진단 전문가 시스템을 작성 후, 테스트한 결과 신뢰성을 입증할 수 있었다. 향후, 변압기의 복합 알고리즘 항목인 부분방전, 온도, OLTC, 팬, 펌프, 모터등의 결과와 상호 비교할 수 있는 복합 알고리즘을 구축중에 있으며, 각 진단 항목에 대한 추가적인 진단 규칙에 대한 연구도 진행중에 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김화수 외, "전문가 시스템", 집문당, 1998
- [2] 한국엑스퍼트(주), "Expert Elements 정기교육자료", 1996
- [3] 김영곤 외, "전자식 고장진단 전문가시스템의 지식베이스 모듈 구축", 한국정보과학회 가을 학술발표 논문집, pp. 393-396, Vol. 21, No. 2, 1994
- [4] 下中俊臣, "センサによる機器温度上昇監視の實際", 鉄道と電氣, Vol. 43, No. 3, ('89. 3)
- [5] 電氣協同研究會, "油入変壓器の保守管理", 電氣協同研究, 제 54卷, 第5号, 1999
- [6] 최인혁 외, "765kV 변전설비 예방진단 전문가 시스템 기본 설계", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 2133-2135, 1999
- [7] IEEE : IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-immersed Transformers, IEEE Std C57.104, 1991
- [8] IEC : Draft IEC 60599 E.d..2.0 : Mineral Oil-impregnated equipment in service-interpretation of dissolved and free gases analysis. 10/418/CDV, 1997