

지능형 유중가스분석법을 이용한 전력용 변압기 관리시스템 개발

(Development of Power Transformer Maintenance System Using Intelligent Dissolved Gas in Oil Analysis)

선종호* · 김광화*

(Jong Ho Sun, Kwang Hwa Kim)

Abstract

This paper describes development of power transformer maintenance system using intelligent dissolved gases in oil analysis. The used gases are acetylene(C₂H₂), hydrogen(H₂), ethylene(C₂H₄), methane(CH₄), ethane(C₂H₆), carbon monoxide(CO) and carbon dioxide(CO₂). The rule and neural network based gas analysis methods are used for artificial intelligent diagnosis. It is indicated that this program is efficient for diagnosis of oil immersed transformers diagnosis from application of gas analysis data of serviced transformer which has local overheating

1. 서론

유입식 변압기의 내부에 국부과열, 부분방전, 아크방전과 같은 이상이 발생하여 고장이 진행되면 변압기는 최종적으로 절연파괴된다. 절연파괴시 유입식변압기의 특성상 폭발 등과 같은 고장이 발생하여 큰 경제적 손실과 보수기간의 장기화 등으로 다른 전력기기의 고장에 비해서 큰 손실을 초래하게 된다. 유입식변압기가 절연파괴와 같은 큰 고장에 도달하기 전에 고장을 발견하고 보수하기 위한 진단법에 대한 연구가 많이 수행되어 왔지만 그 중 유중가스분석법이 현재에도 가장 신뢰성있고 일반적으로 사용되고 있다.

현재 여러 가지 유중가스분석법들이 전력회사나 연구자들에 의하여 개발되어 사용되고 있다. 이러한 유중가스분석법은 절연유 속에 용해되어 있는 탄화수소가스를 검출하여 가스량이나 가스의 경시증가량으로서 고장의 정도를 판정하고 그들의 크기로서 차기 분석시기를 결정하여주고 있으며, 가스비나 주도가스를 이용하여 고장원인을 진단하도록 되어 있다. 그러나 각 진단법마다 진단기준이 서로 다르고 판정에 전문가의 도움을 요하는 등 비 전문가들이 사용할 경우 판정에 혼란을 초래하고 그로 인하여 시간적 경제적 손실을 초래할 뿐만 아니라 보수시기를 놓쳐서 큰 고장을 일으킬 수도 있다. 그러므로 비전문가라도 유중가스분석법을 이용하여 유입식변압기를 신뢰성있게 보수하기 위해서는 이러한 단점을 보완하여 주는 유입식 변압기 관리시스템이 필요하다.

본 연구에서는 신경회로망과 규칙기반형 인공지능형 프로그램을 이용하여 판정에 필요한 탄화수소가스를 입력하면 고장의 원인을 예상하고 그에 따라 유입식변압기의 차기 고장시기를 추천하여 주며, 입력사항과 판정결과가 데이터베이스에 의하여 관리되는 지능형 유중가스분석법을 이용한 전력용 변압기 관리 프로그램의 개발과정에 관하여 설명하였다.

2. 프로그램의 구성

유중가스분석법은 크게 절연유와 관련된 고장과 절연지에 관련된 고장을 진단하고 판정할 수 있다. 절연유에 관련된 고장은 탄화수소계열 가스인 C₂H₂, H₂, C₂H₄, CH₄, C₂H₆ 가스에 의해서 판정되고 절연지에 관련된 고장은 CO와 CO₂ 가스에 의해 판정된다. 그림 1은 본 연구에서 개발된 프로그램의 전체 구성도를 보여주고 있다. 그림 1에서와 같이 5가지 탄화수소가스와 CO, CO₂가스를 입력하면 절연유진단부분과 절연지진단부분이 나누어져 진단을 수행하게 된다. 그림 1에서와 같이 전체 프로그램 중 지능형은 입력된 가스량으로서 정상 가부를 판정하는 부분과 고장원인을 진단하는 부분으로 되어 있으며, 가스량 크기로서 정상, 비정상을 먼저 판정한 후 판정결과가 정상이면 진단을 종료하며, 비정상이면 고장원인을 진단하게 된다. 절연유 진단의 경우 고장원인의 추정이 끝나면 보다 구체적인 고장현상을 추정하게 되고 절연유진단과 절연지진단을 종합하여 고장조치를 추천하며 마지막으로 고장현상을 종합추진하게 된다. 다음은 전체 흐름도에서 설명한 각 단계

에 대한 구체적인 내용을 프로그램의 HMI화면을 예로 들어 설명하고 있다.

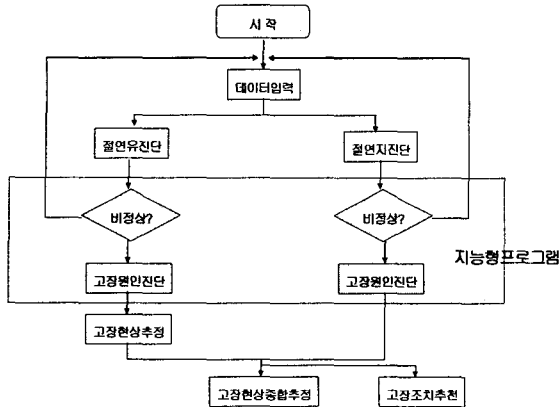


그림 1. 전력용변압기 관리프로그램 전체 흐름도
Fig. 1. Flow chart of developed program

3. 지능형 유증가스프로그램

3.1 규칙기반 지능형 프로그램

전항에서 설명하였듯이 7가지의 유증가스를 입력하면 C2H2, H2, C2H4, CH4, C2H6의 5가지 탄화수소가스량은 절연유와 관련된 고장의 정상가부를 판정하게 되고 CO, CO2가스량은 절연지와 관련된 고장의 정상가부를 판정하게 된다. 이러한 판정방법을 도식적으로 나타내면 다음과 같이 규칙기반형 프로그램이 된다.

IF C2H2 or H2 or C2H4 or CH4 or C2H6 > 기준치, THEN 절연유 고장원인진단수행.
IF CO, CO2 > 기준치, THEN 절연지 고장원인진단수행,
ELSE 데이터 취득 대기

가스량으로서 판정을 하는 기존의 진단법에서 제시하고 있는 진단기준치는 서로가 일치하고 있지 않으며, 만들어진 환경이 국내의 경우와 맞지 않을 수 있기 때문에 정상으로 운전되고 있다고 생각되는 약 4,000 여건의 국내의 발전용, 변전용, 산업체배전용 변압기의 가스분석결과를 통계처리하여 정상치의 95%를 이상기준값으로 설정하였다. 그림 2는 CO가스의 분포예를 보여주고 있다.

절연지의 CO와 CO2가스량이 기준치보다 크면 고장원인을 진단하게 된다. CO와 CO2 가스량은 절연지의 고장외에도 변압기 내의 수분이나 다른 재료로부터도 방출될 수 있으므로 다른 먼저 CO2/CO 가스비로서 절연지의 고장인지를 확인한 다음 절연유의 고장원인과 복합적으로 절연지의 구체적인 고장원인을 분석하게 된

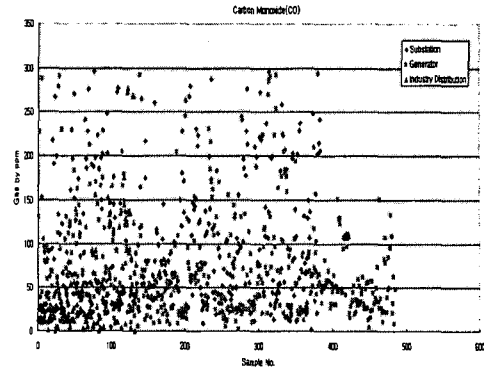
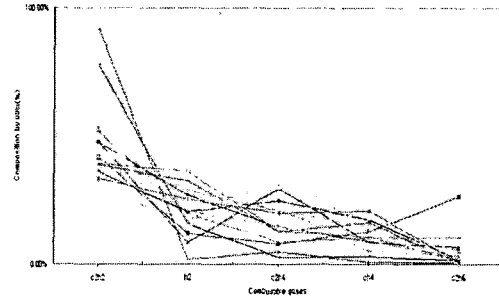


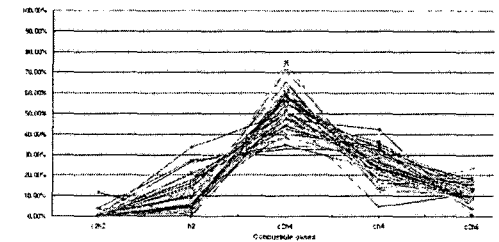
그림 2. 정상 판정 데이터의 변압기 종류별 CO의 분포
Fig. 2. Distribution of CO gas with normal transformers

3.2 신경회로망 지능형 프로그램

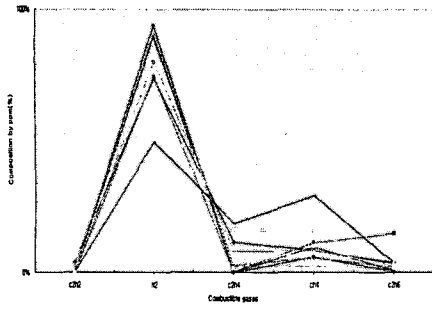
절연유고장과 관련하여 정상가부판정에서 비정상으로 판정되면 고장원인을 분석하게 된다. 절연유 고장원인분석에 사용되는 5가지 탄화수소가스는 과열, 아크방전, 부분방전과 같은 고장원인에 따라서 특징적인 가스구성을 가지게 된다. 실제 고장원인이 발견된 300여개의 전력용변압기 가스데이터의 구성을 분류한 결과 아크방전 2가지, 부분방전 1가지, 과열 4가지의 총 7가지 가스구성을 얻을 수 있었으며, 그림 3은 아크와 과열, 부분방전에 대한 가스구성 분포 예를 보여주고 있다.



(a) 아크 가스분포 예
(a) Examples of gas pattern for arc



(b) 과열 가스분포 예
(b) Examples of gas pattern for overheat



(c) 부분방전 가스분포 예
(c) Examples of gas pattern for PD
그림 3. 고장원인에 따른 가스구성 분포 예
Fig. 3. Gas pattern with fault causes

그림 3과 같은 고장원인에 따른 가스분포패턴을 인식하기 위하여 5가스 가스와 그 합을 입력벡터로 하고 7가지 고장원인을 출력벡터로 하는 학습을 실시하였다. 그림 4는 학습에 사용된 신경회로망 구조를 보여주고 있으며, 그림에서와 같이 사용된 총 층수는 입력층, 은닉층, 출력층의 3가지로 된 다층신경망을 사용하였으며, 학습시간을 고려하여 학습알고리즘과 은닉층의 노드수는 scaled gradient decent method와 210으로 하였고, 출력의 근접도를 0과 1사이에서 표현할 수 있도록 활성화 함수를 log sigmoid로 사용하였다.

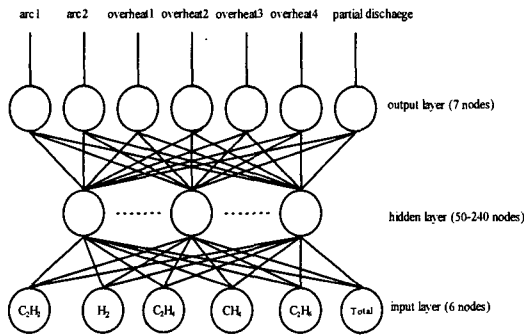


그림 4. 신경회로망의 구조
Fig. 4. Neural network structure

4. MMI 작성

그림 1과 같이 작성된 판정 및 진단 알고리즘과 프로그램을 사용자가 쉽게 사용하기 위해서는 데이터 입력과 결과 출력을 할 수 있는 MMI(Man Machine Interface)화면이 작성되어야 한다. 본 프로그램에서 MMI화면은 데이터를 입력하는 화면과 고장원인을 나타내는 화면, 고장원인에 대하여 구체적인 고장현상을 나타내는 화면 등으로 구성되어 있다. 학습데이터로 사용되지 않았지만 실제 고장이 발생한 변압기의 가스데

이터를 이용하여 이러한 화면구성과 본 프로그램의 특성을 살펴보았다.

그림 5는 고장이 발생한 실제 전력용 변압기의 고장장면을 보여주고 있다. 고장원인은 그림에서 나타나 있듯이 코아와 프레임 사이를 절연하고 있는 절연판의 절연성능이 저하되면서 코아와 프레임 사이에 순환전류가 발생하고 그 결과로 과열이 되어 유증가스가 발생한 경우이다. 유증가스분석결과는 다음 표 1과 같다. 표 1의 유증가스를 입력하여 지능형 유증가스분석프로그램을 구동시켜 그림 6과 같은 가스구성율과 7가지 출력벡터에 대한 근접도를 얻을 수 있었다.

표 1. 유증가스분석결과
Table 1. Gas analysis results

C2H2	H2	C2H4	CH4	C2H6	CO	CO2
1	69	520	380	205	207	1171

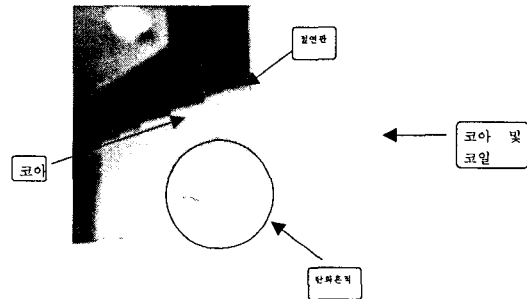


그림 5. 변압기의 고장사진
Fig. 5. Photograph for transformer fault

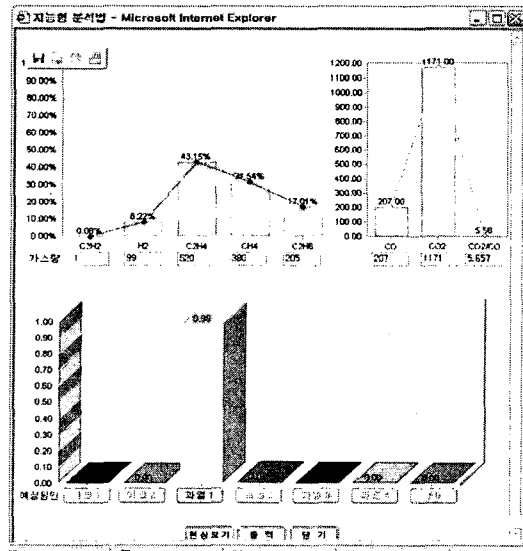


그림 6. 지능형 유증가스프로그램 구동결과
Fig. 6. Results by intelligent gas program

그림 6의 상부 그래프에서와 같이 5가지 탄화수소가스의 구성분포는 그림 3 (b)의 과열의 형태를 취하고 있으며, 하부의 프로그램 수행결과에서도 과열1의 근접도가 0.99로서 과열1이 고장원인임을 나타내었다. 그림 7은 과열 1에 대한 구체적인 고장원인을 보여주고 있다. 그림 7에 의하면 고장확율이 가장 높은 고장원인은 순환전류로 되어 있으며, 구체적인 고장현상으로서 코아와 프레임이나 금속구조물과 같은 접지물 사이에 순환전류가 발생하여 과열이 발생하는 것으로 나타나고 있다. 한 가지의 고장예로서는 판정할 수 없지만 이러한 진단결과로 볼 때 본 프로그램은 유증가스분석에 의한 유입식변압기 고장진단에 유효하다고 사료된다.

Cases in Transformers and Other Oil-Filled Electrical Equipment in service, First Edition, 199
 (3) J.H. Sun et al., "Relation between faults in transformer and composition percentage of dissolved gas", 2002 K-J Symp. on ED and HVE, Vol. 1pp 242-245, 2002. 11

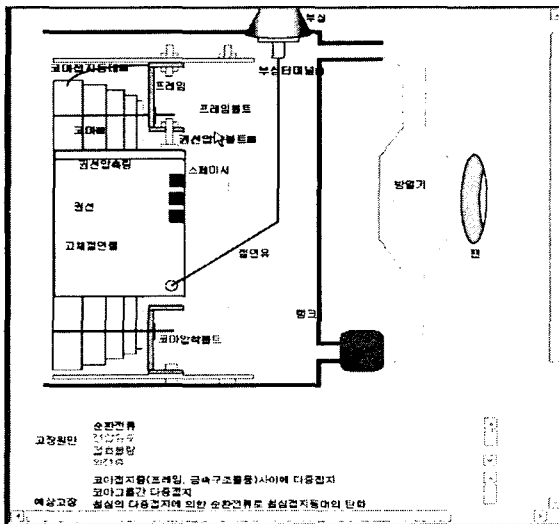


그림 7. 과열 1의 고장현상
 Fig. 7. Detailed faults of overheat 1

5. 결론

본 연구에서는 유입식 변압기의 고장진단 및 관리를 목적으로 개발된 지능형 유증가스분석프로그램의 개발과정 및 적용사례 결과에 대하여 살펴보았다. 프로그램의 지능화를 위하여 정상 가부 판정과 절연지관련 고장판정은 규칙기반을 적용하였으며, 절연과 관련된 고장은 5가지 탄화수소가스와 7가지 고장패턴을 이용하여 학습시킨 신경회로망을 사용하였다. 실제 고장사례를 적용시킨 결과 본 프로그램은 유증가스분석에 의한 유입식변압기 고장진단에 유효한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- (1)ANSI/IEEE C57.104-1978, "Guide for the detection and determination of generated gases in oil-immersed transformer and their relation to the serviceability of the equipment"
- (2) IEC Publication 60599, Interpretation of the Analysis of