

# 지능형 유증가스 분석기술 기반 유입식 변압기 전산관리 프로그램 개발

論 文

54C-12-12

## Development of Management Software for Transformers Based on Artificial Intelligent Analysis Technology of Dissolved Gases in Oil

宣鍾好<sup>\*</sup> · 韓尙甫<sup>\*</sup> · 姜東植<sup>\*</sup> · 金光和<sup>\*</sup>

(Jong-Ho Sun, Sang-Bo Han, Dong-Sik Kang, Kwang-Hwa Kim)

**Abstract** - This paper describes development of management software for transformers based on artificial intelligent analysis technology of dissolved gases in oil. Fault interpretation using the artificial intelligent analysis is performed by the artificial neural network and a rule based on the analysis of dissolved gases. The used gases are acetylene(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), hydrogen(H<sub>2</sub>), ethylene(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), methane(CH<sub>4</sub>), ethane(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), carbon monoxide(CO) and carbon dioxide(CO<sub>2</sub>). This software is mainly composed of gases input, fault's causes, expected fault's phenomena in detail, the decision on maintenance as well as report and gas trend windows. It is indicated that this is very powerful software for the efficient management of oil-immersed transformers using data analysis of gas components.

**Key Words** : Oil-immersed Transformer, Fault in Transformer, Artificial Intelligent Diagnosis, Neural Network

### 1. 서 론

유입식 변압기는 운전 중에 국부과열, 부분방전, 아크방전과 같은 고장이 발생함은 물론, 이러한 고장이 계속 진행하게 되면 최종적으로 폭발과 같은 치명적인 고장을 일으키게 된다. 유입식 변압기의 고장은 대형 화재나 인명 피해와 같은 2차적인 큰 고장 파급 효과를 유발할 수 있으며, 많은 부하를 담당하므로 정전 범위가 광범위해질 수 있다. 또한 다른 전력기기에 비하여 보수시간이 장시간 소요되어 큰 경제적 손실을 초래할 수 있다. 그러므로 초기 고장을 신뢰성 있게 발견하여 치명적인 고장을 미연에 방지하기 위한 유입식 변압기의 고장 판정 및 관리 기술은 매우 중요하다고 여겨지며, 이에 대한 대책으로서 유증가스 분석법을 이용한 관리기술이 현재 가장 일반적으로 사용되고 있다.

유증가스 분석법은 1960년대에 처음 개발되었으며[1], 기존의 유증가스 분석을 이용한 유입식 변압기 관리기술은 절연유 속에 용해되어 있는 탄화수소 가스 농도나 가스의 경시증가량으로서 고장의 정도를 판정하는 기술과 가스 구성 비율이나 주요 특정 가스를 이용하여 고장 원인을 진단하는 기술로 분류할 수 있다. 이 두 기술은 상호보완적이기 때문에 효율적인 유입식 변압기의 관리를 위해서 병용되어야 하지만 국내에서는 전자의 기술이 주로 사용되고 있으며, 후자의 기술은 참고적으로만 이용되고 있는 경우가 많다. 이와 같은 관리방법은 치명적인 고장에 의해서 중요 가스가 발생하였을

에도 불구하고 그 가스 농도가 작다는 이유로 고장의 정도를 경시하여 판정하는 단점을 가지고 있다.

또한 두 관리 기술들을 병용하여 사용하고 있더라도 기존의 두 기술 중 후자의 기술은 유증가스 분석에 대한 전문적 기술이 없는 경우에는 고장 원인을 찾지 못하거나 판정에 혼란을 가져오며, 그로 인하여 유입식 변압기 관리에 시간적·경제적 손실을 초래하게 된다[2]. 그러므로 유증가스 분석법을 이용하여 유입식 변압기를 신뢰성 있게 운전하기 위해서는 이러한 단점을 보완할 수 있는 유증가스분석법을 이용한 유입식 변압기 관리 프로그램 개발에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 위에서 언급된 문제점을 해결할 수 있는 유입식 변압기 전산관리프로그램 개발을 위한 연구과정을 수행하였다. 주요 연구내용으로서 유증가스 분석 결과인 탄화수소 가스를 입력하면, 신경회로망과 규칙 기반형 인공지능형 프로그램을 이용하여 고장 원인과 고장 현상을 예상하고, 그 결과에 따라 유입식 변압기의 차기 유증가스 분석시기를 기반으로한 고장조치방법을 추천할 수 있도록 프로그램을 구성하였고, 입력 사항과 진단 결과가 데이터베이스에 의하여 관리 되도록 하였다. 이 프로그램을 실제 고장이 발생한 유입식 변압기에 적용시킨 결과 효율적인 관리가 가능함을 알 수 있었다.

### 2. 유입식 변압기의 고장과 유증가스

유입식 변압기의 고장은 매우 다양하지만 대표적으로 과열, 부분방전, 아크방전 형태로 나눌 수 있다. 이러한 고장 형태들은 절연유 및 절연지를 분해시킴은 물론, 분해 과정에서 탄화수소계 유증가스를 생성시킨다. 이 때 나타나는 탄화수소 가스는 약 9가지 이상이지만 유증가스 분석 기술과 관련된 여러가지 규격에서 공통적으로 사용되고 있는 유증 가스

† 교신저자, 正 會 員 : 韓國電氣硏究員 産業電氣硏究段  
E-mail : jhsun@keri.re.kr

\* 正 會 員 : 韓國電氣硏究員 産業電氣硏究段  
接受日字 : 2005年 10月 12日  
最終完了 : 2005年 11月 16日

는 수소(H<sub>2</sub>), 아세틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), 에탄(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 7가지인 것으로 알려져 있다[3-5].

유증가스는 고장 에너지의 크기 및 고장 범위에 따라서 가스의 종류와 농도가 특징적으로 나타나며, 이러한 특성을 이용하여 유입식 변압기의 고장 정도와 고장 형태를 판정하는 것이 가능하다. 표 1은 고장 형태에 따라 발생하는 대표적인 분해가스를 나타내었다. 이러한 고장에 따른 분해가스 특성을 이용하여 유증가스분석에 의한 변압기 고장진단을 수행하고 있다.

표 1. 고장 원인에 따른 주요 발생 가스  
Table 1. The main gases according to faulted cases

| 고장 원인      |              | 주요 가스  |
|------------|--------------|--|
| 절연유의 과열    | 저온(300℃ 이하)  | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (대), CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                     |
|            | 중온(300~700℃) | CH <sub>4</sub> (대), C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (대), C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                  |
|            | 고온(700℃ 이상)  | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (대), CH <sub>4</sub> (대), C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                  |
| 고체 절연물의 과열 |              | CO(대), CO <sub>2</sub> (대), CH <sub>4</sub>  |
| 유증 Arc     |              | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (대), H <sub>2</sub> (대), C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , CH <sub>4</sub> |
| 유증 코로나     |              | H <sub>2</sub> (대), C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , CH <sub>4</sub>    |

### 3. 유입식 변압기 전산 관리 프로그램 제작

#### 3.1 프로그램의 구성

제작된 유입식 변압기 전산관리 프로그램의 전체 구성도를 그림 1에 나타내었으며, 본 프로그램은 크게 입력, 진단, 조회, 보고서 출력, 데이터베이스의 5가지로 구성되어 있다.

데이터 입력창은 변압기의 제원 및 소속, 수소(H<sub>2</sub>), 아세틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), 에탄(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 7가지 유증가스 및 기타 절연유 관련 특성치들을 입력하는 창이다.

진단 결과 표시창은 입력된 유증가스의 분포패턴 및 패턴에 따라 결정되는 고장 원인, 고장 원인에 따라 표시되는 예상 고장 현상과 고장 조치 방안 제시, 기준형 유증가스 분석 결과 등을 표시하는 창이다. 조회창은 진단창에서 표시된 진단 결과나 정비 이력을 조회하고 유증가스 변화 경향 등을 나타낸다. 또한, 보고서 출력창은 진단창에서 표시된 진단 결과를 출력하는 창이며, D/B는 앞의 4가지창에서 사용된 각각의 입·출력 항목들을 관리하고 있으며 M/S(MicroSoft) 엑셀 소프트웨어를 이용하여 관리자가 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.

이와 같은 프로그램 구성 내용 중에서 가장 중요한 것은 진단창의 내용이라 할 수 있다. 즉, 고장을 진단하여 그 결과를 이용함에 의하여 고장 조치를 추천하거나 변압기의 예상되는 고장 부위를 나타내는 진단 알고리즘이라 할 수 있다. 다음은 본 프로그램에서 사용된 주요 진단 알고리즘에 대해서 구체적으로 설명하였다.

#### 3.2 고장 진단 알고리즘

본 전산 관리 프로그램에서 사용된 진단 흐름도를 그림 2에 나타내었으며, 여기에 나타나 있는 각 구성 항목들에 대한 설명은 3.2.1~3.2.6에서 다루었다.

##### 3.2.1 가스 데이터 입력

GC 또는 다른 유증가스 분석기에서 분석된 유증가스는 3.1 항에서 언급된 7가지 가스를 기준으로 입력하도록 되어있다.

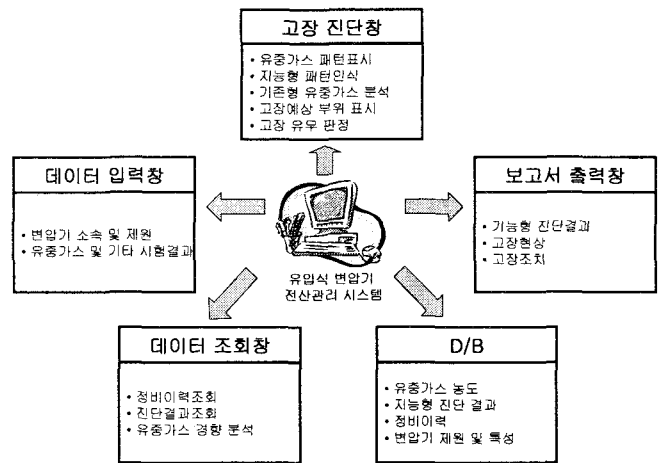


그림 1. 전체 프로그램의 구성

Fig. 1 Structure of program for this work

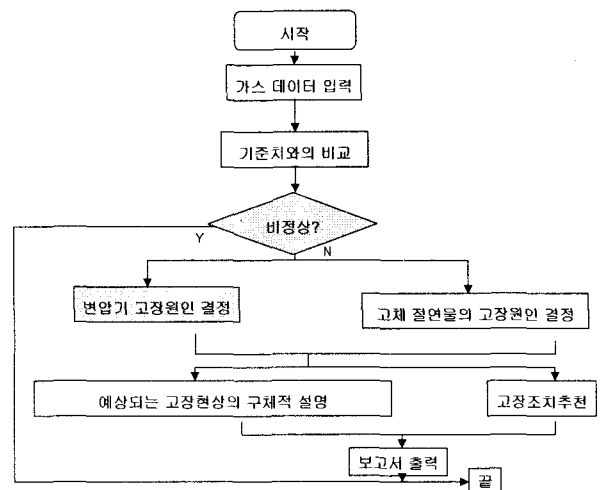


그림 2. 진단 흐름도

Fig. 2 Flow diagram for diagnosis

##### 3.2.2 기준치와의 비교

입력된 유증가스는 고장 가능성을 판정하기 위하여 설정된 기준치에 비교하게 된다. 사용된 기준치는 기존에 사용되고 있던 규격이 아니라, 국내 변압기의 사용 환경을 고려하기 위하여 국내 변전소, 발전소, 산업체 변압기의 유증 가스 분석

데이터로부터 이상이 없다고 판정된 유중 가스 데이터 약 4,000여개를 수집하여 각 가스별로 가스 농도 누적치의 95% 값을 선택하여 활용하였다. 이와 관련된 설명은 참고문헌[6]에 상세하게 기술되어 있다.

그림 2의 진단 흐름도에서 알 수 있는 바와 같이, 입력된 가스 데이터와 기준 농도와와의 비교에서 7가지 가스 중 한 가지라도 기준 농도보다 큰 값이 존재하면 다음 단계로 진행되고, 그렇지 않으면 종료되도록 되어있다.

### 3.2.3 변압기 고장 원인 결정

기준치와의 비교 결과 고장 가능성이 있는 것으로 판정되면 다음 단계에 의하여 고장 원인이 결정된다. 7가지 가스 중에서 수소(H<sub>2</sub>), 아세틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), 에탄(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)의 5가지 탄화수소계 가스는 변압기의 고장을 진단하고, CO와 CO<sub>2</sub>가스는 고체 절연물의 고장을 진단하는 데 사용된다. 우선 5가지의 탄화수소계 가스에 의한 고장 진단 알고리즘을 설명하면 다음과 같다.

5가지의 탄화수소계 가스는 고장 에너지에 따라서 특정 범위의 가스 분포를 가지는 것으로 알려져 있다[3-5]. 이러한 특성을 이용하여 기존의 유중 가스 분석법에서는 두 가지 가스비의 조성이나 가스 분포 패턴을 이용하여 고장 원인을 결정하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 가스 조성비에 해당되는 진단 결과가 없거나 조성비의 경계 영역에서 오진단하기가 쉽고, 이에 따라서 전문가의 도움을 필요로 하는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 고장 원인에 따른 유중가스 분포 패턴을 인공 지능적으로 인식할 수 있는 패턴 인식 알고리즘을 개발하여 사용하였으며, 패턴 인식은 뉴럴네트웍(Neural Network)을 이용한 프로그램 자체의 학습을 통해서 얻어졌다. 고장 원인에 따른 이들 가스의 분포 패턴을 구하기 위하여 가스 농도와 고장 원인이 알려져 있는 약 350가지의 고장 자료를 수집하였으며, 이들을 표 1에 알기 쉽게 나타내었다. 수집된 자료로부터 고장 분포 분석 결과, 5가지 탄화수소 입력 가스에 대한 가스 분포 패턴은 아크 2가지, 과열 4가지, 부분방전(PD) 1가지의 총 7가지로 나누어졌다. 따라서 본 프로그램을 이용하여 변압기 내부에 고장이 있다고 판정된 경우에는 고장 진단 단계에서 5가지 가스의 분포 패턴을 인식하여 해당되는 고장 원인을 출력하도록 되어있다. 이와 같은 뉴럴네트웍 설계 및 학습과정은 참고문헌[7]에 자세하게 설명되어 있다.

### 3.2.4 고체 절연물의 고장 원인 결정

본 단계에서는 입력된 CO 및 CO<sub>2</sub>값을 기준치와의 비교를 통하여 고장 가능성이 있다고 판정될 경우, 다음 단계로서 고체 절연물의 고장 원인을 분석하도록 되어있다. 셀룰로오스계 고체 절연물 열화는 온도, 수분, 방전 등에 주로 영향을 받는 것으로 알려져 있다[8-9]. 그러므로 유중 가스를 이용하여 이와 같은 고장 원인을 분석하기 위해서는 CO와 CO<sub>2</sub>가스에 의하여 결정되는 가스 정보량과 고장 원인과의 관계가 분석되어야 한다.

이와 같은 분석은 3.2.2항의 변압기 고장 분석에서와 같이

고장 원인을 알 수 있는 현장 가스 데이터를 이용하는 것이 가장 바람직하지만, CO 및 CO<sub>2</sub>와 고체 절연물의 고장과의 관계가 나타나 있는 현장 고장 데이터의 수집이 불가능했다. 따라서 본 연구에서는 고체 절연물의 고장 원인과 가스 정보와의 관계를 실험에 의하여 분석하였다[10-11]. 실험 결과에 따르면 절연지가 열 열화되거나 방전 현상이 발생하면 CO와 CO<sub>2</sub>가스 농도가 증가하고 CO<sub>2</sub>/CO 비가 감소하는 것으로 나타났으며, 흡습된 경우 이와 같은 경향은 더욱 더 뚜렷한 것으로 나타났다. 본 프로그램에서는 이러한 특성을 이용하여 가스 정보량에 따른 고체 절연물의 고장 원인을 나타내었다.

### 3.2.5 예상되는 고장 현상의 구체적 설명

3.2.3항에서 결정된 변압기의 7가지 고장 원인은 아크, 부분방전, 과열로 표현되기 때문에 변압기의 구체적인 고장 부위 및 고장 현상을 알 수 없다.

본 프로그램에서는 각 고장 원인에 대해 예상되는 구체적인 고장 현상과 고장 부위를 표현하기 위하여 표 2에서 수집된 고장 자료를 근거로 하여 예상되는 고장 원인별 고장 현상을 나타내도록 하였다. 따라서 가스 분포 패턴으로부터 고장 원인이 결정되면 고장 원인에 따라서 예상되는 구체적인 고장 현상 및 고장 부위를 3.2.3항에서 결정된 고체 절연물의 고장 현상과 함께 그래픽 및 문장으로 표현하도록 되어있다. 여기서 고장 현상은 각 고장 원인에 대하여 동일한 고장 현상이 가장 많은 순으로 표시되도록 하여 변압기의 고장 분석에 더욱 더 효율적으로 접근할 수 있도록 하였다.

다음의 표 2는 변압기 고장에 따라 수집한 가스 분석 데이터 및 고장 현상의 실제적 예를 보이고 있다.

표 2. 고장 자료 수집 예

Table 2. Example of fault's data obtained

| H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | Total | Inspection Results   |
|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|--|
| 3030           | 15200           | 22                            | 6680                          | 1530                          | 26462 | Damage due to mismatched joints in a multiple conductor causing high circulating currents between individual conductors (overheat) |
| 888            | 22              | 24                            | 23                            | 14                            | 971   | Discharge like corona (Partial Discharge; PD)  |
| 1280           | 1450            | 62                            | 978                           | 83                            | 3853  | Heating of pressure plate making contact with core(overheat)   |
| 640            | 530             | 2                             | 364                           | 53                            | 1589  | Loose connection (overheat)  |
| 16000          | 1470            | 3880                          | 1800                          | 76                            | 23226 | Short between turns and ground (arc)   |
| 13500          | 6110            | 4040                          | 4510                          | 212                           | 28372 | Turn to turn short circuit (arc)   |
| 6800           | 1160            | 2820                          | 424                           | 30                            | 11234 | Turn to turn short circuit (arc)   |
| 2500           | 10500           | 6                             | 1350<br>0                     | 4790                          | 31296 | Loose bolt making contact between core and its clamping frame (overheat)   |
| 755            | 2260            | 84                            | 4120                          | 700                           | 7919  | Heating due to circulating currents in metal structures (overheat)   |
| 860            | 2460            | 5                             | 2920                          | 1000                          | 7245  | Heating of tie rood due to stray flux (overheat)   |

### 3.2.5 고장 조치 추천

고장 가능성이 나타나면, ① 고장 정도에 따라 가스 분석 주기를 단축시켜 열화 진행을 세밀히 감시하거나, ② 즉시 정밀 점검을 시행하여 고장 조치를 행해야 한다.

기존의 유중 가스 분석법에서는 고장 정도를 각 가스 농도나 가연성 가스의 경시 증가량으로서 판단하고 있으며, 이 특성치들이 일정한 크기 이상이 되면 정상일 때보다 유중 가스 분석 주기를 단축시키거나 정밀 점검을 지시하도록 되어 있다.

그러나 이와 같은 방법으로 고장 조치를 추천할 경우, 아크와 같이 고에너지 방전이 있는 경우에 아세틸렌( $C_2H_2$ ) 가스가 발생되어도 그 농도가 기준치 이하이면 정상 처리되어 보수를 시행하지 않게 된다. 이러한 경우, 다음 주기의 가스 분석 전에 고장이 크게 진전하게 되면, 변압기는 치명적인 고장을 가져오게 된다.

그러므로 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 본 프로그램에서는 다음과 같은 항목을 기준으로 고장 조치를 추천하도록 하였다.

① 지능형 고장 진단에서 고장 원인이 과열이나 부분 방전으로 판정되었을 경우, 가스농도나 경시 증가량에 의한 고장 조치는 한국전력공사 기준과 IEEE C57-104-91 중 선택할 수 있도록 하였으며, 두 규격에서 가장 경미한 고장 단계 기준 시작 가스 농도 (한국전력공사: 요주의, IEEE C57-104-91: condition 2)는 3.2.1항에서 설명한 바와 같이 본 연구에서 사용된 기준치로 하였다.

② 지능형 고장 진단에서 고장 원인이 과열이나 부분 방전으로 나타났을 경우, 아세틸렌( $C_2H_2$ ) 가스가 정상 판정 기준치 이상으로 존재하면 두 규격에서 해당 고장조치 단계보다 한 단계 높은 고장 조치 단계를 따르도록 하였다.

③ 고장 원인에 관계없이 모든 가스가 정상 판정 기준치 이하일지라도 아세틸렌( $C_2H_2$ ) 가스가 존재하면 가장 경미한 고장 조치 단계를 따르도록 하였다.

④ 지능형 고장 진단에서 고장 원인이 아크로 판정되고 정상 판정 기준치 이상의 아세틸렌( $C_2H_2$ ) 가스가 존재하면 두 규격에서 최고 고장 단계를 따르도록 하였다.

⑤ 가연성 가스의 경시 증가량에 대한 중요성을 강조하기 위하여 이전 가스 분석 데이터의 부재로 해당 변압기에 대한 경시 증가량을 구할 수 없을 경우에는 차기 분석시기보다 분석시기를 단축시켜 빠른 시간 내에 경시 증가량을 구할 수 있도록 하였다.

### 3.2.6 보고서 출력

3.2.1항부터 3.2.5항까지의 입·출력 결과를 보고서 형태로 출력할 수 있도록 하였다.

## 4. 유중 가스 프로그램의 실제적 적용

실제 현장에서 사용 중인 변압기의 유중 가스 분석 및 고장이 발생된 경우에 대하여 프로그램 실행 결과를 4.1 및 4.2에서 고찰하였다.

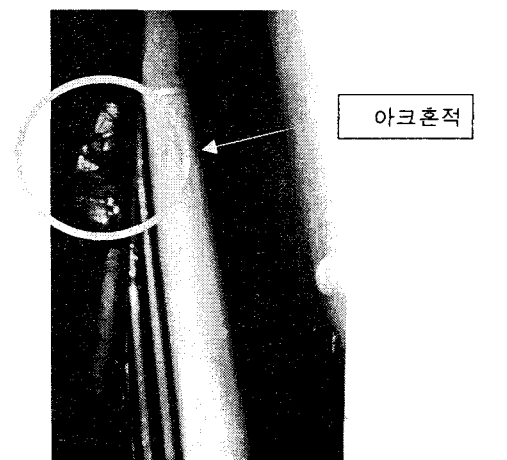
### 4.1. 고장 변압기

그림 2는 유중 가스 분석을 진행함에 있어서, 고장이 있을 것으로 판정된 2대의 변압기에 대하여 육안 점검한 결과를 보인 것이다. 실제의 고장 현상을 직접 확인할 수 있다. 그리고 표 3은 각 고장에 대한 유중 가스 분석 데이터를 보여주고 있다. 두 변압기에 대한 가스 분석 데이터들은 가스분포 패턴인식 학습에 사용되지 않은 데이터들이며, 각 가스 분석 데이터를 사용하여 본 연구에서 개발된 프로그램의 실행 결과를 검토하였다.

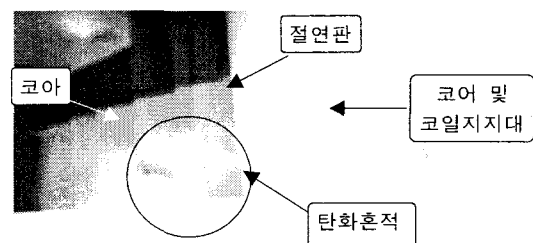
표 3. 고장 변압기의 유중 가스 분석 데이터

Table 3. Analysis data on dissolved gases in faulted transformers

| 변압기   | 가스 분석 데이터 |       |          |        |          |     |        | 육안 점검 결과                              |
|-------|-----------|-------|----------|--------|----------|-----|--------|---------------------------------------|
|       | $C_2H_2$  | $H_2$ | $C_2H_4$ | $CH_4$ | $C_2H_6$ | CO  | $CO_2$ |                                       |
| 변압기 1 | 0         | 5     | 99       | 54     | 37       | 49  | 415    | 코어와 프레임 사이의 절연불량으로 순환전류에 의한 과열        |
| 변압기 2 | 962       | 13789 | 123      | 123    | 83       | 579 | 3523   | 고압부상 리드와 철심 고정 단철 사이의 아크 및 리드부 절연지 손상 |



(a) 변압기 1



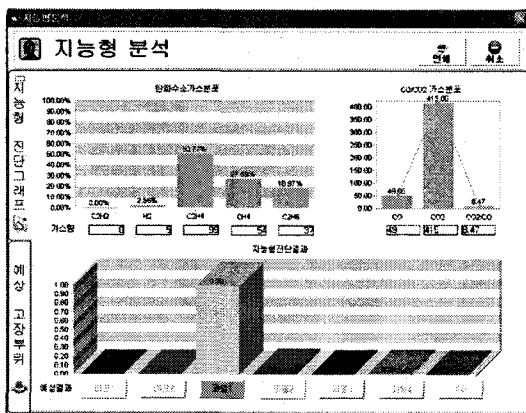
(b) 변압기 2

그림 3. 육안 점검에 의한 변압기 고장 부위 사진

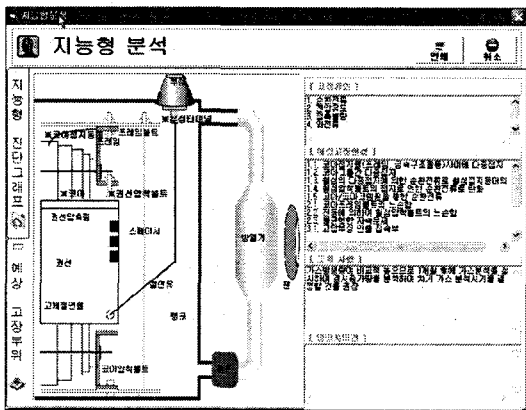
Fig. 3 Photographs of detailed fault parts in transformers by visual inspection

4.2 프로그램 실행 및 고찰

프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 유증 가스 분석 데이터를 입력해야 한다. 그림 2에서 설명한 바와 같이 입력 데이터 중 정상 판정 기준치를 벗어나는 유증 가스 데이터가 존재하면 변압기 고장과 고체 절연체 고장을 먼저 진단하게 된다. 그림 4는 변압기 1의 가스 분석 데이터로부터 고장이 있는 것으로 판정되어 얻은 지능형 고장 원인 패턴 인식 결과와 예상되는 고장 원인 및 고장 현상 분석 결과를 보여주고 있으며, 그림 5는 변압기 2에 대한 결과를 보이고 있다. 표 3의 육안 점검 결과와 그림 4와 그림 5에서 나타난 고장 패턴과 예상되는 고장 원인 중 육안 점검 결과와 관련된 고장 내용을 정리하여 비교하면 표 4와 같다.



(a) 고장 원인 패턴 인식창



(b) 고장 원인 및 고장 현상 분석창

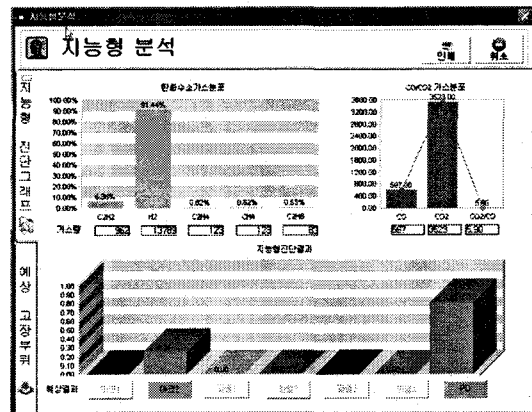
그림 4. 변압기 1의 지능형 고장 분석  
Fig. 4 Intelligent fault analysis for transformer 1

표 4의 비교에서 알 수 있는 것처럼, 변압기 1의 지능형 분석 결과에서 고장 패턴은 과열 1로 나타났고, 과열 1에 따른 예상되는 고장 원인은 순환 전류로 나타났다. 그에 따른 고장 현상은 육안 점검에 의한 실제 고장 원인과 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 변압기 2의 지능형 분석 결과에서 고장 패턴은 아크와 부분 방전으로 나타났고, 그에 따라서 예상되는 고장 원인은 절연 이상과 고체 절연물 이상 1(이는

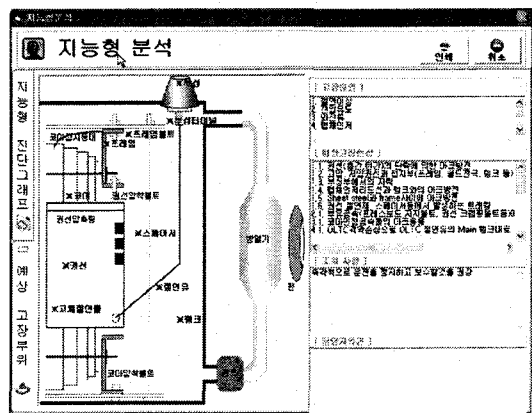
그림 5 (b)의 고장 원인 4항 밑에 위치하여 보이지 않음)로 나타났으며, 실제 고장 원인이 고체 절연물로 절연되어 있는 고압 리드선의 방전에 기인됨을 알 수 있었다. 이러한 고장 원인과 관련된 고장 현상도 육안점검을 통하여 실제와 일치하고 있음을 알 수 있었다.

따라서 2가지 고장 예에 의한 프로그램의 실행 결과로부터 본 프로그램은 실제의 육안점검 결과와 유사한 고장 원인 및 고장 결과를 제시하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 4의 고장 조치 추천에 있어서도 고장 조치 추천 알고리즘에 의하여 제시하고 있고 있는 것으로 나타났다.

그리고 본 연구에서 개발된 지능형 유증가스 진단 프로그램을 실제적 예들에 계속적으로 적용함에 의하여 더욱 세밀한 패턴 분류와 그에 따른 고장 원인 및 고장 현상의 선택에 대한 적중성과 신뢰성을 향상시키고자 한다. 또한, 그에 따른 고장 조치가 신속하고 신뢰성 있게 수행되도록 프로그램 재학습을 통한 시스템 개선을 구현하고자 한다. 결론적으로, 이와 같은 가스 분석 데이터를 이용하여 본 연구에서 개발된 지능형 유증가스 진단 프로그램을 적절히 활용한다면 유입식 변압기의 효율적인 유지·보수 관리가 이루어질 것으로 판단된다.



(a) 고장 원인 패턴 인식창



(b) 고장 원인 및 고장 현상 분석창

그림 5. 변압기 2의 지능형 고장분석  
Fig. 5 Intelligent fault analysis for transformer 2

표 4. 지능형 분석 결과의 비교

Table 4. Comparison of intelligent analysis results

| 변기 | 육안점검 결과                            | 지능형 진단 결과     |                        |  |   |
|----|------------------------------------|---------------|------------------------|--|---|
|    |                                    | 고장 패턴         | 고장 원인                  | 고장현상   | 고장조치 추천   |
| 1  | 코어와 프레임 사이의 절연불량으로 순환전류에 의한 과열     | 과열 1          | 1.순환전류                 | 1.1. 코어 접지물 (프레임, 금속구조물 등) 사이에 다중접지<br>1.2. 코어 그룹간 다중접지<br>1.3. 철심의 다중접지에 의한 순환전류로 철심접지용대의 단화<br>1.4. 철심압착볼트의 접지로 인한 순환전류로 단화<br>1.5. 코어/코어 클램핑을 통한 순환전류   | 가스발생이 비교적 높으므로 1개월 후에 가스분석을 실시하여 경시증가량을 분석하여 차기 가스분석시기를 결정할 것을 권장 |
| 2  | 고압부싱 리드와 철심 고정단철 사이의 아크 및 리드부 절연저손 | 아크 2, PD 이상 1 | 1.절연이상<br>6.고체절연물 이상 1 | 1.1. 권선(층간, 턴간)의 단락에 의한 아크방전.<br>1.2. 고압, 저압권선과 접지부(프레임, 션드 전극, 탱크 등) 사이의 지락에 의한 아크 방전.<br>1.3. 부상부에서의 지락.<br>1.4. 램 체인지 리드선과 탱크와의 아크 방전.<br>1.5. Sheet steel과 frame사이에 아크 방전<br>1.6. 권선 절연체, 스페이서 등에서 발생하는 트래킹.<br>6.1. 고체절연물을 포함한 부분방전의 가능성이 있음.<br>6.2. 고체절연물을 포함한 200℃ 이상의 심한 열 열화 의심.<br>6.3. 고체절연물을 포함한 아크의 가능성이 있음. | 즉각적으로 운전을 정지하고 보수할 것을 권장  |

5. 결 론

본 논문에서는 신뢰성 있는 유입식 변압기의 고장 진단 및 관리를 위한 지능형 유중 가스 분석 기반 전산 관리 프로그램 개발 연구에 대하여 기술하였다.

본 프로그램은 유중가스 데이터 입력, 고장진단, 입력 및 진단결과조회, 보고서출력, 데이터베이스의 5가지 요소로 구성되어 있으며, 기존의 유중가스 분석법에서 문제점으로 지적되고 있는 진단결과의 부재, 진단결과의 잘 못된 결정, 유중가스 해석의 난이성을 해결할 수 있는 가스분포 패턴인식에 의한 지능형 유중가스분석기술을 도입하여 고장원인을 결정하고 고장원인에 따른 상세한 고장현상의 예측이 가능하게 함으로써 유중가스분석에 대한 비전문가라도 신뢰성 있는 고장분석을 가능하게 하였다.

또한, 현장에서 운영중인 2건의 고장변압기에 대한 유중가스 데이터를 본 프로그램에 적용시킨 결과, 본 프로그램은 실제 육안점검 결과와 유사한 고장 원인 및 고장 결과를 제

시하고 있어 유입식 변압기의 효율적인 유지·보수 관리가 가능함을 알 수 있었다. 그러나 본 프로그램에 의한 유입식 변압기의 유지보수관리기술을 향상시키기 위해서는 앞으로 더 많은 현장데이터를 적용하여 본 프로그램의 성능을 검증하고 또한 학습을 통하여 고장진단결과 도출과 그에 따른 고장조치방법에 대한 신뢰성을 향상시키기 위한 연구가 계속적으로 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Japan Petroleum Institute, "Electrical Insulation Oil Handbook", 366-424, 1987.
- [2] 선중호 외, "변압기 진단용 유중가스분석법의 비교특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C 권, 1843-1845, 7. 2002.
- [3] E. Dornenburg et al., "Monitoring oil-cooled transformers by gas analysis", Brown-Boveri Rev. 61, 238-247, May, 1974.
- [4] 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".
- [5] IEC Publication 567, Guide for the sampling of gases and of oil from oil filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases, Second Edition, 1992.
- [6] 선중호 외, "평상시 운전중인 변압기의 유중가스분포 분석연구", 대한전기학회 고전압 및 방전응용기술 연구회 춘계학술 발표대회, 4. 2003.
- [7] J. H. Sun et al., " Neural Network Based Dissolved Gas Analysis Using Gas Composition Patterns Against Fault Causes, KIEE International Trans. on EA, Vol. 3-C, No. 4. 130-135, 2003.
- [8] H. Anetai et al., "A Diagnosis on the Overheating Deterioration of Insulating Paper in Transformers by Gas Analysis", JIEE A Voi. 100 No. 7, pp 409-414, 1980.
- [9] M. Shirai et al., "Thermodynamical Study on the Thermal Decomposition of Insulating Oil", JIEE A Vol. 97 No. 7, 331-338, 1977.
- [10] 선중호 외, "CO와 CO<sub>2</sub> 가스를 이용한 유입식 변압기 절연지의 열화진단에 관한 연구", 전기학회 논문지, 제 53권, 제 10호, 2004. 10.
- [11] 선중호 외, "유침절연에서 전기적 및 열적열화에 따른 유중가스분포특성", 조명 전기설비학회 논문지, 제18권, 제6호, 2004. 11.

## 저 자 소 개



### 선 증 호 (宣鍾好)

1962년 10월 10일생. 1986년 부산대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단 연구그룹 책임연구원

Tel : 055-280-1578, Fax : 055-280-1547

E-mail : jhsun@keri.re.kr



### 한 상 보 (韓尙甫)

1972년 9월 22일생. 1998년 경남대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동경대학 전자공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단 연구그룹 선임연구원

Tel : 055-280-1546, Fax : 055-280-1547

E-mail : sbhan@keri.re.kr



### 강 동 식 (姜東植)

1956년 10월 13일생. 1983년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 987년~현재 한국전기연구원 책임연구원, 현재 산업전기연구단 전력설비진단연구그룹장

Tel : 055-280-1405, Fax : 055-280-1547

E-mail : dskang@keri.re.kr



### 김 광 화 (金光和)

1956년 5월 12일생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단 연구그룹 책임연구원

Tel : 055-280-1570, Fax : 055-280-1547

E-mail : khkim124@keri.re.kr