

변압기 예방진단을 위한 유증가스 전문가 시스템 구축 연구

최인혁*, 권동진*, 정길조*, 선중호**, 김진곤**, 김광화**
*전력연구원, **한국전기연구소

Development of the Preventive Diagnostic Expert System of Gas in Oil for Power Transformer

I. H. Choi*, D. J. Kweon*, G. J. Jung*, J. H. Sun**, C. G. Kim**, K. H. Kim**
*KEPRI, **KERI

Abstract - In this paper, we describe the design and appliance of the preventive diagnostic expert system of gas in oil for power transformer. This expert system is developed to use expert system development tool: Element Expert (NEURON DATA Inc.)

Analysis is developed by four diagnose methods. In first, the standard of KEPCO is applied. It classifies the state of transformer by four level: Normal, warning, abnormal and danger. And the others are gas pattern methods, IEC code method, and Dornen & Roger Ratio method and applied later. These latter methods analyse the cause of result.

Inference engine was designed with Element Expert. In last, we operate the system with sample data and we can obtain the correctly inferred result for the state of transformer.

1. 서 론

최근 국내 산업의 발달과 현대화에 의하여 전력수요가 크게 증가하고 안정된 전력공급의 요구가 크게 늘고 있다. 그러나 전력을 생산하기 위한 발전설비, 송전, 변전설비는 설비에 있어서 일반 국민의 저항과 공해에 대한 걱정으로 인하여 부하에서 떨어져 먼 곳에 시설되고 있다. 또한 국내의 전력수요의 대부분은 산업단지와 도심이 중심이 되는 경인지역에 집중되어 있어 2000년대에는 현재의 345 kV 송전으로는 어려움이 있어 765 kV 송전으로 적상 공급 계획이다. 그러나 765 kV급으로 공급할 경우 단일설비에서 공급되는 전력량이 매우 크므로 고장 시는 전력공급에 막대한 지장을 초래한다. 이와 같이 중요도가 매우 높은 변전설비의 고장 예방을 위하여 경험이 풍부하고 기술력을 보유하고 있는 전문가가 필요하지만 실제 여러 분야에서 풍부한 기술력을 보유하고 있는 전문가가 드물며, 진단결과에 있어서도 확실하지 못하고 신뢰성이 저하될 수 있다. 그러므로 전문가가 가지고 있는 지식을 종합하여 비전문가라도 변전설비의 진단을 행하고 고장을 미연에 방지할 수 있는 예방진단기술의 개발은 매우 중요하다.

이전 연구에서는 765kV 변전설비의 예방진단을 위한 전문가 시스템 구축 기본설계 개념을 논하였다.[5] 이번 연구는 변압기내에서 발생하는 유증가스의 성분을 분석하여 이를 기반으로 현재 변압기의 상태를 진단하기 위한 전문가 시스템용 프로그램을 개발하는데 있다. 본 전문가 시스템은 전문가 시스템 개발도구(Neuron DATA Inc. Element Expert)를 이용하여 개발하였으며, [1-4] 변압기를 주 진단 대상설비로 하였고, 유증가스 진단기준의 선정, 추론 시스템 작성, 전문가 시스템 구성 그리고 실제 추론을 하여 보았다.

2. 본 론

2.1 전문가시스템에 적용되는 유증가스 이상진단법
가. 성분가스량과 가연성가스 증가량에 의한 판정기준
일반적으로 내부이상 진단은 특정 성분가스와 총 가연

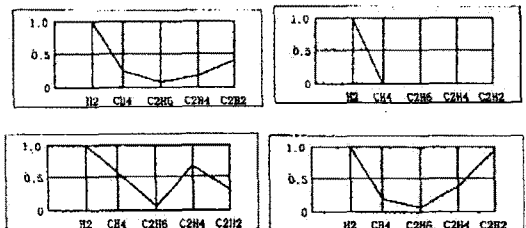
성가스의 량에 따라 결정된다. 각 국가 또는 각 전력회사마다 나름대로 그 판정기준을 자체 제정하여 사용하고 있는 것이 일반적이며 현재 한전에서 적용하고 있는 판정기준은 표 1과 같다.

표 1 판정기준 및 분석주기(한전, 단위:ppm)

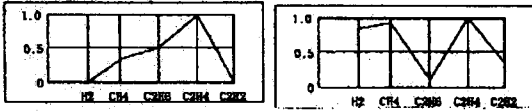
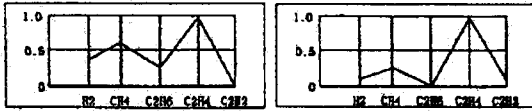
정항목	정상		요주의		이상		위험	
	200kV 이하	345kV 이상	200kV 이하	345kV 이상	200kV 이하	345kV 이상	200kV 이하	345kV 이상
H ₂	400미만		400이상		800초과		1,200초과	
CO	400미만	350미만	400이상	350이상	700초과	600초과	1000초과	800초과
C ₂ H ₂	25미만	20미만	25이상	20이상	80초과	60초과	150이상	120이상
CH ₄	250미만		250이상		750초과		1,000초과	
C ₂ H ₆	250미만		250이상		750초과		1,000초과	
C ₂ H ₄	300미만		300이상		750초과		1,000초과	
CO ₂	5,000미만		5,000이상		7,000초과			
TCG	1,000미만		1,000이상		2,500초과		4,000초과	
경시증가량	월200미만		월200이상		월200이상		월300이상	
분석주기	1회/년		추적조사 3개월		추적조사 1개월		내부점검 실시	

나. 가스Pattern에 의한 방법

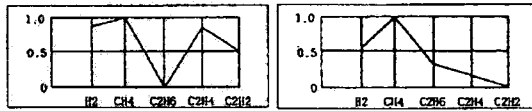
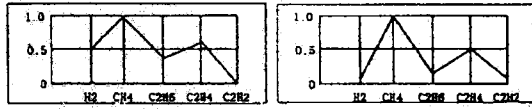
위와 같은 일정한 값을 기준으로 판정하는 과정은 간단하고 명확하게 판정을 내려주기는 하나 열화의 원인을 추정에는 효과적이지 못하다. 또한 일정한 기준에 따른 판정을 위주로 하기 때문에 열화현상에 따른 서로 다른 진행속도와 진행형태에 따른 필요한 처치방안을 결정하기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 관점에서 열화현상에 따른 처치방법선택을 위주로 진단하는 방법의 한가지가 1980년 일본 전기협동연구에서 발표된 pattern인식법이다.[6] 황축에는 가연성 가스들을 H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂의 순서로 표시하고 종축에는 가연성가스 가운데 가장 많은 양을 기록하는 가스 양을 1로 기준하고 나머지 가스들의 양을 상대 단위 수로 환산하여 표시한다.(그림 1) H₂ 주도형은 부분방전이나 arc방전에 의한 이상이 많고, C₂H₄, CH₄주도형은 접촉불량, 누설전류에 의한 과열의 이상이 많고, C₂H₂주도형은 섬락 등의 arc방전이 많이 발생한다는 특징을 나타내고 있다.



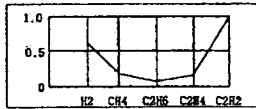
(a) H₂주도형



(b) C₂H₄ 주도형



(c) CH₄ 주도형



(d) C₂H₂ 주도형

그림 1. 가스 패턴법

다. 가스 조성비에 의한 방법

1) IEC code에 의한 유형판단

표 2에서처럼 가연성 가스성분의 양을 상호 비교하여 그 비율에 따라 IEC code를 결정한 후 세 code의 값이 어떤 형태로 나타나는가를 기준으로 열화현상의 유형을 추정하는 방법이다.[8] 각 code는 절연유의 특정한 분해상태를 나타내고 있으며 열화형태에 따라 복합되는 절연유와 절연지의 분해 현상에 따라 분류되고 있다. 이러한 세 종류의 가스 조성비를 사용하여 구분된 진단내용은 표 3에서와 같이 9종류이다.

표 2 IEC code for Dissolved Gas Analysis

가스성분의 비율	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
0.1 이하	0	0	0
0.1 - 1	1	1	0
1 - 3	1	2	1
3 이상	2	2	2

표 3 IEC std 599-1978에 의한 진단

유형	IEC에 의한 진단	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
1	저에너지 부분방전	0	1	0
2	고에너지 부분방전	1	1	0
3	저에너지 방전	1	0	1
4	고에너지 방전	1	0	2
5	과열(150℃ 이하)	0	0	1
6	과열(150℃-300℃)	0	2	0
7	과열(300℃-700℃)	0	2	1
8	과열(700℃ 이상)	0	2	2
9	경년 열화	0	0	0

2) Dornenburg & Roger Ratio Method

IEEE C57.104-1991[7]에서 제안하는 방법으로 가연성 가스성분이 규정된 정상 기준치를 초과하여야 하며 H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄ 가운데 적어도 한가지는 기준치의 2배 이상이어야 적용할 수 있는 방법이다.

◆ 사용되는 2차 Parameter :

- ① R1 = CH₄/H₂
- ② R2 = C₂H₂/C₂H₄
- ③ R3 = C₂H₂/CH₄
- ④ R4 = C₂H₆/C₂H₄

◆ 성분가스의 최소농도

- 수소(H₂) : 100ppm
- 아세틸렌(C₂H₂) : 35ppm
- 에탄(C₂H₆) : 65ppm
- 메탄(CH₄) : 120ppm
- 에틸렌(C₂H₄) : 50ppm
- 일산화탄소(CO) : 350ppm

표 4 Ratio for Key Gas - Dornenburg

이상진단	R1	R2	R3	R4
1. 열분해	1.0 이상	0.75 이하	0.3 이하	0.4 이상
2. Corona	0.1 이하	-	0.3 이하	0.4 이상
3. Arcing	0.1-1.0	0.75 이상	0.3 이상	0.4 이하

2.2 이상진단 알고리즘

본 연구에서는 유증가스 분석의 지식 베이스 및 데이터 베이스 구축을 위하여 유증가스 이상 진단 프로그램 알고리즘을 작성하였고(그림 2), 이 알고리즘을 기초로 하여 유증가스분석에 관한 설계도를 작성하였다.

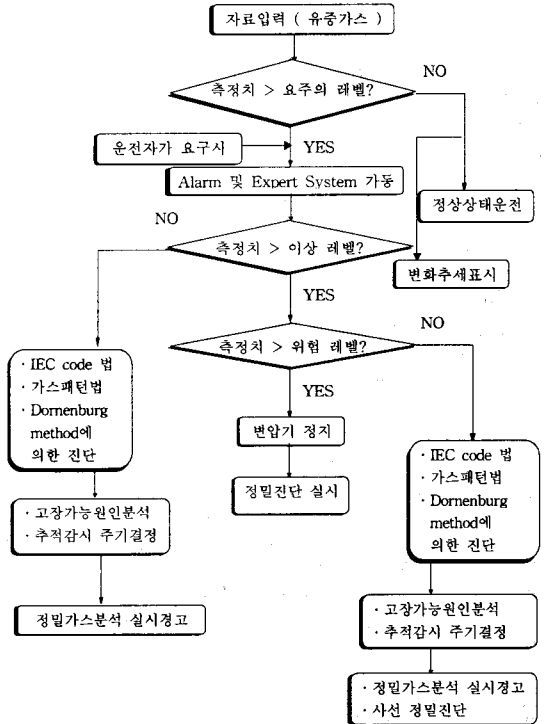


그림 2 유증가스 이상진단 Program 알고리즘

가스의 성분을 검색한 결과 기준치보다 높은 가스가 없으면 변압기는 계속 정상 운전되고 기준치보다 높은 가스가 발견되면 경고 신호를 전문가 시스템에 전송하여 전문가 시스템을 구동시킨다. 구동된 전문가 시스템은 다시 각 유증가스 값을 검색하여 이상레벨보다 높은 값이 존재하는지를 분석한 후 높은 값이 없으면 IEC Code법, 가스패턴법, Dornenburg법에 의한 이상진단을 실시하여 고장가능 원인분석 및 추적감시 주기를 결정해 주고 정밀가스분석 실시 경고신호를 발생한다. 그러나 이상 레벨보다 높은 값이 검출되면 다시 위험 레벨과 비교를 수행한다. 위험레벨과의 비교에서 위험레벨보다 높은 값이 검출되면 변압기를 정지하는 신호를 발생하고 정밀진단을 실시하여 위험레벨보다 값이 낮으면 각

진단법에 의한 진단을 실시하여 고장가능 원인을 분석하고 추적감시 주기를 결정하며 정밀가스 분석 및 사전 정밀진단 실시 경고를 발생한다. 또한 이상이 없더라도 사용자가 요구할 때 전문가 전문가시스템을 구동할 수 있도록 하였다.

2.3 Element Expert에의 적용

이상과 같이 설계된 알고리즘을 바탕으로 실제 Element Expert에 적용시켜 class, object, 그리고 rule을 작성하였고, 예제 data를 이용 추론시켜보았다.

가. class의 작성

변압기의 class하부에 sub-class로 유증가스라는 항목을 만든다. 여기서 변압기라는 class는 변압기 진단에 있어서 유증가스 진단외에 다른 진단항목들을 지속적으로 추가하기 위하여 설치한 것이다. 이후 지속적인 연구로 변압기의 진단항목을 추가할 예정이다.

유증가스라는 class에서는 각 진단에 필요한 가스의 종류와 가스진단, 가스진단결과라는 object를 설치하였다. 각 가스 object에서는 양이라는 property를 설정 database에서 각 가스의 양을 여기에 저장하고 특히 TCG는 추가적으로 경시증가량이라는 property를 설정 추론에 사용된다. 그림 3에서는 유증가스 class의 설계를 보여주고 있다. 가스진단결과 object는 각 진단 rule의 결과를 처리하기 위하여 설치하였다.

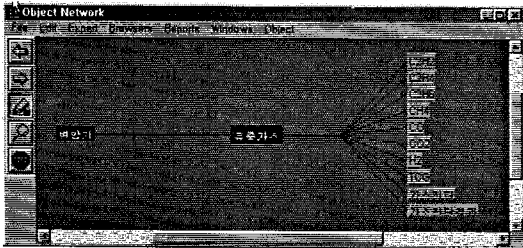


그림 3. 유증가스 object의 설계

나. rule의 작성

위와 같이 class와 object를 작성한 이후 Element Expert의 rule editor를 사용하여 각 진단 방법에 따라 rule을 작성한다. 그림 4는 editor를 이용한 rule의 작성예를 보여주고 있다.

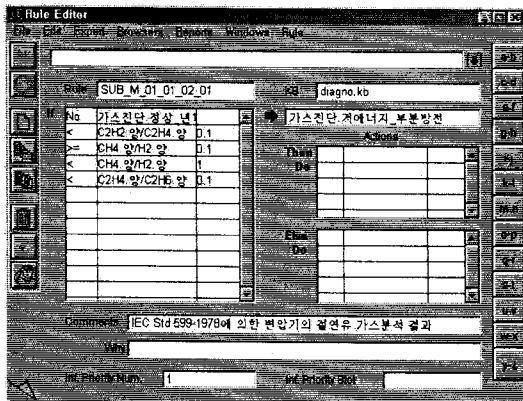


그림 4. Rule editor를 이용한 rule의 작성예

다. 추론

이상의 단계로 추론엔진을 완성한 후 예제 data를 이용하여 추론 엔진을 실행시켜 보았다.

예제 data는 ASCII text file을 기반으로 한 npx file로 만들었다. npx file은 NEURON DATA inc.에서 사용하고 있는 data file의 형식으로 아래와 같이 data를 배열하여 사용한다.

- 추론용 예제 가스 data

gas	amount	incm
H2	200	
CO	400	
C2H2	55	
CH4	300	
C2H6	300	
C2H4	400	
CO2	600	
TCG	2000	150

본 data는 한전 가스진단의 단계에서는 "요주의" 단계를 나타내고 다른 진단법 중에서 Dornenburg & Roger Ratio Method에 의해 열분해에 의한 가스발생에 속한 것이다. 위 data를 입력시킨 후 추론해본 결과를 그림 5에서 보여주고 있다. 추론결과 요주의와 열분해를 정확하게 지시함을 알 수 있다.

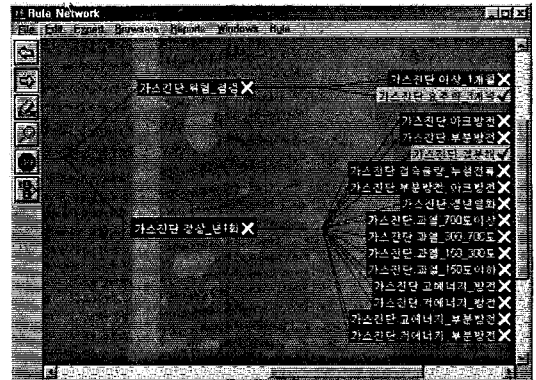


그림 5. 예제 data 추론결과

3. 결 론

전문가 시스템 프로그램 개발용 tool software인 Neuron DATA Inc.에서 나온 Element Expert를 사용하여 유증가스진단 전문가 시스템을 작성 후 가동 시켜본 결과 정확한 결과를 지시함을 확인하였다.

여기에 현재 추론엔진과 사용자간의 interface software가 추가되어야 하고 또한 다른 진단항목에 의한 추가적인 진단 rule에 대한 연구가 진행 중에 있다.

이후 지속적인 실험과 정보수집 및 분석에 의하여 변전설비의 진단을 행하고 고장을 미연에 방지할 수 있는 진단시스템을 연구해 나갈 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김영곤 외, "전차식 고장진단 전문가시스템의 지식베이스 모듈 구축", 한국정보과학회 가을 학술발표 논문집, pp. 393-396, Vol. 21, No. 2, 1994
- [2] 김희수 외, "전문가 시스템", 집문당, 1998
- [3] 中下俊臣, "センサによる機器温度上昇監視の實際", 鐵道と電氣, Vol. 43, No. 3, ('89, 3)
- [4] 한국엑스퍼트(주), "Expert Elements 정기교육자료", 1996
- [5] 최인혁 외, "765kV 변전설비 예방진단 전문가 시스템 기본 설계", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 2133-2135, 1999
- [6] 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
- [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