

전력용 변압기유의 열화 특성과 KSOM에 의한 분석기법 개발

(Aging Characteristics of Power Transformer Oil and
Development of Its Analysis using KSOM)

임재윤* · 지평식** · 이종필*** · 남상천○ · 이승렬○○

(Jae-Yoon Lim · Pyeong-Shik Ji · Jong-Pil Lee · Sang-Cheon Nam · Seung-Yeoll Lee)

요 약

전력계통의 변전소 설비들은 계통의 확장에 따라 점점 복잡하고 거대해지고 있다. 또한 몇몇 장비들은 점점 노후되고, 종종 예상치 않은 고장을 일으킨다. 변전소 설비들 중 변압기의 신뢰도를 증가시키기 위해서, 변압기의 진단기법 개발이 매우 필요하다.

본 연구에서는, 전력용 변압기의 용해 가스들을 근거로 KSOM(Kohonen Self Organizing Map)에 의한 열화 정도와 원인의 분석기법을 개발하였다. KSOM은 용해가스에 의해 구성된 다차원 패턴을 이차원 평면에 지형학적 맵핑이 가능하다. 그리고 정상 변압기에 대한 열화의 정도와 잠재적인 열화의 가능성을 제안된 정량적 지표에 의해 제시하였다. 아울러, 변압기의 열화과정을 제안된 지표를 근거로 특정한 변압기에 대해 분석하였다. 제안된 방법의 타당성을 입증하기 위해 사례연구가 수행되고, 그 결과를 제시하였다.

Abstract

In power system, substation facilities have become too complex and large according to extended power system. Also, some facilities become old and often break down unexpectedly. In order to improve the security of transformer out of substation facilities, the development of diagnosis technique to transformer is very needed.

In this paper, we developed a method to be analysis the origin and degree of aging by KSOM based on the dissolved gases in power transformer. KSOM can do topological mapping for the multi-dimensional pattern based on the dissolved gases to two dimensional plane. And potential possibility and degree of aging for normal transformer are presented using the proposed quantitative criterion. Furthermore, the aging process of transformer is analyzed based on the proposed criterion to special transformer. To demonstrate the validity of proposed method, case study is performed and its results are presented.

1. 서 론

-
- * 정 회 원 : 대덕대학 전기과 조교수
 - ** 정 회 원 : 충주대학교 전기공학과
 - *** 학생회원 : 대덕대학 전기과 시간강사
 - 정 회 원 : 전 충북대학교 전기전자공학부 교수
 - 정 회 원 : (주) A-pro 대표이사
- 접수일자 : 1999년 4월 16일

고도화된 산업사회에서 필수적인 에너지인 전력에 너지를 안정적으로 공급하기 위해서는 계통을 구성하고 있는 요소 중 전력 기기의 신뢰도 확보가 필수적이다. 특히, 전력을 변성·공급하는 전력기기를 중 전력계통의 중요한 부분을 차지하는 유입변압기는 널리 보급되어 운전중이며, 점차 대형화 추세이다.

또 정보화, 자동화, 첨단화된 부하설비는 한 순간의 정전도 용납될 수 없기 때문에 유입 변압기의 내부 이상을 조기에 발견하여 사고를 미연에 방지하는 것이 상당히 중요하다. 또, 전력용 변압기는 운전 중 각부의 열화로 인한 전기적·기계적 성능이 저하되어 이상이 발생하는 경우가 있으며, 그 이상을 조기에 감지하여 적절한 조치를 취하지 않으면 안된다 [1-6].

유입 변압기의 진단 기술[2-11]로 내부 이상이 발생시 국부과열에 의해 발생한 가스량을 분석하여 이상 유무를 추정하는 유중 가스 분석법은 운전중에 수시로 이상 유무를 판정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 변압기의 이상유무와 열화 원인을 주유가스 성분의 양이나 가스 조성비로 범위를 한정하여 만들어진 기준 등에 따라 판단이 행하여지므로 다소 확률적일 수밖에 없다. 그리고 정상 변압기들의 경우일지라도 각 변압기에서 주요 가스성분의 양은 차이가 있으며, 이는 분석 시점에서는 정상이지만 미소한 열화가 진행되고 있다고 볼 수 있고, 이에 대한 열화의 원인과 열화 정도에 대한 분석을 수행하여 열화의 진전에 따른 주의와 대책이 필요하다. 또한 전력용 변압기에 대한 열화 분석은 주기적으로 시행되므로, 분석 자료를 토대로 열화 진행과정과 원인에 대한 분석이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 변압기에서 추출된 유중 주요 가스량들은 변압기의 상태에 따라 고유의 가스패턴을 나타내므로 다차원 패턴에 대한 지형학적 맵핑 능력이 우수한 KSOM(Kohonen Self Organizing Map)[12-14]을 이용하여 변압기의 이상유무와 열화 원인을 판별하고, 정상변압기에 대한 잠재적인 열화원인과 정도를 정량적인 지표에 의하여 제시하고, 제안된 지표를 근거로 동일한 변압기의 경년 열화 과정을 분석하였다. 아울러 본 연구의 타당성을 검증하기 위해 최근의 실제 유중가스 분석 자료를 제안된 방법에 적용하여 그 결과를 제시하였다.

2. 기존 유중가스분석에 의한 열화 진단방법

유입변압기의 내부 이상은 절연 파괴나 국부과열에 의하여 열을 수반하게 된다. 이 때 발열원에 접촉되고 있는 절연유, 절연지 등의 절연물은 그 열의 영

향을 받아 탄화수소계 가스를 발생한다. 따라서 변압기의 절연유를 채유하여 절연유 중에 용해되어 있는 가스를 분석함으로써 변압기의 내부 이상 유무 및 그 정도, 이상의 종류(아크방전, 부분방전, 과열, 절연지 열화)를 추정할 수 있다.

유중 가스분석 결과로부터 이상의 종류, 장소, 정도, 긴급성 등을 판단할 경우 진단 방법으로 유효성이 높은 것은 가스패턴에 의한 진단 방법[2,3], 가스 조성비에 의한 진단방법[2,5], 특정가스에 의한 진단 방법[11] 등이 있다.

국내의 한국전력공사(KEPCO)에서는 표 1과 같이 주요 가스성분의 양, 총가연성가스량, 총가연성가스 증가량 등에 따라 전력용 변압기의 이상 유무와 열화의 원인을 판정하고 있다[6]. 그러나 주요 가스성분의 양에 따른 절대기준을 사용함으로써 요주의 및 이상 판단은 용이하지만 정상일 경우 열화의 정도나 원인에 대한 정량적인 분석은 불가능하다.

또, 최근에는 IEC에서 제시한 가스조성비에 따른 코드를 KSOM에 적용하여 이상 종류를 진단하는 방법[15]이 연구, 발표되고 있으나, KSOM의 입력으로 5개의 가스를 토대로 유추된 조성비만을 사용하여 부분방전, 아크방전, 과열, 정상 등 4가지 유형으로만 진단하였다. 그러나 IEC에서 제시된 고장의 종류는 저에너지 부분방전, 고에너지 부분방전, 저에너지 아크방전, 고에너지 아크방전 및 과열온도에 따라 4가지의 과열 기준으로 정하여 총 8가지 유형으로 진단하고 있다.

표 1. 한국전력공사의 열화 판정기준 (ppm)
Table 1. Diagnostic criteria of KEPCO (ppm)

구분	항목	판정 기준			
		요주의	이상	위험	비고
각종 Gas 량	수소 (H ₂)	400이상	800이상	해당없음	부분방전
	일산화탄소(Co)	300이상	800이상	*	절연물탄화
	아세틸렌(C ₂ H ₂)	20이상	100이상	*	아크방전
	메탄(CH ₄)	250이상	750이상	*	과열(저온)
	에탄(C ₂ H ₆)	250이상	750이상	*	과열(저온)
	에틸렌(C ₂ H ₄)	250이상	750이상	*	과열(고온)
	이산화탄소(Co ₂)	4000이상	7000이상	*	절연물탄화
	T.C.G	700이상	1800이상	해당없음	
	T.C.G 증가량	250/년 이상	100/월 이상	300/월 이상	
	분석주기	3~6개월 월 1회	1~2개월 1회	1주~1개 1회	※정상 1회/년
	대 책	감시추정	감시추정 종합검토	내부점검 실시	

주 : T.C.G : (total combustable gases ; 총가연성가스)

3. 제안된 KSOM에 의한 열화 특성 분석 기법

변압기유 열화특성 분석을 위하여 제안된 본 연구는 그림 1과 같이 일차적으로 변압기의 이상유무와 열화의 원인을 판별하는 학습된 KSOM에 의한 분석과정과 변압기유의 상태가 정상인 경우에 대하여 분석시점에서 잠재적인 열화의 원인과 정도를 결정계수를 도입하여 정량적으로 판단할 수 있는 과정, 그리고 동일한 변압기의 경년에 따른 열화 진행에 대한 분석과정으로 구성하였다.

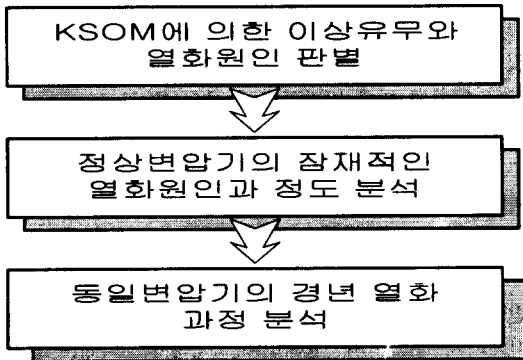


그림 1. 열화 특성 분석을 위하여 제안된 KSOM 방법
Fig. 1. The proposed KSOM method for aging characteristic analysis

변압기의 이상유무와 열화의 원인을 판별하기 위해 그림 2와 같이 비교사학습의 대표적인 신경회로망인 KSOM을 사용하였다.

유중 가스로 구성된 N 차원의 입력패턴, 즉 가스 패턴을 2차원 평면에 맵핑할 수 있는 능력을 갖고 있는 KSOM은 입력층에 n 개의 입력노드와 변압기의 이상유무와 열화 원인을 나타낼 수 있는 출력층은 M 개의 뉴런으로 구성되어 있다. 출력 뉴런은 2차원의 격자 형상으로 입력노드 i 와 출력 뉴런 j 와의 연결 가중치 W_{ij} 로 연결되어 있다. 그러므로 출력층 각 뉴런은 N 차원의 연결가중치 벡터 W_j 를 갖게 되며, 총 M 개의 연결가중치 벡터로 구성되어 진다.

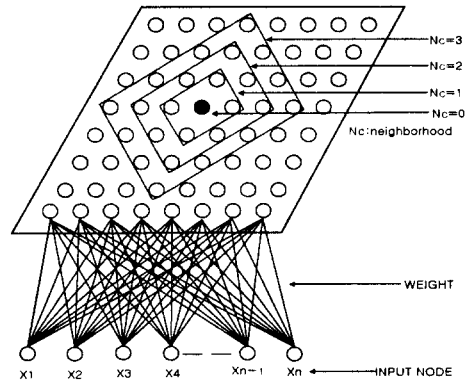


그림 2. KSOM 신경회로망
Fig. 2. KSOM neural network

입력패턴의 구성 요소는 표 1의 유중 주요 가스성분으로 하였으며, 입력패턴을 구성하기 위하여 식 (1)과 같이 각 가스에 대해 변압기의 이상 유무를 3개의 코드로 나타내었다. 즉, 변압기로부터 추출된 각 주요가스는 한국전력공사의 유중가스 판정 기준에 의해 이상일 경우 3, 요주의일 경우 2로 하였다. 그리고 각 가스량이 정상일 경우는 정상과 요주의의 임계값에 대한 비율을 코드 값을 부여함으로써 분석시점에서 정상 변압기의 잠재적 열화 원인과 정도를 정량적으로 나타내고자 하였다.

$$Code_i = \begin{cases} \frac{X_i}{X_{ic}} & \text{for } X_i : \text{정상} \\ 2 & \text{for } X_i : \text{요주의} \\ 3 & \text{for } X_i : \text{이상} \end{cases} \quad (1)$$

단, X_i : 추출된 i 가스 량

X_{ic} : i 가스의 정상과 요주의 임계가스량

$$x_p = \frac{Code_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^7 Code_i^2}} \quad i = 1, 2, \dots, 7 \quad (2)$$

단, x_p : p 번째 입력패턴

KSOM학습은 식 (1)에 의해 산정된 각 가스의 코드 값에 따라 식 (2)와 같이 다시 정규화하고 식 (3)

과 같이 구성된 입력패턴이 입력되면, 식 (4)와 같이 경쟁학습원리에 따라 초기 가중치벡터와 입력패턴 벡터와의 거리를 계산하고, 가장 가까운 거리에 있는 연결가중치 벡터를 갖는 최적 뉴런을 찾게 된다.

$$x_p = [x_{p1}, x_{p2}, x_{p3}, \dots, x_{pi}] \quad (3)$$

$$\|x_p - \widehat{w}_i\| = \min \|x_p - \widehat{w}_j\| \text{ (similarity matching)} \quad (4)$$

$$w_{ij}^{(k+1)} = \begin{cases} w_{ij}^{(k)} + \alpha^{(k)} [x_i^{(k)} - w_{ij}^{(k)}] & \text{for } i \in N_j^{(k)} \text{ (updating)} \\ w_{ij}^{(k)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

그리고 최적 뉴런을 중심으로 설정된 근방뉴런들의 연결가중치를 식 (5)와 같이 수정하고, 계속적으로 근방 뉴런 수를 감소시키면서 경쟁학습을 진행한다. 또, 학습효과를 높이기 위하여 학습이 진행되면서 학습율은 지수함수적으로 감소하도록 설정하였다. 따라서 KSOM은 근방 뉴런을 포함한 반복적인 학습을 통하여 입력패턴들의 공간적인 순서 관계나 위상을 2차원 평면에 보존하는 지형학적 맵핑이 실현된다. 학습이 완료 후 입력패턴들은 맵핑된 뉴런 위치에 따라 이상유무 및 열화원인을 나타내게 된다. 학습된 KSOM의 출력층에서 동일한 위치의 뉴런에 맵핑된 입력패턴들은 KSOM의 학습 원리에 따라 입력패턴들이 거의 동일함을 의미하며, 이웃 뉴런에 맵핑된 입력패턴과의 유사성은 지형학적 거리의 정도뿐만 아니라, 맵핑된 뉴런들이 갖는 연결 가중치 벡터의 유클리드거리에 의하여 패턴의 유사성 정도를 나타내기도 한다[12-14, 16].

학습된 KSOM에 의하여 분석 대상 변압기의 이상유무와 열화원인을 판별할 수 있으나, 정상 변압기의 경우 입력 패턴 구성시 임계가스량에 대한 각 가스량 비율로 코드화 하여 나타내었기 때문에 정상 변압기의 각 코드 값은 다양하고, 따라서 입력패턴인 가스패턴도 다양하다. 그러므로 KSOM에 맵핑된 결과는 변압기의 요주의 및 이상의 집약된 맵핑 결과와 달리 각 가스패턴 코드 값의 차이, 즉 잠재적인 열화의 원인과 정도에 따라 출력층에 넓게 산재하게 된다.

맵핑된 결과로부터 산재된 각 정상 변압기의 잠재

적 열화 원인과 정도를 정량적으로 해석하기 위하여, 앞의 분석 과정에서 이상유무와 열화원인에 따라 맵핑이 확정된 뉴런들과의 연결 가중치 벡터에 의한 결정계수를 식 (6)과 같이 계산하였다. 계산 결과로부터 가장 큰 결정계수를 갖는 뉴런을 찾게되고, 이 뉴런이 갖고 있는 열화 원인에 따라 정상변압기의 잠재적인 열화 현상을 규정하고, 열화의 정도는 결정계수의 크기에 따라 분석한다. 일반적으로 n 차원 벡터인 두 패턴의 결정계수가 0.64이상이면 두 패턴이 80[%]이상 유사함을 의미한다.

$$D = [cor(W_k \cdot W_l)]^2 \quad (6)$$

단, W_k : k 정상 변압기의 맵핑된 뉴런의

연결가중치 벡터

W_l : 이상유무 및 열화원인으로 맵핑된 l

뉴런의 연결가중치 벡터

한국전력공사의 변압기 유증가스 분석은 신설 및 이설하는 경우와 정기적으로 1년마다 실시하고, 그 결과에 따라 열화가 발생한 변압기에 대해 3개월 또는 6개월 후 추적조사를 시행한다. 따라서 분석 시기에 따른 변압기의 주요 가스 량의 변화 추이를 토대로 경년에 따른 열화의 진행 과정에 대한 분석이 가능하며, 식 (6)을 이용하여 각 분석 시점마다의 잠재적 열화 원인과 정도를 규명하면 된다. 예를 들면, 어떤 전력용 변압기를 신설하는 경우 식 (6)을 이용하여 유증가스를 분석한 결과 주된 열화의 잠재성은 절연물 탄화로 규명되고, 6개월 후 분석 결과 열화 잠재성은 아크방전으로 진단되고, 일정기간 경과 후 분석한 결과 아크방전으로 인한 저온과열로 규명되어 변압기의 경년에 따른 열화 진행과정을 정량적으로 분석할 수 있다.

4. 사례연구

4.1 실적자료

본 연구에 사용된 실적 자료는 현재 운용중인 송·배전용 변전소의 전력용 변압기에서 1992년~1997년까지 절연유를 채취한 후 추출한 가스 자료로 표 2와 같다.

표 2. 유증가스 실적자료
Table 2. Historical data of dissolved gas

관리처별	대상 변압기 수	가스데이터 수	비고
D 전력관리처	219	963 개	
C 전력관리처	191	471 개	
T 전력관리처	178	821 개	

변압기에서 취득한 데이터는 H₂, O₂, N₂, CO₂, C₂H₄, C₂H₆, C₂H₂, CH₄, CO 등 9종류의 추출가스 및 총 가스 발생량이다. 실적자료는 신설초기치 및 변압기 운전 중 이설한 후의 이설초기치, 이상징후가 발생하여 3개월 후 또는 6개월 후의 추적조사치, 1년에 1회 실시하는 정기분석치 등으로 구성되어 있다.

4.2 제안된 방법의 적용 결과

KSOM의 알고리즘을 이용하여 전력용 변압기의 이상을 진단한다. 그림 2의 입력층 입력노드는 표 1과 같이 유증 주요가스 H₂, CO, CO₂, C₂H₄, C₂H₆, C₂H₂, CH₄ 등 7개를 이용하였다.

KSOM의 학습을 위한 입력패턴수는 D전력관리처에서 취득한 963개의 자료로 구성하였으며, 출력층은 963개의 패턴이 충분히 맵핑될 수 있도록 2차원 평면상에 10행과 10열, 총 100개의 뉴런으로 구성하였다. 초기 연결 가중치는 난수로 설정해도 되지만, 본 연구에서는 학습 효과를 높이기 위해 각 노드의 입력패턴 중간 값으로 초기화하였다.

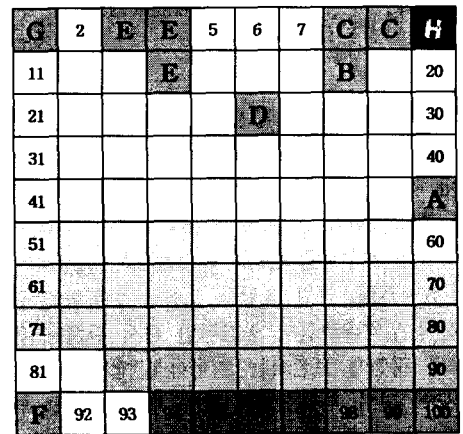
학습 횟수는 입력 패턴이 출력 뉴런층에 충분히 맵핑될 수 있는 86,670(10×9×963)회로 설정하였다. 근방 뉴런의 수는 전체 100개의 뉴런에서 뉴런과 뉴런 사이의 지형학적 거리를 나타내는 맨하탄 거리를 구하여, 최대 맨하탄 거리의 1/2인 9를 초기 근방 뉴런수로 정하여, 설정된 학습 횟수 완료 후 1씩 감소하면서 반복적으로 학습한다. 초기학습율은 0.1로 하였으며 학습이 진행되면서 점차 감소하도록 설정하였다.

입력 패턴 벡터가 입력되면 가중치 벡터와의 거리를 계산하여, 입력 패턴 벡터와 가장 가까운 가중치를 가진 뉴런, 즉 최적 뉴런을 중심으로 근방 뉴런을 포함하여 가중치를 수정하게 된다.

제안된 방법의 타당성과 범용성을 검증하기 위하

여 학습자료와 다른 C전력관리처에서 취득한 471개의 자료를 학습된 KSOM 적용하여 그림 3과 같은 결과를 얻었다.

그림 3에서 일련번호는 뉴런의 위치를 나타내고, 알파벳 문자는 학습에 의하여 전력용 변압기의 이상 유무와 열화원인을 나타낸 것이다. KSOM에 적용한 결과 저온과열에 의한 요주는 A영역, 중온과열은 B영역, 고온과열은 C영역으로 맵핑되었으며, 아크방전은 D영역, 절연물열화는 E영역, CO₂초과는 F영역에 맵핑되어 진공여과가 필요한 것으로 나타났다.



A:저온과열, B:중온과열, C:고온과열,
D:아크방전, E:절연물열화, F:CO₂초과,
G:절연물열화 및 CO₂초과,
H:고온과열에 의한 이상

그림 3. KSOM에 의한 변압기의 열화원인과 이상유무에 대한 분석 결과(C전력관리처)
Fig. 3. Analysis results about an aging origin and normal or abnormal of transformer by KSOM

또한 절연물열화 및 CO₂초과는 G영역에 맵핑되었으며, 정밀 진단이 요구되는 고온과열에 의한 이상은 H영역에 맵핑되었다. 이와 같이 KSOM학습 완료 후 C전력관리처 및 T전력관리처에서 운용중인 전력용 변압기의 이상유무 및 열화원인에 대한 진단결과 표 3과 같이 전력관리처의 진단 결과와 동일하게 나타났다.

KSOM에 의하여 전력용 변압기의 이상 유무 및 열화 원인이 명확하게 판별되었다. 그러나 정상 변압기의 경우는 요주나 이상에 해당하는 알파벳 문자

이외의 뉴런 중 음영이 있는 위치에 음영농도에 따라 많은 정상 변압기가 맵핑되었으며 특히, 변압기의 신설초기치나 이설초기치 등은 98[%]이상 98, 99, 100번 뉴런에 맵핑되었다. 이것은 KSOM학습시 정상 범위의 임계값으로 정규화한 입력자료를 사용함으로써 KSOM의 특성인 지형학적 맵핑이 이루어진 것으로 사료된다.

한편, 정상으로 판별 된 변압기에 대하여도 잠재적인 열화의 원인과 정도를 파악하기 위해 이상과 열화 원인으로 확정된 알파벳의 뉴런과의 결정계수를 식 (6)에 의하여 계산하고 표 4에 나타내었다.

표 3. KSOM에 의한 진단결과
Table 3. The diagnosis results by KSOM

구 분	C 전력관리처		T 전력관리처	
	KSOM에 의한 진단	전력관리처의 진단	KSOM에 의한 진단	전력관리처의 진단
총 자료수	471	471	821	821
정 상	374	374	635	635
요 주 의	저온과열	1	8	8
	중온과열	3	14	14
	고온과열	8	15	15
	아크방전	37	61	61
	절연물탄화	35	52	52
	CO ₂ 초과	9	19	19
	CO ₂ +절연물	3	7	7
이 상	1	10	10	
비 고				

표 4는 정상으로 진단된 임의의 변압기에 대하여 잠재적인 열화의 원인과 정도를 정량적으로 파악하기 위하여 변압기의 맵핑된 뉴런과 이상 및 열화원인으로 확정된 뉴런과의 결정계수를 나타낸 것이다. 31번 뉴런에 맵핑된 첫 번째 정상 변압기의 경우는 절연물 열화원인과의 결정계수가 0.928로 가장 크게 나타나 절연물열화로 될 잠재성이 높고, 36번 뉴런에 맵핑된 두 번째 정상 변압기는 아크방전 열화 원인과의 결정계수가 0.906으로 나타나 아크방전으로 진전될 가능성이 있으며, 59번 뉴런과 70번 뉴런에 맵핑된 정상 변압기는 저온과열로 진전될 가능성이 높다. 또한 83번 뉴런과 94번 뉴런에 맵핑된 정상 변압기는 CO₂초과 영역과의 결정계수가 0.907, 0.918로 CO₂ 초과로 진전될 가능성이 높은 것으로 나타났다. 따라서, 결정계수가 0.64 이상일 경우 이상과 열화로

진전될 가능성이 높아 요주의 또는 이상의 자료와 같이 취급할 필요가 있다.

표 4. 결정계수에 의한 정량적 분석
Table 4. Quantitative analysis using coefficient of determination.

Case	입력패턴이 맵핑된 뉴런	저온과열 (A)	중온과열 (B)	고온과열 (C)	아크방전 (D)	절연물탄화 (E)	CO ₂ 초과 (F)	이 상 (G)
1	31	0.035	0.055	0.052	0.055	0.928	0.076	0.212
2	34	0.097	0.090	0.108	0.024	0.835	0.021	0.334
3	36	0.095	0.034	0.078	0.906	0.004	0.030	0.126
4	48	0.785	0.094	0.093	0.154	0.004	0.003	0.200
5	59	0.824	0.031	0.024	0.273	0.008	0.043	0.001
6	70	0.855	0.030	0.023	0.258	0.001	0.038	0.003
7	71	0.014	0.071	0.088	0.143	0.283	0.717	0.229
8	72	0.001	0.074	0.083	0.158	0.472	0.509	0.220
9	83	0.003	0.090	0.110	0.168	0.051	0.907	0.173
10	94	0.017	0.101	0.124	0.146	0.006	0.918	0.148
11	100	0.034	0.080	0.088	0.121	0.288	0.213	0.175

또, 100번 뉴런의 경우는 신설초기치 및 이설초기치 등이 맵핑되어 있으며, 다른 이상 및 열화원인과의 결정계수가 0.3이하이므로 양호한 정상 변압기라고 할 수 있다.

또한, 제안된 전력용 변압기의 경년에 따른 열화 특성을 분석하고 그 타당성을 입증하기 위하여 동일 변압기에 대한 KSOM의 판별 결과를 토대로 결정계수에 의해 분석한 결과 표 5와 같다.

전력용 변압기는 운전 경력에 따라 경년열화가 발생한다. Case 1의 변압기는 신설초기치로 89번 뉴런에 맵핑되었으며, 각 열화 원인과의 결정계수를 보면, 모두 0.5이하로 작게 나타나고 있지만, 그 중에서 절연물열화와의 결정계수가 0.482로 다른 열화 원인과 비교하여 가장 크게 나타나고 있다. 그러나 6개월이 경과한 후에는 45번 뉴런에 맵핑되면서 결정계수가 0.53으로 증가하였고, 1년 후 정기점검시에는 26번 뉴런에 맵핑되어 아크방전으로 나타났다. 이와 같은 경년 열화 과정을 볼 때 Case 1은 절연물열화에 의한 아크방전인 것으로 분석할 수 있다. Case 2의 경우는 67번 뉴런에 맵핑되어 정상으로 판별되었으나 약 2년 동안의 운전중에는 아크방전과의 결정계수가 0.374로 다른 열화 원인과 비교하여 다소 크게 나타났으나, 1년 경과 후에는 59번 뉴런으로 맵핑되면서 결정계수는 0.824로 급증가 하면서 저온과열의 경향이 높게 나타났고, 14개월 경과 후에는 50번의 뉴런

표 5. 경년에 따른 열화현상

Table 5. Aging phenomena due to the operating period of Transformer

Case	시 일 자	실 적 자 료							맵핑된 뉴런번호	결 정 계 수						진단결과
		H ₂	CO	C ₂ H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	CO ₂		저온	중온	고온	아크	절연물	CO ₂	
1	94.05.11	6	23	5	2	2	2	107	89	0.022	0.114	0.135	0.071	0.482	0.381	신설초기치
	94.11.14	25	77	9	13	11	8	408	45	0.102	0.082	0.123	0.139	0.530	0.083	
	95.11.14	115	90	20	26	15	16	567	26	0.103	0.009	0.005	1.000	0.027	0.085	아크 방전
2	92.10.28	9	113	0	48	77	6	1219	67	0.319	0.031	0.015	0.374	0.281	0.150	신설초기치
	93.12.06	7	129	0	62	103	9	1267	67	0.319	0.031	0.015	0.374	0.281	0.150	
	94.11.14	7	125	0	61	100	7	1286	67	0.319	0.031	0.015	0.374	0.281	0.150	
	95.11.14	8	116	0	85	159	10	1351	59	0.824	0.032	0.024	0.273	0.261	0.043	저온 과열
	97.01.20	2	95	2	107	280	17	1328	50	1.000	0.002	0.003	0.103	0.021	0.043	
3	92.10.28	5	220	0	3	1	5	1129	32	0.033	0.051	0.047	0.054	0.942	0.062	신설초기치
	93.12.06	10	227	0	3	1	8	659	33	0.045	0.059	0.059	0.020	0.957	0.038	
	95.11.14	18	425	2	5	2	12	1433	14	0.021	0.035	0.027	0.027	1.000	0.005	절연물탄화

에 맵핑되면서 저온과열에 의한 요구의로 나타났다.

이것은 아크방전이 서서히 진행하여 과열로 인하여 최종적으로는 저온열화로 진행되었다고 분석할 수 있다. 또, Case 3의 경우는 초기치부터 32번 뉴런에 맵핑되면서 절연물열화와의 결정계수가 0.942로 절연물열화의 경향이 있었고, 1년 후 정기점검에서는 33번 뉴런으로 맵핑되면서 결정계수가 0.957로 증가하여 절연물에 의한 열화의 가능성이 높게 나타났고, 2년 후 정기점검에서는 14번 뉴런에 맵핑되면서 절연물열화로 판별되었다. 따라서, Case 3의 경우도 경년에 따른 절연물탄화의 열화 과정을 보여주고 있다.

4. 결 론

대형화 추세에 있는 전력용 변압기의 사고예방 및 보수 유지를 위해 유중 가스를 토대로 지형학적 맵핑 능력이 우수한 KSOM을 이용하여 열화 특성을 정량적으로 분석하고자 하였다.

변압기에서 추출된 유중 주요 가스량들이 변압기의 상태에 따라 갖는 고유의 가스패턴을 근거로 KSOM을 이용한 결과 변압기의 이상유무와 열화 원인을 완벽히 판별하였다. 또, KSOM에 맵핑된 결과로부터 결정계수를 도입하여 정상 변압기에 대한 잠재적인 열화 원인과 정도를 정량적으로 해석할 수

있었으며, 또 제안된 지표인 결정계수를 이용하여 동일한 변압기의 경년 열화 과정에 대한 논리적 분석 기법을 제시하였다. 또한, 최근 실적 자료를 이용, 사례연구를 수행하여 본 연구의 타당성을 제시하였다.

아울러, 전력용 변압기의 효과적인 열화 특성을 분석하기 위해서는 관련 자료 확보와 함께 자료의 체계적인 정리가 수반되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] H. Tsukioka, K. Sugawara, E. Mori and H. Yamaguchi, "New Apparatus For detecting Transformer Faults", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. E-21, No. 2, pp. 221-229, 1986
- [2] 電氣協同研究會, "油中ガス分析による油入機器の保守管理", 電氣協同研究, 36卷 1號, pp. 1-39, 昭和 55年 7月
- [3] 木下仁志 他, "油入變壓器の油中ガス分析による絶縁異常診断法(第1報)", 電氣學會論文誌, 94卷 2號, pp.65-72, 1974. 2
- [4] 村田孝一, 安田眞司, "配電用油入變壓器のポータル形診断技術最新動向", TJEE, Vol. 112-B, No. 3, pp.214-219, 1992. 3
- [5] R. R. Rogers, "IEEE And IEC Code To Interpret Incipient Faults In Transformers Using Gas In Oil Analysis", IEEE Trans. Electr. Insul, Vol. E-13, No. 5, pp. 349-354, 1978
- [6] 남창현 외, "변압기 유중가스 상시 감시시스템의 운용 연구", 전력연구원 연구보고서, pp.11-17, 1995. 6.
- [7] Y. Kashima, "Automatic Field Monitoring of Dissolved Gases in Transformer Oil", IEEE Trans., Vol. PAS-100,

pp.1538-1544,1981

[8] M.Duval, "Dissolved Gas Analysis : It Can Save Your Transformer", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 5, No. 6, pp.22-26,1989

[9] H. Yoshida, Y. Ishioka, T. Suzuki, T. Yanari and T. Teranishi, "Degradation of Insulating Materials of Transformers", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. E-22, No. 6, pp.795-800,1987

[10] Y. Kamata, "Diagnostic Methods for Power Transformer Insulation", IEEE Trans. Electr. Insul. Vol E-21, No.6, pp.1045-1048,1986

[11] H. Tsukioka, K. Sugawara, E. Mori, S. Hukumori and S. Sakai, "New Apparatus for Detecting H₂, CO and CH₄ Dissolved in Transformer Oil", IEEE Trans. Electr. Insul. Vol. E-13, No. 4, pp.409-419,1983,

[12] Philip D. Wasserman, "Neural Computer Theory and Practice", Van. Nostrand reinold, 1989, pp. 64-70

[13] LiMin Fu, "Neural Network in computer Intelligence", McGraw-Hill, 1994, pp. 48-55

[14] Xuegong Zhang, Yanda Li, "Self- Organizing Map As a New Method for Clustering and Data Analysis", Proceedings of International Joint conference on Neural Network, pp. 2448-2451, 1993

[15] 윤용한, 전영재, 김재철, "유증가스 분석을 이용한 전력용 변압기 고장진단용 코호넨 네트워크", 전기학회 논문지 47권 6호, pp.741-745, 1998. 6.

[16] J.P. Lee et al, "Aging Characteristics Power Transformer Oil and Development of It's Analysis Using KSOM", ICEE'98, Vol. II, Kyongju Korea, pp.461-464, July 1998

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의
공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

◇ 저자소개 ◇

임 재 윤 (林載尹)

1961년 8월 4일생. 1984년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 홍익대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 대덕대학 전기과 교수. 1999. 7~현재 Texas A&M Univ. Post Doctor

지 평 식 (池平植)

1964년 3월 5일생. 1994년 충북대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(석사). 1998년 충북대학교 대학원 전기공학과 박사과정 졸업(박사). 충주대학교 전기공학과 근무

이 종 필 (李鍾弼)

1970년 12월 14일생. 1996년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학교 대학원 석사과정 졸업(석사). 현재 대덕대학 전기과 시간강사

남 상 천 (南相千)

1933년 3월 5일생. 1957년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1977년 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 박사과정 졸업(박사). 1982~1983 일본 明治大學 객원교수. 1980~1998 충북대 전기전자공학부 교수

이 승 렬 (李承烈)

1980년 충북대학교 공업교육과 졸업(학사). 1984년 인하대학교 대학원 화학공학과 석사과정 졸업(석사). 1989년 동 대학원 박사과정 졸업(박사). 1991~1992 일본 큐슈대학 공학부 Post Doctor. 1992~1998 대덕대학 산업안전과 교수. 현재 (주) A-pro 대표이사