(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월20일
(11) 등록번호 10-1537900
(24) 등록일자 2015년07월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01F 27/00 (2006.01) *H01F 27/12* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0043222
(22) 출원일자 2014년04월10일
심사청구일자 2014년04월10일
(56) 선행기술조사문헌
KR101227100 B1*
KR1020010077602 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
최순호
충남 논산시 시민로258번길 9, 103동 610호 (내동, 제이파크아파트)
허창수
서울 구로구 개봉로20길 158, 201동 2701호 (개봉동, 현대홈타운2단지)
(74) 대리인
양성보

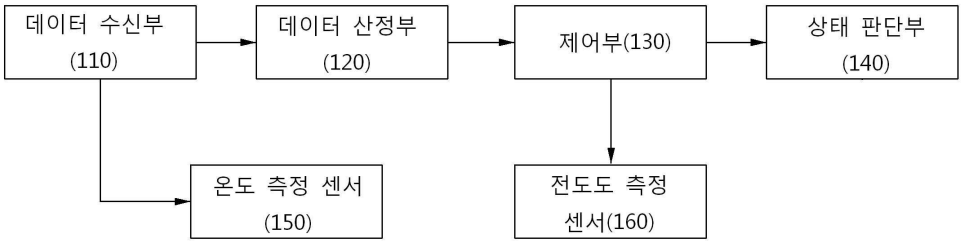
전체 청구항 수 : 총 5 항 심사관 : 최우준

(54) 발명의 명칭 **유입 변압기 제어 시스템 및 방법**

(57) 요 약

유입 변압기 제어 시스템 및 방법이 제시된다. 유입 변압기 제어 시스템은 유입 변압기의 설계 용량과 부하량을 입력 받고, 온도 측정 센서에서 측정한 외부 온도와 내부 온도를 수신하는 데이터 수신부; 상기 데이터 수신부에서 수집한 데이터를 이용하여 가속 열화 지수를 산정하는 데이터 산정부; 상기 가속 열화 지수에 따라 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하여 냉각하는 제어부; 및 열화 정도에 따른 상기 유입 변압기의 상태를 분석하는 상태 판단부를 포함하고, 상기 데이터 산정부는 상기 온도 측정 센서로 상기 유입 변압기의 권선 상, 중, 하부 중 적어도 둘 이상을 측정하여 가장 높은 온도 값을 상기 내부 온도로 설정하며, 상기 내부 온도와 상기 외부 온도에 기설정된 크기의 기준값을 더하여 핫스팟 온도를 산정하고, 상기 핫스팟 온도를 이용하여 상기 가속 열화 지수를 산정할 수 있다.

대 표 도 - 도1



명 세 서

청구범위

청구항 1

유입 변압기의 설계 용량과 부하량을 입력 받고, 온도 측정 센서에서 측정한 외부 온도와 내부 온도를 수신하는 데이터 수신부;

상기 데이터 수신부에서 수집한 데이터를 이용하여 가속 열화 지수를 산정하는 데이터 산정부;

상기 가속 열화 지수에 따라 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하여 냉각하는 제어부; 및

열화 정도에 따른 상기 유입 변압기의 상태를 분석하는 상태 판단부

를 포함하고,

상기 데이터 산정부는 상기 온도 측정 센서로 상기 유입 변압기의 권선 상, 중, 하부 중 적어도 둘 이상을 측정하여 가장 높은 온도 값을 상기 내부 온도로 설정하며, 상기 내부 온도와 상기 외부 온도에 기설정된 크기의 기준값을 더하여 핫스팟 온도를 산정하고, 상기 핫스팟 온도를 이용하여 상기 가속 열화 지수를 산정하는 것

을 특징으로 하는 유입 변압기 제어 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 데이터 산정부는 상기 핫스팟 온도(Θ_H)를 하기 수학식 1을 이용하여 산정하고,

[수학식 1]

$$\Theta_H = T_{OUT} + T_{IN} + 20[℃]$$

여기서, Θ_H는 상기 유입 변압기 내부 절연유의 상기 핫스팟 온도를 나타내며, T_{OUT}은 상기 외부 온도이고, T_{IN}은 상기 유입 변압기의 권선에 부착된 상기 온도 측정 센서 중 가장 높은 온도 값을 가지는 상기 내부 온도를 나타내며,

상기 가속 열화 지수를 하기 수학식 2를 이용하여 산정하고,

[수학식 2]

$$F_{AA} = \mathrm{EXP}^{\left[\frac{15000}{383} - \frac{15000}{\Theta_H + 273}\right]}$$

상기 제어부는

상기 가속 열화 지수가 미리 설정된 지수 이상의 값을 가지는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시키고, 전도도 측정 센서를 이용하여 절연유 내부의 전하값의 급격한 변화를 감지하는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시키는 것

을 특징으로 하는 유입 변압기 제어 시스템.

청구항 3

유입 변압기의 설계 용량과 부하량을 입력 받고, 온도 측정 센서를 이용하여 내부 온도와 외부 온도를 측정하여 상기 유입 변압기의 수명에 관한 데이터를 수집하는 단계;

수집한 상기 데이터를 이용하여 상기 유입 변압기의 가속 열화 지수를 산정하는 단계;

상기 가속 열화 지수에 따라 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하는 단계; 및

상기 유입 변압기의 열화 정도에 따른 상태를 분석하는 단계

를 포함하고,

상기 유입 변압기의 가속 열화 지수를 산정하는 단계는 상기 온도 측정 센서로 상기 유입 변압기의 권선 상, 중, 하부 중 적어도 둘 이상을 측정하여 가장 높은 온도 값을 상기 내부 온도로 설정하며, 상기 내부 온도와 상기 외부 온도에 기설정된 크기의 기준값을 더하여 핫스팟 온도를 산정하고, 상기 핫스팟 온도를 이용하여 상기 가속 열화 지수를 산정하는 것

을 특징으로 하는 유입 변압기 제어 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 유입 변압기의 가속 열화 지수를 산정하는 단계는

상기 핫스팟 온도(θ_H)를 하기 수학식 1을 이용하여 산정하고,

[수학식 1]

$$\Theta_H = T_{OUT} + T_{IN} + 20[℃]$$

여기서, θ_H는 상기 유입 변압기 내부 절연유의 상기 핫스팟 온도를 나타내며, T_{OUT}은 상기 외부 온도이고, T_{IN}은 상기 유입 변압기의 권선에 부착된 상기 온도 측정 센서 중 가장 높은 온도 값을 가지는 상기 내부 온도를 나타내며,

상기 가속 열화 지수를 하기 수학식 2를 이용하여 산정하는,

[수학식 2]

$$F_{AA} = \mathrm{EXP}^{\left[\frac{15000}{383} - \frac{15000}{\theta_H + 273}\right]}$$

유입 변압기 제어 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하는 단계는

상기 가속 열화 지수가 미리 설정된 지수 이상의 값을 가지는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시키는 단계; 및

전도도 측정 센서를 이용하여 절연유 내부의 전하값의 급격한 변화를 감지하는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시키는 단계

를 포함하고,

상기 가속 열화 지수를 시간과 결합하여 등가적인 수명을 하기 수학식 3을 이용하여 산정하고,

[수학식 3]

$$F_{EQA} = \frac{\sum_{n=1}^{N} F_{AAn}\,\Delta t_n}{\sum_{n=1}^{N} \Delta t_n}$$

여기서, F_{EQA}는 전체시간 동안의 가속 계수이고, n은 시간 간격(t)의 지수이며, N은 시간 간격의 총 수이고, $\triangle t_n$은 시간 간격이며, F_{AAn}은 시간 간격($\triangle t_n$)에 존재하는 온도의 가속 열화 계수를 의미하고,

산정된 상기 등가적인 수명 추정식을 이용하여 가속 열화 정도를 하기 수학식 4를 이용하여 판단하는,

[수학식 4]

$$\%\,Loss\ of\ life = \frac{F_{EQA} \times t \times 100}{Normal\ insulation\ life} = \frac{F_{EQA} \times t \times 100}{180000\,[hours]}$$

여기서, Normal insulation life는 상기 유입 변압기의 수명에 대한 기간인는 것

을 특징으로 하는 유입 변압기 제어 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 유입 변압기 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는 수명을 예상하고 일정한 온도기준에 따라서 가속 열화를 방지할 수 있는 유입 변압기 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 유입 변압기는 다른 형식의 변압기보다 내부 절연체가 액체이기 때문에 유지 및 보수가 어려운 단점이 지적되지만 대형화가 가능하고 제작 비용이 낮은 장점을 가지고 있어 광범위하게 사용되고 있다.

[0003] 이러한, 유입 변압기는 관리자의 관리 상태나 설치장소의 환경, 부하 정도 등과 같이 열화에 미치는 인자는 다양하게 존재한다. 일반적으로 IEEE Std. 57.91에서 제시한 유입 변압기의 수명은 180,000[hour]으로 약 20.55년으로 제시하고 있다. 하지만, 부하가 낮아 절연유가 열화가 진행되지 않았거나, 절연유의 교체 등과 같은 과정을 통해 정확한 수명치를 예상할 수 없으므로, 너무 늦게 교체하게 되면 사고의 위험성이 증가하게 된다. 또한, 너무 이른 시기에 유입 변압기를 교체할 경우에는 경제적인 손실이 발생하게 된다.

[0004] 그리고, 유입 변압기의 열화 정도를 판단하는 방법은 다양한 방법이 제안되고 있다. 첫 번째는, 유입 변압기에 다수의 온도 측정 센서를 배치하여 내부 온도가 상승하는 정도를 측정하여 연구자들이 연구한 식에 대입하는 방식에 가장 간단하게 절연유의 열화 정도(수명)를 파악하는 방법이다. 두 번째는, 밀폐되어 유입 변압기의 실시간 발생가스를 분석하여 각각의 가스에 따라 유입 변압기 내부의 발생한 문제를 예측하는 방법이 있으며, 세 번째로는 절연유를 일정량 채취하여 다양한 특성(점도, 절연내력, 수분함량, 침전물 등)을 분석하는 방법이 있다.

[0005] 다른 방법과 비교하여, 유입 변압기 내부의 온도를 측정하는 방법은 측정 장비가 간단하고 적은 비용으로 감시 시스템을 구축할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 실시간으로 열화 정도를 용이하게 파악할 수 있다. 그러나, 유동 대전에 대한 문제를 적절하게 고려하지 않아 안전율과 신뢰성이 보장되지 않는 문제점이 있다.

[0006] 또한, 대형화가 될 경우에 용량에 따른 유입 변압기 내부에서 발생하는 열은 점차 증가하게 되므로, 내부 열을 제거할 수 있도록 절연유 강제 순환 방식을 사용할 수 있으나, 유동 대전 현상의 문제를 초래할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 열화 정도를 분석하기 위해 변압기 내부에 온도 측정 센서를 배치함으로써, 변압기의 열화 정도를 수치적으로 분석할 수 있는 유입 변압기 제어 시스템 및 방법을 제공하는데 있다.

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 변압기 내부에 전도도 측정 센서를 설치함으로써, 절연유의 강제 순환 시 발생되는 유동 대전 문제를 해결할 수 있는 유입 변압기 제어 시스템 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 유입 변압기 제어 시스템은 유입 변압기의 설계 용량과 부하량을 입력받고, 온도 측정 센서에서 측정한 외부 온도와 내부 온도를 수신하는 데이터 수신부; 상기 데이터 수신부에서

수집한 데이터를 이용하여 가속 열화 지수를 산정하는 데이터 산정부; 상기 가속 열화 지수에 따라 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하여 냉각하는 제어부; 및 열화 정도에 따른 상기 유입 변압기의 상태를 분석하는 상태 판단부를 포함한다.

[0010] 상기 제어부는 상기 가속 열화 지수가 미리 설정된 지수 이상의 값을 가지는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시키고, 전도도 측정 센서를 이용하여 절연유 내부의 전하값의 급격한 변화를 감지하는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시킬 수 있다.

[0011] 다른 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 유입 변압기 제어 방법은 유입 변압기의 수명에 관한 데이터를 수집하는 단계; 수집한 상기 데이터를 이용하여 상기 유입 변압기의 가속 열화 지수를 산정하는 단계; 상기 가속 열화 지수에 따라 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하는 단계; 및 상기 유입 변압기의 열화 정도에 따른 상태를 분석하는 단계를 포함한다.

[0012] 상기 유입 변압기의 수명에 관한 데이터를 수집하는 단계는 상기 유입 변압기의 상태에 따른 용량과 부하량을 입력하여 데이터를 수집하는 단계; 및 온도 측정 센서를 이용하여 상기 유입 변압기의 내부 온도와 외부 온도를 측정하여 온도 데이터를 수집하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하는 단계는 상기 가속 열화 지수가 미리 설정된 지수 이상의 값을 가지는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시키는 단계; 전도도 측정 센서를 이용하여 절연유 내부의 전하값의 급격한 변화를 감지하는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시키는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명의 실시예들에 따르면 열화 정도를 분석하기 위해 변압기 내부에 온도 측정 센서를 배치함으로써, 변압기의 열화 정도를 수치적으로 분석할 수 있는 유입 변압기 제어 시스템 및 방법을 제공할 수 있다.

[0015] 본 발명의 실시예들에 따르면 변압기 내부에 전도도 측정 센서를 설치함으로써, 절연유의 강제 순환 시 발생되는 유동 대전 문제를 해결할 수 있는 유입 변압기 제어 시스템 및 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 유입 변압기 제어 시스템을 나타낸 블록도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 유입 변압기 제어 방법을 나타낸 순서도이다.

도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터를 수집하는 방법을 나타낸 순서도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하는 방법을 나타낸 순서도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 핫스팟에 의한 가속 열화 지수 변화를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0018] 유입 변압기의 절연유를 광유를 사용할 경우 연구자들의 실험결과에 종합하여 이론적으로 정립한 자료인 IEEE Std C57.91(IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers)을 따르게 된다. 이 기준을 바탕으로 가속 열화 계산식을 사용하고 열화 정도를 판단하며, 열화를 억제하기 위한 냉각 팬의 작동과 절연유의 강제 순환 과정을 거치게 된다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 유입 변압기 제어 시스템을 나타낸 블록도이다.

[0020] 도 1을 참조하면, 유입 변압기 제어 시스템은 데이터 수신부(110), 데이터 산정부(120), 제어부(130), 그리고 상태 판단부(140)로 이루어진다. 그리고, 온도 측정 센서(150)과 전도도 측정 센서(160)을 추가로 구성할 수 있다.

[0021] 데이터 수신부(110)는 유입 변압기의 종류에 따른 설계 용량을 입력 받고, 사용에 따른 실제 부하량을 입력 받

아 데이터를 수집할 수 있다. 또한, 유입 변압기의 설치 장소 및 환경과, 관리 상태 등 열화에 영향을 미치는 데이터를 수집할 수 있다.

[0022] 그리고, 데이터 수신부(110)는 온도 측정 센서(150)에서 측정한 외부 온도와 내부 온도를 수신할 수 있다. 여기서, 유입 변압기의 권선은 하부와 상부에 여유공간이 존재하고 중앙부에 권선이 배치되어 있기 때문에 중심부에서 권선의 내부에서 가장 온도가 높은 부분을 핫스팟이라고 하여 높은 열을 발생하게 된다. 이 때, 핫스팟을 측정하는 것은 어렵기 때문에, 권선의 상, 중, 하부에 온도 측정 센서(150)를 배치하여 변화되는 온도를 관찰하고, 최대값을 기준으로 핫스팟 온도를 산정할 수 있다.

[0023] 데이터 산정부(120)는 데이터 수신부(110)에서 수집한 데이터를 이용하여 가속 열화 지수를 산정할 수 있다. 데이터 산정부(120)는 열화 정도를 판단할 수 있는 수식을 통해 변압기 전반적인 열화 정도(수명)를 0 ~ 100%까지 도출 할 수 있다. 열화 정도를 판단할 수 있는 수식은 아래에서 구체적으로 설명하기로 한다.

[0024] 제어부(130)는 데이터 산정부(120)에서 판단한 가속 열화 지수에 따라 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하여 냉각할 수 있다. 여기서, 제어부(130)는 가속 열화 지수가 미리 설정된 지수 이상의 값을 가지는 경우에, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시킬 수 있고, 전도도 측정 센서(160)를 이용하여 절연유 내부의 전하값의 급격한 변화를 감지하는 경우에, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시킴으로써, 유입 변압기를 냉각시킬 수 있다.

[0025] 그리고, 제어부(130)는 열화 정도가 미비한 수준을 유지할 경우에는 냉각 팬과 절연유 순환 펌프의 동작을 정지하도록 하며, 열화 정도가 설정한 가속 열화 인자 수준의 범위 이상이 되는 경우에 유입 변압기의 내부 열화를 억제하기 위해 냉각 팬과 절연유 순환 펌프가 동작하도록 제어할 수 있다.

[0026] 상태 판단부(140)는 열화 정도에 따른 상기 유입 변압기의 상태를 분석할 수 있으며, 판단된 결과에 따라 정상 상태, 설정된 열화 정도의 범위 이내로 주의 경고 상태, 그리고 폐기 경고 상태 등으로 구분되어 사용자에게 유입 변압기의 수명을 알려줄 수 있다.

[0027] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 유입 변압기 제어 방법을 나타낸 순서도이다. 그리고, 도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터를 수집하는 방법을 나타낸 순서도이며, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어하는 방법을 나타낸 순서도이다.

[0028] 도 2 내지 도 4를 참조하면, 단계(210)에서, 유입 변압기의 수명에 관한 데이터를 수집할 수 있다.

[0029] 그리고, 단계(211)에서, 유입 변압기의 상태에 따른 용량과 부하량을 설정하여 데이터를 수집할 수 있다. 다시 말하면, 유입 변압기의 종류에 따른 설계 용량을 입력 받고, 사용에 따른 실제 부하량을 입력 받아 데이터를 수집할 수 있다. 또한, 유입 변압기의 설치 장소 및 환경과, 관리 상태 등 열화에 영향을 미치는 데이터를 수집할 수 있다.

[0030] 단계(212)에서, 열화에 따른 기준온도를 입력하기 위해서 온도 측정 센서를 이용하여 상기 유입 변압기의 내부 온도와 외부 온도를 측정할 수 있다. 여기서, 유입 변압기의 권선은 하부와 상부에 여유공간이 존재하고 중앙부에 권선이 배치되어 있기 때문에 중심부에서 권선의 내부에서 가장 온도가 높은 부분을 핫스팟이라고 하여 높은 열을 발생하게 된다. 핫스팟을 측정하는 것은 어렵기 때문에, 권선의 상, 중, 하부에 온도 측정 센서를 배치하여 변화되는 온도를 관찰하고, 최대값을 기준으로 핫스팟 온도를 산정할 수 있다.

[0031] 이 때, 측정되는 온도는 외부 온도를 상온(20~25℃)을 기준으로, 내부의 권선의 온도 중 최대로 올라가는 권선의 온도를 측정값과 핫스팟을 감안하여 약 20℃를 더해주면 식에 적용하기 위한 온도 기준값이 도출될 수 있다. 하지만, 유입 변압기가 설치되는 장소가 지하나 실내에 설치하더라도 계절에 따라 외부 온도의 변화폭이 상당히 크기 때문에, 외부 온도를 일정하게 정해놓지 않고 온도 측정 센서를 이용하여 지속적으로 데이터를 입력 받아 데이터를 수집하는 것이 바람직하다.

[0032] 단계(220)에서, 수집한 데이터를 이용하여 유입 변압기의 가속 열화 지수를 산정할 수 있다.

[0033] [표 1]은 본 발명의 일 실시예에 따른 가속 열화 지수를 나타낸 표이다.

표 1

Temperature °C	Age factor	Temperature °C	Age factor	Temperature °C	Age factor
≤37	0.000 0	65	0.005 4	94	0.181 3
37	0.000 1	66	0.006 2	95	0.202 6
38	0.000 1	67	0.007 1	96	0.226 3
39	0.000 1	68	0.008 0	97	0.252 6
40	0.000 2	69	0.009 1	98	0.281 7
41	0.000 2	70	0.010 4	99	0.314 1
42	0.000 2	71	0.011 8	100	0.349 9
43	0.000 2	72	0.013 4	101	0.389 7
44	0.000 3	73	0.015 2	102	0.433 7
45	0.000 3	74	0.017 2	103	0.482 3
46	0.000 4	75	0.019 5	104	0.536 2
47	0.000 4	76	0.022 0	105	0.595 7
48	0.000 5	77	0.024 9	106	0.661 4
49	0.000 6	78	0.028 I	107	0.734 0
50	0.000 7	79	0.031 8	108	0.814 2
51	0.000 8	80	0.0358	109	0.902 6
52	0.000 9	81	0.0404	110	1.000 0
53	0.001 1	82	0.0455	111	1.107 4
54	0.001 2	83	0.0513	112	1.225 6
55	0.001 4	84	0.0577	113	1.355 8
56	0.001 6	85	0.0649	114	1.499 0
57	0.001 9	86	0.0729	115	1.656 5
58	0.002 1	87	0.0819	116	1.829 6
59	0.002 4	88	0.0919	117	2.019 7
60	0.002 8	89	0.1031	118	2.228 5
61	0.003 2	90	0.1156	119	2.457 6
62	0.003 7	91	0.129 5	120	2.708 9
63	0.004 2	92	0.144 9	121	2.984 5
64	0.004 8	93	0.162 2	122	3.286 5

[0034]

[0035] 기준값을 통해 IEEE Std C57.91에 제시한 [표 1]에 적절히 대입하면, 유입 변압기의 유온이 110도가 되었을 경우에 1이상의 가속 열화 지수(Aging acceleration factor)를 가지게 된다. 하지만, 110도 미만일 경우에는 가속 열화 지수가 낮기 때문에 유입 변압기 내부의 절연재료의 가속 열화가 미비하게 진행되므로, 유입 변압기 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프의 작동이 되지 않더라도 정상 작동할 수 있다.

[0036] 변압기 내부 절연유의 핫스팟 온도(Θ_H)를 산정하기 위해서는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

수학식 1

$$\Theta_H = T_{OUT} + T_{IN} + 20[℃]$$

[0037]

[0038] 여기서, Θ_H 는 변압기 내부 절연유의 핫스팟 온도를 나타내며, T_{OUT}은 외기 온도이고, T_{IN}은 유입 변압기 권선에 부착된 온도 측정 센서 중 가장 높은 온도 값을 가지는 내부 온도를 나타낸 것이다.

[0039] 다음 식은 가속인자 추정식을 나타낸 것으로, [표 1]과 같은 결과를 도출하기 위한 것이다.

수학식 2

$$F_{AA} = \mathrm{EXP}^{[\frac{15000}{383} - \frac{15000}{\Theta_H + 273}]}$$

[0040]

[0041] 여기서, Θ_H 은 [수학식 1]에서 구해진 변압기 내부 절연유의 핫스팟 온도(Θ_H)를 나타낸다.

[0042] 이에 따라, 가속 열화 지수를 구할 수 있으며, 높은 온도 경우에도 가속 열화 지수를 산정할 수 있다.

[0043] 다음 식은 등가 수명 추정식은 나타낸 것으로, 가속 열화 지수를 시간과 결합하여 등가적인 수명을 계산할 수 있다.

수학식 3

$$F_{EQA} = \frac{\sum_{n=1}^{N} F_{AAn}\,\Delta t_n}{\sum_{n=1}^{N} \Delta t_n}$$

[0044]

[0045] 여기서, F_{EQA} 는 전체시간 동안의 가속 계수이고, n 은 시간 간격(t)의 지수이며, N 은 시간 간격의 총 수이다. 또한, Δt_n 은 시간 간격이며, F_{AAn} 은 시간 간격(Δt_n)에 존재하는 온도의 가속 열화 계수를 의미한다.

[0046] 그리고, 핫스팟의 온도가 지속적으로 변화하는 경우에, 가해지는 시간에 따라 열화 정도를 한번에 계산할 수 있는 방법이다.

[0047] 다음 식은 산정된 등가 수명 추정식을 대입하여 가속 열화 정도를 판단할 수 있다.

수학식 4

$$\%\,Loss\ of\ life = \frac{F_{EQA} \times t \times 100}{Normal\ insulation\ life} = \frac{F_{EQA} \times t \times 100}{180000\,[hours]}$$

[0048]

[0049] 여기서, Normal insulation life는 유입 변압기의 수명에 대한 기간을 입력해 놓은 것이다.

[0050] [표 2]는 본 발명의 일 실시예에 따른 유입 변압기의 수명 기간을 나타낸 표이다.

표 2

Basis	Normal insulation life	
	Hours	Years
50% retained tensile strength of insulation (former IEEE Std C57.92-1981 criterion)	65 000	7.42
25% retained tensile strength of insulation	135 000	15.41
200 retained degree of polymerization in insulation	150 000	17.12
Interpretation of distribution Transformer functional life test data (former IEEE Std C57.91-1981 criterion)	180 000	20.55
NOTES: 1 — Tensile strength or degree of polymerization (D.P.) retention values were determined by sealed tube aging on well-dried insulation samples in oxygen-free oil. 2 — Refer to I.2 in annex I for discussion of the effect of higher values of water and oxygen and also for the discussion on the basis given above.		

[0051]

[0052] 본 기준은 IEEE Std C57.91에서 제시하고 있는 유입 변압기의 기준에 따라서 수명을 설정한 것이고, 반도체 공장과 같은 지속적으로 전력을 공급하고 경제적인 비용보다는 높은 안전율이 필요한 시설물에 대해서는 별도의 안전율을 적용하여 수명기간을 새롭게 설정할 수 있다.

[0053] [표 3]은 본 발명의 일 실시예에 따른 유입 변압기의 16시간 동안 핫스팟 온도를 44 ~ 138[℃]까지 변화시킬 경우에 산정되는 가속 열화 지수 값을 나타낸 표이다.

표 3

시간	핫스팟의 온도 [℃]	$F_{AA,n}$	열화 시간 (Aging hours)	누적 열화 시간 (Cumulative age hours)
1:00	71	0.0118	0.0118	0.0118
2:00	93	0.1622	0.1622	0.174
3:00	109	0.9026	0.9026	1.0766
4:00	122	3.2865	3.2865	4.3631
5:00	132	8.3935	8.3935	12.7566
6:00	138	14.4131	14.4131	27.1697
7:00	135	11.0208	11.0208	38.1905
8:00	109	0.9026	0.9026	39.0931
9:00	90	0.1156	0.1156	39.2087
10:00	76	0.0220	0.0220	39.2307
11:00	66	0.0062	0.0062	39.2369
12:00	58	0.0021	0.0021	39.239
13:00	53	0.0011	0.0011	39.2401
14:00	49	0.0006	0.0006	39.2407
15:00	46	0.0004	0.0004	39.2411
16:00	44	0.0003	0.0003	39.2414

[0054]

[0055] 이러한 방법은, [수학식 3]에 의해 각 온도에 따라 산정되는 가속 열화 지수를 대입하고, 그에 따른 시간 값을 곱함으로써 F_{EQA} (전체 시간 동안의 가속 계수)를 구할 수 있다.

[0056] 단계(230)에서, 가속 열화 지수에 따라 외부의 냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어할 수 있다.

[0057] 그리고, 단계(231)에서, 가속 열화 지수가 미리 설정된 지수 이상의 값을 가지는 경우에, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시킬 수 있다.

[0058] 가속 열화 지수는 유입 변압기의 핫스팟에 따라 지수 함수적으로 증가하므로, 유입 변압기의 가속 열화를 방지하기 위해서는 일정한 한계 가속 열화 지수로 제한할 수 있으며, 설정한 가속 열화 지수에 따라 유입 변압기의 내부 절연유의 유온을 낮출 수 있는 냉각 팬과 강제 순환 펌프가 적절하게 관여함으로써 냉각을 진행할 수 있다.

[0059] 또한, 단계(232)에서, 전도도 측정 센서를 이용하여 절연유 내부의 전하값의 급격한 변화를 감지하는 경우, 상기 냉각 팬과 절연유 순환 펌프 중 적어도 하나 이상을 가동시킬 수 있다.

[0060] 여기서, 유동 대전에 영향을 미치는 인자 중 유속이 대전 현상의 변화에 가장 크게 영향을 미친다. 유속조건에 영향을 미치는 인자로는 외부 방열판으로 이어지는 관로의 내부 지름, 액체의 밀도, 점성 계수, 유속조건에 따라 레이놀즈 수(Reynold number)에 따라 변화하게 된다. 일반적으로, 레이놀즈 수(Re)의 2300정도의 경계로 층류와 난류로 나뉘게 되지만, 2000~3000영역에서는 그 성질을 알 수 없다. 층류(Laminar flow)는 유체가 흐를 때 규칙적인 흐름으로 인하여 흐트러지지 않고 일정하게 흐르는 흐름을 말하며, 난류(Turbulent flow)는 유체의 각 부분이 시간적으로나 공간적으로 불규칙적인 운동을 하면서 흘러가는 것을 의미한다.

[0061] 일반적으로, 유입 변압기 내부에서 외부로 이어지는 덕트의 유속 평균값은 15~30cm/s 이다. 하지만, 중, 대형 변압기의 덕트 사이에 흐르는 절연유의 실제 이동속도는 60cm/s이상이 되며, 더욱 큰 용량을 유입 변압기에 적

용하는 경우에 절연유의 이동 속도의 범위는 더 높아지게 된다.

[0062] 즉, 절연유의 덕트 부분은 공간이 급속하게 협소해지기 때문에 절연유의 이동이 급격해진다. 이러한 이유에 따라, 덕트 부분에서 유동 대전에 의한 전하가 발생하게 되고 일정한 부분에 전하가 축적되게 된다. 발생된 전하 정도를 알아보기 위해 덕트 부분에 전하의 축적 정도와 변화를 알아볼 수 있는 전도도 측정 센서를 설치함으로써 수치적으로 그 값을 알아낼 수 있으며, 절연유 내부의 전하값의 급격한 변화를 감지할 경우에, 절연유의 강제 순환를 발생시키는 순환 펌프를 제어하여 절연유의 유속을 제어할 수 있고, 변압기의 제어부에 경고나 일시적인 가동 중지를 실시할 수 있다.

[0063] 단계(240)에서, 유입 변압기의 열화 정도에 따라 유입 변압기의 상태를 분석할 수 있으며, 판단된 결과에 따라 정상 상태, 설정된 열화 정도의 범위 이내로 주의 경고 상태, 그리고 폐기 경고 상태 등으로 구분되어 사용자에게 유입 변압기의 수명을 알려줄 수 있다.

[0064] 또한, 외부 강제 순환하는 유입변압기의 덕트에 유동대전에 의한 전하의 축적 정도를 판단할 수 있는 전도도 측정 센서를 설치함으로써 위험을 감지할 수 있고, 급격한 상태 변화가 감지될 경우에는 경고나 가동 중지의 방법을 통해 유입 변압기의 신뢰성을 높일 수 있다.

[0065] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 핫스팟에 의한 가속 열화 지수 변화를 나타낸 그래프이다.

[0066] 도 5를 참조하면, 핫스팟에 따른 가속 열화 지수 변화로, [표 1]와 [수학식 2]를 통해서 변화를 나타내어 도출할 수 있다. 여기서, Θ_H (핫스팟의 온도)가 110℃까지는 가속 열화 지수가 1이하이기 때문에 이론적으로 변압기가 가속 열화가 된다고 할 수 없다. 하지만, 110℃이상으로 증가하는 경우에 그 이상의 온도 범위에서는 가속 열화 지수 1이상의 값을 가지게 되므로, 적절한 외부 냉각 팬과 강제 순환 펌프를 제어함으로써 내부 절연유의 온도를 감소시킬 수 있다.

[0067] 따라서, 본 발명은 변압기 내부 절연유의 온도에 따라 수명을 예상할 수 있는 아레니우스 식을 바탕으로 변압기의 수명을 예상하고 일정한 온도기준에 따라서 가속 열화 방지 팬과 절연유 강제순환 펌프의 구동방식과 유입 변압기 유동 대전 특성을 고려하여 제어가 가능하다. 유입 변압기는 측면에 방열판에 배치된 팬을 구동시켜 절연유의 온도를 떨어뜨리지만 이것을 더욱 효과적으로 하기 위해서는 내부 절연유를 외부 방열판에 강제 순환시킴으로써 내부 열을 빠르게 제거할 수 있다.

[0068] 하지만, 절연유는 강제순환 시에 변압기 내부의 고체 물질(절연지, 권선, 케이스 등)을 지나면서 유동 대전 현상이 발생하게 된다. 이러한 유동 대전 현상은 변압기 내부의 전하 축적으로 이어지고 차후에 다양한 방전현상을 통해 변압기 내부의 이상이나 유입 변압기의 폭발로 이어져 많은 인명 피해가 이어질 수 있다.

[0069] 유입 변압기의 수명 파악 장치를 통해 유입 변압기의 유온에 따라서 열화 정도를 지속적으로 수치화 하여 분석하며, 가속 열화와 유입 변압기의 유동 대전 현상을 방지할 수 있는 냉각 팬 구동과 절연유의 강제 순환 펌프에 대해 적절하게 제어할 수 있다.

[0070] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서

(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0071] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0072] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

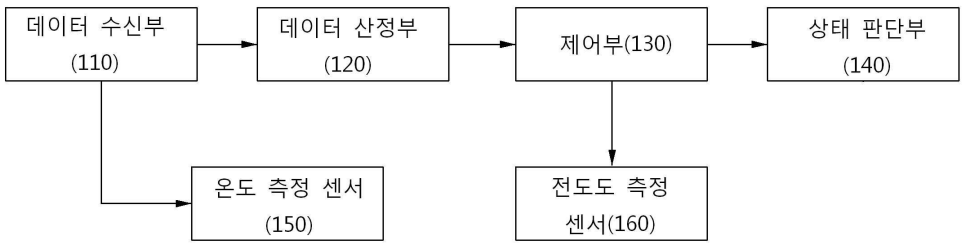
[0073] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0074] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

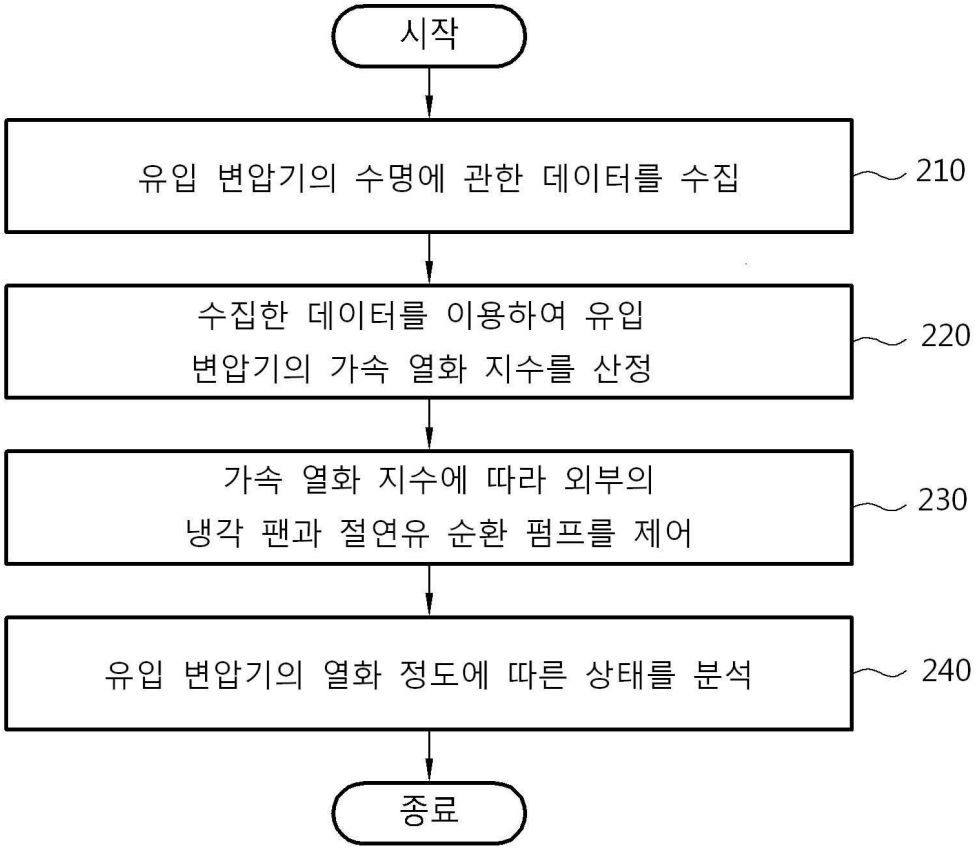
[0075]

도면

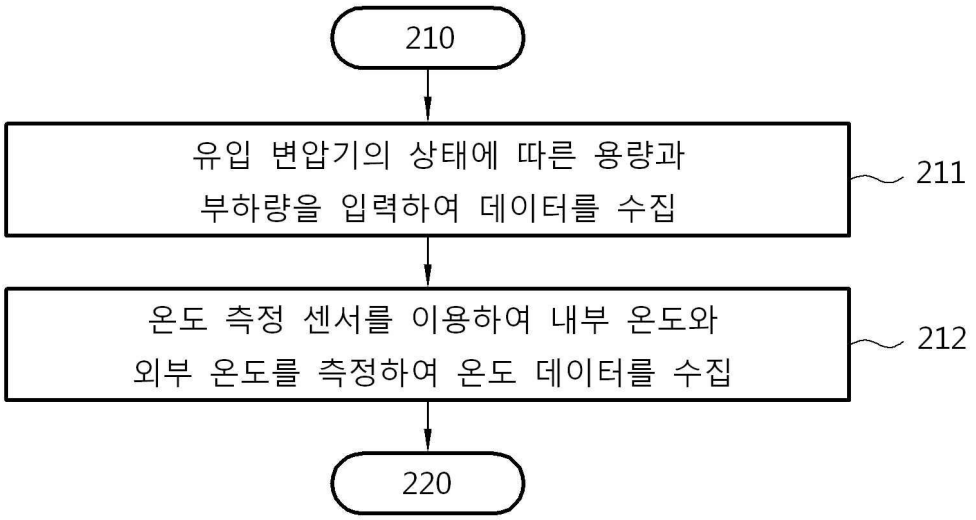
도면1



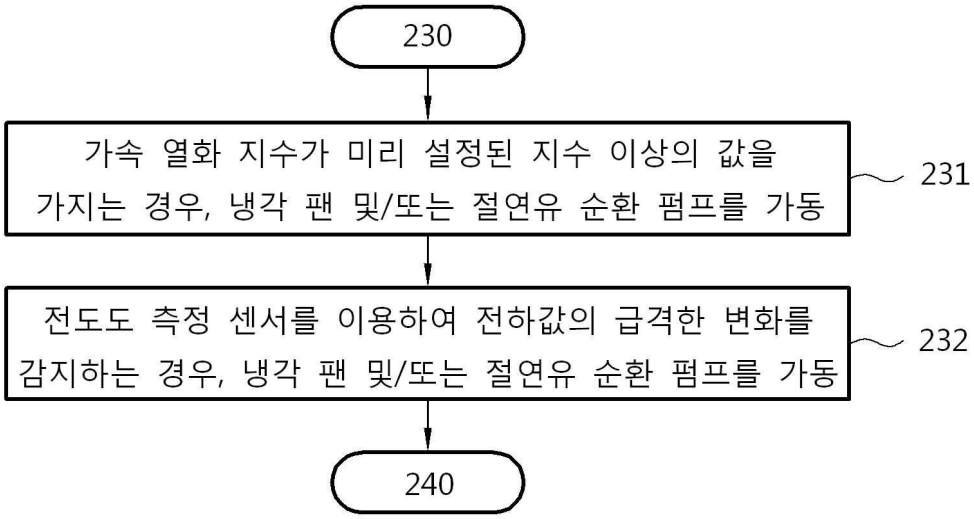
도면2


시작
유입 변압기의 수명에 관한 데이터를 수집
210
수집한 데이터를 이용하여 유입
변압기의 가속 열화 지수를 산정
220
가속 열화 지수에 따라 외부의
냉각 팬과 절연유 순환 펌프를 제어
230
유입 변압기의 열화 정도에 따른 상태를 분석
240
종료

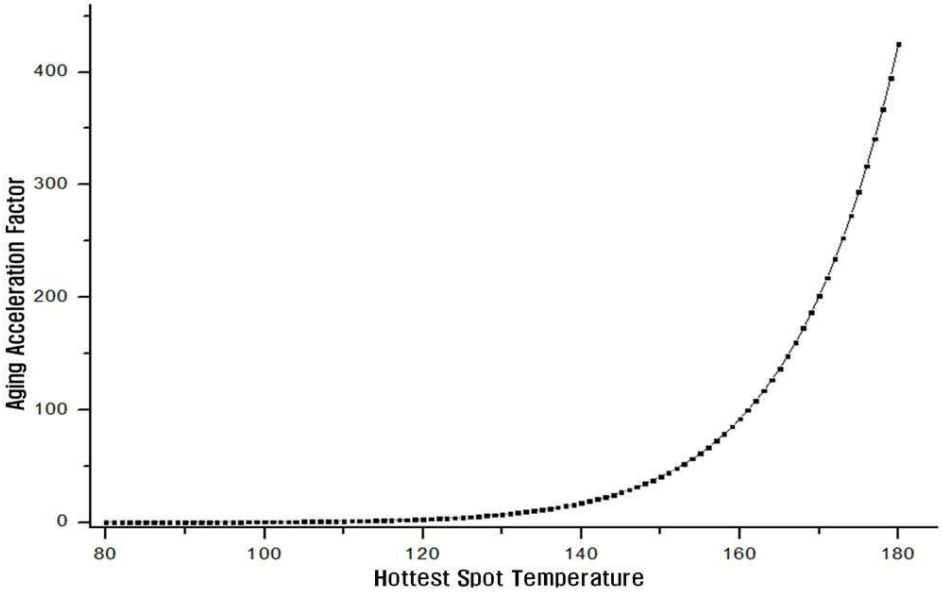
도면3


210
유입 변압기의 상태에 따른 용량과
부하량을 입력하여 데이터를 수집
211
온도 측정 센서를 이용하여 내부 온도와
외부 온도를 측정하여 온도 데이터를 수집
212
220

도면4


230
가속 열화 지수가 미리 설정된 지수 이상의 값을 가지는 경우, 냉각 팬 및/또는 절연유 순환 펌프를 가동
231
전도도 측정 센서를 이용하여 전하값의 급격한 변화를 감지하는 경우, 냉각 팬 및/또는 절연유 순환 펌프를 가동
232
240

도면5


Aging Acceleration Factor
0
100
200
300
400
80
100
120
140
160
180
Hottest Spot Temperature