



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년09월28일
(11) 등록번호 10-1068552
(24) 등록일자 2011년09월22일

(51) Int. Cl.

G01R 31/02 (2006.01) G01N 27/00 (2006.01)

H01F 27/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0051156

(22) 출원일자 2010년05월31일

심사청구일자 2010년05월31일

(56) 선행기술조사문헌

JP2007294551 A

JP2007281275 A

JP2001307924 A

(73) 특허권자

한국전력공사

서울특별시 강남구 삼성동 167번지

(72) 발명자

구교선

대전광역시 유성구 문지동 한전전력연구원 송배전 연구소

권동진

대전광역시 유성구 문지동 한전전력연구원 송배전 연구소

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김윤배, 강철중, 이상목, 조영신, 이범일

전체 청구항 수 : 총 3 항

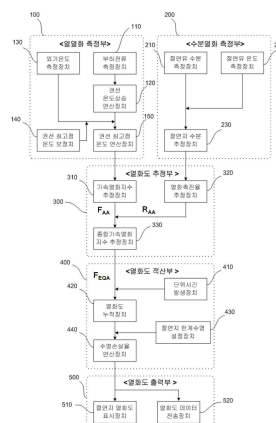
심사관 : 김성훈

(54) 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치

(57) 요약

본 발명은 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치에 관한 것으로서, 본 발명에서의 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치는, 외기온도와 부하전류를 각각 측정한 후, 부하전류로부터 권선의 온도상승 값을 계산해서, 권선 최고점 온도 보정치를 반영하여 외기온도와 권선의 온도상승 값으로부터 권선 최고점 온도를 계산하는 열열화 측정부; 절연유 온도와 절연유 수분함유량을 각각 측정한 후, 절연유 온도에 따른 절연유 수분함유량과 절연지 수분함유량의 상관관계를 이용하여 절연유 온도와 절연유 수분함유량으로부터 절연지 수분함유량을 계산하는 수분열화 측정부; 아레니우스 반응비 이론을 기초로 하여 권선 최고점 온도로부터 가속열화지수를 계산하고, 수분에 의한 가수분해 영향을 반영하여 절연지 수분함유량으로부터 열화촉진율을 계산하고, 가속열화지수와 열화촉진율로부터 종합가속열화지수를 계산하는 열화도 추정부; 및 변압기 운전시작시점부터의 절연지 열화도를 적분하여 누적하고, 누적된 절연지 열화도를 절연지의 한계수명과 비교하여 절연지의 열화도를 계산하는 열화도 적산부;를 포함한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

우정욱

대전광역시 유성구 문지동 한전전력연구원 송배전
연구소

곽주식

대전광역시 유성구 문지동 한전전력연구원 송배전
연구소

김경탁

대전광역시 유성구 문지동 한전전력연구원 송배전
연구소

특허청구의 범위

청구항 1

전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치에 있어서,

외기온도와 부하전류를 각각 측정한 후, 부하전류로부터 권선의 온도상승 값을 계산해서, 권선 최고점 온도 보정치를 반영하여 외기온도와 권선의 온도상승 값으로부터 권선 최고점 온도를 계산하는 열열화 측정부;

절연유 온도와 절연유 수분함유량을 각각 측정한 후, 절연유 온도에 따른 절연유 수분함유량과 절연지 수분함유량의 상관관계를 이용하여 절연유 온도와 절연유 수분함유량으로부터 절연지 수분함유량을 계산하는 수분열화 측정부;

아래니우스 반응비 이론을 기초로 하여 권선 최고점 온도로부터 가속열화지수를 계산하고, 수분에 의한 가수분해 영향을 반영하여 절연지 수분함유량으로부터 열화촉진율을 계산하고, 가속열화지수와 열화촉진율로부터 종합 가속열화지수를 계산하는 열화도 추정부; 및

변압기 운전시작시점부터의 절연지 열화도를 적분하여 누적하고, 누적된 절연지 열화도를 절연지의 한계수명과 비교하여 절연지의 열화도를 계산하는 열화도 적산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

열화도 추정부는 절연지 수분함유량으로부터 열화촉진율을 계산함에 있어서 하기 수학식 1을 이용하는 것을 특징으로 하는 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치.

<수학식 1>

$$R_{AA} = \frac{\%wt}{0.5}$$

여기서, R_{AA} 는 열화촉진율이고, $\%wt$ 는 절연지의 수분함유량임.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

열화도 추정부는 가속열화지수와 열화촉진율로부터 종합가속열화지수를 계산함에 있어서 하기 수학식 2를 이용하는 것을 특징으로 하는 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치.

<수학식 2>

$$F_{EQA} = \frac{\sum_{n=1}^N F_{AA_n} \cdot R_{AA_n} \cdot \Delta t_n}{\sum_{n=1}^N \Delta t_n}$$

여기서, F_{EQA} 는 종합가속열화지수이고, Δt_n 은 시간간격이고, N 은 시간간격의 총 수이고, F_{AA_n} 은 n번째 시간간격에서의 가속열화지수이고, R_{AA_n} 은 n번째 시간간격에서의 열화촉진율임.

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 전력용 변압기에 사용되는 절연지에 있어서, 변압기의 부하전류를 측정하여 권선의 최고점 온도를 계산함으로써 열에 의한 열화 영향을 반영하고, 절연유의 온도와 수분을 측정하여 절연지의 수분함유량을 추정함으로써 수분에 의해 가속되는 영

향을 반영하여, 절연지 열화도를 정확하게 평가하는 장치에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 전력용 변압기의 절연지는 권선 표면에 감겨있으며, 권선의 층간 절연이나 1차권선과 2차권선 간의 절연의 역할을 수행한다. 절연지는 권선에서 발생하는 열에 의하여 열화가 진전되며, 절연지의 수분함유량에 따라 열화가 촉진된다는 특성이 있다. 절연지 열화가 지속되면 기계력이 약화되어, 외부에서 유입된 과전압에 의해 절연지가 파괴되며 절연능력을 상실한다. 제작이 완료된 변압기의 절연지는 교체가 불가능하기 때문에 절연지와 변압기의 수명이 동일시되고 있으므로, 절연지의 열화상태를 정확히 평가할 필요가 있다. 더욱이 국내뿐만 아니라 세계적으로 20~30년 이상 운전되고 있는 변압기가 증가하여 변압기 교체시기가 도래하고 있으나, 변압기의 열화상태를 파악할 수 있는 정확한 지표가 마련되어 있지 않아 변압기 절연사고의 위험성이 증가하고 있다.
- [0003] 전력용 변압기의 절연지 열화도를 판정하는 기술로는 절연유의 상태를 분석하여 열화도를 판별하는 방법과 절연지 열화에 영향을 주는 요소를 측정하여 열화의 진행상태를 판별하는 방법으로 나눌 수 있다.
- [0004] 첫째, 절연유의 상태를 분석하는 방법은 절연유 속의 퓨란(Furan)계 화합물이나 CO, CO₂ 가스의 농도를 분석하여 열화가 진전된 상태를 파악하는 방법이다. 절연지는 열화가 진행되면서 절연지를 구성하는 셀룰로오스 분자가 분해되는 과정에서 열화 부산물인 퓨란계 화합물과 CO, CO₂가스가 발생된다. 이들 부산물은 절연지의 열화도와 비례하여 증가하는 특성이 있으므로, 절연유 속의 열화 부산물의 농도를 측정함으로써 절연지의 열화상태를 평가할 수 있다. 그러나, 이 방법은 부산물의 농도와 절연지 열화도의 정량적인 상관관계가 규명되지 않아서, 열화 상태의 경향적인 판단은 가능하지만 정확한 열화도 판정이 불가능하며, 절연유의 정제, 여과 및 교체에 따라 그 값이 변화된다는 문제가 있다.
- [0005] 둘째, 절연지 열화요소를 측정하는 방법은 권선에서 발생하는 열을 측정하여, 아레니우스 반응비 이론(Arrhenius reaction rate theory)에 따라 열화의 진전 상태를 계산하는 방법이다. 이 방법은 부하전류의 제곱에 비례하여 발생하는 권선의 열을 측정하고, 화학반응의 속도가 절대온도 상승에 따라 증가한다는 상관관계를 나타낸 아레니우스 반응비 이론에 따라 단위시간당 열화도를 추정한다. 추정된 열화도를 시간에 따라 적분함으로써 정량적으로 절연지의 열화도를 계산할 수 있다. 그러나, 이 방법은 절연지 열화에 영향을 미치는 열, 수분, 산소라는 세 가지 요소 중 열적인 부분만을 고려하기 때문에, 절연지 수분함유량에 따라 절연지 열화가 촉진되는 가수분해 영향을 고려하지 못하므로, 절연지 수분함유량이 0.5%~2%까지 변화할 경우 열화도 평가 결과가 최고 4배까지의 판정 오차를 발생시킬 수 있다는 문제가 있으며, 또한 권선의 평균온도를 측정하기 때문에 평균권선 온도보다 15℃가량 높은 권선 최고점 온도를 고려하지 못하므로, 정확한 열화도를 평가하기 어렵다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 상술한 바와 같이, 종래의 전력용 변압기 절연지의 열화도를 평가하는 방법은 일반적인 권선 온도만을 고려하여 열적인 열화를 정확히 판단하지 못하며, 수분에 의한 가수분해 현상을 고려하지 못하므로, 절연지의 열화도를 평가함에 있어서 오차가 크다는 문제가 있었다.
- [0007] 본 발명은 이러한 문제를 해결하기 위한 것으로서, 절연지의 열화도를 정확하게 평가하기 위하여, 권선 최고점 온도를 고려한 열적 열화와 수분 열화를 모두 고려하여 절연지 열화도를 평가함으로써, 절연지의 잔존수명을 정확하게 평가할 수 있는 장치를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상술한 목적을 달성하기 위해서, 본 발명에 따른 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치는, 외기온도와 부하전류를 각각 측정한 후, 부하전류로부터 권선의 온도상승 값을 계산해서, 권선 최고점 온도 보정치를 반영하여 외기온도와 권선의 온도상승 값으로부터 권선 최고점 온도를 계산하는 열열화 측정부; 절연유 온도와 절연유 수분함유량을 각각 측정한 후, 절연유 온도에 따른 절연유 수분함유량과 절연지 수분함유량의 상관관계를 이용하여 절연유 온도와 절연유 수분함유량으로부터 절연지 수분함유량을 계산하는 수분열화 측정부; 아레니우스 반응비 이론을 기초로 하여 권선 최고점 온도로부터 가속열화지수를 계산하고, 수분에 의한 가수분해 영향을 반영하여 절연지 수분함유량으로부터 열화촉진율을 계산하고, 가속열화지수와 열화촉진율로부터 종합가속열화지수를

계산하는 열화도 추정부; 및 변압기 운전시작시점부터의 절연지 열화도를 적분하여 누적하고, 누적된 절연지 열화도를 절연지의 한계수명과 비교하여 절연지의 열화도를 계산하는 열화도 적산부;를 포함한다.

[0009] 또한, 본 발명에 따른 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치는 절연지의 열화가 진행된 상태를 표시하는 열화도 출력부;를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0010] 본 발명에 따른 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치는 부하전류를 측정하여 권선의 최고점 온도를 계산하고, 절연유 온도와 수분함유량을 측정하여 절연지의 수분함유량을 추정하고, 이 두 가지 요소의 열화 상관관계에 따라 단위시간당 열화도를 적분하여 절연지 열화의 진행상태를 평가함으로써, 절연지 열화에 영향을 주는 열과 수분 모두를 고려해서 열화상태를 평가하기 때문에 절연지의 열화상태를 정확하게 평가할 수 있을 뿐만 아니라 실시간으로 절연지의 열화상태를 감시하는 것이 가능하다. 또한, 절연지의 한계수명을 설정하여 설정한 한계수명에 대해 절연지 열화의 진행상태를 간편하게 확인하는 것이 가능하다.

[0011] 이와 같이, 본 발명에 따른 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치를 이용하여 절연지의 열화도를 정확하게 판정하고 확인하는 것이 가능하게 됨으로써, 변압기 절연지의 건전성을 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 사전에 변압기 유지보수 계획을 수립하여 효율적으로 설비를 운영하는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 절연유 온도에 따른 절연유 수분함유량과 절연지 수분함유량의 상관관계를 도시한 그래프이다.

도 2는 본 발명에 따른 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치의 일실시예를 도시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용을 도면을 참조하여 이하에서 상세하게 설명한다.

[0014] 도 1은 절연유 온도에 따른 절연유 수분함유량과 절연지 수분함유량의 상관관계를 도시한 그래프이다.

[0015] 본 발명에 따른 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치는 절연지의 열화도를 정확하게 평가하기 위하여 열과 수분 두 가지 열화 요소를 모두 고려한다.

[0016] 열적인 열화 요소의 평가방법은 단위시간당 평균 부하전류를 측정하여 부하전류의 제곱에 비례하여 발생하는 부하손실(동손)을 계산하고, 손실에 따른 권선에서 발생하는 열을 계산한다. 권선의 최고점 온도는 주변온도, 평균 권선온도 상승 및 최고점 온도 보정치의 합이므로, 측정된 주변온도와 부하손실 계산에 의한 평균 권선온도 상승 및 약 15℃로 알려져 있는 권선 최고점 온도 보정치를 합하여 권선 최고점 온도를 계산한다. 계산된 권선 최고점 온도(Hottest-Spot Temperature, θ_H)와 아레니우스 이론을 기초로 하여 만들어진 절연지 가속열화지수(Aging Acceleration Factor, F_{AA})의 실험식, 즉 수학식 1에 의해 가속열화지수가 계산된다.

수학식 1

$$F_{AA} = EXP \left[\frac{1500}{383} - \frac{1500}{\theta_H + 273} \right]$$

[0018] 수분에 의한 열화요소의 평가방법은 단위시간당 절연유의 온도와 수분함유량을 측정하고, 도 1에 도시한 바와 같이 절연유 온도에 따른 절연유의 수분함유량과 절연지의 수분함유량과의 상관관계를 이용하여 절연유의 온도와 수분함유량으로부터 절연지의 수분함유량을 추정한다. 또한, 절연지의 수분함유량 0.5%를 기준으로 수분함유량이 n배가 되면 수분에 의한 가수분해 영향에 의해 열화가 n배 빨리 진행되므로, 추정된 절연지의 수분함유량(Water Content in Paper, $\%_{wt}$)과 수학식 2를 이용하여 열화촉진율(Aging Acceleration Rate, R_{AA})을 계산한다.

수학식 2

$$R_{AA} = \frac{\%wt}{0.5}$$

열적인 요인에 의한 가속열화지수(F_{AA})와 가수분해에 의한 열화촉진율(R_{AA})을 종합하여 수학식 3과 같이 단위 시간당 종합가속열화지수(F_{EQA})를 계산한다.

수학식 3

$$F_{EQA} = \frac{\sum_{n=1}^N F_{AA_n} \cdot R_{AA_n} \cdot \Delta t_n}{\sum_{n=1}^N \Delta t_n}$$

여기서, F_{EQA} 는 종합가속열화지수이고, Δt_n 은 시간간격이고, N 은 시간간격의 총 수이고, F_{AA_n} 은 가속열화지수이고, R_{AA_n} 은 열화촉진율이다. 예컨대, 단위시간, 즉 1시간을 기준으로 하는 경우, Δt_n 은 1분이 될 수 있고, N 은 60이 된다.

다음으로, 수학식 3에서 계산된 시간당 평균 종합가속열화지수를 처음 변압기 운전부터 현재까지의 운전시간(t)동안 매시간 마다 적분해서, 사용자가 설정한 일반적인 절연지 한계수명에 대하여 잔존수명이 얼마인가를 수학식 4와 같이 계산하여 절연지의 열화도를 평가하고, 그 진행상태를 표시할 수 있다.

수학식 4

$$\% \text{ Loss of life} = \frac{F_{EQA} \times t \times 100}{\text{Normal insulation life}}$$

여기서, t 는 현재까지의 누적시간(hour)이고, $\% \text{ Loss of life}$ 는 전체 절연지 수명 현재까지의 수명손실율이고, Normal insulation life는 사용자가 설정한 절연지 수명한계이고, F_{EQA} 는 종합가속열화지수이다.

이와 같이, 열과 수분에 의한 단위시간당 열화도의 데이터를 적분하여 표시함으로써 사용자에게 의해 설정된 수명 한계에서 현재의 열화도가 어디까지 진행되었는가를 표시할 수 있어서 사용자가 절연지의 열화도의 진행상태를 확인하는 것이 가능하게 된다.

도 2는 본 발명에 따른 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치의 일실시예에 대한 블록도이다.

본 발명에 따른 전력용 변압기 절연지의 열화도 평가 장치는 열에 의한 열화요소를 측정계산하기 위한 열열화 측정부(100), 수분에 의한 열화요소를 측정계산하기 위한 수분열화 측정부(200), 열과 수분에 의해 진행되는 열화도를 상관관계를 통하여 단위시간당 종합적인 열화지수를 계산하기 위한 열화도 추정부(300), 단위시간당 종합가속열화도를 적분하여 누적시키는 열화도 적산부(400), 운영자의 기준에 맞게 설정된 절연지 한계수명과 열화가 진행된 상태를 비교하여 열화도를 표시하는 열화도 출력부(500)를 포함한다.

열열화 측정부(100)는 열에 의한 열화를 평가하기 위한 부분으로서, 외기온도와 부하전류를 각각 측정한 후, 부하전류로부터 권선의 온도상승 값을 계산해서, 권선 최고점 온도 보정치를 반영하여 외기온도와 권선의 온도상승 값으로부터 권선 최고점 온도를 계산한다. 도 2를 참조하여 설명하면, 열열화 측정부(100)는 부하전류 측정장치(110)를 통하여 측정된 신호를 권선 온도상승 연산장치(120)에 송출하여 변압기 권선의 온도상승 값을 계산하고, 외기온도 측정장치(130)를 통해 측정된 외기온도와 권선 최고점 온도 보정치(140)를 종합하여 권선 최고점 온도 연산장치(150)에서 권선 최고점 온도를 계산하여 가속열화지수 추정장치(310)로 송출한다.

수분열화 측정부(200)는 수분에 의한 가수분해 영향을 평가하기 위한 부분으로서, 절연유 온도와 절연유 수분함

유량을 각각 측정한 후, 절연유 온도에 따른 절연유 수분함유량과 절연지 수분함유량의 상관관계를 이용하여 절연유 온도와 절연유 수분함유량으로부터 절연지 수분함유량을 계산한다. 도 2를 참조하여 설명하면, 수분열화 측정부(200)는 절연유 수분 측정장치(210)와 절연유 온도 측정장치(220)에서 측정값을 절연지 수분 추정장치(230)로 전송하여, 절연유 온도와 수분의 상관관계에 따라 절연지의 수분을 추정하여, 열화촉진율 추정장치(320)로 송출한다.

[0031] 열화도 추정부(300)는 열에 의한 열화와 수분에 의한 가수분해 영향을 종합하여 종합가속열화지수로 계산하기 위한 부분으로서, 아레니우스 반응비 이론을 기초로 하여 권선 최고점 온도로부터 가속열화지수를 계산하고, 수분에 의한 가수분해 영향을 반영하여 절연지 수분함유량으로부터 열화촉진율을 계산하고, 가속열화지수와 열화촉진율로부터 종합가속열화지수를 계산한다. 도 2를 참조하여 설명하면, 열화도 추정부(300)는 열열화 측정부(100)에서 송출된 권선 최고점 온도 데이터를 가속열화지수 추정장치(310)에서 아레니우스 함수를 이용하여 가속열화지수(F_{AA})를 추정하여 종합가속열화지수 추정장치(330)으로 전송한다. 또한, 수분열화 측정부(200)에서 송출된 절연지 수분 추정치 데이터를 이용하여 열화촉진율 추정장치(320)에서 열화촉진율(R_{AA})을 추정하여 종합가속열화지수 추정장치(330)로 전송한다. 종합가속열화지수 추정장치(330)에서는 열적인 열화계수인 가속열화지수와 수분에 의한 열화계수인 열화촉진율에 따라 종합가속열화지수(F_{EQ4})를 추정하여 열화도 누적장치로 송출한다.

[0032] 열화도 적산부(400)는 열화도를 시간에 따라 누적시키는 부분으로서, 변압기 운전시작시점부터의 절연지 열화도를 적분하여 누적하고, 누적된 절연지 열화도를 절연지의 한계수명과 비교하여 절연지의 열화도를 계산한다. 도 2를 참조하여 설명하면, 열화도 적산부(400)는 열화도 추정부(300)에서 송출된 종합가속열화지수와 단위시간 발생장치(410)에서 전송된 신호를 통해 열화도 누적장치(420)에서 변압기 운전시작시점부터 절연지 열화도 평가시점까지의 열화도를 적분하여 누적시킨다. 또한 수명손실을 연산장치(440)에서는 절연지 한계수명 설정장치(430)에서 사용자가 설정한 절연지의 한계수명과 누적된 열화도를 비교하여 절연지 열화도 평가시점에서의 열화도가 한계수명에 대해 어느 정도 열화가 진행되었는지를 계산하여 절연지 열화도 표시장치(510)로 송출한다.

[0033] 열화도 출력부(500)는 절연지의 열화가 진행된 상태를 표시하는 부분으로서, 현재의 절연지의 열화도 상태를 표시하는 기능을 하며, 수명손실을 연산장치(440)에서 송출된 현재의 누적 열화도를 절연지 열화도 표시장치(510)에서 표시하고, 열화도 데이터 전송장치(520)에서는 현재까지의 열화이력을 PC 또는 오실로스코프로 전송하여 열화의 경향을 분석하는 것이 가능하게 한다.

[0034] 상술한 내용 및 그 등가물들은 다양한 형태로 구현될 수 있다는 것이 상기 설명으로부터 이해될 것이다. 그러므로, 본 발명에 대한 설명이 특정 실시예와 관련하여 서술되었지만, 본 발명의 진정한 범위는 이하의 청구항들 및 당업자들에게 그 자체로 연상될 수 있는 임의의 등가물들을 포함하며, 본 명세서에서 서술된 특정 실시예에 의하여 한정되는 것은 아니다.

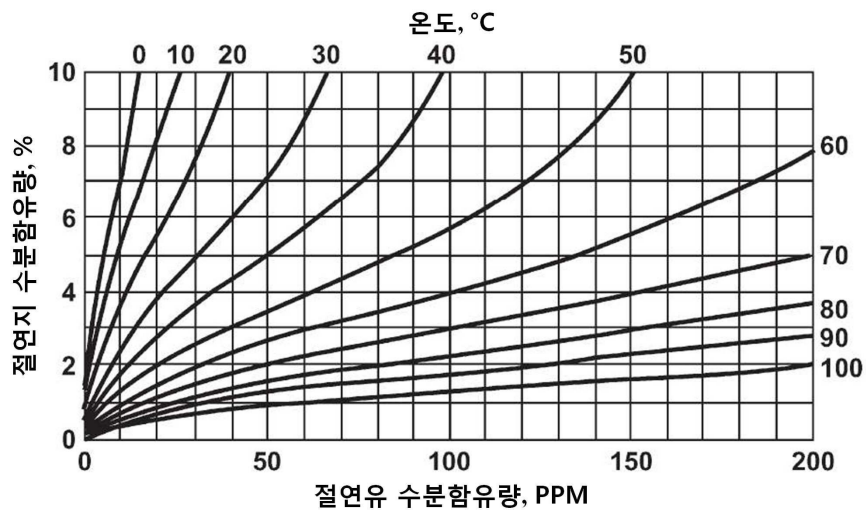
부호의 설명

- [0035]
- 100 : 열열화 측정부
 - 110 : 부하전류 측정장치
 - 120 : 권선 온도상승 연산장치
 - 130 : 외기온도 측정장치
 - 140 : 권선 최고점 온도 보정치
 - 150 : 권선 최고점 온도 연산장치
 - 200 : 수분열화 측정부
 - 210 : 절연유 수분 측정장치
 - 220 : 절연유 온도 측정장치
 - 230 : 절연지 수분 추정장치
 - 300 : 열화도 추정부

- 310 : 가속열화지수 추정장치
- 320 : 열화촉진율 추정장치
- 330 : 종합가속열화지수 추정장치
- 400 : 열화도 적산부
- 410 : 단위시간 발생장치
- 420 : 열화도 누적장치
- 430 : 절연지 한계수명 설정장치
- 440 : 수명손실을 연산장치
- 500 : 열화도 출력부
- 510 : 절연지 열화도 표시장치
- 520 : 열화도 데이터 전송장치

도면

도면1



도면2

