

## 배전용 변압기의 과부하상태를 고려한 수배전반 안전 알고리즘에 관한 연구

추철민\*, 김재철\*, 강봉석\*\*, 류승기\*\*\*  
 숭실대학교\*, 에너지관리공단\*\*, 한국건설기술연구원\*\*\*

### The Study on the Safety Algorithm of Switchboard Considering Overload of Transformer in Distribution System

Chu Cheol-Min\*, Kim Jae-Chul\*, Kang Bong-Suk\*\*, Seung-Ki Ryu\*\*\*  
 Soongsil University\*, KEMCO\*\*, KICT\*\*\*

**Abstract** -In this paper, an experiment result on overload of distribution transformer was arranged by top oil temperature depending on capacity and time. This result shows the definition on overload of transformer is different by some factors such as ambient temperature and immediate load. In other words, increased temperature in range of regulation(50K) has time to spare even if the condition of transformer is overload. The algorithm presented in this paper is based on the international standard (IEEE std C57.91), and the safety of switchboard is diagnosed by this aspect mentioned on overload of transformer.

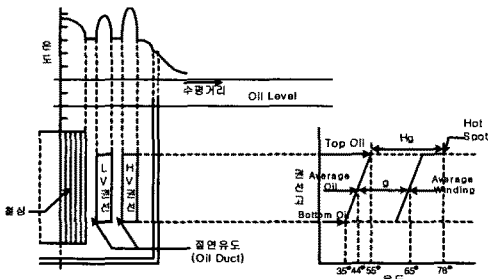
<그림 2>는 수배전반 안전알고리즘의 전체 순서도를 보여준다. 부하율을 지속적으로 모니터링하고 만약 부하율이 100%를 넘어서면, 1시간 직전부하를 계산하고 주변 온도값을 계측기로부터 받아온다. 주변온도와 1시간직전 부하값을 이용하여 변압기 사용가능 시간을 계산한다. 변압기 최상부유온값을 추가로 입력받아서 전체적인 위험도를 도출해낸다. 이 때 계측되어진 데이터는 양자화가 이루어져야 하며 <표 1>은 계측된 주변온도값의 양자화 범위를 나타낸다.

<그림 3>은 수명가속계수를 나타내며, 권선 최고온점 온도에 따라 그 값을 계산하여 보여주고 있다. 이 수명가속계수는 각 권선에 대하여 각각 계산해야 한다. 본 알고리즘은 각 상에 대하여 온도를 측정한다고 가정하였다.[4]

#### 1. 서 론

변압기의 수명은 그 사용한 절연물의 수명에 의해 정해지므로 절연물의 열화는 온도와 관련되어 있는가는 매우 중요한 문제이다. 변압기의 정격용량은 일반적으로 그 변압기에 사용한 절연물의 허용최고온도에 의해 결정되며 따라서 절연물의 종류에 따라 변압기의 수명이 결정되어진다. 또한 변압기의 내부발생열은 최종적으로 공기에 의해 냉각되어지므로 공기의 온도(주위온도)와의 차인 온도상승 한도라는 전제가 붙게 된다.[1]

변압기 각 부의 온도 분포를 나타내는 온도 다이어그램을 <그림 1>에 나타내었다. 이는 일반적인 거의 모든 표준규격에서 공통적으로 사용하고 있는 것이므로 본 연구에서도 상당한 의미를 가진다.

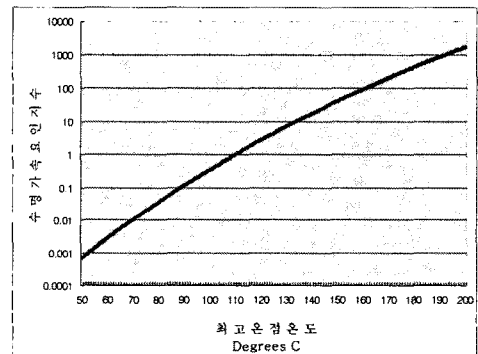


<그림 1> 변압기 각 부의 온도 다이어그램

일반적으로 변압기의 온도는 최고 온점온도(the hottest spot temperature), 평균 권선온도(average winding temperature), 최상부 유온(top oil temperature)로 구분할 수 있다. 최고 온점온도와 평균권선온도는 실측정이 불가능하며 결과적으로 측정 가능한 최상부 유온을 수명평가에 많이 사용한다. 따라서 본 논문에서는 배전용 변압기의 과부하 실험에 대하여 실험결과를 용량별로 직전부하와 과부하에 의한 시간별 최상부 유온 상승치로 정리하였다.

<표 1> 주변온도와 직전부하의 양자화

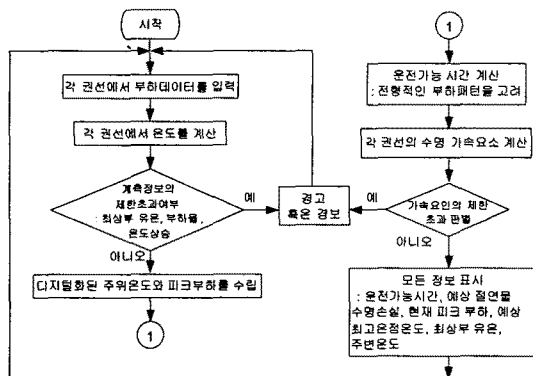
양자화값	주변온도(Ta) 범위	양자화값	직전부하(load(t-1)) 범위
0℃	Ta ≤ 5℃	50%	load(t-1) ≤ 65%
10℃	5℃ < Ta ≤ 15℃		
20℃	15℃ < Ta ≤ 25℃	75%	65% < load(t-1) ≤ 85%
30℃	25℃ < Ta ≤ 35℃		
40℃	35℃ < Ta ≤ 45℃	90%	85% < load(t-1)
50℃	45℃ < Ta		



<그림 3> 수명가속계수 (Aging acceleration factor)

#### 2. 본 론

##### 2.1 수배전반의 수명평가



<그림 2> 수배전반 안전알고리즘의 전체 순서도

여기서 시간과 온도에 따른 절연열화의 관계는 식(1)에 의해 결정된다.

$$\text{per unit life} = A \text{ EXP} \left[ \frac{B}{\theta_H + 273} \right] \quad (1)$$

여기서  $\theta_H$ 는 권선의 최고온점 온도이며, A와 B는 상수이다. 수명가속계수의 수식은 식(2)와 같다.

$$F_{AA} = \text{EXP} \left( \frac{1500}{383} - \frac{1500}{\theta_H + 273} \right) \quad (2)$$

이 식은 변압기의 등가수명을 계산하는데 사용될 수 있다. 기준 온도에서의 변압기의 등가수명은 주어진 시간과 온도 사이클에서 식(3)과 같이 소진된다.

$$F_{EQA} = \left( \sum_{n=1}^N F_{AA_n} \Delta t_n \right) / \left( \sum_{n=1}^N t_n \right) \quad (3)$$

여기서, n은 시간 t에 대한 지수이며  $\Delta t_n$ 는 n번째의 부하가동시간(hours)을 나타낸다.  $F_{AA}$ 는 수명가속계수를 의미하며  $F_{AA_n}$ 는  $\Delta t_n$ 기간의 수

명가속계수를 나타내고  $F_{FEQA}$ 는 총등가수명가속계수를 의미한다. 따라서 변압기의 전체 수명에 따른 수명손실을 %로 나타내면 식(4)와 같다.

$$\%수명손실 = \frac{F_{FEQA} \times t \times 100}{\text{표준 절연물 수명}} \quad (4)$$

여기서, 배전용 변압기의 평균절연수명(normal insulation life)는 IEEE std. C57.91-1995에 의해 180,000시간(약, 20년)으로 가정한다.

## 2.2 부하가압시간과 변압기온도와와의 상관식 도출

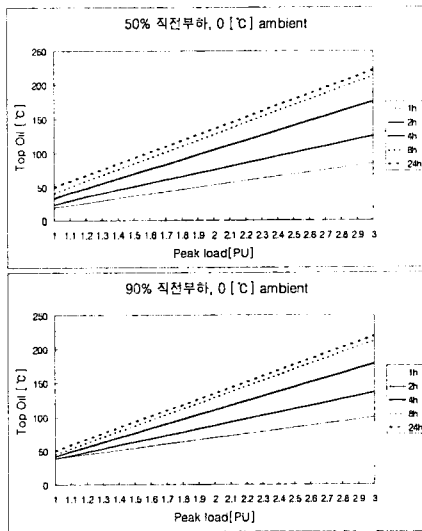
### 2.2.1 직전부하 50%와 90%

IEEE std. C57.91의 실험데이터를 이용한 것으로 부하가압시간에 따라 일정한 수명 손실값만을 제공한다. 알고리즘을 구현하려면 모든 경우에 대한 수명손실값이 필요하기 때문에 회귀식을 사용하여 추정식을 도출해야한다.[2]

<표 2> 주위온도 0°C 일 경우

구분	직전부하 50%			직전부하 90%		
	상관식	적합도 (R2)		상관식	적합도 (R2)	
1시간 과부하	$y = 32.083x - 10.983$	0.9985		$y = 30.257x - 8.7275$	0.9972	
2시간 과부하	$y = 49.797x - 23.889$	0.9994		$y = 48.895x - 10.326$	0.9985	
4시간 과부하	$y = 70.886x - 36.908$	0.9716		$y = 68.27x - 26.206$	0.9999	
8시간 과부하	$y = 85.925x - 44.531$	0.9981		$y = 83.671x - 38.705$	0.9959	
24시간 과부하	$y = 85.752x - 36.173$	0.9986		$y = 84.578x - 34.48$	0.9988	

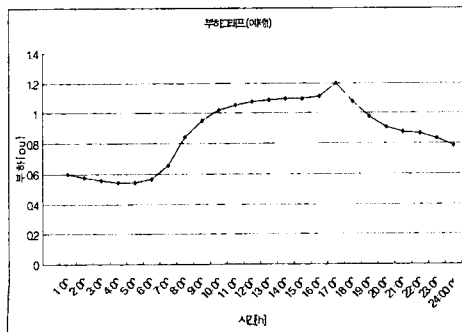
위의 표는 1시간직전부하가 50%이며 주위온도가 0°C일때의 과부하율에 따른 최상부유온값을 나타내는 추정식이다. 즉, y는 최상부 유온 (°C), x는 과부하율(p.u)을 나타낸다. 이 회귀식은 최소자승법에 의하여 도출되었으며 아래의 그림은 이 회귀식들을 그래프로 표현한 것으로 부하가 걸릴수록 거의 선형적으로 최상부 유온값이 상승하는 것을 알 수가 있다.



<그림 4> 주위온도 0°C, 직전부하 50%와 90%에서의 최상부유온의 변화

## 2.3 사례연구

사례연구는 E종 절연물을 사용하는 수배전반 변압기를 이용한다. E종 절연물의 한계최상부 유온이 105°C이며 <그림 5>는 이 예제에서의 변압기 일부하그래프로 나타내고 있다.



<그림 5> E종 변압기의 일부하 그래프

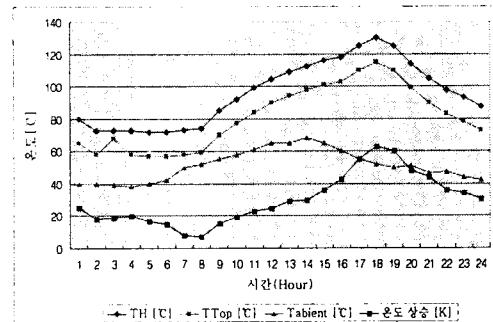
<표 3> 변압기 수명손실의 계산

시간	부하 [pu]	TH [°C]	$F_{AA,n}$	수명시간 (aging hours)	누적수명시간
1:00	0.599	80.0	0.036	0.036	0.036
2:00	0.577	72.8	0.015	0.015	0.051
4:00	0.544	72.8	0.015	0.015	0.060
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16:00	1.110	117.8	2.185	2.185	7.507
17:00	1.200	125.0	4.376	4.376	11.882
18:00	1.077	130.0	6.984	6.984	18.866
19:00	0.977	125.0	4.376	4.376	23.242
20:00	0.910	114.0	1.499	1.499	24.741
23:00	0.832	93.2	1.166	1.166	25.769
24:00	0.788	87.6	0.088	0.088	25.857

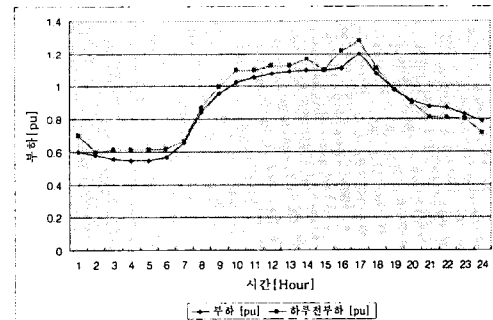
이때의  $F_{FEQA}$ 는 1.077이며 수명손실율은 0.014%이다. 이는 변압기의 등가 운전시간이 1.077일 혹은 25.848시간이며 20년을 변압기의 평균수명으로 보았을 때 약 0.014%의 수명이 감소하였음을 의미한다.

## 3. 결 론

본 알고리즘에 이 데이터를 적용한다. 적용한 결과는 아래의 그림에 정리하였으며 이때 주위온도가 비정상적으로 높은 이유는 상정사고를 가정하여 알고리즘에 의하여 위험도가 제대로 계산되는지를 검증하기 위함이다.



(a) 시간에 따른 온도지수의 변화



(b) 시간에 따른 부하지수의 변화

<그림 6> 수배전반 안전 알고리즘의 위험도 계산

본 논문에서 제시한 알고리즘에 이 데이터값을 대입하여 계산한 결과, 17시부터 19시에 최고온점온도와 최상부유온도, 그리고 온도상승 제한치를 넘어서는 것을 알 수가 있다. 이때 경보가 울릴 것이며, 지시된 조치가 취해질 것이다. 또한 위험도를 계산할 수 있으며 이 위험도는 최고온점온도 혹은 최상부유온과 부하율을 이용하여 변압기의 절연물질이 파괴될 때까지의 남은 사용가능시간으로 나타낼 수 있으며 이는 곧 변압기의 위험상태를 표현한다고 할 수 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 배전용 변압기 최적 부하관리 방안 연구, 한국전력공사, 2003년 1월.
- [2] IEEE Std. C57.12.90, IEEE standard test code for liquid immersed distribution, power, and regulating transformers and IEEE guide for short-circuit testing of distribution and power transformers, 1993.
- [3] 배전기준 기술지침서, 한국전력공사, 2003년.
- [4] B.C. Leisuture et al., "An Improved Transformer Top Oil Temperature Model for Use in An On-Line Monitoring and Diagnostic System," IEEETransaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, pp. 249-256, Jan. 1997.