

## 최상부 유온 상승과 전류를 이용한 변압기 온도 예측 방법

고동욱, 김광순  
(주)케이디파워

### Transformer Temperature forecast method using Top Oil Temperature Rising & Current

Dong-Wook Ko, Kwang-Soon Kim  
KD POWER., LTD.

**Abstract** - In this paper, The method of a temperature rasing forecast is suggested and simulated. The data used in this simulations exists in the KD Power and it was obtain by real transformer. The method of temperature forecast is based on a top oil temperature rising modeling which is proposed by the IEEE journal. We propose modifications of a modeling that accurately predicts a future transformer temperature. This Method is verified by simulations.

레이션은 IEEE에서 제시한 방법을 실 데이터를 이용하여 비교하였으며, 이 중 <그림 3>의 Model C 시뮬레이션이 실제 온도와 가장 근접함을 볼 수 있다.

#### 1. 서 론

변압기를 운전하면 부하손이나 무부하손에 의하여 철심 및 권선이 발열하게 된다. 이때 발생하는 열은 유입 변압기의 경우 절연유의 대류를 통해서 외기로 방열하게 된다. 이때 외기 온도와 변압기 온도와의 차이를 변압기의 온도 상승이라고 한다. 이는 정격에서 규격이 정하는 온도상승 한도를 벗어나선 안 된다. 이를 위해 냉각장치를 사용하여 방열의 효율을 높여 주고 있다. 그러나 변압기의 온도는 용량에 따라 10시간 이상의 시정수로 변하므로 온도 상승 후 냉각장치의 가동은 즉각적인 온도 상승을 막을 수 없어 온도상승 한도를 벗어날 가능성이 있다. 이에 온도를 예측하여 냉각장치를 미연에 가동시키는 것이 필요하며, 현재 그에 대한 온도 제어는 현재의 온도변화의 기울기를 연장하는 방식을 사용하여 미래의 온도를 예측하는 방법을 사용하고 있다. 이는 변압기의 현재와 과거의 온도만을 고려한 온도 추정법으로 주위 온도 및 부하의 변동수위까지 반영할 수 있는 온도 추정법이 필요한 실정이다. 이에 본 논문에서는 식(1)을 기본으로 하여 온도 추정 방법으로 전류와 주위 온도를 고려하여 예측하는 방법을 제시하여 실제 데이터를 사용하여 시뮬레이션 하였고, 만족할 만한 결과를 도출 하였으며, 이는 앞으로의 온도 예측 연구에 기여할 것이다.

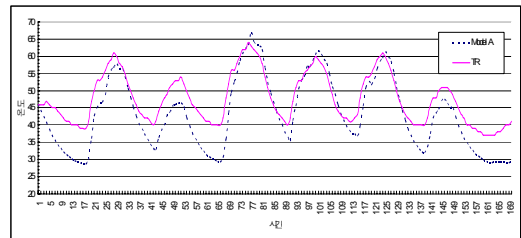
#### 2. 본 론

##### 2.1 온도 예측의 필요성

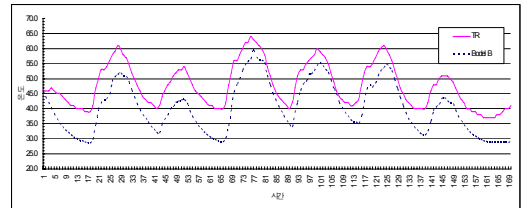
변압기의 수명은 운전시의 온도에 영향을 받는다. 많은 부하로 인하여 변압기의 온도가 상승하면 수명이 줄어 들며 이때에 변압기의 온도를 냉각장치를 이용하여 과부하 일때에도 변압기 온도를 일정 수준 이하로 계속 이용하면 변압기의 수명에 영향을 주지 않는다.[3] 따라서, 부하로 인하여 변압기의 온도 상승시 온도를 낮추는 제어가 필요하며, 온도는 큰 시정수를 갖고 변하므로 현재 온도 상승량으로 냉각장치를 가동하는 것은 원하는 온도로 제어하기가 어려우며 위험온도 수위를 초과하는 경우를 초래할 가능성이 있다. 또한, 경고 및 위험 수위까지 온도 상승을 제한하는 것이 냉각장치의 목적이다. 이를 수행하기 위해서 실시간으로 냉각장치를 운전하게 되면, 작은 온도 변화에도 냉각장치가 반응하므로, 냉각장치의 수명 단축과, 전기료의 증가를 가져오게된다. 이에 변압기 온도를 단계적으로 나누어 일정 단계 이상 상승이 예상 될 시에 불연속적으로 가동하는 방식이 필요하게 되고, 이러한 운전을 위해서는 온도 예측이 필수적인 요소가 된다.

##### 2.2 온도 예측을 위한 기본적인 모델링

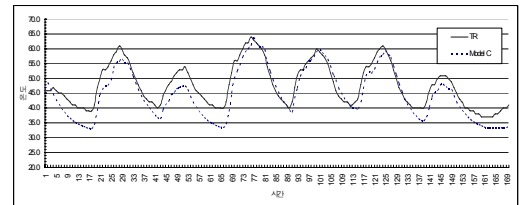
온도 예측을 위해서는 먼저 현재의 온도를 계산 할 수 있는 모델링을 필요로 한다. 이는 전류를 통한 온도 상승 모델링을 기반으로 하여 예측 방법을 제시할 것이다. 다음 <그림>1,2,3의 시뮬



<그림 1> Model A와 실제 온도 비교



<그림 2> Model B와 실제 온도 비교



<그림 3> Model C와 실제 온도 비교

##### 2.3 Model C와 주위온도 모델링

앞에서 제시된 최상부 유온 상승 시뮬레이션들을 살펴 본 결과 아래 식(1)의 경우(Model C)가 실제 온도변화를 가장 작은 오차로 표현 할 수 있다.[1] 여기서, 최상부 유온 상승 온도를 알기 위해서는 주위 온도인  $\theta_{amb}[k]$  값을 구해야 하며,  $\theta_{amb}[k]$ 는 철저하게 변압기의 온도에 의지하므로 변압기의 온도 시정수 보다 더 큰 시정수를 취하는 형태로 온도가 변하게 된다. 본 논문에서는 주위온도 예측을 위한 방법으로 식(2)의 방식을 제안하였다. 이 식은 k시점의 주위 온도는 k-1시점의 주위 온도에 변압기 온도를 시정수  $T_o$ 로 추종하는 형태를 띠고 있으며, 사례연구에서 실제 데이터를 이용한 시뮬레이션에서 실제 주위온도와 비교하여 그 사용이 합리적임을 보일 것이다.

본 논문에서는 이 수식을 바탕으로 한시간 후의 온도를 예측할 것이다. 그에 대한 방법으로는 한시간 후의 전류를 예측하여 그 전류값을 이용하여 한시간 후의 온도를 예측하는 방법과 현재 전류값을 적용시켜 한시간 후의 온도를 예측하는 방법을 사용하였다.

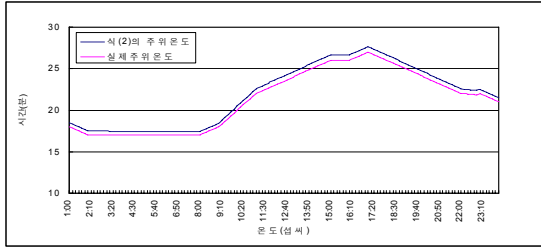
$$\theta_T = \frac{T_o}{T_o + \Delta t} \theta_T[k-1] + \frac{\Delta t}{T_o + t\Delta} \theta_{amb}[k]$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\Delta t \theta_{fl} R}{(T_o + \Delta t)(R+1)} \left( \frac{I[k]}{I_{rated}} \right)^2 \\
& + \frac{\Delta t \theta_{fl}}{(T_o + \Delta t)(R+1)} \\
= & K_1 \theta_T[k-1] + (1-K_1) \theta_{amb}[k] \\
& + K_2 I[k]^2 + K_3
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\theta_{amb} = \frac{\Delta t}{T_o} \theta_T[k-1] + \theta_{amb}[k-1] \tag{2}$$

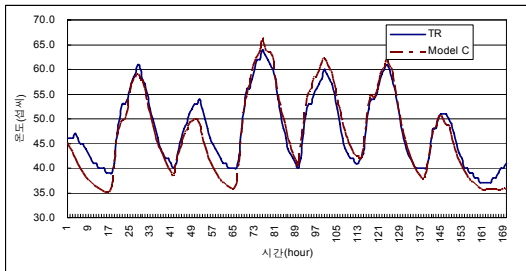
### 3. 사례연구

170시간(약7일)동안의 시간단위의 최상부 유온 상승 온도와 전류, 주위온도 데이터를 이용하여 현재 온도와 예측한 온도를 시뮬레이션하여 비교 분석 하였다.



<그림 4> 식(2)와 실제 주위온도 비교

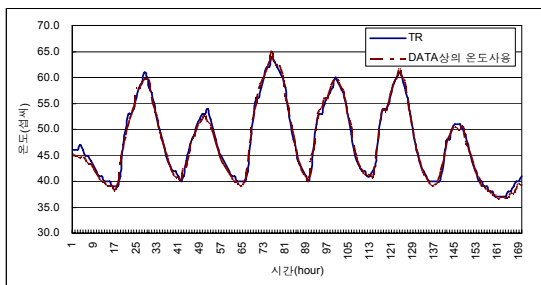
본문에서 제안한 주위 온도 예측방법은 논문에서 제시한 식(2)를 사용하여 시뮬레이션 하였으며, <그림4>에서와 같이 실제온도와 약 0.7도의 오차를 보이며 실제 온도에 근접하게 따라감을 볼 수 있다.



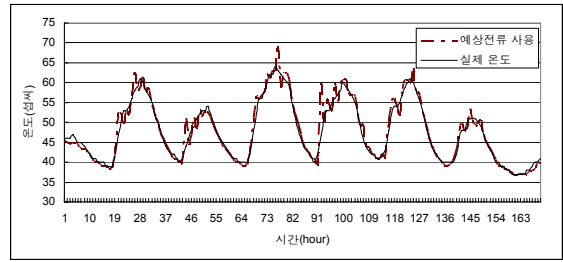
<그림 5> 실제 TR과 Model C 비교

식(1)은  $\theta_T[k-1]$ 를 계산을 통해 구하지만, 현재 k-1시점은 과거의 온도로서 실제 온도 데이터를 통해 알 수 있으므로 실제 온도를 사용하여 시뮬레이션 한 결과 <그림6>에서와 같이 오차가 감소했음을 볼 수 있다. 이에 앞으로의 온도 예측 방법은 현재의 온도 데이터를 그대로 적용하여 시뮬레이션 할 것이며, 이는 주위 온도 예측에도 그대로 활용될 것이다.

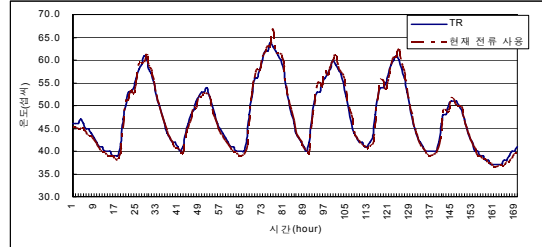
온도 예측을 하기 위해 첫 번째로 전류예측을 사용하였으며, 현재의 전류 기율기를 그대로 적용하여 한시간 후의 전류로 간주하고 그때의 온도를 구하는 방법으로 <그림7>에서와 같이 시뮬레이션 하였다. 이 방법은 기율기의 연장선을 통해 전류를 예측하기 때문에 최고 온도에서 7~8도의 오차를 보이며, 최고 온도 도달 전에 최고치 온도만큼 상승하는 것으로 예측하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 방법은 전류의 변화 즉, 부하 변동이 급격한 경우에 나타나는 예측으로 매 시간 급한 변화를 보이는 부하 예측으로는 적절치 못함을 볼 수 있다.



<그림 6> 실제 온도 DATA를 사용한 Model C 비교



<그림 7> 전류예측을 통한 온도예측과 실제온도 비교



<그림 8> 현재 전류를 사용한 온도 예측과 실제 온도 비교

두 번째 방법으로 현재의 전류가 미래의 온도변화에 많은 영향을 미치므로 미래의 전류대신 현재의 전류를 사용하여 미래의 온도를 예측하는 방법으로 시뮬레이션 한 결과 <그림8>에서처럼 만족할 만한 온도 예측을 볼 수 있다. 이는 약 7일간(170시간)의 시뮬레이션의 결과에서 보듯이 온도 예측의 적절한 방법이 될 수 있으나 기존의 식(1)에 따라 (k+1)시점의 온도를 예측하기 위해서는  $I(k+1)$ 을 사용해야 하나 현재의 전류가 (k+1)일때의 온도에 더 많은 영향을 끼치는 근거를 들어  $I(k)$ 를 사용하였다. 이로 인해 시뮬레이션상의 예측은 오차가 적으나 수학적인 뒷받침이 미비한 단점이 있다.

### 4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서 기존의 온도만을 이용한 온도 예측 방법을 개선하기 위하여 주위 온도와 전류를 이용한 최상부 유온 상승 모델링을 활용하여 전류의 예측과 현재의 전류를 이용한 두가지 방법과 주위온도 예측 방법을 연구하였다. 그 결과로 현재의 전류를 사용하여 미래의 온도를 예측하는 방법이 시뮬레이션 결과 온도 예측에 실용적이고 합리적임을 볼 수 있었다. 이는 실제 변압기의 온도를 예측하여 냉각장치를 운전함에 있어 그 효율성과 경제성에 기여를 할 것으로 기대된다.

본 논문의 연구는 변압기 및 주위 온도의 시정수의 설정에서 통상적으로 변압기 시정수를 2~5시간, 주위온도 시정수는 변압기의 온도에 추종하므로 2~5시간 이상으로 설정하였다. 변압기의 온도는 실험을 통하여 구할 수 있으나, 주위온도에 따른 시정수는 변압기 온도 시정수보다 크다고 예상 할 뿐 그에 대한 이론적인 확립이 미흡한 실정이다. 향후 주위온도 시정수에 대한 연구가 더욱 뒷받침 된다면, 더 정확한 온도 예측을 할 수 있으리라 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] B.C Leisutire et al., "An Improved Transformer Top Oil Temperature Model for Use in An On-Line Monitoring and Diagnostic System", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, pp 249-256, 1997. 1.
- [2] 최도혁 외, "최상부 유온을 이용한 배전용 변압기의 진단 기법", 2000 Trans. KIEE. Vol. 49A, No. 5, pp 242-251, 2000, 5
- [3] Mark F. Lachman, et al, "Real-Time Dynamic Loading and Thermal Diagnostic of Power Transformers", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 18, No. 1, pp142-148, 2003, 1
- [4] Daniel J. Tylavsky, et al, "Transformer Top-Oil Temperature Modeling and Simulation", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 36, pp 1219-1225, No. 5, 2000, 9.