

적외선 열화상의 기상조건에 의한 영향 분석

林庸培 · 崔明日 · 金其鉉 · 朴治現 · 裴錫銘 · 趙成元
한국전기안전공사 전기안전연구원

Analysis on the Effects by Weather Conditions of Infrared Thermography

Young-Bae Lim · Myeong-Il Choi · Chee-Hyun Park · Gi-Hyun Kim · Seok-Myung Bae · Sung-Won Cho
Korea Electrical Safety Corporation Electrical Safety Research Institute

Abstract - Infrared thermography is one of the most valuable and cost-effective diagnostic techniques for predictive maintenance on electrical systems. For the installations, the thermography can identify major problems, which if left unattended could lead to breakdowns. The result thermal images depend upon operator skills, inspection technique, and weather conditions. When the thermographer is applied to remote monitoring, the conditions of the systems are not perfectly analyzed because operators are hard to know the weather effects of the installed place. Therefore, this paper defines the effect by weather conditions these factors will influence the final results. The purpose of this paper is to define the weather effects that a thermographer needs to consider for successful condition analysis.

는 표면온도분포의 취득뿐만 아니라 정확한 풍속 및 풍향에 대한 정보도 알아야한다.

또한 열화상 측정에 있어서 고려되어야 할 환경정보 중에서 일사 에너지에 의한 표면온도 분포 왜곡이 열화상 측정결과 분석에 큰 장애 요인이 될 수 있다.

일사량은 약간의 주기성을 갖고는 있지만 순시로 큰 변화가 자주 발생되기 때문에 특정 패턴을 활용하여 보정할 수도 없다. 그러나 복사 위치에 따른 복사열에 의한 온도 분포 변화를 어느 정도 예측할 수 있기 때문에 정보만 정확히 취득된다면 이에 대한 분석이 일부 가능할 것이다.

따라서 본 논문에서는 풍향, 풍속, 주위온도, 습도, 일사량 등의 기상상태 정보를 취득할 수 있는 열화상 시스템을 구성하고, 풍속과 일사량 등의 주위 환경에 의한 열화상의 왜곡 현상에 대한 모의실험 및 영향을 분석하였다. 이를 위해 송풍기 및 할로젠램프를 이용하여 바람 및 일광을 모의하였고, 이 결과를 활용하여 적용 가능한 열화상시스템을 제작하였다.

1. 서 론

1966년 최초의 상용화된 적외선 열화상기가 개발된 이후, 1980년대의 초점면 배열 검출소자와 1990년대의 비냉각식 마이크로볼로미터 검출기의 출현으로 저가의 적외선 열화상기 보급이 이루어지면서 전력설비 진단분야에도 적용이 급속히 증가되었다[1]. 특히 대상체에 접촉하지 않고도 광범위한 영역의 온도정보를 한번에 쉽게 수집할 수 있다는 장점 때문에 결합 발생 시 일반적으로 온도 상승을 동반하는 전력설비의 진단에 많이 사용되고 있으며, 몰드변압기와 같이 전기적 현상으로 고장형태 검출이 용이하지 않거나 무정전 진단이 필요할 때 자주 활용되고 있다[2].

그러나 보편적으로 사용하고 있는 방법은 측정 당시의 온도정보만을 취득할 뿐 주기적 또는 비주기적으로 변화되는 부하와 기상 조건 등의 환경변화에 대한 정보를 함께 확보하고 있지 않기 때문에, 발생되는 온도분포의 변화가 설비의 정상적인 설계 범위에서 정상적으로 운전되고 있는지를 명확히 판단할 수 없었다.

열화상기에 의해 측정된 표면온도는 기후와 같은 환경의 영향을 반영한 결과로 대상체의 운전특성 및 상태를 정확히 대변하고 있는 온도는 아니다. 결과적으로 설비의 상태를 판단하기 위해 측정된 결과가 주위 온도나 바람 또는 태양복사 등에 의한 영향에 의해 정확하게 분석되지 않는 경우가 있다.

바람은 강제 대류를 제공하기 때문에 풍속이 증가함에 따라 냉각 효과 또한 증가하므로, 물체의 온도에 큰 영향을 주며, 특히 전력선과 같은 전기설비의 온도에 대해서는 매우 중요한 변수가 될 수 있고, 수직으로 부는 바람은 가장 큰 냉각효과를 제공한다. 이는 대상체의 체적에 대해서 방향성이 있을 경우 이를 고려하여야 함을 의미한다. 그러므로 정확하게 설비상태를 분석하기 위해서

2. 본 론

2.1 모의실험설비 구성

적외선 열화상기를 이용한 대상체 표면온도 분석은 주변 환경에 의해 영향을 받는다. 특히 옥외에 설비가 설치되어있을 경우 설비상태에 따른 고유의 온도분포가 왜곡될 수 있다. 물론 대상체 표면의 오염에 따른 복사율 변화에 의한 영향도 있지만 표면 오염도의 급격한 변화없는 물체의 복사율이 순간적으로 변화되지 않으므로 지속적인 자료의 관리만 이루어진다면 이에 대한 오차는 크지 않을 것이다.

또한 설비의 설치 장소가 옥내·외에 관계없이 대상체의 온도는 주위온도에 의해 변화되기 때문에 정확한 주위온도의 관찰 또한 정확한 온도정보 분석을 통해 가능할 수 있을 것이다.

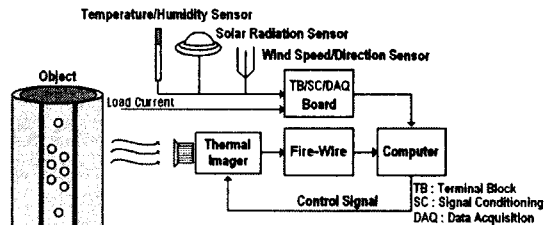


그림 1 열화상 환경시험설비 블록도
Fig. 1 Block diagram for weather test

기상조건에 따른 적외선 열화상의 왜곡 현상을 분석하기 위해 그림 1과 같이 설비를 구성하였다. 취득 가능한 기상정보는 그림의 센서로부터 취득되는 풍향, 풍속, 온도, 습도, 일사량이고, 부하전류에 따른 영향을 배제하기 위해 부하전류를 함께 검출 및 분석할 수 있게 하였다. 구성된 시험설비에서 적외선 열화상은 IEEE 1394규격의 fire wire를 통해 컴퓨터로 전송하였고, 각 기상센서로부터 취득된 정보는 signal conditioner 및 data acquisition board를 통해 수집하였다.

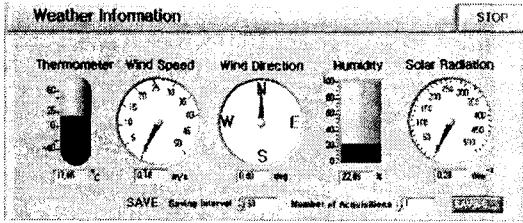


그림 2 기상정보 수집 프로그램
Fig. 2 Program to collect weather information

그림 2는 그림 1의 각종 센서로부터 기상정보를 취득 및 저장하기 위한 프로그램으로 온도와 풍속, 풍향, 습도, 일사량 등의 정보를 원하는 시간간격으로 저장할 수 있게 자체 제작되었다.

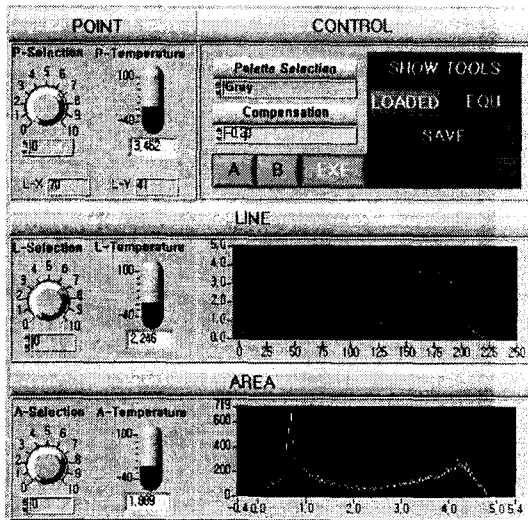


그림 3 열화상 취득 및 분석 프로그램
Fig. 3 Program for acquisition and analysis of thermal image

그림 3의 프로그램은 열화상을 실시간으로 취득하고, 저장할 수 있으며, 저장된 기준화상과 실시간 취득되는 열화상을 차분 분석할 수 있게 제작하였다. 분석 영역은 점, 선, 면으로 구분 분석할 수 있으며, 각 10개의 영역을 할당하여 분석할 수 있다.

실험용 시료로는 풍속 및 풍향실험에는 물드변압기가, 일사량실험에는 계기용변성기가 사용되었다.

2.2 모의실험

그림 4는 측정대상 시료에 정격전류를 인가하여 강제 대류에 의한 영향을 시험하기 위한 측정회로로 물드변압기 고압권선의 inductance의 영향을 회피하기 위해 직류로 변환하여 전류를 인가하였다.

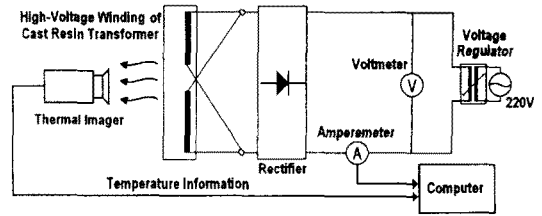


그림 4 측정회로
Fig. 4 Test schematic

2.2.1 대류에 의한 영향

모의실험에 활용된 풍속 및 풍향 센서는 Vaisala의 그림 5와 같은 구조를 갖는 초음파식인 WAS425AH-C를 사용하였다. 이 센서는 한 수평평면에 같은 간격을 갖는 초음파 변환기 3개가 열(array)로 구성되어 있어 한 변환기에서 다른 변환기로 바람이 통과하는데 걸리는 시간을 측정하는 것이다.

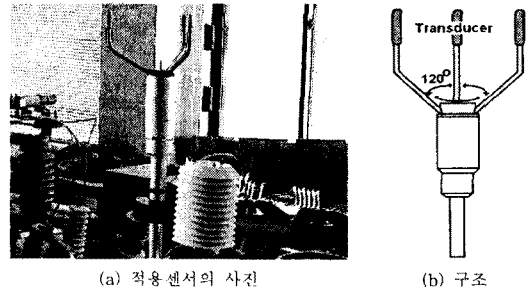


그림 5 초음파풍향·풍속센서
Fig. 5 Supersonic wind speed and direction sensor

통과시간은 초음파 경로를 따라 바람이 불면 바람을 거스르는 방향(up-wind)의 통과시간은 증가하고 바람 방향(down-wind)의 통과시간은 감소한다. 다음의 식(1)에 의해 통과시간으로부터 풍속을 계산한다.

$$V_w = 0.5 \cdot L \cdot \left(\frac{1}{t_f} - \frac{1}{t_r} \right) \quad (1)$$

여기서 V_w 는 풍속이고, L 은 두 변환기 사이의 거리, t_f 는 앞쪽에서의 통과시간, t_r 는 뒤쪽에서의 통과시간을 의미한다. 6가지의 전파시간을 측정하면 120°의 편차로 위치한 3가지의 초음파 경로의 각각에 대한 V_w 가 계산된다. 계산된 풍속은 고도와 온도, 습도에 독립적인데 이유는 음속이 개개의 통과시간에 영향을 받지만 전체 측정에서 소거되기 때문이다.

센서 출력 중 풍속은 0-1V의 직류전압으로 이 출력은 0-55.88m/s의 풍속에 선형 대응되고, 풍향의 출력은 센서에 인가한 전압(직류 2V의 정전압)에 대하여 출력전압은 입력전압인 2V를 359°로 하고 0V를 0°로 한 전압 대 풍향 선형 대응 특성을 갖는다.

실험은 바람에 의한 영향을 검토하기 위해 송풍기(fan)를 이용한 강제 대류의 풍속에 따른 온도변화를 측정하였다. 풍속은 전동기의 구동 전압을 조절하여 1.5, 2.0, 3.5m/s의 3단계로 조절하였다.

그림 6은 1.5m/s의 강제 대류에 의한 물드변압기 고압권선의 표면온도 분포 변화를 관찰한 것으로, (a)는 강제 대류가 없는 상태에서 2A의 직류전류를 인가했을 때의 표면온도이고, (b)는 강제 대류가 없는 상태와 같은 조건에서 좌측에서 강제 대류를 5분 동안 발생시켰을 때의

표면온도 분포이다. 그리고 그림 7과 그림 8은 2.0m/s와 3.5m/s의 강제 대류에 의한 고압권선의 표면온도 분포 변화를 각각 관찰한 것이다.

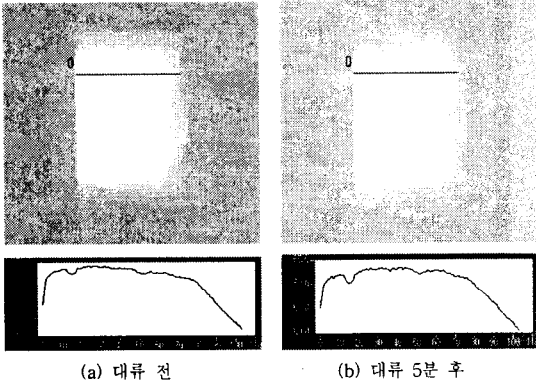


그림 6 1.5m/s의 강제 대류
Fig. 6 Forced convection of 1.5m/s

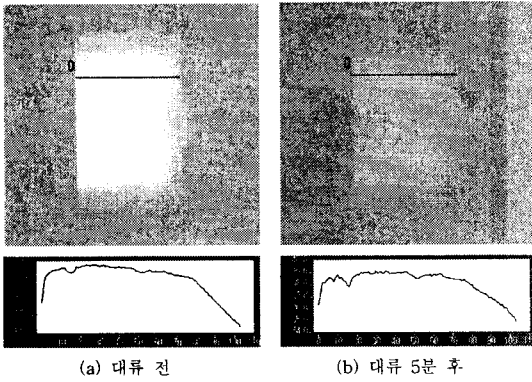


그림 7 2.0m/s의 강제 대류
Fig. 7 Forced convection of 2.0m/s

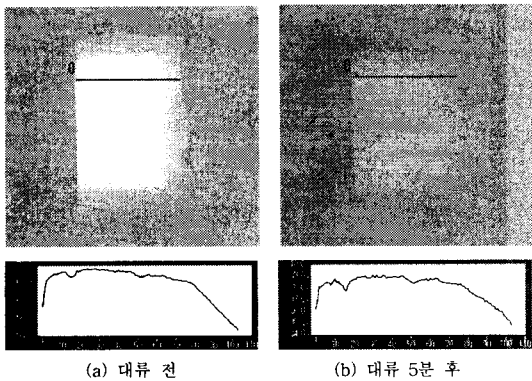


그림 8 3.5m/s의 강제 대류
Fig. 8 Forced convection of 3.5m/s

2.2.2 복사에 의한 영향

열화상 측정에 있어서 고려되어야 할 환경정보 중에서 풍속 이외에 다양한 사항이 있다. 그중에서도 일사 에너지에 의한 표면온도 분포 왜곡이 열화상 측정결과와의 분석에 큰 장애 요인이 될 수 있다. 일사량은 어느 정도 주기성을 갖지만 순시로 큰 변화가 자주 발생되기 때문에 특정 패턴을 활용할 수도 없다.

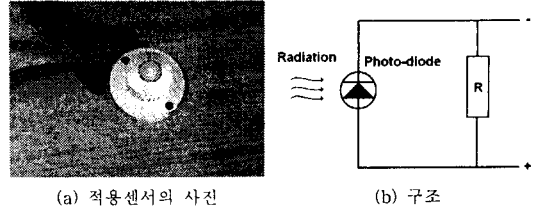


그림 9 일사센서
Fig. 9 Solar radiation sensor

따라서 이에 의한 온도분포에 대한 영향을 검토해볼 필요가 있다. 이를 위해 일사량을 직접 제어할 수는 없으므로 할로겐램프를 이용하여 모의실험을 실시하였다.

실험에서 일사량 측정에 적용된 일사센서는 그림 9와 같은 Vaisala의 QMS101로 $80\mu\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 의 감도를 갖는 제품이다. 모의 일사복사로 활용된 등기구는 500, 1000, 1500, 2000W의 4단계로 조절되는 구조로 제작된 할로겐 조명이 사용되었고, 일사량 검출을 위한 센서는 Vaisala의 QMS101인 $80\mu\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 의 감도를 갖는 제품을 사용하였다.

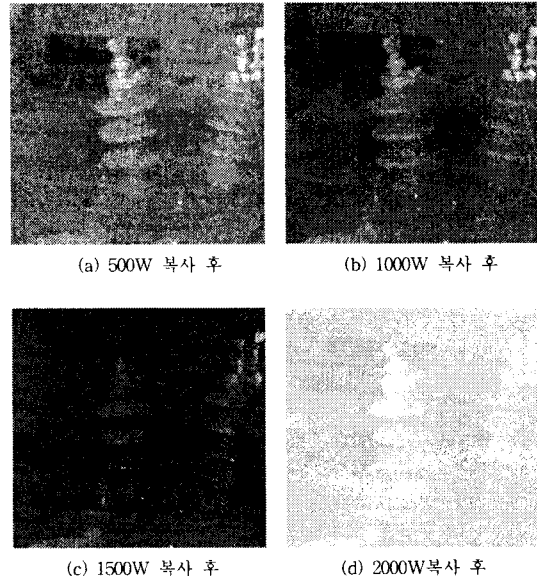


그림 10 할로겐 빛 복사에 의한 결과화상
Fig. 10 Result images by radiation from halogen light

그림 10은 할로겐램프의 복사열이 표 1과 같이 측정된 모의 태양복사에 의해 변화된 열화상을 보여주고 있다. 할로겐 조명의 전력을 조절하여 일사센서에 의해 측정된 값은 표 1과 같다. 이들 값은 $0.17\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 의 배경 일사량을 갖는 실내 환경에서 10회 측정된 값을 평균한 값이다.

표 1 모의 태양복사의 일사량 측정 결과
Tab. 1 Measuring results of simulated solar radiation

할로겐 조명 전력	일사센서 측정값	비 고
0W	$0.17\text{W}/\text{m}^2$	실내 환경에서 측정
500W	$41.35\text{W}/\text{m}^2$	"
1000W	$87.51\text{W}/\text{m}^2$	"
1500W	$144.48\text{W}/\text{m}^2$	"
2000W	$212.75\text{W}/\text{m}^2$	"

2.3 실험 결과

그림 11(a)는 강제 대류가 없을 때의 온도분포에서 1.5m/s 강제 대류를 발생시킨 후의 온도분포인 그림 11(b)를 화소 대 화소 차분연산을 실시한 결과로서 강제 대류에 의해 변화된 최고 온도는 6.3℃로 분석되었고, 그림 11(b)는 2.0m/s로 강제 대류에 의해 10.0℃의 온도 변화가 있는 것으로 분석되었다. 그림 11(c)는 3.5m/s의 강제 대류에 따른 몰드변압기 고압권선의 표면온도 분포 변화를 관찰한 것으로서 강제 대류가 없을 때는 최고 온도가 약 70℃이었으나, 강제 대류 5분 후에는 39℃까지 저하되어 30℃이상의 온도변화가 있었다.

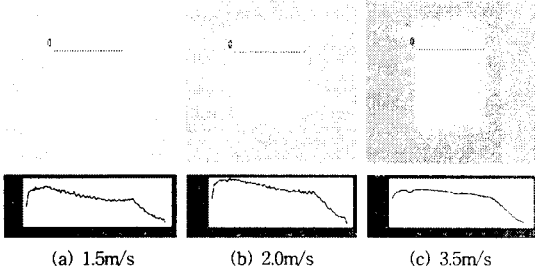


그림 11 강제 대류 전·후 차분화상 및 온도곡선
Fig. 11 Difference image and temperature profile between before forced convection and after

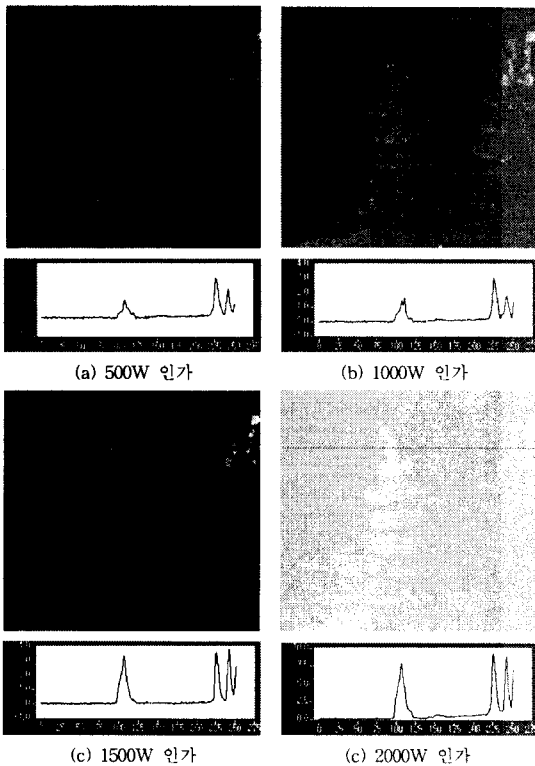
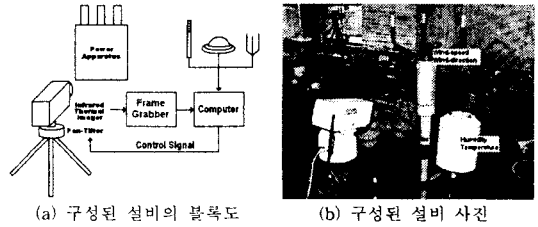


그림 12 모의 태양복사 전·후 차분화상 및 온도곡선
Fig. 12 Difference image and temperature profile between before simulated solar radiation and after

그림 12는 일반실내환경인 0.17W/m²에서 측정된 초기 상태의 기준화상에 대하여 각각 500W, 1000W, 1500W, 2000W의 할로겐램프의 복사열에 의해 변조된 열화상의 차분연산 결과와 이에 대한 온도분포 곡선으로 상태분석

에 영향을 줄 만큼 큰 온도편차를 보이고 있다.

그림 13은 모의실험 결과를 토대로 구성된 적외선열화상시스템으로 기상센서를 채용하여 기상변화에 대응할 수 있게 구성하였다.



(a) 구성된 설비의 블록도 (b) 구성된 설비 사진
그림 13 모의 태양복사 전·후 차분화상 및 온도곡선
Fig. 13 Difference image and temperature profile between before simulated solar radiation and after

3. 결 론

본 논문에서는 풍속을 모의한 송풍기에 의한 강제 대류와 일사량을 모의한 할로겐램프의 복사열에 대하여 설비의 표면온도 변화를 분석하였다.

풍속에 대한 모의실험 결과는 바람의 세기에 의해 설비의 표면온도가 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 따라서 이상 상태에 있는 설비가 과열되어 있다고 하더라도 바람이 세게 불고 있다면 설비의 표면온도는 정상범위 내에 있을 수도 있을 것이다. 그러므로 정확한 설비의 온도분포 정보뿐만 아니라 정확한 풍속정보도 요구됨을 알 수 있다.

모의 태양복사에 대한 실험에서는 복사에너지의 양을 늘림에 따라 시료의 표면온도가 현저히 상승되는 것으로 나타났다. 이는 무시할 수 없는 변화였고, 이를 고려하지 않고 설비의 표면온도분포를 분석할 경우 건전설비를 고장설비로 잘못 분석할 수도 있을 것이다. 결과적으로 정확한 온도분포를 수집하여도 환경 정보를 정확히 모른다 면 그 수집된 온도분포 정보는 아무 의미가 없다.

본 연구결과는 풍속과 일사에 대한 자동 보정 기능을 갖는 열화상 감시 시스템을 구성하지는 않았다. 가장 큰 이유는 자동 보정 기능을 위한 연산처리를 실시하기 위해서는 열화상의 취득과 패턴매칭, 차분연산 등과 더불어 기상센서로부터 취득한 정보의 연산과 이들 결과를 열화상에 다시 적용시키는 연산을 한 사이클로 실시하여야 하나 처리 소요 시간이 너무 지연되어 시스템 성능의 저하를 초래하였기 때문이다. 따라서 현재 구성된 시스템은 측정시점과 센서출력정보의 저장에 제한되었고 패턴분석을 통한 자동 보정은 향후 지속적으로 개발할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업자립부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] Xavier P.V. Maldague, "Nondestructive Testing Handbook Volume 3", American Society for Nondestructive Testing, Inc., pp. 21~22, 2001
 [2] Young Bae Lim, Jong-Wook Jung, Jin-Soo Jung, Seong won Cho and Joon Bum Kim, "The Condition Assessment of Cast Resin Molded Transformer Windings Using Vertical Analysis of Thermal Distribution", KIEE International Transactions on Electrophysics and Applications, Vol. 5 C, No. 5, pp. 191~195, 2005