

## Analysis on the Effects by Weather Conditions of Infrared Thermography

林 庸 培<sup>†</sup> · 金 基 鉉\* · 崔 明 日\* · 朴 治 現\* · 裴 錫 銘\* · 趙 成 元\*\*

(Young-Bae Lim · Myeong-Il Choi · Gi-Hyun Kim · Chee-Huyn Park · Seok-Myung Bae · Sung won Cho)

**Abstract** - Infrared thermography is one of the most valuable and cost-effective diagnostic techniques for predictive maintenance on electrical systems. For the electric installations, the thermographies can identify major problems, which if left unattended could lead to breakdowns. The result thermal images depend upon operator skills, inspection technique, and load 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's effects of the installed place. Therefore, this paper defines the effects by weather conditions which 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.

**Key Words** : Infrared thermography, Weather condition, Solar radiation, Wind speed, Forced convection

### 1. 서 론

군사적 목적에 주로 활용되던 적외선 열화상기가 1980년대에 초점면 배열 검출소자와 1990년대에 비냉각식 마이크로볼로미터 검출기가 개발되면서, 전력설비 진단분야에도 적용이 급속히 증가되었다[1].

대상체에 접촉하지 않고도 광범위한 영역의 온도정보를 동시에 쉽게 수집할 수 있다는 장점 때문에 결함 발생 시 온도 상승을 동반하는 전력설비의 진단에 많이 활용하고 있으며, 특히 전기적 현상으로 고장형태 검출이 용이하지 않거나 무전진 진단이 필요할 경우 자주 사용된다[2].

열화상기에 의해 측정된 표면온도는 부하의 운전 상태나 기후와 같은 환경의 영향을 반영한 결과로서 대상체의 운전 특성 및 상태를 정확히 대변하고 있는 절대적인 온도는 아니다. 결과적으로 설비의 상태를 판단하기 위해 측정된 결과가 주위 온도나 바람 또는 태양복사 등에 의한 영향에 의해 정확하게 분석되지 않을 수 있다.

그러나 일반적으로 적용되고 있는 열화상기에 의한 전기설비진단 방법은 측정 당시의 온도만을 취득할 뿐 주기적 또는 비주기적으로 변화되는 부하전류와 기상 조건 등의 환경변화에 대한 정보를 함께 확보 및 고려하고 있지 않기 때문에, 발생하는 온도분포의 변화가 설비의 정상적인 설계 범위에서 정상적으로 운전되고 있는지를 명확히 판단할 수 없

었다.

강제 대류 효과를 제공하는 바람은 풍속이 증가함에 따라 냉각 효과를 증가시키므로 물체의 온도에 큰 영향을 준다. 특히 전력선과 같은 표면적이 큰 전기설비는 온도에 대해서 풍속이 매우 중요한 변수가 될 수 있고, 바람이 부는 방향에 따라서도 다양한 냉각효과를 제공한다. 이는 대상체의 체적에 대해서 방향성이 있을 경우 이를 고려하여야 함을 의미한다. 그러므로 정확하게 설비상태를 분석하기 위해서는 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 측정 결과의 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 있으므로 정보만 정확히 취득한다면 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 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 모의실험설비 구성

적외선 열화상기를 이용한 대상체 표면온도 분석은 주변 환경에 의해 영향을 받는다. 특히 옥외에 설비가 설치되어

<sup>†</sup> 交信著者, 正會員 : 韓國電氣安全公社 電氣安全研究院  
E-mail : electrotree@gmail.com

\* 正會員 : 韓國電氣安全公社 電氣安全研究院

\*\* 正會員 : 弘益大學校 電氣情報制御工學科

接受日字 : 2007年 6月 20日

最終完了 : 2007年 7月 17日

있을 경우 설비상태에 따른 고유의 온도분포가 왜곡될 수 있다. 물론 대상체 표면의 오염에 따른 복사율 변화에 의한 영향도 있지만, 표면 오염도의 급격한 변화 없이는 물체의 복사율이 순간적으로 변화되지 않으므로 지속적인 자료의 관리만 이루어진다면 이에 대한 오차는 크지 않을 수 있을 것이다.

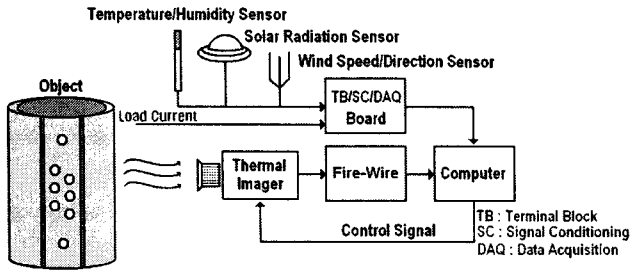


그림 1 열화상 환경시험설비 블록도  
Fig. 1 Block diagram for weather test

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

따라서 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 전송할 수 있게 하였고, 각 기상센서로부터 취득된 정보는 signal conditioner 및 data acquisition board를 통해 수집하였다.

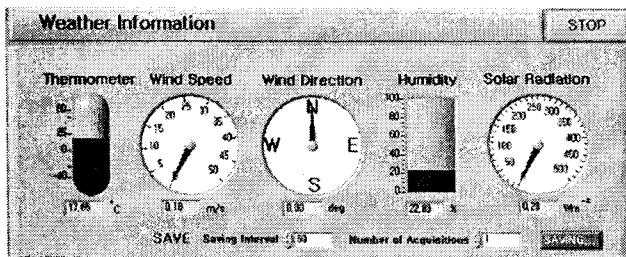


그림 2 기상정보 수집 프로그램  
Fig. 2 Program to collect weather information

그림 2는 그림 1의 각종 센서로부터 기상정보를 취득 및 저장하기 위한 프로그램으로 온도(°C)와 풍속(m/s), 풍향(°), 습도(%), 일사량(W/m<sup>2</sup>) 등의 정보를 원하는 시간간격으로 저장할 수 있게 자체 제작하였다.

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

선 분석부분에서 그래프의 X-축은 분석을 위하여 설정한

직선에 대하여 시작점으로부터 끝점까지의 공간에 대한 위치를 나타내는 것이고, Y-축은 그 위치에 대한 섭씨온도(°C)를 나타낸다. 그림에서의 온도는 기준 열화상으로부터 현재 열화상이 차분 연산된 열화상에 대한 것이므로 온도차를 나타낸다.

영역 분석부분에서의 그래프에서 X-축은 선택된 영역의 섭씨온도로, 차분 연산된 열화상이므로 온도차의 차이, Y-축은 각 온도차에 대한 화소의 수이므로, 지배적인 온도차를 분석하는데 활용할 수 있다.

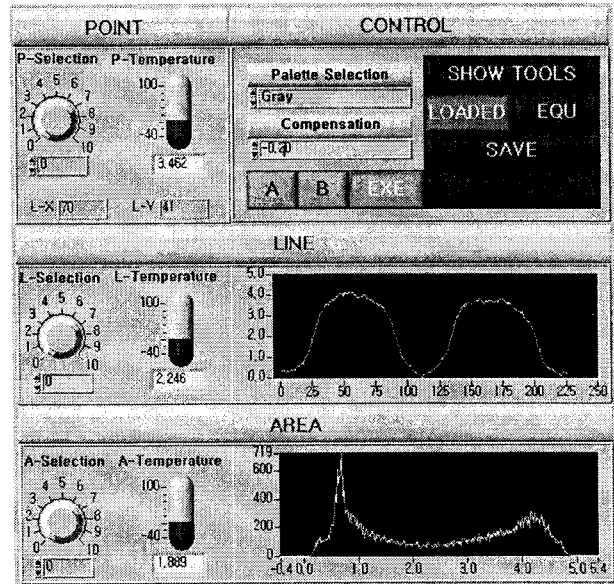


그림 3 열화상 취득 및 분석 프로그램  
Fig. 3 Program for acquisition and analysis of thermal image

2.2 모의실험

실험용 시료로 풍속 및 풍향실험에는 몰드변압기가, 일사량실험에는 계기용변성기가 사용되었다.

그림 4는 풍속 및 풍향실험 측정대상 시료인 몰드변압기 고압권선에 정격전류를 인가하여 강제 대류에 의한 영향을 확인하기 위한 실험회로이다.

고압권선 시료는 3상 100 kVA 22,900 V용(3,922turns)으로 제작되었고, 도체는 직경 0.85 mm의 동선을 사용하였다. 따라서 몰드변압기의 고압권선은 60 Hz에서 inductance가 2.7 H로 매우 크기 때문에 저전압 인가로 정격전류 이상의 전류를 흐를 수 있게 하기 위해 직류로 변환하여 인가하였다.

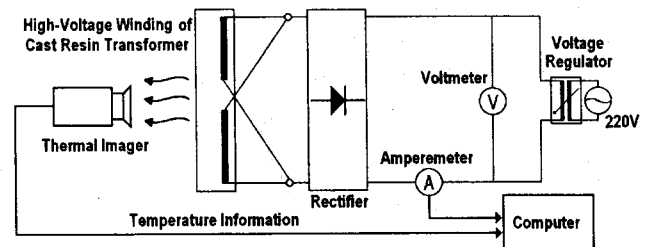
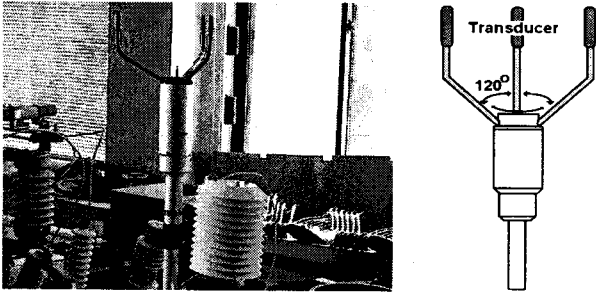


그림 4 측정회로  
Fig. 4 Test schematic

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 측정하여 풍속을 계산한다.



(a) 적용센서의 사진

(b) 구조

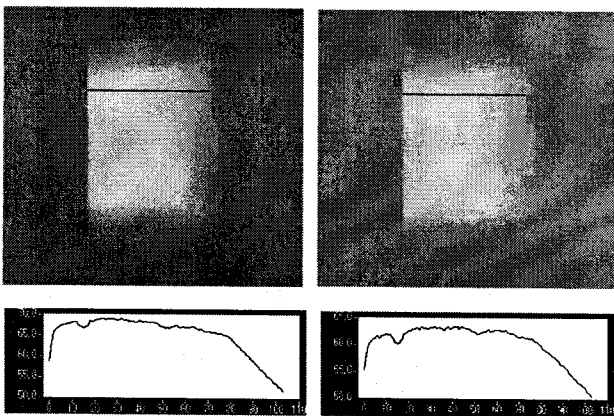
그림 5 초음파풍향·풍속센서

Fig. 5 Supersonic wind speed and direction sensor

초음파 경로를 따라 바람이 불면 바람을 거스르는 방향(up-wind)의 통과시간은 증가하고, 바람 방향(down-wind)의 통과시간은 감소하므로, 다음의 식(1)에 의해 풍속이 계산된다.

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

여기서  $V_w$ 는 풍속이고,  $L$ 은 두 변환기 사이의 거리,  $t_f$ 는 앞쪽으로의 통과시간,  $t_r$ 는 뒤쪽으로의 통과시간을 의미한다. 6가지의 전파시간을 측정하면 120°의 편차로 위치한 3가지의 초음파 경로의 각각에 대한  $V_w$ 가 계산된다. 이때 음속이 개개의 통과시간에 대해서는 고도와 온도, 습도의 영향을 받지만 전체 측정 과정에서 소거되기 때문에 계산된 풍속은 이들에 대하여 독립적이므로 정확한 풍속이 측정 가능하다.



(a) 대류 전

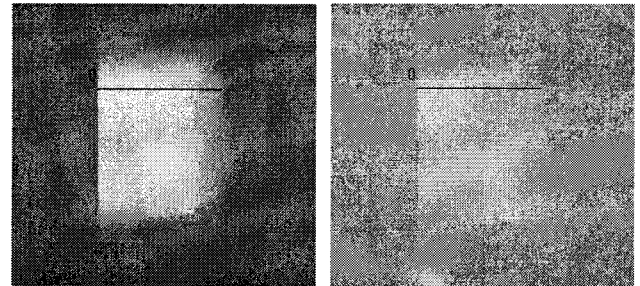
(b) 대류 5분 후

그림 6 1.5 m/s의 강제 대류

Fig. 6 Forced convection of 1.5 m/s

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

실험은 바람에 의한 영향을 검토하기 위해 송풍기(fan)를 이용한 강제 대류를 발생시켰고, 전동기의 구동 전압을 조절하여 측정 대상체의 표면 위치에서 1.5, 2.0, 3.5 m/s의 풍속을 갖도록 3단계로 조절하여 온도분포를 측정하였다.

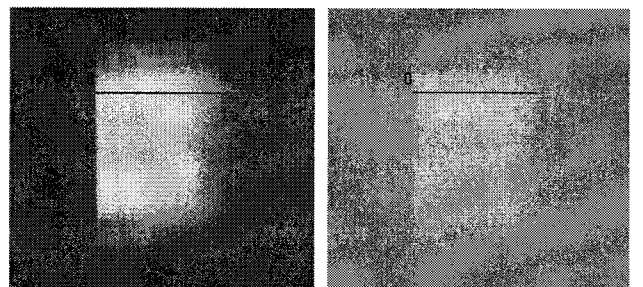


(a) 대류 전

(b) 대류 5분 후

그림 7 2.0 m/s의 강제 대류

Fig. 7 Forced convection of 2.0 m/s



(a) 대류 전

(b) 대류 5분 후

그림 8 3.5 m/s의 강제 대류

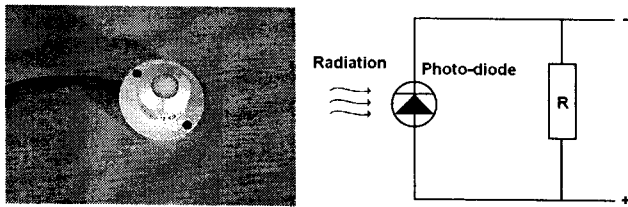
Fig. 8 Forced convection of 3.5 m/s

그림 6은 1.5 m/s의 강제 대류에 의한 몰드변압기 고압권선의 표면온도 분포 변화를 분석한 것으로, (a)는 강제 대류가 없는 상태에서 2 A의 직류전류를 인가했을 때의 표면온도이고, (b)는 강제 대류가 없는 상태와 같은 조건에서 좌측으로부터 강제 대류를 5분 동안 발생시켰을 때의 표면온도 분포이다. 그림 7과 그림 8은 각각 2.0 m/s와 3.5 m/s의 강제 대류 5분후의 고압권선 표면온도 분포의 변화에 대한 분석 결과이다. 각 온도분포 곡선에서 X-축은 열화상에 표시된 선에서의 좌측으로부터의 공간적 위치이고 Y-축은 그 위치에 대한 섭씨온도이다.

3.5 m/s의 강제 대류에 따른 몰드변압기 고압권선의 표면 온도 분포 변화의 분석 결과, 강제 대류가 없을 때는 최고 온도가 약 70 °C이었으나, 강제 대류 5분 후에는 39 °C까지 저하되어 30 °C이상의 온도변화가 있었다.

**2.2.2 복사에 의한 영향**

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



(a) 적용센서의 사진

(b) 구조

그림 9 일사센서

Fig. 9 Solar radiation sensor

2000 W의 4단계로 조절되는 구조로 제작된 할로겐 조명이 사용되었고, 일사량 검출을 위한 센서는 Vaisala의 QMS101인 80  $\mu\text{W}/\text{W} \cdot \text{m}^2$ 의 감도를 갖는 제품을 사용하였다.

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

표 1 모의 태양복사의 일사량 측정 결과

Table 1 Measuring results of simulated solar radiation

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

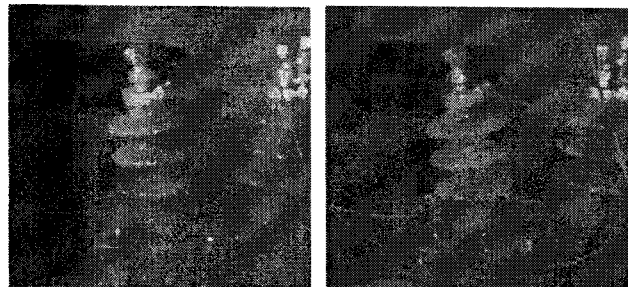
**2.3 실험 결과**

그림 11(a)는 강제 대류가 없을 때의 온도분포인 그림 6(a)에서 1.5 m/s의 강제 대류를 발생시킨 후의 온도분포인 그림 6(b)를 화소 대 화소 차분연산한 결과이므로, 1.5 m/s의 강제 대류에 의해 변화된 최고 온도가 6.3 °C임을 알 수 있다.

또한, 그림 11(b)는 강제 대류가 없을 때의 온도분포인 그림 7(a)에서 2.0 m/s의 강제 대류를 발생시킨 후 온도분포인 그림 7(b)를 화소 대 화소 차분연산한 결과이므로, 2.0 m/s의 강제 대류에 의해 10.0 °C의 온도 변화가 있는 것을 알 수 있다.

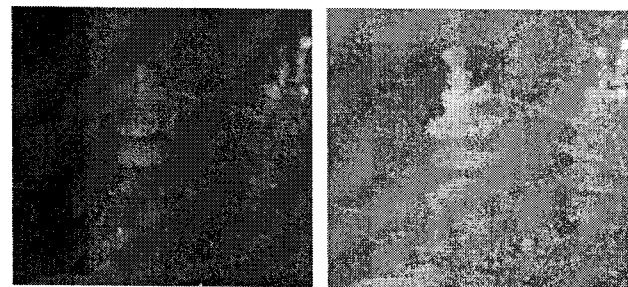
그리고 그림 11(c)는 강제 대류가 없을 때의 온도분포인 그림 8(a)에서 3.5 m/s의 강제 대류를 발생시킨 후 온도분포인 그림 8(b)를 화소 대 화소 차분연산한 결과이므로, 3.5 m/s의 강제 대류에 따른 최고 온도 변화가 30 °C이상인 것을 알 수 있다.

각 온도분포 곡선에서 X-축은 열화상에 선으로 표시된 좌측으로부터의 위치이고, Y-축은 대류 전·후의 섭씨온도 차를 나타낸다.



(a) 500 W 복사 후

(b) 1000 W 복사 후



(c) 1500 W 복사 후

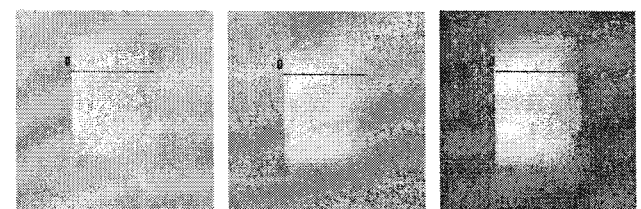
(d) 2000 W 복사 후

그림 10 할로겐 빛 복사에 의한 결과화상

Fig. 10 Result images by radiation from halogen light

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

실험에서 일사량 측정에 활용된 일사센서는 그림 9와 같은 Vaisala의 QMS101로 80  $\mu\text{W}/\text{W} \cdot \text{m}^2$ 의 감도를 갖는 제품이다. 모의 일사복사로 활용된 등기구는 500, 1000, 1500,



(a) 1.5 m/s

(b) 2.0 m/s

(c) 3.5 m/s

그림 11 강제 대류 전·후 차분화상 및 온도곡선

Fig. 11 Difference image and temperature profile between before forced convection and after

그림 12는 일반실내환경인  $0.17 \text{ W/m}^2$ 에서 측정된 초기상태의 기준화상에 대하여, (a)는 500 W의 할로겐램프로 복사에너지( $41.34 \text{ W/m}^2$ )를 인가하였을 때로 최대  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도상승이 확인되었고, (b)는 1000 W의 램프로 복사에너지( $187.51 \text{ W/m}^2$ )를 인가했을 때로 최대  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도상승이 있었다. 그리고 (c), (d)는 각각 1500 W, 2000 W의 램프로 복사에너지(각각  $144.48, 212.75 \text{ W/m}^2$ )를 인가하였을 경우로 최대  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 와  $9 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도상승이 있었다. 여기서 X-축은 열화상에 표시된 수평의 선에 대한 화소의 위치이고, Y-축은 그 각 화소에 대한 섭씨온도를 나타낸 것이다.

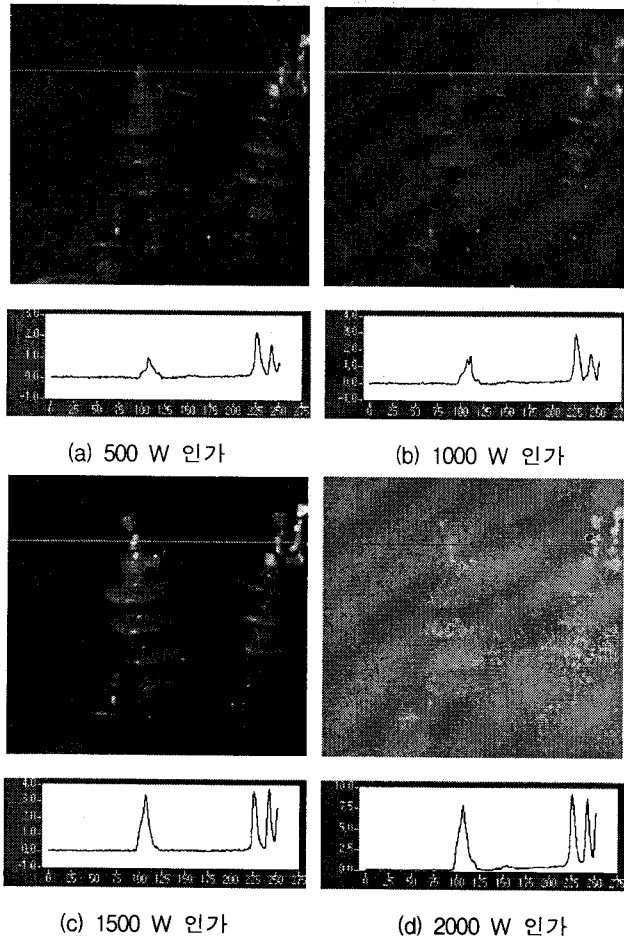


그림 12 모의 태양복사 전·후 차분화상 및 온도곡선  
 Fig. 12 Difference image and temperature profile between before simulated solar radiation and after

할로겐램프의 복사열에 의해 변조된 열화상의 차분연산 결과와 이에 대한 온도분포 곡선으로 상태분석에 영향을 줄 만큼 큰 온도편차를 보이고 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서 바람을 모의한 송풍기에 의한 강제 대류와 일사량을 모의한 할로겐램프의 복사열에 대하여 설비의 표면온도 변화를 분석하였다.

풍속에 대한 모의실험 결과는 바람의 세기에 의해 설비의

표면온도가 설비의 상태 판단에 영향을 줄 수 있는,  $3.5 \text{ m/s}$ 의 풍속에서  $39 \text{ }^\circ\text{C}$  이상의 온도를 저하시키는 것으로 나타났다. 따라서 이상 상태에 있는 설비가 과열되어있다고 하더라도 바람이 세게 불고 있다면 설비의 표면온도는 정상범위 내에 있을 수도 있을 것이다. 그러므로 정확한 설비의 온도분포 정보뿐만 아니라 정확한 풍속정보가 요구됨을 알 수 있다.

모의 태양복사에 대한 실험에서는 복사에너지의 양을 늘림에 따라 시료의 표면온도가 현저히 상승되는 것으로 나타났다. 실험결과  $213 \text{ W/m}^2$ 의 복사에너지에 대해서도 경우  $9 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도 상승이 있었다. 이는 국내의 봄철 평균 일사량이  $1,736 \text{ W/m}^2$ 이므로 무시할 수 없는 변화이고, 이를 고려하지 않고 설비의 표면온도분포를 분석할 경우 건전설비를 고장설비로 잘못 분석할 수도 있을 것이다.

결과적으로 정확한 온도분포를 수집하여도 환경 정보를 정확히 모른다면 그 수집된 온도분포 정보는 아무 의미가 없게 된다.

따라서 본 연구에서는 풍속과 일사 등에 대한 정보를 취득하여 열화상과 함께 분석할 수 있도록 시스템을 구성하였고, 실험을 통해 유용성을 검증하였다. 그러나 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 실시하여야하나 처리소요 시간 지연에 의한 시스템 성능의 저하 때문에, 현재 구성된 시스템은 측정시점과 센서출력정보의 저장에 제한되었고 패턴분석을 통한 자동 보정은 향후 지속적인 시스템 개선을 통해 개발할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 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

저 자 소 개



임 용 배 (林 庸 培)

1967년 11월 16일생. 1994년 원광대학교 전기공학과 졸업. 1998년 홍익대학교 전기 제어공학과 졸업(석사). 2007년 홍익대학교 전기정보제어공학과 졸업 (박사). 1994~1996년 동양트랜스공업(주) 재직. 1996

년~현재 전기안전연구원 파트장

Tel : 031-580-3056

Fax : 031-580-3111

E-mail : electrotree@gmail.com



김 기 현 (金 基 鉉)

1971년 5월 1일생. 1997년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2000년 8월 석사, 2006년 6월 동 대학원 박사수료. 2000. 6~2003. 6 한국전기연구원 재직, 2006년 전기안전기술사 취득. 2003. 7~현재 전기안전연구원 파트장

Tel : 031-580-3057

Fax : 031-580-3111

E-mail : ghkim7151@kesco.or.kr



최 명 일 (崔 明 日)

1975년 5월 30일생. 2002년 창원대학교 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 졸업(석사). 2000~2001년 한국전기연구원 재직. 2003년~현재 전기안전연구원 연구원

Tel : 031-580-3058

Fax : 031-580-3111

E-mail : ken2003@kesco.or.kr



박 치 현 (朴 治 現)

1973년 1월 22일생. 2000년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업. 2003년 전자공학과 졸업(석사). 2003~2005년 LG이노텍 연구원. 2006. 5~현재 전기안전연구원 연구원

Tel : 031-580-3059

Fax : 031-580-3111

E-mail : chpark@kesco.or.kr



배 석 명 (裵 錫 銘)

1956년 10월 22일생. 1984년 창원기능대학교 전기기기과 졸업. 1981~1998년 한국전기안전공사 재직, 1998년~현재 전기안전연구원 부원장

Tel : 031-580-3050

Fax : 031-580-3111

E-mail : sukmyong@hanmir.com



조 성 원 (趙 成 元)

1959년 9월 7일생. 1982년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1992년 Purdue Univ. 전기공학과 졸업(공학박사). 1992년~현재 홍익대학교 전기정보제어공학과 교수

Tel : 02-320-1493

Fax : 02-320-1110

E-mail : swcho@hongik.ac.kr