

온도분포분석을 이용한 수전설비 원격진단

임용배, 천종철, 정승천

한국전기안전공사

Tele-Diagnosis of Electric Power Apparatus Using Analyzation of Temperature Distribution

Yong-Bae Lim, Jong-Chul Chun, and Sung-Chun Jung

KESCO

Abstract

This paper presents constitution of a moderate price thermography system for on-line measurement. All objects with some temperature above absolute zero radiate in the infrared. The intensities and spectra of the infrared radiated from some object depend on the conditions and temperature distributions on the surface of the objects, and the temperature distributions differ from each others with different undersurface structures. Consequently, infrared radiation is useful for diagnosis of the conditions on the surface and undersurface of electric power apparatus. But the present, because engineers directly measure the temperatures of apparatuses in off-line, the measured data do not always have the information of the past. The proposed system is able to analyze not only the information of the past but the trend of deterioration, and the system is able to compensate for the distortion of surface temperature as to weather conditions. The thermal image histogram is equalized to upgrade observability, and a pan-tilter is adopted to control of direction for any target point.

Key Words : Infrared, Electric power system, Tele-diagnosis, Thermography, Surface temperature

1. 서 론

절대영도를 초과하는 온도를 갖는 모든 물체는 적외선을 복사하며, 그 복사되는 적외선의 스펙트럼과 세기(intensity)는 물체의 표면 온도와 표면 상태에 의존한다^[1].

수전설비는 전류가 흐르는 도체와 전류의 흐름을 제한하는 절연체로 이루어져 있기 때문에, 이들 설비는 흐르는 전류에 의해 발생하는 열의 양과 절연체 재질 및 표면 상태에 따라 다르게 적외선을 복사하고, 설비의 표면 하 구조에 따라 물체 내부에서의 열전파 속도차에 의한 표면온도변화 시간도 서로 다르게 된다^[2]. 그러므로 적외선 복사를

감시함으로써 설비의 표면 및 표면 하 상태와 부하 상태 등을 감시할 수 있다.

그러나 현재는 엔지니어가 설비를 현장에서 직접 측정하고 측정 순간의 정보로 설비 상태를 판단하기 때문에 과거에 어떤 상태였고, 그 결과 현재 열화가 얼마만큼 진행되었는지를 알 수 없을 뿐만 아니라, 수명 예측은 더욱더 어려운 실정이었다. 이는 적외선 열화상 장비가 고가이고 snapshot 위주로 운용할 수 있게 개발되었기 때문이다.

본 논문에서는 저가로 온라인 측정 및 분석이 가능한 설비를 구축하였다. 이 시스템은 현장의 온습도 및 풍향·풍속, 일사량 등의 기상상태를 동시에 검출하여 조건에 따라 변화될 수 있는 표면

온도의 왜곡을 보상할 수 있게 구성되었다. 그리고 검출된 화상은 히스토그램 평활화(histogram equalization) 알고리즘을 통해 히스토그램을 개선하여 가시성(visibility)을 향상시킴으로써 관찰가능성(observability)을 높였다.

2. 시스템 구성

2.1 개념 설계

열화상을 이용한 전기 설비의 열화 경향 분석에는 다음 두 가지 방법을 고려할 수 있다. 첫 번째로 과거의 동일 대상 설비에 대한 온도 분포 정보와 현재의 온도 분포 정보 사이의 비교를 통해 분석하는 방법이 있을 수 있고, 두 번째로는 현 시점의 열화상 중 유사 설비와의 비교 또는 한 설비의 상별 비교를 통해 이상 유무를 판단하는 방법이 있을 수 있다.

수전설비가 옥외와 같이 환경이 열악한 곳에 설치되어있는 경우 적외선 열화상기를 이용한 대상체 표면 온도 분석은 주위 환경에 의해 화상이 많은 영향을 받기 때문에 이에 대한 보상이 요구된다. 물론 대상체 표면의 복사율이 다른 영향도 있지만, 표면 오염도의 급격한 변화 없이는 한 물체의 복사율이 순간적으로 변화되지 않기 때문에 지속적인 자료 관리만 이루어진다면 이에 대한 오차는 크지 않을 것으로 판단된다. 또한 옥내·외에 관계없이 대상체의 온도는 주위 온도에 의해 변화되기 때문에 정확한 주변 온도의 관찰 또한 정확한 온도 정보 분석을 통해 가능할 수 있다.

2.2 화상처리 알고리즘

열화상의 정확한 화상별 비교를 위해서는 열화상 내 객체의 상대적 위치가 화상이 취해질 때마다 동일하여야 한다. 하지만 비록 완전히 불가능한 것은 아닐지라도 그 후에 취해진 모든 화상에 대하여 관심 있는 물체의 크기, 방위, 위치, 노출 면적이 모두 같다고 추정하는 것은 실제적이지 않다.

따라서 직접적인 화소 비교법은 진단 목적을 위하여 수행될 수 없다. 대안으로 대상체의 공간좌표를 정확히 파악하는 방법이 있다. 이는 대상체의 형상 인식이 선결되어야 한다. 즉 관심부위의 온도 변화는 세밀하게 관찰되어야 하기 때문에 대상체의 형상 인식이 필요하다.

대상체의 형상을 인식하기 위해서는 화상의 윤곽이 추출되어야 한다. 이는 대상체의 외곽선을 배경으로부터 검출함으로써 가능하고, 열화상은 주변 배경이 상대적으로 저온일 때 대상체는 보통 고온으로 나타나기 때문에 이것이 용이하다. 따라서 이런 경계선을 미분 연산자인 소벨 마스크(sobel mask)를 이용하여 두드러지게 함으로써 검출한다.

Edge Detection

Pattern Matching

Comparing with Reference

False Color Display

그림 1. 알고리즘 구성도

마스크는 공간 합성곱(spatial convolution) 연산을 통해 각 화소를 처리한다. 마스크가 $\{a, b, c; d, e, f; g, h, i\}$ 일 경우, 입력 화소 $I(x, y)$ 에 대하여 출력 화소 $O(x, y)$ 의 공간 합성곱 처리 식은 다음과 같다.

$$O(x, y) = aI(x-1, y-1) + bI(x, y-1) + cI(x+1, y-1) + dI(x-1, y) + eI(x, y) + fI(x+1, y) + gI(x-1, y+1) + hI(x, y+1) + iI(x+1, y+1) \quad (1)$$

이렇게 얻어진 경계선은 화상의 히스토그램을 분석하여 적정 임계값(threshold value)을 설정하고, 이 값을 기준으로 2진화한다. 이 과정에서 화상의 명암 분포에 따라 히스토그램 평활화를 실시하여 분석력을 향상시킨다.

2.3 구성

열화상 취득을 위한 센서는 비냉각식 마이크로 볼로미터(그림 2) FPA(Focal Plane Array)를 사용하였고, 렌즈는 8~12 μ m대역의 스펙트럼에 대한 창을 갖는 40mm를 사용하였다. 화상 취득 대상체를 원격에서도 변경할 수 있도록 하기위해, 구성된 열화상 카메라는 전동선회대(pan-tilter)에 장착하였다.

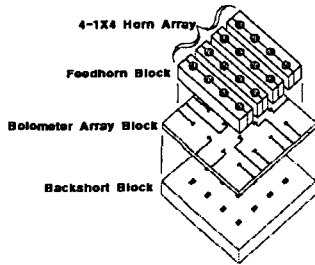


그림 2. FPA의 구조^[3]

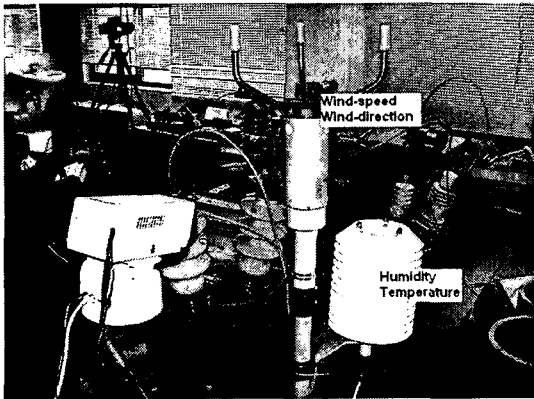


그림 3. 구성된 시스템

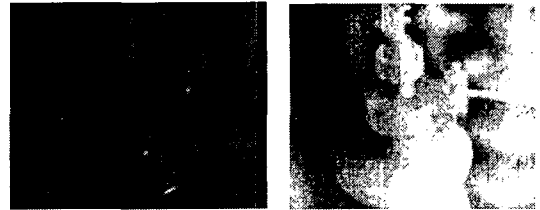
대기의 온도 및 습도 변화에 따른 대상체 표면의 온도 변화와 풍속 및 풍향 변화에 대한 대상체 표면온도 변화, 태양 복사에너지에 따라 변화하는 표면온도 등의 상관관계 분석을 위한 초음파 풍향 풍속센서(Vaisala, WAS425AH), 온·습도센서(Vaisala, HMP45A), 일사센서(Kipp & Zonen, QMS101), 그리고 신호 증폭을 위한 앰프와 아날로그의 센서 신호를 디지털로 변환하기 위한 A/D 컨버터 등으로 구성하였다(그림 3).

3. 결과

3.1 화상처리 결과

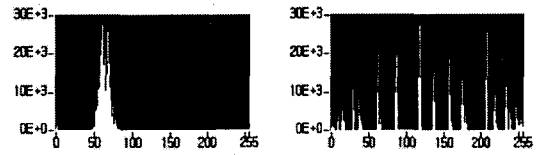
구성된 시스템에 의해 취득된 열화상은 그림 4와 같다. 그림 4(a)는 화상처리 전의 원시화상으로 전원을 인가하지 않았을 때의 MOF 접속단자부에 대한 화상이다. 이 화상은 대상체 표면온도와 주변 물체와의 온도차가 거의 없기 때문에, 화상에서 분포되는 명암이 그림 5(a)의 히스토그램과 같이 50과 80사이에 대부분의 화소가 분포되어 있어

대상체의 윤곽을 식별하기 어려웠다. 그림 4(b)는 그림 4(a)를 히스토그램 평활화 처리한 것으로 그림 5(b)의 히스토그램과 같이 명암이 전역에 고르게 분포되게 함으로써 대상체 윤곽의 식별을 용이하게 하였다.



(a) 화상처리 전 (b)화상처리 후

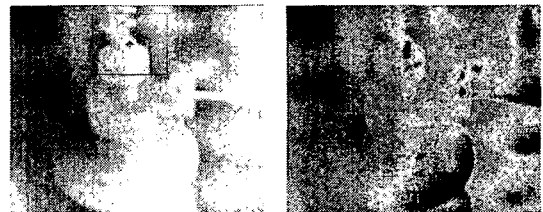
그림 4. 열화상 비교



(a) 화상처리 전 (b) 화상처리 후

그림 5. 히스토그램 비교

그림 6(a)는 온도 변화가 큰 의미를 갖는 관심영역을 추적하여 좌표 및 이에 대한 명암, 즉 온도 정보를 검출하기 위한 화상 정합(matching) 수행의 결과 화상이다. 그리고 그림 6(b)는 그림 5(b)의 흑백화상(gray scale)을 식별도를 높이기 위해 의사-컬러(false color)로 변환한 결과 화상이다.



(a) 화상 정합 (b) 의사-컬러 변환

그림 6. 관심영역 추적 및 색상 변환 열화상

그림 7은 열화상 시스템을 제어하기 위해 제작된 소프트웨어의 일부로 원격으로 열화상기의 지향을 조절하는 부분과 관심영역의 공간좌표 표시부, 형상인식 학습부 등을 보여주고 있다.

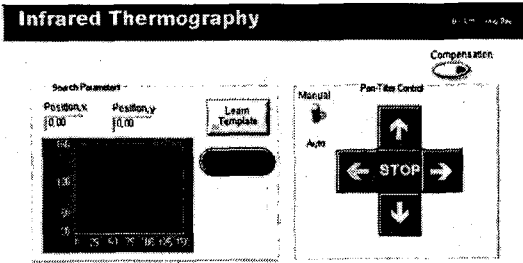


그림 7. 시스템 제어 프로그램

3.2 기상 조건별 분석

표 1은 변압기 측정시 부하율 및 주위온도, 습도, 풍속을 기록하여 변압기의 측정된 온도와의 상관관계 분석을 위해 측정된 결과 값이고, 그림 8은 월별 변압기의 각 상별 온도 측정결과이다. 그림 9는 변압기 부하율과 표면온도와의 관계를 나타낸 것이다.

표 1. 측정월별 환경 및 부하 조건

측정 월	부하율	주위온도	습도	풍속
D1(11월)	55.2%	8.0℃	62.3%	1.6m/sec
D2(12월)	53.9%	2.5℃	31.8%	2.3m/sec
D3(1월)	52.8%	2.9℃	68.8%	2.0m/sec
D4(2월)	52.6%	3.4℃	55.7%	1.9m/sec
D5(3월)	54.4%	8.7℃	55.9%	2.3m/sec
D6(4월)	54.5%	14.4℃	59.1%	2.8m/sec
D7(5월)	54.6%	18.1℃	66.4%	2.2m/sec
D8(6월)	60.6%	22.5℃	63.1%	2.4m/sec
D9(7월)	64.7%	25.4℃	74.8%	2.8m/sec

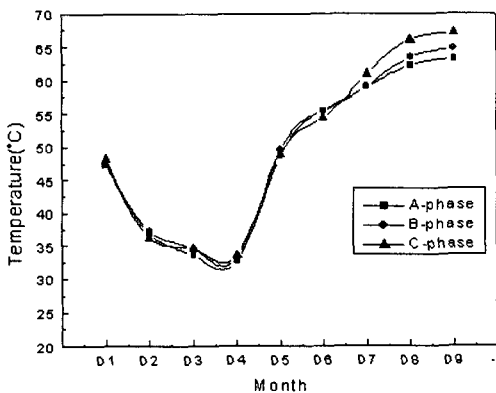


그림 8. 감시대상 변압기 표면의 최고점 온도

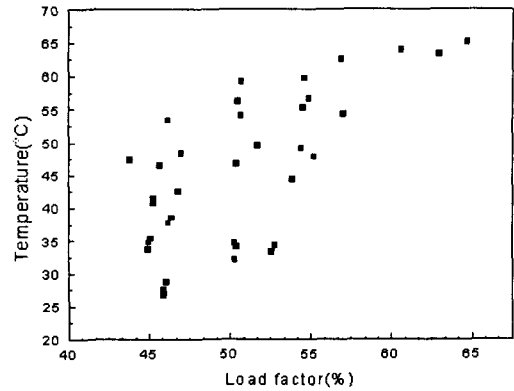


그림 9. 부하율에 대한 변압기 표면온도

4. 결 론

본 연구를 통해 원격에서 열화상기의 지향 제어가 가능하고, 각종 환경적 요인에 의한 화상의 왜곡을 보정할 수 있는 정보를 얻기 위해 기상센서와 연계된 시스템이 구성되었다. 또한 화상처리기법을 통해 시스템으로부터 취득된 화상의 가시성을 향상시킴으로써 관찰가능성을 높였다. 향후 원격지로 열화상 전송을 위한 압축 알고리즘에 대한 좀더 깊이 있는 연구와 카메라의 초점과 복사율 보정에 대한 원격 제어 등의 미진부분의 보완이 이루어지면, 관리자의 접근이 용이하지 않은 장소의 상시 감시에 활용도가 높을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Gerald C. Holst, "Common Sense Approach to Thermal Imaging", JCD Publishing, p. 48, 2000.
- [2] Xavier P.V. Maldague, "Nondestructive Testing Handbook-Volume 3, Infrared and Thermal Testing", American Society for Nondestructive Testing, Inc., p. 310~329, 2001.
- [3] Steward Observatory Radio Astronomy, (<http://soral.as.arizona.edu/sofia2/node9.html>), Focal Plane Array Concept, Visited Oct. 6, 2003.