

적외선 열화상을 이용한 수전설비 온라인 감시

임용배, 정승천

한국전기안전공사 전기안전연구원

On-Line Monitoring of Power Apparatus with Infrared Thermography

Young-Bae Lim and Seung-Cheon Jeong

KESCO Electrical Safety Research Institution

Abstract

Each electrical apparatus radiates various infrared as the condition of surface and load current. Because heat distribution of the apparatus changes as the condition, it is able to analyze the condition of the apparatus by using the distribution. However, methods having been used to measure the heat distribution cannot compare normal condition with abnormal, and the apparatus has diagnosed by intuition. This paper deal with a program that is able to analyze changed temperature distribution. The program is to analyze temperatures on pixels in selected region of interest or position and is able momentarily and logically to analyze condition of the apparatus. The results are able to apply to a on-line monitoring system.

Key Words : infrared thermography, on-line monitoring, pattern matching, electrical power apparatus, temperature distribution

1. 서론

열은 에너지의 일종으로 물체가 가지는 내부에너지가 변화되는 것을 의미한다. 일반적으로 물체 내부에너지의 변화는 온도가 다른 물체의 접촉이나 물질의 화학적 변화, 전자기적 과정, 외부와의 역학적인 일을 주고받는 과정 등에 의해 발생되며 반대로 열은 다른 형태의 에너지로 바뀔 수도 있다[1-3].

전기설비에서의 열은 더욱 복잡한 의미를 갖으며 비효율과 절연고장 등에 의해 예측하지 못한 열이 발생된다. 그리고 이 열은 다시 설비를 비효율과 고장으로 이끈다. 따라서 수전설비의 온도는 일정수준이하로 관리되어야하며 특히 집중화된 과열점은 더욱 철저히 관리되어야 한다.

현재 다양한 온도 검출법을 이용하여 현장에서 온도관리에 활용하고 있다. 그러나 대부분의 기술은 국부적인 온도만을 측정하므로 정확한 과열점

의 온도를 확보할 수 없었다.

적외선 열화상기는 이런 적외선 복사현상을 이용하는 장비로 광범위한 영역의 온도정보를 한번에 수집할 수 있을 뿐 아니라 대상체에 접촉 없이 온도측정이 가능하다. 그러나 장비를 활용함에 있어서 기존의 기법은 과거 진단결과와 현재 진단결과와의 상관관계 분석이 이루어지지 않기 때문에 설비상태 분석이 정확히 이루어지지 않았다.

본 연구는 이런 설비의 상태를 분석할 수 있는 적외선 열화상을 패턴매칭기법을 이용하여 수전설비의 온라인 감시에 적용한 것이다. 이는 관심영역의 기준화상이 현재 화상에서 일치하는 부분을 찾아 그 영역의 온도분포를 분석 및 감시하는 기법으로 이 개념을 구현하기 위해 프로그램 및 시스템을 구성하였고 계기용변성기의 단자에 적용하여 보았다. 이번 연구에서는 한 대상체의 각 상별 분석에만 적용하였지만 대상체 인식 알고리즘과 연계하여 수전설비에 적용한다면 무인 온라인 감시

에 적용할 수 있을 것으로 본다.

2. 시스템 구성

2.1 패턴매칭 알고리즘

최근 컴퓨터의 연산능력 향상과 화상처리기술의 발달로 인공지능을 통한 다양한 분석이 이루어지고 있다. 전기설비 진단분야에서도 인간의 눈과 다른 파장의 전자기파를 검출하는 것만 다를 뿐 적외선 열화상기를 이용한 시각적 접근이 많이 시도되어지고 있다.

패턴매칭은 디지털 화상의 실제적 적용을 위해 가장 유용한 기법의 하나로서 전통적인 패턴매칭 기법은 정규화된 교차상관관계와 피라미드형 매칭을 사용한다. 이들 기법을 이용할 경우 적외선 열화상의 비교 및 분석을 좀더 정밀하게 실행할 수 있을 것이다.

본 논문에서의 패턴매칭은 정해진 특정 틀화상과 일치하는 화상의 영역에 대한 위치를 찾는 것으로서 감시 대상체의 특정 영역에 대한 온도분포 정보의 추출 및 연산 등을 실시하기 위해 수행되는 알고리즘이다.

패턴매칭에서 교차상관관계는 화상에서 틀화상을 찾는 가장 일반적인 방법이다. 상관관계에 대한 중요한 기구는 곱셈연산에 기초하기 때문에 상관관계 분석 절차가 시간이 많이 소요되므로 빠른 속도가 요구되는 곳에는 적용하기 어렵다. 따라서 화상이 클 경우에는 연산 속도를 개선하기 위해 화상과 틀화상의 크기를 줄여야 한다. 이런 기법을 피라미드형 매칭이라 하고 화상과 틀화상 모두의 공간 해상도를 실제 크기의 1/4정도로 축소시키고 이렇게 축소된 화상을 이용하여 매칭 연산을 실시한다. 이 방법을 활용하면 화상이 작기 때문에 화상처리가 신속히 이루어질 수 있다.

교차상관관계의 기본개념은 그림 1의 $m \times n$ 크기를 갖는 한 화상 $f(x,y)$ 내의, $k \times l$ 크기의 $w(x,y)$ 부분 화상으로부터 점 (i,j) 위치에서의 $w(x,y)$ 와 $f(x,y)$ 사이에 대한 관계로 설명되며 관계식은 식 (1)과 같다.

$$C(i, j) = \sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} w(x, y) f(x+i, y+j) \quad (1)$$

여기서 $i=0,1,\dots,m-1$; $j=0,1,\dots,n-1$ 이고, 합은 w 와 f

가 겹친 곳의 화상 내 영역에 대한 것이다.

화상 f 의 원점이 좌측 최상단일 때의 상관관계는 화상 영역 주위의 틀화상 또는 부분 화상의 이동과 그 영역 내의 C 값에 대한 계산 과정이다. 이것은 틀화상과 겹쳐지는 화상의 화소에 의해 틀화상 내의 각 화소가 곱해지고 그 틀화상의 모든 화소의 결과를 합하는 것이다. C 의 최대값은 w 와 가장 잘 매칭된 부분에서 나타난다.

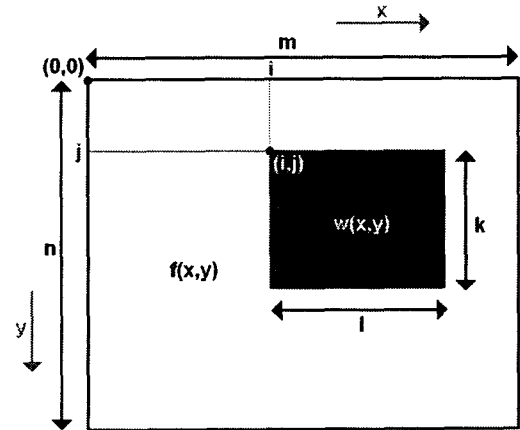


그림 1. 상관관계 분석.

테두리 화소에 저장된 값은 실제의 화소값이 아니라 특정 규칙에 따라 할당된 가상의 값이기 때문에 상관관계값(correlation value)은 화상의 테두리(border)에서는 정확하지 않게 된다.

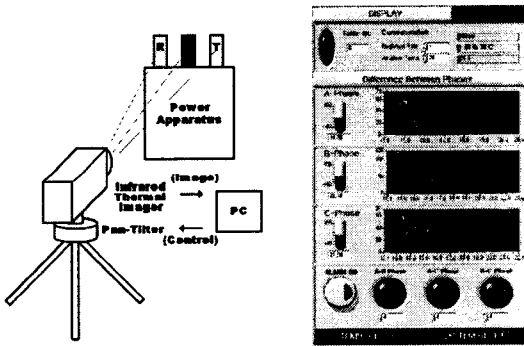
기초상관관계(basic correlation)는 화상과 틀화상에서의 명암의 크기 변화에 매우 민감하다. 예를 들면 화상 f 의 명암이 두 배가 될 경우 C 의 값 역시 두 배가 된다. 그러나 표준화된 상관계수를 계산함에 의해 이런 문제를 극복할 수 있다.

화상은 일반적으로 많은 중복된 정보를 포함한다. 특히 열화상의 경우는 더욱 중복도가 높다. 따라서 상관관계에 기초된 패턴매칭에서 틀화상은 2차원의 저상위결과(low discrepancy sequence)에 따라 부표분화 될 수 있다[4].

패턴매칭 알고리즘은 두 단계로 이루어진다. 1단계에서는 가능한 매치가 부표분화된 상관관계에 기초하여 연산이 실시되고 상관관계값의 임계값이 매치의 배타 또는 포함을 결정한다. 그리고 2단계에서는 틀화상의 외곽선 정보가 1단계에 의한 잠재적 매치를 정확하게 위치화하기 위해 사용된다.

2.2 시스템 구성

시스템은 적외선 열화상 취득부인 열화상기(Infrared Thermal Imager)와 취득된 열화상을 컴퓨터로 전송해주고 컴퓨터(PC)에 의해 열화상기의 위치제어 및 기능제어 정보 등을 전달하기 위한 인터페이스부, 열화상을 분석하고 열화상을 제어하기 위한 컴퓨터 등으로 그림 2(a)와 같이 구성된다. 여기에서 전동선회대(Pan-Tilter)는 위치제어를 컴퓨터로 실현하기 위해 도입되었다. 그리고 열화상기는 fire-wire(IEEE1394)를 통해 수집되며 열화상기의 제어는 직렬포트(RS-232C)를 통해 이루어지도록 구성하였다.



(a) 시스템 블록도

(b) 프로그램

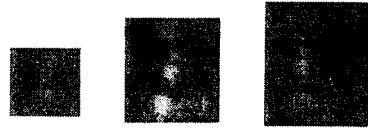
그림 2. 구성 시스템 블록도 및 제작된 프로그램.

2.1절의 알고리즘을 기반으로 제작된 그림 2(b)의 프로그램은 각 상별로 저장된 관심영역의 정보를 포함하고 있는 틀화상을 현재의 열화상과 비교하여 각 상별 온도비교가 가능하도록 구성하였다. 그리고 이 프로그램은 열화상기의 제어에 필요한 기능을 포함하고 있고 취득된 열화상의 의사컬러(false color)화 및 화상확대 등 후처리 기능도 포함하고 있다. 여기에서의 각 그래프는 설정된 관심영역의 온도별 화소수를 나타낸 것이다. 특히 이 프로그램은 설정된 영역의 각상별 온도비교 후 제한치 이상의 온도차가 발생할 경우 경보 신호 및 냉각용 송풍기 구동을 출력할 수 있게 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 상관관계를 이용하여 패턴매칭을 실시하기 위한 틀화상이다. 이 틀화상을 컴퓨터에 입력

한 후 프로그램을 실행하면 각 상별로 저장된 관심영역 화상을 현재의 열화상에서 찾아내어 표시하게 된다.



(a) A상 (b) B상 (c) C상

그림 3. 계기용변성기 고압측 단자의 각 상별 틀화상.

그리고 그림 4는 그림 3의 틀화상과 매칭된 영역의 화상이 표시된 출력화상이다. 각 상별로 매칭된 부분은 그림과 같이 적색으로 표시될 수 있게 프로그램을 구성하여 가시성을 높였다.



그림 4. 각 틀화상과의 매칭 결과 출력화상.

현재 제작된 프로그램은 관심영역 전체의 온도 분포 즉 적색 4각형 내의 모든 온도를 비교하기 때문에 배경 온도도 함께 비교하게 된다. 이는 실제 대상체의 온도만을 비교할 수 있는 프로그램으로 개선이 요구된다.

그리고 그림 5는 제작된 프로그램이 틀화상과 매칭된 영역의 상호 온도차 제한값에 따라 판정된 결과이다. 이는 2.2절에서 언급한 것과 같이 각 상별 상호 비교방법에 의한 것으로 틀화상과 일치한 영역의 온도에 대한 평균치를 각 상별로 상호 비교하여 설정된 범위인 4℃를 초과한 상태이므로 경보 신호와 냉각용 송풍기 가동을 위한 출력이

나가고 있음을 좌측 상단에 색상으로 표시하고 있다. 각 상별로 표시된 그래프는 화소수 대 온도를 나타낸 것으로서 x축은 온도를, y축은 그 온도에 해당되는 화소수를 나타낸 것이다.

현재 이 프로그램은 설정영역의 평균온도를 기준으로 판단하는 기법을 사용하였다. 그러나 실제 시스템에 적용할 때는 관심영역의 평균온도뿐만 아니라 최고 온도까지도 병행 분석함으로써 배경 온도에 의한 영향도 고려할 수 있어야 할 것이다.

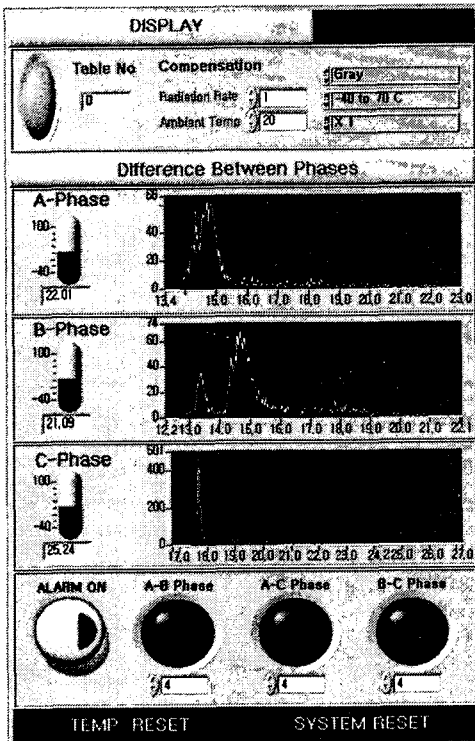


그림 5. 이상상태에서의 프로그램 출력.

그림 5에서는 B-C Phase에서 제한 온도차로 설정한 4℃를 초과한 것이 표시되어 있다. 그리고 ALARM ON은 경보 신호의 활용 여부를 선택할 수 있는 스위치이고 각 상별 온도계 표시 아래의 수는 관심영역의 평균온도를 나타낸 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 패턴매칭기법을 이용하여 열화상 기로부터 수집된 열화상정보를 분석하는 알고리즘 및 시스템 제작과 이를 활용하여 계기용변성기의

고압측 단자의 상별 열화상비교를 통해 국부적 온도의 비교가 아닌 표면온도 전체의 온도 정보를 활용하여 설비의 이상상태를 확인할 수 있는 방법을 검토하였다. 그리고 판정된 결과에 따라 경보 및 대응 계통을 활용할 수 있게 시스템을 구성하였다.

이 기법 및 시스템을 활용할 경우 즉흥적이고 감각적으로 활용되고 있는 열화상기의 기능을 극대화시킬 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 구성된 시스템의 구동부인 전동선회대는 지향각을 조정하기 때문에 정밀한 제어가 실현되지 않아 패턴매칭과 연계된 구동을 구성할 수 없었다. 향후 축제어를 이용한 시스템을 구성하여 이런 문제도 해결할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Gerald C. Holst, *Common Sense Approach to Thermal Imaging*, SPIE Press, p. 34, 2000.
- [2] Xavier P.V. Maldague, *Infrared and Thermal Testing*, Nondestructive Testing Handbook, American Society for Nondestructive Testing, Vol. 3, pp. 32~39, 2001.
- [3] Xavier P.V. Maldague, *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 15~38, 2001.
- [4] Dinesh Nair and Lothar Wenzel, "Image Processing and Low-Discrepancy Sequences", *Advanced Signal Processing Algorithms, Architectures, and Implementations IX*, Proceedings of SPIE, Vol. 3807, pp. 102~111, July 1999.