

적외선 열화상 카메라를 이용한 전기설비의 점검 기법

An inspection technique of electric equipment
using infrared ray thermal camera

김 봉 준 | 한국시설안전기술공단 댐·항만실 대리

1. 서론

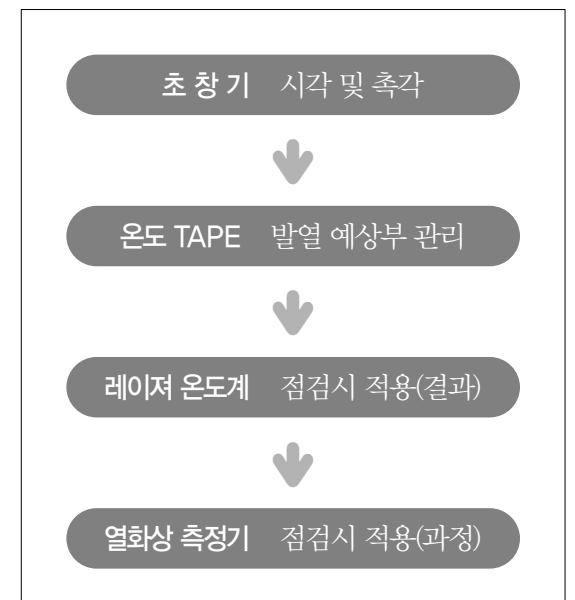
근래에 건축물 및 산업 주요시설물 등이 대형화, 다양화, 첨단 자동화되고 사회 또한 점점 고도 정보화 사회로 발전됨에 따라 전력사용이 급증하면서 전기설비도 점차 대규모화되고 있다. 전기설비의 사고 및 정전사고 등은 높은 전기적 의존을 가진 고도 산업사회에 막대한 경제적 손실 및 장애를 가져다주므로 안정적인 전력공급 및 전력설비에 대한 신뢰성이 한층 요구되고 있는 추세이다. 전기설비는 장기간 사용함에 따라 여러 가지 스트레스를 받아 열화가 진행되고 이와 더불어 전기적·기계적 강도가 저하되어 결국에는 사고로 진전하게 된다. 일반적으로 전기설비의 점검·진단을 실시하는 이유는 해당 전기설비가 전기설비기술기준 및 내선규정 등의 관련규정에 적합한가의 여부에 대한 것이지만, 동시에 설비의 이상 상태를 조기에 발견하여 사고를 방지함으로써 사고의 근절을 꾀하고 시설물의 효율성을 증진시키는데 있다.

기존에는 이러한 전기설비의 진단 및 점검이 주로 정전 후 실시되었으나 짧은 시간의 단전에도 생산 차질, 경제적 손실 및 장애 등의 문제 발생으로 무정전 점검기법이 많이 요구되고 있다. 대표적인 무정전 점검기법으로 적외선 열화상 카메라를 들 수 있는데, 이 카메라는 무정전상태에서 점검이 가능하여 전력설비의 원활한 운영과 고품질의 전력공급을 확보할 수 있고 이상유무를 사전에 파악, 조치를 취할 수 있어 예방보전에 대한 효율이 뛰어난 것으로 알려졌다.

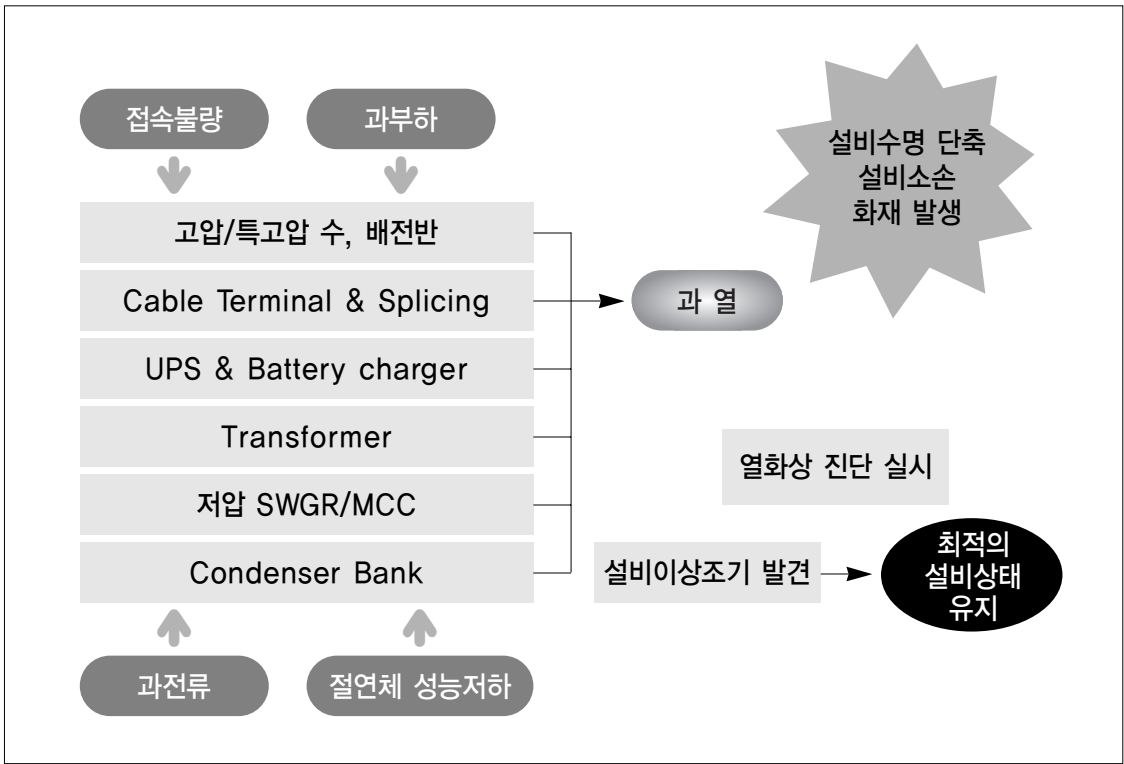
2. 적외선 열화상 진단장비

1) 도입 배경

적외선 열화상 카메라를 도입하기 이전의 전기설비의 점검·관리방법은 시각 및 촉각을 이용한 방법, 발열 예상부에 시온 테이프 등을 부착하여 집중관리하는 방법, 점검시 나타난 결과에 대한 점검 등으로 이루어져 왔다. 그러나 고압설비 및 노출설비 등의 단말부 또는 접속부의 열화 진행상태를 육안(시각)으로만 점검을 실시하다보니 결국 열화가 진행되어 사고가 난 후에야 발견이 되는 사례가 종종 발생하였다. 이에 적외선 열화상 카메라를 도입하여 전기설비의 발열부에 대한 온도 측정 및 분석으로 발열원인을 정확히 파악하여 빠른 시간 내에 그 원인을 제거함으로써 막대한 피해를 사전 예방할 수 있게 되었다.



[그림] 적외선 열화상 카메라의 도입배경

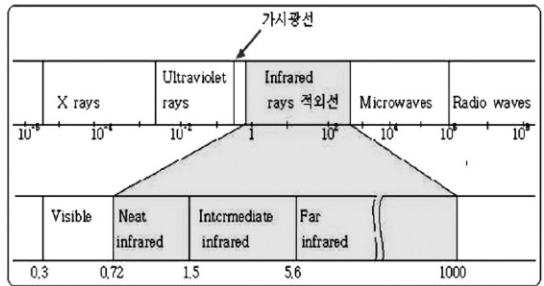


[그림] 적외선 열화상 진단의 필요성

2) 적외선의 온도복사 및 특징

(가) 적외선과 온도

모든 물체는 복사에너지를 방출하며, 그 크기는 Stefan-Boltzmann의 법칙에 의하여 절대온도의 4승에 비례한다. 한편 방출된 에너지는 전도(conduction), 대류(convection), 복사(radiation) 현상에 의해 외부로 전달되는데 이 중 복사현상에 의해 전달되는 에너지를 세부적으로 분류하면 아래와 같으며 이 가운데 $0.72\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ 범위를 적외선이라 한다.



[그림] 전자파의 분류

Stefan-Boltzmann 의 법칙

$$W = \sigma \cdot T^4 [w \cdot cm^{-2}]$$

여기서, W : 복사에너지

σ : 상수($5.6697 \times 10^{-12} [w \cdot cm^{-2} \cdot K^{-4}]$)

T : 절대온도[°K]

(나) 적외선의 특징

적외선은 전자파 중 물체의 온도에 관련된 파장

대역이며 파장의 길이에 따라 아래 표와 같은 특징을 가지고 있다.

[표] 적외선의 특징 및 용도

명 칭	파장대역(μm)	특징 및 용도
근 적외선 Shortwaveinfrared radiation	0.72 ~ 2	- 가시광선에 가장 근접한 파장 - 적외선 중 물체에 비교적 깊게 투과 - 수광기에 사용
중간 적외선 Mediumwaveinfrared radiation	2 ~ 4	- 상온에서 직접 가열방식의 물체가 가장 많은 파장 에너지를 복사 - 적외선 중 공기중의 투과력이 크다 - 열온도 측정에 이용
원 적외선 Longwaveinfrared radiation	4 ~ 1000	- 무선 주파수에 가장 근접한 파장 - 고분자 재료의 표면 가열이나 건조에 사용

(다) 적외선의 특성 이용

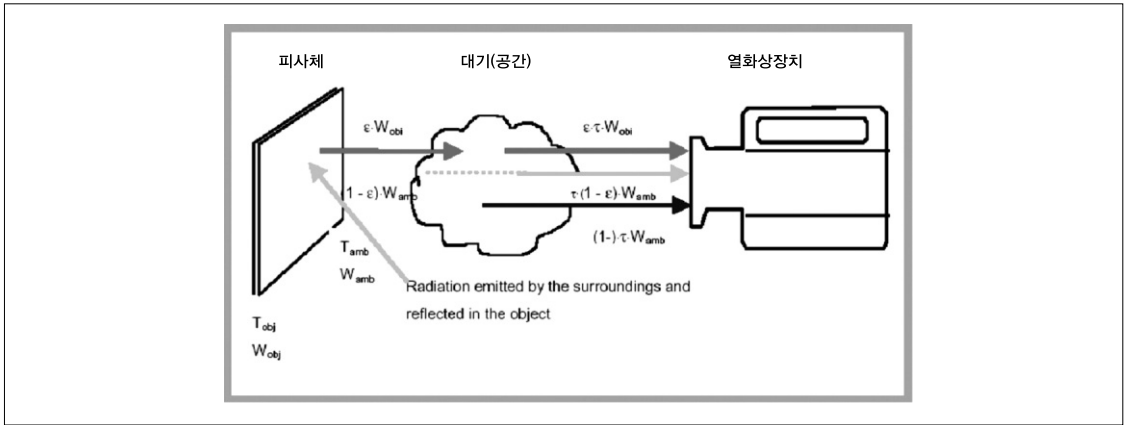
적외선은 공기 중에서 산란되지 않고 직진하며 전달 매질(공기)에 의한 손실이 적기 때문에 온도 측정에 많이 사용되며 그 중에서도 중간 적외선은 파장대역이 비교적 안정되고 온도분포에 따라 복사파장이 다르기 때문에 온도측정에 많이 사용되고 있다. 그러나 중간 적외선은 전기기기 대부분의 외함을 이루는 철판이나 절연재 등을 투과하지 못하기 때문에 노출된 부분을 제외한 기기 내부의 직접적인 온도 측정은 불가능하다.

동일하기 때문에 모든 물체는 적외선을 방출하고 있는 것이다. 또한 적외선의 양과 온도는 비례관계를 가지며 물체의 온도가 높으면 높을수록 더 많은 양의 적외선을 발산하게 된다. 적외선 열화상 장비는 물체의 표면에서 방사된 적외선 에너지를 온도 분포의 색상으로 나타내는 장비로서 비디오 카메라와 유사한 광학계의 검출장비를 통해 방사된 적외선 에너지의 데이터를 전기신호로 변환해 모니터에 색상으로 표시한다. 이 장비는 활성 상태에서 전력설비의 사고원인이 되는 발열부의 이상온도를 조기에 발견해 대처가 가능하고 이상부분이라고 판단되는 부분을 추적 진단함으로써 설비의 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 또한 양질의 전력을 공급하고 전기설비 각부의 온도를 분포도로 확인해 패쇄반 내부, 철탑, 접속부 등의 절연열화, 접속불량, 과부하 등을 진단해 열에 따른 설비 사고를 미연에 방지할 수 있는 장비이다.

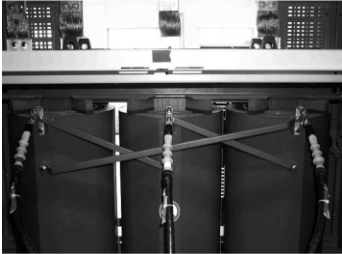
3) 적외선 열화상 진단장비

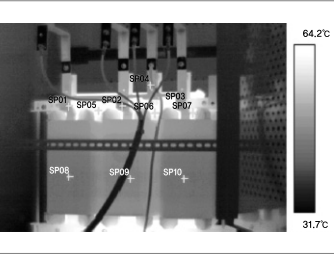
(가) 측정원리

모든 물체는 적외선을 발산하며 영하 273℃ 이상의 모든 물체는 물질을 이루고 있는 기본 단위인 원자들이 미소한 진동을 하게 된다. 이러한 원자들의 진동에 의한 에너지가 적외선 영역의 에너지와



[그림] 적외선 열화상 카메라에 의한 온도측정





모든 물체는 절대온도 영도 (-273 ℃) 이상의 온도를 갖고 있으며 각 물체에서는 그 온도에 상응하는 열에너지(적외선)를 방사함

물체에서 방사되는 적외선은 열화상 카메라 광학렌즈를 통과하여 카메라 내부의 Detector로 모아지며 Detector는 적외선을 전기신호로 변환함

Detector에서 변환된 전기신호를 온도에 해당하는 화상으로 표현(물체의 표면온도를 수만 개의 점으로 온도에 따라 그림처럼 표현)함

[그림] 적외선 열화상 카메라에 의한 온도측정

(나) 특징 및 적용분야

① 특징

적외선 열화상 카메라는 하기와 같은 장점이 있어 건축, 토목, 기계, 전기설비분야 등에 활용되어 시설물의 완벽한 시공과 고품질을 유도하기 위한 진단장비로 사용되고 있다.

[표2] 적외선 열화상 카메라의 특징

장 점	특 징
신속성	광범위한 부위에 대해 비접촉식으로 신속하게 표면온도를 측정하므로 효율성 높게 문제부위 원인 및 범위의 검출이 가능
작업 용이성	접근이 어려운 부위 및 고소부에서도 측정이 가능
다기능성	적정 단열여부, 기밀 및 침기정도, 열교현상 등에 대한 유효한 검출에서부터 구조물의 비접촉, 비파괴 검사용 및 시공관리 장비로 활용가능

② 전기설비의 적용분야

[표] 전기설비의 적용분야

항 목	대 상 물		적 용 분 야
변전 설비	1. 변 압 기	본 체	국부 과열검출
		냉 각 설 비	배관 막힘, 능력저하
	2. 차 단 기	본 체	내부 과열
		부 싱	내부과열, CRACK
	3. GIS	본 체	내부 과열
	4. 고체절연물, MC	본 체	내부 과열
	5. 단 로 기	도 체	접속불량, 과열검출
	6. 모 선	도 체	접속불량, 과열검출
	7. 케 이 블	외 면	내부 과열
송배전 설비	8. 피뢰기	방 전 관	내부 과열
		전 기 기 기	접속불량, 전기누설, 과부하
	9. 배 전 반	배 선	접속불량, 전기누설, 과부하
		전 선	이상과열, 과부하
		스 리 브	이상과열, 과부하
송배전 설비	1. 송·배전선	크 램 프	이상과열, 과부하
		본 체	이상과열, 과부하
	2. 주상변압기	본 체	이상과열, 과부하

3. 전기설비에서의 이상발열 발생 원인

일반적으로 적외선 열화상 카메라의 주 측정 대상인 전기설비의 이상발열은 설비의 과부하 운전, 단자부의 접촉불량, 고조파 전류의 유입 등으로 발생하게 되는데 이를 설명하자면 다음과 같다.

로에 사고가 발생하여 회로가 비정상적일 경우는 발생한 과전류로 인하여 발열하게 되어 결국 사고로 이어진다. 부하 전류에 의한 이상 발열은 주 율-열 공식에 의하여 나타낼 수 있으며 접촉불량에 의한 이상 발열부위가 있다면 이 때 발생하는 열(W)의 크기는

$$P = I^2 \cdot R [W] \text{이며}$$

1) 과부하에 의한 이상발열

전선에 전류가 흐르면 주-울(joule)의 법칙에 의하여 열이 발생하여 온도가 상승하게 되는데 이 온도를 부하전류에 의한 온도 상승값이라 한다. 온도상승은 발열과 방열이 평형이 되는 정상상태에서는 이상이 없으나 과부하가 걸리거나 전기회

여기서,

P: 발열(W)

R: 접촉저항(Ω)

I: 부하전류(A) 이다.

즉 이상 발열 부위에서는 부하 전류에 의한 영향을 많이 받게 됨을 알 수 있으며 부하 전류의 제

에 비례하는 열이 증가한다. 일반적으로 전선의 주위온도와 허용전류와의 관계는 $I_1 / I_2 = T_1 / T_2$ 로 표시되며 여기서 I_1, I_2 는 각기 주위온도가 T_1, T_2 일 때 허용전류를 말한다. 비닐절연전선의 경우는 200% ~ 300%의 과전류에서 피복이 변질, 변형되고 500% ~ 600% 정도에서는 붉게 열이 난 후 용융되는 것이 실험 결과에 의해서 입증되었다.

2) 접속부의 과열에 의한 이상발열

전선 접속부, 전선접속 납땜부, 압착 가공부 또는 나사나, 볼트(bolt)에 의해 체결하는 접속부 등은 접속상태가 불량하거나, 사용 중 느슨해져 접촉상태가 불완전하게 되면 특별접촉저항(아산화동 현상, 접촉저항 등)이 발생하여 발열하게 된다. 느슨함의 원인은 주로 진동에 의한 것이 많으며 이중금속간의 부식(나사와 전선의 접촉면에서의 부식 등), 1개의 단자에서 여러 개의 선을 접속하여 분기함에 따라 접촉불량이 되는 경우도 있다. 금속도체의 접촉저항은 통상 약 0.1Ω 이하이지만 외견상의 접촉면적의 감소, 접촉압력의 저하나 산화피막의 형성 등에 의해 접촉저항이 증가하게 되는데 접촉저항이 증가하면 그에 비례하여 주열도 커져서 접속부의 국부적인 발열과 동시에 2차적인 산화피복이 형성되어 접속부의 온도는 더욱 높아지게 된다.

3) 고조파 전류에 의한 발열

최근 power electronics 응용 기기의 사용증가로 비선형 특성부하에 의한 고조파가 상당히 발생하고 있으며 이에 의한 영향이 심각한 수준에 이

르고 있다. OA기기 및 자동화에 따른 다량의 고조파가 전력계통에 유입되어 변압기, 전동기, 콘덴서 등이 이상 발열하거나 제어기기가 오동작하는 현상으로 나타나고 있다. 고조파에 의해 발생하는 이상발열은 변압기 및 전동기, 배선용 차단기, 전력케이블 등을 예로 들어 설명하자면 다음과 같다.

① 변압기 및 전동기

변압기에 유입되는 기본파 전류에 고조파 전류가 포함되면 표피효과 때문에 동손이 증가한다. 제5 고조파가 10[%] 포함되어 있으면 약 5[%]의 동손이 증가하는 것으로 계산되며 동손의 증가는 권선의 저항이 증가하는 것으로 되기 때문에 온도상승을 유발시킨다. 또 고조파 전류가 유입되면 철심의 자속에 변화를 주어 이에 의하여 자화현상이 나타나고 이는 소음으로 발전된다.

전동기에 고조파 전류가 유입되면 철손 및 동손의 증가로 인한 발열, 진동 토오크에 의한 소음 발생, 축 계통의 비틀림 현상으로 인한 진동고조파에 의한 전자기력이 증가하여 진동 토오크 때문에 소음이 발생하며, 저차수의 고조파의 주파수와 비틀림 진동의 고유 주파수와 일치되면 공진을 일으켜 축에 강한 스트레스가 발생한다.

② 배선용 차단기

배선용 차단기에 고조파 전류가 유입되면 아래의 [표]와 같은 영향을 받게 된다.

[표] 배선용 차단기의 고조파 영향

종류	동작원리	고조파가 미치는 영향		
		한시차단	순시차단	온도상승
열동 전자식	저항에 의한 줄열 이용	고조파를 포함해도 실효치에 차이가 적으면 변화가 없음	차단 전류치 상승 가능성이 있으나 미미함	표피효과로 인한 발열
전자식	부하전류 실효치와 DC 신호를 IC에 입력	차단 전류치가 상승할 수 있음	차단 전류치 상승	히스테리시스손에 의한 온도상승

③ 전력케이블

고조파로 인한 전력케이블의 과열은 3상 4선식 회로의 중성선 과열을 대표적인 예로 들 수 있다. 일반적으로 중성선의 굵기는 다른 상에 비해 같거나 가늘게 선정되고 있는데 영상분 고조파에 의하여 중성선에 많은 전류가 흐르게 되면 케이블이 과열될 수 있다. 또한 제3고조파는 표피효과에 의해 케이블의 유효 단면적을 감소시켜 저항을 증가시

키는데 기여하게 되어 과열현상은 더욱 확대되며 중성선 대지전위상승 중성선에 제3고조파전류가 많이 흐르면 중성선과 대지간의 전위차는 중성선 전류와 중성선 리액턴스의 3배의 곱이 되어 큰 전위차를 갖게 된다.

④ 전기설비분야의 고조파에 의한 영향

[표] 전기설비분야의 고조파에 의한 영향

구 분	고조파에 의한 영향
전력계통영향	- 전자유도 및 정전유도장해 발생, 전압왜곡 - 고조파 전류가 증폭현상을 일으켜 계통의 공진을 유발하여 기기에 악영향을 줌.
회전기	- 고정자 및 댐퍼권선의 온도상승 - 전압 파형의 왜곡, 절연파괴 - 출력저하 - 토크의 맥동발생 - 발전기의 헌팅발생 - 효율 및 역율의 저하 진동 및 잡음 발생
변압기	- 철심의 자외 현상으로 인한 소음발생. - 손실 증가에 따른 용량감소, 변압기 과열. - 유출되는 고조파 영상분은 변압기 권선 내를 순환하게 되는데 이 순환하는 전류로 인해 발생하는 열이 증가하게 되고 변압기의 와전류 손실 및 표피효과에 의한 영향에 증폭되어 변압기의 열화를 촉진하게 됨.
콘덴서	- 회로에 이상전류 발생 - 콘덴서의 과열, 계전기의 오동작
조명기구	- 형광등 콘덴서의 과열 - 퓨즈 용단, 차단기의 오동작
파워퓨즈	고조파전류에 의한 용단
계전기	고조파전류에 의한 위상변화로 오동작

4. 열화상 진단의 판정방법

적외선 열화상 카메라로 설비의 온도측정을 하고 각각의 측정된 온도에 따라 정상, 불량, 주의점 검 등 다양한 판정결과가 가능한데 현재까지의 자료를 수집하여 분석한 결과 온도 패턴법과 3상 온도 비교법, 측정된 온도에서 설비주변의 온도를 감해준 온도 등과 같은 판정기준이 있다.

① 단상 또는 3상 온도 비교법

주회로 통전 전류는 단상 또는 3상 부하에 따라 변화된 전류가 흐르며 통상적으로 3상 부하인 경우는 부하 전류가 평형되어 흐르며 단상 부하인 경우는 불평형을 이루기도 한다. 3상, 단상의 평형 부하인 경우에는 각 부위에서의 온도 분포를 비교함으로써 용이하게 이상 발열을 진단할 수 있으며 불평형3상, 단상의 평형 부하인 경우에는 각 부위에서의 온도 분포를 비교함으로써 용이하게 이상 발열을 진단할 수 있다. 또한 불평형 부하에서는 1차측과 2차측의 상비교 또는 부하전류에 대한 허용 전류 이상이 흐를 경우 이상 열화로 진단할 수 있다.

[표] 절연물 재질별 온도 상승법

전 력 기 기		기 준	판 정	비 고
변압기 표면 온도		80 ~ 95℃이하	요주의	
		95℃이상	이 상	
MOLD 변압기	철심부	100 ~ 120℃이하	요주의	
		120℃이상	이 상	
	에폭시표면(B종)	70 ~ 80℃이하	요주의	
		80℃이상	이 상	
케이블	IV, VVF	60℃이상	이 상	
	HIV, EV	75℃이상	이 상	
	CV	90℃이상	이 상	

[표] 3상 온도 비교법

온 도 차	기 준
5 ℃ 미만	정 상
5 ℃ ~ 10 ℃ 미만	요 주 의
10 ℃ 이상	이 상

② 온도 패턴법

변전 설비의 온도 분포 측정 결과로부터 설비의 이상 판단을 위해서는 설비에 이상 징후가 있는지를 판단할 필요가 있다. 상시의 상태에 있어서는 온도 분포의 패턴을 확인할 필요가 있으며 온도 분포의 패턴 확인 방법으로는

- 전류의 크기에 대한 각 부위에서 온도 상승값의 온도 분포 변화
- 주위 온도에 대한 각 부의 온도 상승값과 분포 변화
- 측정 장소의 온도(최고 온도를 나타내는 부위 등) 등을 누적된 측정값에 의해 현재의 온도 분포를 측정함으로써 설비의 이상 유무를 진단할 수 있다.

[표] 절연물 재질별 온도 상승법(계속)

전 력 기 기		기 준	판 정	비 고
콘덴서	단자부	75℃이상	이 상	
	본 체	65℃이상	이 상	
MCCB	단 자	60℃이상	이 상	
	접속부	75℃이상	이 상	
	접촉부	80℃이상	이 상	
	기계적구조부	90℃이상	이 상	
계기용변성기 (CT, PT)	단자부	75℃이상	이 상	
	본 체	95℃이상	이 상	

③ 기타 방법

아래 표에서의 온도는 측정된 온도에서 설비주변의 온도를 감해준 온도를 말한다.

[표] IETA(International Electrical Testing Association)

온도차이	판 정
1℃~10℃ O/A 1℃~3℃ O/S	열화가능성
11℃~20℃ O/A 4℃~15℃ O/S	추후 결함으로 진전
21℃~40℃ O/A >15℃ O/S	결함
>40℃ O/A >15℃ O/S	치명적 결함

[표] 경험자의 경험에 의한 판정기준

온도차이	판 정
1℃~10℃ O/A	열화가능성
10℃~20℃ O/A	추후 결함으로 진전
21℃~40℃ O/A	결함
>40℃ O/A	치명적 결함

[표] 배전설비(가공)

온도차이	판 정
14℃~20℃ O/A	열화가능성
21℃~60℃ O/A	추후 결함으로 진전
>60℃ O/A	결함

[표] 배전설비(지중설비)

온도차이	판 정
2℃~4℃ O/A	열화가능성
5℃~10℃ O/A	추후 결함으로 진전
>11℃ O/A	결함

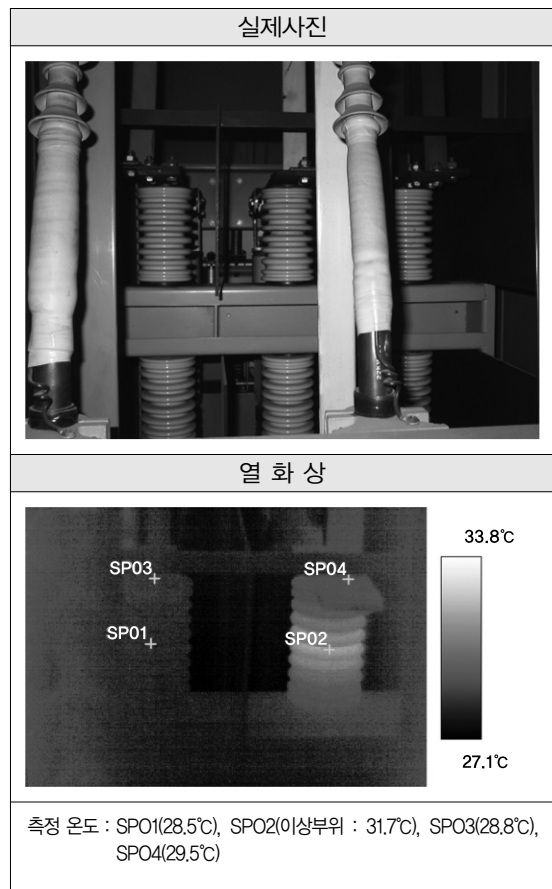
5. 열화상 카메라를 이용한 진단 및 점검 사례

갑문, 댐, 상·하수도, 방조제 시설 등의 안전진단 및 안전점검을 통하여 현장에서 측정된 수·변전설비, 부하설비 등의 열화상 분포를 실례로 들어 적외선 열화상 카메라를 이용한 진단기법 및 진단·점검사례를 설명하고자 한다.

1) 전력용 차단기 (VCB, VCS, GCB)

전력용 차단기는 전로의 개폐는 물론, 과전류 계전기, 지락 계전기 등과 조합해서 회로, 기기의 과전류, 단락, 지락 등의 사고를 검출하여 자동적으로 회로를 차단, 이를 보호하는 장치를 말한다. 전력용 차단기는 비접촉 부위에서는 모선 접속 부위, 롤러 접속 부위이며 VCS인 경우에는 퓨즈 홀

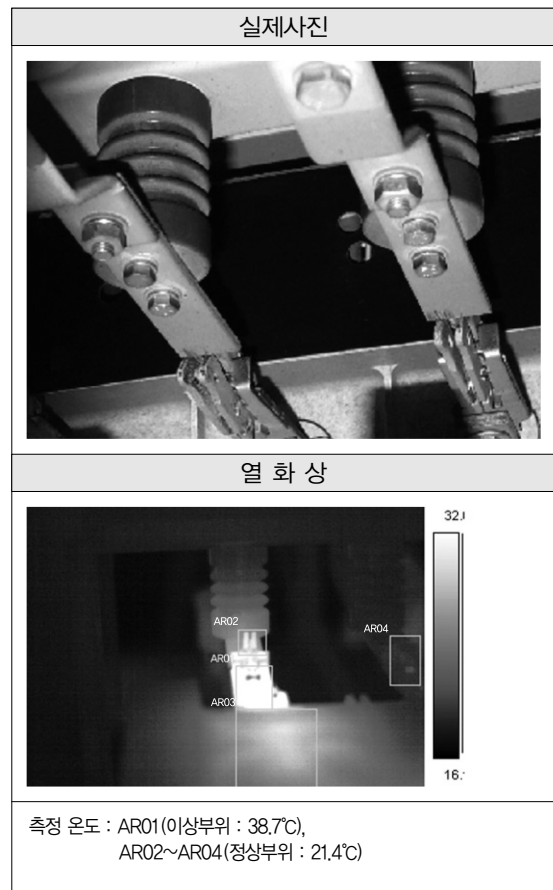
더 부위 등을 주안점으로 하여 열화상 진단을 실시한다. 보통 차단기 안쪽에서의 온도 상승은 3상 비교법으로 하여 정격 전류에 대한 부하 전류의 크기 및 접촉 부위의 온도를 측정하며 그 온도차에 의하여 요주의 및 이상 여부를 진단할 수 있다.



[진단사례 ①] 진공차단기(VCB) Jack과 접촉되는 모선 지지용 애자의 이상발열

진공 차단기(VCB)의 모선 접속 및 롤러 접속 부위를 열화상 촬영한 결과, 진공차단기(VCB)의 1차 Jack과 접촉되는 모선을 지지하는 애자에 상간 3℃의 온도차가 발생하였다. 상세 외관조사상

균열, 손상, 파손 등은 발견되지 않았으며 절연상태도 양호한 것으로 조사되어 제작상의 결함으로 인해 판단되어 교체하여 사용토록 하였다.



[진단사례 ②] Jack 접촉불량 및 Bolting 불량

진공차단기(VCB)의 Jack 접촉부에 이상발열(상간 17.3℃의 온도차)이 발견되어 상세외관조사를 실시한 결과 주회로 단자부 접속자의 접속상태가 불량하고 Jack 접촉자의 Clip이 뒤틀려 변형되었으며 Clip 고정용 Bolting의 체결불량이 발견되어 접촉불량으로 인한 이상발열로 조사되었

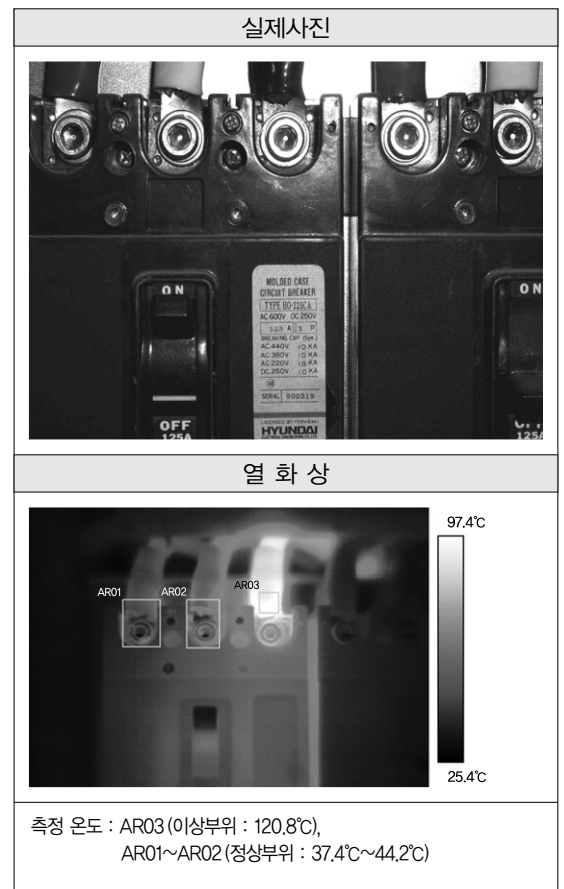
다(사진참조). 접촉불량에 의한 발열로 2차적인 파급사고를 예방하는 차원에서 교체 사용토록 제시하였다.



[사진] VCB의 Clip 변형

2) 배선용 차단기(MCCB & NFB)

배선용 차단기는 주로 저압 전로의 개폐기나 분기 개폐기로 이용되고 단락사고로부터 배선을 보호하는 역할로 사용되는 차단기이다. 열화상 진단시 촬영 Point는 전원측 및 부하측 전선 접속 부위와 차단기 내부 코일의 열화에 의한 발열부위가 가장 쉽게 마모되므로 이러한 부위를 위주로 측정을 하여야 한다. 특히 저압용의 차단기는 화재와 곧 바로 연결되기 때문에 진단시 이러한 문제점들을 참고로 하여야 하며 배선용 차단기의 온도 상승 한도는 Terminal 접속부에서 90℃이하이어야 하고 본체 표면 온도는 단자부 이상이 되지 않아야 한다. 다만 3상 비교법으로 온도 측정시 어느 한 Point가 이상 발열인 경우에는 온도차의 허용범위에 따라 별도로 판정을 한다.



[진단사례 ①] Terminal 압착불량에 의한 이상발열

배선용 차단기의 전원측 전선 접속 부위를 열화상 촬영한 결과 83.4℃~76.6℃의 상간 온도차가 발견되어 육안조사를 실시한 결과, 배선용 차단기 1차 T상의 전선 접속 조임용 볼트의 조임상태는 양호하나 케이블의 압착 터미널 러그의 압착상태가 불량하여 발생한 과열로 조사되었다.

2) 변압기

유입식 변압기는 과부하시 또는 부분 방전 발생시 내부 Oil의 Gas발생에 의하여 내부 공기 팽창

으로 외부 도출 접속 부위 (부싱 : Bushing) 등으로 가스가 새어나오는 경우가 있고 권선 도체와 부싱 동봉과의 접속 불량에 의해 부싱 부위에서 이상 발열되는 수도 있으며 Oil의 과열에 의하여 Oil 허용 온도까지 발열되는 수가 있으므로 이러한 점들을 열화상 진단시 참고로 하여야 한다. 유입변압기의 열화상 측정 포인트는 고·저압측 애자 부싱 부위, 애자 지지 부싱, 외함 온도 분포 측정, 내부 Oil 온도 측정 등이다. 건식 변압기 (MOLD TR포함)의 경우는 노출화된 설비이므로 측정이 비교적 용이하며 열화상 측정 포인트는

상·하부 철심 부위와 에폭시 수지 절연체인 외함, 모선과의 저·고압측과의 연결 부위 등을 측정 대상으로 실시한다. 변압기의 온도 상승은 유입변압기의 절연유가 외기와 직접 접촉하는 경우 90℃, 외기와 직접 접촉하지 않는 경우는 95℃ 이하이며, 몰드 변압기의 권선부분의 온도 상승은 B종 80℃, F종 100℃, H종 120℃ 이하이다.

주상에 거치식 유입변압기의 고·저압측 애자 부싱 부위, 애자 지지 부싱부, 외함 등을 촬영한 열화상 온도분포를 분석한 결과 2차측 케이블 단말부에 67.6℃의 상간 온도차가 발견되어 육안조

사를 실시한 결과, 변압기 2차측의 접속부에 케이블을 체결하기 위한 볼트의 조임상태가 약간 느슨하여 발생된 접촉불량으로 인한 과열로 조사되었다.

3) 전력용 콘덴서

전력용 콘덴서는 공칭전압 22.9kV 등의 자가용 수전설비 또는 부하에 병렬로 접속해서 뒀진 무효전력을 보상하여 역률을 개선하는 목적으로 설치하는 것으로 주로 큐비를 내부 또는 옥외에 집단으로 시설되는 경우가 많다. 콘덴서의 고장원인은

누유·흡습, 부분방전하여 가스발생에 의해 파손되는 경우와 이상전압(콘덴서의 단자전압을 V라고 하면 전류는 $I=2\pi fCV(A)$ 와 전압에 비례해서 증가, 전류가 증가하면 손실이 증가하여 콘덴서의 온도가 상승함)이나 과대한 고조파에 의한 과전류 등의 사용상의 요인, 경시(經時)열화 등에 의해 손실이 증대하여 열 폭주하는 경우가 있다. 콘덴서의 열화상 진단 포인트는 외부 돌출 부싱 부위, 연결 케이블, 내부 권선의 단락, 단선에 의한 편부하로 인한 과열 등이 주점검 대상이다.

열화상 온도분포를 분석한 결과 콘덴서의 외부 돌출 부싱 부위에 약 10℃의 상간 온도차가 발견되어 정전 후 정밀조사를 실시한 결과, 콘덴서 T상 (SP03) 부싱의 케이블 고정 조임용 볼트의 조임상태가 불량하여 발생한 과열로 조사되었다.

4) 전동기

전동기는 철손과 동손 및 기계손 등의 손실에 의하여 또 절연물 자체의 누설전류와 유전체손에 의하여 시간이 경과함에 따라서 온도가 상승하게 된다. 전동기의 온도가 이상하게 상승하는 원인으로 다음과 같은 점을 지적할 수 있으므로 주의하여 점검토록 한다.

[표] 전동기의 이상온도 발생원인

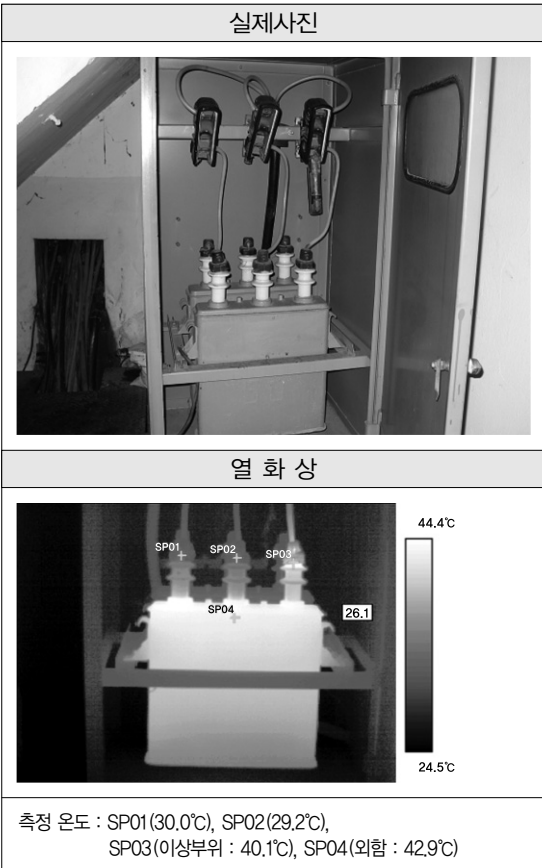
전동기의 이상온도 발생원인	• 전원전압의 불평형
	• 전압강하가 클때
	• 과부하상태로 운전
	• 베어링의 마모로 인한 공극의 불평형
	• 먼지 때문에 통풍구가 폐쇄
	• 먼지가 부착하여 냉각효과가 저하
	• 슬립링 단락 장치부의 접촉불량



[진단사례 ①] 2차측 케이블 단말부의 Bolting 불량에 의한 이상 발열

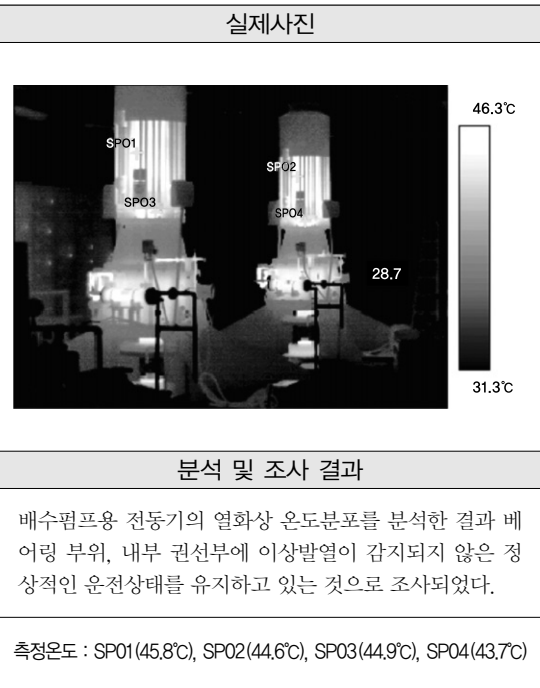


[진단사례 ②] 3상 부하 불평형으로 인한 철심 부위 이상 발열



[진단사례 ①] 압착불량에 의한 이상 발열

전동기의 기계적 회전을 방해하여 구속력이 발생하였을 때 방열 및 발열 균형상태가 깨어짐으로 열 축적 및 권선에 정격을 넘는 전류가 흘러 과부하상태로 이상발열이 발생하는 경우가 있으므로 열화상 측정 포인트는 기계적 구속력이 발생하는 베어링 부위, 내부 권선의 단락, 단선에 의한 편부하로 인한 과열 등이 주점검 대상이다.

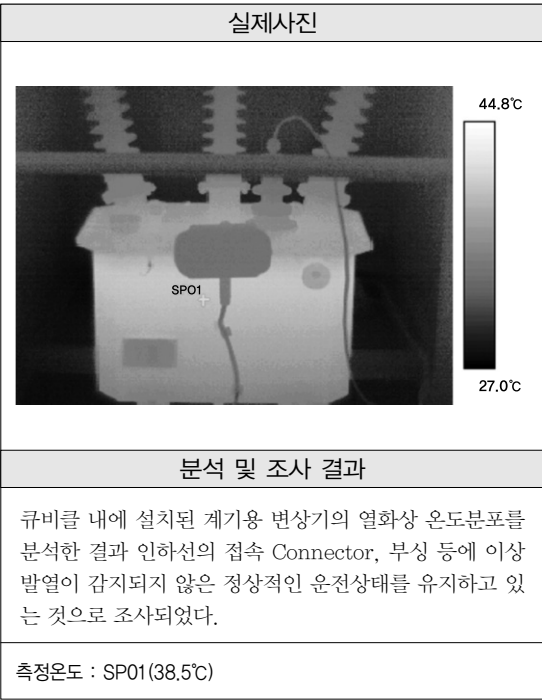


[진단사례 ①] 정상적인 상태의 전동기

5) 계기용 변성기

계기용 변성기의 열화상 측정 포인트는 154kV용 PT, CT의 경우에는 인하선의 접속 Connector, 부싱의 누유 및 크랙 등에 의하여 이상 발열과 22.9kV이하의 변성기는 내부 Coil의 열화에 의한 발열을 예상할 수 있으며 몰드형의 경우 1차 단자

부의 과열, 1차, 2차 단자 조임부의 이완으로 인한 발열, 과부하로 인한 발열 등을 고려하여 주점검 대상을 선정한다.



[진단사례 ①] 정상적인 상태의 계기용 변성기

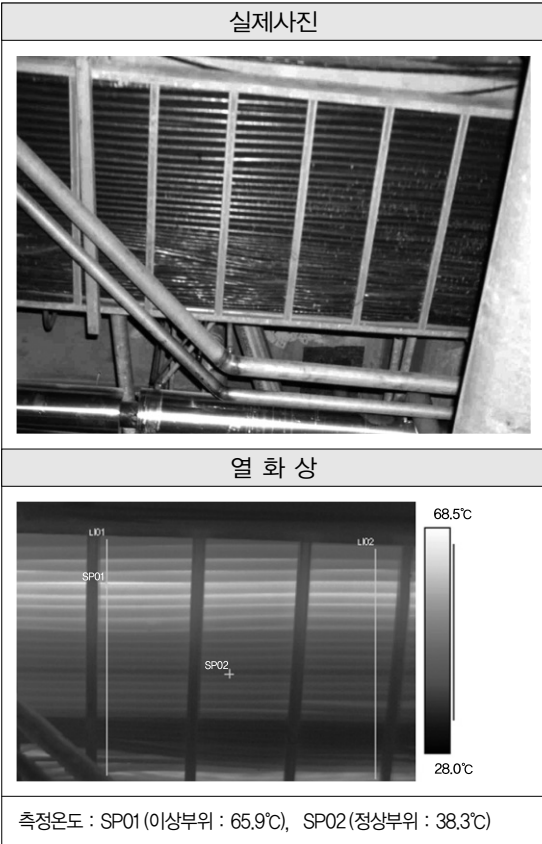
6) 케이블 및 배선

케이블은 전류를 나르는 도체로서 전력계통에서는 아주 중요한 역할을 담당하고 있으며 고전압화, 대형화, 다양화가 되어감에 따라 케이블의 이상발열 등으로 인한 화재 가능성은 더욱 커지고 있으며, 고장이 발생하면 상당히 심각한 영향을 준다. 일반적으로 케이블의 이상발열 주요 원인은 지락·단락 고장시 대전류 아크에 의한 발열, 다회선 포설에 따른 허용전류 저감률 부족으로 온도 상승의 발열, 시공불량(접속부 등) 등에 의한 온도

상승, 전력 케이블이 접속되어 있는 기기류의 과열에 의한 이상발열 등이 있다.

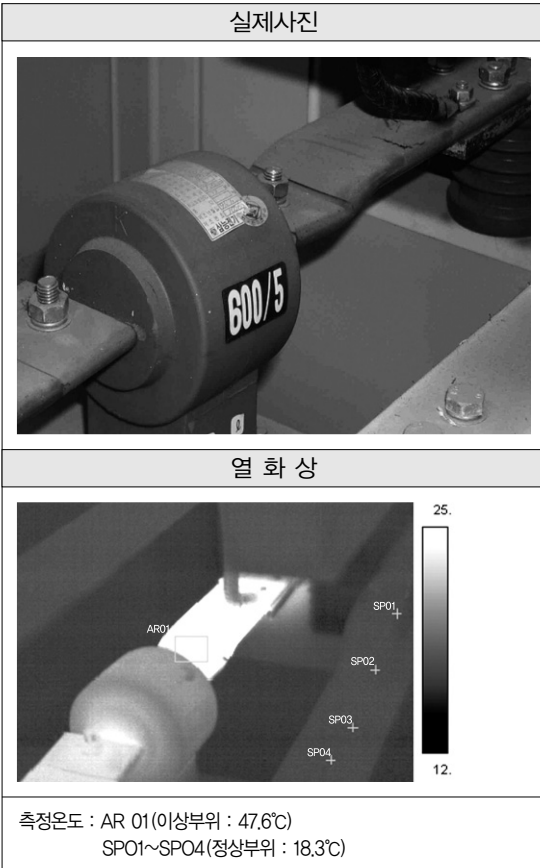
[표] 전선의 최고 허용온도

전선의 종류	최고 허용온도
IV (600V 비닐절연전선)	60°C
HIV (600V 2종 비닐절연전선)	75°C
EV (폴리에틸렌 절연전선)	75°C
CV (가교 폴리에틸렌 절연전선)	90°C
VVF (비닐절연비닐 시이즈케이블)	60°C 이하

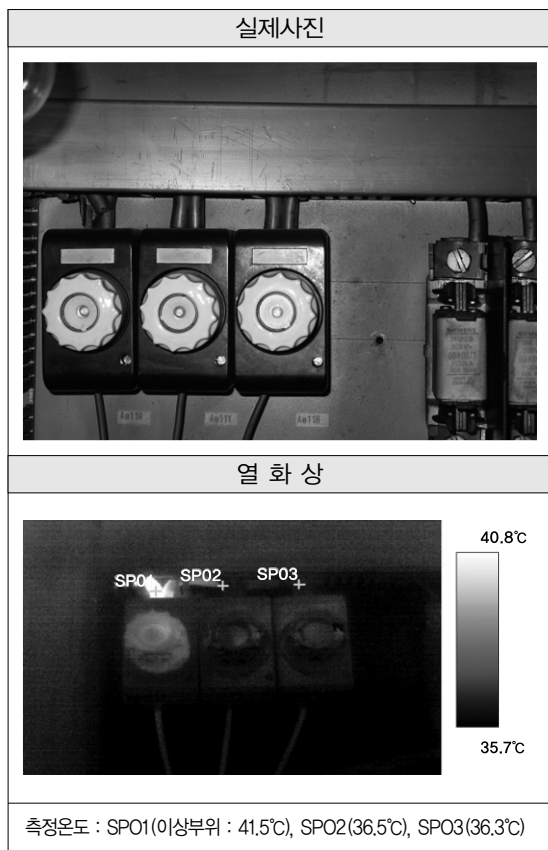


[진단사례 ①] Cable 포설 조건에 따른 Cable 과열

케이블이 포설된 Cable Tray 하단부에서 열화상 진단을 실시한 결과 일부 Cable 선로에 이상발열이 발견되어 원인을 추적한 결과 Cable 포설 조건 (다회선 포설에 따른 허용전류 저감률 부족으로 온도상승의 발열) 및 외부 환경 불량에 따른 Cable 과열로 분석되었다.



[진단사례 ①] CT와 Bus Bar 체결 불량에 의한 이상 발열



[진단사례 ②] 퓨즈 홀더 1차의 전선 접속부 조임 느슨에 의한 발열

전소의 설비 등의 상태점검 및 유지보수에 유용하게 사용되고 있어 과부하 및 접촉불량으로 인하여 발생하는 안전 사고와 막대한 비용 손실을 방지함으로써 비용의 효율뿐만 아니라 안전사고 방지도 많은 도움을 제공하는 기기로서의 가치를 충분히 가지고 있다.

따라서 매년마다 꾸준히 증가하는 설비의 과부하 및 접촉부 불량으로 인하여 발생된 과열로부터 전기화재 및 안전사고를 미연에 방지하기 위해서는 진단 · 점검 및 유지관리시 적외선 열화상 카메라를 효율적으로 사용하고 주기적인 활선 진단을 수행하여 발열부위를 제거함으로써 전기사고를 미연에 방지토록 노력해야 할 것이다. **K**

6. 결 론

지금까지 적외선 열화상 카메라의 특징 및 필요성과 전기분야의 적용사례 등에 대해 기술에 보았다. 처음 도입기에는 전기설비부문만 집중하여 활용하였으나, 현재에는 건축, 토목, 기계분야 등에 활용되어 시설물의 완벽한 시공과 고품질을 유도하기 위한 진단장비로 많이 이용되고 있다.

적외선 열화상 카메라는 전기설비의 연결부분, 케이블 접점, 변압기 등을 비롯하여 그 밖의 발 · 변

참고 문헌

- 1) 문덕수 중앙교육원 배전교육팀 교수
'배전설비 열화진단기술의 현황' 전기설비지, 2003. 02
- 2) 전기정보신문
'적외선 열화상에 의한 전기설비 진단기술과 실제', 2003. 01
- 3) 한국전력공사 배전운영
'배전설비 열화진단 운영자 교범'
- 4) Thermovision operating manual
'ch 7. theory of thermography', '2000 infrared training center - all rights reserved'
- 5) J.M. Lloyd, 'thermal infrared system', plenum press, 1979
- 6) Patrick O, Moore, 'nondestructive testing handbook' infrared and thermal testing, vol.3, 3rd Ed., ASTM, 2001.