



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2013년 8월
석사학위논문

영광 1,2호기 발전소 열화상 진단을
통한 예측정비 방안 분석 연구

조선대학교 대학원

원자력공학과

유 광 열

영광 1,2호기 발전소 열화상
진단을 통한 예측정비 방안
분석 연구

A study on the Predictive Maintenance in Young Gwang NPP
#1,2 by Thermography Diagnosis test

2013년 8월 23일

조선대학교 대학원

원자력공학과

유 광 열

영광 1,2호기 발전소 열화상
진단을 통한 예측정비 방안
분석 연구

지도교수 이 경 진

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2013년 4월

조선대학교 대학원

원자력공학과

유 광 열

유광열의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 정 운 관 (인)

위 원 조선대학교 교수 송 종 순 (인)

위 원 조선대학교 교수 이 경 진 (인)

2013년 5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT	v
제 1 장 서 론	1
제 2 장 예측 정비	2
제 1 절 열화상 탐지법	2
1. 접촉식 온도 측정	2
2. 비접촉식 온도 측정	3
제 2 절 적외선 열 감식기기	10
1. 개요	10
2. 점원 감지부	11
제 3 절 적외선 온도 감식 프로그램	13
1. 정성적 데이터	14
2. 정량적 데이터	14
3. 기준 데이터	15
4. 적외선 온도 감식법	15
5. 발전소의 적외선 온도 감식	15
제 3 장 발전소 적외선 감식 적용	20
제 1 절 서론	20
제 2 절 분야별 적용	20
1. 주물형 외함 차단기	20
2. 교류 유도 전동기	21
3. 여자기 브러시 구역	22
4. 발전기 축 승압 변압기	23
5. 주변압기 냉각 팬 모터 결함	25
6. 부하 탭 절체기	27
7. 급수 가열기	28
제 4 장 적외선 온도 감식법 시험 평가	30
제 1 절 적외선 감식 프로그램 평가	30

제 2 절 발전소 열화상 진단 절차	34
1. 예측정비 열화상 진단 대상기기 및 주기선정	34
2. 열화상 진단 상태등급 기준값(경계값 및 제한값) 설정	35
3. 통합예측진단시스템의 열화상측정 데이터베이스 작성	35
4. 열화상 촬영 및 결과입력	36
5. 열화상분석	45
6. 열화상분석 결과평가(등급부여)	45
7. 기기 상태평가	46
제 3 절 발전소 열화상 진단 점검 결과	47
1. 펌프 열화상 진단	47
2. 제어반 단자대	47
3. 주변압기	48
제 5 장 열화상 진단 방법의 개선	50
1. 예방정비기준(PMT) 열화상분석 직무	50
2. 열화상촬영 미수행 사유 검토	51
3. 열화상 점검창(IR Windows) 설치 검토	53
4. 고압 및 저압 스위치기어 열화상분석 검토	54
5. 로드센터 변압기	55
제 6 장 결론	58
참고문헌	59

표 목 차

표 4-1	주요 요소 분류	31
표 4-2	주기별 대상기기 수량(영광1발전소)	34
표 4-3	예측정비 열화상진단 상태등급 분류 기준표	46
표 5-1	고압스위치 기어 미수행 사유	51
표 5-2	저압스위치 기어 미수행 사유	52
표 5-3	로드센터 변압기 미수행 사유	52

그림 목차

그림 2-1	전자기 스펙트럼	4
그림 2-2	표면이 부분 산화된 알루미늄 캔	6
그림 2-3	복사 대 파장	9
그림 2-4	비접촉식 온도 측정	10
그림 2-5	적외선 감지 계기의 부품	11
그림 2-6	복사 온도계의 구성	12
그림 2-7	증기 방출 밸브	17
그림 3-1	주물형 외함 차단기의 열 영상	21
그림 3-2	주물형 외함 차단기의 실상	21
그림 3-3	교류 유도 전동기의 실상	22
그림 3-4	교류 유도 전동기의 열 영상	22
그림 3-5	여자기의 브러시 구역의 실상	23
그림 3-6	여자기 브러시 구역의 열 영상	23
그림 3-7	발전단 승압 변압기의 열 영상	24
그림 3-8	발전단 승압 변압기의 실상	24
그림 3-9	발전단 승압 변압기의 열 영상	25
그림 3-10	발전단 승압 변압기의 실상	25
그림 3-11	변압기 냉각팬의 실상	26
그림 3-12	변압기 냉각팬의 열 영상	26
그림 3-13	변압기 탭 절체기의 실상	27
그림 3-14	변압기 탭 절체기의 열 영상	28
그림 3-15	급수 가열기 방출밸브의 열 영상	28
그림 3-16	급수 가열기 방출 밸브 교체 후	29
그림 4-1	적외선 온도감식 프로그램 평가	31
그림 4-2	누설부위 촬영 사진	47
그림 4-3	단자대 촬영 사진	48
그림 4-4	주변압기 Control Panel 내부 실영상	48
그림 4-5	주변압기 Control Panel 내부 열화상 영상	49
그림 5-1	고압스위치기어 패널 전면문 개방	51
그림 5-2	미국 열화상촬영 비교사진	53

그림 5-3	열화상 점검창 설치사진 및 열화상촬영 사진	54
그림 5-4	고압 및 저압 스위치기어 패널 후면	55
그림 5-5	로드센터 변압기	56
그림 5-6	건식변압기 패널문 개방 후 열화상측정 사진	57

ABSTRACT

A study on the Predictive Maintenance in Young Gwang NPP #1,2 by Thermography Diagnosis test

Ryu, Gwang Yeol

Adviser : Prof. Lee, Goung Jin, Ph. D.

Department of Nuclear Engineering,

Graduate School of Chosun University

Predictive maintenance(PdM)assumes that all equipment will deteriorate and partial or complete loss of function will occur. PdM monitors the condition or performance of plant equipment through various technologies. The data are obtained, analyzed, trended, and used to predict equipment failures. When equipment failure timing is known, then actions can be taken to prevent or delay failure. This allows equipment reliability to remain high.

Thermal measurement technology measures the absolute or relative temperatures of key equipment parts or areas being monitored. Abnormal temperatures indicate developing problems. Temperature and thermal behavior of plant components are the most critical factors in the maintenance of plant equipment. For this reason, temperature is frequently considered the key to successful plant maintenance and is the frequently measured quantity.

Maintenance is conducted every six months to two years on all the 428(in Young Gwang NPP #1,2) plant thermography diagnosis equipment to be inspected including pumps, fans, transformers.

Through the thermography measurement, there was a abnormal temperature detected recently on the transformers and pumps which was promptly responded to

before showing any signs of malfunction, contributing to improving reliability of the facility.

In case of the high-voltage switchgear, for the safety of the thermography inspector, additional safety precautions should be taken by installing the thermography measurement inspection window on the transformer's panel door.

제 1 장 서 론

원자력에너지는 친환경적, 경제적인 것으로 평가받는다. 그렇기 때문에 우리나라도 현재 23기의 원자력발전소를 운전중에 있으며 앞으로 2022년까지 9기의 원자력발전소를 추가적으로 건설할 계획에 있다.

그러나 원자력에너지는 초기 투자비용이 높고, 부지선정에 사회적비용이 많이 소모되며, 사회적 수용성이 낮고 폐기물 문제가 존재하는 등 해결과제를 안고 있는 미완의 대안이기 때문에 폭발적으로 증가하는 전력수요를 새로운 발전소를 건설함으로써 충족시키는 것은 쉽지 않은 일이다.

예측정비(Predictive Maintenance, PdM)는 모든 기기는 노후화되어지고 결국은 부분 또는 전체적인 고장이 발생한다는 것을 전제로 하고 있다. PdM은 여러 가지 기술을 동원하여 발전소 기기의 상태나 성능을 감시한다. 데이터를 수집하고 분석하며 추이를 관찰하여 기기 고장을 예측하는데 이용한다. 기기의 고장 시점이 알려지면 이를 방지하거나 지연시키기 위한 조치를 취할 수 있게 된다. 이렇게 함으로서 기기 신뢰도를 높게 유지하는 것이 가능하게 된다.

열 측정 기술은 감시대상 기기의 주요 부위나 지역의 절대적 혹은 상대적 온도를 측정한다. 비정상 온도는 어떤 문제가 진행되고 있음을 시사한다. 발전소 부품의 온도 및 열적 반응(thermal behavior)은 발전소 기기의 정비에 가장 중요한 요소이다. 이런 이유로 온도가 발전소의 성공적인 정비에 주요한 핵심사항으로 간주되고 있으며 가장 측정이 많이 되는 요소이다.

본 논문은 영광 1,2호기의 장기적 사용에 따른 설비별 열화 상태를 진단하고, 설비의 최적운영을 위한 분석과 방법을 제시함으로써, 발전소 운영 최적화를 위한 경제적 의사결정을 하는데 도움을 주는 것이다.

제 2 장 예측 정비

제 1 절 열화상 탐지법(Thermography)

열 측정 기술은 감시대상 기기의 주요 부위나 지역의 절대적 혹은 상대적 온도를 측정한다. 발전소 부품의 온도 및 열적 반응(thermal behavior)은 발전소 기기의 정비에 가장 중요한 요소다. 이런 이유로 온도가 발전소의 성공적인 정비에 주요한 핵심사항으로 간주되고 있으며 가장 측정이 많이 되는 요소이다.

이 기술을 사용하는데 두 가지 유형의 기기가 있는데 접촉식과 비접촉식이 그것이다. 온도계와 열전대를 사용하는 접촉식 온도 측정 방법이 아직도 가장 많이 쓰이고 있는 방법이다. 하지만 적외선 감지기를 이용하는 비접촉식 방법도 기존의 방법에 대한 바람직한 대안으로 사용이 확대되고 있다.

1. 접촉식 온도 측정(Contact Temperature Measurement)

접촉식 온도 측정은 전달된 열에너지를 감지하여 표면 혹은 내부의 온도를 측정하는 것을 말한다. 과거에는 수은이나 알콜 온도계가 온도를 측정하는데 사용되었다. 이것들은 길고 좁은 관으로 연결된 유리구형 액체 통으로 되어 있다. 유리구가 가열되면 유체가 확장하여 관을 채우기 시작한다. 액체의 팽창은 온도에 비례한다. 온도계측 눈금이 관을 따라 표시되어 있어 관찰자가 온도를 읽을 수 있다.

이중 금속 온도계(bimetallic thermometer)는 두 가지 금속이 서로 다른 열팽창을 한다는 원리에 의해 동작한다. 두 가지의 금속 띠(strip)가 한쪽 끝이 뿔이나 용접으로 붙어있다. 이 금속 띠가 가열되면 팽창한다. 모든 금속은 서로 다른 팽창률에 따라 팽창한다. 두 금속의 팽창의 차이가 기계적인 연결을 통해 지시 바늘을 돌린다. 바늘 뒤에 문자판에 표시된 온도 계수 눈금을 보고 관찰자가 온도를 읽을 수 있다. 저항 온도 탐지기(resistance temperature detector)는 전기 도전체인 감지기를 이용한다. 가열되면 도전체의 전기 저항이 변화한다. 분석자는 저항을 측정하고 저항과 온도와의 관계로서 온도를 판정한다.

열전대(thermocouple)도 전기적 원리에 의해 작동한다. 한쪽 끝이 용접되어 맞닿은 두 이중 금속편은 절대 온도에 비례적인 기전력을 생성한다. 생성된 전압은 감지

한 온도에 비례한다. 열전대는 어떤 주어진 온도 범위 내에선 매우 정확한 온도 측정을 할 수 있다.

2. 비접촉식 온도 측정(Non-Contact Thermal Measurement)

접촉식 온도 측정보다 비접촉식 적외선 열측정이 가지는 네 가지 대표적인 이점은 다음과 같다.

- 비 삽입식 - 원격 측정 - 신속 측정 - 객체 표면 온도 분포 취득 가능

다음 조건 중 하나 또는 복합적인 상황인 경우는 비접촉식 감지기를 고려해 볼만하다.

○ 움직임

온도를 재고자 하는 목표물이 움직이는 경우 표면에 온도감지기를 접촉시키는 것이 비실용적인 경우가 많다. 튀거나 돌거나 마찰 등이 측정 오차의 원인이 되고 감지기가 간섭을 일으킬 수도 있음.

○ 통전상태

전류가 흐르고 있는 기기나 부품은 사람이나 계기에 위해(hazard)가 됨.

○ 부서지기 쉬움

얇은 망(web)이나 정교한 물질을 측정코자 할 때 감지기의 접촉으로도 제품의 손상을 초래할 수도 있음.

○ 크기

측정코자 하는 목표물보다 큰 질량(mass)을 갖는 접촉 감지기는 목표물 표면에서 열을 앗아감으로 측정온도를 낮추어 오차를 발생시킴.

○ 간격

목표물이 접촉식 감지기에서 멀거나 접근이 어려운 경우 적외선 측정이 유일한 대안임.

○ 온도 변화

적외선 감지기가 열전대보다 훨씬 빠르다. 적외선 방사에너지는 목표에서 감지기까지 빛의 속도로 움직인다. 급속히 변하는 온도는 수천분의 일초 또는 더 빠른 적외선 감지기로 감시할 수 있다.

○ 열전대에 대하여 파괴적

충격(jarring), 소손(burning) 혹은 부식 등에 의해 열전대가 자주 망가질 경우에는 적외선 감지기가 더 경제적인 대안임

○ 다중 측정이 필요

목표물의 여러 곳에 온도를 재야할 때 열전대를 다시 배치하거나 많은 열전대를 설치하는 것보다 적외선 감지기를 여러 곳에 재 조준하는 것이 더 실용적임. 적외선 감지기의 빠른 응답속도가 중요함.

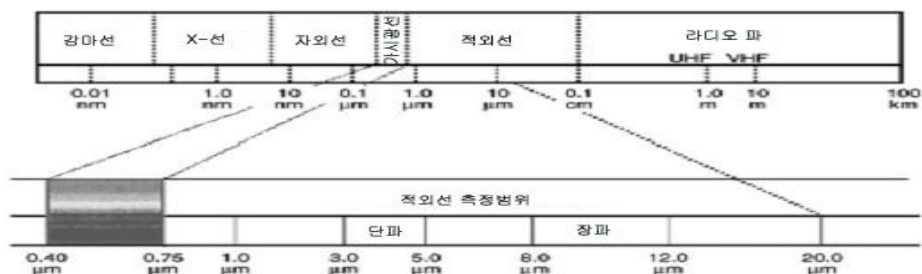
비접촉식 온도 측정의 기본개념은 아래와 같다.

- 전자기 스펙트럼(electromagnetic spectrum)
- 적외선 에너지
- 적외선 열화상 탐지(infrared thermography)
- 복사능(emissivity)
- 흑체(blackbody), 회색체(graybody), 실체(realbody)

가. 전자기 스펙트럼(Electromagnetic spectrum)

적외선 방사는 가시광선보다 파장이 긴 전자기파 방사선 형태로 알려졌다. 다른 형태의 전자기파 방사선은 x-레이, 자외선, 라디오파(radio waves) 등이다. 전자기파 방사선은 파장 및 주파수에 의해 분류한다. 방송국은 보통 kHz 또는 MHz로 불리는 그들의 주파수에 의해 구별된다. 그림 2-1은 전자기 스펙트럼과 전자기파 방사선이 파장 범위 내 어디에 위치하는가를 보여주며 또 적외선 측정범위를 확대하여 보여주고 있다.

그림 2-1 전자기 스펙트럼(Electromagnetic spectrum)



적외선 감지기 또는 시스템은 따라서 파장(wavelength)으로 분류된다. 측정 단위는 마이크로미터 혹은 미크론이다. 8-12 μm 폭에 있는 방사선을 감지할 수 있는 시스템은 장파(longwave)라고 부른다. 바꾸어 3-5 μm 사이의 방사선을 감지할 수 있

는 시스템은 단파(shortwave)라고 한다.(3-5 μm 시스템은 중파(midband)라고도 하는데 이는 3 μm 보다 짧은 파장의 방사선을 감지하는 시스템도 있기 때문이다.) 전자기 스펙트럼의 가시부분은 0.4 μm 에서 0.75 μm 사이에 든다. 색깔이 다르게 보이는 것은 서로 다른 파장으로 구분되기 때문이다. 레이저 포인터의 파장은 보통 650 nm이다. 만일 650 nm(0.65 μm)에서 전자기스펙트럼 차트를 조사한다면 붉은색 방사광으로 보일 것이다.

나. 적외선 에너지(Infrared energy)

모든 물체는 그들 온도의 함수로 적외선을 방출한다. 다시 말하면 모든 물체는 적외선을 방출한다. 적외선 에너지는 원자 및 분자의 진동 및 회전에 의해 발생한다. 물체의 온도가 높을수록 이런 원자 입자들의 운동이 활발해져서 더 많은 적외선 에너지를 방출한다. 이것이 적외선 카메라에 의해 감지되는 에너지이다. 그 카메라는 온도를 “보는” 것이 아니다. 그것들은 열방사선을 감지하는 것이다. 절대온도 0도에서(-273.16°C, -459.67°F) 물질은 가장 낮은 에너지 준위에 있고 따라서 적외선은 거의 존재하지 않는다.

적외선 에너지는 전자기파 스펙트럼의 일부이고 가시광선과 비슷하다. 이것은 공간을 빛의 속도로 날아가고 반사하며 굴절하고 흡수되며 방출한다. IR 에너지의 파장은 가시광선 다음으로 길며 0.7 μm -1000 μm 사이이다.

다. 적외선 온도감식법(Infrared thermography; IRT)

적외선 온도감식은 대상 표면에서 방출되는 방사열에너지(열)의 분포를 측정하여 이것을 표면 온도 도표(surface temperature map)나 열상도(thermogram)로 변환하는 것이다. 온도측정자는 IR 온도감식법의 프로그램 수행을 준비하는데 중요한 자격요건으로 열, 온도 및 여러 가지 형태의 열전달에 대한 이해가 요구된다.

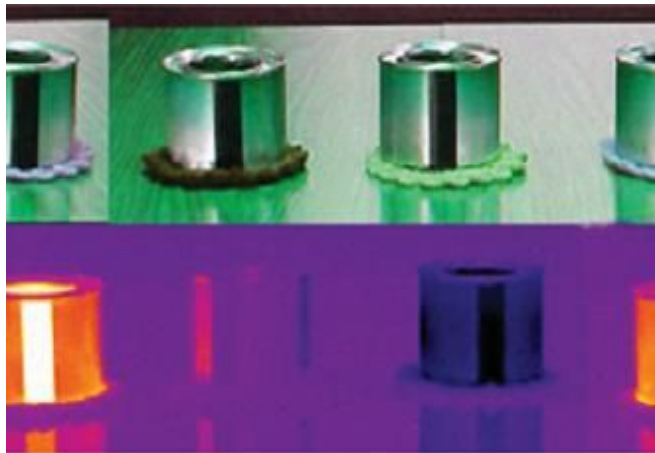
적외선 온도감식법은 대상물체가 열적 상태에 따라 방출하는 비가시 적외선의 상(image)을 만들어내는 기법이다. 가장 전형적인 형태의 온도감식 카메라는 전형적인 캠코더를 닮았고 열방사선의 생생한 TV 화면을 만든다. 좀 더 진보된 카메라는 영상(image) 안의 물체나 표면의 뚜렷한 온도를 실제로 측정할 수 있다. 그 카메라는 또한 열적 패턴의 해석을 쉽게 만드는 색채 영상(color image)도 만들어낸다. 적외선 카메라에 의해 만들어진 색채 영상은 열상도(thermogram)라 부르고 때로는 온도감식도(thermograph)라고 부르기도 한다.

라. 적외선 영상(Infrared image)

IR 카메라는 보고 있는 대상물의 레디오써티(radiosity)를 촬영한다. 레디오써티는 대상물에서 나오는 적외선 에너지가 대기(atmosphere)의 간섭에 의해 변조된 것으로 정의한다. 레디오써티는 IR 에너지의 방출, 반사 및 때때로 투과까지 포함한다. 불투명한 대상물의 투과율은 0이다. IR 영상의 색은 레디오써티의 변화에 따라 변화한다. 불투명체의 레디오써티는 대상물의 온도, 대상물의 복사율 및 반사되는 복사에너지의 변화에 따라 변화할 수 있다.

그림 2-2는 세 개의 금속 캔의 두 영상을 보여주고 있는데 세 개의 캔 중 왼쪽에서부터 하나는 뜨겁고 하나는 주변 온도와 같고 하나는 차다. 위의 상은 가시 영상이고(visual) 아래 것은 적외선 영상이다. 각 캔 위에는 전기 테이프 조각이 있다. 각 캔에서 캔과 테이프의 온도는 같다; 하지만 적외선 영상에서는 뜨거운 캔에서는 테이프가 금속 표면보다 더 뜨겁게 보이고 찬 캔에서는 더 차갑게 보이며 주위 온도와 같은 캔에서는 같게 보인다.

그림 2-2 표면이 부분 산화된 알루미늄 캔



전기 테이프는 금속보다 방사율(emissivity)이 높다. 이것은 테이프가 금속보다 복사체(radiator)로서 효율이 높다는 것을 의미한다. 바꾸어 말하면 금속이 테이프보다 반사율(reflectivity)이 더 높으므로 적외선 거울 효과를 더 내는 것이다. 따라서 테이프가 대상물의 온도를 더 가깝게 나타내고 금속은 주변온도(background temperature)를 나타낼 것이다. 만일 캔이 주변온도보다 더 뜨겁다면 테이프가 금속보다 더 뜨겁게 보일 것이다. 만일 캔이 주위 온도보다 더 차갑다면 테이프가 금속보다 차갑게 보일 것이다. 만일 캔이 주변온도와 같다면 테이프와 금속이 같아 보일 것이다.

이것은 매우 중요한 개념이다. 온도 감식 전문가(thermographers)는 이와 같은 복사 대비 행태를 보이는 대상물(target)을 매일같이 접하게 된다. 이것은 들어난 금속 볼트로 연결된 절연 케이블일 수도 있다. 이것은 유압 차단기(oil-filled circuit breaker) 또는 부하 탭 절체기(load tap changer)에서와 같이 도장된 표면에 부착된 노출된 금속 명판(name plate)일 수도 있다. 이것은 온도 감식 전문가가 정확한 판독을 위해 모선(bus bar)에 달아놓은 전기 테이프일 수도 있다.

불투명체(opaque objects)에서는 방사율과 반사율은 상호 보완적이다. 높은 방사율은 낮은 반사율을 의미하며 그 반대도 같다. Kirchhoff는 열 평형식에서 어떤 물체(object)의 흡수율(absorptivity)은 그것의 방사율과 같음을 보여주었다. 이것을 에너지 보존의 법칙(law of energy conservation)과 결합하면 이런 개념을 정량화 하는 식(equation)이 나온다.

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

ε , ρ 및 τ 에 대하여 그리스 문자가 보통 쓰이며 이것들은 다음을 나타낸다.

$$\varepsilon = \text{복사율(emissivity)}$$

$$\rho = \text{반사율(reflectivity)}$$

$$\tau = \text{투과율(transmissivity)}$$

불투명체에 대하여는 $\tau = 0$ 이므로 식은 다음과 같이 줄어든다.

$$\varepsilon + \rho = 1$$

간단히 말하면 위의 식은 고 방사율은 저 반사율을 나타내고 저 반사율은 고 방사율을 의미한다. 온도감식가들은 방사율이 가능하면 높은 것을 좋아한다. 대부분의 레디오씨티(radiosity)는 대상물에서 발산하는 방사에너지이므로 방사율이 높으면 가장 정확한 판독치를 얻을 수 있기 때문이다. 최신 IR 카메라는 사용자가 간단한 입력만으로 방사율 보정을 할 수 있게 해 준다. 그렇지만 방사율이 줄어들면 측정에서 불확실성이 증가한다. 계산에 의하면 대상물의 방사율이 대략 0.5 미만이면 측정의 불확실성이 수용 불가능할 정도로 높아진다는 것을 보여 준다.

마. 복사율(Emissivity)

절대 온도 0도 이상의 모든 대상물의 표면은 적외선 스펙트럼 상의 에너지를 방출한다. 대상물이 뜨거울수록 더 많은 적외선 방사 에너지가 나온다. 복사율은 대상물의 표면에 대한 아주 중요한 특성이며 정확한 비접촉식 온도측정을 하기 위하여 꼭 알아두어야 한다. 복사율을 추정하고 측정하는 방법에 대하여는 업계의 문헌에서 다

루고 있다. 계기에 맞추어 넣기 위해 필요한 복사율 조정(setting)은 보통 가지고 있는 표나 도표에서 추정한다. 계기가 정확한 온도 관독치를 표시하도록 하기위해 필요한 적절한 복사율 조정은 실제 대상물의 샘플을 이용한 실험적 과정을 통하여 습득할 수 있다. 이와 같이 더 실용적인 조정 값은 효과적 복사율(effective emissivity)이라고 부른다.

복사율 표는 있지만 대상물의 정확한 복사율을 확정하는 것은 때로는 쉬운 일이 아니다. 복사율은 물체 표면 특성으로 전에 논의한 바 있다; 그럼에도 이것은 표면 특성 이상의 것이다. 표면 특성은 끊임없이 변하고 객체의 모양이 복사율에 영향을 미친다. 반투명체의 경우 두께가 복사율에 영향을 끼칠 것이다. 복사율에 영향을 주는 요소들은 관찰 각(viewing angle), 과장 및 온도 등이다. 복사율이 과장에 영향을 받는다는 것은 같은 객체에 대하여 다른 IR 카메라는 서로 다른 값을 얻게 된다는 것을 의미한다. 그리고 그것들은 모두 정확한 것일 것이다. 핵심 대상물의 복사율은 일상적인 조사에서 감시하는 것과 같은 상태에서 측정하는 것이 바람직하다.

일반적으로 유전체(dielectrics; 전기적으로 비 전도성 물질)는 페인팅 된 금속을 포함하여 약 0.8-0.95 범위의 고 방사율을 가진다. 산화되지 않은 노출된 금속은 약 0.3 이하의 방사율을 가지며 측정하지 말아야 한다. 산화된 금속은 약 0.5-0.9 범위의 방사율을 가지며 값의 범위가 너무 넓어 문제가 있는 분야로 간주된다. 산화 정도가 물체 방사율의 핵심 요소이다. 산화도가 높을수록 방사율도 높다.

불투명체에서는 만일 방사율과 주변(반사) 온도(background temperature)를 알고 있다면 온도 측정 기능을 가지고 있는 IR 카메라로 이론상 수 퍼센트 이내로 정확하게 온도를 측정할 수 있다. 온도를 측정하기 위해 IR 카메라는 대상물에서 방출되는 에너지에 의한 레디오시티의 일부분만을 받아내야 한다. 최신 IR 카메라는 이런 것이 가능하다. 그러나 방사율이 0.5 미만이면 오차가 허용할 수 없을 정도로 클 수도 있다. 반사되는 부분을 제하고 나면 결과는 목표 방사율(target emissivity)에 가깝게 된다. 그 결과값을 조건표(calibration table)와 비교하여 온도를 얻는다.

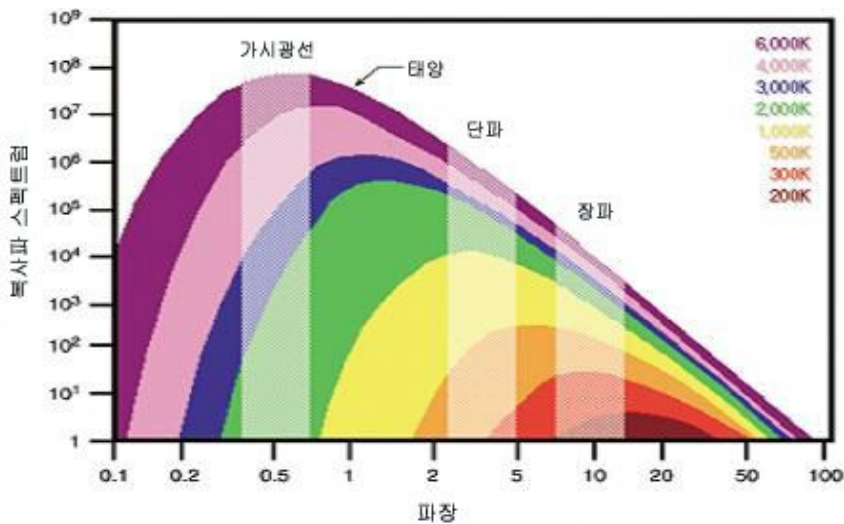
바. 흑체, 회색체 및 실체(Blackbody, graybody and realbody)

흑체는 투과율과 반사율이 영(0)임으로 완전한 복사체이다. 복사 방정식에 의하면 흑체의 복사율은 1이다. 흑체는 처음에는 가시광선 복사로 정의되었다. 가시광선 하에서는 아무것도 반사하지 않고 투과하지도 않는 것은 까맣게 보였으므로 흑체라고 이름 지은 것이다.

회색체(graybody)는 복사율이 1 이하이며 이것은 파장에 대하여 상수이다. 실체(realbody)는 복사율이 파장에 따라 변화한다. IR 카메라는 한 파장대(a waveband)의 적외선 복사에너지에 대하여 감응한다. 온도를 얻기 위하여 위에서 설명한 결과를 흑체 자료를 이용하여 만든 조건표와 비교한다. 암묵적인 가정은 대상물이 회색체라는 것이다. 대부분의 경우에는 이것은 진실이거나 의미있는 결과를 얻을 수 있을 만큼 진실에 가깝다. 고도로 정밀한 측정을 하려면 온도감식가는 대상물의 스펙트럼(파장) 성격을 이해하지 않으면 안된다.

그림 2-3은 객체의 온도에 따른 복사에너지의 크기 대 여러 온도별 파장을 보여 주고 있다. 태양은 우리의 가시광선 스펙트럼의 중간에 최대 파장(peak wavelength)을 가지고 있다.

그림 2-3 복사 대 파장



흑체 복사 곡선은 서로 교차하지 않고 포개진다. 이것은 높은 온도를 가진 흑체는 낮은 온도의 흑체보다 모든 파장에서 더 많은 복사에너지를 방출한다는 것을 의미한다. 온도가 올라가면 복사선의 파장 범위(wavelength span)는 벌어지고 최대 복사(peak radiation)는 점점 더 짧은 파장 쪽으로 이동한다.

300°K 때 적외선 복사의 최대는 약 10 μm의 파장에 있다. 또한 300°K인 객체는 단지 약 3 μm 까지만 복사 에너지를 방출한다. 사람의 눈은 약 0.75 μm 이상의 파장에는 민감하지 못하므로 이것은 보이지 않는다. 하지만 만일 객체가 약 300°C 까지 따듯해지면 약한 붉은 빛이 보이기 시작한다.

제 2 절 적외선 열 감식기기

1. 개 요

비접촉식 온도 측정을 위한 적외선 계기를 사용하는데 세 가지 특성에 대하여 고려하여야 할 필요가 있다.

- * 대상물 표면
- * 대상물과 계기 사이의 전달 매질
- * 측정 계기

그림 2-4는 계기(instrument)가 대상물(target)을 겨냥하고 매질(medium)을 통하여 측정하는 법을 보여주고 있다.

그림 2-4 비접촉식 온도 측정



전체적인 측정조건은 다음의 조건들이 반영되어야 한다



전달매질이 보통 공기라 해도 비접촉식 온도측정은 진공, 가스 혹은 어떤 고형 물질을 통하여 이루어질 수도 있다. 매질의 특성을 고려할 필요가 있다.

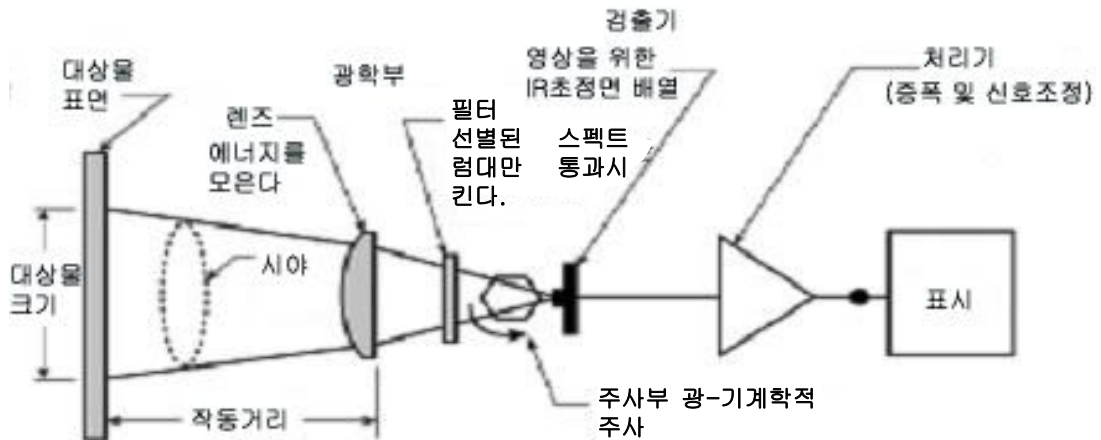
2. 점원 감지부(point sensing)

점원 감지부는 적외 방사선 온도계(infrared radiation thermometers) 또는 스팟 레 디오미터(spot radiometer)라고 불리는데 측정하고자 하는 대상물의 복사에너지를 모

으로 보통 대상물 온도(target temperature)라는 출력 지시치를 제공한다.

그림 2-5는 대상물 표면의 비접촉식 온도 측정을 하기위한 적외 방사선 온도계의 필요한 부품을 보여주고 있다.

그림 2-5 적외선 감지 계기의 부품



집광 장치(collecting optics; 즉 적외선 렌즈 등)는 대상물에서 복사되는 에너지를 적외선 검출기(infrared detector)의 감광면 위로 모으는데 필요하다. 검출기는 이런 에너지를 대상물의 한 점의 온도를 대표하는 전기신호로 변환한다.

점원 감지계기는 다음의 성능 변수로 정의된다.

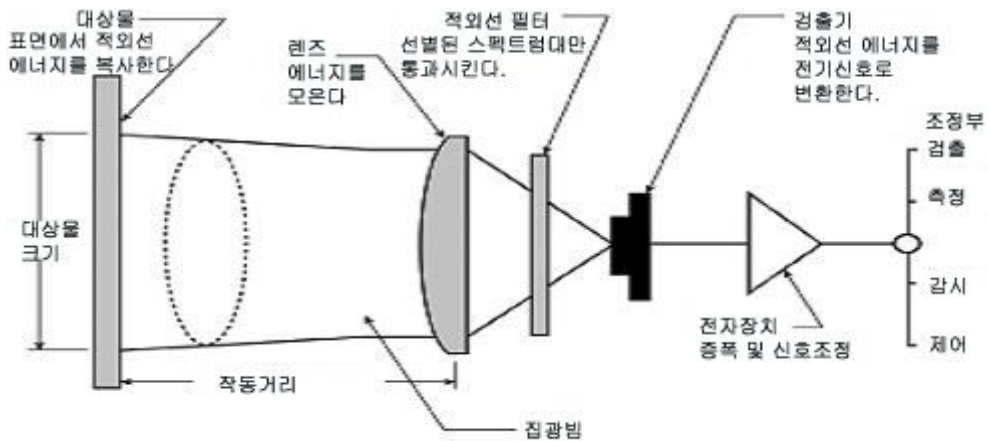
- * 온도 범위 - 대상물 온도의 변화를 수용할 수 있는 최고 및 최저 한계
- * 절대 정밀도(absolute accuracy) - NIST(National Institute of Standard and Technology)의 표준에 따름
- * 재현성(repeatability) - 같은 대상물에 대한 지시치가 반복적 동일성 유지
- * 온도 민감도(temperature sensitivity) - 계기가 탐지할 수 있는 최소 온도 변화
- * 반응 속도(speed of response) - 대상물 표면의 온도 변화에 계기가 반응하는 속도
- * 대상물 표점 크기 및 작동 거리(target spot size and working distance) - 대상물의 측정코자 하는 표점 크기 및 계기까지의 거리
- * 출력 요건(output requirement) - 출력 신호의 사용
- * 스펙트럼 범위(spectral range) - 계기 작동 범위의 적외선 스펙트럼
- * 감지기 환경(sensor environment) - 계기가 작동하는 주변의 상태

적외선 복사 온도계(점원 감지기)가 대상물을 겨냥할 때 집광 빔(collecting beam) 안의 에너지를 모은다. 빔(beam)의 모양은 광학 기구 및 감지기의 구성에 따라 결정된다. 이런 집광 빔의 단면은 계기의 시야(field of view; FOV)라 부르며 이것이 계기가 측정하고자 하는 대상물 표면상의 표점(spot) 크기를 결정한다. 스캐닝 및 영상 계기에서는 이것을 순간시야(instantaneous field of view; IFOV)라 부르고 열 감식도(thermogram) 상의 한 화소(picture element)가 된다.

두 가지 형태의 열 영상 장치가 발전소 용도에 적당한 것으로 밝혀졌다. 열 영상 스캐너(thermal Imaging scanners)는 문제를 적시하고 평가하는데 도움을 주는 정량적인 측정을 할 수 있다. Pyrovidicon imagers는 정성적 평가에 쓰이는 영상을 제공하지만 정량적인 측정은 할 수가 없다. 이 두 가지 형태의 영상 장치 모두 복사 온도계를 더욱 발전시킨 것이거나 또는 복사 온도계에 광학 스캐너를 합한 것으로 볼 수 있다.

그림 2-6은 감지기, 집광기 및 전자 처리장치를 갖춘 전형적인 적외선 복사 온도계(infrared radiation thermometer)를 보여주고 있다. 열적 신호를 발하고 이를 계기에 나타내기 위하여 전자 장치가 부착되어 있다.

그림 2-6 복사 온도계의 구성



영상 장치부 복사측정 장치(Imaging radiometers)는 그 계기가 작동하는 적외선 스펙트럼의 부분을(예를 들면 8-12 미크론) 지정하기 위하여 적외선 필터를 사용한다. 계기가 대상물을 겨냥하면 집광 빔 내의 에너지를 모으는데 그 형태는 광학 장치와 감지기의 조합(configuration)에 따라 결정된다.

점원 감지장치(point sensing instruments)는 다음의 카테고리에 따라 세분할 수 있다.

- * 탐촉자 및 IR 열전대
- * 이동식(휴대용)
- * 온라인 감시 및 제어(on-line monitoring and control)
- * 특수형(specials)

제 3 절 적외선 온도 감식 프로그램 (Infrared Thermography Program)

IRT 프로그램은 전력의 생산 및 수송에 사용하는 중요 기기의 정기적인 점검을 수행함에 있다. 중요기기의 데이터베이스는 기능상 또는 운전상 고장에 앞선 어느 시점에 비정상적인 열적 패턴을 보여주는 것이 보통이다. 적외선 카메라를 이용한 점검은 이런 비정상적 열적 패턴을 검출할 수 있다. 기기의 일부에서 관찰된 비정상적 열적 패턴을 열적 이상상태(thermal anomalies)라 부른다.

온도 감식도 프로그램은 발전소의 외지거나 계기가 설치되지 않은 지역의 순시점검 절차(walk-around procedure)를 이용한다. 이 프로그램의 의도하는 바는 점검 대상 기기들이 설계 온도 범위 안에서 운전되고 있음을 확인하는데 있다. 전형적인 온도 감식 프로그램은 사용자가 기기에 대한 경험이 쌓이면 쉽게 여러 부품으로 확대할 수 있고 또 다른 지역을 감시하는 데에도 이 기술을 사용할 수 있도록 기본적인 것부터 시작한다. 이 기술은 회전기계나 전기기기에 뿐만 아니라 복수기의 공기누설 개소 확인, 배관 누설, 지붕 검사 등등에도 적용할 수 있다. 비정상 기능이나 운전상태가 절대온도 또는 상대온도로 나타나는 어떤 시스템이나 부품도 이 기술의 적용대상이 될 수 있다.

주기적 순회점검을 통하여 어떤 부품이든지 정상온도 상태 밖으로 운전되고 있는 것으로 보이는 것은 열영상(온도 감식도) 사진과 보통사진(디지털이나 필름)으로 기록한다. 이 영상들은 관찰된 위치와 온도 및 적절하다고 생각되는 어떤 의견이 있으면 함께 요약보고서에 첨부한다.

적외선 카메라는 대상 기기 부분의 표면(surface)에 직접 접촉함이 없이 여러 점의 온도를 동시에 측정하기 위해 적외선 감지기(infrared sensors)를 사용한다. 대상물 표면의 온도는 원격으로 측정한다. IRT는 x-ray 기술이 아니다. 이것은 대상물을 관통하여 측정할 수 없다. IRT 검사는 기기가 정상 운전모드에 있으며 부품이 정상

운전 온도에 도달하기에 충분한 운전 시간이 경과한 후에 행하여야 한다.

IRT 데이터는 흔히 온도 감식도(thermogram)라고 부르는 영상 형태로 보여 진다. 열 영상은 실시간으로 분석할 수도 있고 전자적으로 저장되어 나중에 분석할 수도 있다. 열 영상을 분석하여 열 패턴이 정상인가 비정상인가를 판정한다.

전국의 많은 발전소들은 같은 일을 동시에 수행하는 적어도 두개의 기기를 가지는 시스템을 가지고 있다. 이렇게 비슷한 일을 수행하는 구성품(기기나 부품)은 온도 감식자들이 한 부품의 온도 감식도를 비슷한 일을 하는 다른 부품과 비교할 수 있는 이점(advantage)을 안겨준다. 산업계에서는 이런 과정을 비교 온도 감식법(comparative thermography)이라고 부른다. 부품의 특성에 따라 비교 온도감식법으로 정성적 또는 정량적 데이터를 얻을 수 있다.

1. 정성적(Qualitative) 데이터

온도 감식법에서 정성적 데이터는 운전상태의 심각성을 판정하는데 수치적 데이터를 필요로 하지 않는 부품의 경우에 사용한다. 지하에 매설된 주 도수관의 파열이 한 예이다. 주 도수관의 파열은 고장으로서 취할 조치란 배관을 수리하는 것이다. 배관의 상태를 더 진단하기 위하여 절대온도 측정이라든지 주변지역과의 온도차 비교를 기록하는 것과 같은 일은 필요하지 않다. 누설 개소를 표시하는 온도차를 보이는 지역을 찾아내는 것으로 충분하다. 온도나 온도차를 기록하는 것은 위치 확인이나 누설부위 수리와는 아무런 관계가 없다.

2. 정량적(Quantitative) 데이터

정량적 데이터는 기기의 상태의 심각성을 판정하는데 수치적 데이터를 필요로 하는 경우이다. 480VAC 삼상 차단기에서 한상의 차단기가 다른 두 상의 차단기들보다 더 뜨거운 상황에서 수치적 데이터의 판독이 필요한 경우가 그 예이다. 가장 뜨거운 곳이 A상 선로측 연결부라고 가정해 보자. A상 연결부의 온도는 85°F인데 B상과 C상은 둘다 75°F이다. 이런 데이터에서 10°F의 온도차가 계산된다. 이 차단기는 나사로 조여진 주물형(molded case) 차단기이기 때문에 10°F 정도의 온도 상승은 경상 보수(routine maintenance)로 수리할 수 있는 사소한 문제로 간주할 수 있다. 그러나 만일 이 연결부가 다른 두 상에 비하여 100°F 이상 높다면 이것은 심각한 문제로 일주일 이내에 정비되어야만 한다. 또한 이런 온도들은 수리가 완료될 때까지 추세를 관찰하는 것이 바람직하다. 이런 결함을 이에 따른 온도 상승 자료 없이 확인하는

것만으로는 문제의 심각성이나 필요조치를 판단할 수가 없다. 이런 부품의 상태를 판정하는 데에는 수치적 데이터가 필수적이다.

3. 기준 데이터(baseline data)

비교 분석을 하는데 필요한 비슷한 기능의 부품이 없을 때에는 기준 데이터(baseline data)를 기록하는 것이 바람직하다. 기준 데이터는 관찰 부품에 대한 하나의 온도 감식도 또는 여러 개의 온도 감식도를 취하는 방법이다. 그런 다음 차후에 수행되는 검사에서 얻은 온도 감식도를 기준 온도 감식도와 비교하는 것인데 이는 비슷한 기능의 부품이 있는 경우 비슷한 기능의 부품에 대한 온도 감식도와 비교, 분석하는 것과 유사한 방법이다. 다시 말하면 원래의 기준 데이터와의 변동은 정상치 이상의 온도상승으로 기록하는 것이다.

4. 적외선 온도 감식법

적외선 온도 감식법은 전동기나 펌프, 송풍기(fan) 같은 발전소의 주요 회전기기를 주기적으로 점검하는데 쓰인다. 회전기기의 운전 상태를 평가할 때 IRT는 진동 분석, 윤활유 분석, 전동기 전류 시험 등등의 다른 진단 기술과 결합하여 사용하여야 한다.

적외선 온도 감식법은 부품 자체의 시간에 따른 열 패턴들을 비교하는 방법으로 회전기기에 적용할 수 있다. 이것은 또한 부품의 열 패턴을 비슷한 조건에서 운전되고 있는 비슷한 부품의 열 패턴을 비교하는 방법으로 적용할 수 있다. 만일 부품이 시간 경과에 따른 자신과 비교해야 하는 경우에는 그 부품의 기준 열 영상을 확보하는 것이 필요하다. 기준 열 영상 데이터는 부품이 정상 운전 중일 때, 정상적인 기능을 수행하고 있을 때 및 정상 운전 온도에 도달할 수 있도록 충분한 시간을 운전한 후에 취하여야 한다. 기준 데이터를 취할 때는 회로 전류 및 주변 대기 온도 등을 꼭 기록하여야 한다.

5. 발전소의 적외선 온도 감식

적외선 온도 감식법은 전력의 송전 및 배전에 사용되는 기기들의 문제들을 검출하는데 유용한 도구이다. 이 장(section)에서 다루는 기기들은 발전소 스위치 야드, 발전소 변압기 설치 장소 및 배전 변전소 등에서 찾을 수 있다. 부품은 전력용 변압기, 고압 차단기, 단로기 등을 들 수 있다. 이런 기기들은 IRT 프로그램의 일환으로 주기적으로 검사되어야 한다.

일반적으로 IRT가 원자력 발전소에 효율적이라고 입증된 4가지 주요 분야는 아래

와 같다.

- * 전기 기기
- * 회전 기기
- * 성능 분야
- * 옥외 변압기

발전소에서 IRT가 주로 사용되는 곳은 다음을 포함한 전기 기기의 결함을 검출하는데 목적을 둔 주기적 감시이다;

- * 기기 및 케이블의 결함에 의한 과부하
- * 헐거워지거나 노후 또는 부식된 결합부(connections)에 의한 전기 고저항
- * 유도 전류에 의한 열점(hot spots) 발생

기계분야에의 적용은 대부분 다음의 4개 분야로 나누어진다.

- * 마찰에 의한 가열
- * 밸브의 누설 또는 막힘
- * 열 차폐체 건전성
- * 에너지 비용을 증가시키는 건물의 상태

발전소에서 3대 누설 부위는 복수기 전열관 누설, 복수기 진공 누설 및 보일러 케이싱 누설이다. 공기가 복수기로 끌려들어갈 때 공기 누설부위가 차가운 부분으로 표시되며 관찰할 수 있다. 그림 2-7는 증기 방출 밸브(steam discharge valve)의 누설을 보여주는 화면이다.

그림 2-7 증기 방출 밸브(Steam Discharge Valve)



내부 누설(in-leakage)은 밸브 스템(stem) 주위의 밸브 패킹의 열화가 원인이다. 온도 감식도는 공기 내부 누설이 밸브 표면의 일부를 차갑게 한 것을 보여준다. 일반적으로 검사기법은 인력이 많이 소요되는 일이며 밸브 스템, 보닛(bonnets), 플렌지(flanges), 관통부(penetrations) 및 튜브에 대한 세밀한 검사가 필요하다.

IRT 프로그램이 적용되는 다른 기기들은 아래와 같다.

- * 펌프, 송풍기, 전동기 등등 회전기기
- * 전동기 제어반, 차단기 함, 변압기 및 연결단자 등 분전반(load center) 기기

* 스팀 트랩(steam traps), 안전 밸브(relief valve), 복수기, 건물 지붕, 열 차폐체 등 기계적 부품

주변압기나 소내 변압기(station transformer)는 일상 IRT 점검에 포함된 기기이다. 온도 감식을 처음하는 사람으로서는 전기 및 회전기기가 검사하여야 할 첫 번째 분야가 되는 것이 일반적이다. 이런 항목들이 첫 번째 관찰 대상으로 꼽히는 데는 여러 가지 이유가 있다. 하나는 IRT가 가압된(energized) 상태에서 많은 전기적 결함을 검출할 수 있는 가장 좋은 기술(초음파도 이용될 수 있다)이라는 점이다. 또 다른 이유는 대부분의 중요발전소 설비가 전기 기기이거나 회전 기기라는 사실이다.

대부분의 전기 기기는 검사할 가치가 있다. 예외가 있다면 휴전 기기, 저전압 기기, 운전 시 열이 관찰될 만큼 충분히 온도가 올라가지 않는 전동식 밸브(MOV) 등이라든지 충전 시 열면 너무 위험한 전동기 단자함(lead box) 등이다.

대부분의 발전소에는 480VAC 및 4160VAC의 기기들이 매우 많이 있다. 이런 기기들은 분전반(load center)나 전동기 제어반(MCCs; motor control centers) 등에서 흔히 찾아볼 수 있다. 대부분의 경우 전동기 제어반에서는 480VAC 중요등급 및 일반등급 구획(compartment)이 임의대로 배치되어 있다. 따라서 만일 일반등급(non-critical)의 구획이 중요등급(critical) 구획의 바로 옆에서 심하게 파손되면 중요등급 구획의 고장 가능성도 높아지므로 각 구획마다 검사하는 것이 매우 중요하다.

어떤 발전소에서는 안전 정책상 4160VAC의 분전함을 관찰하는 것을 이제는 허용하지 않고 있다. 그러나 이런 분전함에 IRT 검사를 용이하게 할 수 있도록 하는 특수 IRT 검사창을 설치할 수 있다.

회전 기기의 적외선 데이터는 바람직하지 않은 상태를 확인하는데 유용하다. 회전 기기의 바람직하지 않은 상태 중 어떤 것은 적외선 데이터만 가지고도 판정할 수 있는데 공기 필터의 오염으로 인한 전동기 외함(casing)의 과열 등이 그것이다. 그러나 전기적 결함과는 달리 회전기기의 결함 중 많은 것은 상태를 판정하기 위하여 다른 기술들의 도움이 필요하다. 예를 들면 전동기의 베어링이 적외선으로 과열임을 알 수는 있지만 적외선만으로는 베어링의 열화문제인지 윤활유의 열화문제인지 판단을 할 수 없다. 따라서 베어링의 상태를 확인하기 위하여 윤활유 분석도 필요하다.

기본 기기 명세에 IRT 검사를 수행하면서 경험이 쌓이면 IRT가 효율적이 될 수 있는 많은 지역이 있다. 적용 범위의 선정은 각 발전소별 필요에 따라 달라질 것이다. 아주 유용한 분야로 입증된 두 가지 분야는 기기 성능분야(Performance)와 옥외

변전소(switchyard)이다. 기기 성능분야는 밸브, 스팀 트랩, 복수기 및 보일러 등과 같은 기기를 포함한다. 이들 지역은 높은 열 소비율(high heat rate), 높은 용존 산소율(high dissolved oxygen level) 등등 발전소의 열악한 상태에 따라 선정된다. 성능 검사를 준비하려면 검사 방향을 잡기 위한 기지 결함(known deficiency)가 필요하다.

옥외 변전소는 IRT가 매우 유용한 지역으로 입증된 곳이다. 충전된 고압기기에서 결함을 원격으로 검출할 수 있는 것은 오직 IRT 기술뿐이다.

제 3 장 발전소 적외선 감식 적용

제 1 절 서론

적외선 온도 감식법을 이용하여 부하가 걸린 전기기기를 검사하는 것이 아마도 이 기술의 가장 좋은 적용분야일 것이다. 이런 비 삽입식 도구(non-intrusive tool)가 있음으로 전기 정비 작업자가 전기 기기의 상태를 전보다 더 잘 감시할 수 있게 된 것이다. 이런 일이 가능한 것은 IRT 검사는 고압이며 전류가 흐르는 회선에 직접 접촉함이 없이 시행할 수 있기 때문이다. 발전소 전기기기의 검사를 통해 정비에 주의를 기울여야 할 필요가 있는 기기의 정보를 얻을 수 있다.

주기적 IRT 검사시 대상이 되어야 하는 전기 기기들에 대한 일반적인 분류는 아래와 같다.

- * 480V 전동기 제어반(motor control centers)
- * 480V 배전 공급 선로 차단기(substation feed circuit breakers)
- * 4160V 스위치기어(switchgear)
- * 관련 전기 모선 및 모선 관(associated electrical bus and bus ducts)
- * 기타, 중요 전력함 및 구역(Miscellaneous, critical elec. cabinets, etc.)

제 2 절 분야별 적용(Applications)

1. 주물형 외함 차단기

그림 3-1에서 열영상 위에 그려진 원은 주물형 외함 차단기의 선로측의 오른 쪽상(phase)의 과열 접속부(hot connection)를 나타내고 있다. 이에 대한 실제 상태는 그림 3-2에 나와 있다.

차단기는 480V 전동기 제어반 구역에 위치하고 있다. 연결부가 뜨거운 것은 단자점(termination point)에 고저항(high resistance)이 걸려있기 때문이다. 이런 평가는 접속부에 집중된 열을 관찰하여 내려진 결론이다. 이 접속부에서 열이 발산되기 때문에 이 접속부가 열원(heat source)로 확인된 것이다. 헐거워지거나 먼지가 끼거나 부식 또는 산화가 전기 접속부의 고저항(high resistance)을 유발한다. 이 접속부를 검사하고 작업을 한 후 다시 IRT 검사를 수행하여야 한다.

발전소의 절차에 의해 다음 개소에 열점(hot spots)이 있는지 검사한다.

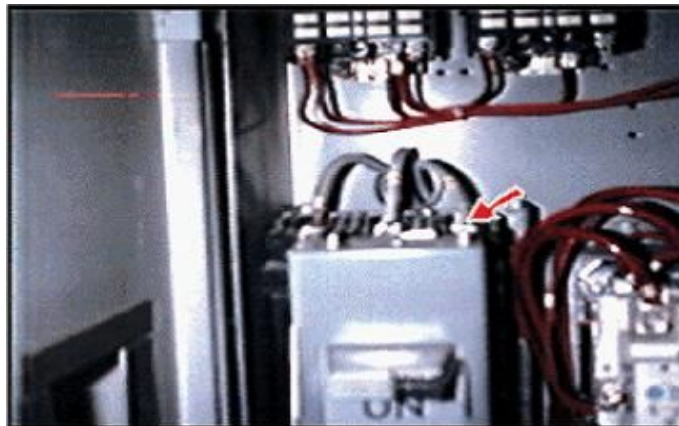
- * 차단기에서 노출되어 접근이 가능한 절연 표면(insulated surface)
- * 차단기 인근의 접근 가능한 모든 표면
- * 선로 및 부하측 단자 접속부

모든 측정치를 기록하고 검출된 열점(hot spots)은 모두 조사한다. 필요하다면 외부 문제의 확인을 위해 차단기 외함(enclosure) 전체를 조사한다.

그림 3-1 주물형 외함 차단기의 열 영상



그림 3-2 주물형 외함 차단기의 실상



2. 교류 유도 전동기(AC induction motor)

교류 유도 전동기의 외부 방향(펌프 연결부 반대 방향) 쪽의 그림이 그림 3-3 및 3-4에 나와 있다.

그림 3-3 교류 유도 전동기의 실상

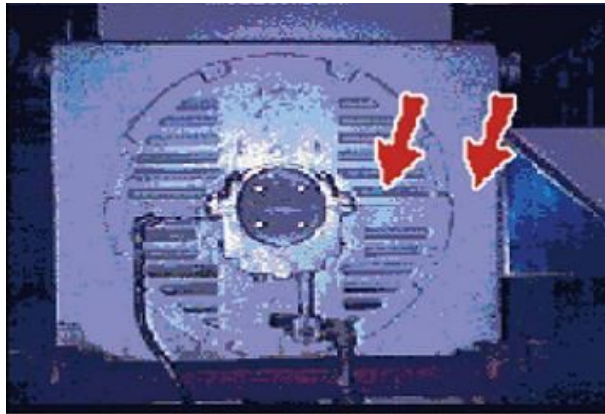
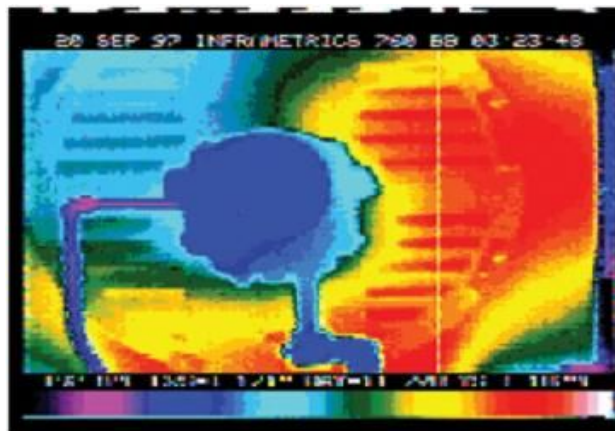


그림 3-4 교류 유도 전동기의 열 영상



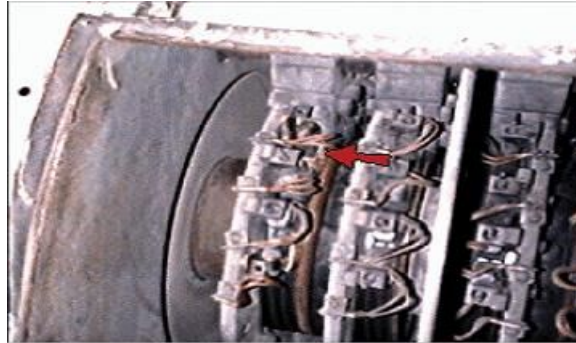
대형 교류 유도전동기의 비정상 상태는 간혹 전동기의 외부 방향(outboard) 표면의 열 패턴을 관찰함으로써 검출할 수 있다. 그림 3-4의 열 영상에서 보이는 것처럼 두개의 징후가 이 전동기의 기능상 문제점이 있음을 보여주고 있다. 첫째 징후는 베어링 주위의 열 패턴이 균일하지 않다는 것이다; 오른쪽이 왼쪽보다 훨씬 뜨겁다. 이래서는 안 된다. 베어링 주변의 온도는 전동기 외부방향 표면의 주위에 걸쳐 전체적으로 균일해야 한다. 둘째 징후는 베어링 표면의 온도가 주변 전동기 표면의 온도보다 낮다는 것이다. 이것도 역시 아니다. 베어링 표면의 온도는 언제나 주변의 전동기 표면보다는 따뜻해야 한다. 이 전동기가 보이는 열 패턴은 전동기 통풍에 문제가 있거나 아니면 전동기 권선에 문제가 있음을 보이는 것이다.

3. 여자기 브러시 구역(Exciter brush compartment)

그림 3-5는 발전기 여자기의 브러시 구역의 실상을 보여주고 있다. 그림 3-6의 열

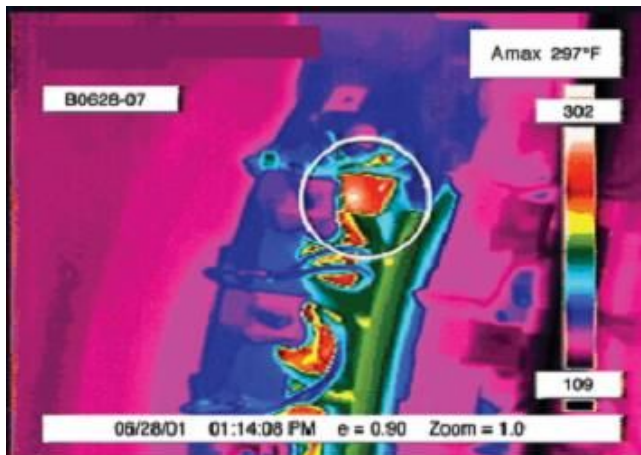
영상은 브러시 접점부(contact)의 온도가 300°F에 근접함을 보여주고 있다.

그림 3-5 여자기의 브러시 구역의 실상



브러시가 여자기 축과의 접촉에서 열이 발생한다고 해도 300°F는 과도하다. 발전기가 계통에서 병해 되었을 때 접촉자(contacts)가 여자기 축과 원활하게 접촉하지 못하는 것이 관찰되었다. 접촉자를 가공하여 축과 적절하게 물리도록 하였다. 발전기가 계통에 병입되었을 때 정비 후 IRT 검사를 시행한 바 그 부분의 온도가 100°F 가까이 떨어졌다.

그림 3-6 여자기 브러시 구역의 열 영상



4. 발전기 축 승압 변압기(Generator step-up transformer)

그림 3-7은 발전단 승압 변압기의 열 영상이다. 이 영상에서는 온도가 250°F로 측정된 변압기 표면의 한 지역을 강조하고 있다. 이에 대한 실상은 그림 3-8에서 보여주고 있다.

해당 지역은 상 격리 모선 덕트(isolated phase bus duct)가 변압기의 저압 부싱

구역으로 들어가는 곳이다. 250°F란 온도는 특히 주변 온도(ambient temperature)가 45°F인 점을 감안하면 너무 높다. 같은 장소의 다른 각도에서 찍은 다른 열 영상이 그림 3-9이다.

그림 3-7 발전단 승압 변압기의 열 영상

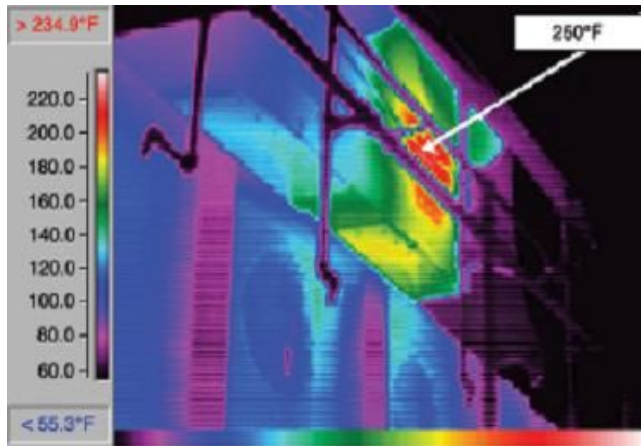


그림 3-8 발전단 승압 변압기의 실상



그림 3-9의 영상은 격리 상 바로 아래에서 찍은 것이다. 그림 3-10의 실상을 자세히 조사해 보면 구역(compartment)의 플랜지에 아마도 내부에서 누유로 인해 생긴 기름 얼룩(stains)이 있음을 알 수 있다.

그림 3-9 발전단 승압변압기의 열 영상(다른 각도에서 촬영)

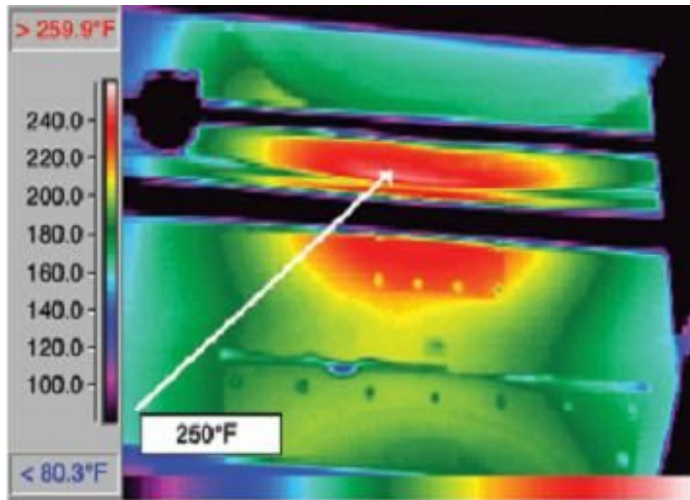
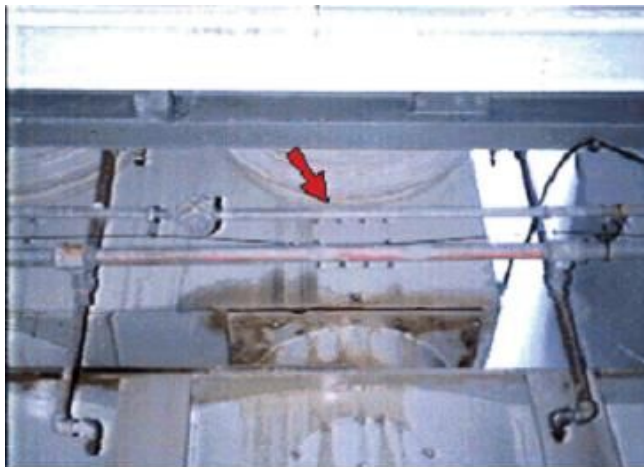


그림 3-10 발전단 승압변압기의 실상(다른 각도에서 촬영)



변압기 하부 부싱(bushing)에서 현저하게 많은 열이 발생하여 이 구역의 표면이 서늘한 날씨에도 불구하고 이렇게 과도한(extreme) 온도까지 올라간 원인이 되고 있다. 이 변압기의 큰 사고를 막기 위해 결국 발전기를 세우기로 결정하였다. 부싱을 조사해 본 결과 부싱과 주변 부분들이 심각한 손상을 견디어내고 있었다. 그 구역 내의 온도는 그 부품들이 녹아내리기 시작하기에 충분할 만큼 뜨거워져 있었다.

5. 주변압기 냉각 팬 모터 결함

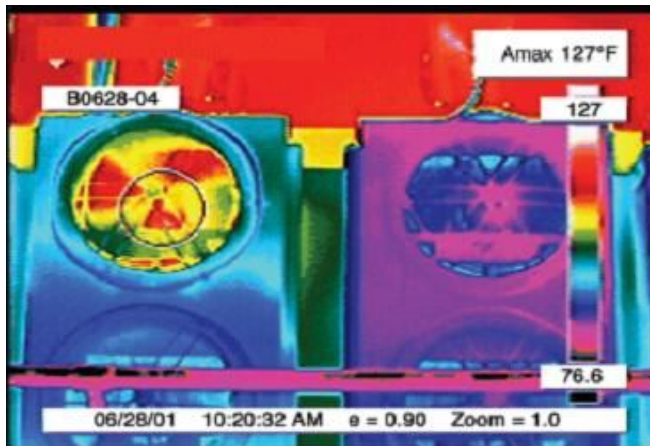
이 변압기에는 그림 3-11 및 3-12에서 보는 바와 같이 5개의 독립 냉각팬 뱅크가

있다.

그림 3-11 변압기 냉각팬의 실상



그림 3-12 변압기 냉각팬의 열 영상



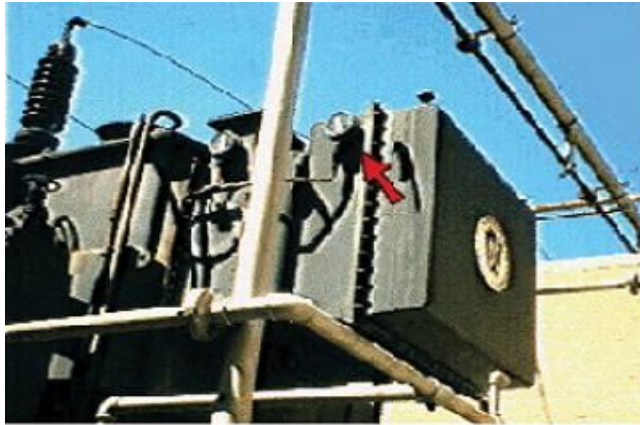
이 팬들은 이 주변압기의 냉각을 담당하고 있다. 각 बैं크별로 3개의 팬이 있어 전체적으로 15개의 팬이 있다. 5개 बैं크 모두가 운전되고 있다. 15개 중 14개의 개별 팬 모터들은 그림 3-12의 열 영상에서 보여주는 오른쪽 팬 모터의 열 패턴과 유사한 열 패턴을 보여주고 있다. 그림 3-12에서 보이는 왼쪽 팬 모터(그림 3-11에서 상부 중앙)는 다른 14개 팬 모터보다 뜨겁다. 열 영상 위에 Amax circle로 표시한 것은 뜨거운 팬 모터의 온도가 127°F로 측정되었음을 나타내고 있다. 냉각 팬 모터의 측정 온도는 약 82°F이다. 온도가 약 45°F 올라간 것으로 계산된다. 육안 검사 결과 뜨거운 팬이 다른 냉각 팬 보다 훨씬 늦게 돌고 있는 것을 볼 수 있다. 사실은 뜨거운 팬은 거의 돌고 있지 않다. 이 팬의 모터가 고장이다. 교체하고 나서 정비 후 시

험의 일환으로 IRT 재검사를 시행하여야 한다.

6. 부하 탭 절체기(Load tap changer)

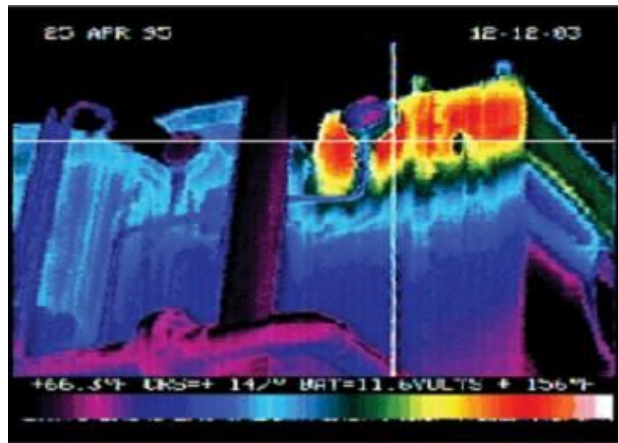
그림 3-13에 보이는 이 변압기의 부하 탭 절체기 구역의 표면은 구역 전체 면과 온도가 일치하여야 한다. 그림 3-14에 보이는 이 탭 절체기 구역의 열 패턴은 분명히 일치하지 않는다.

그림 3-13 변압기 탭 절체기의 실상



열 영상 위에 놓인 조준선은 탭 절체기 구역 상부의 온도가 147°F로 측정되었음을 보여준다. 열의 발생원은 탭 절체기 구역 내부이다. 열 발생원은 표면 온도 147°F보다 훨씬 뜨거울 것임이 틀림없다. 변압기는 운전을 중단했다. 탭 절체기실 내부의 탭 절체 접촉자를 검사하였다. 접촉자를 관찰한 결과 고 저항으로 과도한 열이 발생하는 것으로 판단되었다. 과도한 열은 탭 절체기의 많은 접촉자들이 타거나 산화된 결과이다. 만일 이런 상태가 검출되지 않았다면 변압기 사고로 이어졌을 것이다. 접촉자를 교체한 후에 변압기는 운전을 재개했다. 뜨거웠던 지역의 온도는 72°F로 147°F에서 75°F 내려갔다. 이런 검사를 통해 문제가 해결 되었다는 확신을 하게 되었다.

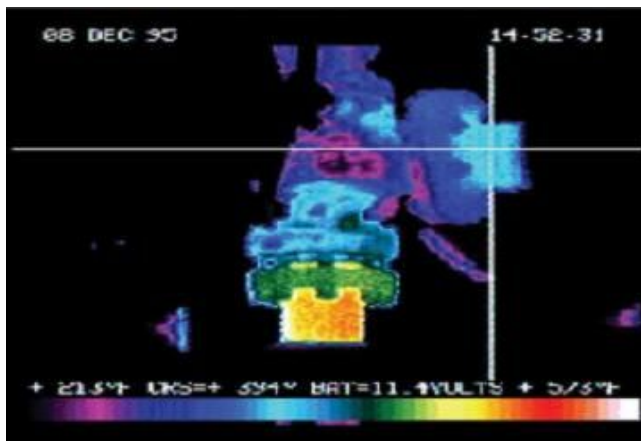
그림 3-14 변압기 탭 절체기의 열 영상



7. 급수 가열기(Feedwater heater)

그림 3-15는 결함이 있는 급수 가열기 안전 밸브의 열 영상이다.

그림 3-15 급수 가열기 방출밸브의 열 영상



결함은 밸브의 급수 가열기 외측(shell side)에 가까운 쪽(밸브 하단부)의 약 500°F의 측정 온도와 열 영상에 조준선으로 표시된 밸브 출구 측정 온도 394°F를 비교하여 판정한다. 밸브 입구와 출구사이의 106°F(500°F-394°F=106°F)라는 적은 온도차와 지극히 뜨거운 출구 온도(394°F)를 함께 고려하면 밸브에서 상당히 많은 증기가 빠져나가고 있다는 것이 거의 확실함을 보여준다. 밸브는 교체되었다. 교체된 새 밸브의 사진이 그림 3-16이다.

그림 3-16 급수 가열기 방출 밸브 교체 후



교체 밸브와 결함 밸브의 온도 비교는 극적(dramatic)이다. 교체 밸브의 열 영상에서 밸브의 급수가열기 외측(shell side) 쪽 온도는 약 450°F이다. 이것을 교체 밸브의 출구 온도 141°F와 비교하면 이 새 밸브의 양단의 온도차는 $300^{\circ}\text{F}(450^{\circ}\text{F}-141^{\circ}\text{F}=309^{\circ}\text{F})$ 가 넘는다. 이 시험 결과 새 밸브의 밸브 시트(seat)가 건전함을 확인할 수 있다. 이외에도 교체 밸브의 열 영상은 PdM 그룹이 이 새 밸브의 시간에 따른 추세 분석의 기준 정보(baseline information)로 활용하게 된다.

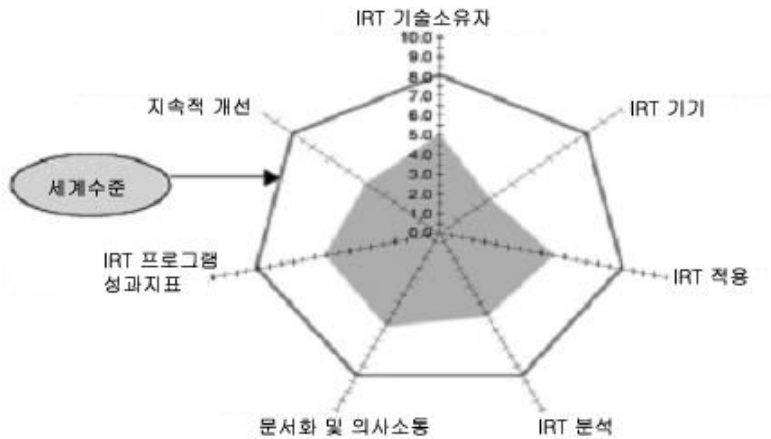
제 4 장 적외선 온도 감식법 시험 평가

제 1 절 적외선 감식 프로그램 평가

전반적인 IRT(Infrared Thermography Testing) 프로그램을 시행하기 위해서는 구체적인 IRT 목표를 달성하도록 설계된 명확하게 규정된 접근방법이 필요하다. 이런 IRT 목표는 가동율, 불시 정지율, 성능(열효율) 등과 같은 발전소의 구체적 목표에 의해 추진되어야 한다. 세월이 흐름에 따라 이런 목표들은 발전소의 운전 모드 및 이전에는 가능하지 않았던 새로운 분야에 적용이 가능해진 기술의 진보 등으로 변화하게 되므로 IRT 프로그램이 현재 수준의 발전소의 목표 및 기술의 진보를 반영하도록 지속적으로 프로그램의 방향을 검토 확인하는 것이 매우 중요하다.

그간에 EPRI는 발전소의 여러 가지 프로그램에 대하여 산업계의 최우수 사례에 대한 발전소의 현 상태를 확인하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 우선예측정비(PdM) 프로그램의 효과를 측정하는 것으로 시작된다. PdM 모델이 성공함에 따라 발전소 정비 최적화(PMO; plant maintenance optimization) 및 다수의 기술 모델(진동, IRT, 윤활유 및 전동기 감시 등)을 포함한 새로운 모델들을 개발할 수 있게 되었다. 각 모델에서는 전문가들이 최우수 사례(best practices) 또는 세계적 수준에 들려면 어떤 활동이 필요한지를 판정하는 항목들을 분류 및 세분류 하게 된다. 결과는 거미줄 도표의 형태로 도표화 되고 제시된다. 거미줄 도표에서 최우수 사례는 세계적 수준으로 간주되고 각각의 항목에 대하여 8등급으로 수치로 표시한다. 그림 4-1은 온전한 IRT 프로그램을 확인하기 위하여 거미줄 도표의 개념을 활용하고 있는 것을 보여주고 있다.

그림 4-1 적외선 온도감식 프로그램 평가



이 도표를 보면 훌륭한 IRT 프로그램을 위하여 전문가들이 판단한 필요사항을 명확히 규정할 수 있다. 따라서 이 거미줄 도표는 IRT 프로그램에서 강점과 약점을 보여줌으로서 지속적으로 IRT 프로그램을 평가하는 수단이 되고 또한 지속적 개선을 위한 안내자 역할을 하고 있다. 이 거미줄 도표는 IRT 프로그램을 정해진 항목에 따라 평가한 사례(음영부분)를 보여주고 있다. 표 4-1에 IRT 주요 항목, 세부 항목 및 이들의 등급 사례가 자세하게 열거되어 있다.

표 4-1 주요 요소 분류

주요 요소: IRT 기술 소지자	점수(point value)
전체 소요시간 - 기대 수준 지원을 위한 적절한 시간	2.00
고등학교 교육	0.50
대학, 직업학교, 기타	0.50
Level I 자격 인증	1.00
Level II 자격 인증	1.00
Level III 자격 인증	1.00
안전성 훈련	1.00
지속적 교육(학회, 사용자 그룹, 기술 논문 작성 등등)	1.00
IRT 기술 소지자 - 역할과 책임의 명확한 규정 및 이해	2.00
합계	10.00

주요 요소: IRT 기기	점수(point value)
작업 수행에 적절한 카메라를 활용하며 필요시 항상 쓸 수 있다	1.00
다음을 생산할 수 있는 보고서 생산 소프트웨어가 있다	
* 기기 명세서	1.00
* 중요도 판정 지침(Severity Guidelines)	1.00
* 기기 상태(운전 중, 정지중 등을 표시하는)	1.00
* 예외 사항 보고서(Exception Page)	1.00
보고서 생산, 영상 보기 등등 필요시 컴퓨터를 활용할 수 있다	1.00
보고서 및 영상자료를 효과적으로 완성할 수단이 있다	1.00
효과적인 카메라 이용기술이 활용되고 있다	1.00
필요시 영상 보기 카메라를 사용할 수 있다.	0.50
회사의 표준이 있으며 이를 따르고 있다	1.00
카메라의 권고된 교정주기를 따르고 있다	0.50
합계	10.00

주요 요소: 적용(Application)	점수(point value)
초기 IRT 프로그램(착수)	1.00
IRT 프로그램에 관여하거나 지원하는 발전소 내 다른 기능들 (즉, 성능 엔지니어링, 운전, 정비 등등)	1.00
다음 분야에 효과적으로 활용	
* 전기	1.00
* 회전기기/기계 기기	1.00
* 성능 확인(performance)	1.00
* 옥외 변전소(switchyard)	1.00
* 기타 선진적인 적용	1.00
대상기기 명세 및 순시로 개발에 대한 적절한 선정 방법 적용	1.00
효과적인 사후관리(정비 후 시험, PAM 등등)	1.00
주기적 현장 순시 정착	1.00
이전 OOS(out of servic) 기기가 다음번 현장 순시에 점검을 위해 운전 중에 있을 수 있도록 이전 보고서를 검토	1.00
합계	11.00

주요 요소: 지속적인 개선(Continuous Improvement)	점수(point value)
적절한 기기에 대하여 근본원인 분석이 효과적으로 수행되고 있다	2.00
E&CI 매트릭스(matrix)가 유지관리 되고 있다	1.00
새로운 분야에 추가 적용이 효과적으로 추진되고 있다	1.00
개선을 위하여 프로그램이 효과적으로 평가되고 있다	1.00
학술발표 회의나 사용자 그룹 활동에 참여하고 있다	1.00
선진 기술훈련을 받는다	1.00
정비 부서로부터 지속적인 피드백	2.00
사업체 운전경험의 활용	1.00
합계	10.00

주요 요소: 분석(Analysis)	점수(point value)
모든 적용분야에서 기본 중요도 판정 지침을 이해한다	2.00
IR 진단을 적절하게 수행한다	2.00
효과적인 분석 프로세스	1.00
정비 결정에 영향을 발휘할 수 있는 능력 및 의지	1.00
기기상태 판정을 더 잘하기 위해 발전소의 다른 직원들과 협의 및 다른 기술에 의한 징후를 활용	1.00
기기 상태를 발전소 해당 직원들에게 효과적으로 전달	1.00
한 기기의 상태 및 발전소 생산에 미치는 영향을 평가하는데 도움을 얻기 위해 경험을 활용하고 있다	2.00
합계	10.00

주요 요소: 자료작성/ 통신(documentation/communication)	점수(point value)
자료 작성 프로그램 절차서 및 지침(TAD, MAG 등)	1.00
E&CI 매트릭스가 개발되어 사용되고 있다	1.00
다음과 같은 보고서 생산;	
* 기기 명세	1.00
* 중요도 판정 지침(Severity Guidelines)	1.00
* 영상물/Images)	1.00
* 권고사항(Recommendations)	1.00
* 기기 상태 보고서(운전 증인지 아닌지에 대한)	1.00
지속적인 프로그램의 개선을 위한 기기 이력을 제공하고 기록을 유지하고 있다(PAM, 등등)	1.00
기기상태 보고서 및 기타 통신 메카니즘을 정기적으로 수정 보완 한다	2.00
합계	10.00

주요 요소: 매트릭스(Metrics)	점수(point value)
IRT 프로그램 원가가 계산됨	2.00
비용-편익 계산을 효과적으로 수행	2.00
프로그램의 효과를 확인하기 위한 매트릭스 선정	2.00
투자 수익률 계산을 효과적으로 수행	2.00
IRT 프로그램의 매트릭스를 효과적으로 추적	2.00
합계	10.00

제 2 절 발전소 열화상 진단 절차

1. 예측정비 열화상 진단 대상기기 및 주기선정

- 예방정비프로그램 및 예측정비프로그램에 따라 열화상 진단 대상기기 및 점검 주기를 선정한다.
- 예측정비 열화상 담당자는 관리 효율화와 정확한 분석을 위해 대상기기 목록 및 주기를 작성한다. 다음의 표 4-2는 주기별 대상기기 개수를 나타낸다.

표 4-2. 주기별 대상기기 수량(영광1발전소)

기준 : 12.11.22

기간	1M	3M	6M	1Y	1F(18M)	계
열화상	0	18	269	141	0	428

- 예방정비기준에 따라 예측정비 대상기기로 선정된 기기 중 설치상황에 따라 해당 직무를 수행할 수 없는 경우 예측정비 분야별 담당자는 기기엔지니어(또는 시스템엔지니어)에게 통보하고 대상기기목록에 그 사유를 기록하여 관리한다.
- 기기엔지니어(또는 시스템엔지니어)는 해당 직무를 수행할 수 없는 대상기기의 예방정비 프로그램 적정성 및 변경 필요여부를 검토하고 예방정비 프로그램 변경이 필요한 경우 해당 절차에 따라 변경한다.
- 담당 기기엔지니어(또는 시스템엔지니어)는 발전소의 기기 특성을 고려하여 대상기기 및 점검주기 변경을 요청할 수 있다. 이 때 예측정비 열화상 담당자의 의견을 청취한다.

2. 열화상 진단 상태등급 기준값(경계값 및 제한값) 설정

- 예측정비 열화상 담당자는 아래 정보를 참조하여 열화상 상태등급 기준 설정표를 작성한다.
 - 통합예측정비시스템 공급업체에서 제공한 기준정보
 - 열화상 상태등급 기준설정 참고자료(붙임 7.4)
 - 해외원자력 기관(EPRI 등)의 기술정보
 - 공급자(제작자) 매뉴얼
 - 발전소 지침 및 기기이력
 - 기기엔지니어(또는 시스템엔지니어) 제공 정보
 - 외부 열화상 전문가 및 공급(제작)업체 별도 권고사항
 - 전기적인 접속부위로 3상 회로로 구성되어 있는 경우 다른 상의 온도를 기준 온도로 결정(최소 온도 또는 평균 온도)
 - 초기 기준온도는 열화상 온도 측정결과와 기타 자료를 근거로 설정하고 이력이 쌓이면 기준온도를 변경하고 최적화해야 함
- 기기엔지니어(또는 시스템엔지니어)는 예측정비 열화상 담당자가 설정한 경계값 및 제한값을 검토하고 필요시 의견을 제출한다.
- 예측정비 열화상 담당자는 설정된 열화상 등급기준을 기록 관리하고 설정값 선정의 근거를 표시한다.

3. 통합예측진단시스템의 열화상측정 데이터베이스 작성

- 예측정비 열화상 담당자는 통합예측정비시스템의 RBMWizard 프로그램을 사용하여 열화상진단 관련 데이터베이스를 작성한다.
- 통합예측정비시스템의 열화상 진단 데이터베이스에는 다음의 정보를 포함한다.
 - 열화상진단 대상기기 명 및 번호
 - 열화상진단 대상기기의 각종 사양
 - 열화상 촬영부위
- 통합예측정비시스템 Data Base Setup의 Tree Structure 기능을 사용하여 입력한 데이터베이스의 측정위치와 각종 기기자료가 정확한지 확인 및 수정한다.
- 통합예측정비시스템의 경로관리(Route Management) 기능을 사용하여 지역별 및 주기별 열화상촬영 경로를 작성한다.

4. 열화상 촬영 및 결과입력

- 예측정비 열화상 담당자 또는 일반수행자는 예측정비 열화상촬영 전에 오더처리 절차에 따라 예방정비 작업오더를 승인 받은 후 기기의 운전상태를 확인한다.
- 통합예측정비시스템에서 열화상측정 대상기기의 Route를 자료이동(Data Transfer)의 IR File Transfer 기능을 이용하여 열화상촬영 장비로 이동 시킨다.
- 열화상촬영 장비로 이동 저장된 Route에 따라 기기별 촬영 위치를 선택하여 열화상과 실물사진을 촬영한다.
- 정비부서는 다음의 열화상진단 가이드라인을 참조하여 열화상 촬영 전에 대상 기기에 대한 방사율을 설정한다.
 - 운전 중인 기기나 가압된 전기설비에 대하여 측정한다.
 - 정지중이거나 가압되지 않은 설비에 대해서는 측정하지 아니한다.
 - 회전기기의 경우 가능한 진동측정과 동일한 시기에 열화상을 취득한다.

열화상진단 가이드라인

I. 열화상진단 일반사항

가. 회전기기 측정항목

1) 기계설비 점검항목

- 베어링
- 기어
- 벨트
- 커플링
- 환기장치 입, 출구
- 케이싱
 - 동일 운전조건에서 유사기기와 상호 비교평가
 - 기준값과 상호 비교 평가
 - 권선온도가 기준치보다 10℃ 이상 높을 경우 전동기 수명 1/2감소
- 베어링
 - 베어링 온도를 기준값과 상호 비교 평가
 - 유사 기기와 비교 평가하여 베어링의 온도 평가
 - 온도가 높으면 축 정렬 및 발란싱 상태 점검

- 브러쉬
- 내부 권선 단락 및 단선 점검

2) 전동기 점검항목

- 베어링
- 전동기 외함
- 접속함
- 냉각설비

나. 회전기기 점검 포인트

- 1) 운전 중이거나 기기 정지 후 15분 이내에 점검 한다
- 2) 일반적으로 베어링 온도는 케이싱보다 5 ~ 20°F 높다
- 3) 베어링 윤활
 - 과도한 윤활유 주입은 베어링의 온도를 상승시킴
 - 높은 점성의 윤활유는 낮은 점성의 윤활유보다 많은 열을 발생시킴
 - 베어링 초기고장의 원인은 과도한 윤활유 주입에서 기인함
 - 일반적으로 윤활유가 공급된 베어링은 250°F까지 운전 가능함
- 4) 열 발생원
 - 전기 히터(복사열), 공기 가열기(대류)
 - 태양열, 마찰
 - 고온유체
 - 진동/초음파
 - 화학반응, 지열

다. 전기설비 측정

- 1) 전기패널 점검항목
 - 외관 점검(변색, 냄새 등)
 - 접속부위 (단자대, 고정 볼트 등)
 - 구성품 (Relay, Transformer, Fuse, Cable 등)
- 2) 전력용변압기 및 주발전기 점검항목

- 고압 붓싱 접속 금구류
- GIB 붓싱 연결단자
- AC BUS 접속개소
- DC BUS 접속개소
- P-BAR BUS 연결부위 등

3) 전기설비 점검 포인트

- 전기설비는 대부분 고장 전에 전류의 자승(I^2R)에 비례하는 열을 발생한다.
- 기기 고장이 진전될수록 저항은 증가되고, 더 많은 열이 발생한다.
- 열 발생원인
 - 저항증가
 - 과부하
 - 와전류(Eddy Current)
- 고장별 유형
 - 결선불량
 - 접속부위 풀림 또는 조임 불량
 - 오염
 - 부식
 - 부적절한 접속방법
 - 부적절한 자재사용
 - 설치불량

4) 측정자가 알아야 할 사항

- 건물구조
- 전기계통
- 기기의 운전상태
- 전기안전 수칙
- 보조자
- 패널 여는 방법
- 비상시 대처요령

5) 측정 수행시 유의사항

- 정상 부하운전 중에 수행

6) 열화상 장비를 이용한 전기적 결함 검출

- 결선 불량(약 95%)
- 회로 또는 기기 과부하(전체적으로 과열)
- 회로 단락(과냉각)
- 부하/상 불평형(상별로 다른 온도 지시)
- 유도전류(와전류)에 의한 과열
- 부적절한 결선 자재(Improper Sized Fittings) 사용
- 변압기 냉각핀(Cooling Fin) 고장
- 슬립링, 정류기 접촉저항 증가

II. 열화상진단 분석기법

가. 정성적 분석기법

1) 형상(Signature)

열 분포의 패턴과 형상은 어떠한가를 관찰한다.

2) 좌우대칭(Symmetry)

열 분포 및 형태가 좌우 대칭을 이루고 있는지 관찰한다.

3) 비교(Comparison)

주변 혹은 정상적인 부위가 비교하여 특별한 온도변화가 존재하는가를 관찰한다.

4) 대비(Contrast)

온도의 변화비 즉 화상의 밝기 변화율이 급격한가 아니면 완만한가를 관찰한다.

5) 변화(Change)

일정한 온도 부위에서 특정부위의 온도 변화부위가 있는지 관찰한다.

나. 정량적 분석기법

1) 바른 방사율값 결정

- 초기 설정치 0.85 ~ 0.90 값을 선정하는 방법
(동일 물체 온도 측정시 동일 방사율값을 선택하여야 함)
- 제작사에서 공급하는 방사율표를 이용하는 방법
- 접촉식 온도계를 이용하여 온도측정 후 열화상 측정시 동일온도 값이 나오도록 방사율 값을 변화해 가면서 방사율값을 선택하는 방법

2) 정량적 측정오류를 일으키는 요인

- 바르지 못한 방사율값 선택
- 습기에 의한 영향
- 태양 빛의 반사
- 기타 에너지 (반사에너지, 주변 배경온도, 조명 등)

Ⅲ. 열화상진단 가이드라인

가. 전선

전선 및 연결부를 점검하는 경우 다른 상(Phase)간 및 전선간 온도차를 비교한다.

1) 상(Phase) 비교

부하의 불균형으로 인한 한 상에서 고온/저온이 나타날 수 있다. 3상 전동기 부하는 상간 균형이 유지되어야 하나, 전등 및 단상부하는 불균형이 발생 할 수 있다.

2) 부러진 가닥

가닥의 파손은 일반적으로 전선의 구부러진 부위의 지지부에 고온부로 나타날 수 있다.

3) 나선형 열 발생

열이 나선형으로 나타나는 부위는 과도한 산화나 연결 불량에 있는 가닥선 부위에 나타나고 가닥선 사이에 불균형을 유발한다.

4) 평행 전원공급선의 저온전선

평행 전원공급선의 전선이 저온현상이 나타나면 저온선의 문제를 의미하며, 다른 전선에서 과도한 전류를 유발한다.

5) 전선 과부하

전선 전체적으로 고온현상이 나타나며 전류 측정에 의해 확인된다.

6) 접속부, 연결부

- 동(copper)과 알루미늄이 연결되는 부위는 고온이 발생한다.
- 꼬아서 연결된 부위나 러그연결부는 도체보다 온도가 높으면 안된다.

나. 액체충전 변압기(오일 또는 수 냉각)

1) 변압기 부상

- 변압기의 모든 부싱은 동일 온도를 나타내야 한다.
- 부싱 상부의 고온부는 연결 불량을 의미한다.
- 변압기 내부문제는 변압기 근처의 부싱 하부에서 나타난다.
- 부싱 전체가 고온을 나타내거나 중간 부위에 고온부가 나타나면 부싱불량을 의미한다.

2) 라디에이터(오일 충전 변압기)

공기순환, 부하 및 주위온도 영향을 제외하면 모든 라디에이터 핀에서 유사한 형태의 점진적인 열화상을 나타내야 한다.

3) 기타 온도상승 요인

- 저 유위가 확인되면 충유 후에 재 측정한다.
- 오일 유량 막힘 현상이 발생하면 한 개 이상의 냉각핀이 저온현상을 나타내지만 저 부하 운전상태인 경우 허용범위로 판단한다.

다. 건식 변압기(공기냉각 또는 아스팔트 충전)

- 1) 2차측 버스에서의 고온부는 단락을 의미한다.
- 2) 1차측 버스는 일반적으로 변압기 하부로 연결되고, 관형이다.
- 3) 권선들을 비교하여 온도차가 발생하면 부하불균형이 존재할 수 있다.
권선에서의 고온부는 단락 또는 재질불량을 의미한다.

라. 저항

저항은 일반적으로 고온을 나타낸다.

- 1) 전기기기의 저항
저항조절기, 전력저항, 저-전력저항 등이 있다.
- 2) 스위치기어의 가열기, 버스덕트, 외부제어함 등도 저항을 이용한다.

마. 커패시터

동일 정격(KVAR)의 가압 커패시터는 동일한 온도를 나타내야 한다.
동일한 형태의 고온발생은 정상이다.

- 1) 다음의 경우 문제점으로 고려될 수 있다.
 - 유사 커패시터 사이의 높은 온도차

- 부풀어 오르거나 누설이 발생
- 저온현상(퓨즈소손 및 불량)
- 커패시터 표면의 제한된 고온현상

바. 코일

가압된 코일은 표면 전체에서 열을 발생한다. 결함 코일은 열화상에서 어둡거나 저온으로 나타난다.

사. 회로 삽입장치

- 1) 스위치에서 발생하는 대부분의 결함은 접점 부위에 제한적으로 나타난다.
연결된 스위치에서 고온부는 마모 또는 접촉 불량을 의미한다.
- 2) 대부분의 퓨즈 문제는 느슨한 기계적 클립장치, 부식 또는 산화된 접점 또는 내부 접촉불량 등이다.

아. 차단기(공기식, 유중, 진공식 등)

- 1) 차단기에서 고온으로 나타나는 대부분의 결함은 느슨한 부식 또는 산화된 접점 또는 내부 접촉불량, 불량 제어회로 또는 결함 부싱 등이다.
- 2) MCC 큐비클에서의 열화상 측정은 on 위치에서 수행되어야 한다.
(단순히 열화상 측정을 위해서 on 으로 위치를 변경해서는 않된다.)
- 3) 적절한 보호장구를 착용하여야 한다.

자. 표면 접촉 콘덕터

- 1) 일반적으로 표면접촉 콘덕터는 직류, 교류 전동기 상의 슬립링, 정류기, 브러쉬 리깅을 포함한다.
- 2) 대부분의 문제는 저항의 의해 발생하고, 고온보다 저온으로 나타난다.

차. 전동기(유도, 동기, 직류)

고온을 유발하는 대부분의 전동기 문제는 “T”box 불량이나 외부연결부 불량, 결함로터 및 베어링 결함, 냉각배기 막힘 등이다.

카. 연속전지

부하시험 중 또는 실제 부하조건에서 점검한다. 연속전지 뱅크에서의 열 발생 형태를 점검한다. 접속부의 고온부는 연결 불량을 의미한다.

타. 마찰열

- 1) 마찰 관련 문제점 분석은 다른 예측정비기술(윤활유, 진동)이 더 유용하다.
- 2) 열화상 점검은 보조수단으로 활용할 수 있다.
- 3) 베어링은 표면온도를 측정하고 유사 베어링 유형을 비교한다.

파. 밸브

- 1) 열화상 측정시 밸브시트를 통한 누설을 확인한다.
- 2) 밸브 양단의 배관온도를 비교한다.
- 3) 반사가 측정값에 막대한 영향을 준다.
- 4) 밸브시트영역에 전반에 온도구배가 발생할 수 있다.
- 5) 안착된 상태의 닫힌 밸브는 시트영역에 걸쳐 온도구배가 나타나야 한다.

하. 기타

일반적으로 대상표면에서 온도차를 발생시키는 현상은 열화상을 적용할 수 있다.

- 1) 지붕 누설감지
- 2) 복수기 내부 누설감지
- 3) 열교환기 및 복수기 튜브 누설감지
- 4) 탱크 및 응축조 등의 비절연 저장용기의 수위감지
- 5) 격납용기 살수배관의 유량감지
- 6) 증기트랩의 누설감지

이러한 기술들은 특수한 기술과 방법을 필요로 하며, 이에 따라 다양한 결과를 나타낸다.

- 예측정비 열화상 담당자는 필요시 측정 작업에 참여하여 정확한 측정이 이루어지도록 관리한다.
- 아래 사항을 고려하여 동일기기, 동일조건에서 비교될 수 있도록 한다.

- 측정부분의 방사율 값을 동일하게 설정
 - 측정표면은 동일 부위에 설정
 - 측정되는 상(Phase)은 장비로부터 동일거리에서 측정
 - 실내조명으로 인한 반사영향이 최소화되는 지점에서 측정
 - 온/습도를 기록지에 기록(실외 측정시 날씨 추가)
 - 열화상 스캔으로 설비 전체를 확인하고 관리 대상 부위를 열화상 촬영하여 관리
 - 설비의 크기가 작아 열화상 카메라로 한 화면에 촬영 가능한 경우 전체 촬영
 - 설비의 크기가 커서 부분별로 열화상을 찍어야 할 경우 이상 부위 및 고장 가능성이 많은 부위, 추이분석이 필요한 부위를 선정
- 열화상 촬영시 반드시 육안점검을 통해 변색여부를 확인하고, 이음 및 이항 여부를 점검한다.
 - 열화상의 정확도를 위해 다음 사항을 고려하여 촬영한다.
 - 정확한 초점(Focus)
 - 측정범위(range)
 - 측정거리
 - 태양열의 영향
 - 바람에 의한 냉각
 - 방사율
 - 측정자의 교정, 설정에 따른 측정지역범위
 - Route에 따라 측정한 데이터는 저장기능을 이용하여 장비에 저장하고 측정이 완료된 기기의 측정 포인트는 √이 표시된다.
 - 현장기기의 열화상 촬영을 완료한 후 휴대용 열화상촬영 장비에 저장된 데이터는 통합예측정비 시스템의 자료이동(Data Transfer) 프로그램을 사용하여 통합예측정비 시스템의 데이터베이스로 저장한다.
 - 예측정비 열화상 일반수행자는 휴대용 열화상촬영 장비로 열화상을 촬영하면서 기기의 온도가 정상범위를 벗어날 경우 예측정비 열화상 담당자에게 이상내용을 통보한다.
 - 예방정비프로그램에 의하지 않고 설비 성능 확인을 위한 예측정비를 수행하고자 하는 경우는 정비부서나 엔지니어링 부서에서 통지를 발행하여 예측정비 담당자가 수행하도록 한다.

5. 열화상분석

- 예측정비 열화상 담당자는 다음의 경우 열화상진단 가이드라인을 참고하고 통합예측정비시스템의 열화상분석 프로그램(Infrared Analysis)을 사용하여 열화상분석을 수행한다.
 - 열화상촬영 결과가 경계값, 제한값을 초과하는 경우
 - 기기엔지니어(또는 시스템엔지니어) 요청에 의한 지원
 - 예측정비 열화상 담당자가 필요하다고 인정되는 경우
- 열화상 화면구성 시 온도 형태와 절대/상대 온도에 따른 분석을 통하여 보다 많은 정보를 분석할 수 있도록 한다.
- 예측정비 열화상 담당자는 다음 사항을 고려하여 분석을 수행한다.
 - 각 부하상태를 고려하여 단계별 온도를 비교한다.
 - 유사한 부하조건인 유사 기기를 비교한다.
 - 각 부하조건을 고려하여 과거 측정된 열화상과 비교한다.
- 최고온도/최저온도 지점을 확인한다.
 - 연결부에 나타나는 고온현상은 부러진 가닥선 및 러그, 느슨해진 연결부, 부적절한 단자크기, 작업불량 납땜연결부가 있음을 의미한다.
 - 전선에서의 열 무늬는 전선의 문제를 의미한다. 중간부위에 나타나면 부러진 가닥선을 의미하고, 끝 부위에 나타나면 연결부 불량 및 연결된 기기의 문제점을 의미한다.
 - 부하를 고려한 비교점검에서 하나 이상의 병렬 공급선이 고온을 나타내면, 상대적으로 낮은 온도의 공급선은 문제로 인해 낮은 전류가 흐르고, 다른 공급선에서 정상보다 높은 전류 흐름을 유발한다.
- 낮은 부하에서 운전되는 기기는 명판상의 정격부하 조건에서 보정하여 분석한다.
보정 온도차 = 측정 온도차 * (정격부하전류 / 측정시 부하전류)²
설계/예상 최대전류를 알고 있다면 정격전류 대신 이를 적용한다.
- 기기의 예상온도범위를 참조하여 기기의 건전성을 확인한다.

6. 열화상분석 결과평가(등급부여)

- 예측정비 열화상 담당자는 열화상분석 결과 각 등급기준을 초과하는지, 특이한 추세가 나타나는지 확인한다.

- 예측정비 열화상진단 상태등급은 표 4-3의 “예측정비 열화상진단 상태등급 분류 기준표”에 따라 등급을 부여한다.

표 4-3 예측정비 열화상진단 상태등급 분류 기준표

등급	상태 기준
Green (양호)	- 감시변수 및 분석결과가 정상
White (감시)	- 성능기준값을 초과하지 않았으나, 감시를 요하는 추세(증가, 감소)가 발견되는 기기
Yellow (주의)	- 정상운전 범위(경계값) 초과 또는 비정상적 추세 - 조치계획이 필요하거나 감시주기 단축 필요
Red (조치)	- 조치 허용범위 또는 제한범위(제한값) 초과 - 즉시 조치 필요

- 예측정비 열화상 담당자는 주의(Yellow) 및 조치(Red) 등급 도달 또는 초과할 경우 운영개선 통지를 발행하고 해당 기기엔지니어 및 시스템엔지니어에게 통보한다.

7. 기기 상태평가

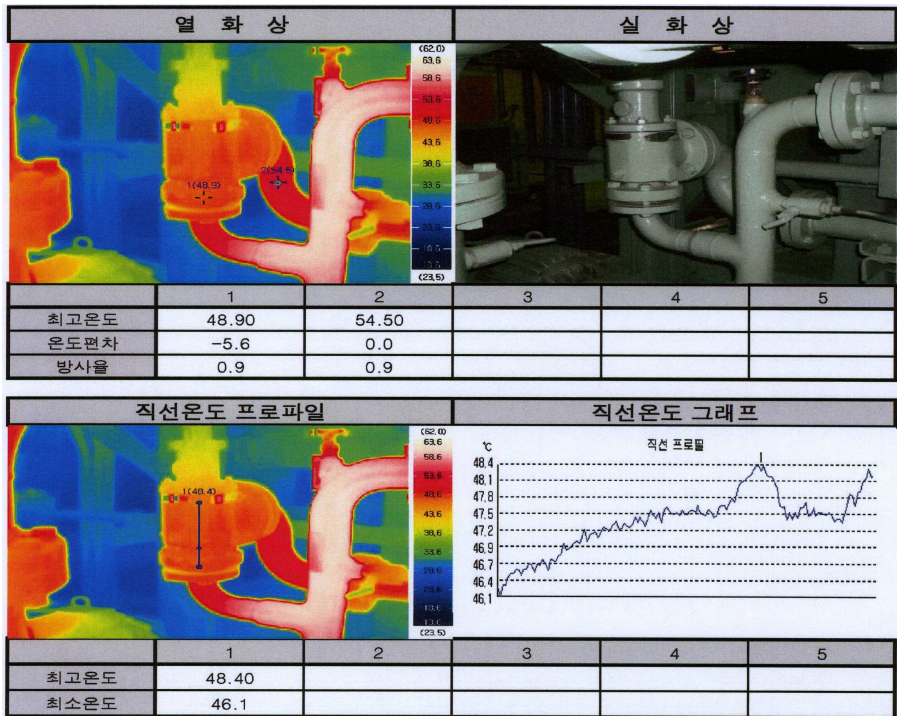
- 예측정비 열화상 담당자는 열화상진단의 결과 “Red/Yellow”로 결정된 기기에 대해서는 예측정비프로그램에 따라 예측정비 분석보고서 (열화상진단)를 작성한다.
- 예측정비 열화상 담당자는 진동, 윤활유, 초음파 등 필요한 다른 기법을 적용한 결과를 확인한다.
- 예측정비 열화상 담당자는 운전상태 등을 참고하여 상태평가를 수행한다.
- 작업이 필요한 사항에 대한 작업결과/진행사항을 포함하여 표준기행 정비-16 예측정비프로그램에 따라 예측정비 분석보고서(열화상진단)를 작성한다.
- 기기문제점으로 평가되는 경우 기기엔지니어(또는 시스템엔지니어)가 주관하는 원인분석 및 조치계획 수립에 참여하여 열화상 분석을 수행한다.
- 예측정비 분석보고서는 운영개선(CAP) 통지에 첨부하여 관리한다.
- 기기별 예측정비 결과는 통합예측정비 시스템에 데이터베이스 형태로 관리하며, 기기 및 시스템엔지니어가 접근 가능하도록 한다.

제 3 절 발전소 열화상 진단 점검 결과

1. 펌프 열화상 진단

영광 1호기 비상디젤발전기 Lube Oil Keep Warm 펌프의 출구압력이 1.1kg/cm² 로 저하되어(정상상태 1.7kg/cm²) Leak 부위를 열화상카메라를 사용하여 측정하였다. 두 대의 펌프측 각각 Relief Valve측정결과 11.1℃의 온도차가 발생하여 압력이 저하된 펌프의 Relief Valve Seal를 교체하였다.

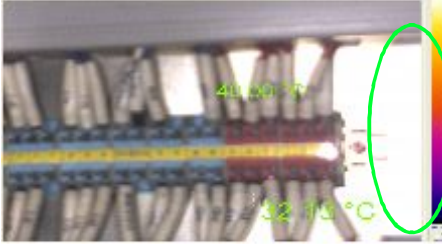

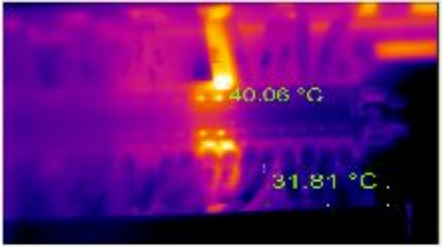
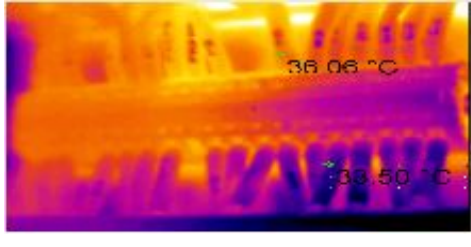
그림 4-2 누설부위 촬영 사진



2. 제어반 단자대

열화상 진단 주기 점검 중 제어반 단자대에서 이상고온(39~40.1℃)이 발생됨을 발견하였고, 원인 분석 결과 터미널 고정볼트 조임상태 불량으로 나타났다. 열이 발생한 단자와 주변 단자간 온도차이는 5~7℃임을 알수 있었다. 고정볼트를 증가하여 체결하고 추가 열화상 진단 결과 단자와 주변 단자 간 온도차이는 1℃ 정도로 나타났다.

그림 4-3 단자대 촬영 사진

	초기 열화상 측정	조치후 열화상 측정
실영상		
열화상		

3. 주변압기

변압기 B상(Main TR XFMR B-PHASE)에 대한 열화상분석 점검 수행중 Oil Cooling Fan #5 그룹 전자접촉기(Magnetic Contactor) 온도가 인접한 동일 기기에 비해 상승함을 발견하였다. 열화상으로 측정한 Oil Cooling Fan #5의 전자접촉기(Magnetic Contactor) 온도는 84.2°C(Oil Cooling Fan #4의 전자접촉기(Magnetic Contactor) 온도는 52.4°C)로 전자접촉기(Magnetic Contactor) 내부 접촉불량으로 인한 온도상승으로 판단되었다. 정상기기에 비해 약 32°C 과열온도 발생으로 Yellow 등급으로 분류하고, 정비부서(전기팀)에 구두 통보 후, 정비오더 발행 후 조치하였다.

그림 4-4 주변압기 Control Panel 내부 실영상

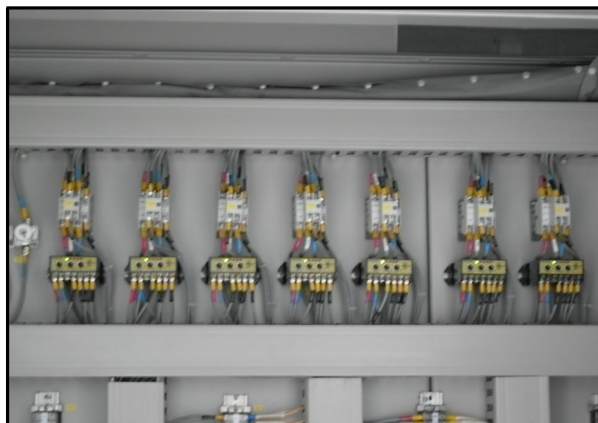
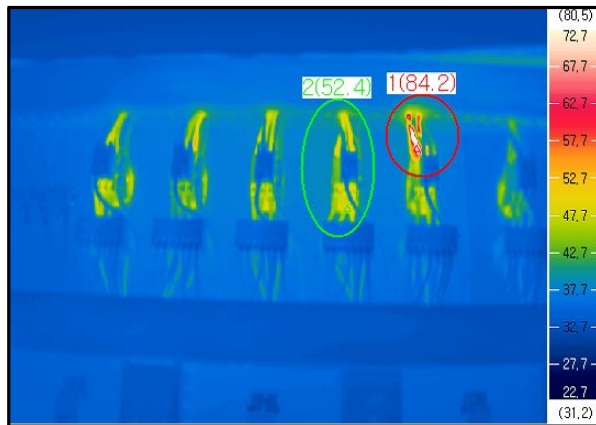


그림 4-5 주변압기 Control Panel 내부 열화상 영상



제 5 장 열화상 진단 방법의 개선

영광원자력발전소 1,2호기 열화상측정을 수행하고 있지 않은 설비에 대한 기술적 검토 및 수행방안 검토하였다. 다음은 대상 설비이다.

- 고압스위치기어 ○ 저압 스위치기어 ○ 로드센터 변압기

1. 예방정비기준(PMT) 열화상분석 직무

가. 고압스위치기어(SGHV)

1) 주기

- Critical : 6개월
- Minor : 1년

2) 촬영 부위

- 스위치기어 구성품, 큐비클, 모션부, 부츠, 케이블 접합부
- CT 및 결선회로
- 제어회로

나. 저압스위치기어(SGLV)

1) 주기

- Critical : 6개월
- Minor : 1년

2) 촬영 부위

- 스위치기어 구성품, 큐비클, 모션부, 부츠, 케이블 접합부
- CT 및 결선회로
- 제어회로

다.. 로드센터 변압기(TRSB)

1) 주기

- Critical & Minor : 6개월

2) 촬영 부위

- 변압기 본체
- 전기적 접속부

2. 열화상촬영 미수행 사유 검토

가. 고압스위치기어

1) 미수행 사유

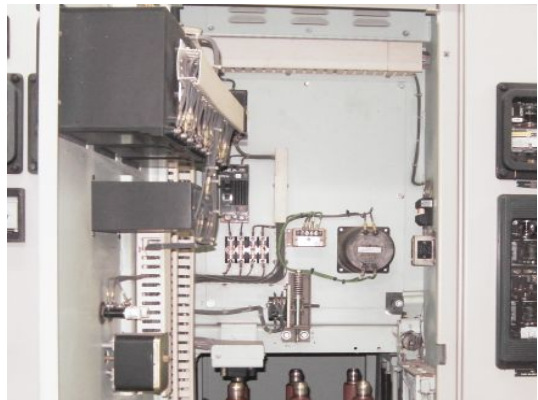
표 5-1 고압스위치 기어 미수행 사유

측정 부위	촬영지점	미수행 사유	측정 중요도
스위치기어 구성품, 큐비클, 모선부, 부츠, 케이블 접합부	패널 후면	안전상 이유	大
CT 및 결선회로	패널 전면	패널문 개방시 오동작 우려	中
제어회로	패널 전면	패널문 개방시 오동작 우려	中

2) 검토 결과

- 패널 전면 문을 열고 촬영하여야 하는 CT 및 결선회로와 제어회로 열화상 촬영은 측정중요도가 높지 않으므로 미수행 가능
- 패널 뒷면의 케이블 접속부는 측정 중요도가 크므로 필히 주기적으로 열화상을 촬영하여 분석해야 하며 미 수행시 대책을 수립하여야 함.

그림 5-1 고압스위치기어 패널 전면문 개방



나. 저압스위치기어

1) 미수행 사유

표 5-2 저압스위치 기어 미수행 사유

측정 부위	촬영지점	미수행 사유	측정 중요도
스위치기어 구성품, 큐비클, 모선부, 부츠, 케이블 집합부	패널 후면	안전상 이유	大
CT 및 결선회로	패널 전면	접근 불가능	中
제어회로	패널 전면	접근 불가능	中

2) 검토 결과

- 패널 전면 문을 열고 촬영하여야 하는 CT 및 결선회로와 제어회로 열화상 촬영은 측정중요도가 높지 않으므로 미수행 가능
- 패널 뒷면의 케이블 접속부는 측정 중요도가 크므로 필히 주기적으로 열화상을 촬영하여 분석해야 하며 미 수행시 대책을 수립하여야 함.

다. 로드센터 변압기

1) 미수행 사유

표 5-3 로드센터 변압기 미수행 사유

측정 부위	촬영지점	미수행 사유	측정 중요도
변압기 본체	변압기 전후면	패널 문 개방 불가능	大
전기적 접속부	변압기 전후면	패널 문 개방 불가능	大

2) 검토 결과

- 변압기 패널 문은 도어 형식이 아닌 볼트 타입을 사용하여 운전 중 패널 개방이 불가능함.

- 변압기 본체 및 전기적 접속부 측정 중요도가 크므로 필히 주기적으로 열화상을 촬영하여 분석해야 하며 미 수행시 대책을 수립하여야 함.

3. 열화상 점검창(IR Windows) 설치 검토

가. 미국 열화상 점검창 적용

1) 촬영 작업능력 향상

- 미국 전기안전 법규는 전기설비 Arc Flash 사고에 대한 안전규정을 적용
 - 전기설비에서 Arc Flash가 영향을 미칠 수 있는 거리에 접근하는 경우 Arc Flash 크기에 따라 방호복을 착용해야 함.
 - 열화상 촬영을 위해 패널문을 개방할 경우 반드시 방호복을 착용하여야 함.
- 방호복을 착용하여 열화상 촬영을 수행할 경우 작업능력 저하
- 작업능률을 향상을 위해 패널문을 개방하지 않고 열화상 촬영이 가능한 열화상 점검창 적용

그림 5-2 미국 열화상촬영 비교사진



열화상 촬영을 위해 패널 문을 개방할 경우 방호복 착용



열화상 점검창 통하여 촬영할 경우 패널문을 개방할 필요가 없으므로 방호복 착용 불필요



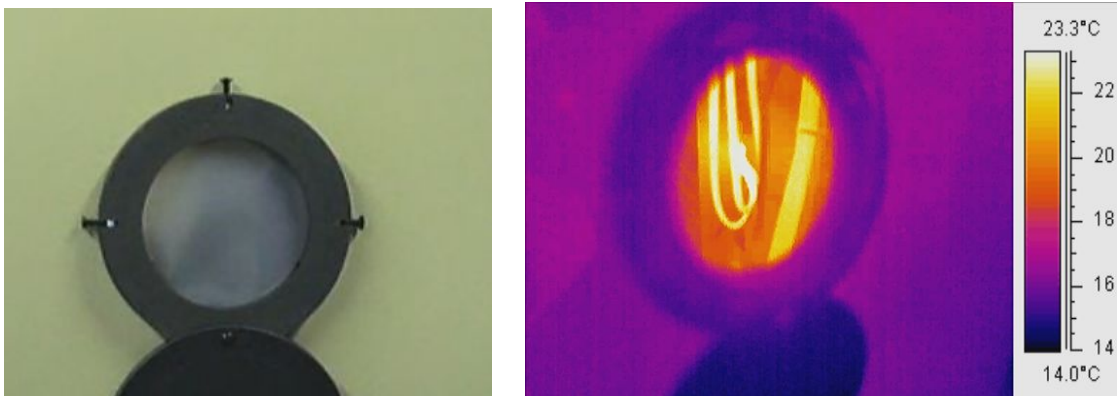
2) 폐쇄구조 패널 내부 촬영

- 패널이 폐쇄구조로 되어 있어 전원 가압 중 패널 내부 촬영이 불가능한 부위에 열화상 점검창을 설치하여 열화상 촬영

나. 열화상 점검창 적용 검토

- 1) 국내 전기안전 법규는 전기설비 Arc Flash 사고에 대한 안전규정을 적용하지 않음
 - 미국 Arc Flash 안전규정을 적용할 경우 발전소 운전원은 차단기 인입 (Rack-in) 및 인출(Rack-out)시 방호복을 착용하여 함
 - 열화상 촬영보다 차단기 인입 및 인출작업이 Arc Flash 사고 위험이 더 높음.
- 2) 열화상 촬영시 판넬 문만 개방하고 판넬 내부로 접근하지 않고 가압 부위와 일정 거리를 유지하기 때문에 감전사고 및 Arc Flash 사고 위험이 거의 없음.
- 3) 국내 전기안전 법규상 판넬문 개방상태에서 전원 가압부에 접근하지 않고 일정한 거리를 유지하고 열화상 촬영이 가능하며, 열화상 점검창이 아닌 일반 점검창을 설치하여 촬영 가능
- 4) 따라서 열화상 점검창 설치는 폐쇄구조 패널을 사용하고 있는 전기설비의 내부 촬영시 제한적으로 사용함이 타당함.

그림 5-3 열화상 점검창 설치사진 및 열화상촬영 사진



4. 고압 및 저압 스위치기어 열화상분석 검토

가. CT 및 결선회로와 제어회로

- 패널 전면 문을 열고 촬영하여야 하는 CT 및 결선회로와 제어회로 열화상 촬영은 중요도가 높지 않으므로 미수행 가능

나. 스위치기어 구성품, 큐비클, 모션부, 부츠, 케이블 접속부

- 스위치기어 후면에서 케이블 접속부 열화상분석은 중요도가 크므로 필히 주기적으로 열화상을 촬영하여 분석해야 함.
- 열화상분석 미수행시 대책으로 PMT 상에서 10년 주기로 되어 있는 큐비클 모션 점검 직무 중에서 3~4년 주기로 케이블 접속부의 절연부츠나 절연테이프를 제거하고 토크 조임 및 접촉저항측정을 수행하여야 함.

다. 열화상측정 방안

판넬 후면 문을 열고 전원 가압부에 접근하지 않고 열화상 측정을 수행하는 것이 타당하며, 일반 점검창이나 열화상 점검창 설치도 가능

그림 5-4. 고압 및 저압 스위치기어 패널 후면



5. 로드센터 변압기

가. 변압기 본체 및 전기적 접속부

- 변압기 본체 및 전기적 접속부 측정 중요도가 크므로 필히 주기적으로 열화상을 촬영하여 분석해야 함.
- 열화상분석 미수행시 대책으로 PMT 상에서 4년 주기로 되어 있는 전기적 시험 시험을 1년 6개월~2년 주기로 수행하여야 함.

나. 열화상측정 방안

1) 주요 측정부위

- 변압기 3상 고압단자 접속부 : 3개소
- 변압기 3상 저압단자 접속부 : 3개소

- 변압기 Tap : 1개소
 - 변압기 권선 및 철심 고온부 : 1개소
- 2) 변압기 패널 문은 도어 형식이 아닌 볼트 타입을 사용하여 운전 중 패널 개방이 불가능하므로 대책이 필요
- 1안) 열화상 점검창 또는 일반 점검창 설치
 - 2안) 변압기 패널을 도어 형식으로 개선

그림 5-5. 로드센터 변압기

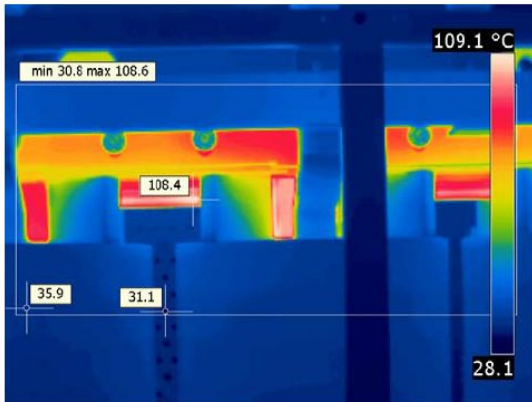


- 3) 열화상 점검창 또는 일반 점검창 설치
- 변압기 패널에 점검창을 설치하여 측정부위 측정
 - 장점 : 변압기 패널 개방 없이 열화상측정 가능
 - 단점 : 현장에서 보유하고 있는 열화상 카메라의 일반 렌즈로 측정할 경우 측정 지점별로 점검창을 설치해야 할 것으로 판단됨. 따라서 촬영개소가 증가
- ※ 열화상카메라 렌즈 종류
- 일반렌즈 : 일반전인 거리에서 촬영(수m)
 - 망원렌즈 : 거리가 먼 물체를 촬영
 - 광각렌즈 : 거리가 가까운 곳에서 넓은 범위를 촬영
- 4) 변압기 패널을 도어 형식으로 개선
- 폐쇄형인 변압기 패널을 도어형식으로 개선하여 변압기 가압중 패널 문을 열

어 변압기 촬영

- 장점 : 일정한 거리에 열화상 촬영이 가능하여 측정 지점 축소
- 단점 : 설비개선 작업 어려움

그림 5-6. 건식변압기 패널문 개방후 열화상측정 사진



다. 추후 검토 사항

- 점검창을 설치할 경우 점검창 위치 및 설치 수량 확인
- 변압기 패널을 도어형식으로 개선 가능 여부
- 경제성을 포함한 위의 사항을 종합적으로 판단하여 로드센터 변압기 패널 개선방안 결정.

제 6 장 결 론

영광 1,2호기의 성능 관리로 발전 운영 효율성 및 수익성 극대화하기 위해 열화상 점검을 주기적으로 수행하였다.

본 연구에서는 열화상 시험의 결과로, 영광 1,2호기의 설비를 대상으로 현장에 그 방안을 적용함으로써 발전소를 최적의 상태로 유지하였다.

발전소 열화상 진단 대상 기기를 선정하여 펌프, 팬, 변압기 등 총 428개소(영광1발전소 기준)로 3개월 내지 1년의 주기로 점검하였다.

최근 열화상 측정을 통한 변압기, 펌프 등에서 이상온도를 감지하였으며 고장 이전에 성능저하를 조기 발견하고 예방 정비함으로써 설비의 신뢰도 향상과 건전성 확보에 기여하였다.

열화상 진단 대상 기기의 확대와 점검 주기의 단축은 더욱 설비의 신뢰도 향상에 보탬이 될 것이다. 로드센터 변압기 등은 열화상 측정자 안전을 위하여 변압기 패널문에 열화상 측정 점검창 설치 등의 추가적인 안전 조치가 필요해 보인다.

원자력 발전소를 포함한 화력발전소 등의 발전소 및 기타 산업체에서 열화상 장비를 통한 진단으로 사전 점검을 실시하는 것은 큰 비용부담 없이 이용할 수 있을 것이다.

변압기 등 주기적으로 성능을 진단하고, 현재 진단 방법의 문제점을 도출하여 최적화 한다면 원자력 발전의 안전성에 도움을 줄 것이며, 더 나아가 국민의 원자력 발전 산업 수용성이 증가할 것이다.

열화상 장비를 구입하여 진단하여 발전정지 유발을 일으킬 수 있는 설비를 발견 및 사전 정비한다면

○ 열화상 장비 구입 비용 : 1대 * 4,000만원 = 4,000만원

점검 비용 : 3인/회 * 12만원/인 * 40회/년 = 1,440 만원/년

○ 1개 호기 발전정지 손실비용

- 1,000 kWh * 40원/kWh * 24h * 3일(발전정지예상기간) = 28억 4천만원

총 27억 8천만원의 이득이 있을 것으로 추산 되었다. 따라서, 열화상을 통한 예측점검은 전 산업계에도 확대 적용할 충분한 가치가 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] 2007 Younggwang Nuclear Unit 1 and 2 Station Manual
- [2] 2013 Younggwang Nuclear Power Plant #1,2 Operation Procedure
- [3] 2013 Younggwang Nuclear Unit 1 and 2 P&ID
- [4] 기기 상태 보고서_열화상(2311-KJ-253, MA-X03)
- [5] 기기 상태 보고서_열화상(YK2 MA-X02, PB-S01-17B)
- [6] Predictive Maintenance Primer, TR-1007350, EPRI, 2003
- [7] KHNP Engineering Work instructions(rev. 03)
- [8] KHNP Maintenance management procedures
- [9] Young Gwang NPP #1,2 Thermography diagnosis test results report 2007
- [10] EPRI TR-107142 Infrared Thermography field Application Guide
- [11] EPRI NMAC Infrared Thermography Guide. Revision 3
- [12] CSI IR Thermography Level One

감사의 글

원자력발전소에서 8년 동안 근무했지만 보다 나은 원자력의 성장과 발전을 위한 저의 지식은 항상 부족하기만 했습니다. 때론 제 자신의 발자취가 부끄럽고, 항상 지나온 길에 부족함을 느끼고, 그래서 계속 공부해야 했던 제게 있어 석사학위과정의 길은 학문의 길이기도 했지만 제 마음을 가다듬는 인격수양의 길이기도 했던 것 같습니다.

훌륭한 교수님들의 애정 어린 지도와 같이 공부했던 회사 선배님들의 아낌없는 조언과 헌신적인 도움이 없었다면 가능하지 못했을 거라 생각이 듭니다. 때론 과제 해결을 위해 토론하고, 고민하며 지냈던 지난 시간들은 모두가 저에겐 한순간도 잊지 못할 소중한 기억입니다. 매주 세 시간의 거리를 마다하지 않으시고 사랑과 열정으로 강의를 해 주신 교수님들의 모습에 용기를 얻었고, 마침내 논문을 마치는 감사의 글까지 쓰게 되었습니다.

이 좁은 지면을 통해 일일이 감사의 뜻을 전하지는 못하지만 그 분들의 도움이 아니었다면 힘들었을 것입니다. 모든 과정을 마치고 논문의 마지막을 감사의 글로 남기려고 하니 항상 도움만 받고 베풀지 못한 제 자신이 한없이 부끄러워집니다. 본 논문을 지도해 주시고 한량없는 열정과 자상함으로 끝까지 이끌어 주신 이경진 교수님께 진심으로 깊은 감사의 말씀 올립니다.

오늘의 결실이 있기까지 물심양면으로 아낌없는 지원을 해준 아내 박선화씨와 씩씩한 아들 도훈이, 귀염둥이 딸 지원이에게도 감사의 맘을 모아 대학원 생활의 마지막 결실인 이 논문을 바치고 싶습니다. 우리 가족 사랑합니다.

저작물 이용 허락서

학 과	원자력공학과	학 번	20117557	과 정	석사
성 명	한글 : 유 광 열 한문 : 柳 光 烈 영문 : RYU GWANG YEOL				
주 소	광주광역시 서구 동천동 동천마을2단지 202동 1003호				
연락처	E-mail : ryugy10@khnp.co.kr				
논문제목	영광 1,2호기 발전소 열화상 진단을 통한 예측정비 방안 분석 연구				
	A study on the Predictive Maintenance in Young Gwang NPP #1,2 by Thermography Diagnosis test				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(O) 반대()

2013년 04월

저작자: 유 광 열 (인)

조선대학교 총장 귀하