기술보고

비 파 괴 검 사 학 회 지
Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing
Vol. 14, No. 4 (1994)

적외선을 이용한 비파괴검사 기술

박문호, 이익환
한국원자력연구소, 비파괴평가사업부

요 약 적외선을 이용한 비파괴검사 방법은 검사자가 검사체의 온도를 분석하여 검사체의 건전성을 평가할 수 있도록 개발된 방법이다. 이것이 최근에는 화력발전소 및 원자력발전소 등과 같은 다양한 산업에 적용되어 사용되고 있다. 따라서, 본 보고서는 적외선을 이용한 비파괴검사의 기초적인 원리, 적외선 측정 장비의 기본 원리 및 그것의 응용분야를 기술하였다.

1. 기초이론

1.1. 적외선의 이론

적외선은 전자파로서 광속으로 진공을 진행한다. 이 전자파 스펙트럼(spectrum)은 Fig. 1에 보여진 바와 같이 0.75μm에서 약 1000μm까지 파장을 형성하며, 이것을 다시 세분화하면 Near Infrared(0.75μm－1.5μm), Middle Infrared(1.5μm－7.0μm) 및 Far Infrared(7.0μm－1000μm)으로 나눈다[1]. 일반적으로 적외선은 모든 물체의 분자가 열에 의해 교란되므로써 발생한다. 이러한 분자 운동은 물체의 온도가 올라가면 증가하고 온도가 내려가면 감소하여 절대온도 0도에서는 모든 분자의 운동이 정지된다. 모든 분자 운동은 전하(electrical charge)의 가속화 운동을 초래하므로 전자파를 발생시킨다. 이러한 전자파의 주파수, 강도 및 파장은 물체의 온도 및 크기, 그 물체의 방출율(emissivity) 등에 의해 결정된다. 한 물체로부터 발생한 열복사선이 다른 물체에 부딪치면 Fig. 2와 같이 반사, 통과 및 흡수되어 열을 방출시킨다[2]. 이것은 직접 온도와 관계되어 공간을 통하여 전달된다. 예를들면, 검사체에 도달하는 전체의 에너지를 1이라고 가정하면 다음과 같은 관계 식이 성립된다.

$$T+R+A=1 \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, T는 물체의 투과율, R은 물체의 반사율 및 A는 물체의 흡수율이다.

한편, 적외선의 가장 기본적인 법칙인 열적 평형상태하에서는 물체에 의해 방출되는 에너지는 물체에 흡수된 에너지와 같다라고 하는 Kirchoff의 법칙을 적용하면 식 (1)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T+R+E=1 \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서, E는 표면에서 방출되는 특성을 나타내는 것으로 방출율(emissivity)이라고 불리우며, 0과 1사이의 값이다.

2. 적외선 장비

적외선 장비는 Fig. 3과 같은 기본적인 원리로 구성되어 여러 산업에 적용 사용된다[3]. 여기서 광학시스템(optical system)은 검사체로부터 방출되는 에너지를 한군데로 모아 전기적인 신호로 바꾸는 탐

(접수 : 1994. 9. 9)

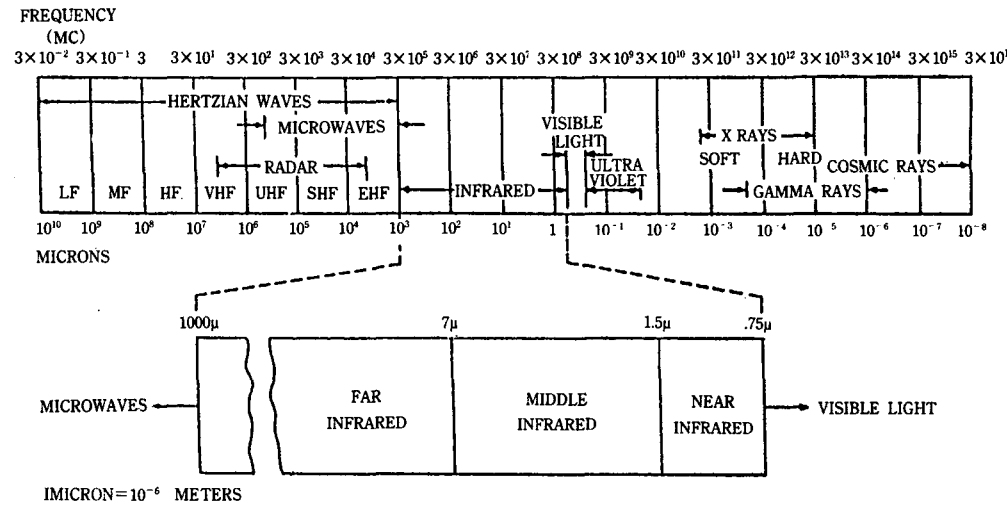


Fig. 1. The location of the infrared region in the electromagnetic spectrum.

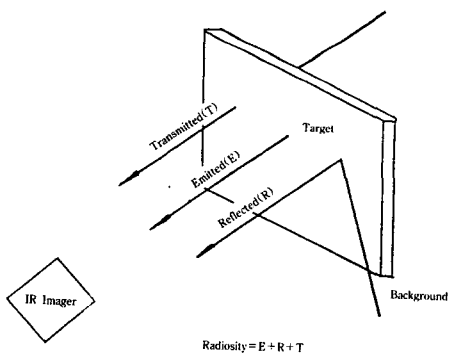


Fig. 2. Target radiosity.

지기(detector)에 에너지를 집속시키는데 사용된다. 이때 집속된 에너지는 탐지기의 출력 신호로 변환된 후 검사자에게 효과적으로 보이기 위해 신호가 증폭되거나 신호처리된다.

1) 광학 시스템(Optical System)

원하는 장소의 표적 에너지를 탐지기(detector)에 집속시키기 위한 것이다. 측정에 영향을 미치는 광학 시스템의 4가지의 주요한 특징은 촛점율(focal ratio) 또는 F/Number, Spectral Transmission, 분해능과 시야분야이다.

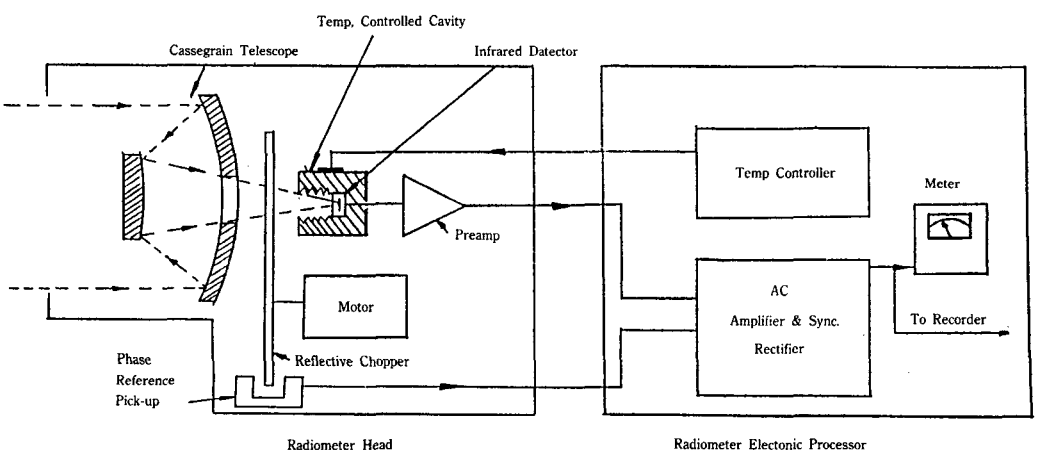


Fig. 3. Basic component of typical radiometer.

2) 적외선 탐지기(Infrared Detectors)

적외선 탐지기는 측정 및 출력을 위해 Radiation을 전기적인 신호로 바꾼다. 이것은 두가지로 Thermal 탐지기와 Quantum탐지기로 나눈다.

3) 냉각(Cooling)

수많은 탐지기는 냉각을 필요로 한다. 이러한 방법에는 Thermoelectric, Liquified Gas, Compressed Gas와 Refrigeration 등이 있다.

4) 필터(Filter)

시험체를 측정하는데 있어서 가능한 한 어떤 간섭되는 물체나 배경(background)으로부터는 적게, 시험체로부터는 가능한 많은 복사에너지를 탐지기로 전달하는 것이 바람직하다. 따라서, 원하지 않는 복사열을 제거하기 위하여 필터를 사용한다. 이러한 필터는 물리적인 현상으로 구분할 수 있는데 그들의 작동은 흡수, 선택 반사, 간섭 등이고 그들의 통과 특징으로는 Short-wave Pass, Band Pass 등이 있다. 흡수형 필터는 복사열이 넓은 Spectral Band가 통과될 때 가장 넓게 사용되는 반면에 간섭필터는 복사열이 좁은 밴드를 통과시킬 때 일반적으로 사용된다.

5) Radiometer 및 Pyrometer

Radiometer 및 Pyrometer는 복사열을 측정하는 장치이다. Radiometer는 반응시간이 느리기 때문에 일정하고 천천히 변화하는 온도를 감지하는데 가장 널리 사용되며, Pyrometer는 섭씨 0－3000도(화씨 32－5400도)의 온도 측정을 위한 비접촉식 온도계로 사용된다.

3. 적외선의 응용

상용된 적외선 장비인 AGEMA Infrared Systems AB에서 제작된 Thermovision 400 System를 사용하여 실제 검사한 예를 살펴보면 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. 여기서 Fig. 4의 (a) (b)는 측정장비의 온도범위를 달리하여 측정한 결과로서 이 보일러의 Manway로 공기가 흡입되어 발전소의 열효율을 떨어뜨리고 있다는 것을 알 수가 있다. 만일 이것이 정상적으로 설치되어 제 기능을 한다면 Manway 뚜껑의 온도가 일정하게 나타나야 한다. 그러나, 그림에서 흰선으로 표시된 부분과 같이 온도가 일정하게 나타나지 않는 것은 뚜껑을 통해서 공기가 흡입되어 온도를 떨어뜨린다는 것이다. 이러한 현상은 Manway 뚜껑의 느슨한 볼트 체결 또는 찌그러짐, 뚜껑내부의 가스켓 미설치 또는 파손 등으로 나타날 수 있다. Fig. 5는 Qualification Standard 역할을 할 수 있도록 금속 튜브에 Void와 Delamination 결함을 만들어서 튜브 내부에 뜨거운 물을 넣어 가열한 후 온도변화를 살펴본 것이다. 만약에 튜브에 이상이 없다면 등온선이 수평으로 나타나지만, Void가 있으면 등온선이 찌그러지고 Void 주위를 감싼다. 이것 외에 적외선을 이용한 비파괴검사는 다음과 같은 여러 산업분야에 널리 적용된다.

1) 보일러
－보온재
－캐이싱 누출(casing leak)
－보일러 관의 막힘

2) 내화 벽돌/보온재
－보일러 캐이싱 및 증기발생기 표면의 뜨거운 지점 및 공기 누설 지점을 파악하고자 할 때

3) 열교환기
－열 교환기내 관의 유체유동 상태 점검
－보온재
－열교환기 전소(burnouts)

4) 튜 브
－막힌 튜브
－튜브 온도 분포

5) 응축기
－응축기의 공기 누설 지점
－Expansion Joint, 밀봉 및 Manway의 위치

6) 합선방지
－케이블 Tray, 연결 박스 및 전기 패널과 컨넥터에 있어서 Hot-spot으로 인한 화재의 위험 방지

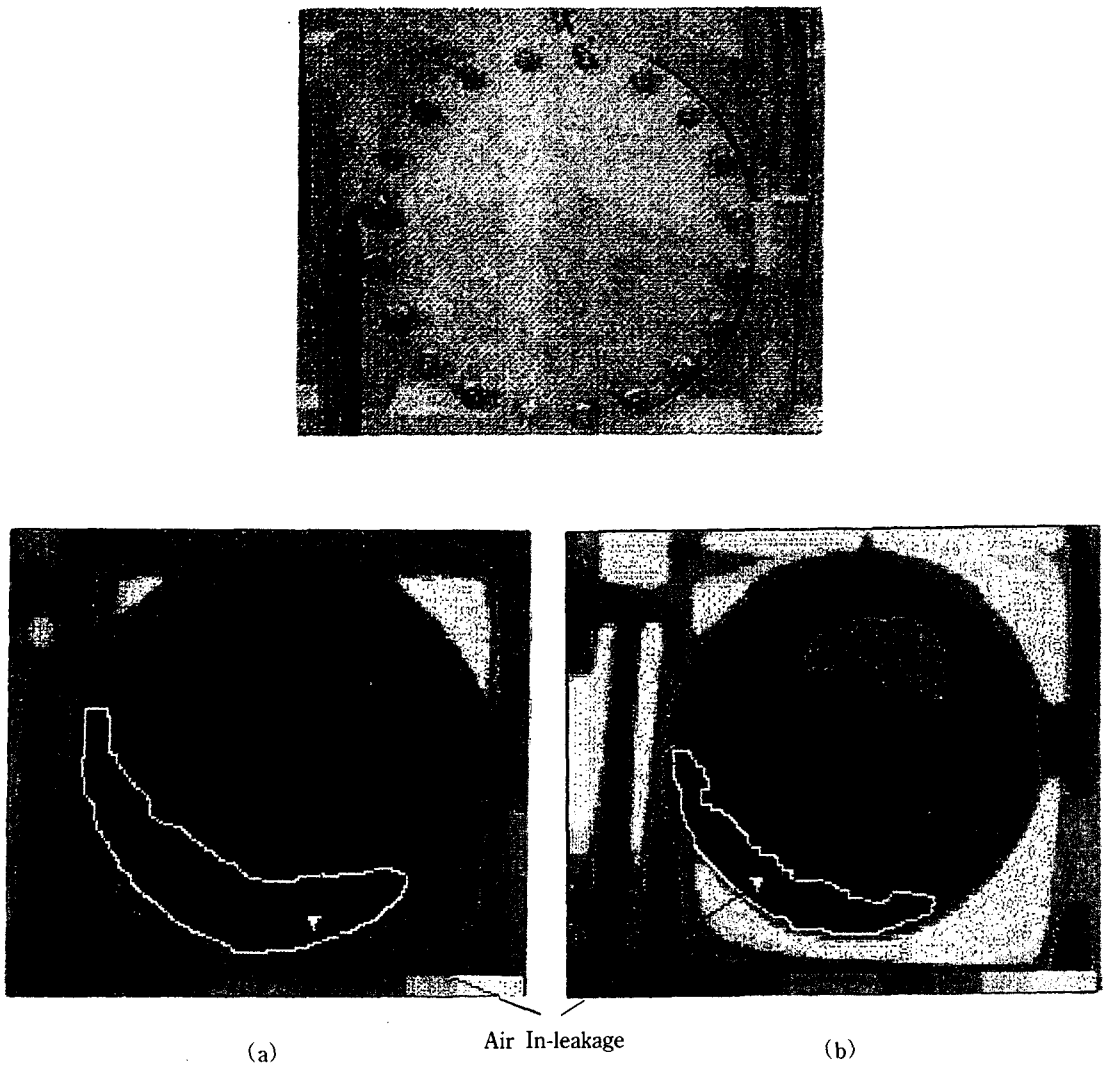


Fig. 4. Air in-leakage manway cover

7) 전기적 상태 점검
- 전기 배전시스템의 온도과열로 인한 구성요소 파손 또는 잠재적인 합선의 위치 파악
- 휴즈 박스, 릴레이 패널, 고압선로
- 배전반 및 스위치 박스
- AC/DC 발전기, 변압기, DC모터
- 회로판, 모터제어판 등

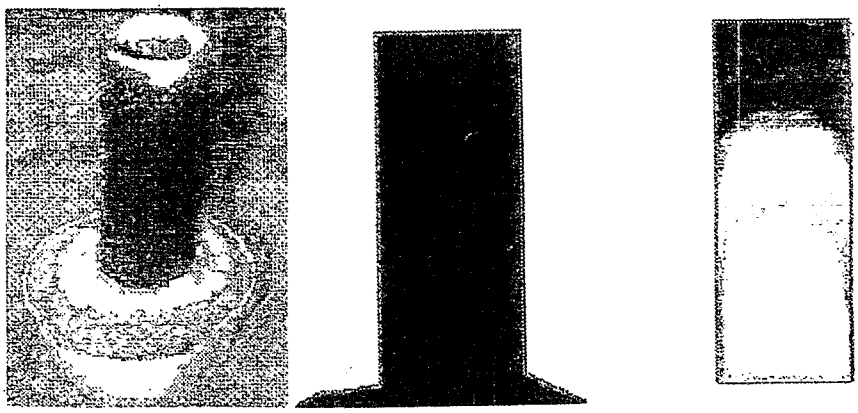
8) 일반적인 사항
- 수증기 누출
- Delamination검사
- 밸브 작동상태 확인
- 발전소 방류수에 대한 온도 분포
- 실질적인 온도와 열 손실에 대한 계산
- Containment Spray Nozzle에 대한 작동 상태
- Coal Feeder Pipe Build-up Indentification

4. 결 론

상기에 설명한 바와 같이, 열이 존재하는 검사체이

Tube Before Applying Heat

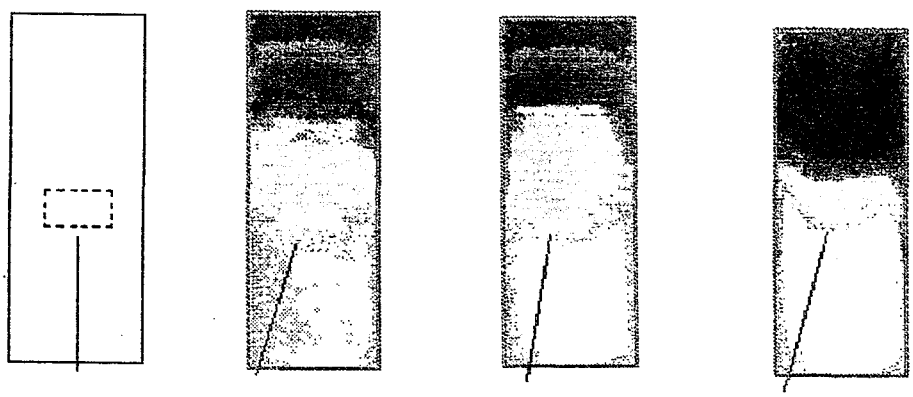
After Applying Heat



Visible Test Tube

Infrared

IR Tube with No Abnormalities



Voil

H=38.1mm

H=25.4mm

H=12.7mm

Void=35.56mm×0.127mm×Height(H)

Tubes with Machined Voids Shown as
Abnormalities after Applying Heat

25.3℃

Temperature Scale

34.3℃

Fig. 5. Testing tube with voids.

면 적외선을 이용하여 원거리에서 비접촉식 방법으로 많은 분량의 검사체를 신속하게 검사하여 건전성을 평가할 수 있으므로 앞으로 여러 산업 분야의 응용을 기대한다.

참 고 문 헌

1) Handbook of Infrared Radiation Measurement, Barnes Engineering Company(1983), pp. 25~82
2) Ronald D. Lucier, "*Recent Work in Infrared Thermography History, Results, and Feedback*", Material Evaluation, Vol. 49, No. 7(1991), pp. 856~859
3) Paul Grover, "*Infrared Inspection of Boilers and Process Heaters*", Material Evaluation, Vol. 49, No. 10(1991), pp. 1272~1274
4) Black J. E., "*Thermal Baseline Factors in Nuclear Power Plants*", Thermosense Proceedings, SPIE, Vol. 1094(1989), pp. 62~69
5) Lucier, R.D., and J. C. Bognet, "*Thermography in Commercial Nuclear Power Stations : Application, Limitations, and Realities*", Thermosense Proceedings, SPIE, Vol. 1094(1989), pp. 56~61

Nondestructive Testing Technique using Infrared Thermography

Moon Ho Park and Ik Hwan Lee
NDE Division, Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract Infrared(IR) thermography method was developed as a result of an investigation into a means of deriving a more visual method of temperature analysis. It recently provides an excellant nondestructive testing(NDT) technique in a variety of industries such as nuclear power plant, fossil plants, etc.. This paper offers a basic principles of infrared radiation, the nature of instruments used for measurement and the applications.

(*Received : September 9, 1994*)