

적외선열화상 장치(IR Thermograph)의 응용과 평가

이해철 : 사단법인 한국원적외선협회 연구원

I. 서론

최근에 들어서 건강과 에너지 절약에 대한 관심이 급속도로 확대되면서 원적외선 응용상품에 대한 관심이 확대되고 있다.

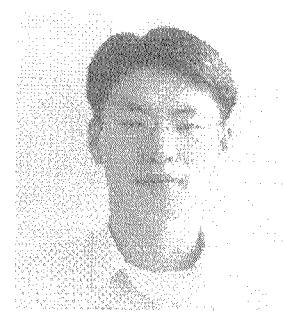
산업분야에 국한되지 않고 전자재 분야, 건강 의료분야, 섬유류, 주방·생활용품 등 일상생활 전반에 걸쳐 원적외선 응용제품이 활용되면서 원적외선에 대한 평가와 효과 검증 등에 대한 연구가 활성화 되어가고 있다.

원적외선은 다른 전자파와 달리 방사에 의한 열 전달방식과 피사체 분자의 진동에 의한 공명흡수작용 등의 고유 특성을 갖고 있다. 때문에 원적외선을 이용한 가열효과가 각광을 받고 최근에는 상온 영역에서 복사되는 원적외선 방사체를 이용한 제품이 크게 주목되어 식품, 건강분야, 의료분야, 생활용품 등 비가열 원적외선 방사특성 제품이 등장함으로써 이러한 제품들에 대한 효과 규명이 활발하게 전개되고 있다.

그러나 이렇게 점점 다양화되고 있는 원적외선 응용제품의 효과에 대한 과학적인 규명과 해석에 불분명한 점이 많아 원적외선 방사소재와 피사체와의 상호 작용효과에 관한 메커니즘을 정확하게 규명하여 원적외선의 이용에 대한 올바른 평가를 내려야 한다.

현재 원적외선 응용제품에 대한 평가는 주로 FT-IR(적외선 분광방사 측정장치)에 의한 원적외선 방사율과 방사강도를 측정하여 평가하고 있으나 실제 응용제품의 전체적인 원적외선 방사특성과 상온영역(20~30℃)에서는 FT-IR에 의한 측정만으로 다소 미흡한 점이 있다.

적외선 열화상장치는 FT-IR로 측정하기 어려운 현안들을 보조할 수 있다. 적외선 열화상장치로 응용제품에서 방사되는 원적외선의 분포와 특정 부분의 온도, 제품 전체의 온도를 비교할 수 있고 실시간대로 관찰할 수 있는 장점이 있다.



이러한 적외선 열화상 측정장치의 적외선 방사특성 해석의 장점과 응용범위, 평가에 대해 소개하고자 한다.

II. 적외선 열화상 장치의 특성

1800년경 F. W. Hershel은 햇빛의 스펙트럼을 온도계로 조사하다가 적색의 가시광선 파장대보다 장파장 측에 눈에 보이지 않는 영역에서 온도가 내려가지 않고 반대로 올라가는 적외선(Infrared Ray)을 발견하게 되었다. 적외선은 전자기파 중 강한 열작용으로 물질의 온도를 상승시키는 효과가 강하기 때문에 열선이라고도 한다.

그 후 40여년 지난 후에 F. W. Hershel의 아들 John G. Hershel이 적외선을 영상처리하는 방법을 연구하여 써모그래프(Thermograph)라고 명명하였다.

써모그래프(Thermograph)란 다시 말해 물체에서 방사되는 적외선 에너지를 비접촉식 적외선 파형으로 검출하고 전기적인 신호로 전환하여 영상처리기기를 통해 2차원의 열화상(Thermal Image)으로 나타내는 것을 말한다. 그림 1에 적외선 열화상장치의 간략한

내부구조 및 기능을 나타내었다.

적외선 열화상측정 장치는 물체에서 방사되는 에너지의 양과 파장은 그 물질의 온도에 따라 변화한다는 플랑크의 방사법칙과 물질로부터 전해지는 에너지 양은 그 물질의 절대온도의 4제곱에 비례한다는 스테판-볼츠만의 법칙을 주 원리로 하여 물체를 온도색상 분포로 나타낸다.

■ 플랑크의 방사법칙(Plank's law)

$$W_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5} \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right) \dots [W \text{ cm}^2 \cdot \mu\text{m}]$$

■ 스테판-볼츠만의 법칙(Stefan-boltzmann law)

$$W = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} W_{\lambda} d\lambda = \frac{2 \pi^5 k^4}{15 c^3 h^3} T^4 = \sigma T^4 \dots [W \text{ cm}^2]$$

λ : wavelength [μm]

T: absolute temperature of blackbody [K]

C1 : 1st radiation constant ($2\pi^5hc^2 = 3,7402 \times 10^{-12} [W \cdot \text{cm}^2]$)

C2 : 2nd radiation constant ($hc/k = 1,4388 [\text{cm} \cdot \text{K}]$)

h: Planck constant

k: Boltzmann constant

c: light velocity

σ : Stefan-boltzmann constant ($5,673 \times 10^{-12} [W/\text{cm}^2]$)

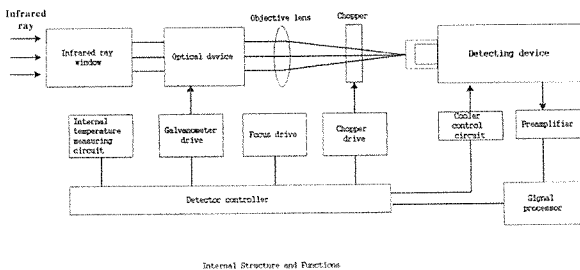


Fig. 1. 적외선 열화상 장치의 내부구조 및 기능

적외선 열화상장치는 비접촉형의 고감도 방사온도계로, 측정대상물의 표면으로부터 방출되는

적외선 영역(3~5, 8~13 μm)의 전자파를 감지, 검출하여 열화상인 온도의 색상분포로 표시되어 건물의 외피 및 기계, 전기설비 등 에너지소비가 많은 부분과 건물외벽·벽면·교량 등의 콘크리트 구조물의 비접촉·비파괴검사용 장비로 활용되어 시설물의 완벽한 시공과 고품질 유도가 가능한 시스템이다.

또한 최근에는 생활전반에 걸쳐 원적외선 상품이 많이 생산되면서 원적외선 기능처리 응용제품과 미처리 상태의 비교 실험 평가와 인체 및 식품에 대한 효과 검증에 적외선 열화상장치의 장점이 부각되어 그 사용이 증대되고 있는 실정이다.

의료분야에서는 X-RAY에 의한 인체 해부학적인 이상유무를 판단함과 동시에 써모그라피(Thermography)를 이용한 인체 신경·생리학적 이상유무를 판단하는 장비로 이용되고 있다. 1970년대부터 컴퓨터와 전자공학 기술의 급속한 발달로 적외선 체열영상 시스템이 개발되어 그 활용도가 매우 광범위하다.

■ 적외선 열화상장치의 장점은

- 1) 신속성: 광범위한 부위에 대해 비접촉식으로 신속하게 표면온도를 측정함으로 문제부위 원인 및 범위의 검출이 가능함.
- 2) 작업 용이성 ... 접근이 어려운 부위 및 고소부(高小部)에서의 측정이 용이하고 안전함. 거리상의 제약이 없으며 무월광 시에도 정확한 영상을 구현함.
- 3) 다기능성 ... 적정 단열여부, 기밀 및 침기정도, 열교현상 등에 대한 유효한 검출에서부터 조물의 비접촉, 비파괴 검사용 및 시공관리 장비로 활용가능.

III. 적외선 열화상 장치의 응용

1. 일반 산업분야

적외선 열화상 장치는 산업용으로 전기전자 제품의 검사와 건축물외피 및 설비배관, 전기배선부위의

에너지소비가 많은 부분에 대한 열성능진단 및 분석을 통해 열손실부위에 대한 평가 및 에너지절약 대책을 마련하고, 건축자재·건물외벽·벽면·교량, 고속 회전 물체, 자동차, 항공기 등의 구조물의 비접촉·비파괴 검사용 조사진단장비로 활용되며, 구조물 거푸집내 콘크리트 밀실시공 여부확인, 제조공정 과정 진단 등 시설물의 고품질시공을 유도하기 위한 도구로 활용될 수 있다.

또한 적외선 관련 상품에 대한 제품의 온도분포와 균일성, 과부하 및 누수부분, 적외선 기능처리 제품과 미처리 제품에 대한 비교 평가, 인체에 미치는 효과 등 그 응용은 매우 다양하다.

- 건축물의 냉·난방 단열, 보온상태 등 열성능 분석
- 전기전자 제품의 과열, 냉각상태 파악
- 송·배전 선로 및 변전설비의 과열상태 파악
- PIPE LINE의 유동상태 점검 및 분석
- 섬유제품의 온도특성 시험
- 고속 회전 물체의 동·정적 상태의 온도분석
- 항공기·자동차등의 각 부품별 온도특성상태 파악
- 특성물질의 폭발 및 화염상태 측정
- 각종 발전소의 전기부품들에 대한 열화상 상태분석
- 반도체 및 PCB의 실험 및 개발
- 우주선의 대기권 진입시 외부 표면 온도상태 분석
- 이동물체의 폭 방향 온도측정 및 분석
- 로(爐) 및 탱크 열 분포관리, 압연공정 열분포관리
- 제조공정시 제품이상검출
- 관리고온재 외형계측, 도장면 진단, 금속피로진단
- 전자부품검사
- 벽면 및 건축구조물 이상개소 진단
- 제조공정 열 분포
- 각종설비 과열 및 이상열원 발견, 설비진단
- 비파괴 검사

2. 의료·연구 개발분야

기술과 산업의 발달과 함께 적외선 체열영상진단 검사법의 등장으로 인체의 해부학적 이상 유무를 진단하는 CT나 MRI 등 방사선 의료장비와는 달리

인체의 생리학적인 기능의 이상 유무 및 변화를 찾아내는 새로운 영상진단검사법이 이용되어 전리방사선을 사용하지 않고 원적외선 파장 (Wavelength)을 갖는 인체에서 자연적으로 방출되는 원적외선을 감지하여 영상화함으로써 안전하게 반복적인 검사를 시행할 수 있다는 장점이 있으며, 비침습적인 방법으로 임상 및 수술 소견, 그리고 다른 검사 방법과 좋은 상관 관계를 갖고 있다.

특히 최근에 급증하는 법의학적 문제를 다루는 데 있어 동통의 진위를 판별하는데 유용하게 사용할 수 있는 방법으로 활발히 이용되고 있으며 치의학, 이비인후과 및 예방 의학 등의 포괄적인 분야에서 그 응용방법들을 모색하고 있다.

또한 적외선 열화상 장치로 자연계 관찰 및 조사가 이루어지고 있으며 실시간으로 열적현상의 관측 및 분석이 가능하여 연구·개발분야의 응용도 다양하다.

- 각종기기 열설계, 열현상·열전도 해석
- 각종소재 열현상, 열전도 해석, 비교평가
- 보온·단열해석
- 활화산 관찰, 지열조사
- 해양표면, 지표면 온도분포관찰
- 해양동물 생태조사, 동·식물 생태조사
- 신체 온도분포 해석에 의한 진단, 검사

3. 감시·보호분야

적외선 열화상 장치는 거리와 광원의 제약을 받지 않고 전자파 에너지를 검출하여 영상으로 나타내므로 군용으로 활용이 되어오다 연구 및 민수용으로 확대되어 시설물 및 고속의 항공기와 선박 등에 위치 추적 및 보호, 감시 기능의 중요한 장비로 활용되고 있다.

- 공장·시설물의 침입감시, 화재감시 등
- 선박 야간충돌방지, 열차·자동차 야간 안전운행
- 항공기 야간 이·착륙 보호, 감시
- 차량 및 헬기 탐재 시 침입, 온도 감시 및 조사
- 생태계 및 환경감시, 개체조사 등
- 구난활동, 군사 및 항공분야 위치·추적 시스템

IV. 적외선 열화상 장치의 평가

1. 열성능 평가

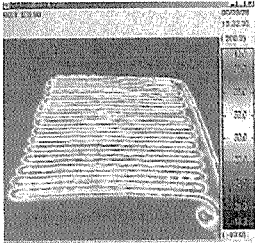


Fig.2. 전기매트의 적외선 열화상

실제 건축물이나 건축자재에서는 도면 검토와 실험에 의한 열성능 평가로 파악할 수 없는 열적 결함이 시공의 견실도나 특정 부위의 노후화 등과 같은 원인에 의해 발생할 수 있다. 이 같은 국부적인 열적 결함은 건물 전체의 열성능을 현저히 낮추는 원인이 된다. 따라서 실제 물체를 대상으로 적외선 열화상 장치를 이용한 평가 및 분석이 이루어져야 한다.

또한 전기전자 제품 및 설비, 모터, 전기보일러, 스팀시스템, 단열결함, 송·배전 선로, 내화벽돌 및 보온재의 진단과 분석평가를 통한 열성능 평가로 대상체의 질적향상을 기대할 수 있다.

2. 온도특성 점검 및 분석

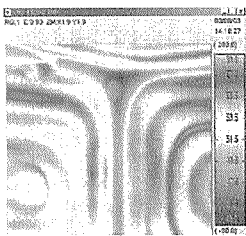


Fig.3. 찜질드크 벽면의 적외선열화상

적외선 열화상 장치는 파이프 라인의 유동상태, 각종 전기부품의 열적 온도분포 상태, 제조공정의 온도 점검을 통하여 효율적인 관리가 가능하다.

또한 원격의선을 이용한 응용제품 등의 비교 평가를 통해 품질의 향상 및 연구·개발의 주요 장비로 적외선 열화상 장치의 활용도를 높일 수 있다.

또한 송전선 관련 시설물 상태점검 및 선로점검, 고장부위 점검, 발전시스템과 전기배분 시스템의 경향분석, 열 교환기·파이프 단열 등의 전반적 플랜트 효율감시 등이 가능하고 항공기 부품의 열분석, 회로 디자인 및 제조, 부품 조립상태, 장비 및 설비들에 대한 보수, 열 손실의 계산, 수명의 극대화, 인건비 최소화로 생산성 극대화를 가져다준다.

3. 열분포 관리 및 이상개소 진단

보일러 보온재와 케이싱 누출, 관의 막힘 등으로 인한 열손실로 인해 많은 자원과 비용이 소비되고 있다.

적외선 열화상 장치를 이용하여 열 교환기내 관의 유체유동 상태점검, 응축기의 공기누설 지점, 전기·전자 선로 및 제품의 합선방지, 건축물의 열손실 측정, 단열의 결함, 지붕의 누수탐지, 냉난방 및 환기시스템의 효율 감시, 전기설비의 배선시스템의 온도과열로 인한 구성요소의 파손, 잠재적인 합선의 위치파악, 발전기, 변압기, 모터, 회로판, 모터 제어판의 과열상태 파악, 제조공정시 제품이상 검출, 설비진단과 평가를 통해 에너지 손실과 피해 예방이 가능하다.

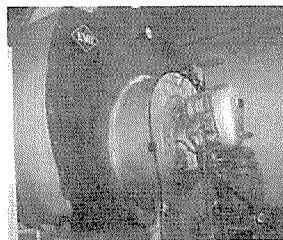


Fig.4. 전기모터의 일반사진

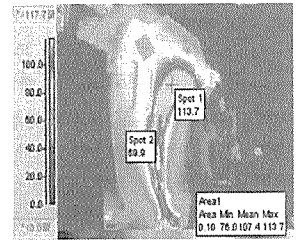


Fig.5. 전기모터의 적외선 열화상

4. 의료·연구 개발 분야

적외선 열화상 장치에 의해 활화산의 관찰과 동·식물의 생태조사 등 자연현상의 관찰과 연구가 이루어지고 있다. 또한 각종 기기의 열현상과 열전도 해석에 이용되고 있으며 보온 및 단열을 해석할 수 있다.

의료 분야에서는 적외선 체열 영상을 통해 신체의 온도분포를 분석하고 평가하여 진단 및 검사에 활용하고 있다.

적외선 체열 영상 진단은 인체의 피부 표면에서 자연적으로 방출되는 극미량의 적외선을 감지하여 인체의 통증부위 및 기타 질병부위의 미세한 체열변화를 컴퓨터가 컬러영상으로 나타내 줌으로써 신체의 이상 유무를 진단하는 검사 방법이다. 감각신경 섬유에의 자극 즉, 통증(Pain)이 있는지 없는지를 객관적으로 시각화하여 평가·측정·진단할 수 있다.

최근 적외선 체열 영상 진단 검사법의 지속적인 발전으로 척추 및 말초 신경 손상 등의 신경계 질환, 정맥류, 심부 정맥 혈전증 등의 혈관계 질환, 근건막 통증 증후군, 류머티스성 관절염과 같은 관절의 염증성 질환, 근골격계 질환 및 스포츠 손상의 진단, 유방 암 등의 암 질환 초기 진단 검사 외에 통증에 수반되는 다양한 통증 증후군 진단 및 피부과 질환 등을 진단하는 데 있어 유용하게 사용되고 있다.

적외선 체열 영상 진단 검사에 있어서 촬영된 영상에 나타나는 각각의 색상은 촬영부위의 절대적인 온도 분포를 나타내는 것이 아니라, 좌, 우측의 상대적인 온도분포를 나타내므로 검사일별로 촬영된 동일한 환자의 체열 영상에 대한 국소적인 온도 변화를 비교한다는 것은 옳지 못한 것이고 또한 적외선 체열 영상의 온도 불균일과 같은 양상은 통증(Pain)의 양상을 나타내는 것이 아니라 통증 증후군(Pain Syndrome)으로 인한 특징적인 체열 이상으로 야기된 병태생리적인 상태를 판단하는 것으로 검사에 있어서 정확한 비교는 검사 당일에 촬영된 체열 영상의 좌,

우측의 온도차이의 변화 및 체열 분포 양상에 중점을 두어야 한다.

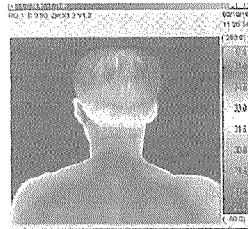


Fig.6. 원적외선치료기 조사전의 적외선 열화상

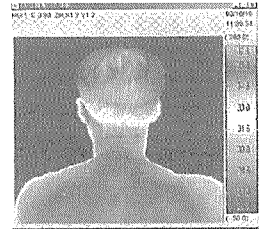


Fig.7. 원적외선치료기 조사후의 적외선열화상

V. 향후 전망

적외선 열화상 장치의 응용과 평가는 산업 전반에 걸쳐 열성능의 평가, 온도의 특성 점검 및 분석·연구, 열분포 관리·이상개소 진단을 통해 설비와 제품의 질적향상과 생산 및 정비관리 능력이 향상되며 손실예방, 위험요소 제거를 통해 작업환경의 개선을 가져다줄 것이다.

따라서 진단 및 분석에 대한 평가기준의 확립과 꾸준한 연구개발을 통해 그 활용도를 더욱 높이는 것이 선행되어야 한다.

의료·연구개발 분야에서도 인체의 생리학적 진단으로 병의 조기진단과 치료에 그 비중이 높아질 것이며 정밀성을 요하는 전기·전자분야의 검사 및 연구개발에 활용되어 제품과 설비의 품질향상에 크게 기여하리라 본다.

적외선 열화상 장치의 응용확대와 평가방법의 확립을 통해 보다 과학 기술이 발전하게 되면 물체의 외피에서 방사되는 적외선 에너지를 2차원 영상으로 나타내고 분석하는 단계를 넘어서 3차원 형태로 대상물의 내외부를 마치 실물을 보는 것과 같은 적외선 열화상 장치가 개발될 것으로 전망된다.