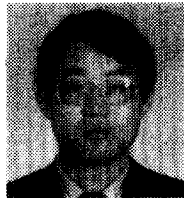


## 적외선 열상 측정기기

### Thermal Video System

조 성 환  
S. H. Cho  
한국에너지기술연구소



- 1958년생
- 건물의 에너지 절약과 관련 냉동 및 공기조화 기술, 건물 자동화 기술 및 에너지해석기술 등에 관심을 가지고 있다.

태 춘 섭  
C. S. Tae  
한국에너지기술연구소



- 1956년생
- 건물의 에너지 절약과 관련 공조 운송동력절감에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 서 론

건축물의 구조체에 대한 열저항은 건물의 난방부하에 커다란 영향을 미치기 때문에 건물외피구조의 설계시 상당히 중요한 과제로 취급되어 왔다.

특히 실제조건하에서 건물구조체의 열성능에 대한 자료와 정보는 에너지절약방법에 대한 효과를 평가하거나 개선방향을 도출하는데 유효한 자료로 이용된다.

지금까지 일반적으로 현장에서 건물구조체의 열성능을 측정할 수 있는 기기들은 구조체의 열저항을 측정하는 기기인 Spot Radiometer, Heat Flow Transducer, Thermal Test Unit 및 Portable Calorimeter 등이 있고 열누설 부위를 검출할 수 있는 기기인 Thermal Video System

(적외선 열상 측정기기)이 있는데, 본 고에서는 비접촉식으로 구조체의 표면 온도분포를 영상화 시켜서 볼 수도 있으며 방열량 및 열관류율 산정 등 다각적인 분석에 유효하게 이용될 수 있는 적외선 열상 측정기기(Thermal Video System)에 대하여 고찰하고자 한다.

#### 2. 적외선 열상 측정기기 (Thermal Video System)

##### 2.1 기본원리

자연계에 존재하는 모든 물체는 절대온도 0°K 이상에서는 그 물체의 온도와 방사율에 대응하는 에너지를 물체의 표면으로부터 전자파의 형태로 방출하게 되는데 이것을 파장 영역별로 구분하면 적외선, 가시광선 및 자외선 등으로

대별된다.

물체의 표면에서 방출되는 에너지중 적외선 영역(0.75-1,000 $\mu$ m)의 전자파를 검출하여 영상화함으로써 표면온도 및 방열량 등을 정성적, 정량적으로 분석할 수 있는 적외선 열상 측정기기(TVS)는 그림 1과 같이 기본적으로 8가지 부분으로 나누어진다. 일반적으로 적외선은 가시광선보다 긴파장의 것으로 인간의 육안으로는 볼 수 없으므로 Stefan-Boltzman법칙을 응용하여 이것을 전기적 신호로 변환시켜 육안으로 볼 수 있는 가시광선화시키는 것으로서 적외선 열상 측정기기에서 가장 중요한 역할을 하는 것이

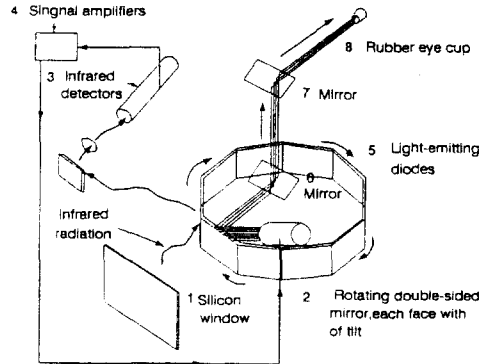


그림 1 적외선 열상 측정기기(TVS)의 기본원리

표 1 열형과 광자형 적외선검출기의 특성

구 분 종 류	열 형	광 자 형
	thermocouple thermopile bolometer golay cell	photoconductive type photoele type schottky barrier type schottky barrier type
감 도 응답속도 spectral특성 사용온도	낮 다 느 리 다 균일하다 상 온	높 다 빠 르 다 파장선택성이 강하다 저 온

적외선 검출기(Infrared detectors)이다. 이것은 Mechanism에 따라서 적외선의 열에 의해 발생되는 저항 등의 물리량 변화를 감지하는 열형과 적외선 광자량 변화를 감지하는 광자형으로 구분되며 종류 및 구성재료에 따라 감지특성 및 사용과장 영역을 달리한다. 표 1에 열형과 광자형 적외선 검출기의 개략적인 특성을 나타내었다.

### 2.2 시스템의 구성

TVS는 비접촉으로 물체의 표면온도를 영상화시키는 장치로서 적외선을 촬영하는 IR카메라, 촬영된 열상을 직접 볼 수 있는 Probeye, 열상을 나타내는 Display Unit, Color Monitor 그리고 열상을 촬영 녹화할 수 있는 폴라로이드 카메라 및 Video Recorder와 정성적인 분석을

위한 PC컴퓨터 등으로 구성되어 있다. 이때 IR 카메라로 감지된 열상을 가시측정기기인 Probeye Viewer을 통하여 직접 눈으로 볼 수 있으며 이를 증폭한후 물체고유의 온도분포를 16가지 색상으로 구분하여 모니터를 통하여 볼 수도 있다.

또한 이 열상을 주변기기와 PC를 이용하여 다각적인 분석을 할 수 있으며 TVS모니터에 나타난 피사체의 열상을 장기적으로 보관하기 위하여 Disk에 녹화가 가능하며 이것을 직접 Polaroid Camera로 촬영할 수도 있다. 그리고 현장에서 녹화한 열상을 재생하여 촬영된 부위의 방열량과 열관류율 등을 자동적으로 계산할 수도 있다.

이와 같은 적외선 열상측정기기의 성능과 구성도는 표 2 및 그림 2와 같다.

표 2 적외선 열상 측정기기(TVS-4300)의 성능

System type	Solid state detector-based imager with TV display
Detector	6-element indium antimonide
Detector coolant	Argon gas
Temperature range	-20 to 280°C (-68 to 536°F)
Spectral range microns(μm)	2.0 to 5.6
Sensitivity	0.1°C
Scanning method	Rotating mirror wheel
Focus range	10 in (250mm) to infinity
Field of view	15° horizontal, 7.5° vertical
Spatial resolution	2.18mrad(0.126°)
Display	Built-in 6-inch color monitor
Display levels	16 colors, standard
Display resolution	300 line vertical(60 picture elements) by 256 horizontal
Video output	NTSC RGB/RS-170 or PAL RGB/RS-170
Operating time	4 hours with standard cylinder
Operating temperatures	10° to 40°C (50 to 104°F)
Power	115/230 Vac, 50/60 Hz, 150 watts

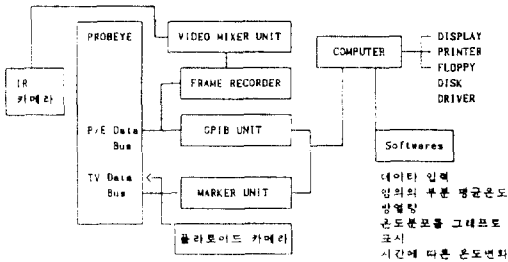


그림 2 시스템의 구성도

2.3 사용범위

이 기기의 사용범위에 대하여 간략하게 정리하면 다음과 같다.

- 사용범위
  - 건축물의 열손실량(방열량) 측정
  - 건물구조체의 열저항값 측정
  - 각 부위별 단열결함 측정
  - 각 부위별 표면온도분포 및 평균표면온도 측정
  - 단열재 사용여부 규명
  - 건축물 구조결함 측정(crack 등)
  - 기타 에너지관리 기술개발, 시설물관리,

생산공정관리를 위한 측정분석 등 여러분야의 응용이 가능한 기재이다.

2.4 분석방법

적외선 열상 측정기기에 의한 분석에는 정성적인 분석과 정량적인 분석이 있는데, 전자는 적외선 영상에 나타난 열손실 부위를 정확하게 검출하는 것을 의미하며 후자는 적외선 열상과 실험조건으로부터 방열량 및 열관류율을 산출하는 방법을 의미한다.

여기에서 정성적인 분석시에는 IR카메라에 의하여 감지된 물체고유의 온도분포를 16가지 색상으로 구분하여 Probeye Viewer을 통하여 직접 볼 수 있으며, 이를 증폭한 후 모니터를 통하여 확대하여 볼 수도 있다.

정량적인 분석시에는 data sheet에 기록된 제반조건 및 방사율을 대입함으로써 정량적인 결과를 산출할 수 있으며 방열량 및 열관류율은 아래의 이론식에 대입하여 산출한다.

- 가) 방열량(Q) 계산식
- (1) 복사에 의한 방열량( $q_1$ )

$$q_1 = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_o^4 - T_a^4) \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $\sigma$ 는 Stefan-Boltzman 상수,  $\varepsilon$ 은 방사율,  $T_o$ 는 물체표면의 절대온도,  $T_a$ 는 주위공기의 절대온도를 나타낸다.

(2) 대류에 의한 방열량( $q_2$ )

$$\begin{aligned} q_2 &= H_m \cdot (t_o - t_a) \\ &= h_m \cdot (t_o - t_a) \cdot 3\sqrt{t_o - t_a} \\ &= 1.173 \cdot 3\sqrt{t_o - t_a} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

여기서  $H_m$ 는 평균 자연대류 열관류율,  $h_m$ 는 열전달율,  $t_o$ 는 물체의 표면온도,  $t_a$ 는 주위의 공기온도를 나타낸다.

(3) 전체 방열량(Q)

$$\begin{aligned} Q &= (q_1 + q_2) \cdot A \\ &= (q_1 + q_2) \cdot a \cdot N \\ &= (q_1 + q_2) \times \frac{2 \cdot L \cdot \tan\left(\frac{15^\circ}{2}\right)}{256} \times \\ &\quad \frac{2 \cdot L \cdot \tan\left(\frac{7.5^\circ}{2}\right)}{60} \times N \\ &= (q_1 + q_2) \times 2.25 \times 10^6 \times L^2 \times N \\ &= \frac{4.88 \times 10^8 \times \varepsilon \{ (t_o + 273)^4 - (t_a + 273)^4 \}}{t_o - t_a} \\ &\quad + 1.173 \sqrt{t_o - t_a} \times (t_o - t_a) \times 2.25 \times 10^6 \times \\ &\quad L^2 \times N \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

여기서 A는 피사체의 표면적( $m^2$ ), a는 1화소당 면적( $m^2$ ), N는 화소수, L는 IR 카메라에서 피사체 표면까지 거리(m), TVS 화각도는 가로 7.5°, 세로 15°를 나타낸다.

나) 열관류율(K) 계산

그림 3에서와 같은 벽체에서 고온면으로 부터 저온면으로 전도되는 열전달현상을 정상상태라

고 가정후 Newton 냉각법칙에 의하여 각 부위의 열전달현상을 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} Q &= \alpha_i(t_i - t_{id}) = \alpha_o(t_{od} - t_o) \\ &= \Sigma \frac{\lambda}{d} (t_{id} - t_{od}) \\ &= \left( 1/\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o} \right) \cdot (t_i - t_o) \\ &= K(t_i - t_o) \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

TVS 화면에 나타난 피사체의 열상을 식(4)를 이용하여 계산한 방열량(Q)은 정상상태의 방열량(열손실량)이라고 할 수 없지만, 정상상태로 가정하여 계산하였다. 즉 방열량(Q)을  $\Delta t (t_i - t_o)$ 로 나누면 이 값이 K-Value라고 할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q &= K(t_i - t_o) \text{에서} \\ \therefore K &= Q / (t_i - t_o) \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

이다.

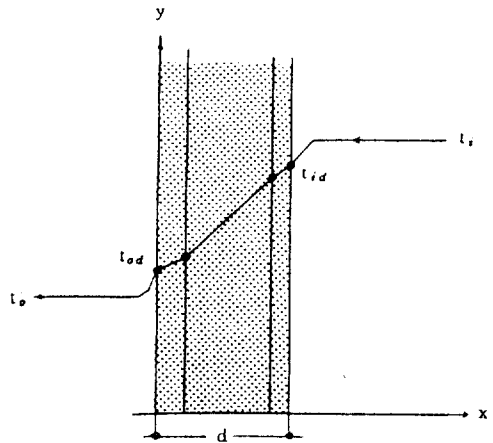


그림 3 구조체의 온도분포

### 3. TVS의 적용예

IR 카메라를 이용하여 구조체의 표면에서 방출되는 적외선을 검출한 후 TVS에 피사체의 열상을 나타낸다.

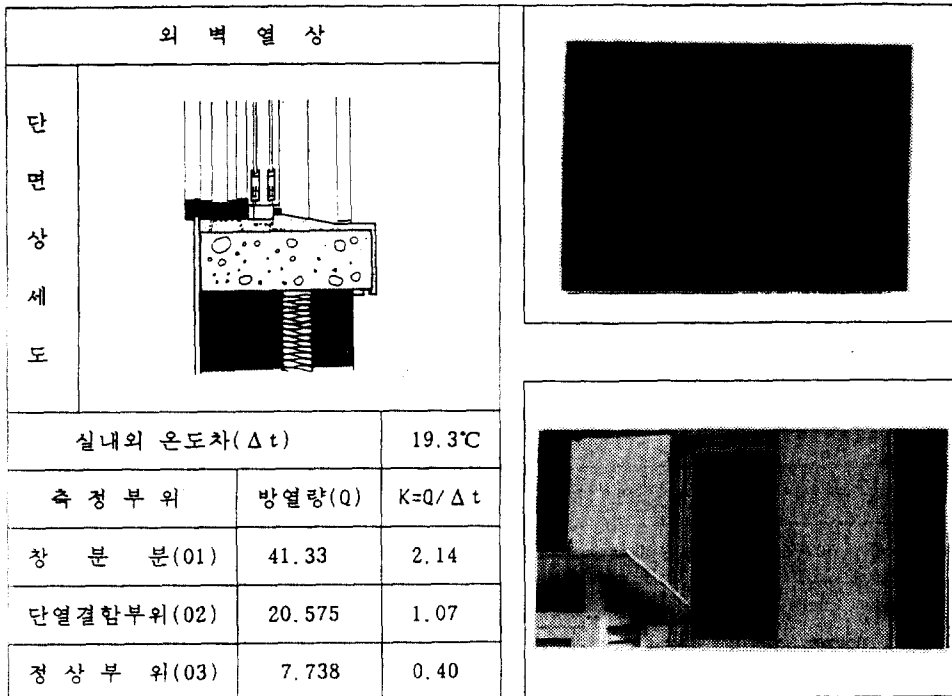


그림 4 주택외벽의 열상, 방열량 및 열관류율

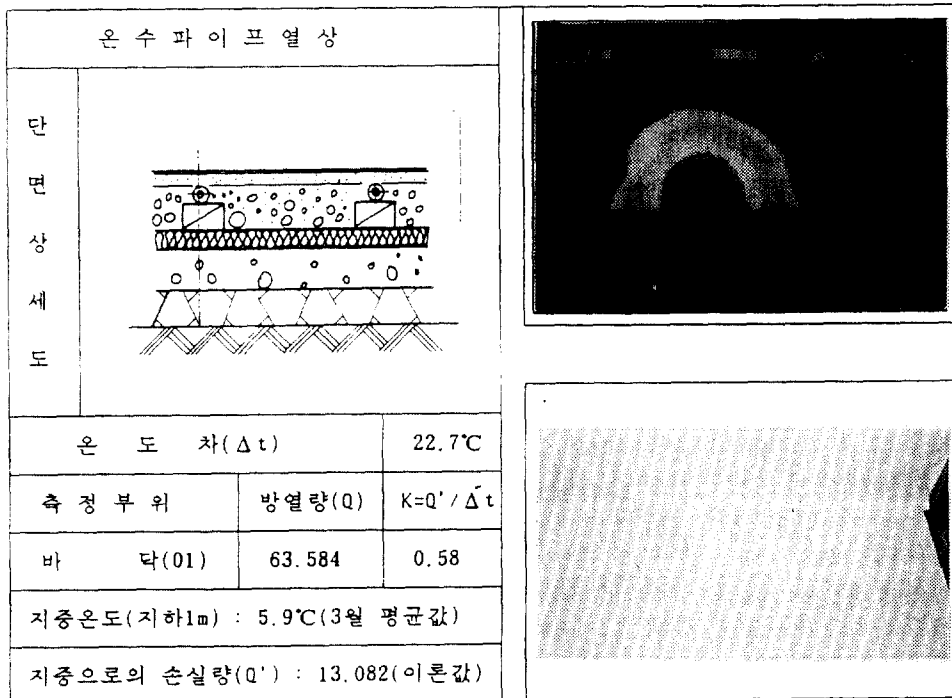


그림 5 온수파이프 주위의 열상, 방열량 및 열관류율

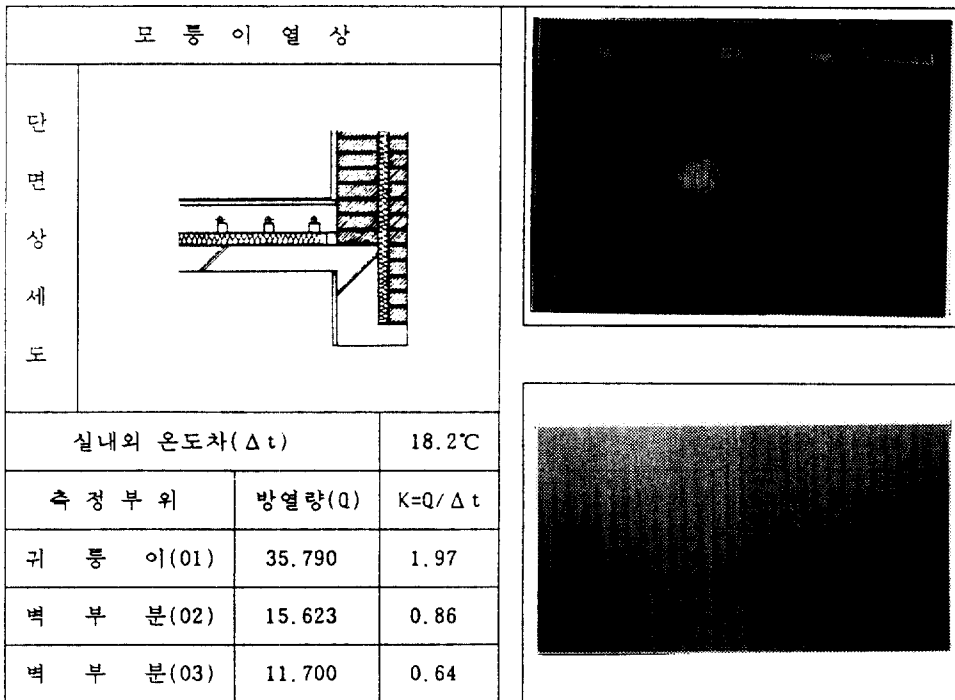


그림 6 모통이 부분의 열상, 방열량 및 열관류율

이때 TVS에 컴퓨터 및 주변부속기기를 연결하여 TVS 화면에 나타난 피사체의 열상으로부터 컴퓨터 내부에 입력되어 있는 프로그램에 의하여 특정 부위의 평균온도, 방열량 및 열관류율을 분석할 수 있는데, 한국에너지기술연구소에서 기존 주택의 단열결합의 실태를 파악하고 개선점을 도출하고자, 주택 각부위의 열상을 촬영하고 그 부위의 방열량과 열관류율을 도출한 결과중에서 몇가지 예를 그림 4~그림 6에 나타내었다.

각각의 그림에서 보면 좌측상부에는 측정부위의 단면상세도를 나타내고 있으며 그림의 우측하부에는 측정부위의 전경을 나타내고 있다. 그리고 그림의 우측면 상부에는 측정된 부위의 열상을 나타내고 있으며 좌측하부에는 측정된 부위의 방열량 및 열관류율을 나타내고 있다. 이때 열상은 16가지 색상으로 구별하여 온도범위를 나타내고 있으며 열상에서 지정된 부위의 열관류율 및 방열량 계산결과가 열상의 아래부분에 나타난다.

#### 4. 결 론

적외선 열상 측정기기(TVS)는 현장에서 특정부위의 열성능을 측정하는데 대하여 대상범위가 넓으므로 건축물 등 에너지 사용기구나 구조체에 대한 열성능의 개선방안을 제시하는데 바람직한 측정기기라 사료된다.

그러나 J.B.Fang 등이 미국내 여러지역의 건물에 대한 열성능 분석시 TVS를 적용한 결과, 열유출이 있는 부위의 검출에는 우수하나 외기온도가 변화함에 따라 벽체를 통과하는 열의 흐름이 비정상상태인데 TVS는 정상상태로 가정하여 정량적인 분석을 함으로써 오차를 가져올 수 있다는 결과를 제시한 적이 있다.

따라서 TVS는 정량적인 측정결과를 추출하기 위한 측정기기로서는 보다는 상대적 비교결과를 분석하고자 하는 방향으로 이 기기를 이용한다면 관련분야의 연구에 많은 도움을 줄 것이라 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 박효순 외, 1987, “건물에너지 절약연구 및 사례조사에 의한 경제성 분석”, 한국전력공사 연구보고서, pp40-80.
2. 박상동 외, 1987, “건물외피의 단열기술 개발 연구(I)”, 한국동력자원연구소 연구보고서, pp57-79.
3. 박효순 외, 1988, “발포 폴리스티렌 단열재의 효율적 시공에 관한 연구”, 한국동력자원연구소 연구보고서, pp71-88
4. 박윤성 외, 1984, “적외선 촬상법을 이용한 건축물의 측정연구”, 대한건축학회지, Vol.28, No.117, pp12-17.