

열환경 측정기기 및 측정요소

각종 기술의 발달과 함께 온열환경 측정 기기도 더불어 개발되어 왔다. 여기서는 온열환경 분야에서 많이 이용되는 측정기기와 그 사용법에 대하여 알아본다.

김 상 진/편집위원

전주대학교 건축학부(kimsj@jj.ac.kr)

서론

아주 어린아이를 제외하면 열, 온도라는 말을 모르는 사람은 아마도 없을 것이다. 그러나 열이란 무엇인가? 온도란 무엇인가라고 물어본다면 대답하기 어려운 사람이 많을 것이다. 특히 열과 온도 등은 무엇으로 어떻게 표시되며, 어떻게 인식할 수 있는가라고 물으면 상당히 세부적인 지식을 가지지 않고는 잘 알지 못하는 경우가 허다하다.

현재 시판되거나 자작(自作)으로 만들어 사용되는 온열환경 계측기기는 무수히 많으며 그 성능 또한 다양하다. 이러한 온열환경 측정기기가 어떤 물리량을 측정하기 위한 것인가를 물으면 간단한 기기를 제외하고는 그 사용처를 잘 알지 못하는 경우가 많다. 물론 기계기술의 발달과 심지어 전자기술의 발달에 힘입어 새로운 형태의 기기가 개발된 것도 이유가 될 수 있다. 이유야 어찌되었든 각종 실험에 사용되는 간단한 온열계측기기는 그 종류를 헤아릴 수 없을 만큼 무수히 존재하며, 새로운 기기가 향후에도 개발될 것이다.

한편으로는 각종 온열환경 계측기를 이용하여 어떤 요소를 평가할 것인가도 알아둘 필요가 있다. 온도계라 하더라도 단순히 건구온도만 측정할 수 있는 것과 습구온도를 함께 측정함으로써 다른 온열환경 요소를 평가할 수 있는 것은 엄연히 차이가 있다. 그러므로 이와 같이 하나의 물리적 요소를 통하여 어

떤 온열환경 평가지표를 나타낼 수 있는가를 먼저 알고 있는 것도 상당히 중요하다. 이러한 부분에 대해서는 다른 저자들께서 다룰 것으로 보이므로 본 원고에서는 많이 통용되고 있는 각종 계측기의 종류와 측정요소에 관하여 간단히 설명하고자 한다.

온열환경 계측에 필요한 물리량

온열환경 측정기기는 각종의 물리량을 측정하는 기구이다. 이러한 기구를 이용하기 위해서는 먼저 어떤 물리량이 필요한가를 정확히 알고 있어야 한다.

인간의 열환경에 대한 감각으로서 열적쾌적성 혹은 최적온도라 불리는 더위 및 추위에 대한 쾌적성이나 쾌적온도에 대한 표현법이 있다. 인간이 덥지도 춥지도 않다고 느끼는 상태, 즉 상당히 좁은 한정된 범위에서 한서 감각이 중간정도를 나타내는 것이 열적중성이며, 좋다, 나쁘다와 같은 가치기준이 포함되면 열적 쾌적이 된다고 생각할 수 있다. 시원하다, 따뜻하다하는 말은 어찌면 냉온감각에 쾌적성을 포함한 말일 것이다. 그러나 이러한 열적 쾌적은 단순한 온도만의 감각은 아닐 수 있다.

그렇다면 온열환경에는 어떠한 물리량이 있는가? 사람으로부터의 열은 현열과 잠열의 형태로 방산하는데 우리는 이 열을 주고받는 차이에 의해 더위와 추위를 느끼게 된다. 열방산과 관계있는 우리주위의 열환경요소는 일반적으로 크게 기온, 습도, 기류, 복



사열 등이 있다. 이들은 직접적으로 인간의 온냉감에 관계하는 온열조건이다. 이외에도 인체 대사량, 착의량 등이 있다. 그러나 우리가 더위와 추위를 느끼는 것은 이들 각 요소가 단독으로 작용하는 것이 아니고 여러 조합에 의하여 그때그때 종합적으로 작용한다. 따라서 열환경을 평가하기 위해서는 이들 전요소를 고려하는 것이 이상적이지만, 요소가 많아질수록 평가는 복잡해지고 직감성을 잃게 되므로 이들 복수요소를 고려한 종합적인 단일척도가 있어서 열환경을 평가할 수 있다면 실용적으로 매우 편리할 것이다.

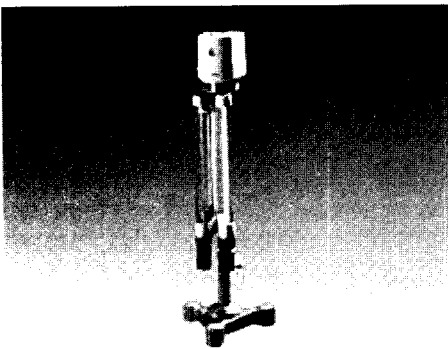
각종 온열계측기

앞서 온열환경 계측기를 사용함에 있어서 알아야 할 온열환경 요소를 간단히 살펴보았다. 본 장에서는 각종 온열계측기를 소개함과 동시에 이러한 계측기가 어떤 요소를 알아보는데 필요한가를 살펴본다. 또한 복잡한 기기의 경우 그 측정방법도 간단히 살펴보기로 한다.

기온

1) 아스만 통풍 건습계

정식명칭은 아스만 통풍 건습구 온도계이며 기온과 습도를 동시에 측정한다(그림 1). 수은봉입 유리 온도계를 이용한 것으로 수은의 체적변화를 이용하여 온도를 측정한다. 구부(球部)를 그대로 두고 측정하는 건부와 구부를 가제로 둘러싸고 물을 적셔서



[그림 1] 아스만 통풍 건습계

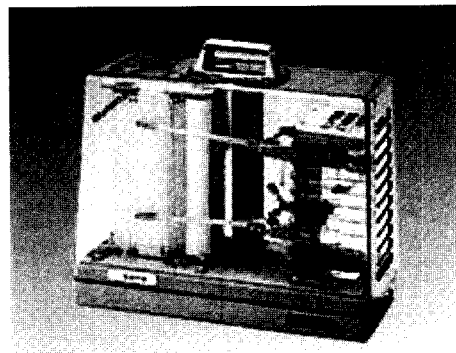
측정하는 습구가 있다. 팽으로 공기를 빨아들여 구부에 풍속 5 m/s이상의 바람이 닿게 하고 도금된 2중관에 의해 열복사가 차폐되는 구조로 되어있다. 측정시 주의할 점은 측정하고자 하는 환경에 7분이상 충분히 노출시킨 후에 측정해야 한다.

2) 자기온도계

간편한 측정기이며 바이메탈의 변형에 연동하는 팬에 의해 회전하는 드럼에 감겨진 기록지 위에 온도의 변화가 연속적으로 기록된다(그림 2). 기록지의 종류에 따라 1일에서 30일까지 장기 측정이 가능하다. 장기간 관측자 없이 측정하는 경우에 유용한 기기이다. 기록지 가장자리 부위의 온도기록은 오차가 있는 점, 온도 기록선이 곡선인 점, 그리고 기록팬이 진동의 영향을 받는다는 점 등의 결점이 있다.

3) 열전대

서로 다른 두 종류의 금속의 양 끝단을 접속시켜서(그림 3) 그 접점에 온도차가 발생하면 미약한 기전력이 발생한다. 이것을 제백 효과라 하는데 이 현상을 이용하여 온도차를 측정한다. 한쪽 접점의 온도를 일정한 상태로 하면 다른쪽 접점의 절대적인 온도를 계측할 수 있다. 보통 얼음이 녹아 물이 되는 상태를 이용하며 이것을 냉접점이라 한다. 일반 측정장치에는 기계적으로 냉접점을 보완하는 장치가 붙어있지만 기온변화로 절대적인 값이 변동하는 수도 있으므로 얼음의 융점에서 냉접점을 잡는 것이 바람직하다(그림 4). 열전대는 부착하여 사용시 그



[그림 2] 자기온도계

사용방법에 따라 큰 오차를 보일 수 있다. 그림 5에 부착시의 주의사항을 간단히 나타내었다.

4) 격측온습도계

격측온습도계는 지표면에서 1.5 m에 일사의 영향을 막기 위한 통풍통을 설치하고, 이 안에 기온감지부를 넣어 통 아래에서 외기를 흡입하여 기온을 측정한다. 운모 등의 얇은 판에 가는 백금선을 감은 구조의 기온감지부는 온도에 따라 백금선의 전기저항 변화를 감지하여 떨어져 있는 실내에서 기온을 측정할 수 있다.

습도

1) 아스만 통풍 건습구 습도계

앞서 온도계측시에도 사용되는 아스만 통풍 건습계와 같은 기계를 이용한다. 이 경우 습구온도를 측정할 때에는 습구온도계에 가제를 감는 방법이 상당히 영향을 미친다. 일반적으로는 그림 6과 같이 구



[그림 3] 열전대(T형)

부를 한점 반 감도록 한다. 건구와 습구에 의하여 습도를 구할 때는 Sprung의 공식을 이용한다.

$$f = f_{ws} - 0.000662P(t_d - t_w) \quad (1)$$

여기서, f : 수증기압 [Pa]

f_w : 습구온도에서의 포화수증기압 [Pa]

P : 대기압 [mmHg]

t_d : 건구온도 [°C]

t_w : 습구온도 [°C]

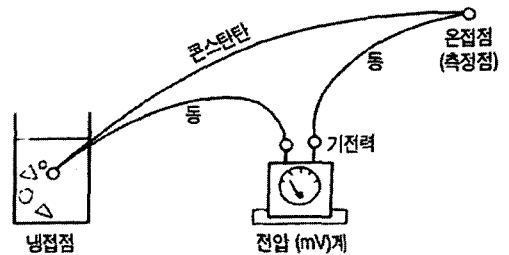
이것에 의하여 상대습도(RH)는 다음 식으로 구한다.

$$RH = \frac{100f}{f_s} [\%] \quad (2)$$

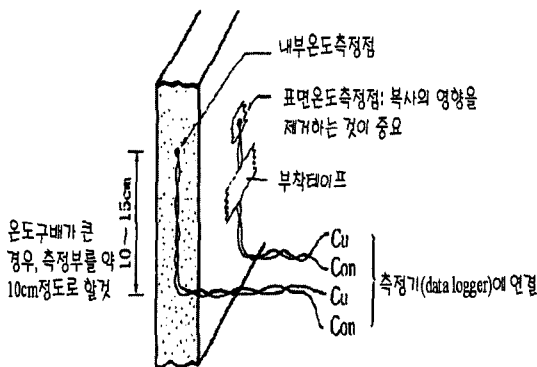
여기서, f_s : 건구온도에서의 포화수증기압 [Pa]

2) 전기식 습도계

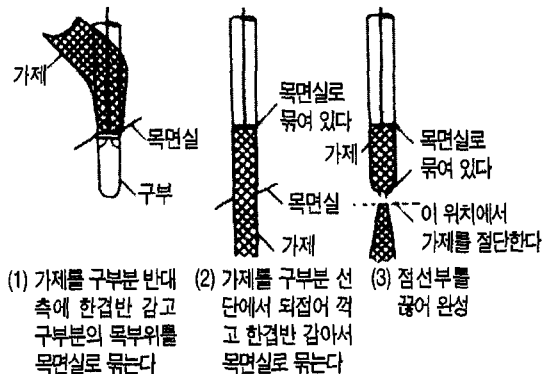
전기식 습도계는 환경의 수증기 량에 대응하여 전기저항 또는 정전용량이 변하는 성질을 이용한 것이



[그림 4] 열전대측정 다이어그램



[그림 5] 열전대 부착시 주의사항



[그림 6] 아스만 통풍 건습구 습도계의 올바른 가제 감는 방법



다. 상대습도를 직접 읽을 수 있으므로 편리하다. 그러나 사용 환경이나 응답특성에 특징이 있으므로 주의를 요한다. 분해 능력은 일반적으로 0.1%이지만 검출 및 정확도는 $\pm 5\%$ 의 것이 많으므로 이점도 주의할 필요가 있다. 습도센서는 염류의 포화용액을 이용한 습도정점에 의한 방법으로 때때로 교정하는 것이 바람직하다.

열복사

열복사의 측정은 각 실내를 구성하는 표면온도를 측정하는 방법과 공간의 어느 점에서의 복사온도 또는 방사열량을 구하는 방법으로 구별할 수 있다.

1) 표면온도의 계측용 기기

계측은 접촉형과 비접촉형이 있다. 접촉형은 열전대를 벽면 등에 길게 직접 붙여서 측정하는 방법이고, 비접촉형은 적외선을 이용한 복사온도계(그림 7) 혹은 적외선 열화상으로 온도분포를 측정하는 것이다. 이 온도로부터 복사열량을 스테판·볼츠만 법칙에 따라서 계산하거나 형태계수를 이용하여 평균 복사온도를 계산한다.

열전대를 벽면에 붙여서 표면온도를 측정할 때는 10 cm 이상은 표면에 밀착시킨다.

2) 복사온도의 계측용 기기

평균복사온도나 지향성 평균복사온도를 측정한다. 경우에 따라서는 복사에 의한 지향성 열류를 측정한다. 가장 이상적인 방법은 글로브 온도계의 열평형에서 평균복사온도를 구한다. 지향성 평균복사온도

측정기는 반대 방향인 미소평면의 평균복사온도를 측정하는 기기이다. 입방체 표면이 검은색과 은색으로 마감된 열류계를 갖는 지향성 복사를 측정하는 벡터 복사온도계의 개발도 시도되고 있다.

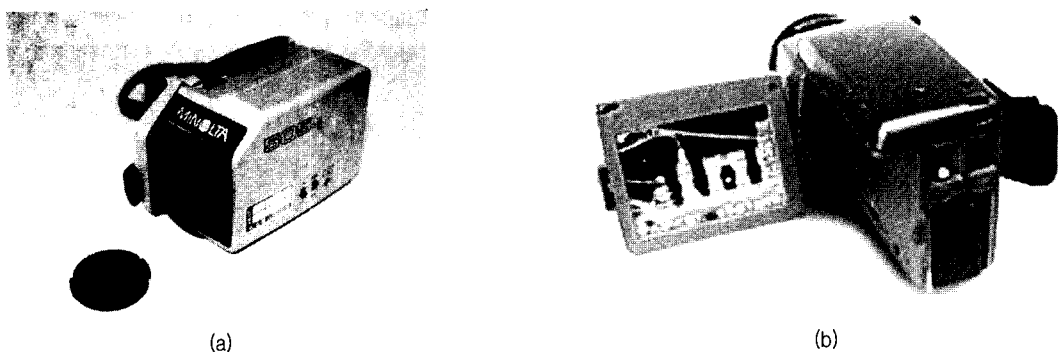
온감계측기

종합적으로 온열환경을 측정하거나 체감과의 관계를 구하는 측정기는 여러 종류가 있으며 각각 일장 일단을 갖고 있다. 온열환경 4조건이 포함되어 있는 것도 있지만 현열만 취급하는 것이 많다. 여기서는 간단히 몇 가지만을 소개한다.

1) 글로브 온도계

글로브 온도계는 기온과 복사의 종합효과를 측정하고자 한 것으로 1930년 Vernon에 의하여 고안되었다. 외표면을 흑색이며 무광택으로한 직경 약 15 cm의 중공밀폐동구의 중심에 온도계의 구부가 위치하도록 한 기구이다(그림 8). 이를 측정하고자 하는 곳에 매달아 주위의 기온과 부벽 표면의 온도변화가 없으면 약 15분으로 평형온도에 이른다. 이때의 값을 글로브 온도라고 하며, 이 글로브 온도와 기온과의 차이를 유효복사온도라고 한다.

글로브 온도계는 발열이 없는 구의 복사와 대류에 의한 평형온도를 측정하는 것이다. 기온과 풍속을 측정하여 평균복사온도를 계산할 수 있다. 비교적 기류의 움직임이 없다면 그 눈금은 인체에 대한 작용온도와 거의 일치한다고 볼 수 있다. 글로브 온도계의 단점은 평균복사온도가 기온보다 낮은 경우는 인간의 추위와 더위에 대한 감각과 대응하지 않는다



[그림 7] 복사온도계

는 점이다. 따라서 평균복사 온도가 기온보다 높은 경우에 이용해야 한다.

글로브 온도계의 눈금 t_g [°C]로부터 평균복사온도 t_r [°C]는 다음의 Bedford식으로 구할 수 있다.

$$t_r = t_g + 2.37\sqrt{v}(t_g - t_a) \quad (3)$$

여기서, t_a : 기온 [°C]
 v : 풍속 [m/s]

일반적으로 글로브 온도계는 구내 공기의 열용량 때문에 응답속도가 느린 결점이 있다. 이것을 피하기 위해서 구내를 가능하면 진공으로 하여 사용하거나 고속응답의 글로브 온도계도 개발되어 있다.

2) 카타한난계

인체의 방열모형으로 개발되었다. 머리 감온부를 데워서 알콜 막대를 상승시켜 그것의 강하 시간을 측정함으로써 환경의 냉각력을 측정하는 기구이다(그림 9). 그러나 그 형상이 작으므로 풍속에 대한 감도가 극히 높아서 근래에는 미풍속계로 이용하고 있다.

3) WBGT계

고온환경과 실외환경에 이용되는 WBGT 지표는 다음 식으로 표현되고, 실외방향과 실내방향에 따라 다른 식을 이용하여 계산한다.

실외: $WBGT = 0.7t_w + 0.2t_g + 0.1t_a \quad (4)$

실내: $WBGT = 0.7t_w + 0.3t_g \quad (5)$

여기서, t_w : 습구온도 [°C]
 t_g : 글로브 온도 [°C]
 t_a : 건구온도 [°C]

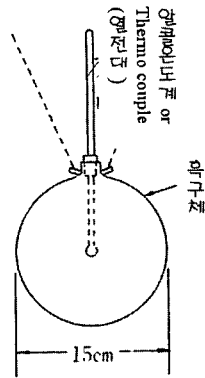
보통은 비통풍형의 온습도계를 이용하며 일사차폐는 하지 않고 건구온도, 습구온도 및 글로브 온도계로 측정하여 계산하는 것이다. 최근에는 각 측정기가 일체식으로 조합되어 측정 및 연산하여 표시되는 것이 시판되고 있다. WBGT로 심박과 체온의 대응을 알 수 있어 무더운 노동환경에 비추어 육체의 운동환경평가에 쓰인다.

4) Comfort Meter

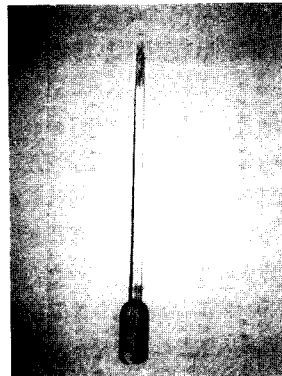
Fanger가 개발한 PMV(예측평균온냉감신고)를 구하는 측정기이며, Madsen에 의하여 개발되었다(그림 10). 센서의 발열부와 비발열부의 열수지로부터 기온, 평균복사온도, 풍속을 구하며 전기적으로 연산하여 PMV를 구하는 것이다. 습도는 측정되지 않고 별도로 측정하여 다이얼로 입력해야 한다. 센서 부분은 방추형으로 되어있지만 특성치가 인체와 등가인지는 불명확하다. 정확도 측면에서 보면 실험실에는 부적당하며 현장측정이나 제어용으로 적당하다.

5) ET*측정기

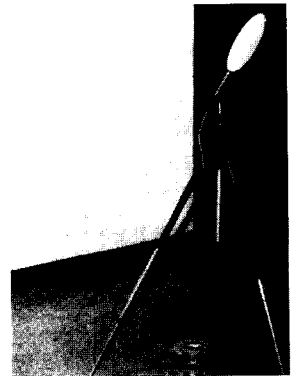
ET*(신유효온도)의 개발에 착수했던 연구자들이



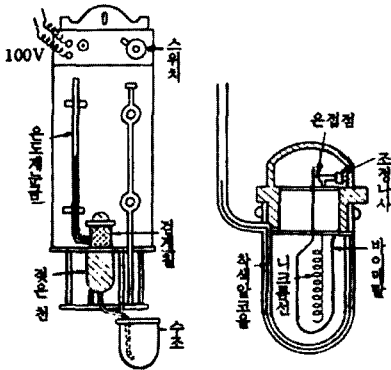
[그림 8] 글로브 온도계



[그림 9] 카타한난계



[그림 10] comfort meter



[그림 11] 노연식 생체온도계

고안한 측정시스템이며, ET*계산을 위한 프로그램도 완비되어 있으므로 ET*의 측정에는 적합하다. 그러나 각각의 센서에 대해서는 사용자가 항상 검정할 필요가 있다.

6) 체감제어센서

제어용의 신호가 나오는 여러 가지 모양의 발열형 센서를 이용하며 현열만 취급하는 경우가 많다. 최적의 온도로 유지하기 위한 제어용 신호가 나오는 구조로 되어있다. 탁상형, 벽걸이형, 벽면형 등이 있다. 센서의 성능이나 특성을 잘 알아야 하며 특히 설치하는 위치에 따라 그 값이 달라지므로 주의할 필요가 있다.

7) 노연식 생체온도계

일본 노동과학연구소 전신인 구라시키 노동과학연구소 시대에 고안된 것으로 인체에 대한 공기의 냉각력 측정장치의 하나이다. 즉, 기온, 습도, 복사, 풍속의 4요소에 대하여 인체가 느끼는 것과 같은 감각

을 나타내고자 한 것이다(그림 11).하부의 유리원통은 전열로 가열과 자동조정으로 늘 체온과 같은 36.5로 유지되고 있다. 따라서 검사하고자 하는 환경의 온습도, 풍속, 복사로 착색 알코올온도계 시도가 다르게 표현된다. 실험에서는 ET와 비슷한 결과를 나타낸다.

결론

본고에서는 온열환경을 평가하기위한 각종 계측기와 그 계측기를 통한 측정요소를 간단히 살펴보았다. 여기서 나타난 온열환경용 계측기 이외에도 수많은 계측기가 이용되고 있다. 기술의 발달과 더불어 각종 계측기 또한 그 성능이 발달하리라 생각한다. 앞서도 언급하였지만, 계측기가 무엇인지도 중요하지만 그 계측기를 어디에 사용할 것인가 또한 중요하다고 본다. 같은 분야에서 일하는 한 사람의 연구자로서 좀더 간단하면서 쉽게 사용할 수 있는 새로운 정밀측정기가 탄생하기를 기대한다.

참고문헌

1. 박병전, 기문당, 건축환경공학, 2001.
2. 環境工學教科書研究會, 環境共學教科書(第2版), 彰國社, 2000.
3. 김유숙 외 11인, 알기쉬운 건축환경, 기문당, 2005.
4. 田中俊六, 武田仁, 足立哲夫, 土屋喬雄, 最新環境工學(改訂版), 井上書院, 1993.
5. 이건영, 서승직, 건축환경공학, 일진사, 1991.
6. 小原俊平, 稻沼責, 建築環境の溫湿度測定方法, 空氣調和・衛生工學, 第53卷, 第4号, p1-10