

다채널 피부온 센서를 이용한 인체표면 온도분포의 측정

한화택, 김민규, 박명규*, 이성수*
국민대학교, (주)테크노스 기술연구소*

Measurements of Temperature Distribution on Human Body Surface using Multi-Channel Skin Temperature Sensors

Hwataik Han, Min-Kyoo Kim, Myoung-Kyoo Park*, Sung-Soo Lee*
(Kookmin University, Technox R&D Center*)

요 약

인체의 피부온도는 쾌적성과 감성에 크게 영향을 미치며 의류의 개발이나 건축환경의 설계 등에 활용되고 있다. 단순히 몇몇 측정점에서의 피부온도 데이터가 아니라 인체표면에 걸친 온도분포를 파악함으로써 다양한 정보를 이용하여 보다 광범위한 응용분야에 활용될 수 있을 것이다. 현재 인체표면의 온도분포를 측정하기 위하여 대부분 적외선 열화상 카메라를 활용하고 있다. 그러나 열화상 카메라는 서미스터 등을 이용한 피부온 센서에 비하여 온도분해능이 떨어지며 특히 의복내의 피부온을 측정하는 것이 불가능하고 노출된 인체표면에 대해서만 측정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 피부온 센서를 이용한 인체표면 온도분포 측정시스템을 개발하기 위하여 각 센서의 위치와 간격, 그리고 인체 곡면을 따라서 보간법에 따라 온도분포 결과에 미치는 영향을 파악하고 적외선 화상 결과와 비교하고자 한다.

Keywords: 온열쾌적성(Thermal Comfort), 보간법(Interpolation Method), 열화상카메라(Infra-red Camera), 피부온(Skin Temperature), 온도센서(Temperature Sensor)

1. 서 론

다양한 환경변화에 대하여 인체는 스스로 체온조절반응을 일으켜 체온의 항상성을 유지하고 있다. 체온이 일정하게 유지되고 있다고 하더라도 전신이 항상 일정한 온도로 유지되고 있는 것은 아니고 신체 부위에 따라서 큰 차이를 보인다. 체내 온도분포는 고온인 심부(core)와 상대적으로 온도가 낮은 외각부(shell)로 크게 나눌 수 있다. 추운 환경에서는 신체의 열량이 심부로 모이고 더운 환경에서

는 전신에 골고루 분포되는 것으로 알려져 있다.^[1]

피부온은 피부 표면의 온도로서 심부를 둘러싸고 있는 외각부의 온도를 말하며 피부의 혈관운동(vasomotor activity)에 의해 조절된다. 혈관이 확장되면 피부혈류량이 증가하며 혈관이 수축되면 피부혈류량이 감소하여 그 결과 피부온은 낮아진다.

따라서 피부온은 인체와 환경이 접하는 경계면의 온도이므로 인체와 환경과의 열교환량을 규정하는 인자로서 인간의 체온 조절 반응의

정도를 나타내는 지표가 되며 나아가 인체의 온열감을 좌우하는 인자로서 피부 온열 생리 기능 연구에 있어서 중요한 지표이다.^[2,3]

평균피부온은 전체 피부온의 평균값으로서 전신의 몇 군데의 피부온을 측정하여 그 측정점이 대표하는 부위의 전신 표면적으로 가중한 평균값이다. 평균 피부온의 산출법으로 측정점수에 따라서 4점법, 5점법, 7점법, 12점법 등 여러 가지가 있으나, Ramanathan의 4점법과 Dubois의 7점법이 가장 많이 사용되고 있다.^[4,5]

이러한 특정점의 피부온도 측정법과 달리 인체표면을 따라서 피부온도의 분포를 측정함으로써 국부적인 피부질환을 진단하거나 의복의 국부적인 단열성능 등을 파악하는데 이용될 수 있다. 노출된 피부에 대한 온도분포의 측정은 대부분 적외선 열화상 카메라를 이용하고 있다. 그러나 열화상 카메라는 서미스터 등을 이용한 피부온 센서에 비하여 온도분해능이 떨어진다. 비선형 특성을 갖는 서미스터의 출력을 선형화하면 피부온도 측정에서 요구되는 0.01°C까지 분해능을 올릴 수 있다. 또한 열화상 카메라로는 노출된 피부온도의 측정은 가능하나 의복으로 가려져 있는 의복기후에 대한 측정이나 피부온도의 측정은 불가능하다. 적외선 투과 특성을 갖는 것이 있기는 하나, 의복과 피부 사이의 간격이 크지 않아서 초점차이에 의한 분별력을 이용하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 다채널 온도분포 측정 시스템을 개발하기 위하여^[6] 피부온 센서로 인체표면의 온도를 측정하여 온도분포를 도시하는 예를 보이하고자 한다. 각 센서의 위치와 간격, 그리고 인체 곡면을 따라서 보간법에 따라서 결과에 미치는 영향을 파악하고 노출된 피부온도에 대한 결과는 열화상 측정 결과와 비교하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 다채널 온습도 측정기와 피부온 센서

온도 센서는 의복내 온도 또는 피부온도를 측정하기 위하여 소형 경량이면서 높은 민감도

와 안정성을 요한다. 실험에는 본 연구에서 개발된 다채널 온습도 측정기와 서미스터 센서를 이용하였다. 서미스터의 비선형적 응답특성을 해결하기 위하여 발진부와 RC회로를 이용하였고 로그컨버터를 제거하여 동작특성을 향상시켰다. 다채널 온습도 측정기는 온도측정상의 분해능이 0.01°C이고 0.1°C의 정밀도를 보인다. 또한 최대 24채널까지 가능하며 온습도의 기록범위는 각각 0-90°C, 10-90%이다. Fig. 1은 온도에 따른 센서의 출력 전압을 보이고 있다. 넓은 온도범위에 걸쳐서 약간의 선형성에서 벗어난 구간이 있기는 하나 전반적으로 좋은 선형성을 보인다.^[7]

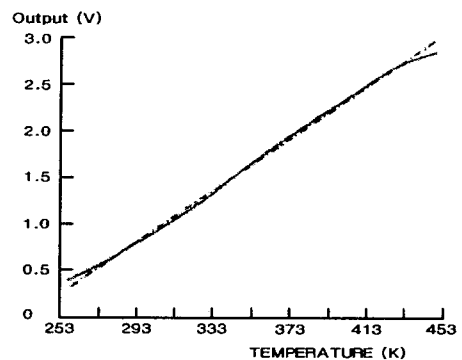


Fig. 1 온도센서의 출력특성

2.2 인체표면과 보간법

표면의 온도분포를 보는 각도에 따라서 도시하기 위해서는 3차원 인체형상을 입체적으로 구현하여야 한다. 본 연구에서는 그래픽용으로 개발된 인체모형을 사용하였으며 Fig. 2는 3차원 표면 메쉬를 보인다. 측정점은 마우스로 클릭하여 입력하고 지정된 평면좌표와 인체표면 함수와의 교점에서 3차원 측정좌표를 구한다. 이러한 작업은 Open Inventor Mapping에 의하여 가능하다.

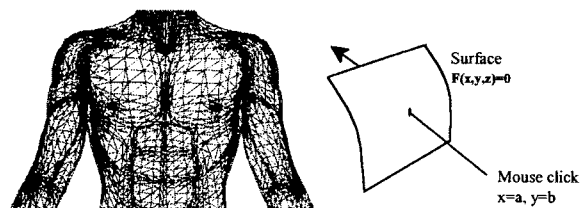


Fig. 2 삼각형 인체모델 메쉬와 마우스에 의한 측정좌표 설정

각 매쉬점에서의 온도는 측정점에서의 온도 측정값을 보간하여 구한다. 보간은 거리의 역제곱(Inverse distance square)방법과 Kriging 방법을 이용하였다. P는 보간점을 의미하고 n은 측정점의 개수이다.

$$T_p = \alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2 + \dots + \alpha_n T_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i T_i$$

여기서 α 는 보간방법에 따른 가중평균 계수로서 보간점에서 인근 온도측정점까지의 거리에 따른 함수로 표현된다.

2.3 실험방법

피부온도의 분포를 측정하기 위하여 여기서는 습도센서는 사용하지 않고 온도센서만을 이용한다. 실시간으로 측정되는 온도값은 차트형태로 출력되며 이를 저장하였다가 피부온도분포를 도시할 수 있다. 다채널 온습도 측정기를 이용한 피부온 측정 소프트웨어는 Fig. 3과 같이 구성되어 있다.

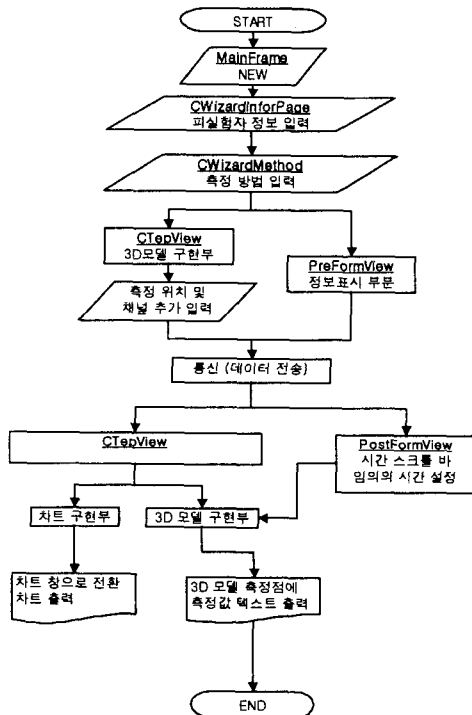
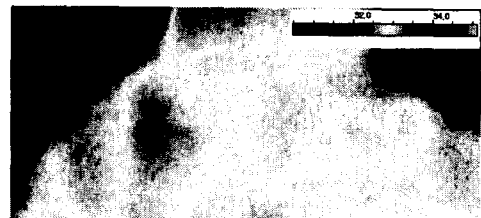


Fig. 3 다채널 온습도 측정기를 이용한 피부 온도분포 측정 소프트웨어의 구조

온도센서를 가슴과 등 부위에 부착하고 의복을 착용하였을 때와 착용하지 않았을 때의 온도값을 측정한다. 이러한 측정 온도값을 보간하여 분포도를 출력한다. 피부온 센서에 의한 측정과 동시에 적외선 카메라를 이용하여 열화상을 촬영한다. 사용된 적외선 카메라는 표면의 방사율 값을 적절히 세팅해서 온도 보정을 해주어야 한다.

3. 결과분석 및 검토

Fig. 4는 의복을 탈의한 상태에서 피실험자의 등 부위에 대한 측정결과를 보이고 있다. 피부온센서에 의한 온도측정값을 보간하여 등온선으로 표현한 그래프를 적외선 화상카메라에 의한 측정결과와 비교하여 보이고 있다. 이때 실내의 건구온도는 24.6°C이며 피실험자는 가만히 앉아있는 상태이다. 부분적인 온도분포를 확인할 수 있으며 전반적으로 일치하고 있다.



(a) 열화상카메라



(b) 온도센서

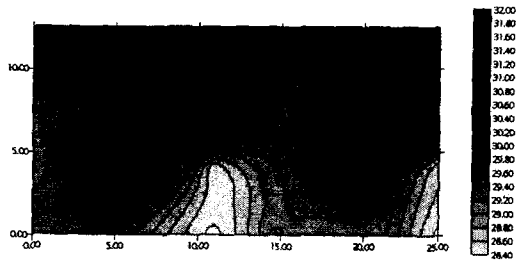
Fig. 4 탈의시 등부위의 온도분포의 측정결과

Fig. 5는 착용한 상태에서 온도범위 세팅 차이에 따른 온도분포 및 분해능의 차이를 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 온도범위를 노출된 피부에 맞추는 경우에는 다른 온도범위에 있는 의복 표면의 온도가 제대로 표시되

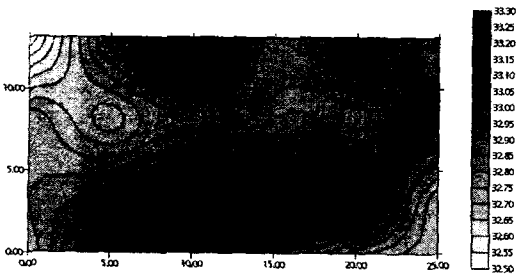
지 않으며 의복표면에 온도범위를 맞추는 경우에는 피부표면의 온도는 측정범위를 벗어나기 때문에 전 범위에 대한 분해능을 제공받지 못한다. 여기서 열화상 카메라로 측정한 온도 분포는 의복내의 온도가 아닌 의복 외표면의 온도분포를 보인다.



Fig. 5 온도범위 차이에 따른 분해능



(a) 의복의 표면 온도분포

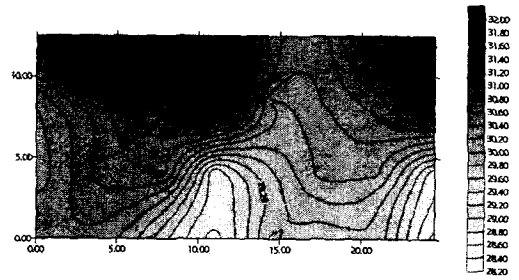


(b) 의복내 피부온도 분포

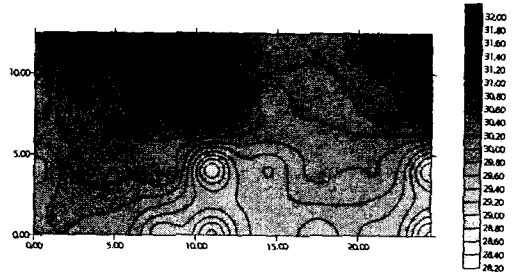
Fig. 6 의복 외표면 온도분포와 의복내 피부 온도 분포의 비교

Fig. 6은 피부온센서를 이용하여 착의시 의복 표면의 측정결과와 피부온 측정결과를 비교하여 보이고 있다. Fig. 6a의 경우, 열화상 결과와 유사한 결과를 보이고 있다. 반면 6b의 경

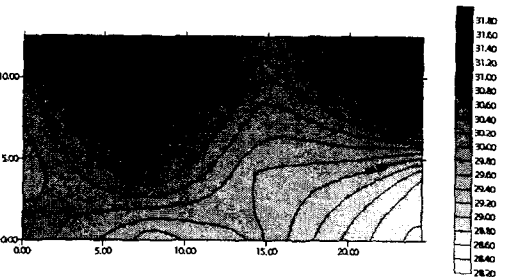
우, 피부온 센서의 일부는 의복내에 위치하고 목부분의 일부는 노출되어 있다. 예상할 수 있는 바와 같이 의복내 피부온도는 노출된 피부 온도보다 높게 나타나고 있고, Fig. 6a와 비교할 때 의복 표면의 온도보다 상당히 높게 나타나고 있다.



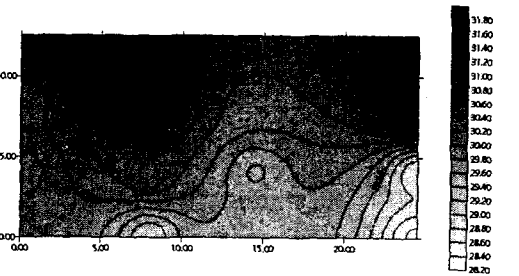
(a) Kriging Method (dx=40mm)



(b) Inverse Distance Method (dx=40mm)



(c) Kriging Method (dx=80mm)



(d) Inverse Distance Method (dx=80mm)

Fig. 7 보간법과 측정점 거리가 결과에 미치는 영향

Fig. 7은 보간 방법과 데이터 간격에 따라서 분포결과에 미치는 영향에 관하여 고찰한 결과를 보인다. Fig. 7a는 Kriging방법에 의한 보간 결과이고 Fig. 7b는 거리의 역제곱 가중 방법에 의한 보간 결과이다. 일반적으로 거리의 역제곱 방법에 의한 결과는 측정값 자체의 가중이 매우 커서 국부적으로 고립된 형태로 표시되는 경향이 있다. Fig. 7c와 7d는 수평방향 측정 거리간격을 두배로 하였을 때, 즉 측정점 수를 절반으로 하였을 때의 보간법에 따른 결과를 비교하여 보이고 있다. 측정 간격이 넓은 경우 공간상의 분포를 보간하는데 있어서 많은 오차가 내포하게 된다.

4. 결론

피부온 분포측정시스템을 개발하기 위하여 피부온센서의 위치와 간격, 그리고 인체 곡면을 따라서 보간법에 따라 온도분포 결과에 미치는 영향을 파악하고 열화상 결과와 비교하였다. 의복을 착용하지 않았을 때의 노출된 피부에 대해서는 피부온 센서에 의한 표면온도분포의 측정에 있어서 열화상 카메라를 이용하는 것에 비하여 다소 번거로운 점이 있다. 그러나 의복 연구에 있어서 의복 착용시의 의복 내 기후 또는 피부온 분포 등에 관한 결과를 통하여 의복의 단열성이나 쾌적성 등에 관한 연구를 위해서는 피부온 센서를 이용한 본 실험방법이 활용될 수 있을 것이다. 거리의 역제곱에 의한 보간방법은 측정값을 지나치게 강조하여 국부적으로 고립된 형태의 온도분포를 보이는 경향이 있으며, 공간상 의미있는 온도분포를 구하기 위해서는 측정점 간의 거리를 대략 5cm 이내로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 앞으로 측정값을 보간하는 방법과 피부온 분포에 따른 열적 쾌적성과의 관계, 또는 의류의 단열저항과의 연관성 등에 관한 연구가 보다 활발하게 이루어져야 할 것이며 다채널 온습도분포 측정기가 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 신인수, 1991, '피부위생학,' 경춘사, pp. 48-58
2. 김명주, 1996, "한국인의 월별 피부온에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문.
3. Gagge, et al., "The Influence of Clothing on the Physiological Reactions of the Human Body to Varying Environmental Temperature, American Journal of Physiology, 124:30 (1938)
4. 최정화 (1994) 의복기후가 건강에 미치는 영향, 한국온열환경학회지, 2(1),1-8.
5. Fanger, P. O., 1982, 'Thermal Comfort,' Analysis and Applications in Environmental Engineering, Robert E Kreiger Publishing Co., Malabar, Florida.
6. 한화택 외, 2001, "온열쾌적성 평가를 위한 다채널 온습도분포 측정시스템의 설계," 감성과학회 춘계학술대회 논문집, p. 13.
7. 김성환 외, 2001, "다채널 온습도 측정기 개발," 감성과학회 추계학술대회 논문집, P-21.