

인간의 열적 쾌적환경

각종온열환경지표의 종류 및 특징을 살펴보고 이를 이용한 결과를 소개한다.

백용규

서일대학 건축과 교수(ykba@hananet.net)

서론

인간은 예로부터 강우, 강풍, 한난, 외적으로부터 자신을 보호하기 위하여 거처(shelter)를 만들었다. 처음에는 단순히 자연적으로 만들어진 굴(cave)을 이용하거나, 땅을 파고 지붕을 얹어 놓는 형태로서 우리가 요즘 정의하고 있는 건축물의 형태라고는 보기 어렵다. 그러나 점차적으로 단순히 몸을 보호하기 위한 것만이 아닌 개념으로서 채광을 위한 창이나 환기를 위한 통풍구 등 자연을 교묘하게 이용하게 되었고 또한 쾌적한 생활공간을 요구하며 자연에 대항하여 조명, 냉난방과 같은 설비적인 측면에서의 고려가 함께 되어졌다.

인간은 사회가 발전되고 경제적으로 윤택하게 됨에 따라 실내의 환경이 편안하고 쾌적하게 되도록 추구하고자 한다. 따라서 인간이 거주하고 있는 공간은 이러한 인간의 욕구에 알맞도록 조성되어야 할 것이다. 일반적으로 인간을 둘러싸고 있는 실내의 환경은 여러 가지 요소에 의하여 쾌적과 불쾌감이 결정된다. 그런데 일반적으로 물리적인 측면에서만 살펴본다면, 실내의 환경에 영향을 미치는 요소로는 크게 열, 빛, 음 및 공기로 나눌 수 있다. 여기에서는 인간의 쾌적감에 영향을 미치는 이러한 각종 요소 중 열적인 측면에서의 영향을 파악하고, 특히 온열환경을 평가하는 각종 평가지표를 중심으로 하여 고찰하여 본다.

온열환경의 의미

예로부터 건축물은 인간이 직접적인 외부환경으로의 노출로부터 완충 작용을 하며, 맹수 등의 위협으로부터 인간을 보호할 수 있는 장소를 제공하여 주었다. 그러나 오늘날 사회가 발전하고 경제가 윤택함에 따라 인간은 건축물을 단순히 거주한다는 개념의 장소라는 차원을 벗어나 자신이 거주하고 있는 실내공간을 쾌적하며 살기 편안한 장소로 변화시키는 노력을 통하여 건축물을 발전시키고 있다.

인간이 거주하고 있는 실내 환경은 여러 가지 물리적인 요소에 의하여 영향을 받는다. 특히 열적인 측면에서 고려해 보면 인간은 온열환경 요소 및 개인의 주관적·생리적인 특성에 따라 실내 환경을 평가하게 된다. 이러한 노력 중에서 특히 열적으로 인체가 쾌적감을 느끼도록 하는 온열환경의 개선은 매우 중요한 한 부분이다.

온열환경이란 인체를 둘러싸고 있는 열적인 환경을 뜻한다. 즉 인간의 열적인 감각에 영향을 주는 모든 환경을 뜻한다. 이에 온도·습도·복사 및 기류의 기본적인 요소 및 나이·성별·체질·습관 등의 여러 가지 주관적인 요소 등이 포함된다. 이러한 환경이 인간의 쾌적에 영향을 끼치게 되며, 이러한 환경을 온열환경이라 말할 수 있다. 그림 1은 온열환경에 영향을 미치는 요소를 나타낸 것이다.

이러한 온열환경은 다양한 방법으로 평가할 수 있

으며, 특히 온열환경 평가지표를 이용하여 그 특성을 파악할 수 있다.

일반적으로 실내의 온열환경을 평가하는 지표는 매우 많은 종류가 있다. 실내의 환경을 평가하는 경우에 사회통념상 일반적으로 온도만을 이용하였다. 즉 현재의 온도가 몇 이고 그러므로 덥거나 춥다는 느낌을 중요시 하였다. 그러나 앞서 언급하였듯이 온도만이 인간의 쾌적감에 영향을 미치는 것이 아니라 그 외 여러 온열환경 요소들에 의하여 영향을 받기 때문에 이러한 요소들을 몇가지 또는 상당히 많이 고려한 종합적인 평가지표가 필요하게 되었다. 예를 들어 여름철에 많이 쓰이는 불쾌지수는 온도와 습도를 고려한 지표이다. 즉 어느 한 요소만을 고려한 단일지표보다는 여러 요소들을 고려한 종합적인 지표들이 실내의 온열환경을 평가하는데 더욱 정확하고 바람직 할 것이다.

여기에서는 여러 가지 온열환경지표 중에서 가장 대표적이며, 사용 빈도가 높은 지표를 소개하기로 한다.

PMV & PPD (예상온열감 반응과 예상불만족도)

PMV(predicted mean vote)는 덴마크의 P. Ole. Fanger 교수에 의하여 제안된 지표로서 주위환경과 인체와의 열 적 반응에 의한 인체의 열평형을 기초로 하고 있다. 즉 인체의 활동과 착의가 산정되고 공기온도, 평균복사온도, 풍속 및 수증기압의 환경요소가 측정될 때 계산된다.

PMV지표는 1,300명 이상의 재실자를 대상으로 하여 실험을 한 결과 인체가 어떠한 환경에서 인체의 열 생산과 환경으로의 열 손실량이 같은, 즉 열적으

로 평형을 이룰 때의 열적감각을 수치로서 표현한 것이다. PMV 지표는 많은 사람에게 '덥다' 부터 '춥다' 까지의 7단계 평가에 의해 기입·회답하여 받은 지표이다.

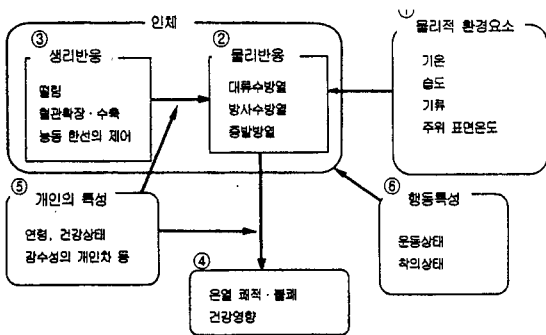
PMV는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$PMV = (0.352e^{-0.042M} + 0.032) \times [(M-W) - 0.35 \{43 - 0.061 (M-W) - P_a\} - 0.42(M-W-50) - 0.0023M(44-P_a) - 0.0014M (34-T_a) - 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} \{(t_{cl}+273)^4 - (T_{min}+273)^4\} - f_{cl} \cdot hc (t_{cl}-T_{air})]$$

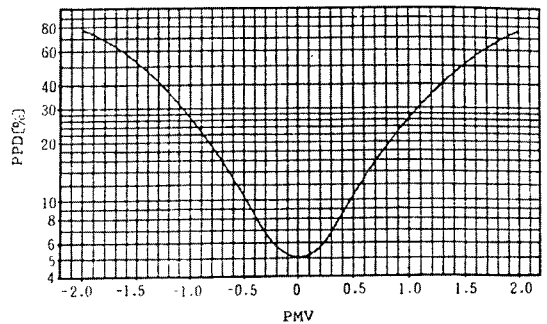
- M : 신진대사율
- W : 외부일
- I_{cl} : 의복의 열저항
- f_{cl} : 나체시 피부표면적에 대한 착의시의 피부 노출 표면적의 비율
- T_a : 공기온도
- h_c : 대류열전달율
- P_a : 수증기 분압

예상불만족도 PPD (predicted percentage of dissatisfied)는 열적으로 불쾌를 느끼는 사람의 비율을 나타낸 것이다. PMV의 값이 정해지면 PPD는 식 (2)에 의해 구할 수 있다. PPD값은 PMV지표에서와 같이 마찬가지로 온도를 재실자를 대상으로 한 실험 결과를 통계적으로 처리한 것이다. 즉, PPD 지표는 다수의 사람들 중에서 열적으로 불만족을 느끼는 사람의 수를 나타낸다.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)}$$



[그림 1] 온열환경 요소



[그림 2] 예상온열감 반응과 예상불만족도의 상관관계



예상온열감 반응과 예상불만족도와와의 상관관계를 나타낸 것이 그림 2로서 그림에서와 같이 예상온열감 반응의 절대값이 커질수록 예상불만족도의 값이 커짐을 알 수 있다. 그러나 예상온열감 반응의 값이 '0' 일 지라도 예상불만족도는 5%를 나타낸다. 즉 온열감이란 개인들의 주관적인 판단이 많이 개입되기 때문에 비록 열적으로는 '덥지도 춥지도 않다' 라는 반응을 나타내더라도 그 상태에서 불만을 나타내는 빈도는 0%가 아니며 따라서 이러한 온열환경에서도 불만을 나타내는 경우가 있음을 알 수 있다.

신유효온도와 표준 신유효온도

신유효온도(new effective temperature) 는 모델화한 체온조절기구의 열평형식을 푸는 것에 의해 구하는 생리적 상태치를 바탕으로 열 환경의 평가를 행하는 것이다. 이 지표는 발汗에 의한 체온조절기능을 포함하는 열평형 모델에 의거하여 기온, 복사, 습도, 기류, 착의, 작업량, 기압, 인공공기 등의 환경변수에 따른 생리인자로서 피부온도, 체내온도, 발汗량, 저장량 등을 종합적으로 평가할 수 있다.

실제 환경의 4가지 온열요소 및 인간 측의 요소로서 작업 강도와 의복의 상태를 고려하고 인체 표면으로부터 주위 환경으로의 방열량을 구한다. 이 때 인체의 생리량으로서 계산되는 평균 피부온도와 발汗에 의한 젖은율이 동일한 상태이고, 방열량도 같아지도록 상태습도 50%에 있어서 기온을 신유효온도라 한다.

작업강도로써 앉아서 작업하고 착의가 보통 (0.6 clo) 의 상태에서 정온한 기류일 때를 표준상태로 하고, 이 조건에서 구하는 신유효온도를 표준 신유효온도라고 한다.

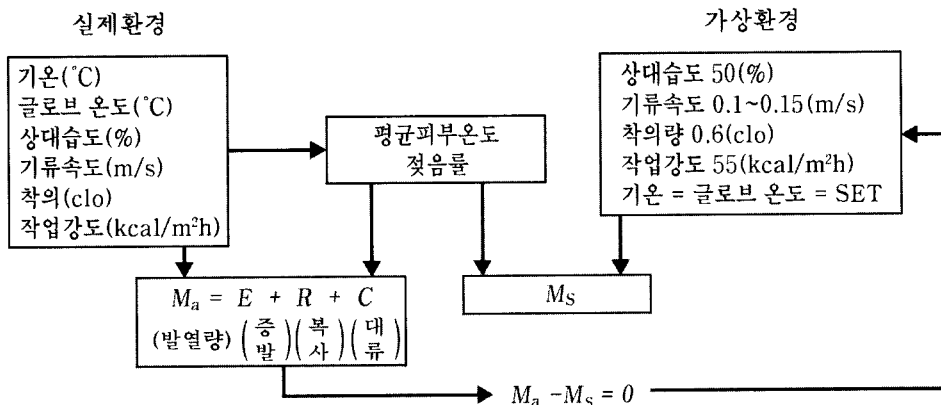
표준 신유효온도의 계산은 복잡하고 일반적으로 계산기에 의존하여야 하는데, 이를 구할 수 있는 방법을 나타내면 그림 3과 같다.

건물에서의 온열환경

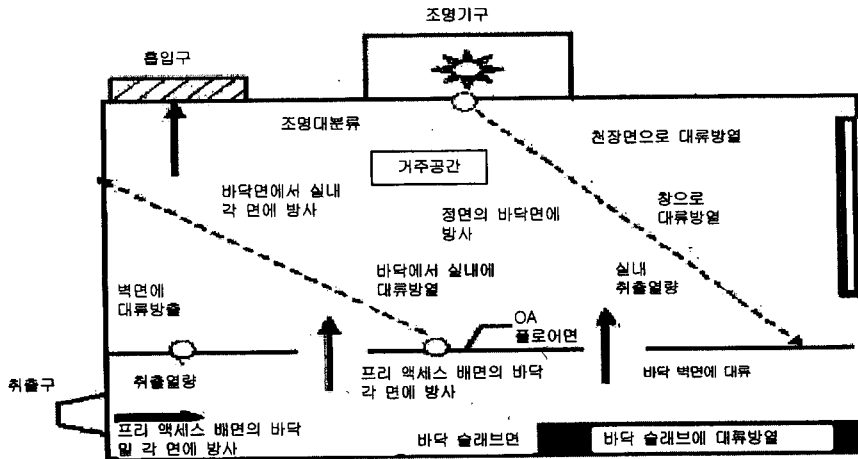
일반적으로 온열환경에 영향을 미치는 물리적 요소 중에서 복사 및 기류의 요소가 온열환경에 어떠한 영향을 미치는가를 살펴보고, 이를 토대로 하여 건물의 온열환경이 이러한 요소들에 의하여 어떠한 반응을 하는지 검토하여 본다.

온열환경과 인체의 열적 반응

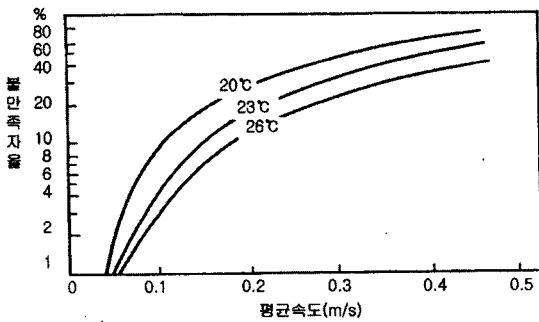
인체를 둘러싸고 있는 주위의 물리적 환경요소는 피부 호흡 등의 열적 작용을 통해 피부호흡으로 인한 방열량에 영향을 미치게 된다. 이 과정은 인간의 의사와는 관계없이 발생하는 물리적인 현상이지만 인체는 체온을 일정하게 유지하려는 생리반응이 있으므로 이로 인하여 체내에서 방열량이 제어된다. 이 생리적 반응의 부하가 가벼울 때가 온열적으로 쾌적하다고 할 수 있다. 이러한 반응은 개인적으로 차이가 있고, 또 운동 상태와 착의 상태 등에 따라서 상이하게 나타난다.



[그림 3] 표준 신유효온도의 개념



[그림 4] 건축공간에서 벽면간 열전달 경로



[그림 2] 예상온열감 반응과 예상불만족도의 상관관계

복사환경과 온열환경

주거건물의 거실 내에서 복사의 영향은 창 등의 개구부가 가장 크지만, 그 외 벽면 등의 표면온도도 영향이 크다. 쾌적한 건축공간을 창조하기 위해서는 각 부위의 표면온도를 충분히 고려할 필요가 있다. 그림 4는 건축공간에서 벽면간 열전달의 경로를 나타낸 것이다.

창은 조망 등을 통해 쾌적한 공간을 구성하는 건축적 요소이지만 방위와 면적에 따라서는 온열 환경상 불리한 요소가 될 수 있다.

기류와 온열환경

기류에 따라 서늘해지거나 추워지는 기류는 온도 상으로는 중립이지만 몸의 일부에 닿는 기류는 불쾌

감을 주게 된다. 그림 5는 앉아서 가벼운 작업을 하는 사람에게 머리 부분에서 느껴지는 기류의 불쾌감을 나타내고 있다. 기온이 높은 경우에는 상대적으로 불쾌하게 느끼지는 않지만 일반적 사무작업의 경우 0.25 m/s 정도까지 풍속을 억제하는 것이 좋다.

실내기류는 공조에 의해 인공적으로 만들어지는 것과 창 면, 실내기온의 온도차에 의해 발생하는 대류에 의한 것이 있다. 공조에 의한 기류는 취출구에서 조정되기 때문에 취출구 선정 시 의장과 조화를 이룰 수 있고, 기류감이 적은 것을 선정하는 것이 중요하다.

대류에 의해 발생하는 기류에서 대표적인 것이 콜드 드래프트이다. 콜드 드래프트는 실내에서 유리의 표면온도차에 의해 발생한다. 콜드 드래프트를 방지하는 대책은 과대한 창면을 계획하지 않는 것이 가장 중요하다. 그 외에 창 밑에는 베이스 보드를 설치하거나 에어플로 윈도 등의 창호 시스템을 채택하는 것 등이 있다. 또 창 밑에서 배기를 유도하면 콜드 드래프트를 방지하는 효과가 있다. 또 창 밑에서 배기를 유도하면 콜드 드래프트를 방지하는 효과가 있다.

온열환경과 쾌적범위

건물에서 온열환경을 파악하는 목표는 건물에서의



온열환경 특성에 맞추어 쾌적범위를 설정하고 그 설정 범위에 맞추어 각종 설비를 작동하여, 가장 합리적인 운전조건을 설정하고, 쾌적한 실내 환경을 조성하는 것이다. 즉, 건물 내에서 목표가 되는 온열범위를 설정하고 그에 맞추어 설비를 합리적으로 가동시켜야 가장 에너지 절약적이며 실내의 거주자에게 쾌적한 환경을 조성할 수 있을 것이다. 지금까지 주거용 건물뿐만 아니라 사무소 등의 용도가 다른 각종 건물에서의 쾌적범위에 대한 많은 연구 결과가 이루어 졌다. 그 결과를 분석하여 보면, 현대사회로 갈수록 건물 내에서 재실자가 느끼는 쾌적범위가 점차 좁아지고 있다는 것이다. 이는 사회가 발전되고 경제적으로 윤택하게 된 현대인은 쾌적범위에 대하여 과거의 그것보다 좀 더 엄격하여 지고, 쾌적이라고 느끼는 온도 및 습도 등 온열요소에 대하여 까다롭게 요구되고 있기 때문이다.

건물에서 쾌적범위가 좁아지게 되면 이를 위하여 냉난방 설비 등 각종 설비 등의 자동화의 요구가 증대되고, 이로 인하여 비용이 증대되게 되며, 건물의 관리적인 측면에서 생각하면 요구 쾌적조건에 부합되기 위한 운영비가 증대되게 된다. 이러한 비용의 증대는 결국 건물 운영을 위한 러닝 코스트의 증대를 가져오게 된다.

쾌적범위의 설정은 에너지 절약과 매우 유기적이며 밀접한 관계가 있다. 건물에서 쾌적범위를 설정함에 있어서 오늘날 같이 매우 협소한 범위로 설정하지 않고 과거와 같이 쾌적범위를 설정함에 있어서

좀 더 넓은 범위로 설정하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 쾌적범위가 넓어지게 되면 인간이 건물에서 느끼는 온열감에 대하여 불만족스럽다고 응답하는 경우가 현재보다 증대될 것이다. 그러나 에너지 절약이라는 더 큰 목표를 실현하기 위해서는 건물 내에서 온열적 불쾌감을 인간이 조절할 수 있는 의복의 열 저항치 및 일사 등의 자연적 요소를 좀 더 이용하여 극복하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 방법을 통하여 설비적인 측면에서의 절약 및 자연환경을 적극적으로 이용하는 방법을 모색하여야 할 것이다. 또한 쾌적 온습도의 기준설정, 실간 온 습도 균등 배분 기술, 최적 온 습도 제어기술 등의 발전을 통하여 건물 내에서 느끼는 불쾌감을 많이 경감시킬 수 있으리라 생각된다.

에너지 절약적이면서 쾌적한 환경을 조성하는 것은 우리 모두의 과제이다. 특히 온열환경이 인간이 가장 반응이 빠른 요소이고, 쾌적과 불쾌에 대한 인식을 쉽게 할 수 있다. 즉 실내환경에 영향을 미치는 요소 중 어느 것이 비록 쾌적한 상태가 아니더라도 온열적으로 쾌적하면 어느 정도의 보상이 가능하다. 일반적으로 쾌적환경과 에너지와는 매우 밀접한 상관관계가 있고 따라서 결과적으로는 에너지를 절약할 수 있는 기법 등의 개발을 통하여 앞으로 실내의 재실자가 더욱 쾌적하며, 환경 친화적인 환경에서 거주할 수 있도록 많은 노력을 해야하는 것이 우리의 숙제인 것이다. (9)