

人體의 熱的 快適環境條件

孫 章 烈

漢陽大學校 教授·工學博士(본협회 설비분과위원)

머 리 말

建築室內環境의 創出에는 두가지의 다른 면모를 볼수 있다. 하나는 좋은 環境을 만든다는 것과 다른 하나는 合理的·經濟的으로 만들어야 한다는 것이다. 세계적으로 국가적으로 에너지의 절약이 중요한 과제가 되어 있어 그 목표에 너무 치중하다 보면 합리적·경제적인 목표를 달성할수 있으나 環境이란 다른 하나의 목표에서는 質의 低下를 초래하기 쉽다.

인류 역사상 建築環境은 꾸준히 향상되어 왔고 에너지 문제로 인하여 인류역사의 흐름이 거역되어질 수는 없는 것이므로, 에너지 절약을 實現하면서 環境의 質을 유지하여 建築環境工學의 두가지 목표를 동시에 달성할 수 있어야 하겠다. 이러한 목표의 달성을 위하여, 環境的인 측면에서 기본적으로 이해하여야 할 熱的環境과 人體와의 관계에 대하여 개략적으로 서술한다.

1. 人體의 熱生産과 熱放散

人體는 노동에 의해 體內에 축적된 에

너지를 消費하고 음식을 섭취함으로써 에너지를 生産, 補給하는데 이것을 에너지代謝라 한다. 에너지代謝量은 인간의 노동의 정도에 따라 다르며 空腹時 누워 있는 安靜狀態에서 에너지消費量은 약 53Kcal/h로 이것을 基礎代謝라 한다.

人體로부터의 熱放散 經路 및 熱放散量의 比率은 環境상태에 따라 다르고 이것은 추위와 더위의 감각에 영향을 미친다. 일반적인 熱放散 및 熱環境의 要素를 나타내면 [그림 1]과 같다.

熱放散은 주로, 輻射(Radiation)·傳導(Conduction)·對流(Convection) 및 水分蒸發(Evaporation)에 의해 이루어지며 그중 수분증발에 의한 熱放散은 폐와 피부면에서 이루어진다. 그리고 적당한 溫度를 초과하게 되면 땀을 통하여 수분에 의한 熱放散量이 증가하게 된다.

2. 溫熱環境의 評價

人體의 熱的平衡을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$M = \pm R \pm C \pm E \pm S$$

단, M: 에너지代謝量[Kcal/h]

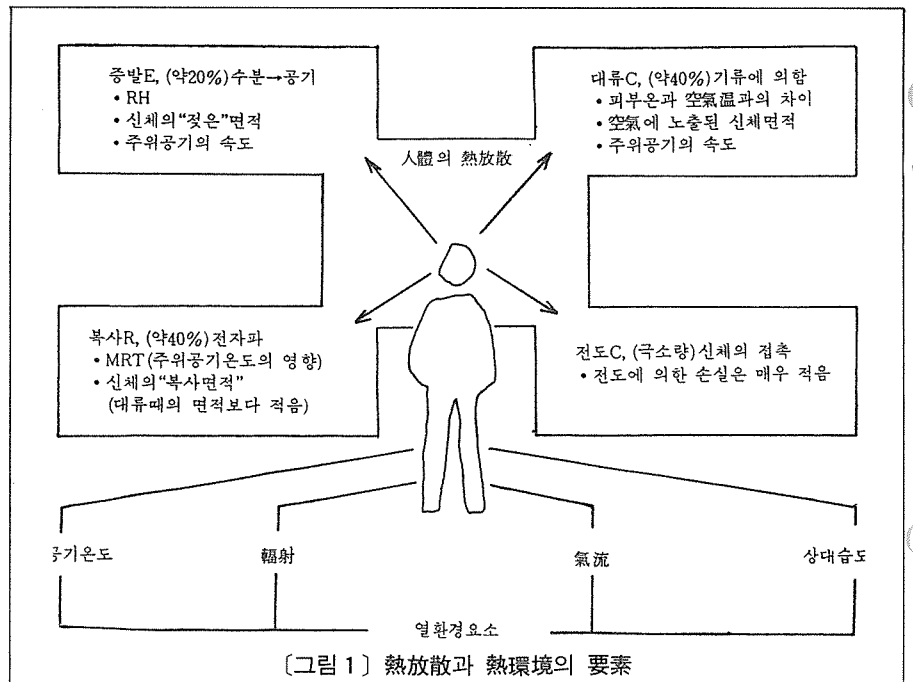
R: 輻射에 의한 熱放散[Kcal/h]

C: 傳導·對流에 의한 熱放散[Kcal/h]

E: 水分蒸發에 의한 熱放散[Kcal/h]

S: 人體內에 축적된 熱量[Kcal/h]

에너지代謝와 熱放散이 平衡을 이룰 때, 즉 위의 식에서 $S = 0$ 일때의 熱環



境을 熱的中性點(Thermal Neutral Point)이라 하며 이 상태에서는 더위와 추위에 대한 느낌을 가지지 않는다. 快適感覺은 中性點으로부터 左右 幅을 갖고 있는데 이것을 熱中性帶(Zone of Thermal Neutrality)라 한다. 또 열평형식을 空氣調和의 立場에서 人體를 시스템(System)적으로 해석하긴 하나 생리적 要素를 통일된 尺度로 나타내는 것은 곤란하다는 점에 유의해야 한다.

人體의 熱放散에 영향을 미치는 熱環境要素에는 氣溫(Air Temperature)·濕度(Humidity)·氣流(Air Motion)·輻射熱(Heat Radiation) 등이 있고, 熱環境의 評價를 위하여 열환경요소인 氣溫 Q·氣流 V·주위벽체의 表面溫度 R (MRT)·상대습도 Y를 조합하는 각종 指標가 있으며 이것에 의하여 그 환경에 대한 人體의 溫熱感·快適感 또는 熱放散量과 關係를 判斷한다.

즉, 指標 $I=f(Q, V, R, Y)$ 로 나타낼 수 있으며 일반적인 溫熱環境의 評價方法은 다음과 같다.

(1) 카타온도계(Kata Thermometer)
: $I=f(Q, V)$

미풍속계로 이용, 냉각력을 나타내는것.

(2) 글로브온도계(Globe Thermometer) : $I=f(Q, V, R)$

특히 복사환경을 측정

(3) 作用溫度(Operative Temperature, OT) : $I=f(Q, V, R)$

이론적, 공학적, 열교환 이론에 의거함.

$$OT = (\alpha_c \theta_a + \alpha_r MRT) / (\alpha_c + \alpha_r)$$

θ_a : 기온(°C)

α_c, α_r : 대류 및 복사에 의한 열전달을 (Kcal/m²h°C)

(4) 有效溫度 또는 實効溫度(Effective Temperature, ET) : $I=f(Q, V, Y)$

실험결과를 도표화한 것으로, 미국에서 많이 사용함. 상대습도 100%, 無風狀態가 기준임.

(5) 修正有效溫度(Corrected Effective

Temperature, CET) : $I=f(Q, V, R, Y)$

유효온도를 개량하여 복사의 영향을 판단함.

(6) 新有效溫度(New Effective Temperature, ET*) : $I=f(Q, V, R, Y)$
ASHRAE가 개발한 것으로 상대습도 50%가 기준

(7) 불쾌지수(Discomfort Index, DI) : $I=f(Q, Y)$

$$DI = 0.72(Q_d + Q_w) + 40.6$$

Q_d : 乾球溫度(Dry Bulb Temperature) (°C)

Q_w : 濕球溫度(Wet Bulb Temperature) (°C)

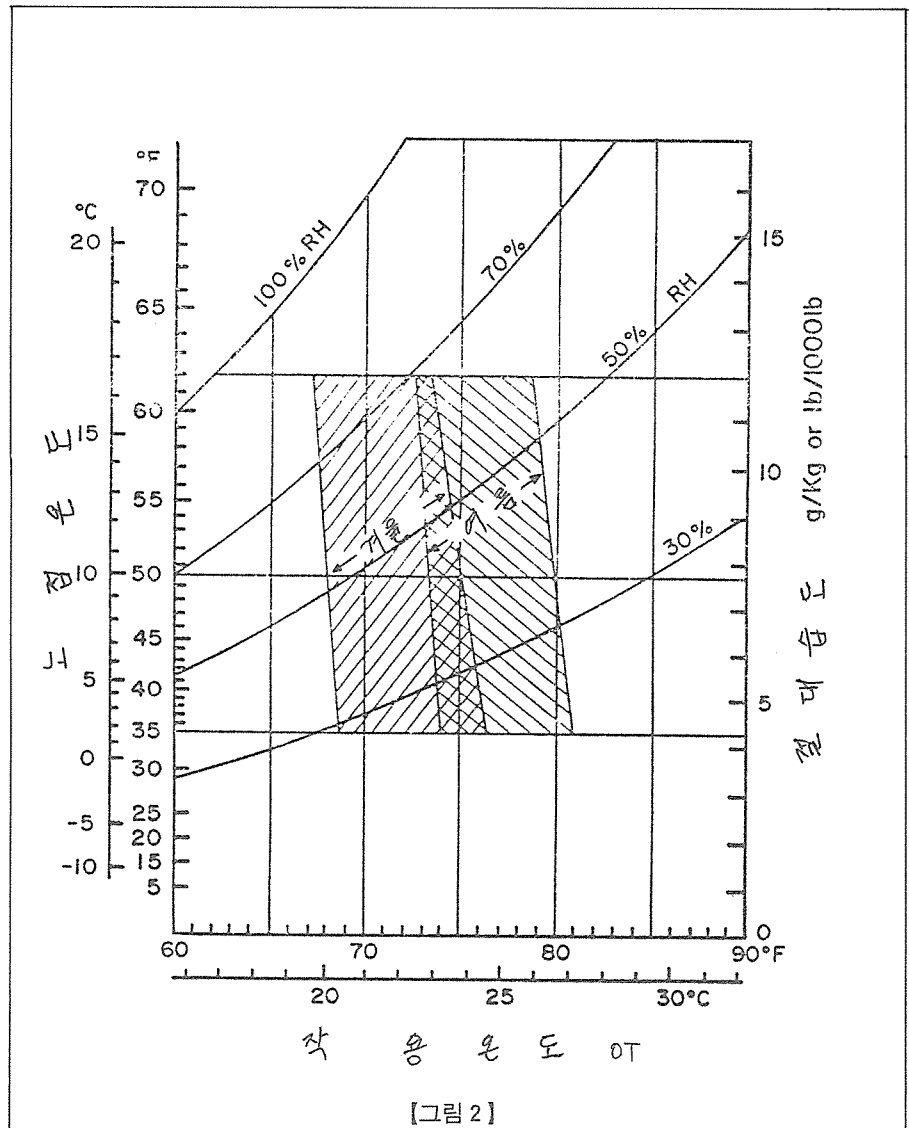
DI=70일때 在室者의 10%가 불쾌

DI=75일때 在室者의 50%가 불쾌

DI=80일때 在室者의 100%가 불쾌

3. 快適條件의 變化

室內溫熱環境의 쾌적조건은 在室者의 주관적인 것이며, 人種, 性別, 연령, 體格 등의 天性的 要素, 건강 및 營養상태, 생활이력 등의 신체적 要素, 着衣量, 作業強度 등의 現場的 要素 등의 여러가지



요소에 의한 個人差가 크다. 그러나 이들 주관적인 요소를 각종의 실험을 통하여 평균화, 표준화하여 在室者의 쾌적조건을 통계적으로 정리하는 것은 가능하며 또한 必要한 일이다.

1923년 ET(Effective Temperature, 유효온도) Scale이 Houghton, Yaglou에 의하여 만들어졌는데 1961년 Nevins에 의해 ET의 쾌적조건은 1923~1941년 사이에 18°C에서 20°C로 상승하였다. DBT(Dry Bulb Temperature, 건구온도)는 1900년에는 18°C~20°C였던 쾌적 범위가 1960년에는 24°C~26°C로 상승하였다. 이것은 의복, 생활양식, 쾌적기대감의 변화에 의한 결과라고 생각된다. 1950년대에 이르러, ASHRAE는 ET Scale에 대해 再評價키로 하였으며, 1960년에 Koch 등은 DBT 18°C 이하에서는 상대습도 60%까지는 습도의 영향을 무시할 수 있다고 발표하였다. 1966년 Nevins 등은 가벼운 복장을 한 720인의 피실험자를 통하여 온도에 의한 쾌적선은 Houghton과 Koch의 중간이 알맞다는 것을 주장했다.

Winslow 등은 Yaglou, Houghton의 Warm- Comfortable- Cool에 대하여 Pleasantness- Unpleasantness의 Scale을 소개하였고, 最近 生理學者들은 쾌적감(Sensation of Comfort)과 온열감(溫熱感: Sensation of Temperature)은 각각 생리학적, 물리학적이란 다른 근거에 의한 것이며, 두 요소는 따로따로 취급하여야 한다고 주장하고 있다.

ASHRAE Comfort Standard 55~81은 溫熱의快適(Thermal Comfort)을 “온열환경에 대하여 만족을 표시하는 心的상태”로 정의함으로써 이 二重的인 개념을 인정하고 있다. 현재의 예측쾌적선도에서는 쾌적감을 “출지도 덥지도 않은 상태(neither slightly warm nor slightly cool)”로 정의하고 있다.

ASHRAE의 Handbook은 New

ET(ET*)를 제안하고 있는데, 이것은 상대습도 50% 선상에서 쾌적감을 평가하고 있다. 이 線圖는 Nevins, Rohles 등의 Kansas주립대학의 연구가 기초로 되었다.

덴마크의 Fanger는 人體와 環境간의 熱平衡式을 기초로하여 人體의 쾌적과 작업강도, 착의량, 온열환경조건, 평균피부온도, 發汗量의 관계를 방정식으로 표시하고, 방정식 중의 각 상수는 실험적 해석에 의하여 결정하였다. 쾌적방정식은 계산이 複雜함으로 Fanger는 實用을 위하여 식을 계산함으로써 쾌적선도로부터 쾌적조건을 결합방법을 제안하고 있다.

또한 ASHRAE는 일반적인 작업 및 着衣상태에서 습도로 露點溫度 tdp를 사용하여 作用溫度 t_a와 新有效溫度 ET*의 쾌적범위로 다음의 조건을 제시하고 있다.

[그림 2]

겨울철 : 露點溫度 tdp=20.2~24.6°C
일때 t_a=19.5~23°C, ET*=20~23.6°C

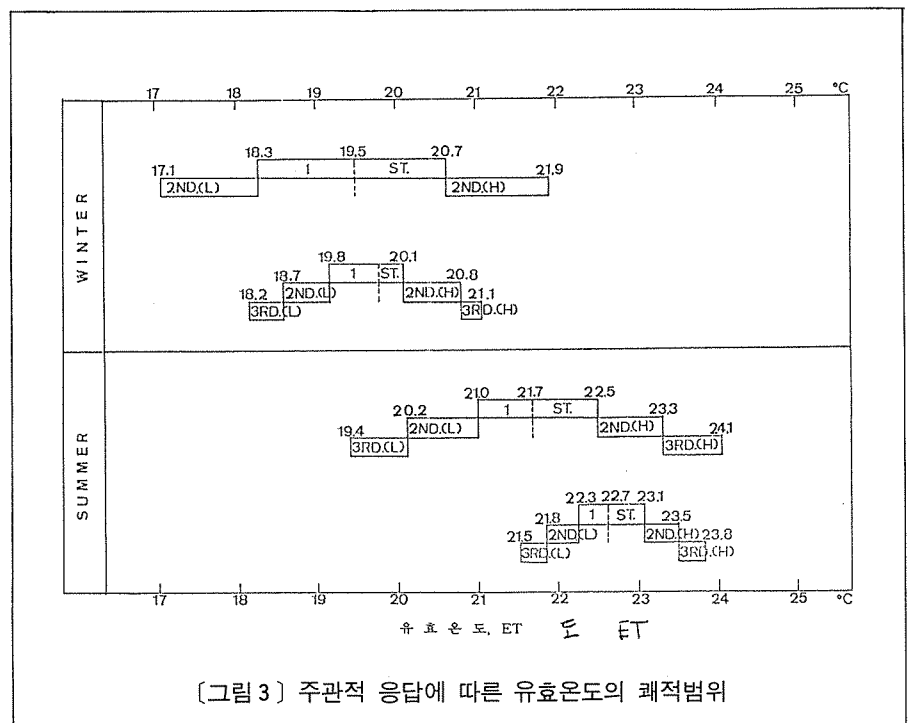
여름철 : 露點溫度 tdp=23.2~27.2°C
일때 t_a=22.6~26°C, ET*=22.8~26.1°C

4. 快適環境에 관한 研究

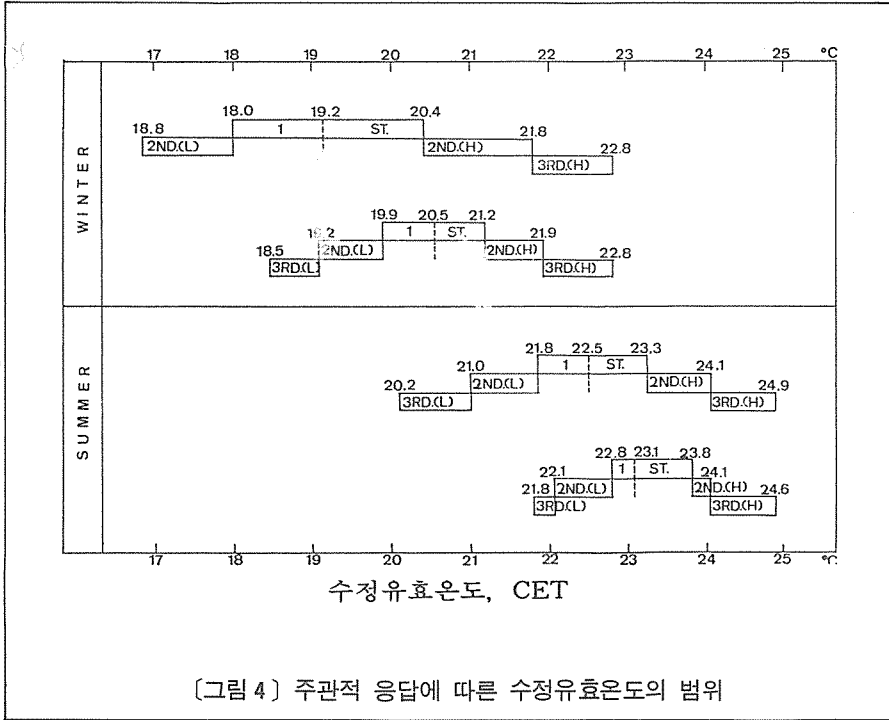
溫熱의 좌식생활에 익숙하여온 우리나라 사람의 특수한 주거형태 등을 고려할 때, 室內溫熱環境에 대한 熱的感覺도 外國人과 다른 특성이 있을 것으로 사료되나, 우리나라에서는 아직 이에대한 研究가 미흡한 상태이어서 外國의 研究結果를 그대로 사용하고 있는 實情이다.

최근 熱的快適環境에 대한 研究가 대학과 연구기관에서 서서히 시작되어 이에 관한 論文이 수편 발표되고 있다. 그중 漢陽大學校 建築設備環境工學研究室을 중심으로한 연구내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 研究의 主題 : 溫熱暖房方式에 있어서 쾌적온열환경에 관한 研究
- 2) 研究의 目的 : 溫熱暖房方式에 있어서 쾌적온열환경 범위 설정에 관한 기초 자료의 제시



[그림 3] 주관적 응답에 따른 유효온도의 쾌적범위



(그림 4) 주관적 응답에 따른 수정유효온도의 범위

3) 研究의 범위와 方法: 온돌시험 주 택을 대상으로 하여 溫熱環境測定 및 被験者의 反應에 對한 설문조사를 실시함.

4) 研究의 結果

(1) 人體代謝量 1 Met, 衣服熱抵抗值 1.1 clo, 氣流速度 0.1 m/s, 相對濕度 30~40% 일 때, 室溫 17.5~24.5°C 에서 溫熱中性感을 나타내며, 이는 바닥輻射熱의 影響으로 對流暖房方式에 의한 基準值 보다도 낮은 下限값을 보여 준다.

(2) 適正바닥 溫度의 範圍는 30.6~38.8°C 로서, 外國의 立式生活 方式에 의한 研究結果에 비해 높은 범위를 나타낸다.

(3) 皮膚溫은 손등, 발등, 이마중 발등이 가장 낮으며, 局部不快感을 일으키는 가장 큰 發生部位가 된다. 또, 全身 溫熱感이 中性範圍일 때, 바닥溫에 對한

不快感의 反應이 높았다.

(4) 室溫이 熱의 中性 範圍이고 壁體溫度가 均一할 때, 輻射溫度는 바닥溫도와 높은 상관관계를 가지며 線型回歸式은 $y = -10.1 + 0.7x$, 決定係數 r^2 은 0.856이다.

(5) 輻射溫度에 의한 部位別 適正表面溫度의 範圍는 바닥溫도와 壁體溫度의 조합으로 構成할 수 있다. 室溫이 中性範圍일 때, 輻射溫도의 許容 上限값은 17K이며, 壁體溫度의 下限값은 17°C, 바닥溫도의 範圍는 30.6~38.8°C 가 된다.

(6) 유효온도(ET)와 수정유효온도(CET)에 따른 쾌적범위는 [그림 3, 4]과 같고, 季節別 快適基準 溫度는 暖房期 ET 19.6°C, CET 20.5°C 冷房期 ET 22.7°C, CET 23.1°C 이고 中間期는

ET 22.1°C, CET 22.0°C이다. 이때 平均 衣服量은, 暖房期 0.9 clo 冷房期 0.6 clo이며 代謝量은 全 季節을 통해 1.0 Met이다.

5. 앞으로의 전망

建築物에서 에너지 절약이란 現時代의 중요한 과제이다. 그러나 확실한 근거도 없이, 에너지 절약이란 명분하에 環境의 質을 저하시키는 것은 바람직하지 못하다. 建築에서 패시브 시스템(Passive System)의 이용과 建築설비의 기술개발등을 통하여 에너지절약을 도모하며, 동시에 環境의 質을 꾸준히 향상시키는 것이 관련 전문가들이 추구하여야 할 방향이라고 생각한다. 앞으로 점점 室內空間에서 거주하는 時間이 증대되고, 아울러 環境에 대한 人間의 反應이 민감해지는 추세에 있어서 이에 關한 研究가 더 적극적으로 이루어져야 할 것이다.

【관련논문】

1) 孫章烈 外: 某 印刷工場檢査 作業場內 溫熱環境의 空間分布 및 評價, 日生氣誌 17 (2), 1980

2) 孔聖勳, 朴相東, 孫章烈: 住宅의 溫熱環境에 關한 研究, 대한건축학회 학술발표 논문집, 第 4 卷 第 1 號, 1984年 4 月

3) 尹龍鎮, 朴相東, 孫章烈: 輻射暖房時 不均等輻射場이 溫熱感에 미치는 影響에 關한 研究, 대한건축학회 학술발표 논문집, 第 4 號, 第 2 號 1984年 10 月

4) ASHRAE: ASHRAE Hand book, Fundamentals, 8, 1985

5) ASHRAE: ASHRAE Standard 55-1981