

溫熱 快適性和 에너지 節約

Thermal Comfort and Energy Conservation

孫 章 烈*
Jang Yeul Sohn

1. 머리 말

건축에서 공기조화란 인간에게 쾌적한 온열 환경을 창출, 제공하는 것이다. 환경의 목표를 달성하기 위한 수단으로 에너지를 사용하게 되며, 같은 조건의 환경을 최소한의 에너지로 만들어내는 것이 바람직하다.

우리나라에서는 근래 건물에너지 절약에 관하여서 대단한 관심을 기울이고 있으나, 수단으로서 에너지 절약기술에만 국한하고 있으며, 쾌적환경의 달성이란 목표는 어느 하나의 점에 고정시켜 놓은채 그다지 주의를 기울이지 않고 있다. 그러나 목표의 당위성의 검토는 반드시 온열환경 연구에서 거쳐야 할 과정이며 에너지 절약적인 측면에서도 쾌적환경의 검토는 부하의 제어, 자연력의 이용 등과 함께 매우 중요한 의미가 있는 것으로 사료된다.

2. 人體와 快適

인간에게 쾌적한 온열환경을 제공하기 위하여서는 인체의 열적 메카니즘을 이해하는 것이 기본적인 사항이다.

인체는 음식물을 섭취하여 에너지를 보급하고 노동에 의하여 체내에 축적된 에너지를 소비한다. 이러한 과정을 대사(metabolism)라

고 하며 체내에서 생성된 열은 체외로 방산된다. 열방산량은 인체의 노동조건 등에 따라 다르지만, 성인 남녀의 하루 평균 열방산량은 약 2,400 kcal(시간당 100 kcal)이다. 이러한 인체에서의 열방산 경로와 그 비율은 그림 1에 나타나는 것처럼 복사, 대류, 전도, 수분증발을 통해 이루어진다. 열환경의 자극에 대하여 인체는 체온조절을 하여 열생산과 열방산 사이에 균형을 취하게 되는데, 이것을 다음과 같은 열평형식으로 나타낼 수 있다.

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

여기서, M : 대사에 의한 열생산량

E : 수분증발에 의한 열방산량

R : 복사에 의한 열방산량

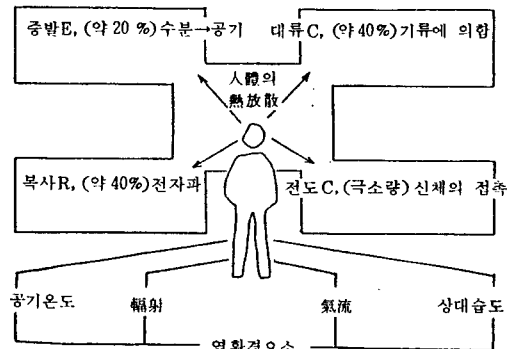


그림 1. 인체의 열방산 경로와 열환경요소

* 정회원, 한양대학교 공과대학 건축공학과

C : 전도, 대류에 의한 열방산량
 S : 인체내에 축적된 열량

위식에서 열생산량과 열방산량이 같으면 $S = 0$ 이 되며, 이때의 열환경을 중성점(neutral point)이라고 하며, 이 상태에서는 대체로 더위와 추위에 대한 느낌을 가지지 않는다. 또, 열방산량이 열생산량 보다 적으면 S는 (+)가 되고 체내에 열이 축적되어 더위를 느끼게 되며, 반대인 경우에는 S가 (-)가 되어 체내의 열을 빼앗기게 되어서 추위를 느끼게 된다.

대체로 쾌적환경 범위는 중성점으로부터 좌우로 약간의 폭을 가지고 형성되는데 이것을 열중성대(zone of thermal neutrality)라 한다.

인체의 열방산은 실내열환경의 온도, 습도, 기류, 복사열의 4요소에 의해 영향을 받게 되고, 열환경의 평가를 위하여 기온 T , 기류 V , 주위 벽체의 표면온도 R , 상대습도 H 를 조합하는 각종 지표가 고안되어 있으며, 이것에 의하여 그 환경에 대한 인체의 온열감 또는 열방산량과 관계를 판단한다. 즉, 지표 $I = F(T, V, R, H)$ 로 나타낼 수 있다.

실내에서 활동하는 인체의 열에 대한 감각은 위의 4요소 이외에도 인체의 활동상태, 착의상태 등에 의해 영향을 받게 되는데 ASHRAE에서는 일반적인 건물에서의 실내쾌적 온

습도 범위를 그림 2와 같이 제시하고 있다. 그림 2는 가벼운 옷차림으로 가벼운 활동을 하고 있을때의 쾌적범위인데 이것에 의하면 온도의 경우 여름철에는 24~27℃, 겨울철에는 20~24℃ 정도가 적당한 것으로 되어 있다. 여름과 겨울의 쾌적범위가 다른 것은 옷입은 상태의 차이와 사람이 추위, 더위에 대한 감각이 계절에 따라 어느정도 순응하기 때문이다.

3. 温熱環境指標

온열환경의 인체반응에 대한 인과관계를 검토하기 위하여, 다음과 같은 각종 지표가 고안되었으며, 현재에는 열교환이론에 기본을 둔 검토가 빈번히 이루어지고 있다.

1) Effective Temperature. ET. 유효온도 (실감온도)

기류는 거의 없고, 습도는 포화상태인 상대습도 100%때의 상태를 기준으로 하여 그때의 값을 유효온도로 한다.

2) (Black) Globe Temperature. GT. 흑구온도

글로브 온도계는 지름이 150mm 이 무광흑색 구리공으로 중심에 온도계의 감지부를 설치한 것으로 기류가 없을때는 5분내에 $GT = MRT$ 이며 기류가 있을때는 수정을 해야하며 그 식은 다음과 같다.

$$GT = \frac{MRT + 2.35 \sqrt{v} DBT}{1 + 2.35 \sqrt{v}}$$

DBT : 건구온도(℃)

v : 기류속도(m/s)

MRT : 평균복사온도(℃)

3) Corrected Effective Temperature.

CET. 수정유효온도

유효온도에 복사열의 영향을 고려한 것으로 건구온도 대신 글로브온도를 이용하고 습구온도 대신에 상당습구온도를 이용한다.

4) Operative Temperature. OT. 작용온도 (효과온도)

인체의 피부와 환경간의 열교환에 기초를 두어 기온, 기류, 복사열의 영향을 이론적으로 종합한 지표이다.

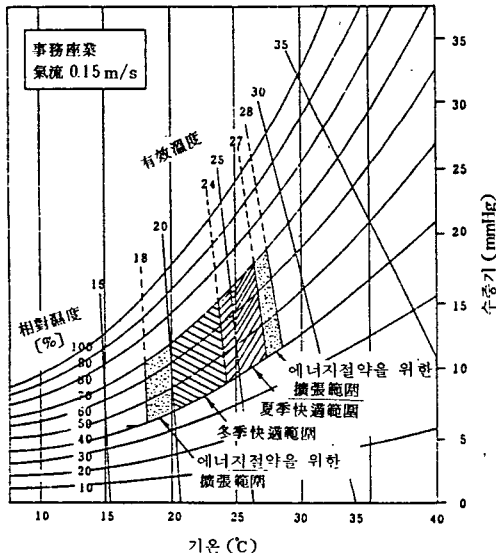


그림 2. 실내의 쾌적 온습도 범위

$$OT = \frac{\alpha_c \cdot t + \alpha_r \cdot MRT}{\alpha_c + \alpha_r}$$

α_c : 對流에 의한 熱傳達率(kcal/m²h°C)

α_r : 輻射에 의한 熱傳達率(kcal/m²h°C)

t : 氣溫(°C)

MRT: 平均 輻射溫度(°C)

5) Wet-Bulb Globe Temperature Index.

WBGT. 습구글로브온도지수

실내에서의 습도와 복사의 영향을 나타낸 지표이다.

일사가 있는 경우(옥외):

$$WBGT : 0.7tw + 0.25tg + 0.1ta$$

일사가 없는 경우와 실내:

$$WBGT : 0.7tw + 0.3tg$$

tw: 습구온도

tg: 글로브온도

ta: 건구온도

6) Discomfort Index. DI. 불쾌지수

기후의 불쾌적도를 온도 및 습도만의 단일 수로 표시하기 위한 것이다.

$$DI = 0.72 + (ta + tw) + 40.6(°C)$$

ta : 건구온도(°C)

tw : 습구온도(°C)

7) Environmental Temperature. te_i .

환경온도

실내에서의 복사를 고려한 환경지표로서 MRT와 함께 복사의 영향을 잘 나타내고 있다. 즉 글로브온도와 실내온도의 합으로 다음과 같이 나타낸다.

$$te_i = 2/3 tr + 1/3 ta$$

8) Heat Stress Index. HSI. 열스트레스

지표

어떤 주어진 상태에서 열평형의 유지를 위하여 發汗에 의한 냉각효과를 산출한 지표이다. 체온조절에 필요한 피부면으로부터의 증발열량을 E_{req} 라 하고, 환경공기의 최대가능 수

분증발열량을 E_{max} 라 할때 그 비를 HSI로 정의한다.

$$E_{req} = M + 22tw + 2\sqrt{2}ta = (22 + 2\sqrt{v})tg$$

$$E_{max} = 10.3v^{0.4}(42-x)(Btu/h)$$

$$HSI = (E_{req}/E_{max}) * 100$$

이것은 고온이고 습한 작업환경에 잘 사용되는 물리적 지표이다.

9) Predicted Mean Vote. PMV. 예상온열감반응

예상온열감반응(PMV)지표는 인체의 열평형을 기초로 하고 있으며, 다음 7단계 온열감 평가에 의해 구해진다.

+3 : 약간 따뜻하다. +2 : 따뜻하다.

+1 : 덥다. 0 : 아무쪽도 아니다.

-1 : 약간 서늘하다. -2 : 서늘하다.

-3 : 춥다.

Predicted Percentage of Dissatisfied. PPD. 예상불만족도

예상불만족도(PPD)는 열적으로 불만족한 사람의 수를 정량적으로 예측하는 것으로 덥다(+3), 따뜻하다(+2), 서늘하다(-2), 춥다(-3)에 응답한 사람의 비율(백분율)을 나타내는 것이다.

그림 3은 PMV(예상온열감반응)과 PPD(예상불만족도)의 관계를 나타낸 것으로 PMV=0일때는 불쾌적도 5%로 완만한 분포를 보이나, PMV=±0.35부터는 급속히 증가함을 나타내며 PMV=±0.5에서는 PMV=0일때의 2배, PMV=±1.0에서는 4배 이상의 불만족도를 나타낸다.

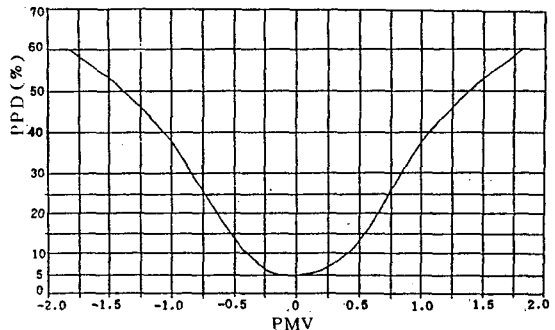


그림 3. PPD(예상불만족도)와 PMV(예상온열감반응)의 관계

또한 그림에서 보듯이 절대적인 균일한 조건을 가진 쾌적한 환경조건일지라도 PPD가 5%이하의 불만족도를 나타낼 수 없음을 알 수 있다. 이는 쾌적성에 개인차에 의한 영향이 크기 때문이라 생각된다.

10) Humid Operative Temperature. HOT. 습작용온도

작용온도 OT에 습도의 영향을 고려한 것으로 인체의 피부와 환경간의 열교환에 의한 열평형식에 기초를 둔 것이다.

$$HOT = \frac{\alpha_c \cdot t + \alpha_r \cdot MRT + \alpha_e \cdot t_{dew}}{\alpha_c + \alpha_r + \alpha_e}$$

α_e : $1.4 \cdot \alpha_c \cdot w$, l : 루이스係數(°C/mmHg)

w : 濕率(-)

t_{dew} : 露點溫度(°C)

11) New Effective Temperature. ET*. 신 유효온도

이론적으로 환경조건을 해석하고 이를 조합한 지표로 도식화되어 있다. 착의량으로는 0.6 clo가 기준이다. ASHRAE에서 제안한 것이다.

12) Corrected Humid Operative Temperature (corrected by velocity). HOTV. 수정습작용온도

인체를 대상으로한 종합적인 온열환경 지표로서 인체와 환경과의 열교환량을 표시한 것으로 풍속수정기온 t_v , 평균방사온도 t_r 및 노점온도 t_o 를 각각 열전달에 가중평균한 것에서 풍속에 대해 수정한 습작용온도이다.

$$HOTV = \frac{h_o F_{clo} t_v + h_r F_{cl} t_r + w b L_h c F_{pcl} t_d}{K_{tv}}$$

F_{cl} : 의복의 효율계수

F_{clo} : 표준상태에서 의복의 열효율계수

F_{pcl} : 의복의 투습계수

h_r : 복사 열전달율

h_c : 대류 열전달율

L_h : Lewis 상수

w : 인체의 젖은율

t_v : 풍속에 의해 수정된 온도

t_d : 노점온도

4. 快適性の 에너지節約的 側面에서의 考慮

1) 快適성과 快適範圍

우리나라에서 공조설비의 설계는 일반적으로 냉방시의 온습도를 26°C DB, 50% RH로 난방시의 온습도를 22°C DB, 50% RH로 설정한다. 이들 특정점을 중심으로 한 운전제어가 일반적이거나 쾌적성에는 개인차가 있기 때문에 반드시 특정점에만 쾌적성이 존재한다고 할 수는 없을 것으로 생각된다. 아파트 또는 단독주택에서는 겨울철 난방의 경우 환경조건에 따라 변화를 주는 실내 온습도상태에 있으면서도 그나름대로 쾌적한 주거환경을 유지할 수 있다는 것을 우리는 경험적으로 알 수 있다. 따라서 사무소 건물에서는 쾌적한 실내 온습도조건은 어느 특정점보다는 상당한 허용폭

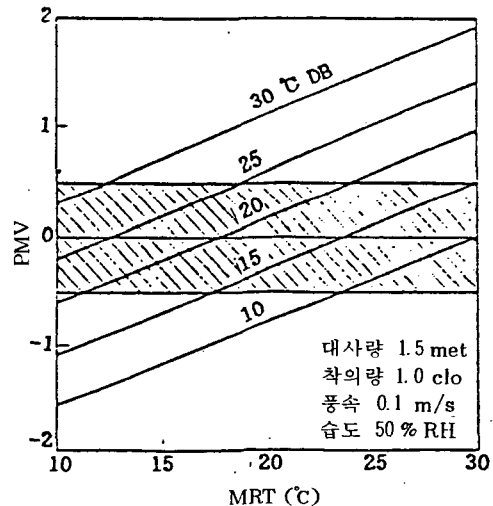


그림 4. MRT와 PMV의 관계

을 갖고 있을 것이다.

그림 4는 겨울철 PMV 값과 평균복사온도(MRT)와의 관계를, 실온을 파라메타로 표현한 것이다. 쾌적점인 PMV=0인 경우, MRT 25°C에서는 실온을 약 14°C, MRT 15°C에서는 실온을 약 23°C로 되는것을 알 수 있다. 이것은 PMV=0, 즉 가장 쾌적한 점이 MRT의 변화에 따라 실온 14°C~23°C까지 9°C의 폭을 가지고 존재한다는 것을 의미한다. 따라서 쾌적성을 어떤 점에 고정시킨다는 것은 상당히 어려운 것이며, 따라서 쾌적성에 범위를 인정한다면 실내온습도 등의 운전상태를 특

정점으로부터 특정영역으로 확대하는 것이 가능하다고 생각한다.

2) 건물외피의 계획과 실내쾌적성 관계

그림 5. 그림 6은 S건물과 T건물에서의 PMV 값의 실측예를 나타낸 것이다. S빌딩은 작은창, 열선반사유리, 단열의 채용 등을 하였으나, 창면부근에서는 PMV가 약간 상승함을 알 수 있다. 이는 창면부근에서 일사의 영향이 크기 때문이라 생각한다. T빌딩은 차양, 이중유리, 창부분으로부터의 환기시스템을 채

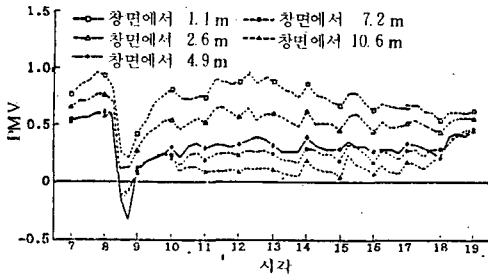


그림 5. S빌딩의 PMV의 실측비교(8월)

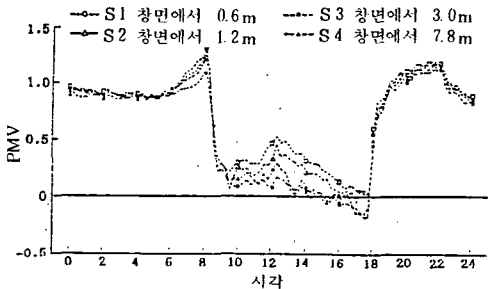


그림 6. T빌딩의 PMV의 실측비교(8월)

용하고 있으며 비교적 균일한 PMV 분포를 보이고 있다. 이는 일사차폐 등 외부의 영향을 최소한으로 줄이고 기류분포 개선에 의하여, 실온의 균일화를 유도한 때문이라 생각한다. 이와 같이 외피의 계획은 실내의 쾌적성에 큰 영향을 주는 것으로 생각되며, 외피의 적절한 계획에 의한 복사환경의 개선은 냉방온도의 상승 및 난방온도의 하강을 가능하게 하여 에너지절약을 도모할 수 있을 것이다.

3) 복사환경의 개선

그림 7은 복사환경 개선의 예로, 천장 Chamber를

amber를 급기덕트로 겸용하고 Chamber에 직접 취출구를 겸용하는 Ductless 공조방식을 나타낸다. 천장 Chamber내에 공급된 냉풍은 천장면온도를 비교적 낮은온도로 확보하고, 실내의 복사환경을 대폭 개선하는 것을 목표로 하는 시스템이다. 이는 사무소 건물 등 고내부 부하밀도를 갖는 건물에서는 중요한 에너지 절약수법의 하나로 되는 것이라 생각한다.

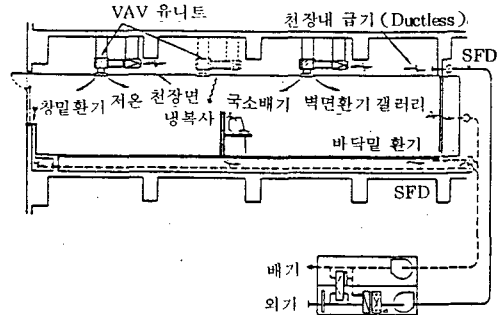


그림 7. 복사효과와 개선을 목표로 한 Ductless 급기 Chamber 방식의 예

参 考 文 献

1. P. O. FANGER : Thermal Comfort, McGraw Hill (New York), 1970.
2. 松繩 堅 : 建築ならびに建築設備における最近の省エネルギー技術. 空氣調和, 衛生工學, 第 61卷, 第 2號, 1987年 2月
3. 小林陽太郎 : 溫熱環境指標總括, 日本 建築學會 環境工學 委員會熱小委員會 第 16回 熱symposium (人間, 熱環境), 1986年 8月
4. 孫章烈, 宋長福, 白容圭 : 綜合的인 溫熱環境指標로서의 修正濕作用溫度와 冷却力에 관한 研究, 大韓建築學會論文集 第 4卷 第 6號, 1988. 12