

# 건축 열환경

# 1. 열평형

## 1.1 인체의 열교환

### 1) 인체의 열평형

- 체온조절기능으로 인체는 약 37도 유지
- 인체 열생산 : 음식물의 소화와 근육운동으로 인한 인체의 열생산
- 인체 열방출 : 땀 분비, 호흡

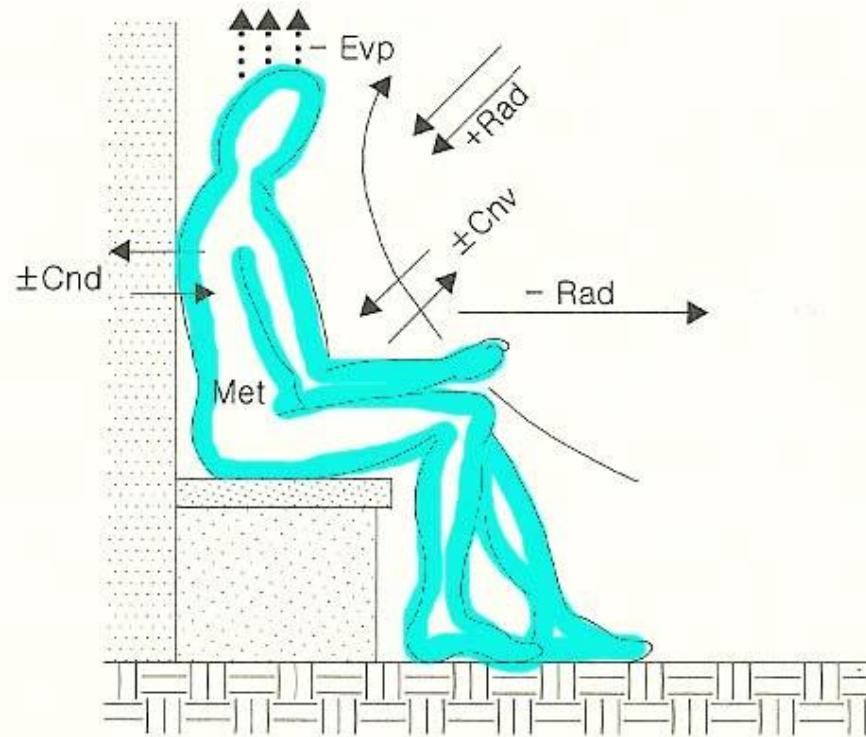
#### ① 열생산

- Met(Metabolism) : 대사(기초대사와 근육대사)
- Cnd(Conduction) : 전도(더운 물체와 접촉)
- Cnv(Convection) : 대류(더운 공기)
- Rad(Radiation) : 복사(뜨거운 물체로부터)

#### ② 열손실

- Evp(Evaporation) : 증발(물기나 땀의 증발)
- Cnd(Conduction) : 전도(찬 물체와 접촉)
- Cnv(Convection) : 대류(찬 공기)
- Rad(Radiation) : 복사(야간, 찬 물체의 표면으로)

인체의 열평형 :  $Met(대사) - E_{vp}(증발) \pm C_{nd}(전도) \pm C_{nv}(대류) \pm R_{ad}(복사) = 0$   
 체온하강 < 0 < 체온상승(열량이 축적)



인체의 열교환작용

## 2) 인체의 열 생산

- 대사(Metabolism) : 열 생산이라는 신체내의 생화학적 과정
  - 기초대사(basic metabolism) : 생명유지를 위한 열 생산, 무의식적
  - 근육대사(muscle metabolism) : 근육에 의해 생산되는 열, 의식적

[표 1.1] 성인 남성의 평균 대사량

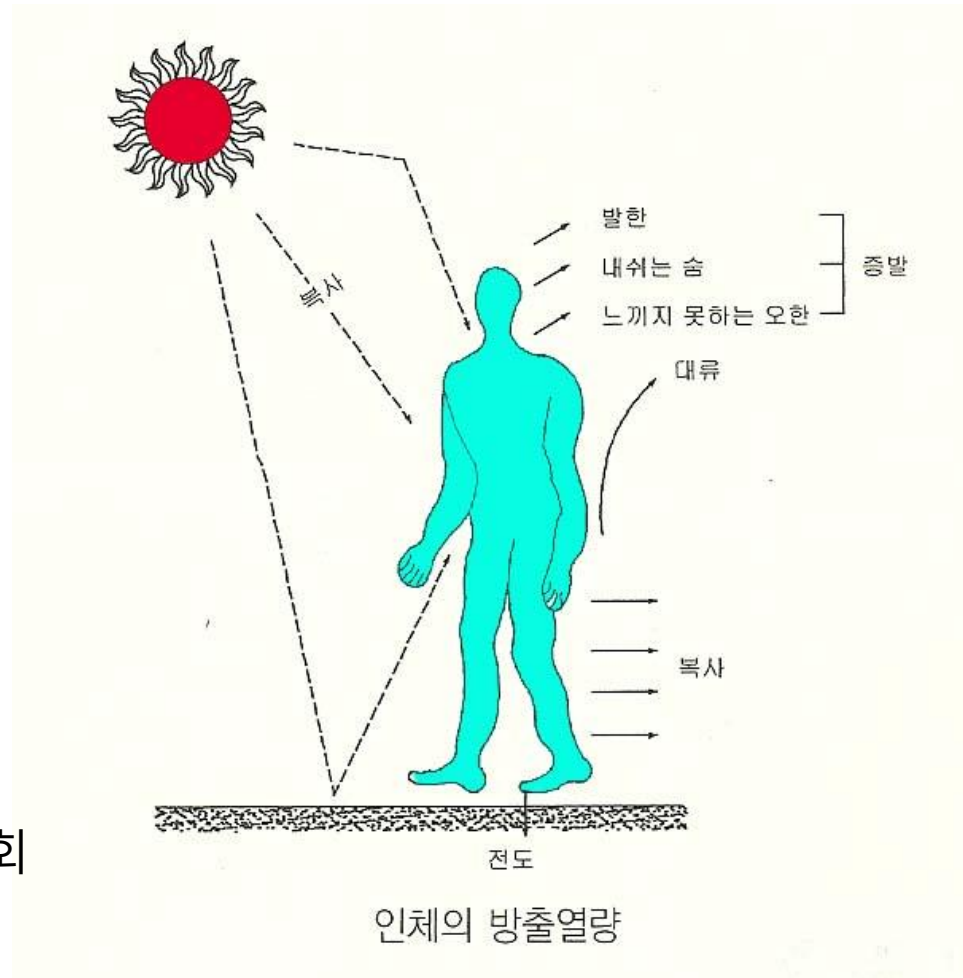
| 활동의 종류        | 성인 남성의 평균대사량(W) (kcal/h) |          |               |            |              |
|---------------|--------------------------|----------|---------------|------------|--------------|
|               | 합 계                      | 기초대사     | 근육대사          | 유효대사량      | 발열량          |
| 깊은 수면         | 70(60.2)                 | 70(60.2) | —             | —          | 70(60.2)     |
| 누운 상태         | 88(75.6)                 | 88(75.6) |               |            | 88(75.6)     |
| 앉은 상태         | 115(98.9)                | 92(79.1) | 23(19.8)      | —          | 115(98.9)    |
| 가벼운 작업        | 150(129.0)               | 92(79.1) | 58(49.9)      | 18(15.5)   | 132(113.5)   |
| 천천히 걷는 상태     | 160(137.6)               | 92(79.1) | 68(58.5)      | 22(18.9)   | 138(118.7)   |
| 앉은 상태의 가벼운 노동 | 235(202.1)               | 93(80.0) | 142(122.1)    | 40(34.4)   | 195(167.7)   |
| 중간정도의 노동      | 265(227.9)               | 93(80.0) | 172(147.9)    | 50(43.0)   | 215(184.9)   |
| 심한 노동(8시간 지속) | 440(378.3)               | 94(80.8) | 346(297.5)    | 88(75.7)   | 352(302.6)   |
| 심한 노동(30분 최대) | 1,500(1289.8)            | 94(80.8) | 1,406(1207.2) | 340(292.4) | 1,160(997.4) |

출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p65

### 3) 인체의 열 손실

- 인체내의 근육조직에서 생산된 열은 피부표면으로 운반되며 대류, 복사증발, 전도에 의하여 주위로 방출된다.
- 전도에 의한 열 손실이 없는 경우 :
  - ① Radiation(복사) : 45%
  - ② Convection(대류) : 30%
  - ③ Evaporation(증발) : 25%

출처 : 건축환경계획; 이경희  
저; 문운당; 2010



## 1.2 인체와 주위환경과의 열 교환

- 관련 요소

- metabolic rate(대사량)
- skin temperature(피부온도)
- sudmotor(땀 분비)
- clothing(착의 상태)
- MRT(평균복사온도)
- temperature(기온)
- water vapor pressure(수증기압)
- humidity(습도)
- valid surface of human(인체 유효표면적)



출처 : 건축환  
경공학; 김재  
수저; 서우;  
2008; p66

[표 1.2] 인체와 주위환경과의 열교환에 관계되는 요소

| 환 경 요 소                  |     |     |      |           |           |            | 평 가 치           |          |    |     |      |     |
|--------------------------|-----|-----|------|-----------|-----------|------------|-----------------|----------|----|-----|------|-----|
| 활동상태                     | 착의량 | 기류  | 상대습도 |           | 기온<br>(℃) | MRT<br>(℃) | 착의<br>온도<br>(℃) | 열 손 실    |    |     |      |     |
|                          |     |     | kPa  | RH<br>(%) |           |            |                 | 수분<br>증발 | 복사 | 대류  | 계    |     |
|                          |     |     |      |           |           |            |                 |          |    |     | 수분증발 | 건조시 |
| 의자에<br>앉은 자세<br>(1.2Met) | 0.1 | 0.1 | 1.8  | 50        | 27.2      | 27.2       | 33.0            | 9        | 46 | 41  | 38   | 88  |
|                          | 0.5 | 0.1 | 1.5  | 50        | 24.8      | 24.8       | 30.1            | 9        | 45 | 40  | 41   | 85  |
|                          | 0.5 | 0.5 | 1.7  | 50        | 26.6      | 26.6       | 30.0            | 9        | 29 | 57  | 40   | 86  |
|                          | 1.0 | 0.5 | 1.4  | 50        | 23.3      | 23.3       | 26.5            | 9        | 28 | 56  | 42   | 84  |
|                          | 1.0 | 0.1 | 1.3  | 50        | 21.6      | 21.6       | 26.6            | 9        | 43 | 40  | 43   | 83  |
|                          | 1.0 | 0.1 | 0.8  | 30        | 22.1      | 22.1       | 26.9            | 9        | 41 | 38  | 47   | 79  |
| 선자세<br>(1.6Met)          | 0.5 | 0.2 | 1.4  | 50        | 23.0      | 23.0       | 28.5            | 27       | 46 | 59  | 63   | 105 |
|                          | 1.0 | 0.2 | 1.1  | 50        | 19.1      | 19.1       | 24.3            | 27       | 44 | 58  | 66   | 102 |
|                          | 1.0 | 0.2 | 0.6  | 50        | 32.7      | 32.7       | 24.3            | 27       | 70 | 105 | 73   | 95  |

출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p66

## 1.3 건물의 열 교환

- 건물 열 교환 과정에서의 열 평형 방정식

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_m - Q_e = 0$$

$Q_i$  : 내부열 취득(인체,  
조명, 기기 등)

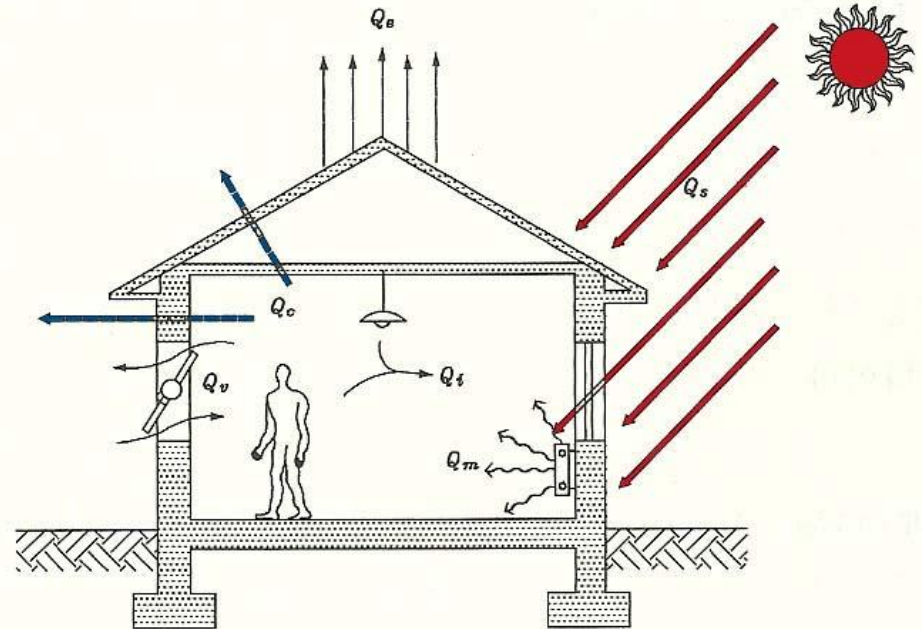
$Q_s$  : 일사열 취득

$Q_c$  : 전도열 취득(온도차)

$Q_v$  : 열취득(공기교환)

$Q_m$  : 냉난방

$Q_e$  : 증발냉각

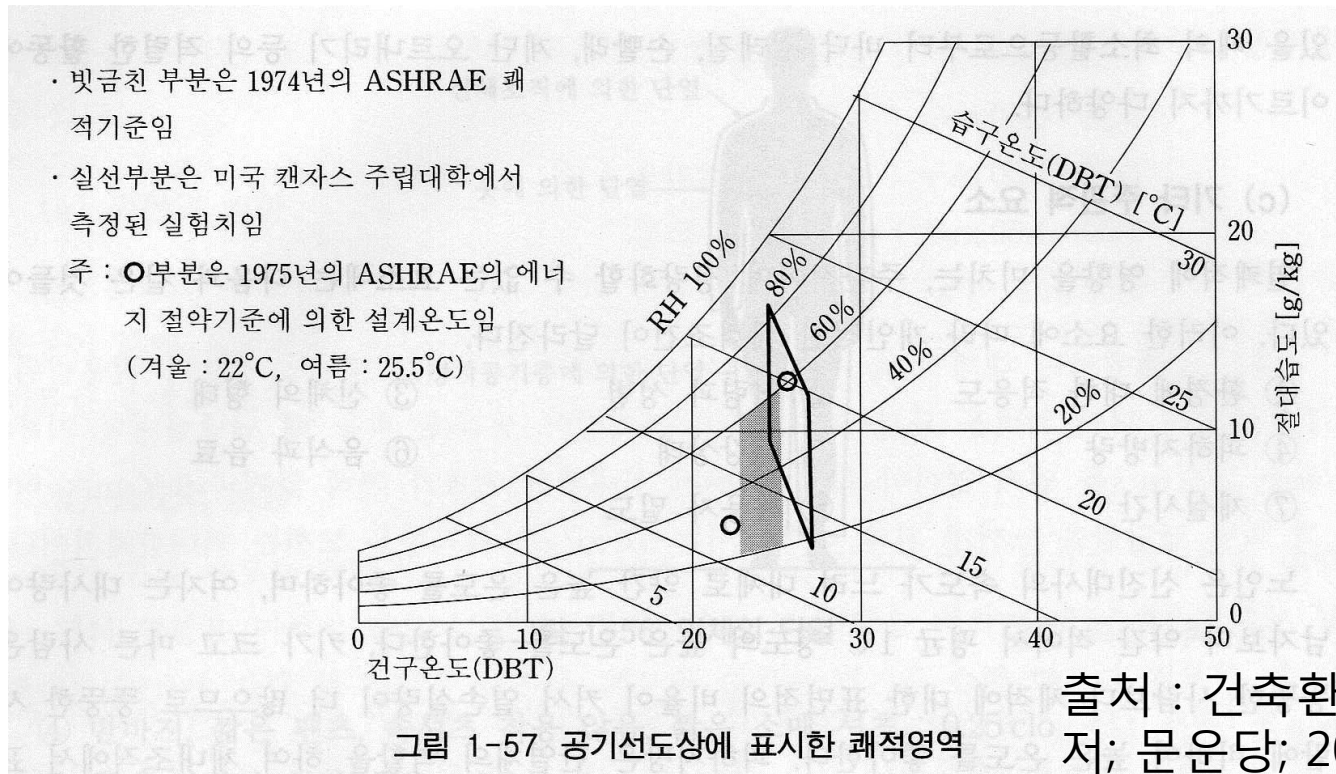


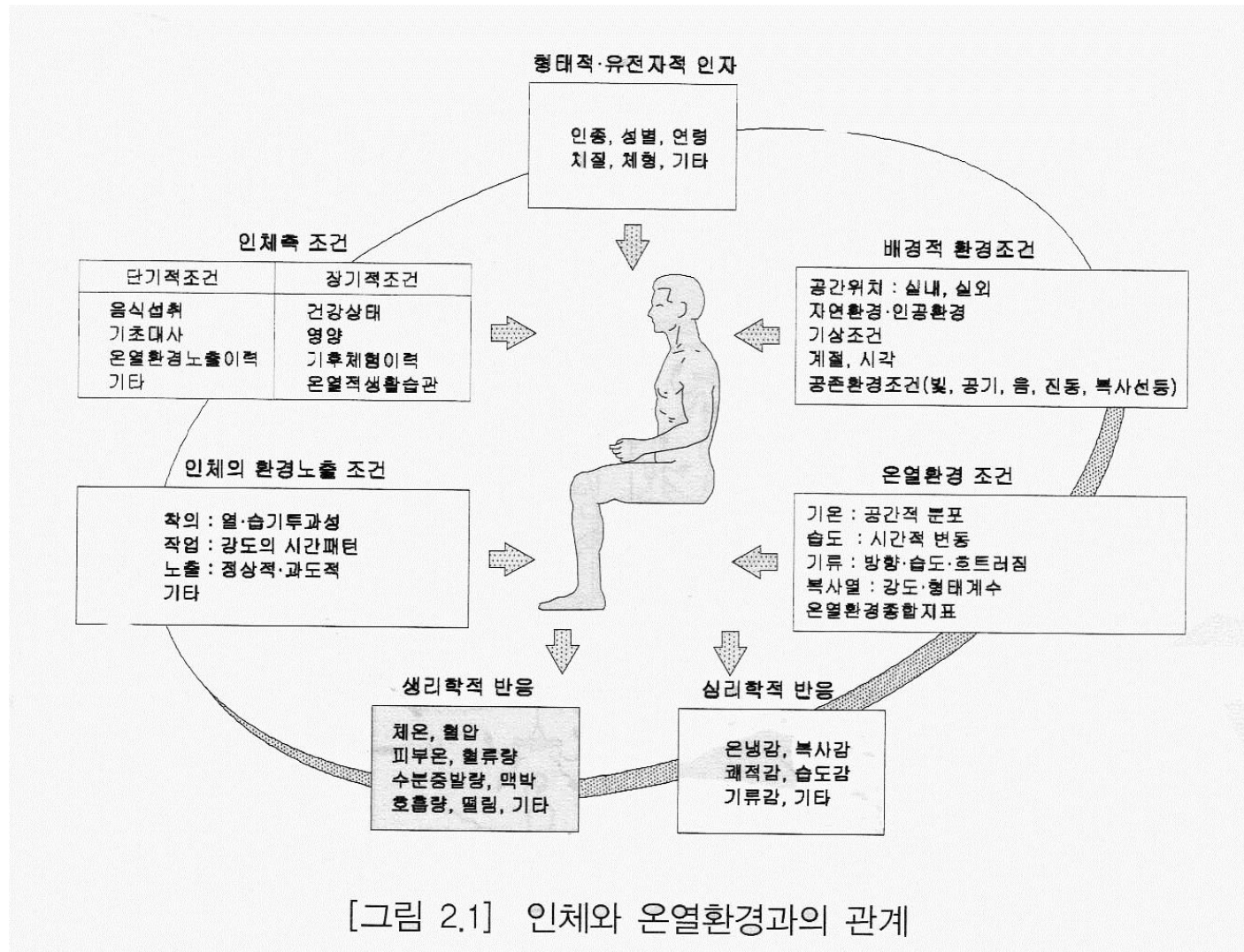
출처 : 건축환경계획; 이경회  
저; 문운당; 2010; p 98

건물의 열평형 개요도

## 2. 인체의 쾌적환경

- 쾌적영역(Comfort zone) : 기온과 평균복사온도, 습도, 기류간의 관계를 조합하여 다수의 성인이 쾌적하다고 느끼는 환경의 범위를 설정한 것
  - 개인차, 생리적, 심리적 특성, 활동상태에 좌우됨.





출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p68

## 2.1 온열환경의 물리적 변수(Physical Variables)

### 1) 기온(Air Temperature) : 건구온도

- 열적 쾌감에 가장 큰 영향(여름: 24~26도, 겨울: 20~24도)

### 2) 기류(Air Movement) : 실내기류

- 대류에 의해 인체의 열 손실을 증가시킴
- 쾌적기류 속도 : 0.25~0.5m/s
- 사무소 건물의 기류속도 : 0.5 m/s 이하

### 3) 습도(Humidity)

- 인체의 호흡과 땀의 증발력에 영향을 미침
- 여름: 40~70%, 겨울: 40~50%
- 인체의 냉온감에 영향을 미침. 저고습도에서는 불쾌감

### 4) 평균복사온도(Mean Radiant Temperature) : 균일한 주위온도

- 인체가 실내의 어느 위치에 있느냐에 따라 MRT는 달라짐
- 주변 공간 구조체의 표면온도 평균값

$$MRT = \frac{\sum t_i A_i}{\sum A_i} \quad t_i : \text{벽체표면온도}, A_i : \text{벽체표면적}$$

## 2.2 온열환경의 개인적 변수(Personal Variables)

### 1) 활동량(Activity)

1 Met : 표준체격인 사람이 열적으로 쾌적한 상태에서 의자에 앉아 안정을 취하고 있을 때의 대사량

$$1 \text{ Met} = 58.2 \text{ W/m}^2$$

[표 2.1] 작업종류에 따른 대사량

| 작업종류 |          | 대사량(Met) | 작업종류    |     | 대사량(Met) |
|------|----------|----------|---------|-----|----------|
| 사무작업 | 타자       | 1.2~1.4  | 교사      |     | 1.6      |
|      | 일반 사무    | 1.1~1.3  | 상점 판매원  |     | 2.0      |
| 보행속도 | 0.89 m/s | 2.0      | 사교춤     |     | 2.4~4.4  |
|      | 1.34 m/s | 2.6      | 테니스(단식) |     | 3.6~4.6  |
|      | 1.79 m/s | 3.8      | 농구      |     | 5.0~7.6  |
| 휴식   | 수면       | 0.7      | 가사      | 청소  | 2.0~3.4  |
|      | 조용히 앉아있다 | 1.0      |         | 취사  | 1.6~2.0  |
|      | 편히 서있다   | 1.2      |         | 손세탁 | 2.0~3.6  |
|      |          |          |         | 장보기 | 1.4~1.8  |

출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p70

## 2) 착의량(Clothing) : 의복의 단열성

Clo : 기온 21도, 상대습도 50%, 기류속도 0.5m/s 이하, 인체표면으로부터의 방열량이 1Met의 활동량과 평형한 착의상태.  $1\text{Clo} = 0.155\text{m}^2\text{°C/W}$

[표 2.2] 각종 의복의 단열성

| 남 성    |            |      | 여 성    |          |      |
|--------|------------|------|--------|----------|------|
| 의복의 종류 |            | Clo  | 의복의 종류 |          | Clo  |
| 속 옷    | 소매 없는것     | 0.06 | 속 옷    | 브래지어, 팬티 | 0.05 |
|        | T 셔츠       | 0.09 |        | 하프 슬립    | 0.13 |
|        | 브리프        | 0.05 |        | 홀 슬립     | 0.19 |
|        | 긴소매 셔츠     | 0.35 |        | 긴소매 셔츠   | 0.35 |
|        | 긴 속바지      | 0.35 |        | 긴 속바지    | 0.35 |
| 와이셔츠   | 긴소매(얇은 것)  | 0.22 | 블라우스   | 얇은 것     | 0.20 |
|        | 긴소매(두꺼운 것) | 0.29 |        | 두꺼운 것    | 0.29 |
| 조끼     | 얇은 것       | 0.15 | 드레스    | 얇은 것     | 0.22 |
|        | 두꺼운 것      | 0.29 |        | 두꺼운 것    | 0.70 |
| 바지     | 얇은 것       | 0.26 | 스커트    | 얇은 것     | 0.10 |
|        | 두꺼운 것      | 0.32 |        | 두꺼운 것    | 0.22 |
| 스웨터    | 얇은 것       | 0.20 | 슬랙스    | 얇은 것     | 0.26 |
|        | 두꺼운 것      | 0.37 |        | 두꺼운 것    | 0.44 |
| 겉 옷    | 얇은 것       | 0.22 | 스웨터    | 얇은 것     | 0.17 |
|        | 두꺼운 것      | 0.49 |        | 두꺼운 것    | 0.37 |
| 양말     | 짧은 것       | 0.04 | 스타킹    | 일반적인 것   | 0.01 |
|        | 긴것         | 0.10 |        | 팬티 스타킹   | 0.01 |
| 구두     | 단화         | 0.04 | 구두     | 단화       | 0.04 |
|        | 부츠         | 0.08 |        | 부츠       | 0.08 |

출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p71

### 3) 노소 나이(Age)

- 나이가 많을 수록 활동량이 감소, 냉온감에 영향을 받기 쉽다.
- 주위의 환경변화에 크게 영향을 받음.

### 4) 남녀 성별(Sex)

- 여성 : 피부온도가 남성보다 낮고, 피부 표면에서의 증발에 의한 열 손실이 남성보다 작다.

## 2.3 열환경의 지표와 열쾌적지표(Thermal Comfort Index)

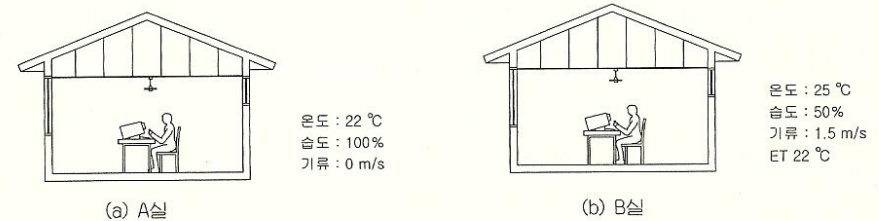
- 열쾌적지표 : 물리적 변수(4요소) + 개인적 변수(2요소)  
(활동량, 착의량)을 조합하여 하나의 지표로 표시한 것

[표 2-3] 온열환경지표

| 온열환경지표                                    | 기온<br>(DB) | 상대습도<br>(RH) | 기류<br>(V) | 열방사<br>(MRT) | 대사량<br>(Met)  | 착의량<br>(Clo) |
|-------------------------------------------|------------|--------------|-----------|--------------|---------------|--------------|
| Effective Temperature<br>유효온도             | ○          | ○            | ○         |              | 앉은작업<br>가벼운작업 | 약<br>1Clo    |
| Globe Temperature<br>흑구온도                 | ○          |              | ○         | ○            |               |              |
| Resultant Temperature<br>합성온도             | ○          | ○            | ○         | ○            | 가벼운작업         | 정상복          |
| Equivalent Warmth<br>등가온                  | ○          | ○            | ○         | ○            | 안정시           | 정상복          |
| Corrected Effective Temperature<br>수정유효온도 | ○          | ○            | ○         | ○            | 앉은작업<br>가벼운작업 | 정상복          |
| Operative Temperature<br>작용온도             | ○          |              | ○         | ○            |               |              |
| Humid Operative Temperature<br>습작용온도      | ○          | ○            | ○         | ○            | ○             | ○            |
| New Effective Temperature<br>신유효온도        | ○          | ○            | ○         | ○            | 1Met          | 0.6Clo       |
| Discomfort Index<br>불쾌지수                  | ○          | ○            |           |              |               |              |
| Bioclimatic Chart<br>생체기후도                | ○          | ○            | ○         | ○            | 앉은작업          | 1Clo         |
| Predicted Mean Vote(PMV)<br>예상온열감         | ○          | ○            | ○         | ○            | ○             | ○            |
| Resultant Mean Vote(RMV)<br>평균쾌적도 결과      | ○          | ○            | ○         | ○            | ○             | ○            |

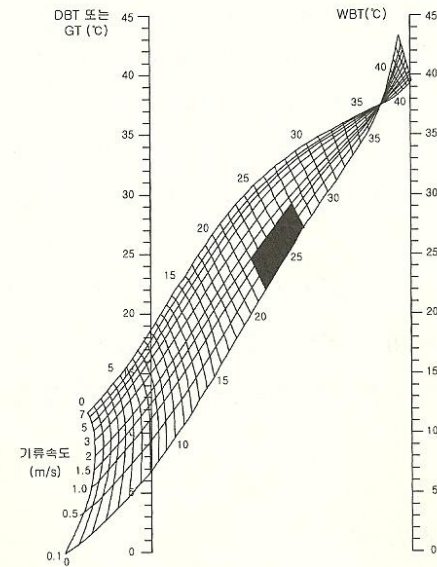
# 1) 유효온도(Effective Temperature, ET) (=체감온도, 효과온도)

- Yaglou 등이 제시
- 온도, 습도, 기류를 이용



[그림 2-1] 유효온도(ET) 실험

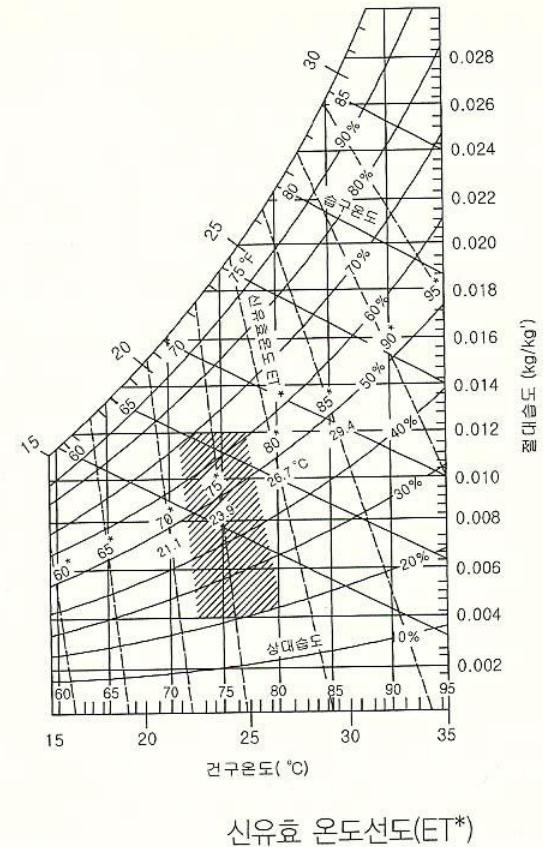
- 한국인의 쾌감대  
겨울 : ET = 16~21도  
여름 : ET = 20~25도  
봄, 가을 : ET = 17~22도
- 수정유효온도(CET)  
건구온도 → 흑구온도



[그림 2-2] 유효온도 산출도

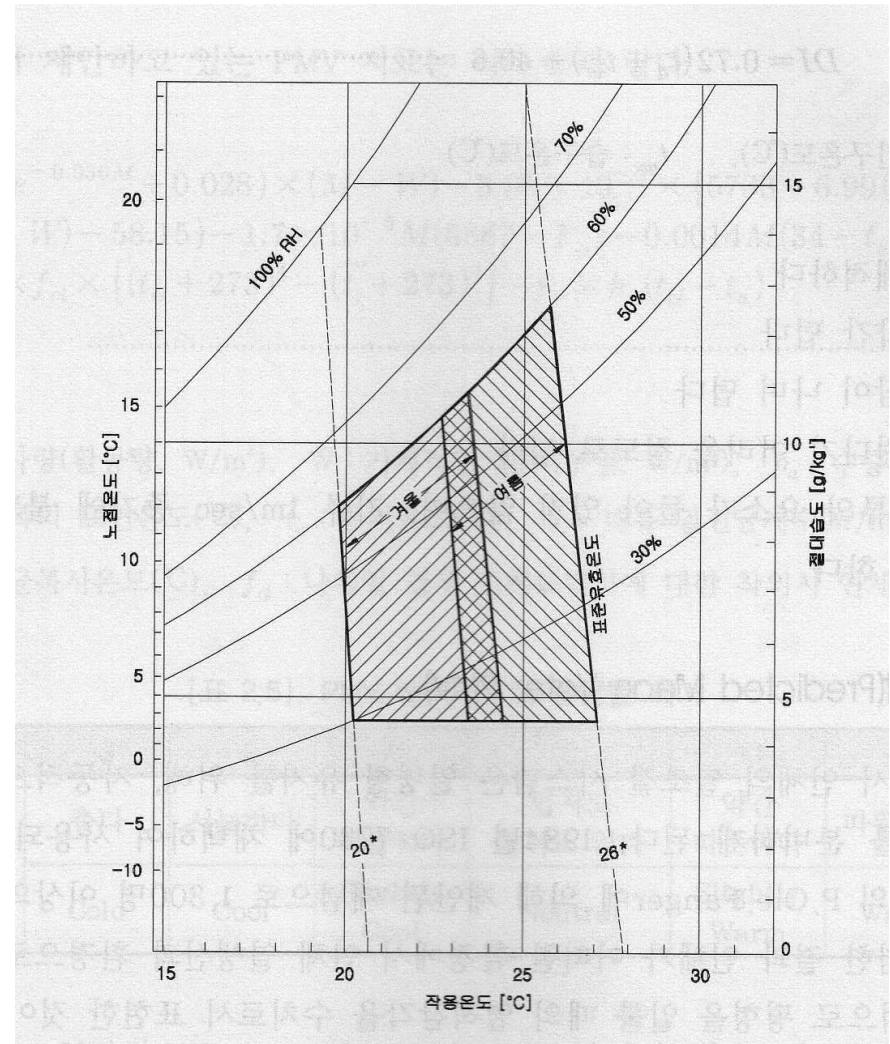
## 2) 신 유효온도(New Effective Temperature, ET\*)

- 1971년 미국의 Pierce 연구소가 제시
- 조건
  - 가벼운 옷차림
  - 의자에 앉은 상태
  - 습도 50%, 기류 0m/s
- 1974년 ASHRE에서 채택
  - ASHRE의 쾌적범위 : 기류 0.2 m/s 이하,  $ET^*=24^{\circ}\text{C}$ ,  
DBT(건구온도)=MRT, RH(상대습도)=40%(20 ~ 60%)



### 3) 표준유효온도(SET\*)

- Gaugge 등이 제안, 신유효온도를 발전시킴
- ASHREA에서 채택하여 세계적으로 널리 사용
- 조건
  - 상대습도 50%, 풍속 0.125m/s(정지상태의 공기)
  - 활동량 1Met(작업시 대사량  $58\text{W/m}^2$ )
  - 착의량 0.6Clo(가벼운 실내 평상복장)



#### 4) 불쾌지수(Discomfort Index, DI)

- 불쾌감 지수 : 기후의 불쾌도를 표시하는 지수
- E. C. Thom이 제안, 기온과 습도의 영향을 고려

$$DI = 0.72(t_{\alpha} + t_{\omega}) + 40.6$$

$t_{\alpha}$  : 건구온도  $t_{\omega}$  : 습구온도

- 70 미만 : 쾌적하다.
  - 75 이상 : 약간 덥다.
  - 80 이상 : 땀이 나며 덥다.
  - 85 이상 : 견디기 어려울 정도로 덥다.
- 기류 1m/sec 증가에 불쾌지수는 약 7정도 줄어듦

## 5) 예상 온열감(Predicted Mean Vote, PMV)

- P. Ole Fanger가 제안
- 1984년에 ISO 7730에 채택
- 인체의 열적 평형을 이룰 때의 열적 감각을 수치로 표시
- 쾌적대 :  $-0.5 < PMV < +0.5$

$$M - W = H + E_c + C_{res} + E_{res}$$

M : 대사량, W : 기계적인 일, H : 열손실

$E_c$  : 열적 중립상태에서 피부에서의 증발잠열

$C_{res}$  : 호흡에서 대류열 손실,  $E_{res}$  : 호흡에서 증발열 손실

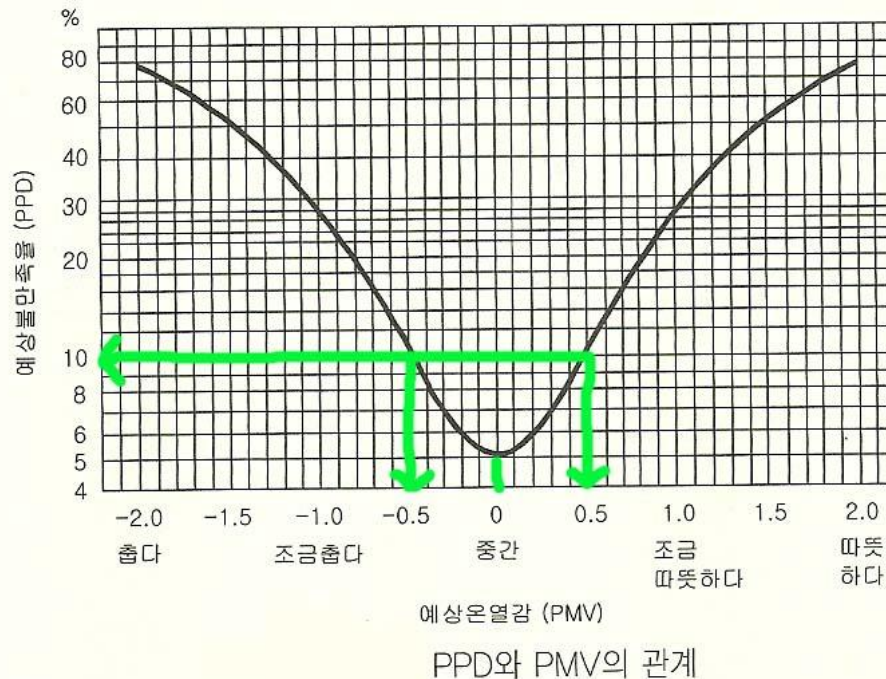
[표 2-5] PMV 쾌적지표의 등급별 의미

| PMV 지표 | -3   | -2   | -1               | 0             | +1               | +2   | +3  |
|--------|------|------|------------------|---------------|------------------|------|-----|
| 의 미    | 춥다   | 서늘하다 | 약간<br>서늘하다       | 덥지도<br>춥지도 않다 | 약간<br>따뜻하다       | 따뜻하다 | 덥다  |
|        | Cold | Cool | Slightly<br>Cool | Neutral       | Slightly<br>Warm | Warm | Hot |

PMV의 평가는 일반적으로  $-0.5 < PMV < +0.5$  범위에 있을 때 열적으로 쾌적함을 느낀다.

## 6) 예상불만족율(Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD)

- PMV의 온열감을 전체 피험자 수에 대한 백분율로 계산한 지표
- 실내열환경의 불만족도



출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p 80

### 3. 열관류율

#### 3.1 전열이론

##### 1) 에너지와 일률

- 에너지 : 일을 할 수 있는 능력, 단위 : J, cal, Wh 등
- 일률 : 에너지가 한 형태에서 다른 형태로 변환되는 효율

[표 3-1] 에너지와 일률의 단위

| 구분  | 단위       | 내 용                                                          | 비 고                                           |
|-----|----------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 에너지 | 줄(J)     | 어떤 물체를 1N의 힘으로 1m 옮기는데 필요한 일의 양<br>$J = N \times m$          | $1J = 0.24cal$                                |
|     | 칼로리(cal) | 물 1g을 1°C 올리는데 필요한 열량                                        | $1cal = 4.187J$                               |
|     | 와트시(Wh)  | 1W의 일률(Power)로 1시간 동안 사용할 수 있는 일의 양, Wh<br>$= W \times hour$ | $1kWh = 3.6MJ$                                |
|     | BTU      | 물 1lb를 1°F 올리는데 필요한 열량                                       | $1BTU = 1,055J$                               |
| 일률  | 와트(W)    | $\frac{\text{열에너지변화량}(\Delta Q)}{\text{시간의 변화량}(\Delta t)}$  | $1W = 0.86kcal/h$<br>$1kcal/h \doteq 1.1628W$ |

※ BTU : British Thermal Unit

출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p 81

## 2) 열용량

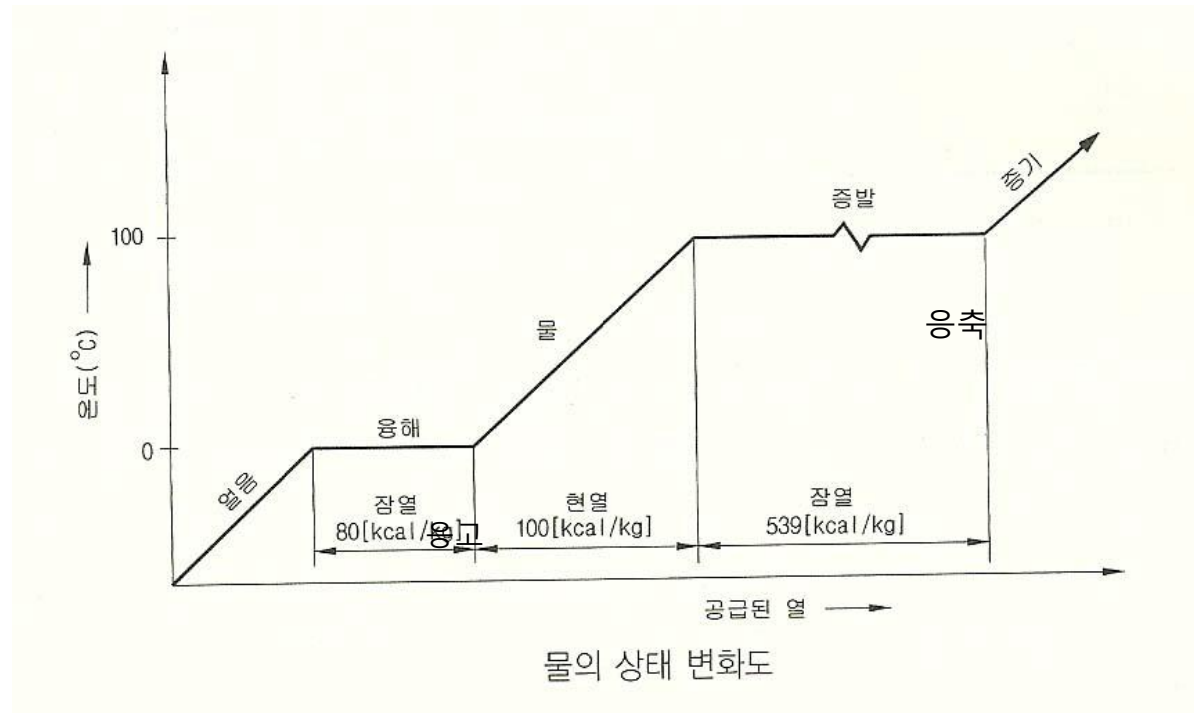
- 열용량 : 어떤 물체가 열을 수용할 수 있는 능력
- 비열 : 어떤 특정한 재료의 열용량
  - 재료 1kg의 온도를 1°C 올리는데 필요한 열에너지의 양
  - 단위 : kcal/kg°C
- 비중 : 단위 부피당 질량
  - 벽돌, 콘크리트, 돌 등의 조적 공사용 재료는 높은 비중 작은 부피라도 질량이 크므로 → 큰 열용량
- 열용량 : 어떠한 재료 1m<sup>3</sup>을 온도 1°C 높이는데 필요한 열에너지의 양, 단위 : kcal/m<sup>3</sup>°C
$$\text{열용량} = \text{비열} \times \text{비중}$$
  - 물의 열용량은 다른 물질보다 높다. → 좋은 열용량 재료

- 각종 재료의 비열 및 열용량

| 재 료   | 비열<br>kcal/kg°C | 비중<br>Kg/m <sup>3</sup> | 열용량<br>kcal/m <sup>3</sup> °C |
|-------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|
| 물     | 1.0             | 1000                    | 1000                          |
| 나무    | 0.57            | 753                     | 429                           |
| 발포우레탄 | 0.38            | 24                      | 9.12                          |
| 공 기   | 0.24            | 1.2                     | 0.288                         |
| 벽 돌   | 0.20            | 1971                    | 394                           |
| 콘크리트  | 0.156           | 2307                    | 360                           |
| 철     | 0.12            | 7833                    | 940                           |

### 3) 현열과 잠열

- 1kcal : 물 1kg을 14.5°C에서 15.5°C로 높이는데 필요한 열량
- 현열 : 온도를 상승시키는 열로 흡수나 방출되는 열에너지
- 잠열 : 상태를 변화시키는 열로 흡수나 방출되는 열에너지

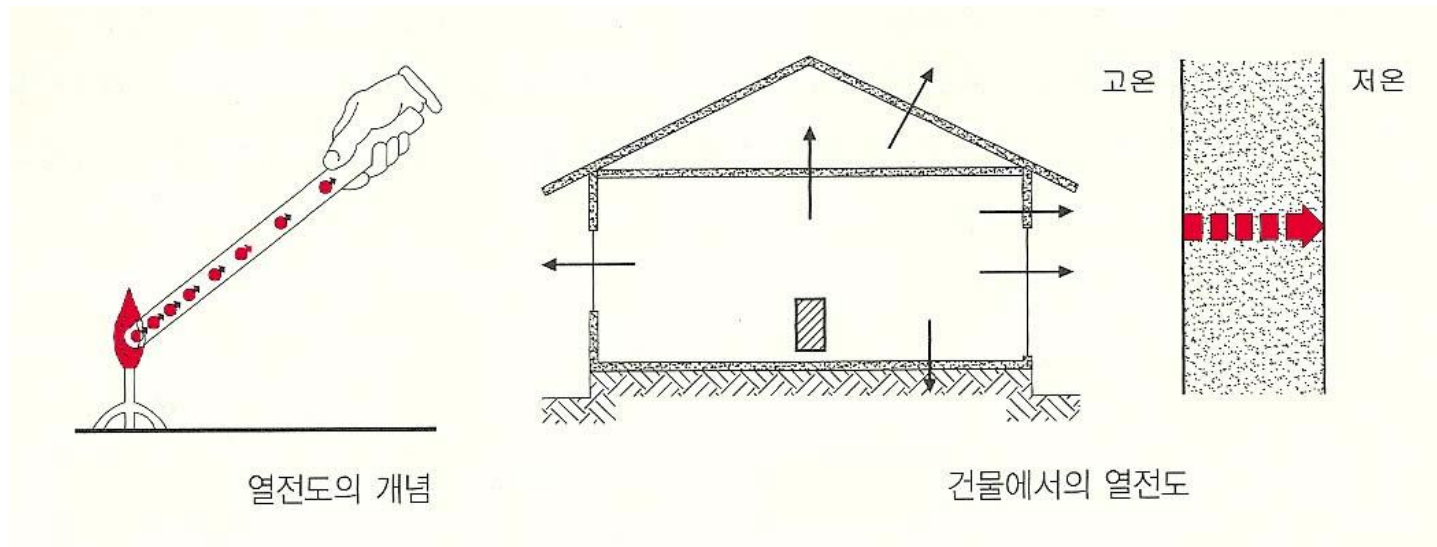


출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p 83

#### 4) 열 이동의 원리

(1) Conduction(전도) : 열은 고온 측에서 저온 측으로 흐른다.

- 전도에 의한 열량은 물질에 따라 다르며, 열전도율에 비례한다.
- Fourier의 법칙 : 단위시간당 열흐름의 양은 온도차의 정도, 즉 온도구배와 물체의 열전도율에 비례한다.



출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p 84

- 건물에서 열전도의 법칙
  - 벽이 클수록 열손실이 많다.
  - 날씨가 추울수록 열손실이 많다.
  - 같은 재료일 때는 벽이 두꺼울수록 열손실이 적다.

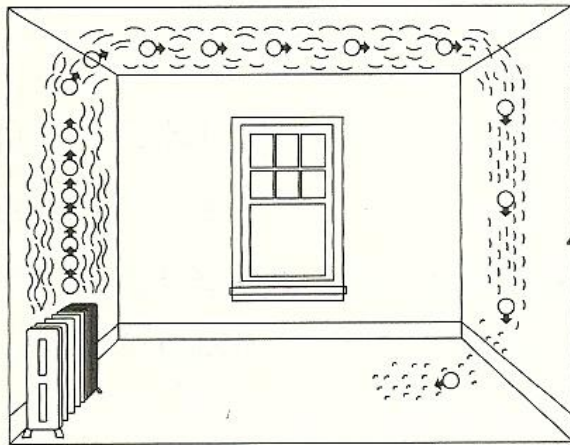
## (2) Convection(대류)

물질이 열을 동반하고 이동하는 경우로 기체, 액체에서 일어남.

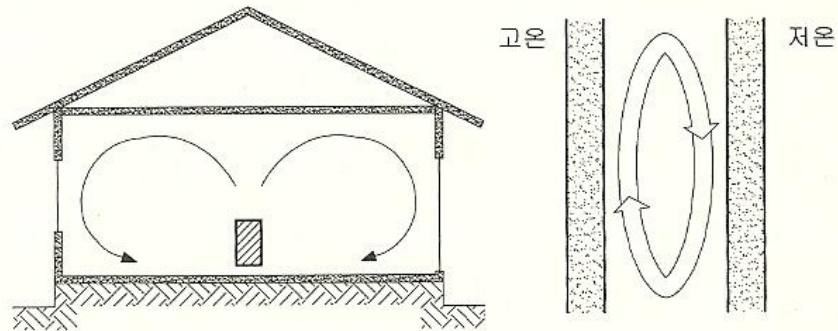
- Newton의 법칙

$$Q = h \times A \times \Delta t$$

$h$ ; 대류열전달율  $A$ ; 벽면적  $\Delta t$ ; 온도차



[그림 3-6] 열대류의 개념



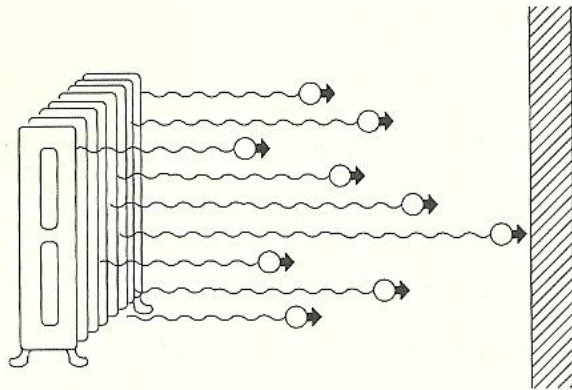
[그림 3-7] 건물에서 열대류

### (3) Radiation(복사)

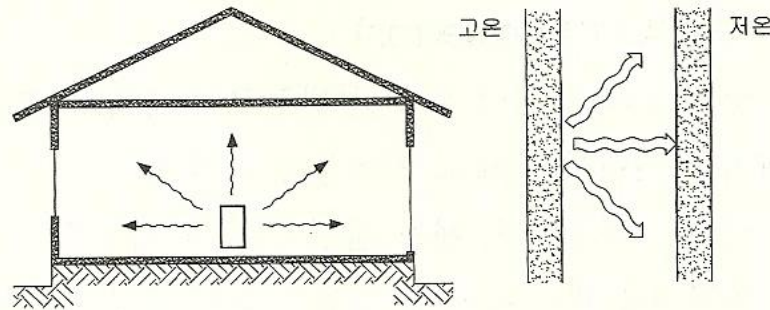
고온의 물체표면에서 저온의 물체표면으로 복사에 의해 열이 이동하는 것

- Stefan Boltzmann의 법칙 : 물체에서 복사된 열량은 그 표면의 절대온도의 4승에 비례한다.

$$E_b = \sigma T^4$$



[그림 3-9] 열복사의 개념



[그림 3-10] 건물에서 열복사

## 5) 열전도율(Thermal Conductivity, $\lambda$ )

- 두께 1m의 균일재에 대하여 양측의 온도 차가 1°C 일 때 1m<sup>2</sup>의 표면적을 통하여 흐르는 열량

$$\lambda = \frac{q\Delta d}{A\Delta\theta} \quad (\text{kcal/mh}^\circ\text{C})$$

- KS L 9016(보온재의 열전도율 측정 방법)에 의해 측정

## 6) 열전도저항(Thermal Resistance, R)

- 일정 두께의 재료가 갖는 열류에 저항하는 능력
- $R(\text{m}^2\text{K/W}, \text{m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}) = 1/C$  (c: 열전도계수)
- 열전도계수(Thermal Conductance) : 열이 전해지기 쉬운 정도

$$R = d / \lambda \quad (\text{m}^2\text{K/W}, \text{m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal})$$

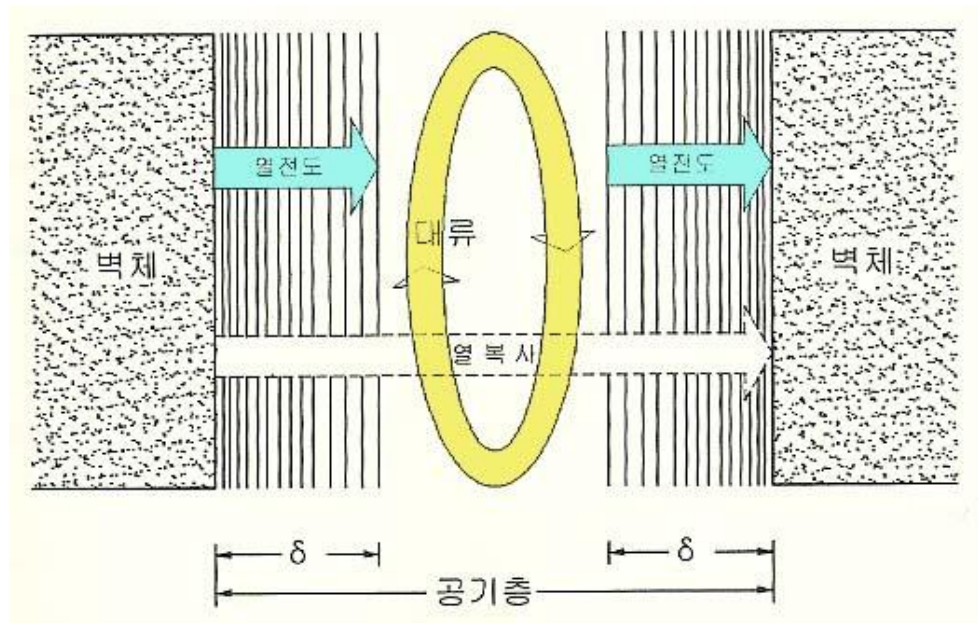
$$R = 1/K$$

- 열저항은 두께에 비례하고 열전도율에 반비례 : 재료가 다른 경우 두께가 동일하면 열전도율이 낮은 재료의 열저항은 높아지며, 동일 재료의 경우 두께가 달라지면 두꺼운 쪽의 열저항이 높아진다.

## 3.2 열전달

### 1) 열전달 현상

- 고체내부 : 전도  
고체표면 : 대류, 복사

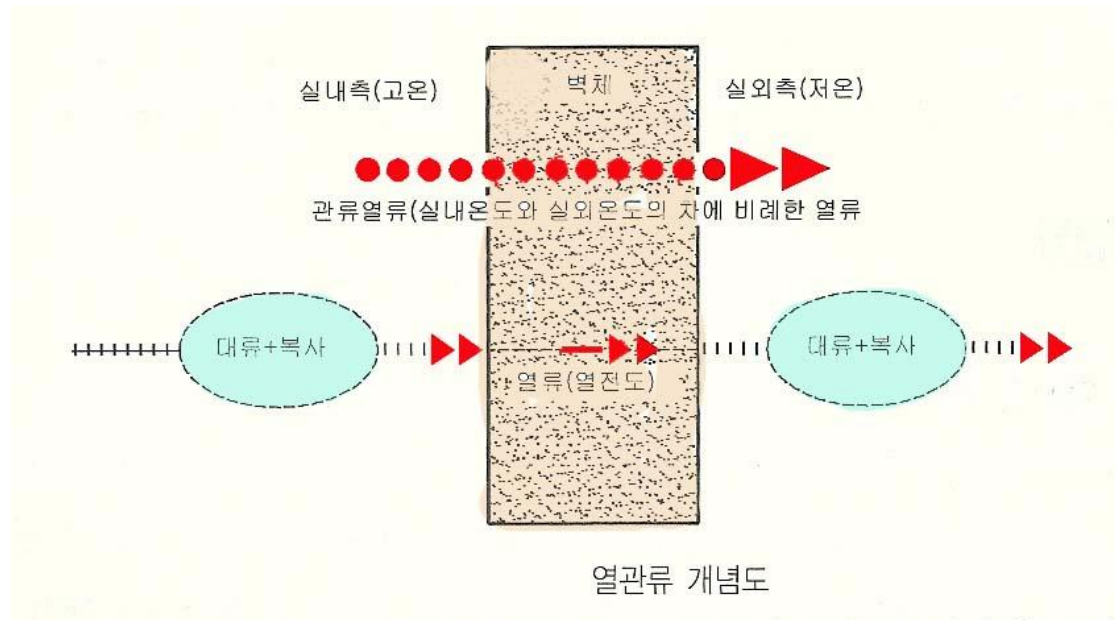


출처 : 건축환경공학;  
김재수저; 서우; 2008;  
p 93

- 경계층 두께  $\delta$ 는 공기의 속도, 온도, 점성, 고체 표면의 상태 등에 따라 다르다.

## 2) 열관류율(Heat Transmission Coefficient, K)

- 표면적  $1\text{m}^2$ 인 구조체를 사이에 두고 온도차가  $1^\circ\text{C}$ 일 때 구조체를 통한 열류를 와트로 측정한 것
- 복합재료로 구성된 구조체를 통한 열전달을 계산할 때, 전도, 대류, 복사에 의한 열전달의 모든 요인들을 혼합하여 하나의 값으로 나타낸 것



출처 : 건축환경공학; 김재수저; 서우; 2008; p 93

$$\text{열 관류율}(K) = 1/R_T = 1/(R_o + \Sigma R + R_a + R_i) \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Ra : 중공층의 열저항                       $\Sigma R = \Sigma \frac{d}{\lambda}$

Ro : 실외표면 열전달 저항

Ri : 실내표면 열전달 저항

[표 3-5] 열관율 계산시 적용되는 실내 및 실외측 표면 열전달저항

| 열전달저항<br>건물 부위           | 실외표면 열전달저항( $R_o$ )<br>[단위: $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ]<br>(괄호안은 $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/kcal}$ ) |                  | 실내표면 열전달저항( $R_i$ )<br>[단위: $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ]<br>(괄호안은 $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C/kcal}$ ) |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | 외기에 직접<br>면하는 경우                                                                                                             | 외기에 직접<br>면하는 경우 |                                                                                                                              |
| 거실의 외벽<br>(측벽 및 창, 문 포함) | 0.11 (0.13)                                                                                                                  | 0.043 (0.050)    | 0.11 (0.13)                                                                                                                  |
| 최하층에 있는 거실 바닥            | 0.15 (0.17)                                                                                                                  | 0.043 (0.050)    | 0.086 (0.10)                                                                                                                 |
| 최상층에 있는 거실의<br>반자 또는 지붕  | 0.086 (0.10)                                                                                                                 | 0.043 (0.050)    | 0.086 (0.10)                                                                                                                 |
| 공동주택의 층간 바닥              | —                                                                                                                            | —                | 0.086 (0.10)                                                                                                                 |

※ 건축물의 에너지 절약기준 제4조 관련 기준임(1W=0.86kcal/h)

- 열관류 : 벽체를 중심으로 실내외 공기의 온도차가 있을 때 고온의 유체로부터 저온의 고체표면으로 열이 전달되고, 벽체 내부의 전도를 거쳐 다시 고체표면에서 저온의 유체로 열이 전달되는 과정

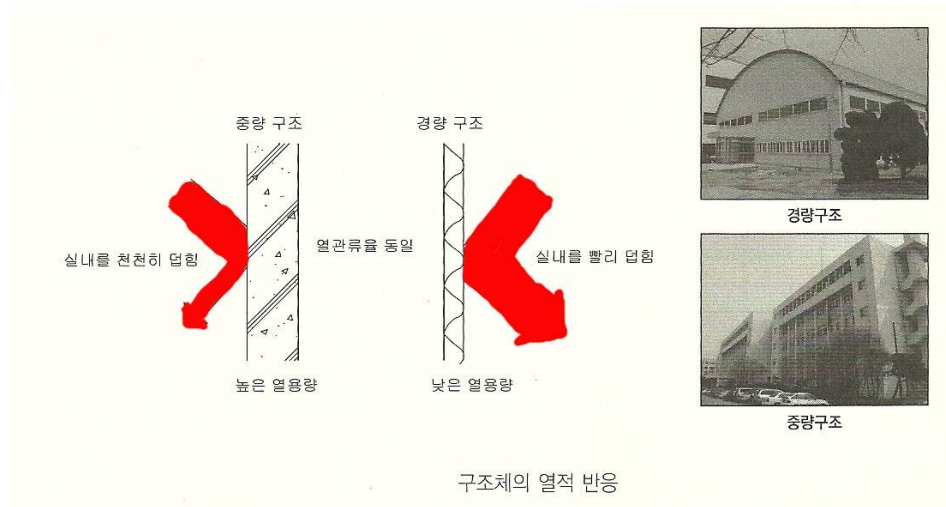
$$\text{열관류량 } Q_{\text{관}} = Q_{\text{전달}} + Q_{\text{전도}} + Q_{\text{전달}}$$

- 표면열전달률 = 복사열전달률 + 대류열전달률
- 공기층의 열저항 : 공기가 정지된 상태일 때와 공기층의 두께가 25mm 미만일 때 최대
- 열관류량  $Q = A \cdot K \cdot \Delta t$  (W, kcal/h)  
A : 단면적    K : 열관류율     $\Delta t$  : 내외부 온도차

### 3) 구조체의 온도

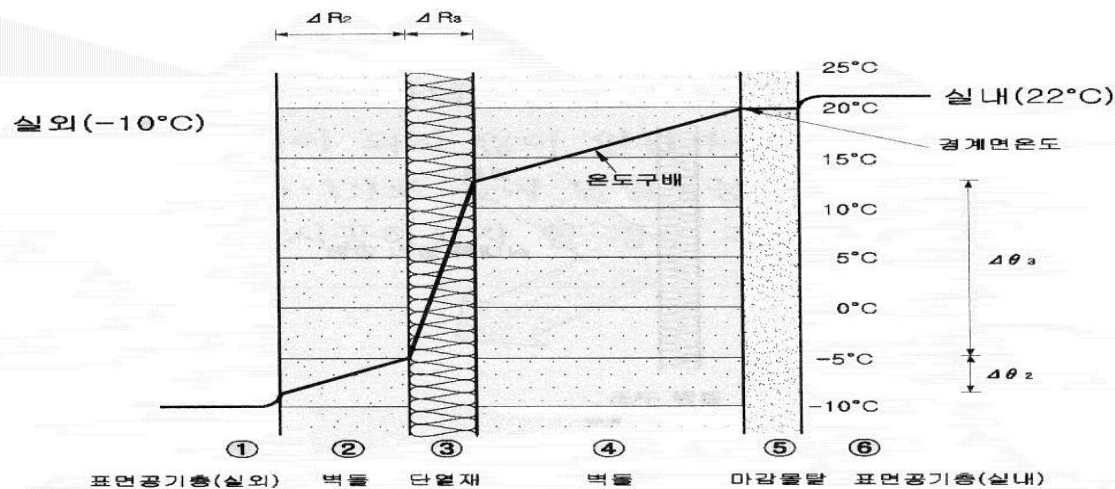
#### (1) 반응시간

- 동일한 열관류율을 갖는 벽체라도 열류의 흡수, 방출은 다를 수 있다.
- 일반적으로 경량구조는 중량구조보다 주위 온도변화에 더 빨리 반응한다.( $\because$  중량구조는 열용량이 크기)



## (2) 온도구배(Temperature Gradient)

- 구조체 내 각 점의 온도를 이은 선으로 동일 재료층에서는 일정한 기울기를 가진 직선으로 나타난다.
- 정상상태(steady state)에서 구조체 내의 온도기울기는 재료의 열전도율과 내외부 온도차에 좌우됨.
- 열저항이 큰 재료층에서는 급경사가 됨



벽체의 온도 구배

- 구조체의 따뜻한 쪽에서 차가운 쪽으로 점진적인 온도 변화가 생긴다.
- 좋은 단열재는 양측 재료간에 최대의 온도차를 갖는다.
- 어느 특정한 재료층을 통한 온도변화는 재료층의 열저항에 의해 결정

$$\Delta\theta = \Delta R / R_T \times \theta_r$$

$\Delta\theta$  : 특정 재료층에서의 온도강하

$\Delta R$  : 특정 재료층의 열전도저항

$R_T$  : 전 구조체의 총 열저항

$\theta_r$  : 전 구조체를 통한 온도강하