

室內 熱環境에 관한 實測調查 研究

— 冷房期 事務所建物を 中心으로 —

金 成 完* · 張 海 鎮** · 朴 相 東**

Experimental Study on Indoor Thermal Environment of an
Office Building During Cooling Season

Sung wan Kim*, Hai jin Jang**, Sang dong Park**

ABSTRACTS

In this study, the thermal environment of a certain building was investigated by using of concerned equipments and enquete sheets. The measured items were temperature, humidity, air flow and radiant heat, and thermal responses for the occupants were checked also, which are oriented to be used as basic data for environmental design.

The results of this study are as followed.

1. The optimal room temperature was $24 \sim 26.5$ °C DBT in cooling season.
2. Under the condition from 50 % to 70% of relative humidity, the difference of relative humidity did not impact upon the feeling temperature.
3. In cooling season, the average clothing factor of occupants was 0.34 clo; 0.49 clo for men and 0.25clo for women.
4. The average working factor of occupants was 1.1 ~ 1.3 Met in that cooling season.

* 서울大學校 大學院

** 韓國動力資源研究所

I. 序 論

우리나라는 1960년대 이후 급격한 경제성장으로 인해, 도시기능 확장과 과도한 인구증가 및 高層建物 建築의 양적 홍수를 초래했다.

그러므로 용도면에서 볼때 에너지 消費量이 막대한 高層建物의 에너지 消費절약은 중요한 과제라 할 수 있다. 이미 선진국에서는 1973년 유류파동 이후 여러 단체의 調査·分析을 통하여 지역적 특성에 맞는 建物의 에너지 性能 基準을 制定 施行하고 있으나, 우리나라는 대책을 세우지 못하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 에너지 性能基準의 制定·施行도 適正 室內 環境保全이라는 전제하에 성립되어야 할 것이다.

따라서 既存 事務所 建物을 대상으로 실제 근무상태에서 室內 熱環境實態를 測定하고 동시에 在室者의 溫冷感 反應 및 快適感 反應을 調査한후 이 두가지 상호 관계를 分析하여 室內의 熱環境을 評價하고 冷房期 事務所 建物의 室內 適正溫度와 허용할 수 있는 快適範圍를 산정하기 위하여 다음 사항들에 대하여 調査·研究를 행하였다. 즉 인체에 가장 큰 영향을 미치는 氣溫·濕度·氣流速度·輻射熱의 4가지 要素에 대하여 測定을 하였으며, 在室者의 溫冷感·快適感·着衣量·作業量을 調査하였다.

본 研究는 '82년도 한국동력자원연구소에 實施한 “事務所 建物의 에너지 消費實態 調査” 중 일부를 요약한 것임을 미리 밝혀둔다.

II. 測定 및 調査概要

1. 測定期間

1 차 : 1982.7.20 ~ 7.29

2 차 : 1982.8.10 ~ 8.28

2. 測定場所

서울 여의도 D빌딩

3. 測定項目 및 方法

가. 室內空間 熱環境 要素

室內 熱環境要素는 인체에 가장 큰 영향을 미치는 氣溫·濕度·氣流速度·輻射熱의 4가지를 測定하였으며, 사용기기 및 測定방법은 <表-1>과 같다. 測定點은 대략 6m 간격으로 4층이 15개소, 11층이 21개소이다.

輻射熱은 평균복사온도(MRT: mean radiant temperature)를 黑球溫度計의 測定値에 의해 산정했다. 흑구온도계 측정값은, 기류가 없을때는 설치후 5분정도 안정시켜두면 실용적인 값으로써 주위 표면의 MRT와 같은 값을 나타낸다고 볼 수 있다. 그러나 氣流가 있을 때에는 수정을 해야되며, 그 관계식은 식(1) 및 식(2)와 같다.

$$GT^{1D} = \frac{MRT + 2.35\sqrt{v} \cdot DBT}{1 + 2.35\sqrt{v}} \dots\dots(1)$$

이것을 MRT에 대하여 다시 쓰면

$$MRT = GT + 2.35\sqrt{v}(GT - DBT)$$

여기서 GT: 흑구온도 [°C]

(Globe Temperature)

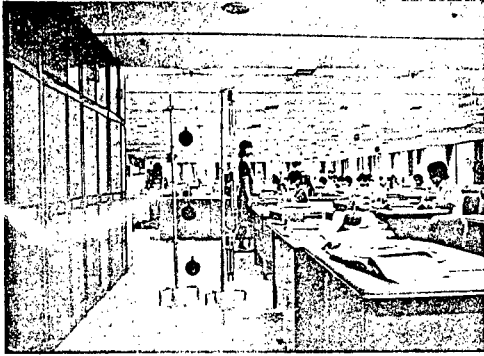
DBT: 건구온도 [°C]

(Dry-Bulb Temperature)

v: 기류속도 [m/sec]

· 조사 대상실의 집무상태 및 측정장면은 [그림-1]과 같다.

註: 1) S.V. Szokolay, Environmental Science Handbook, The Construction Press, P.260.



[그림-1] 조사대상실의 집무상태 및 열환경요소 측정장면

< 表-1 > 실내열환경요소의 측정항목 및 방법

측정항목	측정기기	측정위치	측정방법
기온 습도	통풍식 아스만 건습구 온도계	6m 간격으로 측 정, 바닥위 20, 80, 150 cm의 높 이별	이동식 스탠 드에 각 높 이별로 설치 하여 측정
기류 속도	열 선 풍속계	상 동	각각 높이별 로 측정
복사열	흑 구 온도계	상 동	이동식 스탠 드에 높이별 로 측정

나. 在室者의 熱感反應 調査

- 調査方法 : 앙케이트조사
- 調査對象者 : 재실자 전원
- 調査時刻 : 熱環境 要素 測定時
- 설문지 내용
 - A지 : 개인 신상에 관한 사항
 - B지 : 조사 당일 신체상태에 관한 사항
 - C지 : 溫冷感 · 快適感 · 輻射感 · 着衣量
- 설문지의 배포 및 회수결과
설문지는 매 측정이 시작되면서 배

포하기 시작하여 측정이 끝나기 직전에 회수 완료하였으며, 회수 결과는 < 表 1-2 > 와 같다.

< 表-2 > 측정기간중 실제조사일과 유효 응답자 수

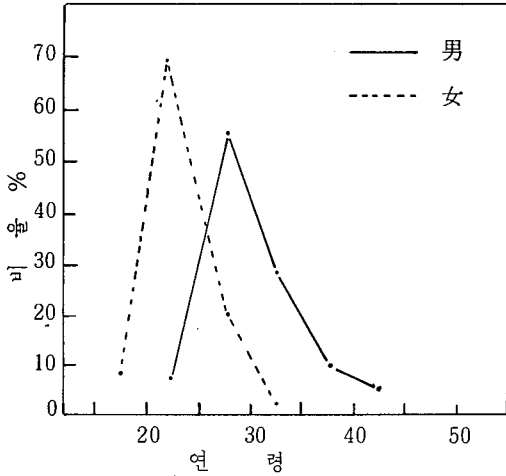
측정기	조 월 · 사 일	오전 · 후	조사위치	남	여	계
1 차	7/22	PM	11 층(A실)	24	4	28
			// (B실)	13	1	14
	7/23	AM	4 층	22	49	71
			PM	13	38	51
	7/24	AM	11 층(A실)	16	4	20
			// (B실)	11	1	12
7/26	AM	4 층	11	42	53	
		PM	13	43	56	
7/29	AM	11 층(A실)	18	4	22	
		// (B실)	15	2	17	
2 차	8/25	AM	4 층	11	39	50
		PM	//	9	47	56
유효응답자 연인원			4 층	79	258	337
			11 층	97	16	113
			계	176	274	450

II. 測定 및 調査結果

在室者의 설문 응답 횟수는 재실자마다 일정치 않았으며, 측정기간중 응답한 재실자의 수는 남자 83명, 여자 80명으로 남녀의 수가 거의 비슷 하였다.

연령 · 신장 · 체중 · 체표면적에 대하여 163명의 응답자를 남녀별로 분류하여 보면, 연령은 여자가 남자보다 낮게 나타나 있으며, 분포 상태도 남자보다 집중적인 것이 특징으로 20 ~ 24세가 68.8% 차지하고 있었으며 남자는 25 ~ 30세가 53%이었다. 그러므로

남녀 모두 집중적인 분포상태를 보이고 있어 조사대상자의 연령차에 의한 분석은 않아도 무방할 것으로 생각된다. [그림-2] 참조



[그림-2] 조사대상자의 연령분포

1. 體表面積 계산

放射·對流·증발에 의한 신체와 주위環境과의 熱 교환량은 체표면적에 비례관계가 있다고 생각되며, 體表面積 계산은 여러가지 방법으로 계산할 수 있으나 본조사에서는 高比良²⁾의 식을 사용하여 계산하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$A = 72.46 \times 10^{-4} \times W^{0.425} \times H^{0.725} [m^2] \dots (3)$$

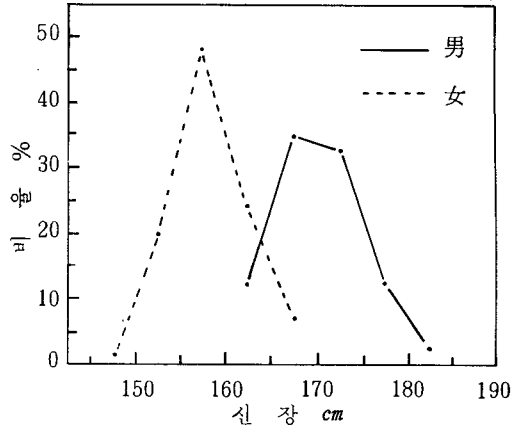
여기서

W = 체중(kg)

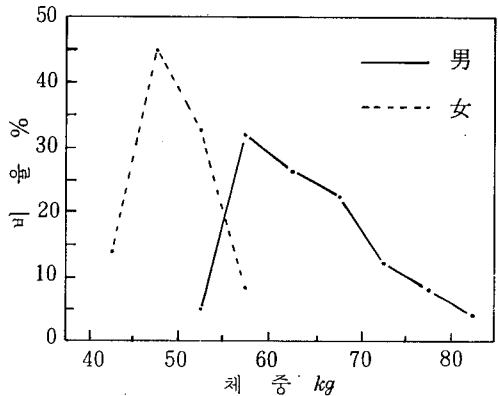
H = 신장(cm)

高比良의 식을 사용하여 체중과 신장으로 부터 體積面積을 구한 결과는 [그림-5]와 같다. ([그림-3, 4] 참조)

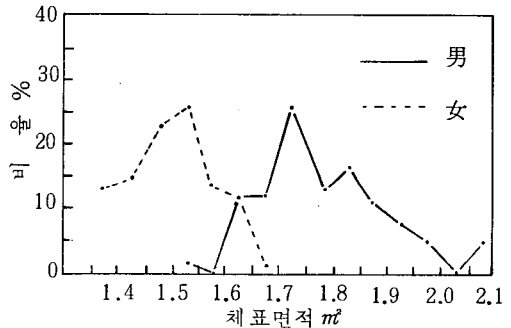
註: 2) 空氣調和·衛生工學會編, 「空氣調和·衛生工學便覽」, 改訂9版 工基礎篇 P.1-30.



[그림-3] 조사대상자의 신장분포



[그림-4] 조사대상자의 체중분포

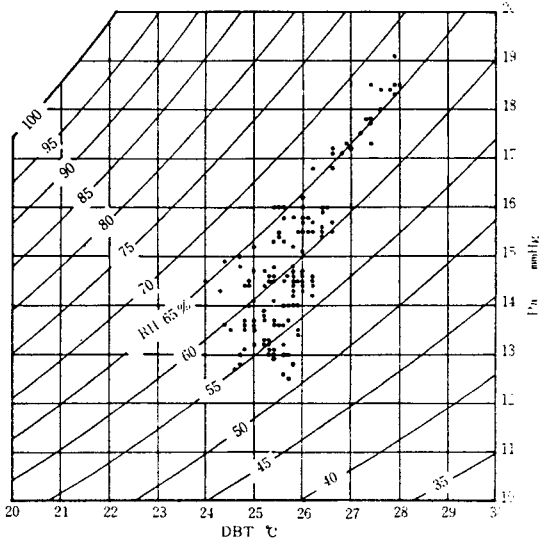


[그림-5] 조사대상자의 체표면적 분포

2. 室內 熱環境 要素

測定期間동안 측정된 총 측정점 수는 모두 156 점이었다. [그림-6]은 측정된 실내공기의 상태를 空氣線圖上에 점으로 표시한

것이다.



[그림-6] 측정기간중 실내공기 상태 분포도

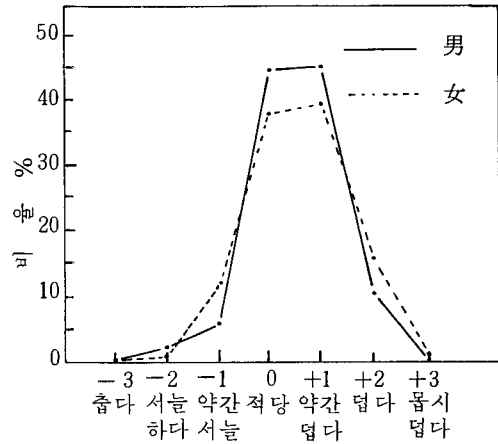
<表-3>은 156개 측정치의 평균값 및 표준편차를 나타낸 것이다. 이 중 주목한 사항은 MRT가 DBT보다 1°C이상 높게 나타나 있어 복사열의 영향을 충분히 고려할 필요가 있다는 사실이다.

<表-3> 열환경요소의 평균값 및 표준편차

환경요소	평균값	표준편차	최대값	최소값	범 위
DBT	25.84	0.83	27.9	24.3	3.6
RH	60.25	3.72	69.0	52.0	17.0
v	0.17		0.63	0.22	0.41
MRT	26.98	0.69	28.4	25.0	3.4
CET	23.40	0.66	25.2	22.0	3.2

3. 在室者の 温冷感 反應

温冷感에 대한 在室者の 反應은 남자와 여자가 비슷한 분포 경향을 보이고 있으며 ([그림-7] 참조), CET에 대한 温冷感 反應의 dots분포는 <表-4>와 같다.



[그림-7] 재실자의 온냉감 분포도

<表-4> CET에 대한 온냉감 반응의 dots분포도

CET	Y ₁							계	패적 반응	패적 비율
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3			
22.0-22.4			1	4	3			8	8	100
22.5-22.9		3	16	47	30	2		98	93	95
23.0-23.4		1	23	89	62	11		186	174	94
23.5-23.9			1	21	35	10		67	57	85
24.0-24.4				5	7	2	1	15	12	80
24.5-24.9				4	27	27	4	62	31	50
25.0-25.4					11	3		14	11	79
합 계		4	41	170	175	55	5	450	386	

4. 作業量 및 着衣量

作業量은 事務室 作業의 일반적인 형태로 (앉아서 행하는 가벼운 작업), 개인적으로 큰 차이가 없었으며 대략 1.1~1.3met의 작업량이었다.

着衣量 調査는 현재 입고있는 의복의 斷熱性能을 조사하는 것이었으며, 열저항의 단위는 「clo」를 사용하였다.

「clo」는 0.18m²h°C/Kcal로서 기온이21°C, 相對濕度 52%, 氣流速度 0.05m/sec 이하의 실내에서 體表面으로 부터의 發熱量이

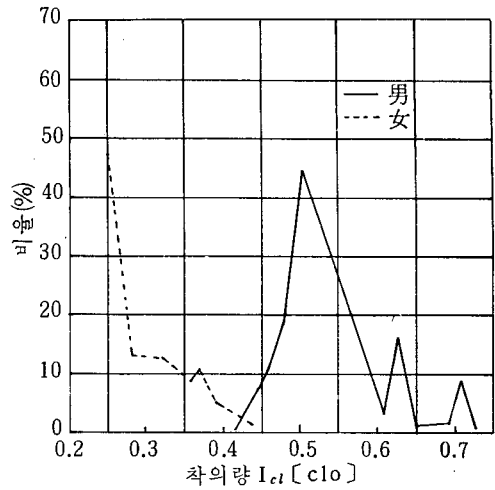
1 met의 代謝量과 평형을 이루는 着衣量을 기준으로 정한 것이다.³⁾

본 조사에서는 着用한 상태의 의복의 熱抵抗值를 다음 식으로 계산하였다.

$$I_{cle} = 0.524 \sum I_{cli} + 0.056 \dots\dots\dots(4)^{4)}$$

$$I_{cl} = 1.16 I_{cle} \dots\dots\dots(5)^{5)}$$

위 식으로 계산한 着衣量의 평균값은 남자가 0.49 clo, 여자가 0.25 clo 이며, 전체 평균값은 0.34 clo 였다. ([그림-8] 및 <表-5> 참조)



[그림-8] 남·녀별 착의량의 분포도

<表-5> 의복의 열저항치

남 자 용			여 자 용		
의	복	I _{cu} [clo]	의	복	I _{cu} [clo]
얇은 양말		0.03	브래지어와 팬티		0.05
두꺼운 양말		0.04	팬티 스타킹		0.01
팬티		0.05	거 들		0.04
런닝셔츠		0.06	반 슬리브		0.13
티셔츠		0.09	긴 슬리브		0.19
짧은 소매셔츠 (평직)		0.19	얇은 드레스		0.17
긴 소매셔츠 (평직)		0.29	두꺼운 드레스		0.63
짧은 소매셔츠 (얇은 편물)		0.22	긴소매 블라우스 (두꺼운 것)		0.29
짧은 소매셔츠 (두꺼운 편물)		0.25	긴소매 블라우스 (얇은 것)		0.20
긴 소매셔츠 (얇은 편물)		0.14	두꺼운 스커트		0.22
긴 소매 스웨터 (두꺼운 것)		0.37	얇은 바지		0.26
두꺼운 자켓		0.49	두꺼운 바지		0.44
얇은 자켓 *		0.35	얇은 소매없는 스웨터		0.17
얇은 바지		0.26	두꺼운 긴소매 스웨터		0.37
두꺼운 바지		0.32	얇은 짧은 소매 스웨터		0.17
구두		0.04			

資料 : ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1981
 註 : * 建築設計 資料集成, No.1. 環境 1978.

註 : 3) 공기조화·위생공학회편, 「공기조화·위생공학회편, [기초편] 개정 9판, P. I-31.

4) ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1981, Chapter 8.

5) ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1981, Chapter 8.

IV. 測定結果의 分析

1. 作用溫度 (OT: Operative Temperature)

輻射와 對流에 의해 體表面에서 주위環境으로 흐르는 熱流 방정식은⁶⁾

$$q = h_c (t_{cl} - t_a) + h_r (t_{cl} - t_r) \quad (6)$$

$$= (h_c + h_r) \left(t_{cl} - \frac{h_c \cdot t_a + h_r t_r}{h_c + h_r} \right)$$

$$= (h_c + h_r) (t_{cl} - OT)$$

여기서,

q : 단위 면적을 통해 단위 시간동안 흐르는 열량 (Kcal/m²h)

h_c : 대류 열전달 계수 (Kcal/m²h°C)

h_r : 복사 열전달 계수 (Kcal/m²h°C)

t_{cl} : 의복의 외측온도 (°C)

t_a : 주위의 공기온도 (°C)

t_r : MRT (°C)

OT : 작용온도

(6)식에서 h_c와 h_r의 값은

h_c = 8.3 × V^{0.6} (W/m²)⁷⁾, 단 V는 熱線風速計의 測定值

$$h_r = 4.7 (W/m^2)^{8)}$$

위식에서 알 수 있는 것처럼 OT는 “실제의 環境과 똑 같은 양의 輻射와 對流의 顯熱交換을 발생시키는 가상폐쇄공간의 온도”⁹⁾로서 인체와 주위 환경과의 熱平衡式에 근거를 둔 지표이다.

본 조사에서 측정된 항목중 흑구온도 (GT)의 값이 작용온도 (OT)와 거의 비슷하게 나타나 단순한 흑구온도계의 측정치 만으로도

註: 6) ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1981, Chapter 8.

7) ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1981, Chapter 8.

8) 射場本 勘市郎의 「體溫感と 暖冷環境の理論」에는 h_r의 실용치가 5Kcal/m²h°C (≅ 4.3 W/m²)로 되어 있다.

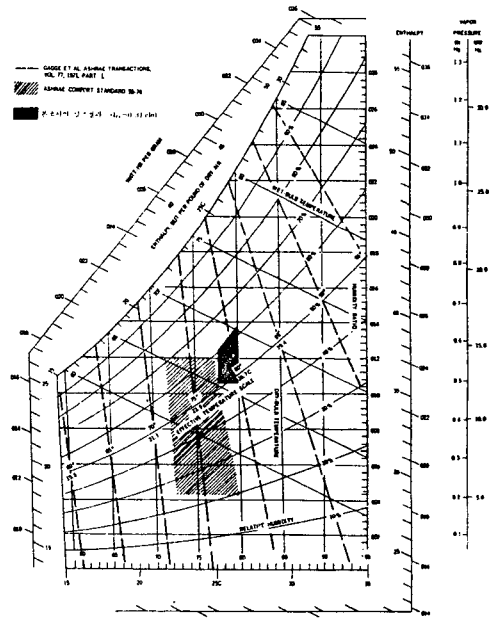
9) ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1972, Chapter 7.

다른 복잡한 熱環境 指標를 대신 할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 快適範圍

1961년 Nevins의 調査에 의하면 미국에서의 쾌적온도는 1900년대에 18~21°C DBT이었던 것이 차차로 높아져 1960년에는 24~26°C DBT로 나타났다고 한다.¹⁰⁾ 이는 사람들의 의복을 입는 경향이 점차로 가볍게 되는 쪽으로 바뀌어 가는데 그 이유가 있었던 것으로 생각되지만, 인간이 快適함을 느낄수 있는 熱環境은 일정한 값이 아니고 시대와 지역에 따라 변한다고 생각된다.

본 研究에서는 快適範圍의 산정을 ASHRAE Standard 55-74의 방법으로 DBT와 MRT에 의한 ADBT (Adjusted Dry-Bulb Temperature)¹¹⁾를 구하고 재실자 80% 이상



[그림-9] 쾌적범위 (냉방기)

註: 10) ASHRAE, Handbook of Fundamentals 1981, Chapter 8.

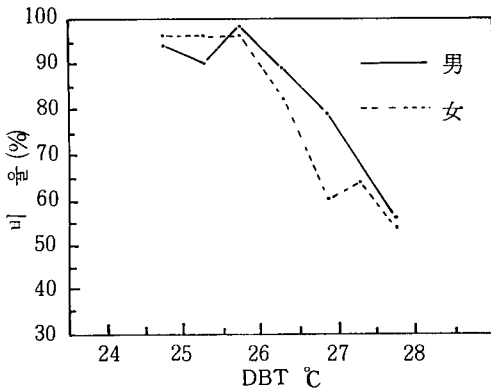
11) ADBT = (DBT + MRT) / 2

의 快適反應을 나타낸 범위를 ADBT-Pa 좌 표상에 표시 하였다. [그림-9]

[그림-9]를 보면 이번 조사의 결과가 ASHRAE의 것보다 높게 나타나 있다. 이는 착의량의 차이로 생각된다. 즉 ASHRAE St. 55-74의 경우는 $I_{cl} = 0.6 \text{ clo}$ 이었으나, 본 조사에서는 $I_{cl} = 0.34 \text{ clo}$ 였다. 또한 $Pa < 12.5 \text{ mHg}$ 인 경우와 $ADBT < 24.7^\circ\text{C}$ 인 경우가 측정되지 않아서 이 부분에 대한 결과를 알지 못하여, 쾌적범위가 일부분에 해당하는 것으로 작게 나타나 있다. 이에 대한 조사가 더욱 진행되어 완전한 쾌적범위를 調査할 필요가 있다고 생각된다.

3. 室内 適正溫度 算定

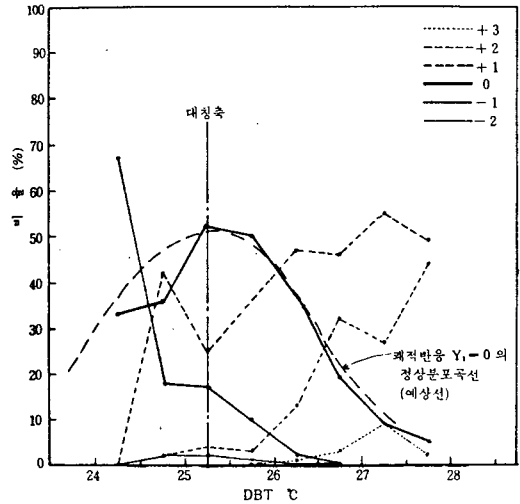
室内 熱環境의 목표치는 실내에서 행하는 작업의 종류·재실자의 착의량등에 따라 달라져야 함은 물론이다. 본 조사에서 측정된 자료에 의해 事務所 建物の 일반적인 경우, 즉 앉아서 행하는 가벼운 작업, 여름철의 일반적인 복장, 나이 20~40세의 남녀에 대하여 산정키로 한다. [그림-10]은 남녀별 쾌적 반응의 비율분포를 DBT에 대해 나타낸 것이다.



[그림-10] DBT에 대한 남·녀별 쾌적반응분포

80% 이상의 快適反應을 나타낸 溫度의 상한선은 대략 26.5°C DBT이나, 하한선은 잘 나타나지 않는다.

그러나 [그림-11]을 이용하여 하한선을 추정하여 구하여 보면,

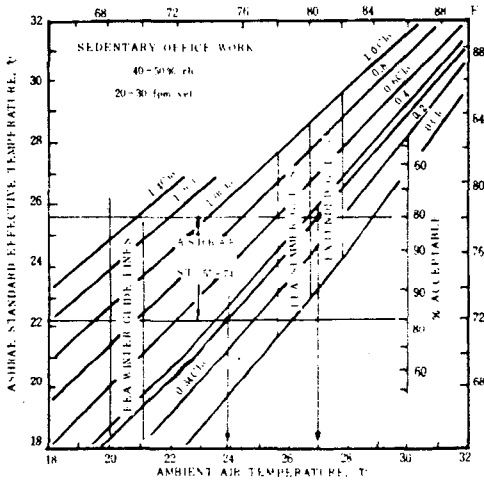


[그림-11] DBT에 대한 온냉감의 비율

[그림-11]에서 $Y_1 = 0$ 의 분포선은 어느정도 정상분포의 형태를 나타내고 있으며, 대칭축을 25.25°C 로 보면 快適溫度 범위의 상한선인 26.5°C 의 대칭이 되는 하한선은 24°C 가 된다. 온도가 25°C 이하로 내려 갈수록 $Y = -1$ 의 비율이 급격히 증가하는 것을 보면 이러한 추정이 타당하다고 생각된다. 즉 冷房期 事務所 建物の 室内 適正溫度 範圍는 $24 \sim 26.5^\circ\text{C}$ DBT가 된다.

위에서 구한 결과와 다른 자료와 비교해 보기로 한다. [그림-12]는 ASHRAE Standard의 쾌적범위 ($22.2 \sim 25.6^\circ\text{C}$ ET)에 해당되는 실내온도(DBT)의 범위를 착의량(I_{cl})에 의하여 산정하기 위한 도표이다. ASHRAE St. 55-74의 쾌적범위는 0.6 clo 의 착의량을 기준으로 작성되어 있어 0.6 clo 의 선은 X축과 Y축의 대칭이 되는 대각선으로 되어있다. 본 調査에서 측정된 着衣量

의 평균값은 0.34 clo이다. 0.34 clo의 선과 ASHRAE St. 55-74의 범위와 만나는 점을 X축에서 읽으면 23.9℃ ~ 27.0℃ DBT로, 본 조사의 결과와 거의 일치하며, 또한 FEA의 Summer guide line의 상한선과도 거의 일치하는 것을 알 수 있다.



[그림-12] Evaluation of ASHRAE Standard ET* for Sedentary (Office work) in Terms of Ambient Air Temperature and Clothing Insulation (I_{cl})

V. 結 論

냉房期 事務所 建物の 室内 熱環境에 관한 實態調査 · 研究結果를 요약하면 다음과 같다.

1. 냉房運轉의 基準이 되는 室内 適正溫度의 範圍는 24 ~ 26.5℃ DBT이다.
2. 黑球溫度計의 測定值(GT)는 作用溫度(OT)와 거의 일치되어, 黑球溫度의 測定值만으로도 훌륭한 熱環境의 指標가 될 수 있다는 것을 알게 되었다.
3. 相對濕度 50 ~ 70% 사이에서는 濕度의 變化가 溫冷感에 거의 영향을 미치지 않았다.

4. 여름철 事務所 근무자의 평균 착의량은 남자가 0.49 clo, 여자가 0.25 clo이며, 평균은 0.34 clo 이었다.

5. 作業量은 낮아서 행하는 가벼운 事務作業으로, 代謝量으로 환산하면 1.1 ~ 1.3 met에 해당되는 作業量이었다.

6. 今後 좀더 세밀하고 폭넓은 研究를 통하여 계속적인 修正과 補完이 必要하다고 생각된다.

參 考 文 獻

1. 朴相東의, 高層建物の 設計基準 및 評價技法 開發研究, KIER, 1982.
2. S.V. Szokolay, Environmental Science Hand Book, The Construction press, 1980.
3. P.W. O'callaghan, Building for Energy Conservation, Pergamon Press, 1980.
4. ASHRAE Standard 55 ~ 74, ASHRAE, 1974.
5. ASHRAE Standard 55 ~ 74, ASHRAE, 1980.
6. 空氣調和 · 衛生工學會, 空氣調和 · 衛生工學便覽, 1980.
7. 射場本 勘市郎, 體溫感と 暖房環境の 設計理論, 科學技術廣報財團, 1977.
8. P.O. Fanger, Thermal Comfort, McGraw Hill, 1972.
9. ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1972.
10. ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1981.
11. 日本建築學會編, 建築設計資料集成, No.1 環境, 1978.