

室內 熱快適感의 評價法

Estimation Method of Thermal Comfort

서 항 석*
Hang-Suk Suh

1. 室內熱快適感의 概念

人間이 주변환경에 대해서 느끼는 熱快適感은 定量化시키기가 대단히 어려운 分野중의 하나라고 할 수 있다. 왜냐하면 人間이 感知하는 熱快適感은 주변공기의 온·습도, 속도 등과 같은 조건에 의해서 지배를 받지만 궁극적으로 人間自身の 主觀的인 反應의 결과이기 때문이다. 일반적으로 住生活空間에서 人間이 感知하는 室內快適度에 영향을 미치는 환경인자는 그림 1에 표현되어 있는바와 같이 8개의 生理的인 因子 및 9개의 物理的인 因子 및 6개의 相對性 因子로 이루어지는 組合의 형태로 나타난다. 이와같이 실내쾌적감에 영향을 미치는 수많은 환경인자에 대한 연구를 위해서는 엄청난 노력이 필요함을 알 수 있으며 이들 인자를 모두 고려하는 연구는 현실정에서는 불가능한 일로 보인다. 따라서 本稿에서는 이들 인자중 熱의 移動과 직접적인 關係가 있는 因子만을 對象으로 하여 人間이 주변환경에 대해서 느끼는 熱快適感을 定量化시키는 方法에 대해서만 살펴보기로 한다.

最近 國家經濟水準의 發展에 수반하여 住生活部門에서도 보다 나은 수준의 실내환경조성에 대한 요구가 증대하고 있고, 쾌적한 실내 열환경의 조성을 위해서는 건물의 특성이나 기

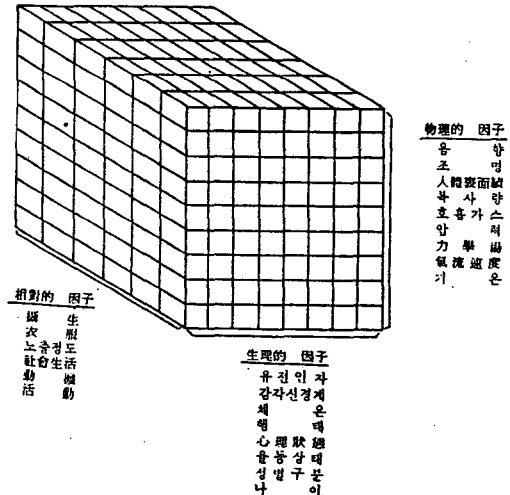


그림 1. 室內熱快適感에 影響을 미치는 因子

상조건 등이 고려되어야 함은 물론 달성목표로서의 쾌적온열환경에 대한 기준이나 온열환경의 정도를 定量的으로 평가하는 方法이 절실하다.

熱快適感에 대한 研究의 歷史는 18세기까지 거슬러 올라가지만 본격적인 研究는 Yaglou 및 Houghten의 유효온도(effective temperature)에 대한 연구¹⁾부터 시작되었다고 볼 수 있다. 그후 수많은 사람들에 의해 이 분야의 연구가 계속되었으며 1931년 프랑스의 Missenard는 유효온도의 개념에 습도의

* 한국동력자원연구소 건물연구실

영향을 추가한 합성온도(resultant temperature)에 대한 연구결과를 발표하였다.^{2),3),4)} Yaglou가 제안한 유효온도는 습도의 영향을 간과함으로써 더운환경에서 신빙성이 떨어진다는 지적이 있었고 그후 1949년 Yaglou는 Gagge와의 공동연구결과 자신이 제안했던 유효온도를 수정한 신유효온도(New Effective Temperature; ET*)를 제안하였다.⁵⁾ Missenard가 제안한 합성온도는 1967년 Gagge에 의해 표준유효온도(standard effective temperature)로 정리되었다.^{6),7)}

그후 Fanger는 熱快適方程式을 提案하였으며⁸⁾ 많은 사람들에 의해서 熱快適感에 대한 部分的인 후속연구가 진행되었다. Olesen⁹⁾, Nakayama¹⁰⁾ 등은 피부온도에 대해서 연구하였고 McCutchan 및 Taylor¹¹⁾ 등은 호흡을 통한 熱損失을 Kamon 및 Prakash¹²⁾ 등은 피부를 통한 수분증발을 Candas^{13),14)} 프랑스 국립과학원 산하의 생물기후연구센터¹⁵⁾ 및 Guillemard¹⁶⁾ 등을 땀을 통한 열손실에 대한 연구를 수행하였으며 기타 수많은 사람들에 의해 활발한 연구가 수행되어오고 있다.

本稿에서는 上記 研究結果中 Fanger의 연구를 기본으로 해서 그 후 나타난 室内 熱快適感에 대해 제시된 여러가지의 經驗式을 利用해서 室内熱快適感을 定量化시키는 方法을 概括적으로 要約해서 소개하기로 하겠다.

2. 人體와 주변환경간의 熱平衡關係式

2.1 人體와 주변환경간의 熱平衡方程式

人體가 感知하는 溫冷感은 人體와 주변환경 사이에서 일어나는 熱交換狀態에 의해 決定되어진다. 人體內에서 생산되는 熱量 즉 대사량(Metabolism)은 피부, 호흡기 및 배설기관 등을 통하여 人體外部와 熱交換을 하게 된다. 이때의 熱交換은 전도, 대류, 복사를 통한 기본적인 傳熱形態와 호흡, 증발 등의 綜合的인 형태로 나타나며 人體와 周圍環境간은 熱的不均衡은 땀, 떨림, 혈관의 확장 및 수축 등과 같은 人體의 熱自律調節시스템(thermoregul-

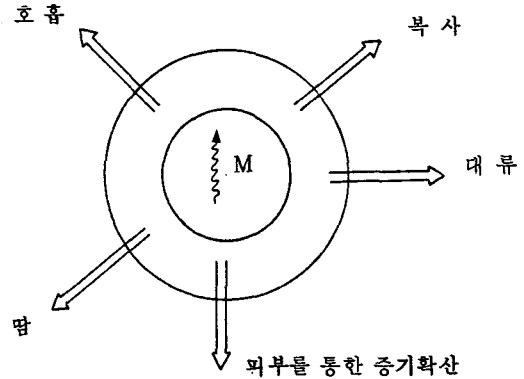


그림 2. 人體와 주변환경간의 熱交換形態

atory system)을 통해 熱平衡을 유지한다. 그러나 이러한 人體의 熱平衡狀態는 時間에 대한 독립변수가 아니라 周圍의 열적환경의 변화에 종속되는 관계가 있으며 熱的 非平衡狀態에 對應하여 平衡狀態로 만들기 위해 作動되는 人體의 熱自律調節시스템에 대한 壓力이 크면 클수록 不快의 정도도 커지게 된다.

人體와 주변환경간의 熱交換은 그림 2에서 보는바와 같이 나타낼 수 있다. 人體에서 생산되는 熱量 즉 대사량과, 人體와 주변환경간의 熱交換은 人體의 部位別로 차이가 있으며, 온도가 낮은 部位와 높은 部位間에는 相互 熱補完이 이루어지고 있어서 엄격한 의미에서 人體와 주변환경간의 熱交換現狀을 규명하기란 지극히 어려운 일이다.

따라서 이러한 熱交換現狀에 대한 分析을 위해서는 人體全休가 均一한 에너지 分布를 이루고 있으며 等溫으로 유지된다는 가정이 必要하다. 이러한 가정하에서 人體와 周圍環境간의 熱平衡式은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = QR + QV + QDIF + QRE + (QSW) \dots (1)$$

여기에서

- M = 人體의 活動狀態를 고려한 대사량
- QR = 복사열 손실
- QV = 대류열 손실
- QDIF = 피부를 통한 증기확산에 의한 열 손실

QRE = 호흡을 통한 열손실
 QSW = 땀의 증발에 의한 열손실

PDS = 몸무게, kg
 TLE = 신장, m

人體의 주변에 임의의 환경조건이 주어졌을 경우, 人體는 그 환경조건에 대해서 상기 熱平衡狀態를 만들기 위해 人體內의 자율신경조직이 가동된다. 몸의 떨림, 혈관의 수축 및 팽창, 땀의 분비 등이 대표적인 예라고 할 수 있다. 엄격한 의미에서 人體와 주변환경간의 完全한 熱平衡狀態는 存在하기가 어려우며, 人體는 이러한 熱平衡狀態를 만들기 위한 過程中에 있다고 볼 수 있다. 따라서 人體와 주변환경간의 熱不均衡量 DQ 를 다음과 같이 정의하면,

한편 Fanger는 人間이 앉아서 쉬고있는 상태에서 춥지도, 덥지도 않다고 느낄때 人體에서 생산되는 熱량을 自己自身の 身體表面積으로 나눈 값을 기준대사량, MET 으로 정의하고 그 값을 실험을 통하여 다음과 같이 제시하였다.

$$DQ = M - QR - QV - QDIF - QRE - (QSW) \dots\dots\dots (2)$$

$$1 MET = 58.15 W/m^2 \dots\dots\dots (4)$$

또한 그는 人間の 活動狀態에 따르는 대사량의 계산식을 다음과 같이 제시하였다.⁸⁾

$$M = 58.15 * ACT * Adu, [W] \dots\dots\dots (5)$$

DQ 의 값에 따라 人體의 熱的인 反應은 다음과 같이 나타난다.

여기에서 ACT 는 표 1을 이용하여 구할 수 있다. 즉 표 1의 제 2열에 있는 M/Adu 의 값을 이용하여, $ACT = [M/Adu] * 1.162 - 58.15$ 에 의해 구할 수 있다.

(1) $DQ < 0$ 인 경우; 춥게느낌, 추위에 대항하는 人體反應이 나타남.

2.3 복사에 의한 熱損失

(2) $DQ = 0$ 인 경우; 熱平衡狀態임. 따라서 가장 熱的인 快適感을 느낀다.

人體와 주변환경간의 복사에 의한 熱交換은 옷의 온도, 주변 벽체의 온도, 옷의 표면적 및 인간의 자세 등에 의해 決定되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(3) $DQ > 0$ 인 경우; 덥게느낌, 더위에 대항하는 人體反應이 나타남.

$$QR = hr. (Tv - Tp). Sv \dots\dots\dots (6)$$

$$Sv = Adu. Fv \dots\dots\dots (7)$$

따라서 DQ 는 人體의 熱不均衡狀態를 알 수 있는 量으로서 人間이 느끼는 熱的快適感을 定量化시킬 수 있는 要素가 된다. 以下에서 식(2)의 各項을 定量的으로 나타내는 式을 검토하기로 한다.

여기에서

2.2 人體에서의 生産熱量-대사량

hr = 복사열교환계수, $W/m^2 K$; 식(8)참조

Tv = 의복의 표면온도, C ; 식(9)참조

Tp = 해당벽체의 온도, C ; Note(1)참조

Sv = 의복의 표면적, m^2

Fv = 신체의 표면적과 의복의 표면적간의 비율; Note(2)참조

人體에서 生産되는 熱량을 個體마다 차이가 있으나 人體의 表面積과 人間の 活動量에 의해서 決定되어진다.

人體의 表面積을 계산하는 식은 Dubois 에 의해 제시되었는데 다음과 같다.

또한 복사열교환계수 hr 을 구하는 단순식은,

$$Adu = 0.203 * PDS^{0.425} * TLE^{0.725} \dots\dots (3)$$

$$hr = 4\sigma\varepsilon v [Fp(Tv + Tp) + 273]^3 \dots\dots (8)$$

여기에서

여기에서

Adu = 人體의 表面積, m^2

表 1. 人體活動狀態와 대사량

Type of Activity	Metabolic Rate Per Unit Body Surface Area: M/ADU kcal/m ² hr	Estimated Mechanical Efficiency η	Estimated Relative Velocity in "Sull" Air m/s	Correction Factor for Effective Radiation Area f_{eff}
Seated, quiet	50	0	0	0.65
Seated, drafting	60	0	0-0.1	0.65
Seated, typing	70	0	0-0.1	0.65
Standing at attention	65	0	0	0.75
Standing, washing dishes	80	0-0.05	0-0.2	0.75
Shoemaker	100	0-0.10	0-0.2	0.65
Sweeping a bare floor (38 strokes/min)	100	0-0.5	0.2-0.5	0.75
Seated, heavy leg and arm movements (metal worker at a bench)	110	0-0.15	0.1-0.3	0.65
Walking about, moderate lifting or pushing (carpenter metalworker, industrial painter)	140	0-0.10	0-0.9	0.75
Pick and shovel work, stone mason work	220	0-0.20	0-0.90	0.75
Walking on the level with the velocity :				
mph				
2.0	100	0	0.9	0.75
2.5	120	0	1.1	0.75
3.0	130	0	1.3	0.75
3.5	160	0	1.6	0.75
4.0	190	0	1.8	0.75
5.0	290	0	2.2	0.75
Walking up a grade :				
% Grade Velocity				
mph				
5 1	120	0.07	0.4	0.75
5 2	150	0.10	0.9	0.75
5 3	200	0.11	1.3	0.75
5 4	305	0.10	1.8	0.75
15 1	145	0.15	0.4	0.75
15 2	230	0.19	0.9	0.75
15 3	350	0.19	1.3	0.75
25 1	180	0.20	0.4	0.75
25 2	335	0.21	0.9	0.75

σ = Stefan-Boltzman 상수 = $5.67 \cdot 10 W / m^2 \cdot K$

ϵ_v = 의복의 emissivity ; Note(3)참조

F_p = 人體의 자세에 관한 상수 : Note(4) 참조

한편 의복의 표면온도는 T_v 는 人體와 의복사이에서의 열평형 방정식과 의복과 주변 공기 사이에서 정립되는 열평형방정식으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_v = \frac{h_v \cdot T_{sk} + h_r \cdot T_p + h_c \cdot T_a}{h_v + h_r + h_c} \dots\dots\dots (9)$$

이때 의복의 열전도계수 h_v 는 의복의 열저항치로부터 다음과 같이 구한다.

$$h_v = \frac{1}{R_v \cdot F_v} \dots\dots\dots (10)$$

여기에서

R_v = 의복의 열저항치, $m^2 \cdot ^\circ C / W$; Note(5) 참조

h_c = 대류열전달계수, $W / m^2, ^\circ C$

T_{sk} = 피부온도, $^\circ C$

T_a = 실내기온, $^\circ C$

한편, 피부온도의 산출에 관해서는 Fanger와 MEYER가 실험을 통한 경험식을 제시하였는데 다음과 같다.^{16),17)}

(1) 熱平衡狀態에 近接된 경우(땀을 흘리지 않는 경우)¹⁶⁾

$$T_{sk} = 35.7 - 0.037 \frac{M}{A_{du}} (1 - \eta) \dots\dots\dots (11)$$

여기에서 η 는 人間이 活動할때 기계적인 운동량이 熱量으로 바뀌는 比率로서 人體內에서 일어나는 제반 움직임은 무시한다.

(2) 땀을 흘리는 경우

$$T_{sk} = 34.7 - 0.249(30 - Top) ; ACT < 1 (12)$$

$$T_{sk} = 27.5 + 0.166 Top + 0.0008 Pva ; ACT > 1, Top < 28 C \dots\dots\dots (13)$$

$$T_{sk} = 25.2 + 0.249 Top + 0.01(0.1825 - 0.003525 Top) Pva ; ACT > 1, 28 ^\circ C < TOP < 36 ^\circ C \dots\dots\dots (14)$$

$$T_{sk} = 31.4 + 0.076 Top + 0.00051 Pva ; Act > 1, Top > 36 ^\circ C \dots\dots\dots (15)$$

여기서 Top 는 작업온도(Operative temperature)이다. 이 온도는 실내기온과 복사평균 온도로부터 구해지는데, 복사열전달과 대류열전달을 종합한 개념으로서¹⁸⁾ 다음과 같이 주어진다.

$$Top = \frac{h_c \cdot T_a + h_r \cdot T_p}{h_c + h_r} \dots\dots\dots (16)$$

Note(1) : 해당벽체 온도 T_p 는 벽체의 표면온도가 등온으로 유지된다고 했을때 복사열교환을 고려한 벽체의 온도를 나타낸다. 보통 人體주위의 벽체온도를 면적가중으로 평균한 값을 사용한다.

Note(2) : 신체의 표면적과 의복의 표면적간의 비율 F_v 는 의복의 열저항치 R_v 를 사용해서 나타내면, $F_v = 1 + 0.12 R_v / 0.155 = 1 + 0.12 Clo$ 이며 Clo 값의 정의와 의복의 종류별 Clo 값에 대해서는 Note(5)에 나타나 있다.

Note(3) : 일반적인 의복의 경우 $\epsilon_v = 0.95$ 로 잡는다. 사람의 피부도 적외선에 대한 흡수율이 높다.

Note(4) : 일반적으로 서있는 자세인 경우 $F_p = 0.725$ 로 잡는데, F_p 는 주위의 벽체와 복사열교환을 하고있는 人體의 면적비를 나타낸다. 예를들어 $A_{du} = 1.77 m^2$ 인 경우 $1.28 m^2$ 의 인체면적이 주위벽체와 복사열교환 한다.

Note(5) : 의복의 열저항치는 "Clo"라는 단위를 써서 나타낸다. 이것을 S. I. 단위로 환산하면 $1Clo = 0.155 m^2 \cdot ^\circ C / W$ 이다. 각 착의상태별 Clo 값에 대해서는 표 2에 나타내었다.

表 2. 着衣狀態別 Clo 값

착 의 상 태	Clo
나체상태	0.0
내의만 입고 있는 경우	0.1
아주 더울때의 착의상태 (티셔츠)	0.3-0.4
여름철의 가벼운 더위시(바지, 티셔츠)	0.5
가벼운 작업시(작업바지, 배내옷, 목양말)	0.6
여름철 외출의상	0.8
작업복 차림	1.0

2.4 대류에 의한 熱損失

의복과 주위공기간의 대류열손실에 관한 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$Qv = hc(Tv - Ta) Sv \dots\dots\dots (17)$$

이 식에서 문제가 되는 부분은 어떻게 해서 대류열손실계수 *hc* 를 구하느냐는 점이다. 이와같은 점에 대해서는 지금까지 많은 연구결과가 있지만 대표적인 것으로서는 실험적인 방법으로 이 값을 제시한 *Rapp*¹⁹⁾ 이론적인 접근방법을 사용한 *Missnard*²⁰⁾ 등의 연구결과가 있는데 프랑스의 ERGM에서 1987년 6월 실험적인 경험식과 이론식을 조화시켜서 다음의 세가지 값중에서 최대치를 대류열전달계수로 사용하도록 권고하고 있다.²¹⁾

$$hc1 = 2.38(Te - Ta)^{0.25} \dots\dots\dots (18)$$

$$hc2 = 10. Va^{0.5} \dots\dots\dots (19)$$

$$hc3 = 5.66(Act - 0.85)^{0.39} \dots\dots\dots (20)$$

2.5 피부를 통한 증기확산에 의한 잠열손실

피부를 통해 땀이나 수증기가 나오는데 증기가 확산되는 과정에서 나타나는 잠열손실량을 계산하는 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$QDIF = Lv \cdot Mpeau \cdot [PVp - PVa] Adu \dots (21)$$

여기에서

QDIF = 피부를 통한 증기확산에 의한 잠열손실량, W

Lv = 피부온도에서의 물의 기화잠열 = 667 W·h/kg

Mpeau = 피부의 증기 투과계수 = 4.58 * 10 kg/m²·h·Pa

PVp = 피부온도에서의 포화증기압, Pa ; 표 3 참조

PVa = 공기중에 있는 수증기의 分壓, Pa

한편 *PVa*는 다음식에서 주어지는 바와같이 공기의 상대습도 및 속도에 관한 함수로 표시할 수 있다.

$$PVa = 610.7 \psi e^{Vair} \dots\dots\dots (22)$$

여기에서

ψ = 공기의 상대습도

Vair = 공기의 속도, m/s

表 3. 피부온도에서의 포화증기압

피부온도 (°C)	포화증기압 (Pa)	피부온도 (°C)	포화증기압 (Pa)
0	610.514	25	3,167.268
5	871.782	30	4,241.606
10	1,227.693	35	5,622.594
15	1,704.907	40	7,374.156
20	2,338.082	45	9,581.604

2.6 호흡을 통한 열손실

호흡을 통한 열손실은 현열손실(*QRS*)의 합으로서 다음과 같다.

$$QRE = QRS + QRL \dots\dots\dots (23)$$

$$QRS = Qdr \cdot Cpa(Texp - Ta) \dots\dots\dots (24)$$

$$QRL = Qdr \cdot Lv(Rsx - Rsa) \dots\dots\dots (25)$$

여기에서

Qdr = 시간당 호흡량 (26)
= 0.0052 * 대사량, kg/h

Cpa = 내쉬는 공기의 比熱 (27)
= 0.28 W·h/kg·°C

Texp = 내쉬는 공기의 온도 (28)
= 32.6 + 0.066 *Ta* + 0.032 *Rsa*

Rsx = 내쉬는 공기의 比濕度(Specific humidity), kg/kg (29)

Rsa = 실내공기의 비습도, kg/kg (30)

*Rsa*와 *Rsx*를 구하는 식은 *MuCutchan*과 *Taylor*에 따르면 다음과 같이 주어진다.

$$Rsx = 0.2 Rsa + 0.029 \dots\dots\dots (31)$$

$$Rsa = 6.23 * 10^{-6} Pva \dots\dots\dots (32)$$

따라서 *QRL*은 다음과 같다.

$$QRL = 1.73 * 10^{-5} (5820 - Pva) \dots\dots\dots (33)$$

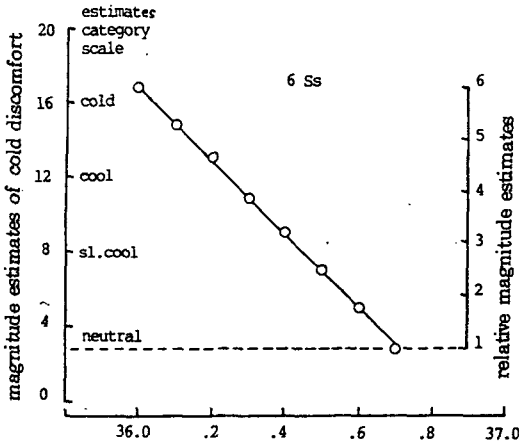


그림 3. 피부온도와 快適度와의 관계

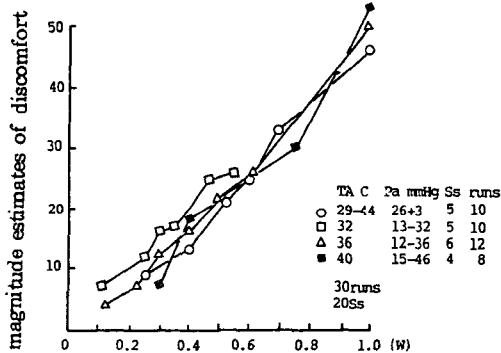


그림 4. 땀과 快適度와의 관계

에 대한 評價方法은 표 4에서 보는바와 같이 여러가지 종류의 環境評價指標가 提示되었다.

1972년 Gonzalez와 Gagge는 人間이 室內에서 느끼는 不満足度에 관한 일련의 實驗을 하였는데 그들은 다음과 같은 結果를 도출하였다.

(1) 땀을 흘리지 않는 경우에는 피부의 평균 온도가 人間の 満足度에 영향을 미치며 (그림 3 참조)

(2) 땀을 흘리는 경우에는 땀에 젖어있는 身體의 面積比率이 人間の 満足度에 영향을 미친다(그림 4 참조).

3.1 추운환경에서의 熱快適感의 계산

전술한 바와같이 추운환경에서의 熱快適感을 계산하는 方法을 Fanger에 의해 提示된후

최근 Guillemard에 의해 정리되었는데 本稿에서는 Guillemard에 의해 정리된 것을 소개하기로 하겠다. 식(2)에 의해 주어지는 人體와 주변환경간의 熱不平衡量, DQ 는 땀의 분비가 없는 추운환경에서 다음과 같다.

$$DQ = M - QR - QV - QDIF - QRC \dots\dots (37)$$

이때 예상되는 不快程度百分率(PPD: Predicted Percentage of Discomfort)과 不快感標本의 크기(PMV; Predicted Mean Vote)는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$PPD = 100 - e^{(4.588 + 0.0018 PMV - 0.2552 PMV^2)} \dots\dots (38)$$

$$PMV = DQ \frac{0.303 e^{-2.1ACT} + 0.028}{Adu} \dots\dots (39)$$

따라서 추운환경에서 만족지수를 계산하는 식은

$$ICT^f = 1 - 0.01 PPD \dots\dots\dots (40)$$

와 같다. 즉

$$ICT^f = 0.01 e^{(4.588 + 0.0018 PMV - 0.2552 PMV^2)} \dots\dots (41)$$

3.2 더운환경에서의 熱快適感의 계산

人體가 더운환경에 놓여지는 경우 熱快適感을 계산하는 문제는 땀의 분비 및 증발작용을 고려해야 하기 때문에 추운환경에서의 熱快適感 계산방법보다도 더욱 복잡해진다. 전술한 바와같이 人體와 주변환경간의 熱不平衡量 DQ 가 零보다 커지는 경우 人間은 더위를 느끼게 되고 人體의 熱的인 自律神經이 작동되어 땀을 분비하게 되며 땀의 증발로 인해 피부가 냉각되는 제어기능을 가지고 있다.

따라서 DQ 가 零보다 크게되는 경우가 주위환경에 따라 不連伴的으로 일어나며 땀의 분비에 의한 피부온도의 제어작용이 계속되게 된다. 더운 환경에서의 熱快適感을 계산하는 方法은 프랑스의 Guillemard에 의해서 정리된바 있는데 다음과 같다.

$$IND = Sup \left(\frac{W - 0.06}{0.19}, \frac{DS - 50}{200} \right) > 0 \dots\dots (42)$$

여기에서 W 는 身體가 땀에 젖어있는 정도를 나타내는 것으로서 다음과 같이 정의된다.

$$W = \frac{\text{땀이 분비되어 있는 피부의 면적}}{\text{피부의 총 표면적}} \dots (43)$$

이때 W 를 계산하는 식은

$$W = \frac{QSW}{QE_{max}} \dots (44)$$

와 같이 이루어지는데 여기에서

QSW =땀의 증발에 의해 잃어버리는 열량
 QE_{max} =땀의 최대증발열량

와 같이 주어지며 DS 는 땀의 분비량으로서 다음과 같은 경험식으로 주어진다.

$$DS = \frac{1}{0.68} \cdot \frac{QSW}{1 - 0.42e^{-W}} \dots (45)$$

따라서 더운환경에서 熱快適感を 나타내는 식은 다음과 같다.

$$ICT^C = 1 - 0.01 IND \dots (46)$$

4. 數値計算方法

지금까지 소개한 熱快適性の計算을 위한 여러가지의 方程式에 나오는 變數를 살펴보면 hc, hr, Tv, Tsk, Top, Tp 등 6개의 變數를 除外하고는 앞서 주어진 식이나 측정을 통하여 알 수 있는 값이다. 이들 값은 Ta, Va 와 같이 실내공기에 관한것과 $Sv, Fv, \epsilon v, Fp, Rv, hv$ 등 의복에 관한것 및 $Mpeau, Adu, ACT$ 등과 같이 自休條件 및 人間の 活動量과 관련된 것이다. 따라서 우리는 전술한 여러가지 경험식과 이론식을 적절하게 組合함으로써 熱快適性を 계산하는 數値計算法을 開發할 수 있다. 우선 hc, hr, Tv, Tsk, Top 등 5개의 未知變數에 관해서 前述한 方程式을 分析하면 이들 變數는 다음식에 있는 함수로 표현될 수 있을을 알 수 있다.

$$hr = F1(Tv, Tp) \dots (47)$$

$$Tv = F2(hr, hc, Tsk, Tp, hv, Ta) \dots (48)$$

$$Tsk = F3(Top, \phi, Va) \dots (49)$$

$$Top = F4(hc, hr, Tp) \dots (50)$$

$$hc = F5(Tv, Ta, Va) \dots (51)$$

식(47)에서 (51)까지 5개의 식속에서 좌변에 있

는 5개의 變數 以外에도 Tp, hv, Ta, ϕ, Va 등 5개의 變數가 우변에 追加로 存在하고 있어서 모두 10개의 變數가 등장하고 있다. 이들 중 실내공기의 온도, 속도, 습도를 나타내는 Ta, Va, ϕ 는 측정을 통하여 알 수 있는 양이며 hv 는 의복의 전도 열전달계수로서 表1을 이용하면 구할 수 있는 양이다. 또한 상당벽 체온도 Tp 는 전술한 바와 같다. 주변벽체의 면적가중 평균온도를 잡으면 된다.

따라서 식(47)에서 (51)까지의 5개의 연립방정식을 풀면 hr, Tv, Tsk, Top, hc 등과 같은 未知數의 값을 알 수 있으며 이들 값을 前提한 熱快適性에 관한 方程式에 代入하면 室內熱快適性を 評價할 수 있다. 5개의 연립방정식은 逐次代入법(successive iteration) 등과 같은 알고리즘을 이용하면 쉽게 해결될 수 있다.

5. 例 題

5.1 問 題

室內空氣의 相對濕度가 各各 50%, 25%이고 室內氣溫이 12℃에서 36℃로 변하며 공기의 속도가 0~1.5m/s로 변화하는 경우 室內熱快適指數(ICT^f 및 ICT^C)를 產出하는 알고리즘을 完成하라. 이때 室內中央에 키 1m 50cm 체중이 65kg인 성인남자가 1clo에 해당하는 옷을 입고 서서 쉬고 있다고 가정하며 그밖의 기본적인 값들은 다음에 주어지는 값을 사용한다.

$$\epsilon v = 0.95$$

$$Fp = 0.725$$

$$Cpa = 0.28W \cdot h/kg \cdot C$$

$$Mpeau = 458 \cdot 10 \text{ kg/m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$$

$$PVp = 45 \text{ mmHg}$$

$$Tp = Ta$$

$$ACT = 1 \text{ MET}$$

5.2 計算 알고리즘

수치계산을 위한 알고리즘은 그림 5와 같다.

5.3 結 果

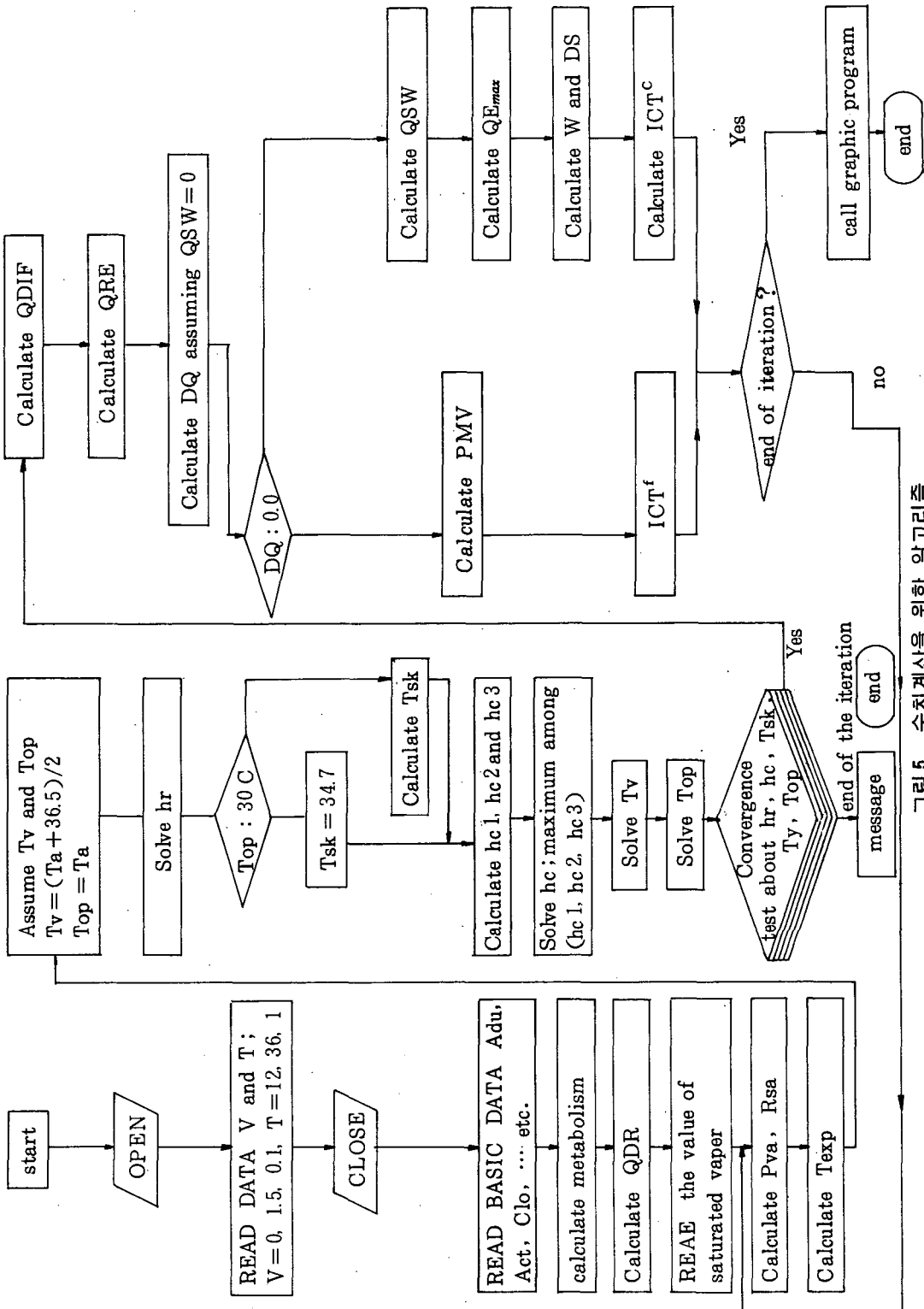
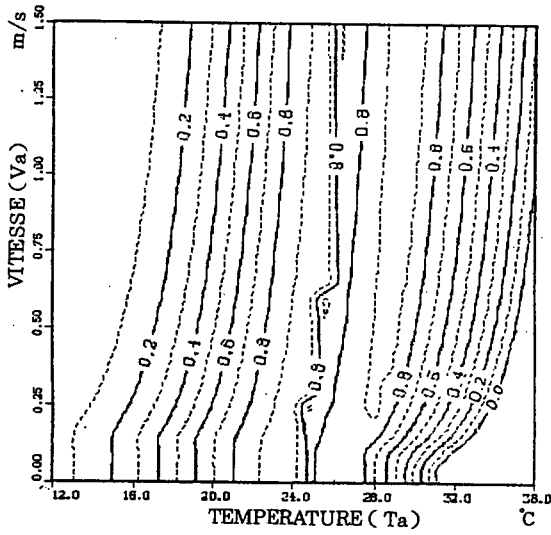
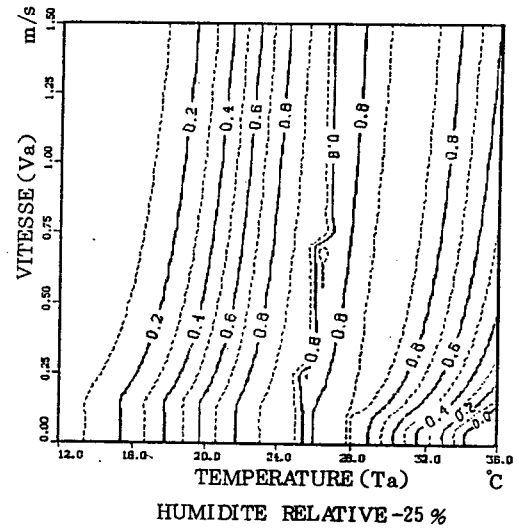


그림 5. 수치계산을 위한 알고리즘



HUMIDITE RELATIVE-50%

그림 6. 상대습도 50%인 경우 温度와 速度에 대한 快適指數 分布



HUMIDITE RELATIVE-25%

그림 8. 상대습도 25%인 경우 温度와 速度에 대한 快適指數

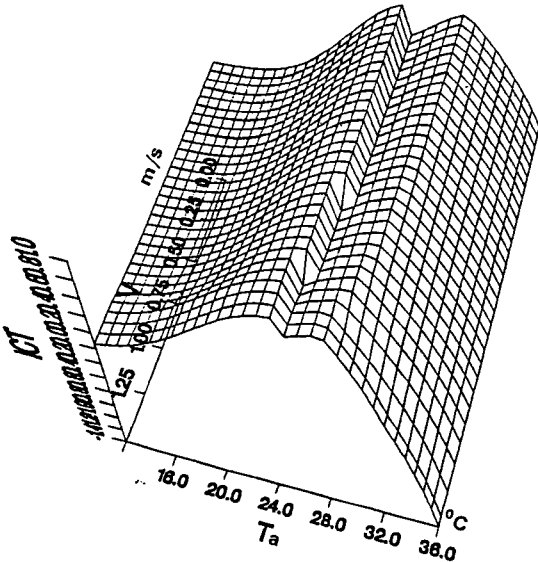


그림 7. 상대습도 50%인 경우 温度와 速度에 대한 快適指數 分布

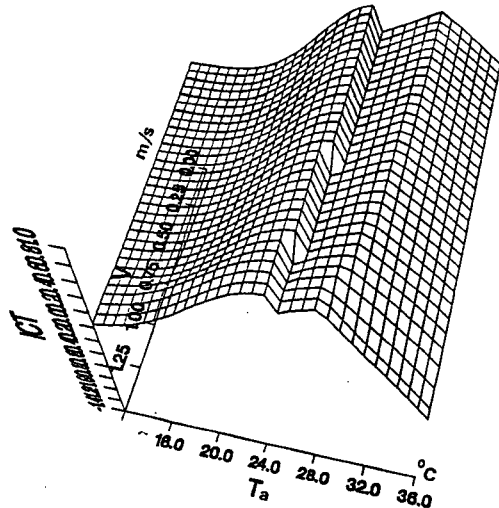


그림 9. 상대습도 25%인 경우 温度와 速度에 대한 快適指數 分布

6. 結 論

지금까지 人體와 주변환경간의 熱平衡方程式을 利用한 熱快適感의 評價方法을 소개하였다. 전술한 바와 같이 人間이 주변환경에 대해서

느끼는 快適感은 身體條件, 着衣狀態, 活動量, 주변공기의 온·습도 및 속도 등을 위시한 많은 環境因자의 影響을 받고 있으며 熱快適感을 定量化시키기 위해서는 수많은 經驗式과 理論式이 있다. 이들중 經驗식은 주로 미국 및

유럽 등의 西歐國家의 實驗結果에 따른 것으로서 東洋人의 體質이나 特性과도 無理없이 잘 일치할 수 있는지에 대한 정밀한 검증은 거치지 못하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 觀點에서의 研究는 尙後 계속적으로 進行되어야 할 것이다.

더우기 室內熱環境에 대한 올바른 評價가 에너지 效率的인 利用을 통한 에너지절약을 기대할 수 있다는 점을 생각할때 室內熱環境의 定量的인 分析에 대한 문제는 國家的인 基礎研究課題로서 綜合的인 觀點에서 추진되어야 할 것이다. 따라서 本稿는 이러한 문제에 대한 마무리가 아니라 시작을 위한 매개체로서의 역할에 조금이나마 이바지하기를 바란다.

參 考 文 獻

1. Yaglou, C.P., Houghten, F.C. "Determining lines of equal comfort", ASHVE Transactions, Vol.28, pp.163-176 and Vol.29, pp.361-384, New York, 1923.
2. MISSENARD, F.A. - "Temperature effective d'une atmosphere. Generalisation. Temperature resultante d'un milieu", Chaleur et Industrie. Sept-Oct. 1931, Paris.
3. MISSENARD, F.A. - "De la temperature effective at de la temperature resultante. - Temperature de la peau et des vetements". Chaleur et Industrie, n° 155, la Societe de Phusique Industrielle, Paris, 1933.
4. MISSENARD, F.A. - "La temperature resultante du milieu". Chaleur et Industrie, n° 159, la Societe de Physique Industrielle, Paris, 1933.
5. YAGLOU, C.P. - "Indice of comfort. Chap. 9, Physiology of heat regulation and science of clothing". Edited by L.H. Newburgh. Saunders, Philadelphia, 1949.
6. GAGGE, A.P. et al. - "Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperature". Env. Res., Vol.1, pp.1-20, New York, 1967.
7. GAGGE, A.P., GONZALES, R.R. - "Magnitude estimates of thermal discomfort during transients of humidity and operative temperature and their relation to the new ASHRAE effective temperature (ET*)". Reprint from ASHRAE Transactions 1972, Vol.73, part II, New York, 1972.
8. FANGER, P.O. - "Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation". ASHRAE, Transaction, Vol.73, part II, New York, 1967.
9. OLESON, B.W., FANGER, P.O. - "The skin temperature distribution for resting man in comfrt", Arch. Sci. Physiol., Vol. 27, pp.A385-A393, New York, 1973.
10. NAKAYAMA, T. et al. - "Fall in skin temperature during exercise". Jap. J. Physiol., Vol.27, pp.423-437, Tokyo, 1977.
11. McCUTCHAN and TAYLOR - "Respiratory heat exchange with varying temperature and hygrometry of inspired air". J. Appl. Physiol., Vol.4, U.S.A., 1951.
12. KAMON, E., et AVELLINI, B. - "Physiology limit to work in the heat and evaporative coefficient for women". J. Appl. Physiol., Vol.41, n 1, pp.71-76, U.S.A., 1976.
13. CANDAS, V., et al. - Efficacite evaporatoire de la sudation. Societe Francaise des Thermiciens. Energetique et thermique de l'homme dans son environment, D11-D11, Strasbourg, 1977.
14. CANDAS, V. - Influence de la mouillure cutanee sur l'evolution du debit sudoral et des temperatures corporelles chez l'homme. These de Doctorat d'Etat, Universite Louis Pasteur, Strasbourg, 1980.
15. Centre d'Etudes Bioclimatiques et Laboratoire d'Ecothermique Solaire du CNRS -

- Habitats climatiques 1 - du calcul a la conception. "Le confort en climat chaud (2eme seminaire), REXCOOP Maitrise de l'energie, AFME et Plan Construction & Habitat, 1984.
16. FANGER, P.O. - "Practical application of the comfort equation", Reprint from B.S.E., 1973.
 17. MEYER J.P. - "Prevision de la temperature cutanee moyenne", These de Doctorat en Medecine, Universite Louis Pasteur, 1981.
 18. GAGGE, A.P. - "Standard operative temperature, a generalized temperature scale, applicable to direct and partionnel calorimetry". Am. J. Physiol., pp.93-103, New York, 1940.
 19. RAPP, G.M. - "Convective heat transfer and convective coefficients of nude man, cylinders and spheres at low air velocities". Reprint from the ASHRAE Transactions, Vol.78, Part II, U.S.A., 1972.
 20. MISSENARD, F.A. - "Influence du travail et de la charge thermique sur la circulation sanguine". Thermique et Aeraulique, T.2, n° 4, France, 1973.
 21. E.R.G.M. - "Evaluation thermique des ambiances". Cahier d'algotithmes commun, rapport REXCOOP, France, 1987.