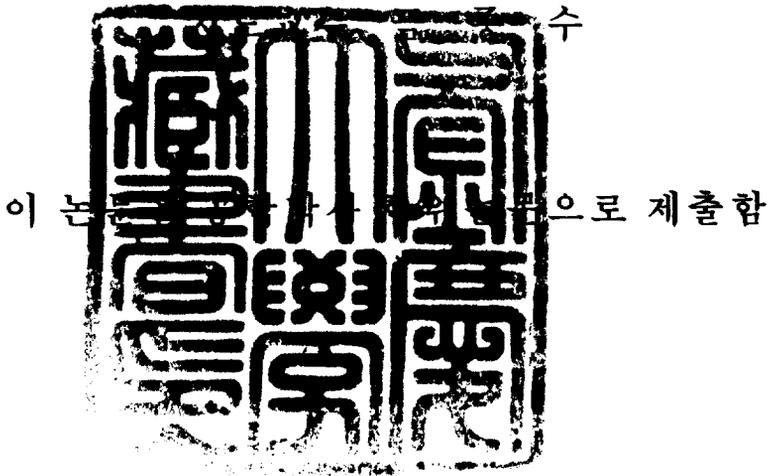


공학박사 학위논문

온열쾌적성 도달을 위한 냉방 기류 및
온도 변동 조건에 관한 연구



2006년 2월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

김형철

김형철의 공학박사 학위논문을 인준함

2006 년 2월

주	심	공학박사	오	후	규
위	원	공학박사	최	광	환
위	원	공학박사	정	석	권
위	원	공학박사	이	구	형
위	원	공학박사	금	종	수



목 차

Abstract	VI
List of Tables	X
List of Figures	XIV
List of Photographs	XIX
Nomenclature	XX

제1장 서론

1.1 연구 배경	1
1.2 연구 동향	2
1.3 연구 목표	6
1.4 논문 구성	7

제2장 인간과 온열환경

2.1 인간과 온열환경과의 관계연구	9
2.2 온열쾌적감과 쾌적 범위	11
2.2.1 온열쾌적감(Thermal Comfort)	11

2.2.2 쾌적 범위(Comfort Zone)	12
2.3 인체의 항상성 및 체온	14
2.3.1 인체의 항상성(Homeostasis)	14
2.3.2 생리적 적응(Physiological Adaptation)	14
2.3.3 체온의 항상성	16
2.3.4 정상체온(Normothermia)	17
2.3.5 피부온도(Skin Temperature)	20
2.3.6 평균피부온도(Mean Skin Temperature)	21
2.3.7 체온의 열생산과 열방산	23
2.4 인체와 주변환경과의 열교환	25
2.4.1 인체와 온열환경의 열교환	25
2.4.2 기초 대사량(Basal Metabolism)	26
2.4.3 대류에 의한 현열교환	27
2.4.4 방사에 의한 현열교환	28
2.4.5 수분 증발에 의한 열량교환	29
2.5 뇌파와 심전도	31
2.5.1 뇌파(Electroencephalogram; EEG)	31
2.5.2 심전도(Electrocardiogram; ECG)	34

2.6 온열환경지표	39
2.6.1 유효온도(Effective Temperature)	39
2.6.2 불쾌지수(Discomfort Index)	40
2.6.3 신표준유효온도(Standard New Effective Temperature)	40
2.6.4 작용온도(Operative Temperature)	41
2.6.5 예상온열감(Predicted Mean Vote)	41
2.6.6 예상불만족감(Predicted Percentage of Dissatisfied)	42
2.7 대사량과 의복량	44
2.7.1 대사량	44
2.7.2 의복량	46
제3장 기류 및 온도별 인체순응에 따른 온열쾌적성 변화	
3.1 실험 배경 및 목적	50
3.2 실험장치	51
3.3 측정항목 및 방법	52
3.4 실험방법 및 절차	54
3.5 결과	58
3.5.1 기류 및 온도별 인체순응 변화	58

3.5.2 온열쾌적성 제어를 위한 상관관계	63
3.5.3 실험계획법을 통한 분산분석	75
3.6 결론	76

제4장 인체순응시점에서 온도상승을 통한 온열쾌적성

상승효과

4.1 실험 배경 및 목적	78
4.2 실험장치	79
4.3 측정항목 및 방법	81
4.4 실험방법 및 절차	83
4.5 결과	89
4.5.1 온도 1℃ 상승효과	89
4.5.2 온도 3℃ 상승효과	95
4.6 결론	100

제5장 에어컨 기류 속도 및 Swing 패턴의 선호경향

5.1 실험 배경 및 목적	102
----------------------	-----

5.2 실험장치	103
5.3 측정항목 및 방법	105
5.4 결과	110
5.4.1 기류속도 선호경향	110
5.4.2 Swing 패턴 선호경향	113
5.4.3 Swing 패턴과 생활습관과의 관계	116
5.5 결론	120
제 6 장 결론	
6.1 전체 결론	121
참고문헌	125
감사의 글	

A study on Variable Conditions of Air-velocity and Temperature for Acquiring the Thermal- Comfort in the Air Conditioning System

Hyung Chul Kim

Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering,
Graduate School, Pukyong National University

Abstract

As the modern society and industries are developed, environmental pollution is getting serious, and people prefer staying inside because of the convenience. Since the modern people are spending most of their time within indoor space, their ways to live indoors are closely related to their lifetime health. World Health Organization (WHO) defines health as "the state not only without any disease or injury but also in good physical, mental, and social condition." Hereby, the health of indoor residents is the

top priority. Thus, the most important matter regarding housing, now and in the future, is in what kind of indoor environment one will live to be able to enjoy pleasant and healthy life. The desirable indoor environment required today should guarantee healthy and pleasant life indoors all the time, efficient working conditions, and comfortable resting space, as well as prevent any accident. However, common offices or homes today only depend on air-conditioning as a cooling system during the summer. This kind of system tends to be centered on the person who controls it and those who are around the air-conditioner, while thermal-comfort of the majority is neglected. Furthermore, the people's body conditions are not considered during the beginning, the middle, and the last of the air-conditioning accordingly, which in causing displeasure of the residents more and more. This sort of air-conditioning method came from the thermal equilibrium model concept, which was come up with by the existing researchers such as Fanger, and can not sustain pleasant air condition steadily. In addition, operating this kind of system for a long time may cause unbalanced air condition within the place neglecting the body responses of the people, and thus, as time goes by, displeasure of the indoor residents comes to increase. It also should be considered that

the excessive use of air conditioners has huge negative impact on summer time electric power supply. Thus, it is necessary to introduce the Adaptive Model, by which people can keep themselves pleasant in terms of temperature, so that thermal-comfort can be sustained steadily. To solve the problem related to the economic load and displeasure resulting from the excess air-cooling, the air conditioning environment accommodating Acceptable Comfort Zone is also required. To make pleasant, physical and mental, the residents within a place during the summer, fast reaching to thermal-comfort at the early process of air conditioning, and its sustaining at the middle and last parts too. In the event of coming back from outdoor activities, the body may feel displeasure and the heat because of the accumulated Heat Load. Therefore, to sustain thermal-comfort formed at the early stage of air conditioning, the accumulated Heat Load should be removed soon to keep the body Heat Balance. In removing the body Heat Load causing displeasure, the revaluation of thermal-comfort according to the body response to the air from the facility and the temperature. Accordingly, this study analyzes the fluctuation of thermal-comfort according to the air condition and the temperature in order to grasp the body thermal

state at the early stage of air conditioning during the summer. In addition to that, by clarifying the point at which the state of pleasure turns into that of displeasure through the fluctuation of thermal-comfort, the basic data in sustaining the state of pleasure steadily will be arranged. Further, the improvement of thermal-comfort at the middle and last stages of air conditioning will be explored by analyzing the fluctuation of the temperature. an thermal environmental element, at the body adjustment point. The preferred air types and swing patterns of air conditioning will be examined and utilized as means of air conditioner controlling for pleasant environment. Through the procedures above, the methods to improve thermal-comfort according to the controlling ways of air conditioning will be presented and thereby this will bring improvement in sustaining thermal-comfort of the indoor residents steadily as well as pleasant environment.

List of Tables

Table 2.1 Heat production in rest state	21
Table 2.2 Equations to estimate MST	22
Table 2.3 Skin temperature different skin state	24
Table 2.4 Change of basal metabolism	27
Table 2.5 Characters and classification transformations of EEG ...	34
Table 2.6 Classification of frequency characteristic(ECG)	38
Table 2.7 Met value by activity	45
Table 2.8 Met value by activity	46
Table 2.9 General clothes state of clo value	48
Table 2.10 General clothes state of clo value	49
Table 3.1 Positions of sensors in environmental chamber	53
Table 3.2 Experiment condition	55
Table 3.3 Anthropometric data of the subjects	55
Table 3.4 Subjective question of subject	56
Table 3.5 Adaptative time of human body	57
Table 3.6 Factors and their levels used in experiment	57

Table 3.7 Adaptative time of human body (0.6m/s)	58
Table 3.8 Adaptative time of human body (0.4m/s)	59
Table 3.9 Adaptative time of human body (o.2m/s)	59
Table 3.10 Correlation is the biggest 5 factors (0.6m/s)	64
Table 3.11 Correlation is the biggest 5 factors (0.4m/s)	65
Table 3.12 Correlation is the biggest 5 factors (0.2m/s)	65
Table 3.13 Descriptive statistics (0.6m/s)	66
Table 3.14 Descriptive statistics (0.4m/s)	67
Table 3.15 Descriptive statistics (0.2m/s)	68
Table 3.16 ANOVA for S/N ratio	75
Table 4.1 Specification of the experimental apparatus	80
Table 4.2 Positions of sensors in environmental chamber	82
Table 4.3 Experimental setting conditions (1℃)	84
Table 4.4 Experimental setting conditions (3℃)	84
Table 4.5 Anthropometric data of the subjects	86
Table 4.6 Subjective question of subject	87
Table 4.7 Stimulation estimation value (24℃)	90
Table 4.8 Stimulation estimation value (26℃)	90

Table 4.9 Physiology signal change through temperature rise (24℃, 26℃)	90
Table 4.10 Stimulation estimation value (22℃, 24℃)	97
Table 4.11 Physiology signal change through temperature rise (22℃, 24℃)	97
Table 5.1 Specification of the experimental apparatus	104
Table 5.2 Positions of sensors in environmental chamber	105
Table 5.3 Experimental setting conditions	106
Table 5.4 Anthropometric data of the subjects	108
Table 5.5 Subjective question of subject	108
Table 5.6 Question for sports and sleep	109
Table 5.7 Question about the weather	109
Table 5.8 Question about air conditioner use	109
Table 5.9 Question about air conditioning	109
Table 5.10 Question for clothes	109
Table 5.11 Male and female component ratio	110
Table 5.12 Swing speed component ratio	113
Table 5.13 Crossing analysis about sports career	116

Table 5.14 Crossing analysis about that awake sleep	117
Table 5.15 Crossing analysis about cold weather	117
Table 5.16 Crossing analysis about patience of the weather	117
Table 5.17 Crossing analysis about air conditioner use temperature	118
Table 5.18 Crossing analysis about cooling	119
Table 5.19 Crossing analysis about preference season	119

List of Figures

Figure 1.1 Structure of the thesis	8
Figure 2.1 System of Man-Thermal Environment	10
Figure 2.2 Change of living body function about environment condition change	15
Figure 2.3 Temperature concept of shell and core	17
Figure 2.4 Distribution of body temperature	18
Figure 2.5 Skin temperature change by outdoor temperature	20
Figure 2.6 Skin temperature of body region and mean skin temperature	22
Figure 2.7 Balance of body heat production course heat diffusions	23
Figure 2.8 Effect of environment temperature and body temperature	24
Figure 2.9 Beat load rate of human body	25
Figure 2.10 Neuron's basis form	31
Figure 2.11 Electrode arrangement law	31

Figure 2.12 Kind of brain waves	33
Figure 2.13 The electrical system of the heart	35
Figure 2.14 Electrocardiogram waveform	35
Figure 2.15 Effective temperature of typical indoor clothing condition	39
Figure 2.16 Clo and Met about environment temperature	45
Figure 2.17 General clothes state of clo value	48
Figure 3.1 Schematic diagram of the environmental chamber	51
Figure 3.2 Positions of sensors for MST measurement	53
Figure 3.3 Experimental process	54
Figure 3.4 TSVs during the 120min test period (0.6m/s)	60
Figure 3.5 CSVs during the 120min test period (0.6m/s)	60
Figure 3.6 MSTs during the 120min test period (0.6m/s)	60
Figure 3.7 TSVs during the 120min test period (0.4m/s)	61
Figure 3.8 CSVs during the 120min test period (0.4m/s)	61
Figure 3.9 MSTs during the 120min test period (0.4m/s)	61
Figure 3.10 TSVs during the 120min test period (0.2m/s)	62
Figure 3.11 CSVs during the 120min test period (0.2m/s)	62

Figure 3.12 MSTs during the 120min test period (0.2m/s)	62
Figure 3.13 Correlation with TSV (0.6m/s)	69
Figure 3.14 Correlation with CSV (0.6m/s)	69
Figure 3.15 Revolution standardization residual formality p-p Dependent variable (TSV: 0.6m/s)	70
Figure 3.16 Revolution standardization residual formality p-p Dependent variable (CSV: 0.6m/s)	70
Figure 3.17 Correlation with TSV (0.4m/s)	71
Figure 3.18 Correlation with CSV (0.4m/s)	71
Figure 3.19 Revolution standardization residual formality p-p Dependent variable(TSV: 0.4m/s)	72
Figure 3.20 Revolution standardization residual formality p-p Dependent variable(CSV: 0.4m/s)	72
Figure 3.21 Correlation with TSV (0.2m/s)	73
Figure 3.22 Correlation with CSV (0.2m/s)	73
Figure 3.23 Revolution standardization residual formality p-p Dependent variable(TSV: 0.2m/s)	74
Figure 3.24 Revolution standardization residual formality p-p	

Dependent variable(CSV: 0.2m/s)	74
Figure 4.1 Schematic diagram of the environmental chamber	79
Figure 4.2 Experimental process	85
Figure 4.3 TSVs during the 90min test period(24°C, 26°C)	91
Figure 4.4 CSVs during the 90min test period(24°C, 26°C)	91
Figure 4.5 MSTs during the 90min test period(24°C, 26°C)	91
Figure 4.6 LSTs during the 90min test period(24°C, 26°C)	93
Figure 4.7 HF/LF during the 90min test period(24°C, 26°C)	94
Figure 4.8 α waves during the 90min test period(24°C, 26°C)	94
Figure 4.9 β waves during the 90min test period(24°C, 26°C)	94
Figure 4.10 TSVs during the 150min test period(22°C, 24°C)	98
Figure 4.11 CSVs during the 150min test period(22°C, 24°C)	98
Figure 4.12 MSTs during the 150min test period(22°C, 24°C)	98
Figure 4.13 HF/LF during the 150min test period(22°C, 24°C)	99
Figure 4.14 α wave during the 150min test period(22°C, 24°C)	99
Figure 4.14 β wave during the 150min test period(22°C, 24°C)	99
Figure 5.1 Schematic diagram of the environmental chamber	103
Figure 5.2 Experimental process	107

Figure 5.3 Total component ratio(air-velocity)	110
Figure 5.4 TSV versus CSV in subjects(air-velocity)	111
Figure 5.5 AEV versus CSV in subjects(air-velocity)	112
Figure 5.6 MST versus CSV in subjects(air-velocity)	112
Figure 5.7 Total component ratio(swing pattern)	113
Figure 5.8 TSV versus CSV in subjects(swing pattern)	114
Figure 5.9 AEV versus CSV in subjects(swing pattern)	115
Figure 5.10 MST versus CSV in subjects(swing pattern)	115

List of Photographs

Photo 4.1 Subjects during the experimentation	80
Photo 5.1 Subjects during the experimentation	104

Nomenclature

Symbols

a_c	convective heat transfer coefficient	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$
a_r	linear radiative heat transfer coefficient	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$
A_D	skin surface area of human body	$[\text{m}^2]$
C	convection heat loss	$[\text{W}/\text{m}^2]$
E	rate of evaporative heat loss from the skin	$[\text{W}/\text{m}^2]$
f_c	clothing area factor	$[-]$
t_{cl}	clothing surface temperature	$[\text{C}^\circ]$
H	height	$[\text{m}]$
h_c	convective heat transfer coefficient	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}^\circ]$
I_{cl}	clothing thermal resistance	$[\text{m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}]$
M	rate of metabolic energy production	$[\text{W}/\text{m}^2]$
m	body mass	$[\text{kg}]$
P_a	water vapor pressure in the ambient air	$[\text{Pa}]$
P_{sk}	water vapor pressure at the skin	$[\text{Pa}]$
Q	total rate of heat loss through respiration	$[\text{W}/\text{m}^2]$
R	radiation heat loss	$[\text{W}/\text{m}^2]$

S	heat storage	[W/m ²]
t	temperature	[°C]
t_a	indoor temperature	[°C]
t_s	mean skin temperature	[°C]
t_r	mean radiation temperature	[°C]
t_{so}'	operative temperature	[°C]
t_{sk}	mean skin temperature of human body	[°C]
t_o	effective temperature	[°C]
v	air-velocity	[m/s]
w	weight	[kg]
W	rate of metabolic energy production	[W/m ²]

Greek Symbols

α	alpha wave	[Hz]
β	Beta wave	[Hz]
δ	Delta wave	[Hz]
θ	Theta wave	[Hz]
ε	Skin emissivity	[-]

Δ	Difference	[-]
ω	Skin wetted space	[%]

Subscript

a	air
c	convection
c	cloth
D	dubois
e	evaporation
r	radiant
s	standard environment
sk	skin

제1장 서론

1.1 연구 배경

현대 사회의 발전과 산업의 성장에 의해 점차 외부 환경의 오염이 증대되며 생활의 편리성을 위해 사람들은 점차 실내생활의 시간이 길어지고 있다. 대부분의 시간을 실내공간에 거주하는 현대인은 어떠한 실내 환경 아래에서 어떻게 생활하는가에 따라 평생의 건강이 좌우되는 밀접한 관계에 있게 되었다.[1] 세계보건기구에서는 「건강이란, 단순히 질병과 상해가 없을 뿐만 아니라, 육체적, 정신적 그리고 사회적으로 안녕한 상태」로 정의하고 있으며 실내 거주자의 건강은 무엇보다도 최우선 되어지고 있다.[2] 또한, 현재 및 미래의 주택에서 인간이 요구할 가장 중요한 사항은 실내에 사는 사람이 쾌적하고 건강하게 살아가기 위해서는 어떠한 실내 환경 속에서 생활하여야 하는 것이다.[3] 현대에서 요구되는 바람직한 실내 환경은 거주자가 항상 건강하고 쾌적하게 생활하는 것이 가능하고, 주거 내에서 이루어지는 작업과 능률이 효율적이고, 거주자가 휴식을 하며 피로를 풀고, 혹은 사고 발생을 방지하는 환경조건이어야 한다.[4] 하지만, 여름철 실제 냉방을 하고 있는 일반적인 사무실이나 가정에서는 단순한 에어컨의 가동 여부를 통해 실내를 공조하고 있다. 이와 같은 방식은 에어컨을 제어하는 사람과 에어컨에 인접한 사람의 쾌적성을 중심으로 제어하고 있으므로 다수의 사람들의 온열쾌적성은 무시되고 있는 실정이다. 이와 같은 제어방식은 냉방 초기와 냉방 중/

후기의 인체 상황을 고려하지 않고 있으므로 실내거주자들은 점차 불쾌감이 증가된다. 일반적으로 사용되는 냉방방식은 온열환경에 대해 기존의 Fanger 등의 연구자들이 제안한 열평형모델의 개념에서에서 시작된 것으로 지속적인 쾌적 상태를 유지할 수 없다. 또한, 냉방을 지속 할 경우 사람들의 인체 반응을 무시한 불균일한 냉방 환경이 조성되어 시간이 지남에 따라 실내 거주자들은 신체적, 정신적 불쾌 상태가 지속되며 고정된 기류 및 온도 설정으로 불쾌감은 더욱 증가 되어지고 있다. 그리고 과도한 에어컨 사용에 따라 여름철 전력수급에 큰 영향을 주고 있는 실정이다. 따라서 냉방 초기 및 중/후까지 지속적인 온열쾌적성을 유지하기 위해서는 인간이 자기 자신을 열적으로 쾌적하게 유지하는 적응모델(adaptive model) 도입이 필요하다. 또한, 과도한 냉방으로 인한 에너지 과잉소비에 의한 경제적 부담으로 인한 불쾌감 유발을 함께 수용할 수 있는 수용쾌적범위(acceptable comfort zone)까지 만족시키는 온열환경 조성이 필요하다.[5,6]

1.2 연구 동향

인간과 환경과의 복잡한 관계로 쾌적한 상태를 유지할 수 있으며 이러한 환경과 인체의 쾌적성 연구는 유럽과 미국 등에서 시작되었다. 그 후 인간에게 직접적인 영향을 주는 온도, 기류, 습도, 복사 등과 인체의 온열쾌적성 연구는 지속적으로 발전되어 왔다.[7,8,9,10,11,12,13,14] 또한, 실제 환경에 대한

인체가 어떤 온열 쾌적 반응을 가지고 있는가에 대한 연구도 활발히 진행되어 왔다.[15,16,17,18,19,20,21,22]

전정윤 등은 공동주택의 여름철 수용 쾌적 온도 범위와 거주자 냉방기 사용행위에 관한 연구를 통해 에어컨 사용주택 수 및 사용시간과의 관계에서 가장 높은 상관계수를 보인 실외 기상요소는 일평균 외기온도이며, 일평균 외기온 28.5℃ 이상일 경우는 대부분의 주택에서 에어컨을 사용한다고 조사하였으며[23] 명현국은 실내온열환경평가지표를 통해 실내 온열환경 평가 지표와 외국의 온열환경기준 및 지표의 비교를 통해 실용적으로 제안되어 사용되고 있는 쾌적성 평가지표에 대해서 조사하였다.[24]

佐々商美은 쾌적온열환경의 개인차에 관한 연구를 통해 선택기온실험을 통한 인체반응의 개인차 제시와 온열적 생활습관의 영향에 대해 조사하였으며[25] 桑澤保夫은 기온변화 및 변동풍이 인체의 온열감에 주어진 영향에 관한 실험적 연구를 통해 풍속이 변동하는 온열환경의 평가를 행하였다.[26]

윤릉진은 천정형 냉방기를 이용한 교실의 실내온열환경 개선에 관한 연구를 통해 인체발열량이 삼입된 최적공조 조건의 실내 환경을 제시하였으며 [27] 이재훈은 열원위치에 따른 실내 열환경 평가에 관한 실험적 연구를 통해 온열환경요소 측정을 통한 PMV의 값을 도출하여 열원의 위치에 따른 온열감의 공간적인 변화에 대한 PMV값을 제시하였다.[28]

차연운은 중앙공조시스템이 적용된 아파트의 여름철 실내열환경 평가를

통해 취출 풍량에 따른 열환경 평가와 풍량에 따른 PMV, ET*의 변화를 비교하였으며[29] 안태경은 건강주택을 위한 실내공기환경 수준 설정을 통해 건강 환경을 조성하기 위한 건축물의 실내 환경 개선요건을 조사하였다.[30]

김봉애는 건강에 영향을 미치는 주거환경을 통해 건강에 영향을 미치는 주거환경에서 인간도 활동 상태가 큰 만큼 체내에서의 생산 열량이 많아지기 때문에 쾌적함을 유지하기 위하여서는 인체의 방열을 촉진하도록 더욱 낮은 온도·습도가 바람직하다고 발표하였으며[31] 최현배 등은 실내의 상하 온도차에 대한 온열감성평가를 위한 HRV 분석을 통해 머리의 온도가 23℃인 경우 두한족열이 두열족한에 비해 HF/LF수치값이 대체로 높은 양상을 보인다고 발표하였다.[32]

윤동원 등은 실내 온열환경 제어를 위한 PMV 센서의 개발 및 적용성 평가 연구를 통해 건축물에 편리하게 적용할 수 있는 PMV 센서를 개발하고 그 적용성을 평가하였으며[33] 송두삼은 인간의 열적 적용성을 고려한 퍼스널 공조시스템의 개발을 통해 기존형 퍼스널 공조시스템 관리/사용상의 문제점을 설문조사 및 피험자 실험을 통해 개선된 퍼스널 공조시스템을 제안하였다.[34]

엄태인 등은 수치해석에 의한 국부냉방시스템의 온열환경 및 쾌적성 분석을 통해 기류의 배출온도, 방향 및 속도 등을 변화시켜 재실자가 최적 쾌적감을 느낄 수 있는 조건을 제시하였으며[35] Sassa 등은 인공기후실 안에서

피험자들에게 온도표시가 되어 있지 않은 버튼을 눌러서 가장 쾌적하게 느끼는 영역으로 실내온도를 조절하도록 실험한 결과 30%의 피험자가 일본의 권장 쾌적온도 범위 이외의 기온으로 쾌적 실내온도를 조절하였다고 보고하였다.[36]

전정윤 등은 공동주택의 여름철 수용 쾌적온도 범위와 거주자 냉방기 사용행위에 관한 연구를 통해 에어컨 사용주택 수 및 사용시간과의 관계에서 가장 높은 상관계수를 보인 실외 기상요소는 일평균 외기온도이며, 일평균 외기온 28.5℃ 이상일 경우는 대부분의 주택에서 에어컨을 사용한다고 조사하였으며[37] 이주연은 개인공조의 최근 연구동향을 통해 개인의 온열적 생활습관, 체질 등에 관한 연구가 더욱 활성화 될 필요가 있으며 이를 통한 새로운 쾌적 조건 등을 제안하자고 보고하였다.[38]

그동안 실내 온열 쾌적 환경에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나 실내 냉방시 인체에 미치는 온열 쾌적 평가에 관한 연구는 많이 부족한 실정이다.

1.3 연구 목표

여름철 실내에 거주하는 사람들에게 신체적, 정신적으로 쾌적한 상태를 얻기 위해서는 냉방 초기 빠른 온열 쾌적성 도달과 냉방 중/후기의 온열쾌적성 유지이다. 보통 여름철 외부에서 활동하다 실내로 들어왔을 경우 인체는 열부하가 축열되어 불쾌감 및 더위를 느끼게 되며 이러한 불쾌 상태를 쾌적한 온열 쾌적 상태로 유지하기 위해서는 축열된 열부하를 빨리 제거하여 인체 열평형을 유지하여야 한다. 인체 열부하를 제거하고 지속적인 쾌적 상태를 유지하기 위해서는 에어컨 기류 및 온도에 따른 온열 쾌적 반응의 평가는 매우 필요하다. 따라서 본 연구에서는 여름철 냉방 초기의 인체 온열 상태를 파악하기 위해 기류 및 온도별 인체 온열 쾌적 변화를 분석하고자 한다. 그리고 인체가 쾌적 상태에서 불쾌 상태로 이동하는 시점인 인체순응시점을 규명하여 지속적인 쾌적 상태를 유지하기 위한 기초 데이터로 활용하고자 한다. 또한, 인체순응시점에서 온열환경 요소인 온도 변동을 통해 냉방 중/후기의 온열쾌적성 향상을 도모하고자 한다. 그리고 실내에 거주하는 사람들이 가장 선호하는 에어컨 기류 및 swing 패턴을 찾아 냉방 초기의 에어컨 사용 형태를 파악하고자 한다. 또한, 생활패턴과의 연관성을 파악하여 쾌적한 에어컨 제어수단으로 활용하고자 한다. 이와 같은 연구를 통해 냉방시 에어컨 제어형태에 따른 인체의 온열쾌적성 향상을 제시함으로써 실내 거주자의 지속적인 온열쾌적성 유지와 쾌적한 환경을 개선하고자 한다.

1.4 논문 구성

본 논문은 Figure 1.1과 같이 총 6개의 장으로 구성되어 있다.

제1장은 본 연구의 배경 및 목적에 관해 서술하고 외국 및 국내의 연구동향, 온열쾌적성과 외부환경과의 관계를 설명하며 본 논문의 구성에 대해 서술하였다.

제2장은 인간과 온열환경에 대한 기초적인 이론의 배경에 관하여 서술하였다. 온열감과 쾌적범위, 인체의 항상성 및 체온, 인체와 주변 환경과의 열교환, 뇌파와 심전도, 온열환경지표, 활동량과 의복량 등에 관하여 정리하였다.

제3장은 냉방시 기류 및 온도별 온열쾌적성 변화를 주관적 반응과 피부온도를 통해 분석하고 쾌적영역에서 불쾌영역으로 이동하는 인체순응시점을 파악하였다. 또한, 온열쾌적성 제어를 위해 온냉감과 쾌적감을 기준으로 한 상관관계를 분석하였다.

제4장은 냉방시 인체순응시점의 온도 변동을 통해 인체의 온열쾌적성 변화를 정량화 하였으며 생리신호인 심전도와 뇌파 변화를 통해 인체순응시점에서 온도상승으로 쾌적한 온열쾌적성 유지를 증명하였다.

제5장은 냉방시 선호하는 기류 및 swing 패턴을 분석하여 온열쾌적성 평가를 통해 검증하였으며 개인이 선호하는 기류 및 swing 패턴과 개인의 생활습관과의 상관성을 비교·검토하였다.

제6장은 본 논문의 총괄결론을 나타내었다.

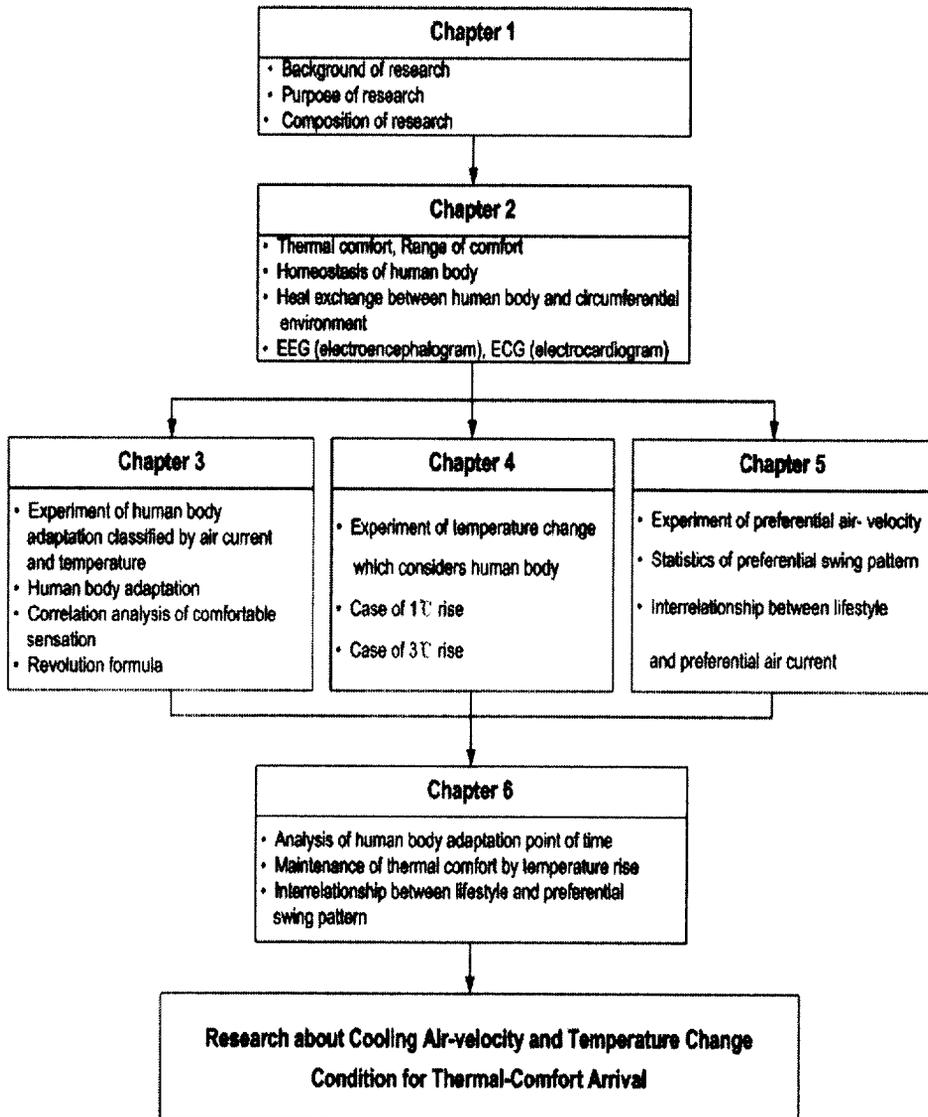


Figure 1.1 Structure of the thesis

제2장 인간과 온열환경

2.1 인간과 온열환경과의 관계

인간과 온열환경과의 관계를 고려하면 인체는 온열환경과 열평형을 이루고 있다. 사람은 온열환경과의 열평형에서 여러 가지 요소가 영향을 주며 복잡한 관계를 이뤄 인체에 온열반응을 일으키게 된다.

인체측 요소로 인종, 성별, 나이, 체질 등의 형태적, 유전적 인자가 있으며 이것들은 인체측 요소의 기본배경이 되고 있다. 그리고 형태적, 유전적 인자에 비교적 장기에 걸쳐 영향을 미치는 장기적 작용인자 및 단기에 걸쳐 영향을 미치는 단기적 작용인자가 더해진다. 장기적 작용으로는 건강상태, 영양상태, 기후 등의 연간 단위부터 월간 단위정도로 영향을 미치는 요인을 말하고 있다. 단기적 작용으로는 일일 단위의 건강상태, 음식물 섭취, 온열환경에 노출시간 등을 말하고 있다. 이와 같은 여러 가지 영향을 받은 인체는 그 시간의 착의상태와 작업량 등의 인체측 온열조건을 가지고 온열환경에 놓여지게 된다.

환경측 요인으로는 온도, 기류, 습도, 복사온도 등 온열환경 4요소를 가지고 있다. 이 요소의 조합으로 온열환경을 구성하고 있으며 인체의 자극을 부여하여 인체에 생리적 반응과 심리적 반응을 일으키게 된다. 이 때 이 온열환경의 공간분포, 노출시간, 시간변화 등의 노출조건에 의해 인체의 자극 강도가 틀려진다. 또 계절, 시간 및 빛, 음 등의 기타 환경조건 등이 배경이 되

어 복합적으로 인체의 영향을 미치게 된다.

이러한 자극에 대해 인체는 반응을 하여 피부온도와 수분증발 등의 생리적인 반응을 일으키고 더위와 추위를 느끼는 온냉감과 쾌적감, 기류감 등의 심리적 반응을 보이기 시작한다. 각각의 환경조건에 의해 인체는 종합적으로 쾌적감과 만족감 등을 느끼게 된다. 그러나 불쾌한 상태가 되면 인체는 주어진 온열환경에 따라 공간이동을 하거나 의복조절, 창 의 개폐, 공기조화의 조절, 공간이동 등의 행동적 반응을 일으키고, 인체측 온열조건과 환경측 온열조건, 노출조건 등을 변화시키는 것을 되풀이 하는 새로운 온열환경과 인체 반응의 관계를 형성하게 된다. Figure 2.1은 온열환경과 인체반응의 관계를 나타내고 있다.

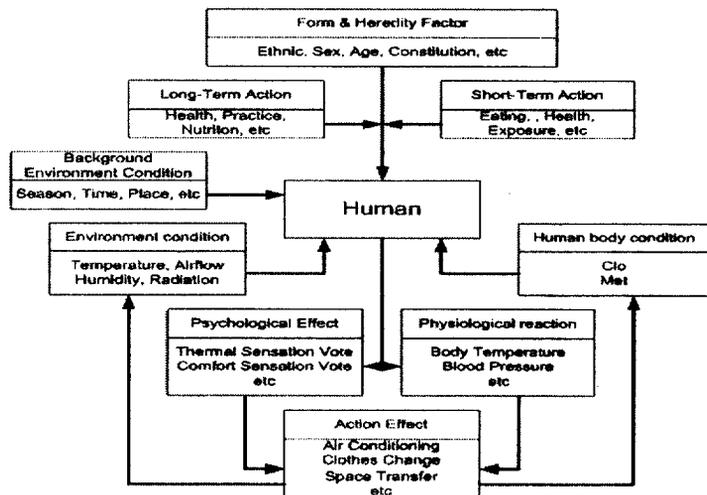


Figure 2.1 System of man-thermal environment

2.2 온열쾌적감과 쾌적 범위

2.2.1 온열쾌적감(Thermal Comfort)

인간은 열적으로 쾌적한 환경을 만들기 위해 노력을 해 왔으며, 이와 같은 노력은 오늘날까지 건축에 반영이 되어 왔다. 따라서 열적으로 쾌적한 환경을 창출하고자 하는 노력은 건축계획의 단계에서 가장 중요하게 고려해야 할 요소 중의 하나가 되었다. 그러나 정확하게 온열쾌적감이 무엇인가라는 것에 답하기는 어려운데, ISO-7730 및 ASHRAE St. 55-81에는 다음과 같이 “온열쾌적감”에 관하여 정의되어 있다.

“That condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”: ISO-7730

“Thermal comfort is defined as that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”: ASHRAE St.55-81

온열쾌적감의 개념인 “열 환경에 대하여 만족을 표시하는 마음의 상태”라는 것에 대해서는 대부분의 사람들이 이해를 하지만, 개념을 물리적인 변수로 변환하여 나타내기 어려운 점이 있다. 이는 심리적 쾌적 상태를 나타내야 하기 때문이다. 실내의 사람은 서로 다른 온열환경 상태에 있지만, 열적으로는 쾌적한 상태에 있는데, 이와 같은 사실로부터 온열쾌적감은 예를 들

면 온도와 같은 하나의 요소로 정해지는 것이 아니라 여러 가지 온열요소의 문제라는 사실이다. 실제로 온열쾌적감을 평가하는 지표(PMV, SET*)에서 고려하는 온열요소는 공기온도, 방사온도, 기류, 습도, 착의량, 대사량 등 6가지를 고려한다. 즉 착의량과 대사량은 인간 측의 요소이며, 나머지 4요소는 환경조건이다. 또한 공기의 청정도, 조명, 소음 등의 기타 요소도 온열쾌적감을 평가 할 때 함께 고려되어야 할 요소로서 더 많은 연구를 필요로 한다.

2.2.2 쾌적 범위(Comfort Zone)

실내온열환경 설계는 거주자의 인간 측 온열요소(작업활동 및 착의)를 고려한 상태에서 환경 측의 온열요소(온도, 습도, 기류, 복사)를 조절하는 것이다. 환경 측 온열요소의 조정 수단으로서는 공기조화설비, 통풍, 건물자체의 환경조절능력의 촉진 등을 들 수 있다. 그러므로 거주자에게 쾌적한 온열환경을 제공하기 위해서는 기온을 중심으로 온열환경요소를 예측하는 것이 중요하다. “쾌적”이라는 것은 “불쾌”를 느끼지 않으며 열스트레스가 없는 상태라고 말할 수 있으며, 생리 및 물리학적으로 고려하면 인체 열평형 방정식에서 열 부하가 없는 상태를 말한다. 인체 열평형을 이용한 쾌적 방정식을 풀면 인간 측 2요소와 환경 측 4요소의 총 6가지 온열요소의 조합으로 쾌적 조건이 구해진다. 그러나 대부분의 사람이 쾌하다고 생각하는 조건에서도 “추워서 불쾌”하다고 말하는 사람으로부터 “더워서 불쾌”를 호소하는 사람이

있는 것은 모두 사람이 만족할 수 있는 쾌적 조건은 존재하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이것은 생리기능, 선호도, 체질, 등 개인차가 존재하기 때문이다. 결국, 쾌적 방정식에서 얻어진 이상적인 온열환경조건에서도 불만족을 호소하는 사람은 존재하는데, 예를 들면 $PMV = 0$ 일 때 불만족율(PPD)은 최소가 되지만, 이때 PPD는 0%가 아니라 5%이다. SET*의 경우에도 최소 불만족율은 약 7%이다.

인간은 쾌적 조건으로부터 다소 이탈되거나 다소의 열 스트레스가 있어도 그것에 대처할 수 있는 능력도 가지고 있으며, 의복의 증감에 의해서도 열평형을 유지하는 것이 가능하다. 그러므로 쾌적 조건은 하나의 점으로서가 아니라 어떤 불만족율을 설정해서 폭을 가지는 범위(쾌적 범위)로서 취급하는 것이 타당하다고 할 수 있으며, ISO에서는 $-0.5 < PMV < +0.5$ 일 때 PPD=10%가 되는 범위를 쾌적 범위로 하고 있다. SET*의 경우 불만족율 10%에 해당하는 쾌적 범위는 SET* 23.2 ~24.5℃의 범위에 해당하지만, ASHRAE에서는 불만족율 20%이하의 상태 즉 만족율 80%에 해당되는 범위를 쾌적범위로 정의하고 있다.

2.3 인체의 항상성 및 체온

2.3.1 인체의 항상성(Homeostasis)

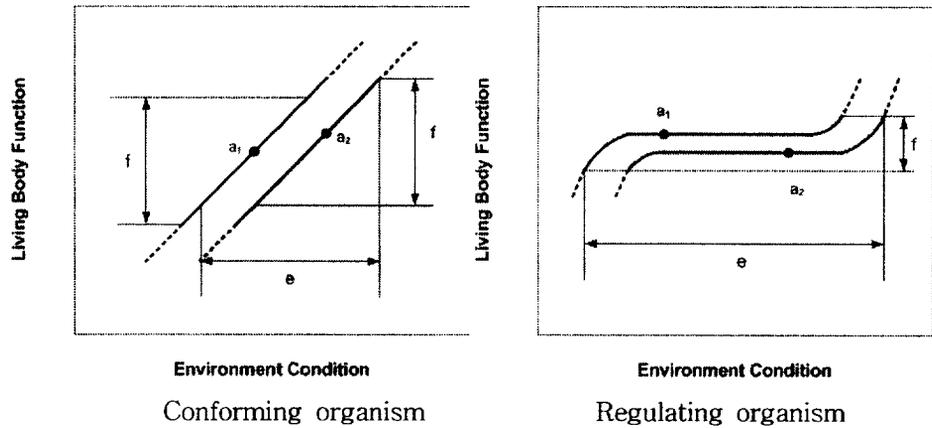
인간이 정상상태를 유지하며 상호 협력하는 생리반응은 매우 복잡한 과정을 가지며 신체를 유지한다. 신체가 정상상태로 있는 것을 신체 항상성(homeostasis)라고 말하며 이러한 항상성을 유지하기 위해 신체의 활동을 항상성 유지반응(homeostatic reaction)이라고 한다. 신체의 기능적구조단위인 세포는 그 범위에 있는 액체로 세포외액(혈장, 조직액, 림프)에 의해 필요한 물질과 정보를 주어지면 대사와 노폐물을 발생시킨다. 즉 세포외액은 세포의 운동에 필요한 조건을 주어지는 세포의 직접적인 환경이라고 한다. 이러한 환경은 신체의 내부환경(internal environment)라고 하고 신체의 외부환경(external environment)과 구별한다. 외부환경이 변화할 때 신체내부환경은 거의 정상상태를 유지하려고 하고 이것을 외부환경의 신체항상성(homeostasis)이라 한다. 이것은 인간이 생존하기 위한 필요조건이라고 한다.

2.3.2 생리적 적응(Physiological Adaptation)

생리적 적응(physiological adaptation)은 개체로 된 인체가 환경의 장기적 변화에 대응하여 정상적으로 존재하기 위해 생체기능을 변화하거나 새로운 항상성(homeostasis)을 형성하는 과정을 말한다. 인체기능을 교란시키는 환경으로부터 자극(한냉, 서열, 저산소 등)이 지속적이거나 반복적으로 작용할

때 인체기능은 근본적 변수(체온, 혈중산소농도 등)를 생리적 한계대로 유지하기 위해 인체기능의 기타 변수를 변화시켜서 적응한다. 즉 적응은 많은 인자의 관련을 가진 복잡한 현상으로 되어 있다.

생리적 적응에서는 시간적 인자가 중요하다. 최초의 과도한 대상성 조절반응을 일으킬 때 적응을 일으키는 인자에 의해 자극이 유지하고 최초의 반응보다 안정되고 에너지 소비가 적은 경제적인 적응성반응으로 변화한다.



a_1, a_2 : Each other adaptation state

f : Living body function change extent about resistance area

e : Extent of environment condition about resistance area

— : Normal resistance area

..... : Resistance area of short time

Figure 2.2 Change of living body function about environment condition change

인간과 같은 고등동물의 특징은 중요한 생체기능(체온의 항상성)이 환경조건의 변화에 넓은 범위에 걸쳐 유지되며 이 같은 인체를 조절성유기체(regulating organism)이라고 한다. 그러나 이것과 반대로 환경의 변화에 순응하여 인체기능이 변화하는 인체는 종합성유기체(conforming organism)라고 한다. 환경온도가 변화할 때 체온도 변화하는 변온동물이 그 예가 된다. Figure 2.2는 환경조건 변화에 대한 생체기능의 변화를 나타내고 있다.

2.3.3 체온의 항상성

인간의 체온은 거의 36.5℃~37℃를 유지되고 있다. 보통 실온 25℃일 때 일반적인 옷 속의 피부표면온도는 33~34℃이지만 수온이 25℃인 수영장 안에서의 피부표면온도는 26℃~27℃까지 내려간다. 그러나 피부표면온도 변화와는 달리 내부에서는 36.9℃ 근처를 유지하며 이것은 5℃ 수중에서도 거의 변화가 없다. 인체를 체온으로 구분하면 신체의 피부 표면으로부터 10mm까지를 외각부(shell)라고 하고 외각부로 덮혀 있는 중핵부(core)로 나눌 수 있다. 이것은 해부학적 구분이 아닌 생리적, 기능적인 개념의 구분이다. 일반적으로 인체는 환경온도에 따라 중핵부에서 외각부로 이동하여 온도가 변한다. 외각부를 구성하는 것은 피부(skin), 피하지방층(layer of fat), 근육조직(muscular)으로 구성되어 있다. 외각부의 온도는 체온의 항상성을 유지하는데 큰 역할을 하고 있다. 그리고 중핵부를 구성하고 있는 것은 뇌(brain), 척

추(spine), 심장(heart), 간장(liver) 및 기타 소화기관 등으로 생명활동에 없어서는 안되는 내장기관으로 구성되어 있으며 이 부위의 온도는 항상 37℃ 정도를 유지하고 있다.

Figure 2.3은 J. Ashoff가 제시한 외각부와 중핵부의 온도 개념도를 나타내고 있다.

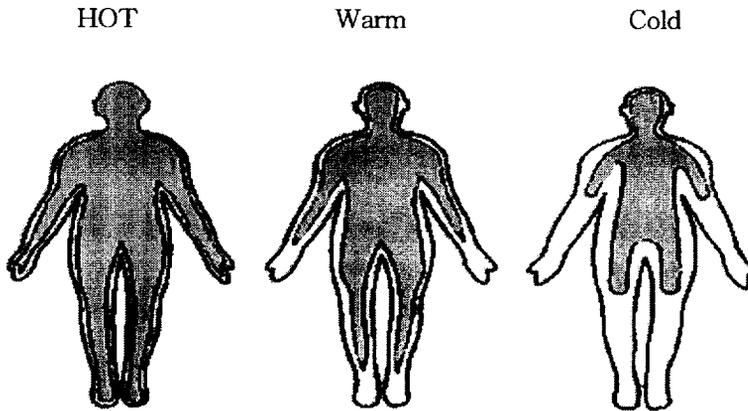


Figure 2.3 Temperature concept of shell and core

2.3.4 정상체온(Normothermia)

중핵부는 항상 약 37℃를 유지하는 반면 외각부는 부위 및 환경온도에 따라 달라진다. 즉 중핵부 온도는 거의 일정하게 유지되지만 외각부 온도는 신체내외의 조건에 따라 변화하는데, 평상시 피부표면온도는 중핵부 온도에 비해 항상 낮으므로 중핵부에서 37℃로 데워진 동맥혈액이 온도가 낮은 외피

부로 흘러가서 열을 버린 후 찬 정맥혈액으로 중핵부로 돌아가게 된다. 혈액의 이러한 작용 때문에 신체 내 여러 장기에서 생성된 열이 신체표면으로 이동되고 중핵부 온도는 항상 일정하게 유지된다. 그리고 여름철과 같이 열평형을 위해 열 방산량을 증가시켜야 할 필요가 있을 때는 말초조직으로의 혈액순환이 증가한다. 이렇게 되면 중핵부로부터 외각부로 열 이동이 증가하기 때문에 외각부 온도가 상승하고 주위환경과 열 교환을 하게 된다. 즉 외각부의 온도는 환경온도에 의해 직접적으로 결정되는 것이 아니라 말초순환량에 의해 주로 결정되게 된다. 따라서 피부온도는 혈액에 의해 중핵부로부터 피부로 운반되는 열량에 의해 주로 결정됨을 알 수 있다. Figure 2.4는 안정할 때 체온분포로 더운 환경(좌측)과 추운 환경(우측)에 노출되었을 때의 등온선이다.

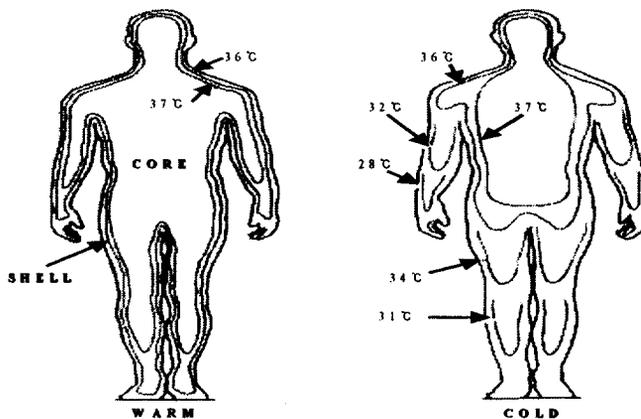


Figure 2.4 Distribution of body temperature

일반적으로 중핵부 온도는 신체의 몇 부분을 측정함으로써 측정할 수 있는데, 구강(oral), 직장(rectal), 식도(esophageal), 고막(tympanic membrane) 등의 온도는 중핵부 온도를 대표하는 부위로 사용된다. 또한, 이러한 중핵부 온도를 심부온도라고 한다. 그러나 이들 중 어느 부위도 심부온도를 완전히 대표할 수는 없으므로 그 특성을 이해하고 사용해야 하는데, 각 부위의 온도는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

직장온도(rectal temperature)는 임상적으로나 실험적으로 가장 널리 사용되는 심부온도로서 타 부위에서 측정된 것보다 높은 값을 보인다. 직장을 둘러싸고 있는 골반조직은 혈액순환이 비교적 낮으므로 타 부위에서 온도가 변할 때도 직장온도는 즉시 변하지 않는다. 따라서 직장온도는 안정시, 즉 완전한 열평형이 일어난 상태에서는 심부온도를 가장 잘 대표하지만, 체온이 변할 때는 식도온도 또는 고막의 온도가 심부온도를 더 잘 반영한다고 한다. 구강온도(oral temperature)는 임상에서 흔히 사용되는데 대부분의 경우 직장온도와 유사한 변화를 보이지만 그 값이 직장온도에 비해 $0.3\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 낮고 또 환경의 영향을 크게 받으므로 진정한 심부온도라 할 수 없다. 식도온도(esophageal temperature)는 식도 하부에서 측정되는 것으로 심장 내 혈액의 온도를 반영한다. 일반적으로 식도온도는 아주 안정된 값을 보이며 직장온도에 비해서는 0.2°C 정도 낮다. 고막온도(tympanic temperature)는 외이도를 통해 고막표면에서 측정되는 것으로서 근처에 있는 시상하부의 온도와 유사하

므로 체온조절 증추로 가는 혈액의 온도를 가장 잘 반영한다.

2.3.5 피부온도(Skin Temperature)

피부온도는 피부조직 자체에서 생산되는 열량은 아주 적다. 따라서 피부온도는 혈액에 의해 중핵부 또는 피하조직으로부터 피부로 운반되는 열량으로 결정된다. 환경온도가 열적중립(thermal neutrality)에 해당될 때 피부온도는 이마에서는 약 35℃, 하퇴부에서는 33℃ 그리고 발등에서는 31℃로 나타낸다. 그러나 환경온도가 낮아지면 피부온도는 하강하는데 그 하강 정도는 사지말단으로 갈수록 점차 커진다.

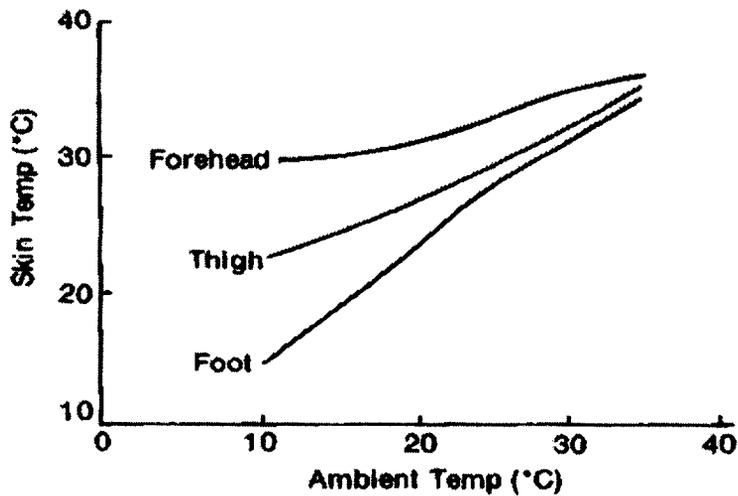


Figure 2.5 Skin temperature change by outdoor temperature

Table 2.1 Heat production in rest state

Organ	Wt	Heat production	
	(%BW)	(kcal/h)	(% of total)
Brain	2.1	12.5	16%
Kidneys	0.45	6.0	7.7%
Heart	0.45	8.4	10.7%
Lungs	0.9	3.4	4.4%
Splanchnic	3.8	26.2	33.6%
Skin	7.8	1.5	1.9%
Muscle	41.5	12.2	15.7%
Others	43.0	7.8	10.0%
Total	100	78	100%

2.3.6 평균피부온도(Mean Skin Temperature)

피부온도는 신체부위에 따라 다르므로 인체의 열평형을 논의할 때 평균피부온도에 해당하는 값을 이용하여 인간과 주위환경 사이의 열 교환량을 결정하는데 사용한다. 평균피부온도는 여러 군데의 피부온도를 측정한 후 그 부위의 중량비 및 면적비를 이용하여 산출하는데 이론적인 값이므로 보통 연속적인 측정을 통해 산출된다. 많은 연구자들이 제안한 평균피부온도 측정 방법을 Table 2.2에 나타냈지만, 보통 신체의 많은 부위를 측정할수록 평균 피부온도는 정확하다.

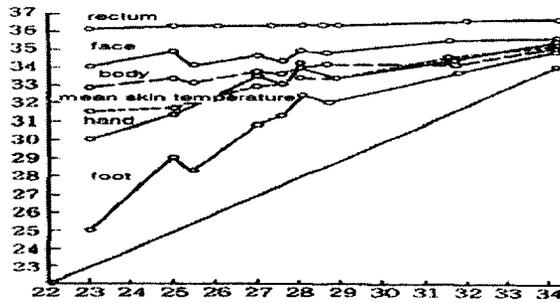


Figure 2.6 Skin temperature of body region and mean skin temperature (Hardy & Dubois 1938)

Table 2.2 Equations to estimate MST (quoted from Tanabe)

Author	Equation of mean skin temperature
Burton	$\bar{t}_s = 0.5t_{sk}(\text{chest}) + 0.14t_{sk}(\text{arm}) + 0.36t_{sk}(\text{thigh})$
Kurata	$\bar{t}_s = 0.043t_{sk}(\text{head}) + 0.055t_{sk}(\text{face}) + 0.081 \cdot 2t_{sk}(\text{abdomen})$ $+ 0.166t_{sk}(\text{back}) + 0.082t_{sk}(\text{upper arm}) + 0.061t_{sk}(\text{fore arm})$ $+ 0.053t_{sk}(\text{hand}) + 0.172t_{sk}(\text{upper thigh})$ $+ 0.134t_{sk}(\text{lower thigh}) + 0.072t_{sk}(\text{foot})$
Mitchell & Wyndham	$\bar{t}_s = 0.07t_{sk}(\text{face}) + 0.35/4t_{sk}(\text{chest}) + 0.35/4t_{sk}(\text{abdomen})$ $+ 0.7/4t_{sk}(\text{back}) + 0.14t_{sk}(\text{upper arm}) + 0.05t_{sk}(\text{hand})$ $+ 0.19t_{sk}(\text{upper thighs}) + 0.13t_{sk}(\text{lower thighs}) + 0.07t_{sk}(\text{foot})$
Nadel	$\bar{t}_s = 0.07t_{sk}(\text{face}) + 0.1t_{sk}(\text{chest}) + 0.09 \cdot 3t_{sk}(\text{back})$ $+ 0.07 \cdot 2t_{sk}(\text{arm}) + 0.11t_{sk}(\text{hand}) + 0.16t_{sk}(\text{thigh}) + 0.16t_{sk}(\text{foot})$
Hardy & DuBois	$\bar{t}_s = t_{sk}(\text{for head}) \times 0.07 + t_{sk}(\text{for ear}) \times 0.14 + t_{sk}(\text{back of the hand}) \times 0.05$ $+ t_{sk}(\text{abdomen}) \times 0.35 + t_{sk}(\text{upper thighs}) \times 0.19 + t_{sk}(\text{lower thighs}) \times 0.$ $+ t_{sk}(\text{foot}) \times 0.07$

2.3.7 체온의 열생산과 열방산

인체는 열 생산과 외부 환경으로의 열 방산의 균형을 이루며 생활한다. 태양의 고온 직사광선이나 고온 환경에서 작업할 때와 같이 인체의 체온조절 기능 한계를 넘는 열부하를 가져다 줄 때에는 체온은 상승하기 시작하고 열사병이라든가 일사병이라고 불리는 장애를 일으킨다. 이와 같은 장애가 지속되면 두통, 현기증, 피로감이 계속되며 갑자기 몽롱한 상태에서부터 혼수까지의 의식 장애가 발생한다. 또한, 인체의 심부온도가 40℃ 이상 되면 의식 장애가 계속되어 죽음에 이르는 위험한 상태까지 도달한다.

반대로 인간이 너무 추운 곳에 있게 되면 피부표면온도가 낮아지고 또한 심부온도가 저하된다. 심부온도가 35℃ 이하로 떨어질 때를 저체온이라 하고 이와 같은 상황에서는 대사·호흡·순환기능에 장애를 일으키고 죽음에 이르게 된다.

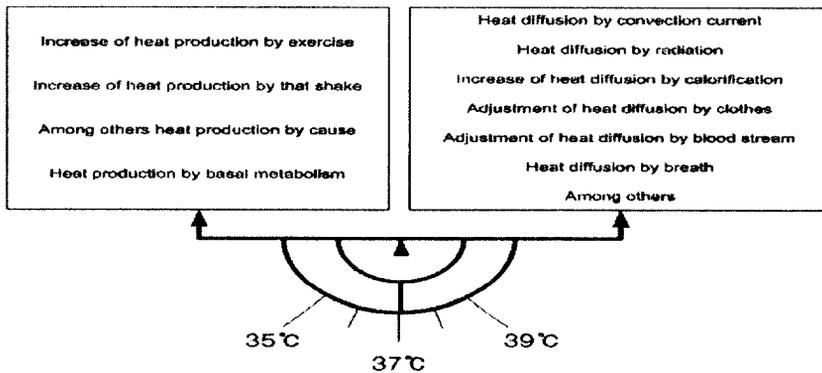


Figure 2.7 Balance of body heat production course heat diffusions

Table 2.3 Skin temperature different skin state

Skin Temperature	Skin state
More than 45°C	Fast damage of skin formation
43°C ~ 41°C	Catch a fever
41°C ~ 39°C	Cause ache
39°C ~ 35°C	Feel hot weather
37°C ~ 35°C	Sense about temperature
34°C ~ 33°C	Comfortable
33°C ~ 32°C	Comfortable (2~4 met at body activity)
32°C ~ 30°C	Comfortable (3~6 met at body activity)
31°C ~ 29°C	Feel comfortable coldness
25°C (Body part)	Loss of skin sensation
20°C (hand)	Uncomfortable cold sense
15°C (hand)	Excessive cold sense
5°C (hand)	Cold sense that cause ache

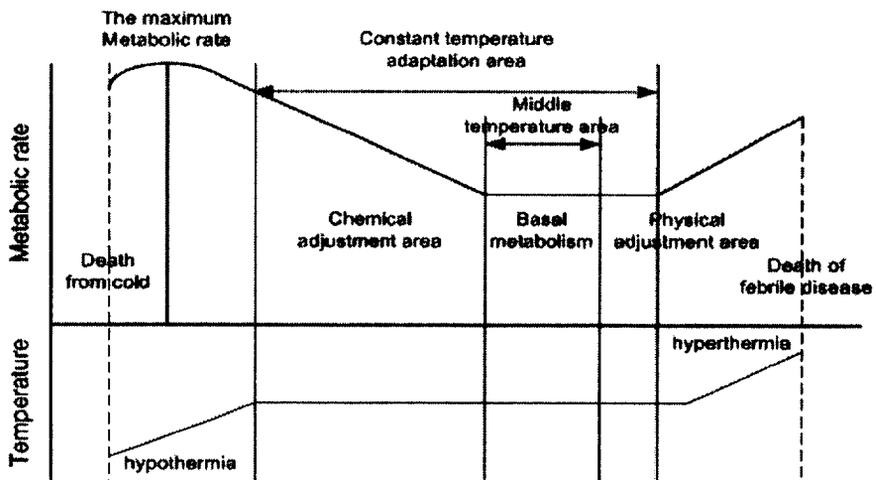


Figure 2.8 Effect of environment temperature and body temperature

2.4 인체와 주변환경과의 열교환

2.4.1 인체와 온열환경의 열교환

인체는 자신의 체온조절기능을 이용하여 외부의 상태에 대응하여 체내에 대해 산열과 주위환경으로의 방열의 평형을 유지하여 체온을 일정하게 유지한다. 체내의 열 생산은 주로 인체의 대사활동에 의한 열이 발생한다. 인체와 주위의 온열환경과의 사이의 열은 주로 수분증발, 방사, 대류, 전도 등에 의해 이루어지거나 그 외의 불감증산, 호흡, 음식섭취 등에 의해 생산된다. 인체는 열 생산과 열 방산의 평형에 따라 덥다·춥다 혹은 쾌적하다·불쾌하다는 온열감이 발생한다. 이와 같이 환경과 인체 사이의 열평형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

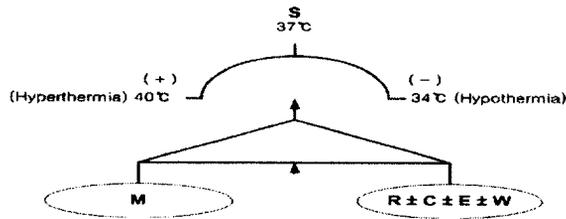


Figure 2.9 Beat load rate of human body

$$M = \pm R \pm C \pm E \pm W + S \quad (2.1)$$

각 경로별 열량의 + 값은 방열을 나타내며 - 값은 산열을 나타낸다. 열평형이 성립하는 경우는 $S = 0$ 이 된다.

2.4.2 기초 대사량(Basal Metabolism)

인체 내에 에너지 활동은 열역학 제1법칙을 기준으로 하고 있다. 이 에너지는 한 가지 형태로부터 여러 가지 형태로 변환되어 얻어지거나 소모된다. 일정 조건하에서는 일정한 에너지를 가지고 있으며 이 에너지가 증대하거나 감소하는 것은 주위 에너지의 감소와 증대와 같아진다. 이 기초 대사량은 아침 공복시(소화, 호흡에 의한 에너지 소비가 없는 상태), 정좌상태(외부 일이 없는 상태), 온난화(체온조절을 위한 산열량이 없는 상태)로 인체의 열생산량을 직접 혹은 O_2 소비량으로부터 간접적으로 측정 된다. 이것은 생명을 유지하기 위해서는 필요한 최소한의 기초적인 에너지량으로 생각할 수 있으며 이것을 기초대사량(basal metabolism)이라고 한다.

Table 2.4 Change of basal metabolism(kcal/body surface area m²/hr)

Age	Male	Female	Age	Male	Female	Age	Male	Female
0	51.1	49.5	9	49.1	45.9	18	38.8	35.9
1	58.0	55.0	10	47.7	45.0	19	38.2	35.3
2	59.0	55.8	11	46.5	44.2	20	37.7	34.7
3	57.8	55.1	12	45.3	43.2	20~29	37.0	34.0
4	56.4	53.4	13	44.3	42.0	30~39	36.7	33.4
5	54.9	51.7	14	43.4	40.4	40~49	35.9	32.4
6	53.4	49.9	15	42.1	38.5	50~59	34.7	32.0
7	51.9	48.5	16	40.8	37.3	60~69	33.9	31.6
8	50.5	47.2	17	39.5	36.6	70~	32.6	31.3

기초 대사량은 일반적인 체표면적에 비례하며 열방산에 대응하여 열생산이 일으켜지는 것을 말한다. 본 논문에서는 미국이나 유럽인에 비해 일본인에 대한 측정식이 한국인에게 타당할 것으로 생각되며 일본인의 성인남자의 평균체표면적은 1.6m²으로 1일 약 1400kcal, 성인여자의 평균체표면적은 1.4 m²으로 1일 약 1150kcal이 기초 대사량의 기준값이다.

일반적인 생활을 하는 성인의 1일 에너지 소요량은 여자가 약 2000kcal, 남자가 약 2500kcal 이다. 체표면적 측정식은 미국인 및 유럽인(DuBois, 1916)의 측정식(식 2.2)과 일본인(Takahira, 1981)의 측정식(식 2.3)으로 다음과 같다.

$$A_D = 0.202 \cdot m^{0.425} \cdot H^{0.725} \quad (2.2)$$

$$A_D = 0.204 \cdot m^{0.425} \cdot H^{0.725} \quad (2.3)$$

2.4.3 대류에 의한 현열교환

대류에 의한 현열 C는 인체주위의 온열환경 조건인 기온 및 기류조건외 영향을 받는다. 나체의 경우 다음 식으로 나타난다.

$$C = h_c(t_s - t_a) \quad (2.4)$$

2.4.4 방사에 의한 현열교환

방사에 의한 현열 R은 인체주위의 온열환경 조건인 온도 및 방사열의 영향을 받는다. 나체의 경우 Stefan-Boltzman 법칙에 의해 다음 식으로 나타낸다.

$$R = \sigma \cdot \varepsilon (T_s^4 - T_r^4) \text{Feff} \quad (2.5)$$

착의상태의 경우에는 체내에 생산되어진 피부표면에 의해 의복을 통과하므로 통과하는 열량 Q는 의복표면으로부터 대류 C 및 방사 R에 의해 외부로 방산되어지므로 다음 식으로 나타낸다.

$$C + R = h_r(t_{cl} - t_r) + h_c(t_{cl} - t_a) \quad (2.6)$$

총괄열전달계수($h=h_r+h_c$)로 정하면 식(2.6)을 다음 식으로 변환할 수 있다.

$$C + R = h[t_{cl} - (\frac{h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_a}{h})] \quad (2.7)$$

일반적으로 식($\frac{h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_a}{h}$)을 작용온도 t_o 로 나타내면 식(2.7)을 다음

식으로 변환할 수 있다.

$$C + R = h[t_{ci} - t_o] \quad (2.8)$$

2.4.5 수분 증발에 의한 열량교환

수분 증발에 의한 방산열량 E는 인체주위 온열조건인 기온, 습도, 기류속도의 영향을 받는다. 실제의 수분증발 방산열량은 체중감소량으로 산출한다.

$$E = (\Delta W \times L_{ts})/A_D \quad (2.9)$$

식 (2.9)으로 구해진 수분 증발에 의한 방산열량 E는 피부로부터의 수분 증발 방산열량 E_{sk} 및 호흡으로부터의 수분 증발 방산열량 E_{res} 으로 나눌 수 있다.

$$E = E_{sk} + E_{res} \quad (2.10)$$

$$E_{res} = 0.0023M(44 - P_a) \quad (2.11)$$

$$E_{sk} = \left[\frac{\Delta W \times L_{ts}}{A_D} \right] - 0.0023M(44 - P_a) \quad (2.12)$$

착의상태에 의한 피부표면으로부터의 최대 수분 증발에 의한 방산열량 (E_{MAX})는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_{MAX} = 2.2h_c \cdot F_{pcl}(P_{sk} - P_a) \quad (2.13)$$

식 (2.12)과 식 (2.13)에 의해 젖음면적을 w 을 계산할 수 있다. 이것은 신체표면이 실제로 어느 정도 포화되었는가를 나타내며 발한의 정도를 나타내는 중요한 지표로 사용된다.

$$w = E_{sk} / E_{MAX} \quad (2.14)$$

2.5 뇌파와 심전도

2.5.1 뇌파(Electroencephalogram; EEG)

뇌파는 대뇌 피질에 있는 수많은 신경 세포의 활동 전위의 총화를 기록한 것이다. R. Caton(1875)은 동물의 뇌에서 최초로 전기 현상을 기록하였으나 인간의 뇌에서 최초로 전기 현상을 기록한 사람은 Hans Berger(1929)이다. 단순히 '뇌파'라고 할 때는 대뇌피질의 수많은 신경망(neuron)의 총괄적인 활동을 대상으로 이를 두피에 장착한 전극을 사용해서 기록하는 두피상 뇌파(scalp EEG)를 가리킨다. 두피상 뇌파에서 관찰되는 것은 주로 대뇌 피질의 전기 활동이다. 뇌에서 발생하는 전기 활동은 매우 작은 수 $10\mu V$ 의 미소 단위이기 때문에 강력한 증폭기가 필요하다.

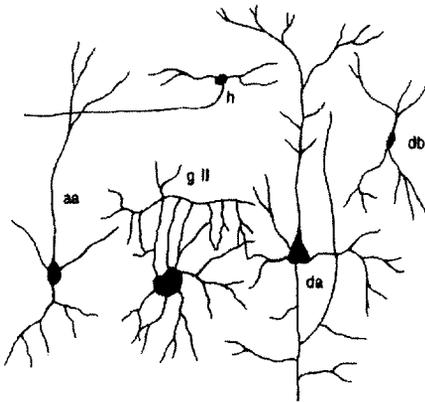


Figure 2.10 Neuron's basis form

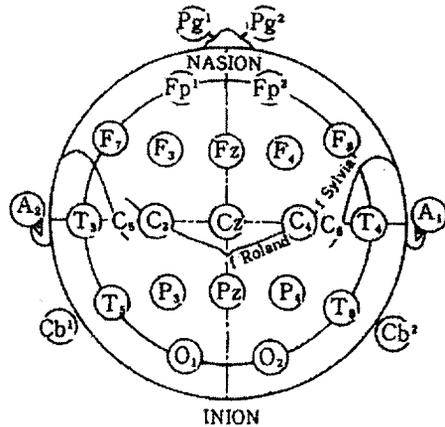


Figure 2.11 Electrode arrangement law

뇌파는 일반적으로 주파수(리듬)에 따라서 0.5~3.5 Hz 대역을 델타(δ)파, 4~7 Hz 대역을 세타(θ)파, 8~13 Hz 대역을 알파(α)파, 14 Hz 대역을 베타(β)파로 분류하고 있다. 각성 안정시의 뇌파는 20~70 μV 의 진폭을 가진 알파(α)파이고, 그 주파수는 연령과 함께 증가하여 대개 초등학교 시절에 그 개인의 유형이 정착되어 일생 동안 지속된다. 성인의 경우는 두정엽과 후두부에서의 진폭이 크고 전두엽에서는 작다. 이것은 두정엽과 후두부의 세포밀도가 크기 때문이다. 또 알파(α)파는 눈을 감고 안정된 상태에서 출현하지만 놀라거나 암산 등의 정신 활동에 의해 억제되어 베타(β)파가 된다.

즉 정신 활동 시에는 알파(α)파는 억제되고 진폭이 작은 속파는 나타나는데 베타(β)파가 많은 뇌파를 알파(α)파 억제라고 한다. 따라서 감각 자극을 주면 알파파는 억제되는데, 특히 눈에 광선을 비추면 0.27~0.5초 후에 뚜렷한 억제가 나타난다. 그리고 단지 속셈을 시켜 주위를 집중시키기만 해도 억제된다. 즉 알파(α)파의 억제가 주의 집중이라는 생리적인 표현이라 할 수 있다.

베타(β)파는 알파(α)파보다 짧은 주기를 가진 뇌파 성분의 총칭이다. 알파(α)파가 두정엽과 후두부에서 강하게 발달하는 반면에 베타(β)파는 중심 후회보다 앞부분으로 일반적으로 모든 자극에 의해 억제되지만 오히려 베타(β)파는 현저하다. 그것은 알파(α)파가 억제되기 때문에 베타(β)파가 나타나기 쉽기도 하지만 베타(β)파의 성분도 우세해지기 때문이다. Berger(1929)는 알

파(α)파를 안정파, 베타(β)파를 활동파라고 지칭하였다.

세타(θ)파는 Walter에 의해 명명되었는데 4~5세의 소아기에 나타나 성인이 되면 줄어든다. 그러나 일반 성인기가 되어도 두정엽 또는 측두엽에서 관찰되기도 한다. 세타(θ)파의 특징은 정동 상태에 관계하는 뇌의 활동을 나타내는 것이다. 정동 활동을 나타내기 쉬운 성인과 유아의 출현하는 비율이 높고 불쾌감이나 낙담 등의 심리 상태가 쉽게 나타난다.

델타(δ)파는 신생아와 유아, 정상 성인의 수면 시에 보이는 뇌파이다. 그러나 유아기에는 각성 시에도 출현한다. 따라서 신생아와 유아의 델타(δ)파는 성인의 알파(α)파에 대응하는 것이다.

뇌파의 기록은 캐나다의 Jasper(1959)로부터 제창된 국제뇌과학회의 표준화된 10~20전극배치법(ten-twenty electrode-system)을 사용한다.

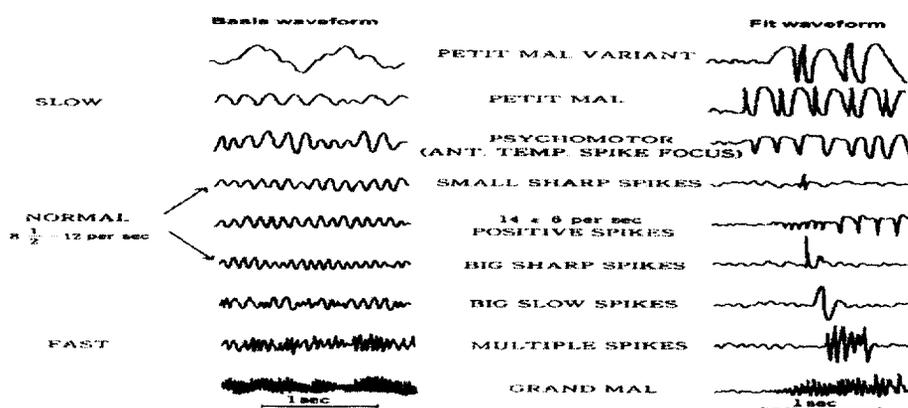


Figure 2.12 Kind of brain waves

Table 2.5 Characters and classification transformations of EEG

Kind	Frequency	Characteristic
δ wave	0.5~3.5 Hz	Appear in sucking child, infant Appear to slept adult Appear when eye blinks Appear in cerebral tumor, consciousness obstacle
θ wave	4~7 Hz	Appear often to child In the case of adult, happen to very small amplitude Appear in cerebral tumor, consciousness obstacle
α wave	8~13 Hz	Appear to adult Awakening, stability, state that close eye Stable frequency
β wave	More than 14 Hz	Amplitude is small mostly Disquietude, Spiriting, Sense stimulation Uncertain and fretful state

2.5.2 심전도(Electrocardiogram; ECG)

사람의 심장은 혈액을 폐에서 전신으로 운반하는 역할을 한다. 이와 같은 심장의 박출량(stroke volume)은 1회에 70ml 정도이며 1분간 약 5ℓ, 1일 7t 정도 운반한다. 사람의 심장은 단순한 기능적인 펌프가 아니라 생활에 있어 여러 가지 상태와 요구에 의해 혈액을 공급한다. 이와 같이 심장의 운동을 관찰하는 것으로 심장을 사이에 둔 체표면에 전극을 놓고 심장의 활동을 전기적으로 기록한 것이 심전도(electrocardiogram)라고 한다.

심전도는 심근(myocardium)의 전기적 탈분극(depolarization) 및 재분극(repolarization)에 의해 발생하는 전위변화를 총칭하며 정상적으로 전기적 자극이 심장을 통하여 전도되기 때문에 심장은 분당 약 60~100회 수축된다. 각 수축은 1회 심박동수로 나타낸다.

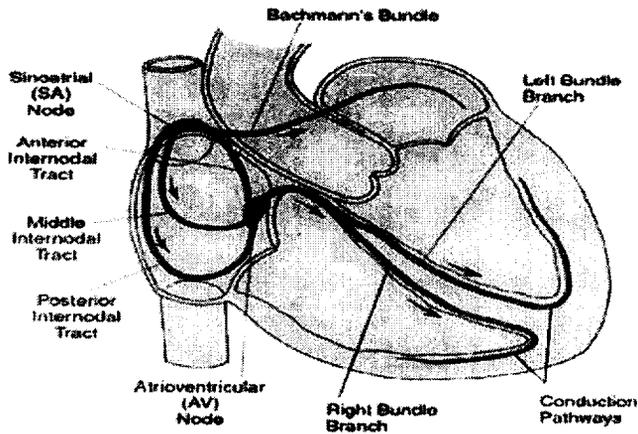


Figure 2.13 The electrical system of the heart

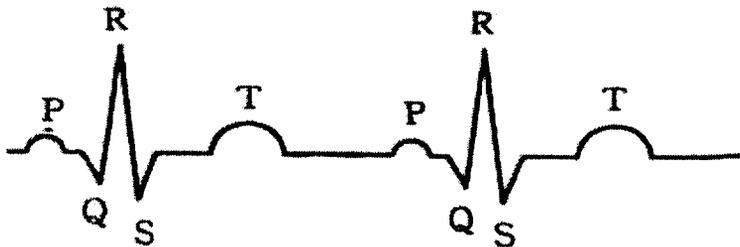


Figure 2.14 Electrocardiogram waveform

심장의 심박 변화의 정도를 HRV라 정의하며 심전도신호를 이용한 HRV의 검출은 자율신경계 활동을 정량화할 수 있는 비침습적 측정기법으로 인정받고 있다. 심전도상의 R 파간 시간 간격의 연속적인 변이 추세를 시계열 데이터로 재정리한 것을 HRV 파형이라고 하며, 이를 처리하는 방법으로는 크게 시간 영역 해석, 주파수 영역 해석, 그리고 비선형 동역학적인 해석으로 나눌 수 있다. 이중 주파수 영역 해석을 통하여 관찰하는 분석기법은 교감신경과 부교감신경의 자율기능을 관찰하는 가장 신뢰도 높은 방법으로 알려지게 되었다.

HRV분석을 통한 자율신경계의 활동성 관찰에 관한 연구는 최근 활발한 움직임을 보이고 있는데, 특히 마취심도의 평가에 대한 객관적인 지표를 얻고자 자율신경계의 반응 정도를 HRV 스펙트럼 분석을 통하여 정량적으로 관찰하고자 하는 연구들이 수행되고 있다. HRV 분석에는 시간영역상의 분석법과 주파수 영역 상에서 이루어지는 분석법의 두 가지 방법이 사용되고 있으나 주파수 영역상의 방법인 PSA(power spectral analysis)기법이 유효한 방법으로 알려져 왔다. 특히 최근에는 PSA의 비침습적 특성이 동물실험과 임상적용 등에 그 유용성을 제공하고 있는데, 이는 자율신경계가 주파수에 종속적인 방법으로 심박을 변조시킨다는 사실에 근간을 두고 있다. 가령 연령이 증가함에 따라 R 파간 시간 간격의 변화가 둔화된다는 사실은 HRV의 PSA 기법을 통하여 이미 밝혀진 바 있는 일례라 하겠으며, 고혈압환자의 자

울신경계의 긴장도를 정량화 하여 수술이나 마취 등의 자극이 주어졌을 때에 그 반응 정도를 미리 예측하고자 하는 연구라든지 심혈관계에 작용하는 약물이 자율신경계에 미치는 영향을 정량적으로 관찰하고자 하는 연구들은 HRV를 기반으로 하여 수행된 PSA 기법의 유용성을 입증하는 예들이라고 하겠다. 그리고 Hales는 R 파간 시간 간격의 주기적인 변화가 호흡주기와 관련된 것으로 보고하고 있으며, Mayers는 R 파간 시간간격이 0.1~0.15Hz의 주파수, 즉 분당 6~9회의 변이 폭을 보이고 있음을 보고하였다. 또한 Burton²¹⁾은 0.04~0.08Hz의 주파수, 즉 분당 2~5회의 변화를 보이고 있다고 발표하였다. R 파간 시간 간격 변이 정도에 대하여는 이후에도 여러 학자들에 의해서 보고되어진 바 있으며, 이는 대략적으로 VLF(very low frequency, 0.04~0.08Hz), LF(low frequency, 0.04~0.15Hz), MF(mid frequency, 0.08~0.15Hz) HF(high frequency, 0.15~0.4Hz)의 세 가지 주요한 주파수 대역으로 구분된다. 이들은 주파수 대역별로 생리학적 의미를 달리하며, 체온조절에 의한 renin-angiotensin계의 활동성과 관계가 있고, LF 성분은 압수용체 반사(baroreceptor flex)와 관계가 있고 MF 성분은 야간에서의 심박변이에서는 큰 영향이 없으나, 주간 심박변이에서 큰 차이를 보이고 있고, HF 성분은 호흡주기와 일치하는 것으로 보고 된 바 있다.

Table 2.6 Classification of frequency characteristic (ECG)

Parameter	Unit	Description	Frequency range
Analysis of short recording (5min)			
Total power	ms ²	The variance of NN intervals over the temporal segment	≈0.4Hz
VLF	ms ²	Power in VLF range	0.04~0.08Hz
LF	ms ²	Power in LF range	0.04~0.15Hz
LF norm	nu	LF power in normalized units LF / (total power - VLF)	.
MF	ms ²	Power in MF range	0.08~0.15Hz
HF	ms ²	Power in HF range	0.15~0.40Hz
HF norm	nu	HF power in normalized units HF / (total power - VLF).100	.
HF/LF		Ratio HF/LF	.

2.6 온열환경지표

2.6.1 유효온도(Effective Temperature)

유효온도는 1923년 C. P. Yaglou에 의해 온도, 습도, 기류 3가지의 온열요소의 조합으로 더위·추위의 감각을 온도의 척도로 표시하는 것을 제안하였다. 이 지표는 계측기에 의한 것이 아니라 다수의 피험자에 의한 주관적 판단에 기초한 것이다. 실험은 같은 구조를 가진 2개의 실험실을 이용하여 한 쪽에는 습도 100%, 기류 0m/s로 하여 온도 조절이 가능하게 하였다. 또 다른 한쪽은 온도, 습도, 기류가 임의로 변화되게 하였다. 그리고 피험자가 양쪽 실험실에 같은 온열감각을 받을 때의 온도를 유효온도라 한다.

유효온도에 의한 일반적인 착의상태에 가벼운 작업을 하는 사람의 쾌적 범위로 겨울철에는 온도 17.2~21.7℃, 습도는 30~70%이며 여름철에는 온도 18.9~23.9℃, 습도는 30~70%이다.

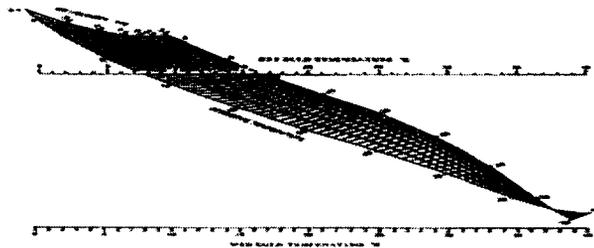


Figure 2.15 Effective temperature of typical indoor clothing condition

2.6.2 불쾌지수(Discomfort Index)

불쾌지수는 1959년 미국의 기상청이 기상예보에 최초로 사용하였으며 광범위하게 사용되고 있다. 기류를 0m/s로 한 조건에 온도와 습도만을 이용한 유효온도를 근사적으로 나타낸 것이다. 불쾌지수를 건구온도와 습구온도에 의해 식으로 정의할 수 있다.

$$\text{Discomfort Index} = (\text{DBT} + \text{WBT}) \times 0.72 + 40.6 \quad (2.15)$$

불쾌지수와 체감과의 관계는 75이상일 때 “약간 덥다”, 80이상일 때 “더워 땀이 난다”, 85이상이면 “매우 덥다”를 나타낸다. 가까운 일본의 경우 불쾌지수가 72에 9%, 77에 65%, 85에 93%의 사람이 불쾌감을 느낀다고 한다.

2.6.3 신표준유효온도(Standard New Effective Temperature)

신표준유효온도는 표준착의락의 재실자가 실제의 환경에서와 같은 현열손실(피부온도)과 잠열손실(피부젖음률)을 경험하게 되는 기류속도 0.1m/s, 상대습도 50%인 표준조건하에서 균일한 열환경(기온 = 주위 벽면온도)의 온도로 정의된다. 이것은 온열환경에 있어서 사람의 체온조절 시스템을 생리학 등에 의해 얻어진 데이터에 기초해서 수학적으로 모델화해 산출한 것으로, 온도의 차원을 갖는다. 이 SET*을 사용하면, 여러 가지 조건의 실내환경을

가상 공기온도이기는 하나 단일변수에 의해 비교 평가될 수 있으며, 또한 공기온도라는 우리에게 친숙한 물리량을 척도로 사용하기 때문에 실내 온열환경의 양상이 쉽게 이해될 수 있다.

$$SET^* = t_{so}' + \left(\frac{wh_{es}}{h_s} \right) (P_{so} - 0.5 P_{SET} \cdot s) \quad (2.16)$$

2.6.4 작용 온도(Operative Temperature)

1937년 Gagge 등에 의해 제안되었으며, 인체와 환경 사이의 열교환에 기초를 두어 기온, 기류, 복사열의 영향을 이론적으로 종합한 것으로 대류에 의한 열전달률과 복사에 의한 열전달률에 의해 기온과 평균복사온도를 가중 평균한 값이며, 계산식은 다음과 같다. 작용온도는 미국기준인 ANSI/ASHRAE Standard 55-1992에서 쾌적 범위를 나타내는데 사용되고, 국제 기준인 ISO-7730에서도 쾌적범위를 알기 쉽게 표현하는데 사용된다.

$$OT = \frac{a_c \cdot t + a_r \cdot MRT}{a_c + a_r} \quad (2.17)$$

2.6.5 예상온열감(Predicted Mean Vote)

1967년 Fanger에 의해 제시된 예상온열감은 인간의 온열감각에 대한 이론

을 정량화시킨 것이다. 인체의 대사율, 의복의 열저항값 등을 산정하고 건구 온도, 평균복사온도, 기류속도 및 수증기 분압 등을 측정하여 인체의 열평형을 기초로 한 쾌적방정식에 대입하여 인체의 온열감을 이론적으로 예측한 것이다. 즉, PMV는 온열환경 6가지 요소를 쾌적방정식에 대입시켰을 때의 발산열량과 방열량의 불평형분(인체 열부하)과 사람의 온열감각을 피험자실험에 의해 연관시켜 지위 나타내는 지표로서, PMV값을 열적 중립상태를 0으로 하고 -3 ~ +3의 수치척도를 각각 춥다(cold), 서늘하다(cool), 약간 서늘하다(slightly cool), 중립(neutral), 조금 따뜻하다(slightly warm), 따뜻하다(warm), 덥다(hot)로 나타내며, 아래에 PMV식과 적용범위를 나타냈으며, 사용범위는 $PMV = -3 \sim +3$ 이다.

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303e^{-0.36M} + 0.028)[(M-W) - 3.05 \times 10^{-3} \\
 & \times \{5733 - 6.99(M-W) - P_a\} - 0.42 \times (M-W) - 58.15] \\
 & - 1.7 \times 10^{-5M}(5867 - P_a) - 0.0014M \times (34 - t_a) \\
 & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \{ (t_{cl} + 273)^4 - (t_a + 273)^4 \} \\
 & - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

2.6.6 예상불만족감(Predicted Percentage of Dissatisfied)

PMV는 같은 환경에 처해 있는 많은 사람의 열적반응 평균치를 나타낸 것

이다. 그러나 각각의 응답은 평균치 근처에 분산된 것으로 더운 사람과 추운 사람의 수를 아는 것도 중요하다. 예상불만족률은 어느 환경에 놓여진 사람들의 불만족률을 나타낸 것으로, 몇 명의 사람이 온열적으로 불만을 느끼고 있는가를 나타낸다. 그리고 이것은 앞서 언급되었던 예상온열감과 연관되어 뛰어난 지표로 활용되고 있다.

$$PPD = 100 - 95 \exp [-0.03353PMV^4 - 0.2179PMV^2] \quad (2.19)$$

ISO 7730에서는 Figure 2.5에 나타난 것처럼 PMV, PPD의 값으로서 $-0.5 < PMV < +0.5$, $PPD < 10\%$ 를 권장하고 있지만, $PMV = 0$ 에서도 5%의 불만족자가 있음을 예측할 수 있다. PMV는 다른 온열지표와 달리 직접 감각량을 표시하기 쉬우며, 또한 PPD에 의해 불만족율을 간단하게 예측할 수 있기 때문에 광범위하게 사용되는 온열환경 지표이다.

2.7 대사량과 의복량

2.7.1 대사량

인간은 체내의 산열과 체외의 방열이 같아질 때 체온이 일정하게 유지하고 산열은 인체가 섭취하는 영양소인 탄수화물, 지방, 단백질이 산화할 때 발생한다. 성인이 1일 대사하는 열에너지는 약 2500kcal(10500kJ)이며 일반적인 사무를 볼 때는 1500kcal(6300kJ)의 대사량을 가지게 된다. 또한 사람의 활동이나 작업의 강도는 그 당시의 대사량으로 나타낼 수 있으며 일반적인 단위체표면적에 대한 단위시간의 비를 뜻한다. 일반적인 의자에 앉아 편안히 쉬고 있을 때의 대사량은 $58.2\text{W}/\text{m}^2 (=50\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 이다. 이 대사량은 표준적인 체격의 성인으로 생각할 수 있으며 한사람에 대한 값을 100W 전구 1개분에 상당할 수 있다. 이 대사량을 기준단위로 하여 여러 가지 작업에 대한 대사량은 이 비율로 나타내 수 있으며 이 비율을 대사량(혹은 활동량)이라 한다. 대사량의 단위는 Met로 나타내며 1met의 값은 의자에 편안하게 앉아 있는 상태로 대사량은 $58.2\text{W}/\text{m}^2$ 이다.

$$\text{대사량[Met]} = (\text{작업시의 대사량}[\text{W}/\text{m}^2]) / (\text{편안한 상태의 대사량}58.2[\text{W}/\text{m}^2])$$

(2.20)

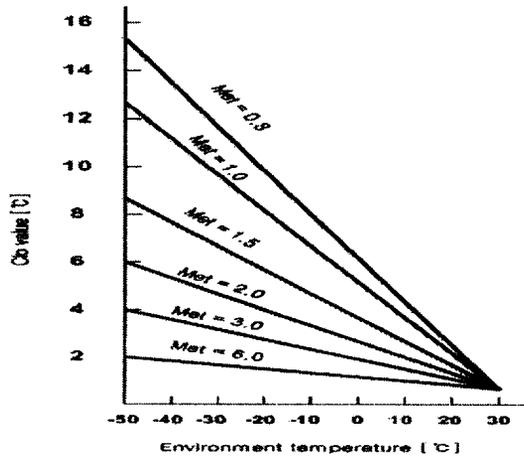


Figure 2.16 Clo and Met about environment temperature

Table 2.7 Met value by activity(ISO 7730)

Activity	Metabolic rate	
	$Wm^2 \cdot ^\circ C$	Met
Reclining	46	0.8
Seat, relaxed	58	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
Sedentary activity (Office, dwelling, school, laboratory)	70	1.2
Standing activity (Shopping, laboratory, light industry)	93	1.6
Standing activity (Shop assistant, domestic work, machine work)	116	2.0
Medium activity (heavy machine work, garage work)	165	2.8

N) ISO, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, ISO 7730

Table 2.8 Met value by activity(ASHRAE Handbook)

Activity	Metabolic rate	
	Wm' · °C	Met
Stable state		
Sleep	40	0.7
A rest in chair	45	0.8
Sedentary activity	60	1.0
Standing activity	70	1.2
When do walk		
3.2km/h	115	2.0
4.8km/h	150	2.6
6.4km/h	220	3.8
When conduct company business work		
typewriter	65	1.1
Filing(Sedentary activity)	70	1.2
Filing(Standing activity)	80	1.4
Office transfer	100	1.7

N) ASHRAE : ASHRAE Handboo of Fundamentals, 1993 8)

2.7.2 의복량

겨울철 두꺼운 옷을 입을 경우 체내에는 발생하는 열은 필요이상으로 외부로 방출되지 못하는 경우로 이와 같은 착의상태가 열을 차단하는 역할을 하는 것을 열저항이라고 한다. 이 착의상태의 열저항의 값을 나타내는 단위로 clo값이 사용되며 인체표면적에 대한 열저항을 $1[\text{clo}] = 0.155[\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}]$ 로 나타낸다.

원래 clo 단위는 1941년 미국의 Gagge가 제안 한 것으로 clo는 인간이 생리적·심리적으로 쾌적함을 유지할 수 있는 피복의 단열성능으로 정의하였

다. 의자에 앉아서 안정된 상태의 성인남자가 실온 21℃, 상대습도 50%이하, 풍속 0.1m/s 이하의 실내에서 더위 또는 추위를 느끼지 않는 쾌적항 상태의 의복 단열성능이 1 clo이다. 의복량은 온도측정에 의한 방법, 의복중량에 의한 방법, 의복단품 가산에 의한 방법으로 구할 수 있으며 다음식과 같다.

온도측정에 의한 방법

$$I_{clo} = (1 / 0.155 \cdot h)(t_{sk} - t_s) / (t_s - t_o) \quad (2.21)$$

의복중량에 의한 방법

남성의복의 경우($W \leq 3000g$)

$$I_{clo} = 0.00058 W + 0.068 \quad (2.22)$$

여성의복의 경우($W \leq 2000g$)

$$I_{clo} = 0.00103 W + 0.025 \quad (2.23)$$

의복단품 가산에 의한 방법

남성의복의 경우(총합산값이 1clo 이하)

$$I_{clo} = 0.708 \sum I_{clo,i} + 0.052 \text{ [clo]} \quad (2.24)$$

여성의복의 경우(총합산값이 1clo 이하)

$$I_{clo} = 0.828 \sum I_{clo,i} + 0.013 \text{ [clo]} \quad (2.25)$$

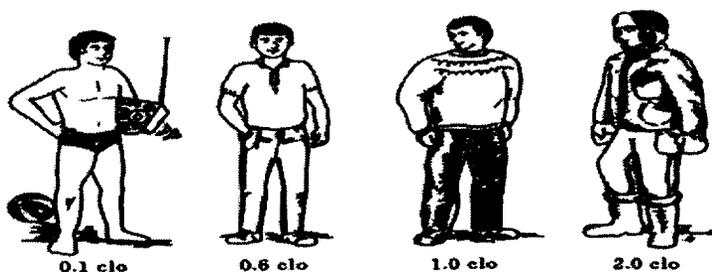


Figure 2.17 General clothes state of clo value

Table 2.9 General clothes state of clo value

Clothing ensembles	I_d	
	clo	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
Underpants, Shirt with short sleeves, light trousers, light socks, shoes	0.50	0.080
Underpants, petticoat, shirt, skirt, thick knee-socks, shoes	0.60	0.095
Panties, petticoat, shirt, thick knee-socks, shoes	0.80	0.120
Panties shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1.00	0.155
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermo jacket, socks, shoes	1.25	0.190
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, vest, jacket, coat, socks, shoes	1.50	0.230
Underwear with long sleeves and legs, thermo jacket, trousers, Parca with heavy quilting, overalls with heavy quilting, socks, shoes, cap, gloves	2.55	0.395

N) quoted from Tanabe

Table 2.10 General clothes state of clo value

Clothing ensembles	I_a	
	clo	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
Nude	0	0
Shorts	0.10	0.015
Typical tropical clothing ensemble (briefs, shorts, open-neck shirt with short sleeves, <u>light socks and sandals</u>)	0.30	0.045
Light summer clothing (briefs, long light-weight-trousers, open-neck shirt with short sleeves, <u>light socks and shoes</u>)	0.50	0.080
Light working ensemble (light underwear, cotten work shirt with long sleeves, <u>work trousers, woollen socks and shoes</u>)	0.70	0.110
Typical indoor winter clothing ensemble (underwear, shirt with long sleeves, trousers, jacket or sweater with long sleeves, <u>heavy socks and shoes</u>)	1.00	0.160
Heavy traditional European business suit (cotten underwear with long legs and sleeves, shirt suit including trousers, jacket and waistcoat, <u>woollen socks and heavy shoes</u>)	1.50	0.230

N) ISO, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, ISO 7730

제3장 기류 및 온도별 인체순응에 따른 온열쾌적성 변화

3.1 실험 배경 및 목적

여름철 일반적인 패케이지 에어컨 사용형태는 에어컨을 가동하는 사람의 온열 쾌적 상태에 따라 개인의 선호 기류 및 온도로 냉방을 실시하며 중앙 공조는 권장 설정기류 및 온도 또는 중앙 조정실 작동자의 임의 설정에 따라 운전을 한다. 이와 같이 고정된 기류 및 온도로 냉방을 지속할 경우 실내에 거주하는 사람들은 냉방 초기 온열 쾌적 상태를 유지하지만 시간이 지나 냉방 후기로 갈수록 점차 불쾌감을 느끼게 되며 신체적 몸 상태는 불균형을 유발하여 냉방병 및 기타 질환을 유발한다. 또한, 낮은 온도로 냉방을 지속할 경우 여름철 과도한 전력 사용으로 에너지 낭비의 원인이 되고 있다.

따라서 본 실험에서는 냉방 초기의 온열 쾌적 상태를 냉방 후기까지 지속하기 위해 기류 및 온도별 인체 온열 쾌적성 변화를 파악하고자 한다. 또한, 인체가 쾌적영역 상태에서 불쾌영역 상태로 이동하는 인체순응시점을 찾고자 한다. 또한, 냉방 시 인체의 온열 쾌적 변화를 통해 인체 순응시점에서 에어컨 제어 요소인 기류 및 온도 변동으로 냉방 후기까지 온열쾌적성을 유지하기 위한 기초 데이터를 확보하고자 한다. 그리고 인체 온열쾌적성 제어를 위해 쾌적감과 온냉감에 상관성이 가장 높은 제어 요소를 찾고자 한다.

3.2 실험장치

실험은 온도 및 습도를 실험조건으로 만들기 위해 항온항습실(4.1m[width] × 4.9m[depth] × 2.7m[height])에서 실시하였다. 실험실 내부의 벽 천정, 바닥은 모두 단열을 하여 기타 온도의 영향을 제외했다. 기류는 일반적으로 사용되고 있는 냉방기구인 패키지 에어컨 실내기를 사용하였으며 피험자들은 에어컨에서부터 3m 떨어진 곳에서 편안한 자세로 독서를 하게 하였다. Figure 3.1은 실험실 개략도를 나타내고 있다.

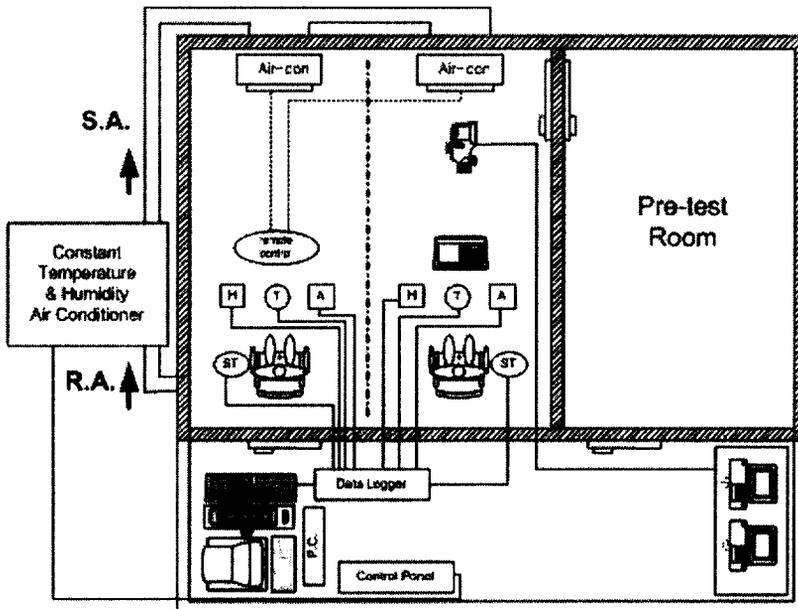


Figure 3.1 Schematic diagram of the environmental chamber

3.3 측정항목 및 방법

실험에서는 여름철 사항을 구현한 전실과 냉방을 하는 실내인 본실로 구분하여 측정하였다. 전실에서는 피험자들의 기초적인 신체사항을 파악하기 위해 설문을 받았으며 건강상태를 파악하기 위해 혈압, 맥박, 고막온도(tympanic temperature), 피부온도를 측정하였다. 그리고 환경측정을 위해 실내온도 및 기류, 습도를 측정하였다. 본 실에서는 설정조건에 대한 평가를 내리기 위해 주관적 평가인 전신온냉감(thermal sensation vote), 쾌불쾌감(comfort sensation vote), 국부온냉감(local thermal sensation vote)의 설문을 받았으며, 평균피부온도(mean skin temperature), 국부피부온도(local skin temperature)를 측정하였다. 또한 환경측정을 위해 실내온도 및 기류, 습도를 측정하였다. 온도측정은 실내공기의 수직분포를 알아보기 위한 열전대 4개와 피험자 피부표면에 부착한 피부표면 온도계측용 열전대 14개(1인당 7개: Hardy & Dubois의 7점법¹⁾)를 사용하여 측정하였다. 인체는 서지칼 테이프를 사용하여 열전대를 부착하였다. 습도 측정을 위해 점도가 높은 습도센서를 사용하였고, 기류는 열선식 풍속계를 사용하여 측정하였다. 모든 측정 데이터는 데이터 기록계를 통해 PC에 매 초 간격으로 저장하였다. Table 3.1은 환경측정과 인체측정의 측정요소를 나타내고 있으며, Figure 3.2는 피부표면에 부착한 피부표면 온도의 측정위치를 나타내고 있다.

1) Hardy & Dubois가 제안한 평균피부온도를 계측하는 방법으로 이마, 팔, 손등, 배, 대퇴, 하퇴, 발등을 이용하여 산출한다.

Table 3.1 Positions of sensors in environmental chamber

Item	Position	Type
Temperature [°C]	Vertical temperature (from floor) (0.1 m, 0.6 m 1.1 m, 1.7 m)	Thermocouple 0.2 mmΦ
	Local skin temperature (head, arm, hand, abdomen, thigh, lower leg, foot)	
Air velocity [m/s]	Center (from floor) 1.1m	Air-velocity sensor
Relative humidity [%]	Center (from floor) 1.1m	Humidity sensor VAISALA

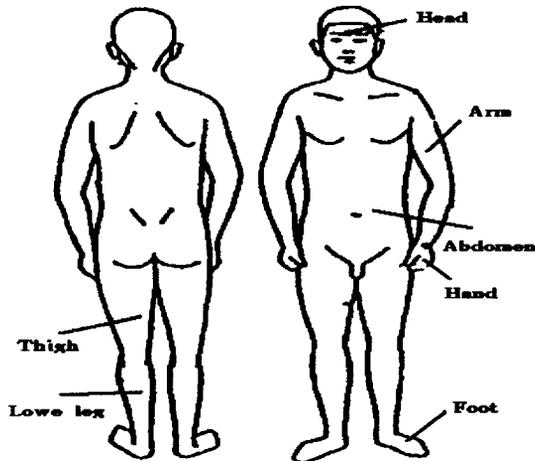
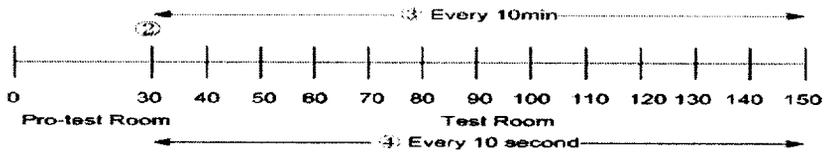


Figure 3.2 Positions of sensors for MST measurement

3.4 실험방법 및 절차

실험조건은 일반적으로 사용되고 있는 패키지 에어컨의 냉방온도인 22℃~28℃의 2℃ 간격으로 변화시켰으며, 기류는 에어컨 실제 기류 0.2m/s~0.6m/s로 실험하였다. 실험은 1회당 2명의 피험자를 참가시켰으며, 본 실험 시작 30분 전에 전실(33℃, 50%)에서 대기시킨 후 본실에 입실시켜 2시간 동안 실험하였다. 실험시간 동안 매 10분 간격으로 피험자의 주관적 설문을 받았다. Figure 3.3은 1회 실험의 진행과정을 나타내고 있으며, 실험조건은 Table 3.2에 나타내었다.



- ① blood pressure measured at wrist and body temperature measured at armpit
- ② enter the chamber
- ③ subjective question of subject
- ④ room air temperature, relative humidity, air-velocity, local skin temperature, mean skin temperature

Figure 3.3 Experimental process

Table 3.2 Experiment condition

Item	Pre-test Room	Test Room
Temperature [°C]	33±0.5°C	22±0.5°C
		24±0.5°C
		26±0.5°C
		28±0.5°C
Air velocity [m/s]	Below 0.15m/s	0.6±0.05m/s
		0.4±0.05m/s
		0.2±0.05m/s
Relative humidity [%]	50±10%	

실험에 참가한 피험자로는 남녀 각 4명으로 하였으며 모든 피험자들은 구강온도 37 °C 이하이고 정상혈압의 건강한 사람들로 구성하였다. 피험자들의 신체적 조건은 Table 3.3에 나타내었으며 피험자의 체표면적(body area)은 Takahira가 일본인을 위해 제안한 식(3.1)을 사용하였다.

$$A = 72.46 \times m^{0.425} \times H^{0.725} \quad (3.1)$$

Table 3.3 Anthropometric data of the subjects

Subjects	Number of subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]	Body area [m ²]	Ponderal index [kg ^{0.33} /m ³]
Female	4	22.5±1.2*	158.9±1.9	49.7±8.2	1.45±0.41	2.14±0.21
Male	4	25.4±0.7	172.5±5.5	61.4±7.3	1.72±0.11	2.25±0.10

* Mean ± S.D.

피험자들은 모두 가능하면 표준적인 착의량으로 맞추기 위해 같은 유니폼을 착용하였다. 의복량을 구하는 방법은 여러 연구자에 의해 제안되어 있으나 본 실험에서는 외국인의 경우와 같은 계산조건으로 비교하기 위해 의복중량으로 clo 치를 계산하는 방법(花田, 三平의 식)을 사용하여 남자 0.35, 여자 0.35로 하였다. 피험자의 대사량은 실험 중 의자에 앉아서 독서 및 가벼운 대화, 설문을 하는 1.1met로 하였다. 의복량을 구하는 식은 식(3.2)~식(3.3)과 같다. 피험자의 설문내용은 설정 환경조건에 대한 피험자의 주관적 판단을 내리기 위한 전신온냉감(thermal sensation vote), 쾌불쾌감(comfort sensation vote), 국부온냉감(local thermal sensation vote)으로 구성하였다. Table 3.4는 주관적 설문 내용을 나타내고 있다. 본 연구에서는 인체가 냉방 초기 쾌적영역에서 점차 불쾌영역으로 이동하는 시점을 인체순응 시점이라고 하였으며 평가기준 Table 3.5와 같다.

Table 3.4 Subjective question of subject

Scale	Thermal sensation vote	Comfort sensation vote	Local thermal sensation vote
3	Hot	Very comfortable	Hot
2	Warm	Comfortable	Warm
1	Slightly warm	Slightly comfortable	Slightly warm
0	Neutral	Neutral	Neutral
-1	Slightly cool	Slightly uncomfortable	Slightly cool
-2	Cool	Uncomfortable	Cool
-3	Cold	Very uncomfortable	Cold

$$\text{clo value (male)} = 0.000558 \times \text{의복의 총중량[g]} + 0.068 \quad (3.2)$$

$$\text{clo value (Female)} = 0.001030 \times \text{의복의 총중량[g]} - 0.0253 \quad (3.3)$$

Table 3.5 Adaptative time of human body

Item	Adaptation time
Thermal sensation vote	When pass value of -1(Slightly cool)
Comfort sensation vote	When pass value of 1(Slightly comfortable)
Mean skin temperature	When pass value of 33℃

본 실험에서는 기류 및 온도 2인자가 온열 쾌적성 평가에 유의한 영향성 파악하기 위해 이원배치법(two-way factorial design)을 사용하여 검증하였다. Table 3.6에서는 선택한 인자와 그 수준을 나타내고 있다.

Table 3.6 Factors and their levels used in experiment

Sign	Factors	Unit	Levels			
			1	2	3	4
A	Air-velocity	m/s	0.6	0.4	0.2	
B	Temperature	℃	22	24	26	28

3.5 결과

3.5.1 기류 및 온도별 인체순응변화

본 실험을 통해 인체가 불쾌를 느끼기 시작하는 인체순응시점으로 기류 0.6m/s의 경우 22℃와 24℃는 입실 후, 26℃는 20분, 기류 0.4m/s의 경우 22℃는 입실 후, 24℃는 30분, 26℃는 40분, 기류 0.2m/s의 경우 22℃는 40분, 24℃는 70분임을 알 수 있었다. 기류 0.6m/s와 0.4m/s에서는 빠른 기류의 영향으로 26℃와 28℃에서 온냉감과 쾌적감에서는 유사한 경향을 보였지만 평균피부온도에서는 명확한 차이를 보였다. Table 3.7~Table 3.9는 기류별 인체순응시점을 나타내고 있으며 Figure 3.4~Figure 3.12는 기류별 시간에 따른 주관적 설문과 평균피부온도의 경시변화를 나타내고 있다.

Table 3.7 Adaptive time of human body (0.6m/s)

Air-velocity	Item	Temperature	Adaptation time
0.6m/s	Thermal sensation vote	22℃	-
		24℃	-
		26℃	10min
		28℃	30min
	Comfort sensation vote	22℃	-
		24℃	-
		26℃	60min
		28℃	50min
	Mean skin temperature	22℃	-
		24℃	-
		26℃	20min
		28℃	-

Table 3.8 Adaptative time of human body (0.4m/s)

Air-velocity	Item	Temperature	Adaptation time
0.4m/s	Thermal sensation vote	22℃	-
		24℃	30min
		26℃	-
		28℃	-
	Comfort sensation vote	22℃	-
		24℃	30min
		26℃	80min
		28℃	-
	Mean skin temperature	22℃	-
		24℃	30min
		26℃	40min
		28℃	-

Table 3.9 Adaptative time of human body (0.2m/s)

Air-velocity	Item	Temperature	Adaptation time
0.2m/s	Thermal sensation vote	22℃	40min
		24℃	70min
		26℃	-
		28℃	-
	Comfort sensation vote	22℃	30min
		24℃	60min
		26℃	-
		28℃	-
	Mean skin temperature	22℃	40min
		24℃	70min
		26℃	-
		28℃	-

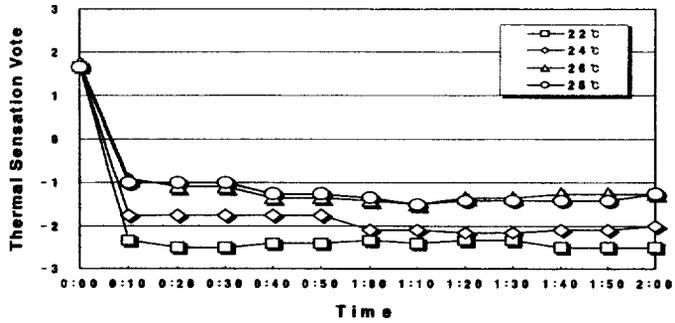


Figure 3.4 TSVs during the 120min test period (0.6m/s)

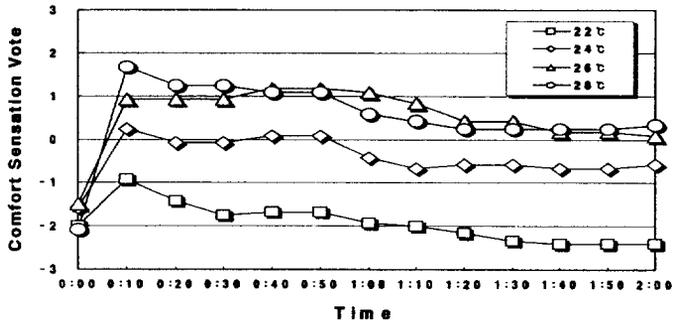


Figure 3.5 CSVs during the 120min test period (0.6m/s)

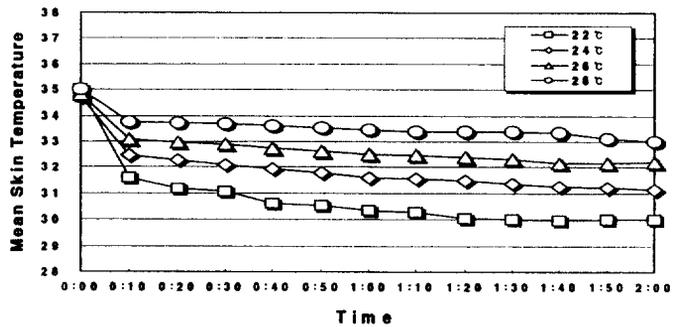


Figure 3.6 MSTs during the 120min test period (0.6m/s)

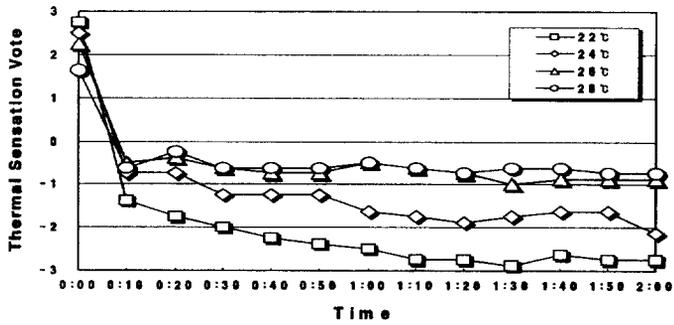


Figure 3.7 TSVs during the 120min test period (0.4m/s)

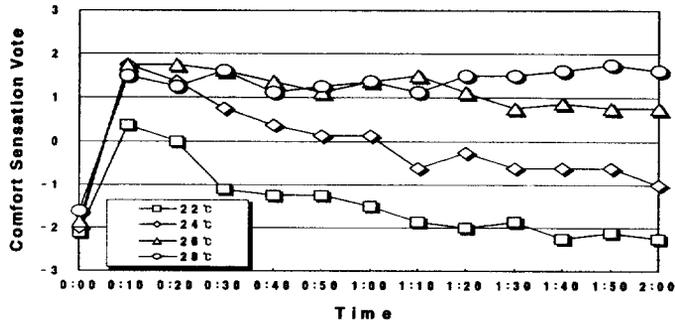


Figure 3.8 CSVs during the 120min test period (0.4m/s)

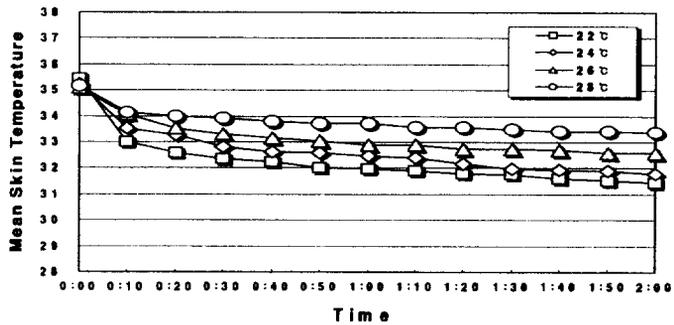


Figure 3.9 MSTs during the 120min test period (0.4m/s)

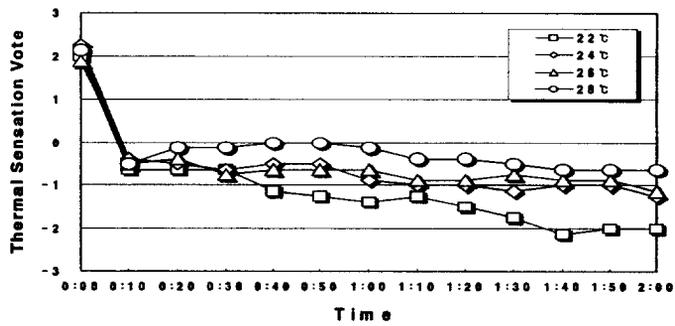


Figure 3.10 TSVs during the 120min test period (0.2m/s)

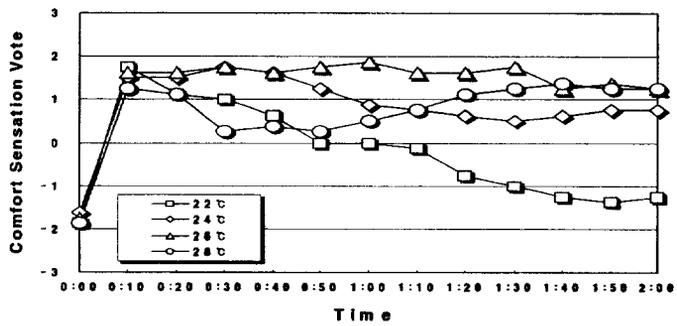


Figure 3.11 CSVs during the 120min test period (0.2m/s)

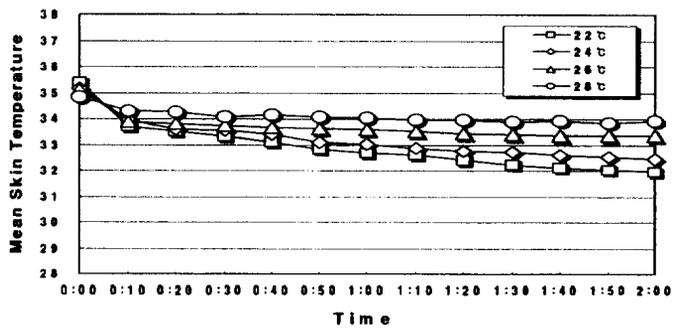


Figure 3.12 MSTs during the 120min test period (0.2m/s)

3.5.2 온열쾌적성 제어를 위한 상관관계

온열쾌적성 평가인 온냉감과 쾌적감을 기준으로 기타 설문 및 피부온도와 의 상관관계를 분석해 본 결과 모든 인자에서 0.01 범위의 유의차를 보였으며 기류별 상관관계가 높은 인자 5개는 Table 3.10~Table 3.12와 같다. 가장 상관성이 높은 인자로 기류 0.6m/s에서 온냉감은 국부온냉감(abdomen), 쾌적감은 국부피부온도(arm)이며 기류 0.4m/s에서는 온냉감은 국부온냉감(hand), 쾌적감은 국부온냉감(arm)이다. 0.2m/s에서는 온냉감은 국부피부온도(foot), 쾌적감은 국부피부온도(arm)로 나타났다. 식(3.4)~식(3.8)은 온냉감과 쾌적감에 대한 회귀식을 나타내고 있으며 Table 3.13~Table 3.15는 유의 수준을 나타낸다. Figure 3.13~Figure 3.24는 기류별 상관관계와 회귀 식의 잔차를 이용한 분산분석의 결과를 나타내고 있다.

$$\text{TSV}(0.6\text{m/s}) = 0.775x_1 - 1.151 \quad (3.3)$$

$$\text{TSV}(0.4\text{m/s}) = 0.843x_3 - 0.375 \quad (3.4)$$

$$\text{TSV}(0.2\text{m/s}) = 0.276x_5 - 9.548 \quad (3.5)$$

$$\text{CSV}(0.4\text{m/s}) = 1.508x_4 + 2.32 \quad (3.6)$$

$$\text{CSV}(0.6\text{m/s}) = 0.834x_2 + -25 \quad (3.7)$$

$$\text{CSV}(0.2\text{m/s}) = 0.965x_6 - 31.723 \quad (3.8)$$

여기서, TSV : Thermal sensation vote

CSV : Comfort sensation vote

x_1 : Local thermal sensation vote (abdomen)

x_2 : Local skin temperature (arm)

x_3 : Local thermal sensation vote (hand)

x_4 : Local thermal sensation vote (arm)

x_5 : Local skin temperature (foot)

x_6 : Local skin temperature (arm)

Table 3.10 Correlation is the biggest 5 factors (0.6m/s)

Air-velocity	Vote	Factor
0.6m/s	Thermal sensation vote	Mean skin temperature
		Local thermal sensation vote(lower leg)
		Local thermal sensation vote(abdomen)
		Local skin temperature(arm)
		Local skin temperature (head)
	Comfort sensation vote	Mean skin temperature
		Local thermal sensation vote(abdomen)
		Local skin temperature(hand)
		Local skin temperature(arm)
		Local skin temperature(abdomen)

Table 3.11 Correlation is the biggest 5 factors (0.4m/s)

Air-velocity	Vote	Factor
0.4m/s	Thermal sensation vote	Local thermal sensation vote(foot)
		Local thermal sensation vote(lower leg)
		Local thermal sensation vote(hand)
		Local thermal sensation vote(arm)
		Local skin temperature(hand)
	Comfort sensation vote	Local thermal sensation vote(foot)
		Local thermal sensation vote(lower leg)
		Local thermal sensation vote(hand)
		Local thermal sensation vote(arm)
		Local skin temperature(hand)

Table 3.12 Correlation is the biggest 5 factors (0.2m/s)

Air-velocity	Vote	Factor
0.2m/s	Thermal sensation vote	Mean skin temperature
		Local thermal sensation vote(foot)
		Local thermal sensation vote(abdomen)
		Local skin temperature(foot)
		Local skin temperature(lower leg)
	Comfort sensation vote	Mean skin temperature
		Local skin temperature(foot)
		Local skin temperature(arm)
		Local skin temperature(abdomen)
		Local skin temperature(hand)

Table 3.13 Descriptive statistics (0.6m/s)

Element	Statistics	TSV	CSV
Mean skin temperature	Correlation coefficient	.906**	.939**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (foot)	Correlation coefficient	.881**	.925**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (lower leg)	Correlation coefficient	.921**	.923**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (thigh)	Correlation coefficient	.803**	.868**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (hand)	Correlation coefficient	.897**	.925**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (arm)	Correlation coefficient	.887**	.893**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (abdomen)	Correlation coefficient	.942**	.936**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (head)	Correlation coefficient	.859**	.809**
	p-value	0	0
Local skin temperature (foot)	Correlation coefficient	.836**	.883**
	p-value	0	0
Local skin temperature (lower leg)	Correlation coefficient	.893**	.888**
	p-value	0	0
Local skin temperature (thigh)	Correlation coefficient	.841**	.876**
	p-value	0	0
Local skin temperature (hand)	Correlation coefficient	.882**	.931**
	p-value	0	0
Local skin temperature (arm)	Correlation coefficient	.940**	.964**
	p-value	0	0
Local skin temperature (abdomen)	Correlation coefficient	.893**	.943**
	p-value	0	0
Local skin temperature (head)	Correlation coefficient	.931**	.910**
	p-value	0	0

* Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

** Correlation coefficient keeps in mind in 0.01 levels (both).

Table 3.14 Descriptive statistics (0.4m/s)

Element	Statistics	TSV	CSV
Mean skin temperature	Correlation coefficient	.893**	.905**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (foot)	Correlation coefficient	.970**	.961**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (lower leg)	Correlation coefficient	.962**	.954**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (thigh)	Correlation coefficient	.919**	.923**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (hand)	Correlation coefficient	.978**	.961**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (arm)	Correlation coefficient	.971**	.967**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (abdomen)	Correlation coefficient	.924**	.919**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (head)	Correlation coefficient	.836**	.838**
	p-value	0	0
Local skin temperature (foot)	Correlation coefficient	.902**	.910**
	p-value	0	0
Local skin temperature (lower leg)	Correlation coefficient	.905**	.914**
	p-value	0	0
Local skin temperature (thigh)	Correlation coefficient	.558**	.569**
	p-value	0	0
Local skin temperature (hand)	Correlation coefficient	.949**	.947**
	p-value	0	0
Local skin temperature (arm)	Correlation coefficient	.795**	.819**
	p-value	0	0
Local skin temperature (abdomen)	Correlation coefficient	.732**	.747**
	p-value	0	0
Local skin temperature (head)	Correlation coefficient	.506**	.526**
	p-value	0	0

** Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

** Correlation coefficient keeps in mind in 0.01 levels (both).

Table 3.15 Descriptive statistics (0.2m/s)

Element	Statistics	TSV	CSV
Mean skin temperature	Correlation coefficient	.917**	.688**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (foot)	Correlation coefficient	.934**	.614**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (lower leg)	Correlation coefficient	.921**	.555**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (thigh)	Correlation coefficient	.912**	.564**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (hand)	Correlation coefficient	.898**	.483**
	p-value	0	0.001
Local thermal sensation vote (arm)	Correlation coefficient	.914**	.529**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (abdomen)	Correlation coefficient	.938**	.612**
	p-value	0	0
Local thermal sensation vote (head)	Correlation coefficient	.690**	.644**
	p-value	0	0
Local skin temperature (foot)	Correlation coefficient	.962**	.683**
	p-value	0	0
Local skin temperature (lower leg)	Correlation coefficient	.938**	.654**
	p-value	0	0
Local skin temperature (thigh)	Correlation coefficient	.336*	0.05
	p-value	0.02	0.737
Local skin temperature (hand)	Correlation coefficient	.897**	.563**
	p-value	0	0
Local skin temperature (arm)	Correlation coefficient	.889**	.800**
	p-value	0	0
Local skin temperature (abdomen)	Correlation coefficient	.757**	.733**
	p-value	0	0
Local skin temperature (head)	Correlation coefficient	.546**	.794**
	p-value	0	0

* Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

** Correlation coefficient keeps in mind in 0.01 levels (both).

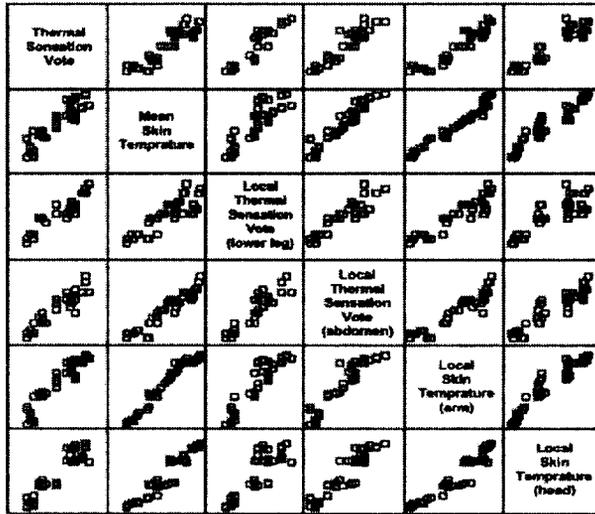


Figure 3.13 Correlation with TSV (0.6m/s)

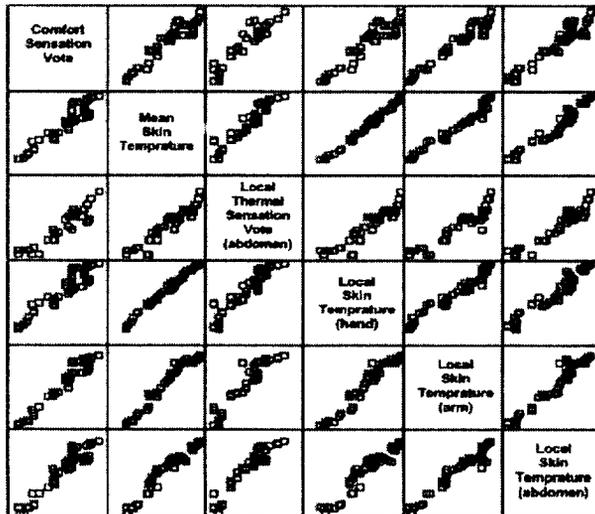


Figure 3.14 Correlation with CSV (0.6m/s)

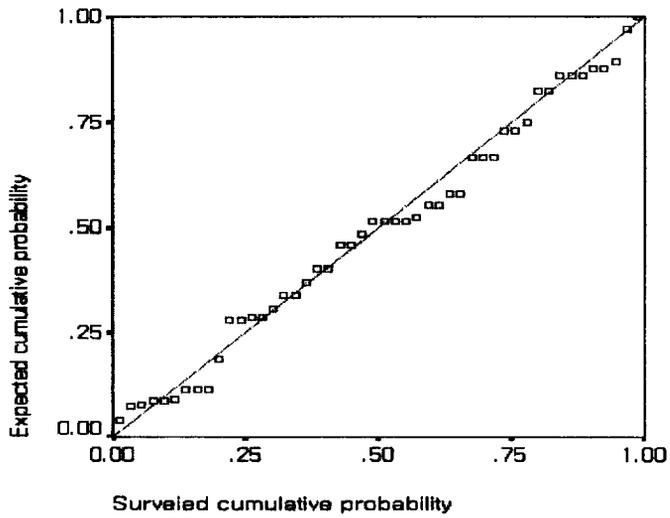


Figure 3.15 Revolution standardization residual formality p-p
 Dependent variable (TSV: 0.6m/s)

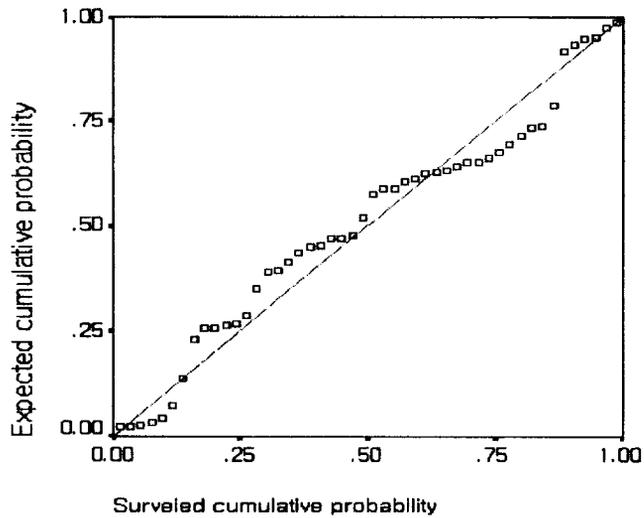


Figure 3.16 Revolution standardization residual formality p-p
 Dependent variable (CSV: 0.6m/s)

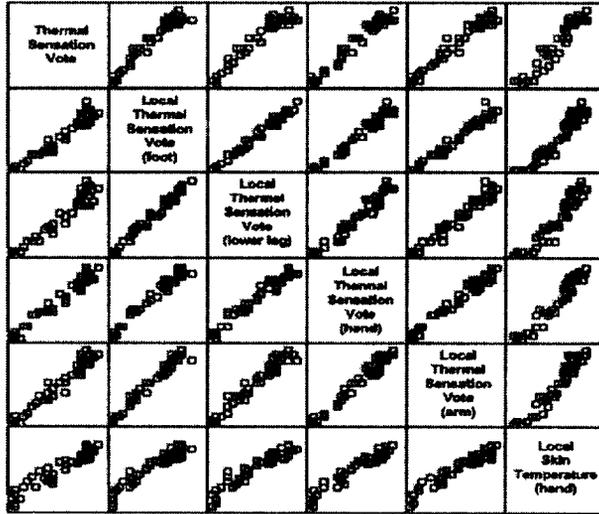


Figure 3.17 Correlation with TSV (0.4m/s)

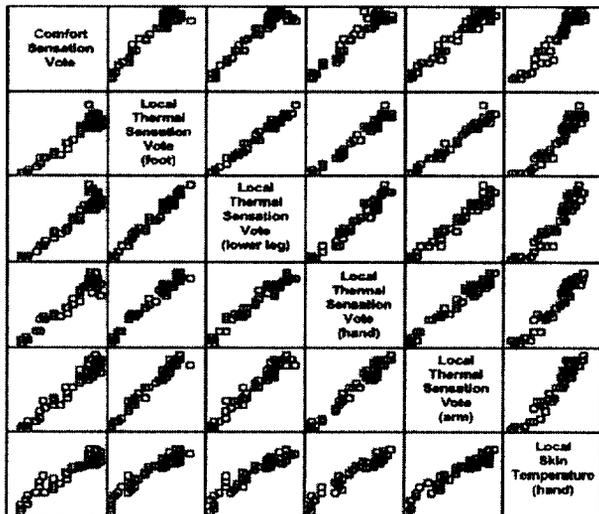


Figure 3.18 Correlation with CSV (0.4m/s)

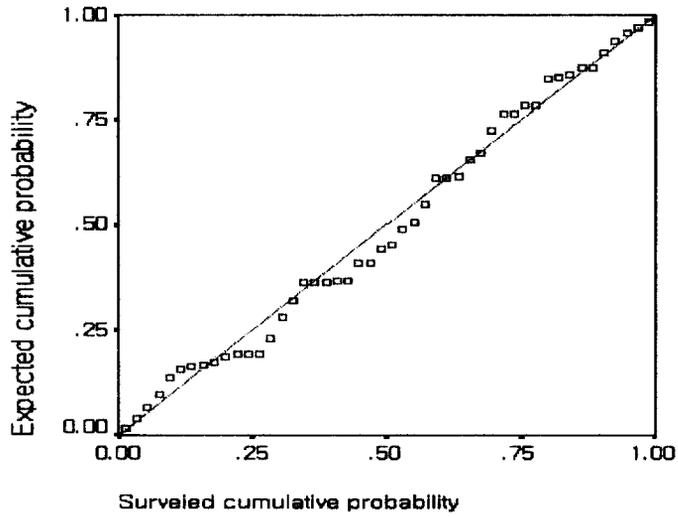


Figure 3.19 Revolution standardization residual formality p-p
 Dependent variable(TSV: 0.4m/s)

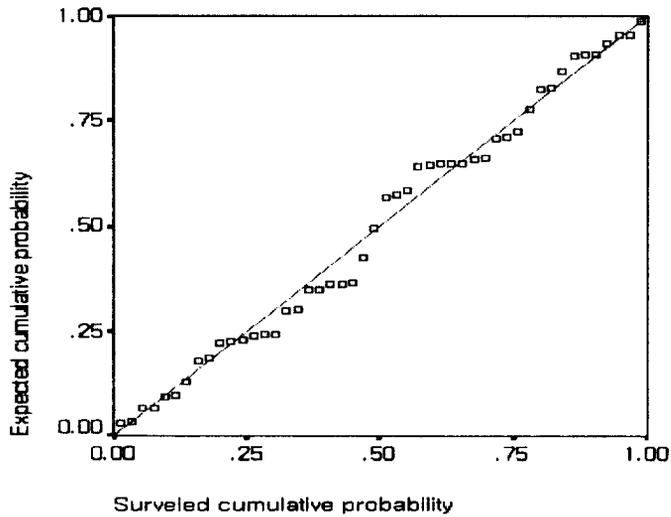


Figure 3.20 Revolution standardization residual formality p-p
 Dependent variable(CSV: 0.4m/s)

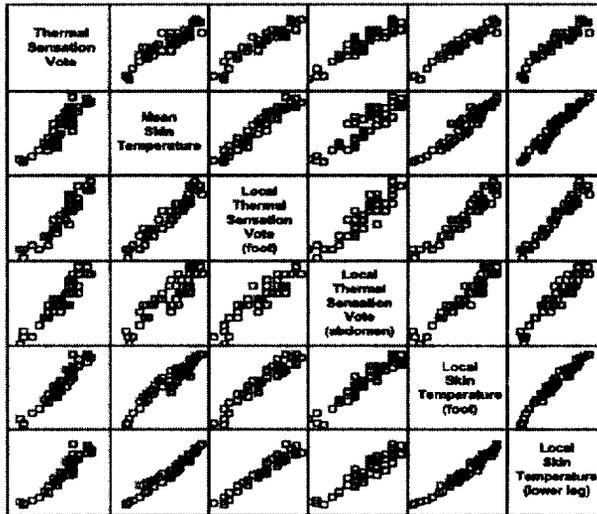


Figure 3.21 Correlation with TSV (0.2m/s)

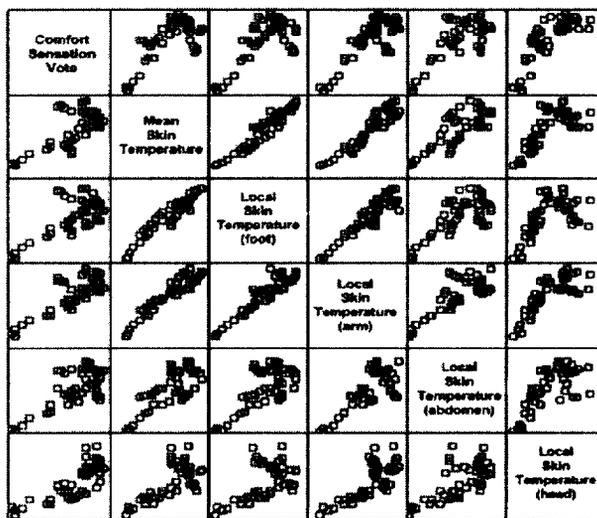


Figure 3.22 Correlation with CSV (0.2m/s)

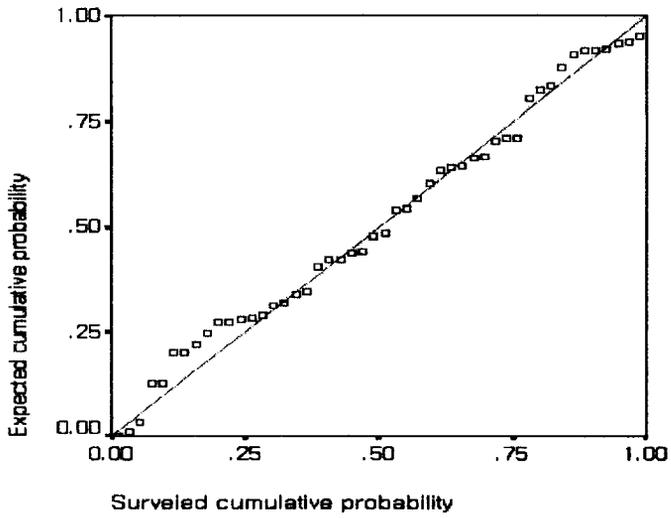


Figure 3.23 Revolution standardization residual formality p-p
 Dependent variable(TSV: 0.2m/s)

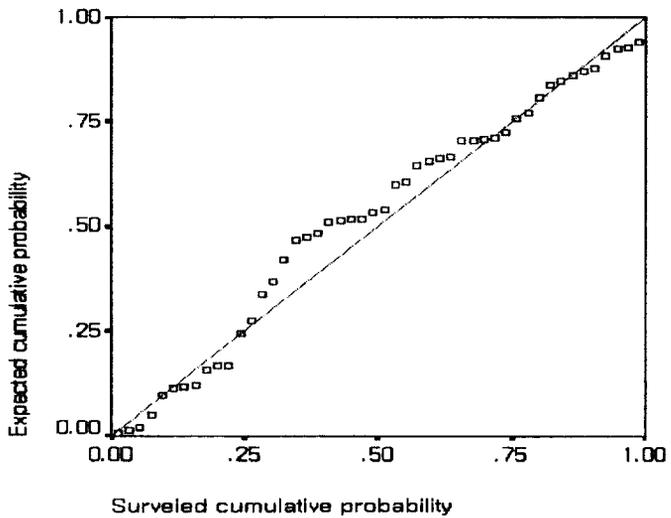


Figure 3.24 Revolution standardization residual formality p-p
 Dependent variable(CSV: 0.2m/s)

3.5.3 실험계획법을 통한 분산분석

본 실험에서는 온열쾌적성에 영향을 미치는 인자의 특성치를 알아보기 위해 분산분석을 행하였다. Table 3.16은 분산분석 결과를 나타내고 있으며 여기서 S 는 인자별 S/N비의 제곱합, ϕ 는 인자의 자유도, V 는 제곱평균, F_0 는 제곱평균비, ρ 는 기여율을 나타낸다. A(기류), B(온도)인자는 모두 매우 유의한 결과를 나타내었으며 기여율에 있어서 A(기류)인자의 변동이 49%, B(온도)인자의 변동이 42%로 기류 및 온도가 온열쾌적성평가에 유의한 요소로 작용하는 것을 알 수 있었다.

Table 3.16 ANOVA for S/N ratio

Factor	S	ϕ	V	F_0	ρ
A	3.26	2	1.63	11.14	49
B	2.77	3	0.92	6.3	42
E	0.88	6	0.146		9
T	6.91	11			100%

3.6 결론

본 장은 여름철 냉방시 거주자의 온열쾌적성 변화 실험을 통해 기류 및 온도가 인체에 미치는 온열쾌적성 변화와 쾌적 상태에서 불쾌 상태로 이동하는 인체순응시점을 파악 할 수 있었으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 인체가 불쾌를 느끼기 시작하는 시점이 기류 0.6m/s의 경우 22℃와 24℃는 입실 후, 26℃는 20분, 기류 0.4m/s의 경우 22℃는 입실 후, 24℃는 30분, 26℃는 40분, 기류 0.2m/s의 경우 22℃는 40분, 24℃는 70분으로 이 시점에서 인체는 온열환경 요소의 변동을 요구하기 시작하는 것을 알 수 있었다.

(2) 온열쾌적성 제어를 위한 온냉감과 가장 상관관계가 있는 인자는 기류 0.6m/s에서 국부온냉감(abdomen), 0.4m/s에서는 국부온냉감(arm), 0.2m/s에서는 국부피부온도(foot)이며 쾌적감의 경우 0.6m/s에서는 국부피부온도(arm), 0.4m/s에서는 국부온냉감(arm), 0.2m/s에서는 국부피부온도(arm)로 나타났으며 사지말단의 쾌적감과 노출부위 피부온도가 온열쾌적성변화에 가장 큰 상관성이 있다는 것을 알 수 있었다.

(3) 실험계획법을 통해 온열쾌적성에 영향을 미치는 인자의 특성치를 분석해 본 결과 기여율의 경우 기류인자의 변동이 49%, 온도인자의 변동이 42%로

기류 및 온도가 온열패적성평가에 유의한 요소로 작용하는 것을 알 수 있었다.

제4장 인체순응시점에서 온도상승을 통한 온열쾌적성

상승효과

4.1 실험 배경 및 목적

일반적으로 고정된 설정 기류 및 온도에 의해 냉방 되는 실내공간에 거주자는 시간이 지남에 따라 점차 불쾌감을 유발하게 되고 인체의 항상성 및 규형이 흐트러지게 된다. 이와 같은 상황이 지속하면 신체적으로 냉방병 및 무기력증 등의 질환을 유발하며 정신적으로 집중력 저하 및 불쾌감 등을 유발한다. 이러한 불쾌감은 잦은 냉방기기의 on-off 작동을 유발시켜 여름철 외부 열부하에 대해 불균일한 냉방환경을 형성하고, 다수의 거주자에게 불쾌감을 발생시킨다. 이와 같은 냉방 방식은 실내 거주자에게 온열쾌적성을 유지시키기 위해 여러 가지 불필요한 행동을 요구하게 되며 잦은 냉방기 작동 변동으로 에너지소비를 증대시키게 된다.

따라서 본 연구에서는 냉방 초기 온열 쾌적 환경을 냉방 중/후기까지 유지하기 위한 제어 방법으로 냉방 초기에서 냉방 중기까지는 온도 1℃ 상승, 냉방 초기에서 냉방 후기까지는 온도 3℃ 상승시켜 온열 쾌적성 평가를 하고자 한다. 또한, 온도 상승을 통해 얻어진 온열쾌적성 변화를 인체 생리신호의 상태변화와 비교 분석하여 온도 상승을 통한 정량적인 온열쾌적 평가를 검증하고자 한다.

4.2 실험장치

실험은 온도, 습도 및 기류를 만들어 실험하기 위하여 인공환경 실험실에서 실험하였다. Figure 4.1은 실험실의 개략도를 나타내고 있으며 Photo 4.1은 실험 전경을 나타내고 있다. 인공환경실험실은 4.1m[width]×4.9m[depth]×2.7m[height]의 크기이며 모든 벽과 천장, 바닥은 충분히 단열을 하여 벽면이 온도와 실내공기 온도가 거의 같도록 하였다. 기류를 발생시키기 위한 기류발생기는 일반적인 냉방기기인 패키지 에어컨의 실내기를 사용하여 제어하였다. 실험실 내 피험자는 기류발생장치로부터 3m 이후에 정좌하여 학습이나 독서를 할 수 있도록 하였다. Table 4.1은 인공환경실험실 항온항습기 사양을 나타내고 있다.

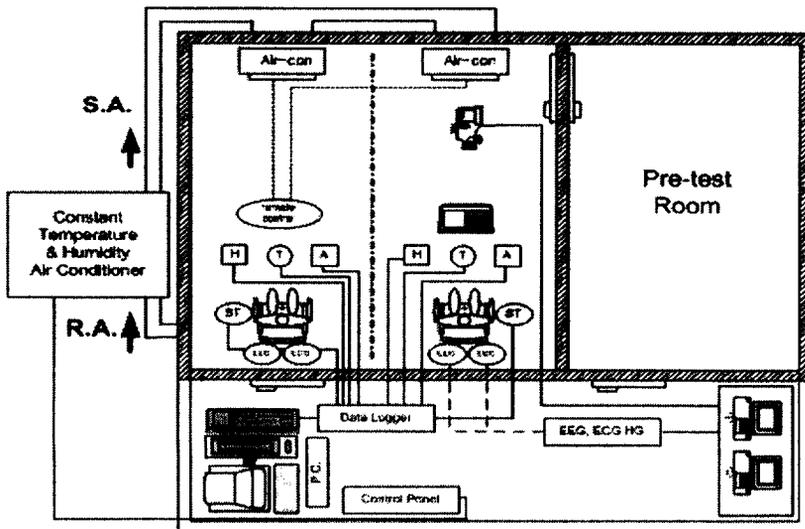


Figure. 4.1 Schematic diagram of the environmental chamber

Table 4.1 Specification of the experimental apparatus

Item	Range
Range of chamber air temperature	10°C ~ 40°C ±1°C
Range of chamber relative humidity	30% ~ 80% ±5%
Cooling capacity	8100 kcal/h
Heating capacity	12,000 kcal/h
Humidifying capacity	8 ℓ/h
Dehumidifying capacity	1.8 ℓ/h



Photo 4.1 Subjects during the experimentation

4.3 측정항목 및 방법

본 실험에서는 여름철 사항을 고려하는 전실과 냉방이 되고 있는 본실로 구분하여 측정하였다. 전실에서는 피험자들의 기초적인 신체사항에 대한 설문문을 받았으며 건강상태를 파악하기 위해 혈압, 맥박, 고막온도(tympanic temperature), 피부온도를 측정하였다. 그리고 환경측정을 위해 실내온도 및 습도를 측정하였다. 본실에서는 설정조건에 대한 평가를 내리기 위해 주관적 평가인 전신온냉감(thermal sensation vote), 쾌불쾌감(comfort sensation vote)의 설문문을 받았으며, 평균피부온도(mean skin temperature), 국부피부온도(local skin temperature)를 측정하였다. 온도측정은 실내공기의 수직분포를 알아보기 위한 열전대 4개와 피험자 피부표면에 부착한 피부표면 온도계측용 열전대 14개(1인당 7개: Hardy & Dubois의 7점법)를 사용하여 측정하였다. 습도 측정을 위해 점도가 높은 습도센서를 사용하였고, 기류는 열선식 풍속계를 사용하여 측정하였다. 모든 측정 데이터는 데이터 기록계를 통해 PC에 매 초 간격으로 저장하였다.

생리신호의 측정은 자극 제시 전에 대한 자극 제시 후의 생리신호변화를 관찰하기 위해 전실조건인 자극 제시 30분 전부터 각 5분 간격으로 2분 동안의 심전도와 뇌파를 측정하였다. 심전도는 0.5mV/div의 감도를 가지도록 측정하였고, 80Hz의 저역통과 아날로그 필터를 적용하였으며 시정수는 0.3ms로 설정하였다. 그리고 뇌파는 0.75 μ V/div의 감도를 가지며, 30Hz의 저역통과 필

터와 0.3ms의 시정수로 측정하였다. 전실과 본실에서는 동일하게 실내 환경 측정을 위해 지속적인 온도, 습도, 기류를 측정하였다. 심전도와 뇌파는 홀리그램 장비를 통해 측정되며 측정된 심전도 신호는 512Hz로 샘플링 되었고, 뇌파는 128Hz로 측정되어 A/D(DT-3001)보드를 통해 분석용 컴퓨터에 저장하였다. 심전도 측정방법은 표준 전극 유도법으로 첨두치의 절대 값의 크기를 가장 크게 나타낼 수 있는 LeadⅡ를 사용하였고, 뇌파는 국제 10/20 표준 전극 시스템에 기준으로 하여 Cz 부위에 부착하였으며, 부착전극은 2채널 모두 움직임에 의한 잡음을 최소화하기 위해 비분극형 표면전극인 Ag/AgCl을 사용하여 측정하였다. Table 4.2은 실험실내 온습도, 기류 및 인체표면온도 측정요소를 나타내고 있다.

Table 4.2 Positions of sensors in environmental chamber

Item	Position	Type
Temperature [°C]	Vertical temperature (from floor) (0.1 m, 0.6 m 1.1 m, 1.7 m)	Thermocouple 0.2 mmΦ
	Local skin temperature (head, arm, hand, abdomen, thigh, lower leg, foot)	
Air velocity [m/s]	Center (from floor) 1.1m	
Relative humidity [%]	Center (from floor) 1.1m	Humidity sensor VAISALA
EEG	F3, F4, O1, O2	LAXTHA
ECG	Wrist, Ankle	LAXTHA

4.4 실험방법 및 절차

본 실험은 설정온도로 냉방을 하고 있는 실내를 인체순응시점에서 온도 상승시키는 실험을 행하였다. 실험은 크게 2가지 실험으로 나눌 수 있으며 실험 시간동안 1℃ 상승시키는 온도 1℃ 상승 실험과 3℃ 상승시키는 온도 3℃ 상승 실험이다.

온도 1℃ 상승실험은 설정온도 24℃로 작동 되는 실내를 30분 후 1℃ 상승, 26℃는 40분 후 1℃ 상승하여 유지하는 실험이다. 온도 3℃ 상승 실험에서 설정온도 22℃의 경우 자극 제시 온도 조건을 22℃로 시작하여 20분 후 1℃ 상승하여 23℃로 유지하고, 25분 후에 다시 1℃를 상승하여 24℃로 유지하게 한다. 그리고 30분 후에 다시 1℃를 상승하여 25℃의 온도조건으로 유지하였다. 실험조건 24℃는 초기의 자극 제시 온도조건을 24℃에서 30분 후에 25℃로 1℃ 상승하였으며, 35분 후에 26℃로 다시 1℃ 상승하였다. 그리고 다시 40분 후에 1℃ 상승하여 이후 온도조건을 27℃ 유지하였다.

기류속도와 기류방향은 실제의 에어컨 상황과 같게 하기 위하여 일반적인 패키지 에어컨 실내기의 기류속도와 방향을 사용하였다. 기류속도는 0.25 m/s로 하였으며 기류의 방향은 정면에서 에어컨 바람을 받는 것으로 하였다. 실험의 상세한 설정조건을 Table 4.3~Table 4.4와 같다.

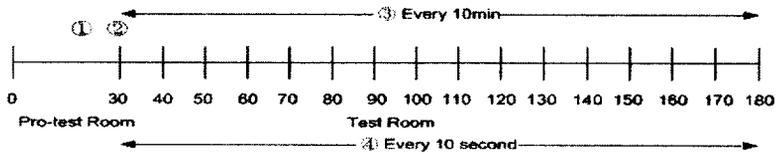
Table 4.3 Experimental setting conditions (1°C)

Item	Pre-test Room	Test Room			
		Constant	Temperature 1°C rise	Constant	Temperature 1°C rise
Temperature [°C]	33 ± 2.5°C	24°C	25°C	26°C	27°C
Relative humidity [%]	50 ± 5%	50 ± 5%		50 ± 5%	
Air velocity [m/s]	below 0.15m/s	0.4 ± 0.05m/s		0.4 ± 0.05m/s	
Temperature rise time	-	30min		40min	

Table 4.4 Experimental setting conditions (3°C)

Item	Pre-test Room	Test Room			
		Constant	Temperature 1°C rise	Temperature 1°C rise	Temperature 1°C rise
Temperature [°C]	33 ± 2.5°C	22°C	23°C	24°C	25°C
Temperature rise time	-	20min	25min	30min	75min
Temperature [°C]	33 ± 2.5°C	24°C	25°C	26°C	27°C
Temperature rise time	-	30min	35min	40min	45min
Relative humidity [%]	50 ± 5%	50 ± 5%			
Air velocity [m/s]	below 0.15m/s	0.4 ± 0.05m/s			

온도 1℃ 상승 실험과 온도 3℃ 상승 실험은 1회당 2명의 피험자를 입실하여 실험을 행하였으며 여름철 일반적인 축열 상태를 만들기 위해 전실에 30분 동안 체재시킨 후 온도 1℃ 상승은 120분간, 온도 3℃ 상승은 180분간 실험실로 입실시켜 인체순응시점에서 온도상승실험을 행하였다. Figure 4.2는 실험순서를 나타내고 있다.



- ① blood pressure measured at wrist and body temperature measured at armpit
- ② enter the chamber
- ③ thermal sensation vote, comfort sensation vote, EEG, ECG
- ④ room air temperature, relative humidity local skin temperature, mean skin temperature

Figure 4.2 Experimental process

실험에 참가한 피험자로는 남녀 각 4명으로 하였으며 모든 피험자들은 구강온도 37 ℃이하이며 정상혈압의 건강한 사람들로 구성하였다. 피험자들의 신체적 조건은 Table 4.5에 나타내었으며 피험자의 체표면적(body area)은 Takahira가 일본인을 위해 제안한 식(4.1)을 사용하였다.

$$A = 72.46 \times m^{0.425} \times H^{0.725} \quad (4.1)$$

Table 4.5 Anthropometric data of the subjects

Subjects	Number of subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]	Body area [m ²]	Ponderal index [kg ^{0.33} /m]
Female	4	22.5	158.9	49.7	1.45	2.14
		±1.2*	±1.9	±8.2	±0.41	±0.21
Male	4	25.4	172.5	61.4	1.72	2.25
		±0.7	±5.5	±7.3	±0.11	±0.10

* Mean ± S.D.

피험자들은 모두 가능하면 표준적인 착의량으로 맞추기 위해 동일한 유니폼을 착용하였다. 의복량을 구하는 방법은 여러 연구자에 의해 제안되어 있으나 본 실험에서는 외국인의 경우와 동일한 계산조건으로 비교하기 위해 의복중량으로 clo치를 계산하는 방법(花田, 三平의 식)을 사용하여 남자 0.35, 여자 0.35로 하였다. 피험자의 대사량은 실험 중 의자에 앉아서 독서 및 가벼운 대화, 설문을 하는 1.1met로 하였다. 의복량을 구하는 식은 식(4.2)~식(4.3)과 같다. 피험자의 설문내용은 설정 환경조건에 대한 피험자의 주관적 판단을 내리기 위한 전신온냉감(thermal sensation vote), 쾌불쾌감(comfort sensation vote)으로 구성하였다. Table 4.6은 주관적 설문 내용을 나타내고 있다.

$$\text{clo value (male)} = 0.000558 \times \text{의복의 총중량[g]} + 0.068 \quad (4.2)$$

$$\text{clo value (Female)} = 0.001030 \times \text{의복의 총중량[g]} - 0.0253 \quad (4.3)$$

Table 4.6 Subjective question of subject

Scale	Thermal sensation vote	Comfort sensation vote
3	Hot	Very comfortable
2	Warm	Comfortable
1	Slightly warm	Slightly comfortable
0	Neutral	Neutral
-1	Slightly cool	Slightly uncomfortable
-2	Cool	Uncomfortable
-3	Cold	Very uncomfortable

심전도의 HRV 분석은 심전도에서 나타나는 파형에서 우선한 시점의 R-peak와 다음 시점의 R-peak 간의 시간간격을 구하고, 이로부터 얻어진 시간간격의 이벤트 시리즈를 시간 축에 재배열하여 HRV 데이터를 구성하고 이에 대한 주파수 분석을 수행한다. 수집된 심전도 데이터를 디지털 필터를 이용하여 호흡과 피험자의 움직임에 의한 심전도의 기저선(baseline)의 움직임을 가져올 수 있는 1Hz이하의 성분과 전극이 있는 곳에서의 우리가 원하지 않는 근전도 등의 잡음을 제거하기 위해 차단주파수가 80Hz인 저역통과 필터를 통과시켜 신호 대 잡음비를 높였다. 이 필터에서는 hanning 윈도우를 사용하였고, 필터의 계수는 200으로 정하였다. 필터링 된 신호에서 문턱 값을 이용하여 R-peak를 검출하고 한 시점의 R-peak와 다음 시점의

R-peak까지의 시간간격을 구하여 R-R interval series를 구성하고, 이를 등 시간 간격으로 새로운 시간 축에 HRV 데이터를 재구성하였다. 이때 2분 동안의 R-peak의 수는 약 120회에서 140회 정도로 주파수 분석을 하기에는 데이터 수가 부족하기 때문에 보간법(interpolation)을 이용하여 샘플링 주파수를 10배 증가시켰다. 이렇게 얻어진 HRV 파형으로부터 파워스펙트럼분석을 위해 FFT를 통하여 최종적인 HRV 스펙트럼을 구성하였다. 이때 FFT를 구동하기 위하여 즉, 데이터의 수를 2의 자승으로 만들어 주기 위해서 zero padding을 하였다.

뇌파 분석은 디지털 필터를 이용하여 뇌파 상에 포함되어 있는 전원잡음이나 동작에 의한 노이즈 등을 제거하기 위하여 hanning 창을 이용한 30Hz의 저역통과 필터를 적용하였고 저주파성분에 의한 기저선의 변동과 직류성분 제거를 위해 0.3Hz의 고역통과 필터를 적용하였다. 필터링 된 뇌파 신호는 FFT를 이용한 파워스펙트럼을 통해 각 특성 파형의 주파수 분석을 하여 전체 뇌파 신호에 대한 알파(α)파 활동 비율을 관찰하였다.

그리고 HRV 분석과 뇌파 분석에 있어 개개인 피험자의 특성값을 고려하기 위하여 자극 전 측정값에 대한 HF/LF 값과 알파(α)파 비율, 베타(β)파 비율의 평균치에 대한 자극 후 측정값에 대한 HF/LF 값과 알파(α)파 비율, 베타(β)파 비율의 변화를 비교하는 방법으로 (자극-무자극)/무자극 이라는 수식을 이용하여 정규화 하였다.

4.5 결과

4.5.1 온도 1℃ 상승효과

실험조건 24℃는 온도 1℃ 상승을 통해 온냉감은 $-1.8 < TSV < -1.6$, 쾌적감은 $0.1 < CSV < 1$, 평균피부온도는 $33.1^{\circ}\text{C} < MST < 33.3^{\circ}\text{C}$ 의 값을 유지하는 것을 알 수 있다. 실험조건 26℃는 온도 상승을 통해 온냉감은 $-1.1 < TSV < -0.8$, 쾌적감은 $1.0 < CSV < 1.4$ 를 유지하였다. 평균피부온도는 온도 유지와 동일한 쾌적 영역을 유지하였으나 노출부위 피부온도의 변화는 온도상승을 통해 쾌적 상태를 유지하였다. 본 실험으로 냉방 초기의 온열쾌적성이 인체순응시점에서 온도 상승을 통해 냉방중기까지의 지속적으로 온열쾌적성이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 생리신호인 HRV분석과 알파(α)파의 (자극-무자극)/무자극의 변화는 온도상승을 통해 자극 후의 값이 자극 전의 값보다 상승하였다. 이것은 온도 상승 후에도 신체의 상태가 안정적이며 쾌적한 상태를 유지하는 것을 알 수 있다. 베타(β)파 활동은 각 실험조건에서 유사한 값을 유지하였으며 이것은 신체가 불쾌감의 증가 폭이 감소하는 것을 나타내고 있다.

Table 4.7~ Table 4.8은 온냉감과 쾌적감, 평균피부온도의 온도 자극시 변화 영역을 나타내고 있으며 Table 4.9는 생리신호의 (자극-무자극)/무자극의 변화 비율 값을 나타내고 있다. Figure 4.3~Figure 4.9는 온냉감, 쾌적감, 평균피부온도, 생리신호의 경시변화를 나타내고 있다.

Table 4.7 Stimulation estimation value (24°C)

Item	Constant	Temperature rise	
		24°C	25°C
TSV	-2.3<TSV<2.1	-1.6<TSV<2.0	-1.8<TSV<-1.6
CSV	-1.4<CSV<0.9	-1.7<CSV<1.0	0.1<CSV<1.3
MST	32.3°C<MST<34.2°C	33.0°C<MST<34.1°C	32.6°C<MST<33.0°C
LST(Head)	33.5°C<LST<34.3°C	33.8°C<LST<34.0°C	33.8°C<LST<33.9°C
LST(Hand)	31.0°C<LST<34.3°C	32.8°C<LST<34.1°C	31.9°C<LST<32.8°C
LST(Lower leg)	29.1°C<LST<32.2°C	31.0°C<LST<32.5°C	30.4°C<LST<31.0°C
LST(Foot)	29.4°C<LST<34.1°C	32.4°C<LST<34.2°C	30.6°C<LST<32.4°C

Table 4.8 Stimulation estimation value (26°C)

Item	Constant	Temperature rise	
		26°C	27°C
TSV	-1.4<TSV<2.2	-0.9<TSV<2.3	-1.1<TSV<-0.8
CSV	-1.2<CSV<1.3	-1.7<CSV<1.3	1.3<CSV<1.4
MST	33.1°C<MST<34.7°C	33.3°C<MST<34.3°C	33.1°C<MST<33.3°C
LST(Head)	33.5°C<LST<34.3°C	33.8°C<LST<34.0°C	33.7°C<LST<33.8°C
LST(Hand)	32.4°C<LST<34.3°C	32.4°C<LST<33.3°C	32.3°C<LST<32.4°C
LST(Lower leg)	30.8°C<LST<32.8°C	31.9°C<LST<30.7°C	30.7°C<LST<30.9°C
LST(Foot)	30.8°C<LST<34.3°C	32.7°C<LST<33.6°C	31.7°C<LST<32.7°C

Table 4.9 Physiology signal change through temperature rise
(24°C, 26°C)

Temperature	Item	Constant	Temperature 1°C rise
24°C	HF/LF	0.33	0.74
	α wave	0.13	0.20
	β wave	0.34	0.41
26°C	HF/LF	0.36	0.38
	α wave	0.03	0.11
	β wave	0.38	0.56

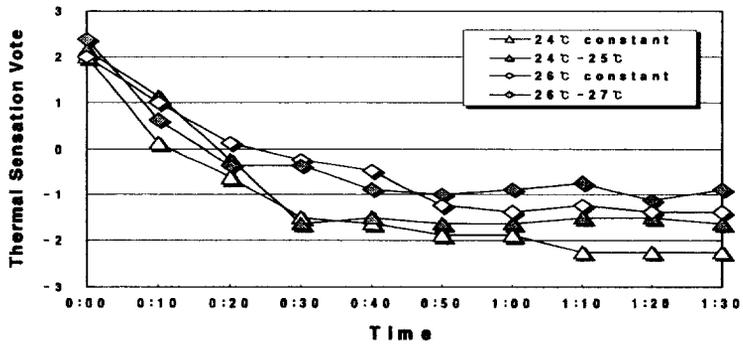


Figure 4.3 TSVs during the 90min test period(24°C, 26°C)

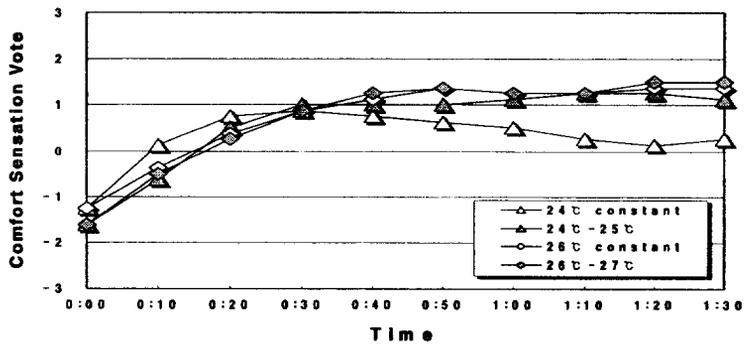


Figure 4.4 CSVs during the 90min test period(24°C, 26°C)

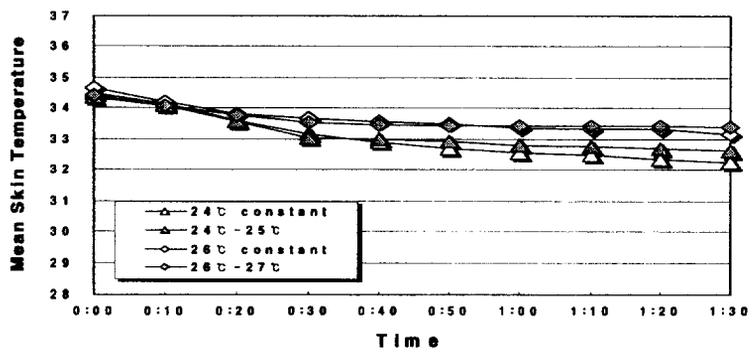
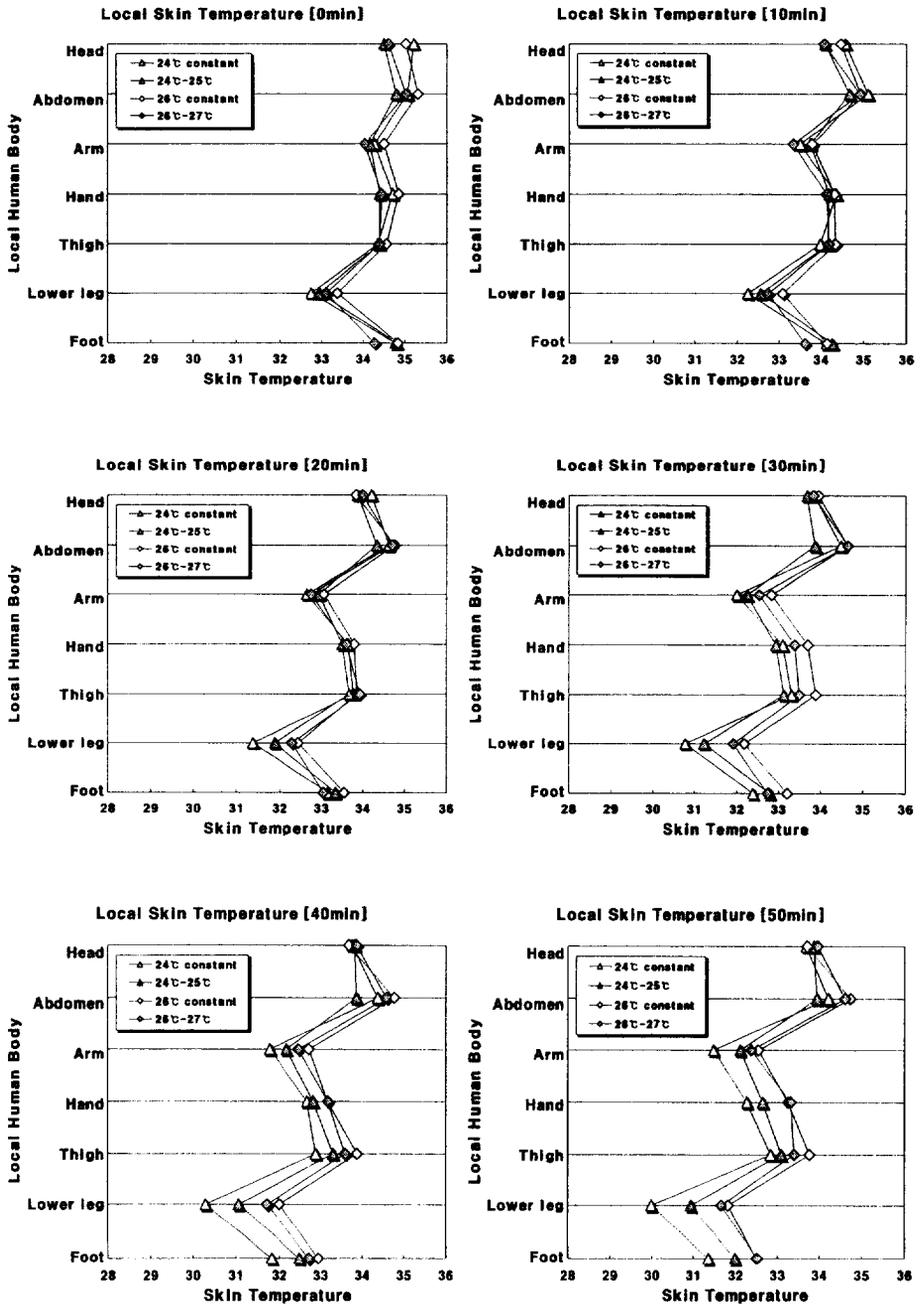


Figure 4.5 MSTs during the 90min test period(24°C, 26°C)



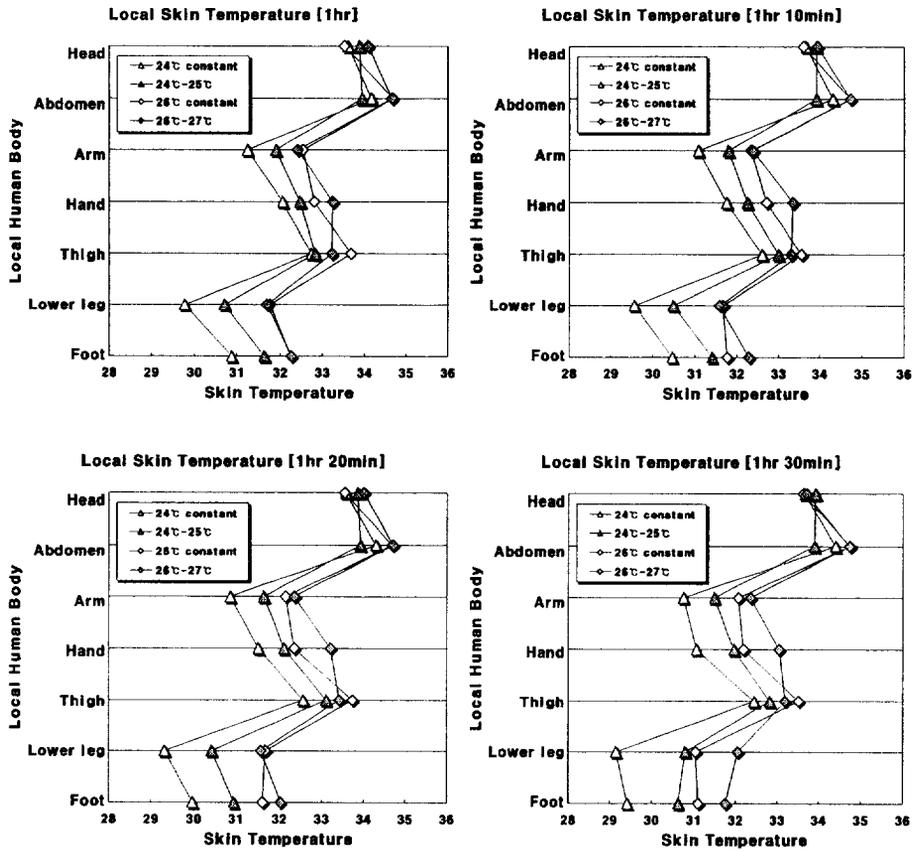


Figure 4.6 LSTs during the 90min test period(24°C, 26°C)

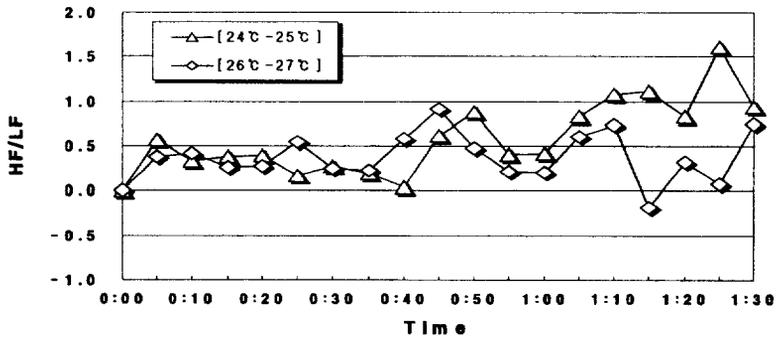


Figure 4.7 HF/LF during the 90min test period(24°C, 26°C)

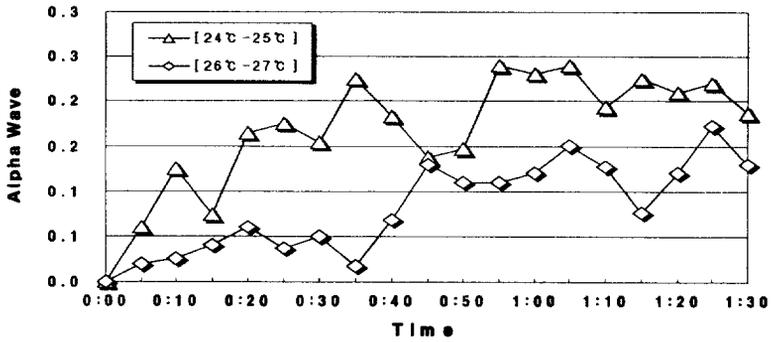


Figure 4.8 α waves during the 90min test period(24°C, 26°C)

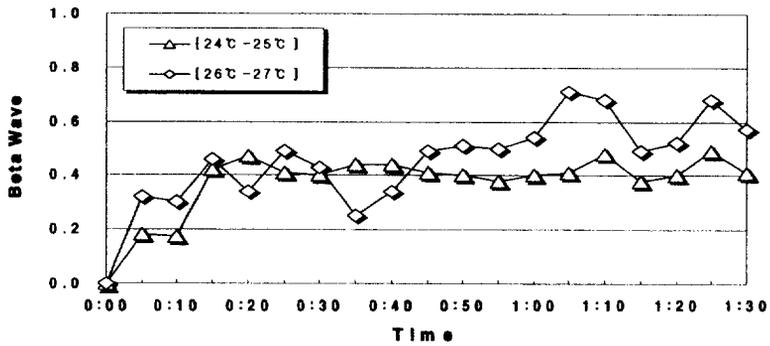


Figure 4.9 β waves during the 90min test period(24°C, 26°C)

4.5.2 온도 3℃ 상승효과

실험조건 22℃의 경우 초기 낮은 온도에 의해 $-2 < TSV < -1$ 의 값을 유지하다 후반 점차 불쾌영역으로 이동하였으며 실험조건 24℃의 경우 온냉감은 1시간 이후 차츰 -1 (약간 서늘하다)의 값으로 이동하였다. 24℃의 경우 인체순용시점에서의 온도상승을 통해 냉방 시 지속적으로 쾌적한 온열쾌적성을 유지하는 것을 알 수 있다. 또한, 실험조건 22℃, 24℃의 경우 모든 조건에서 쾌적감은 $0 < CSV < 1$ 의 쾌적영역 범위를 유지하였다. 이것은 설정온도를 유지할 경우 인체순용시점에서의 불쾌영역을 진입하는 것과는 달리 온도상승을 통한 공조 중, 후반에서도 지속적인 쾌적감을 유지하는 것을 알았다.

평균피부온도의 경우 실험조건 22℃, 24℃ 모두 초기 전실의 불쾌영역에서 실험 30분 후 $32.7 < MST < 32.9$ 의 쾌적영역으로 이동하였다. 전반적으로 평균피부온도가 쾌적영역보다 조금 낮은 값을 가지고 있지만 실험 중 온도상승을 통해 평균피부온도가 불쾌영역으로 이동하지 않고 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. Table 4.10~ Table 4.11은 온냉감과 쾌적감, 평균피부온도의 온도 자극시 변화 영역을 나타내고 있다.

HRV 분석에서는 자극 제시 후 3가지 온도변화 조건에 대한 HF/LF 값의 변화를 시계열 그래프를 통해 분석해 본 결과 실험조건 22℃에서는 HF/LF 값이 22℃에서 24℃까지 온도상승에 따라 유의미한 차를 가지며 큰 증가 값을 나타내었지만 25℃ 온도상승의 경우 24℃와 거의 동일한 값을 나타내었

다. 실험조건 24℃에서는 온도상승 조건인 25℃에서 온도상승 전 24℃에 비하여 HF/LF 값이 매우 증가하였으나 그 후 HF/LF 값의 증가 추세는 차츰 감소하였다. 알파(α)과 활동을 분석한 결과 실험조건 22℃의 경우 자극 전 온도조건에 비해 알파(α)과 활동이 크게 변동이 없는 것을 알 수 있었다. 실험조건 24℃의 경우 자극 제시 후 온도조건이 자극제시 전 온도조건에 비해 알파(α)과 활동이 증가하였으며 24℃ 조건에서 1℃ 상승한 25℃ 조건과 다시 1℃ 상승한 26℃ 조건이 이전 온도조건에 비해 증가하는 추세를 보였다. 27℃ 온도조건에서는 알파(α)과 활동이 냉방 초반과 다르게 다소 감소하였다. 베타(β)과 활동은 실험조건 22℃의 경우 공조 초반 베타(β)과 활동이 점차적 증가추세를 유지하다 25℃로 온도를 상승한 후에는 24℃ 온도조건에 비하여 베타(β)과 활동이 감소하였다. 실험조건 24℃ 조건에서는 24℃에서 1℃ 상승한 25℃ 조건에서는 온도상승 전 조건에 비하여 베타(β)과 활동이 증가하였지만 이후의 온도상승조건에서는 온도상승 전 조건에 비하여 감소하였다. 베타(β)과 활동은 시간의 경과에 따라 편차가 크게 존재하여 일관적인 추세를 반영하지는 못하여 온도자극 사이에 유의미한 차이를 가지지 못했다. 이 생리신호 분석을 통해 온도 3℃ 상승이 자극 전 조건보다 자극 후 조건이 더욱 안정적인 신체 상태에 있다는 것을 알 수 있었다. Figure 4.10 3~Figure 4.15는 온냉감, 쾌적감, 평균피부온도, 생리신호의 경시변화를 나타내고 있다.

Table 4.10 Stimulation estimation value (22°C, 24°C)

Temperature		TSV	CSV	MST
22°C	22°C	-0.5<TSV<2.8	-2.1<CSV<1.0	33.0<MST<34.5
	23°C	-1.3<TSV<-0.5	0.8<CSV<1.0	32.7<MST<33.0
	24°C	-2.0<TSV<-1.3	0.4<CSV<0.8	32.7<MST<32.7
	25°C	-2.1<TSV<-1.5	0.4<CSV<1.0	32.6<MST<32.7
24°C	24°C	-0.8<TSV<2.9	-2.3<CSV<0.9	33.2<MST<34.4
	25°C	-1.8<TSV<-0.8	0.9<CSV<1.3	32.9<MST<33.2
	26°C	-1.8<TSV<-1.3	0.6<CSV<1.0	32.8<MST<32.9
	27°C	-1.6<TSV<-1.1	0.9<CSV<1.0	32.8<MST<32.9

Table 4.11 Physiology signal change through temperature rise (22°C, 24°C)

Temperature		HF/LF	α wave	β wave
22°C	22°C	0.10	0.18	0.04
	23°C	0.48	0.19	0.07
	24°C	0.95	0.19	0.13
	25°C	0.99	0.20	0.5
24°C	24°C	0.17	0.20	0.27
	25°C	0.35	0.29	0.29
	26°C	0.47	0.33	0.24
	27°C	0.46	0.30	0.23

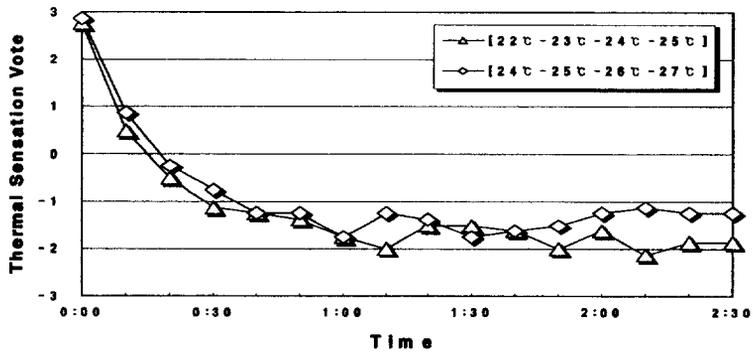


Figure 4.10 TSVs during the 150min test period(22°C, 24°C)

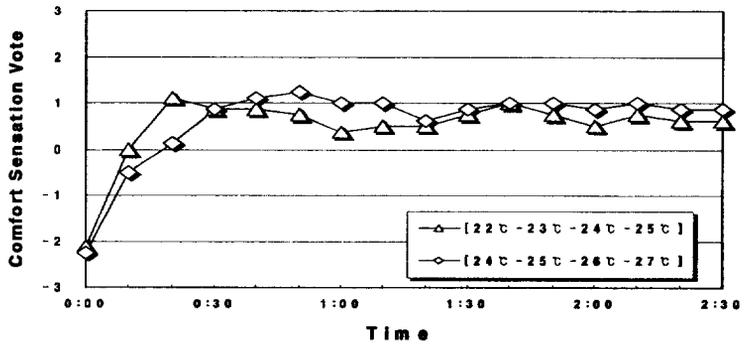


Figure 4.11 CSVs during the 150min test period(22°C, 24°C)

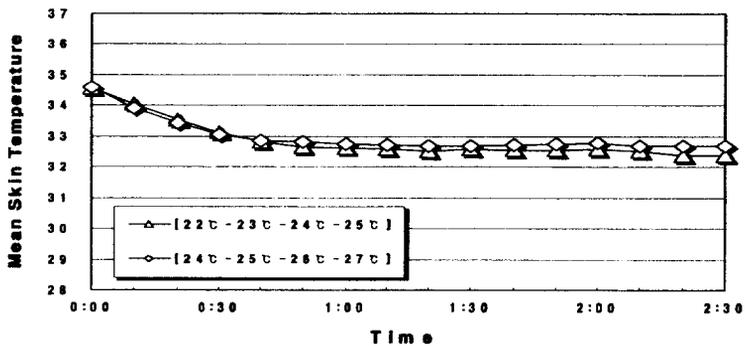


Figure 4.12 MSTs during the 150min test period(22°C, 24°C)

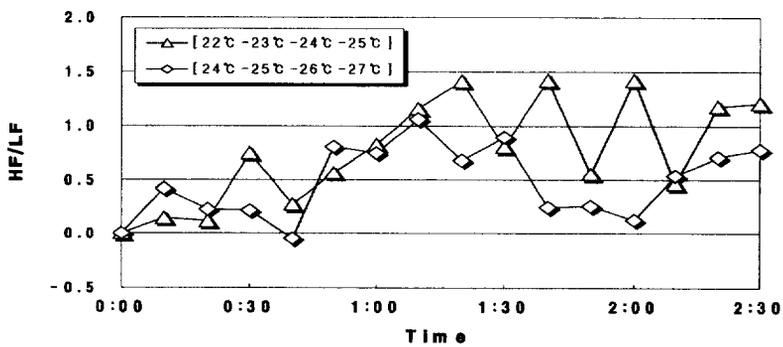


Figure 4.13 HF/LF during the 150min test period(22°C, 24°C)

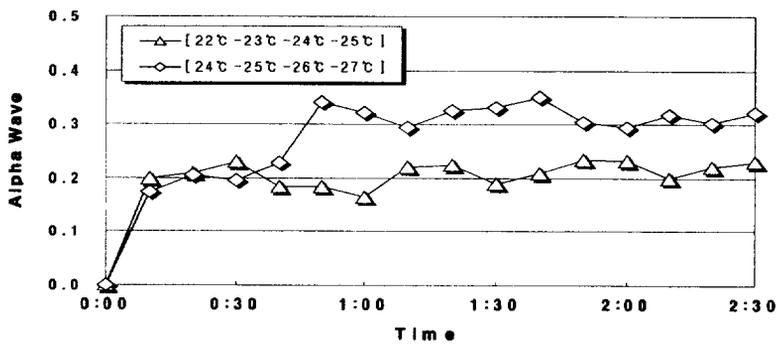


Figure 4.14 α wave during the 150min test period(22°C, 24°C)

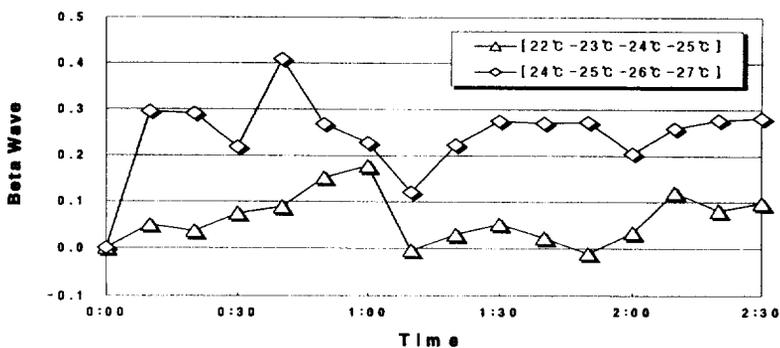


Figure 4.15 β wave during the 150min test period(22°C, 24°C)

4.6 결론

본 장에서는 냉방 초기 설정온도로 유지하는 실내를 인체순응시점에서 온도 상승시키는 실험으로 온도 상승을 통해 냉방 중/후기까지 지속적인 온열 쾌적성과 정신적 안정상태가 유지되는 것을 알 수 있었으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 온도 1℃ 상승 실험을 통해 설정온도 24℃, 26℃ 모두 온냉감은 $-1.8 < TSV < -0.8$, 쾌적감은 $0.1 < CSV < 1.4$ 영역을 유지하였으며 냉방초기에서 냉방중기까지 지속적인 온열쾌적성을 유지하였다.

(2) 온도 1℃ 상승으로 평균피부온도는 쾌적 영역인 33.2℃를 유지하였으며 생리신호인 HRV와 알파(α)파 비율은 자극 전보다 자극 후의 값이 상승하므로 신체가 안정적 쾌적 상태로 유지되는 것을 알 수 있었다.

(3) 설정온도 22℃, 24℃에서 온도 3℃ 상승을 통해 온냉감은 $-2 < TSV < -1$, 쾌적감은 $0 < CSV < 1$ 을 유지하여 냉방 초기에서 냉방 후기까지 약간의 서늘함을 느끼지만 지속적인 쾌적 상태를 유지하였다.

(4) 온도 3℃ 상승을 통해 HRV와 알파(α)파 비율은 초반 큰 상승폭을 보였

지만 후반으로 갈수록 상승의 폭이 둔감 되는 것을 알 수 있었다. 하지만 전체적인 비율이 자극 전 조건보다 자극 후의 조건이 상승하므로 온도 상승이 더욱 안정적인 신체 상태를 유지시켰다. 또한, 베타(β)파 비율이 자극 전 후의 값이 거의 유사한 값을 보이므로 온도 상승에 따른 불쾌한 상태의 증가가 크지 않다는 것을 알 수 있었다.

제5장 에어컨 기류속도 및 Swing 패턴의 선호경향

5.1 실험 배경 및 목적

여름철 에어컨의 일반적인 사용형태는 낮은 설정온도와 빠른 기류로 작동시킨다. 이와 같은 작동은 실내의 열부하를 최대한 빨리 제거하기 위한 방법론적인 사고와, 낮은 온도와 빠른 기류를 통한 냉감각의 일시적인 효과를 보기 위해서이다. 하지만 초기 냉감각의 일시적인 효과와는 달리 냉방이 지속되면 인체 온열쾌적성은 점차 불쾌감이 증가되며 초기 빠른 기류를 통해 신체 국부요소는 cold draft를 유발시키기도 한다. 또한, 에어컨의 작동은 작동자의 개인 취향에 따라 작동하므로 다수의 거주하는 사람들의 온열쾌적성은 고려되지 않는다. 이와 같은 운전은 에어컨 주위의 사람들에게는 국부적인 cold draft를 발생시키고 멀리 떨어져 있는 사람들에게는 불쾌한 온열쾌적성을 유지시킨다.

따라서 본 연구에서는 개인이 가장 선호하는 에어컨 기류속도와 swing 패턴의 경향을 파악하고자 한다. 또한, 선호 기류 및 swing 패턴의 검증을 위해 온열쾌적성 평가를 실시하며 가장 상관성이 있는 생활 습관과의 상관관계를 규명하기 위해 통계 설문으로 평가하고자 한다. 그리고 선호 기류 및 swing 패턴을 통해 여름철 에어컨 초기 운전시 온열쾌적성 향상을 위한 운전 방식 제시와 냉방 중/후기의 지속적인 온열 쾌적 향상을 위한 기초 data로 활용하고자 한다.

5.2 실험장치

실험은 온도, 습도 및 기류를 만들어 실험하기 위하여 Figure 5.1과 같은 인공환경 실험실에서 실험하였다. Figure 5.1은 실험실의 개략도를 나타내고 있으며 Photo 5.1은 실험 전경을 나타내고 있다. 인공환경 실험실은 4.1m[width]×4.9m[depth] ×2.7m[height]의 크기로 모든 벽과 천장, 바닥은 충분히 단열하여 벽면의 온도와 실내공기 온도가 같도록 유지시켰다. 기류를 발생시키기 위한 기류발생기는 일반적인 냉방기기인 패케이지 에어컨의 실내기를 사용하여 제어하였다. 피험자는 기류발생장치로부터 3m 거리 이후에 정좌하여 학습이나 독서를 할 수 있도록 하였다. Table 5.1은 인공환경실험실 향온향습기 사양을 나타내고 있다.

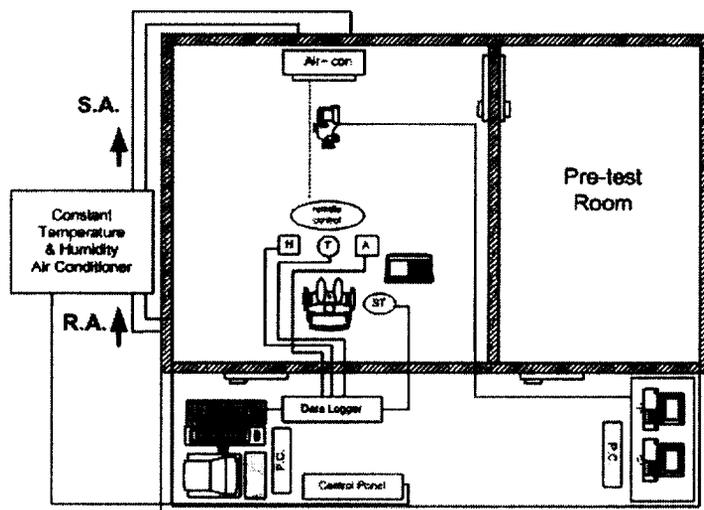


Figure 5.1 Schematic diagram of the environmental chamber



Photo 5.1 Subjects during the experiment

Table 5.1 Specification of the experimental apparatus

Item	Range
Range of chamber air temperature	10°C ~ 40°C ±1°C
Range of chamber relative humidity	30% ~ 80% ±5%
Cooling capacity	8100 kcal/h
Heating capacity	12,000 kcal/h
Humidifying capacity	8 ℓ/h
Dehumidifying capacity	1.8 ℓ/h

5.3 측정항목 및 방법

본 실험에서는 전실에서는 주관적 평가로 개인의 신체적 특성 및 특이사항, 신체기초사항에 대한 설문을 받았으며, 생리량으로 심부온도(고막온도) 및 피부표면온도를 측정하였다. 본실에서는 주관적 평가를 위한 온냉감(thermal sensation vote) 7척도, 쾌적감(comfort sensation vote) 7척도, 기류만족감(air-velocity estimation vote) 7척도의 설문을 받았으며, 생리량 평가를 위해 피부표면온도를 측정하였다. Table 5.2는 실험실내 측정항목 및 측정 위치를 나타내고 있다.

Table 5.2 Positions of sensors in environmental chamber

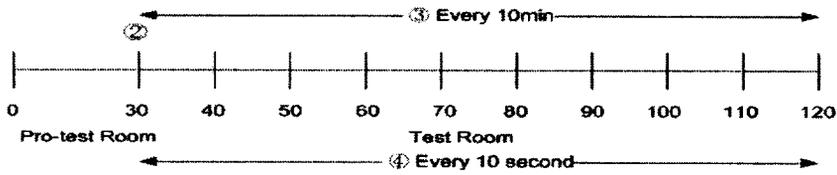
Item	Position	Type
Temperature [°C]	Vertical temperature (from floor) (0.1 m, 0.6 m 1.1 m, 1.7 m)	Thermocouple 0.2 mmΦ
	Local skin temperature (head, arm, hand, abdomen, thigh, lower leg, foot)	
Air velocity [m/s]	Center (from floor) 1.1m	
Relative humidity [%]	Center (from floor) 1.1m	Humidity sensor VAISALA

실험은 기류속도 선호실험과 swing 패턴 선호실험으로 나뉘 행하였다. 기류속도 선호실험은 입실한 피험자가 가장 선호하는 기류를 실험시간 동안 선택하게 하였다. swing 패턴 선호실험은 피험자가 선택한 기류속도에서 가장 선호하는 swing 패턴을 실험시간 동안 선택하게 하였다. 각 실험의 조건은 3단계로 나누었으며 Table 5.3에 실험조건을 나타내고 있다. 본 연구에서 swing 패턴이라고 하는 것은 에어컨 쿨출구 베인의 1회 상하 swing 회전을 말한다.

Table 5.3 Experimental setting conditions

	Preparation	Inspection
Temperature	33℃	26℃
Humidity	50%	50%
Airflow	Windless	Strong (1.25 m/s)
		Middle (0.8 m/s)
		Weak (0.275 m/s)
Swing Speed	Windless	Fast (8sec)
		Normal (12sec)
		Slow (17sec)

각 실험은 1회당 1명의 피험자를 입실하여 실험을 행하였으며 여름철 일반적인 축열 상태를 만들기 위해 전실에 30분 동안 체재시킨 후 실험실로 입실시켜 실험하였다. Figure 5.2는 실험순서를 나타내고 있다.



- ① blood pressure measured at wrist and body temperature measured at armpit
- ② enter the chamber
- ③ preference airflow alteration, thermal sensation vote, comfort sensation vote, air-velocity estimation vote
- ④ room air temperature, relative humidity local skin temperature, mean skin temperature

Figure 5.2 Experimental process

기류속도 실험은 남녀 각 15명을 대상으로 하였으며 swing 패턴실험은 남녀 각 30명을 대상으로 실험하였다. 모든 피험자들은 구강온도 37℃이하이고 정상혈압의 건강한 사람들로 구성하였다. Table 5.4는 피험자의 신체사항을 나타내고 있다. 피험자는 모두 표준적인 착의량으로 맞추기 위해 동일한 유니폼을 착용하였으며 남자 0.35, 여자 0.35로 하였다. 피험자의 대사량은 실험 중 의자에 앉아서 독서 및 가벼운 대화, 설문을 하는 1.1met로 하였다. 피험자의 설문내용은 설정 환경조건에 대한 피험자의 선호도를 판단을 내리기 위한 온냉감(thermal sensation vote), 쾌적감(comfort sensation vote), 기류

만족감(air-velocity estimation vote)으로 구성하였다. Table 3.5는 주관적 설문 내용을 나타내고 있다. 또한 본 연구에서 swing 패턴과 생활습관과의 관계를 알아보기 사용한 설문은 Table 5.6~Table 5.10과 같다.

Table 5.4 Anthropometric data of the subjects

Subjects	Number of subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]	Body area [m ²]	Ponderal index [kg ^{0.33} /m]
Female	30	24±2.3	173.6±5.2	63.2±16.6	1.74±0.23	2.14±0.21
Male	30	22±1.2	151.2±10.7	50.2±7.7	1.44±0.16	2.25±0.10

* Mean ± S.D.

Table 5.5 Subjective question of subject

Scale	Thermal sensation vote	Comfort sensation vote	Air-velocity estimation vote
3	Hot	Very comfortable	Very satisfaction
2	Warm	Comfortable	satisfaction
1	Slightly warm	Slightly comfortable	Slightly satisfaction
0	Neutral	Neutral	Neutral
-1	Slightly cool	Slightly uncomfortable	Slightly dissatisfaction
-2	Cool	Uncomfortable	Dissatisfaction
-3	Cold	Very uncomfortable	Very dissatisfaction

Table 5.6 Question for sports and sleep

Question item	Question contents	
Sports	Do often	Do not often
Sports place	Indoor	Outdoor
Sports career	Yes	No
Sleep time	Satisfaction	Dissatisfaction
Get up	Regular	Irregularity
Sleep satisfaction	Yes	No

Table 5.7 Question about the weather

Question item	Question contents	
Hot weather	Strong	Weak
Cold weather	Strong	Weak
Patience of the weather	Strong	Weak

Table 5.8 Question about air conditioner use

Question item	Question contents	
Air conditioner use (time)	When sweat	When do not sweat
Air conditioner use	Yes	No
Air conditioner use (temperature)	High temperature	Low temperature

Table 5.9 Question about air conditioning

Question item	Question contents	
Cooling	Long	Short
Heating	Long	Short
Cooling preference	Yes	No
Heating preference	Yes	No

Table 5.10 Question for clothes

Question item	Question contents	
Clothes (when go out)	Thick	Thin
Clothes (home)	Thick	Thin
Cooling (clothes)	Thick	Thin
Preference season	Summer	Winter

5.4 결과

5.4.1 기류속도 선호경향

피험자가 가장 선호하는 기류속도는 weak(0.28m/s), middle(0.8m/s), strong(1.25m/s) 순이며 선호 기류속도의 비율은 Table 5.11과 같다. 남자는 weak(0.28m/s)을 가장 선호하였으며 전체적으로 weak(0.28m/s)의 비율이 strong(1.25m/s)의 비율에 2배를 차지하였다.

Table 5.11 Male and female component ratio

	Strong (1.25m/s)	Middle (0.8m/s)	Weak (0.28m/s)
Female	4	5	6
Male	3	5	7
Total	7	10	13



Figure 5.3 Total component ratio(air-velocity)

선호 기류속도를 선택한 피험자는 모두 하계의 온열쾌적성을 만족하는 온
 냉감 “약간 서늘하다”와 쾌적감 “약간 쾌적하다”를 실험시간 동안 지속하는
 하였다. 또한, 모든 기류에 대해 쾌적의 만족감을 나타내었다. 평균피부온도
 에서는 strong(0.8m/s)에서 쾌적 영역을 다소 벗어나지만 나머지 기류속도에
 서는 모두 쾌적 영역을 유지하였다. 주관적 설문 및 평균피부온도를 통해 피
 험자들은 선택한 기류속도에 대해 모두 쾌적한 온열쾌적성을 가지며 모두
 만족한다는 것을 알 수 있었다.

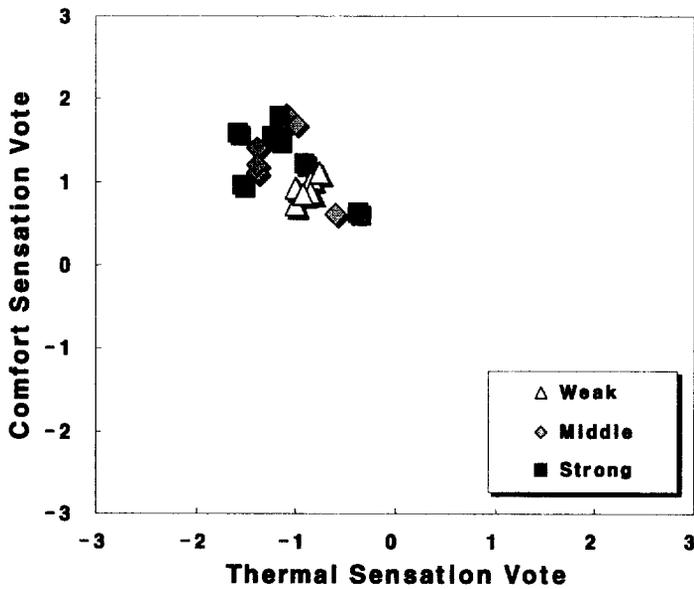


Figure 5.4 TSV versus CSV in subjects(air-velocity)

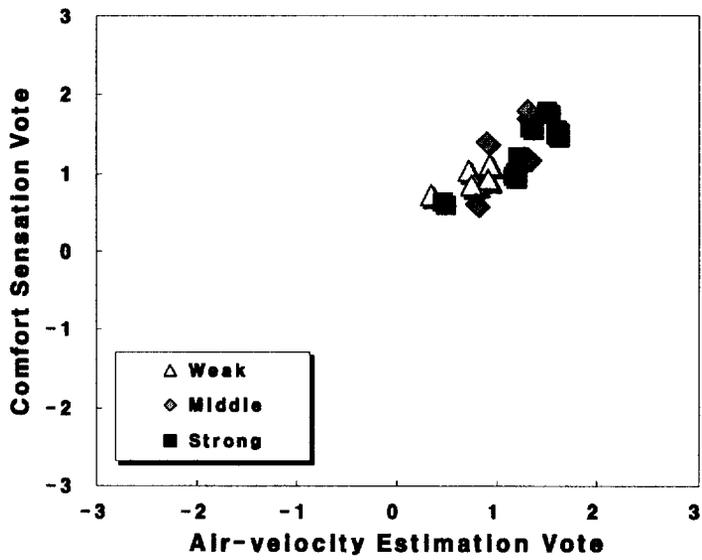


Figure 5.5 AEV versus CSV in subjects(air-velocity)

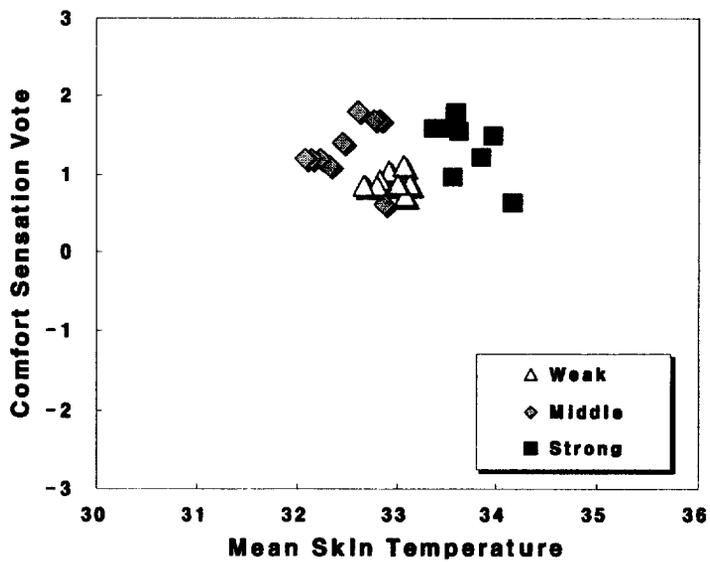


Figure 5.6 MST versus CSV in subjects(air-velocity)

5.4.2 Swing 패턴 선호 경향

선호 swing 패턴에서는 slow(17sec), normal(12sec), fast(8sec)의 순으로 나타났다. swing 패턴의 선호도는 선호 기류속도와 유사한 형태를 보이고 있으며 실험에 참가한 대부분의 피험자는 선호 기류 weak(0.28m/s)와 선호 swing 패턴 slow(17sec)를 가장 선호하였다.

Table 5.12 Swing speed component ratio

	Strong (1.25m/s)	Middle (0.8m/s)	Weak (0.28m/s)	Total
Fast(8sec)	2	0	5	7
Normal(12sec)	6	11	9	26
Slow(17sec)	7	11	9	27
Total	15	22	23	60

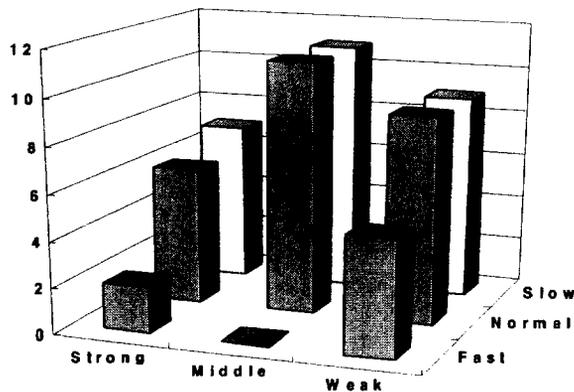


Figure 5.7 Total component ratio(swing pattern)

선호 swing 패턴을 선택한 피험자들은 모두 온열쾌적성을 만족하는 온냉감과 쾌적감을 신고하였다. 하지만, 선호 기류속도 middle(0.8m/s)에 swing 패턴 slow(17sec)를 선호하는 피험자들은 다소 서늘함을 느끼지만 모두 쾌적감을 중립으로 느끼는 것을 알 수 있었다. 그리고 선호 기류속도 strong(1.25m/s)에 swing 패턴 fast(8sec)를 선호하는 피험자는 MST 결과 저체온군을 형성하지만 모두 온열쾌적성에 만족하는 것을 알 수 있다.

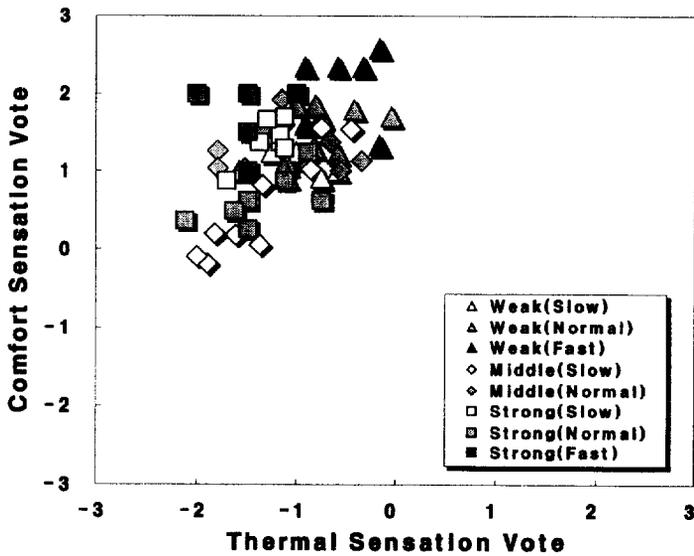


Figure 5.8 TSV versus CSV in subjects(swing pattern)

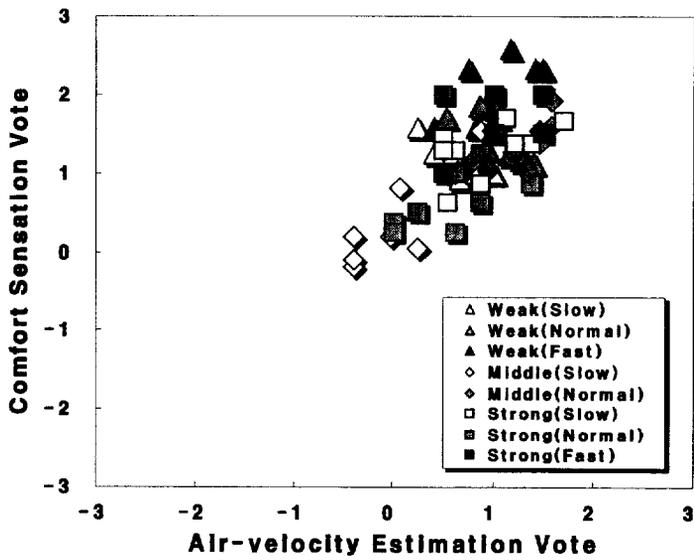


Figure 5.9 AEV versus CSV in subjects(swing pattern)

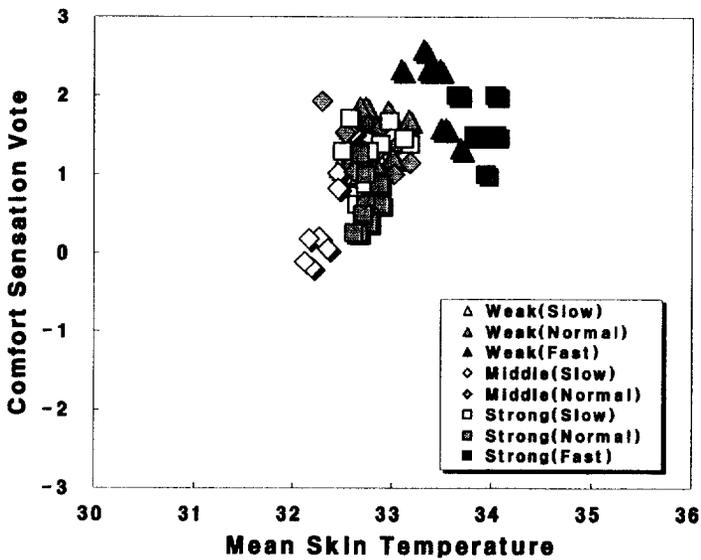


Figure 5.10 MST versus CSV in subjects(swing pattern)

5.4.3 Swing 패턴과 생활습관과의 관계

피험자가 선택한 swing 패턴과 생활습관과의 관계를 알아보기 통계적 수법인 피어슨 통계량과 카이제곱 검정을 행하였다. 선호 swing 패턴과 생활습관과의 교차분석 결과는 Table 5.13~Table 5.19와 같으며 가장 상관성이 있는 생활습관은 “운동경력”, “기상시간”, “추위”, “날씨에 대한 참을성”, “에어컨 사용온도”, “냉방시간”, “선호기류”로 나타났다. 생활습관과의 상관관계로 에어컨 사용온도 와 선호기류가 에어컨 작동 시 온열쾌적성 평가에 중요한 요소로 작용하는 것을 알 수 있다.

Table 5.13 Crossing analysis about sports career

Wind	Figure	Sports career		Total	χ^2	
		Yes	No			
Swing speed	Fast	Frequency	0	7	7	0.052**
		Expectation freq.	3	4	7	
		Sports career %	0.00%	20.60%	11.90%	
		Modified residual	-2.4	2.4		
	Normal	Frequency	13	13	26	
		Expectation freq.	11	15	26	
		Sports career %	52.00%	38.20%	44.10%	
		Modified residual	1.1	-1.1		
	Slow	Frequency	12	14	26	
		Expectation freq.	11	15	26	
		Sports career %	48.00%	41.20%	44.10%	
		Modified residual	0.5	-0.5		
Total	Frequency	25	34	59		
	Expectation freq.	25	34	59		
	Sports career %	100.00%	100.00%	100.00%		

** Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

Table 5.14 Crossing analysis about that awake sleep

Wind	Figure	Get up		Total	x^2	
		Regular	Irregularity			
Swing speed	Fast	Frequency	5	2	7	0.055**
		Expectation freq.	4	3	7	
		Get up %	14.70%	8.00%	11.90%	
		Modified residual	0.8	-0.8		
	Normal	Frequency	18	7	25	
		Expectation freq.	14.4	10.6	25	
		Get up %	52.90%	28.00%	42.40%	
		Modified residual	1.9	-1.9		
	Slow	Frequency	11	16	27	
		Expectation freq.	15.6	11.4	27	
		Get up %	32.40%	64.00%	45.80%	
		Modified residual	-2.4	2.4		
Total	Frequency	34	25	59		
	Expectation freq.	34	25	59		
	Get up %	100.00%	100.00%	100.00%		

** Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

Table 5.15 Crossing analysis about cold weather

Wind	Figure	Cold weather		Total	x^2	
		Strong	Weak			
Swing speed	Fast	Frequency	1	6	7	0.012**
		Expectation freq.	2.6	4.4	7	
		Cold weather %	4.50%	15.80%	11.70%	
		Modified residual	-1.3	1.3		
	Normal	Frequency	15	11	26	
		Expectation freq.	9.5	16.5	26	
		Cold weather %	68.20%	28.90%	43.30%	
		Modified residual	3	-3		
	Slow	Frequency	6	21	27	
		Expectation freq.	9.9	17.1	27	
		Cold weather %	27.30%	55.30%	45.00%	
		Modified residual	-2.1	2.1		
Total	Frequency	22	38	60		
	Expectation freq.	22	38	60		
	Cold weather %	100.00%	100.00%	100.00%		

** Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

Table 5.16 Crossing analysis about patience of the weather

Wind	Figure	Patience of the weather		Total	x^2	
		Strong	Weak			
Swing speed	Fast	Frequency	1	6	7	0.017**
		Expectation freq.	4.3	2.7	7	
		Patience %	2.70%	26.10%	11.70%	
		Modified residual	-2.7	2.7		
	Normal	Frequency	19	7	26	
		Expectation freq.	16	10	26	
		Patience %	51.40%	30.40%	43.30%	
		Modified residual	1.6	-1.6		
	Slow	Frequency	17	10	27	
		Expectation freq.	16.7	10.4	27	
		Patience %	45.90%	43.50%	45.00%	
		Modified residual	0.2	-0.2		
Total	Frequency	37	23	60		
	Expectation freq.	37	23	60		
	Patience %	100.00%	100.00%	100.00%		

* Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

Table 5.17 Crossing analysis about air conditioner use temperature

Wind	Figure	Air conditioner use (temperature)		Total	x^2	
		High	Low			
Swing speed	Fast	Frequency	3	4	7	0.028**
		Expectation freq.	5.6	1.4	7	
		Temperature %	6.80%	36.40%	12.70%	
		Modified residual	-2.6	2.6		
	Normal	Frequency	19	4	23	
		Expectation freq.	18.4	4.6	23	
		Temperature %	43.20%	36.40%	41.80%	
		Modified residual	0.4	-0.4		
	Slow	Frequency	22	3	25	
		Expectation freq.	20	5	25	
		Temperature %	50.00%	27.30%	45.50%	
		Modified residual	1.4	-1.4		
Total	Frequency	44	11	55		
	Expectation freq.	44	11	55		
	Temperature %	100.00%	100.00%	100.00%		

Table 5.18 Crossing analysis about cooling

Wind	Figure	Cooling		Total	x^2	
		Long	Short			
Swing speed	Fast	Frequency	6	1	7	0.05**
		Expectation freq.	4	3	7	
		Cooling %	17.60%	3.80%	11.70%	
		Modified residual	1.7	-1.7		
	Normal	Frequency	17	9	26	
		Expectation freq.	14.7	11.3	26	
		Cooling %	50.00%	34.60%	43.30%	
		Modified residual	1.2	-1.2		
	Slow	Frequency	11	16	27	
		Expectation freq.	15.3	11.7	27	
		Cooling %	32.40%	61.50%	45.00%	
		Modified residual	-2.3	2.3		
Total	Frequency	34	26	60		
	Expectation freq.	34	26	60		
	Cooling %	100.00%	100.00%	100.00%		

* Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

Table 5.19 Crossing analysis about preference season

Wind	Figure	Preference season		Total	x^2	
		Summer	Winter			
Swing speed	Fast	Frequency	3	4	7	0.026**
		Expectation freq.	3	4	7	
		Preference season %	12.00%	12.10%	12.10%	
		Modified residual	0	0		
	Normal	Frequency	16	10	26	
		Expectation freq.	11.2	14.8	26	
		Preference season %	64.00%	30.30%	44.80%	
		Modified residual	2.6	-2.6		
	Slow	Frequency	6	19	25	
		Expectation freq.	10.8	14.2	25	
		Preference season %	24.00%	57.60%	43.10%	
		Modified residual	-2.6	2.6		
Total	Frequency	25	33	58		
	Expectation freq.	25	33	58		
	Preference season %	100.00%	100.00%	100.00%		

** Correlation coefficient keeps in mind in 0.05 levels (both).

5.5 결론

본 장에서는 개인이 가장 선호하는 에어컨 기류속도와 swing 패턴의 경향을 파악하였으며 선호 기류 및 swing 패턴에 가장 상관성이 있는 생활 습관과의 상관관계를 규명하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 피험자가 가장 선호하는 기류속도는 weak(0.28m/s), middle(0.8m/s), strong(1.25m/s) 순이며 비율은 43%, 33%, 24%이다. 또한, weak(0.28m/s)의 비율이 strong(1.25m/s)의 비율보다 2배정도 큰 것을 알 수 있었다.

(2) 선호 swing 패턴에서는 slow(17sec), normal(12sec), fast(8sec)의 순으로 나타났으며 그 비율은 45%, 43%, 12%이다. 그리고 대부분의 피험자는 선호 기류 weak(0.28m/s)와 선호 swing 패턴 slow(17sec)를 가장 선호하는 것을 알 수 있었다.

(3) 피험자가 선택한 swing 패턴과 가장 상관성이 있는 생활습관은 “운동경력”, “기상시간”, “추위”, “날씨에 대한 참을성”, “에어컨 사용온도”, “냉방시간”, “선호기류”로 나타났다.

제6장 결론

6.1 전체결론

본 연구는 여름철 냉방 초기의 인체 온열 상태 파악과 냉방 중/후기의 온열쾌적성 향상을 목적으로 진행하였다. 기류 및 온도별 인체 온열 쾌적 변화와 인체순응시점을 규명하였으며 인체순응시점에서 온열환경 요소인 온도 변동을 통해 온열쾌적성 유지를 검증하였다. 또한, 실내에 거주하는 사람들이 가장 선호하는 에어컨 기류 및 swing 패턴을 찾아 냉방 초기의 에어컨 사용의 형태를 파악하였다. 본 연구를 통해 냉방시 에어컨 제어형태에 따른 인체의 온열쾌적성 향상을 제시하고자 하였으며 실내 거주자의 지속적인 온열쾌적성 유지를 위한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

본 연구의 주요 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 인체가 불쾌를 느끼기 시작하는 인체순응시점이 기류 0.6m/s의 경우 22℃와 24℃는 입실 후, 26℃는 20분, 기류 0.4m/s의 경우 22℃는 입실 후, 24℃는 30분, 26℃는 40분, 기류 0.2m/s의 경우 22℃는 40분, 24℃는 70분으로 이 시점에서 인체는 온열환경 요소의 변동을 요구하기 시작하는 것을 알 수 있었다.

(2) 온열쾌적성 제어를 위한 온냉감과 가장 상관관계가 있는 인자는 기류 0.6m/s에서 국부온냉감(abdomen), 0.4m/s에서는 국부온냉감(hand), 0.2m/s에서는 국부피부온도(foot)이며 쾌적감의 경우 0.6m/s에서는 국부피부온도(arm), 0.4m/s에서는 국부온냉감(arm), 0.2m/s에서는 국부피부온도(arm)로 나타났으며 사지말단의 쾌적감과 노출부위 피부온도가 온열쾌적성변화에 가장 큰 상관성이 있다는 것을 알 수 있었다.

(3) 실험계획법을 통해 온열쾌적성에 영향을 미치는 인자의 특성치를 분석해 본 결과 기여율의 경우 기류인자의 변동이 49%, 온도인자의 변동이 42%로 기류 및 온도가 온열쾌적성평가에 유의한 요소로 작용하는 것을 알 수 있었다.

(4) 온도 1℃ 상승 실험을 통해 설정온도 24℃, 26℃ 모두 온냉감은 $-1.8 < TSV < -0.8$, 쾌적감은 $0.1 < CSV < 1.4$ 영역을 유지하였으며 냉방초기에서 냉방중기까지 지속적인 온열쾌적성을 유지하였다. 또한, 평균피부온도는 쾌적 영역인 33.2℃를 유지하였으며 생리신호인 HRV와 알파(α)파 비율은 자극 전보다 자극 후의 값이 상승하므로 신체가 안정적 쾌적 상태로 유지되는 것을 알 수 있었다.

(5) 설정온도 22℃, 24℃에서 온도 3℃ 상승을 통해 온냉감은 $-2 < TSV < -1$, 쾌적감은 $0 < CSV < 1$ 을 유지하여 냉방 초기에서 냉방 후기까지 약간의 서늘함을 느끼지만 지속적인 쾌적 상태를 유지하였으며 온도 3℃ 상승을 통해 HRV와 알파(α)파 비율은 초반 큰 상승폭을 보였지만 후반으로 갈수록 상승의 폭이 둔감 되는 것을 알 수 있었다. 하지만 전체적인 비율이 자극 전 조건보다 자극 후의 조건이 상승하므로 온도 상승이 더욱 안정적인 신체 상태를 유지시켰다.

(6) 피험자가 가장 선호하는 기류속도는 weak(0.28m/s), middle(0.8m/s), strong(1.25m/s)순이며 비율은 43%, 33%, 24%이다. 또한, weak(0.28m/s)의 비율이 strong(1.25m/s)의 비율보다 2배정도 큰 것을 알 수 있었다.

(7) 선호 swing 패턴에서는 slow(17sec), normal(12sec), fast(8sec)의 순으로 나타났으며 그 비율은 45%, 43%, 12%이다. 그리고 대부분의 피험자는 선호 기류 weak(0.28m/s)와 선호 swing 패턴 slow(17sec)를 가장 선호하는 것을 알 수 있었다.

(8) 피험자가 선택한 swing 패턴과 가장 상관성이 있는 생활습관은 “운동경력”, “기상시간”, “추위”, “날씨에 대한 참을성”, “에어컨 사용온도”, “냉방시

간”, “선호기류”로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] ASHRAE, 1992, "Thermal Environmental Conditions for Human occupancy", ANSI/ASHRAE Standard 55-92.
- [2] 김봉애. 2003, "건강에 영향을 미치는 주거환경", 한국생활환경학회지 제 10권 제4호 pp.215-221.
- [3] 안태경, 2003, "건강주택을 위한 실내공기환경 수준 설정", 한국생활환경학회지 제10권 제1호 pp.33-40.
- [4] 송두삼, 2003, "인간의 열적 적응성을 고려한 퍼스널 공조시스템의 개발", 설비공학논문집, 제15권 제6호, pp.524-532.
- [5] 전정운, 배누리, 2005, "공동주택의 여름철 수용 쾌적온도 범위와 거주자의 냉방기 사용행위에 관한 연구", 설비공학논문집, 제17권 제5호, pp477-486.
- [6] 공성훈, 손장열, 이옥경, 1988, "공동주택의 온열환경요소 분포와 인체의 자세별 온열쾌적조건에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제4권 제3호, pp.185-192.
- [7] C.P.Yaglou, W.E.Miller, 1925, "Effective Temperature with clothing, ASHVE Transactions", Vol.31, pp.89-99.
- [8] A.P.Gagge, Y.Nishi, R.R.Gonzales, 1973, "Thermal Comfort and Moderate Heat Stress", Building Research Station, pp.229-250.

- [9] A.P.Gagge, A.P.Fobelets, L.G.Berglund, 1986, "A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment", ASHRAE Transaction, Vol.92, Part2, pp.709-731.
- [10] P.O.Fanger, 1970, "Thermal Comfort-Analysis and Application in Environmental Engineering", Danish technical press
- [11] S.Tanabe, 1988, "Thermal Comfort Requirements in Japan", Ph.D, Waseda University
- [12] K.Fukai, S.Gotoh, J.Saito, H.Ito, 1992, "Experimental Study on Correlation between Standard New Effective Temperature(SET*) and Japanese Thermal Sensation(Part1-Analysis of Subjective Judgement in WinterExperiment)", The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No.48, pp.21-29.
- [13] K.Fukai, S.Gotoh, J.Saito, H.Ito, S.Akui, 1993, "Experimental Study on Correlation between Standard New Effective Temperature(SET*) and Japanese Thermal Sensation(Part 2-Comparisin of Thermal Sensation in Winter and Summer Seasons)", The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No.51, pp.139-147.
- [14] T.Horikoshi, Y.Kobayashi, T.Tsuchikawa, 1991, "Indicies of Combined and Independent Effect of Thermal Environmental Variables upon the

- Human Body", ASHRAE Transaction Research, Vol.97, pp.228-238.
- [15] Sekhar, S. C. and Ching, C. S, 2002, "Indoor air quality and thermal comfort studies of an under-floor air-conditioning system in the tropics", *Energy and Buildings*, 34, pp.431-444.
- [16] Nakano, J., Tanabe, S. and Kimura, K, 2002, "Differences in perception of indoor environment between Japanese and non - Japanese workers, *Energy and Building*", 34, pp.615-621.
- [17] Wong, N. H. and Khoo, S. S, 2003, "Thermal comfort in classrooms in the tropics", *Energy and Buildings*, 35, pp.337-351.
- [18] Raja : Raja, I. A., Nicol, J. F., McCartney, K. J. and Humphreys, M. A. 2001, "Thermal comfort : use of controls in naturally ventilated builgings". *Energy and Buildings*, 33, pp.235-244.
- [19] Heidari, S. C. and Sharples, S. 2002, "A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran", *Energy and Buildings*, 34, pp.607-614.
- [20] Ealiwa, M. A., Howarth, A. T. and Seden M. R. 2001, "An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames", *Libya. Building and Environment*, 36, pp.231-237.
- [21] Jitkhajornwanich, K. and Pitts, A. C. 2002, "Interpretation of thermal

responses of four subject groups in transitional spaces of buildings in Bangkok”, *Building and Environment*, 37, pp.1193-1204.

[22] Evin, F. and Siekierski, E. 2002, “Sensory evaluation of heating and air conditioning systems”, *Energy and Buildings*, 34, pp.647-651.

[23] 전정윤, 배누리, 2005, “공동주택의 여름철 수용 쾌적온도 범위와 거주자의 냉방기 사용행위에 관한 연구”, *설비공학논문집*, 제17권 제5호, pp477-486

[24] 손장열, 공성훈, 윤용진, 1985, “불균등 복사 공간의 쾌적온도 범위 설정을 위한 연구”, *공기조화냉동공학*, 제14권 제3호, pp.13-25.

[25] 공성훈, 손장열, 이옥경, 1988, “공동주택의 온열환경요소 분포와 인체의 자세별 온열쾌적조건에 관한 연구”, *대한건축학회논문집*, 제4권 제3호, pp.185-192.

[26] 배귀남, 이철희, 이춘식, 최향철, 1995, “겨울철 사무실내 온열환경 특성 및 쾌적성 평가”, *공기조화냉동공학회*, 제7권, 제2호, pp.310-318.

[27] 배귀남, 이철희, 이춘식, 1995, “여름철 사무실내 한국인의 온열감 평가”, *공기조화냉동공학회*, 제7권, 제2호, pp.341-352.

[28] 윤정숙, 최윤정, 이성하, 1992, “여름철 실내 온열환경의 중성온도 설정에 관한 실험 연구”, *대한건축학회논문집*, 제 8권 4호, pp.73-80.

[29] 윤정숙, 민경애, 최윤정, 1994, “온돌난방공간에 있어서 온수공급 조건에 따른 거주자의 주관적반응과 온열쾌적범위” *대한건축학회논문집*, 제10권 10

호, pp.167-173.

[30] 공성훈, 박상동, 손장열, 1989, “종합적 지표에 의한 실내온열환경의 특성과 온열쾌적 범위에 관한 연구-겨울철 사무소 건물을 중심으로-”, 대한건축학회논문집, 제5권, 제3호, pp.159-167.

[31] 공성훈, 1995, “대류 난방공간에서 온열쾌적조건의 분포상태에 관한 연구”, 한국주거학회지, 제6권 제1호, pp.31-37.

[32] 최윤정, 1996, “고령자의 겨울철 실내 온열환경 조절 행위와 쾌적범위에 관한 연구”, 박사학위 논문, 연세대학교

[33] 이주영, 1985, “교실온열환경의 쾌적범위 설정 모델에 관한 연구”, 박사학위논문, 연세대학교

[34] 이시웅, 강용석, 윤동원, 1994, “지하상업공간의 쾌적범위와 쾌적도 예측 모델 설정에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제10권 제11호, pp.207-215.

[35] LG, 1997, “LG하니웰 기술정보지”, pp.9-16.

[36] 금종수, 김경철, 1992, “실내공조에 있어서 온열환경의 쾌적조건에 대한 연구방향 및 방법의 제시에 대한 최종보고서”, 부경대학교 (구 부산수산대학교)산업기술연구소

[37] 주익성, 1998, “고령자의 온열쾌적감에 관한 연구”, 석사학위논문, 부경대학교

[38] 浦野良美, 中村 洋, 1996, “建築環境工學”, 林北出版株式會社, pp.188-189.

- [39] 김종수, 1993, “한국인에 맞는 쾌적지표의 검증와 기준 data 추출에 대한 최종보고서”, 부경대학교(구 부산수산대학교) 산업기술연구소
- [40] 김종수, 1997, “온열쾌적감 측정기술 및 DB개발”, 제 9회 G7 감성공학 감성요소 기술개발 및 DB구축 workshop 자료집, pp.78-94.
- [41] ASHRAE, 1981, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, ANSI/ASHRAE Standard pp.55-81.
- [42] ASHRAE, 1989, “ASHRAE Handbook-1989 Fundamentals-”, pp.8.1-8.29
- [43] 空氣調和・衛生工學會, 1995, “空氣調和 衛生工學 便覽, 第 12版 1 基礎篇”, pp.467-492.
- [44] 人間-熱環境系篇集委員會, 1989, “人間-熱環境系”, 日刊工業新聞社, pp.15-27.
- [45] 강두희, 1992, “생리학 개정4판”, 신광출판사, pp 12-1-13-20.
- [46] A.P.Gagge, A.C.Burton, H.C.Bazett, 1941, “A Practical System of Units for the Description of the Heat Exchange of Man with his Environment”, Science, pp.428-430.
- [47] 横山 眞太郎, 1993, “生體內熱移動現象”, 北海道大學圖書刊行會, pp.57-72.
- [48] 花田嘉代子,三平和雄, 1981, “婦人用着類の熱抵抗の計測に關する研究”,

纖維製品消費科學會誌, 24-8, pp31-37.

[49] Parsons, K. C. (2002) The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for comfort. *Energy and Buildings*, 34, 593-599.

[50] ISO, 1984, "Moderate Thermal Environments -Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort-" , ISO Standard 7730

[51] 花田嘉代子,三平和雄, 1983, "男性用下着類の熱抵抗の計測に関する研究"
 , 纖維製品消費科學會誌, 24-8, pp.31-37.

[52] 주익성, 김동규, 최광환, 이구형, 임금식, 1997, "한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구(Part I. 겨울철 체감실험결과)", 97한국감성과학회 연차학술대회 논문집, pp.107-112.

감사의 글

본 논문이 있기 까지 아낌없는 지도와 격려로 저를 이끌어 주신 금종수 지도교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 연구과정에서 부족한 부분을 일깨워 주신 오후규교수님, 김종수교수님, 김영수교수님, 최광환교수님, 윤정인교수님, 정석권교수님 그리고 김은필교수님께 깊이 감사드립니다. 또한, 심사과정에서 연구의 평가를 높이기 위해 면밀한 검토와 조언을 해주신 이구형박사님 정말 고맙습니다.

오늘의 결과가 있기까지 많은 도움을 준 김종렬박사님, 김동규박사님, 김보철박사님, 정용현교수님, 신병환선배님께 감사드리며, 건축환경설비연구실과 대체에너지연구실 김만수, 한남규, 김동은, 신호준, 이상호, 이미화, 김민수, 강석중, 최형우, 박재명, 김광우, 강울호, 이제현 후배님께 감사를 드립니다.

무엇보다도 오늘의 논문이 만들어지기까지 한결같은 마음으로 사랑과 관심으로 보살펴주신 어머니, 그리고 형, 누나, 자형, 형수, 우리 조카에게 고개 숙여 감사드립니다. 그리고 늘 어리광만 부렸던 막내아들에게 자신 있게 공부할 수 있도록 만들어 주신 하늘에 계신 아버지께 이 작은 결실을 바칩니다.

이제 또 다른 시작을 위해 끊임없는 노력과 도전을 할 계획입니다. 앞으로 누구보다도 성실하며 노력하는 자세로 최선을 다할 것을 다짐하며, 그 동안 옆에서 많은 도움을 주신 분들께 다시 한번 감사의 말씀을 드립니다.