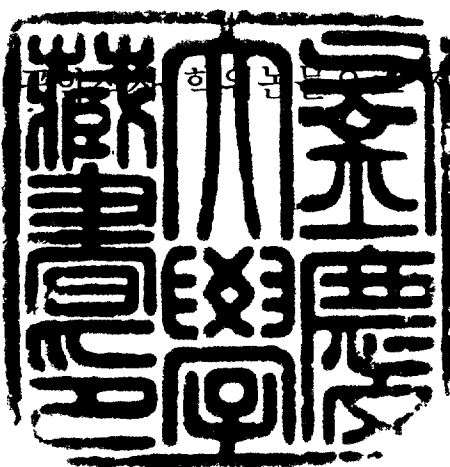


공학석사 학위논문

SET * 를 이용한 인체내 축열량에 관한 연구

지도교수 금 종 수

이 논문을



출함

2002년 2월

부경대학교 산업대학원

냉동공조공학과

이 용 배

이 용 배의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월

주 심 공학박사 최 광 환



위 원 공학박사 김 은 필



위 원 공학박사 금 종 수 (인)



목 차

Abstract	iv
List of figures	v
List of tables	vi
제 1 장 연구의 개요	1
1.1 연구배경과 목적	1
1.2 인체내 축열 방정식	3
제 2 장 본 론	4
2.1 쾌적환경의 평가수법에 관한 기초이론	4
2.1.1 온열 쾌적감	4
2.1.2 온열 쾌적지표	5
2.2 온열환경 인자와 인체열방산	7
2.2.1 온열환경 인자	8
2.3 인체열방산의 물리인자	10
2.3.1 의복의 열저항	10
2.3.2 대류열전달률	11
2.3.3 방사열전달률	11
2.3.4 평균방사온도	12
2.3.5 작용온도	13
2.3.6 의복의 전열효율	13

2.4 증발열방산의 물리인자	14
2.4.1 대류물질 전달율	14
2.4.2 증발에 의한 열전달량	14
2.4.3 증발에의한 열전달율	14
2.4.4 의복의 투습표율	15
2.3.5 최대 증발열방산량	15
2.5 체열방산에 관계하는 생리인자	16
2.5.1 평균피부온도	16
2.5.2 젖음 면적율	17
2.5.3 호흡에 의한 열방산	18
2.5.4 인체축열	19
2.5.5 체내에서의 열이동	19
제 3 장 SET*를 이용한 환경 평가방안	21
3.1 표준신유효온도(SET*)	22
3.1.1 SET* 개요	22
3.1.2 SET*의 불균일온열환경 평가 문제점	25
3.2 실외환경평가방안	26
3.2.1 평가방안	26
제 4 장 온열쾌적감실험	27
4.1 실험개요	27
4.1.1 피험자	27

4.1.2	대사량과 착의량	28
4.1.3	온냉감 및 쾌불쾌감 신고척도	29
4.1.4	실험장치	30
4.1.5	실험절차와 계측장치	33
4.1.6	실험조건	34
4.2	실험결과 및 고찰	35
4.2.1	실내환경 실측결과	35
4.2.2	온도별 전신온냉감, 쾌불쾌감, 기류감	36
제 5 장	결론	63

A Study on Heat storage in body use in SET

Yong – Bae Lee

Department of refrigeration engineering

Graduate School, Pukyong National University

Abstract

There is a constant relation between Heat storage and Thermal sensation vote, when man thermal Environment. SET* define steady state environment but this case involve time, which study in time.

This study researched thermal sensation and comfort index in unsteady environment with SET*(Heat storage)which is for indoor index, through experiment of 12 man. The object of this study is to examine relation between Heat storage and Thermal sensation vote, when man unsteady thermal Environment.

This paper mainly describes comfort sensation, thermal sensation in relation to ASHRAE's New Standard Effective Temperature, SET* (Heat storage).

List of Figures

Figure 2.1 Evaluation of Thermal Environment relation to Environment facts6

Figure 2.2 The relation between thermal factors. heat dissipation, body heat control,
physiological conditions and thermal sensations7

Figure 2.3 Heat dissipation from the human body 8

Figure 2.4 Concept of two node model20

Figure 3.1 Concept of evaluation for thermal environment21

Figure 3.2 Concept of SET*24

Figure 4.1 Voting scales29

Figure 4.2 Air Conditioning system30

Figure 4.3 Experimental Apparatus31

Figure 4.4 Experimental Apparatus31

Figure 4.5 Experimental Process33

List of Tables

Table 2.1 Heat exchange between body and environment9

Table 2.2 Thermal insulations of typical clothing ensembles(20)10

Table 2.3 Properties 15

Table 2.4 Equations to estimate MST16

Table 4.1 Anthropometric data of the subjects27

Table 4.2 clo-value and clothes weights28

Table 4.3 Specification of the experimental apparatus31

Table 4.4 Measuring instrument and it is sensor Positions32

Table 4.6 Experimental Condition34

Table 4.7 Experimental setting conditions and result35

제 1 장 서 론

1.1 연구배경과 목적

인간은 주위 온열환경으로부터 대단히 복잡한 과정을 통해 쾌적감을 느끼게 되는데 쾌적감과 온열환경과의 관계를 파악하기 위한 연구와 인간에게 쾌적감을 제공할 수 있는 쾌적공조를 위한 열적 쾌적조건에 대한 연구는 Fanger, Gagge, Tanabe 등에 의해 체계적으로 이루어졌으며 ISO-7730에 규정되어지고 있는 PMV, ASHRAE의 SET*는, 열적쾌적성을 평가하는 지표와 온열환경의 설계지표로 하여 널리 세계적으로 이용되어 지고 있다. 온열환경 지표중 SET*는 체온조절기능을 고려해 넣은 model화 된 인체(Two-node)와 그 주위를 둘러싼 온열환경과의 사이에서 생기는 열평형식에 의거하여 정의되는 신유효온도를 근간으로 하여 서로 다른 온열환경을 비교할 수 있도록 표준화한 지표이다. 인간이 어떤 일정한 환경에 수시간 주어진 경우 인체와 주위와의 열수지는 하나의 정상상태에 들어간다고 생각되어진다. 따라서 주위환경이 변동하고 있는 경우와 인체가 환경변동에 순응할 때까지의 사이에 “시간”이 관여하는 것이다. 이와같은 정상상태에 있어서 쾌적 조건 평가를 위한 온열지표는 우선 출발이 인체와 주위환경과의 열평형으로 출발한다

현재 많이 이용되고 있는 온열환경지표중 표준신유효온도 SET*는 체온조절기구 반응량(떨림, 피부혈류, 발한)조작 등에 관한 사고방식이 명확하다. 또한 일반적인 환경에서는 호흡에 의해 저온·저습의 공기를 흡입하여 고온·고습의 공기로 배출하기 때문에 호흡에 수반하여 일어나는 습성열방산과 건성열방산의 두 가지 조건 모두다 고려하고 있고, 저온환경에 폭로되는 경우는 체온의 저하가 시작됨에 따라서 떨림에

의한 산열량의 증가가 시작되어 체온의 저하를 막도록하고있다. Kawashima 등의 보고에 의하면 생리학적 실험에 의한 내용과도 잘 일치하고 있다고 한다. 따라서 본 연구는 SET* 이용해서 계산되어진 인체내 축열량과 환경에 대한 전신온냉감, 쾌불쾌감 설문을 관계를 분석함으로써 온열환경에 대한 인체의 생리적 반응을 검토하였다.

1.2 인체내 축열 방정식

인체내 축열량을 구하기 위하여 사람과 환경 사이의 정상상태에 대한 인체내의 축열량을 열평형식을 SET*프로그램을 이용하여 구하였다.

$$STORE = ACT - WK - CRES - EV - DRY$$

STORE : 인체내 축열량 [W/ m²]

ACT : 대사량 [W/ m²]

Cres : 호흡방열달(현열분) [W/ m²]

EV : 증발방산량[W/m²]

DRY :의복을 통한 손실 [W/m²]

제 2 장 본 론

2.1 쾌적환경의 평가수법에 관한 기초이론

2.1.1 온열쾌적감(Thermal comfort)

인간은 열적으로 쾌적한 환경을 만들기 위해 노력을 해 왔으며, 이와 같은 노력은 오늘날까지 건축에 반영되어 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 나타내기에는 어려운 점이 있다. 이는 심리적 쾌적 상태를 나타내야 하기 때문이다. 온열쾌적감을 평가하는 지표(SET*)에서 고려하는 온열요소는 공기온도, 방사온도, 기류, 습도, 착의량, 대사량 6가지를 고려한다. 즉 착의량과 대사량은 인간측 요소이며, 나머지 4요소는 환경조건이다. 또한 공기의 청정도, 조명, 소음 등의 기타 요소도 온열쾌적감을 평가할 때 함께 고려되어야 할 요소로서 많은 연구를 필요로 한다.

2.1.2 온열 쾌적지표

온열환경의 평가에 있어 제요소의 관계를 flow-chart로 나타내면 그림 2.1과 같다. 온열적 쾌적감이나 온냉감 등 인간의 온열감각을 좌우하는 것은 인체와 환경 사이의 열교환의 결과인 열수지량 S 와 이에 따라 결정되는 평균피부온도 t_{sk} 및 피부젖은면적을 w 이다. 이 열교환 프로세스에 영향을 주는 요소로서 환경측 요소는 기온 t_a , 평균방사온도 t_r , 상대습도 rh , 풍속 v 이고, 인간측 요소는 대사량 M , 착의량 I 이다. 온열환경을 평가하기 위해 이와 같은 온열요소를 적당히 조합해서 만든 변량을 온열지표라 부른다. 복잡한 인간의 온열감각을 고려한 평가의 정확성 측면에서 온도 그 자체는 상당히 간단한 온열지표라 말하지만, 상기 6가지 온열요소를 고려한 온열지표에 비해 정확성은 떨어진다.

온열지표는 환경이 안전, 건강, 쾌적한지 아닌지를 온열적 관점에서 판단하고, 환경을 설계, 관리, 조정, 평가하기 위해 이용되는 것이다. 따라서 온열지표의 환경평가로서 적합성은 최종적으로 인간의 실제 온열감각, 생리 심리적 증상과 비교 검사하여 판정되어야 할 것이다.

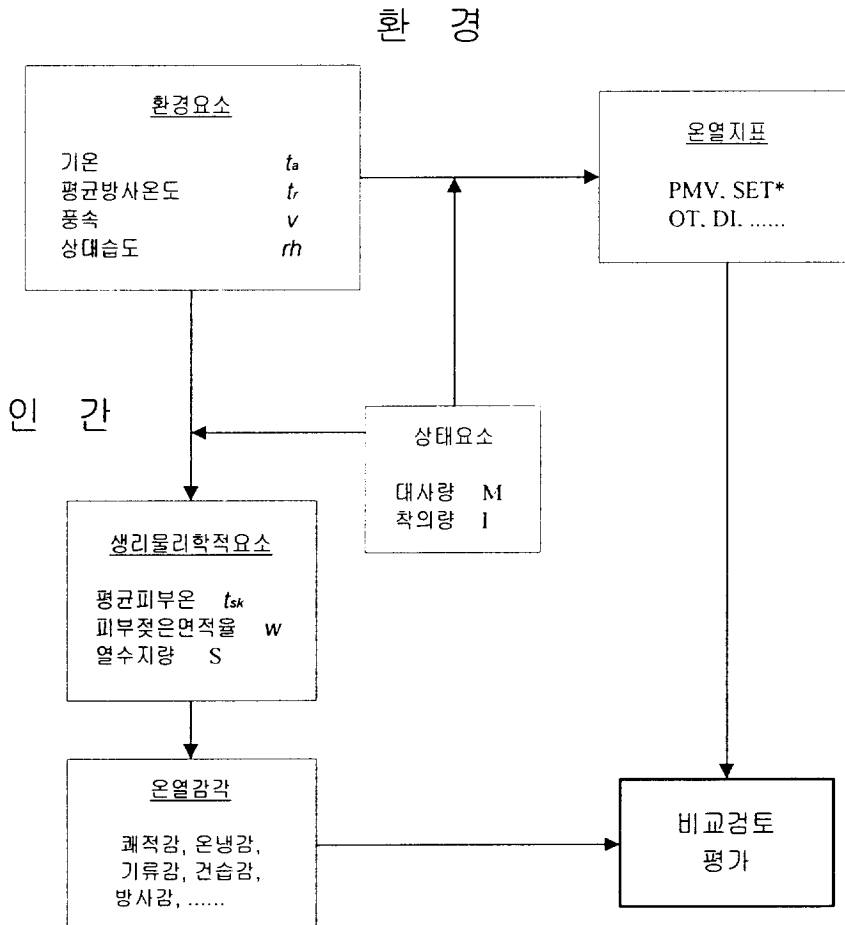


Fig. 2.1 Evaluation of Thermal Environment relation to Environment facts

2.2 온열환경인자와 인체열방산

인체의 온냉감과 쾌불쾌감은 인체와 주변환경간의 열평형과 밀접한 관계를 가진다. 인체는 체온을 일정하게 유지하기 위한 정교한 체온조절 기능을 가지고 있다. 인체와 주변환경간의 열교환은 방사, 대류, 전도 및 증발이라는 매카니즘을 통하여 일어난다. 인체의 열평형과 관계하는 환경측 물리적 요소로서 기온, 평균방사온도, 기류속도, 상대습도 등이 있으며 또, 인체측 요소로서 의복량과 대사량이 있다. Figure 2.1에 환경인자, 인체와 환경사이의 열전달, 열평형, 그리고 생리적 조절기능에 의해 결정되는 인체의 온냉감과 쾌불쾌감의 관계를 나타내었다⁽¹⁸⁾. 본 장에서는 온열환경인자의 작용을 온열생리학적인 측면에서 검토하였고 또한 SET*의 이론적 근거가 되는 인체와 주변환경간의 열방산의 관계를 이론적으로 정리하였으며, 온열쾌적감과 신고척도에 관하여 조사하였다.

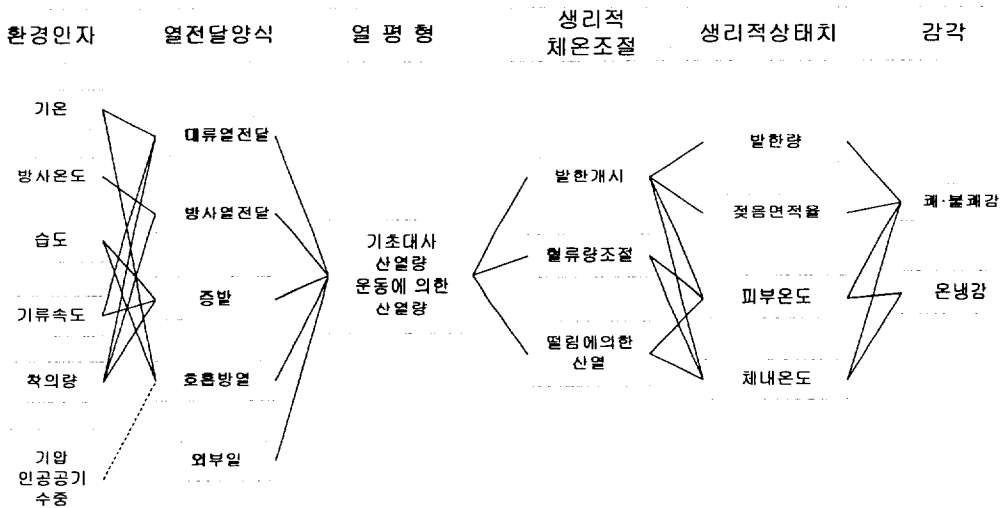


Figure 2.2 The relation between thermal factors, heat dissipation, body heat control, physiological conditions and thermal sensations

2.2.1 온열환경인자

인체는 열에너지를 주변환경으로 방산함으로써 일정한 체온을 유지하고 있다. Figure 2.2 및 Table 2.1은 인체의 열방산 경로와 온열환경 인자와의 관계를 표시한 것이다. 기온이 낮을수록 피부온도와 외기의 온도차가 크게 되기 때문에 대류에 의한 방열량이 증대하며, 평균방사온도 즉, 주벽면온도가 낮을 경우에는 인체로부터 주벽면으로 방사에 의해 방열하는데 이것을 냉방사라고 한다.

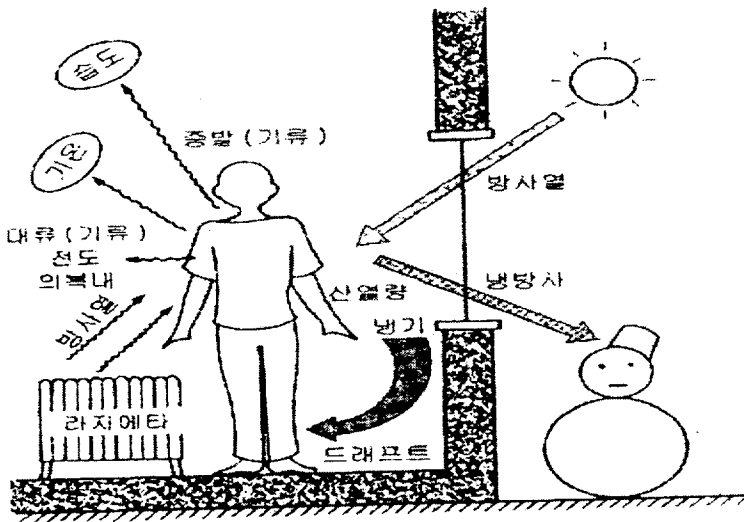


Figure 2.3 Heat dissipation from the human body
with 6 thermal environment factors

반대로 표면온도가 높은 물체가 존재하면 인체는 그것으로부터 방사열을 받아들이며, 실외에서 태양으로부터 일사열을 받는 것이 그 예이다. 또, 인체는 마루나 의자 등과 같은 물체의 표면과 직접 접촉함으로써 열전도에 의해서 체열을 방열한다.

Table 2.1 Heat exchange between body and environment

온열환경인자	관련된 체열방산양식
기온	대류, 호흡
주벽면온도	방사, 전도
습도	피부, 호흡기로부터 증발
기류속도	체표면으로부터 대류 및 증발
착의량	의복내 전도, 투습, 방사

인체는 피부와 점막을 보호하기 위하여 최소한의 수분을 항상 증발시키고 있다. 이것은 불감수분상실(不感水分喪失)이라 하며, 상온 안정시에는 체열의 20~25%정도가 불감수분상실에 의해 방산된다. 주위의 기온이 상승할수록 대류와 방사에 의한 방열은 감소하고 대신에 체온조절기능으로서 발한이 시작된다. 기온이 체온보다도 높을 때에도 충분한 발한과 증발이 일어난다면 체온을 일정하게 유지할 수 있다. 그러나 땀의 증발은 주위환경의 습도(수증기 분압)가 높아지면 감소한다.

기류속도의 증가는 대류와 증발에 의한 열방산을 촉진시키며, 저온의 기류는 손, 발 등과 같은 말초부위를 냉각시키는 원인이 된다.

의복은 인체와 환경간의 완충재로서의 역할을 하며, 추울 때는 체열 손실을 막기 위하여 착의량을 증가시키고, 더울 때는 열방산량을 높이기 위해서 착의량을 감소시킨다.

2.3 인체열방산의 물리인자

2.3.1 의복의 열저항

의복을 통한 열이동은 열전도에 의해 이루어지며, 열전도 과정에는 공기층을 포함한 의복의 열전도율 k [$W/m^2\text{ }^\circ C$]와 의복의 두께 $d[m]$, 피부온도 t_{sk} 및 의복의 표면 온도 t_{cl} 이 관계한다. 열전도율 k 를 두께 d 로 나눈 값의 역수를 의복의 열저항 I_{cl} 이라 하고, 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$Q = (k/d)(t_{sk} - t_{cl}) = (1/I_{cl})(t_{sk} - t_{cl}) [W/m^2] \quad (2.1)$$

의복의 열저항을 표시하는 실용단위로서 Gagge에 의해 제안된 clo가 있다⁽¹⁹⁾.

$$1[clo] = 0.155 [m^2\text{ }^\circ C/W] \quad (2.2)$$

Table 2.2에 각종 착의상태의 조합에 따른 clo값을 나타내었다.

Table 2.2 Thermal insulations of typical clothing ensembles⁽²⁰⁾

clothing ensembles	I _{cl}	
	clo	m ² °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, skirt, 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

2.3.2 대류열전달율

열전도에 의해 피부표면에서 의복표면까지 이동한 열의 일부는 대류열전달에 의해 주위로 방산된다. 대류열전달율은 방열체 주위의 기류속도와 그 형태의 크기에 따라서 값이 변한다. 작업시(1.25met~5.0met) 평균 대류열전달율의 대표적인 식은 다음과 같다⁽²¹⁾.

$$h_c = 5.66(\text{met} - 0.85)^{0.39} [\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}] \quad (2.3)$$

대류열전달율에 영향을 준다고 생각되는 또 한 개의 인자는, 피부온도와 기온의 차이로 인해서 발생하는 자연대류이다. G.M. Rapp는 자연대류와 기류에 의해 발생하는 강제대류가 혼재할 때의 대류열전달율을 이론적으로 해석하고 있지만, 일반적으로 자연대류의 영향은 무시해도 지장이 없는 것으로 알려져있다⁽²²⁾.

2.3.3 방사열전달율

물체와 그것을 둘러싸는 주벽면 사이의 방사열 교환량은 절대온도의 4승에 비례한다. 그러나, 인체 표면온도 t_s 와 주벽온도 t_r (또는 평균방사온도)의 차는 일반적으로 크지 않으며, 온도차가 30℃ 정도까지는 다음 식으로 근사화 하는 것이 가능하다.

$$R = 4 \sigma \epsilon_1 [(t_s + t_r)/2 + 273.15^3] (t_s - t_r) [\text{W/m}^2] \quad (2.4)$$

일반적인 실내환경에서는 $(t_s + t_r)/2$ 을 20~30℃의 범위로 두면 (2.4)식은 다음과 같다.

$$4[(t_s + t_r)/2 + 273.15^3] = (1.06 \pm 0.05) \times 10^8 \quad (2.5)$$

온도차($t_s - t_r$)에 관계되는 계수를 방사열전달율 h_r 이라고 정의하면, (2.4)식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R = h_r(t_s - t_r)[W/m^2] \quad (2.6)$$

여기서, h_r 은 선형화된 방사열전달율로, $h_r = 4.0 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$ 으로 정수화해서 취급하는 것이 가능하다.

2.3.4 평균방사온도 (Mean radiant temperature)

실재에 있어서 어떤 공간의 평균방사온도를 구하는 것은 대단히 복잡하고 어렵다. 그러나 글로브온도계를 사용하여 글로브온도 t_g 를 측정한 다음, 아래의 관계식을 사용하면 비교적 쉽게 구할 수 있다. 글로브온도 t_g 와 기온 t_a , 평균방사온도 t_r 사이의 관계는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$h_{cg}(t_a - t_g) = h_{rg}(t_g - t_r)[W/m^2] \quad (2.7)$$

여기서, h_{cg} , h_{rg} 는 각각 글로브의 대류 및 방사열전달율이다.

위 식의 좌변은 대류에 의해 주위공기로부터 글로브에 전달된 열량이고, 우변은 방사에 의해서 글로브로부터 주벽면에 전달되는 열량이다. (2.7)식에서 평균방사온도를 구하면 다음과 같다.

$$t_r = t_g + (h_{c \cdot g} / h_{r \cdot g})(t_g - t_r)[^\circ C] \quad (2.8)$$

T. Bedford는 실험적으로 글로브 열전달율의 조합을 고려하여 다음 식을 제안하였다.

$$t_r = t_g + 2.37\sqrt{v}(t_g - t_r)[^\circ C] \quad (2.9)$$

2.3.5 작용온도

의복표면에서 대류 및 방사열전달을 통해 방산되어지는 열량은 다음 식으로 나타낸다⁽²⁾.

$$C + R = h_c (t_{cl} - t_a) + h_r (t_{cl} - t_r) [W/m^2] \quad (2.10)$$

$$= h(t_{cl} - t_o) [W/m^2] \quad (2.11)$$

여기서, $h = (h_c + h_r)$, $t_o = (t_a h_c + t_r h_r) / h$ [$^{\circ}C$]이다.

2.3.6 의복의 전열효율

의복내를 열전도에 의하여 이동된 열은 의복표면에서 대류와 방사에 의하여 방산되어진다. (2.1)식과 (2.11)식에서 $Q = (C + R)$ 이라 두고, t_{cl} 를 소거하면 다음 식이 얻어진다.

$$C + R = (h / (1 + h I_{cl})) (t_{sk} - t_o) [W/m^2] \quad (2.12)$$

열저항치 대신 I_{clo} 사용하면 (2.11)식은 다음과 같다.

$$C + R = (h / (1 + 0.155h I_{clo})) (t_{sk} - t_o) [W/m^2] \quad (2.13)$$

대류 및 방사에 의한 전열량에 의복이 미치는 영향의 정도를 나타내는 것이 의복의 전열효율 F_{cl} 이며, (2.13)식의 우변으로부터 다음과 같이 나타내어진다⁽²³⁾.

$$F_{cl} = 1 / (1 + 0.155h I_{clo}) [ND] \quad (2.14)$$

2.4 증발열방산의 물리인자

2.4.1 대류물질전달율

물질전달율과 대류열전달율의 관계는 다음과 같다.

$$h_p = (1 - c_{pa} \rho) (D/a)^{2/3} h_c \text{ [m/h]} \quad (2.15)$$

여기서, c_{pa} 는 기체의 비열 [kJ/kg], ρ 는 비중량 (kg/m³), D 는 확산계수(m²/h), a 는 기체의 온도전도율(m²/h)이다.

수증기압 p_{sk}^* 인 피부면으로부터 수증기분압 P_a 인 공기중으로의 증발에 의한 물질이동량 m 은 다음 식으로 나타내어진다

$$m = h_D (p_{sk}^* - p_a) / (R_v(t + 273.15)) \text{ [kg/m}^2 \cdot \text{h]} \quad (2.16)$$

여기서, t 는 피부온도와 기온의 평균값, R_v 는 기체정수이다.

2.4.2 증발에 의한 열전달량

증발에 의해 피부면으로부터 공기중으로 방산되는 열량은 증발수분량 m (kg/m²·h)과 증발잠열 λ 로써 구할 수 있다. 잠열량은 온도에 따라 다르지만, 평균피부온도 33~34℃의 경우 $\lambda = 674$ [Wh/kg] 또는 2430[kJ/kg]이다.

$$E = \lambda \cdot h_D (p_{sk}^* - p_a) / ((R_v(t + 273.15)) \text{ [W/m}^2 \text{]} \quad (2.17)$$

$$= h_e (p_{sk}^* - p_a) \text{ [W/m}^2 \text{]} \quad (2.18)$$

2.4.3 증발에 의한 열전달율

Table 2.3에 상온 대기압 하에서 증발에 관계하는 모든 인자의 물성치를 표시하였다. 증발열전달율 h_e (evaporative heat transfer coefficient)는 대류열전달율 h_c [W/

$m^2 \cdot ^\circ C$ 의 함수로 다음과 같이 나타난다.

$$h_e = 2.2 h_c [W/m^2 \cdot mmHg] \quad (2.19)$$

여기서, 계수 2.2 [$^\circ C/mmHg$]는 루이스의 상수⁽²⁴⁾이다.

Table 2.3 Properties

물리인자	기호	SI
비열	c_{pa}	1.005 kJ/kg · $^\circ C$
비중량	ρ	1.169 kg/ m^3
확산계수	D	0.0940 m^2/h
열전도율	α	1.0811 m^2/h
수증기 기체상수	R_v	0.4615 kJ/kg · K
증발 잠열	λ	2.430 kJ/kg

2.4.4 의복의 투습효율

땀의 증발에 의한 냉각효과에 있어서 의복의 투습효율은 중요한 인자이다. 수증기는 의복과 동일한 열저항치를 가지는 두께의 공기층을 분자확산에 의하여 이동한다고 가정하여, 의복의 F_{cl} 과 같은 형태의 의복투습효율 F_{pcl} (permeation efficiency factor)이 다음과 같이 제안되어 있다⁽²⁵⁾.

$$F_{pcl} = 1/(1 + 0.143 h_c I_{clo}) [ND] \quad (2.20)$$

2.4.5 최대 증발열방산량

착의상태에 있는 인체의 피부면으로부터의 증발에 의한 최대열방산량 E_{max} 는 다음과 같다.

$$E_{max} = h_e \cdot F_{pcl} (p_{sk}^* - p_a) [W/m^2] \quad (2.21)$$

2.5 체열방산에 관계하는 생리인자

2.5.1 평균피부온도

피부온도는 신체부위에 따라 불균등하므로 인체의 열평형을 논할 때는 평균피부온도를 사용하여 인체와 주변환경 사이의 열교환량을 결정한다. 평균피부온도는 여러 군데의 피부온도를 측정한 후, 그 부위의 면적에 따른 가중치를 적용하여 산출하는 이론적인 값이며, 보통 측정부위를 연속적으로 측정하여 산출한다. 여러 연구자들이 제안한 평균피부온도 측정방법을 Table 2.4에 나타냈는데, 측정부위가 많을수록 신뢰성 있는 평균피부온도를 얻을 수 있다.

Table 2.4 Equations for estimating $MST^{(20)}$

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	$\bar{t}_s = 0.043t_{sk}(\text{head}) + 0.055t_{sk}(\text{face}) + 0.0812t_{sk}(\text{abdomen})$ $+ 0.166t_{sk}(\text{back}) + 0.082t_{sk}(\text{upper arm}) + 0.061t_{sk}(\text{fore arm})$ $+ 0.053t_{sk}(\text{hand}) + 0.172t_{sk}(\text{upper thigh})$ $+ 0.134t_{sk}(\text{lower thigh}) + 0.072t_{sk}(\text{foot})$
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	$\bar{t}_s = 0.07t_{sk}(\text{face}) + 0.1t_{sk}(\text{chest}) + 0.09*3t_{sk}(\text{back})$ $+ 0.07*2t_{sk}(\text{arm}) + 0.11t_{sk}(\text{hand}) + 0.16t_{sk}(\text{thigh}) + 0.16t_{sk}(\text{foot})$
Hardy & DuBois	$\bar{t}_s = t_{sk}(\text{for head}) \times 0.07 + t_{sk}(\text{for ear}) \times 0.14 + t_{sk}(\text{back of the hand}) \times 0.05$ $+ t_{sk}(\text{abdomen}) \times 0.35 + t_{sk}(\text{upper thighs}) \times 0.19 + t_{sk}(\text{lower thighs}) \times 0.13$ $+ t_{sk}(\text{foot}) \times 0.07$

* t_{sk} : 피부표면온도 [$^{\circ}\text{C}$]

Olesen은 수많은 자료에 근거하여 평균피부온도를 추정하기 위한 식을 통계적으로 유도하였고, Fanger는 대사량의 함수로서 평균피부온도를 구하는 식을 제시하였다. 즉, 인체는 열적으로 중립을 유지하기 위해 주위의 기온이 낮을수록 활동량을 증가시킨다.

$$\bar{t}_s = 35.7 - 0.0275(M - W) \quad (2.22)$$

$\bar{t}_s$: 평균피부온도 [°C]

Gagge는 평균피부온도를 추정하기 위한 아래의 식을 제안하였다⁽²⁰⁾.

$$\text{착의하지 않은 경우: } \bar{t}_s = 24.85 + 0.332 \cdot t_o - 0.00165 \cdot t_o^2 \quad (2.23)$$

$$\text{착의 한 경우(0.6 ~ 1.0 clo) : } \bar{t}_s = 25.8 + 0.267 \cdot t_o \quad (2.24)$$

2.5.2 젖음 면적을

일반적으로 피부표면은 발汗을 시작해서 서서히 젖은 면적이 넓어져 가는데 피부면의 전체가 수막으로 덮여졌을 때 최대증발열방산량 $E_{\max}$ 가 발생한다. 피부에서의 땀 증발에 의한 열방산량은 다음 식과 같다.

$$E_{sk} = F_{pcl} (p_{sk}^* - p_a) (A_w / A_d) [W/m^2] \quad (2.25)$$

(A_w / A_d)는 젖은 피부면적 A_w 와 전체표면적 A_d 의 비로서 젖음 면적을 w (skin wettedness)이다.

$$w = (A_w / A_d) = E_{sk} / E_{\max} [ND] \quad (2.26)$$

$$F_{sk} = w \cdot E_{\max} [W/m^2] \quad (2.27)$$

피부전체가 젖어 있는 경우, $w=1.0$ 이다. 또 발한이 전혀 일어나지 않을 때에도 불감수분상실(不感水分喪失)에 의하여 체조직액이 수증기의 형태로 피부표층을 투과해서 외계에 확산(diffuse)한다. 이 때의 열방산량 E_{diff} 는 다음과 같다.

$$E_{diff} = w_{diff} \cdot E_{max} [W/m^2] \quad (2.28)$$

D.F. Brebner의 연구에 의하면 불감수분상실에 의한 젖음 면적을 $W_{diff}=0.06$ 이다⁽²⁶⁾.

그러므로, 피부면에서의 증발에 의한 열방산량의 최소치는 다음식으로 주어진다.

$$E_{sk} = w_{diff} \cdot E_{max} = 0.06 E_{max} [W/m^2] \quad (2.29)$$

2.5.3 호흡에 의한 열방산

일반적으로 체온보다 낮은 온도의 흡기가 호흡기도와 폐포내에서 가열되고 포화에 가까운 상태로 가습되어 배출된다. 호흡(respiration)에 의한 열방산에는 대류열방산 C_{res} 와 증발열방산 E_{res} 가 있으며 다음 식으로 나타난다.

$$C_{res} + E_{res} = 0.0014M(34 - t_a) + 0.0023M(44 - p_a) [W/m^2] \quad (2.30)$$

위 식에서, 제1항은 기온차에 의한 대류방열량, 제2항은 수증기 분압차 (압력단위는 mmHg)에 의한 증발열방산량을 표시하고 있다. 대사량 M 은 산소소비량 $V_{O_2} [l/분]$ 를 측정해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M = (0.23R + 0.77) \times 5.87 \times (60 \times V_{O_2} / A_D) [W/m^2] \quad (2.31)$$

여기서, R 은 호흡상수로서 섭취된 O_2 의 양과 배출된 CO_2 의 양의 비이다. R 값은 일반적으로는 0.7~1.0의 범위의 값이지만, 안정할 시에는 0.83, 중노동 시에는 1.0에 가깝다⁽²⁷⁾.

2.5.4 인체축열

체내에서 생산된 열량과 열방산량이 균형을 이루지 못하면 체온상승 혹은 체온저하를 초래한다. 무덥고 습한 환경에서 열방산이 불충분하면 축열이 시작된다. 축열량 S 는 평균체온 t_b 의 시간적 변화 dt_b/dt 에 의하여 다음 식으로 나타내어진다.

$$S = (0.965 \times W / A_D)(dt_b/dt) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.32)$$

여기서, 상수 $0.965 \text{ [Wh/kg}^\circ\text{C]}$ 는 인체의 평균비열이며, $W[\text{kg}]$ 는 체중이다. 평균체온 t_b 는 평균피부온도 t_{sk} 와 식도온도 t_{es} (esophageal temperature) 직장온도 t_{re} (rectar temperature)의 가중평균으로 계산하지만, 한냉환경에서는 t_{sk} 와 t_{re} 의 비를 $1:2$, 서열환경에서는 $1:4$ 로 하고 t_{es} 가 이용될 때에는 $1:9$ 의 가중비율을 사용한다. 온열생리적 중립상태 (physiological thermal neutrality)에서의 평균피부온도 t_{sk} 는 $33.7 \sim 34.0^\circ\text{C}$, 직장온도 $t_{re} = 36.9 \sim 37.1^\circ\text{C}$, 그리고 식도온도 $t_{es} = 36.6 \sim 36.8^\circ\text{C}$ 의 범위인 것으로 알려져있다. 이때의 평균체온은, $t_b = 36.3 \sim 36.5^\circ\text{C}$ 의 범위이다.

2.5.5 체내에서의 열이동

Figure 2.3은 체내에서의 열이동 구조를 모델화한 것이다. 체내중심(core)온도를 t_{cr} 이라 하면, 체내로부터 피부하층조직으로의 혈류와 열전도에 의한 열이동량 M_{sk} 는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$M_{sk} = c_{bl} V_{bl} (t_{cr} - t_{sk}) + K_s (t_{cr} - t_{sk}) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.33)$$

c_{bl} 은 혈액의 비열로서 물과 동일하다고 보고 $c_{bl}=1.163 \text{ [Wh/kg}^\circ\text{C]}$ 으로 하며, V_{bl}

은 단위체표면적당 혈액량[$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$]이다. V_{bl} 은 환경조건의 변화와 신체활동에 따라서 변하지만 안정시에는 $6.3[\text{kg}/\text{m}^2\text{h}]$ 이다. 체내조직의 K_s 는 혈액량에 따라서 증가하고 최소값은 $K_s = 5.23[\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}]$ 이다⁽²⁸⁾.

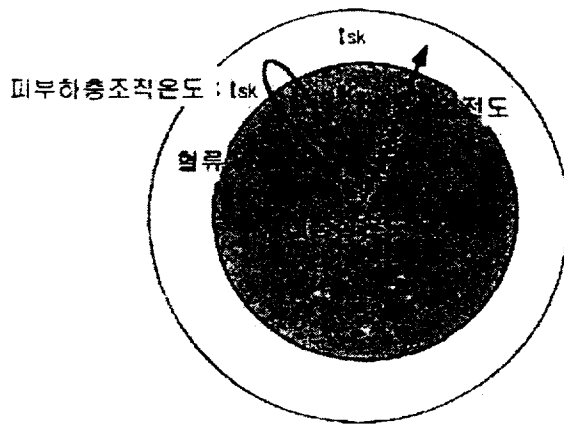


Figure 2.4 Concept of two node model

제 3 장 SET*를 이용한 환경 평가방안

인체는 6가지 온열환경인자의 개별적인 작용에 의하여 온열감을 느끼는 것이 아니라 온열환경인자의 복합적인 작용에 의하여 온열감을 느낀다. Figure 3.1에 온열환경평가의 개요를 나타내었다. 온열환경요소의 복합적인 영향을 단일지표로 표현하기 위하여 간단한 조합에서부터 복잡한 조합에 이르기까지 다양한 온열환경지표가 발표되어 있다. 본 장에서는 실내온열환경 지표중에서 가장 널리 사용하고 있는 SET*의 개요를 서술하며, 나아가서 SET*에 의한 불균일 실내환경평가의 문제점을 검토한 후, 평균피부온도와 인체내 축열량을 이용한 불균일 실내환경 평가방안을 제안한다.

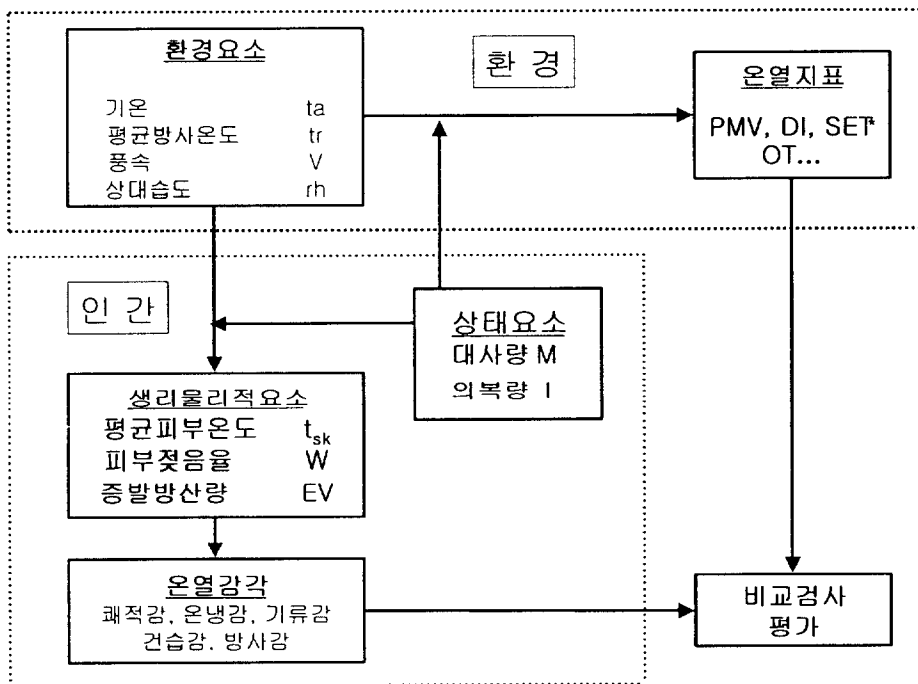


Figure 3.1 Concept of evaluation for thermal environment

3.1 표준신유효온도(SET*)

3.1.1 SET* 개요

표준신유효온도 SET*는 Gagge가 연구 개발한 것으로, ASHRAE의 표준적인 체감온도로 채용되어 있으며, Fanger가 개발한 PMV와 함께 가장 널리 사용되고 있다. 표준신유효온도 SET*를 간단히 정의하면 "온열감 및 인체로부터의 방열량이 실제환경에서의 것과 동일한 표준상태의 기온"이라고 할 수 있다.

SET*의 산출방법을 플로우 차트로 나타내면 Figure 3.3과 같다. 실제환경의 기온 t_a , 상대습도 rh , 대사량 M , 착의량 I_{cl} 이 입력데이터이다. 2 node model에 의하여 인체의 온냉감 및 쾌불쾌감을 지배하는 평균피부온도 t_{sk} 와 피부젖음을 w , 등 2개의 생리량을 계산한다. 환경인자로부터 계산한 작용온도와 2개의 생리량에 의하여 현열방열량 $DRY(=C+R)$ 과, 증발방열량 E_{sk} 를 구하고, 피부면을 통한 전방열량 M_{sk} 를 산출한다.

실제환경과 표준환경의 온열감이 같다고 하는 조건은 상기의 생리량이 서로 동일하다는 것을 표시한다.

$$t_{sk \cdot s} = t_{sk}, w_s = w \quad (3.7)$$

한편, 표준환경 즉, 풍속 v_s , 상대습도 rh_s , 대사량 M , 착의량 I_{cls} 를 설정하고, 등온환경 즉, 기온 t_{as} 와 주벽면온도 t_{rs} 가 동일하다는 가정하에서, 기온 t_a 를 미지수로 하는 현열방열량 DRY_s 와 증발열방산량 $E_{sk \cdot s}$, 나아가서 피부면 전방열량 $M_{sk \cdot s}$ 를 계산하는 수식을 정식화한다. 실제환경과 표준환경에서의 방열량이 동일하다는 조건, 즉 $M_{sk \cdot s} - M_{s \cdot k} = 0$ 에서 미지수 t_a 를 계산하면 이것이 바로 SET*이다. 여기서 표준환

경 $rh_s = 50\%$, $v_s = 0.1 \text{ m/s}$, $M_s = 1.0 \text{ met}$, $I_{cls} = 0.6 \text{ clo}$ 의 조건은 공조되고 있는 전형적인 사무실의 온열환경을 기준으로 하여 ASHRAE가 설정한 것이다. 즉, 무풍인 실내에서, 상의는 와이셔츠, 하의는 긴 바지 정도의 차림에 가벼운 사무작업을 하는 채실자를 상징하여 설정한 것이다.

SET*의 특징은 피부젖음면적을 w 와 평균피부온도 t_{sk} , 그리고 w 를 계산하기 위한 2 node model을 도입한 것이다. Fanger의 인체 모델이 균질한 일체의 모델인데 비하여 2 node model은 인체를 신체 중심부와 표면피부부로 나눈 2중원통 모델이다. 이와 같이 인체의 체심부와 피부부 사이의 혈류량 등의 온열생리조절작용을 모델화하고, w 와 t_{sk} 등을 산출하는 것이다. 나아가서 증발열방산량 E_{sk} 은 w 를 변수로 한다.

$$E_{sk} = w \cdot F_{pcl} \cdot 16.5 \cdot (p_{sk}^* - p_a) \quad (3.8)$$

여기서, F_{pcl} : 의복의 투습계수[ND], h_c : 대류열전달율[W/m²℃], p_{sk}^* : 평균피부온도 t_{sk} [℃]에서의 포화수증기압[kPa], p_a : 공기의 수증기분압[kPa], 16.5: lousie계수[℃/kPa]이다.

결국, E_{sk} 의 산출은 6가지 온열환경인자를 모두 고려한 것이다. 이와 같은 점에서 SET*는 PMV보다 더 넓은 범위의 온열환경에 적용할 수 있다.

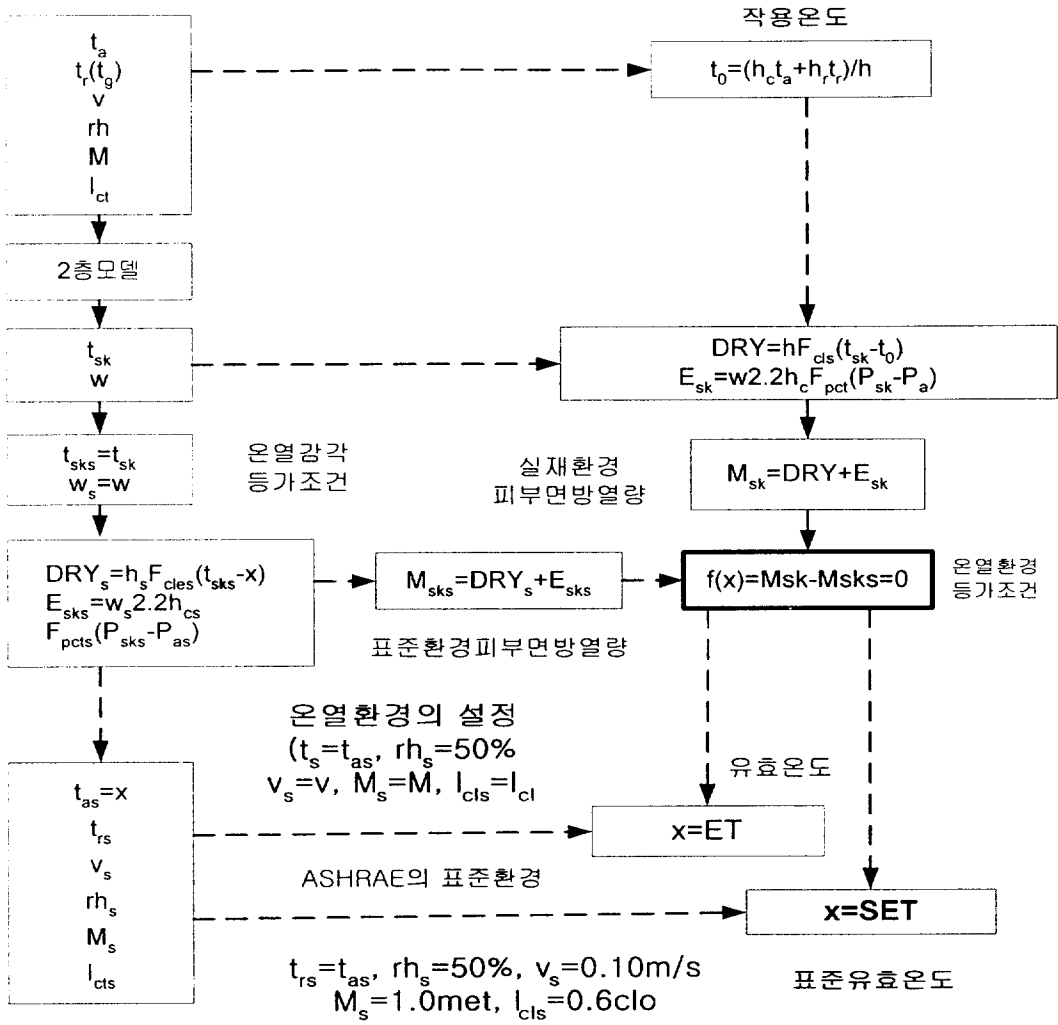


Figure 3.2 Concept of SET*

3.1.2 SET*의 불균일온열환경 평가 문제점

SET* 프로그램은 평균피부온도 TSK를 계산할 때 입력되어진 6가지 환경인자에 대하여 1시간의 노출시간이 설정되어 있다. 따라서 SET* 프로그램이 계산하는 여러 가지 값들은 현재의 온열환경이 1시간 이상 그대로 지속될 때에만 정확성을 가진다. 기류와 실온이 변하는 비정상적인 실내환경을 평가하는데 SET*를 적용한 다는 것은 무리가 따른다. 결국 정상상태에서 계산되어진 평균피부온도와 기류와 실온이 변하는 상태에서 계산되어진 피험자의 평균피부온도 차이에 의하여 SET*온도가 차이나게 되는 것이다.

결국, 기류와 실온이 변하는 비정상상태에서는 현재의 생리량에 따라서 반응하는 피험자의 온열감과 SET* 프로그램이 계산하는 1시간 이후의 생리량과는 상관성이 떨어질 것이다. 또한, SET*는 온열환경이 공간적으로 균일한 것으로 상정하였다. 기류와 실온변화는 실내환경은 신체 부위별로 쾌불쾌감 및 온냉감도 큰 차이가 있음으로써 매우 불균일한 온열환경이라 할 수 있다. 그러므로 SET* 프로그램을 기류와 실온 변하는 실내온열환경평가에 그대로 사용하는 것은 다소 문제가 있을 것으로 생각된다.

3.2 실외환경평가방안

본래 SET*는 정상상태인 실내환경을 평가하기 위한 체감온도이므로, 비정상상태인 실내환경을 평가하기 위해서는 프로그램의 적용에 있어서 개선의 여지가 있다고 본다. 본 연구에서는 SET*에 인체내 축열량으로 온열환경평가의 개선방안을 제시하고, SET* 프로그램의 산출결과를 피험자 실험에서 얻은 온열쾌적감 신고치와 비교 분석하였다.

3.2.1 평가방안

기존의 SET* 프로그램으로 계산한 TSK 대신에 실측한 평균피부온도 MST(Mean skin temperature)를 입력하여 산출한 SET*의 인체축열량(Heat storage) 피험자의 전신온냉감과 쾌불쾌감 신고치와 비교 분석하는 방안이다.

제 4 장 온열쾌적감실험

실험은 2000년 6월 13일부터 6월 19일 까지 7일간, 남녀12명을 부산 소재 부경대학교 온열환경실험실에서 행하였다.

SET*프로그램을 이용하여 기류와 실온이 변하는 실내환경에 대하여 제시한 평가방안으로 인체내 축열량과 피험자가 신고한 온냉감과 쾌불쾌감을 비교 분석하였다.

4.1 실험개요

4.1.1 피험자

피험자는 성별에 의한 평가를 위하여 남녀 대학생만으로 구성하였으며, 7일 동안 실험하였다. 실험을 행하기 전에 모든 피험자에 대하여 체온과 구강온도와 혈압을 측정해서 건강상태를 조사하였다. 피험자의 체중은 전자저울(PESA, Type: WTSW/B4.1 Max: 150000g, Div: 1g)을 사용하였다. 피험자의 체표면적(body area)은 Takahira가 일본인에 대하여 제안한 아래의 식을 사용하여 계산하였다.

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

Table 4.1 Anthropometric data of the subjects

Subjects	Number of subjects	Age	Weight [kg]	Body area [m ²]	Height [cm]
Male	12	23 ±1.7**	74.8 ±15.6	1.88 ±0.17	174.6 ±3.8
female	12	20 ±1.3	55 ±4.8	1.58 ±0.08	162 ±2.9

4.1.2 대사량과 착의량

실험중의 피험자는 의자에 앉아서 가벼운 대화나 독서 또는 질문에 응하고 있으므로 대사량은 1.1met로 가정하였다. 피험자의 의복은 전신온냉감 및 쾌불쾌감에 미치는 영향을 고려하여 동일한 유니폼을 착용하도록 하였다(Table 4.2). 착의량을 구하는 방법은 여러 연구자에 의하여 제안되어 있으나, 본 실험에서는 외국인의 경우와 동일한 계산조건으로 비교하기 위하여 일본의 Fukai 등이 채택한 의복중량법을 사용하였으며, 그 계산식은 아래와 같다⁽³⁴⁾.

$$\text{clo-value} = 0.000558 \times \text{Total weight of clothing [g]} + 0.068 \quad (4.2)$$

$$\text{clo-value} = 0.001030 \times \text{Total weight of clothing [g]} + 0.0253 \quad (4.3)$$

상기의 식을 사용해 계산한 결과 남녀 각각 의복량은 clo = 0.35로 계산되었다.

Table 4.2 clo-value and clothing weight

Uniform	Weights(g)
undershirt	100
panties	79
socks	64
pants 1/2 long leg	200
short shirt	200
Sum	643
clo-Value	0.43

4.1.3 온냉감 및 쾌불쾌감 신고척도

본 실험에 사용한 신고척도는 Figure 4.1과 같다. 이것은 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 ASHRAE 척도를 한국어로 번역한 것이다. 온냉감 척도는 5단계에서 9단계까지 여러 가지가 사용되고 있으나 근래에는 거의 7단계를 사용하고 있으며, 쾌불쾌감에서는 아래의 4단계에 ‘참기어렵다’는 카테고리를 첨가하여 5단계로 하는 경우도 있다.

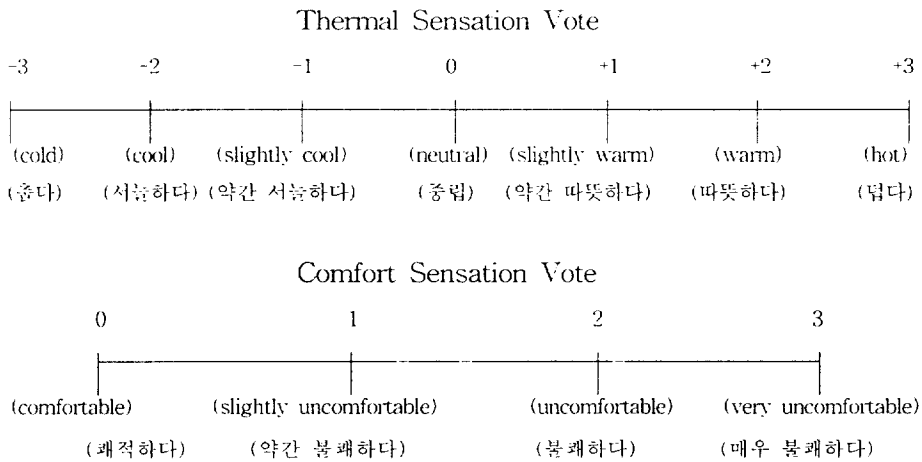


Figure 4.1 Voting scales

4.1.4 실험장치

실험의 온도, 습도 및 기류를 만들어 실험하기 위하여 건축환경설비연구실에 부속실험실로서 인공환경실험실을 마련하여 실험하였다. 그림 2.1은 실험실의 개략도이다. 인공환경실험실은 $4.1\text{m} \times 4.9\text{m} \times 2.7\text{m}$ 의 크기이며 모든 벽과 천장, 바닥은 충분히 단열을 하여 벽면이 온도와 실내공기 온도가 거의 같도록 하였다. 임의의 기류를 발생시키기 위한 기류발생기는 패키지 제품을 사용하여 정속풍과 변동풍을 만들도록 하였고 온도, 습도는 향온향습기를 이용하여 조절하였다. 피험자는 기류발생장치로부터 3m 이후에 정좌하여 학습이나 독서를 할 수 있도록 하였다. 특히 기류발생기의 기류가 옆의 피험자에게 간섭을 주는 것을 막기 위하여 칸막이를 사용하였다.

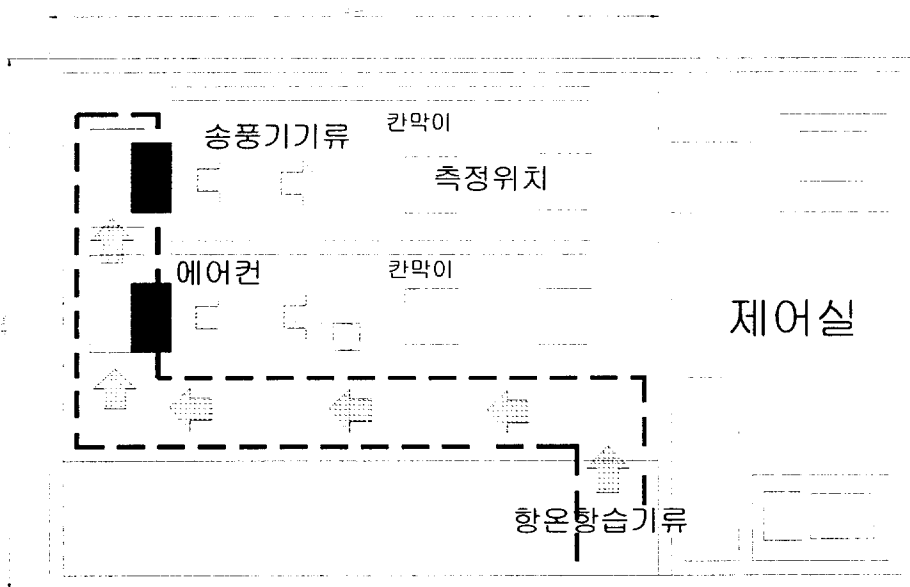


Figure 4.2 Air Conditioning System

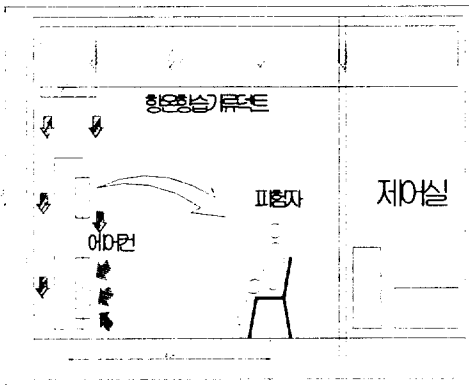


Figure 4.3 Experimental Apparatus

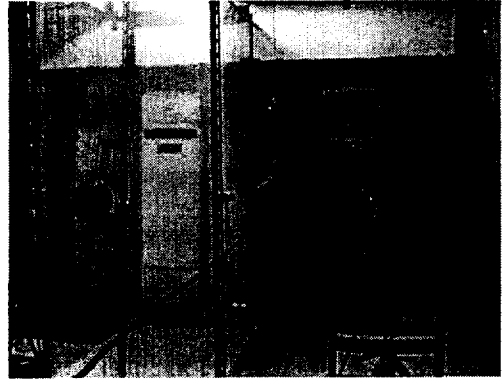


Figure 4.4 Experimental Apparatus

Table 4.3 Specification of the experimental apparatus

환경실험실의 온도 및 습도 조절 범위	온도: $10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 상대습도: $30\% \sim 80\% \pm 5\%$
온도 및 습도 제어방법	SCR
냉각 능력	8100 kcal/h
가열 능력	12,000 kcal/h
가습 능력	8 ℓ/h
제습 능력	1.8 ℓ/h

온도측정은 실내공기의 수직분포를 알아보기 위한 열전대 4개와 피험자 피부 표면에 부착한 피부표면 온도계측용 열전대 14개(1인당 7개: Hardy & Dubois의 7점법¹⁾)를 사용하여 측정하였다. 방사온도의 측정은 글로브 온도계를 사용하여 측정하였다. 인체는 서지칼테이프(Beisesdorf AG사)를 사용하여 열전대를 부착하였다. 습도 측정을 위해 VAISALA(HMW 20 UB) 습도센서를 사용하였고, 기류는 열선식 풍속계(TSI사, MODEL 6511)를 사용하여 측정하였다.

모든 측정 데이터는 데이터 기록계(NETDEQ사, MODEL 2540)를 통해 PC에 매 5초 간격으로 저장하였다.

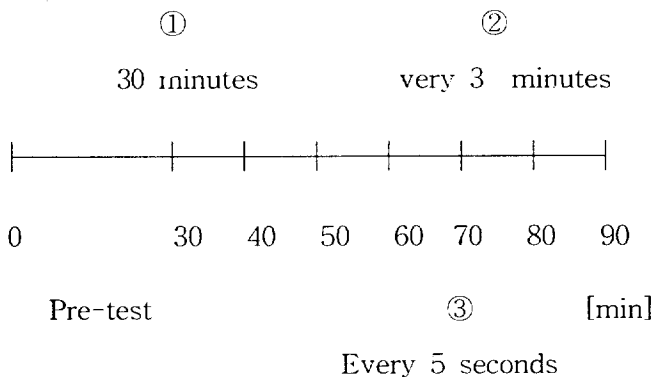
Table 4.4 Measuring instruments and sensor' positions.

Item	Position	Type
Air temperature[℃]	▶ vertical air temperature 0.1m, 0.6m, 1.1m, 1.7m (from floor)	Thermocouple 0.2mm ϕ
	▶ local skin temperature head, arm, hand,, abdomen, foot, upper, lower thigh	
	▶ globe temperature 0.1m, 0.6m, 1.1m, 1.7m (from floor)	Glove thermometer
Relative humidity[%]	▶ vertical Relative humidity 0.1m. 0.6m, 1.1m, 1.7m (from floor)	KANOMAX Model 6511
Air velocity[m/s]	▶ air velocity(from floor) 0.1m. 0.6m, 1.1m, 1.7m	KANOMAX Model 6511

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

4.1.5 실험절차와 계측장비

Figure 4.5에 실험절차를 나타내었다. 피험자는 먼저 전실험 30분간 대기하면서 온열환경에 적응하도록 한 다음 본실험으로 이동한 다음 각 실험 조건까지 냉방한 다음 온도를 유지하는 방법으로 60분동안 실험하였고 매 3분 간격으로 실내환경에 대한 피험자의 주관적인 온열감 및 쾌적감을 설문지로서 신고 받았다. 실험시간 90분 동안 32번의 신고를 받았으나 분석에 이용한 데이터는 본 실험에서 설문한 21번의 설문만 채택하였다.



- ① body temperature measured at the oral cavity, blood pressure
- ② thermal sensation vote, comfort sensation vote, acceptability
- ③ relative humidity, skin, air, globe temperature

Figure 4.5 Experimental Process

4.1.6 실험조건

여름철 상황 및 습도의 영향을 고려하기 위하여 전실은 33℃ 상대습도는 50%로 유지하였고, 기류속도는 불감기류인 0.15 m/s를 유지하였다. 실험에 앞서 1시간 정도 예비운전을 하여 전실을 균일한 상태로 만들었다. 본실은 26℃, 24℃, 22℃로 각각 운전하였으며, 기류속도와 기류방향은 실제의 에어컨 상황과 동일하게 하기 위하여 팩케지에어콘 기류속도와 방향을 조절하였다. 기류속도는 강풍(0.6m/s) 그리고 방향은 정속풍과 상하 autoswing으로 하였다.

Table 4.6 Experimental Condition

	Velocity[m/s]	Temperature [℃]	Relative humidity [%]
전실	0.15↓	33	50
본실1	0.2~1.1	33 → 26	50
본실2	0.2~1.1	33 → 24	50
본실2	0.2~1.1	33 → 22	50

4.2 실험결과 및 고찰

본 실험의 결과는 피험자중 총 실험인원 중 남자4명, 여자4명만 실험분석에 사용하였다. 피험자의 온도(26℃, 24℃, 22℃)별 전신온냉감(TSV), 쾌불쾌감(CSV)과 인체 내축열량(Heat Storage)의 관계를 정리하였다.

4.2.1 실내환경실측결과

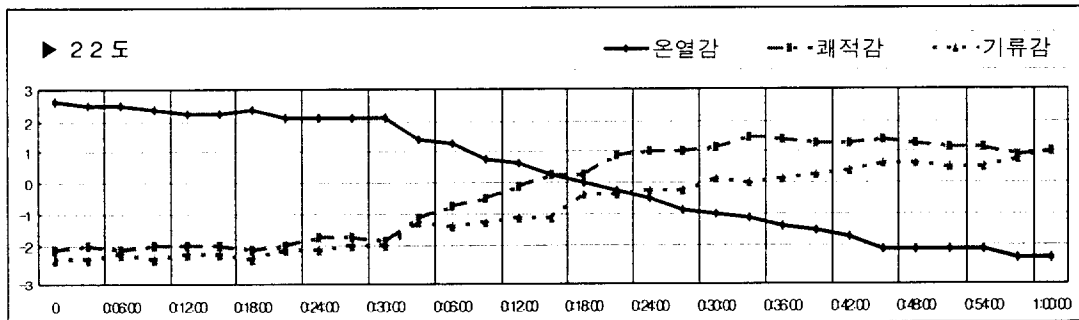
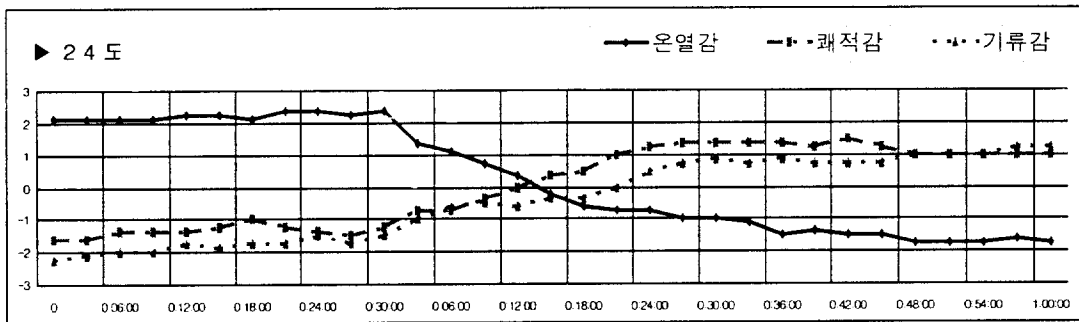
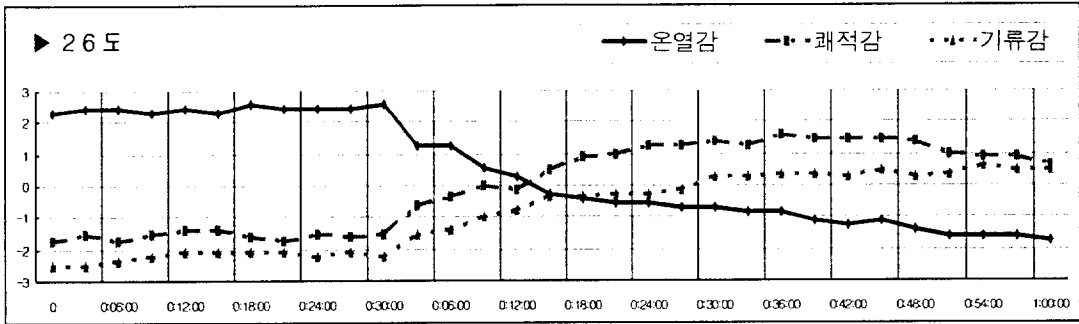
7은 실내환경 실험시 환경의 실험치를 나타내었다.

Table 4.7 Experimental setting conditions and result

	전실	본실1	본실2	본실3
℃	$33 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$	$26 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$	$24 \pm 0.32^{\circ}\text{C}$	$22 \pm 0.28^{\circ}\text{C}$
%	$50 \pm 3.6\%$	$50 \pm 6.6\%$	$50 \pm 5.2\%$	$50 \pm 3.2\%$

4.2.2 온도별 전신온냉감, 쾌불쾌감, 기류감

○ 총괄 (8 명)



모든 피험자의 설문을 분석한 결과 총12명 피험자중 4명을 제외하고 8명의 설문과 인체내 축열량으로 분석하였다.

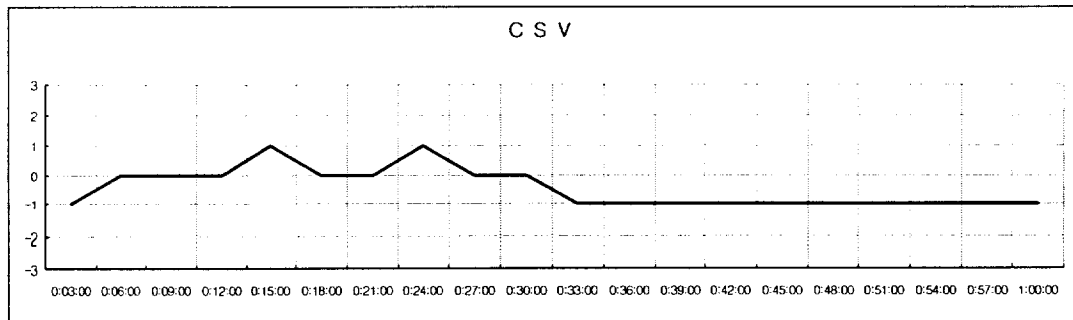
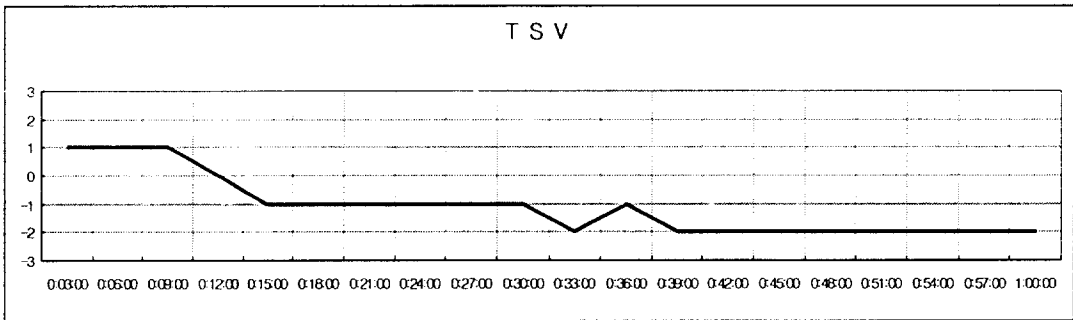
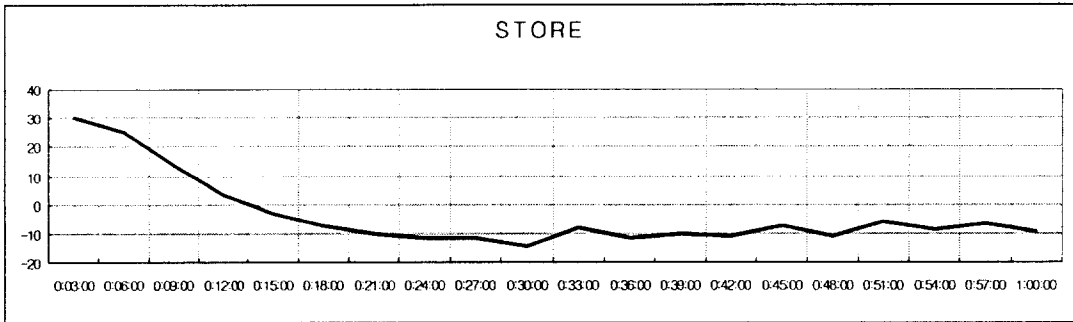
26℃ 피험자 전체의 평균전신온냉감은 본실험시작 15분 경과후부터 전신온냉감이 + → -로 변하는 시점이다.

24℃ 피험자 전체의 평균전신온냉감은 본실험시작 15분 경과후부터 전신온냉감이 + → -로 변하는 시점이다.

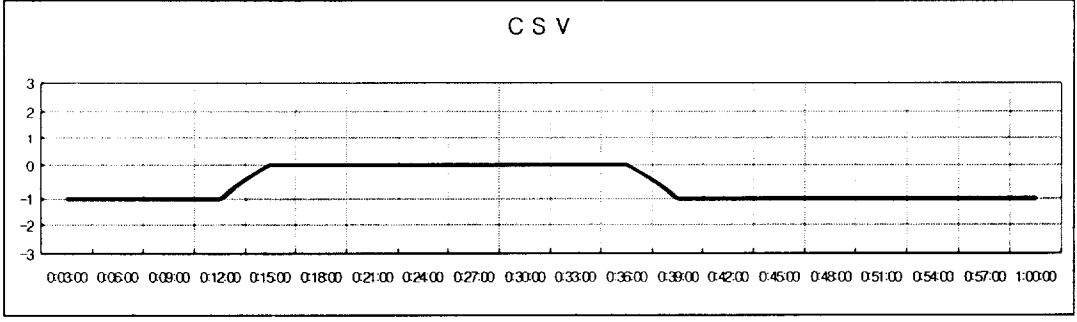
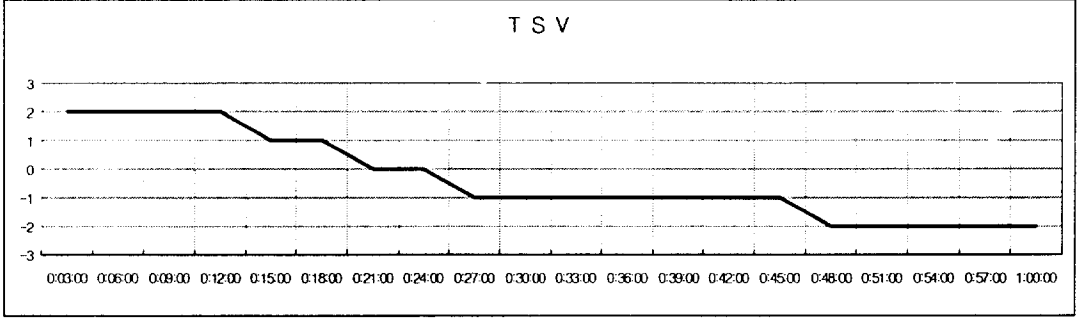
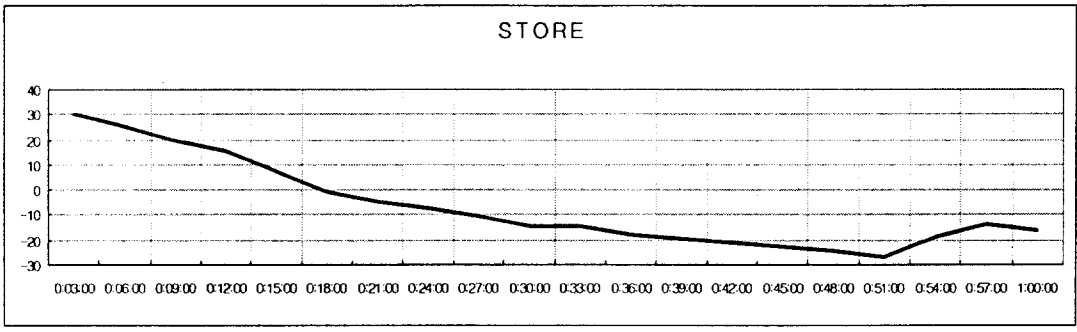
22℃ 피험자 전체의 평균전신온냉감은 본실험시작 18분 경과후부터 전신온냉감이 + → -로 변하는 시점이다.

전체적으로 전신온냉감이 “덥다”에서 “중립”으로 “중립”에서 “서늘하다”로 갈수록 “불쾌”에서“쾌적”으로 가는 경향을 보였다.

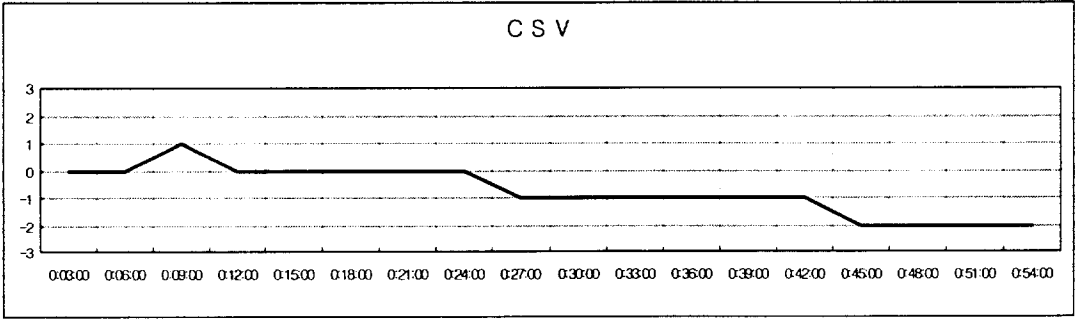
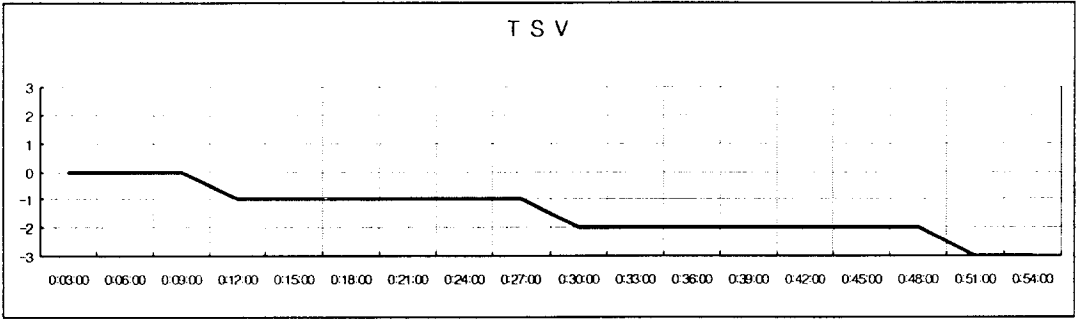
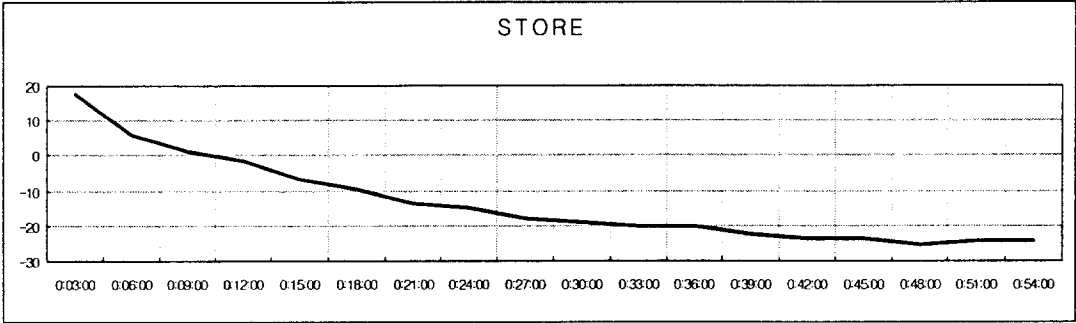
○ 13일, 김좌진, 우측, 26도



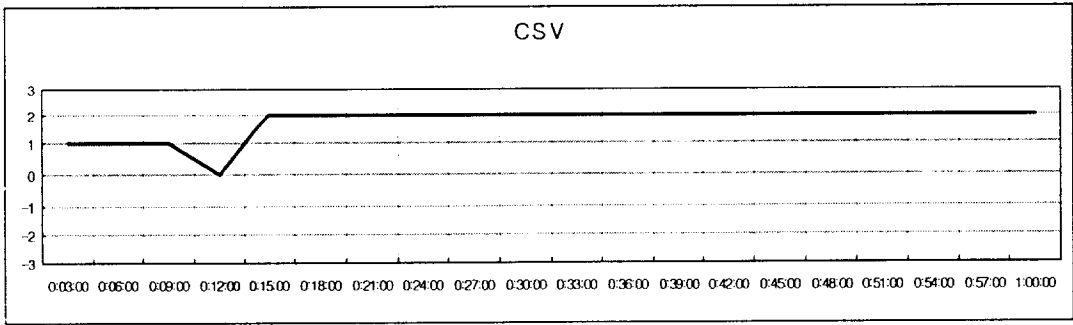
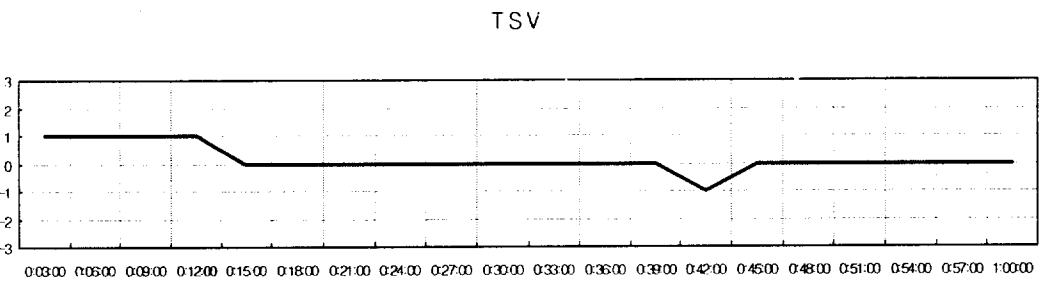
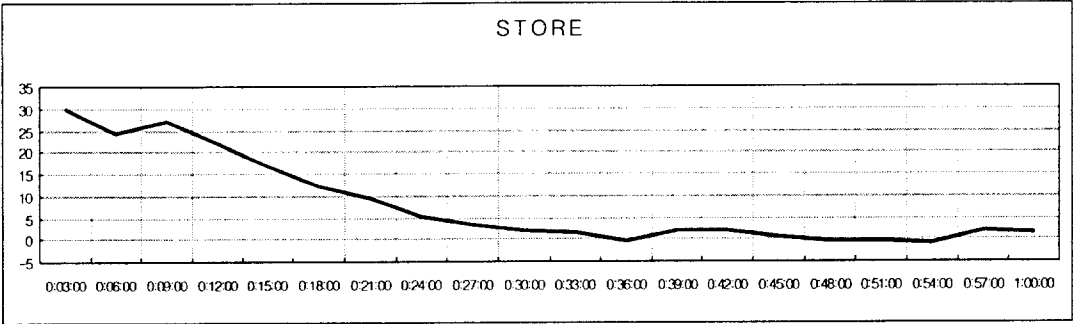
○ 14일, 김좌진, 우측, 24도



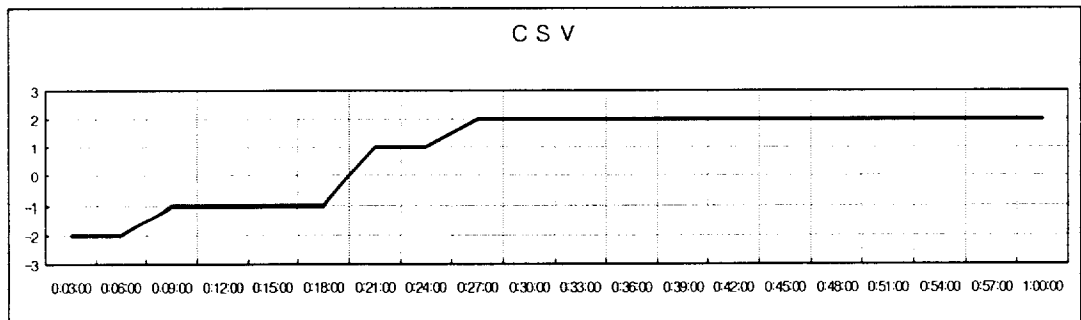
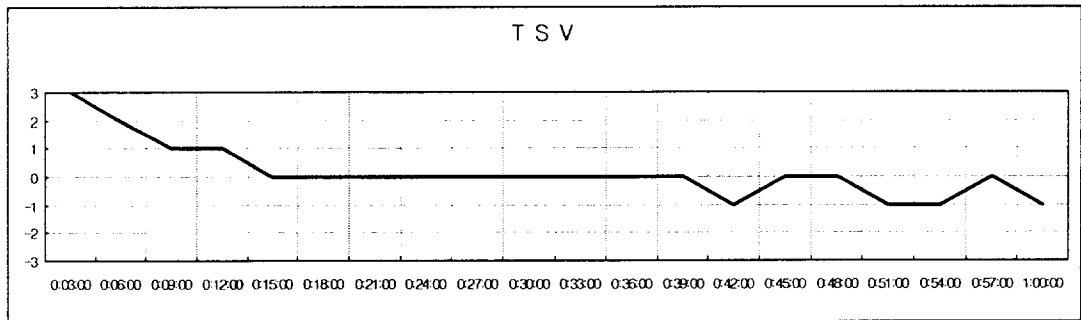
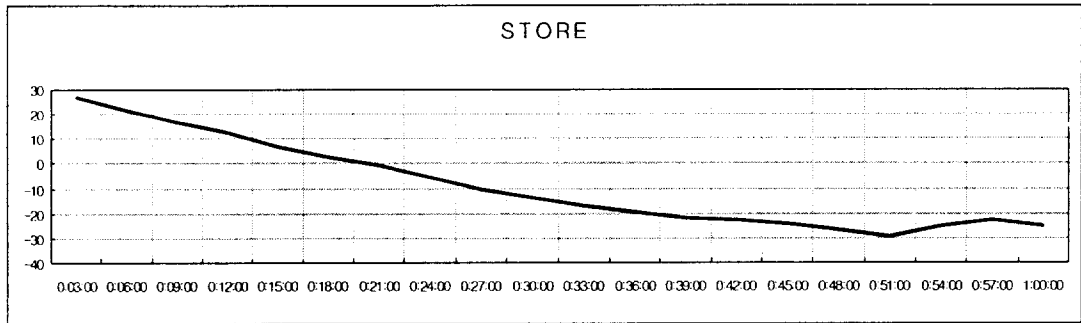
○ 15일, 김좌진, 우측, 22도



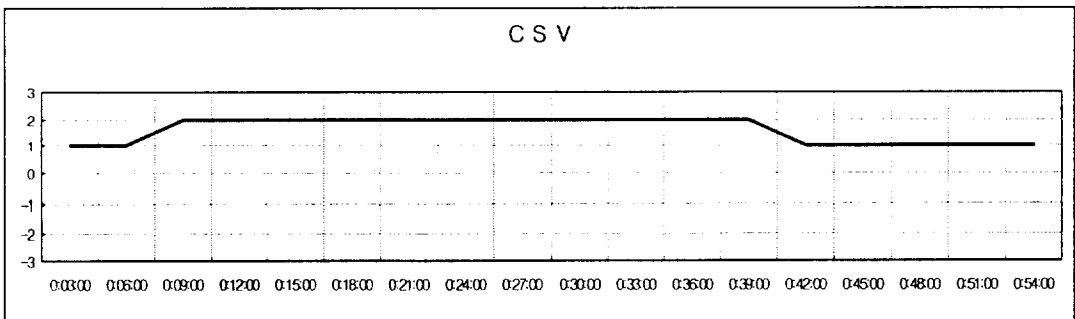
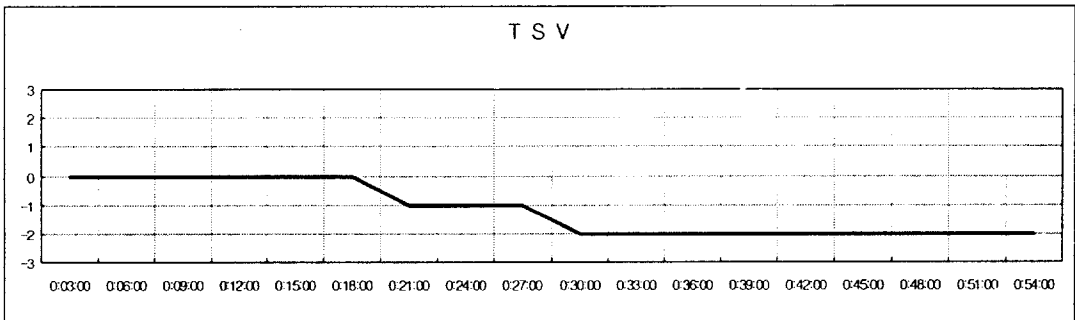
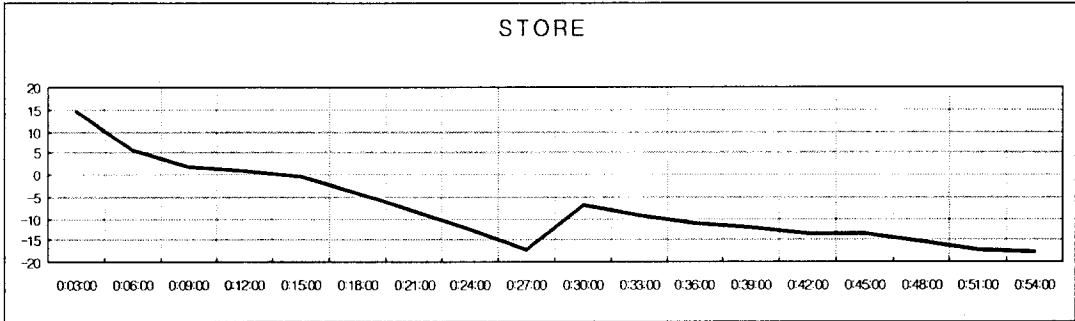
○ 13일, 윤종한, 좌측, 26도



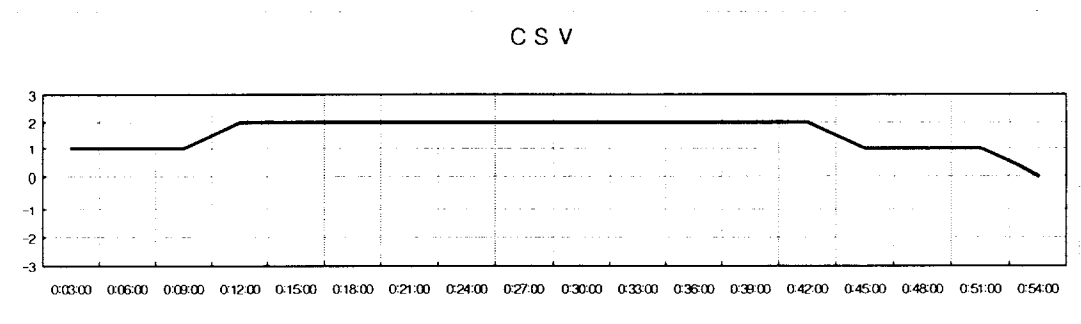
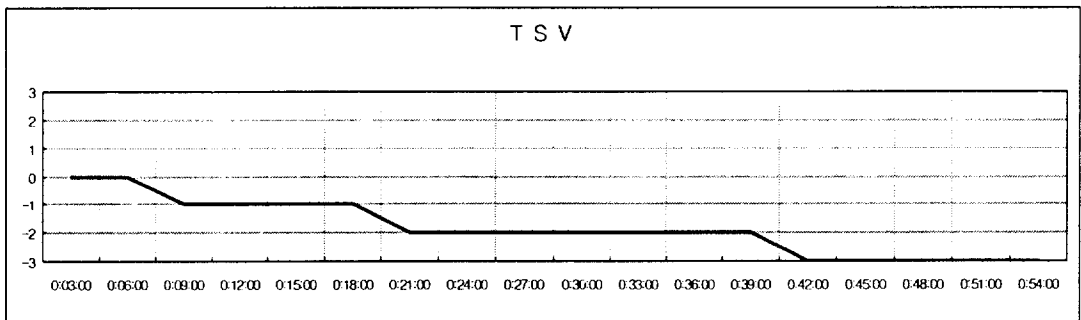
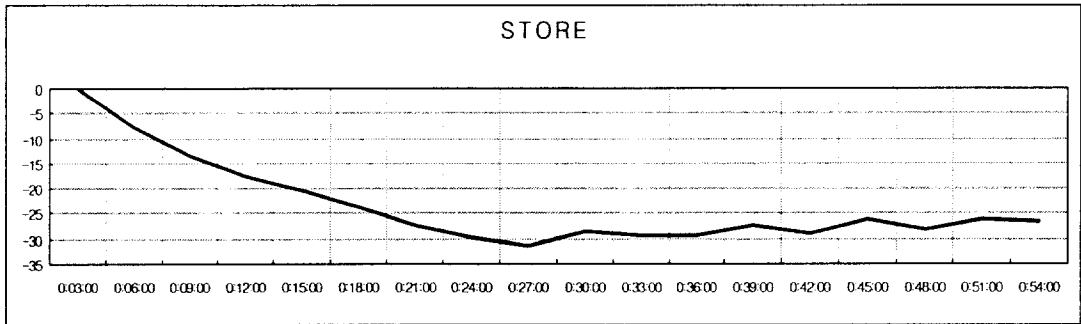
○ 14일, 윤종한, 좌측, 24도



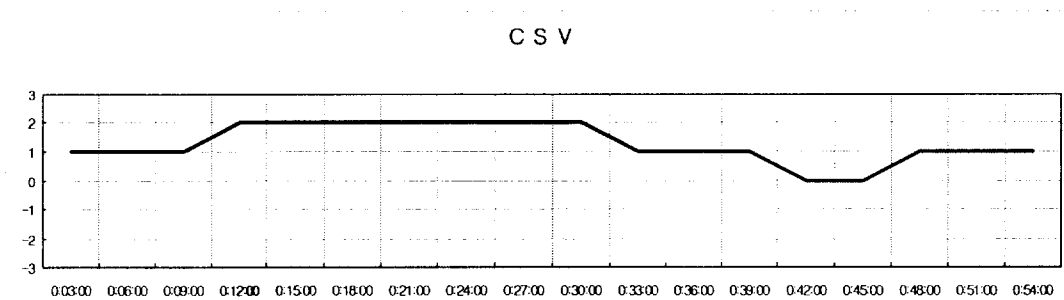
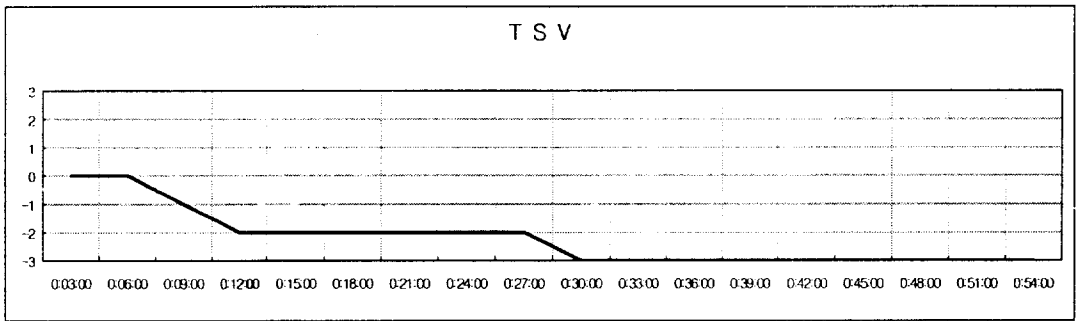
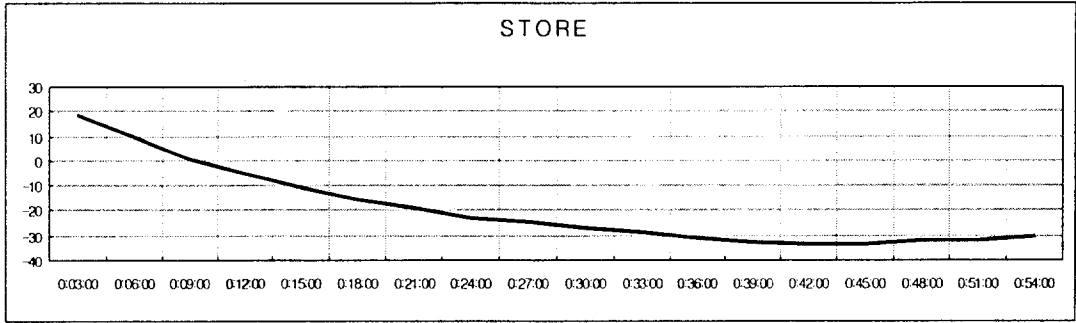
○ 15일, 윤종한, 좌측, 22도



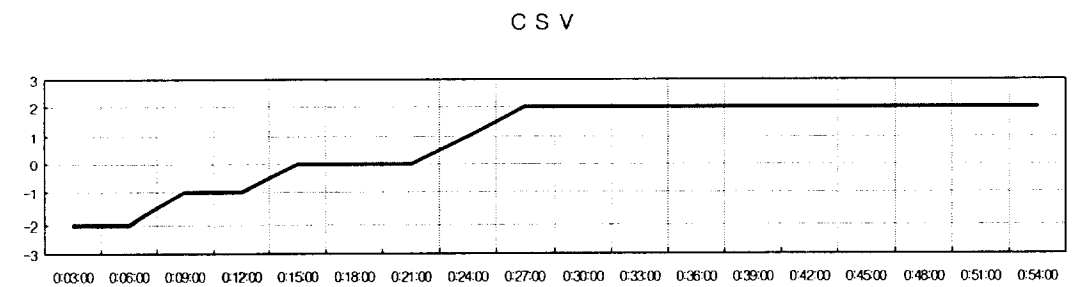
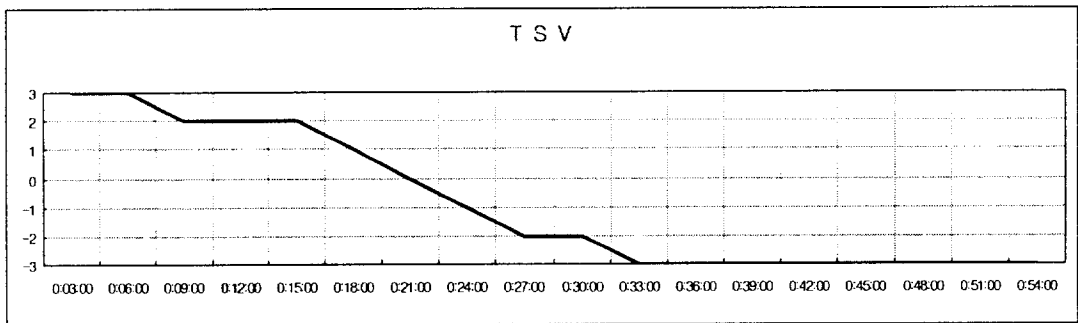
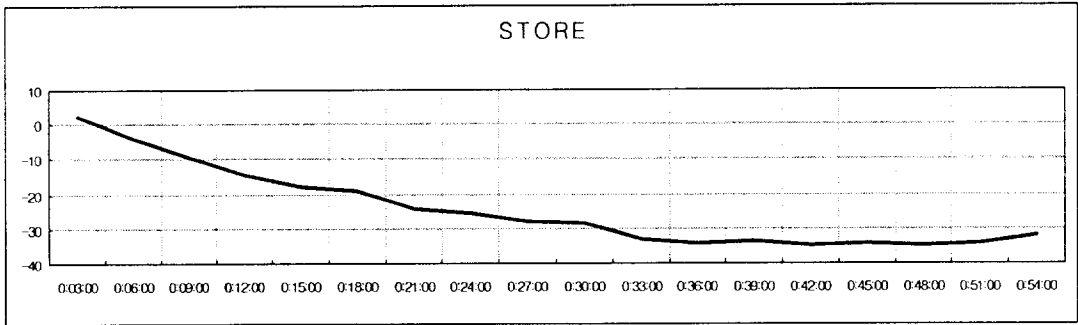
○ 13일, 윤현미, 우측, 26도



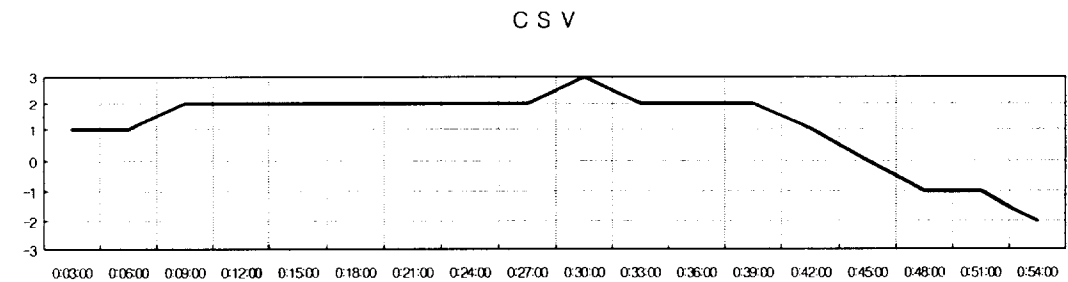
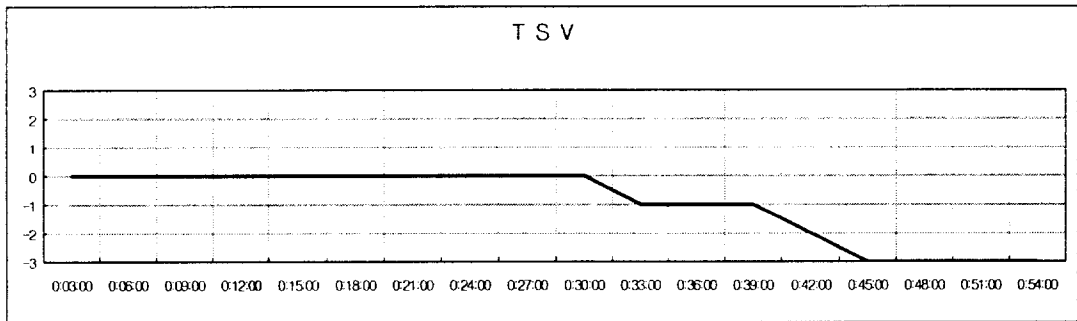
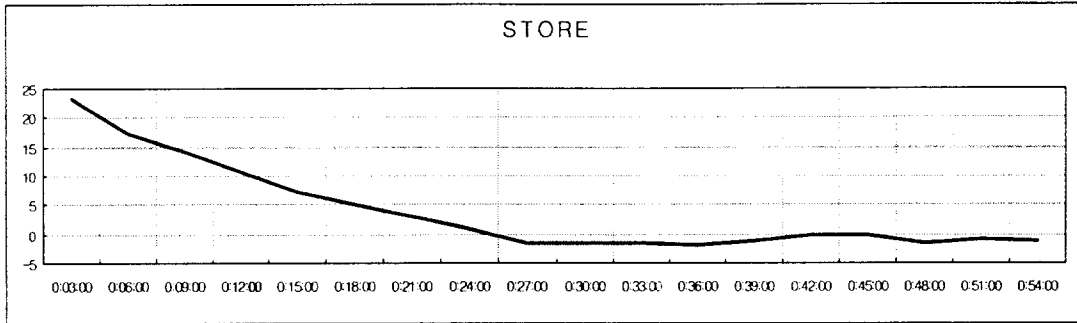
○ 14일, 윤현미, 우측, 24도



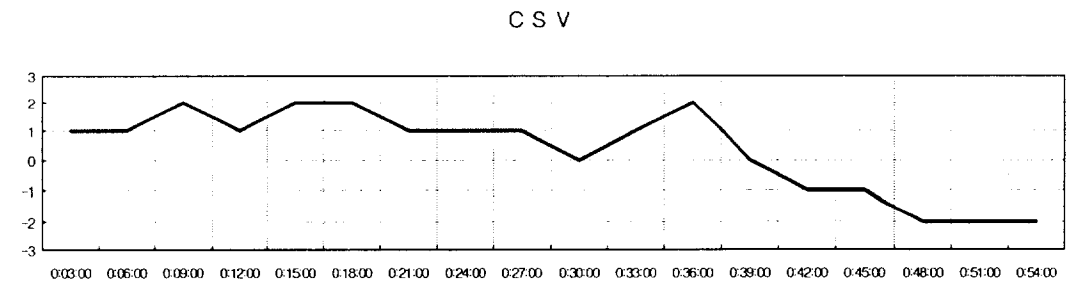
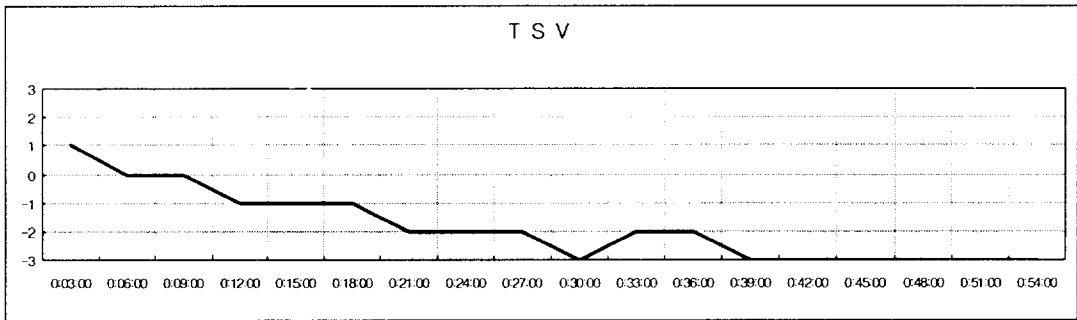
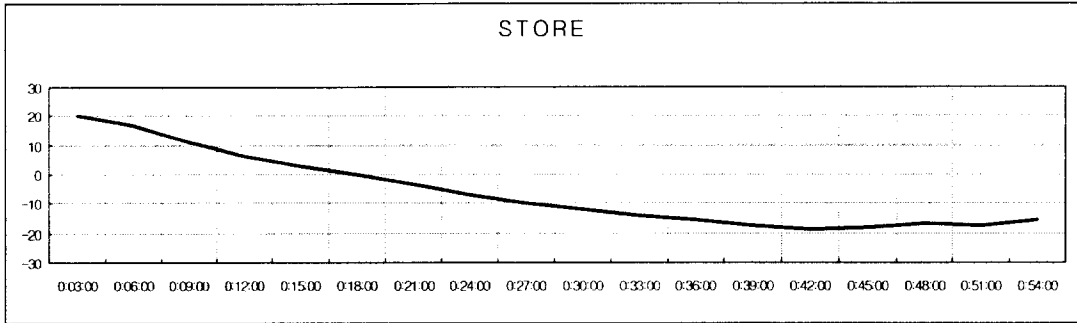
○ 15일, 윤현미, 우측, 22도



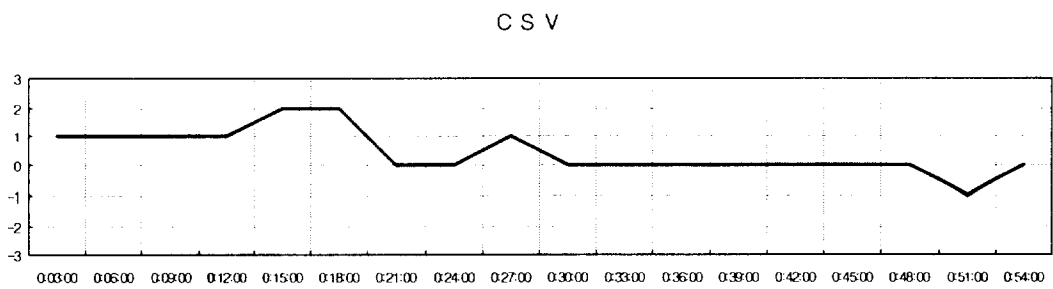
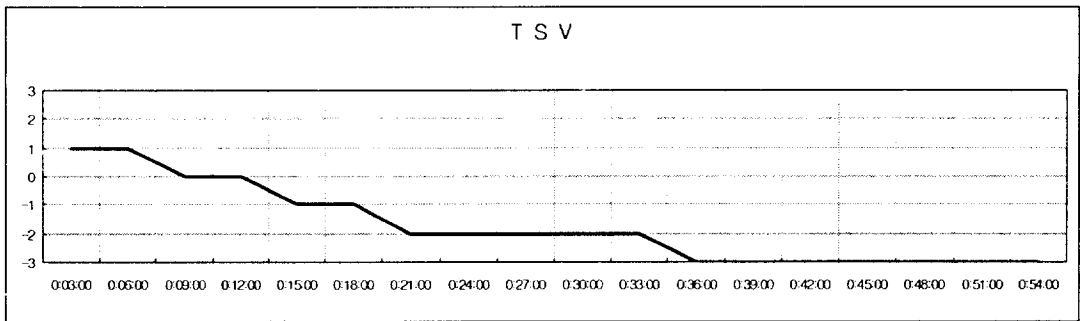
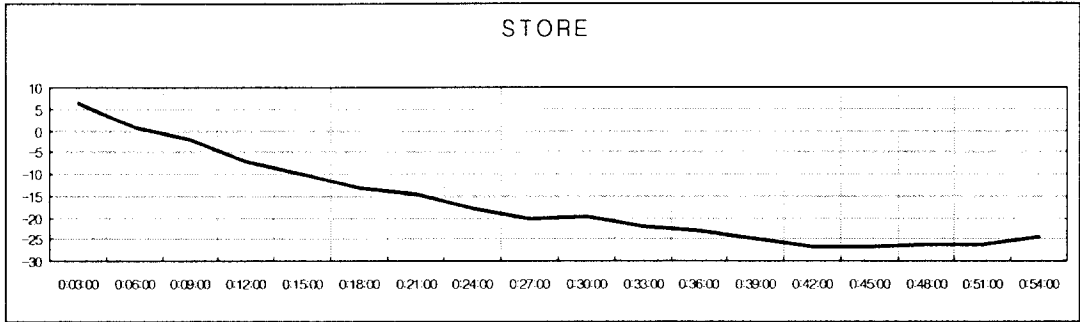
○ 13일, 김진주, 좌측, 26도



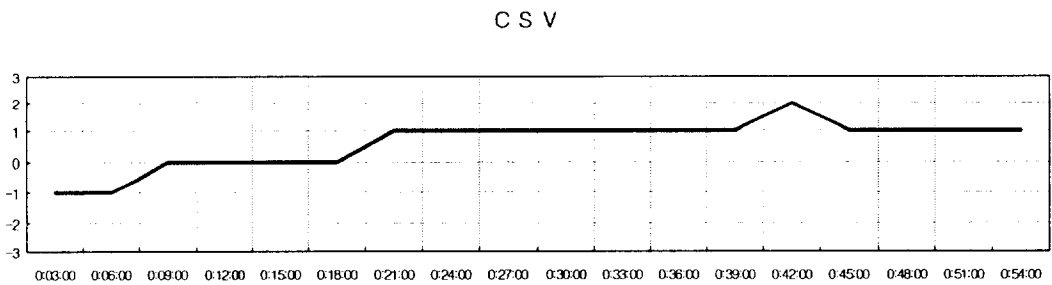
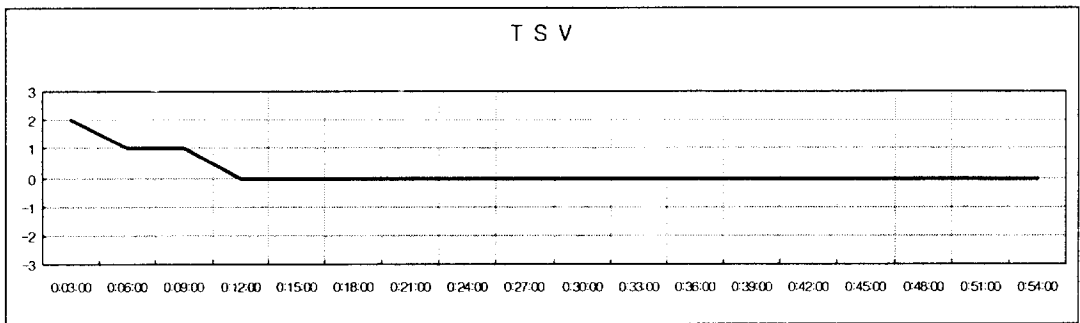
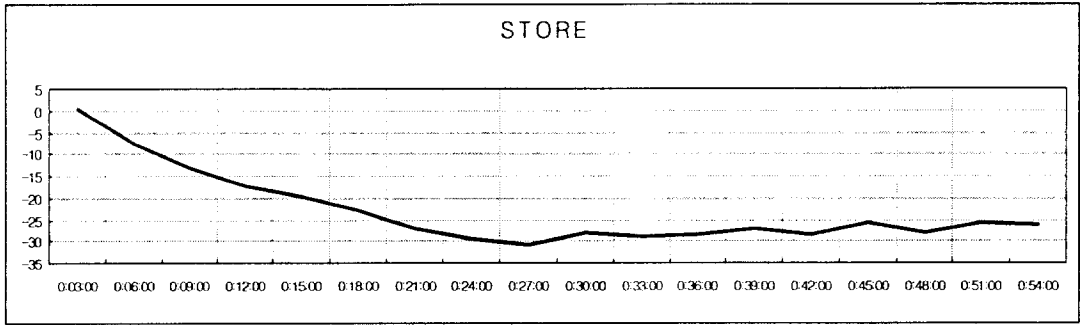
○ 14일, 김진주, 좌측, 24도



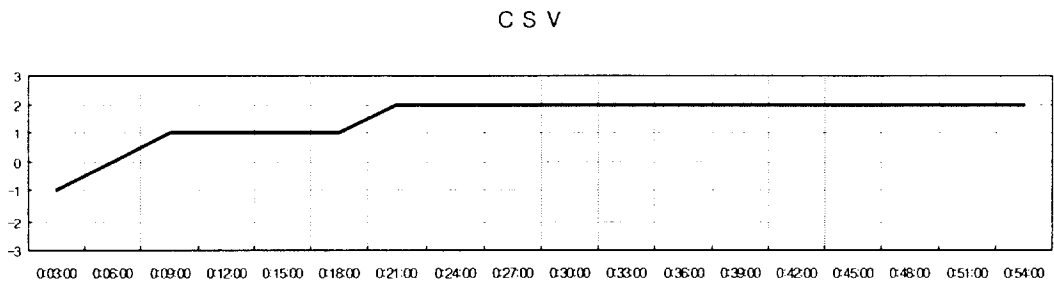
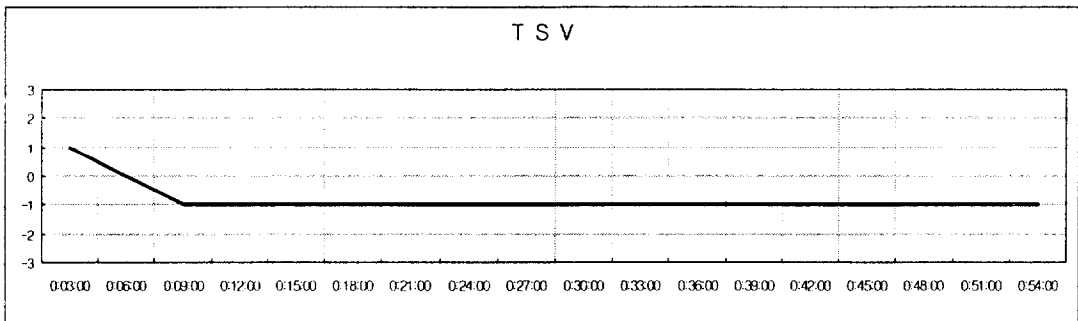
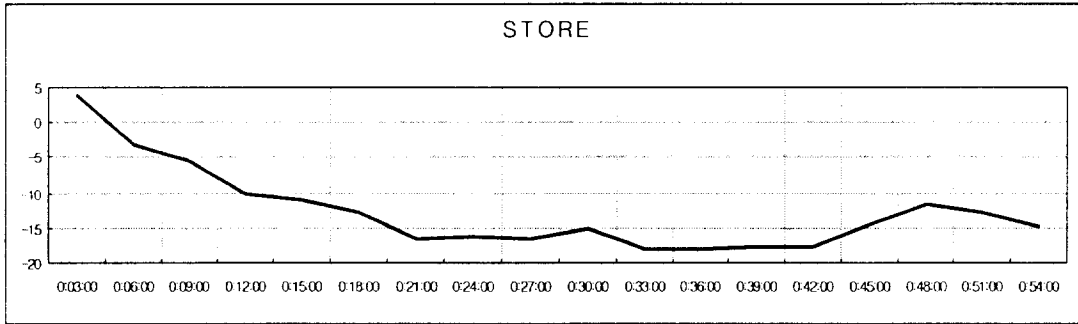
○ 15일, 김진주, 좌측, 22도



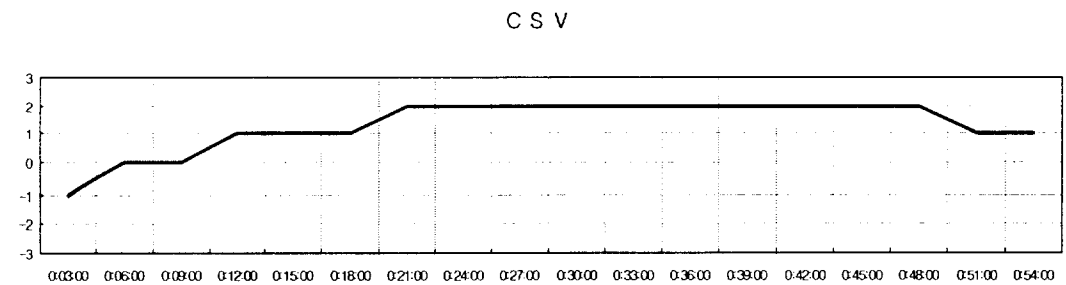
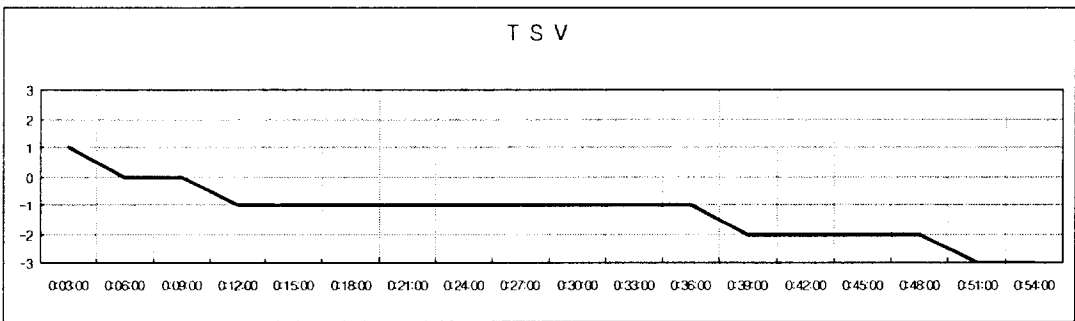
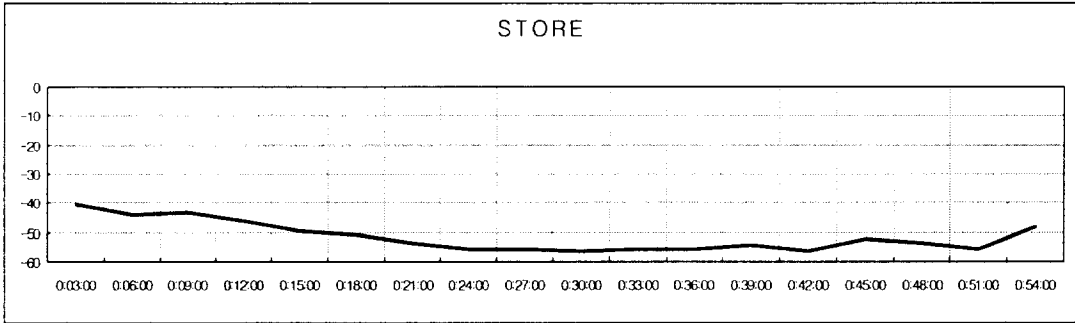
○ 13일, 서은희, 우측, 26도



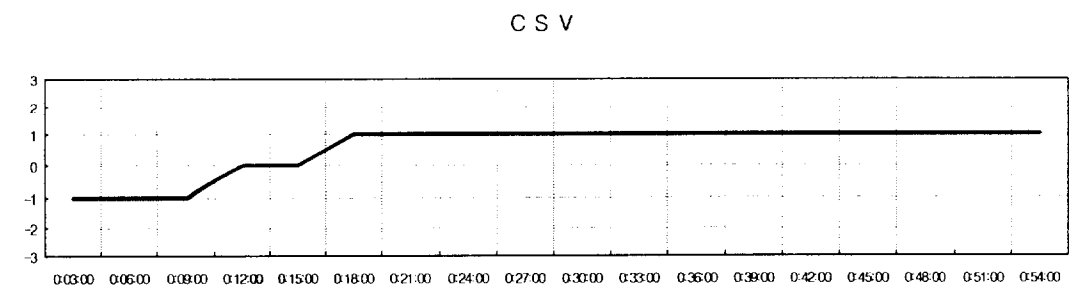
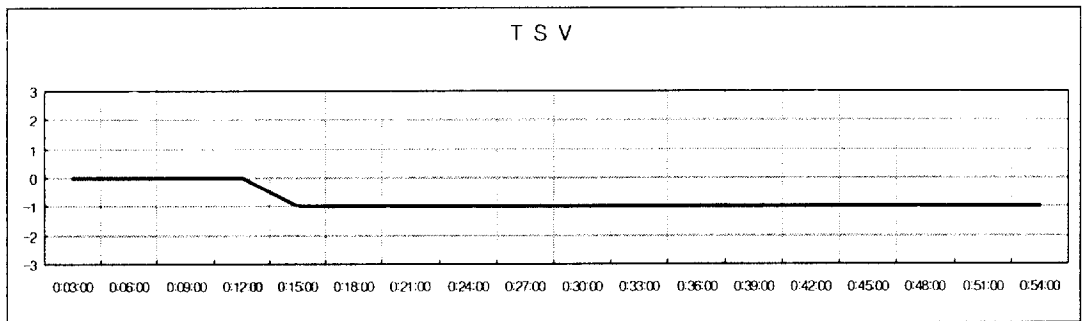
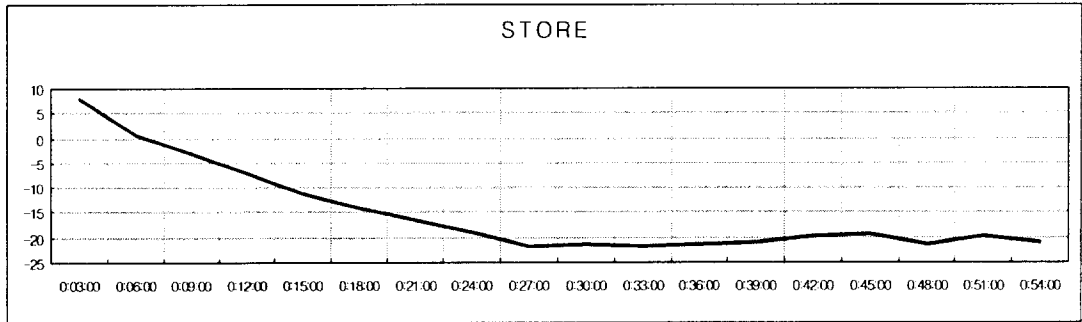
○ 14일, 서운희, 우측, 24도



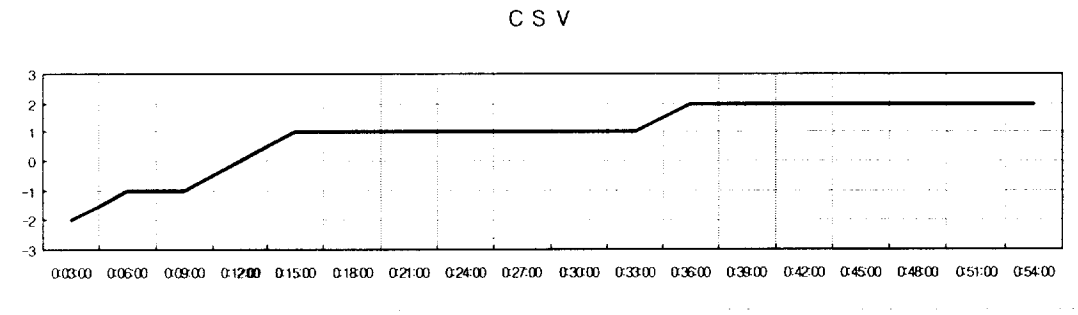
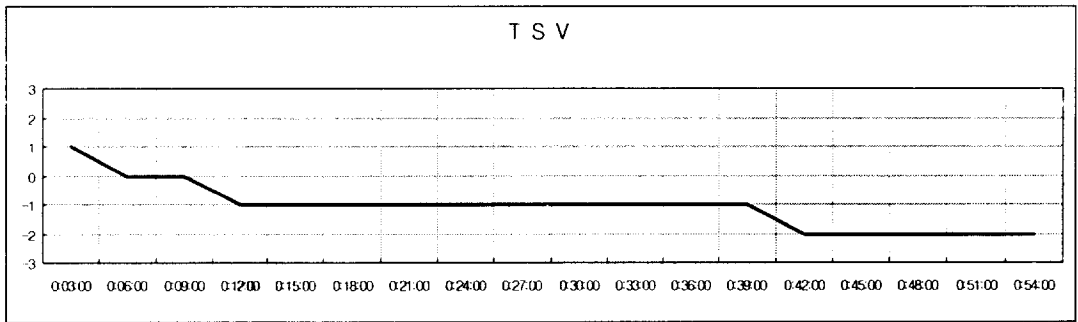
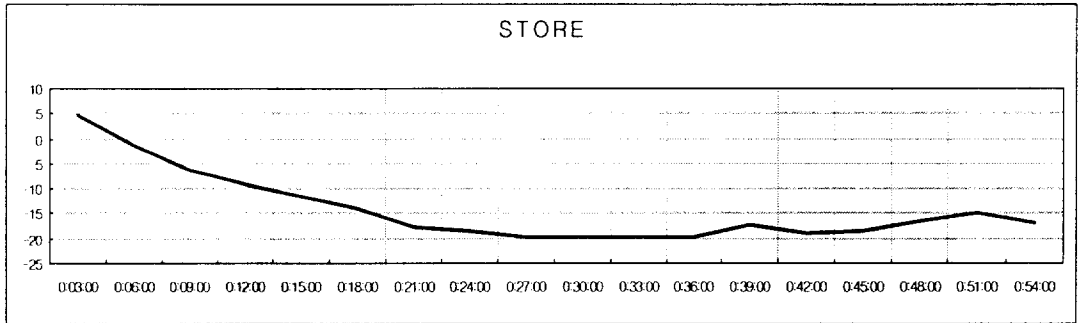
○ 15일, 서은희, 우측, 22도



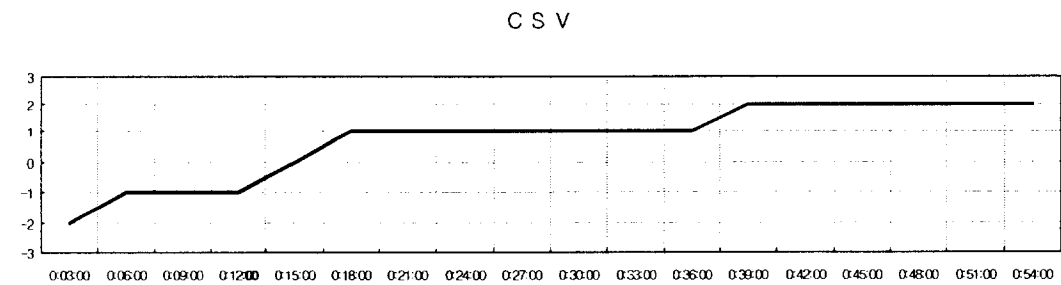
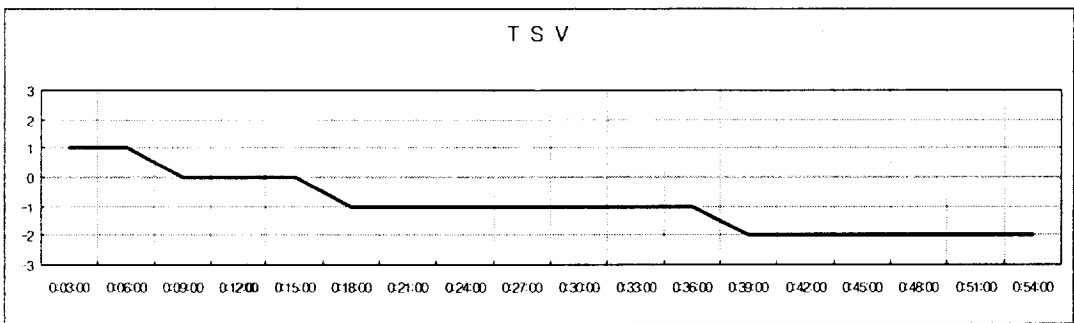
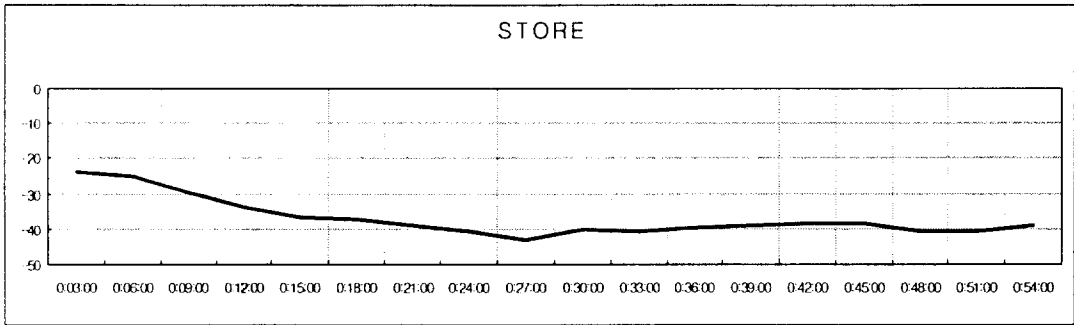
○ 13일, 장혜진, 좌측, 26도



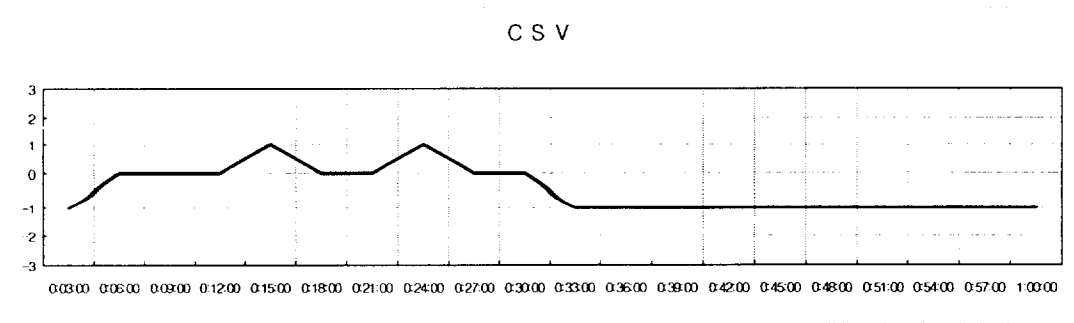
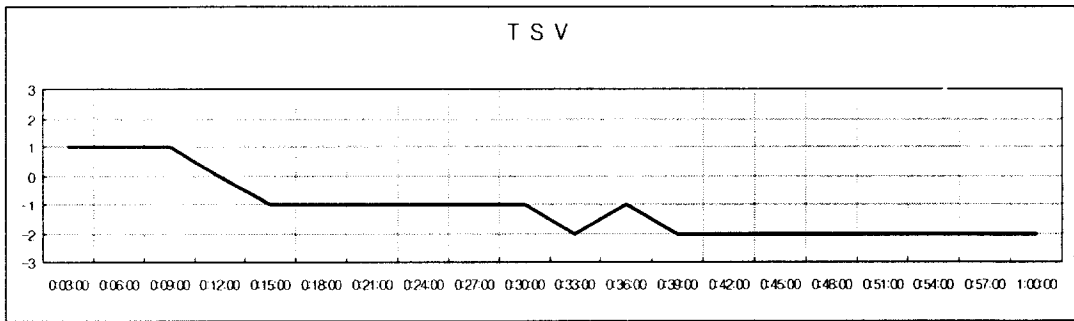
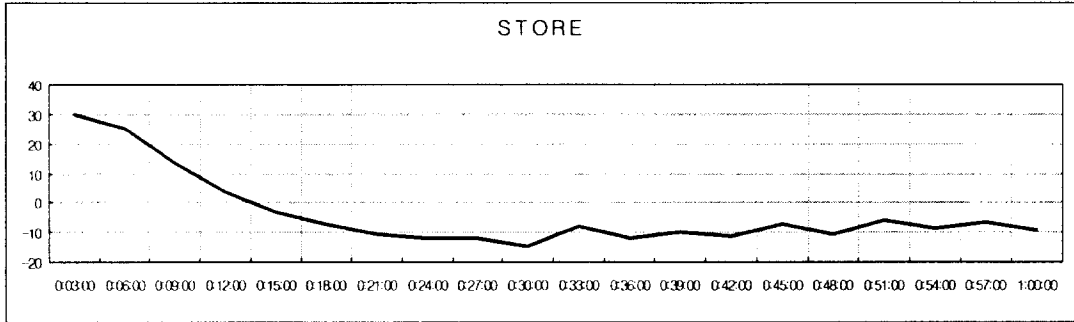
○ 14일, 장혜진, 좌측, 24도



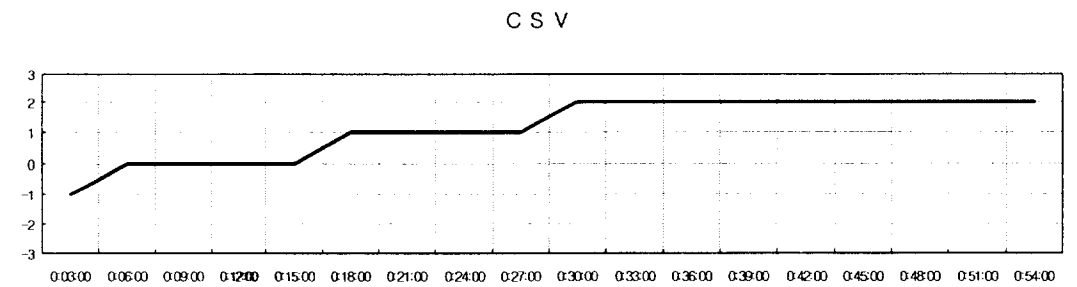
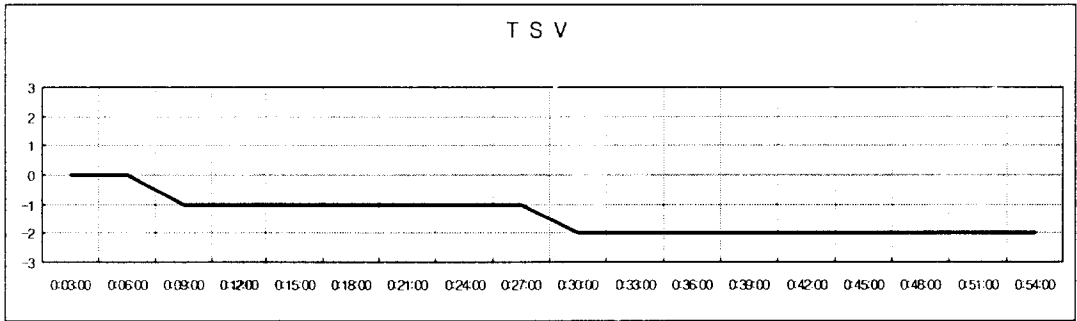
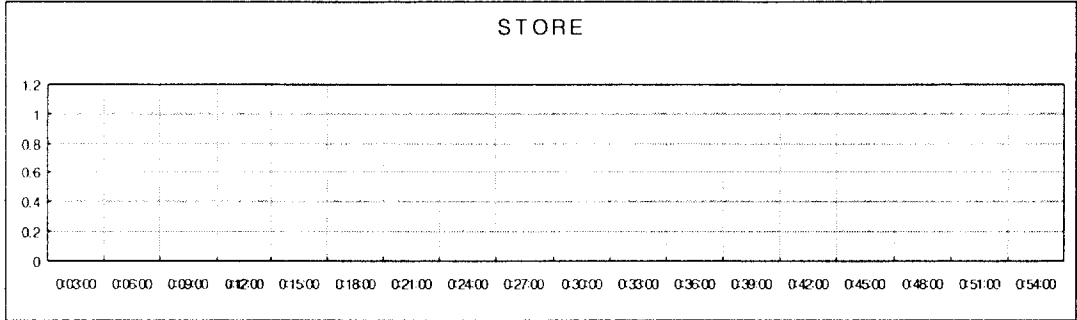
○ 15일, 장혜진, 좌측, 22도



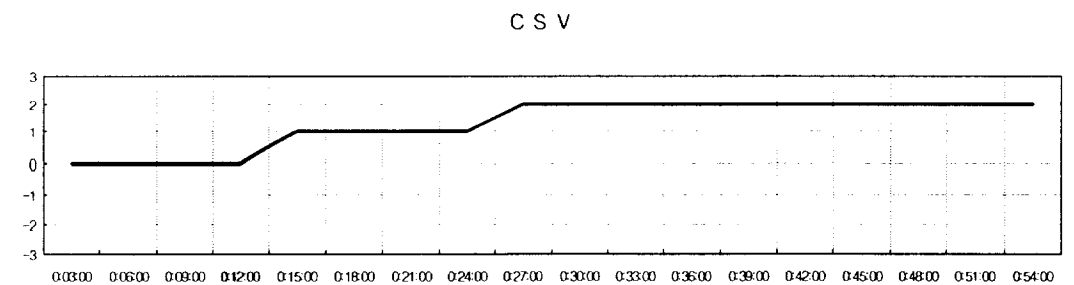
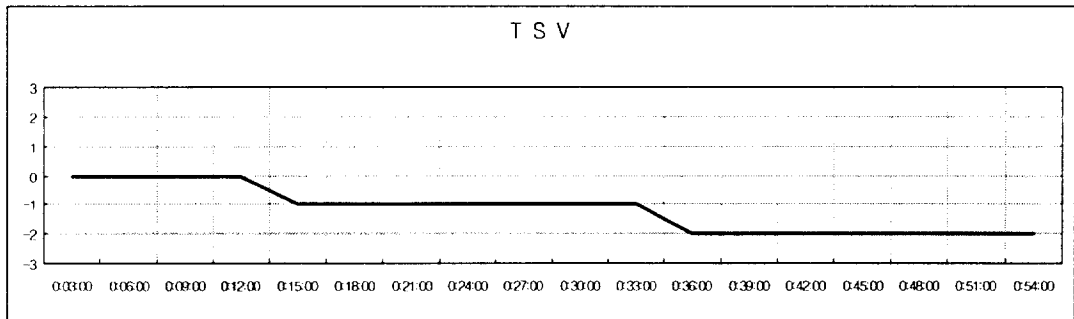
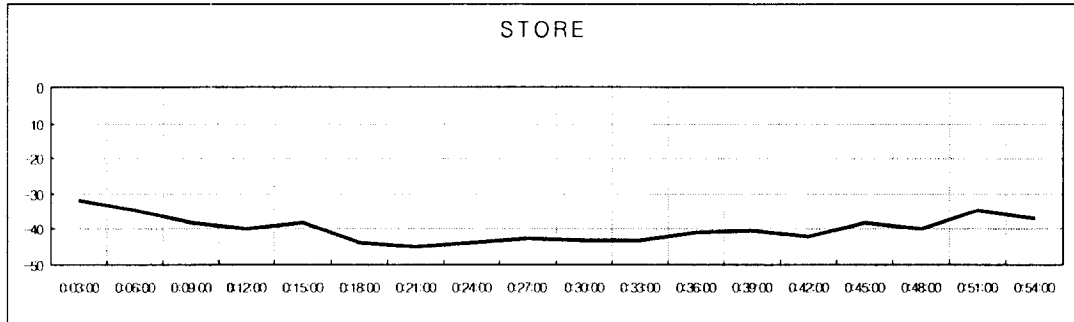
○ 13일, 김동규, 좌측, 26도



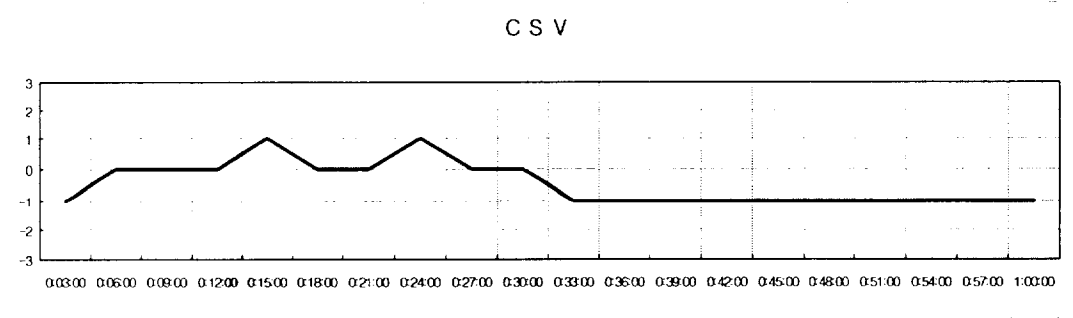
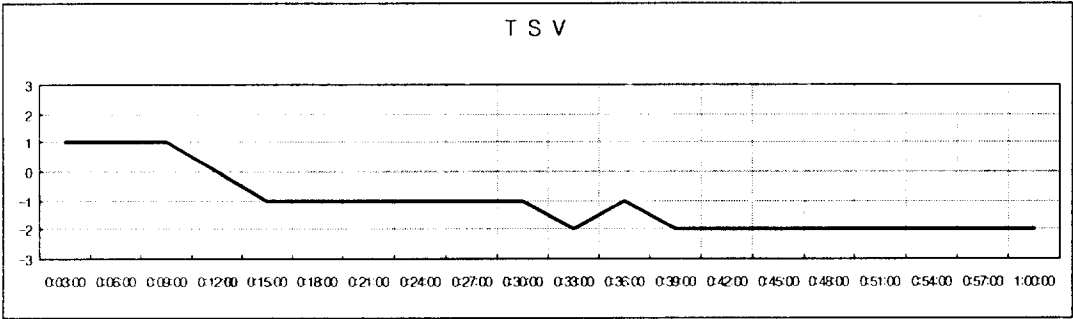
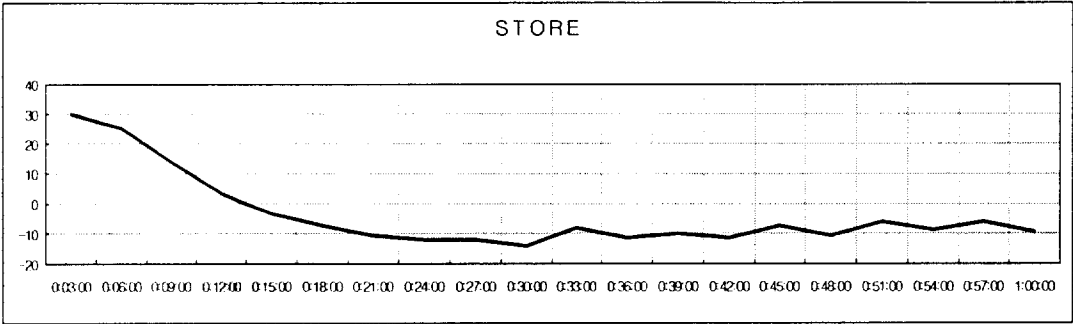
○ 14일, 김동규, 좌측, 24도



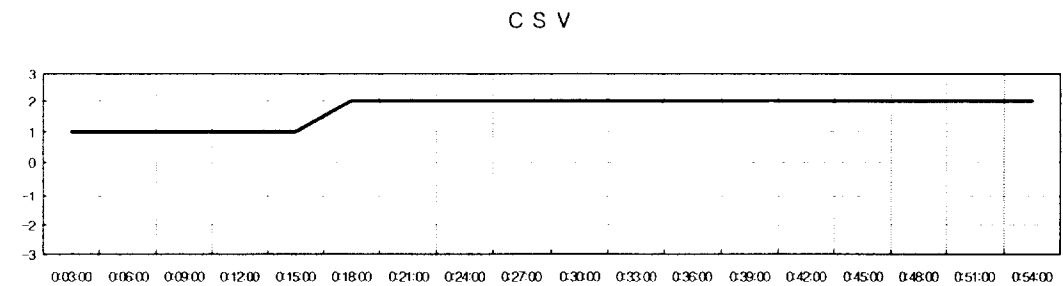
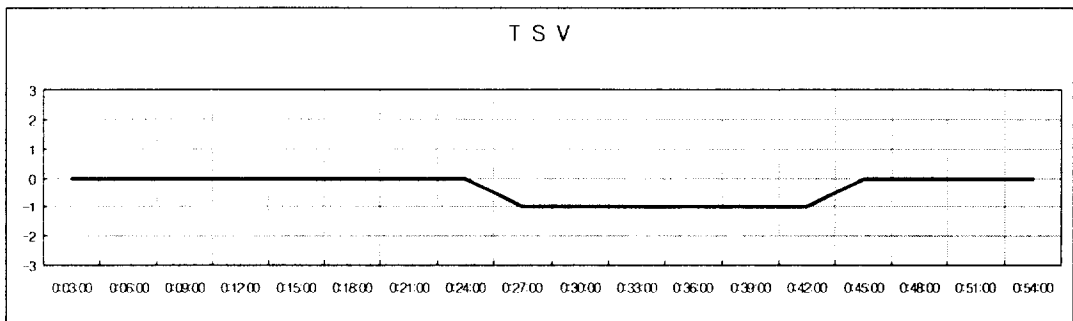
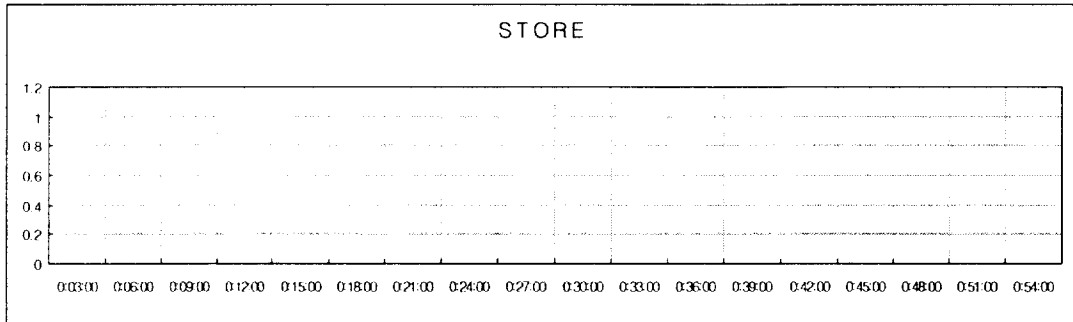
○ 15일, 김동규, 좌측, 22도



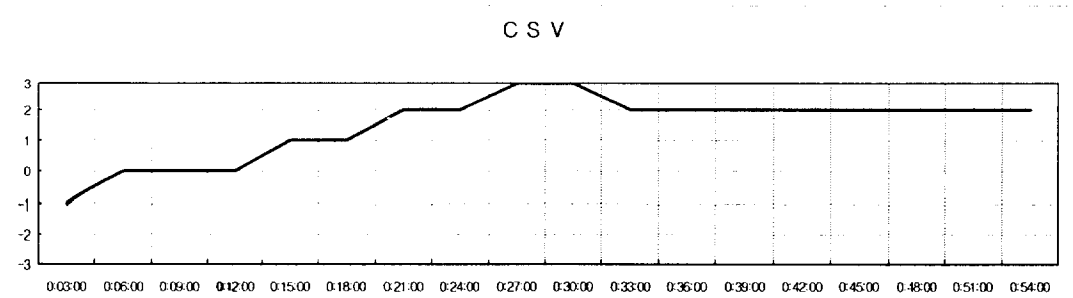
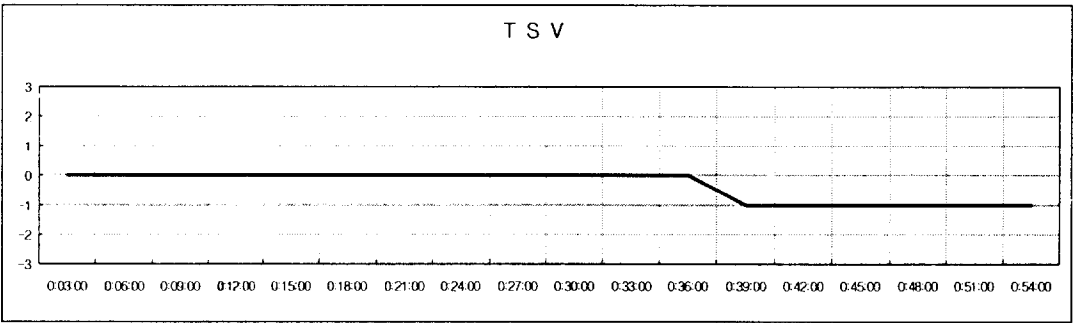
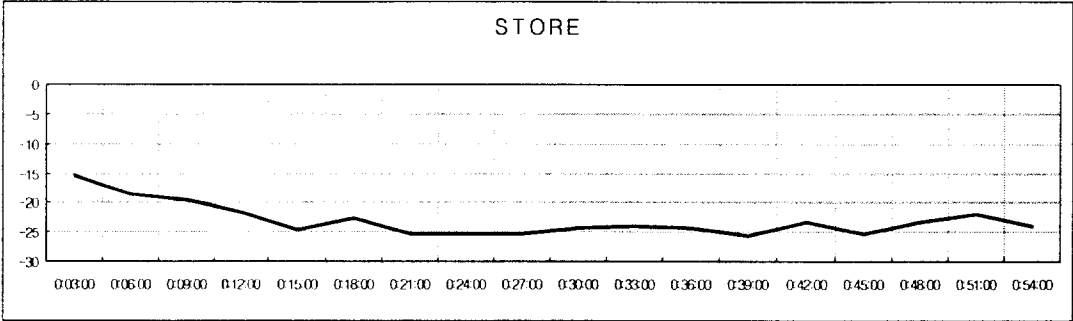
○ 13일, 박영창, 우측, 26도



○ 14. 박영창, 우측, 24도



○ 15일, 박영창, 우측, 22도



남자 피험자의 조건별 Heat storage가 $+$ $\rightarrow$ $-$ 로 변화하는 경과시간이 26℃ 경우는 약13분정도이고, 24℃의 경우는 15분정도이고, 22℃의 경우에는 12분정도이다. 이와같은 결과는 전신온냉감이 $+$ $\rightarrow$ $-$ 로 변화하는 시점과 거의 일치하는 경향을 보인다.

여자 피험자의 조건별 Heat storage가 $+$ $\rightarrow$ $-$ 로 변화하는 경과시간이 남과 26℃ 경우는 약6분정도이고, 24℃의 경우는 3분 정도이고, 22℃의 경우에는 [-]정도이다. 이와같은 결과는 전신온냉감이 $+$ $\rightarrow$ $-$ 로 변화하는 시점과 거의 일치하는 경향을 보인다.

제 5 장 결론

본 연구는 온열환경요소가 정상상태와는 달리 시간에 온도와 기류가 변동하는 환경을 평가하기 표준신유효온도(SET*)를 이용한 평가방안으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

인체내 축열량과 환경에 대한 전신온냉감, 쾌불쾌감은 남녀 피험자 모두 Heat storage가 $+$ $\rightarrow -$ 로 변화하는 시간과 전신온냉감이 $+$ $\rightarrow -$ 로 변화하는 시점이 거의 일치하는 경향을 보였다. 다만, 남녀의 시간차가 생기는 것은 여자의 경우는 생리주기를 전후하여 인체의 체온변화가 저온기와 고온기로 변하기 때문에 인체의 평균피부온도가 변화가 인체내 축열량에 영향을 끼친 것 같다.

SET*는 온열의 4요소와 인체의 2요소에 의하여 인체와 환경사이의 열교환에 의하여 이루어지는데 인체와 주위와의 열수지가 정상상태에 들어간다고 생각되어지는 상태에서 계산되어지지만 본실험에서는 전실에서 30분 대기하는 동안은 정상상태에 들어가지만 본실로 이동후 냉방해서 실험조건까지 가는 시간은 비정상상태로 간주되므로 이 부분에 대한 해석이 더 필요하다고 생각되어 집니다.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 학문에 대한 자세와 공학도로서의 몸가짐을 올바르게 가질 수 있도록 시종일관 지도해 주신 지도 교수 금종수 교수님께 진심으로 머리 숙여 감사드립니다.

그리고 항상 곁에서 깊은 관심과 이해심으로 지도하여 주신 최광환 교수님께 깊은 감사의 마음을 표합니다.

또한 본 논문의 시작에서부터 완성과 논문심사 기간동안 세심한 지적과 조언을 아끼지 않으신 오후광 교수님, 김종수 교수님, 그리고 김영수 교수님과 한잔의 따뜻한 차로서 항상 편안하며 온화하게 지도하여 주신 윤정인 교수님께도 감사드립니다.

그리고 건축환경설비 연구실의 대학원생 및 학부생 여러분 모두에게 고마움을 표합니다.

특히 논문 준비 기간 중 어려움에 처했을 때 조언을 아끼지 않으신 김동규 박사님과 김종률 선생, 그리고 논문의 처음 시작과 마지막 마무리 작업까지 물심 양면으로 도와주신 장문간 선생과 신병환 선생께 깊은 감사의 정을 표합니다.

비록 적지 않은 나이지만 대학원 생활의 최대 수확 중의 하나인 중앙건설의 이상룡 차장과 한국 하이프레스의 전영권 이사님께도 논문 통과와 학위 취득을 진심으로 축하 드립니다.

마지막으로 나이든 사위가 된다는 학위를 받는다고 마냥 좋아만 하시는 장인, 장모님께 감사의 마음을 드립니다.

그리고 많은 어려움을 참고 견디며 내조해준 아내와 사랑하는 나의 자식들 큰딸 솔림이, 아들 유진이, 귀염둥이 늦둥이 유림이에게도 고마운 마음을 전합니다.

2001년 12월 이용배