

## 쾌적성의 측정과 응용

홍경희<sup>1</sup> · 홍성애<sup>1</sup>

### 1. 서 론

요즈음에는 쾌적성이라는 용어를 흔히 보게 된다. 스트레스가 과다한 현대사회에서 쾌적성은 그 중요성이 더욱 커지고 있다고도 하겠다. 또한 이것은 삶의 질이 향상되어 가면서 다양한 환경 및 활동에 대한 개인의 참여 욕구가 증대하고 있고 이러한 여러 가지 상황에서 사람들이 보다 쾌적한 환경 또는 쾌적한 생활 제품들을 바라고 있다는 것이 자연스럽게 반영된 것이라고도 보여진다. 정부나 기업의 차원에서조차 작업의 안전성 증대와 같은 복지차원에서 쾌적성은 중요한 이슈가 됨을 나타내고 있다고도 하겠다.

쾌적성의 정의를 불쾌함이 없는 상태라고 표현하는 것은 열적 쾌적성의 관점에서 부교감신경의 활동이 우위인 상태의 평온한 정적인 상태를 나타내며 ASHRAE에서는 이를 주위의 환경에 대하여 춥지도 덥지도 않은 중립적인 만족감을 주는 마음의 상태(ISO 7730)라고 말하고 있다. 이것은 쾌적(快適)이라는 용어에서 기본적인 물리적인 안락감을 의미하는 '適(comfort)'의 의미를 가리키고 있으며, 이보다 한 걸음 나아가 적극적으로 심리적인 '쾌(pleasure)'의 측면이 요즈음에는 인간의 환경과 제품에서 중요하게 대두되고 있다.

본고에서는 불쾌감을 경감시켜준다는 '適'의 의미에서의 열적 쾌적감(thermal comfort)을 측정할 때의 제반 사항을 살펴보고, 이를 다양한 방법들을 통하여 일련의 지표로 제시할 수 있는 방안으로 국제적인 ISO 표준들을 소개하며 실례로 특수복을 들어 설명하고자 한다. 아울러 요즈음

에 대두되고 있는 적극적 의미에서의 '쾌'를 측정하는 기법과 그 응용 예를 살펴보고자 한다.

### 2. 열적 쾌적감(Thermal Comfort)

Rohles[1]는 살아있는 유기체에 대한 환경의 영향에 대하여 연구할 때 반드시 고려되어야만 하는 변인들을 규명하는 3차원의 입체 model을 발전시켰는데 이를 'Ecosystem Complex'라고 한다(Figure 1). 이는 크게 세 가지 종류로 구분되어 있는데 첫째로, 물리적 환경을 규명하는데 필요한 요인들, 둘째로 환경 내에 존재하는 살아있는 유기체들을 묘사하는데 필요한 요인들, 그리고 마지막으로 유기체와 환경 사이에서 상호 작용하여 유기체가 환경에 적응할 수 있도록 하

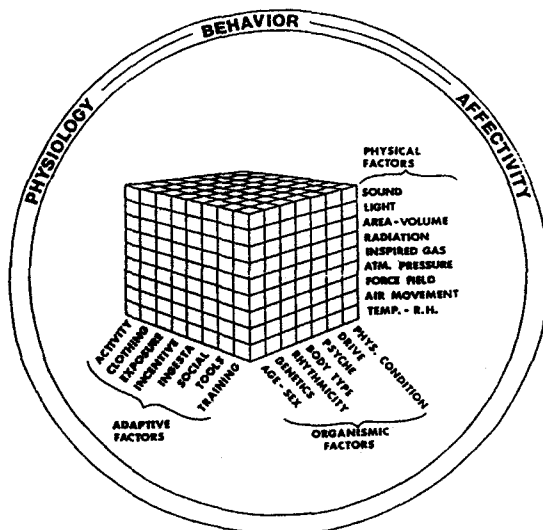


Figure 1. The Ecosystem Complex.

The Measurement and Application of Clothing Comfort / Kyung-Hi Hong<sup>1</sup> and Sung-Ae Hong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 의류학과 교수, (305-764) 대전광역시 유성구 궁동 220, Phone: (042)821-6828, Fax: (042)822-8283, e-mail: khhong@hanbat.chungnam.ac.kr

<sup>1</sup>한성대학교 의류직물학과 교수

는 요인들을 포함한다. 이 모델에서 제시된 여러 변인들은 현재까지 열적 쾌적성을 판별하는데 중요한 역할을 담당하게 된다.

**2.1. 환경요소**

환경조건에는 기본적으로 기온, 습도, 기류, 평균복사온 등의 4대 기본 요소가 있다. 이들 중 세 요소를 종합한 유효 온도(ET)로 쾌적대를 나타내기도 하며, 4대 환경요소에 작업량과 착의량을 고려하여 표준신유효온도(SET\*, ASHRAE Standard 55-74)로 실내의 쾌적온열 환경설정의 기준(22.2-25.6 SET\*)을 나타내기도 한다. 또한 인체-의복-환경 간의 열교환식을 고려한 작용온도( $T_o$ , operative temperature)는 생리적 지표를 나타낼 때 필요한 환경 조건으로 많이 쓰이고 있다. ASHRAE Handbook[2]에서는 Psychrometrics를 제시하여 주는데, 이는 여러 가지 환경

변인들이 지닌 열역학 특성들간의 상호 관계를 보다 근본적으로 나타내어 준다. Figure 2에서 보는 바와 같이 X축에는 건구온도, 왼쪽 아래에서 오른쪽 위로 지나가는 곡선들은 상대 습도를 나타내어 주며 왼쪽의 가장 위에 있는 곡선은 상대습도 100%를 나타내는 곡선이다. 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 지나가는 사선은 습구온도를 제시하는 선이며, 각각의 수평선은 이슬점 온도를 나타내어 준다. 따라서 이 도표는 복합적인 여러 가지 환경 요인들간의 관계를 동시에 파악할 때 매우 유용하고 편리하게 사용할 수 있다.

어떠한 환경에서도 100%의 인체가 모두 쾌적할 수는 없는 경우가 거의 대부분이므로 ANSI/ASHRAE Standard[3]에서는 약 90%의 인체가 쾌적하게 느끼는 영역을 의복의 단열력과 연관지어 Figure 3과 같이 제시하고 있다. 여기에서는 전형적인 여름옷( $0.35 < I_{cl} < 0.6$  clo)과 겨울 옷

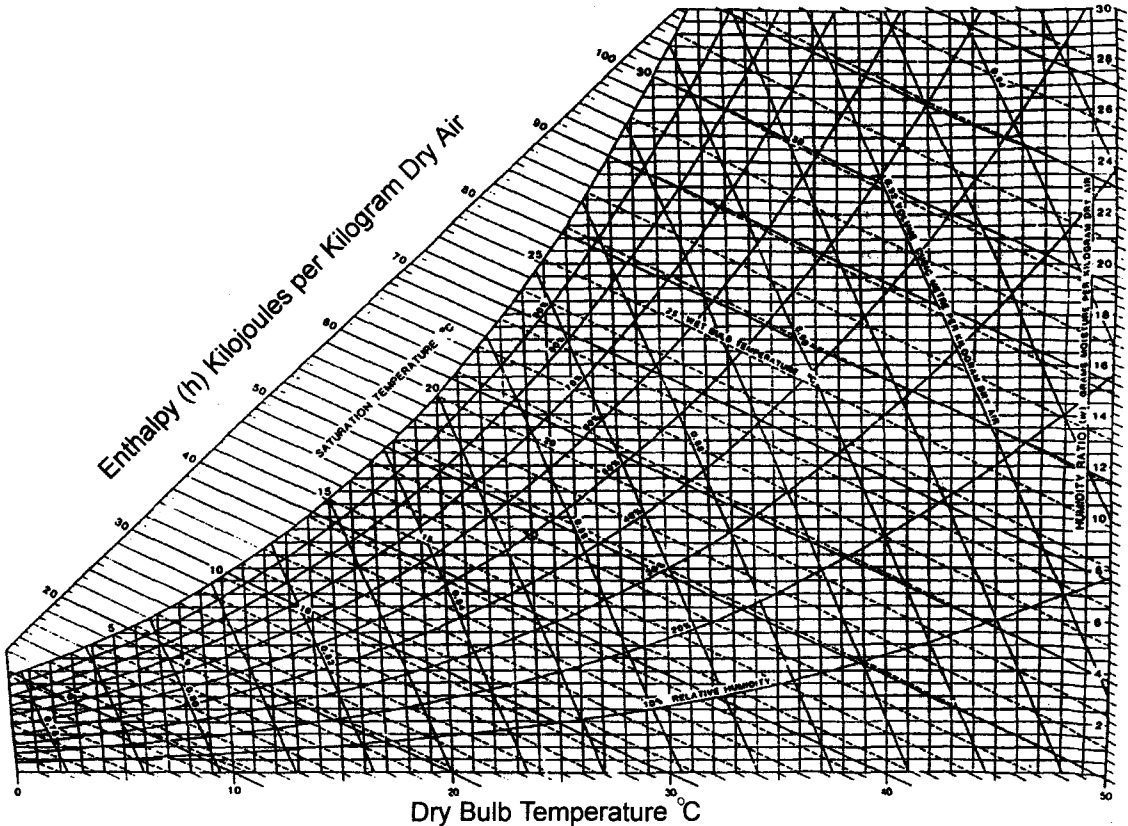


Figure 2. ASHRAE psychrometric chart.

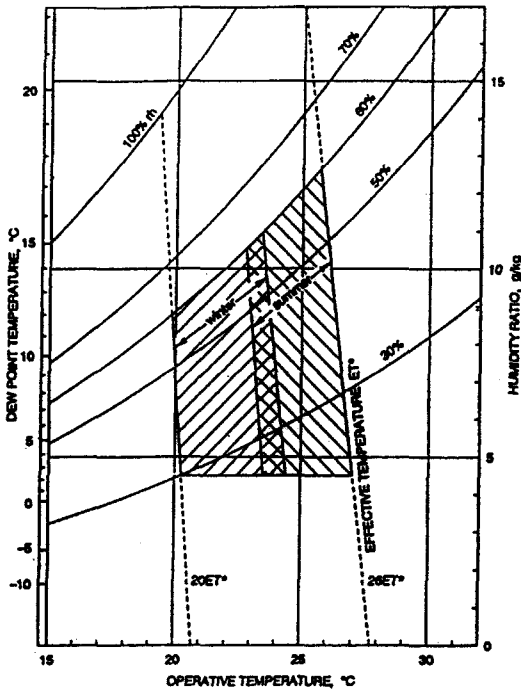


Figure 3. Comfort zone in summer and winter (ASHRAE 55-1992).

( $0.8 < I_{cl} < 1.2$  clo)을 착용하고 앉아 있는 동안에 수용할 수 있는 작용 온도( $t_o$ )와 습도 범위가 나타난다. 상대습도 60%에서 볼 때 겨울의 쾌적 범위는  $t_o = 20 \sim 23.5$  °C이고, 여름에는  $t_o = 22.5 \sim 26$  °C이다. 여기에서 살펴보면 겨울과 여름의 쾌적 범위가 23~24 °C에서 중복되는데, 이 범위 안에서 여름옷을 착용한 사람들은 약간 서늘하게 느끼게 되고 겨울옷을 착용한 사람들은 약간 따뜻하게 느끼게 된다.

### 2.2. 인체 요소

열적 쾌적성과 관련된 인체의 요소로서 기본적으로 고려해야 할 것은 인체의 활동조건에 따른 대사량, 피부온, 직장은, 체표면적(전체 체표면적, 복사열에 노출된 체표면적 등), 발한율, 피부 젖은 면적(skin wettedness 또는 피부면에서의 수증기압) 등이라 할 수 있다. 이와 같은 요소들은 본고의 2.5에서와 같이 국제 표준화를 위한 각종 식들에 직접 응용되고 있다. 이 밖에도 동작이나 자세에 따라 전도, 대류, 환기, 복사, 증발

열 교환 등이 영향을 받는다. 가령 군인과 같은 경우는 동일한 군복 시스템을 착용하고 보초를 서거나 행군, 훈련, 또는 작전 등으로 다양한 자세와 동작을 취하게 되며, 이에 따라 군복 시스템 자체가 제공하는 단열력도 변하게 된다. McCullough[4]가 수행한 극한 기후에서의 미국 군복 연구를 위한 모의 실험 결과에 의하면 서 있는 자세일 경우에 4.19 clo를 지닌 군복 시스템이 3 mph의 속도로 행군하는 동안에는 단열력이 현격히 저하되어 2.69 clo로 감소되었다. 또한 훈련 도중 무릎으로 기어가는 자세에서는 4.13 clo로, 각각 취하는 동작 및 자세에 따라 군복의 단열력은 다르게 나타났다.

그러나, ISO 7730이나 ET\* 등은 앉은 자세를 고려할 때 단순한 그물 의자를 사용하여 의복의 단열력에서 선 자세와 앉은 자세에서의 차이가 없는 0.6 clo란 단열치를 사용하여 개발되었다. 실제로 사람들은 다양한 형태의 의자를 사용하며 특히 사무실에서 근무하는 사람 등은 하루의 많은 시간을 의자에 앉아서 보낸다는 것을 감안할 때 의자의 영향을 포함하여 앉은 자세에서의 연구가 요구되었고, 의자와 관련된 요인들 중 의자와 인체의 접촉 면적이나 의자 소재의 특성 등이 쾌적성에 중요한 영향을 미친다는 사실[5]이 밝혀진 바 있다. 또한 전형적인 실내 환경에서는 복사에 의한 열 이동이 인체로부터의 열 손실에 있어서 아주 큰 부분을 차지하게 된다. Fanger는 복사에 의한 열의 이동을 고려한 인체와 환경간의 열교환식에서 인체를 균일한 입체로 간주하고 계산식을 도출하였는데[6] 인체는 피부온에서도 균일하지 않고 의복을 착용할 때도 균일하게 착용하지 않는다. 이 점에 착안하여 보다 실제적인 data 구축이 이루어졌고 한 단계 나아가 이 data를 이용하여 다양한 각도에서 복사열원에 노출된 인체의 표면적 변화를 고려한 복사열의 영향을 파악한 보고도 있다[7].

### 2.3. 의복요소: 무엇을 측정할 것인가?

쾌적성과 관련된 의복시스템에서의 parameter를 측정하려 할 때 인체-의복-환경의 시스템에서 총체적인 의복의 쾌적성을 평가하는 것이

이상적임은 물론이다. 그러나, 의복은 섬유, 실, 직물의 1차 요소로부터 나아가 이것이 통합되어 의복으로 조형화 되고 여기에 인체, 환경의 각종 변인이 결부되어 나가면서 변화하는 복합적이고 다이내믹한 시스템이다. 그리하여 총체적 시스템 분석시에 이와 관련된 변인의 체계적인 통제가 힘든 경우가 흔히 발생하고 이것은 결과의 분석을 난해하게 하여 총괄적인 성능 평가는 가능하나, 제품생산의 전략시 개별구성요소의 전략을 세우기 위한 지침을 공학적으로 구체화하기 어렵다. 이의 해결에 도움을 줄 수 있는 방안으로 Goldman[8]은 의복 기능의 최적화를 위한 다섯 단계의 체계적인 연구 측정 방안에 대한 기본구조를 제시하였다. 이는 현재까지 전세계적으로 활용되고 있고, 특히 Umbach는 독일 Hohenstein Institute에서 이를 이용하여 수행하고 있는 연구에 대하여 상세히 소개한 바 있으며 이는 Figure 4에 제시된 바와 같다. 이 다섯 단계의 연구 측정 수준을 고려하여 연구에 적용하면 체계적인 연구 수행에 많은 도움이 된다. 즉, 최종상위 단계에서의 문제점을 철저히 파악하여 여러 가지 조건을 알고 있는 상황에서 target이 무엇인가, 어떠한 변인을 더욱 정확히 측정하고자 하는가, 이때 통제하거나 분리하고 싶은 변인은 무엇인가를 결정하여 측정의 단계를 결정한다. 이와 같이 전체 시스템의 해결이라는 공동목표아래 분해

한계(limit resolution)를 정하는 것은 3, 4, 5단계의 고단위 연구의 기초 DB를 쌓아 간다는 점에서 도움이 된다.

그러면, 1단계 연구인 피부모형에서의 직물의 쾌적성 연구에서는 어떠한 점이 가장 중요할 것인가? 의복시스템은 고분자부터 섬유-실-직물-염색-가공-구성/봉제-착용방법까지 여러 단계가 포함되어 있는데 1단계에서는 고분자부터 가공까지의 성능과 그 효과를 분석한다고 하겠다. 이때에는 어느 차원에서나 재료자체의 화학적 성능과 더불어 이들 개개의 요소가 어떻게 기하학적으로 구조화되어 있는가가 쾌적성을 좌우하는 양대 축이라 할 수 있겠다.

피부모형에서의 쾌적성 평가에서의 1차적인 전제조건은 피부의 온도, 습도, 환경조건의 설정이 현장에서 측정된 실측치와 유사하게 설정되어야 한다는 점이다. 온도, 습도의 기울기, 피부와 직물간의 거리가 다름에 따라서 작용하는 주요 메커니즘이 다르게 되어 최종목표인 쾌적성의 예측이 빗나가는 경우가 많기 때문이다. 예를 들면 폴리에틸렌글리콜의 상변화에 따라 발열과 흡열반응을 양말에 적용하여 인체 발부위를 따뜻하고 시원하게 해 줄 수 있는 가를 측정하고자 할 때는 일반적인 평균피부온(33~34 °C)으로 피부면의 온도를 설정하지 말고 사용환경조건과 함께 그 조건아래에서의 발의 피부온을 측정된 자료를

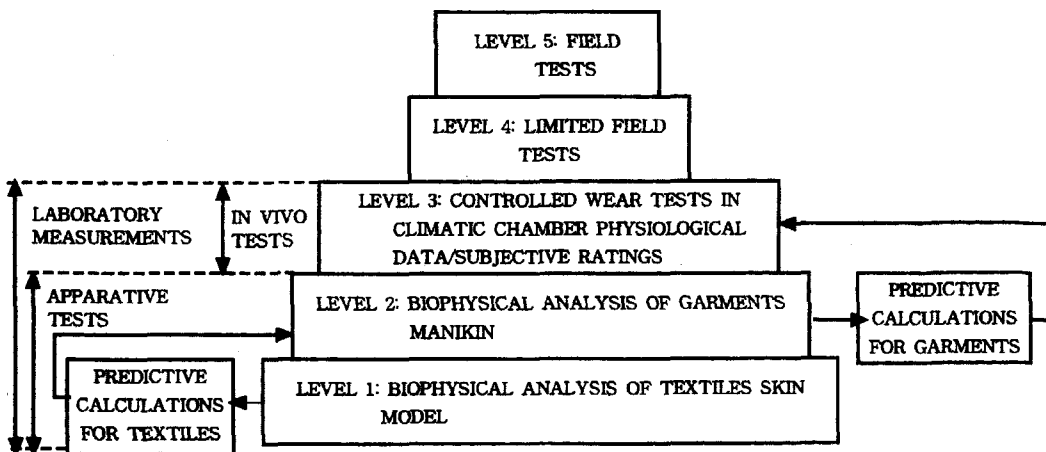


Figure 4. A five-level system for the analysis of the physiological properties of textiles and garments (Umbach, 1988).

근거로 하여 피부모형을 설정해야 실제 효과가 있는 지 없는지를 예측할 수 있다고 생각된다.

또 한가지는 일반적으로 KS K, ASTM, AATCC 에서 제정한 표준시험 방법들이 일반적으로 정적/평형 상태에서의 성능을 평가하도록 되어 있다는 점이다. 이러한 방법들은 표준치 산정이 용이하기는 하나 너무 과도하게 단순화되어 실제 현장에서의 쾌적성을 예측하기에 부족하므로 2차적인 실험이 필요하다. 즉, 동적인 상태에서의 직물의 열·수분전달성능, 표면특성 등을 실험하여야 한다. 온냉감, 습윤감, 압박감 등의 촉각을 감지하는 감각 수용체가 피부에 있으므로 특히 피부와 직물사이의 미세기후층에서의 수분의 증가량 및 증가속도[9], 실제 피부와 접촉하게 되는 직물면의 접촉 면적이나 요철, 표면잔털의 강경성 등이 열적 쾌적감이나 접촉 쾌적감에 중요하게 작용한다는 논문들이 발표되고 있다[10,11].

실제로는 의복을 여러겹 겹쳐 입는 경우가 많은데 이 때에도 직물 전체의 또는 각각의 층에서의 성능보다는 가장 피부 면에 접하고 있는 직물 내표면에서의 성능이 쾌적성을 좌우하므로 어떠한 직물의 물성 조건이 동적인 상태에서도 피부면을 건조하게 또한 따뜻하게 유지해 주는 가를 검토하여야 한다. Umbach 등은 이러한 측면에서 직물의 완충 능력지수 등 동적인 상태에서의 열·수분전달 지수를 측정하는 것이 필요함을 주창하고 있다. Buffering index,  $K_b$ , moisture regulation index,  $\beta_T$  등이 클수록 생리적으로 대처할 수 있는 능력이 큰 직물이라고 하였다.

1단계 연구 결과만으로는 일반적으로 주어진 직물이 쾌적하다 아니다를 단적으로 판단할 수는 없는 경우가 많다. 이는 2차원에서의 직물 구조가 인체에 착용되기 위하여 의복의 형태를 취하게 되면서 3차원으로 변하게 되면 쾌적성에 영향을 미치는 많은 요인들을 복합적으로 새로이 수반하게 되기 때문이다. 우선 1단계에서의 skin model을 이용하여 직물을 sweating hot plate에 올려 놓고 실험하듯이 의복은 인체를 균일하게 피복하지는 않는다. 3차원에서의 의복 착용을 간단하게는 인체 각 부위에 따라 피복된 부위와 노

출된 부위로 나누어 생각해 볼 수가 있고, 좀 더 세분화해서 고려한다면 피복된 부위라도 걸감 이외에 의복 자체에 수반되는 부자재들(가령, 안감, 심지 등)이 부위별로 다양하게 사용되므로 같은 자켓을 착용하고 있는 경우에도 인체부위에 따라 각기 다른 직물 층들의 조합으로 덮이게 된다. 더욱이 착용된 의복 밑의 피부온이나 발한량 등이 인체 전체에 걸쳐 균일하지 않고 인체 각 부위별로 다르다는 것을 감안한다면 이 모든 요소들을 복합적으로 고려할 수 있는 실험방법이 요구된다. 일반적으로 의복 착용시 단품 한가지만 입는 것이 아니라 겹옷, 속옷, 상의, 하의 등등 다양한 종류로 조합되어 착용하는 것을 감안한다면 단순한 직물 상태에서의 실험에 비하여 이때 고려되어야 할 요소들은 그만큼 복합적으로 증가하게 되는 것이다. 또한 같은 직물이라도 의복으로 조형화되면서 옷의 디자인이나 치수는 물론 이를 구성하는 직물자체의 강연도나 신축성 등의 영향으로 의복내의 공기층의 부피나 형태, 공기의 흐름의 통로는 다르게 나타나게 된다. 그리고 겹쳐 입는 경우에도 각 의복층의 여유분량에 따라서 의복 전체의 단열력이 변화하게 되고, 그밖에도 의복의 착용 방법이나 인체의 자세 및 동작에 따라서도 공기와 수분의 이동현상이 달라지게 된다.

2단계 연구에서는 이와 같은 복합적인 변인들이 고려되어 인체의 형태와 피부온의 분포, 발한, 자세, 동작, 직물의 역학적 성질, 의복의 디자인, 구성, 봉제, 착용방법을 고려하기 위하여 실제 인체와 같이 각 부위별로 다른 피부온 분포를 유지할 수 있도록 제어가 가능하며 인체와 환경간의 열 교환에 의한 쾌적성 여부를 3차원에서 평가할 수 있는 thermal manikin에 의한 실험을 하는 단계이다. thermal manikin을 이용한 연구 결과들을 바탕으로 전도, 대류, 복사에 의한 열 교환 현상을 반영할 수 있는 의복의 단열력에 대한 DB는 ASHRAE, ISO 등에 잘 개발되어 제시되어 있으며, 이에 더 나아가 투습성을 고려한 지수 (moisture permeability index,  $i_m$ )도 함께 DB화 되는 것이 필요하다 하겠다. 이에 따라 미국의 Institute for Environmental Research에서는 발

한 thermal manikin을 이용하여 일본의 Tamura 교수와 함께 일상복은 물론 특수복을 포함하여 투습도에 대한 DB를 구축한 바 있으며 이는 Table 1에 나타낸 바와 같다. 여기에서의  $i_m$  지수는 의복을 통한 수분 투과의 효율성을 나타내어 주므로, 의복의 발한 증발력에 대한 지표로 많이 사용되어 왔고[12-16], 그 산출방법은 다음과 같다.

$$i_m = \frac{R_t / R_{e,t}}{R'_T / R'_E}$$

- $i_m$ : moisture permeability index for a clothing system, including the air layer resistance, dimensionless
- $R_t$ : resistance to dry heat transfer provided by the clothing system and outer air layer (total insulation),  $m^2 \cdot ^\circ C/W$
- $R_{e,t}$ : total resistance to evaporative heat transfer provided by the clothing system and outer air layer,  $m^2 \cdot kPa/W$
- $R'_T$ : the thermal resistance of a thin air film,

$$m^2 \cdot ^\circ C/W$$

$R'_E$ : the evaporative resistance for the same air film,  $m^2 \cdot kPa/W$

Thermal manikin에 의한 2단계 실험에서 개발된 ASHRAE, ISO 등의 DB는 대부분 정적인 상태에서 이루어진 것이므로 실제와 같은 동적인 상태에서의 DB 개발 또한 요구된다. 이에 따라 movable thermal manikin을 이용한 동적인 상태에서 다양한 의복을 포함한 DB 개발이 이루어 졌다[17]. 이 2단계에서 필요한 thermal manikin과 관련된 장비는 상당히 고가로 현재 전세계적으로도 그 수가 제한되어 있다. 따라서 이를 직접 측정할 수 없는 곳에서도 Umbach 모델의 1단계에서 제시된 직물 특성들의 측정결과를 이용하여 2단계에서의 값을 예측할 수 있도록 공식이 개발된[18] 바 있다.

3단계 실험에서는 환경기후실에서 환경을 조절해가며 인체가 의복을 착용한 상태에서 쾌적성을 측정하는 단계이다. 여기에서는 물리적인 열, 수분 전달 현상, 생리적 반응, 심리적 반응,

**Table 1.** Moisture permeability data for clothing ensembles measured with a sweating thermal manikin\*

Ensemble	Total dry resistance $R_t$ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Total evaporative resistance $R_{e,t}$ ( $m^2 \cdot kPa/W$ )	Moisture permeability index $i_m$
1. Men's business suit	0.262	0.044	0.32
2. Women's business suit	0.248	0.039	0.35
3. Men's summer casual	0.186	0.027	0.36
4. Jeans & shirt	0.197	0.031	0.32
5. Summer shorts & shirt	0.158	0.023	0.34
6. Women's casual	0.188	0.026	0.41
7. Women's shorts & tank top	0.144	0.022	0.27
8. Athletic sweat suit	0.209	0.029	0.41
9. Sleepwear & robe	0.233	0.035	0.37
10. Overalls & shirt	0.226	0.035	0.35
11. Insulated coverall & long underwear	0.302	0.048	0.35
12. Work suit & trousers	0.236	0.037	0.34
13. Cleanroom coverall	0.240	0.039	0.32
14. Wool coverall	0.260	0.042	0.33
15. Firestop cotton coverall	0.248	0.038	0.35
16. Modacrylic coverall	0.251	0.038	0.36
17. Tyvek coverall	0.237	0.045	0.26
18. Goretex 2-piece suit	0.268	0.044	0.33
19. Nomex coverall	0.251	0.039	0.35
20. PVC polyester knit acid suit	0.253	0.105	0.11
21. PVC/vinyl acid suit	0.262	0.126	0.09
22. Neoprene/nylon suit	0.264	0.120	0.10

\* from McCullough *et al.* (1989)

동작의 용이성을 측정할 수 있는데 이 단계에서의 패적성 평가는 학문적인 측면에서는 물론 실용적인 측면에서 매우 유용한 단계이다. 실험의 재현성과 정밀도를 증가시키기 위한 방법에는 다음과 같은 내용을 고려하여야겠다.

**2.4. 인공기후실에서 인체의 패적성 실험시(Umbach Level III) 유의할 점**

**실험설계법 :** 패적성의 연구는 생체의 반응을 다루기 때문에 그 방법이 단순하지 않고 실험에도 많은 시간이 소요되는 경우가 대부분이기 때문에 오차를 줄이기 위하여 시료의 수를 크게 하기가 어렵다. 또한, Umbach가 제시한 1, 2단계의 실험에서와 같이 단순히 물성 변인에 내재된 오차를 고려해야 하는 것 이외에도 피험자마다 특이할 수도 있는 인체의 생리와 심리적 현상에 따른 오차를 가능한 한 제거하여야 객관적인 의복요인에 대한 패적성의 분석이 가능하다. 즉, 시료의 수를 크게 하는 대신에 측정하고자 하는 주요 변인을 결정하고 변인의 효과를 정밀하게 측정하기 위하여 local control을 이용한 각종 실험계획법이 사용되고 있다. 이 때, 측정목적에 따른 연구 변인, 그 상황에서의 분산의 근원(source)과 그 속성에 따라 실험 계획방법을 결정한다. 패적한 의복을 생산 공급하고자 하는 업계의 입장에서는 패적성을 예측하기 위한 일반적이고 객관적인 자료가 필요하므로 통계적 방법으로 시간과 비용을 줄이면서 예측력을 증가시키기 위하여 다음과 같은 실험설계를 많이 사용하고 있다.

a. 난괴법(randomized complete block, RCB): 피험자마다 고유한 생리·심리적 특성이 있는데 이것이 실험오차를 크게 할 수 있으므로 피험자를 block으로 처리함으로써 물성 변인에 대한 변별력을 크게 할 수 있다.

b. 라틴 방격법(latin square): 인체가 의복을 반복적으로 평가할 때 발생할 수 있는 평가의 순서효과를 고려하여 실험계획을 세울 수 있는 설계법이다.

c. 분할법(split plot design): 두가지 이상의 독립 변인이 있을 때 독립 변인중 변별하기 쉬운 것을 main plot에 배치하고 독립 변인중 변별하

기 어려우나 주요하게 다루고 싶은 것은 subplot에 배치함으로써 정밀하게 분석하고자 하는 변인의 선정에 따라 실험설계를 할 수 있다.

**환경의 통제 :** 환경 조건을 가능하면 실제의 착용 환경에 맞추어 조절하도록 한다. 환경의 4대 요소는 측정하여 주고 이를 실험조건으로 명시한다. 또한, 평형상태에 도달할 때까지 기다려 생리적 반응을 주로 측정하는 방법도 있는데 일상생활에 더욱 근접하며 일상적인 심리적·주관적 반응이 더욱 중요하다고 생각되면 감각이 예민해지도록 다이내믹한 환경을 만들어 주어도 좋다.

**피험자의 선정 및 통제 :** 남자보다 여자가 감각은 예민하나 생리주기(배란 전후)에 따라 생리상태가 다르기 때문에 오차가 생긴다. 따라서 block 처리를 하거나 생리 전후를 고려한 실험을 실시한다. 또한 순수한 소비자를 임의로 택할 수도 있으나 감각 실험에서는 훈련된 피험자를 이용함으로써 피험자의 수를 줄이면서 정밀도가 높게 실험할 수도 있다. 이 때 판별하기 어려운 감각평가를 예민하게 측정하기 위한 실험인가 아니면 혹독한 환경에 오래 노출되어 비교적 용이하게 생리변화가 발생하고 이를 측정하기 위한 관점의 실험인가에 따라 피험자 처치를 달리 설정할 수 있다. 전자의 실험에서는 일반적으로 감각이 예민해지는 상황을 유도하기 위해서, 또는 실험 전에 일어난 상황에 대한 영향을 감소시키기 위해서 실험 전에 대사량을 높이는 운동을 하게 하고 안정을 취한 후 실험 환경에서 운동을 하게 하여 피부가 땀에 덮인 상태를 유도하고 동적인 상태에서 평가를 하는 것을 실험 단계에 포함시키는 예가 많고, 반면에 후자에서는 주로 안정상태에서 오랜 시간에 걸쳐 생리 변화를 측정함으로써 혹독한 환경에 처한 인체의 건강유지 차원에서 분석한다.

**2.5. 국제적 표준화에 의한 평가(Umbach Level IV, V)**

더운 작업 환경은 작업자에게 불쾌감, 열 스트레스, 심하면 죽음까지 초래하게 된다. 인체의 열평형을 유지하기 위한 체온 조절 작용으로 혈관팽창, 심박수 증가, 발한 및 피부온 상승 등이 수

반된다. 작업환경에서 열적 부담 정도를 인체가 견딜 수 있는 안전한 범위 내로 유지하고 평가하기 위한 일련의 국제적 표준들이 ISO에 의하여 제정되어 왔다. 특히 여기에서 heat stress를 나타내는 지표들은 더운 작업 환경의 설계, 평가 및 조절을 위한 방법들과 제한점들을 제공하기 위하여 개발되었다. 이를 위하여 더운 환경에서는 ISO 7243[19]에서 WBGT(Wet bulb globe temperature)를 이용하여 더운 환경을 평가하고 조절하는 간단한 방법을 제공하여 주며, ISO 7933 [20]에서는 열 평형 공식과  $SW_{req}$ (the required sweat rate index)의 계산에 의하여 더운 환경의 분석적 평가 방법을 나타내어 주고 있다. 또한 일반 환경에서의 쾌적감 및 불쾌감의 평가는 ISO 7730[21]를 적용하여 평가할 수 있다. 반면에 추운 환경에서는 ISO TR 11079[22], 를 이용하여 인체가 열 평형을 유지하는 데 필요한 실제 의복의 단열력을 구할 수 있다.

**ISO 7730을 이용한 열적 쾌적감 및 불쾌감의 평가 방안 :** ISO 7730에서는 열적 쾌적감 및 불쾌감의 정도를 일련의 지표로 나타낼 수 있도록 Fanger[6]가 1300여명의 피험자를 통하여 개발한 PMV(Predicted Mean Vote) 지수를 제시하여 준다. 이 PMV 지수에서 '+' 값은 더운 정도(warmth)를, '-' 값은 서늘한 정도(coolness)를 나타내게 되며, 다음의 7점 thermal sensation scale로 나타낸다.

- (+3) hot, (+2) warm, (+1) slightly warm
- (0) neutral, (-1) slightly cool, (-2) cool
- (-3) cold

PMV 지수는 산업체 작업 현장의 열적 환경 조건들 4가지(기온, 평균복사온도, 기류, 습도)와 착용하는 작업복의 단열력 및 작업량 등 모두 6가지 변인들을 이용하여 산출하며, 그 방법은 다음과 같다.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4$$

$$- (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

이때에,

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

$$h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25}$$

$$\text{for } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{V_{ar}}$$

$$12.1\sqrt{V_{ar}} \text{ for } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V_{ar}}$$

$$f_{cl} = 1.00 + 1.290I_{cl} \text{ for } I_{cl} < 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$1.05 + 0.645I_{cl} \text{ for } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

단,  $M$ : metabolic rate,  $W/m^2$

$W$ : external work,  $W/m^2$

$I_{cl}$ : thermal resistance of clothing,  $\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}$

$f_{cl}$ : ratio of man's surface area while clothed, to man's surface area while nude

$t_a$ : air temperature,  $^{\circ}\text{C}$

$t_r$ : mean radiant temperature,  $^{\circ}\text{C}$

$V_{ar}$ : relative air velocity, m/s

$p_a$ : partial water vapour pressure, Pa

$h_c$ : convective heat transfer coefficient,  $W/m^2 \cdot \text{°C}$

$t_{cl}$ : surface temperature of clothing,  $^{\circ}\text{C}$

$h_c$ : convective heat transfer coefficient,  $W/m^2 \cdot \text{°C}$

또한 PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied)는 덥거나 서늘하여 열적으로 쾌적감을 느끼지 못하는, 즉, PMV 지수가 +3(hot), +2(warm), -2(cool), -3(cold) 등으로 나온 사람들의 수를 예측하기 위하여 개발된 지수로서, 이 PPD 지수는 ISO 7730에 따라 PMV 지수 산출 후에 다음과 같이 산출한다.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)}$$

ISO 7730에서 열적 환경에 대하여 쾌적한 범위로 간주하는 값은  $-0.5 < PMV < 0.5$ 이다. 이러한 범위 안에서 PPD는 10%를 초과하지 않는다. PMV 및 PPD 지수들은 매우 덥거나 습한 상태에서는 적용될 수 없다. 실제로  $-2 < PMV < 2$  사이의 범위에서, 즉 땀이 거의 나지 않는 온화한



열적 환경에서 ISO 7730은 유효하다. 국내 산업 현장 중에서 ISO 7730을 적용하여 볼 수 있는 대표적인 곳 중의 하나는 원자력 발전소로 여기에서 착용되는 원자력복과 여러 작업 환경 요소들 및 작업량에 따른 쾌적성이 평가된 바 있다 [23].

Figure 5는 PMV를 산출하기 위하여 제시한 식을 이용하여 최적 작용온도와 수용 가능한 온도 범위를 작업량과 의복의 함수로 ISO 7730에서 보여주고 있는 것이다. 이를 이용하여 다른 의복들이 PMV=0이 되는 최적 온도에 주는 영향을 파악할 수 있다. 단열력이 증가함에 따라 즉, 의복의 clo값이 증가함에 따라 정해진 활동수준에서 받아들여질 수 있는 환경온도의 범위는 증가하는 반면에 쾌적한 최적 환경온도는 낮아진다. 예를 들면 작용 온도가 26 °C이고 앉아있는 상태에서 휴식을 취할 때(활동 수준 1 met=58 W/m<sup>2</sup>)에 열적 쾌적감을 유지하기 위하여 인체는 가벼운 여름옷에 해당하는 I<sub>a</sub>=0.5 clo인 의복을 착용하여야 한다. 작용 온도가 21 °C로 낮아지면 인체는 열적 쾌적감을 유지하기 위하여 I<sub>a</sub>=1.5 clo인 의복을 착용하여야 열적 쾌적감을 느끼게 된다.

만일 활동량이 2 met로 증가하면 21 °C에서는 0.5 clo의 의복을 착용하고 12 °C에서는 1.5 clo의 의복을 착용하여야 쾌적함을 느낄 것이다. 이는 인체가 열적 쾌적감을 유지하기 위하여 0.5 clo에서 1.5 clo로의 의복 단열력 증가는 1 met의 활동량에서 작용 온도가 26 °C에서 21 °C로

낮아져야 하고 2 met의 활동량으로는 21 °C에서 12 °C로 낮아져야 한다는 것을 의미한다. 그러나 환경온도가 낮아질수록 수용 가능한 범위는 넓어진다. 즉, 28 °C에서는 ±1 °C 범위이지만 14 °C에서는 ±4 °C의 수용 가능 범위로 확대된다.

**WBGT 지수를 이용한 Heat Stress 평가에 대한 방법(ISO 7243) :** ISO 7243은 더운 환경에서 작업자에 대한 열적 스트레스를 추정하기 위하여 Dukes-Dobos와 Henschel의 연구[24]에 기초하여 WBGT(wet bulb globe temperature) 지수를 제시하여 준다. 여기에서 heat stress에 대한 안전노출한계는 Table 2와 같이 나타나 있다.

Table 2에서 제시하는 더운 환경에서의 WBGT 참고 값은 최대 허용 직장온도를 38 °C로 한다. 이를 이용하기 위하여 건물내부나 그늘진 건물 외부에서는 작업대사량 평가와 두개의 환경적 요인만 필요하며, 그 외의 실외에서 작업하는 사람에 대한 평가를 위하여는 건구온도 한가지 요인이 더 필요하게 된다. 여기에서 사용된 WBGT 지수를 산출하는 방법은 다음과 같다.

건물내부와 그늘진 건물 외부에서는

$$WBGT = 0.7t_{nw} + 0.3t_g$$

그리고 일사가 있는 건물 외부에서는

$$WBGT = 0.7t_{nw} + 0.2t_g + 0.1t_a$$

단,  $t_{nw}$ : natural wet bulb temperature

$t_g$ : temperature of a 0.15 m diameter black globe

$t_a$ : air temperature

WBGT 지수는 공간상의 높이에 대하여 다음과 같이 가중치를 주어 산출하게 된다.

$$WBGT = \frac{WBGT_{head} + (2 \times WBGT_{abdomen}) + WBGT_{ankles}}{4}$$

습구온도는 원래 기류에 민감하기 때문에 기류를 별도로 측정할 필요는 없다. 단, ISO 7243의 적용에는 제한점이 있는데, 이는 열 허용치에 대하여 의복의 효과가 관련되는 한 공기와 수분

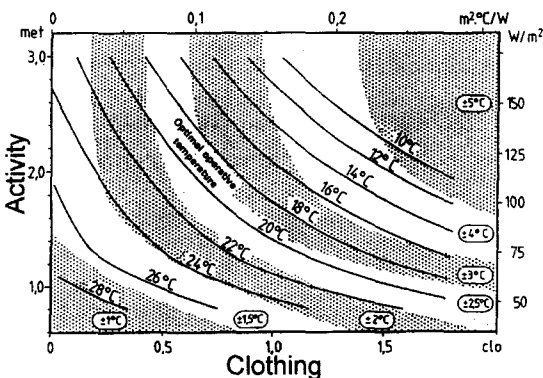


Figure 5. The optimal operative temperature.

**Table 2.** Safe exposure limits based on WBGT heat stress index used in the ISO 7243

Metabolic rate class	Metabolic rate, M		Reference value of WBGT			
	Related to a unit skin surface area, W/m <sup>2</sup>	Total (skin surface area, 1.8 m <sup>2</sup> ), W	Person acclimatized to heat, °C		Person not acclimatized to heat, °C	
0 (resting)	M<65	M<117	33		32	
1 (low)	65<M<130	117<M<234	30		29	
2 (moderate)	130<M<200	234<M<360	28		26	
3 (high)	200<M<260	360<M<468	25 <sup>a</sup>	23 <sup>b</sup>	22 <sup>a</sup>	26 <sup>b</sup>
4 (very high)	M>260	M>468	23	25	18	20

<sup>a</sup>: no sensible air movement, <sup>b</sup>: sensible air movement.

투과성이 있으면서 0.6 clo의 단열력을 지닌 전형적인 작업복을 착용한 상태에서만 이 표준의 이용이 허용된다. 따라서 만일 수분 투과성이 없는 의복을 착용하였다면 더 많은 열 스트레스를 야기할 것이므로 참고값은 더 낮아져야 한다. 반면에 복사열에 노출되어 있는 동안 반사되는 의복을 입고 있다면 참고값은 더 높아져야 한다. 이는 아무리 미량이라도 참고값을 넘어서면 열에 과도하게 노출될 위험이 있어 이는 중요하게 작용될 것이기 때문이다. 그러므로 작업자가 방호복을 착용하였거나 열 노출이 참고값을 초과하였을 경우에는 작업자의 노출이 안전한 범위 안에 있는지를 판단할 때 보다 더 주의 깊은 분석이 필요하게 된다. 그러나 ISO 7243에서 제시한 방법의 최대 장점은 실제적 응용성을 증진시키기 위하여 위에 언급한 바와 같은 간단한 측정치만으로도 여기에서 제시하는 heat stress index인 WBGT 산출이 가능하다는 것이다. 만일 WBGT 참고치가 안전노출한계를 벗어나면 다음에 소개할 ISO 7933을 이용하여 좀 더 정밀한 분석을 할 필요가 생기게 된다.

**열 스트레스에 대한 분석적 판단 기준(ISO 7933)** : 열 스트레스를 받게 되는 사람은 많은 땀을 흘리게 된다. 따라서 의복의 수분 투과력과 주변공기의 수분 수용 능력이 전체 열 부담을 계산할 때 포함되어야만 한다. Vogt 등[25]에 의하여 설정된  $SW_{req}$ (the index of required sweat) 지수는 땀의 냉각률( $\eta$ )과 의복의 증발저항( $R_e$ )을 다루었고 이는 ISO 표준으로 개발되었다.

$SW_{req}$ (W/m<sup>2</sup>)을 계산하기 위하여 작업자의 활

동량( $M$ 과  $W$ ), 의복의 단열력( $I_{cl}$ )과 증발저항력( $R_e$ ), 네 가지 환경적 변수( $t_a, t_r, p_a, V_{ar}$ ), 또 피부에서의 포화 수증기압( $P_{sk,s}$ )을 측정해야 한다. 여기에서 필요한  $M, W, I_{cl}$ 은 ISO 7243과 ISO 7933에 제시된 표로부터 구할 수 있다. 그리고  $R_e$ 는 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$R_e = 1/16.7h_c F_{pcl}$$

$$F_{pcl} = 1/(1+0.92I_{cl})$$

단,  $F_{pcl}$ : moisture permeation efficiency factor

4가지 환경적 변수는 작업자가 일을 수행하는 곳에서 측정되어야 한다. 작업자가 환경 조건이 다른 몇 군데의 장소로 이동한다면 시간에 따른 가중치를 준 값을 산출하여야 할 것이다.  $P_{sk,s}$ 값은 평균 피부온( $t_{sk}$ )에 따라 다르다. 그러나  $t_{sk}$ 의 측정은 지루한 과정이고 특별한 기구를 요구한다. 이러한 측정을 피하기 위해서 ISO에서는 더운 환경에 노출된 작업자의  $t_{sk}=36^\circ\text{C}$ 로 가정하고, 이는  $P_{sk,s}=5.9\text{ kPa}$ 에 상응하게 된다.

$SW_{req}$  지수는 다음 식으로 구한다.

$$SW_{req} = E_{req} / \eta$$

단,  $E_{req}$ : evaporation required for the maintenance of the body's thermal equilibrium

$$E_{req} = M - W \pm C \pm R$$

단,  $C$ : heat exchanges by convection

$R$ : heat exchanges by radiation

$$\eta = 1 - 0.51^{-6.6(1 - W_{req})}$$

단,  $W_{req}$ : required skin wettedness= $E_{req}/E_{max}$

$$E_{max} = (p_{sk,s} - p_a) / R_e$$

단,  $E_{max}$ : maximum vapor uptake capacity of the ambient air

$$R = h_r F_{cl} (t_{sk} - t_r)$$

$$C = h_c F_{cl} (t_{sk} - t_a)$$

단,  $F_{cl}$ : reduction factor for sensible heat exchange due to the wearing of clothing

$$F_{cl} = 1 / [(h_c + h_r) I_{cl} + 1 / f_{cl}]$$

단,  $h_c$ : convective heat exchange coefficient,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$h_r$ : radiant heat exchange coefficient,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$I_{cl}$ : thermal insulation of clothing,  $m^2 \cdot ^\circ C/W$

$f_{cl}$ : ratio of the subjects clothed to unclothed surface area

$h_c$  값은 대류 현상 조건에 따라 다음 식을 적용하여 구할 수 있다.

우선, 자연대류 환경에서는  $h_c = 2.38 |t_{sk} - t_a|^{0.25}$  다음으로, 강제대류 환경에서는

$V_{ar} < 1$  m/s이면  $h_c = 3.5 + 5.2 V_{ar}$ ,  
 $V_{ar} > 1$  m/s이면  $h_c = 8.7 V_{ar}^{0.6}$  이다.

또한  $h_r$  값은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$h_r = 4\sigma \cdot \epsilon_{sk} \cdot A_r / A_{DU} [(t_r + t_{sk}) / 2 + 273]^3$$

단,  $\sigma$ : universal radiation constant

$$(5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{K}^{-4})$$

$\epsilon_{sk}$ : skin emissivity (0.97)

$A_r / A_{DU}$ : fraction of skin surface involved in radiant heat exchange

$SW_{req}$ 를 구하는 식을 이용하여 다양한 작업강도, 상대습도, 작용 온도, 그리고 기류 상태에서 자기 다른 의복의 단열력에 대하여 요구되는 발한율과 피부습윤율을 나타낼 수 있다. 그 결과로 더운 작업 환경에서 일할 때 열 부담에 대한 의복의 영향을 파악할 수 있게 된다. ISO 7933에서는 최대 발한율, 피부 습윤율, 열 축적 등에 관한 권장 한계치를 Table 3에서와 같이 제시하고 있다. 여기에서 나타나는 한계치들은 열 축적 관점에서 경고 단계와 위험 단계로 제시되고 있다.

**IREQ를 이용한 Cold Stress 평가 방법(ISO TR 11079)**: 추운 환경에서는 ISO TR 11029, evaluation of cold environments-determination of required clothing insulation(IREQ)을 이용하여 인체가 열 평형을 유지하는 데 필요한 의복의 단열력 값을 산출할 수 있다. 이는 Holmer의 연구 결과[26]로 부터 출발한 것으로 여기에서 제시하는 cold stress는 인체 전체와 인체의 특정 부위(가령, 사지나 얼굴) 모두에 적용할 수 있다. 이 IREQ 지표는 열 평형을 유지하는데 필요한 최소한의 의복의 단열력(IREQ<sub>min</sub>)과 열적 쾌적감을 제공할 수 있는 정도의 의복의 단열력(IREQ<sub>neutral</sub>) 두 가지로 나누어 볼 수 있으며 이를 구분할 수 있는 생리적 기준은 Table 4에 제시되어 있다. 여기에서 cold stress는 인체 전체 또는 인체의 특정 부위(얼굴, 사지 등) 모두에 적용할

**Table 3.** Reference values for the different criteria of thermal stress used in the ISO 7933 for the analytical assessment of hot environments

Criteria	Non-acclimatized subjects		Acclimatized subjects	
	Warning	Danger	Warning	Danger
Maximum sweat rate, $SW_{max}$ ( $W/m^2$ )				
Rest ( $M < 65$ $W/m^2$ )	100	150	200	300
Work ( $M > 65$ $W/m^2$ )	200	250	300	400
Maximum skin wettedness, $W_{max}$	0.85	0.85	1.0	1.0
Maximum heat storage, $Q_{max}$ ( $W \cdot h/m^2$ )	50	60	50	60
Maximum water loss, $D_{max}$ ( $W \cdot h/m^2$ )	1000	1250	1500	2000

**Table 4.** Suggested physiological criteria for determination of IREQ, DLE and local cooling

Type of cooling	Parameter	Minimal IREQ (high strain)	Neutral IREQ (low strain)
General	IREQ		
	$t_{sk}$ (°C)	30	35.7-0.0285M
Local	w	0.06	0.001M
	DLE		
	$Q_{lim}$ (W · h/m <sup>2</sup> )	-40	-40
	Hand temperature (°C)	15	24
Local	WCI (Wind Chill Index, W/m <sup>2</sup> )	1600	-
	Respiratory tract & eye temperature (°C)	-40	-

수 있다. 이때 IREQ는 다음의 두 공식에 의하여 산출된다.

$$IREQ = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{M - W - E_{res} - C_{res} - E}$$

$$M - W - E_{res} - C_{res} - E = R + C$$

단, IREQ: required clothing insulation, m<sup>2</sup>·°C/W

- $t_{sk}$ : skin temperature, °C
- $t_{cl}$ : clothing surface temperature, °C
- M: metabolic power, W/m<sup>2</sup>
- W: effective mechanical power, W/m<sup>2</sup>
- $E_{res}$ : respiratory evaporative heat exchange, W/m<sup>2</sup>
- $C_{res}$ : respiratory convective heat exchange, W/m<sup>2</sup>
- E: evaporative heat exchange by sweating, W/m<sup>2</sup>
- R: radiation heat exchange, W/m<sup>2</sup>
- C: convective heat exchange, W/m<sup>2</sup>

착용하고 있는 의복이 단열력이 주어진 추운 환경에서 요구하고 있는 단열력에 미치지 못하는 경우에는 그 상태에서의 허용노출시간(DLE)을 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

$$DLE = \frac{Q_{lim}}{S}$$

단, DLE: duration limited exposure, h

$Q_{lim}$ : heat storage limit, W·h/m<sup>2</sup>

S: rate of change in body heat content, W/m<sup>2</sup>

이미 서술한 바와 같이 ISO에서는 열적 쾌적성과 관련하여 더운환경, 일반환경, 추운 환경 각각에 적용할 수 있는 방법들을 제시하여 준다. 우선 ISO 7730은 일반적인 작업 환경이나 생활 환경 등의 열적 쾌적성을 평가하는 방법을 제시하여 준다. 열적 쾌적성은 정신적 작업은 물론 특수한 작업, 또는 과중한 육체노동을 수반하는 작업 등에 있어서 최대의 작업 수행을 유도할 수 있기 때문에 매우 중요하다. 산업공장과 같은 큰 작업장에서는 한겨울과 한여름, 또는 작업과 관련된 발열, 냉각과정에서 쾌적한 열적 환경을 유지하기 위하여 많은 비용이 요구된다. 특히 더운 환경에서 열적 안정상태를 훨씬 넘어선 상황에서는 작업자들로 하여금 과도한 열적노출로 인한 해로운 결과로부터 보호하는 방안이 따로 마련되어야 한다. 이에 따라 ISO 7243과 ISO 7933은 더운 환경에 노출된 작업자의 열 부담을 평가하기 위한 방법을 설명하여 주며 안전노출한계를 제시하여 준다. 이 두 표준 방법들의 적용에 있어서 차이점은 ISO 7933이 의복 단열력과 수분투과력 값들을 적용하는 식을 제시하는 반면에 ISO 7243은 의복단열력 측정이 필요하지 않다는 것이다. 결과적으로 ISO 7243의 적용은 작업자가 가볍게 착용한 상태로 수분이 투과될 수 있는 의복을 착용한 경우로 한정된다. 반면에 ISO 7933은 원칙적으로는 다양한 의복 단열력과 수분 투과력을 지닌 모든 의복에 대하여 적용될 수 있다. 또한 추운 환경에서는 일차적으로 두꺼운 옷을 더 착용하는 것으로 해결할 수도 있겠으나, 주어진 추운 환경에 적합한 의복은 과연 어느 정도의 단열력을 지닌 의복인지를 판단할 수 있는 기준이 필요하고 이를 ISO TR 11029에서는 다양한 환경요소들, 작업량 등의 복합적인 변인들을 종합적으로 고려하여 제시하여 준다. 또한 착용하고 있는 의복이 단열력이 주어진 환경에서 요구하고 있는 단열력에 미치지 못하는 경우에는 그 상태에서의 허용노출시

간을 나타내어 다각도로 인체를 보호하는 방안을 제시하고 있다.

**2.6. 특수복의 쾌적성**

현대에 살고 있는 우리는 아주 다양한 위험 요소들에 노출될 수가 있는데, 이는 미사일이나 핵 폭탄 같은 기계적 위험, 독가스나 화학적 살상무기 등과 같은 화학물질, X선, 자외선, 감마선, 기타 방사능 물질과 같은 전자기 물질 등 실로 다양하다고 할 수 있다. 이러한 여러 가지의 위해 요소들로부터 인체를 보호하기 위하여 특수복의 필요성이 급속히 대두되었다. 그러나 보호 기능을 부여하기 위하여 인체를 외부와의 접촉으로부터 완전히 격리시키도록 고안된 특수복은 종종 인체의 호흡과 땀의 증발을 어렵게 하여 인체가 견디어내지 못할 상황을 초래하기도 한다. 이것이 바로 쾌적성과 생존의 문제를 동시에 해결해야 하는 어려움인 것이다. 사람은 산소 부족도 견딜 수 없고 과다한 고열에 노출되어도 살수가 없다. 공기의 부족, 의복 내에서 증발되지 못하고 축적되는 땀은 심각한 생리적 부담을 가중시키게 되며, 그러한 상황이 개선되지 못한다면 죽음까지 초래하게 되는 것이다. 비록 화학적, 미생물학적, 또는 방사능 물질 등의 여러 가지 위해 물질들로부터 보호를 하기 위하여 인체를 의복 체계 안에 완벽히 분리시켜 보호하는 것이 가능할지라도 이러한 철저한 분리 시도는 실제로 실행하기 곤란한 것이 이로 인하여 호흡 곤란과 열 축적 문제를 야기시키기 때문이다. 따라서 쾌적성을 유지시키면서 동시에 방호성을 제공하여야 하는 서로 상반되는 이러한 요인들을 동시에 충족시키기 위하여 그 해결책으로서 미세다공직물을 소재에 포함시키고, 특수복 착용동안 축적되는 열 스트레스를 감소시키기 위하여 냉각 장치를 부착하며 질식을 막기 위하여는 공기 공급 장치를 별도로 부착시키는 등 다양한 방법이 적용되기도 한다. 그러나 이 또한 별도의 무게를 인체에 가중시키게 됨으로써 또 다른 문제를 야기한다. 그리하여 특수복 설계시 이렇듯 가중되는 무게를 경감시키거나 분산시키기 위하여 다양한 설계 방안들이 대두되고 있다.

현재 특수복 제작에 있어서는 서로 상반되는 방호성과 쾌적성 문제를 동시에 충족시켜서 생산할 수 있도록 하는 것이 특수복 개발 분야에서 해결되어야 할 복합적인 어려운 문제이다. 위에서 서술된 복합적인 문제들과 관련된 여러 방안들은 Table 5에 제시된 표와 같이 그 동안 유럽의 표준들에서 점차 개발되어 현재 전세계적으로 적용되고 있다.

**3. 쾌(快)의 평가시 대두되는 기법과 그 응용**

의복의 심한 압박에 의한 구속감이나 온열환경에 의한 stress가 클 때에는 생리적 반응이 확실히 얻어나 일반적인 쾌적영역에 가까운 조건에 처하게 되면 불쾌자극에 노출되었을 때보다 인체의 생리반응에 큰 변화가 없고 미묘하기 때문에 미세한 변화를 포착할 수 있는 정밀도가 높은 장비와 평가방법과 해석기술이 중요하다. 그러나, 아무리 정밀도가 높은 장비라도 이를 피험자에게 장착할 때 부담이나 통증을 일으키게 한다면 쾌적성의 올바른 평가를 차폐할 가능성도 따르게 되는 어려움이 있다. 쾌적성의 평가에 있어서 생리적 반응의 평가는 심리적 평가보다 객관성을 가진다는 점에서 매우 신뢰성이 높으나 그 해석기술이 난해하여 주요한 파라미터를 추출하지 못하고 자료의 낭비가 초래되는 일이 종종 있었다. 그러한 가운데 최근에 카오스 이론과 접목되면서 그 해석 기술의 새로운 흐름이 시작되었다. 쾌적성 평가의 한 수법으로 생체의 반응을 새로이 해석하여 쾌적지표로 어떠한 파라미터를 쓸 수 있는가가 관심이 되고 있는 가운데 주로 다음과 같은 생리적 반응을 측정하고 있다. 즉, 자율신경계반응에서는 심전도, 혈압, 맥파, 피부의 전기변화, 동공반응을, 중추신경계 반응으로는 주로 뇌파를 측정하여 쾌감에 대한 연구를 하고 있다. 다음에는 카오스 이론, 1/f 흔들림, fractal을 이러한 생리적 반응의 분석에 어떻게 이용하고 있는가를 설명하고자 한다.

최근에 들어서 쾌적함과 관계되는 중요한 인자로 흔들림이 주목을 받고 있다. 흔들림이란 일

Table 5. European standards for protective clothing

Nos.	Titles
EN 340	Protective clothing-General requirements
prEN 342	Protective clothing against cold
prEN 343	Protective clothing against foul weather
EN 381-5	Protective clothing for users of hand-held chain saws-Part 5: Requirements for leg protectors
prEN 381-6	Protective clothing for users of hand-held chain saws-Part 6: Requirements for boots
prEN 381-7	Protective clothing for users of hand-held chain saws-Requirements for chain saw protective gloves
prEN 381-9	Protective clothing for users of hand-held chain saws-Requirements for chain saw protective gaiters
EN 412	Protective aprons for use with hand knives
EN 465	Protective clothing-Protection against liquid chemicals
EN 466	Protective clothing-Protection against liquid chemicals (Type 3 Equipment)
EN 469	Protective clothing for fire fighters
EN 470-1	Protective clothing for use in welding and allied processes
EN 471	High-visibility warning clothing
EN 510	Specification for protective clothing for use where there is a risk of entanglement with moving parts
EN 531	Protective clothing for industrial workers exposed to heat
prEN 533	Protective clothing-Protection against heat and flame
prEN 943-1	Protective clothing for use against liquid and gaseous chemicals, including liquid aerosols and solid particles-Performance requirements for ventilated and non-ventilated "gas-tight" (Type 1) and "non-gas-tight" (Type 2) protective clothing
prEN 1073	Protective clothing against radioactive contamination
prEN 1150	Protective clothing-High-visibility clothing for non-professional use
prEN 1486	Protective clothing for fire fighters-reflective clothing for specialized fire fighting
prEN 1511	Protective clothing-Protection against liquid chemicals-Performance requirements for limited use chemical protective clothing with liquid-tight connections between different parts of the clothing (Limited use type 3 equipment)
prEN 1512	Protective clothing-Protection against liquid chemicals-Performance requirements for limited use chemical protective clothing with spray-tight connections between difference parts of the clothing (Limited use type 4 Equipment)
prEN 1513	Protective clothing-Protection against liquid chemicals-Performance requirements for limited use garments providing chemical protection to parts of the body (Limited use partial body protective equipment)
prEN 1621-1	Motorcyclists' protective clothing against mechanical impact
prEN 1913-1	Survival suits-Constant wear suits
prEN 1913-2	Survival suits-Abandonment suits

정한 값으로부터 임의의 변동을 갖고 있는 진동 현상으로 생각할 수 있는 데 그 패턴은 여러 가지가 있을 수 있다. 진동을 해석하는 가장 기본적인 해석법은 그 주파수 성분을 조사하는 일이며 통상 spectrum 해석이 쓰여진다. spectrum이란 횡축에 주파수, 종축에 각 주파수에 있어서의 파의 강도(power: energy/hour)를 나타낸 것이며 각각의 주파수 성분이 어느 정도 포함되어 있는가를 나타낸 것이다. 이것을 power spectral density function이라 하는데 1/f 진동

이란 power spectrum density가 주파수 f에 반비례하는 것과 같은 진동패턴을 가리킨다. 이 때 power spectrum density와 주파수를 log-log 그래프에 표시하여 그 기울기가 -0.5에서 -1.5의 범위에 있으면 1/f 흔들림이라고 한다. 이것은 낮은 주파수(장주기)성분은 진폭이 크고(드물게 나타나고), 높은 주파수(단주기) 성분일수록 진폭이 적은 것(빈번하게 일어나는 진동)이라고 말할 수 있다. 바로크 음악에서나 졸졸 흐르는 시냇물 소리나 파도의 소리에서도 1/f 흔들림이 관

찰되었는데 이러한 것들은 1/f 진동과 패적성을 결부시킨 계기가 되었다. 1/f 흔들림은 진동의 일부분을 확대하여도 원도형과 거의 같게 보이는 특성이 있으며 fractal의 대표적인 현상이라고 할 수 있다. fractal은 금세기 과학의 획기적인 발전을 이룩한 카오스와 밀접하게 관련되는데 fractal은 카오스 과정의 결과 생겨난 패턴(기하학)이라고 할 수 있다.

카오스와 흔들림의 연구에서는 이와 같이 생체의 흔들림 또는 기타 반응을 해석하는 입장이 있는 반면에 이를 응용하려는 측면에서는 흔들림을 자극으로 주었을 때의 생체반응을 조사하는 입장이 있다. 전자의 예를 자율신경계 반응해석에서 찾아 보면, 심박수를 들 수 있다. 심박수를 꽤 긴 주기에서 보면 1/f 흔들림이 있다고 하여 fractal성이 있음이 보고되어 있다. 이러한 진동성분은 건강상태에서 통상 관찰되는 것이며 병적인 상태에서는 진동이 소멸하고 역으로 규칙적 변동을 나타낸다고 한다. 또한, 심전도에서 Heart Rate Variability(HRV)의 스펙트럼 해석은 자율신경활동을 교감신경계와 부교감 신경계로 분리하여 평가할 수 있는 점에서 대단히 유용한 지표로 취급되고 있다. 심전도분석에서는 HRV가 일반적인 경우에 1/f 진동이라는 연구보고가 있어 HRV의 스펙트럼 기울기를 여러 가지 스트레스를 주는 환경하에서 지표화하는 것도 고려되고 있다. 혈압의 분석에서 수축기 혈압과 확장기 혈압은 스트레스 부하시 변화하므로 이것들을 이완상태를 나타내는 지표로 사용할 가능성이 있다. 이 밖에도 심장활동의 카오스 해석, 맥파의 attractor의 pattern과 기분이나 정신상태와의 관련이 보고되고 있다. 동공의 크기도 호감이 가는 자극에서는 커진다고 하나 측정에는 어려움이 있다.

중추신경계의 반응인 뇌파의  $\alpha$ 파의 주파수나 진폭도 1/f 흔들림을 나타내는 것이 확인되고 있다. 뇌파는 단순한 랜덤신호가 아닌 카오스 신호임이 밝혀져 고차 스펙트럼분석(바이스펙트럼)을 이용하여 뇌전위 신호에서 청각의 패자극과 불패자극시의 반응을 구별하여 내었다[27]. 뇌파의 상관차원을 구한 연구 결과에서는 3~9차원

정도의 상관을 보이고 있음을 보고하였다. 이와 같은 기법을 이용하여 자극을 의복으로 하였을 때의 뇌파를 분석할 수 있겠다. 그 예로 직물의 질감에 의한 선호도가 뇌파(electroencephalogram: EEG)에 유의한 영향을 주는가가 최근에 일부 직물에 대하여 연구발표되었는데, 이에 의하면 알파파와 베타파의 변화에 유의미한 변화가 있었다[28].

최근에는 위의 여러 가지 생체신호들 통합하고 자하는 연구들이 발표되고 있는데 예를 들면 직물의 질감에 대한 복합생리반응 패턴이나 감성생리신호의 형편이 발표되었다[29]. 또한 MATLAB을 이용한 퍼지이론으로 위의 여러 가지 생리신호도를 종합하여 스트레스에 의한 긴장도를 추론 평가한 논문도 발표되었다[30].

카오스나 흔들림 현상을 패적자극으로 포착한 후자의 예를 들면 선풍기나 에어컨에서의 바람의 세기, 방향 등을 들 수 있다. 즉, 자연현상이나 생체 현상에서 즐거움을 주는 흔들림을 추출하여 이들 가전제품에 자극으로 이용하고 있다. 또는 일본의 경우 직물의 무늬나 패턴에 1/f의 흔들림을 응용한 예도 있다. 국내에는 주파수 대역에서 찾게 되는 흔들림의 특성을 표면 접촉점의 크기나 분포에서도 찾을 수 있는가를 발표한 연구도 있다. 면과 폴리에스테르가 혼방된 계통의 직물과 일부 폴리에스테르 직물에서는 fractal dimension과 촉감의 선호도에 관련이 있음을 시사한 결과가 발표되었다[10]. 피부의 젖은 면적이 더운 환경에서의 온열·접촉패적감에 중요한 파라미터임을 고려해 볼 때 직물의 내표면에서의 접촉특성에 관한 연구를 흔들림의 자극과 연결시켜보는 것은 패적감의 요소를 찾는 새로운 기법의 응용 측면에서 그 의의가 크다 하겠다. 또한 주거환경에서도 수면시에 항온(28℃)을 계속 유지하는 경우보다 90분을 주기로 28~30℃의 변동을 주었을 경우 수면상태가 양호함을 보여준 예도 있다.

이 밖에도 불규칙한 현상을 파악하는 기법으로서 wavelet 해석이 있는데 여기에서는 주파수 특성이 시간의 함수로 주어져 시간축, 주파수축, 강도의 3차원 정보로서 주어진다. wavelet은 주

기성의 해석보다는  $1/f$  진동이나 fractal과 같은 특성의 주기성분이 없는 불규칙현상의 해석에 유효한 수법으로서 쾌적성의 측정과 분석기법으로서의 가능성이 크다 하겠다.

#### 4. 쾌적성의 평가분석 또는 결과보고시에 유의할 사항들

쾌적성의 평가나 결과보고시 유의해야 할 사항을 네가지 점에서 다음과 같이 정리하여 보았다. 첫째, 쾌적성의 종합적 평가 분석시에는 그 의복의 착용환경(4대 환경요소, 강우량, 강설량 등) 및 착용자의 제반 조건들(대사량, 동작, user condition, user target 등)을 반드시 명시하여야 한다. 이것은 다른 연구 결과들과의 비교는 물론 공동 DB 개발을 위해서도 매우 필요한 일이다. 의복과 개인과 환경이 각기 다양하므로 모든 경우를 한가지 상품으로 만족시킬 수는 없다. 따라서 DB 개발을 할 때 이들이 얼마나 잘 분류되어 정확히 소비 현장을 잘 반영했는가 중요하다 하겠다.

둘째, 흔히 쾌적성에는 한가지 성능이 좋아지면 다른 성능은 저하되는 모순된 상황을 많이 접하게 된다. 이 때 이를 종합화하고 최적화 하기 위해서는 품질 기능 전개법(house of quality)에 따라 상호관련성 매트릭스와 소비자의 가중치에 의하여 그 상황에서 더욱 중요한 요소를 선정하는 것이 바람직하다. 두가지를 모두 고려하려면 신소재나 새로운 창의적인 방법을 고안하는 방법을 찾아야만 한다. 예를 들어 군복 개발시 소비자의 요구사항을 만족시키기 위한 제품의 설계사항에서 서로 부적인 관계가 발견되면(지붕 부분의 내수압과 투습도간의 상호관련매트릭스에서 X로 표시된 부분) 새로운 기술로 해결방안을 모색하든가 아니면 단계적으로 중요도를 검토한 결과에 의한 점수(Figure 6에서는 하단에 absolute importance로 표시되었음)에 의하여 선정을 하여야 한다[31].

셋째, 작업환경에서 작업자의 열적 부담을 평가하기 위하여 개발된 일련의 ISO 표준들은 작업자의 열 허용 또는 열적 쾌적감에 대한 의복의

영향을 나타내어 준다. ISO 7730에서는 PMV 지수 산출을 위하여 착용된 의복의 단열력이 고려되었고, 열 스트레스의 분석적인 결정을 위한 ISO 7933에서 제시하는  $SW_{req}$ 은 의복의 단열력과 투습도를 알지 못하면 산출할 수가 없다. 따라서 의복 제작자들은 이러한 특성을 측정하여 label 등에 표기하여주는 것이 경쟁력 제고를 위한 이상적인 방안이 될 것이다

넷째, 소비자가 쾌적한 감정을 갖는 특성을 어떻게 검출하고 식별하고 집약하는가의 문제를 해결하기 위해 측정한 심리/생리/공학적 평가간의 계측결과의 상호 연결성을 파악한 후에는 이를 공학적인 언어로 번역(technical specification)하고 지표화해야 한다. 이렇게 함으로써 쾌적한 감성제품설계시에 직접 기여하게 된다. 이때 상품의 label에는 제품의 최종적인 측정결과를 최종 사용조건하에서 쾌적성의 척도로 변환시켜 주는 노력을 기울여야 한다. 여러 가지 품질을 종합한 종합지표가 잘 만들어져야 소비자가 이해하기 쉬워 업계의 판매 촉진과 소비자의 제품선정기준 설정에 모두 효과가 클 것이다. 이를 위해 단위를 무차원 양으로 변환하여 종합지표로 산출해보는 노력도 산학연계하에 공동으로 추진해 볼만한 추후과제이다. 이러한 예를  $i_m$ 의 산출 식에서 볼 수 있는데 이것은 비율/비율의 형태로서 0부터 1까지의 숫자로 나타내지며 단위가 없어지는 것을 알 수 있다. 이러한 원리를 쾌적성에 영향을 미치는 각종 변인의 물성지표를 종합화하는데 사용하여 표준 제품과 비교한 비율을 산출한다면 간단한 지표로서 효용성이 클 것이다. 또는 쾌적성에 영향을 미치는 요소가 많고 상호연관성이 있음을 고려할 때, 중요한 요소들을 선정한 후에 이들 요소의 성능을 얼마나 가지고 있는지를 형판(template)으로 발전시켜 볼 수도 있겠다.

#### 5. 결 론

이상에서 쾌적성의 측정방안을 불편함을 없애주는 차원과 감성적으로 기분이 좋은 상태를 측정하는 차원으로 나누어 다각도로 서술하였다.



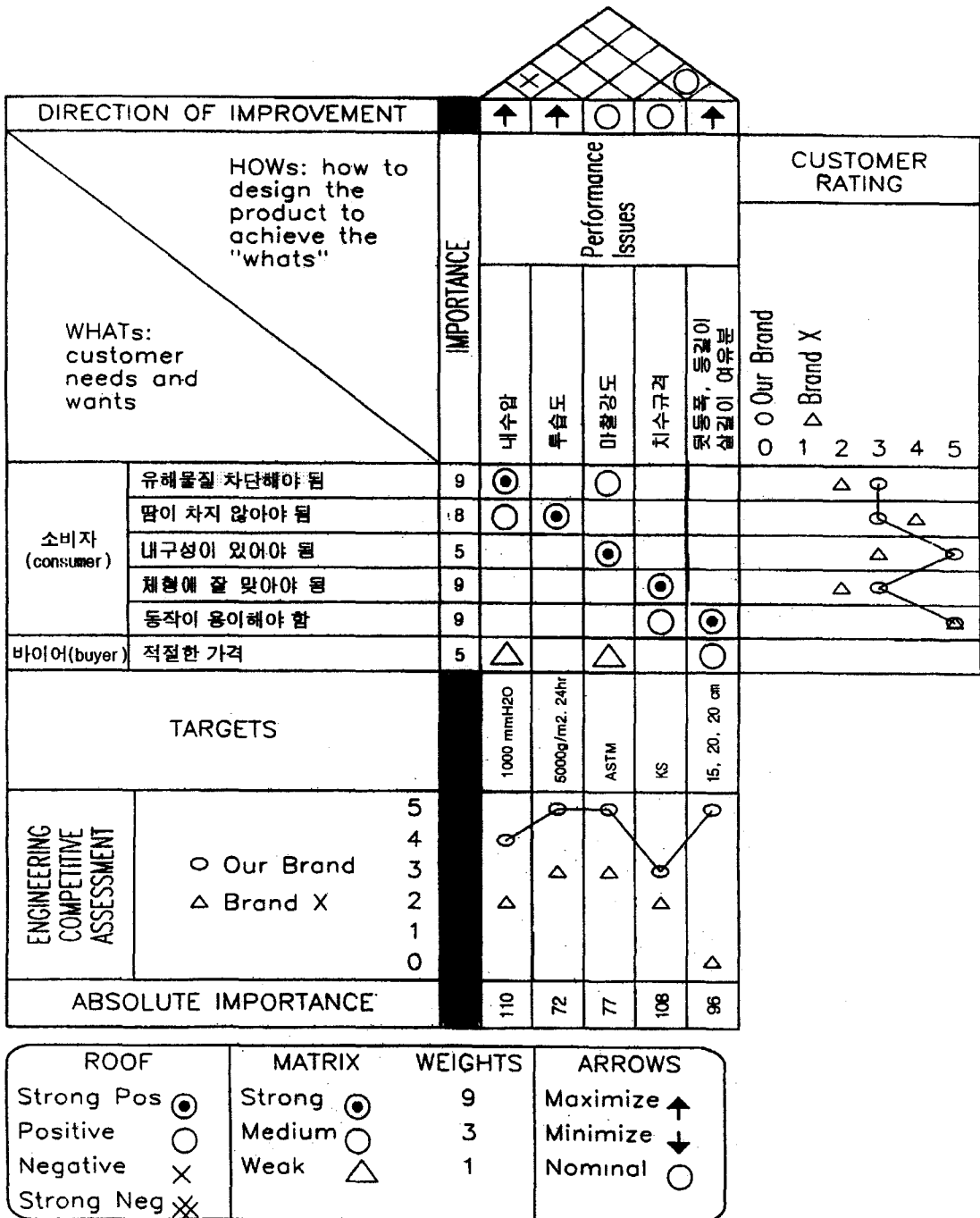


Figure 6. House of quality: an example for the development of army's training wear [31].

새로운 생리신호의 해석방안이 속속 연구됨에 따라 Umbach의 측정단계에 따라 쾌적성을 통합하는 DB를 구축한다면 그 응용가능성은 막강한

파급효과를 나타내리라 생각된다. 특히 ISO, ASHRAE 등에서 열적 쾌적성과 관련하여 제시하고 있는 많은 DB가 아직 정적·평형 상태에

기인하고 있다는 점을 감안할 때 실제 차의 환경과 같은 dynamic 또는 transient 조건 등에서의 DB 개발이 계속 요구되고 있다. 또한 일상복은 물론 특수복 등의 생산업체에서는 소비자들이 자사 제품을 선택할 때 경쟁사 제품들과 비교하여 쉽게 우위를 판정할 수 있는 기준이 될 수 있도록 객관적인 지표들을 생산품의 label 등에 표기할 수 있다면 내수 뿐만 아니라 수출을 통한 국가 경쟁력 제고에도 많은 도움이 되리라 본다. 아직 우리 나라에서는 쾌적성의 측정과 그의 응용이 초보적인 단계에 머물러 있지만, 생리심리학이나 물리학 등의 기초학문과 섬유공학, 의류학, 건축공학, 감성공학 등의 응용과 학간 활발한 교류는 카오스와 fractal 이론을 이용한 복잡한 신호 해석의 응용의 장을 무한히 넓혀 우리사회의 일반인에게도 쾌적한 삶의 장을 열어 줄 것이다. 앞으로의 국내시장과 세계적인 시장에서는 그 필요성이 급진적으로 대두되고 있으므로 관련업체와 정부, 학계, 연구소 상호간의 다각적인 측면에서의 협조가 요구되는 시점이라 생각된다.

### 참고문헌

1. F. H. Rohles, *Journal of Environmental System*, 1, 321(1974).
2. ASHRAE, "ASHRAE Handbook 1997 Fundamentals", American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1997.
3. ANSI/ASHRAE 55-1992, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1992.
4. E. A. McCullough, An Insulation Data Base for Military Clothing, IER Technical Report No. 9204, 1992.
5. E. A. McCullough and S. Hong, *ASHRAE Transactions*, 100(1), 765(1994).
6. P. O. Fanger, "Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering", N.Y., McGraw-Hill, 1970.
7. B. W. Jones, S. Hong, and E. A. McCullough, *ASHRAE Transactions*, 104(2), (1998).
8. R. F. Goldman, *Transactions of New York Academy of Sciences*, 36(6), 531(1974).
9. K. Hong, S. M. Spivak, and N. R. S. Hollies, *Text. Res. J.*, 58, 697(1988).
10. 이현영, 홍경희, *한국섬유공학회지*, 35(5), 294 (1998).
11. 김우정, 충남대학교 석사학위논문, 1997.
12. T. Tamura and M. Tomizawa, "Proceedings of the 2nd International Symposium on Clothing Comfort Studies", pp.3-20, Mt. Fuji, Japan, 1991.
13. G. Havenith, R. Heus, and W. A. Lotens, *Ergonomics*, 33(8), 989(1990).
14. E. A. McCullough, B. W. Jones, and T. Tamura, *ASHRAE Transactions*, 95(2), 316(1989).
15. T. Oohori, L. G. Berglund, and A. P. Gagge, *ASHRAE Transactions*, 91, 85(1984).
16. A. H. Woodcock, *Textile Research Journal*, 32, 628(1962).
17. E. A. McCullough, B. W. Olesen, and S. Hong, *ASHRAE Transactions*, 100(1), 795(1994).
18. 홍성애, *대한인간공학회지*, 15(1), 91(1996).
19. ISO 7243, Hot Environments-Estimation of the Heat Stress on Working Man, Based on the WBGT Index, International Standard Organization, Geneva, 1989.
20. ISO 7933, Hot Environments-Analytical Determination and Interpretation of Thermal Stress Using Calculation Required Sweat Rate, International Standard Organization, Geneva, 1989.
21. ISO 7730, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, International Standard Organization, Geneva, 1984.
22. ISO TR 11079, Evaluation of Cold Environments-Determination of Required Clothing Insulation(IREQ), International Standard Organization, Geneva, 1993.
23. 홍성애, *한국생활환경학회지*, 4(2), 45(1997).
24. F. N. Dukes-Dobos and A. Henschel, *ASHRAE Journal*, 15(9), 57(1973).
25. S. S. Vogt, V. Candas, S. P. Libert, and F. Daull in "Required Sweat Rate as an Index of Thermal Strain in Industry, Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort"(K. Cena and S. A. Clark Eds.), Amsterdam, Elsevier, 1981.
26. L. Holmer, *ASHRAE Transactions*, 90(1), 116 (1984).
27. 김웅수, 조덕연, 이유정, 류창수, "한국감성과학회

- 춘계학술발표회논문집”, pp.176-182, 1998.
28. 김지은, 박연숙, 오애령, 최상섭, 손진훈, *감성과학*, 1(1), 153(1998).
  29. 손진훈, 피부감각의 감성측정기술 및 DB 개발, 감성공학기술개발 1단계('95-'97) 연구결과 발표회 자료집, 과학기술정책관리연구소, pp.3-12, 1998.
  30. 신재우, 윤영로, 박세진, “한국감성과학회 춘계학술발표회논문집”, pp.171-175, 1998.
  31. 홍경희, D. Scheurell, *섬유기술과 산업*, 1(4), 481 (1997).