

## 고기능성 고감성 의류소재의 착용감 평가기술

김은애 · 유신정<sup>1</sup>

### 1. 머리말

섬유제품은 다양한 물리적, 화학적 구조를 갖는 고분자 물질의 다공성 집합체로서 그 기능은 고분자의 특성 및 집합체의 구조와 집합체를 이루는 과정에서 함유되는 공기의 함량에 따라 결정된다. 최근 섬유산업이 첨단산업화 하면서 여러 가지 기능이 고도화됨에 따라 부가가치가 높은 제품이 개발되고 있다. Table 1에 나타난 바와 같이 세계 섬유 수요 전망에 있어서 고기능성 섬유의 연평균 증가율은 전체 섬유수요 증가율의 두 배에 이르고 있다. 이러한 고부가가치 섬유제품 중 의류소재의 경우 고도의 기능성과 함께 고도의 감성, 즉 착용감과 질감특성이 부가가치를 좌우하는 주요한 요인이다.

착용감은 흔히 쾌적성으로 표현되며 이는 열적 쾌적성과 감각적 쾌적성으로 구분 된다. 열적 쾌적성은 인체와 의복사이에 형성되는 공기층의 미세기후에 의하여 크게 좌우되며, 미세기후는 섬유제품의 특성에 따라서 인체에서 발생하는 열과 수분을 전달하는 정도에 의해 결정된다. 쾌적성 관련 특성은 일상적인 의복의 경우 소비자의 선호나

기후에 많은 영향을 미치며, 특수한 환경에서 사용되는 고기능성 제품의 경우에는 인체의 건강과 생명을 좌우할 정도로 중요한 역할을 한다. 감각적 쾌적성은 제품을 만질 때의 부드럽고 거친 느낌, 따뜻하고 찬 느낌 등으로 제품의 질을 좌우하며 열 수분관련 특성에 영향을 미칠 뿐 아니라 고감성 제품 생산과 평가에 있어서 중요한 요소이다.

섬유제품을 통한 열 수분 전달과 질감은 단순히 섬유제품을 구성하는 고분자 및 고분자집합체의 물리적인 특성 뿐 아니라 섬유제품과 인체와의 상호작용에 의하여 결정되기 때문에 이들의 성능을 평가하기 위해서는 물리적인 측정기술뿐만 아니라, 섬유제품과 인체와의 상호작용을 규명하고 나아가 이를 정량화 할 수 있는 복합적이고 종합적인 기술이 요구된다. 그러나 지금까지 우리나라에서는 섬유산업이 국가 발전에 주요한 기간산업으로 성장하여 왔음에도 불구하고 연구 개발 투자에 소극적이었으며, 특히 고부가가치 제품개발에 앞서 성능을 측정하고 평가하는 기술개발은 미흡한 상태이다.

본고에서는 첫째, 고감성·고기능성 섬유제품의 개발 방향에 대하여 간략히 소개하고 둘째, 이러한 제품들의 개발과 마케팅 및 활용방안에 있

Table 1. 세계 섬유산업 수요전망 (단위: 백만톤)

		1994	2000	2005	연평균증가율(%)
첨단섬유	고기능성 섬유	2.9	5.8	8.5	5.6
	고감성 섬유	7.5	10.2	12.1	3.7
일반섬유		28.5	33.2	35.4	1.5
계		38.9	49.2	56.0	2.8

자료: 국가경쟁력 강화 민간위원회(1995).

Comfort Property Evaluation of High-Performance · High-Touch Textile Materials/Eun Ae Kim and Shinjung Yoo<sup>1</sup>  
연세대학교 의류환경학과 교수, (120-749) 서울 서대문구 신촌동 134, Phone: 02)2103-3103, Fax: 02)313-8828,  
e-mail: eakim@yonsei.ac.kr

<sup>1</sup>연세대학교 의류과학연구소 연구교수

어서 필수적으로 요구되는 쾌적성, 적합성 및 질감 특성을 평가하는 측정기술의 종류와 동향, 그리고 발전방향에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 고기능성 · 고감성 섬유제품

과학과 기술의 발전은 오랜 역사를 거치면서 인류와 함께 해 온 섬유와 의류산업에도 커다란 변화를 일으키고 있다. 소재와 가공 및 프로세싱에서의 기술 발전은 새로운 개념과 복합적인 기능을 갖춘 섬유제품의 생산을 가능하게 하였으며 이러한 변화는 재료과학, 구조공학, 생물학, 센서공학 등 여러 학문분야간의 밀접한 연계와 기술공유의 결과이다. 다가오는 변화의 시대를 바라보는 시각은 다양하나 테라스케일(terascale), 나노 스케일(nanoscale) 등이 가능한 기술의 발달은 섬유제품에서도 과거 상상속에서만 머물렀던 고도의 기능성 소재와 다양한 기능성 코팅물질을 생산해 낼 수 있게 되었다. 최근 화두가 되고 있는 나노 섬유를 사용하면 고성능의 투습차단성 멤브레인과 인공 피부 등을 생산해 낼 수 있으며 표면 특성에 있어서도 ‘부드럽다’의 개념을 바꾸어 놓을 새로운 감성제품들이 등장하게 될 것이다.

스마트재료는 주위환경이나 자극을 감각, 인지할 수 있는 수동적인(passive) 스마트 재료뿐 아니라 더 나아가서 환경 적응까지 가능한 적극적이고 아주(active, very) 스마트한 재료들을 포함한다. 커다란 주류를 이루고 있는 섬유제품과 기술의 ‘스마트화’는 주로 천연을 모방하는 방향으로 발전되어 가고 있으며 궁극적으로는 가장 ‘스마트’한 물질체인 인간의 피부가 가진 기능과 같은 호흡, 방수, 방어, 적응 등의 복합적인 기능을 추구하고 있다[1].

고기능성 섬유재료란 이러한 스마트 재료를 포함하여 특수한 용도와 목적을 만족시키는 기능을 갖도록 차별화된 섬유재료를 말하며 일반용 섬유소재로 사용되는 의류용 뿐 아니라 비의류용 섬유로서 자동차, 항공, 토목, 전자, 의료용(醫料用) 등 산업 전반에 사용되는 고기능·고강력 섬유를 의미한다. 대표적인 의류용 고기능성 소재로는 쾌적성의 향상을 위한 흡습 속건 소재, 온도조절 소재, 투습방수소재 등과 마이크로 캡슐을 이용한 위생 건강 증진 소재, 사용의 편리성을 부여하기 위한 형상기억소재 등이 있다. 또한 생화학복, 방열복, 특수 보호복을 위한 선택적 투과성 차단소재들이 속속 개발되어 그 용도와 실효성을 검증받고 있는 상황이다.

고감성 섬유제품은 고도로 다양화, 개성화 되어가고 있는 소비자의 기호변화에 부응하기 위해 차별화된 제품이다. 고감성 섬유제품의 가장 두드러진 특징은 첨단 기술을 사용하여 섬유제품의 촉감, 광택 및 외관을 변화시켜 소비자의 기호에 대응하는 감성적인 특징을 부여하는 것으로, 합리적인 가격보다는 욕구와 소득에 의해 수요가 결정되므로 무한한 부가가치를 창출할 수 있는 가능성이 있다. 고감성 소재개발의 초기에는 합성섬유를 사용하여 견, 모와 같은 천연소재의 장점을 구현하기 위한 시도가 주종을 이루어 왔지만 최근에는 기존의 천연섬유와 합성섬유가 가지고 있는 고유한 영역 외에 독특하고 새로운 감성을 보유한 소재를 개발하고자 하는 시도가 적극적으로 이루어지고 있다.

## 3. 착용감의 측정단계, 제품 개발에의 활용 및 표준화

섬유제품의 평가는 소비자에게 전달되는 최종

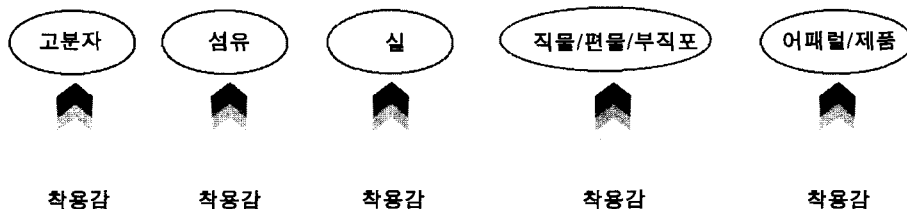
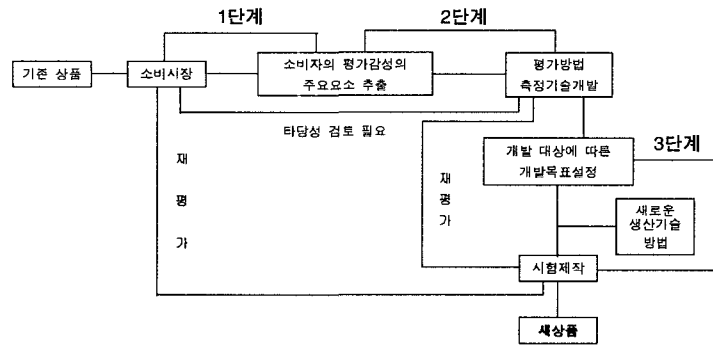


Figure 1. 섬유제품 개발과 착용감 요소의 적용단계.



stage 1: 제품의 이미지나 평가 및 요구사항 분석  
 stage 2: 전 단계의 요구사항을 만족시키기 위한 물리적 변인을 도출하고 둘 사이의 관계를 정량적으로 도출  
 stage 3: 연구 결과를 생산단계에 도입

Figure 2. 신제품 개발 단계(Toyobo[2]).

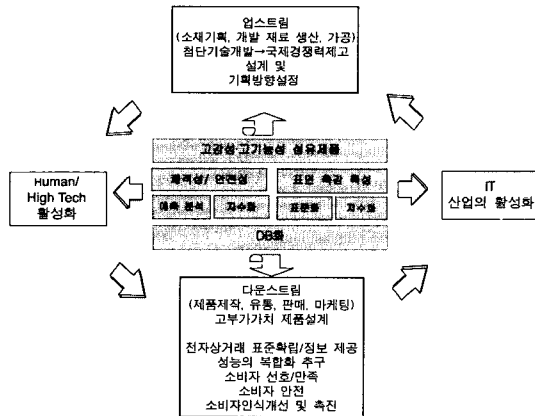


Figure 3. 고감성 고기능성 섬유제품의 착용감 측정 기술과 활용.

제품의 상태에서 이루어지나 Figure 1과 같이 각각의 개발단계에서 부여되는 화학적, 역학적 특성은 최종제품의 성능에 종합적으로 영향을 미치게 되므로 각 단계에서의 특성과 이것이 완성품에 미치는 영향을 정량적으로 파악하여야만 최종제품의 성능을 개선, 발전시키기 위한 제조단계별 피드백이 이루어질 수 있다.

각 단계에서 측정된 결과는 Figure 2와 같이 Toyobo[2]에서 활용하고 있는 신제품 개발 방법의 전개에 활용되어 소비자의 요구를 만족시키는 즉 구매력이 높은 제품 개발을 가능하게 할 것이다.

본고에서 논의되는 착용감 평가 기술은 Figure

3과 같이 고부가가치 제품의 착용감을 표준화하고 지수화 함으로써 우리나라 의류산업에서의 업스트림과 다운 스트림의 연계를 통하여 제품개발 정보교환을 가능하게 하고 의류관련 휴먼텍이나 하이텍과 전자상거래를 포함하는 IT 산업의 활성화에 활용할 수 있다.

의류소재의 기능성 및 착용감을 지수화하는 것은 현재 부각되고 있는 다양한 고부가가치의 섬유제품에 대한 성능의 평가와 인체에 대한 생리학 적 안전성 및 적합성을 평가하는 것이다. 의류소재에 있어서 기능성을 최대화 하는 것을 목표로 제품이 개발되는 경우 실제 사용 환경에서 인체에 의해 지각되는 생리적, 심리적 쾌적성이 체계적으로 고려되지 않아 오히려 작업의 능률을 저하시키는 결과를 초래하기도 하며, 제품 설계 시 의도했던 기능이 실제 소비자의 사용에서 예상치 못한 결과로 나타나기도 한다. 이외에도 생리적인 안전성이 고려되지 않은 제품의 개발은 소방복이나 생화학복 등과 같이 극한 상황에서 사용되는 특수복의 경우 착용자의 생리적인 안전에 심각한 영향을 미치게 된다. 뿐만 아니라 선진국의 첨단 기술을 벤치마킹하기 위해 많은 비용과 시설을 투자하여 개발된 기능성 제품들이 소비자의 필요와 선호정도를 예측하지 못함으로 말미암아 만족할 만한 수요를 창출해 내지 못하여 더 이상의 개발과 투자를 이끌어내지 못하고

있다. 이로 인해 기능성 섬유제품을 생산하고 연구하는 기업들은 탁월한 기술과 연구업적을 가지고 국내 및 세계시장에서의 낙후성을 면치 못하고 있는 실정이다. 차별화된 고부가가치 섬유산업의 발전을 위해서는 신기술의 도입과 함께 제품의 기획 및 개발 방향의 설정이 필요하다. 따라서 고기능성 섬유제품의 기능적인 성능뿐 아니라 착용감 및 쾌적성을 체계적인 각도에서 접근하고 평가하여 소비자에게 홍보함과 동시에 제품 개발을 위한 피드백으로 활용할 수 있다.

#### 4. Barrier로서의 의복과 의복을 통한 열교환 메카니즘

의복의 착용감이나 안전성은 의복을 통한 외부 환경과의 열교환에 의하여 이루어 지므로 착용감을 논하기에 앞서 열교환을 고찰할 필요가 있다. 인체의 체온은 체내의 각종 화학반응에 가장 적합한 온도인 36.5~37°C로 유지되고 있다. 체내의 모든 기능이 항상성(homeostasis)을 유지하는데 필수적인 조건은 인체가 일정한 온도 범위를 유지하는 것이며 의복은 인체와 환경 사이에서 barrier로서의 역할을 통하여 열과 수분 전달을 돕기도 하고, 차단하기도 함으로써 발열량과 방열량이 균형을 이루어 체내에 저장되는 열량 없이 쾌적감을 유지하도록 한다[3]. 인체 활동이나 환경조건의 상승으로 인해 인체로부터 발산되는 열과 수분이 의류소재를 통해서 적절히 빠져나가지 못하면 인체의 열 균형이 깨어져서 체내에 과다의 열이 축적되게 되고 체온을 상승시키는 열과다(heat stress) 현상이 일어난다. 특수복 제작을 위한 차단소재의 경우 폐쇄적인 디자인으로 구성되어 있기 때문에 이러한 열과다 현상이 문제가 되는 경우가 많이 있다. 실제로 방열복이나 생화학복 등의 특수복을 착용한 경우 기능성의 부족에 의한 상해보다 heat stress에 의한 위험요인이 더 크게 작용하는 경우가 보고 되고 있다[4,5].

따라서 인체는 생산된 체열을 적절히 방산 하여야 하며, 다음과 같은 4가지 열 경로 메카니즘

에 의하여 열평형을 이루어야 체온을 항온으로 유지 할 수 있다.

$$M \pm S = E_d \pm E_v \pm E_r - E_e \quad (1)$$

여기서  $M$  : 산열량

$S$  : 저장되는 열량

$E_d$  : 전도에 의한 열교환

$E_v$  : 대류에 의한 열교환

$E_r$  : 복사에 의한 열교환

$E_e$  : 증발에 의한 열손실

이러한 방열 메카니즘은 뉴턴의 법칙에 따라 생리반응과 연계하여 설명이 가능하다(본고에서는 기본적인 내용을 다루었으므로 자세한 내용은 참고 문헌[6]을 참조하면 구체적인 예가 제시되어 있다).

##### 4.1. 전도에 의한 열전달

인체-공기, 인체-의복 간의 접촉에 의해 물질의 이동 없이 온도차에 의하여 열이 전달되는 현상이다.

$$E_d = KA \frac{(T_s - T_a)}{d} \times t \quad (2)$$

여기서  $K$  : 열전도도

$A$  : 접촉면적

$T_a$  : 환경온도 또는 접촉하는 물체의 온도

$T_s$  : 피부온도

$d$  : 전도체의 두께

$t$  : 시간

전도의 경우 피부와 공기 또는 환경 간의 온도차도 중요하지만  $K$ , 즉 열전도도가 더 중요하다. 다음의 예는 물, 공기, 인체조직의 열전도도를 비교한 것이다. 체조직의 열전달 계수는 매우 낮아서 온의 1/2,000로 작지만 면이나 양모와 같은 섬유보다는 수십배 크다.

예) 물: 0.001400, 공기: 0.000057, 인체 조직(human tissue): 0.005, 소고기(beef muscle): 0.00047, 소기름(beef fat): 0.00049 cal/cm<sup>2</sup>/cm/sec°C.

실제로 인체에서 열이 전도되는 현상은 심부온이 피부로 그리고 피부에서 환경으로 전달되는

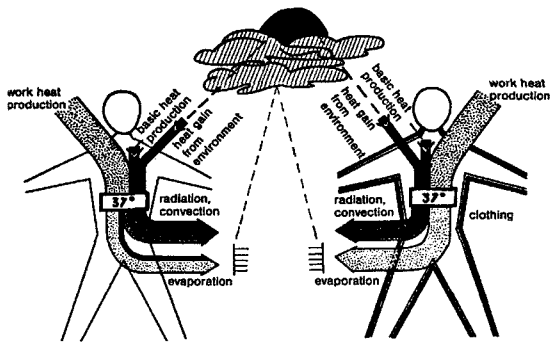


Figure 4. 나체와 의복 착용시 인체와 환경간의 열교환[7].

것으로 인체는 전도를 조절하기 위해서 체표면을 줄이거나(goose flesh) 혈관 수축(vasoconstriction)과 혈관확장(vaodilation)을 하게 된다. 말초 혈관 수축은 체 조직으로부터 9~10 kcal/m<sup>2</sup>/hr°C의 열 손실을 줄이는데 이것은 조직 층(tissue) 18~22 mm에 해당 하는 것이다. 환경으로의 전도는 공기나 물 또는 얇아 있는 의자 등 인체와 접촉한 물질의 열전도도에 의해 열전도의 양이 결정된다. 예를 들어 18°C 대기 중에서는 쾌적하다고 느끼지만 수온이 18°C인 물에서는 잠수부가 냉해를 입으며 2°C~12°C의 물에서는 53~105분내에 사망에 이른다. 이것은 물의 전도도가 공기의 25배가 되기 때문이다.

두께가 d인 옷을 여러 겹 입으면 옴의 법칙 I=E/R과 같이

$$E_d = \frac{(T_s - T_a)}{d/KA} \quad (3)$$

가 된다. 여기서 d/KA는 저항 요인계수이고 KA/d는 전도 요인이다.

그러므로 전체적인 열 전도도는 아래와 같이 산출된다.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{d_1}{K_1 A_1} + \frac{d_2}{K_2 A_2} + \frac{d_3}{K_3 A_3}} \text{ g} \cdot \text{cal}(\text{sec}^\circ\text{C}) \quad (4)$$

#### 4.2. 대류에 의한 열전달

전도는 물질의 이동 없이 열이 전달되는 현상인데 반하여 대류는 공기나 물의 흐름같이 물

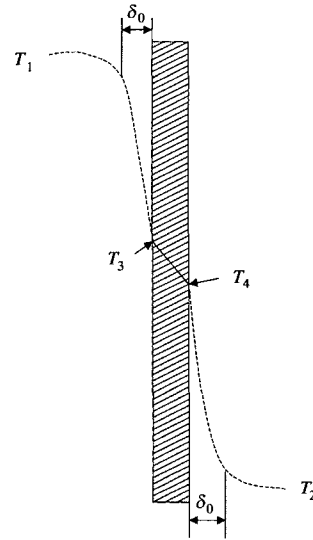


Figure 5. 열관 양면의 온도차에 의하여 형성되는 정지 공기층[6].

질이 이동되면서 열이 전달되는 현상이다. 온도차에 의해서도 대류가 발생하기 때문에 전도와 분류하기 어렵고 실제로 의복시스템에 있어서는 전도보다 대류에 의한 열손실이 크다. 대류는 온도차에 의하여 더운 공기가 올라가는 것 같은 자연대류와 바람과 같은 강제 대류로 나뉘며 강제 대류가 증가하면 자연 대류는 감소한다.

피부표면 가까이에는 Figure 5와 같이 피부온과 같은 온도의 정지 공기층이 존재하며 이 층은 피부온, 기류, 기체의 밀도나 점도에 의하여 달라진다. 피부 표면의 정지 공기층은 6~10 mm 이내이며 10 mm가 넘으면 대류 현상이 일어난다.

$$E_v = \frac{KA(T_s - T_a)}{\delta_0} \quad (5)$$

여기서, E<sub>v</sub>: 대류열손실

K: 공기의 열전도도

A: 유효면적

T<sub>s</sub>: 피부온

T<sub>a</sub>: 대기온

δ<sub>0</sub>: 정지공기층의 두께

대기의 공기의 움직임이 적은 경우, 정지 공기층( $\delta_0$ )이 크고 대류에 의한 열손실이 적으나, 대기의 기류가 커서  $\delta_0$ 가 작으면 대류에 의한 열손실이 커진다. 그런데 바람과 같은 강제 대류가 일어나면 정지공기층( $\delta_0$ )이 사라지고, 여러 가지 요인들이 복잡한 함수 관계를 갖는다. 가장 중요한 요인은 바람의 속도(기속)이며, 열손실은 기속의 제곱근에 비례한다.

$$E_v = f(D, V, \mu, \rho, \Delta T, K, C_p, t) \quad (6)$$

여기서,  $D$ : 물체의 크기  
 $V$ : 유속  
 $\mu$ : 기체의 점도  
 $\rho$ : 밀도  
 $K$ : 열전도도  
 $C_p$ : 열용량  
 $\Delta T$ : 온도차  
 $t$ : 시간

Winslow 등은 이들을 고려하여 대류상수를 도출하고 다음과 같은 공식을 제안하였다.

$$E_v = 0.021(V) = (6.51 + 0.17V)\Delta T \text{ kcal/hr} \quad (7)$$

혹은

$$E_v = 2.3\sqrt{V} \cdot \Delta T \quad (8)$$

그러나 80 miles/hr 이상의 기속이 되면 기류

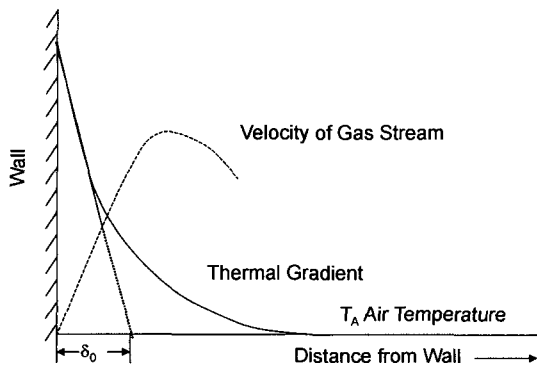


Figure 6. 열원체 표면의 공기층 형성과 대류에 의한 열손실[6].

의 냉각 속도는 증가하지 않는다. 이것은 일정 기속 이상이 되면 표면에서 마찰열이 발생해서 열손실은 일정해지기 때문이다.

### 4.3. 복사에 의한 열전달

모든 물체는 전자기파를 방사하는데 고온에서의 복사는 빛의 형태로 가시광 형태를 지나나 인체와 의복 같은 저온에서는 적외선 형태의 장파장이며 비가시적이다. 복사열은 전체 열손실의 40%를 차지한다.

복사 열전달은 다음과 같다.

$$E_r = S \cdot \epsilon (T_s^4 - T_r^4) \quad (9)$$

여기서,  $S$ : Stephan-Boltzman 상수

$\epsilon$ : 물질의 방사율

(흑체=1, 인체=0.99, silver = 0.02)

$T_s$ : 피부온도

$T_r$ : 평균 복사온도

복사에 영향을 주는 요인으로는 체온이나 표면 특성, 색 등에 의해 정해지는 의복의 방사율이나 벽·가구의 온도, 환경 온도와 표면특성 등이 있으며 이뿐 아니라, 환경(복사체)과 인체와의 각도도 크게 영향을 미친다.

### 4.4. 증발열 손실

저온 환경에서의 열손실은 전도, 대류, 복사 ( $E_d + E_v + E_r$ )가 중요하며 증발열 손실은 전체 열손실의 20%를 차지하지만 고온 환경에서의 열손실은 증발( $E_v$ )에 의한 열손실이 중요하다. 특히 환경온이 38°C 이상에서는  $E_d + E_v + E_r$ 에 의해서는 더 이상 열손실이 없다. 실제로 1g의 물이 기화하는데 필요한 에너지는 대기온과 피부온에 따라 다르며 33°C의 피부에서 27°C의 대기로 기화되는 데는 잠열, 등은 팽창 등을 합하여 640 kcal/g의 열이 필요하다. 따라서 대기 중 상대습도가 높으면 증발열 손실은 적다. 그러나 대기중 상대습도가 100%라도 여전히 피부와 환경간의 증기압 차는 존재하기 때문에 증발열 손실은 가능하다.

$$E_e = K_e \cdot A \cdot (P_s - P_a) \quad (10)$$

여기서,  $E_e$ : 증발열 손실  
 $K_e$ : 증발 상수  
 $A$ : 젖은 체표면적  
 $P_s$ : 피부의 증기압  
 $P_a$ : 대기의 증기압

### 5. 의류소재의 착용감 측정 및 평가

앞에서 살펴본 바와 같이 의복의 착용감을 결정하는 요인은 온도, 습도, 기류, 복사열과 같은 환경조건과 음식 섭취나 운동 등을 통한 산열량의 변화와 같은 인체요소, 그리고 의류소재의 물리적 특성 및 열 수분 전달 특성을 포함하는 의복요소이다. 따라서 의류소재의 착용감을 측정하기 위해서는 인체-의복-환경의 총괄적인 시스템을 고려하는 것이 이상적이다.

각 요소를 효과적으로 통제하고 통합하여 실제 사용여건에서의 성능을 신뢰성 있게 예측하고 체계적인 대안을 제공할 수 있는 방안으로서 가장 널리 사용되고 있는 것이 Goldman[8,9]이 제시하고 Umbach[10]와 Barker[11,12] 등에 의해 실용화되고 있는 5 단계 접근 방식이다(Figure 7).

5단계의 접근 방법중 첫번째 단계인 직물 상태의 특성 파악은 정확도와 반복성이 충족되기는 하나 실제 사용상황에서의 성능에 대한 예측력이 떨어질 수밖에 없다. 두번째 단계의 접근방법은

인체 사이즈의 온열 마네킹을 사용하여 2차원적인 직물 단계에서 고려할 수 없었던 의복과 인체 사이의 공기층의 영향, 그리고 움직임과 의복의 디자인에 따라서 달라지는 대류현상(convection, ventilation)과 하나의 의복체계가 여러겹으로 구성된 경우 직물의 각 층이 겹쳐진 효과에 관련된 정보를 추가하게 된다. 따라서 2단계까지의 실험를 통해 얻을 수 있는 정보는 일정한 특성을 가진 2차원적인 직물이 3차원적인 입체에 착용되었을 때의 성능이다. 그러므로 2단계까지에서 측정되고 계산된 의복의 특성이 과연 어떤 방식으로 착용한 사람에게 영향을 미치는지를 파악하기 위해서는 인체의 감각을 분석하는 작업이 필요하다. 3단계에서 이루어지는 인체 착용실험에서는 피부온, 직장온, 맥박수, 호흡률, 의복내 온습도와 같은 객관적인 생리반응에 대한 측정과 함께 피험자의 착용 느낌을 파악하는 주관적인 설문형식도 동시에 이루어진다. 피부온이나 심부온, 의복내 온습도 등의 객관적인 정보가 피험자의 주관적인 쾌적성과 반드시 일치하지 않는다는 연구들[13,14]에서 보여지듯이 착용 쾌적성을 측정하고 예측하기 위해서는 주관적인 감각평가가 더 효율적인 실험방법이라고 할 수 있다. 그러나 극한상황에서 착용자의 생리적 안전성을 예측하는 데에는 객관적인 생리신호가 주요할 것이다. 2단계에서 얻어진 객관적인 의복 소재 및 의복체계에 대한 데이터들과 연관되어 직물이나 의복시스템의 측정

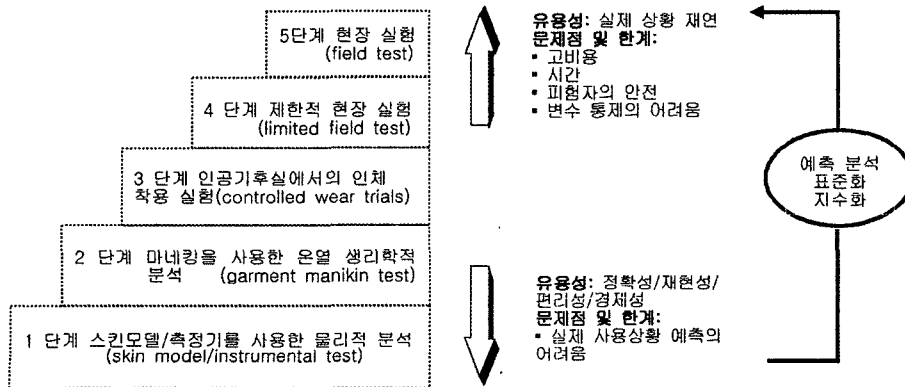


Figure 7. 의류소재의 착용감 관련 성능 측정 단계[10].

만을 통하여 실제 사용 상황에서 착용자의 쾌적성 여부와 선호정도를 예측할 수 있다. 4, 5단계의 현장평가는 변인의 통제가 어렵고 인원과 비용이 많이 드는 단점이 있으나 현장에서 일어날 수 있는 제반 특이 요소나 문제점 등을 인지할 수 있게 하여 그에 적합한 하위단계의 실험조건을 설정하거나 변인을 결정할 수 있도록 하며 하위단계에서 이루어진 예측력을 검증할 수 있도록 하는 역할을 한다.

각 단계의 실험은 이에 필요한 신뢰성이 검증된 각종 장비와 변인 통제 및 환경설정 등과 같은 기술적인 노하우가 뒷받침 되어야 하며 착용 쾌적성을 가장 잘 변별해 낼 수 있는 측정 요소들을 찾아내고 이들을 통합하는 연구가 필요하며 그 결과를 제품생산과 마케팅에 실용화하는 노력이 요구된다. 특히 고기능성 의류소재를 개발하는 단계에서는 2단계 이상의 마네킹이나 인체대상의 실험을 실시하기는 경제적, 시간적인 측면에서 어려움이 따른다. 따라서 소재 개발을 위해서는 1단계의 스킨 모델을 활용하여 다양한 시료를 시험하고 마네킹이나 인체실험은 이를 확인하는 단계로 활용할 수 있다. 또한 예측력이 검증된 스킨 모델을 활용하면 실험을 통해서 궁극적인 쾌적성이나 안전성을 도출할 수 있어 빠르고, 경제적으로 소재개발에 활용될 수 있을 것이다.

현재까지 의류소재의 열 수분 전달 특성의 측정을 위해 사용되고 있는 대부분의 스킨모델은 수평 방향으로 구성되어 있으며 표준상태의 실험조건에서 측정이 이루어지도록 설계되어 있다. 따라서 통풍(ventilation) 효과나 서로 다른 디자인의 개구부의 효과 등을 정량적으로 관찰하기 위해서는 동작 마네킹과 같은 고가의 장비가 필요하다. 최근 본 연구실에서 개발 중인 인체 발한 시뮬레이터의 경우 스킨모델의 기본적인 개념을 그대로 보유하면서 의복의 ventilation이나 개구부의 영향 및 의복을 겹쳐입는 효과를 고찰할 수 있도록 고안되어 있으며  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서  $50^{\circ}\text{C}$ 까지의 기후 환경 속에서 실험이 이루어질 수 있도록 2개의 고온용과 저온용 챔버가 교대로 측정부위에 부착되도록 설계[15-17]되어 있다(Figure 8, 9).

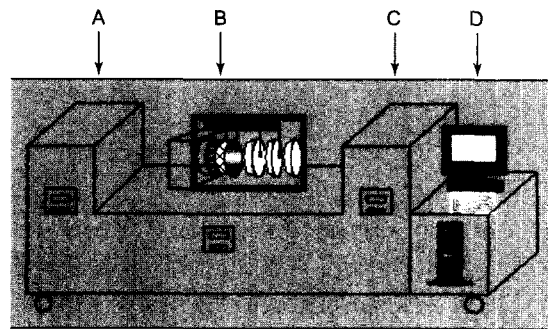


Figure 8. 인체-의복-환경 시뮬레이터. A: 고온환경, B: 스킨모델, C: 저온환경, D: 제어장치.

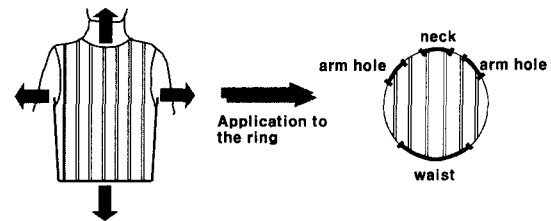


Figure 9. Simulation of Garment Openness [16].

또한 인체의 피부를 시뮬레이트 하는 열판과 수분공급장치가 수평방향이 아닌 수직방향으로 구성되어 실제로 인체가 의복을 착용했을 때의 상황을 더욱 잘 반영할 수 있으며 의복내의 온습도의 변이를 관찰할 수 있도록 마이크로 온습도 센서가 층마다 부착되어 있다. 실험할 수 있는 환경조건의 범위를  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서  $50^{\circ}\text{C}$ 로 확대함으로써 기존의 표준 상태의 측정에서는 파악할 수 없었던 기능성 소재의 성능에 접근할 수 있다. 예를 들면 근래 스포츠웨어나 레저 웨어용으로 급속히 사용이 증가하고 있는 투습방수 성능을 가지는 미세다공 멤브레인의 경우 표준상태에서는 투습성을 유지할 수 있으나 극지방에서 사용될 경우 수분이 동결하여 미세기공을 막음으로써 설계시에 의도하였던 투습기능을 기대할 수 없게 된다. 따라서 각 제품의 용도와 사용 환경을 고려하여 실험조건을 설정할 수 있는 장점이 있다.

또한 개구부의 위치를 조정할 수 있는 장치와 펌핑효과(pumping effect)를 볼 수 있는 장치가



부착되어 있으므로 동작마네킹을 사용하여 얻을 수 있었던 결과들을 정량화하여 예측에 반영할 수 있다.

측정장치를 통하여 얻은 결과는 마네킹 실험이나 인체 착용실험을 통해 검증하고 각각의 변인들의 중요성과 가중치를 결정하여 착용감을 예측하는데 활용할 수 있다. 인체실험의 가장 문제점은 일관성과 신뢰성 있는 정보를 얻어내는 것이고 이를 위하여 피험자의 성별, 키, 몸무게, 적응정도, 생활습관(흡연, 비흡연 등), 건강상태 등을 충분히 파악한 후 동질의 집단을 선택하는 것이 바람직하며 피험자의 감각을 효율적으로 표현할 수 있는 문항과 적절한 스케일의 설문지를 작성하는 것이 노하우이다. 이와 같은 인체실험은 적당한 피험자를 선정하고 동원하며 숙련된 실험자를 확보하는데 어려움이 따르고 10~20명을 수용할 수 있는 인공기후실과 같은 기후조절 시스템과 함께 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 따라서 최소한의 인체실험을 거친 후 의류소재 상태의 측정 결과와 의복상태의 착의 평가 결과의 상호 연관성을 수학적, 통계적 방법을 사용하여 도출해 내

는 작업이 필요하다. 독일 Hohenstein Institute와 North Carolina State University의 TPACC(Textile Protection and Comfort Center)[18]를 비롯한 몇몇 연구소들이 이러한 개념에 바탕을 두고 일련의 연구와 쾌적성의 지수화 연구를 수행해오고 있으나 나라와 습성, 생활환경, 생리적인 특성이 다른 우리나라 사람에게 적용하기에는 무리가 따르므로 우리나라 사람을 대상으로 한 실험을 통해 의복의 종류와 용도에 따른 데이터베이스를 확보하고 예측식을 도출하는 작업이 요구된다.

의복의 종류, 즉 용도와 기능에 따라, 인체 활동이나 환경조건 등에 따라 열, 수분 전달 능력 등을 고려하면 Figure 10과 같은 단계에 의하여 용도별로 쾌적성과 안전성이 지수화되어 도출될 수 있다. 또한 의복의 쾌적감은 소재의 열, 수분 전달 특성과 함께 감각적인 특성이 크게 관여하므로 각각의 변인들에서 쾌적성에 가장 영향을 미치는 요소들을 추출하고 그들의 중요성과 기여도를 산출하여 용도별, 기능별 쾌적성 지수를 적용하면 다음과 같은 형태의 예측식을 얻을 수 있다.

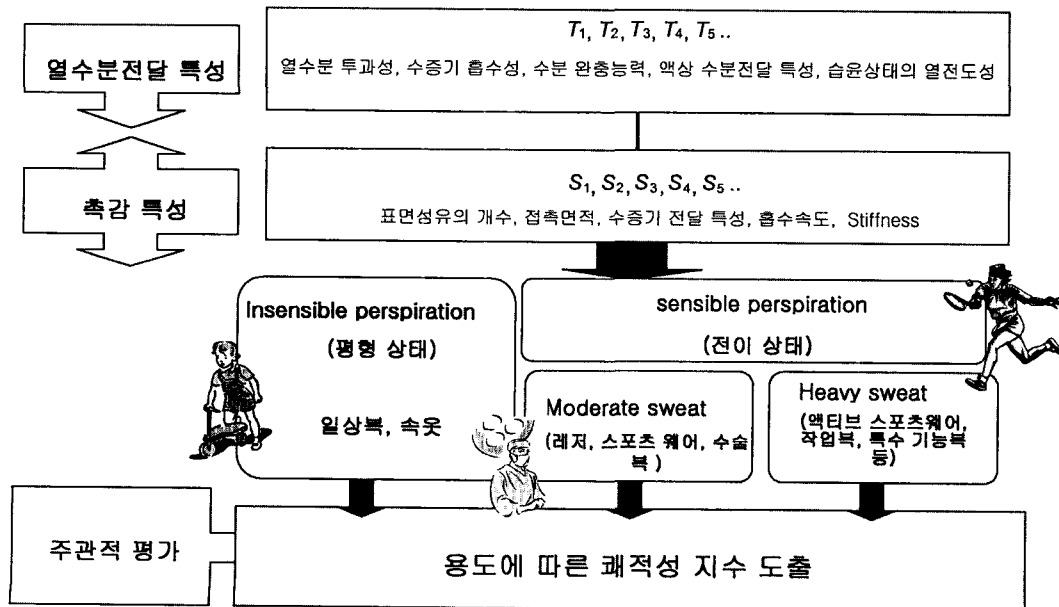


Figure 10. 고기능성 섬유소재의 쾌적감 지수도출단계.

$$C_{Total} = a \cdot C_{Thermal} + b \cdot C_{Sensorial}$$

여기서,  $C_{Total}$  : 쾌적감 지수

$$C_{Thermal} : \alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2 + \alpha_3 T_3 + \dots$$

$$C_{Sensorial} : \rho_1 S_1 + \rho_2 S_2 + \rho_3 S_3 + \dots$$

$T_1, T_2, T_3, \dots$  : 열 수분 전달특성의 측정치

$S_1, S_2, S_3, \dots$  : 촉감관련 특성의 측정치

또한 특수한 용도의 기능복을 위해서는 주어진 환경조건 및 작업량에서 그 의복의 열적 안전성과 쾌적성을 측정하고 예측할 수 있는 평가방법이 필요하다. 특히 극한 상황이나 고도의 특수 기능성이 부여된 의복의 경우 열과다(hyperthermia)나 저체온증(hypothermia)을 예측하고 방지하여 착용자의 생리적 안전을 예측하기 위한 안전성 측정이 요구되는데 이는 군복이나 생화학 방호복등과 같이 차단성이 있는 소재로 온몸을 감싸게 되거나 특수한 상황 하에서 장시간 작업을 수행할 때 착용자가 생리적으로 건강과 생명에 해를 받지 않을 수 있는 작업 환경이나 작업량 등을 제시하는 지표로 사용될 수 있다 (Figure 11).

### 6. 고감성 섬유소재의 착용감 측정기술 및 표준화 방안

고감성 섬유소재가 지향하는 태와 촉감은 단순히 부드럽다는 것을 의미하지 않는다. 섬유소재의 감성은 의류의 용도 및 종류 뿐 아니라 사회적, 심리적인 환경에 따라서도 다르게 인식된다. 따라서 소비자의 욕구에 부합하는 고감성 섬유소재가 제

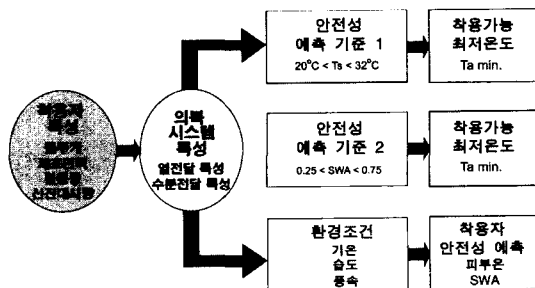


Figure 11. 의복 시스템의 열적 안전성 평가.

섬유기술과 산업, 제 6 권 제 3/4 호, 2002년

조되기 위해서는 의류소재에서 요구되는 감성을 정확하게 예측하고 계획하는 소재개발 및 기획의 단계가 매우 중요하다. 소비자의 요구와 필요가 선행되지 않은 신기술의 발달은 수요를 창출해 내지 못하게 되므로 새로운 생산을 위한 재투자가 이루어지지 못한다. 따라서 고감성 섬유소재의 감성 특성을 측정하고 평가하는 기술은 하이테크를 사용한 감성소재의 기획과 생산 단계에서 소비자의 욕구와 감성을 고려한 적절한(acceptable) 소재를 개발하고 선택할 수 있게 하며 수요를 예측할 수 있는 기준을 제공할 수 있다.

또한 인터넷을 통한 전자 상거래가 활발해지면서 섬유 및 의류제품도 기존의 전통적 시장이 갖고 있는 시간적, 공간적 제약을 극복하고 사이버마켓(cyber market) 또는 글로벌 마켓(global market) 방식의 이점을 도입한 생산 및 유통체제로 전환되어가고 있다. 정보 기술의 급속한 발전과 인터넷의 대중화로 구매자는 주로 인터넷을 통해 구현되는 제품 이미지를 통하여 상품을 선택, 구매하게 된다. 이때 섬유제품의 특성상 기본적으로 제시되어야 하는 터치(touch)와 느낌(feel), 그리고 시각적인 이미지를 적당한 언어로 수치화하여 제시하는 측정 기술이 반드시 선행되어야 하며 이 기술은 전자상거래나 신속대응체계(QR, quick response)를 가능하게 하는 수단인 IT와 같은 정보처리기술과 함께 각 기업간의 공동 정보 시스템을 구축하는데 기반 기술로써의 역할이 클 것이다.

#### 6.1. 태측정 및 표준화

감성을 객관적으로 측정하고자 하는 노력은 오래전부터 시도되어 왔지만 그중에서도 현재 가장 보편적으로 받아들여지고 있는 것이 KES(Kawabata Evaluation System)이다. 이것은 압축, 표면, 굽힘, 인장, 전단특성에서 구해지는 각각의 물리적인 특성치들 뿐 아니라 다변량 해석법에 속하는 회귀분석법, 인자분석법, 판별함수 같은 통계학적인 개념을 사용하여 물리적 특성치에 대한 태의 관능량을 정량적으로 평가하는 방법[19,20]이다.

KES의 장점은 직물의 역학적인 특성과 사용자의 심리적 반응과의 관계식을 만들어냄으로써 역학적 특성치의 정량화된 수치를 분석하여 심리적 반응을 사전에 예측할 수 있게 한다는 것이나 현재 사용되고 있는 KES는 심리적 반응으로서의 촉감/질감 특성을 뽀뽀함이나 부드러움 등과 같은 감각특성에 제한함으로써 일상생활에서 인간이 느끼는 다양한 감성특성을 반영하는데 한계가 있다. 또한 소수의 전문가 집단을 패널로 사용하여 대부분의 소비자가 인지하는 감각이나 선호도를 반영하지 못하여 보편화, 일반화하는 데에는 무리가 있다는 인식이 확산되고 있으며 KES 연구진 자체에서도 새로운 대안을 찾으려는 노력이 이루어지고 있다. 뿐만 아니라 동일한 자극에 대하여 경험하는 감성이 국가나 지역, 인종 등에 따른 문화적 차이를 나타내므로 일본인의 감성을 바탕으로 구성된 예측식을 그대로 사용하는 것은 한국인이 지각하고 선호하는 감성소재의 개발 방향을 제시하는데 사용되기 어려운 점도 또 하나의 문제점이다.

따라서 KES의 역학적 평가척도에 더하여 직물에 대한 인간의 감각 및 감성 반응특성을 잘 반영할 수 있는 평가척도를 개발하여 예측력이 높

은 직물 평가 시스템을 구현하고, 국내의 환경요건과 한국인의 감각선호를 토대로 한 감성소재의 선호도 예측식을 도출하고자 하는 연구들이 이루어지고 있다[21]. 그 중의 하나로(Figure 12) 시판 소재 1,000여종을 선별하고 용도별 계열별, 섬유조성별로 구분하여 각각의 소재에 대해 100명 ~200명에 이르는 다수의 전문가와 비전문가 집단을 대상으로 태와 질감을 나타내는 언어들을 추출하고 주관적인 평가와 선호 결과를 물리적, 역학적 특성을 통해 해석하고 예측하는 연구[22,23]가 이루어지고 있다. 이 연구가 선행연구와 다른 점은 KES 측정법에서는 고려하지 않고 있으나 의류소재의 태와 질감의 평가에 크게 영향을 미치는 다양한 표면 특성들을 포함하는 예측식을 도출하고자 하는 것이다.

### 6.2. 이미지 측정 시스템

표면 특성을 규명하는데 효율적으로 사용되고 있는 방법이 이미지 분석기술이다. 1960년대에 급속하게 발달하기 시작한 이미지 분석기법은 인간의 시각과 같은 기능을 컴퓨터에 부여함으로써 사진이나 그림과 같은 이미지로부터 필요로 하는 여러 가지 정보를 추출하고 이용 가능하도록 가공하는 기술[24]로 섬유산업에서 부직포의 구조[25], 직물 표면의 필링[26], 필라멘트 크립프 분석[27] 직물의 구조 분석[28], 스케일의 높이 분석[29] 등의 제조(manufacturing)와 검사(inspection) 분야에 이용되어 왔다. 표면 섬유 길이 분포는 직물의 촉감을 좌우하는 주요한 요인중 하나이며 직물과 피부의 접촉시의 감각을 결정하고 열과 수분 전달 메커니즘에 영향을 미치므로 고감성 섬유제품의 제작이나 가공에서 적절히 조절되어야 한다. 그러나 앞서 기술한 KES에서 표면 분석기법은 실 및 직물의 구조에 의해 직물 표면에 나타나는 요철을 측정하므로 직물의 표면섬유에 대해 정량적인 정보를 얻기 어려운 한계가 있다. 표면 섬유를 측정하는 방법은 크게 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있는데 표면 섬유는 측정시의 압력이 결과에 커다란 영향을 미치므로 비접촉식 측정 방법인 이미지 분석과 레이저 등을

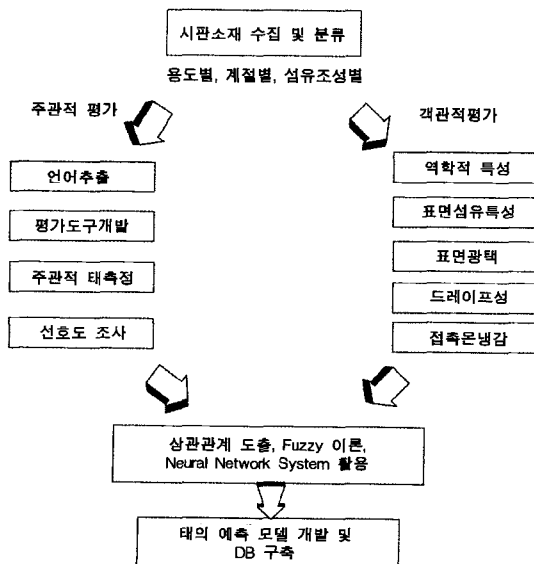


Figure 12. 의류소재의 태 측정 기술 및 표준화 방안 [22,23].

이용한 비접촉식 측정 방법이 사용되고 있다[30].

이미지 분석기법은 컴퓨터에 연결된 현미경과 프레임 그래버를 이용하여 표면의 이미지를 획득하고 그 이미지를 화상처리기법을 적용해 중요한 시각적인 특징을 이끌어 낸다. 얻어진 이미지에서 그레이 레벨을 기준으로 일정한 값(threshold value)에 기초하여, 표면섬유의 윤곽선을 얻어낸 후 노이즈를 제거하여 표면 섬유 평균 길이와 분포를 측정하며 이러한 정보를 웨이블릿 변환(wavelet transform)[31], 프랙탈 분석[32] 등 다양한 방법으로 정량화할 수 있다.

표면 섬유 외에도 고감성 감성소재의 시각적인 평가에 커다란 영향을 미칠 것으로 생각되는 표면 광택도 같이 포함되어야 한다[33]. 이와 같은 다양한 특성과 선호도간의 연계성을 고려한다면 KES의 측정치에서 고려되지 않았던 포괄적인 특성을 포함한 소재의 새로운 감성 측정기술과 평가기준이 마련될 것으로 기대된다.

### 6.3. 주관적 평가- 심리·생리학적 접근

KES의 문제점을 보완하는 방법으로서 생리적 반응의 특징인 일반성과 객관성을 이용하여 인간의 뇌파 및 자율신경계 반응을 통해서 인간이 자극에 대해 심리적으로 경험하는 감성을 객관적이고 정량화된 형태로 측정하는 방법이다. 심리적 경험에 대한 언어적 진술과 생리적 반응과의 신뢰성 있는 관계를 확인해 내고 예측식으로 완성하여 물리, 역학적 특성만으로 사용자의 감성 반응을 예측할 수 있게 되는 것을 궁극적인 목표로 하고 있다. 이를 위하여 섬유제품의 감각적 요소와 감성적 요소를 나타내는 어휘를 추출하여 평가척도를 개발하고 피험자를 선정하여 평가하게 한 후 그 결과가 역학적 특성치들에 의해 얼마나 잘 설명되고 예측될 수 있는지를 회귀분석 등의 통계학적 방법을 사용하여 설명한다. 또한 심리, 생리학적 접근방법의 특징은 감성소재에 대한 촉감 및 감성 반응이 인간의 뇌와 깊이 관련이 있어서 임상 분야에서 진단이나 치료를 목적으로 사용해 왔던 뇌파(electroencephalography, EEG)나 사건 관련 전위(event-related potential, ERP)를

이용하여 인간의 감성 상태의 변화를 측정하고자 하는 것이며 이 밖에 심박률(heart rate variability, HRV), 피부온(skin temperature) 등과 같은 자율신경계 반응특성을 토대로 한 감각 구분 연구와 자율신경계 반응지표를 종합적으로 사용하여 감성 판정을 하기위한 형판(template) 모델이 개발[34]되고 있다. 이러한 형판모델은 복합적인 자율신경계 반응의 수량화를 통해서 직물 감성을 판정하고자 하는 양적(quantitative) 접근방법이라고 하면 심박수(heart rate, HR), 호흡간 심박수 변화(respiratory sinus arrhythmia, RSA), 피부전도 수준(skin conductance level, SCR) 등의 복합적인 생리반응 패턴을 비교하여 직물의 감성을 판정하는 질적(qualitative) 접근에 대한 시도도 있어 왔으며 최근에는 자기공명촬영(magnetic resonance imaging, MRI)을 이용한 감성 측정의 가능성[35]도 고려되고 있다.

### 6.4. 통계학적 분석/Fuzzy Neural ANFIS

심리·생리학적 접근방법이 직물의 역학적 특성과 심리적 감성간의 관계, 역학적 특성과 생리적 반응간의 상관, 심리적 감성과 생리적 감성간의 관련 형판모델에 중점을 둔 것이었다면 통계학적 접근방법은 의류 소재의 물리적 특성(객관적 측정치)과 인간이 직물에 대하여 시각, 촉감 등으로 느끼는 감성치(주관적 측정치)사이의 상관관계를 통계적으로 분석하고 fuzzy 이론과 neural network system을 적용[36,37]하여 종합적으로 분석함으로써 한국인의 감성과 취향에 적절한 의류소재의 태에 관한 예측 모델을 개발하고자 하는 시도이다. 직물의 촉감과 물리적인 특성간의 관계 규명에 있어 많은 변수가 관여하고 있고 그 관계가 비선형적이기 때문에 지금까지 사용되어온 통계학적인 기법으로는 해석하기 다소 어려운 문제점이 있어 왔으므로 최근 퍼지 규칙이나 신경망 또는 퍼지규칙과 신경망을 융합한 구조를 가진 시스템의 하나로 알려진 적응신경망-퍼지추론시스템, ANFIS(adaptive-network-based fuzzy inference system)[38,39]를 이용하여 분석하는 연구가 시도되고 있다. 그 결과 객관적인 물

성을 통해 예측할 수 있는 주관적 평가치의 예측력을 향상시킨다는 연구가 보고 되면서 효과적인 방법으로 알려지고 있다. 이와 같은 방법을 통해 우리나라의 소비자들이 선호하는 태와 태를 표현하는 언어의 도출, 용도별 선호도 등을 도출하고 간단한 직물의 물성치의 측정을 통하여 소비자의 선호도와 감성지수를 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

## 7. 결 언

영국의 에덤 스미스 연구소는 21세기를 규정하는 요인으로 사람의 재능, 부의 확대, 장수화, 기술발전 등을 언급하였다. 21세기, 미래의 사회는 기술과 자본이 중심이 되는 사회가 아니라 인간의 재능이 부의 원천이 되어 개개인의 개성이 더욱 중시되는 사회가 될 것이며 부의 확대에 생활수준이 향상된 소비자들은 안전과 건강, 편리를 추구하게 될 것이다. 생활수준이 향상됨에 따라 과거 사각지대에 놓여 있던 근로자와 개개인의 안전 및 보호에 대한 법률 및 규제도 선진국 수준으로 강화될 것으로 기대된다. 의복에 있어서도 커다란 변혁을 가져올 것이며 전문화된 스포츠 레저용 의복, 건강과 안전을 추구하는 기능성 의복과 산업현장에서 착용하는 각종 보호복과 작업복 등의 발달이 예상된다.

본고에서는 의류제품에서의 첨단기술이 성능개발과 실용화면에서 소비자의 수요와 연계하여 시너지 효과를 일으키는데 필수적인 고기능성·고감성 의류소재의 착용감 평가기술을 소개하였다.

착용 쾌적성은 인체의 생리를 이해하고 섬유제품의 특성을 정량적으로 파악하며 주변 환경과의 상호작용을 고려해야 하는 복합적인 특성이다. 이를 표준화하고 지수화 하는 기술은 제품생산 및 유통산업(다운스트림)과 원료생산 산업(업스트림)간의 연계가 긴밀하게 이루어질 수 있게 함으로써 다양한 수준과 성능을 가진 고기능성·고감성 제품 시장을 활성화시킬 수 있다. 또한 제품에 수치화된 성능 및 감성 정보를 바탕으로 다양한 요구성향을 가진 소비자들이 가격대비 자신이 필요한 제품의

적절한 단계를 선별하여 선택할 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 또한 특수 기능성 의류에 관한 안전성 지수화 기술은 제품에 대한 인식과 신뢰성을 향상시켜서 새로운 수요를 창출하여 국민의 소비패턴을 바꿀 수 있을 것이다. 이미 독일을 비롯한 유럽에서는 표준화된 측정 방법[40,41]을 이용한 기능성 의복의 쾌적성 평가와 지수 표기가 상용화되어 있는 실정이므로 국제적인 경쟁력을 갖추기 위해서는 국내에서도 이러한 기술의 개발과 표준화를 위한 국가적인 관심과 지원 뿐 아니라 의복 생리학, 섬유공학, 감성공학, 통계학, 기계공학, 전자공학 등 각 학문 간의 연계를 이루는 통합적이고 체계적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 특히 스마트 소재를 비롯한 첨단 기능 소재들이 개발됨에 따라 측정 기법도 첨단화 되어야 하며 이를 위한 측정기기 개발도 병행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. X. Tao(Ed.), "Smart Fibers, Fabrics and Clothing", The Textile Institute, Woodhead Publishing Limited, 2001.
2. 홍경희, "인간의 감성에 접근하는 생활용품의 개발 : 감성공학적 접근방법과 섬유제품의 개발", 한국생활과학회지 제14차 총회 및 세미나, 1996.
3. K. C. Parsons in "Protective Clothing Systems and Materials"(M. Raheel Ed.), Marcel Dekker, Inc., New York, 1994.
4. National Institute for Occupational Safety and Health: Criteria for a Recommended Standard-Occupational Exposure to Hot Environments, DHHS(NIOSH) Publication No. 86-113.
5. Occupational Safety and Health Administration: Heat Stress, II-4, OSHA Technical Manual, DOL (OSHA) Publication No. OSTM.
6. Newburgh, "Physiology of Heat Regulation and Science of Clothing", Hafner Pub. Co., pp.78-108, 1968.
7. J. Mecheels, "Die Messung der funktionellen Wirkung der kleidung auf den Menschen", *Melliand Textilberichte*, **52**, p.21(1971).
8. R. F. Goldman, "Assessment of Thermal Comfort", *ASHRAE Transactions*, **84**(1), pp.713-718 1978.
9. R. F. Goldman in "Standards for Human Exposure

- to Heat”, Engineering Ergonomics (I. B. Merjavic, E. W. Banister, and J. B. Morrison Eds.), Taylor and Francis, London, 1988.
10. K. H. Umbach in “Physiological Tests and Evaluation Models for the Optimization of the Performance of Protective Clothing”, Engineering Ergonomics” (I. B. Merjavic, E. W. Banister, and J. B. Morrison Eds.), Taylor and Francis, London, 1988.
  11. R. L. Barker, S. C. Yoo, and I. Shalev, “Thermophysical and Sensorial Properties of Heat Resistant Workwear Materials. Part I: Instrument Analysis of Fabric Properties”, Proceedings of the IFAI Textile Technology Forum, San Diego, CA, October, 1999.
  12. R. L. Barker, S. C. Yoo, and I. Shalev, “Thermophysical and Sensorial Properties of Heat Resistant Workwear Materials. Part II: Perceived Comfort Response to Garments”, Proceedings of the IFAI Textile Technology Forum, San Diego, CA, October, 1999.
  13. Z. Vokac, V. Kopke, and P. Keuz, “Physiological Responses and Thermal, Humidity, and Comfort Sensations in Wear Trials with Cotton and Polypropylene Vests”, *Text. Res. J.*, **46**, pp.30-38 (1976).
  14. Z. Vokac, V. Kopke, and P. Keuz, “Evaluation of the Properties and Clothing Comfort of the Scandinavian Ski Dress in Wear Trials”, *Text. Res. J.*, **42**, pp.125-135(1972).
  15. 김은애, R.L. Barker, “침단 흡습속건소재의 수분 전달 특성 평가방법에 관한 연구”, *한국의류학회지*, **17**(2), pp.329-338(1993).
  16. 유희숙, 김은애, “의복의 개구부 위치가 수분전달에 미치는 영향-평판형 차의 모형에 의한 측정”, *J.Korean Fiber Soc.*, **38**, pp.693-701(2001).
  17. H. S. Yoo, Y. S. Hu, and E. A. Kim, “Effects of Heat and Moisture Transport in Fabrics and Garments Determined with a Vertical Plate Sweating Skin Model”, *Textile Res. J.*, **70**, pp.542-549(2000).
  18. <http://www.tx.ncsu.edu/research/tpacc/index.html>17
  19. S. Kawabata, “The Standardization and Analysis of Hand Evaluation”, The Text. Mach. Soc. of Japan, 2nd Ed., Osaka, 1980.
  20. S. Kawabata, M. Niwa, and R. Postile, “Object Measurement : Applications to Prodcut Design and Process Control”, The Textile Machinery Society of Japan, Osaka, 1986.
  21. 김승진, 오애경, “폴리에스테르 직물의 역학특성에 관한 연구(5)-표면특성”, *J. Korean Fiber Soc.*, **31**(6), pp.425-433(1994).
  22. 김은애, 유효선, 김종준, 이미식, 오경화, “의류소재의 태 표준화, 분류 및 DB 구축”, 한국과학재단 특정기초 연구보고서, 2001.
  23. 김은애, 유효선, 김종준, 이미식, 오경화, “의류소재의 태 표준화, 분류 및 DB 구축”, 한국과학재단 특정기초 연구보고서, 2002.
  24. 전봉수, 김 민, “신경망을 이용한 직물조직의 인식에 관한 연구”, *J. Korean Fiber Soc.*, **36**(1), pp.64-73(1999).
  25. 나영주, “이미지 분석을 이용한 아라미드와 시물레이션 부직포의 기공형태 측정”, *J. Korean Fiber Soc.*, **33**(7), pp.939-946(1996).
  26. C. H. Hsi, R. R. Bresee, and P. A. Annis, “Characterizing Fabric Pilling by Using Image-Analysis Techniques, Part I: Pill Detection and Description”, *J. of Text. Inst.*, **89**(1), pp.80-95(1998).
  27. T. J. Kang, and J. Y. Lee, “Filament Crimp in Three Demensions Measured by Image Analysis and Fractal Geometry”, *Text. Res. J.*, **71**(2), pp. 112-116(2001).
  28. T. J. Kang, S. H. Choi, and S. M. Kim, “Automatic Structure Analysis and Objective Evaluation of Woven Fabric Using Image Analysis”, *Text. Res. J.*, **71**, pp.261-270(2001).
  29. D. Robson, “Animal Fiber Analysis Using Image Techniques Part II: Addition of Scale Height Data”, *Text. Res. J.*, **70**, pp.116-120(2000).
  30. 권영하, “직물의 잔털량과 잔털수의 측정과 비접촉 표면 거칠기 분석”, *대한감성과학회지*, **3**(2), pp.9-15(2000).
  31. E. A. Kim, S. Y. Yeo, E. G. Han, and D. O. Kim, “Effect of Surface Characteristics on the Hand of Wool Fabrics”, Proceedings of 2001 Seoul KSCT/ITAA Joint World Conference, 2001.
  32. 이현영, 홍경희, “직물 표면과 평판과의 접촉면에 대한 Fractal 차원”, *J. Korean Fiber Soc.*, **35**(5), pp.294-300(1998).
  33. 신경인, 김종준, “직물광택의 이미지에 대한 분석적 연구”, *한국의류학회지*, **26**(8), pp.1117-1127(2002).
  34. 손진훈, 이임갑, “직물 촉감감성 연구의 심리, 생리학적 접근”, *Fiber Technology and Industry*,

- 2(4), pp.439-450(1998).
35. 정순철, “뇌기능 영상과 그의 활용”, 한국생활환경학회 추계학술대회논문집, pp.49-53, 2001.
  36. 이정순, 신혜원, “신경망이론을 이용한 폴리우레탄 코팅포 촉감의 예측”, *J. of the Korean Society of Clothing and Textiles*, **26**, 152(2002).
  37. 박신용, 강복춘, 황영구, 조호현, “퍼지를 응용한 포의 태평가(I): 더블니트에 대한 적용”, *J. Korean Fiber Soc.*, **33**, 849-854(1996).
  38. J. S. R. Jang, “ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System”, *IEEE Tran. on Systems, Man, and Cybernetics*, **23**, pp.665-685(1993).
  39. 이창훈, 유효선, 김은애, 김종준, 이미식, 오경화, 유신정, “ANFIS를 이용한 의류소재의 태 분류”, 2002년도 한국섬유공학회, 한국의류학회, 한국염색가공학회 공동학술대회 논문집, pp.31-32, 2002.
  40. BS (DIN) EN 31092 : 1994, ISO 11092 : 1993, “Textiles Determination of Physiological Properties Measurement of thermal and water vapour resistance under steady state conditions (sweating guarded-hot plate test), British Standards Institution.
  41. ISO 9920, Ergonomics of the thermal environment- Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble, 1995.