

의복과 인간공학

최근 급속한 발전을 거듭하고 있는 새로운 학문분야에 “인간공학”이 있다. 인간공학(Human engineering)은 자료에 의하면 “모든 종류의 정신작업, 신체작업이 각각 다른 물리적 환경에서 이루어질 때 인간의 Performance 의 능력과 한계에 관한 연구를 하는 학문”이라고 되어 있다. 또한 인간공학의 입장에서 의복을 과학화하려는 연구가 차츰 체계화 되어 가고 있으며 이러한 학문의 목적은 인간의 건강관리를 위하여 인간공학적 실험을 통하여 인간을 연구하기 위한 경우와 합리적인 의복을 만들고 합리적인 착용 등 일상생활에의 응용을 위한 경우 등 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. 이 때 전자의 경우를 “의복위생학(clothing hygiene), 후자를 “의복기구학(clothing mechanism and function)”으로 구별하여 취급 또는 연구하되 인간공학의 일환으로서 인체생물학과 피복재료학의 지식을 기초로 하여 계측 및 제어공학을 방법론으로 하여 의복의 설계제작 또는 의생활 설계의 지침을 얻으려는 것이다.

의복은 사람 (인체, 인간)과 환경(사회적, 물리적, 생물학적 환경)의 사이에서 그 합리성을 보유하기 위해서는 여러 성능을 갖추어야 하므로 이하에 인간공학적으로 체계화되어 연구되는 제문제에 관하여 소개하고자 한다. 그래서 의복을 인간-의복-환경을 일개로 하는 의복공학에서 연구하고 simulation의 공학에서 적재를 적소에 사용한 의복의 설계는 물론 실험이 불가능한 의복학적 사실까지도 연역적으로 발견하는 능력을 갖추도록 함이 최근의 의복학의 연구 방향임을 밝히고자 한다.

1. 의복의 형태 및 구속문제

의복은 자유곡면으로 구성된 인체에 평면의 옷감으로 피복시키고 모든 인간의 동작에 의한 변화되는 체형에도 적합 내지 미적 요소가 강조되어야 한다. 의복에 변형이 생기는 것은 인간의 동작시의 체형에 의한 의복변화와 인

체표면적에 대한 옷감면적의 양의 차이에 대하여, 옷감이 동작 시 피부 위를 어떻게 추종하느냐에 따라 달라진다. 다시 말해서 의복의 변형이나 구속은 인체의 size와 의복의 size와의 관계에서 변화한다. 여기서 인체 size는 의학자, 의복 designer 및 기성복 maker 등에 따라 일정하지는 않으나 인간공학에서는 martin식 계측법으로 계측된다. 이 martin법에서는 A 인류적 근거에 의해서 60 개소의 길이와 폭, 10개소의 둘레의 측정항목이 제시되고 있다. 우리나라에서도 의복구성을 위한 인체계측에 대해서 몇 개의 논문이 발표된 바 의복(기성복) 설계의 입장에서 보면 중요한 기초가 되는 것이나 외관적 특징을 표현하는 옷감 자체의 강신도 및 의복의 여유분 등도 아울러 의복 size에 고려되어야 한다는 것이다. 예로 강신도가 적은 옷감이라도 여유분이 많은 의복을 입으면 의복내에서 체형만이 변하고 의복은 변형하지 않는 경우와 의복내부에 매끄러운 속옷을 입을 때도 체형의 변화가 외의에 영향을 적게 주는 것 등을 들 수 있다. 또 메리야스나 spandex 섬유가 사용된 옷감 등은 직물의 경우보다 의복에서 여유분이 적어도 그 변형은 적으므로 옷감자체의 영향에 대해서도 의복의 변형에서 고려되어야 하겠다.

의복 중에서 내의류는 체표면적보다 그 옷감 면적이 적으며, 그러나 착용 중에 옷감자체의 큰 변형이 쉽게 일어날 수 있는 것이 대부분이다. 이런 착용 중의 변형량의 측정은 신축성 있는 의복에 일정길이의 종선, 횡선, 또는 원형으로 marking을 하여 그 변화를 관찰, 계량함이 보통이다. 또한 나일론이나 폴리에스터 섬유 등의 미연신계가 신장변형량과 잔류변형량의 같음을 이용하여 이 실을 의복에 붙여 달고 동작을 하며, 동작 중의 변형 중에서 최대치를 구하는 대야씨의 방법도 있다. 여기서는 옷감면적과 체표면적과의 비를 변형의 기초조건으로 하여 속옷의 변형량의 연구를 행하였으며, 그 내용인즉 속옷과 피부에 미연신계를 붙여 서 피부 변형량과 동작에 의한 속옷의 변형 증분과의 비교, 스트레치 나일론 속옷과 면계 속옷의 변형치의 차이, 속옷이 젖어 있을 때의 변형량의 특징 등을 22 부위, 종, 횡, 대각선 방향 계 88 개

소의 측정치로부터 구하고 있다.

또 인체를 강하게 조르는 코르셋인 경우 동일인이 L 및 M size를 입었을 때의 변형 경향의 차이, 상·하의가 연결되어 있는 옷에서 상반신 및 하반신의 변형량 등을 측정하고 있다. 이상의 실험 결과에서 대야씨는 “의복의 변형은 체형과 피부의 변형량 또는 옷감의 변형적 성질만으로 결정되는 것이 아니라 의복의 pattern, size, 인체의 표면구조(곡면) 및 옷감과 피부와의 마찰력 등에 의해 변형경향이나 변형량이 다르다”고 말한다.

의복에 의한 인체 구속의 또 하나로 의복중량의 작용을 들 수 있겠는데 이 중량은 주로 어깨와 허리에 걸린다. 일반적으로 의복이 어깨와 가슴 등을 압박하면 호흡에 장애를 주거나 동작이 둔해진다. 이 의복량은 성격에 따라 차이가 크게 나무로 의복중량/체중을 %로 표시하여 사용한다. 의복중량은 그것을 인체의 특정부위에서 지지하므로 압력으로서 나타난다. 또 벨트나 치마 허리의 경우에서도 그 장력에 대하여 수직적인 힘으로 나타나 중직압(vertical pressure)은 곡률에서 변화한다. 그 간단한 예로서 손목시계를 끌어서 손목을 살펴 보면 시계줄의 흔적은 곡률이 이 적은 손목의 양 옆에 더 깊이 나 있어 평평한 앞뒤 손목에서보다 수직압이 큼을 나타낸다. 허리에서도 그런 현상이 나타난다. 인체 각 부위의 수직압의 측정으로서 는 압력계가 사용되는데 최근 electronics의 발전에 따라 용량계형 및 전기 strain gauge 형의 두 가지가 있으나 그 측정이 부정확하므로 검출기를 사용하지 않고 코르셋과 같은 foundation garment의 수직압력을 그 옷의 변형을 이용하여 추정하기로 하였다. 이 변형량으로부터의 수직압 추정방법은 어떤 곡면상에서 변형하는 옷감의 역학적 해석에서 가능한 것 같이 생각되나 실제로는 이축 또는 삼축방향으로 동시 변형하는 감의 역학적 계산은 오히려 더 어렵게 된다. 의복의 변형 및 압력은 또한 우리에게 심리적인 구속감을 주어 불쾌하게 하며, 생리학적으로는 혈행장애나 내장을 압박하여 피로를 더하게 하는 원인이 되기도 한다. 대야씨의 연구에 의하면 사람들의 불쾌감은 의복의 변형량보다 수직압

력에 의한다고 하였으므로 stretch fabric의 사용에 고려가 요구된다.

식물은 인간의 체내에서 화학분해하여 열에너지로 변화한다. 그 열 에너지는 일부 체내소비에 쓰이고 나머지는 거의 체외에 방산되어 체내는 화학반응에 필요한 37℃의 항온으로 유지된다.

여분의 열분산은 혈류속도를 증감하여 피부전도에 의한 방산을 조절하거나, 수분의 증발열에 의한 방산을 조절하는데 인체는 이것을 자동제어한다고 한다. 이 제어는 환경에 지배되며 인체에 육체적, 정신적으로 부담을 주게 된다. 이 부담을 덜기 위하여 의복을 착용하게 되고 여기서 합리적 착의방법의 고려가 필요하게 된다.

먼저 인공기후실에서의 실험을 소개하기로 한다. 여러 가지 환경하에서 의복의 열절연성은 clo치로 나타내고 있는데, 이 clo치는 conductance라고 하기 보다는 열에 대한 저항치를 의미한다.

2. 의복의 열 및 수분전달의 제문제

$$I_{clo} = \frac{5.55(T_S - T_a)A}{M - 0.58E + 0.83W \frac{(2\Delta T_R + \Delta T_S)}{3}} - I_a$$

여기에서 I_{clo}, I_a ; clo 단위로 나타낸 의복 및 공기의 절연도

T_S, T_a ; 평균피복온도 및 외기온도(℃)

$\Delta T_R, \Delta T_S$; 직장 온도 및 평균피복온도의 하강도(℃/hr)

A, W ;인체표면적(m²) 및 체중(kg)

M ; 효소소비량에서 구한 총 대사량(kg-cal/hr)

E ; 체중측정에서 구하는 증발에 의한 발열량(g x 0.58kg□cal/hr)

이 clo 치는 일정한 환경 조건에서 쾌적을 느끼는 의복의 단위며 1 clo는

보통 남자복의 열절연치에 근사하다고 정의된다. 쾌적이란 주관적 개념에 대해서는 환경과 감각의 관계를 나타내는 생리학적 연구가 있고 YaglogIo는 어떤 습도, 풍속에서 인체가 감각하는 온도를 습도 100% 풍속 0에서 느꼈던 것과 똑같은 온도로 표시하여 이것을 감각온도 지표로 하였다. 그래서 여러 환경하에서 인체실험을 통하여 감각온도 도표를 작성하였다.

Bedford는 흑구한난계를 사용하여 복사 요인을 고려하였다. 이상의 지표는 어떤 온도 조건하에서의 사람의 순간적 온도감각의 평가에 국한되는 것으로, 인공기후실에 장시간 들어가서 쾌적정도를 구하는 심리통계학 실험이 Anderson 등에 의하여 행해졌다. 그는 -6°F 의 환경에서 나일론, 폴리에스터 및 면제 등 5 종의 셔츠를 입혀 인체실험을 하여 온도감각을 0(쾌적)에서 3(춥다)의 4 단계로 나누어 관능치를 구하였다. 또한 Nevins는 남녀 각 360인의 피험자에 대하여 온도 범위 $66\sim 82^{\circ}\text{F}$, 습도 $15\sim 85\%\text{RH}$ 의 72가지의 온습도 환경에서 감각치를 1.(춥다) 2.(서늘하다) 3.(약간 서늘하다) 4.(쾌적) 5.약간 따뜻하다 6.(따뜻하다) 7. (덥다)의 7 계급으로 나누어 1인 1시간, 그 사이에 5회의 감각을 투표시켜 그 데이터를 이원배치의 분산분석을 하고 그 결과에서 감각치 Y를 유도하였다.

즉 여자의 경우

$$Y = -12.881 + 0.209T + 0.00011TH$$

$$(R^2 = 0.863, S = 0.458) \quad T = \text{온도}$$

남자의 경우

$$Y = -8.618 + 0.157T + 0.00012TH$$

$$(R^2 = 0.736, S = 0.530) \quad H = \text{습도}$$

남녀 합계의 경우

$$Y = -10.749 + 0.183T + 0.00017TH$$

$$(R^2 = 0.901, S = 0.337)$$

Hardy 등은 model의 인체피복표면온도에 대하여 복사, 기온, 기류, 상대습

도가 조절될 수 있는 실험장치 중에서, 젖은 피부로서 suede 피를 사용하고, 건조한 피부로는 흑색 동판을 사용하여 열원으로부터의 열이 피부표면 및 옷감을 통하여 방산하는 경우의 열평형상태에 있어서의 열이동량을 측정하였다. 열이동량 Q 는

$$Q = \lambda \cdot A(T_1 - T_2) / d \quad \text{또는} \quad = A(T_1 - T_2) / \rho \quad \text{로 쓰는 경우가 많다.}$$

λ ; 열전도율

A ; 열의 이동면적

d ; 옷감의 두께

$(T_1 - T_2)$; 계면의 온도차

ρ ; 열저항

이것을 인체가 의복을 입었을 때의 평균적 열이동량으로 응용하면, 열분산은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = Ab \frac{T_s - T_b}{\rho_1} + Aa \frac{T_s - T_a}{\rho_2} + Aw \frac{T_s - T_w}{\rho_3} + W \cdot Aa \frac{e^{0.553T_s} - (RH)e^{0.553T_a}}{1.68\rho_4}$$

Ab, A Ab, Aa, Aw ; 물체, 외기와 접촉되고 있는 피부의 면적, 주위의 복사환경에 영향된 피부면적

T_s, T_b, T_a, T_w ; 피부, 물체, 외기, 복사성 환경의 온도

w ; 외기에 노출된 젖은 피부의 표면적을 Ae 로 할 때 $Ae = W \cdot Aa$ 로 나타내는 Gagge의 wetress.

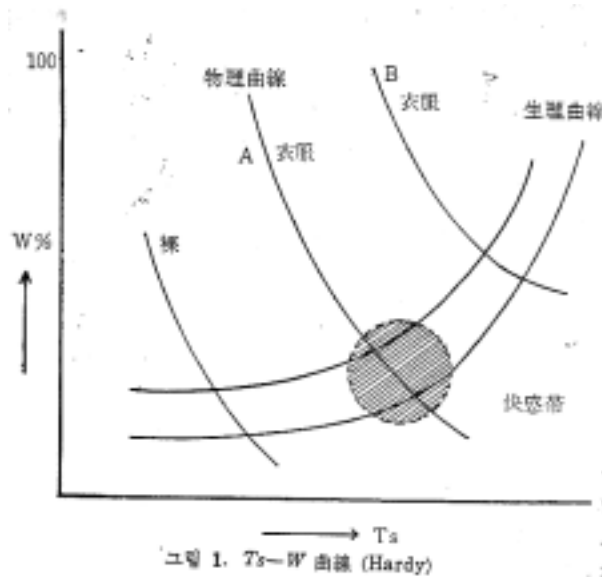
인공기후실에서는 Ab, Aa, Aw 는 정수이므로 4항 중 3항을 0으로 되게 장치를 조정하여 Q 와의 관계를 구하고, 옷감 재료의 $\rho_1 \sim \rho_4$ 를 구할 수 있다. 그렇게 되면 이번에는 T_b, T_a, T_w, RH 및 인간의 일량(watt)과 기초대사량(25세의 청년으로 75W)을 주고, T_s 와 w 와의 관계를 당해 옷감재료에 대하여 다음과 같이 상식에서 역으로 유도할 수가 있다.

$$T_s + A \cdot W T_s = B$$

이것을 $T_s - W$ 의 평형물리곡선이라고 부른다. 그러나 이것이 쾌적인지 아닌지는 알 수 없다. 여기에서 현실의 T_s 와 W 은 생리반응에 의해서

$$\text{상한} : (36 - T_s) - (W - 0.15) = 0.41$$

하한 : $(38 - T_s) - (W - 0.05) = 0.49$ 으로 표시하고 그 범위내에 생리학적 쾌감조건이 있다고 한다. 그래서 위의 곡선을 생리곡선이라고 한다. 그러므로 어떤 환경에서 어떤 의복의 물리적 $T_s - W$ 곡선이 이 생리곡선과 되는 점이 대선중의 쾌감조건에 일치하면 그 의복은 합리적인 것이라고 말할 수 있다.



<그림 1> Ts-W 곡선(Hardy)

이외에도 수많은 사람들이 인간-의복-외계의 열이동에 대하여 측정방법을 연구발표하고 있다. 그럼에도 물리화적인 simulation으로 중요한 것은 인체가 땀, 기타를 배설하는 사실로 하여 복잡하다는 것이다. 많은 섬유가 수분에 의하여 물성변화가 일어나며, 강도, 탄성, 의복의 형태변화 및 열전연성은 바로 습도의 함수인 것이다. 직물이 수분에 의하여 열전연성을 저하시키면 여기에 대응하여 인체로부터의 수분 배설량도 달라질 것이다. 이 문제에 대해

서는 Behmann의 연구가 있는데 올과 폴리아미드섬유에 대하여 피복 생리학 적 실험을 하여 다음과 같은 결과를 보고하고 있다. 즉, 땀을 많이 흘릴 때는 폴리아미드 섬유의 열방출량은 올보다 크며 더욱이 발간의 마지막에 (인체가 겨우 추위가 싫어지는 때에) 열손실을 크게 한다고 한다. 그러나 외기가 차고 땀이 흐르지 않을 때에는 소수성 섬유는 보온성이 높다는 것이다. 그 이유는 만일 증발한 물의 양이 같다고 하더라도 피부온도, 열발생, 심장의 고동, 호흡수 및 직장온도는 폴리아미드 섬유쪽이 크고, 수분의 증발에 의한 열방출의 mechanism은 폴리 아미드 섬유의 경우, 증발이 의복 표면에서 일어나 증발열이 외계로부터 취해지는 반면에, 올의 경우는 열이 인체표면에서 취해지는 차이가 있다고 한다. 또 Behmann은 인공기후실내의 실험에서 온습도 변화를 단계적 또는 주기적으로 변화시켜 인체 또는 의복의 변화 되는 온습도 반응을 조사하여, 주로 외계와 인체 조건하에서의 의복감의 재료학적 성질을 물리적으로 측정하여 피복기구학에 있어 가장 전형적인 의복의 열방출의 mechanism을 살펴 놓았다. 그리고 의복은 내부에서 많은 수분을 흡수할 수 있을 것, 의복의 습도 함유량이 낮을 때는 섬유가 물에 젖지 않는 것(표면적 성질-소수성), 의복의 습도 함유량의 높을 때는 물에 쉽게 젖는 것이 이상적이라고 결론짓고 있다. 이상 몇 개의 연구를 들어 의복이 인간공학적으로 다루어짐과 인간-의복-환경을 일계로 하는 의복공학으로서 발전을 해야 하는 배경을 간단히 설명하였다.