

환경 온도가 개구부를 통한 의복의 환기 양상에 미치는 영향

추 미 선

경상대학교 자연과학대학 생활과학부 의류학전공 교수

Effect of Ambient Air Temperature on the Pattern of Clothing Ventilation through Openings

Mi-Seon Chu

Professor, Major in Clothing and Textiles, Division of Human Ecology, College of Natural Sciences,
Gyeongsang National University, Chinju, 660-701, Korea

(2002. 10. 18 접수 : 2002. 11. 30 채택)

Abstract

The effects of ambient air temperature on the clothing ventilation were investigated numerically by a finite difference method. Numerical analysis using a 2-dimensional model comprising the air space between the skin and the clothing was conducted under the assumption that the clothing ventilation occurred only through the openings not through the fabric. The larger the temperature difference between the skin and the surroundings, the more apparent the thermal boundary layer. As the ambient air temperature decreased, the air flow and the rate of the return of oxygen concentration to the atmosphere level in the clothing increased. Convection was dominant under low ambient air temperature, whereas conduction was dominant under high ambient air temperature. The ventilation rate was faster in the clothing microenvironment of the body part than that of the arm part.

Key words : clothing ventilation(의복 환기), openings(개구부), ambient air temperature(환경온도), numerical analysis(수치해석).

I. 서 론

인체의 생리적 체온 조절 기능만으로 열적 쾌적 상태를 유지할 수 있는 환경 온도의 범위는 매우 좁다. 中山¹⁾은 나체로 쾌적하게 지낼 수 있는 온도를 29~31℃라고 하였다. 이 범위를 벗어났을 때 쾌적한 상태를 얻을 수 있는 방법 중의 하나가 행동성 체온 조절 방법인 의복을 입거나 벗는 것이다. 즉, 온열 환경 조건에 적합한 디자인이나 재질로 만든 의복을 착용하여 인체와 환경간의 열과 수분 교환을 적절히

제어하여 열적으로 쾌적한 상태를 만든다.

의복으로 덮여 있는 인체와 환경 사이의 열과 수분 교환은 주로 의복의 개구부나 직물의 기공을 통한 환기에 의해 이루어진다. 그러므로 의복의 환기 양상을 파악하면 인체로부터 환경으로의 열과 수분 이동을 평가할 수 있으며, 온열 환경 조건에 대응하여 적절하게 의복을 착용할 수 있는 지표를 마련할 수 있다.

종래 의복의 환기는 실험적 방법으로 연구되었으나²⁻⁶⁾, 환기의 양상을 예측할 수 있을 뿐 아니라 실

1) 中山昭雄, 溫熱生理學, (東京: 理工學社, 1983), p.538.

NOMENCLATURE

C	concentration [%]	Greek symbols	
D	mass diffusivity [m^2/s]	α	thermal diffusivity [m^2/s]
g	gravitational acceleration [m/s^2]	β	coefficient of thermal expansion [$1/K$]
L	reference length [m]	ΔT	temperature difference, ($T_s - T_a$)
Le	Lewis number, α/D	μ	viscosity coefficient [Pa · s]
p	pressure [Pa]	ν	kinematic viscosity [m^2/s]
Pr	Prandtl number, ν/α	ρ	density [kg/m^3]
P	dimensionless pressure	θ	dimensionless temperature
Ra	Rayleigh number, $g\beta(T_s - T_a)L^3/\nu\alpha$	τ	dimensionless time
S	dimensionless concentration	ϕ	stream function [m^2/s]
t	time [s]	ω	vorticity [$1/s$]
T	temperature [K]	Ψ	dimensionless stream function
u, v	velocity components [m/s]	Ω	dimensionless vorticity
U, V	dimensionless velocity in x and y direction, respectively	Subscripts	
x, y	Cartesian coordinates	s	skin
X, Y	dimensionless x and y direction, respectively	a	air
		e	eventual
		i	initial

험적 방법에 의한 결과를 보완할 수 있는 장점을 가진 수치해석적 연구 방법이 개발되고 있다^{7,8)}. 의복의 환기는 의복층의 인자, 환경층의 인자, 인체층의 인자에 의해 영향을 받는다. 전보에서는 의복의 환기 양상에 영향을 미치는 인자로서 의복층의 인자에 주목하여 건조 공기 상태에서 의복의 환기가 개구부를 통해서만 일어날 경우, 인체와 의복 사이의 공기

층의 두께, 개구부의 크기와 위치가 의복내의 유동 현상과 환기 속도에 미치는 영향을 수치해석적 방법으로 규명하였다. 본 연구에서는 환경층의 인자에 주목하여 환경온도 변화에 따른 의복내의 환기 양상의 차이를 수치해석으로 검토하여 각종 온열 환경에서 적절한 의복을 착용하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

- 2) 유화숙, 김은애, "의복재료와 개구부의 요인이 의복내 미세기후에 미치는 영향", *한국의를학회지*, 제20권 제6호 (1996), pp.1084-1095.
- 3) W. A. Lotens and G. Havenith, "Ventilation of rainwear determined by a trace gas method", In *Environmental Ergonomics*, Ed. by I. B. Mekjavic, E. W. Banister and J. B. Morison, (Taylor & Francis, 1988), pp.162-176.
- 4) U. Reischl, "Assessment of ventilation characteristics of standard and prototype firefighter protective clothing", *Textil. Res. J.*, 50 (1980), pp.193-201.
- 5) P. J. Sullivan, I. B. Mekjavic and N. Kakitsuba, "Ventilation index of helicopter pilot suits", *Ergonomics*, 30 (1987), pp.1053-1061.
- 6) Z. Vokac, V. Kópke and P. Kejl, "Assessment and analysis of the bellows ventilation of clothing", *Textil. Res. J.*, 43 (1973), pp.474-482.
- 7) 秋美先, 加藤豊文, 鎌田佳伸, 中島利誠, "人體と着衣との間の微氣候に及ぼす空氣層厚さの効果", *繊維學會誌*, 50(7), (1994), pp.298-305.
- 8) 추미선, "개구부를 통한 의복의 환기 양상에 관한 이차원 모델의 수치해석", *한국생활환경학회지*, 제3권 제1호 (1996), pp.27-36.
- 9) G. W. Crockford, M. Crowder and S. P. Prestidge, "A trace gas technique for measuring clothing microclimate air exchange rates", *Brit. J. Industr. Med.*, 29 (1972), pp.378-386.

II. 수치해석

수치해석은 trace gas법⁹⁾을 바탕으로 행하였다. 즉 의복의 개구부를 막고 의복내 미환경의 공기를 질소로 치환한 다음 개구부를 개방하여 개구부 개방과 함께 대기 중의 산소가 의복내 미환경으로 확산되는 형태 및 확산 속도를 환경온도를 변화시켜 조사하였다. 수치해석은 다음과 같은 가정하에서 행하여졌다.

- 1) 현상은 2차원으로 한다.
- 2) 유체는 비압축성 뉴턴 유체로 한다.
- 3) 기체의 출입은 직لول을 통해서는 일어나지 않고 개구부를 통해서만 일어난다.
- 4) 부력항에서 밀도만 온도의 함수이며 다른 물성치는 일정하다(Boussinesq 근사).

1. 해석모델

해석에 이용한 모델은 2차원의 형상으로 <Fig. 1>에 나타난 바와 같다. 이것은 상의의 소매에서 길에 이르는 3차원의 공기층을 2차원으로 단순화한 것이다. 이때, 공기층의 두께는 3cm로 일정하게 두었으며, 손목부위와 허리부위의 개구부는 3cm, 목부위의 개구부는 2cm로 설정하였다.

2. 지배방정식

이전에 이용한 식은 각각 질량, 운동량, 에너지 방정식, 운동량 방정식, 연속 방정식, 그리고 확산 방정식 방정식이다¹⁰⁾.

연속 방정식:

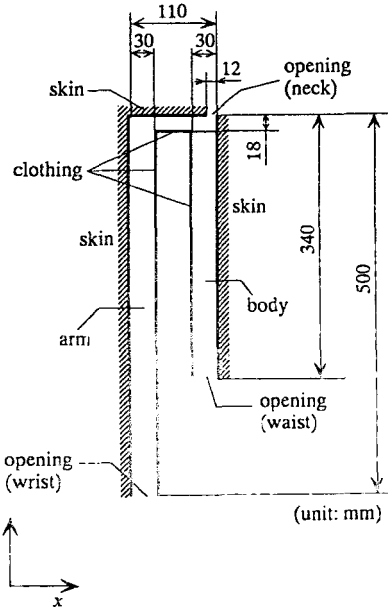
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

운동량 방정식:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \rho g \tag{3}$$

에너지 방정식:



<Fig. 1> Schematic diagram of physical system and computational domain.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \tag{4}$$

확산 방정식:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) \tag{5}$$

여기서 u 와 v 는 각각 x 방향, y 방향의 속도 성분이며, ρ 는 밀도, μ 는 점성계수, p 는 압력, g 는 중력가속도, t 는 시간, T 는 온도, a 는 열확산계수, C 는 산소농도, D 는 확산계수이다.

이상에서 나타난 지배방정식을 식 (6)과 식 (7)에 나타낸 유동함수 ψ 와 와도 ω 를 이용하여 고쳐 쓰고 무차원화하면 식 (8)에서 식 (11)을 얻을 수 있다. 식 (9)는 식 (2)와 식 (3)을 각각 x 와 y 로 교차 미분하여 압력 p 를 제거하고 무차원화한 것이다.

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = u, \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} = -v \tag{6}$$

10) 小竹進, 上方邦夫, パソコンで解く熱と流れ, (東京: 丸善, 1988), pp.1-5.

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \quad (7)$$

$$Q = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \tau} + U \frac{\partial Q}{\partial X} + V \frac{\partial Q}{\partial Y} = Pr \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial Y^2} \right) - Pr \cdot Ra \frac{\partial \theta}{\partial X} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (10)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \tau} + U \frac{\partial S}{\partial X} + V \frac{\partial S}{\partial Y} = \frac{1}{Le} \left(\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial Y^2} \right) \quad (11)$$

여기서 Pr , Ra , Le 는 각각 Prandtl수, Rayleigh수, Lewis수이다. 이들 식은 다음의 무차원수로 무차원화하였다.

$$U = uL/a, \quad V = vL/a, \quad X = x/L, \quad Y = y/L,$$

$$\tau = ta/L^2, \quad \theta = (T - T_a)/(T_s - T_a),$$

$$S = (C - C_i)/(C_e - C_i),$$

$$Pr = \nu/a, \quad Ra = g\beta\Delta TL^3/\nu a, \quad Le = a/D,$$

$$Q = \omega L^2/a, \quad \Psi = \phi/a$$

여기서 L 는 특성길이, T_a 와 T_s 는 각각 환경 온도와 피부온, C_i 와 C_e 는 각각 공기중의 산소의 초기 농도와 최종 농도를 나타내며 ν 는 동점성계수이다.

3. 경계조건

피부와 의복에서는 점착(no slip)으로 하여 경계조건을 다음과 같이 설정하였다.

$$\text{피부: } u=0, \quad v=0, \quad \phi=0, \quad T=T_s,$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0, \quad \omega = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial C}{\partial y} = 0, \quad \omega = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}$$

$$\text{의복: } u=0, \quad v=0, \quad \phi=0, \quad T=T_a$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0, \quad \omega = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial C}{\partial y} = 0, \quad \omega = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}$$

$$\text{개구부: } \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \right), \quad \frac{\partial \omega}{\partial y} = 0$$

$$V \geq 0 (\text{유입}) \text{ 일 때 } T = T_a, \quad C = C_e$$

$$V < 0 (\text{유출}) \text{ 일 때 } \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = 0$$

이때 피부온은 35°C로 일정하고, 환경 온도는 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C로 변화시켰으며, 의복 표면온은 환경 온도와 동일한 온도를 유지하도록 하였다.

4. 해석기법

차분 방정식계를 유동함수와 와도계로 표시하여 무차원화에 의해 얻은 시간 의존 방정식계를 차분법(finite difference method)을 이용하여 풀었다. 시간에 대해서는 전진차분, 공간에 대해서는 중심차분(FT-CS)을 채용하였다. 해의 안정성을 피하기 위해 대류항에는 상류차분(upwind differencing)을 적용하였다. 또한 식 (8)에 대해서는 SOR(Successive Over-Relaxation)법에 의해 해의 수렴을 얻었다¹¹⁾. 계산을 보다 효율적으로 하기 위해 불균일 격자를 이용하였다¹²⁾.

III. 결과 및 고찰

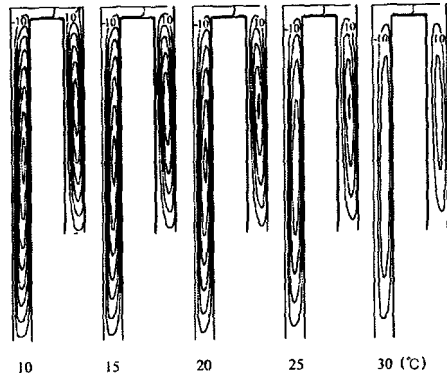
1. 의복내 미환경의 유동 및 온도와 농도 분포

의복의 환기가 개구부를 통해서만 일어날 경우 환경온도 변화에 따른 의복내 미환경의 유동 상태와 온도 분포, 산소 농도 분포를 조사하였다.

(Fig. 2)에 환경온도별 의복내 미환경의 유선을 나타내었다. 유선은 등유동 함수선으로 10간격으로 그려져 있으며, 계산 개시 후 60초에서의 결과이다. 유

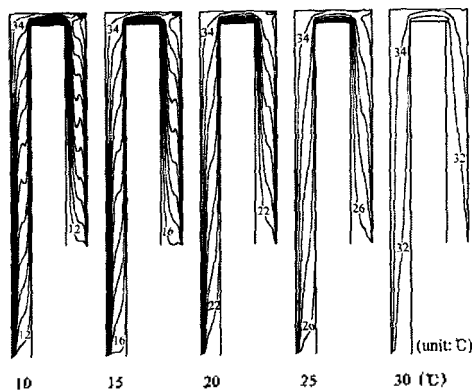
11) P. J. Roache, *Computational fluid dynamics*, (Albuquerque: Hermosa Publishers, 1972), pp.117-123.

12) 齋藤武雄, *數値傳熱學*, (東京: 養賢堂, 1989), pp.32-97.



<Fig. 2> Effect of ambient air temperature on the air flow within the microenvironment; time-60sec.

선이 밀집되어 있는 곳이 유동이 빠르다는 것을 의미한다. 의복내 미환경에서의 유동은 환경온도가 낮을수록 활발하였다. 모든 환경온도에서 몸통보다 팔의 의복내 미환경에서 빠른 유동을 나타내면서 개구부를 통해 유입된 공기는 팔과 몸통의 의복내 미환경에서 각각 독립된 거동을 하고 있는데 이것은 인체의 구조상 의복을 지지하고 있는 어깨 부위에서는 인체와 의복사이의 공기층이 매우 얇아 팔의 공기층과 몸통의 공기층에서 공기 이동이 원활하지 않기



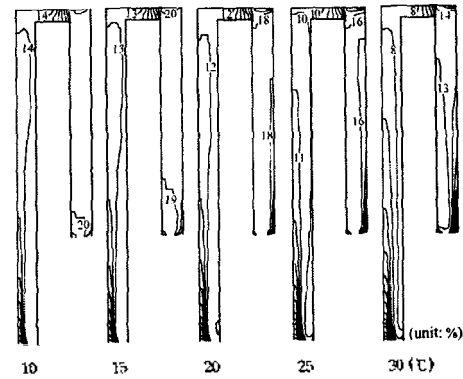
<Fig. 3> Effect of ambient air temperature on the temperature distribution within the microenvironment; time-60sec.

때문으로 분석된다.

<Fig. 3>에 환경온도별 의복내 미환경의 온도분포를 나타내었다. 온도분포는 1°C 간격의 등온선으로 그려져 있으며, 계산 개시 후 60초에서의 결과이다.

환경온도가 낮을수록 피부와 의복 부근에서 온도 경계층이 뚜렷하게 나타나고 있으며 등온선의 분포가 조밀하였다. 또한 환경온도가 낮은 경우에는 유선에서 알 수 있었듯이 활발한 유동과 함께 대류가 지배적으로 작용하고 있지만 환경온도가 높은 경우에는 전도가 지배적인 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 실시간 홀로그래피 간섭법에 의해 의복내 미환경의 온도 분포를 가시화한 결과¹³⁾와 일치하는 결과이다.

<Fig. 4>에 환경온도별 의복내 미환경의 산소 농도 분포를 나타내었다. 농도분포는 1% 간격의 등농도선으로 그려져 있으며, 계산 개시 후 60초에서의 결과이다. 의복내의 산소 농도는 소매부리, 밑단, 목부위의 개구부를 통해 환기되어 변화된다. 그러므로 산소 농도의 변화로부터 의복내의 환기 상태를 판단할 수 있다. 즉, 산소 농도의 증가가 빠를수록 환기가 잘 일어나고 있음을 의미한다. 개구부로부터 유입된 산소는 피부온과 환경온도의 차이가 가장 큰 환경온도 10°C에서 가장 높은 농도 분포를 보이면서 의복



<Fig. 4> Effect of ambient air temperature on the oxygen concentration distribution within the microenvironment; time-60sec.

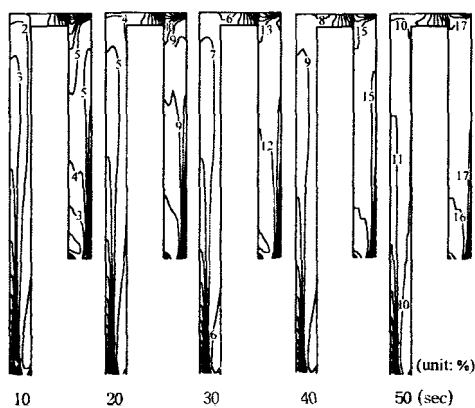
13) M. S. Chu, "Experimental and numerical analyses of clothing microclimate", Doctoral Thesis, (Tokyo : Ochanomizu University, 1994).

내의 공기층으로 빠르게 확산되고 있어 의복의 환기가 환경의 온도에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 그러므로 기온 변화에 대응하여 쾌적한 의복 내 미기후를 형성하려면 의복의 환기가 적절히 제어 될 수 있는 의복 착용 방법이 요구된다는 것을 알 수 있다.

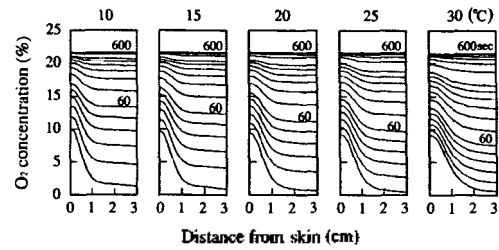
2. 의복내 미환경의 산소 확산 형태

의복내 미환경에서 산소 농도의 확산 형태를 알고자 먼저 시간 경과에 따른 확산 거동의 변화를 조사하여 <Fig. 5>에 나타내었다. 환경온도가 20°C인 경우 10초, 20초, 30초, 40초, 50초에서의 산소 농도 분포로 1% 간격으로 그려져 있다. 소매부리, 몸통, 목부위의 개구부를 통해 유입된 산소는 개구부 부근에서 고농도 영역을 보이면서 시간 경과와 더불어 피부를 따라 의복내 미환경으로 차츰 확산되어 가는 양상을 나타내었다.

환경온도에 따라 의복내 미환경의 확산 형태의 차이를 조사하여 <Fig. 6>에 나타내었다. 소매부리로부터 4cm 떨어진 곳에서 피부에서부터 의복에 이르는 공기층의 횡단면에서의 산소 농도 변화를 나타낸 것으로 가로축은 피부로부터의 거리, 세로축은 산소 농도이다. 곡선상의 수치는 시간을 나타낸다. 등농도 선은 시간경과와 더불어 상향으로 이동하며 산소 농도가 증가하는 양상을 나타내었다. 의복내의 확산 형태의 특징을 살펴보면 어느 환경온도에서나 피부



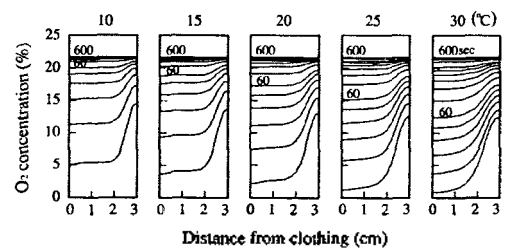
<Fig. 5> Change in oxygen concentration within the microenvironment with time.



<Fig. 6> Difference among the diffusion types within the microenvironment of the arm by ambient air temperature. Numbers on curves indicate time in second.

부근에서 초기에 산소 농도가 높아 수평 방향의 농도차가 크게 나타났으나 시간 경과와 더불어 차츰 수평 방향의 농도차가 적어지면서 대기 상태에 이르렀다. <Fig. 5>의 산소 확산 거동에서도 알 수 있듯이 피부 부근에서 산소 농도가 빠르게 증가하는 것은 소매부리를 통해 유입된 찬 공기가 피부온에 의해 따뜻해져 피부를 따라 상승하는 기류 때문으로 생각된다. 대기 상태에 달하는 시간은 환경온도가 낮을수록 짧았다.

<Fig. 7>은 동일한 하향 개구부인 밑단에서부터 4cm 떨어진 곳에서 피부에서 의복에 이르는 공기층의 횡단면에서의 산소 농도 변화를 나타낸 것이다. 가로축은 의복으로부터의 거리, 세로축은 산소 농도이다. 팔에서와 마찬가지로 모든 환경온도에서 피부를 따라 상승하는 기류의 영향으로 피부 부근에서 빠른 농도 증가를 보이면서 환기가 원활하게 이루어지고 있다. 이 현상은 환경온도가 낮아 의복내 미환경에

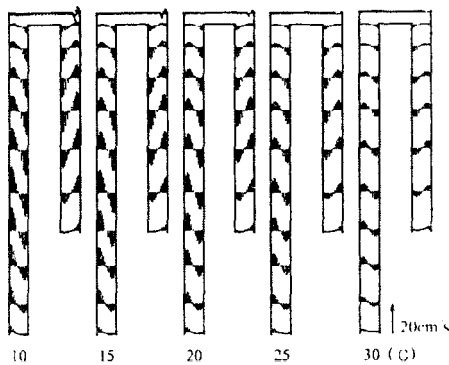


<Fig. 7> Difference among the diffusion types within the microenvironment of body by ambient air temperature. Numbers on curves indicate time in second.

서 대류가 지배적으로 작용하는 경우에 더욱 현저하게 나타났다. 팔의 미환경에 비해 산소 농도가 빠르게 증가하였으며 특히 환경온도가 낮은 경우에 현저하였다. 또한 환경온도가 낮을수록 산소 농도 증가 속도가 빨라 피부온과 환경온도의 차이가 큰 환경 온도 10°C 인 경우에는 60초에서 산소 농도가 거의 대기 상태에 달하여 빠른 환기 양상을 나타내었으나, 피부온과 환경온도의 차이가 작은 환경 온도 30°C에서는 60초에서 의복 부근에서만 반감기에 달했을 뿐 환기가 매우 느린 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 의복내의 속도 벡터에서도 확인할 수 있다.

<Fig. 8>에 의복내 미환경에서의 속도 벡터를 인체 부위별로 나타내었다. 속도 벡터는 의복내 미환경의 공기 유동 속도의 크기와 방향을 나타내며, 그림의 바깥쪽에 표시한 수직의 화살표가 20cm/sec의 크기를 나타낸 것으로 이와 동일한 비율로 축척되어 있다. 계산 개시 후 60초에서의 결과이다.

의복내 미환경의 속도 벡터는 팔과 몸통에서 모두 수직 기류가 우세한 양상을 나타내었다. <Fig. 6>과 <Fig. 7>에서 나타낸 의복내의 농도 확산 양상에서 수평방향으로의 농도 확산보다 수직 방향으로의 농도 확산이 더 활발하게 일어나고 있는 것은 이 수직 기류 때문이라 판단된다. 한편, 환경온도에 따른 속도 벡터의 차이는 환경온도가 낮을수록 전반적으로 속도 벡터가 크고, 상향으로 개방된 목부위의 개구부를 통해 의복내의 공기가 빠르게 유출되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 특히 한랭 환경에서



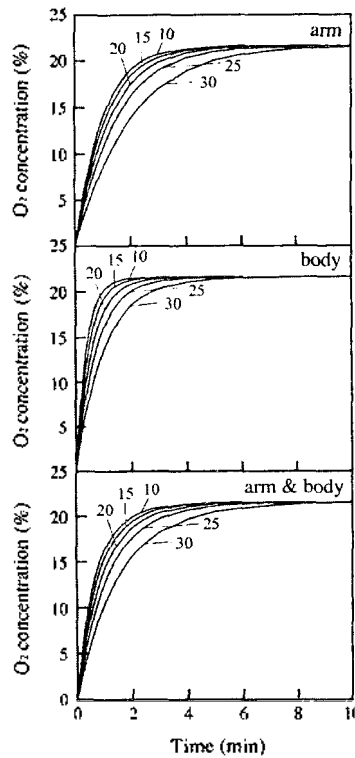
<Fig. 8> Difference among the flow patterns within the microenvironment by ambient air temperature.

는 상향 개구부를 통해 유출되는 공기를 제한할 수 있는 의복 디자인과 착용 방법이 개발되어야 한다는 것을 알 수 있다.

3. 인체 부위별 의복내 미환경의 환기 속도

환경온도에 따라 의복내 미환경에서 인체 부위별로 평균 산소 농도 변화를 조사하여 <Fig. 9>에 나타내었다. 그림은 각각 팔, 몸통 그리고 의복내 미환경 전체에서 평균 산소 농도의 시간 변화이다.

미환경 전체에서의 평균 산소 농도를 살펴보면, 모든 환경온도에서 초기에 급격한 농도 증가를 보이면서 시간 경과와 더불어 산소 농도가 증가하였다. 환경온도가 낮을수록 산소 농도 증가가 빠르며 환기가 양호하게 일어났는데, 그 속도는 피부온과 환경온도의 차이에 비례하지 않고 온도차가 가장 작은 30°C의 경우에는 25°C에 비해 현저히 낮은 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 피부온과 환경온도의 차



<Fig. 9> Effect of ambient air temperature on change in mean oxygen concentration within the microenvironment.

이가 클수록 대류에 의한 열 손실이 증대하지만¹⁴⁾ 차가 작은 경우에는 전도가 지배적으로 작용하기 때문이라 생각한다. 그러므로 피부온에 가까운 서열 환경에서는 개구부를 통한 환기뿐만 아니라 통기성이 우수한 재질을 사용하여 직물을 통한 환기를 증대시키고, 피부 면적을 조정하는 등 인체로부터 환경으로의 열방산이 의복으로 방해받지 않도록 착용 방법에 각별히 유의해야 한다는 것을 알 수 있다.

팔과 몸통의 의복내 미환경에서의 평균 산소 농도를 살펴보면, 환경온도가 10°C인 경우 가장 급격한 온도 증가 기울기를 모이면서 빠르게 농도가 증가하여 팔에서는 5분 50초에, 몸통에서는 3분에 대기 상태에 달하였다. 한편 피부온과 환경온도의 차이가 작은 30°C인 경우에는 가장 완만한 기울기를 보이면서 농도가 증가되는 양상을 나타내었으며, 대기 상태에 달한 시간도 팔에서는 10분 이상이 걸렸으며, 몸통에서는 7분 40초가 걸려 다른 환경온도에 비해 느린 것을 알 수 있다. 앞서 살펴보았던 유동 상태에서는 몸통에 비해 팔의 의복내 미환경에서의 유동이 더 활발한 것으로 조사되었으나 산소 농도의 증가 속도가 모든 환경 온도에서 몸통에서 오히려 더 빠르게 나타난 것은 비록 유동은 빠르지만 팔의 의복내 미환경에는 몸통에 비해 교환되어야 할 공기의 양이 많기 때문으로 분석된다. 이것은 Crockford 등¹⁵⁾과 Shiver 등¹⁶⁾이 의복내 미환경의 공기량이 많으면 환기에 필요한 시간이 길어진다고 하여 공기량이 환기속도에 영향을 미친다고 보고한 것과 일치하는 결과이다. 또한, 팔의 미환경에서 환기를 필요로 하는 공기량은 많지만 목부위의 개구부를 통해 유출되는 공기가 적고 대부분이 하향 기류를 따라 흘러 내려와 소매부리를 통해서 유출되는 반면 몸통의 경우에는 밀단과 마주보며 상향으로 목부위의 개구부가 있어 이들 개구부에서 굴곡효과가 발생하여 환기가 더욱 촉진되기 때문으로 분석된다.

IV. 결 론

인체와 의복 사이의 공기층을 나타내는 2차원의 모델을 이용하여, 의복의 환기가 개구부를 통해서만 일어날 경우에 환경온도 변화에 따른 환기 양상의 차이를 수치 해석에 의해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인체와 환경과의 온도차가 클수록 의복내 미환경에서 온도 경계층이 뚜렷하게 나타났다.
2. 환경온도가 낮을수록 의복내의 유동이 활발하였으며, 산소 농도가 대기 상태에 달하는 시간도 빨랐다.
3. 환경온도가 낮은 경우에는 대류가 지배적이지만 높은 경우에는 전도가 지배적이었다.
4. 의복내의 유동은 몸통보다 팔의 미환경에서 더 빨랐지만 환기 속도는 몸통의 미환경에서 더 빠르게 나타났다.

참고문헌

- 유화숙, 김은애 (1996). 의복재료와 개구부의 요인이 의복내 미세기후에 미치는 영향, *한국의류학회지*, 제20권 제6호.
- 추미선 (1996). 개구부를 통한 의복의 환기 양상에 관한 이차원 모델의 수치해석, *한국생활환경학회지*, 제3권 제1호.
- 추미선, 中島利誠 (1997). Trace gas법에 의한 의복의 환기 양상의 평가, *한국의류학회지*, 제21권 제8호.
- 小竹進, 土方邦夫 (1988). *パソコンで解く熱と流れ*, 東京: 丸善.
- 齋藤武雄 (1989). *數値傳熱學*, 東京: 養賢堂.
- 秋美先, 加藤豊文, 鎌田佳伸, 中島利誠 (1994). 人體と着衣との間の微氣候に及ぼす空氣層厚さの効果, *纖維學會誌* 50(7).
- 中山昭雄 (1983). *溫熱生理學*, 東京: 理工學社.

14) 추미선, 中島利誠, "Trace gas법에 의한 의복의 환기 양상의 평가", *한국의류학회지*, 제21권 제8호 (1997), pp.1387-1395.

15) G. W. Crockford, M. Crowder, and S. P. Prestidge, "A trace gas technique for measuring clothing microclimate air exchange rates", *Brit. J. Industr. Med.*, 29 (1972), pp.378-386.

16) J. L. Shiver, K. Yeh, L. Fourt and S. M. Spivak, "The effects of design and degree of closure on microclimate air exchange in lightweight cloth coats", In *Clothing Comfort*, Ed. by N. R. S. Hollies and R. F. Goldman, (Ann Arbor: Ann Arbor Science Pub., 1977), pp.167-181.

- Chu, M. S. (1994) Experimental and numerical analyses of clothing microclimate, Doctoral Thesis, Tokyo: Ochanomizu University.
- Crockford, G. W., Crowder, M. and Prestidge, S. P. (1972). A trace gas technique for measuring clothing microclimate air exchange rates, *Brit. J. Industr. Med.*, 29.
- Lotens, W. A. and Havenith, G. (1988). Ventilation of rainwear determined by a trace gas method. In *Environmental Ergonomics*. Ed. by Mekjavic, I. B., Banister E. W. and Morison, J. B. Taylor & Francis.
- Havenith, G., Heus R. and Lotens, W. A. (1990). Clothing ventilation, vapour resistance and permeability index: Changes due to posture, movement and wind, *Ergonomics*. 33(8).
- Reischl, U. (1980). Assessment of ventilation characteristics of standard and prototype firefighter protective clothing, *Textil. Res. J.*, 50.
- Roache, P. J. (1972). *Computational fluid dynamics*. Albuquerque: Hermosa Publishers.
- Shiver, J. L., Yeh, K., Fourn, L. and Spivak, S. M. (1977). The effects of design and degree of closure on microclimate air exchange in lightweight cloth coats. In *Clothing Comfort*. Ed. by Hollies, N. R. S. and Goldman, R. F. Ann Arbor: Ann Arbor Science Pub.
- Sullivan, P. J., Mekjavic, I. B. and Kakitsuba, N. (1987). Ventilation index of helicopter pilot suits, *Ergonomics*, 30.
- Vokac, Z., Kópke, V. and Keřil, P. (1973). Assessment and analysis of the bellows ventilation of clothing, *Textil. Res. J.*, 43.