

## 침대 매트리스의 미환경을 위한 수치해석적 연구

지 명 국<sup>†</sup>, 배 철 환, 신 제 호, 정 효 민<sup>\*</sup>, 추 미 선<sup>\*\*</sup>, 정 한 식<sup>\*</sup>

경상대학교 정밀기계공학과, <sup>\*</sup>경상대학교 수송기계공학부·해양산업연구소, <sup>\*\*</sup>경상대학교 의류학과

### Study on the Numerical Analysis for Microenvironments in Bed Mattress

Myoung-Kuk Ji<sup>†</sup>, Chul-Whan Bae, Jae-Ho Chin, Hyo-Min Jeong<sup>\*</sup>, Mi-Seon Chu<sup>\*\*</sup>,  
Han-Shik Chung<sup>\*</sup>

Graduate School, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

<sup>\*</sup>Department of Transport Vehicle Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Clothing and Textiles, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

(Received July 26, 2000; revision received November 27, 2000)

**ABSTRACT:** This paper represents the numerical analysis for microenvironments various temperature and humidity in bed mattress. The purpose of this study is for healthful bed mattress by controlling a bacteria with a prediction of the vapor and temperature distributions in the bed mattress. The numerical model is one dimensional unsteady state and the governing equations were discretized by fully implicit scheme. The numerical results were compared with experimental data, and showed a good agreement with them. Specially, the excess-relative humidity shows a lower distribution near the surface of mattress, meaning that the optimum living condition for bacteria will be caused.

**Key words:** Microenvironments(미환경), *D. Farinae*(진드기), Excess relative humidity(과습도), Numerical analysis(수치해석), Bed mattress(침대 매트리스)

#### 기 호 설 명

$c_e$  : 유효 열용량 [J/kg · K]

$D_{TT}$  : 온도구배에 의한 열확산계수 [ $m^2/s$ ]

$D_{TV}$  : 수분구배에 의한 열확산계수  
[ $m^2 \cdot K/s \cdot Pa$ ]

$D_{VT}$  : 수분구배에 의한 수분확산계수 [ $m^2/s$ ]

$D_{VV}$  : 온도구배에 의한 수분확산계수  
[ $m^2 \cdot K/s \cdot Pa$ ]

$h_{vs}$  : 흡수 잠열 [J/kg]

$U$  : 수분용량,  $\frac{m_v}{m_d}$  [kg/kg]

( $m_d$ : 건질량,  $m_v$ : 증기질량)

$a_v$  : 열확산계수,  $\frac{dU}{dT}$  [kg/kg · K]

$\chi$  : 열전도율 [W/m · K]

$\mu$  : 증기침투율 [kg/m · s · Pa]

$\mu_T$  : 열 수분확산계수 [kg/m · s · K]

$\rho_d$  : 건밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

#### 1. 서 론

현대 문명과 산업의 발달, 국제화 사회의 영향 등으로 인해 현대인의 사회 참여도가 더욱 높아

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-55-646-4766; fax: +82-55-640-3188

E-mail address: mkji73@intizen.com

침에 따라 많은 사람들이 부자연스러운 환경에서 생활하게 되고 있다. 따라서 하루생활의 1/3을 차지하는 수면의 중요도가 점차로 증가되고 있는 실정이다. 이에 쾌적하고 안락한 수면을 유지할 수 있는 실내 온열환경과 침구류에 대한 기초 연구의 필요성이 대두되고 있다.<sup>(1)</sup> 온도, 습도 등과 같은 실내외의 환경변화에 따른 각종 구조물(벽체, 실내의 각종 기구: 침대, 카펫 등)의 열 및 수분 수송의 현상을 수치해석하여 보다 고효율의 에너지 이용의 효과를 달성하기 위하여 많은 노력이 행해지고 있다. 이에 국외의 수많은 에너지 시뮬레이터<sup>(2)</sup>가 개발되고 있으나 이는 주로 실내외의 벽체에 관한 수치해석이 대부분<sup>(3-5)</sup>이며 특히 온도의 특성 변화에 많은 중점을 두고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 온도는 물론이고 수분의 분포도 정확히 예측할 수 있는 시뮬레이터를 개발하여 적절한 외부 환경에 대하여 침구류 또는 벽체 내부의 수분 분포를 예측함으로써 최적의 세균 서식의 근본을 제어할 수 있는 방안을 제시하여 소극적인 쾌적환경의 추구에서 벗어나 보다 적극적인 방안을 확립하고자 한다.

2. 지배 방정식 및 수치계산법

지금까지의 많은 연구자는 주로 온도의 비정상 계산을 주로 하여 왔지만 본 연구에서는 이 온도의 변화와 더불어 외기상의 습도(수분) 변화에 대하여 실내의 각종 구조물에 대한 온도 및 습도의 분포를 해석함으로써 보다 쾌적한 환경의 실현을 위한 기본 자료를 축적할 수가 있다. 벽체 또는 임의의 물체에 대한 미환경(microenvironments)을 조사하기 위하여 수치계산을 행한다. 이에 대한 비정상 1차원 열 및 수분의 확산 방정식은 다음<sup>(6)</sup>과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{TT} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{TV} \frac{\partial P_v}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial P_v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{VT} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{VV} \frac{\partial P_v}{\partial x} \right) \quad (2)$$

여기서 4개의 확산계수들은 다음과 같이 정의된다.

$$D_{TT} = \frac{(k + \mu_T h_{vs})}{\rho_d c_e} \quad (3)$$

$$D_{TV} = \frac{h_{vs} \mu}{\rho_d c_e} \quad (4)$$

$$D_{VT} = \frac{\mu_T}{\rho_d C_v} - \frac{\alpha_v}{C_v} \frac{(k + \mu_T h_{vs})}{\rho_d c_e} \\ = \frac{\mu_T}{\rho_d C_v} - \frac{\mu_T}{\mu} D_{TT} \quad (5)$$

$$D_{VV} = \frac{\mu}{\rho_d C_v} - \frac{\alpha_v}{c_e} \frac{h_{vs} \mu}{\rho_d c_e} \\ = \frac{\mu}{\rho_d C_v} - \frac{\alpha_v}{c_v} D_{TV} \quad (6)$$

시간에 대한 이산화 방정식은 많으나 여기서는 주로 시간 간격이 일일 또는 며칠간의 계산을 하므로 이를 위하여서는 최소한 1시간 시간간격 ( $\Delta t$ )을 필요로 하므로 시간 간격을 크게 하여도 발산하지 않는 방법을 취하여야 한다. 따라서 본 계산에 있어서는 비정상항의 처리는 완전 음해법<sup>(7)</sup>으로 이산화<sup>(8)</sup>를 하였다. 그리고 각 계산시의 수렴조건은 본 계산의 경우 24시간대의 온·습도 분포이므로 7일간 수치계산을 행하여 온·습도 차이가 0.001% 이하인 경우에 수렴하게 하였다.

Fig. 1은 본 시뮬레이터의 신뢰성을 확인하기 위하여 비교대상인 실험모델과 동일한 형태로 구성된 모델로서 두 개의 층으로 이루어졌으며, 초기조건 및 경계조건은 실험결과<sup>(6)</sup>의 조건과 동일하게 가정하여 비교 검토하였다.

본 수치해석시의 경계조건은 Fig. 1에 나타낸 매트리스의 상부와 하부면의 온도와 습도를 사용하였다. 본 계산시 매트리스의 계산조건은 오후 12시부터 익일 오전 8시까지의 8시간에 대하여서는 매트리스의 상부(34°C, 40%)를 사용하고 있는 것으로 하여 계산을 수행하였다.

Fig. 2는 보다 일반적인 침대 매트리스에 대한 수치해석 모델의 개략도를 나타내고 있다. 본 연

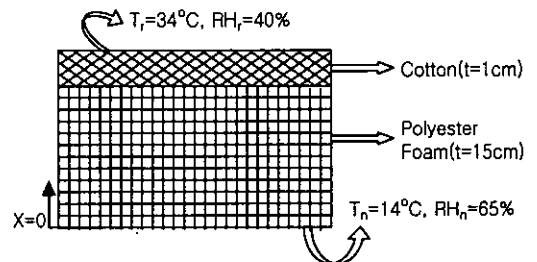


Fig. 1 Schematic diagram of mattress model 1.

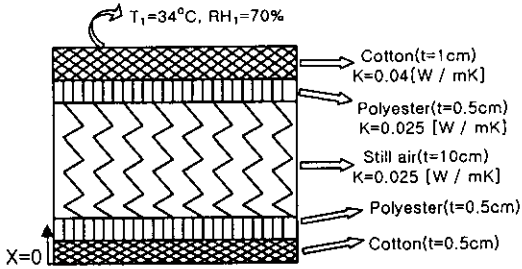


Fig. 2 Schematic diagram of numerical model 2.

Table 1 Calculation conditions

Cal. Conditions (Bed Mattress) T and Rh	Cal. Conditions (Room) T and RH <sub>i</sub>
34°C, 70%(summer season)	30°C, 70%
34°C, 70%(winter season)	20°C, 40%

\* T: Temperature, RH<sub>i</sub>: Relative Humidity.

구에 사용된 모델은 5층으로 구성되며 여름철의 실내온도가 비교적 고온이고, 다습한 환경과 겨울철의 저온, 저습한 환경으로 나누어 수치계산을 하였다. 각 조건은 Table 1에 표시하였다. 그리고 매트리스의 상부에는  $T_1=34^\circ\text{C}$ ,  $RH_1=70\%$ 로 일정하게 하였다. 이것은 침대 매트리스 상부에 인체가 존재하는 것으로 가정하였다.

### 3. 수치해석 결과 및 고찰

Fig. 3은 침대 매트리스에 서식하는 세균 중의 하나인 진드기에 관한 임계 평형 습도를 나타낸

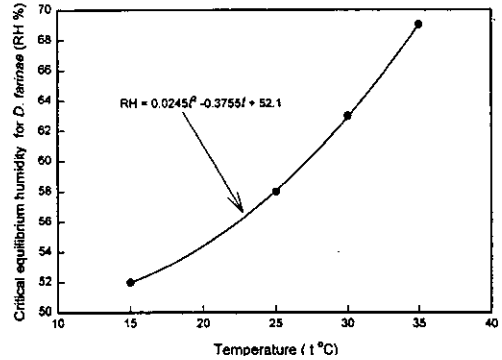


Fig. 3 Critical equilibrium humidity for *D. farinae*.<sup>(6)</sup>

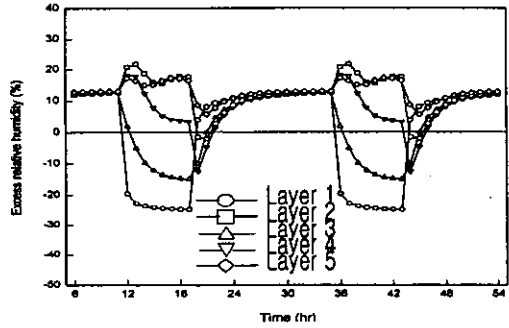
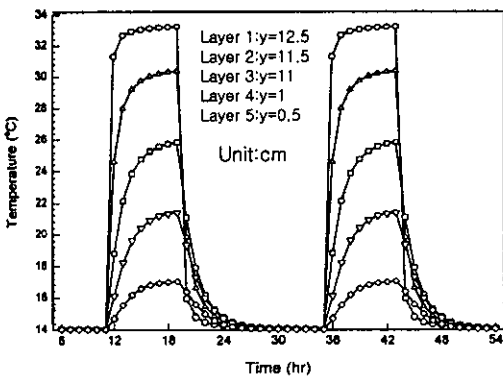
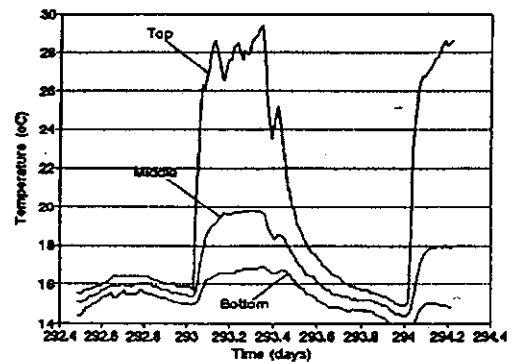


Fig. 4 Numerical results for excess relative humidity distribution in Model 1 mattress.

다. 이로부터 세균은 적절한 온도 및 습도의 환경이 주어지면 급속도로 번식의 가능성을 보여주는 것으로서 과습도(excess relative humidity)의

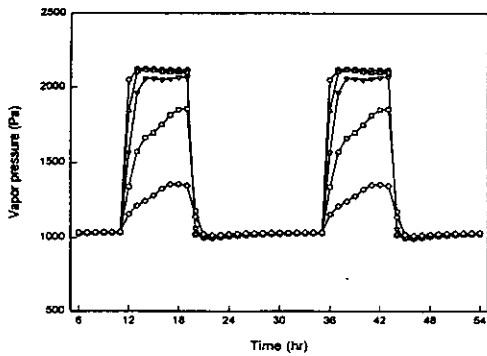


(a) Numerical results

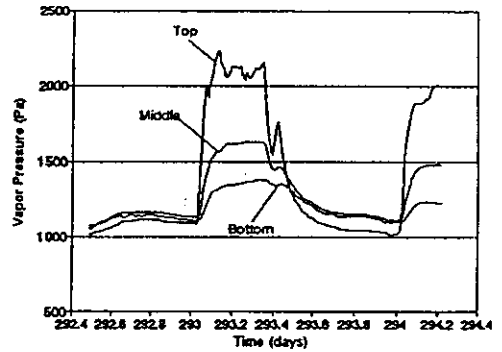


(b) Experimental results<sup>(6)</sup>

Fig. 5 Temperature distributions in Model 1 mattress.

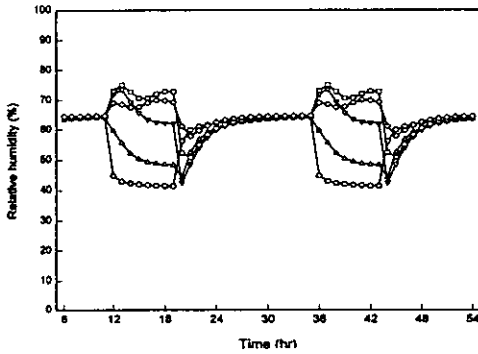


(a) Numerical results

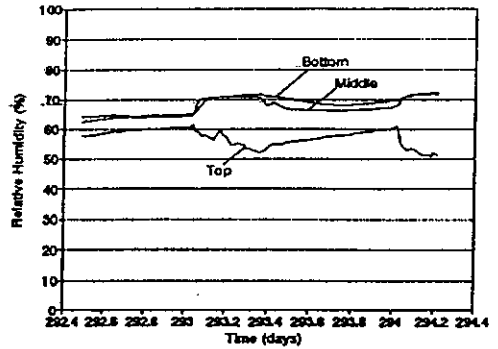


(b) Experimental results<sup>(6)</sup>

Fig. 6 Vapor pressure distributions in Model 1 mattress.



(a) Numerical results



(b) Experimental results<sup>(6)</sup>

Fig. 7 Relative humidity distributions in Model 1 mattress.

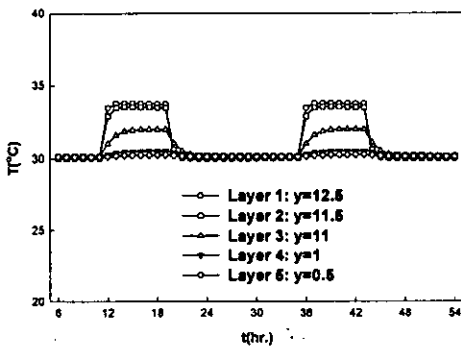


Fig. 8 Temperature distributions in numerical model 2 with room condition 30°C and 70%.

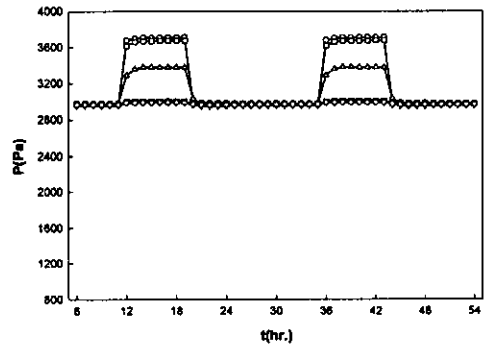


Fig. 9 Vapor pressure distributions in numerical model 2 with room condition 30°C and 70%.

기준치가 된다. 이들 2개의 실험과 계산은 비교적 24시간대의 온·습도 분포를 어느 정도 정확히 예측함을 알 수 있다. 그림들은 각각 온도, 수

증기압, 상대습도 및 과습도 분포를 나타내고 있다. Fig. 4에서 Fig. 15까지의 그림에서 층들의 치수는 침대 매트리스 각 층들의 중앙지점의 거

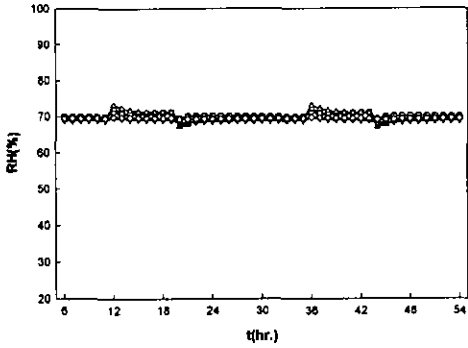


Fig. 10 Relative humidity distributions in numerical model 2 with room condition 30°C and 70%.

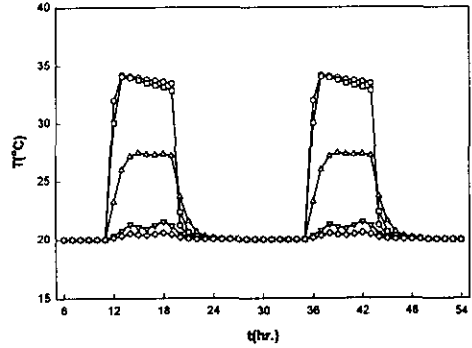


Fig. 12 Temperature distributions in numerical model 2 with room condition 20°C and 40%.

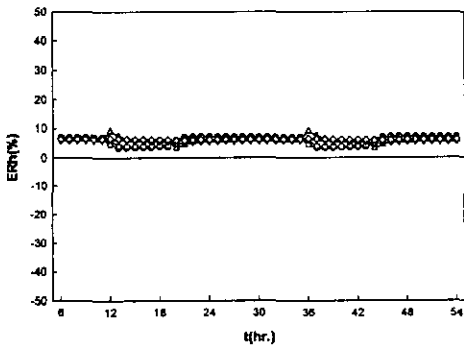


Fig. 11 Excess relative humidity distributions in numerical model 2 with room condition 30°C and 70%.

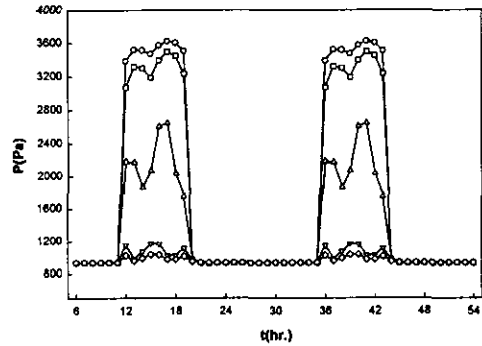


Fig. 13 Vapor pressure distributions in numerical model 2 with room condition 20°C and 40%.

리를 의미한다. Fig. 4에서 Fig. 7까지의 (a), (b)는 수치해석 결과와 실험 결과를 각각 나타내며, (b)의 그림에서 Top, Middle, Bottom은 실험모델 매트리스의 상부, 중간부, 하부를 나타낸다. 특히 Fig. 4의 과습도분포는 앞에 나타낸 Fig. 2의 진드기에 대한 습도와와의 차이를 나타낸 것으로서 매트리스의 표면 근처를 제외하고는 대부분이 진드기의 서식 가능성이 있음을 나타낸다.

Fig. 8에서 Fig. 15까지는 본 연구의 모델을 이용하여 수치해석을 행한 결과를 나타내고 있다. Fig. 8에서 Fig. 11까지는 여름철 30°C, 70%의 경우 온도분포를 나타내는 그림으로서 침대를 사용하기 시작하는 시간부터 익일 오전 8시까지의 온도, 수증기압, 습도, 과습도의 분포가 초기 경계조건에 따라 변화하는 것을 알 수 있다. 특히 Fig. 11의 과습도 분포는 매트리스 모든 부분에

서 양의 값을 보이고 있다. 이는 진드기의 서식 환경이 갖추어지는 것으로 세균의 서식이 예상된다.

Fig. 12에서 Fig. 15까지는 20°C, 40%인 경우의 그림들로서 앞의 여름철의 그림들과 마찬가지로 침대를 사용하는 시간에서는 각각의 성분들이 경계조건에 따라 변화하는 것을 알 수 있다. 이들은 침대를 사용하는 시간에는 인체에서 발생하는 열과 수분의 영향으로 온도와 수분의 분포, 그리고 증기압의 수치들이 각 경계조건에 주어진 조건에 따라 일정하게 변화하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 15의 과습도 분포는 매트리스의 두번째 층과 세번째 층을 제외한 층들은 음수의 값을 나타내고 있다. 이는 세균의 서식이 일어날 수 없는 환경으로서 진드기의 번식이 없는 구간이다. 그러나, 두번째와 세번째의 층에서는 겨울철이라

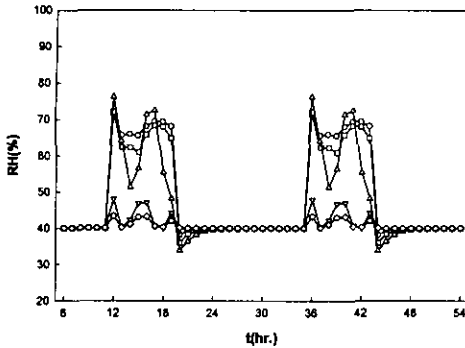


Fig. 14 Relative humidity distributions in numerical model 2 with room condition 20°C and 40%.

하더라도 세균의 서식이 예상되는 구간으로서 이때의 환경만 피한다면 진드기의 발생을 억제할 수 있다.

### 3.1 온도의 분포 특성

침대를 사용하기 시작하는 12시 이전인 11시 부근부터 매트리스의 온도가 포물선의 곡선을 유지하며 급격히 상승하다가 매트리스의 사용이 중지되는 익일 오전 8시에는 온도가 급격히 하강하는 현상을 보였다. 특히 매트리스의 상부층 즉, 인체가 접촉하는 면에서는 인체의 온도 영향이 커서 높은 온도를 보이고 있으나 매트리스의 하부에는 그다지 인체의 영향이 크지 않음을 알 수 있다.

### 3.2 습도의 분포 특성

매트리스 상부의 인체가 작동하는 시각(12시)부터 수증기압 분포가 급격히 상승하고 있으며, 전체적인 분포는 온도와 유사한 분포를 하고 있다. 그러나 상대 습도의 경우는 매트리스의 상부 표면 근처에서는 낮은 습도 분포를 보이고 있다.

특히 여름철의 경우에는 매트리스의 전단면에서 과습도가 크게 증가하여 진드기 세균의 번식 가능성이 크다. 그러나 겨울철의 경우에는 매트리스의 중앙부의 일부분에서 진드기의 세균이 존재할 수 있음을 알 수 있다. 즉 과습도가 양수인 영역의 매트리스에서는 세균의 서식이 왕성할 수 있는 가능성을 암시하므로 주의할 요한다. 다시

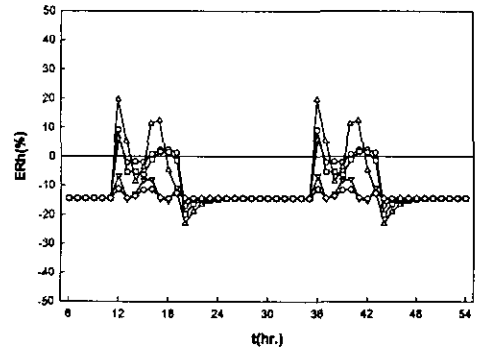


Fig. 15 Excess relative humidity distributions in numerical model 2 with room condition 20°C and 40%.

말하면 여름철의 경우는 매트리스 전부분에 걸쳐 세균 및 진드기, 그리고 각종 진드기류의 서식의 가능성이 강하게 나타남을 알 수 있다. 그리고 겨울철의 경우는 저온, 저습의 환경이므로 매트리스 전부분이 아닌 일부분(최상부층의 cotton 부분과 polyester, 그리고 still air 부분)에서 세균 및 각종 진드기류의 서식의 가능성이 나타나고 있다. 결국, 매트리스는 온도와 습도의 분포 특성에 따라서 매트리스 내부의 환경이 크게 달라질 수 있는 것을 의미한다.

## 4. 결 론

모델 2의 매트리스를 가정하고 대표적으로 여름철과 겨울철에 대하여 온·습도에 관한 수치해석을 행한 결과 온·습도를 동시에 수치 계산함으로써 미환경의 기초자료를 도출하였고, 실험치와 비교한 결과 본 연구에서 개발한 온·습도 시뮬레이터의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

따라서 본 수치 모델의 경우 하계절에는 진드기를 비롯한 각종 세균의 번식이 예상되는 것을 알 수 있었다. 아울러 실제로 침대에 서식하는 각종 세균에 대한 생물학적 서식환경의 확보도 아울러 필요하다.

## 후 기

본 논문은 2000년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었습니다. 관계자에게 깊은 감사를 표합니다.

참고문헌

1. Im, E. S., Kim, J. S., Choi, H. S., Im, J. J., Kim, D. G. and Bae, D. S., 2000, The thermal environment on sleep in summer, Proceedings of SAREK, pp. 571-575.
2. Tsongas, G., 1995, A parametric study of wall moisture contents using a revised variable indoor relative humidity version of the MOIST transient heat and moisture transfer model, Proceeding of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VI, Clearwater Beach, Florida, USA, pp. 307-319.
3. Kerestecioglu, A. A., 1986, The detailed mathematical prediction of simultaneous heat and mass transfer in cavities, Doctor Thesis, Florida Institute of Technology.
4. Van Gerpen, J. H. and Shapiro, H. N., 1985, Analysis of slab-heated buildings, Trans. of ASHRAE, Vol. 91, Part 2A, pp. 473-487.
5. Cunningham, M. J., 1992, Effective penetration depth and effective resistance in moisture transfer, Building and Environment, Vol. 27, pp. 379-486.
6. Ross, C. J. and Spolk, G. A., 1998, Numerical modelling of indoor microenvironments, Building Research Association of New Zealand, Report No. 85054.
7. Numerical Fluid Engineering, 1995, Published by Tokyo University, Japan, pp. 14-20.
8. Patankar, S. V., Numerical heat transfer and fluid flow, Taylor & Francis.