

## 연속 뜸의 열 자극에 대한 수치해석

양소라\* · 강호영\*\* · 전병진\*\*\* · 최형권\*†

\* 서울과학기술대학교 기계공학과, \*\* 서울과학기술대학교 산업대학원

\*\*\* 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과

### A Numerical Study on the Thermal Stimulation of Continuous Moxibustion

So Ra Yang\*, Ho Young Kang\*\*, Byoung Jin Jeon\*\*\* and Hyoung Gwon Choi\*†

\* Dept. of Mechanical Engineering, Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology,

\*\* Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School of Industry, Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology,

\*\*\* Dept. of Energy System, Graduate School of Energy and Environment, Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology

(Received May 6, 2011 ; Revised July 18, 2011 ; Accepted July 18, 2011)

**Key Words** : Continuous Moxibustion(연속뜸), Effective Stimulation Zone(유효자극영역), Optimal Period (최적 교체주기), Duration Time(자극 지속시간)

**초록**: 본 연구에서는 연속 뜸의 열자극 특성을 분석하기 위하여 복합대류 열전달 간이 모형을 만들어 ANSYS-FLUENT 를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 연속 뜸의 주기가 열자극 효과에 미치는 영향을 파악하기 위해서 여러 장의 뜸을 다양한 주기로 적용하였다. 수치해석을 통하여 뜸의 장수가 증가할수록 유효자극영역의 깊이가 증가하기 위해서는 교체온도가 체온과 같거나 체온보다 커야 함을 확인하였고, 뜸의 적용 수가 증가함에 따른 유효자극 영역 깊이의 증가율은 감소함을 보였다. 또한, 유효자극의 지속시간이 최대가 되는 연속 뜸의 최적의 교체 주기가 존재함을 확인하였다.

**Abstract**: In this paper, the unsteady incompressible Navier-Stokes equation coupled with energy equation was solved in order to investigate the thermal stimulation of continuous moxibustion using a commercial code (ANSYS-Fluent). In the simulations, various periods were selected for the continuous moxibustion, which was done by burning multiple disks successively. It has been found that the depth of the effective stimulation zone increases only when the replacing temperature is equal or larger than body temperature whereas the increase rate of the effective stimulation depth decreases as the number of disc increases. Further, it has been shown that the optimal period, for which the duration time of the effective stimulation zone is maximum, exists.

## 1. 서론

뜸 치료는 뜸의 연소에 의한 온열 자극이 생체에 영향을 주어 질병의 예방과 치료에 기여하는 시술 방법이다.<sup>(1)</sup> 뜸의 특성 및 효과를 알아내기 위한 다양한 연구가 매우 오랫동안 수행되어 왔으나 뜸의 열전달 특성을 공학적으로 해석하기 보다는 임상적인 연구결과에 주로 주안점을 둔 연구가 수행되었다. 김남수 등<sup>(2)</sup>은 외부에서 가해지는 과

도한 치료보다 뜸을 통하여 인체의 자연치유력을 높임으로써 증상을 개선시키는 병증별 치료법을 제시하였다. 그러나 뜸은 많은 효능을 가지고 있는 동시에 연소 시 발생하는 연기, 피부 화상 등 문제점을 가지고 있다.<sup>(3)</sup>

이건휘 등<sup>(4,5)</sup>은 이러한 문제점을 해결하고 동일한 효능을 내는 뜸을 개발하는데 도움을 주고자 단일 쑥뜸의 연소 특성에 대하여 연구하였다. 현재 임상에서 사용되고 있는 대형 뜸 및 소형 뜸을 사용하여 연소 시간, 연소 온도, 온도 구배 및 시점을 연구하였고 유효연소기간을 제안하여 상용화된 뜸의 자극량과 질을 정량화 하는 연구를 시도하였다. 한편으로, 뜸의 열전달 특성을 파악하는 연구도 진행되었다. 천영실 등<sup>(6)</sup>은 사람의 피부를

† Corresponding Author, hgchoi@soeultech.ac.kr  
© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

모사한 한천을 이용하여 땀의 열전도 특성에 대한 연구를 수행하였다. 두께가 다른 각각의 한천 위에 단일 땀을 뜨고 한천의 하단부에서의 온도 변화 및 구배를 고찰하는 실험적인 연구를 수행하였다. 또한, 단일 땀의 연구결과를 확장하여 연속 땀의 열전달 특성에 대한 연구도 진행되었다. 변혁 등<sup>(7)</sup>은 천영실 등<sup>(6)</sup>이 사용한 한천을 이용하여 연속 땀의 열전달 특성을 고찰하였다. 땀의 종류는 간접구 형식의 고전땀을 이용하였으며 땀과 피부 사이에는 생강편을 사용하였다. 한천의 각 깊이마다 열전달을 설치하여 각 깊이에서의 온도를 측정하였다. 한천 위에 땀을 올리고 연속 땀을 뜨는데, 하나의 땀의 연소가 끝날 때마다 땀과 함께 생강을 동시에 교체할 경우와 교체하지 않을 경우에 대하여 각 깊이에서의 온도분포를 고찰하였다.

Dianxiu 등<sup>(8)</sup>은 의료 치료목적으로 FITC-dextran 이라는 물질이 피부를 투과시키는데 높은 효과를 내기 위한 방법으로 연속 땀을 이용하여 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 피부를 모사하기 위해 쥐의 피부조직을 이용한 실험이 이루어졌다. 실험에 의한 연구뿐만 아니라 수치해석을 통한 연구도 진행되었다. 전병진 등<sup>(9)</sup>은 열전달과 자연대류가 연성된 문제의 비정상 수치해석을 수행하였다. 그들은 상용 단일 땀의 종이디스크의 크기에 따른 유효자극침투깊이 및 범위 등을 수치해석을 통하여 고찰하였다. 최근에서야 수치해석을 통한 땀의 열전달 거동에 대한 연구가 수행되었으나, 아직 땀에 대한 대부분의 연구는 거의 실험에 의존하는 형태이다. 실험에 의한 연구에서는 인체를 대상으로 한 땀의 열전달 특성을 파악하는 과정에서의 비용 및 임상실험의 어려움으로 인하여 인체 대용으로 사람의 피부를 모사한 한천을 이용하거나 대체 동물의 피부를 이용하였다. 하지만, 이러한 방법론은 살아있는 인체에 직접 적용되는 땀의 열전달 특성에 대한 정량적 데이터를 얻는데는 한계가 있다. 그러므로, 본 연구에서는 인체에 적용되는 연속 땀의 열전달 특성을 정량적으로 파악하고자 비정상 수치해석을 수행하고자 한다. 현재 단일 땀에 대한 연구는 많이 진행된 반면 한 부위에 반복적으로 땀을 놓아 오랜 시간 지속적으로 열적 자극을 주어 치료효과를 증진시키는 연속 땀에 대한 정량적인 데이터는 실험이나 수치해석 모두 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 피부 층에서의 연속 땀의 열전달 특성을 비정상 수치해석을 통하여 파악하였다. 연속 땀에서 땀의 최고온도, 교체온도 및 적용 횟수가 피부 내부의

유효한 자극 깊이와 지속 시간에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

## 2. 수치해석 방법

### 2.1 지배 방정식의 해법

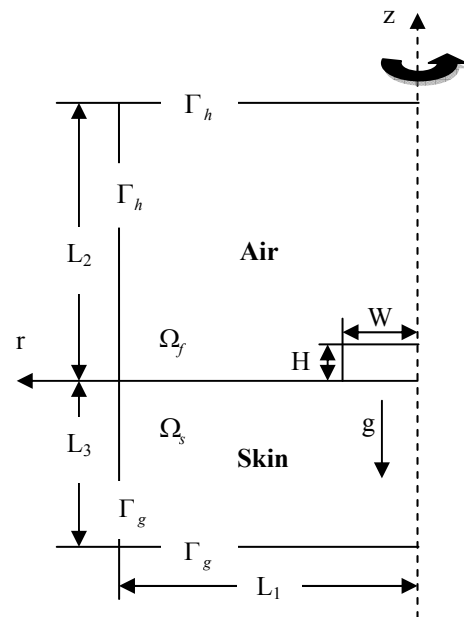
자연대류를 포함한 복합열전달을 고려한 연속 땀의 열전달 특성을 파악하기 위한 지배방정식은 축대칭 비정상 2 차원 비압축성 Navier-Stokes 방정식, 연속방정식 및 에너지방정식이다. 열전달은 피부 내에서는 전도방정식을 공기 층에서는 자연대류를 고려한 대류-전도 방정식을 해석하였다. 지배방정식의 해법을 위해서 ANSYS-Fluent 에서 제공하는 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 시간 이산화는 2 차 정확도 내재적 방법을 사용하고 대류항 공간 차분은 2 차 정확도의 상류도식을 사용하였다.

**Table 1** Dimensions of the computational domain

L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	W(mm)	H(mm)
100	100	50	6	3

**Table 2** Material properties of air, skin and paper disk

Property	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Specific heat (J/kg·K)	Thermal conductivity (W/m·K)
air	1.225	1006.43	0.0242
skin	1000	4200	0.35
paper	930	1340	0.18



**Fig. 1** Schematic of unsteady simulation of the conjugate heat transfer problem

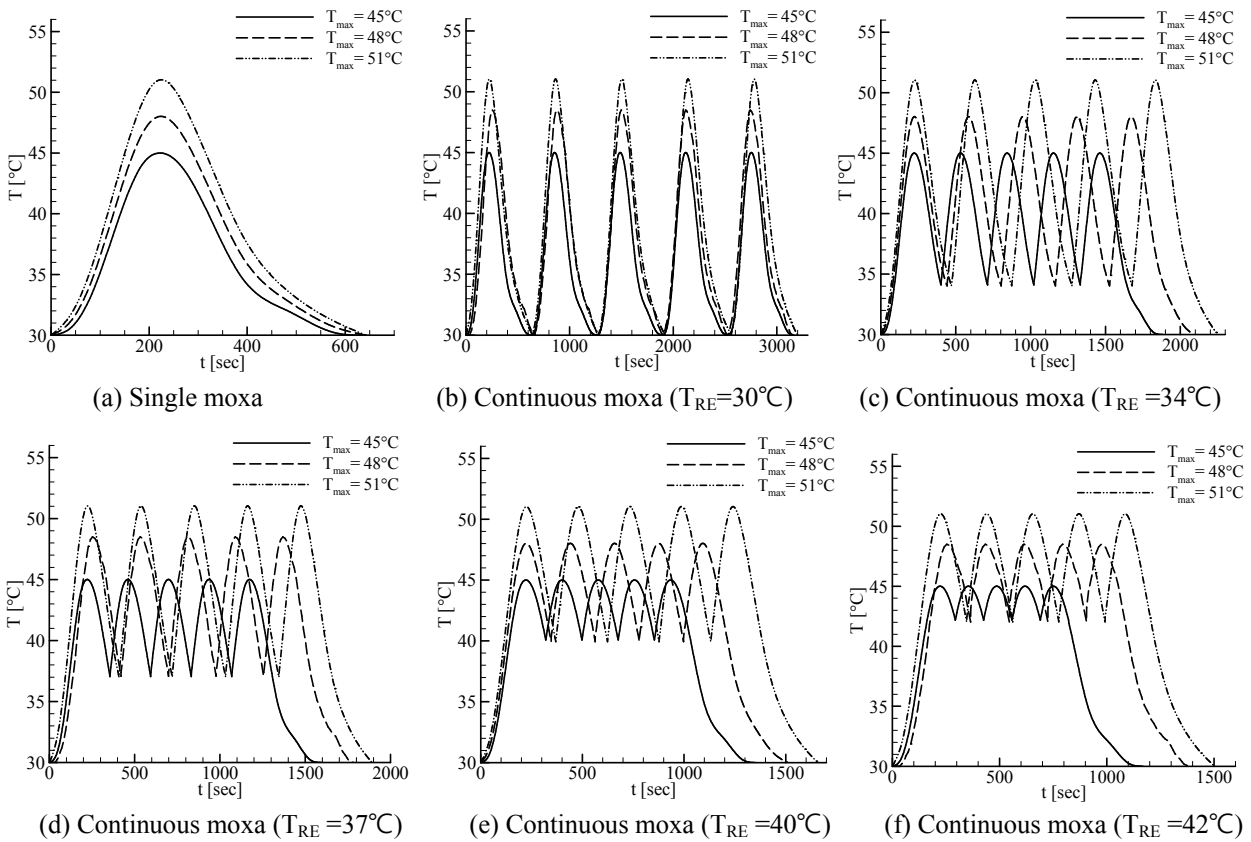


Fig. 2 Temperature histories of the paper disk of a commercial moxa

2.2 경계조건

Fig. 1 은 뜸의 비정상 수치해석에 대한 개략도를 나타내며, Table 1 은 계산 영역의 크기 및 뜸에 사용된 종이 디스크의 크기를 나타낸다.

Table 2 는 본 연구에서 사용한 피부와 종이 디스크, 공기의 물성치를 나타낸다. 경계  $\Gamma_g$  을 따르는 신체의 온도는 에너지 방정식의 경계조건에 의해  $T_{skin}=37^{\circ}\text{C}$ 로 고정하였다.  $\Gamma_h$  를 따르는 외부에서 유입되는 기류의 온도를 외기 온도로 지정하기 위해서 외기의 정압과 온도를 각각 0 과  $30^{\circ}\text{C}$ 로 지정한 FLUENT 의 pressure outlet 조건을 사용하였다. 한편, 수 mm 이내인 자극영역(온도가  $42$  도 이상인 영역)의 크기를 고려하면, 좀 더 깊이 존재하는 근육, 뼈, 장기 등의 피부와 다른 물성치를 가지는 물체의 존재가 관심 있는 영역의 열 전도 현상에 크게 영향을 미치지 않을 것이라는 가정하에 항온경계 조건을 적용하기 위하여  $L_3$  의 값을 다소 크게 지정하였다. 또한, 본 연구에서 채용한 모델링의 한계로서, 실제 인체내부조직은 전도에 더하여 내부 발열, 순환계에 의한 대류를 포함하는 방정식에 의하여 서술

되어야 한다. 하지만, 본 연구에서는 뜸의 열 자극에 대한 초기단계의 연구로서 내부 발열 및 순환계에 의한 대류를 무시한 조건하에 수치해석을 수행하였으며, 이러한 한계는 추후연구에서 극복하고자 한다. 에너지 방정식의 초기 조건으로는 신체와 공기의 온도를 각각  $37^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ 로 지정하였다.

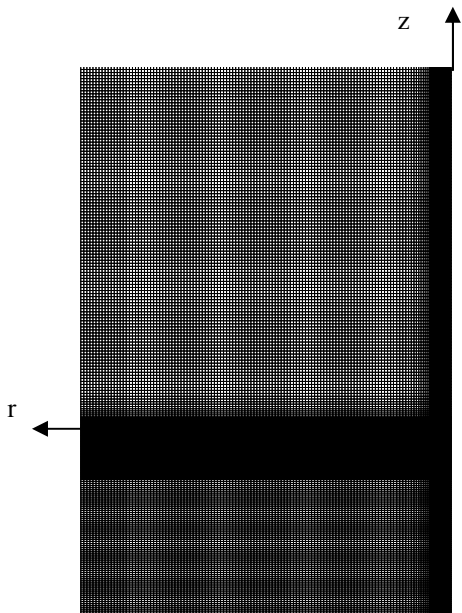
Fig. 2 는 용량이 다른 세가지 뜸의 연소에 따른 종이디스크의 시간에 따른 온도변화를 나타낸다. Fig. 2 의 온도분포와 초기 공기 온도는 열전대를 이용하여 뜸의 연소온도를 측정된 이견휘 등<sup>(3)</sup>의 선행연구에 근거하여 얻어졌다. 본 연구에서는 다섯 장의 뜸을 연속적으로 적용하는 경우에 뜸의 열자극의 변화를 고찰하고자 한다. 따라서, Fig. 2(b), (c), (d), (e), (f)는 종이디스크의 세가지 최고 온도에 대하여 종이디스크의 교체온도를 각각  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $33^{\circ}\text{C}$ ,  $37^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $42^{\circ}\text{C}$ 로 지정한 경우에 연속 뜸의 적용 시 종이디스크의 시간에 따른 온도분포를 나타낸다. 본 연구에서는 반경방향에 따른 종이 디스크의 온도 변화를 무시하였는데, 이견휘 등<sup>(3)</sup>의 실험은 뜸이 연소하는 과정에서

**Table 3** Relative error of maximum temperature at (r,z)=(-9mm,-1mm) for various grid resolutions

Grid	72 × 132	144 × 216	216 × 396	288 × 528
T <sub>max</sub> (°C)	38.76	38.99	39.06	39.11
Relative error (%)	0.89	0.31	0.13	-

**Table 4** Relative error of maximum temperature at (r,z)=(-9mm,-1mm) for various time steps

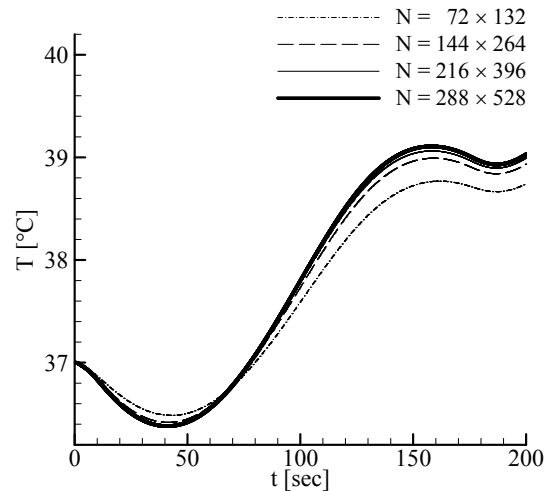
Time step	0.16	0.08	0.04
T <sub>max</sub> (°C)	39.059	39.063	39.067
Relative error (%)	0.0205	0.0102	-



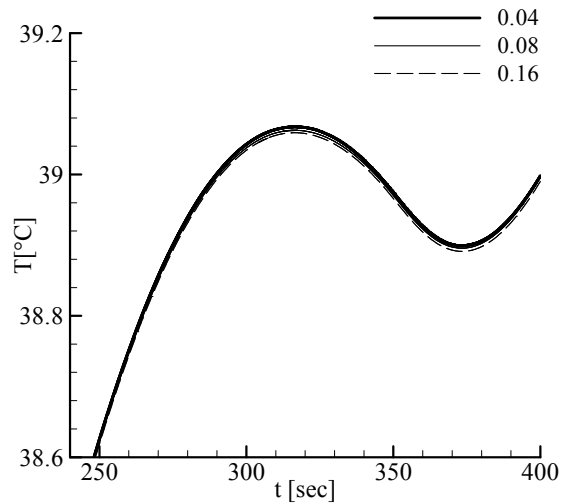
**Fig. 3** A non-uniform mesh for the computational domain.

종이디스크의 중심부의 온도와 가장자리의 온도 차이가 10% 미만임을 확인하였다. 따라서, 본 연구에서는 시간에 따라 변화하는 디스크의 온도 분포가 공간에 따라서는 균일하다고 가정하고 수치해석을 수행하였다. 공간적으로 균일한 디스크의 온도는 매 시간 단계에서 새로 지정되었다. 한편, Table 1, 2 와 Fig. 1, 2 에서 주어진 수치를 적용하면 뜬의 연소에 의하여 형성되는 자연대류의 최대 레이일리 수는 다음과 같이 추정된다.

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu\alpha} \approx 10^5 \quad (1)$$



**Fig. 4** Temperature histories at (r,z)=(-9mm,-1mm) for various grid resolutions



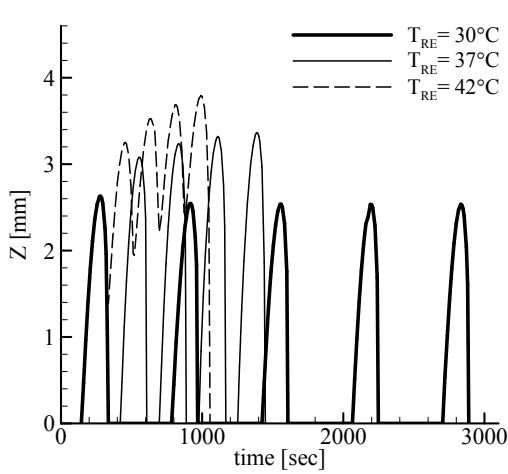
**Fig. 5** Temperature histories at (r,z)=(-9mm,-1mm) for various time steps

식 (6)에서  $\beta$  는 공기의 체적팽창계수,  $\nu$  와  $\alpha$  는 공기의 동점성 계수 및 열확산 계수이다. 추정된 최대 레이일리 수에서 유동장은 층류에 해당하므로 본 수치해석에서 난류모델은 고려하지 않는다.<sup>(10)</sup> 본 연구에서 사용된 격자는 축대칭 2 차원 격자로서, 격자 생성 전용 프로그램인 ICEM-CFD 를 이용하여 생성하였다.

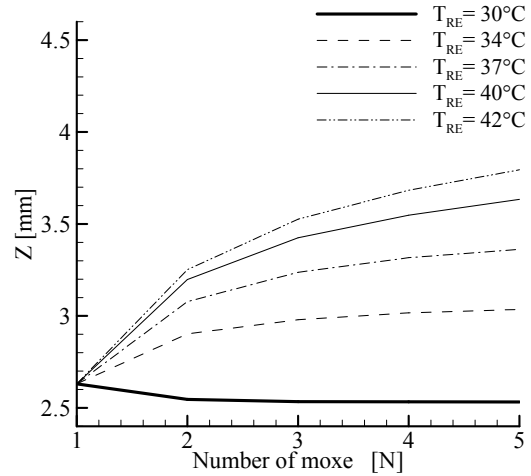
Fig. 3 는 본 연구에서 사용된 격자의 한 예를 보여준다.

2.3 격자계 검증

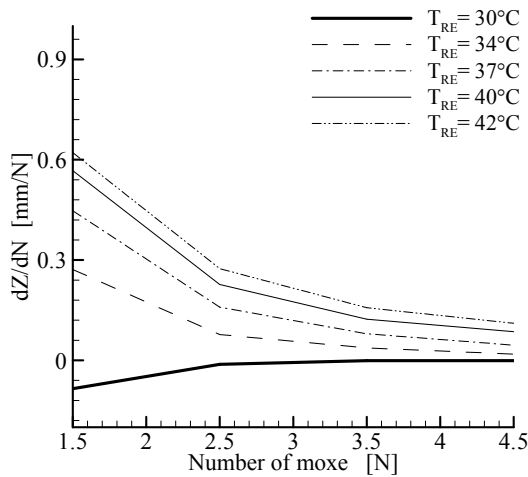
본 절에서는 연속 뜬의 열자극의 수치해석에 사용될 격자계를 결정하기 위하여 다양한 격자계를 사용하여 수치해석을 수행한 후에 임의의 한 지점



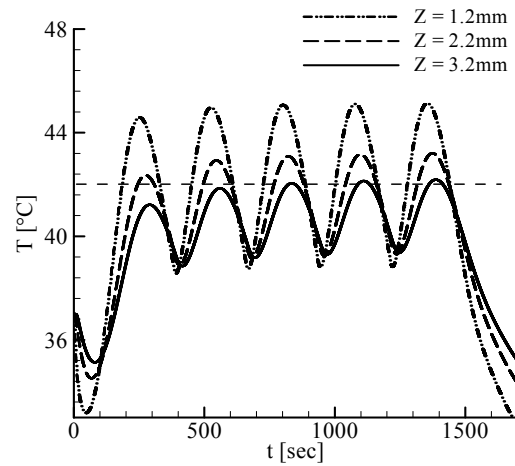
(a) Time evolution of the depth of effective stimulation zone



(b) Evolution of the maximum depth of effective stimulation zone for five consecutive moxibustions with various replacing temperatures



(c) Plot of the slope  $dZ/dN$



(d) Temperature histories at four vertical positions ( $T_{RE}=37^{\circ}C$ )

**Fig. 6** Numerical results for various replacing temperatures when  $T_{max} = 48^{\circ}C$

에서 시간에 따른 온도 이력을 비교하였다.

Fig. 4 는 서로 다른 분해도를 가지는 네 가지의 격자계에 대하여 시간 간격을 0.08sec 로 지정하여 독립적인 해를 얻을 수 있음을 보여준다. Fig. 5 는 해석한 결과들을 나타낸다. Fig. 4 는  $216 \times 396$  의 비균일 격자계를 사용하면 본 연구에서 격자계에서는 비정상 복합 열전달 문제의 수치해석에서 시간 간격의 크기를 결정하기 위한 수치실험의 결과를 보여준다. 다양한 시간 간격이 사용된 경우에  $(r,z)=(-9mm,-1mm)$ 에서 시간에 따른 온도의 변화는 0.08sec 보다 작은 값을 사용한 경우에 차이가 거의 없음을 알 수 있다. Table 3, 4 는 다양한 격자계와 시간 간격에 대해  $(r,z)=(-9mm,-1mm)$ 에서 얻은

최대온도에 대하여 가장 조밀한 격자계와 가장 적은 시간간격의 해를 기준으로 지정하여 구한 상대적인 오차를 나타낸다. 따라서, 본 연구에서는 모든 수치 해석에 대하여  $216 \times 396$  의 비균일 격자계를 사용하고 시간 간격은 0.08sec 을 사용하였다.

### 3. 수치해석 결과

Habash 등<sup>(11)</sup>은 다양한 온도의 열원에 접촉된 피부 세포의 영향을 연구하였다. 그들은 피부가 온도 30-39°C인 열원에 접촉된 경우에는 피부세포의 물리적인 변화가 발생하지 않으며, 42°C를 넘어서면서는 유효한 열자극이 발생하고 피부의 온도가 47°C이상일

때에는 일정 시간 온도가 유지되면 활성 혈액이 응고되거나 단백질 성분이 파괴된다고 보고하였다.

본 연구에서는 Habash 등<sup>(11)</sup>의 선행연구를 참고하여 연속 뜸에 의한 유효자극온도의 경계선을 42°C로 설정하여 결과를 고찰하였다. 연속 뜸에서 종이 디스크의 최대온도는 45°C, 48°C, 51°C의 세 가지를 선택하였으며, 종이 디스크의 교체 온도는 30°C, 34°C, 37°C, 40°C, 42°C의 다섯 가지의 경우를 선정하여 수치실험을 수행하였다.

Fig. 6은 종이 디스크의 최대온도가 48°C인 연속 뜸의 열자극에 대한 수치해석 결과를 여러 관점에서 보여준다. 한편, 종이디스크의 최대온도가 45, 51°C인 연속 뜸을 이용하여 얻은 결과는 최대온도가 48°C인 결과와 정성적으로 유사한 결과를 나타내므로 Fig. 6에 포함하지 않는다.

Fig. 6(a)는 시간에 따른 유효자극영역깊이의 변화를 나타낸다. 유효자극영역깊이는  $r=0$ , 즉 중심점에서 피부 내의 온도가 42°C이상인 영역의 깊이로 정의된다. 뜸을 완전히 연소시킨 후에 교체하는 경우 ( $T_{RE} = 30^\circ\text{C}$ )에는 피부 내의 잔류된 열원이 자연대류에 의하여 방출되므로 유효자극영역이 존재하지 않는 기간이 존재하고 유효자극영역깊이의 최대치는 변하지 않는 반면에, 뜸이 연소 후 최대온도에 도달하고 나서 완전연소 되기 전에 교체할 경우( $T_{RE} = 37^\circ\text{C}, 42^\circ\text{C}$ )에는 유효자극영역깊이의 최대치가 뜸의 시술 횟수가 증가됨에 따라 증가함을 발견하였다.

Fig. 6(b)는 시술 횟수에 따른 최대 유효자극영역의 깊이를 나타낸 것으로 디스크의 교체온도가 37°C인 경우 단일 뜸을 시술하였을 때 보다 다섯 개의 뜸을 시술하였을 때 최대 유효자극영역의 깊이는 약 0.7mm 증가하였고, 42°C인 경우 약 1.2 mm 증가함을 보여준다. 반면에, 디스크의 교체온도가 30°C인 경우에 뜸의 장수에 상관없이 유효자극영역의 최대 깊이는 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 따라서, 자연대류를 고려한 복합 열전달의 직접 수치해석을 통하여 얻어진 Fig. 6(a)-(b)로부터 뜸의 시술 횟수가 증가함에 따라 유효자극영역의 깊이를 증가시키기 위해서는 체온 부근의 온도에서 뜸을 교체하는 것이 필요함을 발견하였다.

Fig. 6(c)는 Fig. 6(b)의 결과를 후처리 하여 얻어진 뜸의 시술횟수 증가에 따른 유효자극영역의 최대 깊이의 변화율을 나타낸다. 디스크의 교체온도가 30°C인 경우 유효자극영역의 최대 깊이의 변화는 거의 나타나지 않으며, 교체 온도가 체온 근처인 경우에는 처음의 서너 개까지는 유효자극영역의 최대 깊이

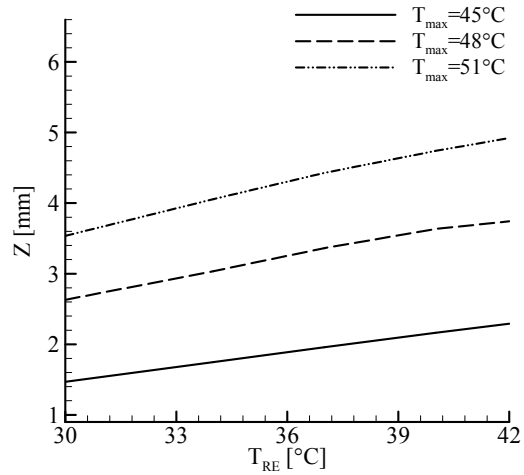


Fig. 7 Maximum depth of the effective stimulation zone for various replacing temperatures of the disc

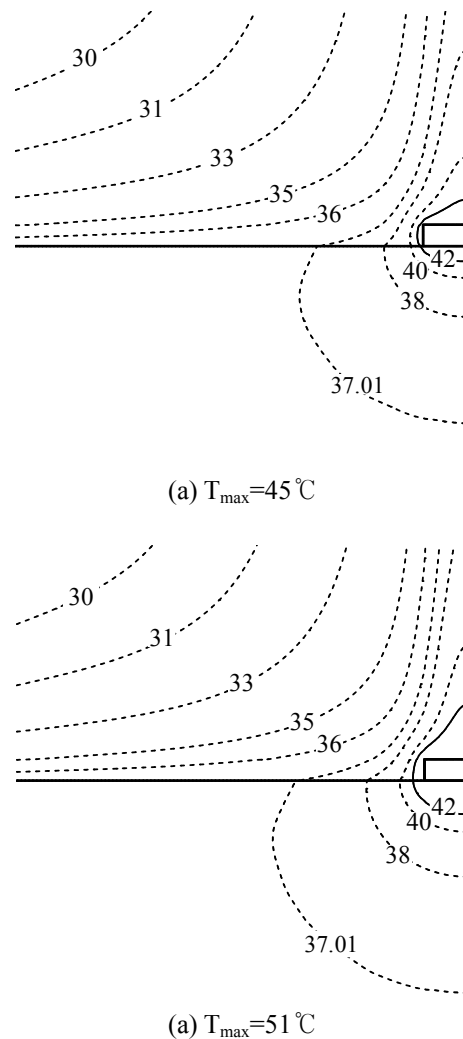


Fig. 8 Temperature fields at the maximum stimulation depths when  $T_{max}=45^\circ\text{C}$  and  $51^\circ\text{C}$  ( $T_{RE}=40^\circ\text{C}$ )

는 증가하다가 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 반면, 연속 뜸에서 디스크의 교체 온도가 40℃를 넘어서는 경우에는 다섯 번째 뜸까지 유효자극영역의 최대 깊이가 계속 증가함을 알 수 있다.

Fig. 6(d)는 디스크의 교체온도가 37℃인 경우 각 깊이에서의 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 피부 내 3.2mm 지점에서 연속 뜸의 초기에는 유효자극 온도인 42℃에 도달하지 못하지만 뜸의 장수가 늘어날수록 뜸으로부터 전달되어 축적되는 열이 자연대류에 의하여 방출되는 열보다 크게 되어 유효자극온도에 도달하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7 은 연속 뜸에서 종이디스크의 최대온도가 45℃, 48℃, 51℃인 경우들에 대하여 뜸의 교체온도에 따른 유효자극영역의 최대 깊이의 변화를 나타낸다. 연속 뜸의 연소온도가 높을수록 고온의 온도에서 뜸을 교체할수록 최대 유효자극 영역은 피부 내로 더 깊이 침투하나, 연속 뜸의 연소온도가 높을수록 자연대류에 의하여 가열된 피부에서 공기 중으로 손실되는 열량도 커지게 되어 뜸의 온도 증가에 따른 유효자극영역의 깊이의 증가율은 감소함을 알 수 있다. Table 5 는 디스크의 최대온도가 45℃, 51℃ 인 경우들에 대하여 디스크가 최대 온도에 도달한 순간에 가열된 피부에서 공기 중으로 손실되는 열량을 나타낸다. 이 열량은 다음의 식을 계산하여 얻어진다.

$$Q = \int_0^R (-k_{air} \frac{\partial T}{\partial z}) 2\pi r dr \quad (2)$$

한편, Fig. 8 은 디스크의 최대온도가 45℃, 51℃ 이고 교체온도가 40℃인 경우들에 대하여 침투 깊이가 최대에 도달한 순간에 계산 영역의 온도분포를 나타낸다. 디스크의 온도가 높을수록 침투 깊이가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 부력에 의한 강한 상승기류가 디스크 부근에 국소적으로 생성되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 가열된 디스크에 의한 열자극은 디스크가 놓인 부근에서만 매우 국소적으로 제한됨을 알 수 있는데, 이는 자연대류에 의한 영향으로 여겨진다.

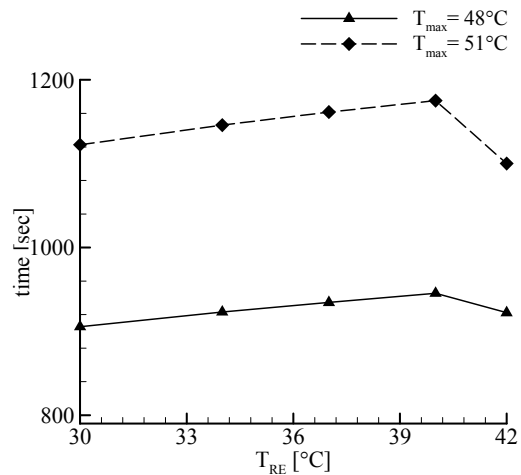
Fig. 9 는 종이디스크의 최대온도가 45℃, 48℃, 51℃인 경우들에 대하여 뜸의 교체온도에 따른 피부 내 유효자극영역의 지속시간을 나타낸다. 유효자극영역의 지속시간은 연속 뜸의 시술 기간 동안에 피부 내의 최고온도가 42℃ 이상으로 유지되는 기간으로 정의된다. 세 가지 경우 모두 교체온도가 40℃까지는 지속시간이 선형적으로 약간씩 증

**Table 5** Heat loss to the air from the heated skin when the disc-temperature is maximum

T <sub>max</sub>	45℃	51℃
Q [W]	0.357334	0.395266

**Table 6** Periods during which moxa/skin temperature is over 42℃ for the three maximum temperatures of disc

T <sub>max</sub>	Duration times	
	Moxa	Skin
45℃	678.3 s	673.2 s
48℃	904.5 s	945.4 s
51℃	1086.4 s	1175.2 s



**Fig. 9** Effective stimulation periods for various replacing temperatures of the moxa

가하나 40℃를 넘어서는 감소하기 시작함을 알 수 있다. 따라서, Fig. 6의 유효자극영역의 깊이에 대한 결과를 같이 고려한다면 연속 뜸의 경우에 최적의 교체 온도는 체온 근처인 37℃~40℃ 부근에 존재함을 알 수 있다.

Table 6 은 종이 디스크의 최대온도가 45℃, 48℃, 51℃ 인 경우들에 대하여 디스크 자체의 온도가 42℃ 이상이 되는 기간과 유효자극영역의 지속시간을 비교한 것이다. 종이디스크의 최대온도가 45℃ 인 경우, 디스크 자체의 온도가 42℃ 이상이 되는 기간이 유효자극 지속시간보다 긴 것을 알 수 있다. 반면에, 종이디스크의 최대온도가 48℃, 51℃인 경우에는 피부 내 최고 온도가 42℃ 이상이 되는 유효자극 지속시간이 디스크의 온도가

42℃ 이상이 되는 시간보다 긴 것을 확인할 수 있다. 이는 연속 뜸의 연속적인 열 자극에서 디스크의 온도가 높아질수록 이전 뜸의 열 자극에 의해서 피부 내에 잔류하는 열원의 양이 더 증가하기 때문이라고 여겨진다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 연속 뜸이 심부에 미치는 열전달 특성을 복합 열전달 수치해석을 통하여 고찰하였다. 연속 뜸의 연소 시 도달하는 최고온도와 교체온도에 따른 유효자극영역의 침투 깊이 및 유효자극 지속시간을 고찰하여 다음과 같은 결론들을 도출하였다.

(1) 뜸의 교체 온도가 30℃ 인 경우, 연속 뜸을 시술하여도 뜸의 최고 온도와 무관하게 최대 유효 영역의 깊이는 변하지 않았다.

(2) 뜸의 교체 온도가 37, 40, 42℃ 인 경우, 연속 뜸을 반복하여 시술 할수록 최대 유효자극영역의 깊이가 증가하였다. 반면 그 증분량은 점차 감소 하여 수렴하였다.

(3) 수치 실험한 세 가지 최고온도에 대하여 뜸의 교체온도가 40℃ 근처인 경우에 유효자극 지속시간이 가장 길었다.

(4) 피부 내 유효자극영역의 지속시간이 교체온도가 40℃까지는 지속시간이 증가하나 40℃를 넘어서는 감소하기 시작하였다.

(5) 유효자극영역의 깊이와 자극기간을 고려할 경우 최적 교체온도는 37℃~40℃부근에 존재하였다.

#### 후 기

본 연구는 보건복지가족부 한의약선도기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (B090040)

#### 참고문헌

(1) Peterson, J. R., 1996, "Acupuncture in the 1990s," *Arch Fam Med.*, Vol 5, No. 4, pp. 237~240.

(2) Kim, N.S., 2007, "Theory and Practice of Moxibustion," Korea Research Institute of Authentic Acupuncture and Moxibustion.

(3) Marquardt, M. F., Pollak, S., Schmidt, U., 2008, "Cigarette Burns in Forensic Medicine," *Forensic Science International*, Vol. 176, No. 2, pp.200~208

(4) Lee, G. H., Lee, G. M. and Hwang, Y. J., 2001, "Experimental Study on the Thermodynamic Characteristics of Commercial Small-size Moxa Combustion," *The Journal of Korean Acupuncture & Moxibustion Society*, Vol.18, No.6, pp.171~187.

(5) Lee, G. M., Yang, Y. S. and Lee, G. H., 2002, "Experimental Study on the Stimulating Effect of Commercial Moxa Combustion through the Measurement of Temperature - Focused on Ascending Temperature Gradient and Effective Stimulating Period -," *The Journal of Korean Acupuncture & Moxibustion Society*, Vol.19, No.3, pp.64~76.

(6) Cheon, Y.S., Koh H.K., Ahn, B.C., Park, D.S., Kang, S.K., Kim, C.H., Kin, Y.S., Lee, J.D., Choi, D.Y., Park, Y.B. and Lee, Y.H. 1999, "The Experimental Study on Combustion Characteristics of the Moxa-Combustion in the Skin Model, Agar," *The Journal of Korean Acupuncture & Moxibustion Society*, Vol.16, No3, p.155~177.

(7) Byun, H., 2010, "Heat Characteristics inside Phantom of Continuous Moxibustion on Ginger," Ph.D thesis of Graduate School of Dongguk University.

(8) Cao, D., Kitamura, T., Todo, H., Yoo, S. D. and Sugibayashi, K., 2008, "Pretreatment Effects of Moxibustion on the Skin Permeation of FITC-dextran," *International Journal of Pharmaceutics*, Vol.354, PP.117~125.

(9) Jeon, B.J. and Choi, H.G., 2010, "Heat-transfer Analysis of Indirect Moxibustion Using Unsteady Conjugate Heat-transfer Solutions" , *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol.24, No10 , PP.2051~2057.

(10) Holman, J.P., 1986, "Heat Transfer," McGraw-Hill, New York, USA.

(11) Habash, R.W.Y., Bansal, R., Krewski, D. and Alhafid, H. T., 2006, "Thermal Therapy, Part 1 : An Introduction to Thermal Therapy," *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, Vol.34, No.6, pp.459~489.