

# 유한요소법을 이용한 비침습적 심부 자극 시스템 평가

## Evaluation of non-invasive stimulator system for subcutaneous tissue using finite element method

\*이대원<sup>1</sup>, 조영근<sup>1</sup>, 김성국<sup>1</sup>, 명현석<sup>1</sup>, 이경룡<sup>1</sup>, #김한성<sup>1</sup>

\*D. W. Lee<sup>1</sup>, Y. K. Cho<sup>1</sup>, S. G. Kim<sup>1</sup>, H. S. Myung<sup>1</sup>, K. J. Lee<sup>1</sup>, #H. S. Kim<sup>1</sup>(hanskim@yonsei.ac.kr)  
<sup>1</sup>연세대학교 의공학과

Key words : Radio-frequency stimulation, Finite element analysis, Bio heat equation

### 1. 서론

뜸 요법은 쑥과 같은 재료를 병증에 상응한 경혈 부위에서 태워서 얻는 생기는 화학물질과 열에너지 이용하여 병을 치료하는 자극요법이다.<sup>1</sup> 그러나 뜸 요법은 사용되는 재료의 종류와 양에 의해 생성되는 열과 화학물질이 달라지기 때문에 이를 조절하기 어렵다. 또한 심부를 자극하기 때문에 열 자극이 강할 경우 심한 통증을 유발하고 피부에 화상을 입혀 화농 자극을 남기는 한계점이 있다.<sup>2</sup>

이러한 뜸 요법의 한계를 개선하기 위해 고주파 전류를 인가하여 세포 조직 내 이온의 떨림으로 생성되는 마찰을 이용하여 고온의 열에너지를 발생시키는 고주파 전류로 자극을 주어 뜸과 유사한 효과를 갖는 비침습적 자극 시스템의 개발이 제시되었다.<sup>3</sup> 본 연구에서는 비침습적 자극 시스템을 이용하여 유한요소해석과 동일한 조건하에서 생체의 실험을 진행하고 유한요소해석 결과와 비교하였다. 또한 뜸으로부터 획득한 고주파 입력 파형 구성이 인체에 인가되었을 경우의 영향 평가를 위해 유한요소해석을 진행하였다

### 2. 생체의 실험

#### 2.1 뜸을 이용한 생체의 실험

국내에 시판중인 일반 뜸 (애권 뜸) 과 냉장 상태로 보관된 돼지 생체 조직 (80mm×30mm×5mm) 이 실험에 사용되었다 (Fig. 1). 뜸 이외의 영향을 제외하기 위하여 상온 22℃로 유지하였다. 실험은 입력기

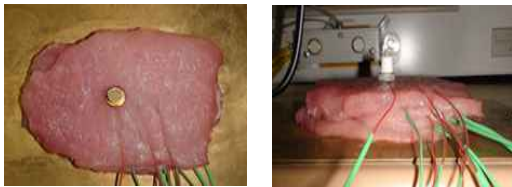


Fig. 1 Positions of moxibustion and temperature sensor on partial tissue of pig,

Table 1 High frequency pulse combination

입력기 (msec)	휴지기 (msec)	파형주기 (msec)	입력횟수 (회)	경과시간 (sec)
60	4940	5000	6	30
60	1940	2000	15	60
60	940	1000	30	90
60	440	500	60	120
60	140	200	150	150
80	120	200	650	280

280초와 휴지기를 620초로 두어 총 15분 동안 수행되었고, 온도 센서를 이용하여 12개의 위치에서 10초 간격으로 측정하였다.

#### 2.2 고주파 자극 입력기를 이용한 생체의 실험

뜸과 동일한 실험 조건에서 실제 뜸의 표면 온도 변화와 유사한 변화를 유발하기 위해 고주파 자극 입력기에 사용된 입력 파형은 표 1과 같이 설정하였다. 인가된 파형은 6MHz 의 49Vrms 구형파이며, 전극의 직경은 1cm 이다.

### 3. 유한요소모델

#### 3.1 생체 열전달 방정식

생체 열전달 방정식은 생체조직 내 모세혈관과 조직의 대사 열(Metabolic heat)을 고려하여, Pennes<sup>4</sup>에 의해 제시된 아래의 식으로 표현하였다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot k \nabla T + J \cdot E - h_{bi}(T - T_{bi}) - Q_m \quad (1)$$

$$h_{bi} = \rho_{bi} c_{bi} \omega_{bi} \quad (2)$$

#### 3.2 유한요소모델의 개발

생체조직은 단순한 육면체 (가로: 5cm, 세로: 5cm 높이: 1.23cm) 로, 진피 층 (0.11cm), 피하지방 층 (0.12cm), 그리고 피하조직 층 (1cm) 로 구성하였다. 각층의 물성치는 Becker와 Kuznetsov<sup>5</sup>가 제시한 값을 통해 생성하였다. 전극은 생체의 실험과 동일한 사이즈로 구성하였고, 입력파형은 고주파 자극 입력기에 사용된 입력 값이 사용되었다.

Table. 1 Material properties for FE analysis

	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$c$ ( $J/kgK$ )	$k$ ( $W/mK$ )	$\sigma$ ( $S/M$ )	$Qm$ ( $J$ )
Electrode	6450	840	18	1e8	0
Dermis	1116	3800	0.293	0.015	200
Subcutaneous fat	850	2300	0.23	0.02	5
Subcutaneous tissue	1040	3800	0.5	0.41	800
Blood	1000	4180	0.543	0.667	0

### 3.3 유한요소 해석

해석에는 COMSOL Multiphysic (COMSOL Inc. Sweden) 를 사용하였다. 열전달 분석의 방정식은 식 (1) 의 생체 열전달 방정식을 이용하였다. 온도 변화의 측정은 Fig 1 과 같이 12 개의 센서를 전극의 중심에서 가로축으로 3개씩 (C: 0mm, S1: 10mm, S2: 20mm), 세로축으로 4개씩 (간격 :5mm) 위치시켰다.

### 4. 결과 및 결론

고주파 자극 입력 파형 구성을 돼지 생체 조직과 유한요소 모델에 인가했을 때 Fig 2 와 같이 두 결과가 유사한 온도 분포를 볼 수 있었다. 특히 발생하는 최고온도 (약 40°C와 39°C) 와 최고온도가 발생하는 시기 (약 150초) 를 유사하게 구현함을 확인 할 수 있었다. 그러나 자극의 중심부에서 10mm 떨어진 곳 (Fig 2. (c)) 에서 약 6°C 정도의 온도 차를 보였다. 또한 깊이 방향으로의 온도 변화는 유한요소모델에서 측정된 최고 온도가 5mm 깊이에서 온도 변화폭의 약 90%, 10mm 깊이에서 50%까지 근사하게 발생하였지만, 돼지의 생체 조직에서는 5mm 깊이에서 약 30%, 10mm 깊이에서 약 10%가 발생하는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 2 (b), (c)).

결론적으로 본 연구에서 제시한 유한요소모델과 고주파 자극 입력 파형 구성은 실제 인체 모델을 대체하여 집중적인 심부 조직 자극 방법을 도출할 수 있는 기초적인 분석 방법으로 사용될 수 있을 것이라고 생각된다.

향후 실험에서는 유한요소모델에서 고주파 자극 특성을 생체의 실험과 유사하게 표현할 수 있는 물성치의 측정과 실제 고주파 자극을 줄 인체 부위의 모델링이 우선시 되어야 한다. 또한 생체의 실험 시 인체와 유사한 특성을 갖는 생체 조직의 선택이 불가피 하다.

### 후기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(10028424).

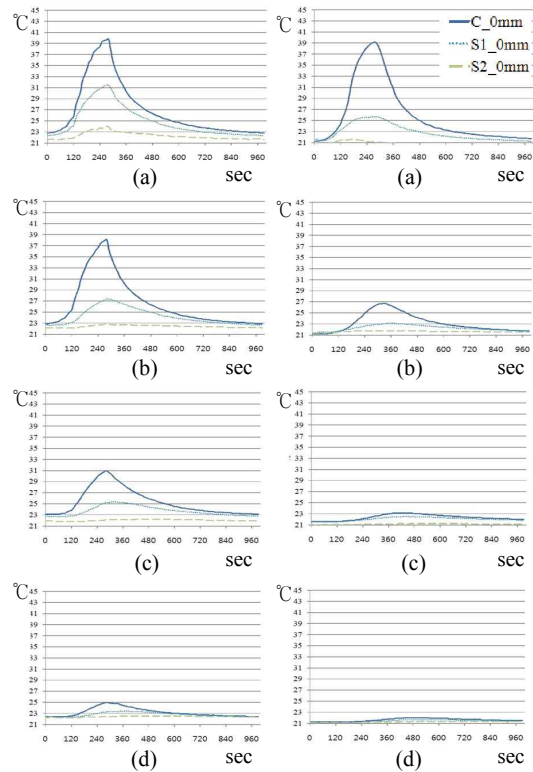


Fig. 2 Temperature changes in FE analysis (left) and in-vitro experiment (right) with high frequency pulse at depth (a) 0mm, (b) 5mm, (c) 10mm, (d) 15mm

### 참고문헌

1. J. R. Peterson, "Acupuncture in the 1990s", Arch Fam Med., Vol 5, no 4, 237-240, 1996.
2. A. Bensoussan, S. P. Myers, A. L. Carlton, "Risks Associated With the Practice of Traditional Chinese Medicine", Arch Fam Med., Vol. 9, no. 10, pp. 1071-1078, 2000.
3. 차지영 외, "땀의 열적효과를 구현하기 위한 심부 열 자극 시스템 개발", 전자공학회, 46, 50-57, 2009
4. Pennes, H., "Analysis of tissue and arterial blood temperatures in the resting human forearm," Journal of applied physiology, Vol. 85, 5-34, 1998.
5. S. M. Becker, A. V. Kuznetsov, "Numerical Assessment of Thermal Response Associated With In Vivo Skin Electroporation: The Importance of the Composite Skin model", ASME, Vol. 129, 2007