

유한요소법을 이용한 2차원 Field
내의 온도분포의 이론적 해석

김낙환, 최창순, 최홍모, 홍승용
인하 대학교 전자공학과

THEORITICAL ANALYSIS OF TEMPERATURE
DISTRIBUTION IN TWO-DIMENSIONAL FIELD
USING F.E.M

N.H.Kim, C.S.Choi, H.H.Choi, S.H.Hong
Department of electronics INHA UNIV.

ABSTRACT

In noninvasive temperature measurement within body, this paper is presented temperature measurement method in security and with effect from Applicator by electromagnetic, and it is analyzed heat generation quantity or temperature rise distribution by computer simulation within body. In this paper, two-dimensional model is considered and temperature distribution produced by RF capacitive heating system is analyzed by using Finit Element Method (F.E.M) . A possibility of temperature distribution control is examined based on the position and size of Applicator.

(I) 서 론

Hyperthermia치료 방법은 암 세포나 종양 세포를 체온보다 높은 온도(41° - 55°C)로 가열하여 일정 시간 유지하여 파괴시키는 방법으로 Hyperthermia의 효과는 주로 열에 의한 것으로 온도를 정확히 측정하는 방법과 종양에 적절히 Power를 공급하는 방법으로 구분될 수 있다. 특히 Hyperthermia에서는 온도가 예정되도록 되고 있는가, 그 온도 분포는 어떠한가, 또 정상 조직이 이겨낼 수 있는 온도 한계를 넘지는 않았는가에 대한 측정이 반드시 필요하다. Hyperthermia치료 동안 종양 부위의 온도를 측정하는데 있어서 가장 유용한 것 중의 하나가 Thermocouple이나 Thermister를 가지고 가는 바늘을 종양 내에 삽입시켜, 온도 센서를 종양 부위의 종양에 위치시키면, 이와같은 상태에서 측정된 온도가 전체 온도로써 간주되어진다.

이와같이 현재까지의 기술에서는 온도를 측정하기 위해서 센서를 그 종양 부위에 직접

삽입해야하는 침습적인 방법이 사용되고 있으며, 이 방법들은 환자의 고통, 종양의 전이, 출혈, 감염등의 위험성을 내포하고 있으며 이외에도 3차원적인 온도 분포를 얻는데는 실질적으로 불가능하다. 또한 가온 방법과 온도 측정과의 상호 간섭의 문제가 발생하여 가온을 행함에 있어서 전자파나 혹은 초음파를 사용하면 그물이 측정을 위한 센서에 직접 영향을 미치거나, 혹은 직접 센서에 의해 Field의 산란으로 인한 온도 분포의 불균일성을 유발시켜 Hot Spot를 알 수 없는 문제가 야기된다. 이와 같은 문제점들을 해결하는 방법으로서 비침습적인 온도측정 방법이 바람직하다 하겠다.

비침습적인 온도 측정 방법으로는 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 것으로서 Model에 의한 이론적 계산을 포함함으로써, 현재는 초기 단계이지만, 온도 분포에대해 상당히 믿음만한 데이터들을 얻을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 RF Capacitive Heating System 방식을 사용했을 경우 종양 부위 내의 최대, 평균, 최소 온도 사이의 관계를 간

단한 가정을 기초로하여 유한요소법을 사용한 컴퓨터 시뮬레이션에 대해 논의하고자한다.

$$\nabla^2 T - \alpha T + \frac{Q}{k} = 0 \quad (4)$$

(II) 이론

1) 수학적 해석

RF Capacitive System은 Hyperthermia에 있어서 가열방식중의 하나이다. 이 기술은 매우 쉽지만 몇개의 단점을 가지고 있다. 하나는 가열 장치가 단지 두개의 전극 사이에 sandwich된 범취판을 가열할 수 있고, 또 하나는 지방과 뼈 사이에서 과잉 가열을 일으키는 것이다. 이와같은 방식에서 온도 분포 속정은 2차원적 모델을 고려한다. 고려된 2차원 모델은 그림 1에 나타난다. 2개의 전극 사이에 sandwich된 모델을 가정하면, 모델 내부의 산출된 Potential은 다음과 같이 쓰여진다.

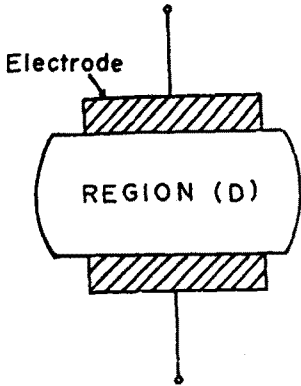


그림 1. 2차원적 모델

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 Potential (전위)이다. 또한 경계 조건은 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = i \quad (2)$$

여기서 i 는 전류 밀도이다. 발생된 열 Q 는 식(1)에서 얻어진 Potential로부터 각 요소 내부의 전기장 E 를 계산함으로써 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$Q = E^2 = I R \quad (3)$$

식(3)을 이용하여 온도 분포 T 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

여기서 k 는 열 전도도, Q 는 열류의 열 전달 가능성에 의존하는 Blood Flow Cooling 효과 계수이다.

식(4)에 유한요소법을 적용하여 식(1)과 식(4)를 계산하여 온도분포를 구하게된다.

$$D_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{Q}{k} - T = 0 \quad (5)$$

식(5)를 식(6)의 Galerkin's Method를 이용해 식(7)을 얻을 수 있다.

$$\int_A N_i R(\phi) dA = 0 \quad (6)$$

$$-\int_A [N] \left(D_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{Q}{k} - \alpha T \right) dA = 0 \quad (7)$$

식(7)의 2차 미분 항을 Green's theorem과 $[N](\)$ 를 이용해 다시 정리 하면

$$-\int_{\Gamma} [N] \left(D_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \cos \theta + D_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \sin \theta \right) d\Gamma + \int_A \left(D_x \frac{\partial [N]}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + D_y \frac{\partial [N]}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) dA \{ \bar{\phi}^{(e)} \} + \int_A \left(\alpha [N] T dA - \int_A \frac{Q}{k} [N] dA \right) = 0 \quad (8)$$

이 되고, 식(8)을 일반적인 형태로 나타내면 식(9)와 같이 된다.

$$\{f^{(e)}\} + [k^{(e)}] \{ \bar{\phi}^{(e)} \} - \{f^{(e)}\} = 0 \quad (9)$$

2) 이론적 모델

그림 2는 그림 1의 영역 D 를 지방, 근육, 함

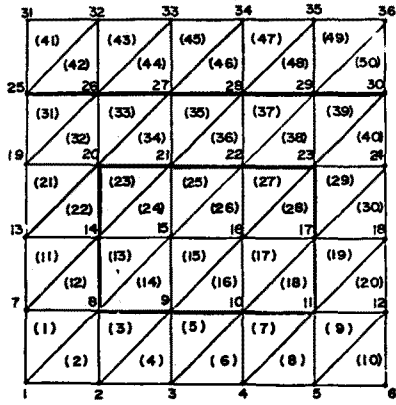


그림 2. 영역의 분할 모델

부최로 세분한 후 유한요소법을 적용하기 위해 삼각형 모델에 의해 36 개 절점과 50 개의 요소로 분할한 것이며, 각 영역의 크기는 압부 최의 크기와 모양에 따라 조절할 수 있다.

(3) Software 분석

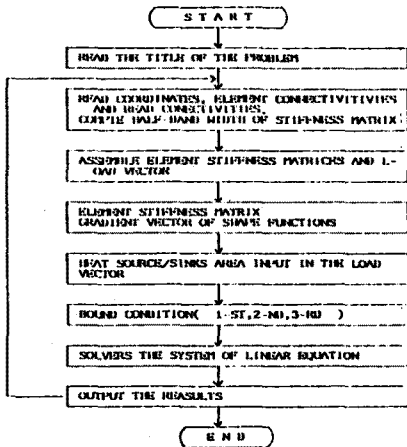


그림 3. 전체 프로그램 흐름도

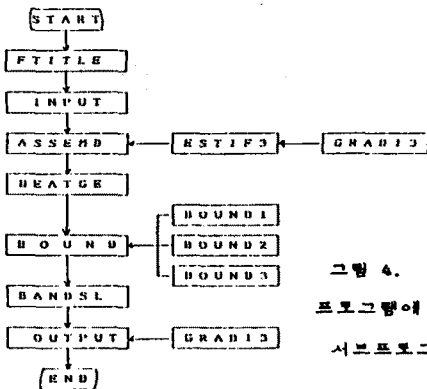


그림 4. 각 프로그램에 대한 서브프로그램

> INPUT

필요한 입력 자료의 대부분을 읽어들이고 STIFFNESS MATRIX 에 대한 HALF - BAND WIDTH 를 계산한다.

↳ ASSEMBO

계수 행렬의 대칭성을 이용해서 피형으로 전체 영역의 계수 행렬을 구성한다.

↳ ESTIF3 와 GRAD3

ASSEMBO 의 보조 프로그램으로서 변에 존재하는 물리량에 의한 입력 벡터의 올바른 위치 배열과 영역 변수의 절점값이 구해 지던 프로그램에서의 온도의 변화율용 영역 변수의 근배를 계산하는 과정이다.

↳ HEATGE

절점에 주어지는 입력 벡터의 양, 요소의 내부에 분포하는 일원동에 의한 것, 또한 요소의 변에 존재하는 일의 흐름에 대한 양들을 계산한다.

↳ BOUND

모델의 표면 온도, 일의 내부 흐름, 모델의 표면 온도와 실내 온도 사이의 외부 각 일의 흐름들을 주어진 경계값들을 이용하여 전체 영역의 유한 요소 방정식을 변형하여 계산한다.

↳ BANDSL

이와같은 방정식들을 GAUSS 소거법으로 풀어서 영역 변수의 절점값을 구한다.

↳ OUTPUT

프로그램을 실행한 후 그 결과물을 프린트한다.

(III) 시뮬레이션

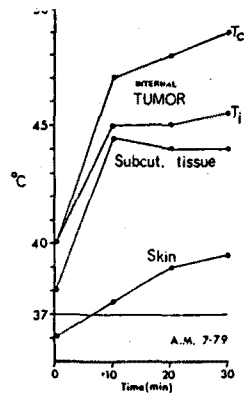


그림 5. 정상 조직과 -증양 부위의 시간에 따른 온도 분포

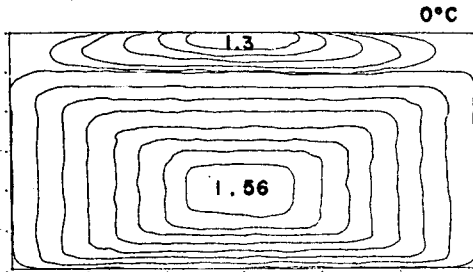


그림 6. 본알된 영역에서의 온도 상승 분포

그림 5는 RF Capacitive Heating System에 있어서 두개의 전극을 사용한 Applicator로 가열했을 경우 중앙 증양과 경상 조직 사이, 표피, 피하 조직층의 시간에 따른 온도 분포를 보였다. 그림 6은 본알된 모델에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였을 경우 온도 상승 분포를 보이고 있다. 이경우 모델 내의 균일한 전계분포를 가지고 있음을 알 수 있고, 모델의 중앙 부분에서 가장 높은 온도 상승을 보이고 있으며, 특히 지방층에서의 온도 상승이 근육층의 다른 부위에 비해 높음을 보이고 있다.

(IV) 결 론

일반적으로 RF Capacitive Heating System에 있어서 온도 분포 Control 가능성은 거의 고정된 8 - 13.56MHz 주파수대와 사용된 전극의 크기에 어느 정도 한정되어 있다.

본 연구는 무침습 온도 측정 방법중 하나인 Finit Element Method(F.E.M)을 이용해 Computer Simulation을 가능하게 하는 프로그램을 작성하고, 프로그램을 실행시켜 인체 모델에 대한 온도 분포를 예상하였다. 또한 이와같은 계산 결과치는 실제 실험치와 비교, 평가해 보는 것이 바람직하다 하겠다.

참 고 문 헌

- 1) NOBBORU KIKUCHI "FINIT ELEMENT METHODES IN MECHANICS" CAMBRIDGE.
- 2) SEGERLIND" APPLIED FINITE ELEMENT ANALYSIS" second Edition Wiley.
- 3) HINTON OWEN" AN INTRODUCTION TO FINIT ELEMENT COMPUTATION " PINERIDGE PRESS
- 4) MASAO SAITO and YOSHIYOKI KAGEYAMA "ハイパ-サ-ミ-スにおける加温治療設計法" Annual Bulletin of Reesearch Institute of Medical Electronics, Univ. of TOKYO.
- 5) 齊藏正男 "体内温度分布の理論的解析" 厚生省 研究