

면상발열체 표면 열유속에 의한 발열체 주위의 열적특성에 관한 연구

고동국*, 정규진**, 송제호***, 김민수****†

*전북대학교 기계공학과, ** (주) 덴탈비전, ***전북대학교 IT응용시스템공학과,

****전북대학교 기계설계공학과

e-mail: kimms@jbnu.ac.kr

A study on the thermal characteristics around the plane heater by surface heat flux

Dong-Guk Ko*, Kyu-Jin Jung**, Je-Ho Song***, Min-Soo Kim****

*Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University

**Research&Development Center of Dentalvision co., Ltd.

***Department of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

****†Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University

요약

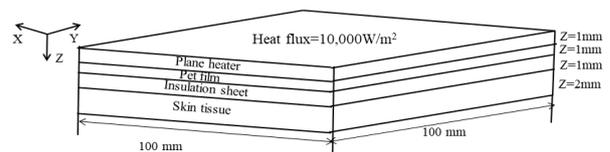
본 논문은 탄소 면상발열체의 표면에 열유속을 가했을 경우 발열체 내부를 통한 무릎관절 수술환자의 피부 온열치료를 위한 기초자료를 수집하고자 하였다. 면상발열체의 가로와 세로 크기는 각각 100 mm이고 높이는 5 mm이다. 열유속 크기는 10,000 W/m²이며 열유속 시간은 5초, 10초, 15초, 20초, 30초, 50초이다. 열유속 시간이 50초일 경우 발열체의 온도는 120.5°C까지 상승한 반면 피부온도는 1.7°C 상승하였다. 결과적으로 발열체의 표면온도는 수평방향으로 넓게 상승한 반면 깊이방향으로는 낮게 상승하였다. 이는 발열체 하부의 pet film과 절연지 소재의 열전도율이 매우 낮고 특히 절연지의 밀도(ρ)는 70 kg/m³으로 현저히 작기 때문이다. 따라서 무릎관절 수술환자의 효과적인 온열치료를 위해 발열체 내부의 전열소재에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

1. 서론

우리사회는 급격한 노령화로 인해 무릎 고관절 골절과 십자인대 파열 및 산업재해로 인해 인공관절 치환술이 급격하게 증가하고 있다. 이로 인해 무릎관절 수술환자의 치료를 목적으로 CPM(Continuous Passive Motion)기기를 비롯한 전기근육자극(EMS(Electric Muscle Stimulation)) 장치 등 재활 의료기기가 각광받고 있다. 뿐만 아니라 탄소소재 산업의 발전과 함께 융복합 기술을 접목하고자 하는 다양한 연구가 진행되고 있으며 그 중 하나가 탄소발열체 기술이다. 탄소발열체는 탄소소재의 높은 전기전도성과 고효율의 발열특성을 응용한 기술로서 선상발열체와 면상발열체로 구분된다.

선상발열체는 선형 상태인 니켈 또는 철 크롬선에서 전기저항에 의해 열이 발산하는 반면 면상발열체는 면 전체에서 복사열이 방출하는 구조이며 열저항에 대한 안정성을 확보할 수 있다.[1] 따라서 본 연구에서는 탄소 면상발열체의 표면에 열유속 가열시 발열체 내부를 통한 무릎관절 수술환자의 피부 온열치료를 위한 기초자료를 수집하고자 수치해석적 연구를 수행하였다.

그림 1은 본 연구에서 수행한 면상발열체 해석모델이며 가로와 세로의 크기는 각각 100 mm이고 높이는 5 mm이다. 윗면



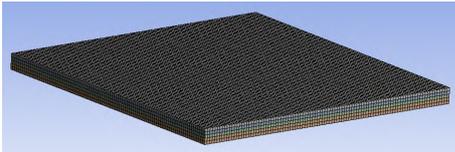
[그림 1] 면상발열체 해석모델

[표 1] 해석모델 각 소재의 열적 물성치[2-4]

Materials	Density (ρ ; kg/m ³)	Thermal conductivity (k; W/m·K)	Specific heat (C _p ; J/Kg·K)
Plane heater	2,200	39	1,100
Pet film	1,390	0.29	4.91
Insulation sheet	70	0.026	1,045
Skin tissue	1,200	0.25	3,600

으로부터 Z=0~1 mm는 면상발열체이고 1~2 mm 그리고 2~3 mm는 각각 Pet(Polyethylene terephthalate) film과 절연지로서 외부 열원으로부터 피부조직을 화상으로부터 보호한다. 가장 아래층 Z=3~5 mm는 피부조직의 표피층에 해당되며 면상발열체 표면의 열은 발열체 하부면에 전달된다.

표 1은 해석모델의 각각의 소재에 대한 열적 물성치를 나타낸 것이다.[2-4] Pet fim의 경우 열전도율 값이 작아 발열체



[그림 2] 면상발열체 해석모델의 격자계

로부터 전달된 열은 급격하게 낮아질 것이다. 또한 절연지는 film의 온도를 일정하고 저온상태로 피부조직에 전달할 것으로 예상된다.

2. 수치해석

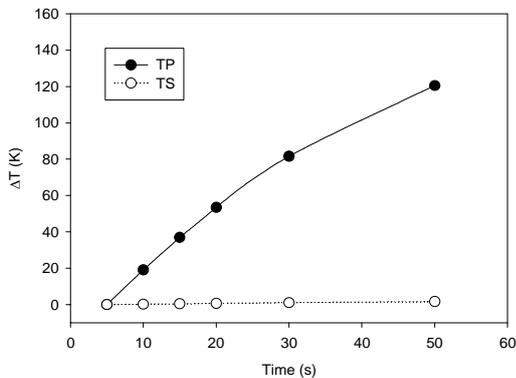
그림 2는 본 연구에 사용된 해석모델의 격자계를 나타낸 것이다. 총 격자수는 61,206개이며 정렬격자를 사용하였다. 면상발열체의 열전달을 해석하기 위한 열전도 방정식은 아래와 같다.[3]

$$\rho_m c_m \frac{\partial T_m}{\partial t} = \nabla \cdot (k_m \nabla T_m) + Q_p \quad (1)$$

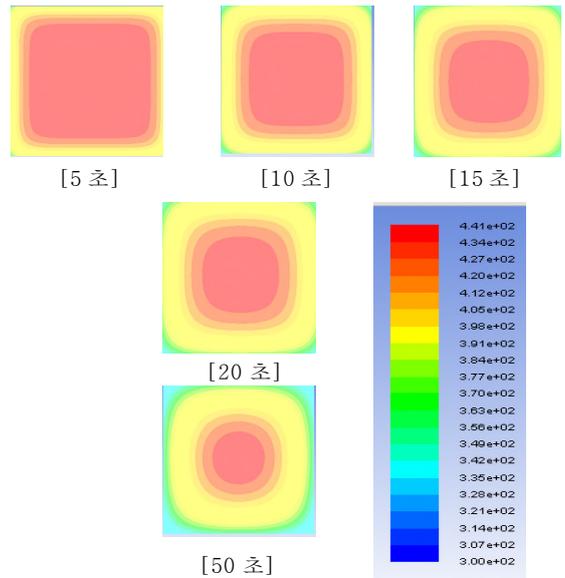
여기서 ρ_m , c_m , k_m 는 소재(material)의 밀도와 비열 그리고 열전도도를 나타낸 것이며 각각 표 1을 참조하였다. Q_p 는 면상발열체 표면에서의 열유속 값이며 solution method는 비정상상태를 고려하여 PISO algorithm을 이용하였다. 열전도 방정식 (1)을 풀기 위해서는 ANSYS-FLUENT 16.0 상용 열·유동해석 프로그램을 사용하였다.[5]

3. 결과 및 고찰

그림 3은 면상발열체의 열유속이 10,000W/m²일 경우 열유속 시간에 따른 발열체의 표면온도와 피부온도 값을 나타낸 것이다. 열유속 시간이 5초에서 50초까지 상승할수록 발열체의 온도는 120.5℃ 크게 증가한 반면 피부조직의 온도는 1.7℃ 증가하는데 그쳤다. 이는 발열체와 피부조직 사이에 열전도율이 낮은 pet film과 절연지가 존재하여 하부에 열이 전달되지 않기 때문이다.



[그림 3] 면상발열체 열유속이 10,000 W/m²일 경우 열유속 시간에 따른 발열체의 표면온도와 피부온도 값



[그림 4] 면상발열체 열유속이 10,000 W/m²일 경우 열유속 시간에 따른 면상발열체 표면온도 분포

그림 4는 면상발열체의 열유속이 10,000W/m²일 경우 열유속 시간에 따른 발열체의 표면온도 분포를 나타낸 것이다. 발열체의 열유속 시간이 5초일 경우 고온의 열은 발열체 표면에 대부분 분포한 반면 열유속 시간이 증가할수록 고온(高溫)면적은 점차 감소하였다. 또한 고온면적의 형상은 정사각형 모형에서 점차 구형을 나타내었다. 이는 열유속 시간이 증가할수록 발열체의 열이 pet film과 절연지 내부로 전달되어 표면온도가 감소하기 때문이다.

4. 결 론

본 연구는 면상발열체 표면에 열유속을 가했을 경우 열유속 시간에 따른 발열체 주위의 열적특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열유속 시간이 증가할수록 발열체의 표면온도는 크게 증가한 반면 내부조직의 온도변화는 적게 나타났다.
- 2) Pet film과 절연지에 의한 절연차단으로 인해 온열 치료효과는 감소하였다. 따라서 피부조직의 온열치료 효과를 상승시키기 위해 발열체 내부의 소재에 관한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.
- 3) 열유속 시간이 증가할수록 발열체의 표면온도는 점차 발열체 내부로 전달되며 온도분포의 형상은 균일한 고온의 정사각형 모형에서 점차 구형으로 변화하였다.

후 기

본 과제는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을

받아 수행된 사회맞춤형 산학협력선도대학(LINC+) 육성사업(과제번호: 2020-C-G028-010112)의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] 고영웅, 강영식, 정용식, “탄소계 면상발열체 발열 특성 연구”, 한국염색가공학회지, 제 32권, 제 1호, pp. 65-71, 2020년.
- [2] 고동국, 윤석주, “탄소복합재 브레이크 디스크의 통풍구 형상에 따른 유동특성에 관한 해석적 연구”, 한국자동차공학회지, 제 23권, 제 2호, pp. 191-198, 2015년.
- [3] 고동국, 임익태, “광조사에 따른 온도분포를 이용한 생체 조직내 비정상조직 탐지에 대한 연구”, 대한기계학회지, 제 41권, 제 5호, pp. 303-309, 2017.
- [4] Incropera, F. P and Dewitt, D. P, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, Fourth Edition, John Wiley & Sons, 2008.
- [5] ANSYS Co., ANSYS Fluent User’s Guide 16.0.