

열전소자를 이용한 정밀 항온 유지 장치에 관한 실험 및 시뮬레이션 연구

박경서*·송영중*·임홍재**·장시열**·이기성**·정재일**·신동훈†

A study on a precision temperature control unit using thermoelectric module

Kyungseo Park, Youngjoog Song, Hongjae Im, Siyeol Jang,
Keesung Lee, Jay Jeong, Donghoon Shin

Key Words: Thermoelectric module(열전소자), Thermocouple(열전대), PID control(PID제어)

Abstract

During a process of a nanoimprint for manufacturing LCD, a small temperature variation on the LCD glass can cause thermal stress and generate unexpected displacement. To avoid this trouble, a precision temperature control unit using thermoelectric modules is appropriate for nanoimprint processes. The unit consists of an air control system, a cooling water control system, and a power control system. The air control system includes a thermoelectric module, thermocouples measuring temperatures of air and a duct-stale fin, and two air fans. The heat generated by the thermoelectric module is absorbed by the cooling water control system. The power control system catches the temperature of the thermoelectric module, and a PID controller with SCR controls the input power of the thermoelectric module. Temperature control performance is evaluated by experiment and simulation. The temperature control unit is able to control the exit temperature about $\pm 2^{\circ}\text{C}$ from the incoming fluid temperature, and the error range is $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. However, the control time is approximately 30minute, which needs further study of active control

1. 서론

냉매와 압축기, 펌프 등이 요구되는 종래의 냉각 장치들은 크기가 클 뿐만 아니라 불필요한 소음 진동이 발생하여 정밀공정 장비에는 부적합하다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 전류의 극성에 따라 냉각과 발열이 되는 열전소자를 이용한 정밀 항온 장치 시스템이 개발되었는데, 이

시스템은 냉매순환 및 압축기 부분을 없애고, 저소음, 저진동을 구현한 정밀 공정장비에 알맞은 방식이다.

1821년 Seebeck⁽¹⁾은 두 개의 서로 다른 전도체의 접합부의 한쪽에 가열 했을 때 전류가 흐른다는 결과를 발표하였다. 1843년에는 Peltier⁽¹⁾가 두 개의 서로 다른 금속으로 이루어진 회로에 전류를 흘렸을 때 흡열과 발열이 동시에 일어남을 발표했다. 1851년 Thomson⁽²⁾은 Seebeck 효과와 Peltier 효과의 가역성을 열역학적으로 이론화 하던 중 온도 기울기가 있는 도체에 전류를 흘리면 도체내부에서 열이 흡수되거나 또는 열이 발생하는 효과가 있음을 밝혔다. 그리고 Huang et.al.⁽³⁾는 열전소자의 고온 측에서 충분한 방열이 이루어질 경우 열전소자는 최대성능을 발휘 할 수 있다는 연구를 발표했다. Attey⁽⁴⁾는 효과적인 방열을 위해 공기

† 국민대학교 기계공학과

E-mail : d.shin@kookmin.ac.kr

TEL : (02)910-5179 FAX : (02)910-4839

* 국민대 기계공학과

** 국민대 기계자동차공학부

대신 액체를 사용하면 성능을 향상시킬 수 있다는 이론을 발표했다.

열전소자의 성능이나 시스템 구성에 관한 논문은 다수 발표 되었으나 열전소자의 전력량을 조절하여 정밀온도를 제어하는 연구는 본격적으로 이루어 지지 않았다.

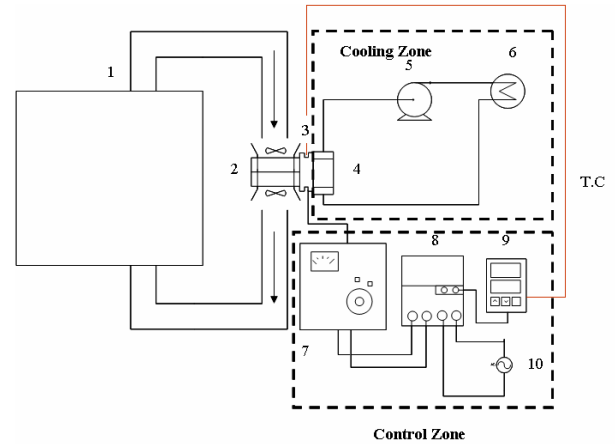
본 연구에서는 LCD Glass 제작공정 중 발생할 수 있는 미소온도 제어를 목적으로 하고 있다. 선행 연구 ‘대면적 임프린트 장비를 위한 열환경 제어 시뮬레이션 연구’⁽⁶⁾에서는 10nm급 물리현상에서는 0.01℃의 온도 변화에도 수 십 nano에서 수백 micron까지 변형이 일어남을 시뮬레이션을 통해 밝혔다. 이를 방지하기 위해 0.01℃단위의 정밀도를 제어할 필요가 발생하였으며, 열전소자의 능력을 극대화 시키면서 제어하는 냉각유닛을 설계하였다. 또한 모듈 화하여 진동, 소음 등 나노공정 시 발생할 수 있는 악영향을 미치는 요소들을 고려, 설계함으로써 나노임프린트 공정 전용 정밀 온도제어 유닛을 제작 및 연구하였다.

또한 실험과 시뮬레이션을 비교함으로써 시뮬레이션을 검증 하였다. 검증된 모델을 이용하여 다른 조건에서의 변화를 해석하였다.

2. 실험 및 시뮬레이션

2.1 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도는 Fig.1과 같다. 실험장치는 제어부, 냉각부, 계측부로 구성 되어졌다. 제어부에는 미분, 적분, 비례연산을 통해 제어하며, 산업에서 가장 많이 사용되고 있는 PID controller와 PID controller에서 나오는 신호를 받아 출력전압을 제어하는 역할을 하는 SCR과 제어된 교류를 직류로 전환하는 아답터로 구성되어 있다. 냉각부는 열전소자를 중심으로 입력되는 유체와 열 교환하는 사각 환과 열전소자 발열부의 열을 방출하는 수냉각 유닛으로 구성했다. 마지막으로 계측부는 PID controller의 피드백 센서인 T-type 열전대와 출력되는 유체의 온도를 관찰하는 열전대로 되어있다. 열전소자는 SCR에서 나온 교류전원을 기계식 트랜스를 통해 직류로 바꿔 공급한다. 또한 워터블럭에 충분한 냉각수를 공급하기 위해 1.3 L/min의 순환펌프를 설치하였다.



1. Chamber
2. Fin & Fan
3. Thermoelectric module
4. Water heat sink block
5. Pump
6. Radiator
7. AD to DC Adaptor
8. SCR(Silicon Control Rectifier)
9. PID controller
10. AC power

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

본 연구에서 사용한 열전소자는 Thermotron사의 TS14-127-16제품을 사용하였으며, 세부사항은 Table 1에 나타내었다.

열전소자와 워터블럭 및 환 사이에는 열전달 효율을 높이기 위해서 Thermo compound를 삽입 하였고, 외부로의 열손실을 방지하기 위해서 환 바깥쪽을 단열재로 하였다.

본 실험은 열전소자의 성능파악, PID control의 정밀도 측정, 시뮬레이션 검증으로 나누어진다.

Table 1 Specification of thermoelectric module (Thermotron Co., TS14-127-16)

Thermoelectric module	
Dimension (mm)	40×40×4
Maximum Current (A)	7
Maximum Voltage (V)	16.7
Maximum Capacity (W)	57
Maximum ΔT (°C)	72

2.3 시뮬레이션 조건 및 방법

실제 실험에서는 핀의 형상이나 조건을 바꾸기 위해서 장비들을 교체하거나 심지어 새로 만들어야 하는 경우가 생긴다. 이를 간단히 해결하기 위해 유체 유동 해석이 가능한 모델을 이용, 조건을 변경하면서 예측하였다.

유체유동을 해석할 수 있는 Fluent 6.2를 이용하였으며, k-epsilon standard 난류 모델을 사용하여, 환과 열전소자 영역을 해석 했다. 유입되는 공기의 온도는 298K, 열전소자는 288K으로 설정하였다. 출구 쪽 공기의 온도 변화를 관찰하여 조건에 따른 열 유동을 해석하고자 하였다.

Fig.2는 환의 형상을 나타내는데, Seoul Metal의 SU-E150을 사용했다. 제원은 Fig. 4에 나타내었다. 한 쪽에서 공기가 유입되고, 출구에서 팬에 의해 밖으로 배출되는 형식으로 구성 되어있으며, Fig.3은 Fig.2에 박막 열전달 핀을 추가시켜 효율을 상승시킨 모델이다.

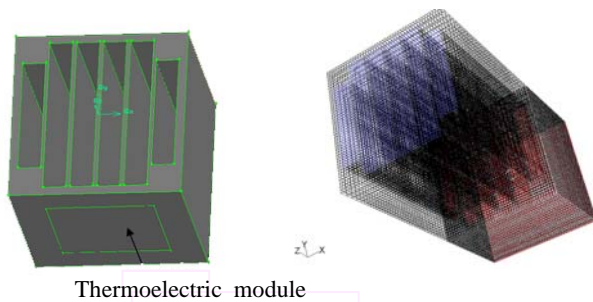


Fig. 2 Geometry of Fin

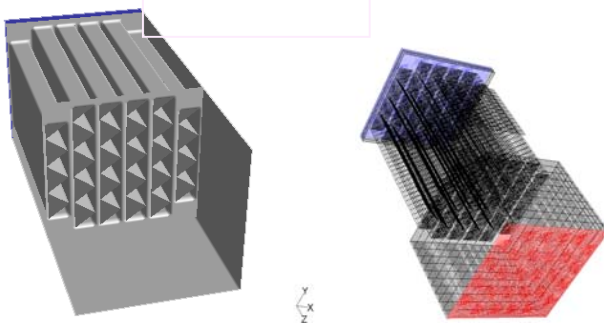


Fig. 3 Shape change of Fin

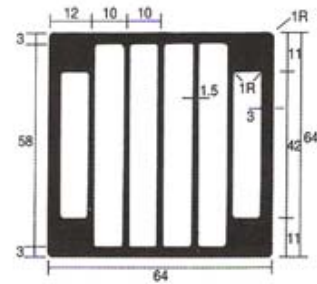


Fig. 4 Size of Fin

3. 결과 및 고찰

3.1 열전소자 성능 파악

열전소자의 최대 성능을 측정하기 위해서 생 산업체에서 제시한 최대 입력 값 범위 안에서 전압과 전류를 걸어주고, 유입공기 온도에 따른 배출 공기의 온도를 측정하였다.

유입공기는 평균 23℃로 유지 했으며, 유량은 0.55 m³/min 이다. 전력은 I = 5A, V = 14V로 일정하게 공급하였다. 그에 따른 열전소자온도와 배출공기의 온도변화는 Table. 2와 같다.

Table 2 Measured temperatures of the cold side thermoelectric module and the exhaust air

	Thermoelectric module Temperature(℃)	Exhaust Air Temperature(℃)
1	11.6	20.3
2	12.3	21.1
3	10.8	20.1
4	11.5	20.3
5	11.9	20.4

온도변화가 심하게 산출된 결과는 제작한 항온 시스템이 유입공기의 온도에 민감하게 반응하기 때문이다. 실험결과 열전소자 개당 흡열 능력은 유입공기 온도를 평균 2.56℃ 낮출 수 있는 것으로 파악되었다.

3.2 PID control의 정밀도 측정

PID controller는 시중에서 사용되는 모듈을 채

택하였으며, 초기에는 자동연산으로 실험한 뒤, 각각의 게인(kp, ki, kd) 파라미터를 변화시키면서 온도 control의 정밀도를 파악하였다. 실제 실험에 사용된 장비의 그림은 Fig. 3, Fig. 4에 나타내었다.

실험조건은 성능파악과 같으며, 전압과 전류는 PID controller에 의해 0~14V, 0~5A로 제어 하였다. 또한 유입공기와 배출공기의 온도차를 측정 하였으며, 설정치는 배출공기의 -2℃로 설정함으로써, 열전소자 냉각능력 범위 안에서 실시하여 PID controller의 정확한 정밀도 측정이 가능하도록 하였다.

유입평균온도 : 23℃, 설정치 : 21℃일 때, 평균 오차 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 이었으며, 소요시간은 예비구동 30분을 제외한 30~50분이 소요되었다. 또한 유입공기의 온도를 급격히 변화시켰을 때, 회복시간은 초기 제어시간과 동일하게 되었으며, 유입공기 온도에 상당히 민감하게 반응함을 관찰했다.



Fig. 5 Experiment apparatus

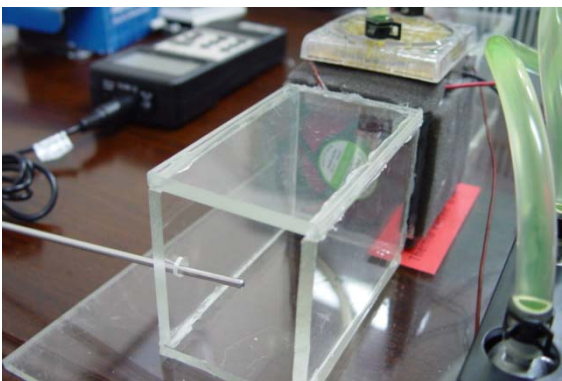


Fig. 6 Outlet temperature measurement

이에 각각의 게인 파라미터를 변화시키면서 실험을 반복 했으나 비슷한 결과 값이 나왔다. 따라서 능동적인 온도제어 기술의 개발이 향후 필요함을 알 수 있었다.

3.3 열유동 해석

Fig. 7은 유입공기가 298K이고, 열전소자 온도가 288K일 때, 흰의 온도와 공기의 온도를 나타내고 있다. 상기 흰의 형상으로는 열전소자의 성능 최대로 올릴 수 없으며, 온도분포가 고르지 않음을 알 수 있다.

Fig. 8은 흰의 형상을 변형 시킨 모델로써 흰 사이에 알루미늄 판 (두께 : 1mm) 을 지그재그로 결합시킨 것이다

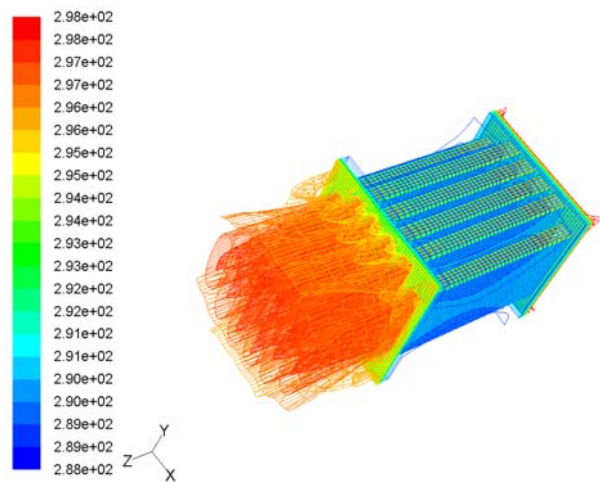


Fig. 7 Temperature of Fin

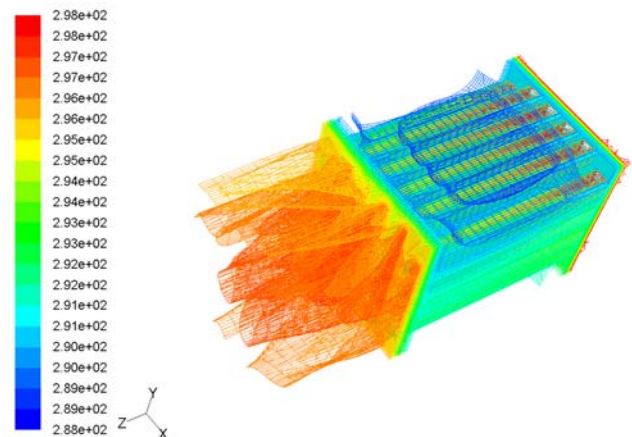


Fig. 8 Temperature of changed Fin

배출공기의 평균온도는 23.6℃로 유입 공기와는 평균 1.8℃차이가 남을 알 수 있다. 이는 앞선 실험값과 유사하며, 해석 모델로써 사용 가능성이 검증되었다.

이 경우 배출공기의 평균온도가 22.8℃로 유입 공기와는 평균 2.6℃차이가 남을 알 수 있다. 이는 변형 전보다 약 30 %의 열전달 효율이 상승함을 의미한다.

4. 결 론

실험 및 시뮬레이션을 통해 냉각실험을 평가하여 결론을 다음과 같이 얻었다.

- (1) 1개의 냉각유닛으로 입력되는 유체온도로부터 약 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 온도를 제어할 수 있었다.
- (2) 온도정밀도 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 를 만족시켰으며, 환의 형상을 개선하여 30% 이상의 효율을 높일 수 있었다. 냉각모듈을 연결 한다면, 더 높은 냉각효과를 볼 수 있을 것으로 예상된다.
- (3) 현재 장치에서는 유입 유체온도에 민감하게 반응하며, 설정온도 도달시간까지 상당한 시간이 소요되는 단점이 있었다.
- (4) 향후연구에서는 제어의 안정화, 제어시간의 단축, 효율증대 및 모듈결합을 통해 각 부하에 적용 가능한 개별 모듈화를 구상할 예정이다.

후 기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 10583)

참고문헌

- (1) Ro, S. T. and Seo, J.S., 1990, "Principle of thermoelectric refrigeration and system design", Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Eng., Vol19, No3, pp. 135~145.
- (2) Angrist, S.W., 1970, "Direct Energy Convesion", Allyn and Bacon, Inc., 2nd ed., Boston. pp.15-38.

- (3) Huang, B.J., Chin, C.J. and Duang, C.L., 2000, "A design method of thermoelectric cooler, Int. J. Refrigeration, Vol.23, pp.208~218.
- (4) Attey, G.S., 1998, "Enhanced thermoelectric refrigeration system COP through low thermal impedance liquid heat tranfer system", Proceedings of the 17th Int. Conference on Thermoelectrics, pp.519~524
- (5) Song, Ha, Park, Jeon, Shin, Im, Jang., 2006, "Thermal Environmental Control Simulation For Large Size Imprint Equipment", pp.1~5