

고온 가혹 조건에서의 회전체 수온 제어에 관한 연구

안준혁, 홍석재, 손영득*
한국기술교육대학교 기계설비제어공학과

A Study on Temperature Control of Rotating Machinery under Harsh High-Temperature Conditions

Joon-Hyeok An, Seok-Jae Hong, Yung-Deug Son*

Department of Mechanical Facility Control Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 압력과 열의 부하가 공존하는 공간에 회전체가 구동하게 될 때 급격한 압력과 열의 변화가 회전체의 내구성을 감소시킨다. 이로 인해 조건에 맞는 회전체의 재질 선정과 안정성을 위해 Water jacket의 냉각 기능은 필수이다. 반도체 세부공정 중, 리플로우 큐어링에서는 세부 상온과 고온의 급격한 교차가 이루어지는 시스템이다. 따라서, 이에 필요한 가열설비에서도 회전 구성체에 급격한 냉각과 가열이 불가피하다. 기존에는 회전체 주변의 냉각수를 투입하여 순환하는 방식으로 회전체의 열화를 방지하는 냉각 기능이였다면, 본 논문에서는 냉각 기능 외에 냉각수 수온에 따른 회전체 속도를 실시간 제어하는 방식을 적용하였다. 급격한 외부 온도변화 정도에 따른 회전체 수온 제어 방식은 2가지 입력접점을 통한 15 °C 감소와 함께 3 °C 범위 안에서의 유지를 가혹 조건에서 나타낸다. 이를 통해 회전체 구성품의 내구성 향상을 예측하고, 본 논문에서 제안하는 방식에 대한 실험 및 유효성을 확인하였다.

Abstract When a rotating body is subjected to pressure and thermal loads, its durability is compromised because of the abrupt changes in pressure and temperature. Therefore, the selection of materials for the rotating body must be made considering these conditions, and the cooling function of the water jacket is essential for stability. In semiconductor microfabrication processes, the reflow curing system involves rapid transitions between room and high temperatures. Consequently, the heating equipment required for this purpose necessitates abrupt cooling and heating of the rotating assembly. In the past, preventing thermal degradation of the rotating body was achieved by circulating cooling water around it. In this study, an improvement was applied by providing a simple cooling function and implementing real-time control of the rotating body speed based on the temperature of the cooling water. According to the degree of rapid external temperature change, the rotating body water temperature control method maintained the temperature within the range of 3°C under severe conditions with a reduction of 15°C through two input contacts. Through this, the durability improvement of the components of the rotating body was predicted, and the experiment and effectiveness of the method proposed in this paper were confirmed.

Keywords : Curing Oven, Water Jacket, Generate Heat, Thermocouple, PID Control, Inverter

*Corresponding Author : Yung-Deug Son(Korea University of Technology and Education)
email: ydson@koreatech.ac.kr

Received February 6, 2024

Accepted April 5, 2024

Revised March 13, 2024

Published April 30, 2024

1. 서론

Water jacket은 냉각수 또는 순수 물(Process cooling water)의 순환을 통해 구동부 과열을 방지하는 기능을 한다[1]. 대표적인 예로 자동차를 보자면, 엔진 외관을 표면상 Cylinder block과 Cylinder head를 먼저 쉽게 볼 수 있다[2]. 내부에 Water jacket이 구성되어 있고, 열교환기를 통한 연결되는 순환액에 온도 센서를 장착하여, 계기판을 통해 냉각수의 현 온도를 실시간으로 볼 수 있다[3]. 순환이 정상 상태라면, RPM의 변화에 따른 냉각수 온도는 거의 변화 없이 일정하다. 엔진 내부 구동부의 과열 방지를 위한 냉각 기능이다[4].

그러나 생산을 하는 산업 현장에서는 일정하지 않다. 특히, 반도체 생산의 경우에는 밀폐된 고온, 고압의 공정 공간 내부에서 세밀하고 다양한 열변형의 PCB를 생산한다[5]. 이를 위해서는 개방된 공간에서 제품을 In 하고, 폐쇄 공간의 공정 과정을 거쳐, 제품 Out을 반복해야 하는데, 설비 투입/배출구 Door의 Open/Close는 필수 조건이다. 이때, 갑작스럽게 노출되는 외부의 상온과 대기압은 PCB에 사용되는 에폭시에 예민한 영향을 주고 있음을 볼 수 있다[6]. 하지만, 설비에도 급격한 가혹 조건이 된다. 이후, 공정을 제어하여 시작 종료를 반복한다. 공정 공간 안에는 회전체가 존재하며 구동부 열화는 불가피하다. 특히, 반도체 경화 공정 후의 물질 변화에 따른 대기 성분, 미세입자, 액화되는 표면 이물질 등의 점도 변화 등은 회전체의 과부하로 이어져 불량률의 원인이 되는 데이터를 가져온다[7]. 따라서 구동부 설계는 정해진 공정 Recipe에서 온도와 압력에 맞는 특수한 재질 선택을 하게 된다. 하지만, 이에도 불구하고 구동부의 열화는 일정한 상온 조건보다 빈번함을 보여준다[8]. 여기서 효과적인 제어방법의 하나로 회전체 주변을 냉각하는 것은 Water jacket의 냉각 기능이지만 외부가혹 조건을 완벽히 제거하는 것은 어렵다.

본 논문에서는 기존 열원 입력 점 제어기에 수온 입력 점을 추가하여 필요 구간에 적합한 제어 방식을 선택하는 병렬 출력 구조를 제시한다. 공정 공간의 일정한 고온을 유지하기 위해 Thermocouple 센서를 이용한 Heater를 사용하는 조건으로 회전 구성품의 Shaft와 Bearing의 내구성을 향상하게 시키는 방법을 제시한다. 기존에는 Water jacket 냉각수의 일정한 공급과 Fan motor의 일정한 속도(40Hz)를 통해 공정 공간에 열 온을 공급한다. 제안하는 방법은 Thermocouple 온도와 Water jacket 배수 온도 2가지 접점을 이용하여 Fan motor의

최적 속도 제어를 통해 회전체 열화에 대한 제조사가 제안하는 온도 이하에서 일정하게 유지하는 것이다.

2. 가혹 조건의 구조 및 수학적 모델링

2.1 반도체 패키징 공정과 가열설비 가혹조건

반도체 후공정인 패키징(Packaging) 공정의 구도는 Back Grinding, Dicing, Die bonding, Wire Bonding, Molding 순으로 진행된다. 이러한 공정들은 패키징 기술의 변화에 따라 순서가 바뀌거나 서로 밀접한 관계 속에서 합쳐지기도 한다. Dicing 공정 후 Wafer에서 분리된 칩과 패키지 기판(Package substrate or PCB)을 접합하는 공정을 Die bonding이라고 하는데, 여기에 접착되는 필름이나, 도포하는 에폭시(Epoxy)를 경화하여 Die와 PCB를 접합하는 세부공정을 리플로우(Temperature reflow) 또는 큐어링(Curing)라고 한다. 이 세부공정은 온도 150~250 °C 범위에서 이루어지며, 요구하는 반도체의 종류가 많을수록 다양한 온도 분포와 시간 제어가 필요하다. 따라서, 가열설비는 여기서 열전달이라는 주 기능을 담당하는 필연적 관계가 형성된다. 공정이 종료되면 다음 공정단계로 제품이 이동해야 하므로, Fig. 1과 같이 닫혀있던 투입/배출구가 개방된다. 이때 공정온도와 상온이 상충하는 조건을 설비 내부 구성품에 대한 가혹 조건이라 할 수 있다.

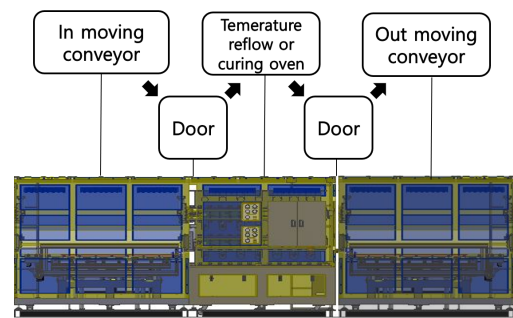


Fig. 1. In/Out system of temperature reflow or curing

2.2 가열설비 회전체의 구성

가열설비에서 발생하는 열은 공정 공간 안의 각 회전체로 전달된다. 여기서 열풍을 만들어내는 구동부는 Fan motor이며, Fig. 1과 같이 중앙의 Curing Oven 후면부에 장착되며, 모습은 Fig. 2와 같다. 구성품으로 Fan, Bearing 6006, Shaft, Water jacket이다. Motor를 제

외한 나머지 대상 체는 Oven 내부 공간에 장착된다. 공정 공간 내에서의 내구성 영향을 가장 많이 받는 부분은 Shaft 구동부이다. 구동부를 확대하여 Fig. 3과 같이 표현하고 Shaft와 Bearing의 내구성 향상을 위한 방법을 제시한다.

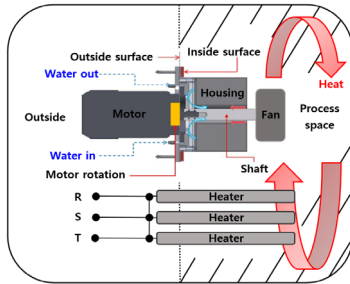


Fig. 2. Rotation driving fan motor with water cooling circulation function

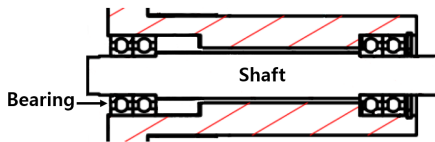


Fig. 3. Shaft & Bearing

2.3 가혹 조건에서의 회전체의 열전달

Water jacket의 배수 온도를 제외한, 나머지 온도측정 Point는 회전이라는 조건의 특성과 금속 재질의 거리에 따른 전도율 차이로 정확한 측정이 어렵다. 따라서, 열전달의 에너지 전달이 온도 차(ΔT)에 의해 이루어지는 열에너지를 표현하고, 일의 단위($W=J/s$, Watt)로 Water jacket 유·무에 대한 열 전달량(Q)을 계산하였다. 첫 번째, 가혹 조건에서 Water jacket의 냉각 기능이 없는 강철 재질의 Housing으로 가정하고 푸리에의 열전도 법칙(Fourier's Law of heat conduction)에 따라 전도되는 열 전달량(Q)은 Eq. (1)로 표현할 수 있다[9].

$$Q_1 (Watt) = k \times A \times \frac{\Delta T}{d} \quad (1)$$

여기서 k 는 재질의 열전도율 [$W/m \cdot K$], A 는 열전달 면적 [m^2], ΔT 는 온도 차 [$^{\circ}C$], d 는 재질의 두께 [m]이다. 가열설비 내부를 가정하여 적용하면 열전도도가 $50 W/m \cdot K$, Shaft가 위치하는 Housing 내경 지름 $55 mm$, 높이 $300 mm$, 두께 $15 mm$ 일 때 온도 변화에

대한 열 전달량은 Fig. 4와 같다. ΔT 가 $100^{\circ}C$ 의 경우 열 전달량은 $5.5 kW$ 이다.

두 번째, 가혹 조건에서 Water jacket의 냉각 기능이 있는 Housing의 경우이다. 냉각 시스템 내부로 유체가 들어가고 나오는 개방시스템이며 단위 시간당 단면적을 지나가는 질량의 흐름이 변화가 없고 일의 출입도 없다. 또한, 운동에너지와 위치에너지도 무시하는 정상개방시스템이라면 Eq. (2)과 같이 표현할 수 있다[10].

$$Q_2 (Watt) = m \times C \times \Delta T \times 10^3 \quad (2)$$

여기서, Q 물질의 열 전달량, m 은 유량(L/sec), C 는 물의 비열 $4.186 kJ/kg^{\circ}C$ 이다. 가열설비 내부 냉각수 유량을 $0.1 L/sec$ 로 가정하면 ΔT 에 따른 변화율은 Fig. 4와 같다. ΔT 가 $100^{\circ}C$ 의 경우 열 전달량은 $41.86 kW$ 이다. Water jacket 유·무에 따라 ΔT 가 $100^{\circ}C$ 일 경우 $36.36 kW$ 의 열 전달량에 차이가 발생한다. Fig. 2와 같이 Water jacket 냉각수의 순환방식이 열전달 성능의 우수함과 필수적이라는 것을 알 수 있다.

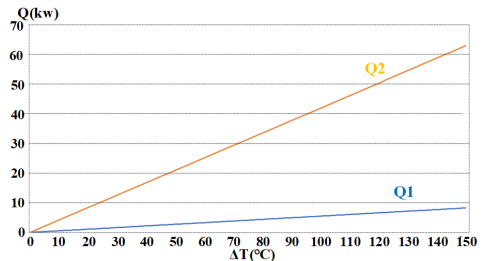


Fig. 4. Heat transfer with or without a water jacket

세 번째, 가열설비에 Water jacket 냉각수가 공급되는 조건에서 Motor 회전속도에 의한 Shaft의 Bearing 마찰손실을 발열량으로 계산하면 Eq. (3)와 같다. Bearing 제조사의 편람을 참고하였다[11,12].

$$Q_1 (kW) = 0.105 \times 10^{-6} \times M \times N \quad (3)$$

여기서, 0.105×10^{-6} 은 발열 계수, M [$N \cdot mm$]은 마찰 모멘트, N [RPM]은 회전속도이다. Shaft 길이는 $400 mm$ 이며, RPM 은 $1200, 2400, 3600$ 으로 구분하고, Bearing의 외륜과 내륜, 온도 차 및 하중 부하는 생략하였다.

온도와 회전속도별 발열량의 변화는 Fig. 5와 같다.

Fig. 4와는 달리 곡선 형태의 발열량을 나타내며 속도 제어가 온도변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

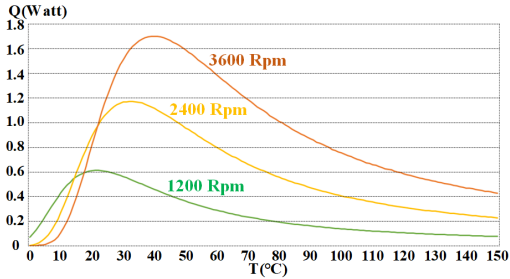


Fig. 5. Heat transfer of bearings with respect to temperature

기존의 Curing oven 가열설비의 Shaft와 Bearing 냉각방식은 Door가 Open 상태이며 대기압의 상온상태이다. 그러나, 제품이 투입되면 Door가 Close 상태에서 Thermocouple(공정온도 센서)을 입력접점으로 하는 공정 평균 온도 150 °C 유지를 위해 Fan motor는 40 Hz, 2400 RPM으로 일정하게 회전한다. 이때 기존의 냉각방식은 주변의 여건을 고려하지 않고 Water jacket에 의해 항상 일정하게 0.1 L/sec으로 공급하고 있다. 냉각수 온도는 Fig. 6과 같으며 Door close 상태에서 평균 56~65°C이다.

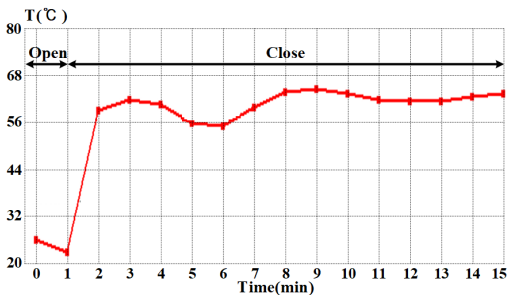


Fig. 6. Conventional method for cooling water temperature in the water jacket

3. 수온 제어 특징 및 병렬 제어

본 논문에서 제안하는 새로운 냉각방식은 Thermocouple K-type의 수온 센서(Water temp. sensor) 및 공정온도 센서(Process temp. sensor)의 2개의 입력 센서를 a 접점, b 접점 방식으로 각 입력신호에 따라 Fan motor

의 회전속도를 제어한다. 양산 공정(Process)을 구간별로 나누어 공정온도 센서를 이용한 공정제어, 수온 센서를 이용한 수온 제어를 개별적으로 제어한다. 이를 위해 Curing oven의 Door의 Open/Close 상태의 내부 온도변화에 대한 분석이 필요하며 Fig. 7과 같다. 양산 공정은 Door의 Close 상태 평균 150 °C 공정온도를 기준으로 대기(Ready), 가열(Heating), 유지(Maintenance), 냉각(Cooling), 대기(Ready)로 구분하였으며 온도변화가 가파른 구간은 공정제어, 완만한 유지구간은 수온 제어를 Fig. 8과 같이 적용하였다. 공정별로 Oven의 Door 개방 여부, 가열, 수온 및 공정온도, 제어 입력 센서의 적용에 대해 Table 1에 나타내었다.

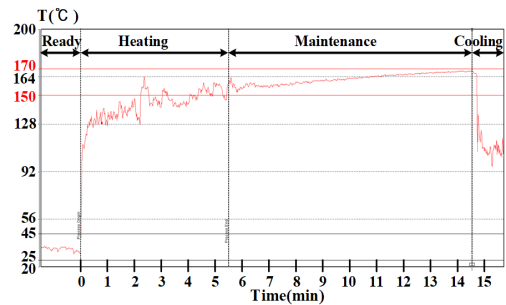


Fig. 7. Temperature variation by process section

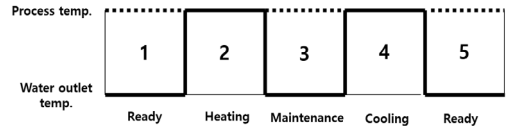


Fig. 8. Temperature control by process temp. sensor or water temp. sensor in the process section

Table 1. Temperature of curing oven by process section

Process	Ready	Heating	Maintenance	Cooling	Ready
Door	Open	Close	Close	Open	Open
Heater on/off	Off	On	On	Off	Off
Heater output(%)	0	20~100	10~30	0	0
Time (sec)	-	330	570	90	-
Water temp. (°C)	Rising	High (23~47)	High (48~50)	High (40~48)	Falling
Process temp. variation	Low	High	Low	High	Low
Control input sensor	Water temp.	Process temp.	Water temp.	Process temp.	Water temp.

제품 양산 전/후에는 Oven이 가동되지 않는다. 대기하는 시간에는 제품이 언제 투입될지 알 수가 없고 Oven door의 개방 시간을 사용자가 정할 수 없다. 특히, 양산 시작점의 수온은 예측할 수 없으나 양산 공정 공간의 온도는 공정 Recipe에 따라 결정되므로 예측이 가능하다. 가파른 온도 구간(Heating, Cooling)에서는 온도변화가 급격하므로, 응답성이 빠른 공정온도 센서를 통해 회전체가 받는 열을 인식하는 것이 효율적이다. 회전체의 가혹 조건의 실시간 응답성을 위해, 공정온도 센서를 통한 제어는 Fig. 9와 같다. 공정온도 센서의 신호를 입력받아, PID 온도제어기는 정 출력과 역 출력을 동시에 병행한다. 우선 정 출력은 Heater 발열을 위한 제어이며, 역 출력은 회전체 속도 제어를 위한 제어이다. Heater 발열량이 많을수록, 회전체 속도는 감소하여 회전체 구성품의 발열량을 줄인다. 반면, Heater 발열량 적을수록, 회전체 속도는 증가하여 회전체의 발열량을 높인다. 이와 같은 방식으로 회전체 온도를 유지하는 역할을 한다.

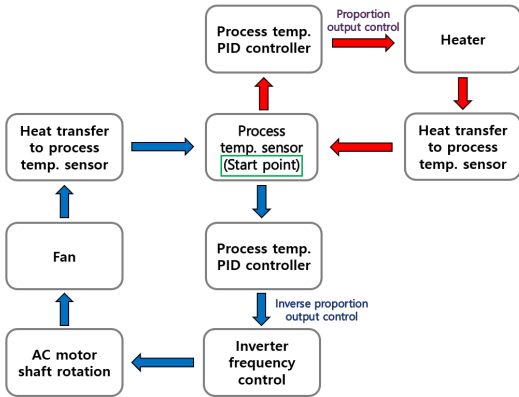


Fig. 9. Flow chart of process temp. control system

공정온도 제어 이외의 온도변화가 완만한 구간 (Ready, Maintenance)에서는 수온 제어를 적용하였다. Eq. (4)와 Fig. 10과 같이 Water jacket의 순환하는 배수 온도(e_i)를 열 응답시간(t_s)에 따라 측정하여 온도제어기를 통한 아날로그 신호(u_i)를 출력한다. 출력된 신호는 Inverter에서 아날로그 입력을 받아 주파수 제어 구동부 Motor 회전속도를 Fig. 5와 같이 1200 ~3600 RPM(20~40 Hz)으로 실시간 조정한다. 온도제어는 수온까지의 열전달 응답속도 차이를 고려하였다. PID 제어 방식을 적용하여 급격한 Overshoot 억제하는 것에 중점을 두었다.

$$u_i = u_{i-1} + K_p(e_i - e_{i-1}) + K_i \frac{e_i}{t_s} + K_d \frac{e_i - 2e_{i-1} + e_{i-2}}{t_s} \quad (4)$$

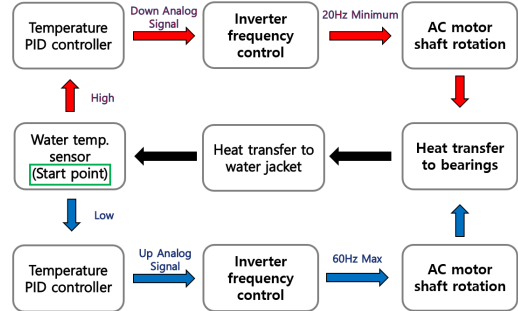


Fig. 10. Flow chart of process temp. control system

4. 회전체 적용 및 실험

실험 조건은 Fig. 6과 같은 회전체의 일정 속도 제어와 같이 동일한 조건에서 온도변화가 완만한 구간으로 Maintenance 공정에서 진행하였다. 온도변화가 급변하는 구간은 수온 제어를 적용할 수 없다. 기존 방식과 더불어 Thermocouple을 이용한 공정제어와 수온 제어를 이용하여 회전체의 속도를 제어하였다. 2가지 제어의 유효성을 위해 냉각수 온도측정이 필요하며 측정을 위한 구성품은 Fig. 11과 같다. Mechanical Seal에 두 개의 Tube(청색 호스)를 연결하고, 한 개에 냉각수를 투입하면, 나머지 한 개에서는 배수된다. 배수 Tube에 T 관을 연결하여 온도 센서를 장착하고 냉각수를 측정한다.

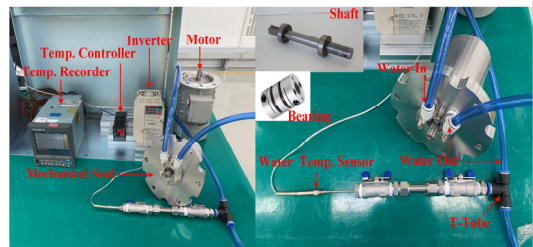


Fig. 11. Components of the water temp. control system

본 실험에서는 Overshoot의 최소화를 목표로 하며 Fig. 7과 같이 온도상승이 끝나고 유지되는 시점 Maintenance 구간에서 측정하여 비교한다.

제어기의 제어 값은 Table 2와 같으며, Limit cycle

방식으로 Autotuning 실행하였다.

Table 2. Autotuning results of the two control systems

	K_p	K_i	K_d
Process temp. sensor	8.6	69.2	24
Water temp. sensor	4.0	6.5	25

공정온도 센서를 통한 제어는 Oven 내부 중앙에 위치하는 Process temp. sensor로부터 입력을 받으며, 온도제어기의 출력을 Fig. 9과 같은 방식으로 정/역 출력을 통해 속도 제어를 한다. 수온 센서를 통한 제어는 회전체 Mechanical seal에서 배수하는 Water temp. sensor로부터 입력을 받아, 온도제어기의 출력을 Fig. 10과 같은 방식으로 속도 제어를 한다. Fig. 6과 같이 기존 수온은 65 °C의 분포를 나타내지만 제안하는 방식은 Fig. 12와 같이 50 °C의 분포를 나타내고 공정온도 센서를 통한 제어보다 수온 센서를 통한 제어가 Hunting 구간에서 3 °C의 차이로 더 안정되어 있음을 알 수 있다. 온도의 변화가 완만한 구간에서 수온 제어가 더 유리한 이점을 갖고 있음을 본 실험 결과를 통해 확인하였다.

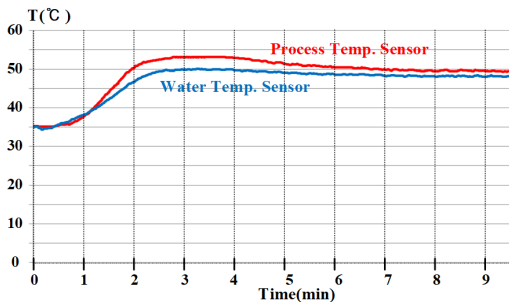


Fig. 12. Temperature of water outlet

5. 결론

본 연구는 효율적인 회전체의 냉각 시스템 구현을 위한 수온을 포함한 다 입력점점의 구간별 선택제어를 비롯하여, 열풍 구동부의 사양 선정과 수치적 해석 접근과 더불어 내구성 향상 방안에 대한 연구를 진행하였다. 또한, 추후 공정 Recipe에 따른 공정단계별 제어 방식의 전환 시점에 대한 예측 시스템 연구도 필요할 것으로 사료된다.

- 회전체 구성품 온도는 수온 센서를 통한 Motor의 회전속도 제어(수온 제어)를 통해 기존 단일 냉각 방식보다 구성품 온도가 일정하고 감소했다는 것을 배수 온도 결과로 확인하였다.
- 열 응답성이 빠른 제어는 급격한 온도변화 속에서 효과를 보이지만, 느린 구간에서의 과도 응답 제어성은 기체 상태의 열 온 제어보다 응답성이 떨어지는 수온 제어가 유리함을 구간별 병렬제어 적용을 통해 입증하였다.
- 회전 구성품의 자체 온도 유지의 조건을 연구를 통해 신뢰성을 확보하였고, 수치적 해석과 실험을 통해 회전체 내구성 향상을 위한 평가 검토 방법이 유효함을 확인할 수 있었다.

References

- D. S. Hong, D. H. Choi, S. H. Kong, T. W. Kim, K. Suk. Lim, "Experimental Study on the Performance of an Charger Cooling System for Electric Vehicles", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.23, No.12, pp.676-681, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.12.676>
- I. K. Lee, S. H. Cho, H. G. Kim, S. C. Kim, "Study for Failure Examples of Injector, Idle Speed Actuator and Gasket in LPi System Vehicle", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol.16, No.3, pp.48-53, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.7842/kigas.2012.16.3.048>
- C. H. Shin, S. H. Lee, W. G. Park, G. L. Jang, "The Study about the Performance-Analysis of a Automotive Engine Cooling System", *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol.14, No.2, pp.39-48, 2006.
- C. S. Oh, T. Y. Ryu, S. Y. Shin, J. K. Choi, "An Experimental Study on the Characteristics of Metal Temperature and Heat Rejection to Coolant of Gasoline Engine", *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol.9, No.3, pp35-41, 2001.
- S. H. Cho, Y. B. Ko, "Numerical Analysis of Thermal Deformation of a PCB for Semiconductor Package at Panel, Strip and Unit Levels", *Journal of the Microelectronics and Packaging Society*, Vol.26, No.3, pp23-31, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.6117/kmeps.2019.26.4.023>
- W. G. Kim, "Cure Characteristics of Ethoxysilyl Bisphenol A Type Epoxy Resin Systems for Next Generation Semiconductor Packaging Materials", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol.16, No.2, pp19-26, 2017.
- D. P. Hong, W. T. Kim, "Quantitative NDE Thermography for Fault Diagnosis of Ball Bearings

with Micro-Foreign Substances” *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol.34, No.4, pp. 305-310, 2014.

DOI: <https://dx.doi.org/10.7779/JKSNT.2014.34.4.305>

- [8] Jin-Ju Seo, Dong-Pyo Hong, Won-Tae Kim, “Study on NDT Fault Diagnosis of the Ball Bearing under Stage of Abrasion by Infrared Thermography”, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol.32, No.1, pp.7-11, 2012.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7779/JKSNT.2012.32.1.007>
- [9] H. Choi, S. J. Lee, Y. H Ko, J. H Bang, “Reflow Behavior and Board Level BGA Solder Joint Properties of Epoxy Curable No-clean SAC305 Solder Paste”, *Journal of the Microelectronics and Packaging Society*, Vol.22, No.1, pp.69-74, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.6117/kmepps.2015.22.1.069>
- [10] B. H Choi, Heat Transfer, pp.202, Munundang 2015, pp.154~195.
- [11] Rolling Bearing Comprehensive Catalog, Friction and heat generation, 10-2, CAT.No.2202-IX/K, NTN Korea, 2010, pp.A-71.
- [12] D. S. Jung, M. K. Kim, M. S. Kim, W. Y. Lee, “Capacity Modulation of a Multi-Type Heat Pump System Using PID Control”, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.12, No.5, pp.466-475, 2000.

안 준 혁(Joon-Hyeok An)

[준회원]



- 2012년 2월 : 한국폴리텍 IV 대학 아산캠퍼스 메카트로닉스 산업학사
- 2022년 2월 : 한국방송통신대학교 메카트로닉스 공학사
- 2024년 8월 : 한국기술교육대학교 기계설비제어 공학석사
- 2011년 10월 ~ 현재 : (주)비에이치 에스티 제조총괄 기술팀

<관심분야>

반도체설비, 기계설비, 자동제어, PLC, 산업용 로봇

홍 석 재(Seok-Jae Hong)

[준회원]



- 1999년 2월 : 국립천안공업대학 전자공학 전문학사
- 2022년 8월 : 국가평생교육진흥원 전자공학 공학사
- 2024년 8월 : 한국기술교육대학교 기계설비제어공학 공학석사
- 1999년 12월 ~ 2006년 2월 : (주)다이어 ATE사업부
- 2012년 8월 ~ 현재 : (주)와이아이케이 제조기술센터 센터장

<관심분야>

반도체기계설비, 반도체테스트, PLC제어, 전기/전자설비

손 영 득(Yung-Deug Son)

[정회원]



- 2015년 2월 : 부산대학교 전자전기공학부 (공학박사)
- 2001년 2월 ~ 2009년 8월 : 현대중공업 선임연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계설비제어공학과 부교수, 건축전기설비기술사, 전기응용기술사

<관심분야>

자동제어, 지능제어, 모터제어, 전기설비, 기계설비