
전자제어 장치를 이용한 세라믹 파이프의 온수제어기 개발

이정석*

A Controller Development of Water Heating in a Ceramic Pipe Using Electronics Control System

Jung-Suk Lee*

요 약

본 논문은 원통형 세라믹관에서 온수를 순간적으로 가열하여 설정된 온도 및 수량으로 제어하고자 전자 제어를 개발하였다. 순간온수기의 구조는 유입되는 온수가 원통형 세라믹 히터를 통하여 열량을 공급하여 온도를 제어하고자 설계하였고, 또한 수량센서와 임펠러를 이용한 수량을 제어하는 전자 제어를 설계하였다. 순간온수의 제어방법은 유입되는 유량에 열량을 공급하는 원통형 세라믹 히터의 수학적인 모델링을 수립하여 제어기 적용하였고, 이에 대한 실험결과는 설정온도에 따라 제어가 잘 적용되어, 효율적이고 실용성 결과를 보였다. 따라서 원통형 세라믹 순간온수기는 향후 실용제품에 적용할 수 있는 제품구조와 제어 방법을 제시하였다.

ABSTRACT

This paper presents that the electronic controller is developed for controlling the setting temperature and water in the ceramic pipe system. The heating water system is designed for controlling the temperature to supply the heat through the ceramic pipe heater to input the water, also for controlling quantity of water using the water sensor and impeller. The control method of the heating water system is applied the mathematic modeling of the ceramic pipe heater on the supplying the heat at coming water, and the test result of the electronic controller is present to smartly control the setting temperature, therefore the ceramic pipe heater is proposed to be able to apply the heating structure and the control methods as a product.

키워드

electronic control, water controller, ceramic heater, convection, heat transfer.
전자제어, 유량제어, 세라믹 히터, 열복사, 열전달

1. 서 론

최근 삶의 질이 높아지면서 적절한 온수를 사용하는 순간 온수기, 사우나, 비데기 등 다양한 시스템이

개발되어 적용되고 있으며, 특히 순간 온수 가열 제품의 사용이 증가되고 있다. 이 순간 온수 가열 기구는 순간적으로 짧은 시간에 설정된 높은 온도의 물 가열하여 사용되며, 이런 제품에서는 고온열을 순간적으로

* 인하공업전문대학 메카트로닉스과(ungboleee@inhac.ac.kr)

접수일자 : 2011. 08. 19

심사(수정)일자 : 2011. 09. 24

게재확정일자 : 2011. 10. 12

가열하기 때문에 가열 부분의 파손이 발생하고 있으며, 또한 순간적으로 고온을 가열하여 물을 데우기가 어렵다. 따라서 순간 고온에 잘 견디고 순간 온수를 제어 할 수 있는 순간 온수 가열기가 필요하며, 가열 기기는 열전도성 및 고온열에 잘 견딜 수 있는 세라믹 재질을 이용한 제어기 설계를 하고자 한다.[1,2]

순간 가열을 통한 온수를 사용하는 제품들이 많이 있으나, 이는 정확한 제어를 사용하지 않는 제품으로서 안전성과 신뢰성이 떨어지기 때문에 보다 견실하고 안전성이 보장된 제어기를 설계가 필요하다. 또한 고온을 통한 순간 가열에 따른 제품들이 파손이 발생하여,[3,4] 열도성이 떨어져 열 에너지 손실이 많이 발생하고 있기 때문에 세라믹이라는 제품을 통하여 고온 순간 가열을 할 수 있는 제어기 설계를 하여 제작하였다. 세라믹 원통형 온수 가열제품에 대한 수학적 모델링을 통하여 정확한 제어가 필요하며, 따라서 전류를 공급하면 세라믹관을 통하여 관내의 물을 전달되는 에너지 평형을 이루는 수학적 모델링을 확립하고자 한다.[4,5,6]

일반적인 순간 온수 가열기는 그림 1과 같이 급수 밸브를 통한 수도물이 물탱크로 입력되면 온도센서를 이용해 물온도를 측정하고, 측정된 온도값이 전자제어 장치로 전달되어 원하는 온수 온도값(약 30°C~40°C)보다 낮을 때, 히터를 이용해 물을 가열시켜 적정온도의 온수를 만든 다음 노즐을 통해 온수를 사용한다.

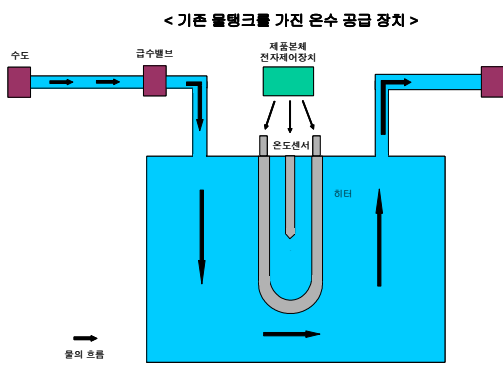


그림 1. 기존의 온수 가열기 구성도
Fig. 1 Existed water heater system

그림 1에서 보는 바와 같이 기존의 국내 개발되는 세척용 물통이 500~1200cc 정도나 되어 부피가 너무

클 뿐만 아니라 물탱크 안에 있는 물을 항상 적정 온도로 가열해 주어야 하므로 전력소모가 너무 많은 단점을 가지고 있다. 또한, 물통 안에 히터가 장착되어 히터가 온수에 장기간 잠겨있어 세균 번식의 우려가 있고, 석회질이 많은 곳에서는 석회질이 응집되어 히터의 수명을 단축시킬 수 있게 된다.

이와 같은 단점을 극복하기 위해 순간 온수기 개발 기술이 가장 뛰어난 일본에서는 1990년대 말에 순간 온수 공급형 세라믹 히터를 개발한 바 있다. 그러나 일본에서 개발한 세라믹 히터는 전기 코일이 물에 노출되어 코일 부식우려 및 물 오염의 원인이 되는 단점을 그대로 가지고 있어 전기코일이 물에 노출되지 않는 세라믹 히터의 개발이 필요한 시점이다. 또한 일본 방식은 공급 전원이 110V여서 우리나라가 사용하는 220V에 달라 우리나라에 맞는 전원사용, 즉 전압을 증가시키게 되면 상대적으로 코일 굵기를 얇게 변경시켜야 하는데 전력변화에 따라 코일이 끊어질 우려가 있고, 따라서 본 논문은 원통형 세라믹 히터를 이용한 원통형 순간 가열기의 모델링과 순간 온수 전자 제어기를 설계하고자 한다.[7,8,9,10]

II. 시스템 모델

1. 원통형 히터 모델

순간적으로 물을 가열하기 위한 장치로서 그림 1과 같이 원통의 재질은 세라믹으로 되어 있으며, 가열은 코일이 외곽에 감겨져 있으며 그리고 열 손실을 막기 위해서 코일 외곽에 도료로 감싸고 있으며, 그리고 전원을 공급할 수 있는 히터 전원단자가 있다. 또한 원통형 히터의 성능은 벽 배부에서 전기적 가열에 의한 $\dot{q} = 25 \text{ w/cm}^2$ 의 율로 균일한 열을 공급하고 있다.

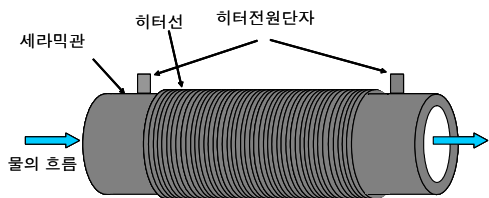


그림 2. 원통형 히터
Fig. 2 Pip type heater

원통형 히터의 단면적 형태는 그림 3과 같으며, 에너지 평형은 관의 바깥 표면이 단열되어 있다고 가정하면, 식 (1)과 같이 관벽 내에서 발생한 에너지 율은 물로 대류 되는 율과 같다고 정의 할 수 있다.[4]

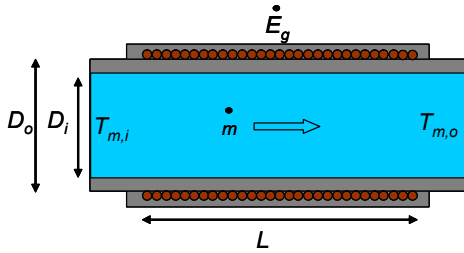


그림 3. 원통형 히터의 수학적 모델링

Fig. 3 Mathematics modeling of the pipe type heater

$$\dot{E}_g = q_{conv} \quad (1)$$

원통 관에서의 입수 온도와 출수 온도에 따른 대류 열 전달율은 원통 내의 물 유동률(\dot{m})이 일정하게 흐른다고 보면 원통관의 출수온도 $T_{m,o}$ 에서 입수온도 $T_{m,i}$ 를 뺀 값과 물의 비열 C_p 를 곱한 값이 된다.

$$q_{conv} = \dot{m}c_p(T_{m,o} - T_{m,i}) \quad (2)$$

원통 관내에서 발생하는 에너지율은 식(3)과 같고,

$$\dot{E}_g = \dot{q} \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) L \quad (3)$$

(D_o : 원통 관의 외경, D_i : 원통 관의 내경, L : 원통관의 길이, \dot{q} : 단위체적당 에너지 발생률(W/m^3))

여기서 관을 둘러 싸인 전선에서 발생하는 에너지 발생률은 식 (4)와 같다.[4]

$$\dot{q} = \frac{V^2}{R_e(\pi d^2/4)} \quad (4)$$

(I :도선의 전류, R_e :도선의 저항, d :도선의 지름)

식 (4)를 식 (3)에 대입하면 관통에서 발생하는 에너지 율은 식 (5)와 같다.

$$\dot{E}_g = \frac{V^2(D_o^2 - D_i^2)L}{R_e d^2} \quad (5)$$

따라서 원통관의 에너지 방정식은 식(6)와 같이 관벽 내에서 발생한 에너지율과 물로 대류 되는 율이 같다.

$$\frac{V^2(D_o^2 - D_i^2)L}{R_e d^2} = \dot{m}c_p(T_{m,o} - T_{m,i}) \quad (6)$$

위에서 유도된 식에 따라 출수 온도를 제어하기 위한 식은 (7)와 같이 유도된다.

$$T_{m,o} = \frac{V^2}{\dot{m}c_p d^2 R_e} (D_o^2 - D_i^2) + T_{m,i} \quad (7)$$

이때 가정은 아래와 같다.

- 가. 정상상태 조건들
- 나. 균일한 열유속
- 다. 위치에너지, 운동에너지, 그리고 유동일의 변화들은 무시할 만하다.
- 라. 일정 물성값들
- 마. 단열된 관의 바깥 표면

설정온수의 제어는 입수온도와 출수 온도의 차인 에러값은 식 (8)과 같이 되도록 제어를 수행하면 된다.

$$e = T_{m,i} - T_{m,o} \approx 0 \quad (8)$$

2. 순간 온수 장치 시스템 구성

순간 세라믹 온수 가열기의 시스템 구성도로는 기존 방식인 물탱크 없이 수도를 직접 연결하는 수도 직결식 방식으로, 사용자가 원하는 온수의 온도를 설정하면 전자제어장치를 통해 입수유량, 입수온도, 출수 온도 등을 종합 비교하여 일정한 온도의 온수를 제한 없이 사용할 수 있도록 해준다. 이러한 전자제어장치는 유입되는 입수 온도와 수압 위 변동에 의한 수량변화에도 실시간으로 사용자가 원하는 온도를 제공해 준다. 또한, 온수를 사용할 때만 세라믹 히터가 동작되어 소비전력을 줄이게 해주고 그림 4에서 보는 바와 같이 전기코일이 물에 노출되지 않도록 하여 부식 방지, 물

오염방지 등을 통해 깨끗한 물을 제공할 수 있다.

수도꼭지에서 나오는 물은 유량계인 임펠라를 지나간다. 이때 임펠라는 물의 유량을 측정하고 유량의 정보를 제어기로 보내진다. 그리고 유량계를 거친 물은 급수 밸브를 통과하고 순간온수장치 내부로 유입된다. 유입된 물은 입수 온도 센서에 의해서 입수 온도를 측정하고 측정된 온도는 전자제어장치로 보내진다.

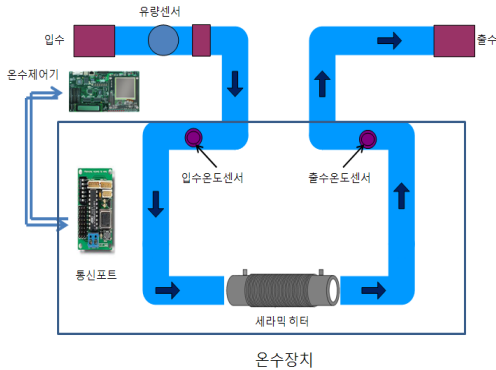


그림 4. 온수 장치
Fig. 4 Heater system

원통형 세라믹 히터의 관에 유입되는 물은 히터선에서 가열된 열량을 얻고 출수로 배출된다. 이때 배출되는 출수 온도는 센서로부터 확인되고 그 정보를 전자제어장치에 송부된다.

최종의 목표 온도 값에 도달하기 위해서 세라믹히터의 열량을 조절하여 얻는다. 그리고 순간 온수 장치의 사용에 있어서 안정성을 요구하기 때문에 세라믹히터에 서킷 브레이크(Circuit Breaker)와 출수 온도센서에 서킷 브레이크가 장착되어 있다.

전자제어기는 유량센서와 입수 출수 온도계로부터 현재의 값을 받아서 세라믹 히터의 수학적 모델링한 알고리즘을 수행하고 세라믹히터의 전류를 조절하여 열량 공급을 조절하게 된다.

III. 제어기 설계

제어기설계는 세라믹히터의 수학적 모델링을 통하여 목표 값인 출수온도를 제어한다. 제어기 흐름은 그림5와 같으며, 제어는 제어하고자 하는 설정온도에

추종하기 위한 제어로서 출수온도에 비교하여 그 에러 신호($e = T_{m,o} - T_{m,i}$)를 점차 줄이는 형태의 제어를 수행하였고, 이 세라믹코일의 전압 전류 제어는 On-off 회로를 이용하여 전류를 증가하여 세라믹 히터에 열을 가는 제어를 식 (9)과 같이 설계하였다.

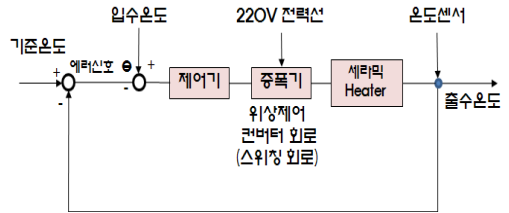


그림 5. 순간온수기의 제어기 흐름
Fig. 5 Control flow of the heater system

$$T_{m,o} = \frac{(V \sin(2\pi ft))^2}{m c_p d^2 R_e} (D_o^2 - D_i^2) + T_{m,i} - e \quad (9)$$

시스템의 제어기 설계는 그림 6과 같이 세라믹 순간온수기에 주제어기가 설치되어 있으며, 순간 입출수 온도 값을 측정하고, 입력 유량과 세라믹 히터의 공급 열량을 조절하여 목표 값 온도에 도달할 수 있도록 제어한다.

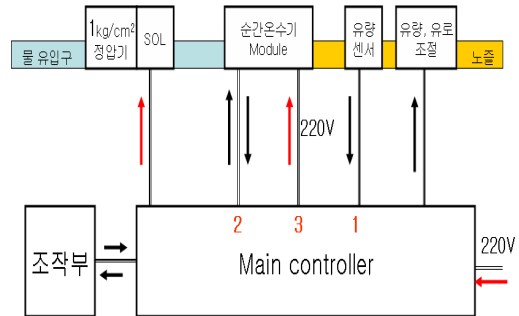


그림 6. 순간온수기 제어기
Fig. 6 The Heater controller

세라믹 히터의 열량 공급은 코일의 전류 공급을 조절하여 사용한다. 즉 On-off 제어 방식으로 세라믹 히터의 코일선에 공급되는 전류를 제어하였다.

순간 온수기의 신호 제어신호 흐름은 그림 6과 같이 1번 경로는 유량 펄스 신호를 입력 받아서, 주 제어기에 전달되고 순간온수기 모듈에 전달하고, 2번 경

로를 통해 출수 온도 설정 값, 유량 펄스 신호, 전원 제로점이 전송되면 5V를 공급하고, 3번 경로를 통해서 는 시스템의 사용 전원을 공급한다.

세라믹 순간 온수 시스템에서는 AC 220V±15%의 정격전압(50/60Hz 주파수, 1,600W 전력사용)을 사용하였으며, 수압은 최대1Kg/cm² 이하로 공급하였으며, 사용 유량은 최소 350cc 부터 800cc 까지 공급하였으며, 입수온도가 9°C 이상인 경우는 변화온도 ΔT30°C가 가능하도록 설정하여 실험을 수행하였다. 동작가능 온도는 냉수 또는 30°C~40°C 온수를 연속해서 변화되는 온수를 입수 공급하였다. 온-오프 제어를 위한 신호는 Triac 소자를 이용하여 전압 Zero Point 설정하여 제어를 수행하였다.

IV. 실험 및 분석

순간 원통형 세라믹 히터를 이용한 온수장치의 제어기 설계를 위한 실험은 그림 4와 같이 세라믹 히터, 입출수 온도센서 및 유량을 측정하는 임펄스를 설치하고 전자제어기는 마이크로프로세서를 이용하여 설계하였다. 실험은 두단계 형태로 하였다. 목표값 온도 설정을 세라믹 순간 온수기에서 적정온도로 사용하는 상온 30°C~40°C로 변화하는 계단 출수 온도로 그림 7과 같이 설정하였고, 입수온도는 상온 15°C에서 10°C로 점점 떨어지게 설정하였다. 실험 결과 초기 목표 온도(40°C) 설정값에 추정하기 위한 과도상태를 약 7초간 보이다가 10초후에 목표값에 도달하는 결과를 보였으며, 다음 단계에서는 과도상태의 시간이 짧아지는 현상을 보였다. 이는 도달시간은 입수온도 가열을 위한 시간이 이며, 전체적으로 계단 목표값 설정에 잘 추정하는 것으로 결과가 나왔다.

두 번째 실험단계는 짧은 시간 변경에 따른 목표값 온도 설정에 잘 추정하는지 여부에 대한 실험으로서 최초에 설정한 온도를 추정하기 위해서 유입물을 가열하기 위한 과도적인 상태의 시간이 걸렸지만, 다음 단계에서는 설정온도에 약 2°C~3°C의 오차를 보이며 추정하는 결과를 나왔다.

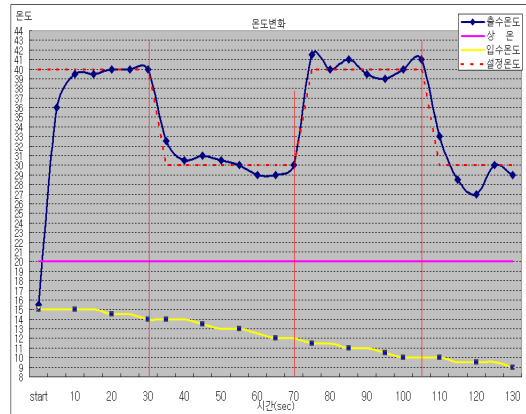


그림 7. Step 파형 출력제어 결과
Fig. 7 The control result of step signal input

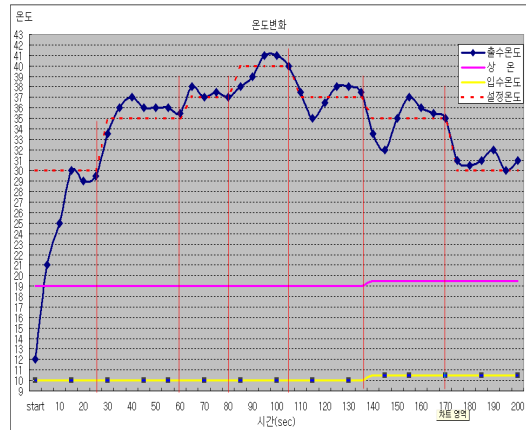


그림 8. Step 파형 증감 출력제어 결과
Fig. 8 The control result of Increment signal input

V. 결론

히터의 출구에서 설정된 물의 온도값을 제어하기 위해 원통형 세라믹 히터는 일정한 전류를 공급하면 열이 발생하는 장치로서 코일에서 발생하는 열이 세라믹으로 전달되어 발생하는 열량 방정식과 에너지 방정식을 이용하여 수학적인 모델링을 확립하고자 하였다.

세라믹 히터에 열량을 공급하며 출수 온도를 제어하기 위해서 히터의 코일에 공급하는 전류를 PWM 방식을 이용하였고, 또한 유량을 측정하여 그 정보를

전자제어기에 제공하여 제어 알고리즘을 개발하였다. 이와 같이 개발된 제어기의 성능을 실험하기 위해서 순간 온수 장치를 설계 및 제작하여 실험을 수행하였다. 실험적 평가는 비데에서 사용하는 30℃~40℃의 출수 온도제어를 계단 입력형태를 취하였고, 이때 전자제어기가 출수 온도를 잘 추종하는 성능 평가 및 향상시켰다.

감사의 글

본 논문 연구결과는 2010학년도 인하공업전문대학교 내연구비원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

[1] 백종관, 한정희, “한국지역난방공사의 겨울철 열 수요 예측을 위한 선형회귀모형 개발”, 한국산학기술학회논문지, Vol. 12 No. 3, pp. 1488-1494, 2011.

[2] Wong S.C. Lin Y.C., “Effect of copper surface wettability on the evaporation performance: Tests in a flat-plate heat pipe with visualization”, International journal of heat and mass transfer, Vol. 54, pp. 3921-3926, 2011.

[3] Huminic G, Huminic A. Morjan I., “Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles”, International journal of heat and mass transfer, Vol. 54, pp. 656 - 661, 2011.

[4] Cengel, Yunus A., “Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer”, McGraw-Hill Higher Education, 2007.

[5] Bruce Alan Reichert, “A Computer Simulation of A Cross-Flow Heat Exchanger operating In A Moist Air Environment”, Iowa State University, 1987.

[6] Anand, N. K. and Tree, D. R., “Steady State Simulation of a Single Tube-Finned Condenser Heat Exchanger”, ASHRAE Transactions, Vol. 88, Part 1, pp. 185-200, 1982.

[7] Incropera, F. and Dewitt, D. P., “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, Jone Wiley and

Sons, New York, N.Y., 2nd ed, Inc. 1985.

[8] ASHRAE, “Fundamentals Handbook”, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, Ga., 1985.

[9] Ernest O. Doebelin, “Control System Principles and Design”, John Wiley & Sons, pp. 221-257, 1985.

[10] D. M. Auslander, Y. Takashia, M. Tomizuka, “Direct Digital Process Control”, Proc. IEE, Vol. 66, pp. 199-208, 1978.

저자 소개



이정석(Jung-Suk Lee)

1985년 광운대학교 전기공학과 졸업 (공학사)

1990년 광운대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

2001년 광운대학교 제어계측공학과졸업(공학박사)

1990년~1997년 국방과학연구소 선임연구원

2002년~현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 부교수

※ 관심분야 : 제어계측, 자동화 설비, 회전체 진동