

논문 2016-53-11-19

세라믹 발열체기반 비저장식 순간 전기 온수기 개발 및 검증

(Design and Verification of Ceramic Heating Element-based Tankless Instant Electric Water Heater)

안 성 수*, 김 우 현**

(Sung-Su Ahn and Woo-Hyun Kim[Ⓢ])

요 약

본 논문에서는 다량의 온수가 필요하지 않는 세면을 목적으로 개발된 세라믹 발열체 기반 비저장식 순간 전기온수기를 제안한다. 입력되는 물을 가열하여 온수로 출수시키는 히팅모듈은 유량센서를 이용하여 입력되는 물을 감지하고 세라믹 히팅 모듈을 동작시킨다. 히팅 모듈 내부는 분당 1.5리터로 입수되는 물의 온도 대비 약 15℃ 정도로 가열된 온수로 입수 2초 내에 출수시키기 위해 1 path 유로로 설계하였고 또한 설계의 타당성을 검증하기 위해 히팅모듈 내부 물의 흐름과 온도변화에 대한 열유동해석을 수행하였다. 기본 설계를 기초로 내부에 막대형 세라믹 발열체 1개가 내장된 히팅모듈을 제작하였다. 히팅모듈 제작 후 3단계로 온도 세팅 기능을 가지는 온수기 시제품을 제작하였다. 제작된 시제품을 분당 1.5리터의 물을 공급하는 상수도관에 연결하고 출수되는 물의 온도 및 시간을 측정한 실험에서 물 공급 후 2초 후에 온수기 3단 기준으로 공급되는 물 온도 대비 18.3℃로 가열된 온수를 출수할 수 있음을 확인하였다. 그리고 대기전력 1w 미만, 순간 전력도 일반가정에서의 허용범위를 넘지 않는다. 성능 측정 결과들을 통해 제안된 비저장식 순간 전기온수기가 겨울철 세면용으로 가정, 고속도로휴게소, 공장 등의 세면대에 적용이 가능함을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes a ceramic heating element-based tankless instant electric water heater for hand/face washing that does not require a lot of hot water. The heating module, which heats the input water and outputs hot water, operates the ceramic heating element detecting input water using a flow sensor. Inside of the heating module is designed to form one flow path in order to get almost 15℃ increased heated water compared to the input water temperature within 2 second after 1.5 liter per minute water supply. The design validity is verified using a heat flow analysis of the water flow and temperature variations inside of the heating module also. Based on the design data, the heating module is constructed including a single rod-type ceramic heating element. After that, a prototype system having temperature setting function by three steps were constructed. The prototype system is connected to a 1.5 liter per minute water supply line, and the water output temperature and time measurement experiments confirmed that the proposed system output the heated water increased by 18.3℃ in case of third step setting within 2 second after water supply. And standby power is under 1 W and peak power does not exceed the permissible range for the general house usage. Several performance results verify that the proposed tankless instant electric water heater is applicable for the washstand of the house, highway rest area and factory so on as winter-time hand/face washing.

Keywords: Tankless water heater, Electric water heater, Instantaneous water heater, Ceramic heating element

* 정회원, (재)대구기계부품연구원 기계로봇연구본부
(Machinery & Robot Research Division, Daegu
Mechatronics & Materials Institute)

** 정회원, 영남이공대학교 기계계열 (Department of
Mechanical Engineering Technology, Yeungnam
University College)

Received ; August 23, 2016 Revised ; September 12, 2016

Accepted ; November 2, 2016

I. 서 론

현재 가정 혹은 사무실 등에서 샤워 및 세면을 위해 온수를 공급하기 위해 사용되는 대부분의 온수기는 저장탱크에 항상 일정량의 물을 저장하여 가스 혹은 전기를 열원으로 사용하는 방식이 주류를 이루고 있다. 이러한 저장식 온수기들은 급탕을 위해 저장탱크 내에 일

정량의 물을 항상 저장해야하고 저장된 물을 설정한 온도만큼 계속 데워놓아야 하기 때문에 이를 위한 전기 및 가스 등의 에너지가 지속적으로 소비되는 문제점을 안고 있다. 현재 국내 저장식 온수기를 제작하는 업체들의 전기 온수기 제품군 중에서 가장 적은 용량인 15리터 용량의 벽걸이형 제품들은 평균적으로 최고 온수 온도는 75°C, 저장된 물을 가열하는데 40분의 시간이 소요되며 저장탱크에 저장된 온수를 모두 소비할 경우 1~2시간정도의 대기시간이 필요하다. 같은 용량의 가스식 온수기도 비슷한 성능을 가지는 것으로 파악된다. 최근에는 이러한 온수기 시장에도 친환경 및 에너지 절약이 요구되고 있으며 온수기 사용에 따른 에너지 수요 정책에 관련된 연구들이 많이 수행되고 있다^[1~4].

현재 온수기 시장은 전통적인 저장탱크식의 제품들이 주류를 이루고 있으나 점차적으로 에너지 효율 측면을 고려한 비저장 순간식 제품들이 시장에서 늘어나는 추세에 있다.

비저장 순간식 온수기는 샤워시설같이 상대적으로 온수가 많이 요구되는 곳이나 샤워시설을 제외한 대용량의 온수가 필요한 곳에서는 필요 온수에 비례하여 가스 또는 전기와 같은 에너지가 소비되며 온수 제어가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 그러나 저장식 온수기에 비해 상대적으로 크기가 소형이고, 내구성이 길며, 온수의 흐름이 지속적이고, 소비에너지가 적다. 또한 물을 사전에 데우고 적정 온도를 유지하기 위한 대기에너지가 적거나 아예 제거될 수 있고 상대적으로 짧은 급수 배관임으로 배관에서의 열손실이 적다는 장점들을 가지고 있으며 이러한 장점들로 인해 비저장식 온수기와 관련된 연구들이 진행되어져 왔다.

Yuill 등은 PID를 포함하는 각종의 제어방법들의 성능비교에 대한 연구를 수행하였고^[5], Henze 등은 비저장식 순간 온수기를 제어하기 위해 모델 예측기반의 제어기에 대한 연구를 진행하였다^[6]. Burch 등은 가스식 비저장식 순간온수기에 대한 사전 모델링을 통해 온수기의 에너지 효율성에 대한 연구를 진행하였고^[7], Bourke 등은 각 국가별 테스트 기준에 따른 비저장식 가스 순간온수기의 성능비교를 수행하였다^[8]. Lee는 원통형 세라믹 발열체를 내장한 비저장식 전기 순간온수기의 제어기를 개발하였다^[9]. 일반적으로 물을 데우기 위해 스테인레스 재질의 발열체에 전기를 공급하는 방식을 주로 사용하는 경우에는 발열체와 공급되는 물과의 접촉면적이 크지 않기 때문에 목적에 따라 발열체를 다수 적용하게 된다^[10]. 최근에는 초전도체에 저장된 에너지

를 코일 발열체에 공급하여 빠른 온수를 출수시키는 개념도 연구되고 있으나 초전도체를 충전시키는 부가적인 장치 등 온수기 시스템이 다소 복잡해지는 단점을 가진다^[11].

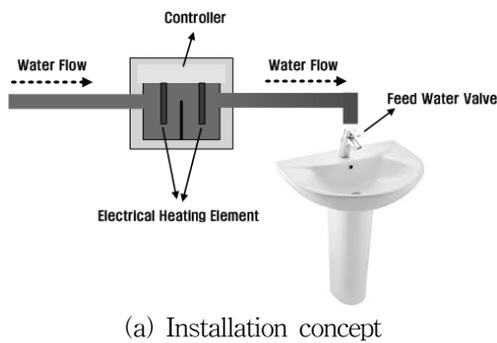
본 논문은 내부에 1개의 사각 막대형 세라믹 발열체가 장착되고 입력되는 물이 고루 접촉될 수 있도록 간단하게 설계된 히팅모듈을 채용하여 다량의 온수가 필요치 않는 세면전용 목적의 세면대 직결형 비저장식 순간 온수기를 제안한다. 대기전력 1W 미만, 추가적인 회로보호용 차단기 설치가 필요하지 않으며 분당 1.5리터 정도의 물을 입수 온도 대비 약 15°C 정도로 가열하여 입수 2초 정도 후에 출수시킬 수 있는 성능을 내고자 하였다. 발열체와 접촉되는 물의 면적을 최대로 하기 위해 발열체가 내장되는 히팅모듈의 형상을 발열체의 형상과 거의 동일하게 설계하여 히팅모듈 크기를 최소화함으로써 온수기 자체를 세면대 급수라인 중간에 설치될 수 있도록 소형으로 제작하였다. 휴게소, 공장, 건물, 상가 화장실 등에서 간단한 세면용으로 사용이 가능하며 사용자가 세면대에서 나오는 물의 양을 조절함에 따라 온수의 온도를 조절함으로써 절수의 효과를 가지도록 개발하였다.

논문의 구성은 먼저 개발된 비저장식 온수기의 기본 구조 및 시스템 개념을 2장에서 간략히 설명하고 설계된 히팅모듈에 대한 열유동 해석, 시스템 설계 및 구현에 대해 3장에서 논한다. 4장에서는 제작된 온수기 시제품의 성능 측정 결과를 제시하고 마지막으로 결론을 맺는다.

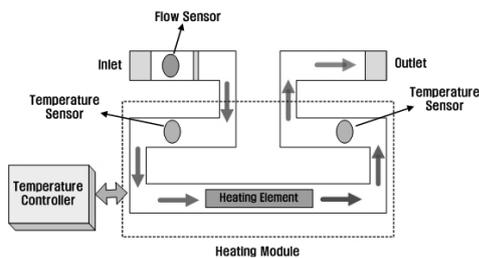
II. 비저장식 온수기 기본 구조

그림 1은 세면용 비저장식 온수기의 개념 및 원리를 함축적으로 나타낸 것이다. 그림 1(a)에서와 같이 온수기는 기존 세면대와 수로 중간에 위치하여 수로의 상수압을 그대로 이용하는 구조를 가진다. 온수기를 가동하지 않을 경우에는 상수도관을 따라 흐르는 물이 평상시에는 세면대로 바로 출수되고 사용자의 조작에 의해 온수기가 가동하게 되면 발열체를 거쳐 데워진 물이 세면대로 출수되는 간단한 원리이다.

그림 1(b)는 온수기의 내부구조를 좀 더 도식적으로 나타낸 것이다. 온도 제어기에서는 유량센서와 입수 출수 온도계로부터 현재의 값을 받아서 히팅모듈의 전압을 조절하여 출수되는 물의 온도를 제어하게 된다.



(a) Installation concept



(b) Internal structure

그림 1. 비저장식 순간 온수기 개념
Fig. 1. Concept of proposed tankless water heater.

온수기의 기본적인 구성은 [9]와에서 제시된 것과 비슷하나 물을 직접적으로 가열시키는 히팅모듈의 경우 [9]의 방식은 세라믹 원통 외벽을 감싸는 코일에 의해 원통내부를 통과하는 물이 간접적으로 가열되는 방식이며 [10]은 코일 발열체 3개를 사용하는 방식이다. 반면에 제안된 시스템의 히팅 모듈은 내부에 직사각형의 막대 타입의 세라믹 발열체에 닿는 물이 직접 가열되는 방식으로 차이점을 가지며 또한 입수되는 물이 가열된 발열체 표면을 최대한 접촉할 수 있도록 히팅 모듈을 발열체와 같은 직사각형 막대형태로 설계하였고 내부에는 와류를 발생시켜 가열된 물이 고루 섞이도록 발열체 삽입부 중간부분에 턱을 설계하였다.

III. 시스템 설계 및 구현

3.1 발열체 선정 및 히팅 모듈 구조 설계

그림 2는 저장식 온수기에서 주로 사용되는 스테인레스 재질의 코일발열체들을 나타낸 것이다. 개발 초기에는 히팅모듈에 그림 2와 같은 코일발열체 적용을 검토하였으나 물이 닿는 단면적이 크지 않고 일부 코일형 발열체의 경우 발열체를 감싸는 히팅모듈과 온수기의 크기가 커질 수 있는 문제점이 발생할 수 있다는 결론에 도달하게 되었다. 따라서 히팅모듈의 설계를 단순화할 수 있고 온수기의 크기도 줄일 수 있으며 내부에서

물이 닿는 단면적이 상대적으로 크다고 판단된 직사각형 막대 타입의 세라믹 발열체를 적용하기로 결정하였다.



그림 2. 코일 발열체
Fig. 2. Coil-type heating elements.

출력이 2kW급 정도의 세라믹 발열체 선정을 진행하였고 최종적으로 그림 3과 같이 막대모양을 가진 소비 전력 2kW(90x30x4mm)급의 제품을 선정하였다[12]. 2kW 소비전력을 가진 세라믹 발열체를 선정한 이유는 일반 가정의 경우 통상 10A, 2.2kW 정도의 차단기가 부하에 설치되기 때문에 추가 차단기 설치없이 향후 가정용으로도 사용할 수 있게 하기 위함이다.

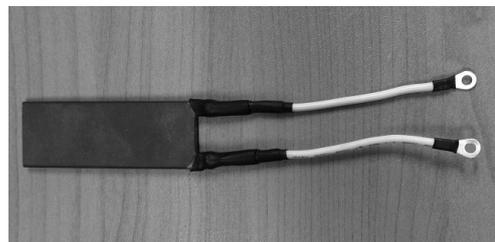


그림 3. 선정된 세라믹 발열체
Fig. 3. Selected ceramic heating element.

목표 온도로의 가열을 위해 필요한 열량과 선정된 세라믹 발열체가 낼 수 있는 열량을 계산식으로 살펴보았다. 입수되는 물을 일정한 온도로 가열시키는데 필요한 열량은 식(1)로 구할 수 있다[13].

$$Q = cm\Delta T \quad (1)$$

2초동안 분당 1.5리터의 유속으로 입수되는 물의 총량은 50g이며 이를 15°C정도 온도를 높여 가열시키는데 필요한 열량은 식(1)을 이용하여 식(2)와 같이 계산되어질 수 있다.

$$Q_{water} = 4.182[J/g^{\circ}C] \times 50[g] \times 15[^{\circ}C] = 3136.5[J] \quad (2)$$

선정된 2kW급 세라믹 발열체의 2초간 출력 열량을 구해보면 식(3)과 같다

$$\begin{aligned}
 Q_{ceramic} &= 2k\text{Ws} \\
 &= 2000[J/s] \times 2[s] \\
 &= 4000[J]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

식(2)에 의해 구해진 2초간 필요 열량 대비 선정된 세라믹 발열체의 출력 열량은 약 127.5% 정도로 열량관점에서 볼 때 목표한 입력대비 출수 온도 차이를 15°C 정도의 수준으로 맞출 수 있는 수준으로 볼 수 있다.

히팅모듈 개발 초기에는 히팅모듈 내부 유로를 그림 4와 같이 세라믹 발열체주위에 두 개의 유로를 형성하는 구조로 제작하여 성능검증을 수행하였다^[14]. 그러나 그림 4와 같은 유로 구조는 입수되는 물이 발열체에 의해 가열되는 시간이 길어져 결과적으로 물이 출수되는 시간이 다소 느린 문제점 및 히팅모듈의 크기가 커짐에 따른 온수기 전체의 크기가 커지는 문제점이 대두되어 이를 개선하기 위해 세라믹 발열체 1개를 입수되는 물이 한바퀴 감싸고 돌아 바로 출수되도록 한 개의 유로 구조를 가지는 히팅모듈을 아래 그림 5와 같이 발열체를 한바퀴 감싸돌고 물이 지나갈 수 있도록 단순한 유로구조를 가지도록 재설계하였다. 또한 세라믹발열체 양쪽을 지나가는 수로 중간부분에 턱을 설계하여 회오리와 같은 와류를 발생시켜 가열된 물이 히팅모듈 내부에서 고루 섞이는 효과를 얻고자 하였다.

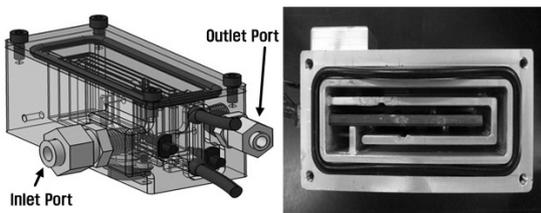


그림 4. 초기 히팅 모듈 구조
Fig. 4. Initial heating module structure.

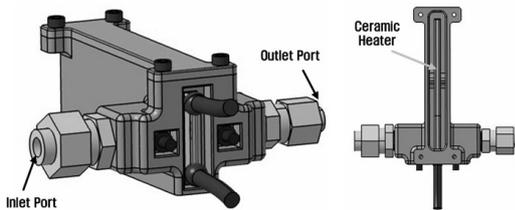


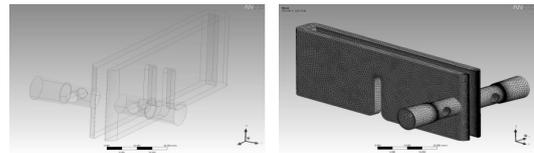
그림 5. 1 path 유로구조 히팅 모듈 모델링
Fig. 5. Modeling of one-flow-path structure heating module.

3.2 히팅모듈 내부 열유동해석

분당 1.5리터, 10°C의 온도를 가지고 히팅모듈로 공급되는 물이 2초 후에 어느정도로 가열되어 출수되는지를

알아보기 위해 히팅모듈 3D 모델링을 기초로 유동해석 툴인 플런트(FLUENT)를 이용하여 물공급 후 3초동안의 과도해석(transient analysis)을 수행하였다.

그림 5에서 제시된 히팅모듈의 3D 모델링을 기반으로 세라믹 발열체를 둘러싸고 히팅모듈내부를 흐르는 물의 유동장 형태는 그림 6(a)와 같이 추출하였고 그림 6(b)는 안시스 워크벤치(ANSYS Workbench)를 이용한 메쉬 작업 결과를 나타낸 것이며 열유동 해석은 본 메쉬를 이용하여 수행하게 된다.



(a) Flow field (b) Finite Element

그림 6. 3D 모델에서 추출한 유동장 및 생성된 유한요소
Fig. 6. Flow field extracted from 3D model, and Finite Element.

메쉬 작업 후 분당 1.5리터, 10°C로 공급되는 물의 유동해석조건을 다음과 같이 부여하였다.

- 유동경계조건: 입구단의 조건은 0.025kg/sec의 질량유량으로 부여하였으며, 출구단은 대기압을 부여하고 공급되는 물의 온도는 10°C로 설정
- 발열조건: 내부 발열판과 물이 접하는 영역에 부여하였으며, 적용한 값은 1.851e+08w/m³ 값으로 내부 발열체의 조건이 90×30mm의 단면적에 2kW의 발열량을 같은 발열체로 양면이 다 접촉하므로 단면적을 2배하여 적용
- 재료의 물성치: 해석에 사용된 유체는 플런트에서 기본 제공되는 물(H2O)을 이용하여 해석을 수행하였으며, 물성치는 표1과 같음

표 1. 물의 물성치
Table1. Property of water for heat flow analysis.

구분	값
Density	998.2 kg/m ³
Specific heat	4182 J/kg-K
Conductivity	0.6 W/m-K
Viscosity	0.001003 kg/m-s

히팅모듈 내부에서 발생하는 유체흐름의 해석결과는 그림 7에서 볼 수 있다. 입수되는 물이 입구단에서 와류가

발생하여 물이 퍼져나가면서 첫 번째 턱을 타고 넘어가는 것을 볼 수 있다. 세라믹 발열체 후미 하단부에서 약간의 와류가 다시 발생하나 유체흐름의 대부분이 상단부에 몰려서 직진하는 유체흐름 구조를 가지고 있음을 보여주고 있다. 설계 시 생각했던 것만큼 가열된 물이 골고루 섞이도록 와류가 많이 발생하게 되는 구조는 아닌 것으로 생각되며 향후 개선 시 고려할 사항으로 판단된다.

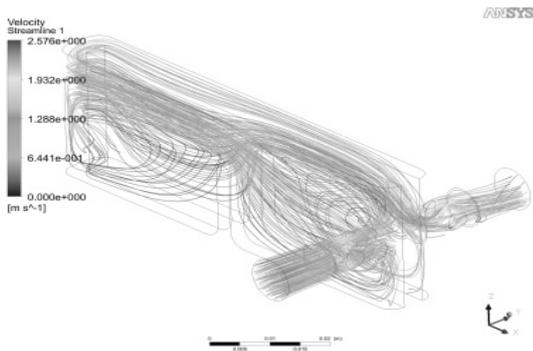


그림 7. 물의 유체흐름
Fig. 7. Internal water streamline.

그림 8은 유체흐름과 관련하여 유체 속도에 대한 해석결과를 출구단에서 바라본 것이다. 입력단의 평균 유속은 0.476409m/sec, 출구단의 평균 유속은 0.515038m/sec 정도로 나타나 출구로 갈수록 유속이 빨라지지만 그림에서 볼 수 있듯이 유속이 빠른 성분들이 대부분 세라믹히터 상단부에 집중되고 와류가 발생되기 전에 턱을 타고 넘어가는 형태를 보이고 있다.

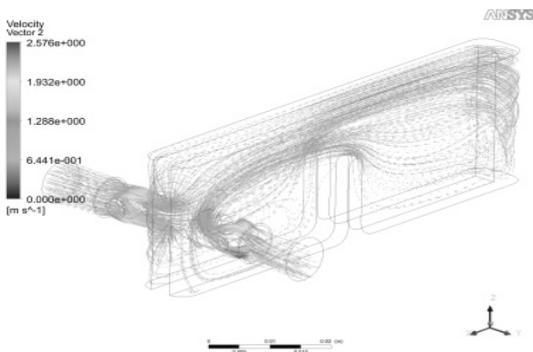
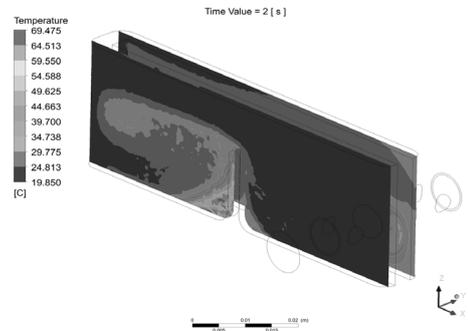


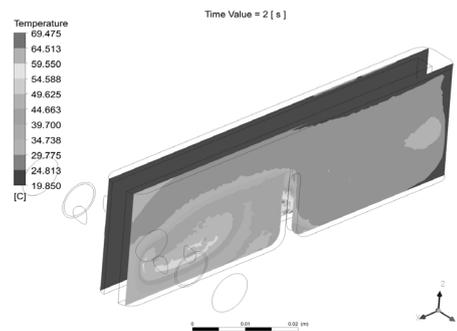
그림 8. 물의 흐름속도
Fig. 8. The velocity of water flow.

유동장 내부의 중간지점에서 발생하는 온도 분포에 대해 입수부에서 바라본 것을 그림 9(a), 출수부에서 바라본 것을 그림 9(b)에 각각 나타내었다. 그림 9(a)에서와 보이는 바와 같이 세라믹 발열체 기준으로 중간 지

점 하단부에서 온도 상승이 집중되고 있고 최고 약 68°C 정도까지 물의 온도가 상승하는 구간이 있는 것으로 나타나 이 부분에서 물의 흐름이 다소 정체되는 것으로 판단되어진다.



(a) Inlet part



(b) Outlet part

그림 9. 유동장의 온도분포
Fig. 9. Temperature distribution inside flow field.

그림 10은 10°C로 입수되는 물에 대해 2초 후 출수온도를 해석한 결과 그래프이다. 입수 후 약 0.3초 이후 온도상승이 시작되며 평균 온도는 21.4°C, 최대 온도는 32.1°C로 각 경우에 대해 11.4°C와 22.1°C 상승하는 결과를 보였다.

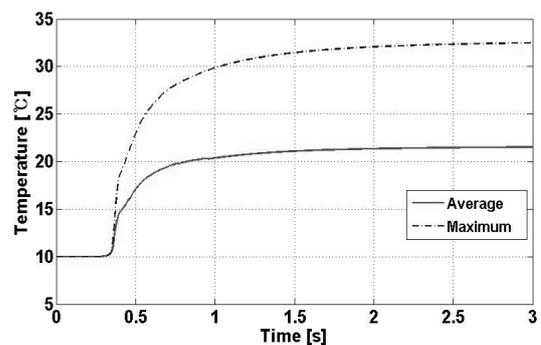


그림 10. 출수온도 시뮬레이션 결과
Fig. 10. Simulated results for outlet water temperature.

그림 10과 관련하여 히팅모듈 출구단에서 물의 온도 분포는 그림 11에서 볼 수 있다. 출수되는 물의 온도가 고르게 분포하여 출수되는 것으로 생각되었으나 해석결과에서 알 수 있듯이 출수되는 물의 단면상에서 온도가 출구하단부 우측으로 온도가 높은 물이 출수되고 출구상단으로 갈수록 출수되는 물의 온도가 낮아지는 분포를 보이고 있다. 이는 설계된 히팅모듈이 저장된 물을 가열하는 방식이 아니며 짧은 거리를 물이 빠르게 흘러나가는 유로구조로 인해 히팅모듈 내부에서 발열체와 직접 접촉하는 물과 그렇지 않은 물이 충분히 섞이지 못해 생기는 결과로 보여진다.

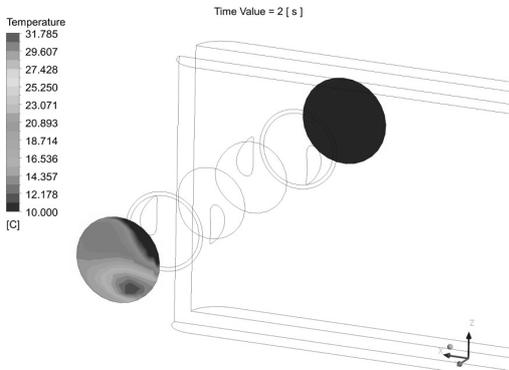


그림 11. 출구단 단면에서의 온도분포
Fig. 11. Temperature distribution at water outlet.



그림 12. 최종 제작된 히팅 모듈
Fig. 12. Finalized heating module.

그림 12는 모델링을 기초로 최종 온수기 시스템 내부에 장착되는 히팅모듈을 보여준다. 초기 하우징은 알루미늄 재질로 제작하여 테스트용 지그 시스템에서 사용하였으나 하우징 재질에 따른 열손실이 있다고 판단되어 PEEK계열의 수지로 시제품을 위해 제작되었다.

3.3 제어 시스템

개발된 온수기의 제어시스템의 간단한 블록도를 그림 13에 나타내었다. PIC 마이컴 기반 컨트롤러가 입수부로 유입되는 물의 양을 유량센서로 판별하게 되고 입수부와 출수부에 각각 위치한 온도센서들로부터 입수되는 물의 온도 데이터 및 세라믹 히터로 가열되어 출수

되는 물의 온도 데이터를 받아 세라믹 발열체에 전압을 공급하는 원리로 작동된다.

제어 소프트웨어는 그림 14에서와 같이 물의 입수량과 출수되는 온도 데이터로 세라믹 발열체의 전압 공급 유무를 릴레이로 제어하는 간단 방식으로 구현되어 있다. 발열체의 과열방지는 소프트웨어적으로 분당 입수량과 출수온도 최대온도의 두 가지 조건으로 그림 14에서 알 수 있듯이 입수되는 물의 양이 적어지면 발열체에 공급되는 전원을 낮추거나 물의 유입이 없을 경우 전원을 차단하는 방식으로 제어되고 있다.

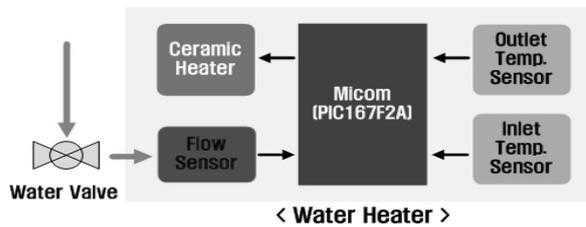


그림 13. 제어 블록다이어그램
Fig. 13. Control block diagram.

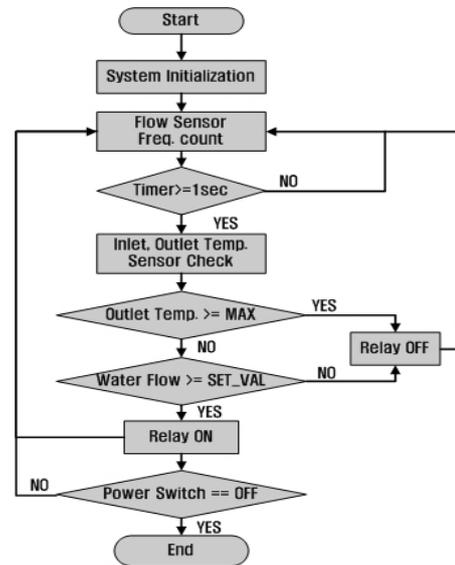


그림 14. 제어 순서도
Fig. 14. Control sequence flow chart.

3.4 시스템 제작

히팅모듈, 제어하드웨어 및 기타 기구구조물이 조립된 전체 온수기 시스템 내부 구조도를 그림 15에서 볼 수 있다.

온수 출수부 근처에 히팅모듈이 위치하고 히팅모듈 아래부분에 제어 PCB가 장착되는 구조를 가진다. 입수부와 출수부쪽에 각각 온도센서가 장착되어 입수되는 물과 출수되는 물의 온도를 감지하고 입수부의 온도센

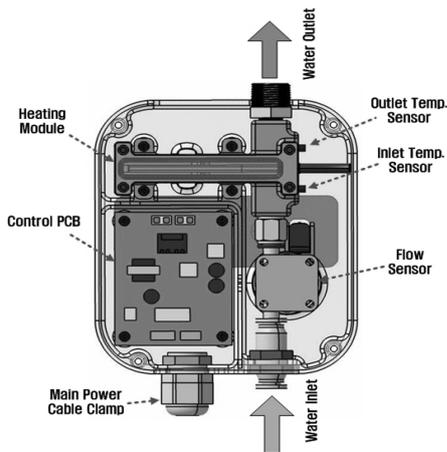


그림 15. 전체 시스템 조립도
Fig. 15. Assembly modeling.

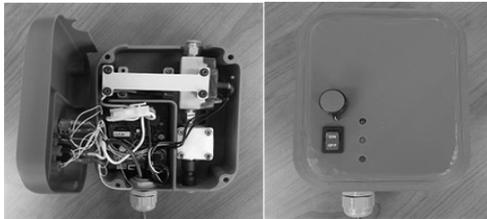


그림 16. 제작된 프로토타입
Fig. 16. Manufactured prototype.

서 전에 유량센서가 위치하여 들어오는 물의 양을 감지하는 구조로 설계되어 있다. 설계를 바탕으로 1단/2단/3단의 3단계 온도조절기능을 추가한 시스템을 그림 16과 같이 제작하였다. 단계별 온도 조절은 세라믹 발열체에 입력되는 RMS 전압을 PWM 값으로 변환하여 세라믹 발열체에 인가하는 방식이며 3단의 경우 인가 RMS 전압을 최대치로, 2단은 최대 인가전압의 약 72%, 1단은 약 33%정도로 하여 다단 온도제어를 취하고 있다. 제작된 온수기의 사이즈는 133W×153H×75Dmm 정도로 소형이다.

IV. 성능 시험

제작된 온수기를 실험실 세면대의 유로에 직결하여 분당 1.5리터, 18℃로 공급되는 물이 온수기 입수 2초 후 출수되는 물의 온도, 출수되는 동안 순간 최대 전력 및 온수기 자체의 대기전력 성능에 대한 성능시험을 그림 17과 같이 수행하였다. 20초간 공급되는 물의 양을 측정하여 분당 공급되는 양으로 환산하였고 측정결과 0.5리터로 이후 같은 조건의 유량을 일정하게 공급하여 물 공급 2초 후 온수기 1/2/3단계 설정에 따른 출수온

도, 순간 최대 전력을 각각 3회씩 측정하였고 물 공급이 중지되어 온수기가 가동중지 상황일 때 온수기 자체의 대기전력을 측정하였다.



그림 17. 성능시험 광경
Fig. 17. Configuration of system performance testing.

표 2. 입수 2초 후 출수온도 측정 결과
Table2. Outlet water temperature measurement results after 2 seconds.

회수	온도(℃)		
	1단	2단	3단
1	24	31	37
2	24	31	36
3	24	31	36
평균	24	31	36.3
온도차	6	13	18.3

표 2는 온수기 온수기 1/2/3단계 설정에 따른 출수온도에 대한 측정결과로 세라믹 발열체의 최대 출력인 3단을 기준으로 목표 유량 분당 1.5리터에 대해 온도 상승 목표 15℃대비 22%정도를 초과하는 18.3℃의 결과를 나타내었고 2초간 인가된 열량 4,000J에 대해 소요 열량은 약 3,826.53J로 약 95%의 효율을 가지고 있음을 실험결과에서 알 수 있다.

표 3은 AC 220V 전원을 온수기에 인가하여 출수 온도 측정과 동시에 각 단계에 대한 30초 동안의 순간 최대 전력값을 나타낸 것이며 3가지 단계에서 모두 2.2kW를 넘어서지 않는 결과를 보였다. 여기서 온도가 높아짐에 따라 순간 최대 전력값이 다소 낮아지는 이유는 장착된 세라믹 발열체의 저항성이 온도가 높아질수록 저항이 커지는 PTC 저항성질을 띄고 있기 때문이다.

표 3. 순간 최대 전력 측정 결과

Table3. Peak power measurement results.

회수	순간 최대 전력(kW)		
	1단	2단	3단
1	2.183	2.089	1.965
2	2.179	2.079	1.960
3	2.195	2.083	1.961

출수온도, 순간 최대 전력 측정 때와 마찬가지로 3회씩 측정된 온수기 대기전력 측정결과를 표 4에 정리하였다. 평균 대기 전력은 약 0.4W 수준으로 상당히 낮은 수치를 보이고 있다.

표 4. 대기전력 측정 결과

Table4. Standby power measurement results.

회수	전압(V)	전류(A)	전력(mW)
1	4.83	0.083	400.89
2	4.83	0.083	400.89
3	4.83	0.083	400.89

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 주로 다량의 물이 필요하지 않은 세면을 목적으로 저탕조가 필요없는 세라믹발열체 기반의 비저장식 순간 전기온수기를 제안하였다. 1 path 유로를 가지는 간단한 구조의 히팅모듈을 설계하였고 설계를 기반으로 열유동해석을 통해 입수 2초 후 온수기에서 출력되는 물의 온도 및 온도 분포를 고찰하였다. 설계안을 바탕으로 히팅모듈, 제어보드 및 간단한 구조의 제어 소프트웨어를 제작하였고 이후 히팅모듈의 하우징 재질 변경의 보완작업을 거쳐 전체 시스템을 구현하였다.

성능 실험을 통해 분당 15리터 유량에서 2초안에 발열체 최대출력 기준 약 18.3°C 정도의 출수 온도 상승이 가능하며 온수기의 최대 출력 기준으로 겨울철 열을 가하지 않은 급수 온도인 10°C^[15]를 세면이 가능한 정도의 온도로 짧은 시간 내에 출수시킬 수 있는 성능을 가져 겨울철 세면용으로 적용이 가능함을 확인할 수 있었다. 이와 더불어 순간 최대 소비전력, 대기전력의 측정결과도 초기 목표를 만족하는 수준을 가진 것으로 나타났다.

열유동해석에서 나타났듯이 와류를 발생시켜 가열된 물이 원활히 섞이도록 설계한 내부 덕의 효과가 기대했던 것보다는 크지않아 향후 히팅모듈 내부에서 가열된 물이 고루 섞일 수 있는 내부 구조에 대한 개선도 필요할 것으로 판단된다. 그리고 히팅모듈의 누수 가능 여부에 대해

장기간에 걸친 모니터링도 요구된다. 언급된 사항들을 포함하여 향후 시스템의 신뢰성 확보를 위해 다방면에 걸친 설계보완이 이루어져야될 것으로 생각된다.

제안한 온수기 시스템은 히팅모듈 내부에서 발열체와 입수되는 물과의 접촉면이 커서 효율이 뛰어나며 히팅모듈의 구조 단순화 및 소형화로 온수기 자체의 크기도 소형화되며 열효율을 위한 부가적인 장치가 필요하지 않는 장점을 가지고 있다. 향후 시스템 완성도가 높아진다면 기존 세면대를 그대로 이용하면서 기존 제품들에 비해 공간 활용율이 높게 컴팩트하게 개발된 비저장식 순간전기 온수기가 공중세면시설들이 있는 학교, 고속도로 휴게소, 공장 및 원룸 등의 다세대 주택등지의 틈새 시장 공략이 가능한 제품 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 생각된다. 또한 온수저장탱크와 급수전간의 거리에 때문에 온수출수 지연시간 5~30초를 가지면서 0.5~4리터 정도의 급탕 초기에 낭비되는 물이 존재하며^[11] 한 가정의 1일 평균적으로 기존 온수기로 인해 급탕 사용량의 약 20% 정도가 그대로 버려진다는 연구결과^[16] 들을 바탕으로 볼 때 온수가 나오는 대기시간에 의해 버려지는 물을 효과적으로 절감하는데 기여할 수 있다고 판단해 볼 수 있다.

REFERENCES

- [1] S. Y. Lee, "Success factor analysis through the interaction of market-oriented strategic and innovative technology development of the market," Master thesis, Department of Management of Technology, Korea University, 2004.
- [2] D. S. Sowmy and R. T. A. Prado, "Assessment of energy efficiency in electric storage water heaters," *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 12, pp. 2128-2132, 2008.
- [3] T. Ericson, "Direct load control of residential water heaters," *Energy Policy*, vol. 37, no. 9, pp. 3502-3512, May, 2009.
- [4] A. Moreau, "Control Strategy for Domestic Water Heaters during Peak Periods and its Impact on the Demand for Electricity," *Energy Procedia*, vol. 12, pp. 1074-1082, Sept. 2011.
- [5] D. P. Yuill, A. H. Coward, and G. P. Henze, "Performance Comparison of Control Methods for Tankless Water Heaters," *HVAC&R Research*, vol. 16, no. 5, pp. 677-690, Sept. 2011.
- [6] G. P. Henze, D. P. Yuill, and A. H. Coward, "Development of a Model Predictive Controller for Tankless Water Heaters," *HVAC&R Research*, vol. 15, no. 1, pp. 3-23, Jan. 2009.

- [7] J. Burch, J. Thornton, M. Hoeschele, D. Springer, and A. Rudd, "Preliminary Modeling, Testing, and Analysis of a Gas Tankless Water Heater," Proc. of SOLAR 2008, pp. 3-10, San Diego, California, USA, May 2008.
- [8] G. Bourke, P. Bansal, and R. Raine, "Performance of gas tankless (instantaneous) water heaters under various international standards," Applied Energy, vol. 131 pp. 468-478, July 2014.
- [9] J. S. Lee, "A Controller Development of Water Heating in a Ceramic Pipe Using Electronics Control System," Journal of Korea Institute of Electronic Communication Science, vol. 6, no. 5, pp. 717-722, Oct. 2011.
- [10] O. Dobzhanskyi, R. Gouws, and N. Zabihi, "In-line water heating system for industrial application," Proc. of the 23rd Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC), Johannesburg, South Africa, pp. 450-454, Jan. 2015.
- [11] N. Gurusinghe, N. Kularatna, S. A. Charleston and J. Fernando, "System implementation aspects of supercapacitor based fast in-line water heating system," 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Buzios, Brazil, pp. 1313-1317, June, 2015.
- [12] <http://huabiao.btrworlds.com/>
- [13] P. A. Tipler, "Physics," second edition, Worth Publishers, Inc.
- [14] S. S. Ahn, J. M. Kim, E. Y. Kim, and W. H. Kim, "Development of no preheating type of small sized instantaneous electric water heater," Proc. of KSPE 2013 Spring Conf., pp. 1573-1574, Jeju, Korea, May 2013.
- [15] M. C. Cha, M. S. Yeo, and H. T. Seok, "A study on the performance evaluation of recirculation system for individual hot water supply system in residential buildings," Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, vol. 19, no. 12, pp. 857-864, Dec. 2007.
- [16] E. Baskin, R. Wendt, R. Lenarduzzi, and K. A. Woodbury, "Numerical evaluation of alternative residential hot water distribution systems," ASHRAE Transactions, vol. 110, no. 2, pp. 671-681, 2004.

저 자 소 개



안 성 수(정회원)

1996년 경북대학교 전자공학과 공학사

1998년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사

2015년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1998년~2002년 LG산전 주임연구원

2002년~2005년 LG전자 선임연구원

2005년~현재 (재)대구기계부품연구원 책임연구원

<주관심분야: 서비스로봇, 임베디드 시스템, 지능 제어, 동역학, 센서융합>



김 우 현(정회원)

1994년 경북대학교 전자공학과 공학사

1996년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사

2000년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학박사

2002년~현재 영남이공대학 교수

<주관심분야: 임베디드 하드웨어, 마이크로프로세서, 자동제어, 전력변환>