

새로운 펌프 없는 온수매트용 온수 순환 시스템의 개발

제종주* · 손창현*†

* 경북대학교 기계공학부

Development of a New Water Circulating System for Hot Water Mattress Without Water Pump

Jong Joo Je* and Chang Hyun Sohn*†

* Dept. of Mechanical Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.

(Received January 21, 2013 ; Revised July 29, 2013 ; Accepted August 4, 2013)

Key Words: Water Boiler for Water Circulating Matt(매트용 온수보일러), Non-Pump Boiler(펌프 없는 보일러), Condensation(응축), Circulating Flow Rate(순환 유량)

초록: 종래의 모터 펌프를 이용한 매트용 온수보일러는 큰 유량을 공급할 수 있지만 모터 펌프의 진동과 소음이 큰 단점이 있다. 모터 펌프를 사용하지 않는 매트용 온수보일러의 경우 소음과 진동이 억제되는 장점이 있지만 감소된 유량으로 인해 매트의 온도 편차가 큰 단점이 있다. 본 연구에서는 기존 펌프 없는 온수보일러가 가지고 있는 문제점을 개선하여 순환유량을 증가시킨 새로운 온수 보일러 방식을 제안하고 실험을 통해 그 성능을 입증하였다. 성능 실험 결과 순환 유량의 증가로 매트 온도 상승 시간이 대폭 줄어들었으며 유입 온수와 유출 온수의 온도 편차도 많이 줄어들어 종래의 펌프 없는 온수보일러와 비교하여 성능 개선을 입증하였다.

Abstract: The motor-driven water pump boiler for a water circulating mattress generates noise and vibration as it supplies a large water flow rate. A non-pump boiler can reduce such noise and vibration, however, the water circulation flow rate becomes lesser than that in motor-driven water pump boilers, and a large temperature deviation occurs between the inlet and the outlet of the mattress. In this research, a new non-pump boiler for water circulating mattress is developed and its performance is experimentally validated and compared with the existing non-pump boilers. The experimental results show that temperature response time is improved and temperature deviation is reduced.

1. 서론

온수 보일러를 이용한 온수식 바닥난방은 강제 대류식 난방에 비해 기류가 발생하지 않아 먼지가 날리지 않으며, 난방 소음이 없고 난방기구 설치에 따른 실내 공간 차지가 없는 점 등 쾌적한 사용 환경으로 많이 보급되어 있으나, 난방시 작후 방이 테워지기까지 약 30여분의 시간이 소요된다.⁽¹⁾ 가정용 바닥난방 관련 논문은 Chang 등⁽²⁾의 문헌에서 찾아 볼 수 있으며, 효율 개선을 위한 가정용 온수 보일러의 성능을 비교 검토하였다.

전기매트는 전자기장의 영향이 인체에 유해한 것으로 인식되어 물을 가열하여 매트 내부를 순환하는 온수매트가 많이 개발되어 판매되고 있다.⁽³⁾ 온수 매트 보일러는 크게 모터 펌프를 이용하여 물을 순환시키는 강제순환방식과 모터 펌프를 사용하지 않는 순환방식이 있다.

강제순환방식은 모터 구동 펌프에 의한 작동 소음과 진동 그리고 고온수로 인한 모터의 내구성 문제가 있다. 특히 모터 펌프의 작동 소음은 잠자는 시간의 정숙성을 방해하여 소비자의 불만 요소이다. 모터 펌프 없는 온수순환방식은 물을 가열할 때 생성되는 증기압을 이용하여 물을 순환하는 방식^(4,5)과 자연 냉각을 통해 증기가 응축되면서 발생하는 진공압 또는 음압(negative

† Corresponding Author, chsohn@knu.ac.kr

pressure)을 이용하여 매트와 물의 흡입 순환시키는 방식⁶⁾으로 나눌 수 있다. 이러한 온수 순환방식은 모터 펌프에서 발생하는 소음과 진동을 원천적으로 차단할 수 있는 장점이 있으나, 가열시 발생하는 증기로 인한 소음과 순환 시 역류를 방지하는 체크밸브와 솔레노이드 밸브의 작동 소음이 있으며, 순환 유량이 강제순환방식에 비해 적기 때문에 매트와 온도 상승에 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존의 모터 펌프 없는 온수 매트 보일러의 단점인 작은 순환유량과 그로 인한 매트 온도 상승 지연 문제를 해결하기 위해 새로운 방식의 모터 펌프 없는 온수보일러를 제안하고 실험과 기존 온수 보일러와의 비교를 통해 성능을 입증하고자 한다.

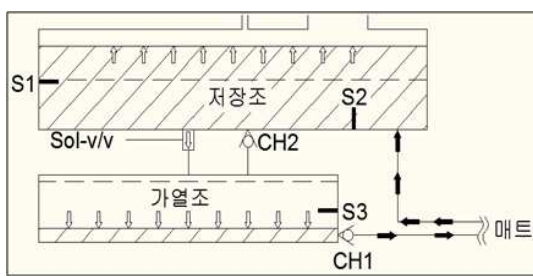
2. 개발 기술의 작동 원리

모터 펌프 없는 온수 순환방식 중 수증기의 압력을 이용하는 가압방식은 Fig. 1과 같이 가열단계와 응축단계로 나눌 수 있다. Fig. 1(a)와 같이 가열조 내부의 히터가 작동되면 내부의 순환수가 히터의 열에 의해 가열이 되고 발생하는 증기로 인하여 증기압이 형성된다. 증기압으로 인해 가열조에 있던 물이 체크밸브(CH1)를 통해 매트와 송출되며 송출된 물의 양만큼 매트와 있던 물이

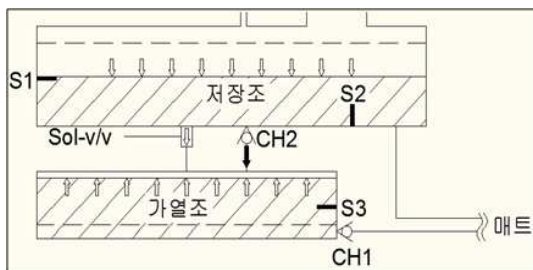
저장조로 회수되어 저장조에 있던 물과 혼합된다. 가열조의 수위센서(S3)보다 수위가 낮아지면 히터의 작동이 정지되며 가열단계가 완료되게 된다. S1과 S2는 저장조 물의 높은 수위와 낮은 수위를 감지하는 센서이며 S3는 가열조의 최소 높이를 감지하기 위한 수위 센서이며, 솔레노이드 밸브는 비상시 저장조에서 가열조로 물을 공급할 수 있게 한다.

응축단계는 Fig. 1(b)와 같이 가열조내의 히터 작동이 정지되어 가열조 내부의 온도가 하강하게 되면 내부의 증기가 물로 응축되면서 대기압보다 낮은 음압이 생성되고 이로 인해 저장조의 순환수가 체크밸브(CH2)를 통해 가열조로 공급된다. 가열조의 수위센서(S3)보다 수위가 높아지면 히터의 작동이 재개되며 응축단계가 완료되게 된다. 이 두 가지 과정을 반복함으로써 매트와 물을 순환시키며, 가열단계에서만 매트와 온수가 공급되며 응축단계에서는 저장조로부터 가열조로 물의 이동만 있을 뿐 매트와 온수가 순환되지 않음을 알 수 있다.

이러한 가압방식은 가열조에서 가열된 순환수를 매트와 직접 송출시키기 때문에 흡입순환 방식에 비해 매트와 온도를 빠르게 상승시킬 수 있지만 가열조에서 배출되는 순환수의 온도를 능동적으로 조절할 수 없고 그로 인해 항상 고온의

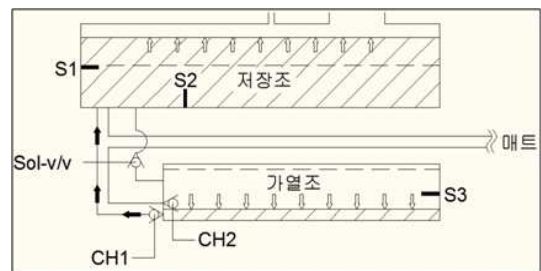


(a) Heating process

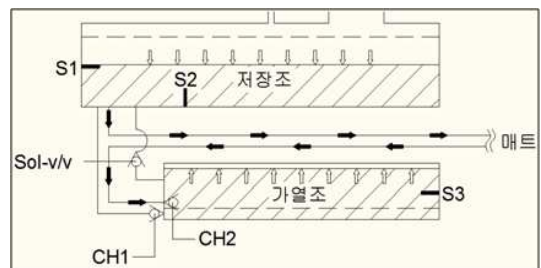


(b) Condensing process

Fig. 1 Water circulating method using vapor pressure



(a) Heating process



(b) Condensing process

Fig. 2 Water circulating method using negative pressure by vapor condensing

순환수가 배출되어 온수호스의 내구성을 저하시키는 원인이 된다.

모터 펌프 없는 온수 순환방식 중 수증기의 응축을 이용하여 매트내부 물을 순환시키는 음압방식도 Fig. 2와 같이 가열단계와 응축단계로 나눌 수 있다. Fig. 2(a)의 가열단계에서 가열조 히터에 의해 발생된 증기압으로 온수가 매트로 송출되는 것이 아니라 체크밸브(CH1)을 통해 저장조로 이동된다. 송출된 고온의 순환수는 저장조에 있는 저온의 순환수와 혼합되어지며 저장조 전체의 온도가 상승하게 된다.

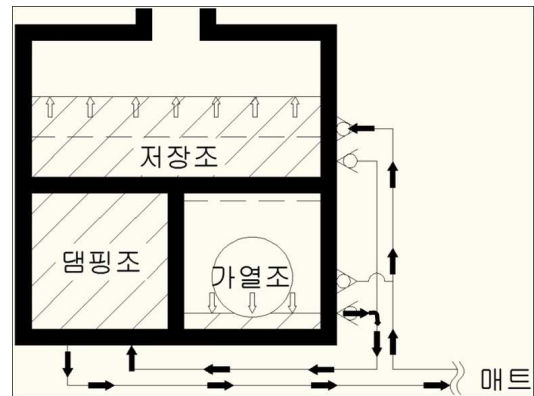
응축단계의 작동방식은 Fig. 2(b)에 나타내었다. 가열조에서 수증기가 응축되면 음압의 형성으로 매트로부터 직접 가열조로 순환수가 흡입되고, 흡입된 순환수 양만큼 저장조의 순환수가 매트로 공급되게 된다. 이 두 가지 과정을 반복함으로써 매트의 물을 순환 시키게 되며, 가열단계에서는 가열조에서 저장조로 온수의 이동이 있고 응축단계에서만 매트의 온수가 순환됨을 알 수 있다.

이러한 음압 방식은 고온의 순환수가 바로 매트로 순환되지 않기 때문에 온수호스의 내구성에 영향을 미치지 않으며 저장조의 온도를 제어하여 매트로 배출되는 순환수의 온도를 능동적으로 제어할 수 있는 장점이 있다. 하지만 매트로 순환되는 순환수가 저장조의 순환수와 혼합되기 때문에 매트의 온도 상승이 가압방식에 비해 느리다.

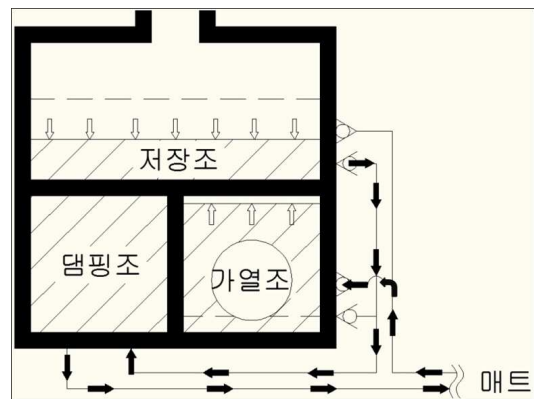
본 연구에서는 모터 없는 온수 순환방식인 가압방식과 음압방식의 두 장점을 합치고 가열단계와 응축단계 모두 매트에 순환수를 공급할 수 있도록 온수순환 유로를 Fig. 3과 같이 새로이 고안하였다.⁽⁷⁾

가열단계는 Fig. 3(a)와 같이 가열조 내부의 물이 히터에 의해 가열이 되고 발생되는 증기에 의하여 증기압이 형성된다. 증기압에 의해 가열조에 있던 순환수가 댐핑조로 송출되며 고온의 순환수가 댐핑조의 순환수와 혼합되게 된다. 혼합된 순환수는 가열조에서 댐핑조로 공급된 물의 양만큼 매트로 송출되며 매트에서 배출되는 순환수는 저장조로 회수되게 된다.

응축단계는 Fig. 3(b)와 같이 히터가 정지되어 가열조 내부 온도 하강으로 증기의 응축이 발생되고 음압을 형성하게 된다. 음압으로 인해 매트의 순환수가 가열조로 흡입되고 매트에서 가열조로 흡입된 순환수의 양만큼 댐핑조에 있는 순환



(a) Heating process



(b) Condensing process

Fig. 3 New water circulating method using vapor pressure and negative pressure

수가 매트로 공급된다. 또한 매트로 공급된 순환수의 양만큼 저장조에 있던 순환수가 댐핑조로 공급된다.

개발 기술은 별도의 댐핑조를 설치하여 가열조에서 가열된 고온의 순환수와 저장조에 있는 상대적으로 저온의 순환수가 서로 혼합되도록 하여 매트로 공급되는 순환수의 온도 편차를 줄일 수 있다. 그리고 가열과 응축단계 모두 순환수를 매트에 공급하기 때문에 가열-응축의 한 주기 동안 기존 방식에 비해 이론적으로 약 2배의 순환유량을 공급할 수 있으므로 매트의 온도상승 시간을 단축시킬 수 있다.

3. 성능 비교 실험

앞서 설명한 가압 방식과 음압 방식, 그리고 새로이 제안한 개발 기술을 직접 온수 매트에 적용하여 실험을 실시하였다. 시제품으로 제작한 온수 보일러의 최종 개발품의 가열조, 저장조 및

뎀펄조의 크기는 각각 200cc, 200cc 및 220cc로 소형화 하였다. 사용한 히터의 용량은 340W이고 온수 매트는 시중에서 판매되고 있는 2인용 매트 로 실험하였다. 열전대를 매트내의 온수 입구호스 표면과 온수 출구 호스 표면 외에도 온수 호스 길이에 따라 일정 간격으로 부착하였으며, 온도 제어는 매트내의 온수 출구 호스 표면온도가 설정 온도 보다 높거나 가열조 수위센서가 설치된 높이 이하로 물이 빠져나가 물이 없는 것을 감지하면 히터가 꺼지도록 하고 그 외의 조건에서는 히터가 작동되도록 제어로직을 구성하였다.

3.1 초기 시동 성능 비교 실험

Fig. 4는 초기 시동시의 3가지 온수 순환 방식에 대한 성능실험을 한 결과로, 매트에서 가장 온도가 높은 곳인 매트내의 유입호스와 가장 낮은 온도인 유출호스에서 측정한 시간에 따른 온도변화를 보여 주고 있다. 각 경우 초기 온도 차이는 실험한 날이 다르므로 대기 온도 차이 때문에 발생하였다. 3가지 기술에 적용된 가열조의 크기와 출력은 거의 동일하므로 Fig. 4(a)에서와 같이 순환수 온도가 상승되기 시작하는 시점은 약 150초로 비슷하게 나타난다. 가압 방식이 가열조에서 매트로 직접적으로 고온수가 송출되기 때문에 매트 유입구 온도 변화가 빠르고 음압 방식의 경우 서서히 온도가 증가하는 경향을 보였다. Fig. 4(b)의 매트 유출호스 온도를 보면 가압방식의 경우 약 1000초, 음압 방식의 경우 약 1200초에서 매트 유출수 온도 반응이 발생되었고 개발기술은 480초에 온도 반응이 발생되었다. 출구 온도 상승률을 계산해보면 개발기술은 분당 약 1.6°C, 가압방식은 1.0°C 그리고 음압방식은 0.6°C 정도의 온도 상승을 보여 개발 기술이 단위 시간당 출구 온도 상승이 가장 크음을 알 수 있다.

Table 1은 시동시 및 정상상태의 유입과 유출 호스에서 측정한 온도 반응 시간과 1000초 이후의 평균 유입-유출 온도차를 정리하여 보여 주고 있다.

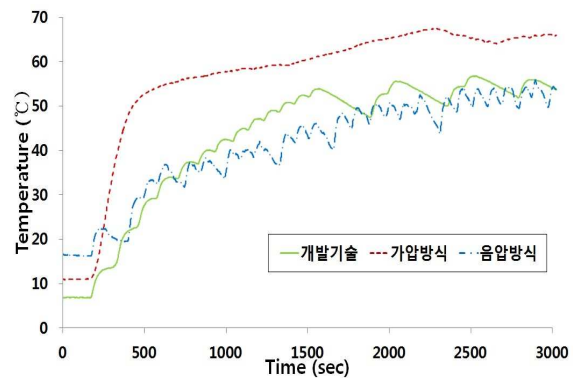
3.2 제어 작동 성능 비교 실험

Fig. 5는 3가지 기술이 설정 온도에 도달한 후 온도제어기에 의해서 제어가 이루어 질 때의 유입과 유출 순환수의 온도변화를 나타낸 것이다. 유입 온도는 Fig. 5(a)와 같이 고온수가 직접적으

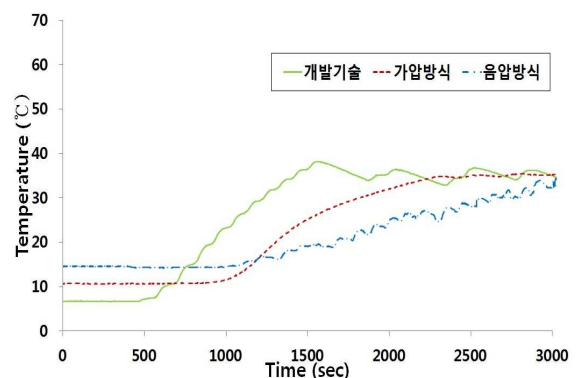
로 배출되는 가압방식이 가장 높은 온도를 보여 주었고 개발기술이 가장 낮은 온도를 보여 주며, 개발 기술의 경우가 가장 낮은 유입 온도를 나타낸다. Fig. 5(b)는 제어 작동 시의 유출수 온도변화이다. 3가지 기술 모두 설정온도 35°C에서 큰 차이 없이 제어가 이루어지고 있음을 보여 주고 있다.

Table 1 Operating performance of hot water matt for different circulation method

Condition \ Method		Positive pressure	Negative pressure	Present method
Starting period	Inlet response time	150sec	150sec	150sec
	Outlet response time	1000 sec	1200 sec	480sec
Steady state	Temp. difference Inlet-Outlet	25°C	18°C	12°C

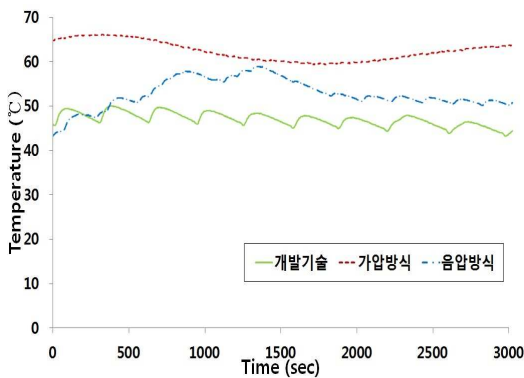


(a) Inlet temperature variation on matt

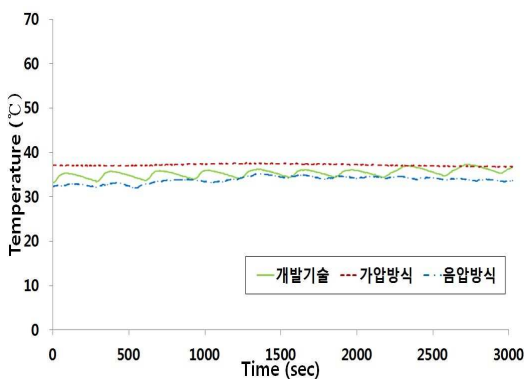


(b) Outlet temperature variation on matt

Fig. 4 Inlet and outlet temperature variation on matt during initial starting period



(a) Inlet temperature variation on matt



(b) Outlet temperature variation on matt

Fig. 5 Inlet and outlet temperature variation on matt during temperature controlled period

일반적으로 단위시간당 열전달량 \dot{Q} 는 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T \quad (1)$$

$$\dot{m} = \dot{Q} / c_p \Delta T \quad (2)$$

이 식에서 \dot{m} 는 질량유량을 표시하며, c_p 는 물의 정압 비열비 그리고 ΔT 는 매트 유입, 유출 호스 온도 차이를 나타낸다.

온수 매트의 보일러 히터의 발열량은 340W로 동일하고 같은 매트로 실험하였기 때문에 시간 평균 질량 유량은 식 (2)에서와 같이 매트 유입 유출 온수의 온도차에 반비례하여 계산 할 수 있다.

Table 1에 정리한 것처럼 제어 작동 시 유입과 유출 온수의 평균 온도 차이는 가압방식이 약 25°C, 음압방식이 18°C이며, 개발 기술은 약 12°C로 가장 작은 유입과 유출 순환수의 온도 차이를 보여주었다. 따라서 식 (2)을 적용하여 상대적인 질량 유량을 비교하면 개발 기술은 가압 방식에

비해 약 2배 그리고 음압방식에 비해 1.5배의 질량 유량이 증가되었음을 보여준다.

이는 기존 방식인 가압방식이나 음압방식이 한 주기 동안 저장조에 순환수를 정체시키는 반면 개발기술은 가압 때나 음압 발생 모두 온수를 순환시키도록 고안되었기 때문에 순환유량이 증가되어 유입과 유출 온수 온도차가 줄어들고 온도 반응이 빨라지는 큰 장점을 가졌다고 판단된다.

4. 결론

모터 펌프를 이용한 온수보일러는 소음과 진동 그리고 장시간 사용할 수 있는 신뢰성이 가장 큰 문제이다. 기존의 모터 펌프를 사용하지 않는 매트용 온수보일러는 가열 또는 응축 단계에서만 매트에서 온수가 순환되는 구조이다. 본 연구개발에서는 가열 및 응축 단계 모두 온수가 매트 내에서 순환이 이루어지도록 새로운 방식을 개발하였다. 새로 개발한 매트용 온수 보일러는 성능 평가 실험을 통해 기존 모터 펌프 없는 매트용 온수 보일러에 비해 매트 온도 반응시간이 상당히 단축되었으며 가장 빠른 시간에 설정온도에 도달하였다. 그리고 개발 기술은 가압 방식에 비해 약 2배 그리고 음압방식에 비해 1.5배의 질량 유량이 증가되어, 유입 온수와 유출 온수의 온도 차이가 기존 방식에 비해 대폭 감소되었다. 이와 같은 개발 기술 장점은 온수 매트 사용자에게 보다 안락함을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) No, S. T., 2012, "Recent Heating System and Task : House Heating System," *J. Korean Air-Conditioning and Refrigeration*, No. 41, Vol. 3, pp. 86~93.
- (2) Chang T. H, Lee J. B. and Oh K. J., 2003, "An Experimental Study on Performance Improvement of a Domestic Hot Water Boiler," *J. Korean Industrial of Application*, No. 6, Vol. 3, pp. 231~238.

- (3) Kim, Y. H., 2009, "SM Ondo Warm Water Mat Platinum Mosaic Warm Water Pad," *J. Korean Intellectual Property*, No. 31, Vol. 5, pp. 88~98.
- (4) Park, J. S., 2000, Small-Size Hot Water-Boiler, Patent of the Republic of Korea, No. 20-0179639
- (5) Jung, Y. S., 2008, Power Saving-Type Small Size Hot-water Boiler for Simplifying Steam Discharge, Patent of the Republic of Korea, No. 10-0874843.
- (6) Samwon Onspa Co. 2010, Boiler for a Hot-Water Heating Mat, Patent of the Republic of Korea, No. 10-0948908.
- (7) NUC Co. 2011, Non-Motorized Water Boiler, Patent of the Republic of Korea, No. 10-1014677.