

중유 대체 무압온수 보일러의 산지실험[†]

On-site Experiment of Non-pressurized Hot Water Boiler Using Bunker-C fuel

이승수*	김종진*	최규성*	김혁주*	박병식*	임정현*
정회원	정회원	비회원	비회원	비회원	비회원
S.S. Lee	J.J. Kim	K.S. Choi	H.J. Kim	B.S. Park	J.H. Rhim

1. 서론

고유가 시대에 난방비로 쓰이는 비용이 증가함으로 기존 연료를 대체할 연료에 대한 개발의 필요가 높아졌다. 충북 진천의 화훼 농가에서는 화훼 온실의 난방을 위해 보일러를 주로 사용하고 있다. 화훼 온실의 경우 꽃의 상태와 바람에 의한 먼지 등의 발생을 고려하여 온풍보다는 온수에 의한 난방이 선호된다. 중유는 경유보다 발열량은 높지만 점도가 높아 원활한 연소상태를 확보하기가 어려워 중유 전용 버너의 개발 등이 필요하다. 이런 필요에 의해 저가 연료(중유) 대체 온수 보일러의 설계와 현지실험을 통해 기존 연료를 대체할 중유의 적용 가능성을 실험했다.

2. 실험 장치 및 방법

(1) 실험대상 무압 온수보일러

한국에너지기술연구원 보일러 연구팀의 설계로부터 (주)삼성엔지니어링에서 제작한 본 보일러는 600000 Kcal 용량을 지니며 농가에서 특별한 자격 없이 사용할 수 있도록 무압식을 채택했다. 본 보일러는 보일러 동체 수의 온도가 60℃일 때 작동하여 70℃에서 멈추도록 하였고 온실내의 온도가 16℃ 일 때 난방수를 순환시켜 18℃에서 보일러의 운전을 멈추도록 하였다. 보일러실에 설치된 기존의 보일러에는 온실 내부를 난방하기 위해 두 개의 난방배관이 연결되어 있다. 연료는 온수보일러에 인접한 서비스 탱크로부터 공급되며 만약의 사태를 대비해서 소형의 경유 서비스 탱크도 구비하였다.

(2) 실험대상 온실

본 실험이 행해진 온실은 비닐 온실이 아닌 유리 온실로서 3동의 삼각지붕의 온실이 일체를 이룬다. 온실 이전에 보일러실을 두어 온실 입출구를 통한 열손실을 막았고 특히 실험을 하기에 용이하도록 공간을 제공하였다. 온실의 크기는 가로 45 M × 세로 50M 이고 중

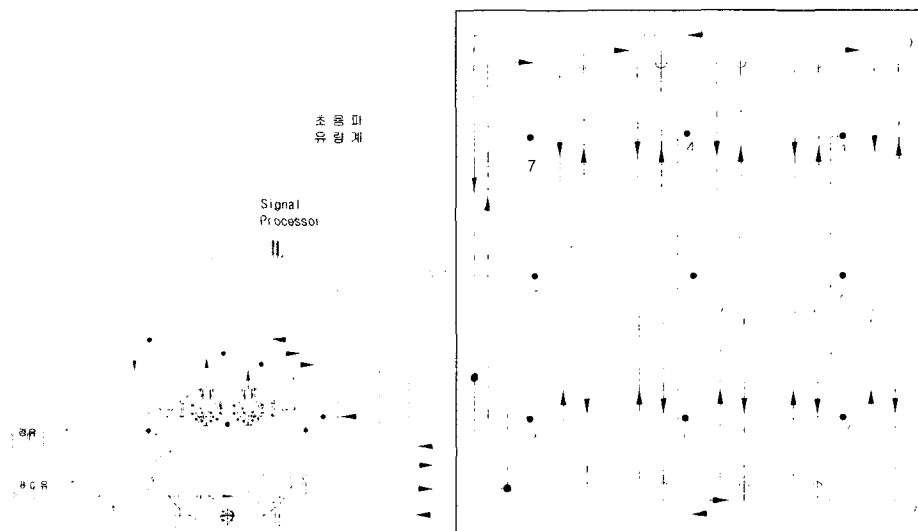
[†] 본 연구는 농림부 기획연구사업의 일환으로 수행되었음

* 한국에너지기술연구원 에너지 효율연구부 보일러연구팀

양정점의 높이는 약 5 M 가량 되는 유리 온실이다. 온실 내에는 생육 작물로서 장미를 재배한다. 온실 내에 총 10조의 장미 재배함통이 지면으로부터 약 1 m 위에 배치되어 있으며 중간 부분은 조간에 이동을 용이하게 공간을 두었다. [Fig-1]에서 실험장치의 구성과 난방 배관의 배치를 도시해주는데 보일러에 연결된 두 개의 주 난방수 배관은 지면으로부터 20cm 의 높이에 위치한다. 주 난방 배관으로 2 조의 장미 재배함통 사이에 재배함통과 같은 높이에서 일부의 순환수가 분지되어 재배함통을 왕복하여 난방 하도록 핀튜브 가지 배관들이 재배함통을 따라서 설치되었다.

(3) 실험장치 및 방법

온실 내부의 온도와 보일러 각 부의 온도는 난방특성을 확인하기 위한 현지실험의 주요 대상이다. 온실 내부를 9등분하여 장미재배함통의 사이에 지면으로부터 약 2 m 위치에 T 타입 열전대를 설치하였고 온도데이터 입력순서는 [Fig-1]의 순서와 같다. 그리고 보일러 측에는 난방수 입구, 난방수 출구, 보일러 동체와 열교환기 사이의 순환수(이하 순환수)의 온도를 측정하기 위해 T 타입 열전대를 설치하였으며 배기가스 출구에 K 타입 열전대를 설치하였다. 데이터는 National Instrument 사의 SCXI 하드웨어를 사용하여 온도 데이터의 신호처리와 입력을 그리고 Labview 소프트웨어로 데이터 처리 방식을 설정하고 모니터 상에 디스플레이 되어 실시간 측정과 감시가 가능하였으며 온도데이터는 2초마다 갱신되며 2시간마다 다른 파일로 저장되게 하였다. 순환되는 난방수량의 측정은 Controlton의 초음파 유량계를 사용하여 측정하였다.



[Fig-1] Schematic diagram of on-site experiment system

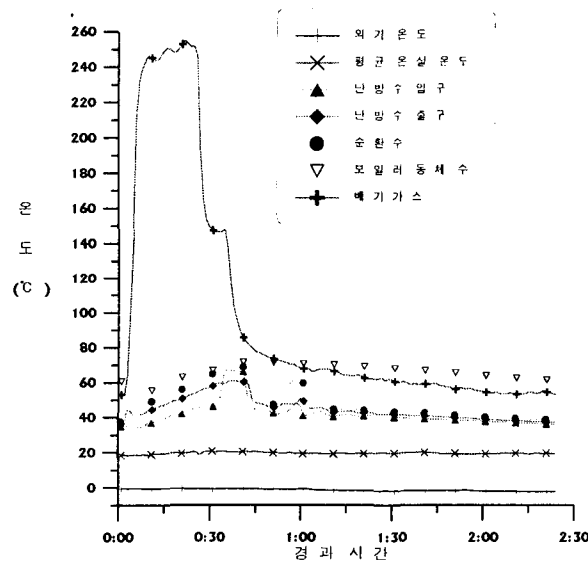
3. 현지실험 결과 및 분석

거리가 긴 난방수 배관없이 이루어졌던 실험실 내의 실험에서 확인할 수 없었던 온수보

일터의 온수발생과 각 부분에서 온도의 변화 그리고 온실내 온도의 변화를 살펴보았다.

(1) 온수 발생 특성

본 온수보일러의 버너에는 두 개의 노즐이 설치되어 하나의 노즐이 사용될 경우에 저 부하(소모 연료량 24 ~ 25.8 kg/h)연소 와 두 개의 노즐이 사용될 경우에 고부하(소모 연료량 : 51.6 ~ 54.6 kg/h)연소의 두 방식의 운전이 가능하다. 저부하 운전시에 배기가스중 산소의 량은 7.9 ~ 8.23%, 고부하 운전시에는 9.6% 이며 스모크 NO는 공히 3의 값을 유지하였다. 설정 운전 방식은 보일러 동체 온도가 60℃ 이하로 내려가면 1 분간 저부하 연소가 시작된 후 보일러 동체 온도가 65℃가 될 때까지 고부하 연소가 진행되며 그 후에 저부하 연소로 바뀌어 동체 온도가 70℃가 될 때 운전이 멈추게 된다. 저부하 운전시에 배기가스의 최대 온도는 약 140℃ 가량이며 고부하 운전 시에는 250℃의 최대 온도를 보였다. [Fig-2]는 보일러 1 회 운전주기의 배기가스의 온도와 보일러 각부의 온도 그리고 외기 온도와 온실 온도의 변화를 보여준다. 본 운전주기에서 외기 온도는 약 -1.4℃ 그리고 평균 온실 내부 온도는 18-20℃를 유지했다.



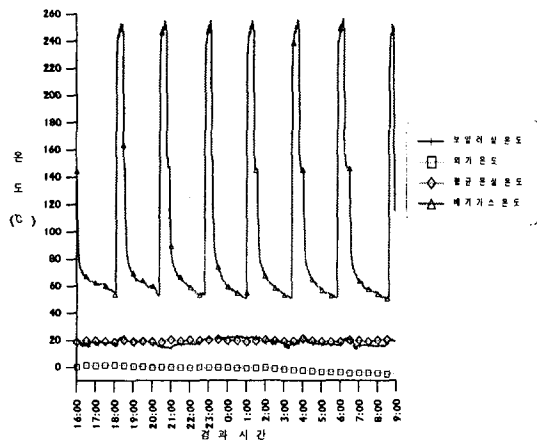
[Fig-2] Temperature variations at measured locations of boiler components during one cycle

보일러 운전시간은 35분 가량 되며 이중 저부하 연소시간은 9분 가량 소요되었다. 보일러 운전 직전 각부의 온도는 동체, 순환수, 난방수 출구, 난방수 입구의 순으로 높았다. 보일러의 버너가 점화됨과 동시에 난방수 순환펌프가 작동하면서 각부의 온도는 상승했다. 보일러의 운전이 멈춘 시점에서 난방수 입출구 온도의 반전 현상이 10분 가량 존재했다. 이것은 보일러의 연소와 순환 펌프의 작동이 멈춘 후에 보일러 동체수가 난방수 입구로 역류한 것이라고 사료된다. 반전현상 이후에 교환수, 난방수 입출구 온도는 파상으로 감소했다.

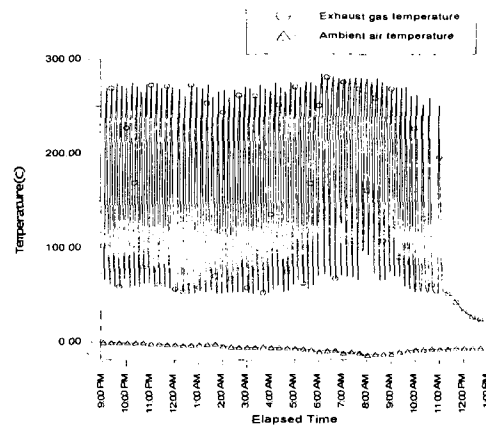
동시에 보일러 동체의 온도는 완만하게 감소되고 있다. 연소가 멈춘 후 약 110 분간 7번 순환펌프에 의해 난방수가 순환되면서 온실 내 온도를 적정하게 유지할 수 있었다.

(2) 온수보일러의 온실적용 특성

현지실험은 2001년 2월에 4회, 3월에 1회로서 총 5회 실시하였다. 온실의 온도는 장미의 생육에 적당하도록 16℃ 이상을 유지하도록 하였다. 야간에는 지면으로부터 대략 2.1m 높이에서 비닐과 스크린 커튼 그리고 부직포가 보온에 추가로 이용되었다. 야간에 씌어지는 스크린 커튼에 의해 난방을 할 온실공간을 대폭적으로 줄여주었다.



[Fig-3] Temperature variations of ambient air, air in the green house and exhaust gas during one test day

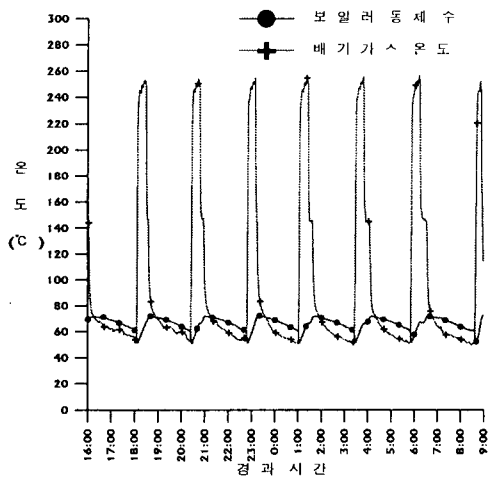


[Fig. 4] Temperature variations in exhaust gas of a space heater and air temperature outside green house

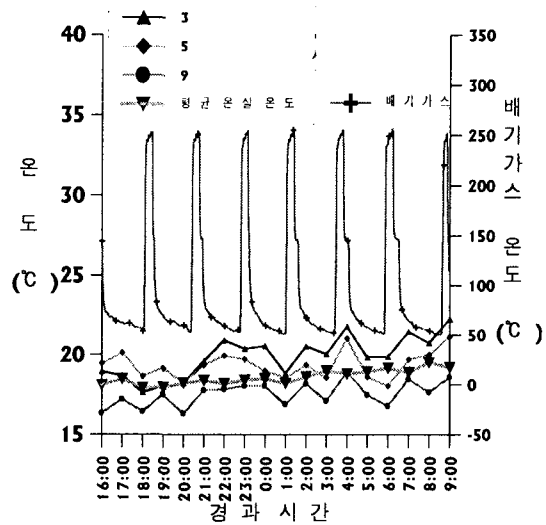
[Fig-3]에서 2 월중에 오후 4시부터 익일 오전 9 시 사이에 이루어진 실험을 보여준다. 외기 온도는 최고 2.4 에서 최저 - 7.5 ℃ 까지 떨어진 상태에서 총 7 번 보일러는 작동하였다. 온실내 설치된 열전대의 온실온도 데이터는 16~20℃ 사이에서 중첩하기 때문에 도식을 용이하게 하기 위해 평균 온실 온도를 취하였다.

[Fig-4]는 온수보일러 실험과 비교하기 위해 2000년 1월중 본 연구실이 진천의 오이재배 농가에서 수행한 온풍난방기의 산지실험에서 외기 온도와 배기가스 온도의 변화를 보여준다. 실험 당일 최저 외기 온도는 -10℃ 이며 최고 외기 온도는 0℃이었다. 온수 보일러 실험 당시에 최저 외기 온도는 온풍 난방기 실험일 보다는 2.5℃ 높았지만 온수보일러와 온풍 난방기 운전횟수는 상당한 차이를 보였다. 보일러의 운전은 오후 4시에 시작하여 다음날 9 시까지 총 7번 작동한 반면 온풍난방기는 오후 9시에 시작하여 다음날 오후 1시까지 실험기간동안에 총 62번 작동했다. 이는 신속한 온실내 온도상승을 가능하게 하는 온풍기의 경우 특별한 열의 저장 없이 열은 대부분 온실내 공기의 온도를 상승시키지만 온수보일러의 경우 공기보다는 매우 큰 열용량을 지닌 물에 열이 저장되기 때문에 비록 작동 횟수는 적었지만 운전시간은 길었다.

[Fig-5]에서는 실험 당일에 보일러 동체 수의 온도변화를 나타낸다. 매 운전마다 비슷한 형상의 온도변화를 보여주며 위의 [Fig-2]에서와 같이 보일러의 연소가 멈춘 직후에 동체 수의 온도는 가장 높았다. 실험 기간 동안에 온실 내의 온도 변화를 [Fig-6]에서 보여준다. 9 곳에 설치된 열전대의 온도변화를 나타내는 것이 용이하지 않아 3, 5, 9 번 위치의 온도와 온실의 평균 온도를 배기가스 온도 변화와 함께 나타냈다. 실험 기간 동안에 온실의 평균 온도는 16 °C 이상을 유지하였으며 9 지점의 온도는 평균 온도보다 낮았고 3, 5 지점의 온도는 평균 온도보다 높았다. 전체적으로 온실내 온도 측정 지점에서 온도는 16~20 °C 사이에서 변동하였다. 이는 두 난방수 배관에서 난방수의 수량의 차이와 온실 내부에서 각 위치별 단열 등의 차이에 의해서 온실의 온도는 균일하게 상승하지는 않았다.

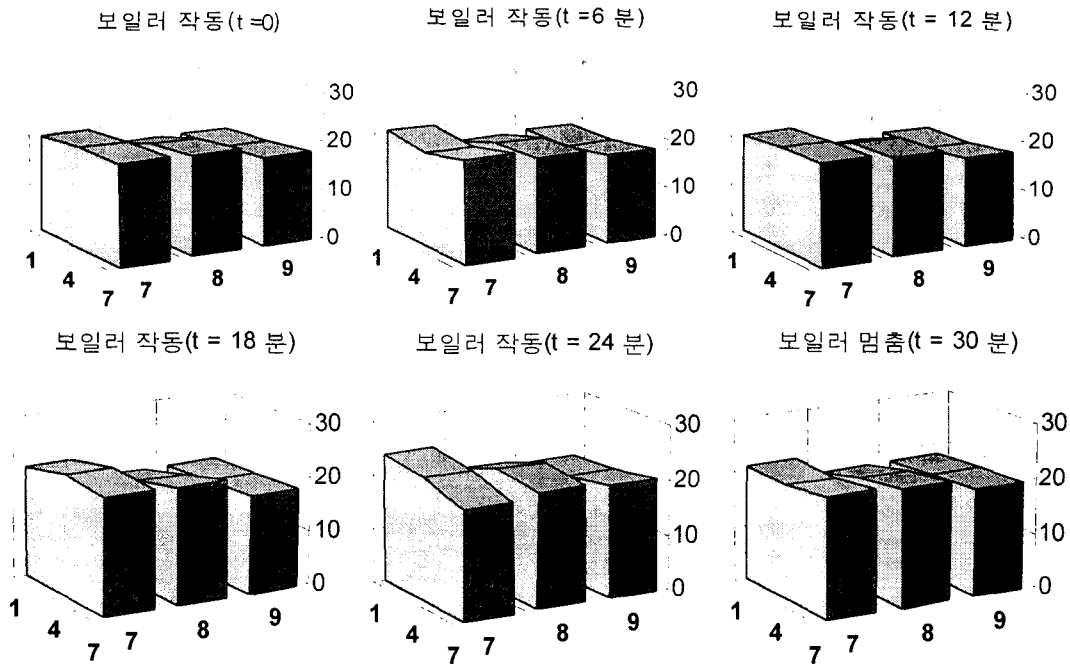


[Fig-5] Temperature variation of boiler body water during one test day



[Fig-6] Comparison of average air temperature and temperatures of 3 measured locations in the greenhouse

보일러 운전초기부터 멈추기 직전까지 6분 간격으로 온실내의 온도변화를 [Fig-7]에서 보여준다. 1, 4, 7, 8, 9는 온실내 설치된 열전대의 위치를 명시해주며 3차원 그래프 상에서 위에서 열거한 열전대 외의 다른 열전대의 번호는 그래프에 명시하지 않았지만 [Fig-1]의 열전대 위치와 동일하다. 총 보일러 작동 시간은 30분 가량 되었으며 전체적으로는 1, 4, 7 지점의 온도가 높게 보이고 그 외 지점은 약간은 낮았다. 보일러 가동시에 난방수 입출구 온도의 차이가 가장 크기 때문에 본격적으로 보일러가 가동하면서 온실내에는 약한 미풍을 느낄 정도로 대류가 일어났다. 각 측정 시점에서 온도의 편차는 각 평균 온도 기준에서 최대(최소)±2°C의 편차를 보여주었다. 6분 간격마다 온도 분포의 형상은 다양하게 변했지만 전체적인 온도는 상승하였고 연소가 멈춘 직후에도 온실 공간의 온도는 약간은 상승했다.



[Fig-7] Variation of temperature distribution in the green house during 1 cycle

4. 결론

- (1). 보일러 자동 운전 방식은 설정된 대로 보일러 동체 수 온도가 60℃에서 작동 시작하여 70℃에서 멈추었고 난방수는 온실 설정온도에 따라 순환했다.
- (2). 온수보일러의 경우 공기보다는 매우 큰 열용량을 지닌 물에 열이 저장되어 하루 중 8-9 번 정도의 운전만 하고 나머지는 순환펌프에 의한 순환에 의해 난방을 한다. 그리하여 온풍난방기보다 온수보일러의 운전은 운전횟수는 적었고 일회 운전시간은 길었다.
- (3) 보일러 운전중 온실내의 온도는 평균온도와 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 보였다.
- (4) 경유 연료를 대체하여 중유를 사용할 경우에 연소의 별 다른 문제가 없고 경제적 효과를 얻을 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 김종진 외. 1999.9. 온풍난방기의 특성실험. 대한기계학회지 1: 229-234
2. 김종진 외. 1999. 시설원예용 중유 온풍난방기에 관한 실험적 연구. 농업기계학회 하계학술대회 논문집
3. 김종진 외. 시설원예용 온풍난방기내의 온도분포에 관한 연구(1) 농업기계학회지 Vol. 24, No. 4
4. 이승수 외. 2000.7. 시설원예용 중유 온풍난방기 현지 적용 실험. 한국농업기계학회 하계학술대회 5(2): 83-88