

# 저온 상변화 물질 특성을 이용한 태양열 물펌프 실용화 연구 개발(II)

## -장치의 구성 및 실험-

### Development of solar powered water pump by using low temperature PCM -Equipment construction and experiments-

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 김영복*      | 이양근**     | 이승규*      | 김성태*      |
| 정회원       | 정회원       | 정회원       | 정회원       |
| Y. B. Kim | Y. K. Lee | S. K. Lee | S. T. Kim |

#### 1. 서론

전기가 공급되지 않는 농경지에 물을 공급하기 위해 태양열을 동력원으로 하고 저온에서 비등하는 물질을 작동물질로 하는 물펌프가 연구되어 왔다. 이와 관련하여 김 등(2002, 2003)은 펜탄을 작동물질로 한 태양열 물펌프 연구에서 에너지변환실험, 작동사이클의 열역학적인 해석, 장치의 설계를 수행한 바 있다. 본 연구에서는 펜탄을 작동물질로 한 태양열 물펌프를 실현하기 위하여 기존의 설계를 바탕으로 실험장치를 제작, 실험, 분석하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 장치의 구성

실험장치 시스템은 김(2003)에 의한 바와 같이 그림 1과 같으며, 이를 실제 구성한 것이 사진 1과 같다. 시스템의 작동원리는 김(2003)에 의한 바와 같다. 작동물질은 펜탄으로 하였으며, 고열원으로서 185 W 적외선 램프를 이용하여 복사 열공급하여 작동물질을 기화시켰다.

##### 나. 양정과 양수량 계획

태양열물펌프는 양정과 양수량을 고려하여 설계되어야 하는 바 본 연구에서는 사이클당 양수량을 실험실 수준으로 하여 최대 약 3 리터가 되도록 하였고, 이를 고려하여 물탱크 체적을 비롯하여 각 탱크의 체적을 설계 제작하였다. 그리고 양정은 우선 1.5 미터로 하여 실험하였던 바 양정의 수준은 불상승 파이프를 높이므로서 가능하므로 그렇게 할 수 있도록 하였고, 계측부에서는 최대양정 약 100 미터까지 가능하도록 하였다.

\* 경상대학교 농업시스템공학부 생물산업기계공학전공, 경상대학교 농업생명과학연구원

\*\* 상주대학교 기계공학부

※ 이 논문은 산업자원부에서 시행한 에너지·자원기술개발사업의 논문입니다.

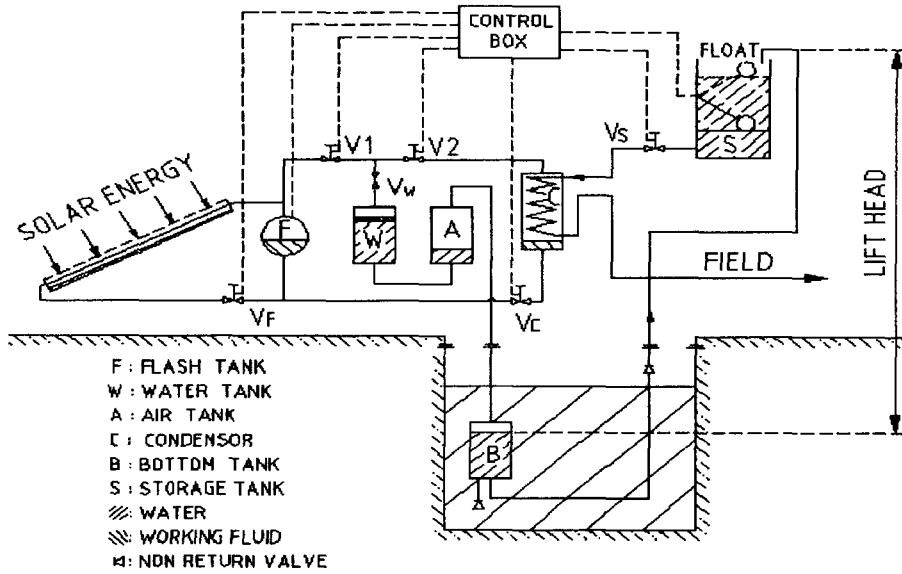
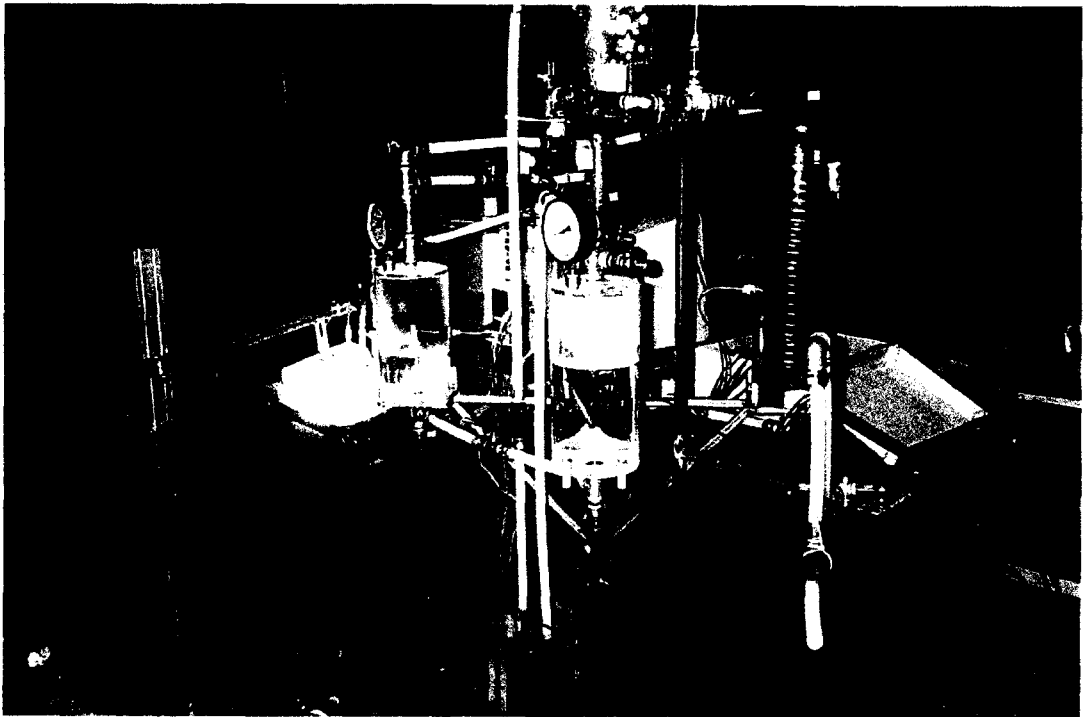


Fig. 1 Diagram of the solar water pumping system



Picture 1 View of the experimental equipments

#### 다. 탱크의 크기

장치에 포함된 각 탱크부의 크기는 사이클당 유량을 기준으로 하여 김(2003)에 의한 설계

과정에 따라 설계, 제작하였으며, 그 크기는 표 1과 같다. 탱크를 구성하는 재료는 투명아크릴로서 실험과정에서 내부의 움직임을 관찰할 수 있도록 하였으며, 재료두께는 8 mm로 하여 강도를 유지하도록 하였다. 응축부 열교환기 탱크는 내부 구리 파이프를 원형가공하여 자체 제작하였으며, 아크릴 탱크 내부에 내경 10 mm, 두께 1.35 mm의 구리파이프를 원형으로 가공하여 이중으로 배치하였다. 원형가공된 바깥쪽 외경은 120 mm, 안쪽 외경은 84.6 mm로 하였고, 파이프의 길이는 바깥쪽 원형구리관은 6.7 m, 안쪽 구리관은 3.3 m로 하였으며 이에 따라 총전열면적은 외경기준으로 약 0.4 m<sup>2</sup>로 하였다.

Table 1 Specification of the tanks

| Tank           | Outer diameter (mm) | Length (mm) | Thickness (mm)      | Volume (cc) |
|----------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|
| F:Flash tank   | 200                 | 235         | Cylinder 8, Cover 5 | 3,374       |
| W:Water tank   | 150                 | 279         | Cylinder 8, Cover 5 | 4,049       |
| A:Air tank     | 150                 | 306         | Cylinder 8, Cover 5 | 4,464       |
| C:Condenser    | 150                 | 465         | Cylinder 8, Cover 5 | 6,912       |
| B:Bottom tank  | 150                 | 215         | Cylinder 8, Cover 5 | 3,063       |
| S:Storage tank | 200                 | 207         | Cylinder 8, Cover 5 | 5,642       |

## 라. 계측제어부

실험과정에서 측정해야 할 항목은 온도, 압력, 양수량, 양수속도 등이며, 이를 위하여 필요한 계측기를 설치하였다. 그리고 변수의 수준에 따른 장치특성과 성능의 분석을 위해서는 수동으로 작동을 제어하지만 궁극적으로는 자동화가 실현되어야 하므로 이를 위해 자동화제어부를 추가하여 설치하였다. 제어부는 온도나 양수량을 입력량으로 하여 물의 배출과 흡입을 할 수 있도록 릴레이와 솔레노이드밸브를 설치하였고 이를 제어할 계측제어장치인 Campbell Scientific, Inc의 CR10x를 설치하였다. 이와 관련한 각부의 사양은 표 2에 나타낸 바와 같다.

## 마. 실험수행

복사열을 계속 공급하면서 기액분리 탱크내의 압력이 양수에 상당하는 압력 이상이 되면 밸브를 열어 물을 배출하였고, 물탱크 내의 물이 하단에 이르면 작동물질증기의 공급을 밸브로서 차단하고 응축기로 통하는 밸브를 열어 증기가 응축기에서 냉각이 되도록 하였다. 응축기에서는 냉각수가 계속적으로 공급되도록 하였다. 물탱크내의 작동물질증기가 응축되어 물탱크내의 물이 원위치로 되면 다시 새로운 사이클을 시작하였으며 이 과정에서 각부의

Table 2 Specification of the measuring and control parts

| Items                          | Description  |
|--------------------------------|--|
| Data Logger and control system | Campbell scientific, Inc.,<br>Model : CR10x<br>Control input/output 8 channels<br>Relay multiplexer AM416(32 channels) |
| Solenoid valve                 | Type : Normal open<br>AC 200/220 V, 50/60 Hz, Rc PT 1/2, Inner Dia. 15 mm  |
| Relay                          | Wonder SSR WK-1210SQ(Wonkwang Inc.)<br>Input : 4-32 VDC, Output : 240 VAC, 10A   |
| Pressure gauge                 | 0-1 MPa, Vacuum upto 0-1.33 hPa, A type, Dia. 100 mm   |
| Temperature sensor             | T type thermocouple $\phi$ 3.2 mm  |

온도, 압력, 물의 수위 등을 측정하였다. 본 연구에서는 일차적인 실험으로서 냉각속도 특성을 분석하고 성능을 향상시킬 수 있는 요인을 찾기 위해 냉각시간을 각각 10분과 20분으로 하고 그 각각에서 물탱크 내의 작동물질증기의 냉각초기 높이를 다르게 하여 그에 따른 냉각속도를 비교분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 온도압력의 변화

물의 배출과 냉각과정 중 각부의 온도와 압력의 변화는 그림 2, 3에 나타난 바와 같다. 작동물질을 가열하는 탱크 내의 온도는 약 70 °C 정도로 유지되고 있었고, 기액분리 탱크 내 온도와 물탱크 내의 온도는 비교적 일정하게 유지되고 있었으나 물을 배출하기 위해 증기를 물탱크로 보낼 때는 물탱크 내의 온도와 비슷하게 변하는 것을 알 수 있었다. 한편, 공기탱크 내의 온도는 약 26 °C 부근에서, 응축기 내부의 온도는 약 20 °C 부근에서 비교적 일정하게 유지되고 있었다. 한편 응축기를 통과하는 냉각수의 입출구온도차는 2 °C를 넘지 않았으나 증기밸브를 열고 난 냉각초기와 닫고 난 냉각후기에서 다소 차이가 있었다. 한편, 압력의 변화는 전체적으로는 사이클과정 중에는 비교적 일정하였으나 작동물질탱크와 공기탱크 내의 압력은 물을 배출하거나 흡입하는 행정에서 큰 폭으로 변화하였다. 연속된 사이클 과정에서 이러한 변수들의 거동은 앞으로 전개할 자동화된 사이클을 통하여 정밀 분석될 수 있을 것으로 판단된다.

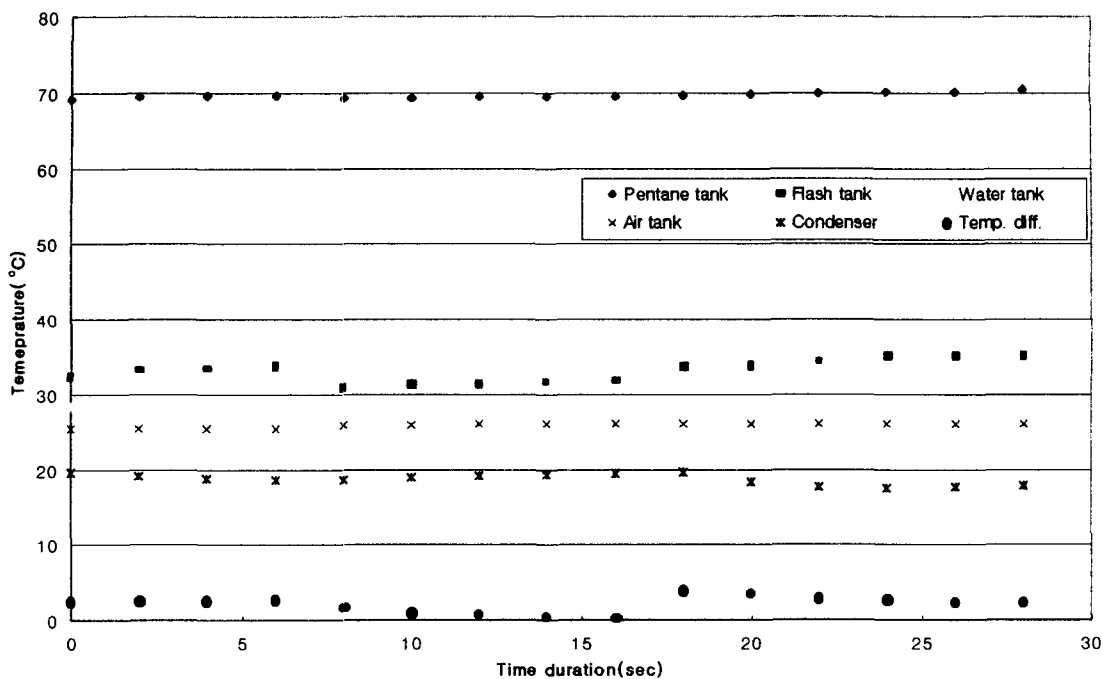


Fig. 2 Temperature history of the fluids in tanks and temperature difference of the water passing the condenser

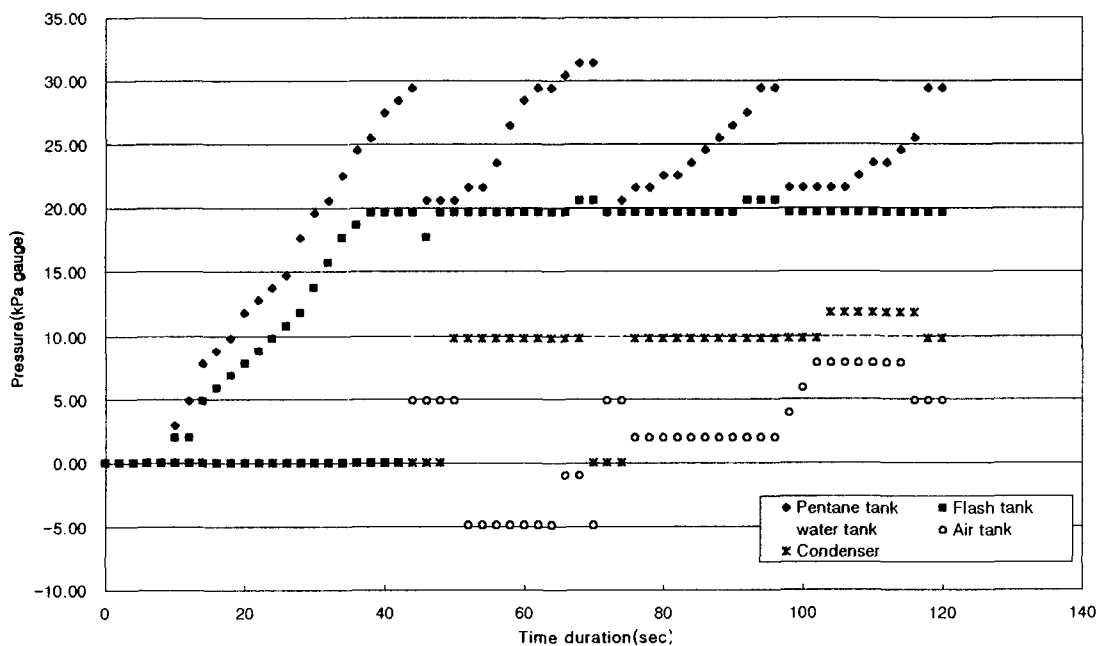


Fig. 3 Pressure history of the fluids in tanks during cycles

## 나. 냉각속도

사이클 중의 작동물질 가열과 냉각에 소요되는 시간을 비교분석한 결과를 보면 가열보다는 냉각속도를 증진시키는 것이 성능향상을 위해 필요하다. 이를 위해 냉각속도를 분석하기 위한 실험의 결과를 살펴보면 표 3과 같다. 냉각속도는 작동물질증기의 높이, 즉, 그 양에 따라서는 변화가 없다고 할 수 있으나 냉각시간에 따라 현저하게 다르게 나타났던 바 10분간 냉각을 시켰을 때 증기응축높이가 평균 30.3 mm 인데 비하여 20분간 냉각시켰을 때는 평균 40.0 mm를 나타내었던 바 사이클 진행속도는 가능한 한 짧게 끊어서 진행하는 것이 많은 양의 물을 양수할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 3 Comparison of the condensation performance depending on cooling time and height of the pentane vapour column

| Test No. | 10 minutes cooling   |  | 20 minutes cooling   |  |
|----------|--|--|--|--|
|          | Height of the pentane vapour column on cooling starting time(mm) | Height change of pentane vapour column during 10 minutes(mm) | Height of the pentane vapour column on cooling starting time(mm) | Height change of pentane vapour column during 10 minutes(mm) |
| 1        | 91   | 36   | 98   | 54   |
| 2        | 135  | 20   | 106  | 33   |
| 3        | 230  | 35   | 133  | 33   |

## 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 펜탄의 증기압을 이용한 복사열 물펌프를 제작하여 실험하였다. 이론관계식에 따라 설계 제작한 장치로서 물을 양수할 수 있었으며, 그 과정에서의 온도와 압력, 양수속도, 냉각속도 등을 분석하였다. 물의 배출과 흡입속도를 고려할 때 냉각속도를 높이는 것이 중요하며, 실험분석 결과 가능한 한 사이클 시간을 짧게 하여 양수하는 것이 성능향상에 유리하다고 판단되었다.

## 5. 참고문헌

1. 김영복, 이양근, 이승규, 김성태, 정병섭. 2002. 태양열을 동력원으로 한 물펌프 연구개발-에너지변환실험과 성능해석- 한국농업기계학회 2002 동계학술대회 논문집. pp.167-172
2. 김영복, 이양근, 이승규, 김성태, 정병섭. 2003. 저온 상변화 물질 특성을 이용한 태양열 물펌프 실용화 연구 개발 -장치의 최적설계-. 한국농업기계학회 2003 동계학술대회 논문집. pp.406-411
3. Kwant KW, Rao DP and Srivastava AK. Experimental studies of a solar water pump. In: Proc. Int. Solar Energy Congress, Brighton, 1981. P. 1172-6