

경사진 육면체에서의 태양열에 의한 증발현상에 대한 연구

박영훈*, 김병철**

*조선대학교 대학원 기계공학과(azmool@hanmail.net), **조선대학교 기계공학과(bckim@chosun.ac.kr)

A Study on the Solar Distillation in a Cube with Tilted Angles

Park, Yeong-Hoon*, Kim, Byung-Chul**

*† Graduate School Dept. of Mechanical Engineering, Chosun University(azmool@hanmail.net),

** Dept. of Mechanical Engineering, Chosun University(bckim@chosun.ac.kr)

Key Words: 태양열증발(solar distillation) , 조사(irradiation)

Abstract

Distillation is one of many processes that can be used for the purification of water. It requires an energy input such as heat and solar radiation is a possible source of energy. In this process, water is evaporated, thus separating water vapor from the solute. The vapor is then condensed to pure water. The temperature of the water, the cavity of the enclosure and the surface of the glass was measured everyday. Fifteen points were chosen for the temperature measure using a thermocouple. The inner wall and the bottom of each still was painted black for good absorption of heat. The enforced glass was used for the cover for the entering of solar energy. The size of all of the water baths was the same, but the glass of the rectangular form had a tilted angle. In the case of fine or general weather, the volume of condensed water produced by 45° and 60° is very irregular compared to that of 15° and 30°. In case of a rainy day, the occurrence of the volume of condensed water was similar to that of 15° and 30°, but the volume of condensed water produced by 30° was the highest.

기호설명

TG : 유리표면온도

TA : 공기온도

TW : 물의 온도

CW : 응축수

TCW : 누적 응축수

U, L : 상부, 하부

OT : 외부온도

IT : 내부온도

IVT : 내부평균온도

SH : 일조량(시간당)

SR : 일사량

† 조선대학교 대학원 기계공학과

E-mail : azmool@hanmail.net

TEL : 011-9629-9989

* 조선대학교 기계공학과

E-mail : bckim@chosun.ac.kr

TEL : 062-230-7041, 019-652-5421

1. 서 론

인간의 육체 대부분을 구성하고 있는 물은 우리가 살고 있는 주변의 오염과 더불어 신체 내부도 똑 같은 비율로 병들어 가고 있는 것과 같다.

이와 같은 심각성을 예견하고 오래 전부터 깨끗한 물의 생산을 위한 연구와 노력은 거듭되어 왔으며, 여러 가지 인위적인 정수방법들이 적용된 정수기를 생산하고 있다.

물을 맑게 정수하거나 생산하는 과정은 여러 기술적 기계적 방법이 동원되어야하므로 고비용과 대형화로 인해 간단한 설비의 개발이 절실하여졌고 비용뿐만 아니라 환경오염에 있어서도 열원이나 매연이 없이 증발시키는 자연의 순환 방식인 태양열을 이용한 정수방법의 연구에 이르렀다.

Richard H. Pierce와 L. Kellie Dixon은 태양열 집열기를 3개와 5개를 설치하여 높은 온도를 얻었을 때의 증발효과를 비교 연구하였고,⁽¹⁾ Robert E. Foster, Martin Romero, Sharon Eby-Martin, Gregory R. Vogel, Michael Cormier, William Amos, Vipin Gupta⁽²⁾는 소형 증발장치를 제작하여 태양열로 증류시켜 맑은 물을 생산하는 실험을 통해 1일에 1내지 2gallon을 생산하였으며, 물 맛과 경제성을 조사하여 그 실용가능성을 검증하였다.

W.R.McCluney는 Campbell, George 등의 연구와 논문들을 모아 물의 태양열 증발에 대한 일반적인 내용을 실용성과 경제성을 망라하여 체계적으로 정리하였다.⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

Lourdes Garcia-Rodriguez와 Carlos Gomez-Camacho는 바닷물을 증류하는데 태양열을 활용하는 방안을 연구⁽⁷⁾하였으며, A.E.Kabeel과 M.A. Rayan⁽⁸⁾은 증발장치의 유리표면의 온도를 낮게 함으로서 응축효과를 증진시킬 수 있다고 하였다.

본 연구의 목적은 무공해이면서 비용이 들지 않는 태양에너지를 이용한 물의 증발효과에 대한 자료를 제시하는데 있다.

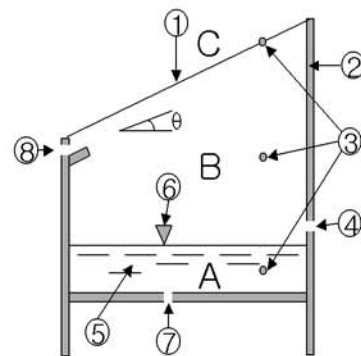
각도를 달리하는 구조로 태양열의 입사각을 15도, 30도, 45도, 60도로 각각 제작하여 동일지역에 설치하고 동일한 조건으로 태양열을 받아 증발되는 상태를 관찰함으로써 날씨별 증발 유형과 특성을 연구하고 그 원인 및 효과를 분석하며, 그에 따른 자료를 실제에 활용할 수 있도록 제공하는데 있다.

여러 상황의 변화를 파악함은 물론 태양열과 주변 조건에 의해 발생하는 증발현상 및 응축수 생산 등의 결과를 측정하여 각 조건에 따른 효율 정도를 결정할 수 있는 자료로 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

실험장치는 Fig. 1과 같이 저수부인 A부, 증발부인 B부, 흡열부인 유리면 C부의 3곳으로 구성하였으며, 유리면을 제외한 전체의 면을 50mm 두께의 단열재로 단열한 후 검은색의 FRP로 덧씌워서 마무리하였고, 15°, 30°, 45°, 60°로 경사를 주어 태양열의 입사각이 다르도록 제작하여 실험하였다.



- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1. Glass | 2. Insulation |
| 3. Thermocouple | 4. Water supply |
| 5. Water | 6. Water gauge |
| 7. Drain | 8. Condensation water |

Fig. 1 Experimental Apparatus



Poto. 1 Experimental Apparatus

2.2 실험 방법

증발기 내부에 시수를 넣은 후 내부공간의 윗부분과 아랫부분 그리고 가운데 부분 3곳과 외부의 17곳의 온도를 Data Acquisition unit와 컴퓨터 사용하여 2분 간격으로 측정하고 그 온도를 분석하였으며 증발된 양은 1시간 간격으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일사량과 증발량

일사량이 많으면 외기온도가 높아지므로 장치내부의 온도를 상승시키고, 장치내부의 온도는 증발현상에 영향을 미치게 된다.

일조율은 구름이나 안개 등의 유무에 직접적인 관계가 있으므로 좋은 날씨라 하더라도 시간별로 그 변화 또한 기록이 심하다. 일사량은 그 일조율의 기록에 따라 변화되게 된다.

유리표면의 온도변화는 일사량보다도 일조율의 변화에 민감하게 반응하고 있으며, 구름 등의 영향이 있으면 어느 곳보다도 민감하게 일조량의 변화곡선을 따라 움직인다.

물은 매우 부드러운 곡선을 그리며 상승과 하강을 한다.

내부공기의 온도는 일사량과 일조율에 매우 민감하게 반응하며 온도가 상승하는 시간대에서는 30도의 경우가 적은 차이지만 약간 저조한 듯 하나 하향곡선에서는 60도의 경우가 경사가 심하게 나타난다.

fig.2 는 날씨가 좋은 날의 일사량에 따라 시간별로 생산되는 응축수의 양을 나타내며, fig.3 은 날씨가 좋지 않은 날의 일사량에 따른 시간별 생산되는 응축수의 양을 나타낸다.

일조율이나 일사량이 높은 낮 시간에는 응축수의 생산이 저조하며, 일조율에 기록이 생기거나 없는 시간대에 응축수의 생산은 매우 활발하게 진행되어 가고 있음을 보여준다.

일사량이나 일조율이 높은 시간은 외기온도도 높은 시간대이며, 유리표면온도 또한 가장 높은 시간이다. 그러므로 유리표면에서 응축을 할 수 있는 여건이 되지 못하고 오히려 높은 온도로 인하여 증발 건조 현상이 일어나 응축수의 생산은 거의 중단되다시피 한다. 그러나 유리표면의 온도가 내려가면 일사량이 큰 시간대의 높은 온도

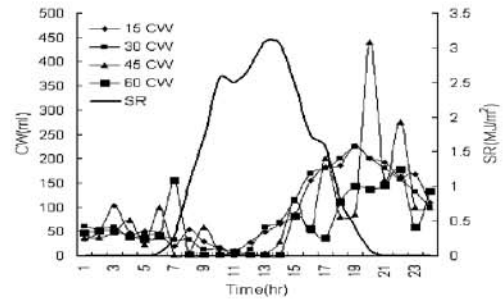


Fig. 2 The Condensation Water and The Solar Radiation(The Fine Day)

로 인해 장치내의 공기는 증발된 수분을 가득 품은 포화증기가 되어 있으므로 찬 유리표면에서 응축은 매우 활발하여진다. 60도의 경우는 공간이 커서 물과 내부온도가 가장 낮으므로 내부의 영향보다도 외부의 작은 변화에 그 흐름을 같이하고 있음을 알 수 있다.

일사량이 적은 날의 경우에는 낮 시간의 온도차나 여러 가지 조건들이 일사량 좋은 날의 밤 시간과 다를 바 없는 상황이라서 일사량이 그 중 가장 큰 시간대에 응축수량은 가장 많이 생산되고 있다.

fig.4 는 날씨가 좋지 않은 날의 일사량에 따른 시간별 생산되는 응축수의 양을 누적 평균하여 나타낸 그래프이다.

일조율이 0이고 일사량이 적은 날은 일사량이 많은 날과는 정 반대의 현상이 나타난다.

일사량이 많은 시간대까지는 응축수량의 증가를 보이지만 일사량이 떨어지기 시작하는 점에서부터 응축수의 생산은 거의 없다.

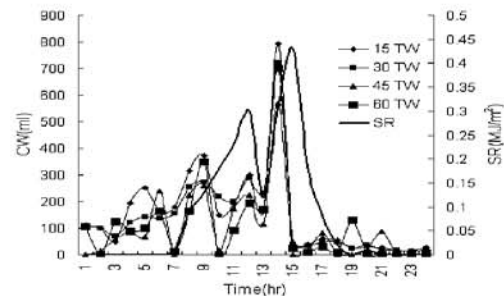


Fig. 3 The Condensation Water and The Solar Radiation(The Cloudy Day)

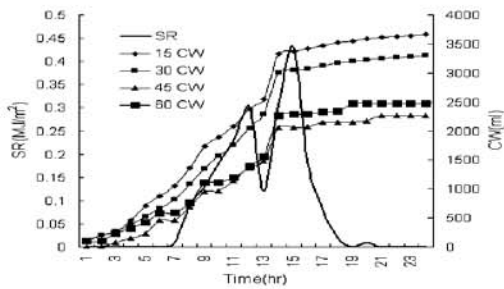


Fig. 4 The Cumulative Total Condensation Water and The Solar Radiation(The Cloudy Day)

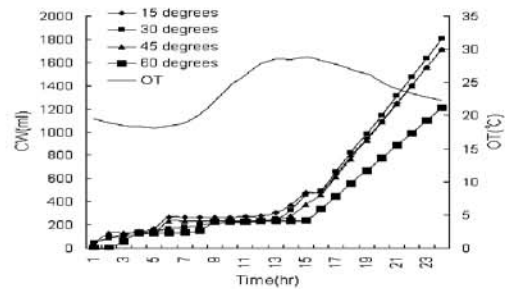


Fig. 6 An Increase in Quantity of Condensation Water be Followed by the Outer Space Temperature (The Fine Day)

3.2 외기온도와 증발량

fig. 5에서 보는 바와 같이 비가 오는 날의 경우에는 장치 내에서의 증발 효과는 그리 크지 않았던 것임을 보여준다.

흐린 날의 일일 발생 총 응축수량은 전반적으로 보면 15도, 30도, 45도의 경우가 아주 적은 차이의 발생량을 보이거나 30도가 그 중 가장 우수하며, 60도의 경우는 다른 날씨에서와 같이 가장 낮은 수치를 나타낸다.

fig. 6은 맑은 날의 경우인데, 맑은 날은 외기온도가 급격히 상승하고 있는 시간에는 응축수가 전혀 발생되지 않는 특징을 보여주어 그래프에서도 모든 구조가 x축과 수평을 이루고 있으며, 외기온도의 최고점에서부터는 60도를 제외한 15도, 30도, 45도 구조에서의 응축수발생량은 거의 차이를 보이지 않는다. 응축수의 발생량은 오히려 낮은 높은 기온과 가장 많은 차이가 나는 새벽시간대에 가장 활발한 증가를 보여준다.

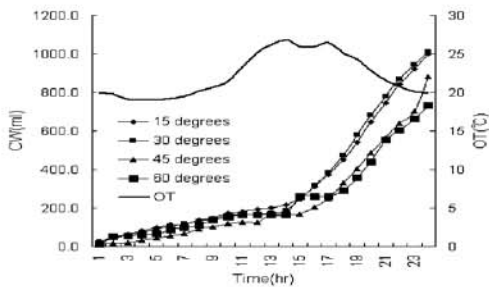


Fig. 5 An Increase in Quantity of Condensation Water be Followed by the Outer Space Temperature (The Rain Day)

3.3 공극량과 증발량

각 장치는 같은 면적에 같은 양의 물을 채웠으므로 증발면적, 즉 물의 표면적과 체적은 모든 구조에서 동일하며, 입사각을 각 각 15도, 30도, 45도, 60도로 제작함으로써 물이 차지하는 공간을 제외한 공간의 체적이 각기 다르다.

일일 발생응축수의 평균값은 15도의 경우가 1497.6ml로 가장 많으며 그 다음으로는 30도로서 1457.7ml, 그리고 45도는 1170.5ml, 60도가 가장 적은 1188.9ml이다.

15도와 30도의 경우가 비슷한 결과를 나타내고, 45도와 60도가 응축수의 생산량에 근소한 차이를 보인다.

응축수 발생량은 장치 내부 공간의 크기와 증발면적과의 관계에 있어서 그 공간의 대비가 15도는 장치내의 공간이 증발면적보다 276.29배 크며, 30도의 장치는 450.32배, 45도의 경우는 688.07배, 60도는 1099.82배이므로 276.29배에서 450.32배까지의 폭에서는 응축수 발생량에 있어서 40ml 정도의 적은 차이를 보이지만 688.07배를 넘어 1099.82배에서는 그 보다 7,8배나 많은 300ml 정도의 차이를 보인다.

전반적으로 장치내의 공간이 큰 45도와 60도는 응축수의 생산에 있어서 15도와 30도의 적은 공간의 장치보다도 그 응축효과가 좋지 않음을 알 수 있다.

3.4 이상기후와 증발량

fig. 7에서 보여 주듯이 소나기가 내리기도한

매우 불규칙한 날의 불과 유리표면의 온도차는 소나기에 의해 유리표면이 급냉을 하는 반면 물의 온도는 민감한 변화를 일으키지 않기 때문에 물의 온도에 비하여 유리의 온도가 급히 낮아져 그 차가 심해지므로 응축 또한 크게 활발하여 짐을 알 수 있다.

그러한 상황에 유리의 진동까지 합세하여 응축수의 일시적인 생산이 촉진되어 증가되었다고 볼 수 있다.

그 후로도 물과 유리표면의 온도차가 증가되는 시각에 따라 각 구조별로 응축수의 생산이 증가되고 있다.

따라서 물과 유리표면의 온도차는 소나기가 내리는 날씨에서도 응축수의 생산에 민감한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

응축수의 생산량은 물과 유리표면의 온도차에 많은 영향을 받고 있는 것으로 나타난다.

불규칙한 날씨와 같게 응축수의 변화 또한 매우 불규칙하고 어떤 상황에서는 급격한 배출을 한 반면 대부분의 시간에는 거의 생산이 전무한 경향이 두드러진다. 최종적으로 생산된 응축수의 양은 60도의 경우가 단연 우수하고, 30도의 경우가 가장 적다.

앞의 여러 경우에서 살펴보았던 내용들과는 판이한 결과이다.

외부의 기온이나 상황이 매우 불규칙하여 폭우가 있거나 온도변화의 폭이 좁아 증발의 효과를 기대하기 어려운 경우에는 내부공간이 비교적 큰 구조인 60도의 경우가 우수한 응축능력을 가진다고 할 수 있다.

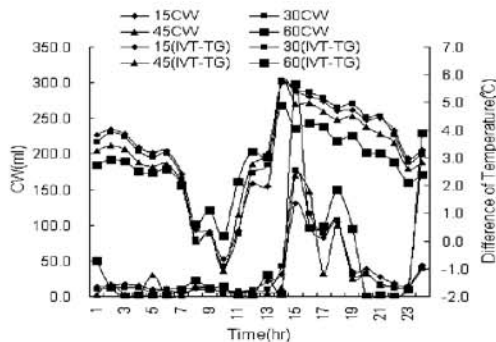


Fig. 7 The Condensation Water Classified by Hour and the Difference of Temperature(TW-TG)

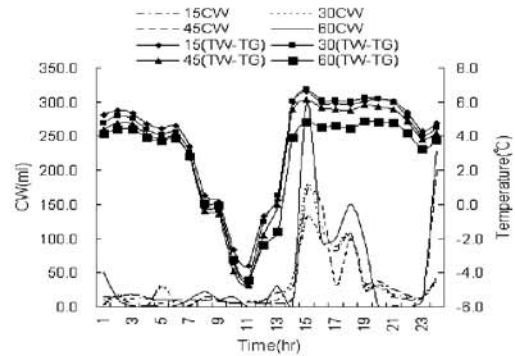


Fig. 8 The Condensation Water Classified by Hour and the Difference of Temperature(IVT-TG)

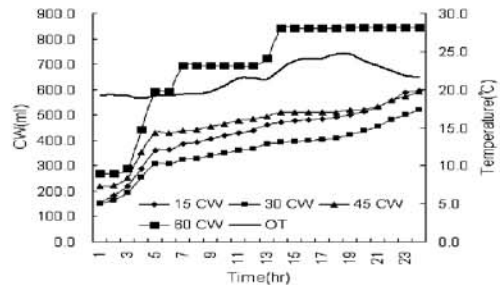


Fig. 9 The Condensation Water Classified by Hour and the Temperature of Outside(Irregularly Gloomy Weather)

fig. 8은 각 구조별 내부온도와 유리표면온도와 의 차에 따른 응축수의 변화를 나타내는 그래프이며, fig. 9는 외기온도에 따른 응축수량의 변화를 알기 쉽게 누적하여 표현한 것이다.

불규칙한 날씨에서의 응축수는 모든 구조에서 그 폭이 아주 좁고, 다른 날씨에서 규칙성이 없고 산만하게 나타나는 60도의 경우에서 응축수의 생산이 두드러지게 나타나며, 그 생산량 또한 월등히 많다. 이는 내부공간이 작은 구조에서는 증발은 되었으나 응축의 조건이 형성되기 전에 변화되는 외부의 빈번한 조건변화로 응축이 되기 전에 다시 그 조건을 상실하는 상황으로 인해 응축수의 생산에는 거의 도움이 되지 못하였음을 말해 주고 있다.

반면 내부 공간이 월등히 큰 60도의 경우는 외부의 온도차이가 크면 그 결과는 달라질 것이나, 내부의 상황이 구름이 많고 온도의 변화폭이 적은 외부변화에 둔감하게 반응함으로써, 내부공기 중에 수분 함량을 유지하다가 조건이 형성되면 넓은 유리면으로 응축됨으로서 응축수의 생산에

서 다른 구조보다 우수한 결과를 보여 준 것으로 보인다.

다른 날씨에서는 이 두 온도차가 응축수의 생산에 밀접한 관계를 갖고 있는데, 이와는 다르게 외기온도의 변화폭이 최고와 최저가 약 5℃ 정도로 적고, 이슬비가 내리다가 햇벌이 보인 듯하다가 금방 비가 내리는 등 흐리고 매우 불규칙한 날씨에 있어서는 이 온도차도 그 영향을 예측하기 어려운 결과를 가져온다.

이러한 날씨에서 응축수의 생산은 내부공간이 커서 외부상황에 둔감한 60도의 경우가 그 생산량이 가장 많이 나타났다.

4. 결 론

가로 × 세로가 800mm × 900mm의 수면을 가지며, 입사각이 각각 15도, 30도, 45도, 60도의 각도를 갖고, 태양빛이 투과되는 유리면을 제외한 전체의 면을 단열시키고 흑색의 FRP로 제작된 태양열에 의한 증발장치에서 날씨에 따른 각 구조별 증발 및 응축현상을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 응축수의 발생은 외기온도가 낮고 온도차가 거의 없는 시간에 많은 양이 생산되다가 외기온도가 상승하는 시간에는 거의 없으며, 최고온도에서 다시 외기가 내려가기 시작하면 응축수는 반대로 다시 발생하기 시작한다.
2. 내부온도에 비해 유리표면온도가 떨어지기 시작하여 그 온도차가 커지면 응축수의 생산은 그만큼 많아지게 된다.
3. 내부온도와 유리표면의 온도차가 응축수의 생산량에 중요한 역할을 한다.
4. 우천 시의 경우 응축수는 외기온도가 내려가는 것에 관계없이 밤 시간까지 일정량 지속적으로 생산된다.
5. 15도와 30도는 적은 차이지만 30도의 경우에서 가장 많은 응축수량을 나타낸다.

참고문헌

1. Richard H. Pierce, L. Kellie Dixon, 1992, Innovative Solar Technologies Demonstration Program "A Solar Distillation Project" Mote Marine Laboratory Technical Report No. 280.

2. Robert E. Foster, Martin Romero, Sharon Eby-Martin, Gregory R. Vogel, Michael Cormier, William Amos, Vipin Gupta, 2002, American Solar Energy Society Reno, Nevada, "Solar Distillation Providing Potable Water for Border Colonias"
3. W.R.McCluney, 1984, "Solar Distillation of Water", Energy Note FSEC - EN - 80 February 1984
4. Campbell, George, March 1982, "How to Get Pure Drinking Water From the sun", Popular Mechanics, Volume 157, No.3
5. Sunworld, 1979, "Low Cost Portable Solar Still," Vol.3, No.6, p172
6. Howe, Everett D, 1982, "Solar Distillation of Water: An Introduction", Sunworld, Vol.6, No.1, pp.2-3
7. Lourdes Garcia-Rodriguez, Carlos Gomez - Camacho, 1999, "Preliminary Design and cost analysis of a solar distillation system" Desalination 126(1999)109-114
8. A. E. Kabeel, M. A. Rayan, "Theoretical and Experimental Investigation on the Influence of Still Glass Cover Cooling on Water Productivity"