

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 24, No. 1, 2004

경사진 육면체에서의 태양열에 의한 증발효과에 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)

Abstract

Four solar stills that were fabricated each with cubes and glazing tilted angles of 15°, 30°, 45°, 60°, were compared with the quantities of condensed water. The quantities of condensed water were analysed with the weather conditions and temperatures for three months. On fine days, the quantity of average condensed water was more similar to those of 15° and 30° than to those of 45° and 60°. The quantity of condensed water produced by those of 45° and 60° were very irregular compared to those of 15° and 30°. On rainy days, the quantity of condensed water was the most in that of 30° than those of the other angles and in cloudy, rainy and sunny conditions, the condensation quantity was the largest in that of 60°.

Keywords : 태양열증발(solar distillation), 조사(irradiation)

기 호 설 명

TG : 유리표면온도
TA : 공기온도
TW : 물의 온도

CW : 응축수
TCW : 누적 응축수
U, L : 상부, 하부
OT : 외부온도

- IT : 내부온도
- IVT : 내부평균온도
- SR : 일사량
- SH : 일조량(시간당)

1. 서 론

지구온난화나 한파 등에 의한 이상기후로 세계 곳곳에서 일어나는 홍수나 태풍 또는 가뭄 등은 인간의 생활에 많은 영향을 끼칠 뿐만 아니라 지구상의 사막화나 식수 부족과 같은 문제를 일으키고 있다.

우리나라 또한 물 부족 국가로 분류되어 있어 이에 따른 대책이 마련되어야 할 때이다.

물을 제조하는 과정은 여러 가지가 있으나 증발과정의 경우 혼합물을 분리하여 2상에서 분리될 수 있는 상호 농도의 차이와 최소한 기 액상이 존재하도록 필요한 온도와 압력조건을 주어야 하는데 두 상이 물리적 평형상태에 있을 때 상에서 물질 농도의 최대의 상대적 차이가 있을 때 발생한다. 따라서 평형조건을 구하는 것이 증발과정에서 요구된다.

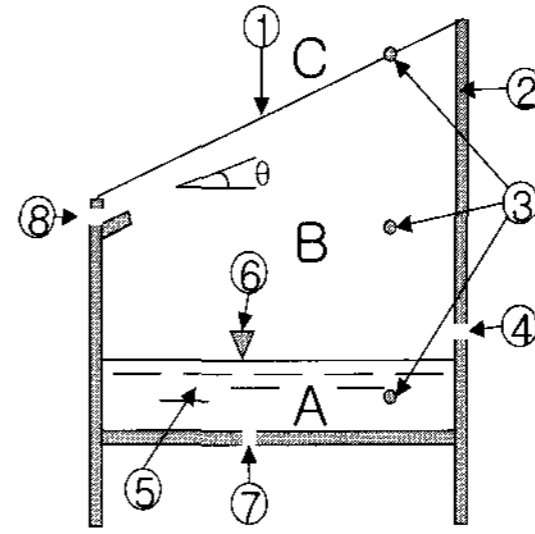
Richard H. Pierce와 L. Kellie Dixon은 태양열 집열기를 3개와 5개를 각각 설치하여 높은 온도를 얻었을 때의 증발효과를 비교 연구하였고,¹⁾ Robert E. Foster등은²⁾ 소형 증발장치를 제작하여 태양열로 증류시켜 물을 생산하는 실험을 통하여 실용가능성을 검증하였다.

W.R.McCluney³⁾는 Campbell, Halacy.D.S⁴⁻⁵⁾ 등의 연구로부터 증발에 대한 일반적인 내용을 분석하여 정리하였다.⁶⁾⁻¹²⁾ 그러나 이를 활용하기 위해서는 각 지역의 일사량 등 기후와 날씨에 따른 주요지역에서의 계절적 자료가 필요하다.

본 연구에서는 태양열을 이용한 우리나라에서의 기후와 외기온도 및 기타 요소 등의 변화에 따른 물의 증발효과에 대한 자료를 제시하여 이를 이용한 기기의 개발에 이용하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치



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

그림 1. 실험장치

실험장치는 그림 1과 같이 저수부인 A부, 증발부인 B부, 흡열부인 유리면 C부의 3곳으로 구성하였으며, 저수부는 가로, 세로, 높이가 900mm, 800mm, 100mm의 체적을 갖고, 증발부는 저수부를 제외한 내부 공간을 말한다. 유리면을 제외한 전체의 면을 50mm두께의 단열재로 단열한 후 검은색의 FRP로 덧씌워서 마무리하였고, 15°, 30°, 45°, 60°로 경사를 주어 태양열의 입사각이 다르도록 제작하여 실험하였다.

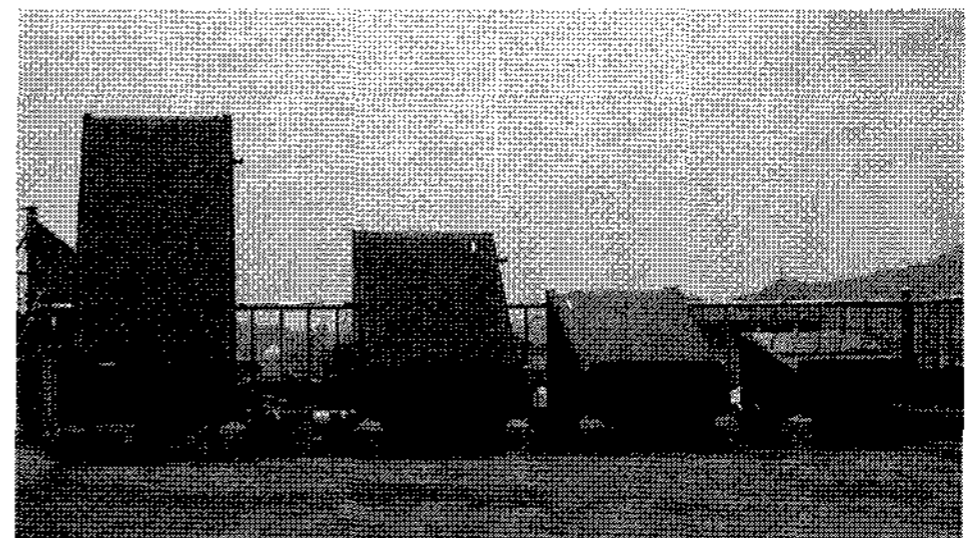


사진 1. 실험장치 사진

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. 일사량 및 일조량은 지역 기상청의 자료를 제공받아 직접 측정 및 관찰한 날씨와 외기온도를 비교하였으며 증발량은 시간당 발생하는 응축수량으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일사량과 증발량

일조율은 구름이나 안개 등의 유무에 직접적인 관계가 있으므로 날씨에 따라 시간별로 기록이 심하다. 일사량은 그 일조율의 기록에 따라 변화되게 된다.

유리표면의 온도변화는 일사량보다도 일조율의 변화에 따라 민감하게 반응하고 있다. 유리표면의 온도는 일사량과 같이 일조율의 변화에 뒤이어 상승하였다가 구름 등의 영향이 있으면 어느 곳보다도 민감하게 일조율의 변화곡선을 따라 움직인다.

물의 온도는 외부변화에 둔감하게 나타나며, 내부공기의 온도는 물과는 달리 일사량과 일조율에 따라 예민하게 반응한다.

그림 2의 일사량에 따른 시간별 응축수의 양에서 보는 바와 같이 일조율이나 일사량이 높은 낮 시간에는 응축수의 생산량은 적으나, 외기의 온도는 높은 시간대이다. 유리표면온도 또한 가장 높은 시간

이므로 유리표면에서 응축을 할 수 있는 여건이 되지 못하여 오히려 높은 온도로 인해 유리표면에 응축되지 못하고 응축수의 생산량은 아주 적다.

그러나 유리표면의 온도가 내려가면 일사량이 큰 시간대의 높은 온도로 인해 장치내의 공기는 증발된 수분을 가득 품은 포화증기가 되어 있으므로 차가운 유리표면에서 응축은 매우 활발하여 진다.

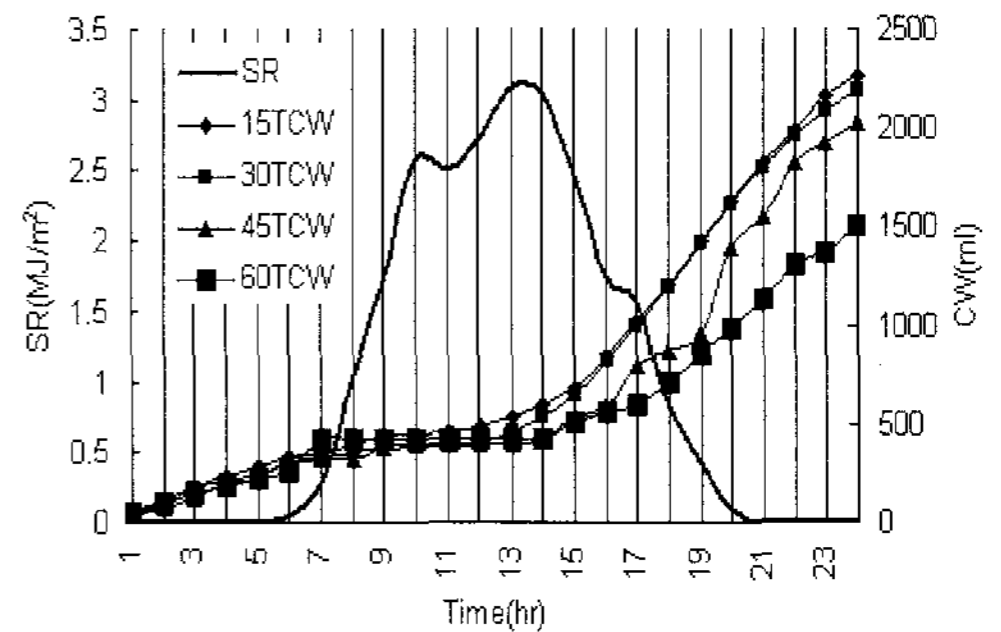


그림 3. 일사량에 따른 시간별 생산되는 응축수의 누적수량(일사량이 많은 날)

그림 3은 일사량이 많은 날의 일사량에 따른 시간별 생산되는 응축수의 누적 수량을 나타낸다.

일사량이 적은 날은 햇볕이 없는 날이 되므로 일조율은 거의 0이 된다. 일조율이 거의 0이고 일사량이 적은 날은 일사량이 많은 날과는 반대의 현상이 나타난다. 일사량이 적은 날의 경우에는 낮 시간의 온도차나 여러 가지 조건들이 일사량 좋은 날의 밤 시간과 다를 바 없는 상황이라서 일사량에 따라 발생하는 응축수는 그림 4에서 보는 바와 같이

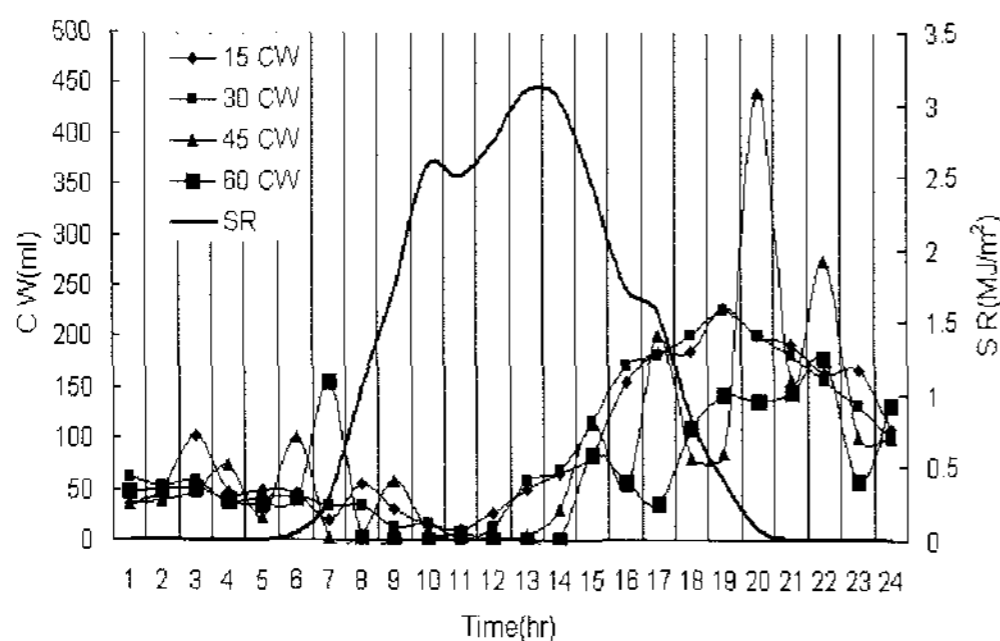


그림 2. 일사량에 따른 시간별 생산되는 응축수

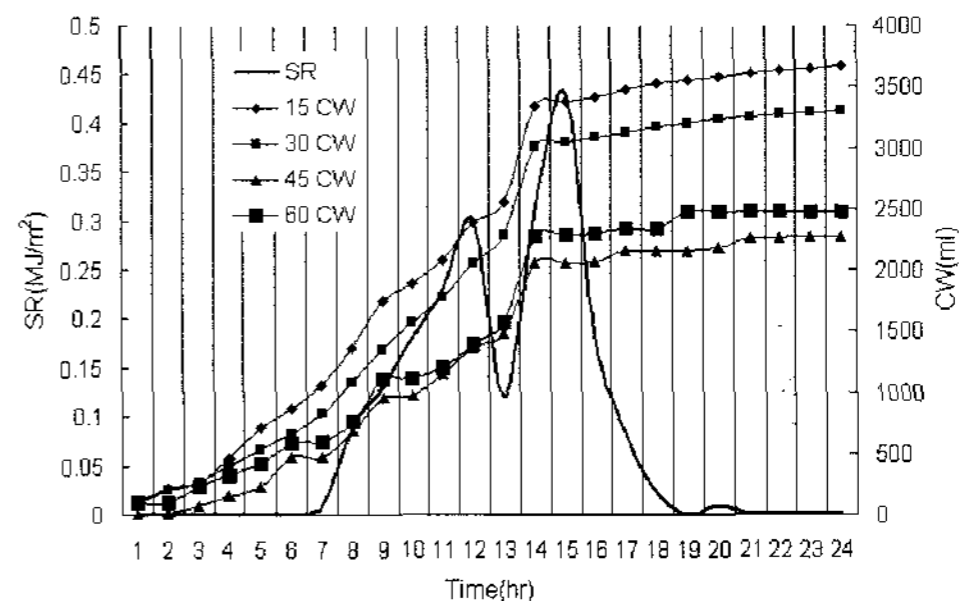


그림 4. 일사량에 따른 시간별 생산되는 응축수의 누적수량(일사량이 적은 날)

일사량이 그 중 가장 큰 시간대에 응축수량은 가장 많이 생산되고 있다.

일사량뿐만 아니라 내부 공기의 온도와 물의 온도 등의 조건들이 서서히 하향곡선을 그리는 상황에서는 응축수의 생산 또한 그에 따라 저조한 현상을 보인다.

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

응축수의 총량이 일사량이 많은 날보다 적은 날이 많은 것은 전날의 조건으로 인한 증발과 응축이 지속적으로 유지되어 나타나는 현상으로 일사량이 가장 많은 시간대에 절정을 이루고 한계에 이르러 그 후부터는 매우 저조하다.

3.2 외기온도와 증발량

비가 오는 날의 경우에는 그림 5에서 보여주듯이 장치 내에서의 증발 효과는 그리 크지 않았다.

다른 날씨와 비교할 때, 맑은 날은 그림 6에서 나타내듯이 외기온도가 급격히 상승하고 있는 시간에는 응축수가 전혀 발생되지 않는 특징을 보여주며, 그래프에서도 모든 구조가 수직축과 수평을 이루고 있으며, 외기온도가 최고점인 부근에서는 60°를 제외한 15°, 30°, 45° 구조에서의 응축수 발생량은 거의 차이를 보이지 않는다. 응축수의 발생량은 오히려 낮의 높은 기온과 가장 많은 차이가 나는 새벽 시간대에 가장 활발한 증가를 보여준다.

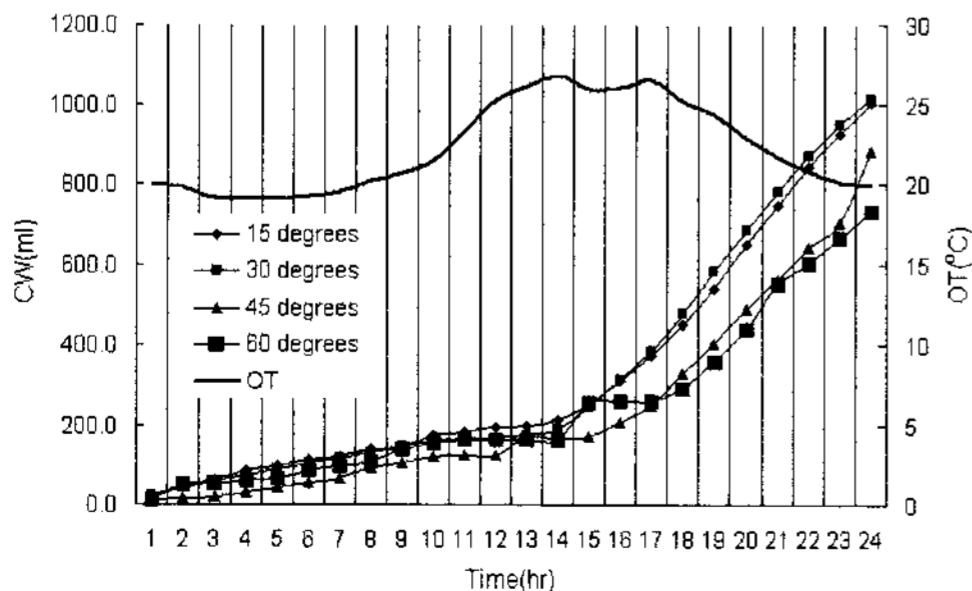


그림 5. 외기온도에 따른 누적응축수량 (비가 오는 날의 경우)

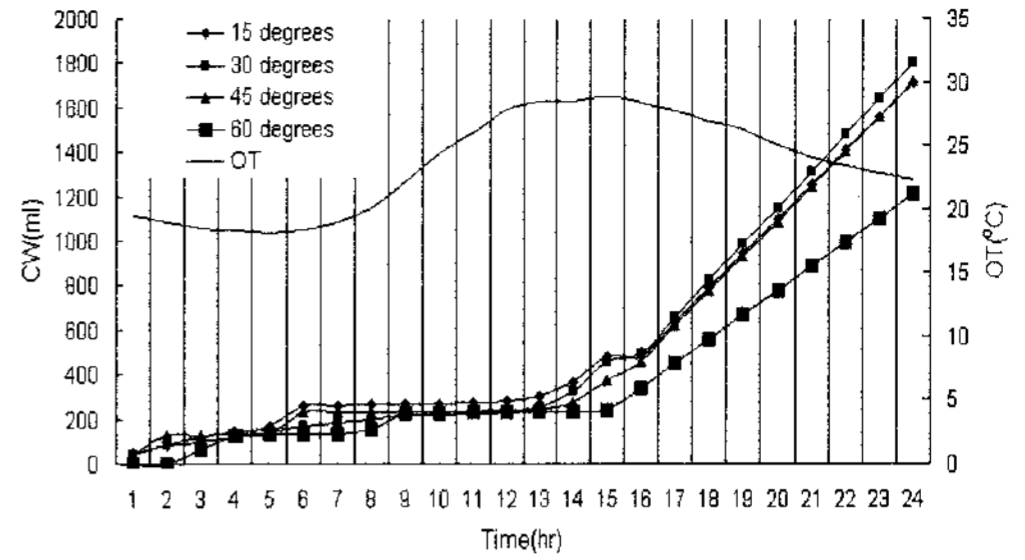


그림 6. 외기온도에 따른 누적응축수량 (맑은 날의 경우)

연속하여 날씨가 흐리고 외기온도가 올라가지 않은 날의 응축수량은 증발과 응축이 지속적으로 이루어져 지극히 소량이지만 낮 시간에도 응축수의 생산은 계속된다.

그러나 낮 시간에 온도가 급격히 상승하는 경우에는 응축수의 생산은 전혀 발생되지 않을 뿐 아니라 응축이 일어나야 할 유리면에서까지 일부 증발을 일으키기도 한다.

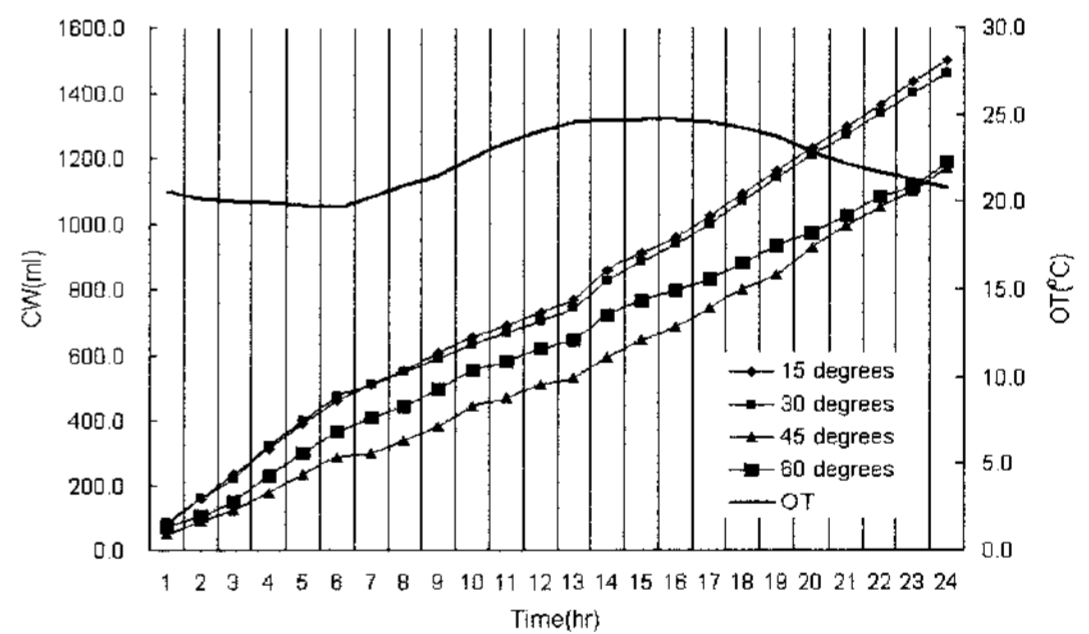


그림 7. 외기온도와 누적응축수량(총합평균)

그림 7은 실험기간 동안의 외기온도와 누적응축수량의 종합 평균을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 최종 발생 응축수량은 15°와 30°의 경우에 비슷하고, 그리고 45°와 60°의 경우에 또한 비슷한 경향을 보인다.

외기온도가 상승하는 시간동안은 다른 시간보다 발생량의 변화가 적으며, 최고 온도부근에서는 각 구조별로 불안정한 상황을 나타내고 있다.

3.3 공극량과 증발량

일일 발생응축수의 평균값은 15°의 경우가 가장 많으며 그 다음으로는 30° 그리고 45°, 60°의 순으로 나타났다.

장치 내부 공간의 크기는 15°가 가장 작으며, 30°, 45° 그리고, 60°의 순이다.

응축수 발생량에 있어서 15°와 30°는 40ml 정도의 적은 차이를 보이지만 45°와 60°에서는 그보다 7~8배나 많은 300ml 정도의 차이를 보인다.

그림 8은 각 구조별 일일 평균 누적 응축수량을 나타낸 그래프이다.

장치내의 공간이 큰 45°와 60°는 응축수의 생산에 있어서 15°와 30°의 적은 공간의 장치보다도 그 응축효과가 좋지 않음을 알 수 있다. 이는 45°와 60°의 경우는 15°와 30°의 경우보다 내부 공간이 커서 수면으로부터 발생된 증기가 내부공간에 포화되기까지는 공간이 적은 15°와 30°의 경우보다 많은 시간이 소요되며, 유리표면의 온도와 내부 공기 온도의 차에 따른 결로점의 형성으로 인한 응축이 민감하게 이루어지지 않기 때문으로 판단된다.

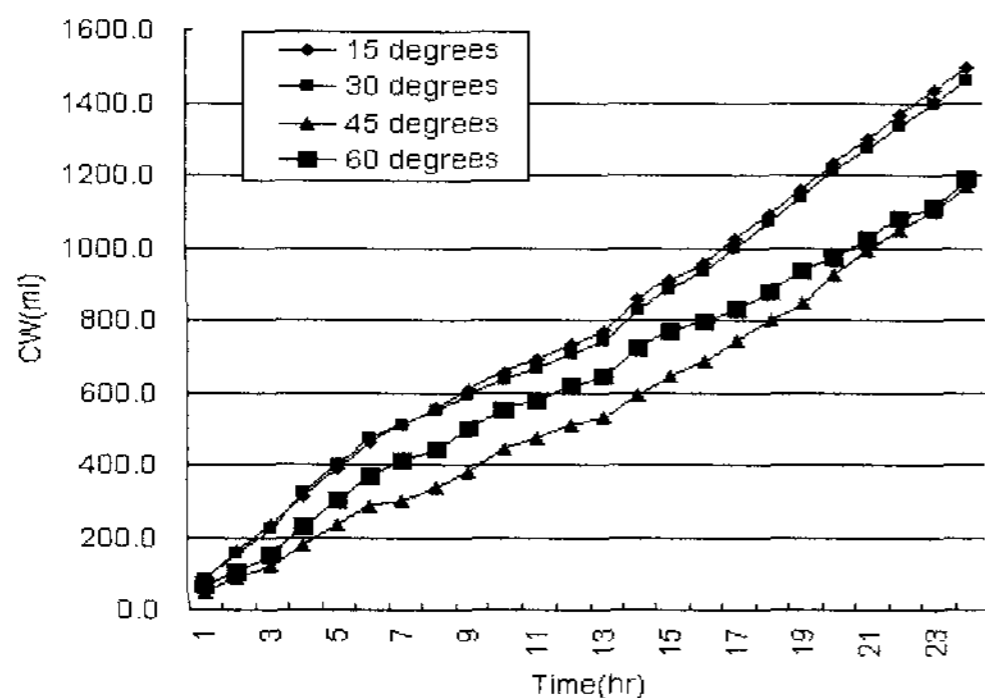


그림 8. 일일 평균 누적응축수량

3.4 내부온도와 증발량

내부온도는 외기온도가 변화되는 시점에서 급격한 곡선을 이루며 변화된다.

상부공기의 온도는 외기의 영향으로 밤 시간에는 하부공기보다 더욱 낮은 온도에 이르게 되는데 15°

의 경우는 밤 시간에도 여전히 상부의 공기가 하부의 공기보다 약간 높거나 같게 나타난다.

내. 외부의 온도차가 심한 심야의 시간에는 온도차의 상승과 더불어 증가되는 응축수의 생산은 물의 온도보다 유리표면의 온도가 높아 응축되지 못한 낮 시간에 장치 내에 가득 차 있던 포화수증기 온도가 바뀌어 응축이 될 수 있는 여건이 갖추어지면 급격한 응축이 되어 이로 인한 장치내 공기의 수분부족이 증발효과를 촉진시키고, 물의 온도와 유리표면과의 온도차의 증가는 응축과 증발을 지속적으로 성장시킨다.

그림 9는 60°의 경우에서의 내부 평균온도와 유리표면의 온도차에 따른 응축수의 변화를 나타낸다. 전체적으로는 매우 불규칙하지만 응축수 생산량의 변동이 시간에 따라 반복되고 있으며, 그 생산량에는 낮 시간이나 저녁 또는 심야 시간의 특별한 구별이 없다.

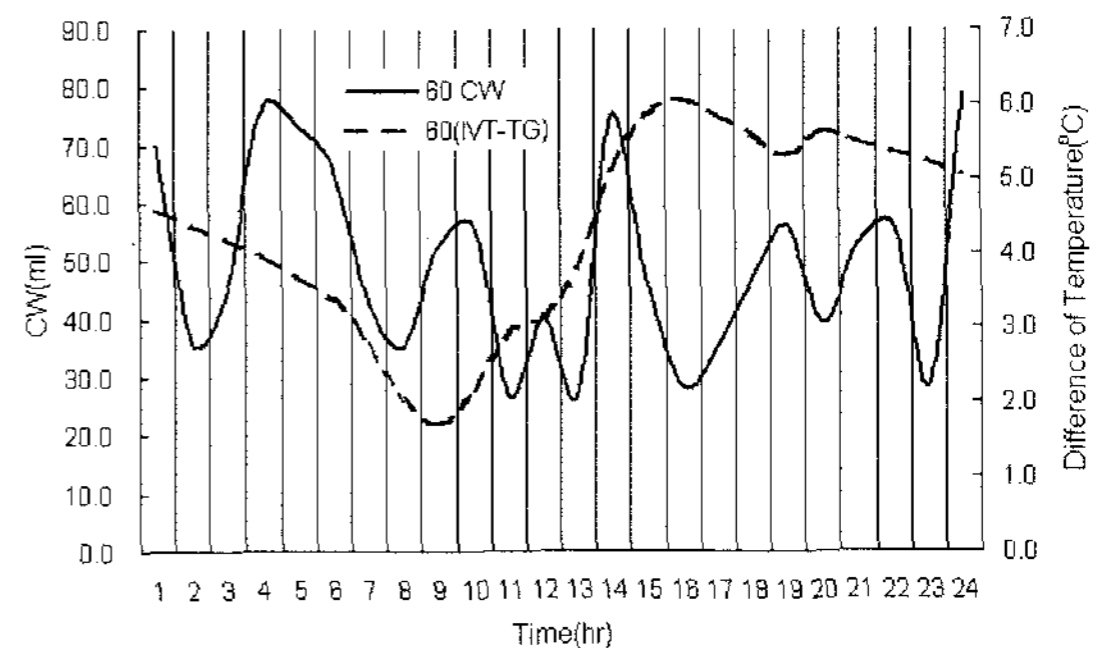


그림 9. 내부평균온도와 유리표면의 온도차에 따른 응축수의 변화(60°의 경우)

이는 넓은 공간으로 인해 증발된 수분의 응축이 외부의 온도나 변화에 크게 좌우되지 않은 것이기 때문으로 판단된다.

2~3시간을 주기로 발생의 많고 적음을 반복하는데, 이는 응축이 일어나기 어려운 시간대인 외기 온도가 높은 시간대에서 응축이 활발한 시간대에 접어들면서 모든 구조에서 응축량이 증가하는 현상을 보이지만 다른 시간대와 불일치함은 응축이 가

능한 증발량으로 인해 발생된 습포화 증기가 얼마 동안 응축되어 흘러나오고 나면 다시 증발이 진행되어 15°나 30°에 비해 훨씬 넓은 내부의 공간에 응축이 가능하기까지 증기가 포화되기를 대기하는 시간이 필요하기 때문이다.

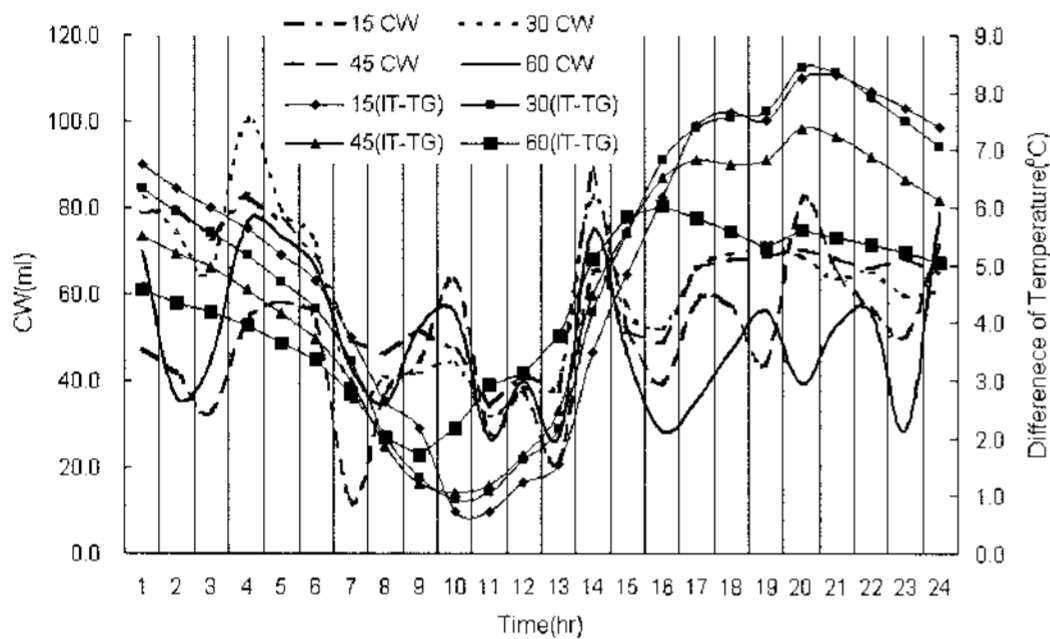


그림 10. 각 구조별 내부평균온도와 유리표면의 온도차에 따른 시간별 응축수량

그림 10은 각 구조별 내부 평균온도와 유리표면의 온도차에 따른 시간별 응축수량을 나타내며, 응축수의 총생산량의 합산 평균 일일량은 15°의 경우가 30°의 경우보다 약간 많게 나타나며, 60°의 경우가 45°의 경우 보다 약간 많이 생산됨을 알 수 있었다.

4. 결론

경사각이 각각 15°, 30°, 45°, 60°인 태양열 증발기를 제작하여 날씨에 따른 각 구조별 증발 및 응축현상을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 발생된 응축수의 평균량은 15°와 30°의 경우가 비슷한 양을 생산하였고, 근소한 차이를 보이는 45°와 60°의 경우에 비해 많은 응축수가 발생하였다.
2. 태양열과 외부공기에 의해 물 또는 내부온도가 증가하여 유리표면 온도와 차이가 적을 때는 응축이 되지 못하고 머무르고 있다가 내부온도

에 비해 유리표면온도가 떨어지기 시작하여 그 온도차가 커지면 응축수의 생산은 많아졌다.

3. 15°나 30°에 비해 내부공간이 넓은 45°와 60°의 두 구조에서 발생하는 응축수의 양은 전체적으로는 매우 불규칙하였다.
4. 내부온도와 유리표면의 온도차가 응축수의 생산량에 중요한 역할을 함을 알 수 있었다.
5. 15°와 30°는 적은 차이지만 30°의 경우가 가장 많은 응축수량을 나타내었다.

후 기

본 연구의 일부는 2003년도 조선대학교 학술연구비로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

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, "How to Get Pure Drinking Water From the sun", Popular Mechanics, Volume 157, No.3 March 1982
5. Halacy.D.S. "How to Build and Use a Solar Still", Mote Earth News, No.29, September 1974, pp.72-74
6. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Solar Distillation and a Means of Meeting Small-Scale Water Demands,

- United Nations Sales Section, New York, 1790.
7. United States Department of the Interior, Office of Water Research and Technology, The A-B-C of Desalting, Superintendent of Documents, Government Printing Office, Washington D. C. 1977
 8. Brace Research Institute, "How to Make a Solar Still(Plastic-Covered), Do-it-Yourself Leaflet No,L-1, MacDonald College of McGill University, February 1973
 9. "Low Cost Portable Solar Still," Sunworld, Vol.3, No.6, 1979, p172
 10. Howe,D, "Water Spply and Sun Power", Naturalist, 1973, pp.22-29
 11. Howe, Everett D, "Solar Distillation of Water: An Introduction", Sunworld, Vol.6, No.1, 1982, pp.2-3
 12. Kettani.M.Ali, "Review of Solar Desalination", Sunworld, Vol.3, No.3, 1979.