

태양열 정수시스템 이용을 위한 일사량과 경사각에 따른 응축특성에 관한 연구

이춘기*, 김병철**

*조선대학교 기계공학과 대학원(cglee1747@paran.com), **조선대학교 기계공학과(bckim@chosun.ac.kr)

A Study on the Condensation Characteristics with Solar Radiation and Tilted Angles for Using Solar Water Purifying System

Lee, Cheun-Gi* Kim, Byung-Chul**

*Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Chosun University(cglee1747@paran.com)

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

Abstract

In this paper, to find effective way of the production of the distilled water with solar radiation, 4 different boxes of condensation systems were compared. The bottom size of boxes are identical but the angles of top collecting plates are different.

During the solar radiation, condensation did not occur and the condensation start when solar radiation was decreased. The maximum condensation reached when the temperatures of the top and bottom parts are equal. The condensation was continued until sunrise with gradually reduced amount. When top plate angle was 45°, condensation was highest compared with the other angles.

Keywords : 일사(Solar Radiation), 응축(Condensation), 육면체(boxes), 물(water)

기 호 설 명

SR : Solar Radiation(W/m^2)
CW : Condensed Water(ml)
IT : Inside Temperature($^{\circ}C$)
TG : Temperature of Glass($^{\circ}C$)

AW : Above Water
UW : Under Water
WS : Water Surface

투고일자 : 2009년 5월 22일, 심사일자 : 2009년 5월 25일, 게재확정일자 : 2009년 6월 2일
교신처 : 김병철(bckim@chosun.ac.kr)

1. 서 론

산업의 발달과 인구의 증가로 인한, 지구 온난화 현상과 이에 따른 기후변화에 의하여 이상기온이 나타나기 시작하였고 이에 따른 가뭄이나 홍수 등으로 인간생활에 중요한 식수마저도 위협받게 되었다.1) 현재 사용되고 있는 음용수는 물 가운데 97.4%를 차지하는 바닷물을 제외한 담수와 지하수는 2.6% 정도2-4)로 세계인구의 1/3가량이 물 부족 상태에 처하여있고, 우리나라마저도 물 부족국가로 분류되어 있다.5) 음용수를 제조하기 위한 정수방법은 여러 가지가 있으나 제작비나 유지관리 등의 문제점이 존재하며, 도서지방이나 홍수 또는 가뭄 시에는 이 또한 심각한 문제에 도달하게 된다.6-8) 따라서 경제적이고 쉽게 음용수를 제조할 수 있는 태양열을 이용하는 방법들을 시도하고 있다.

이러한 방법의 유용한 가능성을 타진하기 위하여 일사량을 측정하고 경사각도에 따른 육면체를 제작하여3) 광주지방에 설치하였으며, 각부의 온도와 경사각에 따른 응축수량을 측정하여 일사량과 경사각에 따른 응축 특성을 연구 분석하여, 정수시스템을 제작하는 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

실험 장치는 그림 1.과 같이 1,000*1,000mm의 같은 바닥 면적을 가진 4개의 육면체로 경사각을 각각 15°, 30°, 45°, 60°로 제작하였다. 벽면은 50mm의 단열재를 사용하였고 안쪽표면은 검은색 도료를 사용하였으며, 상부에는 강화유리를 사용하였다. 물이 증발한 후 응축되면 유리의 하부로 내려와 측면의 구멍을 통하여 흘러내린 응축수를 측정할 수 있도록 제작하여 정남향으로 설치하였다. 일사량계를 설치하고 실험조 내·외부의 일정한

위치에 열전대를 설치하였다.

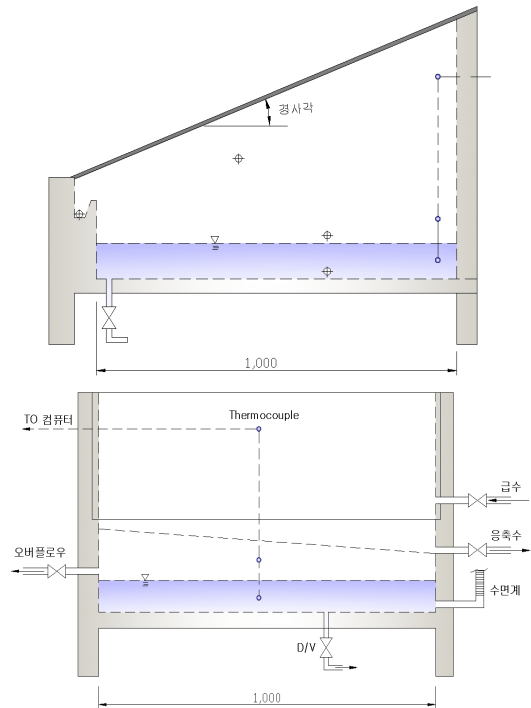


그림 1. 실험 장치

2.2 실험 순서 및 방법

실험조 내에 같은 량, 같은 온도의 시수를 넣고 물이 안정된 후부터 측정을 시작하였으며 일사량, 온도, 응축수량은 1시간 단위로 측정하고 분석하였다.

일사량은 기상청의 측정값과 자료를 비교하여 참고하였으며, Yokogawa사의 DA-100 Data logging system을 이용하여 온도를 측정하였고 메스실린더를 사용하여 응축수량을 측정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일사량과 응축수량

그림 2.는 2007년 11월부터 2008년 10월까지 12개월간 월평균 일사량과 응축수량의 관계를 나타낸 그래프이다.

일사량은 기후상태에 따라 달라지는데 봄철의 황사, 여름철의 장마, 겨울철의 눈 등으로 인한 일사량의 변화로 인하여 응축수량도 변화하는 것을 볼 수 있었다.

6월의 일사량이 적은 것은 장마로 인하여 흐린 날이 많아 일사량이 적었으며, 8월의 일사량이 가장 많았고 12월의 일사량이 가장 적었다.

일사량의 크기와 응축수량은 거의 비례하였으며, 8월의 응축수량이 가장 많았고, 1월과 12월의 응축수량은 아주 적었으며, 6월의 응축수량도 장마로 인한 흐린 날씨로 인하여 일사량이 적어 비교적 적었다.

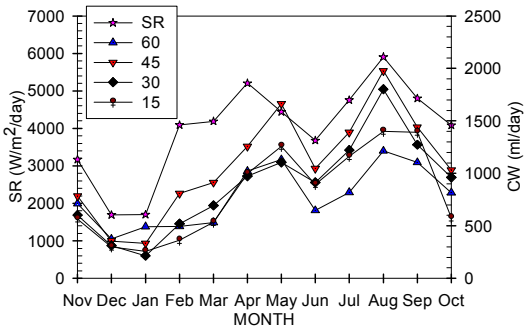


그림 2. 월평균 일일 일사량과 응축수량 (2007.11~2008.10)

3.2 일사시간과 응축시간

그림 3, 4, 5는 각각 5월과 8월과 10월의 시간에 따른 일사량과 응축수량을 나타내는데 해가 뜨기 전까지 응축수량은 서서히 감소하였으며, 해가 뜬 후 부터는 실험조 내의 증발로 인하여 실제로 응축은 발생하지 않았으나 관 벽의 영향으로 인하여 그래프 상에는 약간의 응축수가 발생되는 것으로 나타나고 있다.

일사량이 증가하는 동안 복사 열전달로 인하여 실험조 내의 온도가 상승하므로 일사량의 최고치를 지나 감소하기 시작하며, 외부온도가 하강하기 시작하였다. 이로 인한 유리표면의 온도가 내려가며 증발된 포화증기는 응축을 시작하여 응축수량은 증가하고 해가져 일사량이 거의 줄어들 때 최고치를 나타내었다.

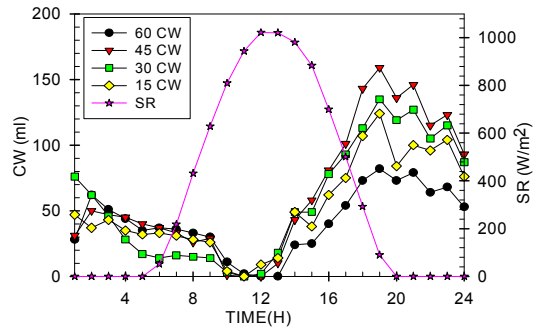


그림 3. 맑은 날의 시간당 일사량과 응축수량 (2008.05.31)

응축수는 다음날 일사가 측정될 때까지 지속적으로 응축수가 발생하였다. 일사량이 최고치가 되는 시간까지는 일사량이 증가함에 따라 실험장치 내부온도가 상승하여 증발 건조현상이 발생하고 응축현상은 없었다.

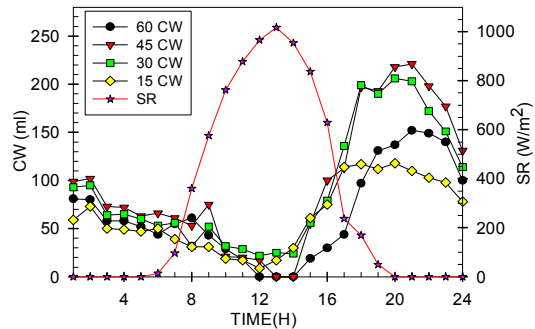


그림 4. 맑은 날의 시간당 일사량과 응축수량 (2008.08.06)

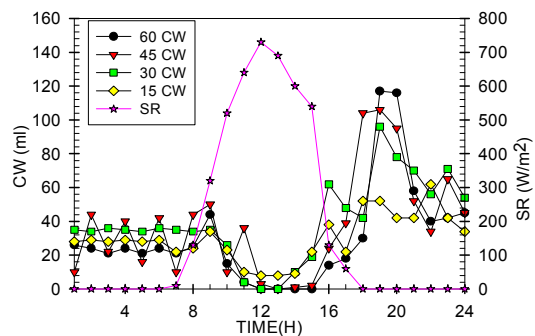


그림 5. 맑은 날의 시간당 일사량과 응축수량 (2008.10.30)

3.3 날씨에 따른 응축수량

그림 6.은 1월중 눈이 온 날로서 12시와 2시경에 약간의 햇빛이 비치고 다른 시간에는 눈이 온 날로서 이 날의 일사량과 누적응축수량을 나타내는데 오후 2시경에 510W/m²의 일사량이 측정되었고 경사각이 45°의 경우 하루에 370ml의 응축수가 생산되었으며, 경사각이 30°의 경우 230ml를 나타냈다.

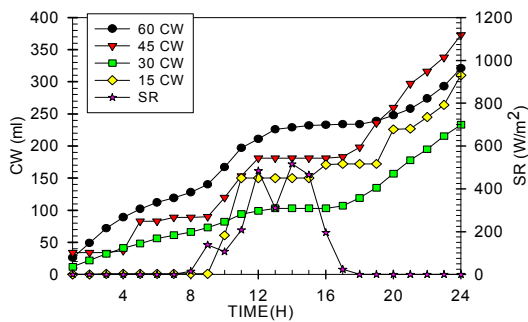


그림 6. 눈온 날의 일사량과 누적 응축수량 (2008.01.03)

그림 7.은 구름이 끼고 비가 조금씩 오락가락하는 날로서 9시부터 15시 사이에 내린 비로인하여 일사량과 응축수량이 적었으며, 응축수량의 변화는 크지 않고 서서히 증가함을 보이고 있다. 경사각이 60°의 경우 하루 누적 응축수량은 860ml가 생산되었고 경사각이 45°의 경우에는 1,210ml를 생산하였으며, 20시경에 응축수의 생산량이 가장 많았다.

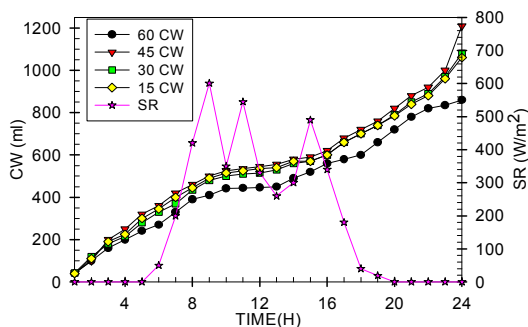


그림 7. 맑은 후 가랑비 있는 날의 일사량과 누적 응축수량 (2007.06.03)

그림 8.은 여름철 8월 맑은 후 오후3시 경부터 소나기가 내린 날의 일사량과 응축수량의 관계를 나타낸다.

오후 3시까지는 많은 일사량으로 인하여 증발량이 많았고 소나기에 의한 온도강하로 인하여 응축량이 순간적인 응축수량이 많이 발생하여, 소나기가 오기 시작할 때부터 6시간 뒤에는 최대의 응축수량을 생산하였다.

각각의 경사각은 유사한 응축특성을 나타냈으며, 그중 경사각이 45°인 경우가 가장 많은 응축수를 생산하였다.

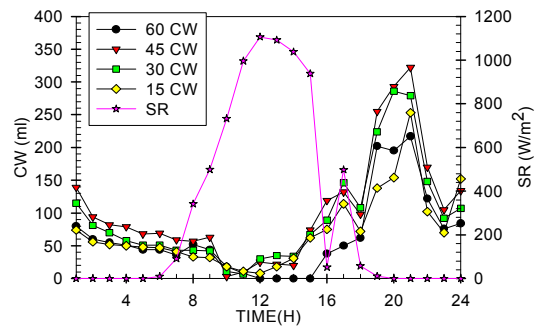


그림 8. 15시경 소나기 있는 날 시간당 일사량과 응축수량 (2008.08.08)

그림 9.은 흐린 날의 일사량과 응축수량을 나타내는데 낮 동안에도 날씨의 변화에 따라 일사량이 변하며 이에 따라 내부온도가 변하고 이에 부응하여 응축수량이 발생함을 볼 수 있으며, 그 수량은 많지 않았다. 15°와 30°는 거의

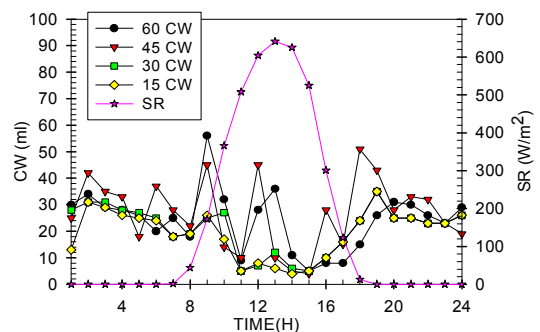


그림 9. 흐린 날의 시간당 일사량과 응축수량 (2008.01.31)

같은 량의 응축수량을 생산하였으며 60°와 45°는 15°와 30°보다는 많은 응축수량을 생산하였으나 45°가 더 많은 량을 생산하였다.

그림 10.은 맑은 날의 일사량과 응축수량을 나타내는데 해뜨기 전에 응축수량은 최소가 되었으며, 일사량은 12시경에 최대 720W/m²를 나타내었다. 응축수는 해가 뜨면서 발생하지 않았고 해가진 1시간 후에 119ml로 최대치를 나타낸 후 서서히 감소하여 평균 30ml정도를 생산하였다.

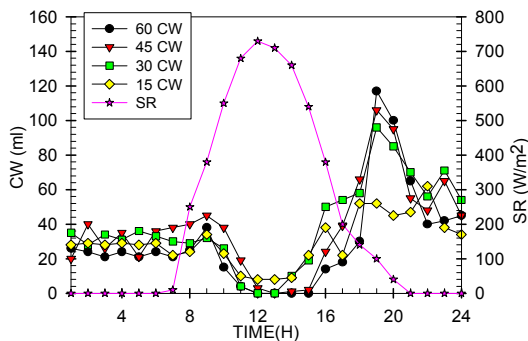


그림 10. 맑은 날의 시간당 일사량과 응축수량 (2007.10.30)

3.4 경사각과 응축수량

표 1.은 날씨에 따른 경사각과 응축수량을 나타낸다. 경사각이 45°의경우가 제일 많은 응축수량을 생산하였으며 30°, 15°, 60°의 순으로 적게 생산되었다.

표 1. 날씨에 따른 경사각과 일일 당 응축수량

경사각	바닥면적 (m ²)	맑은날 평균 응축수량 (ml/day)	흐린날 평균 응축수량 (ml/day)	비온날 평균 응축수량 (ml/day)	눈온날 평균 응축수량 (ml/day)
15°	1.0	890	685	767	259
30°	1.0	1,045	738	779	257
45°	1.0	1,207	900	1,047	392
60°	1.0	830	641	700	331

그러나 공극량이 크면 증발량이 많고 이에 따라 응축수량도 많이 생산할 수 있으며, 충분한 증발조건을 갖출 수 있다면 가장 많은 응축수량을 생산할 수 있다고 추정되며, 12월에

가까워질수록 경사각이 클수록 일사량에 따른 응축수량이 많아지는 경향을 나타 내었다.

3.5 내부온도와 응축수량

경사각이 클수록 상부의 높이에 따른 내부온도는 높았으며 같은 높이에서의 내부온도도 경사각이 클수록 높았고 물상부의 온도는 거의 같았다. 매질의 차이에 의한 지연현상은 복사열에 의한 열전달에 의하여 발생하지 않음을 나타내었다. 12월로 갈수록 내부공기의 최고온도에 도달시간이 늦어지는 것을 볼 수 있었다.

그림 11.은 경사각이 60°인 경우 내부온도와 응축수량을 나타낸다. 오전 8시경에 온도는 같았으나 12시에 상부수면 위 155cm에서 80℃를 나타내었으며, 수면 위 5cm에서의 온도는 63℃를 나타내어 약17℃의 차이를 나타내었다. 시간이 경과함에 따라 상부와 하부의 온도차는 오후 6시경에 거의 같은 온도를 나타내었고 서서히 감소하여 6시가 지난 후에 상부의 온도는 하부의 온도보다 낮아졌으며 하부와 상부의 온도차는 약 5℃정도가 되었다.

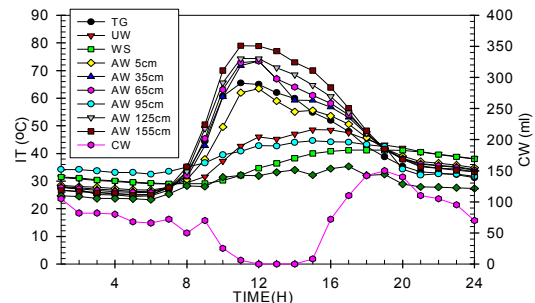


그림 11. 맑은 날 경사각 60°의 내부온도와 응축수량 (2008.05.05)

물의 온도는 열용량과 비열의 차이로 인하여 공극의 내부온도 보다 서서히 상승하고 서서히 하강함을 볼 수 있었다. 응축수는 해가진 후 약 1시간 후부터 감소하기 시작하여 해뜨기 직전 최소치를 나타내며 생성되었으며, 일사량이 증가하며 발생하지 않았고 일사량이 최고치를 지난 후 부터 응축은 시작되었다.

그림 12.는 경사각이 45°의 경우 맑은 날의 내부온도와 응축수량을 나타낸다.

오전 8시경에 상부와 하부의 온도 차이는 거의 없었으나 12시경에 수면 위 65cm와 5cm의 온도차는 10℃정도를 나타내었으며, 12시경에 상부 65cm의 온도는 74℃정도를 나타내었다. 오후 6시경에 상부와 하부의 온도는 같아져서 그 후 하부의 온도가 상부의 온도보다 높았으며, 약 5℃정도의 차이를 유지하며 해뜨기 전까지 서서히 감소하였다.

응축수량은 해뜨기 전까지 서서히 감소하다가 해가 뜬 후 거의 증발이 일어나지 않았으며, 일사량이 최대를 지난 후 서서히 증가하여 상부와 하부의 온도가 같아질 때 최대의 응축수량을 생산하였다.

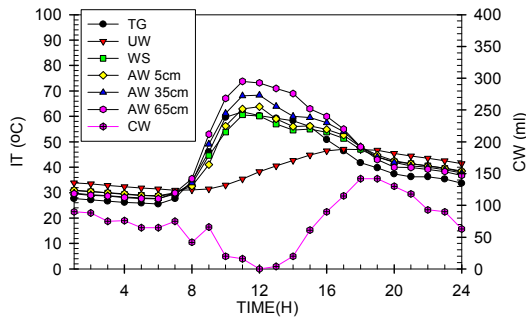


그림 12. 맑은 날 45° 경사각의 내부온도와 응축수량 (2008.05.05)

그림 13.은 경사각이 30°의 경우 내부온도와 응축 양을 나타낸다.

아침 8시경에 25℃정도로 수면위 상부 35cm와 하부 수면위 5cm에서의 온도차는 없었으나, 12시경에 수면위 상부 35cm에서 68℃를 나타내었으며 5cm에서와 10℃정도의 온도차를 나타내었다.

오후 7시경에 같아져 그 후 하부의 온도가 상부의 온도보다 높았으며, 그 차이는 5°정도를 유지하며 해뜨기 전까지 서서히 감소하였다. 응축수량은 해뜨기 전까지 감소하다가 해가 뜬후 증발이 시작되며 생성되지 않았고 12시경의 최고치를 지난 후 감소하기 시작하

면서 응축수량은 증가하기 시작하였다.

상부와 하부의 온도가 같아지면서 응축수량은 최대가 되었으며 그후 서서히 감소하였다.

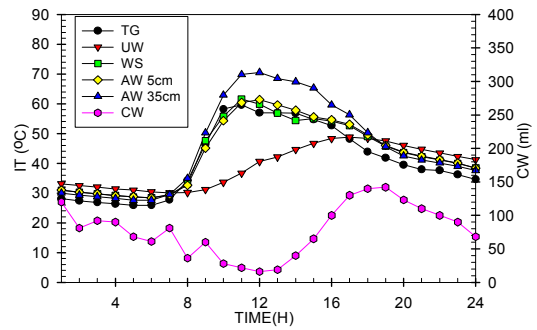


그림 13. 맑은 날 30° 경사각의 내부온도와 응축수량 (2008.05.05)

그림 14.는 경사각이 15°인 경우의 일사량과 응축수량과의 관계를 나타낸다.

해가 뜨기 전 8시경까지 온도가 낮아지고 수면위 상부 5cm의 온도가 상부 35cm의 온도보다 높았으나 해가 뜨기 시작하여 일사량이 증가하면서 부터 상부의 온도가 증가하였다. 12시경에 최고온도가 64℃를 나타내었으며 수면 위 상부 5cm의 온도차이가 5℃정도를 나타내었다. 오후 7시경에 상부와 하부와의 온도가 같아진 후 하부의 온도가 상부보다 높아졌다.

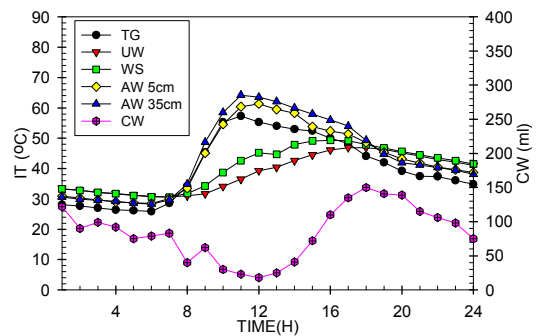


그림 14. 맑은 날 15° 경사각의 내부온도와 응축수량 (2008.05.05)

응축수량은 해뜨기 전에 최소치를 생산한 후 해가 뜬 후 증발이 시작되면서 생성되지

않았고 일사량이 최고치를 지나면서부터 응축은 시작되었다. 상부와 하부의 온도가 같아지면 응축수는 최대치를 생산하였고, 그 후 서서히 감소하였다.

3.6 필요 집열면적과 최적 경사각

1인당 하루 필요 음용수량이 2,000ml 일 때 맑은 날 평균 1인당의 필요면적은 45°의 경우가 1.66m²이며, 경사각이 60°의 경우 필요면적은 2.41m²로 가장 많이 필요하였다.

평균 응축수 생산량을 보면 날씨에 따라 차이를 보이지만 45°경사각에서 가장 많은 응축수를 생산하였고, 실험에 의한 실측결과 각각의 경사각별 일일 성인 필요음용수량을 생산하기 위해서는 경사각별로 다음 표 2와 같은 집열면적이 필요함을 알 수 있었다.

12월이나 1월의 눈은 날을 제외한 흐린 날의 경우가 실제 필요로 하는 집열면적은 45°의 경우 2.22m²가 됨을 알 수 있었다.

표 2. 날씨 별 경사각에 따른 필요 집열면적

경사각	필요 응축수량 (ml/day)	맑은 날 필요 집열면적 (m ²)	흐린 날 필요 집열면적 (m ²)	비온 날 필요 집열면적 (m ²)	눈온 날 필요 집열면적 (m ²)
15°	2,000	2.25	2.92	2.61	7.72
30°	2,000	1.91	2.71	2.57	7.78
45°	2,000	1.66	2.22	1.91	5.10
60°	2,000	2.41	3.12	2.86	6.04

4. 결 론

일사량과 경사각에 따른 응축 특성을 연구 분석하여 정수시스템을 제작하는 기초자료를 얻기 위하여 경사각이 다른 4개의 육면체를 제작하고 실험 분석하고 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 일사량이 증가하는 동안 응축은 일어나지 않으며 감소할 때부터 발생하였다
- (2) 최대의 응축수량은 해가지고 상부 내부 온도와 하부의 내부온도가 같아질 때 발

생하였으며 다음날 일사가 시작될 때까지 지속적으로 응축수를 생산하였다.

- (3) 경사각이 45°에서 응축수량이 가장 많았으며 15°이하에서는 내려오지 않고 아래로 떨어져 응축수량이 적게 발생하는 경향을 볼 수 있었다.
- (4) 2,000ml/day를 생산하는데 경사각이 45°의 경우 2.5m²정도의 집열면적이 필요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구의 일부는 2007년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. “물 부족 대책 국제회의”, 스위스 제네바, 1992. 2.
2. 태양에너지 이용 활성화에 따른 절감효과 분석 자료집 중 (2001. 1. 에너지대안센터)
3. 박영훈, 김병철, “태양열에 의한 증발효과에 대한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.24, No.1, 2004, pp13-19.
4. 김정배, 주홍진, 윤응상, 주문창, 곽희열, “태양에너지 해수담수화시스템 실증” 한국태양에너지학회 논문집 Vol.27, No.4, 2007, pp27-33.
5. 정형호, “증발법에 의한 해수담수화”, 설비저널 Vol.37, No.1, 2008.1, pp.40-44.
6. 백남춘, 이동원, 이진국, 윤응상, 한국에너지기술연구원 “태양에너지 해수 담수화 시스템 실용화 연구(II)”, 2006, 12
7. W.R.McCluney, 1984, “Solar Distillation of Water”, Energy Note FSEC-EN-80 February 1984.
8. Campbell, George, “How To Get Pure Drinking Water From The Sun”, Popular Mechanics, Volume 157, No.3, March 1982.