

2012년 2월
박사학위논문

일사량과 경사각에 따른
응축특성에 관한 연구

조선대학교 대학원

기계공학과

이춘기

일사량과 경사각에 따른
응축특성에 관한 연구

A Study on the Condensation Characteristics
with Solar Radiation and Tilted Angle

2012년 2월 24일

조선대학교 대학원

기계공학과

이춘기

일사량과 경사각에 따른
응축특성에 관한 연구

지도교수 김 병 철

이 논문을 공학박사 학위 신청 논문으로 제출함

2011년 10월

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

이 춘 기

이춘기의 박사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김종일 (인)

위원 조선대학교 교수 윤성운 (인)

위원 중소기업청 연구사 장원택 (인)

위원 조선이공대 교수 박영훈 (인)

위원 조선대학교 교수 김병철 (인)

2011년 12월

조선대학교 대학원

목 차

Nomenclatures	iii
List of tables	v
List of photos	vii
List of figures	viii
Abstract	xiv
제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 동향	2
1.3 연구 목적	4
제 2 장 이론적 배경	5
2.1 태양에너지	5
2.1.1 일사량의 변화	8
2.1.2 우리나라의 일사량	11
2.1.3 우리나라 일사량과 최적경사각의 이론적 계산	14
2.2 증발과 응축이론	17
2.3 장치의 열평형	20
제 3 장 실험장치 및 방법	22
3.1 실험장치	22
3.2 실험방법 및 순서	26
제 4 장 실험결과 및 고찰	27
4.1 내부온도 변화에 따른 응축	31
4.1.1 맑은 날	31
4.1.2 구름 적은 날	38

4.1.3	흐린 날	42
4.1.4	비 온 날	47
4.1.5	눈 온 날	52
4.1.6	내부 온도변화에 따른 응축특성	57
4.2	일사량에 따른 응축	59
4.2.1	10,000 kJ/m ² ·d 미만인 날	61
4.2.2	10,000 ~ 20,000 kJ/m ² ·d 인 날	65
4.2.3	20,000 kJ/m ² ·d 이상인 날	69
4.3	외기온도 변화에 따른 응축	74
4.3.1	일사량과 외기온도 변화	74
4.3.2	외기온도에 따른 내부공기와 물의 온도	77
4.3.2.1	외기온도에 따른 내부공기의 온도변화	77
4.3.2.2	외기온도에 따른 물의 온도변화	79
4.3.3	외기온도 변화와 응축	81
4.4	경사각에 따른 응축	85
4.4.1	경사각별 집열면적 변화와 응축특성	85
4.4.2	경사각별 내부 공기체적과 응축특성	91
4.5	계절에 따른 응축	94
4.5.1	봄철 날씨와 응축특성	94
4.5.2	여름철 날씨와 응축특성	99
4.5.3	가을철 날씨와 응축특성	104
4.5.4	겨울철 날씨와 응축특성	109
4.6	필요 집열면적	114
4.6.1	응축수량과 필요 집열면적	114
4.6.2	최적 경사각과 필요 집열면적	118
제 5 장	결 론	121
References		123

Nomenclatures

- AC : Amount of clouds(%)
- AE : Tilted angle($^{\circ}$)
- ACW : Accumulation of condensed water(ml)
- APCA : Air volume per collecting area(cm^2 , m^2)
- ARF : Amount of rain fall(mm)
- AW : The above water
- BA : The bottom of area(cm^2 , m^2)
- BAW : The bottom area of water(cm^2 , m^2)
- C : Specific heat ($\text{kJ}/\text{m}^3 \text{K}$)
- CA : Collected area(cm^2 , m^2)
(Perpendicular to sunlight that area of the receiver)
- CW : The condensed water(ml)
- d : Day
- D_o : The horizontal diffused solar radiation
- D_i : The diffused solar radiation from angle
- ETR : The extra terrestrial radiation(kJ/m^2)
- GA : Glass area(cm^2 , m^2)
- IT : The inner temperature of air($^{\circ}\text{C}$)
- IVT : The inner average temperature($^{\circ}\text{C}$)
- L : Litter
- OT : The outer temperature of air($^{\circ}\text{C}$)
- PD : The possible sunshine duration(h)
- PS : Percentage of sunshine(%)

RCA : Required collecting area(cm^2 , m^2)
SD : The sunshine duration(h)
SR : The solar radiation(kJ/m^2)
T : The absolute temperature(K)
TCW : Cumulative total condensed water(ml)
TG : The temperature of glass($^{\circ}\text{C}$)
TW : The temperature of water($^{\circ}\text{C}$)
UW : The under water($^{\circ}\text{C}$)
WS : The water surface(cm^2 , m^2)
y : Year

Greek Symbols

ϕ : Latitude in radian
 δ : Altitude(rad)
 σ : Boltzmann's constant($5.67 \times 10^{-11} \text{kJ}/\text{m}^2 \text{K}^4 \text{sec}$)

Subscripts

a : The dew point temperature
o : The standard pressure

List of tables

Table 1. The surface albedo at various solar elevations	10
Table 2. The seasonal change of the most suitable tilted angle	16
Table 3. The condensation characteristic at each tilted angle in a clear day (2009.08.22)	35
Table 4. The condensation characteristic on a clear day for a year (2010.01 ~ 2010.12)	36
Table 5. The condensation characteristic at each tilted angle on a small cloudy day (2009.05.29)	39
Table 6. The condensation characteristic on a small cloud day for a year (2010.01 ~ 2010.12)	40
Table 7. The condensation characteristic at each tilted angle on a cloudy day (2009.09.14)	44
Table 8. The condensation characteristic on a cloudy day for a year (2010.01 ~ 2010.12)	45
Table 9. The condensation characteristic at each tilted angle on a rainy day (2009.08.07)	49
Table 10. The condensation characteristic on a rainy day for a year (2010.01 ~ 2010.12)	50
Table 11. The condensation characteristic at each tilted angle on a snowy day (2009.12.20)	54
Table 12. The condensation characteristic on a snowy day for a year (2010.01 ~ 2010.12)	55
Table 13. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is below 10,000 kJ/m ² ·d (2010.04.21)	62

Table 14. The condensation characteristic at each tilted angle for a year, when solar radiation is below 10,000 kJ/m ² ·d (2010.01 ~ 2010.12)	63
Table 15. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is 10,000 ~ 20,000 kJ/m ² ·d (2010.05.04)	66
Table 16. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is below 10,000 ~ 20,000 kJ/m ² ·d (2010.01 ~ 2010.12)	67
Table 17. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is more than 20,000 kJ/m ² ·d (2010.06.10)	70
Table 18. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is more than 20,000 kJ/m ² ·d (2010.01 ~ 2010.12)	71
Table 19. The seasonal changes of weather (2010.01 ~ 2010.12)	76
Table 20. The weather and the condensation in spring (2010.03 ~ 05)	94
Table 21. The weather and the condensation in summer (2010.06 ~ 08)	99
Table 22. The weather and the condensation in autumn (2010.09 ~ 11)	104
Table 23. The weather and the condensation in winter (2010.12 ~ 02)	109
Table 24. According to the monthly solar radiation and outer temperature condensation (2010.01 ~ 2010.12)	114
Table 25. 2,000 ml/d of the bottom area required for the production of condensate (2010.01 ~ 2010.12)	117
Table 26. Optimum angle to obtain the maximum amount of condensed water and bottom area (2010.04 ~ 2010.11)	120

List of photos

Photo 1. Tilted boxes for condensed water	24
Photo 2. Data acquisition unit (DA100 ⁺ , YOKOGAWA)	24
Photo 3. Measurement apparatuses of condensed water (Load-cell)	25

List of figures

Fig 1. Solar radiation spectrum	7
Fig 2. The earth revolution and culmination altitude	9
Fig 3. The climate and average solar radiation of Korean cities (1982 ~ 2009)	11
Fig 4. Monthly average of the solar radiation on a horizontal surface of Korean cities (1982 ~ 2010)	13
Fig 5. Saturated water vapor pressure	17
Fig 6. Psychrometric chart	19
Fig 7. Thermal equilibrium of apparatus	20
Fig 8. The experimental apparatus	23
Fig 9. The experimental apparatuses	25
Fig 10. The local climate fluctuation in Gwangju for 28 years	28
Fig 11. The solar radiation and the extra terrestrial radiation (35°10'N)	29
Fig 12. The monthly average of solar radiations and the amount of cloud	30
Fig 13. The inner temperature variation and the amount of condensed water at 45° tilted angle on a clear day (2009.08.22)	32
Fig 14. The isotherm at 45° tilted angle on a clear day (2009.08.22)	34
Fig 15. The relations of Solar radiation and condensed water on clear days (2010.01 ~ 2010.12)	37
Fig 16. The inner temperature variation and the amount of condensed water at 15° tilted angle on a small cloudy day (2009.05.29)	38
Fig 17. The relations of solar radiation and the amount of condensed water at each tilted angle on small cloudy days (2010.01 ~ 2010.12)	41

Fig 18. The relation of condensed water, solar radiations, and inner and outer temperature and time at 45° tilted angle on a cloudy day (2009.09.14)	42
Fig 19. The isotherm at 45° tilted angle on a cloudy day (2009.09.14)	43
Fig 20. The solar radiations and the condensed water on cloudy days at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	46
Fig 21. The inner temperature, the condensed water and the solar radiations at 45° tilted angle on a rainy day (2009.08.07)	47
Fig 22. The isotherm at 45° tilted angle on a rainy day (2009.08.07)	48
Fig 23. The solar radiation and the condensed water on rainy days at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	51
Fig 24. The inner temperature variation and the amount of condensed water at 45° tilted angle on a snowy day (2009.12.20)	52
Fig 25. The inner temperature variation and the amount of condensed water at 60° tilted angle on a snowy day (2009.12.20)	53
Fig 26. The solar radiation and the condensed water on the snowy days at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	56
Fig 27. Solar radiation and inner temperature changes according to the condensation characteristic (2009.09.09)	57
Fig 28. The sunset time and maximum produced condensed water monthly (2010.01 ~ 2010.12)	58
Fig 29. The relation of condensed water and solar radiations (2010.01 ~ 2010.12)	60
Fig 30. The relation of inner, outer and water temperature, condensed water and solar radiation below 10,000 kJ/m ² ·d with time at 45° tilted angle (2009.04.21)	61

Fig 31. The relation of condensed water and solar radiation below 10,000 kJ/m ² ·d at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	64
Fig 32. The relation of inner, outer and water temperature, condensed water and solar radiation of 10,000 ~ 20,000 kJ/m ² ·d with time at 30° tilted angle (2010.05.04)	65
Fig 33. The relation of Solar radiation of 10,000 ~ 20,000 kJ/m ² ·d and condensed water at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	68
Fig 34. The relation of inner, outer and water temperature, condensed water and solar radiation more than 20,000 kJ/m ² ·d with time at 30° tilted angle (2009.06.10)	69
Fig 35. The relation of solar radiation more than 20,000 kJ/m ² ·d and condensed water at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	72
Fig 36. The relation of condensed water and solar radiation (2010.01 ~ 2010.12)	73
Fig 37. Seasonal variation of altitude	74
Fig 38. The relation of outer temperature and solar radiation at 15° tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	75
Fig 39. The relation of outer and inner temperature with time at each tilted angle (2010.05.16)	77
Fig 40. The relation of outer and inner temperature at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	78
Fig 41. The relation of water temperature with time at each tilted angle (2010.05.16)	79
Fig 42. The relation of outer and water temperature at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	80

Fig 43. The relation of outer temperature and condensed water with time at each tilted angle (2010.05.12)	81
Fig 44. The relation of outer temperature and condensed water (2010.01 ~ 2010.12)	83
Fig 45. The relation of outer temperature and condensed water at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	84
Fig 46. The relation of heat collection and each tilted angle per 1 m ² in Gwangju	85
Fig 47. The relation of solar radiation and collecting area with time at each tilted angle (2009.09.10)	86
Fig 48. Normal area variation to the sun at each tilted angle at sun altitude	87
Fig 49. The monthly area per 1 m ² normal to the sun at each tilted angle	88
Fig 50. The outer temperature and seasonal area per 1 m ² normal to the sun at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	89
Fig 51. The water temperature and seasonal area per 1 m ² normal to the sun at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)	90
Fig 52. Air volume party collecting area change by change of collecting area by tilt angle (2010.01 ~ 2010.12)	91
Fig 53. The solar radiation, condensed water and Inner temperature at each tilted angle (2009.09.10)	92
Fig 54. The relation of condensed water, inner water temperature and outer temperature at each tilted angle (2009.09.10)	93
Fig 55. Solar radiation, condensed water and inner and outer temperature at each tilted angle (2010.04.09)	95

Fig 56. Condensation characteristic in spring (2010.03 ~ 2010.05)	96
Fig 57. The relation of condensed water and outer temperature (2010.03 ~ 2010.05)	97
Fig 58. The relation of condensed water and solar radiation at each tilted angle (2010.03 ~ 2010.05)	98
Fig 59. Solar radiation, inner and outer temperature and condensed water at each tilted angle (2010.07.25)	100
Fig 60. Condensation characteristic in summer (2010.06 ~ 2010.08)	101
Fig 61. The relation of condensed water and outer temperature at each tilted angle (2010.06 ~ 2010.08)	102
Fig 62. The relation of condensed water and solar radiations at each tilted angle in summer (2010.06 ~ 2010.08)	103
Fig 63. Solar radiation, inner and outer temperature and condensed water at each tilted angle (2010.10.19)	105
Fig 64. Characteristic of condensation in autumn (2010.09 ~ 2010.11)	106
Fig 65. The relation of condensation water and outer temperature at each tilted angle (2010.09 ~ 2010.11)	107
Fig 66. The relation of condensation water and solar radiations at each tilted angle in autumn (2010.09 ~ 2010.11)	108
Fig 67. Solar radiation, inner and outer temperature and condensed water at each tilted angle (2010.02.07)	110
Fig 68. Characteristic of condensation in winter (2010.12 ~ 2010.02)	111
Fig 69. The relation of condensed water and outer temperature at each tilted angle in winter (2010.12 ~ 2010.02)	112
Fig 70. The relation of condensed water and solar radiation at each tilted angle in winter (2010.12 ~ 2010.02)	113

Fig 71. The condensed water and solar radiation at each tilted angle
(2010.01 ~ 2010.12) 116

Fig 72. The Seasonal average condensation is the maximum estimated the
tilted angle (2010.01 ~ 2010.12) 118

Fig 73. The Condensation according to climate change average that the
maximum tilt angle is estimated (2010.04 ~ 2010.10) 119

ABSTRACT

A Study on the Condensation Characteristics with Solar Radiation and Tilted Angle

Lee, Cheun-Gi

Advisor. Prof. Kim, Byung-Chul Ph.D.

Department of Mechanical Engineering,

Graduate School of Chosun University

To develop the water purifying system using the economical solar thermal energy, the box with the tilted angle of 15°, 30°, 45°, 60° and same basic area was made. The condensation characteristics with the influences of solar radiation and tilted angle of boxes were experiments and analysis. They were concluded as follows :

1) The condensation characteristics with the inner temperature

The heat equilibrium that upper temperature and lower temperature is equal by way of solar radiation and outer temperature is equal to the October. and March. At pm 1:00 the inner temperature was the highest. After whenever heat equilibrium the increasing rate of amount of condensation was high, after 2 hours of heat equilibrium the amount of condensation was the largest.

2) The condensation characteristics with the solar radiation

From may to September more solar energy and higher temperature, the amount of condensation water was apt to depend upon outer temperature, and express as follows : 『 $CW_{30} = 0.0625 \times SR + 324.44$ 』

3) The condensation characteristics with the outer temperature

From April to October the amount of condensation water was influenced by the outer temperature because of the differences between the inner temperature and outer and express as follows : 『 $CW_{30} = 50.992 \times OT + 366.92$ 』

4) The condensation characteristics with the tilted angle

The optimum tilted angle with the solar radiation is supposed to be 22° from April to October and the maximum amount of condensation water was measured to be $3,088 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d}$ at tilted angle of 15° .

5) The condensation characteristics with the season

On spring(from March to May) and autumn(from September to November), the amount of condensation water was depend upon the outer temperature than the solar radiation, and summer(from June to August) solar radiation than outer temperature.

6) Required bottom collector area

For the producing of $2,000 \text{ ml/d}$ required bottom collector area was 1.207 m^2 at tilted angle of 22° .

7) The equation for the calculating the amount of condensation water

The equation for the calculating the amount of condensation water can be expressed as 『 $CW = 62.2662 + 168.766 \times AE - 5.423 \times AE^2 + 0.0476 \times AE^3$ 』

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

산업의 발달과 인구증가로 인한 환경오염으로 지구온난화현상이 심화되고 이상기온과 가뭄, 홍수로 인한 물 부족현상은 더더욱 심각해지고 있다. 더욱이 산업이 발달하여 물의 활용범위가 더 넓어지고 이에 따라 수질오염 또한 증가하여 생명유지에 필요한 식수의 확보는 더욱 어려워지고 있다. 따라서 양질의 안정적인 수자원 확보는 생명의 유지와 산업발전에 매우 중요한 문제가 될 것이다.

그러나 13.86억 km³에 달하는 지구 전체수량에 비해 음용수나 생활용수로 사용가능한 담수가 차지하는 비율은 2.6% 정도인 3,500백만 km³ 밖에 되지 않아 중동, 북아프리카, 인도, 남미 등 세계인구의 40% 가 생존에 위협을 받고 있고, UN 에서는 개발도상국 질병의 80% 가 비위생적인 식수가 원인이라고 분석하고 있다.¹⁾

우리나라도 또한 UN이 정한 물 부족 국가로 분류되어 있고, 급속한 경제성장으로 인한 산업화와 생활환경의 변화로 공업용수 및 생활용수의 부족이 현실화되고 있다.

특히 섬이 많은 서해안과 남해안의 도서지방은 강수량이 적은 봄철과 가을철에는 우수를 이용하기도 어려우며, 여름철은 장마로 인한 강수량의 집중으로 안정적인 수량과 양질의 식수 및 생활용수의 확보에 어려움을 겪고 있고, 가뭄과 장마철에는 관공선을 이용하여 물을 공급하고 있으나 충분하지 못하며, 우수를 이용하는 방법도 계절에 제한이 있으며 수질에도 문제가 있다.

따라서 해마다 반복되는 이러한 물 부족에 관한 어려움을 해결하기 위해서는 우수, 지표수, 해수 등을 정수해서 맑은 물을 얻을 수 있는 저렴하고 유지관리가 쉬운 정수시스템의 개발이 절실한 실정이다.²⁾

1.2 연구 동향

현재 사용되고 있는 정수방식인 증류식, 역삼투압식, 활성탄여과식, 이온교환수지식 등은 경제성과 효율성 그리고 유지관리에 어려움이 있어 아직 보편화되지 않고 있다.³⁻⁵⁾

증류방식은 공급된 물을 열로 가열하여 증류시킴으로 얻을 수 있는 설비로서 소형 정수설비 및 대형정수기들이 있지만 소요에너지와 초기 설비투자비용으로 사용이 제한되고 있다.

역삼투압방식은 물의 내부에 녹아있는 염류까지 제거할 수 있어서 바닷물을 담수화시키기 위한 목적으로 개발되었으며 약 0.01 mm 정도의 미세구멍을 통해서 물 분자만 통과시키고 용존 염류는 통과하지 못하도록 미세한 구멍을 낸 것인데, 일반적으로 역삼투압 방식은 초기투자 및 약품주입 비용, 막 교체비용, 유지관리비용이 매우 높다는 단점이 있다.⁴⁾ 실제로 우리나라 서해안과 남해안의 도서지방에 설치된 70여 개소의 역삼투압방식(Reverse Osmosis) 해수담수화 설비 중에서 60% 이상이 가동에 어려움이 있거나 사용되지 못하고 있다.⁷⁾

활성탄에 의한 정수방법은 물이 활성탄 칼럼(Column)을 통과하면서 활성탄에 있던 무기물을 녹여내어서 통과한 물로서, 환원력이 있어 물속의 염소를 무해한 염소이온으로 환원시키고, 활성탄 자체에 많은 구멍들이 있어서 그 표면적이 매우 넓으므로 여기에 유해물질이 흡착되어 물의 내부의 불순물이나 유해물질을 제거해 줄 수 있으나 활성탄에 흡착이 진행될수록 효율이 저하되어 잦은 교환이나 재생이 필요하며, 흔들거나 물이 역류하면 불순물이 다시 섞여서 나오는 단점이 있다.⁸⁾

이온교환수지 방식은 물속의 이온(Ion)성 물질을 치환하거나 제거하며, 무기물과 금속 이온을 이온교환수지의 Na^+ 이온과 교환하는 방식으로 경수를 연수로 바꿀 때 많이 사용되며, 금속이온의 제거에 효과가 탁월하나, 농약이나 합성세제, 세균과 같은 물질을 제거하기 힘들며, 유기화합물이나 무기화합물, 세균 등의 제거에는 효과가 거의 없고, 많은 양의 수지가 필요하다는 단점이 있다.⁷⁾

이러한 정수설비들은 기본적으로 전기와 화석에너지를 이용하여 작동하여야 하므로 설비투자비 및 유지관리 비용이 높으며 유지관리가 불편한 문제점이 있다.

따라서 도서지역, 산간지역, 사막 등에서는 청정하고 양이 풍부한 태양에너지를 이용하여 정수할 수 있는 새로운 기술개발의 필요성이 대두되고 있어 에너지의 사용이 적고, 유지관리가 용이한 음용수와 생활용수를 얻기 위한 방법으로 지표수, 우수, 해수를 정수하는 연구가 활발히 진행되고 있다.⁸⁾

태양열을 활용한 증류법의 해수담수화 시설에 관한 연구에서 Richard H. Pierce와 L.Kellie Dixon은 태양열 집열기를 3개와 5개를 설치하여 증발효과를 비교연구 하였고,¹⁶⁾ Robert E.Foster, Martin Romero, Sharon Eby Martin, Gregory R.Vogel, Michael Cormier, William Amos, Vipin Gupta는⁹⁾ 소형 증발장치를 제작하여 태양열로 증류시켜 맑은 물을 생산하는 실험을 통해 1일에 1 ~ 2 Gallon 을 생산하여 물의 수질과 경제성을 조사하여 그 실용 가능성을 검증하였고, W. R. McCluney는 Campbell, George 등의 연구와 논문들을 모아 물의 태양열 증발에 대한 일반적인 내용을 실용성과 경제성을 망라하여 체계적으로 정리하였다.¹⁰⁾

Lourdes Garcia-Rodriguez와 Carlos Gomez-Camacho는 바닷물을 증류하는데 태양열을 활용하는 방안을 연구하였으며¹¹⁾, A.E.KLabel과 M.A.Rayan은 증발장치의 유리표면의 온도를 낮게 함으로서 응축효과를 증진시킬 수 있다고 하였다.¹²⁾

태양열 증류법에서 대표적인 연구결과는 칠레의 Las Salinas에 4,500 m²의 증발면적을 가진 시설로서 1872년부터 현재까지 가동되고 있고 생산량은 일일 6,000 Gallon(22,712 L)이다. 경제적인 면에서는 넓은 면적일수록 유리하다고 하였다.¹³⁾

우리나라의 경우에도 한국에너지기술연구원의 곽희열, 백남춘, 이동원, 이진국 등이 2006년 “태양에너지 해수 담수화 시스템 실용화 연구”⁸⁾ 등의 연구보고서가 있으며, 도서지역, 산간지역의 청수공급을 목적으로 태양열을 이용한 증발과 응축으로 증류수를 생산하고 태양광을 이용하여 생산한 전기로서 설비를 가동하는 방식의 해수담수화 설비가 실증단계에 있다. 그러나 태양열을 이용한 일사량과 경사각에 따른 증발과 응축을 이용한 정수방법에 대한 연구는 거의 없다

1.3 연구 목적

본 연구는 우리나라의 광주지방(35°10'N)에서 경제적이고 친환경적인 정수시스템을 개발하기 위하여 태양에너지를 이용하였으며 실험을 통하여 일사량에 따른 최적의 경사각과 면적을 알고 이때의 응축수량을 계산하여 태양에너지만으로 맑은 물의 생산가능한 양을 실험적으로 검증하고 장치 제작에 필요한 자료를 제시하고자 하였다.

특히 한반도의 기후 특성상 봄철, 가을철 그리고 여름철에 가뭄과 홍수가 발생하여 식수 및 생활용수의 부족현상이 발생하는 4월부터 10월까지의 7개월간을 집중적으로 분석하였다.¹⁹⁾

실험기간동안 월별, 계절별로 기후와 기상요소 중에서 일사량, 운량, 강수량, 일조시간, 대기온도, 강설량을 분석하여 활용 가능한 태양에너지 자료를 분석하며, 태양에너지에 의한 내부에 공급된 시수와 공기의 온도변화, 경사면의 유리표면 온도변화가 증발과 응축에 미치는 영향 및 관계를 분석하여 응축수를 음용수로 활용하기위한 기초 자료를 얻고, 태양열을 효과적으로 활용하기 위한 방법을 찾아내고자 한다.

본 연구의 목적은 우리나라 광주지방을 중심으로 태양에너지에 의한 온실효과를 이용하여 기후 및 기상의 변화와 이에 따른 증발과 응축현상의 상관관계를 연구 분석하고 응축수를 음용수로 활용하는 기초적인 자료를 얻고자하는데 그 목적이 있다.

친환경적이고 무한한 태양에너지의 활용이 경제적인 것은 분명하나 태양열의 이용은 각 지역별, 계절별로 기후와 기상에 따른 제약으로¹⁹⁾ 보편적으로 활용할 수 있는 태양에너지의 자료 구축이 필요하다.

따라서 간단한 설비의 개발이 절실했고, 비용뿐만 아니라 전기열원이나 환경오염 없이 태양열을 열원으로 하여 증발과 응축으로 정수하는 방법의 연구에 이르렀다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 태양 에너지

태양은 지구의 기본 에너지원이다. 우리는 태양으로부터 오는 에너지를 태양에너지라고 부르는데 대기와 상호작용한 후 전자기파의 형태로 지표면에 도달하며, 대기의 구성요소에 의해 방사되거나 반사된 복사에너지를 대기복사(Atmosphere Radiation)라 한다.

태양은 지름 $D = 1.39 \times 10^6$ km 이고 질량 $m = 1.99 \times 10^{30}$ kg 인 구형체이며, 지구로부터 평균거리 $L = 1.50 \times 10^8$ km 에 위치한다. 또한 $E_{\text{SUN}} = 3.8 \times 10^{26}$ W 의 복사에너지를 연속적으로 방사한다.¹⁶⁾ 태양에너지는 두 개의 수소원자가 융융되어 한 개의 헬륨원자의 형태로 융합되는 연속적인 융해작용에 의해 생성된다. 따라서 태양은 사실상 원자로이고 중앙부근의 온도는 약 15,000,000 K 이다. 대류지역(Convective Zone)이라고 하는 태양의 외부는 복사열 방출로 인하여 온도가 6,000 K 정도로 떨어진다.¹⁶⁾

지구의 대기에 도달하는 태양에너지는 1960년대 후반에 고공항공기, 기구, 우주선을 사용하여 연속적으로 측정한 결과 $1,373 \text{ W/m}^2$ 로 판명되었다. 태양상수(Solar Constant)는 지구가 태양으로부터 평균거리에 있을 때 태양에너지가 대기의 가장자리에서 태양광선에 수직인 표면에 들어오는 곳에서의 양을 나타낸다. 지구 공전궤도가 타원이므로 태양과 지구사이의 거리와 태양상수의 실제 값은 변하게 된다.

이 값은 12월 21일의 최대 $1,399 \text{ W/m}^2$ 로부터 6월 21일의 $1,310 \text{ W/m}^2$ 까지 변한다. 또한 지구의 북반구에서는 여름에 태양으로부터 제일 멀다. 그러나 이 변화는 평균치의 $\pm 3.18\%$ 이내이며, 대부분의 실용적인 목적에서는 무시되며 G_s 는 상수인 평균값 $1,373 \text{ W/m}^2$ 를 택한다.

태양상수의 평균값은 다음과 같은 태양의 유효표면온도를 계산하는데 사용된다.

$$(4 \cdot \pi \cdot L^2) \cdot G_s = (4 \cdot \pi \cdot r^2) \cdot \sigma \cdot T_{\text{sun}}^4 \quad \text{식 2-1}$$

여기서 L 은 지구와 태양 중심과의 평균거리이고 γ 은 태양의 반지름이다. 이 식의 좌측은 반지름이 지구와 태양의 평균거리인 구의 표면을 지나는 총 태양에너지를 나타내고 우측은 태양의 바깥 표면을 떠나는 총에너지를 나타낸다.

에너지보존법칙에 의해 이 두 항은 태양에너지가 진공을 지나가는 도중 증가되거나 없어지지 않고 서로 같아야 한다.

태양의 유효표면온도(Effective surface temperature)는 $T_{\text{SUN}} = 5,762 \text{ K}$ 로 결정된다. 즉 태양은 $5,762 \text{ K}$ 에서 흑체로 취급된다.¹⁶⁾

Fig 1.은 대기 밖에서 지구에 도달하는 복사에너지와 지표면에 도달하는 복사에너지를 스펙트럼으로 비교 분석한 그래프이다. 지면에서 태양복사의 스펙트럼 분포는 대기를 통과할 때 흡수되고 산란되므로 상당히 감소되며, 대기의 99% 가 지구표면으로 부터 30 km 이내에 있다. 지구 표면상 복사의 스펙트럼 분포 중 몇 개가 약간 낮은 이유는 기체 O_2 , O_3 , 그리고 H_2O 와 CO_2 의 흡수율 때문이며, 산소에 의한 흡수는 $\lambda = 0.76 \mu m$ 정도의 좁은 대역에, 오존은 $0.3 \mu m$ 이하의 파장에서 자외선을 거의 완전히 흡수하고 $0.3 \sim 0.4 \mu m$ 의 범위에서도 상당히 흡수한다. 따라서 대기권 상부에 있는 오존층은 해로운 자외선으로부터 지구의 생물을 보호한다. 오존가스 또한 약간의 가시범위의 복사를 흡수한다.^{16, 24-26)}

적외선 구역에서 흡수는 수증기와 탄산가스에 의하여 지배된다. 먼지입자와 다른 오염물질들은 대기 중에서 여러 파장의 복사를 흡수한다. 이러한 흡수의 결과로 지구의 표면에 도달하는 태양에너지는 맑은 날에 950 W/m^2 정도로 약해지고 구름이 끼거나 Smog가 있는 날에는 더 적어진다.

대기를 통과함으로써 태양복사를 약화시키는 다른 메커니즘은 공기분자, 먼지, Smog, 물방울과 같은 다른 입자에 의해 반사 또는 산란되는 것이다.

산란(Scattering)은 주로 복사의 파장과 입자의 크기에 의하여 지배된다. 산소와 질소분자는 분자 자신의 크기 정도인 주로 짧은 파장의 복사를 산란한다.

빛이란 전자기 스펙트럼 중 $0.4 \sim 0.74 \mu m$ 사이의 파장으로 눈으로 볼 수 있는 부분이며, 태양복사(Solar radiation)는 그 대부분이 $0.3 \sim 3 \mu m$ 파장의 범위에 해당되고

태양복사의 50% 정도가 자외선(Visible)과 적외선(Infrared) 사이의 가시범위에 있다.

지구표면에 들어오는 태양에너지는 직접부분과 확산부분으로 나누어진다. 대기에 의하여 산란되거나 흡수되지 않고 지구에 도달하는 태양복사의 부분은 직접태양복사(Direct solar radiation) G_D 라고 한다. 산란된 복사는 모든 방향에서 균일하게 지구에 도달한다고 가정하는데 이러한 복사를 확산태양복사(Diffuse solar radiation) G_d 라고 부른다.^{16, 24-26)}

$$G_{solar} = G_D \times \cos\theta + G_d \quad (W/m^2) \quad \text{식 2-2}$$

유리는 가시범위(0.3 ~ 3 μm)의 빛을 90% 이상 투과시키고, 그 이상의 파장의 빛에는 불투명하다. 따라서 상온에서 물체에 의해 방사된 복사는 0.76 ~ 100 μm 범위의 적외선이 되므로, 방사된 복사파장이 온실효과(Greenhouse effect)의 원인이 된다.²⁴⁾

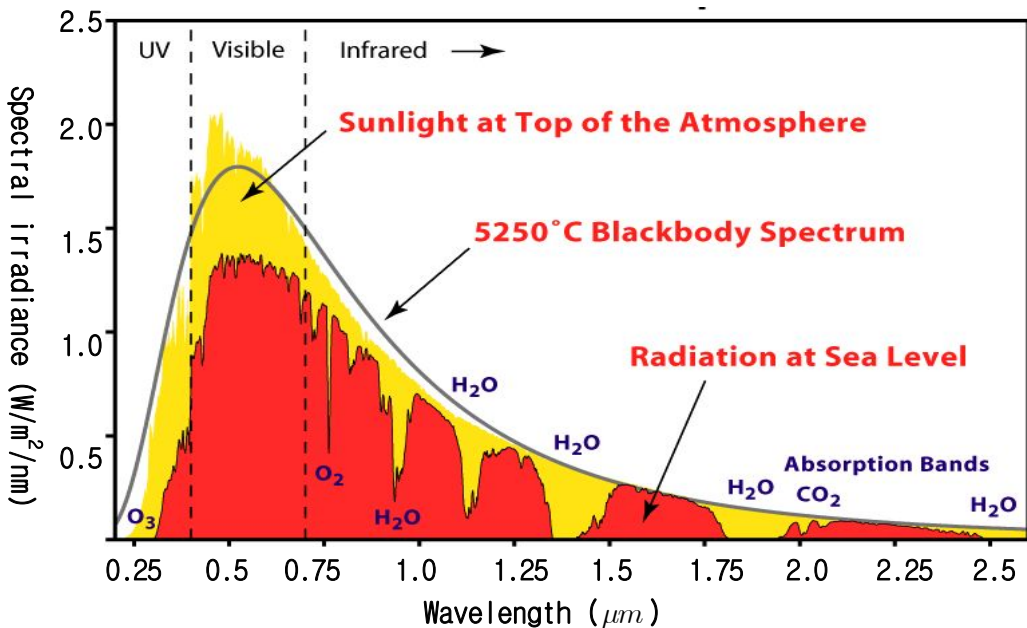


Fig 1. Solar radiation spectrum¹⁶⁾

2.1.1 일사량의 변화

일사량이란 지표면에 도달한 태양의 복사에너지 양을 말하며, 태양광선에 직각으로 놓은 1 cm^2 넓이에 1분 동안의 복사량을 측정한다.

일 년 동안에 지상에 도달되는 태양에너지는 약 $E_{\text{SUN}} = 3.8 \times 10^{26}\text{ W}$ 로서 지구가 사용하는 에너지양의 30배 정도가 된다. 이 막대한 에너지가 골고루 오지 않고 지역에 따라 차이가 있는 것은 ¹⁶⁾

첫째, 지구의 위도에 따라 태양이 비치는 각도와 시간이 고르지 않기 때문이다.

둘째, 기후와 밀접한 관계로 구름이 끼거나 먼지 및 공해성 물질이 지구표면에서 불규칙하게 이동하면서 지구표면을 덮어 직사광선을 차단시키기 때문이다.

지구표면에서의 문제는 기후 혹은 일기에 관한 문제이고 우선 태양의 직사방향과 직사시간은 지구의 회전축과 태양빛이 서로 직각이 아니기 때문에 태양의 직사방향은 계절, 월, 일시에 따라 달라지는데 이것을 정량적으로 취급하는 것이 지축의 기울기이다. 정오의 태양 고도각은 춘분과 추분 시의 고도 각에 비해 최고 $\pm 23^\circ 45'$ 의 오차가 있다. 이 각도의 변화가 지축의 기울기이며 이 때문에 태양이 비치는 각도와 시간이 계절에 따라 달라진다. 이 각도는 지구의 적도 선에 서있는 관측자가 지면과 정오의 태양 간에 이루는 각도를 측정하여 춘분, 추분 시 달라지는 각도를 말하며, 북반구 측이면 +, 남반구 측이면 -로 나타낸다. ²⁷⁾

여름인 6월 21일 하지 때 북반구 지역에서 최고값인 $+ 23^\circ 45'$ 를 갖고, 겨울인 12월 22일 동지에 최저값인 $- 23^\circ 45'$ 의 값을 갖는다.

일반적으로 지축의 기울기는 도(度, °)단위로 표시하고

$$\delta = \left(23 + \frac{27}{60}\right) \times \sin\left(\frac{360 \times d}{365.25}\right) \quad \text{식 2-3}$$

δ : 지축의 기울기

d : 춘분으로부터 지난 날 수(춘분 : 북반구의 춘분)

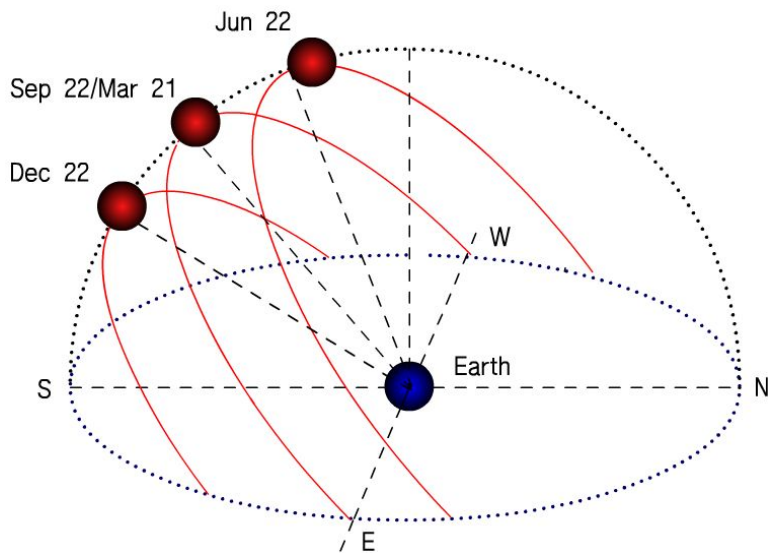
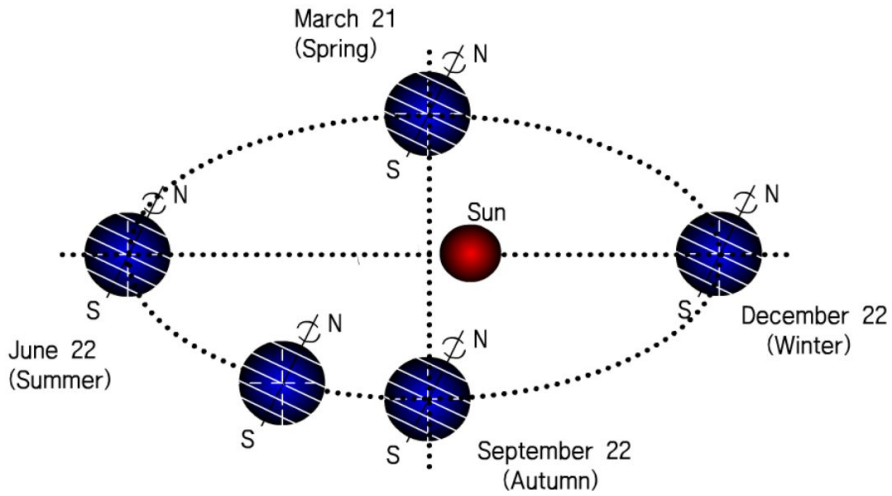
태양이 비치는 시간은 지축의 기울기와 지구상 위도의 함수로 나타낸다.

$$Z = \frac{2}{15} \times \cos^{-1}(-\tan \varnothing \times \tan \delta) \quad \text{식 2-4}$$

Z : 해가 비치는 시간

\varnothing : 그 지역의 위도

δ : 그 지역의 지축의 기울기



- Northern Hemisphere -

Fig 2. The earth revolution and culmination altitude ¹⁶⁾

대기의 탁도(Turbidity)도 무시할 수 없는 태양복사의 장애요인인데 특히 도심지역에는 작은 먼지입자가 많아 공해를 자아내고 복사를 차단하는 큰 역할을 한다. 탁도는 대기 중의 Aerosols들 때문이며, 탁도 $\tau_{\alpha} = 0.35$ 정도면 도시의 탁한 지역을 말하며 $\tau_{\alpha} = 0.05$ 정도면 시골의 맑은 공기지역을 의미한다.

또 태양 복사강도를 다루는데 중요한 Parameter는 여러 가지 지상표면의 반사도이다. 이것은 표면반사율(Albedo, a_g)이라고 하며, 이 값은 전 표면이 균일하다는 가정을 해야 하고 또 Air mass 와 Zenith angle(Z) 에도 Table 1.과 같은 함수관계가 있다.

Table 1. The surface albedo at various solar elevations ^{16, 26)}

Surface \ Degree	15°	30°	60°	90°
Fresh snow	0.80	0.75	0.71	0.70
White sand	0.68	0.65	0.61	0.60
Old snow	0.80~0.50	0.75~0.40	0.71~0.35	0.70~0.35
Desert sand	0.45	0.30	0.25	0.25
Dry grassland (Semi desert)	0.30	0.23	0.16	0.16
Eucalypt forest	0.27	0.19	0.15	0.13
Smooth sea	0.18	0.08	0.05	0.03

2.1.2 우리나라의 일사량

한국에너지기술연구원의 통계자료에 따르면 우리나라 전국의 연평균 수평면 일사량은 일일 $12,727 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 정도이다.

일사량이 많은 지역은 태안반도 일대와 중서부 남해안 지역, 그리고 안동 및 영주 분지 등이 전국에서 가장 좋은 것으로 나타난다. 반면 김해평야 일대와 서울 중부지방은 좋지 않은 것으로 나타나며, 의외로 제주도 지역의 일조조건이 상대적으로 좋지 않음을 보이는데, 이는 남쪽에 위치하고 청정한 지역인 섬임에도 불구하고 우리나라 기후 특성상 잦은 강우에 의해 연평균 수평면 전일사량이 $12,351 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 로 전국의 평균일사량 이하이기 때문이다.^{19, 27)}

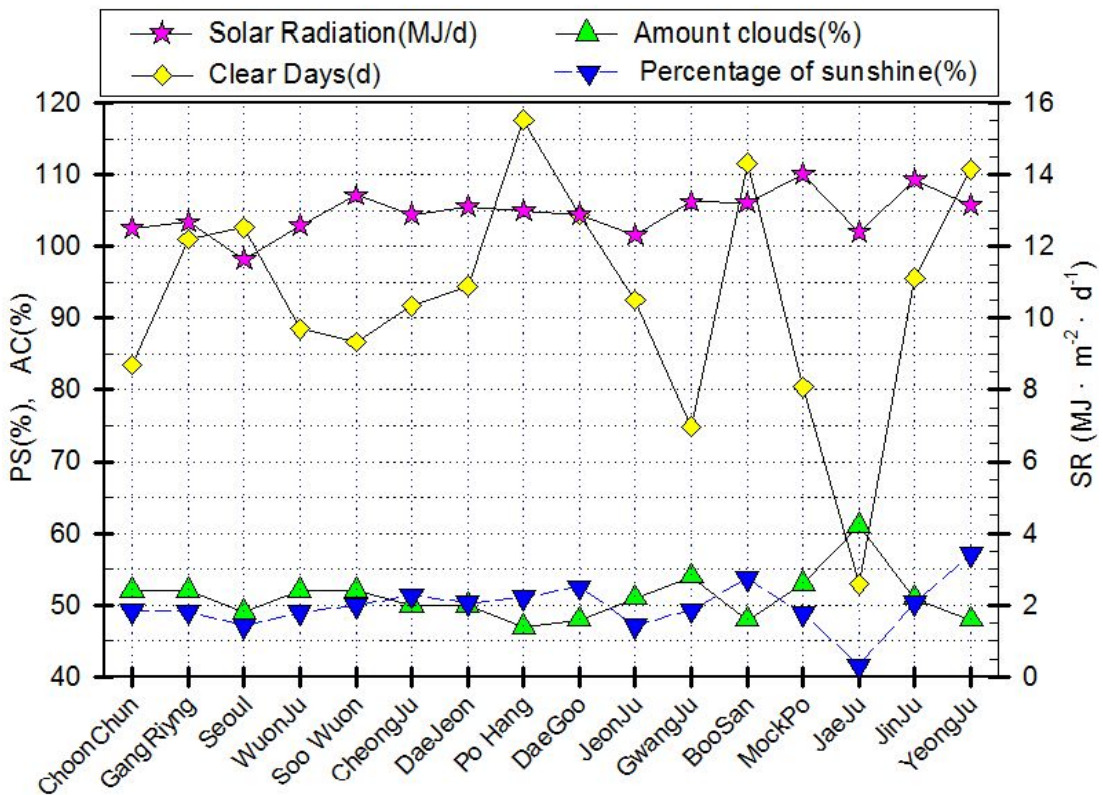


Fig 3. The climate and average solar radiation of Korean cities¹⁹⁾
(1982 ~ 2009)

서울지방의 일사량은 대기오염으로 인한 Smog 발생 등으로 일조율이 떨어져 연평균 일사량이 특히 낮게 나타나는 것은 당연한 것으로 보인다.

에너지기술연구원의 전국 계절별 일일평균 수평면 전일사량 자원분포 자료를 보면 해안 및 도서지방은 내륙에 비해 여름철에는 상대적으로 일사량이 높으며, 겨울철에는 낮게 나타나고 있다.⁸⁾

우리나라의 수평면 전일사량 자원에 대한 계절별 일사량 분포특성을 보면 봄철과 가을철의 경우에는 대체로 해안지방이 내륙지역보다 좋으며, 여름철에는 전국이 고른 분포를 나타내는 반면에 겨울철에는 남해 일원의 일사량이 타 지역에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타난다.

봄철과 여름철은 연평균 일사량보다 각각 24%, 22% 로 높게 나타나는 반면 가을철과 겨울철의 일조 조건은 각각 11%, 34% 정도가 연평균치보다 낮은 것으로 나타났다. 대규모 공단이 위치한 지역에서는 일사량이 낮게 나타나는데, 타 지역의 경년변화에 따른 감쇄현상보다 상대적으로 큰 일사 감쇄현상은 이 지역에서의 대기오염도에 근거한다고 볼 수 있다.¹⁹⁾

이용 가능한 태양에너지 잠재량은 이와 같은 평균일사량과 함께 각 시점의 대기상태에도 영향을 많이 받는데, 이는 대기복사량(Extraterrestrial ratio : ETR)과 일조율에 의해 분석될 수 있다.

일조율이란 일출부터 일몰시간까지의 가조시간에 대한 구름에 가리지 않고 태양이 비치는 일조시간의 백분율이다. 대기권 밖에서 측정된 태양복사에너지인 대기복사량(ETR) 값에 대한 수평면 전일사량, 즉 실제로 대기를 통과하여 지표에 도달한 복사에너지 값의 비율이다. 따라서 대기 중에서 산란되어 쓰일 수 없는 복사에너지 손실정도를 추정할 수 있다.²⁶⁾

일반적으로 총 복사에너지 중 약 30% 정도가 대기에서 반사되거나 산란된다고 추정하고 있다. 국지적으로 대기오염이 심각한상태의 지역에서는 복사에너지의 감소가 20~25% 로 비교적 깨끗한 농촌지방 등에 비해 그 감소량은 가시광선의 복사가 약 1/2, 자외선의 복사는 약 2/3 정도에 달한다.

전국의 연평균 일조율은 50.2% 이며, 계절별로 최고 58.3%(10월), 최저 37.0%(7월)로 7월만 제외하면 큰 편차가 없는데 여름철의 일조율이 낮은 것은 장마로 인해 구름의 양이 증가하기 때문이다.

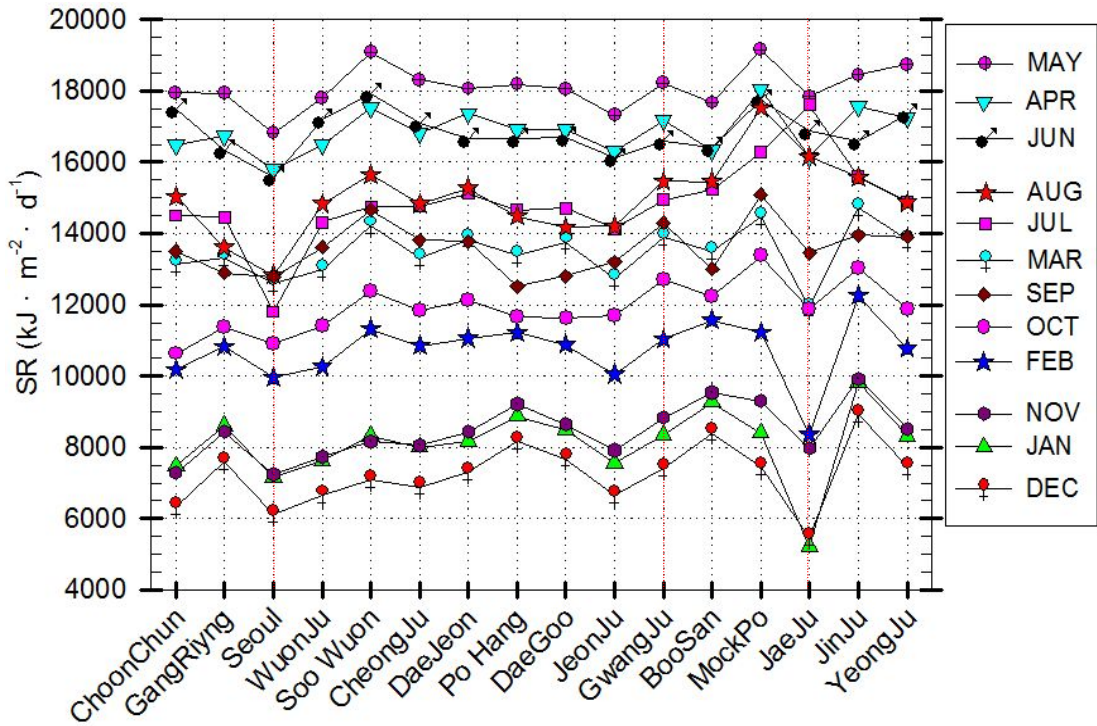


Fig 4. Monthly average of the solar radiation on a horizontal surface of Korean cities (1982 ~ 2010)

2.1.3 우리나라 일사량과 최적경사각 이론적 계산

1) 태양열시스템을 설계할 때에는 필연적으로 수평면에 대한 경사면에서의 월별 일일 평균일사량 값이 고려되어야 하며, 다음과 같이 표현할 수 있다.^{16, 27)}

$$\overline{H_T} = \overline{H} \times \left(1 - \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}}\right) \times \overline{R_d} + \overline{H_d} \times \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + \overline{H_\rho} \times \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) \quad \text{식 2-5}$$

이에 대한 공식은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 0.775 + 0.00653 \times (\omega_s - 90) - [0.505 + 0.00455 \times (\omega_s - 90)] \times \cos(115 \times K_T - 103) \quad \text{식 2-6}$$

- $\overline{H_T}$: 월별 1일 평균 경사면일사량
- $\overline{H_d}$: 월별 1일 평균 산란일사량
- $\overline{H_\rho}$: 지표면 반사 일사량
- $\overline{K_T}$: 월별 1일 평균 일사율($\overline{H}/\overline{H_o}$)
- $\overline{R_d}$: 수평면에 대한 경사면에서의 월별 1일 평균일사량의 비
- β : 수평면에 대한 집열면의 경사각도
- \overline{H} : 수평면에서의 월별 일일 평균 총일사량
- $\overline{H_o}$: 해당지방의 월평균 대기권 밖 일사량
- w_s : 수평면 일몰 시간각
- R_d : 수평면 일사량에 대한 경사면 직달일사량 비($\overline{H_{dT}}/\overline{H_o}$)

2) 해당지방의 월평균 대기권 밖 일사량 \overline{H}_O 는 다음의 식으로 정의되어 있다.

$$\overline{H}_O = \frac{24 \times 3600}{\pi} \times G_{sc} \times \left[1 + 0.033 \times \cos \frac{360 \times n}{365} \right] \times \left[\cos \phi \times \cos \delta \times \sin \omega_s + \frac{2\pi \times \omega_s}{360} \sin \phi \times \sin \delta \right] \quad \text{식 2-7}$$

북반구에서 적도를 향한 경사면, 즉 방위각이 정남향을 향한 경우를 나타내며, \overline{R}_d 값은 다음 식으로 정의된다.

$$\overline{R}_d = \frac{\cos(\phi - \beta) \times \cos \delta \times \sin \omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega'_s \times \sin(\phi - \beta) \times \sin \delta}{\cos \phi \times \cos \delta \times \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \times \sin \phi \times \sin \delta} \quad \text{식 2-8}$$

\overline{R}_d : 수평면에 대한 경사면에서의 월별 1일 평균일사량의 비

\overline{H}_O : 해당지방의 월평균 대기권 밖 일사량

G_S : 태양상수

ϕ : 해당지방의 위도

β : 수평면에 대한 집열면의 경사각도

ω_s : 수평면 일몰시간각

ω'_s : 경사면 일몰시간각

δ : 일적위 = $23.45 \times \sin \left(360 \times \frac{284 \times n}{365} \right)$

3) 경사면 일몰 시간각인 ω'_s 에 해당 월평균일의 대표적인 일적위 값을 적용하면 다음 식이 산출된다.

$$\omega'_s = \min \left| \frac{\cos^{-1}(-\tan \phi \times \tan \delta)}{\cos^{-1}[-\tan(\phi - \delta) \times \tan \delta]} \right| \quad \text{식 2-9}$$

ϕ : 해당지방의 위도

δ : 일적위 = $23.45 \times \sin \left(360 \times \frac{284 \times n}{365} \right)$

ω'_s : 경사면 일몰 시간각

Table 2. The seasonal change of the most suitable tilted angle ²⁰⁾

(Southern exposure standard)

(Unit : Degree)

City	Season				HP (Heating period)	Average of Year
	Spring	Summer	Autumn	Winter		
BooSan	18	3	45	57	51	33
CheongJu	18	3	45	60	51	33
ChoonChun	18	3	45	60	54	33
DaeGoo	18	3	45	57	51	33
DaeJeon	18	3	45	57	51	33
GangRiyng	21	3	45	60	54	36
GwangJu	18	3	45	57	51	33
JaeJu	15	0	39	51	45	24
JeonJu	18	3	45	57	51	33
JinJu	18	3	45	57	51	33
MockPo	18	3	45	57	51	33
PoHang	18	3	45	57	54	33
Seoul	18	3	45	57	54	33
SooWuon	21	3	45	60	54	33
WuonJu	21	3	45	60	54	33
YeongJu	18	3	45	60	54	33
Average	18.4	2.8	44.4	57.8	51.9	30.9

2.2 증발과 응축이론

공기 중으로 유입되는 물 분자의 수가 공기 중에서 수면으로 돌아오는 물 분자의 수보다 많을 때를 증발이라 하고, 이와 반대인 경우를 응결이라 하며, 증발하는 수면에서의 물 분자의 수와 응결하는 물 분자의 수가 같을 때 수증기는 포화되었다고 한다.²⁴⁾

증발(Evaporation)은 액체와 증기의 경계면에서 증기압력이 주어진 온도에서의 액체 포화압력보다 적을 때 일어난다. 물의 경우 대기압 상태에서 포화압력은 Fig 5.의 그래프와 같다.

증발은 공기와 수증기의 혼합체가 포화상태에 도달할 때까지 계속되며, 대기압의 개방공간에서 증발현상을 지배하는 인자들로서 물과 공기의 온도, 바람, 상대습도, 대기압, 수질 및 수표면의 성질과 형상이다.

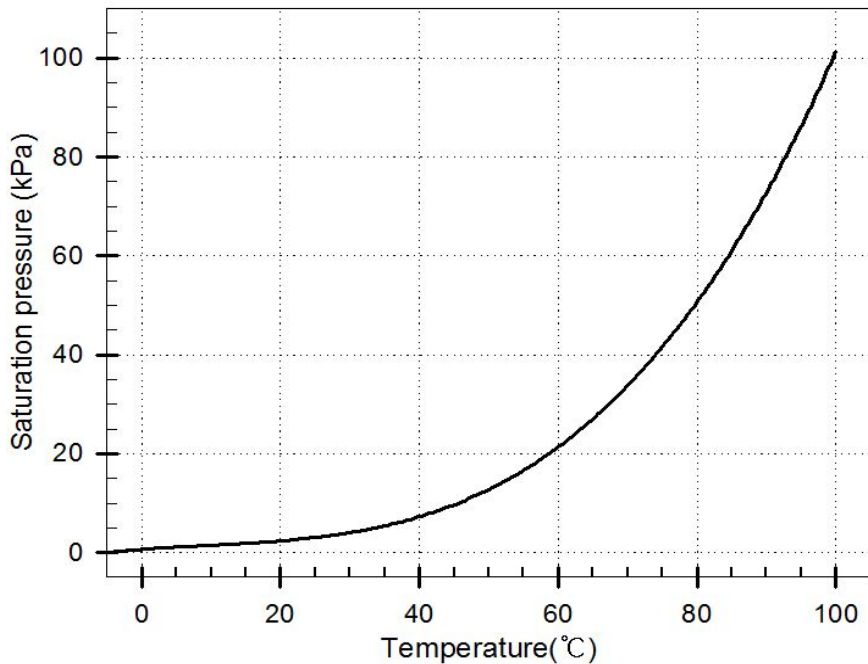


Fig 5. Saturated water vapor pressure

공기가 수증기를 가질 수 있는 양은 온도에 의해 정해지며, 상온에서 액체나 고체상태 물질은 끊임없이 증발하여 기체 상태로 변한다.

그러나 한정된 공간에서는 어느 정도 증발하면 더 이상 증발하지 않고 평형상태를 이룬다. 즉 주어진 온도에서 가질 수 있는 최대의 수증기를 가질 때 포화(Saturation) 상태에 있다고 하며, 이 상태(포화)에서 수증기만의 압력을 포화수증기압(Saturated Water Vapor Pressure)이라고 한다.

공기 중의 수증기량은 포화수증기량을 초과할 수 없다. 공기의 수증기압이 포화수증기압에 달하면 응결이 시작되며, 포화수증기압은 유지된다. 또한 증기압은 온도에 따라 달라진다. 온도가 증가할수록 증기압도 증가한다. 더운 날 물이 더 빨리 증발하는 이유가 바로 높아진 온도로 인해 물의 증기압이 높아졌기 때문이다.

응축(Condensation)은 증발과 반대의 현상으로 증기온도가 포화온도 이하로 감소되었을 때 발생한다. 응축은 일반적으로 증기가 포화온도보다 낮은 고체표면에 접촉할 때 또는 증기가 포화온도보다 낮은 온도의 액체 자유표면이나 기체에 노출되었을 때 발생한다. 증기가 포화온도보다 낮은 기체와 노출되는 경우에는 물방울은 기체 내에 뜨게 되어 안개(Fog, 0.2 mm)를 형성하게 된다.

응축의 형태는 막응축(Film Condensation)과 물방울응축(Drop-wise Condensation)으로 구분되는데, 막 응축은 수증기가 표면을 적시면서 중력으로 미끄러지고 표면에 액체 막을 형성하는 일반적인 응축의 형태이다. 액체 막 두께는 보다 많은 증기가 막 위에서 응축되므로 유동방향을 따라 커진다.²⁴⁾

물방울 응축은 연속적인 막 대신에 표면에 다양한 크기의 무수한 물방울이 덮이게 되는 응축의 형태이다.

Fig 6.은 습공기의 열역학적 상태량을 선도로 나타낸 습공기선도(Psychrometric chart)이다.

습공기선도에 표시된 사항은 건구온도, 습구온도, 비습도, 상대습도, 비체적, 현열비, 엔탈피를 나타내고 이 상태량들은 온도변화에 따라 달라지는 것을 나타낸다.

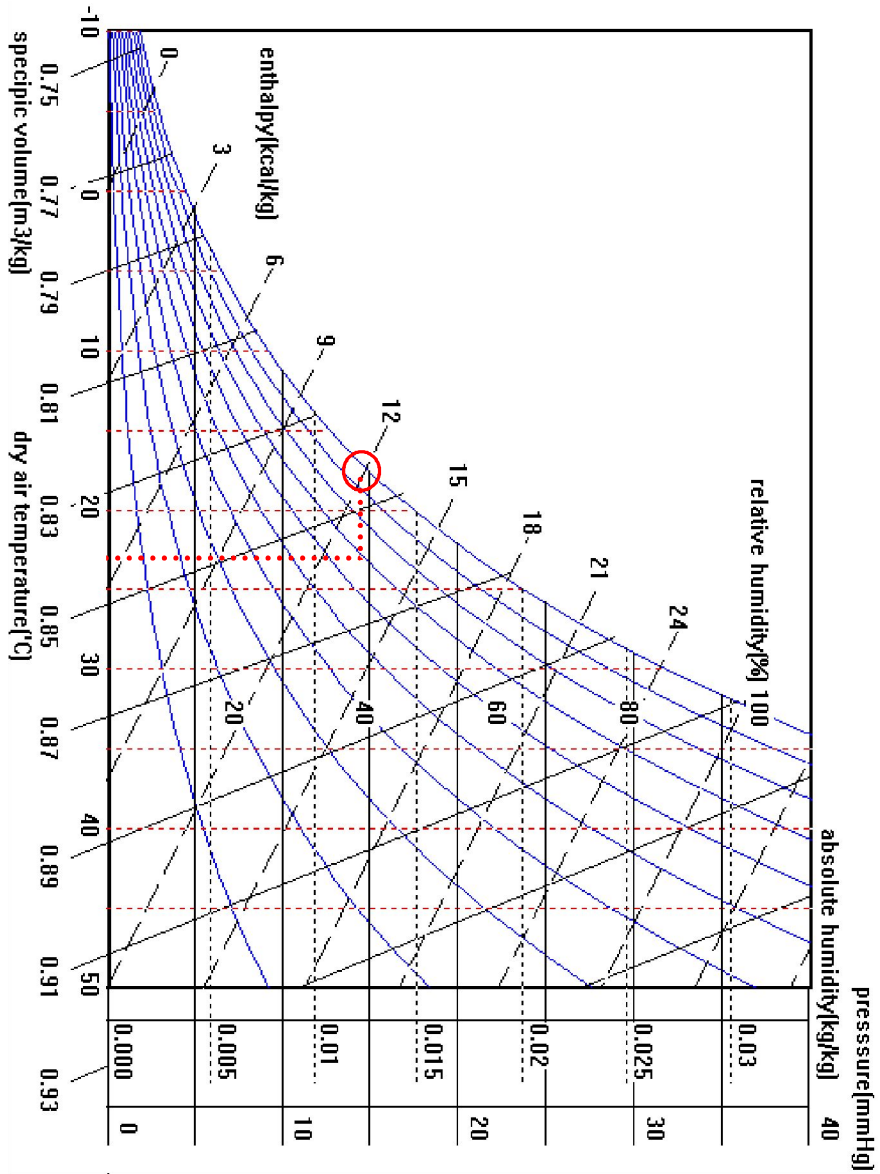


Fig 6. Psychrometric chart

2.3 장치의 열평형

Basin형 증류기 내·외부에서의 열 유동 현상을 해명하는 것은 고성능 증류기 설계에 있어 대단히 중요하다. 일반적인 경우 Basin형 증류기에서의 열 유동은 Fig 7.과 같이 표시되며, 이를 기준으로 한 열평형 관계는 식 2-10, 2-11 과 같이 정리된다.

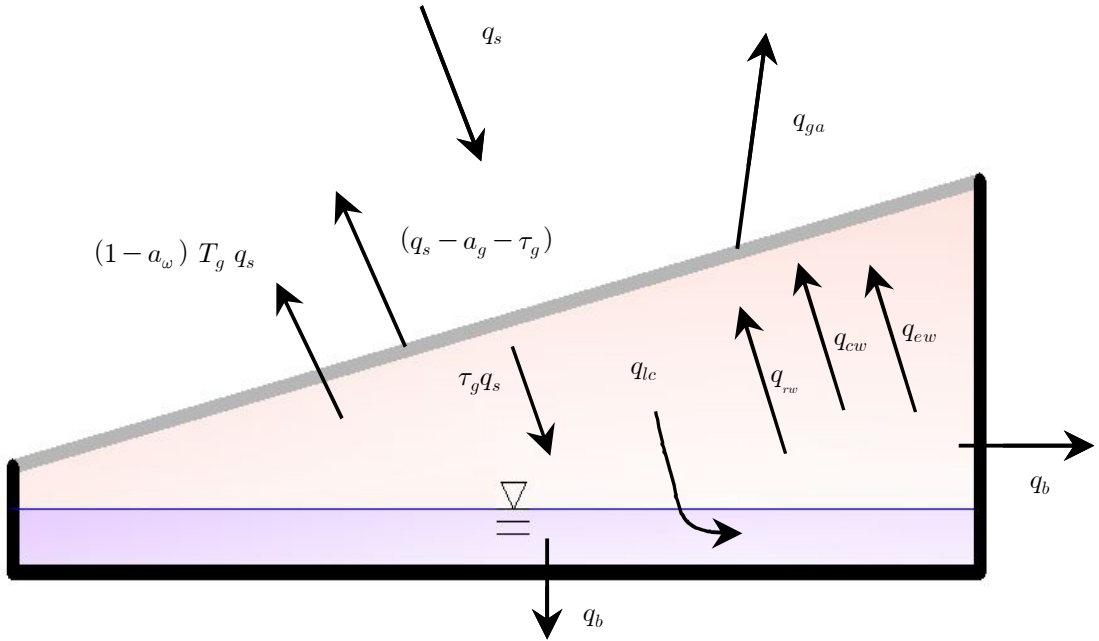


Fig 7. Thermal equilibrium of apparatus ¹⁶⁾

- 물을 중심으로 한 열 평형식

$$\tau_g a_w q_s = q_{eff} = q_{cw} + q_{ew} + q_{rw} + q_b + q_w \quad \text{식 2-10}$$

- 투명 덮개를 중심으로 한 열 평형식

$$q_{cw} + q_{ew} + q_{rw} + a_g q_s = q_{cq} + q_{rg} + q_g \quad \text{식 2-11}$$

- 증류기 전체의 평형식은 식 2-10 과 식 2-11 에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$(\tau_g a_w + a_g) q_s = q_{cg} + q_{rg} + q_g + q_b + q_w \quad \text{식 2-12}$$

증류수 발생량 m ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)은 다음 식으로 표현된다.

$$m = q_e / \gamma \quad \text{식 2-13}$$

- q_s : 투명덮개 표면에 도달한 일사량
- q_{cw}, q_{ew}, q_{rw} : 원수로부터 투명덮개 내면에 이르는 대류, 증발, 복사열
- q_b : 증류기 측벽과 저면으로부터의 전도 열손실
- q_w : 원수를 포함한 증류기 본체에 축적된 열량
- q_{eff} : 원수가 받은 태양열
- τ_g, a_g : 투명덮개의 태양 복사광에 대한 투시율과 흡수율
- q_e : 증발 열량
- γ : 증발 잠열
- a_w : 태양 복사광에 대한 원수와 수조 바닥의 흡수율
- q_{ga} : 수조의 단위 면적으로부터 대기 중으로 손실되는 열량

제 3 장 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

실험장치는 Photo 1, Fig 8.과 같이 상부가 경사진 육면체로서 하부는 물을 저장하는 저수부, 상부는 수면과 경사진 유리면 하부의 증발부, 경사진 유리면에서 흐르는 응축수를 모아 저장탱크에 저장하고 측정하는 측정부로 구성되었으며, 계절에 따른 태양의 고도변화와 입사각에 따른 응축특성을 알기 위하여 각각 육면체 상부면의 경사각을 15°, 30°, 45°, 60° 로 하여 4개를 제작하였다.

실험장치의 몸체는 바닥면적을 1,000 mm x 1,000 mm 로 동일하게 제작하였고, 경사면을 제외한 모든 면은 단열을 위해 50 mm 의 Styrofoam 양면에 두께 2.5 mm 의 합판과 FRP(Fiberglass reinforced plastics)를 섞워 흑색 Epoxy paint로 도장하여 마감하였다.

경사면은 온실효과를 이용하기 위하여 유리를 설치하였는데, 일사 및 계절에 따른 온도변화와 외부충격에 대처하기 위하여 5 mm 의 강화유리를 사용하였고, 본체와 실리콘을 사용하여 기밀을 유지할 수 있게 마감하였다.

몸체에는 물의 공급과 응축수 추출, Drain, 열전대 투입, 공급수 Overflow를 위하여 15 mm Pipe를 이용하여 5개의 구멍을 좌·우 측면에 만들고, Pipe를 투입하여 고정하고 Pipe에는 Valve를 시공하였다.

몸체의 전면 하단에는 경사면에 응축된 응축수를 모을 수 있는 경사진 트렌치를 만들어 응축수 추출관에 연결하여 각각의 응축수 탱크에 모았다.

온도를 측정하기 위하여 장치 내부 43개소와 외부 1개소에 지름 0.27 mm 의 T-type Thermocouple을 저수부 바닥면, 수면, 수면 위 5 cm, 수면에서 상부 유리면까지 30 cm 의 일정한 간격으로 설치하여 일사와 외기온도 변화에 따른 물의 온도와 내부공기 온도변화를 Photo.2의 YOKOGAWHA사가 제작한 Data acquisition unit(DA100⁺)를 이용하여 수집하고 Computer에 저장하여 분석할 수 있게 장치하였다.

각각의 실험장치에서 발생한 응축수는 본체의 응축수 추출관에 내압호스를 연결하여 실험장치 본체 하단에 설치된 응축수 저장탱크에 모이게 하고 시간대 별로 Photo.3 의 Load-cell과 Weighing controller의 Data를 Lab-view Program을 이용하여 ml 단위로 Computer에 저장할 수 있게 하였다.

일사량은 PSP 일사량계(Spectral Pyranometer)를 장치로 일사량 측정에 지장이 없는 장치의 전면에 수평으로 설치하여 DA100⁺에 연결한 Computer에서 분석할 수 있게 장치 하였다.

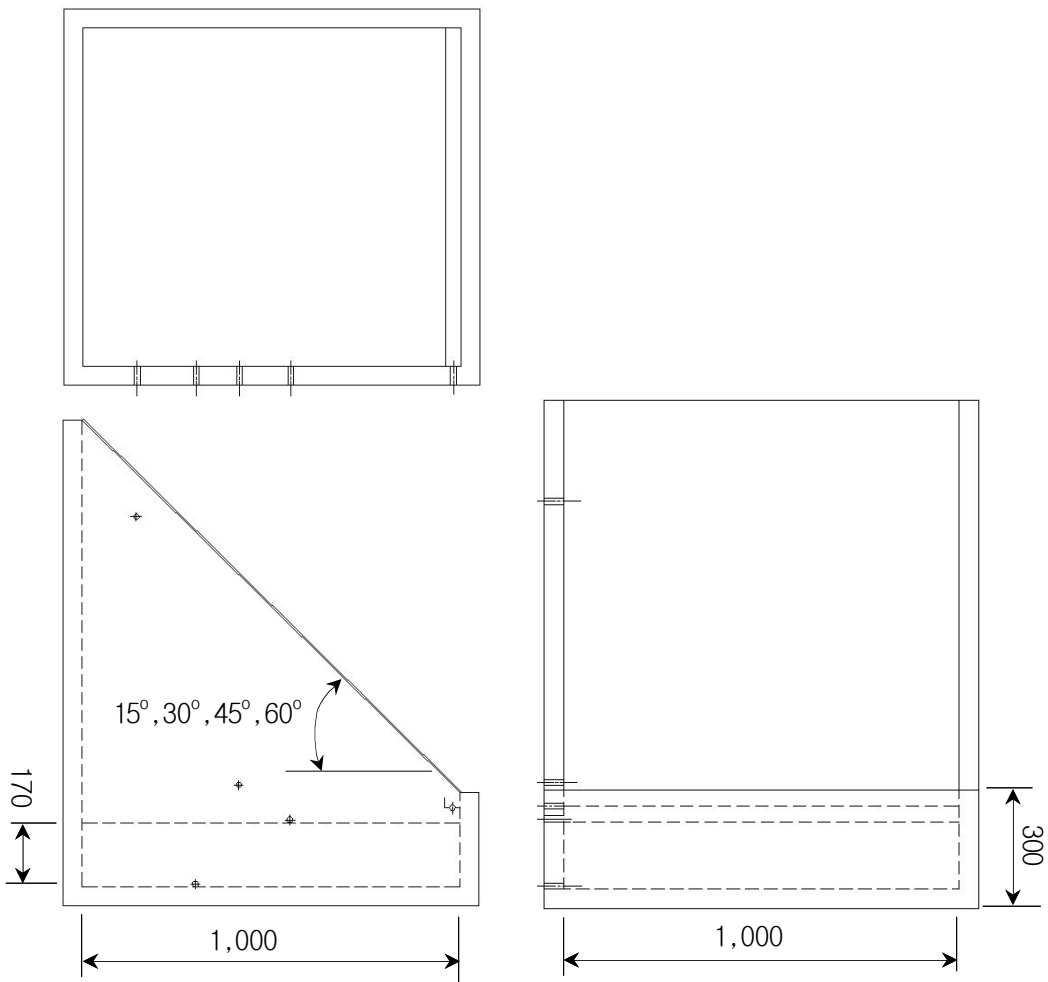


Fig 8. The experimental apparatus



- 60° tilted angle - - 45° tilted angle - - 30° tilted angle - - 15° tilted angle -

Photo 1. Tilted boxes for condensed water

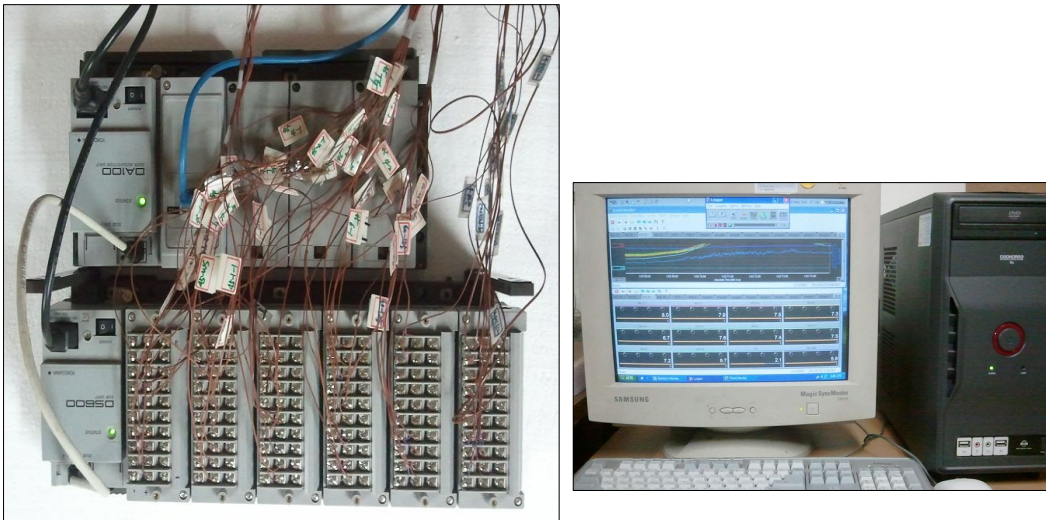


Photo. 2. Data acquisition unit (DA100⁺, YOKOGAWHA)

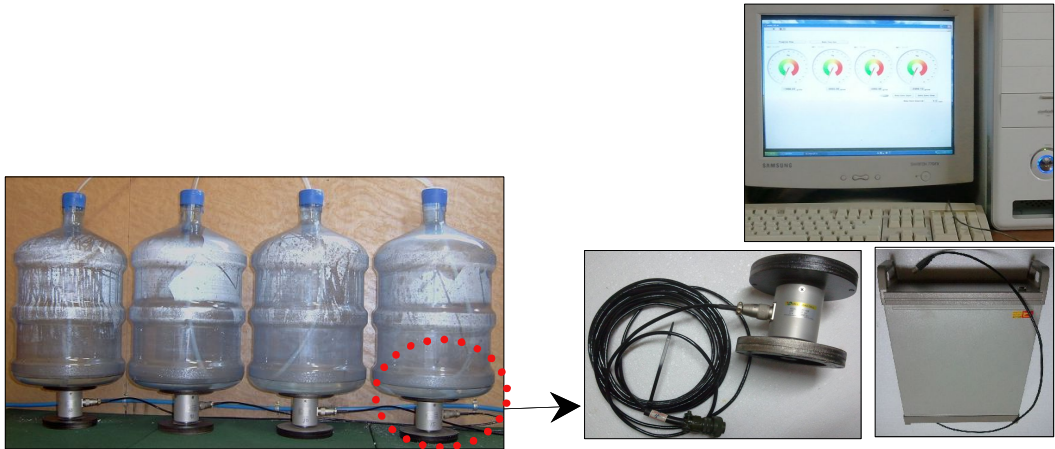


Photo 3. Measurement apparatuses of condensed water (Load-cell)

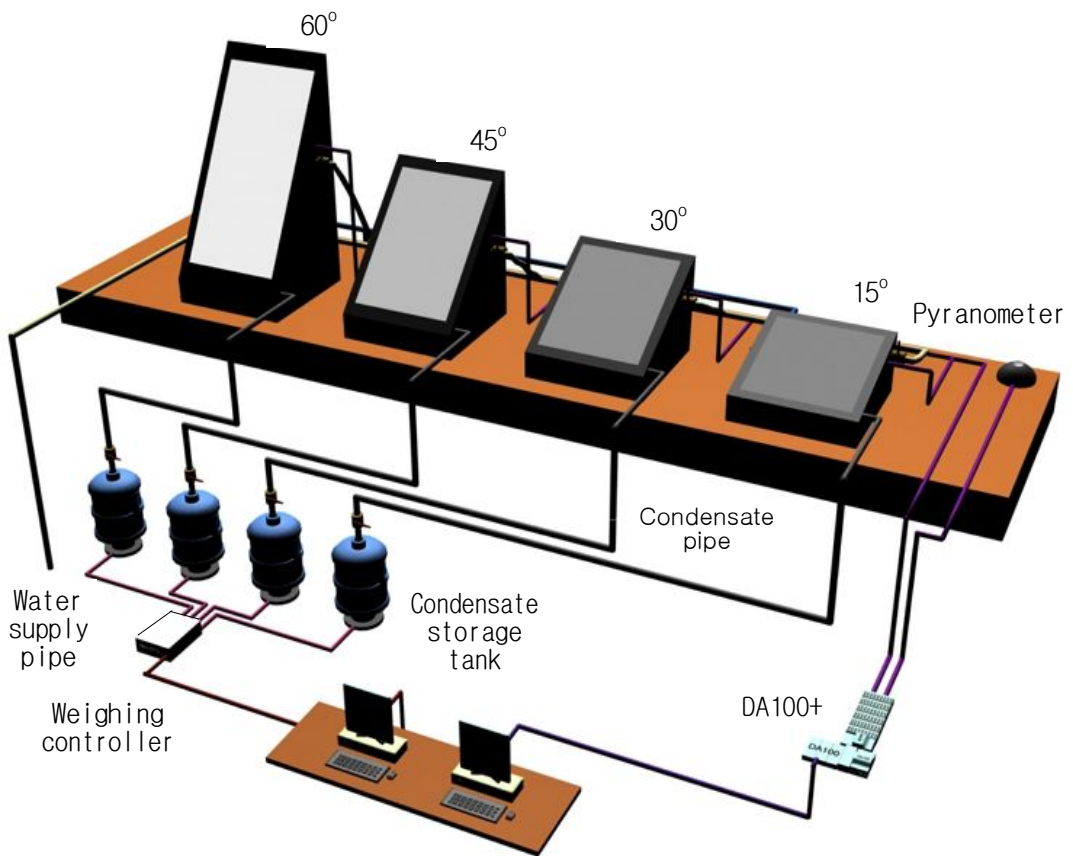


Fig 9. The experimental apparatuses

3.2 실험방법 및 순서

일사량 측정은 남향 전면에 일사에 지장이 없는 장소인 장치의 전면에 수평으로 설치하고 DA100⁺에 연결하여 수집하고 Computer에서 분석할 수 있게 장치하였다.

온도의 측정은 실험장치 별로 60° 는 9개소, 45° 는 24개소, 30° 와 15° 경사각 장치에는 5개소에 측정점의 위치를 동일하게 하였고, 매 시각 정시를 기준으로 소수점 2자리까지 실시간으로 모니터를 확인하고, Data acquisition unit(DA100⁺)를 통하여 온도 변화를 10분 간격으로 Computer에 저장하였다.

일사에 의한 증발과 응축으로 인한 장치내부의 압력변화를 측정하기 위해 저압측정용 Manometer를 장치의 측면에 부착하였으나 그 압력차가 극히 적어 고려하지 않았다.

응축수는 시수를 4개의 실험장치에 같은 시간에 170 L 씩 동일하게 채워 실험하였고, 증발되어 유리면에 응축된 응축수가 흘러내려 전면 하단의 트렌치에 모이면 호스를 통하여 장치 하단의 20 L 응축수 저장탱크에 저장하였다.

응축수량의 측정은 Photo. 3의 Load-cell의 저항값 변화를 Weighing controller에서 전기적 출력신호를 RS-232C 통신으로 Computer와 연결하고 Lab-view Program으로 Programming하여 제어할 수 있도록 하였다. Computer에는 ml(g) 단위로 온도 측정시간과 일치하게 10분 간격으로 누적 응축수량을 저장하였다.

실험순서는 날씨의 영향을 최소화하기 위하여 23시 이후에 각 장치별로 동일수량의 시수를 넣은 후 자정부터 실험을 시작하고 일일 24시간 동안 장치내부의 물과 내부의 공기온도, 일사량, 응축수량을 동일 시간대에 측정하여 Computer에 기록하였다.

제 4 장 실험결과 및 고찰

우리나라는 중위도의 온대지역에 위치하여 기후가 지역적인 다양성과 함께 계절적 변화에도 다채로운 추이가 보여 진다. 기온의 측면에서 대륙성기후이며 강수나 바람에서는 몬순(계절풍)기후로 규정할 수 있다.

봄철의 날씨는 시베리아 기단이 점차 약해지면서 나온 이동성 고기압과 그 뒤를 이은 이동성 저기압이 2~3일 간격으로 동진해 오면서 변덕스러운 날씨가 나타나는데 이동성 고기압이 지날 때는 화창한 봄 날씨를 보이고 이동성 저기압이 지날 때에는 굵은 날씨가 나타나며, 시베리아 고기압이 일시적으로 강화되기도 하여 꽃샘추위가 나타나기도 한다. 이동성 고기압이 장시간 정체하거나 연이어 통과하여 봄 가뭄이 일어나기도 하며, 중국의 화북이나 몽고 지방에서 상승기류를 타고 황사가 날아오기도 한다.

여름철은 태평양으로부터 무덥고 습기가 많은 남동풍과 남서풍의 영향으로 전국적으로 기온이 높아진다. 장마가 시작하는 6월부터 8월까지의 우기에는 연간 평균강우량 중 60% 이상이 집중적으로 내린다.¹⁹⁾

가을철에는 북태평양 기단이 약화되어 장마전선의 남하로 초가을 장마가 나타나며 장마전선이 완전히 제주도 남부로 내려가면 대륙 내부에는 고기압이 형성되어 이 고기압에서 나온 이동성 고기압의 통과로 청명한 날씨가 나타난다. 저기압의 통과로 늦가을 비가 내리면 기온이 점차 낮아지고 대륙의 고기압은 점차 확장되어 겨울로 들어서게 된다.

겨울철에는 시베리아로부터 차갑고 건조한 북서풍이 불어오기 때문에 남북의 기온차가 매우 크고 삼한사온 현상이 나타난다.

따라서 가뭄이나 홍수가 자주 발생하여 물이 부족하거나 필요한 4월부터 10월까지 날씨가 주된 분석의 대상으로 하여 이 기간을 중심으로 일사량과 함께 증발과 응축특성을 분석 하였다.¹⁹⁾

본 실험은 2009년 8월부터 2010년 12월까지 17개월 간 실험한 Data를 연구 분석하였다.

Fig 10.은 1982년부터 2009년까지의 일사량, 구름의 양, 평균온도를 비교한 그래프이다.¹⁹⁾

일사량은 2000년 이전보다 1,000 $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 정도(7%)가 상승하였고 평균온도도 0.8 $^{\circ}\text{C}$ (5.5%) 정도 상승하였다. 연도별 구름의 양 변화는 2000년을 기준하여 3% 정도 감소하여 일사량과 온도에 반비례 관계임을 알 수 있고, 광주지방은 산업화가 적고 주변의 산과 농지로 인한 대기청명도가 높게 나타났다.

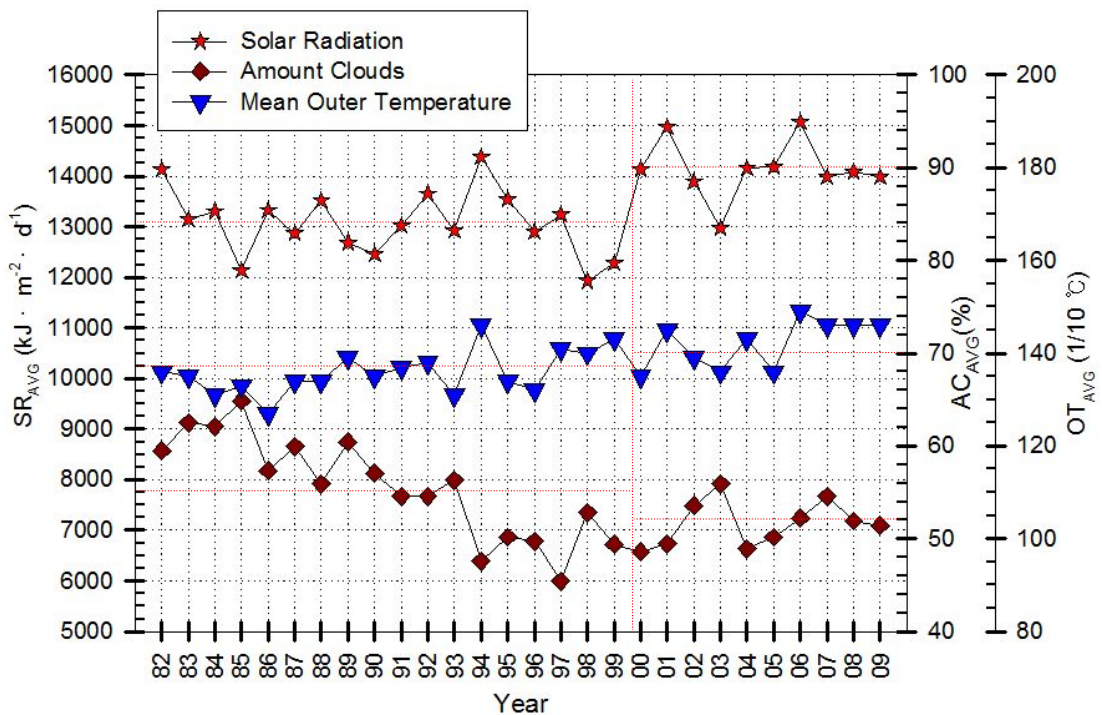


Fig 10. The local climate fluctuation in Gwangju for 28 years¹⁹⁾

Fig 11.은 2010년 광주지방의 태양에서 지구까지 도달하는 태양복사량을 나타내는 대기복사량(Extra Terrestrial Radiation)과 일사량을 월별로 나타낸 그래프이다.

지구공전 궤도가 태양과 거리가 가까운 겨울철과 거리가 먼 여름철의 대기복사량 값에 차이가 있는데 그 값은 $\pm 3.18\%$ 미만이나 지구의 공전과 자전에 의한 계절변화로 인한 일조시간을 고려한 ETR 값은 6월에 $41,102 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$, 12월의 $16,588 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 로 큰 차이를 보인다.¹⁹⁾

7월은 장마로 인하여 구름양이 77%, 강수량은 453 mm 로 매우 많기 때문에 일사량이 적으며, 8월도 구름양이 65% 로 일사량이 적게 나타났다.

이는 대기권 내에서의 대기와 지표의 산란, 수증기, 먼지, 가스에 의한 흡수와 반사로 인하여 일사량 값이 결정되기 때문에 일사량의 변화는 대기복사량과 연관성이 크지 않음을 알 수 있다.

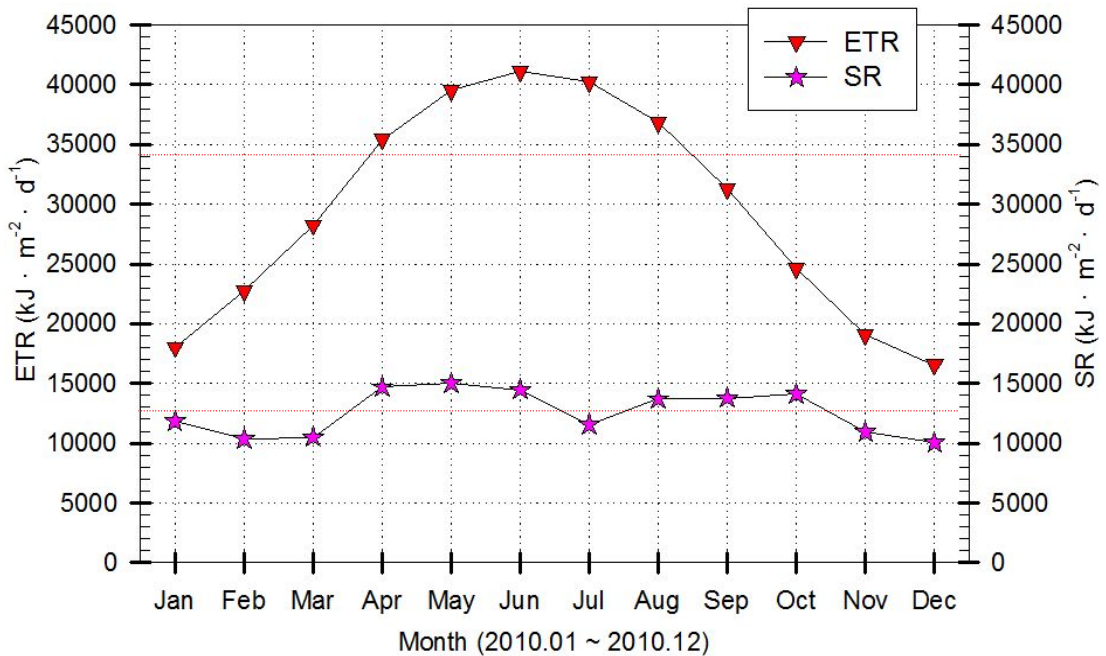


Fig 11. The solar radiation and the extra terrestrial radiation (35°10'N)

Fig 12.는 광주지방 기상청 자동관측시스템(AWS, 조선대학교)에서 측정한 구름의 양과 일조시간, 그리고 실험장치가 설치된 장소에서 측정한 일사량과의 관계를 나타낸 그래프이다.

구름의 양은 구름이 전혀 없을 때 0, 구름이 짙을 때를 10 으로 분류하여 구름의 양이 0%~30% 미만인 경우에는 맑은 날(0~3), 30%~60% 미만인 경우에는 구름적음(4~6), 60%~90% 미만은 구름 많음(6~9), 90% 이상인 경우에는 흐린 날(9~10)로 분류하였다. 밤에는 별이 보이지 않으면 구름이 덮인 것으로 간주한다.¹⁹⁾

그래프에서 6월부터 9월까지의 장마와 우기의 기후조건 때문에 구름의 양이 많고 일사량은 감소하는 것을 볼 수 있어 구름의 양과 일사량은 반비례 관계임을 알 수 있다.

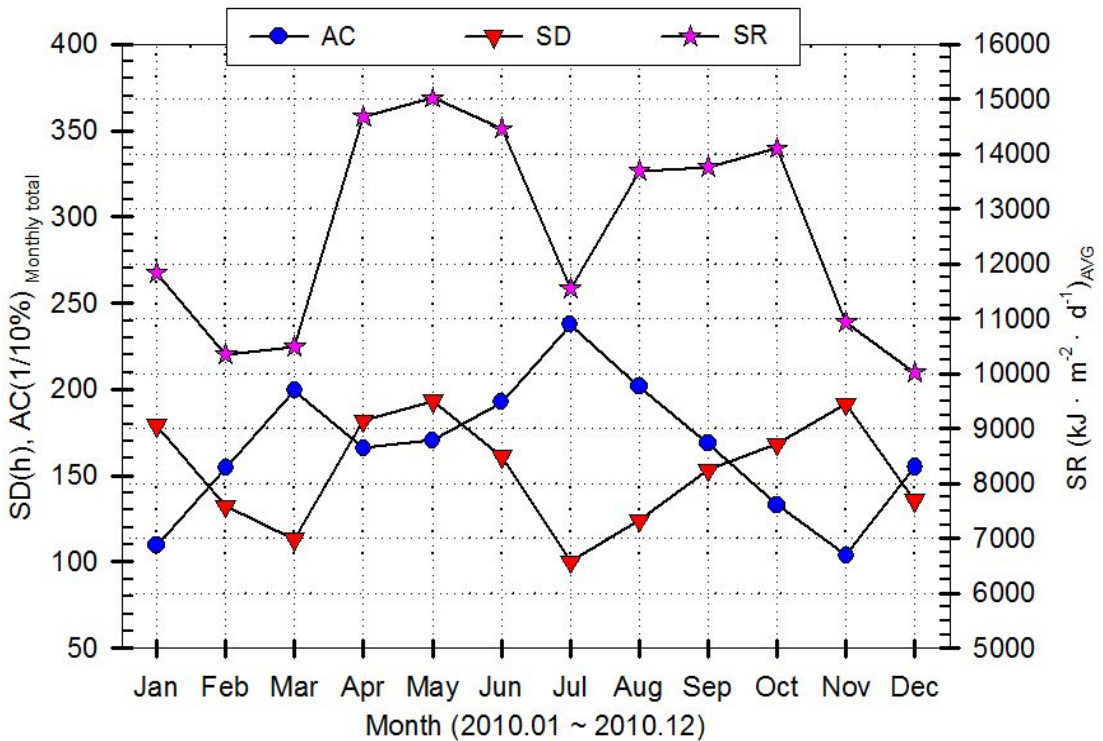


Fig 12. The monthly average of solar radiations and the amount of cloud

4.1 내부온도 변화에 따른 응축

4.1.1 맑은 날

계절과 기상에 따라 달라지는 일사량은 대기권 내에서 산란, 흡수, 반사의 과정을 통하여 지표면에 도달하게 된다. 따라서 구름의 양과 대기의 투명도에 따라 지표면에 도달하는 일사량은 다르게 측정된다. 실험장소인 광주지방에서의 2010년 1년 간 구름의 양이 30% 미만인 맑은 날은 87일로 측정되었다.

Fig 13.은 일사량이 $20,778 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며, 구름의 양이 13% 인 날로서 우리나라 여름철의 평균적인 일사량을 받은 날(2009.08.22)의 45° 경사각을 갖는 실험장치에서 물과 공기온도 변화에 따른 응축특성을 나타내는 그래프이다.

실험장치 내부의 물과 공기온도는 일사량과 비례하여 변화하는 것을 알 수 있고, 태양복사에너지는 온실효과에 의하여 온도상승과 증발에 의해 응축수발생의 직접적인 에너지원이 된다. 내부공기와 물온도 변화는 일사량에 따라 상승과 하강하며, 공기온도와 물의 온도변화의 정도는 두 물질의 비열차이로 인하여 다르게 나타나며 비열이 큰 물 온도 변화의 기울기가 작은 것을 볼 수 있다.

열용량이 작은 공기온도는 급격히 상승하여 13시경에 76°C 까지 상승하였고 일사량 감소와 함께 다시 하강하기 시작하였다. 즉 공기온도는 비열이 작아 일사량에 따라 즉각적인 반응을 보이며, 물의 온도 변화는 공기의 온도에 비하여 서서히 상승하여 15시에 50°C 까지 상승하고 일사가 감소하는 시간대에도 공기온도에 비하여 서서히 감소하여, 다음날 다시 일사가 시작되는 시간까지 공기온도보다 6°C 정도 높게 유지된다.

물은 온도상승 및 하강이 공기보다 느림을 알 수 있고, 공기와 물의 최고온도 차이는 26°C 이상이며, 응축수의 발생은 일사가 시작되어 공기온도가 상승하여 물 온도보다 높아지면서 10시 경부터는 발생되지 않았고, 일사량이 감소하는 13시 이후에 다시 발생하기 시작하였다.

Fig 13.에서 보이는 응축특성은 물과 공기온도의 상승으로 포화수증기가 생성되어 응축조건을 형성하나 유리표면의 온도가 일사로 인하여 공기온도와 함께 상승하여 포화수증기압력에 상응하는 온도이하로 내려가지 않기 때문에 응축되지 않다가 일사량의 감소로 외기온도와 유리표면의 온도가 하강하면서 응축되기 시작하였다.

공기온도가 최고점에 이르는 직전에 내부공기 온도보다 온도가 낮은 물과 벽면, 유리면의 영향으로 습도가 높은 내부공기가 이슬점 이하로 내려가 공기가 포화상태에 이르고 물방울로 응결되어 일시적으로 공기공간에서 안개(Fog)상태가 된다. 이 현상은 물의 온도가 높아져 수증기 공급원이 충분한 11시에서 12시 전·후에 발생한다.

응축은 유리표면이 외기에 접하여 영향을 받으므로 일사량이 감소하여 유리면의 온도가 낮아지는 시간대부터 시작되고, 물과 공기온도가 교차되는 시간 전·후에 급격하게 증가하며, 일몰시간 1시간 전에 최대의 응축수량을 보였다.

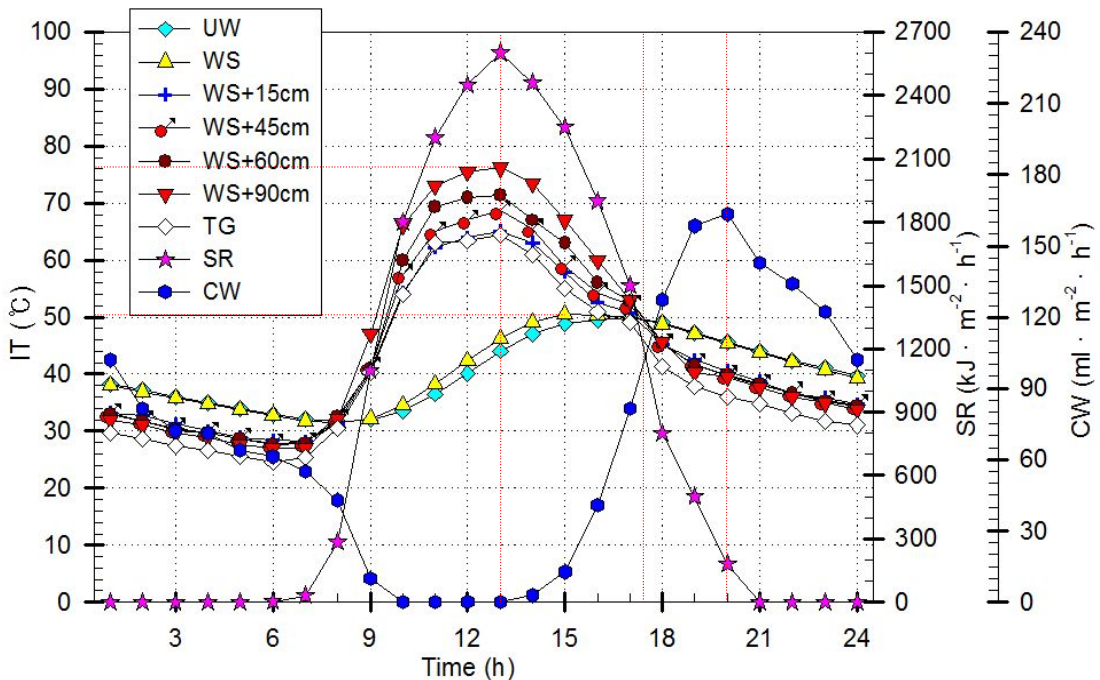


Fig 13. The inner temperature variation and the amount of condensed water at 45° tilted angle on a clear day (2009.08.22)

Fig 14.는 45° 경사각 실험장치의 내부공기와 물의 온도변화를 등온선으로 나타낸 것이다.

일사가 시작된 직후에 물 온도가 공기온도보다 높은 것을 볼 수 있는데, 공기온도는 벽체와 유리면으로의 열손실과 응축으로 인한 온도하강 상태이고, 물은 열용량이 커서 야간의 온도하강이 공기보다 적었기 때문이다.

이후 일사가 시작되면 비열이 작은 공기의 온도는 급격히 상승하여 물의 온도보다 높아져 온도가 교차하게 되는데 전날의 일사에 의한 응축은 이때부터 급격히 감소하게 된다.

일사로 인한 장치내부의 공기온도 변화는 외부공기 온도의 영향을 받는 유리표면과 물 표면과의 중간지점, 벽체의 중간지점인 중앙에서부터 급격하게 상승하여 대류현상에 의하여 장치의 상단부분에서 최고의 온도를 형성하게 된다.

최고의 온도를 갖는 시간대에 내부의 각 지점들의 온도분포는 유리표면의 경우에는 일사에 의하여 온도가 상승하나 외부공기의 영향으로 내부공기 온도보다는 낮게 형성되고, 물의 온도는 일사에 의하여 지속적으로 상승하나 비열이 커서 공기온도가 최고가 되는 시간보다 2 ~ 3시간 뒤에 최고온도에 도달하고, 공기온도는 유리표면과 매우 많은 차이를 보이며 일사량 증가와 감소에 따라 빠르게 변화한다.

일사가 감소함에 따라 내부 공기온도의 저하는 유리표면에서부터 시작되며, 온도의 하강 폭은 상승 때와 마찬가지로 매우 급격하게 감소하며, 일사량 감소는 즉시 내부온도의 하강으로 나타나 일사량과 내부공기 최고온도의 시간대는 동일하게 나타났다.

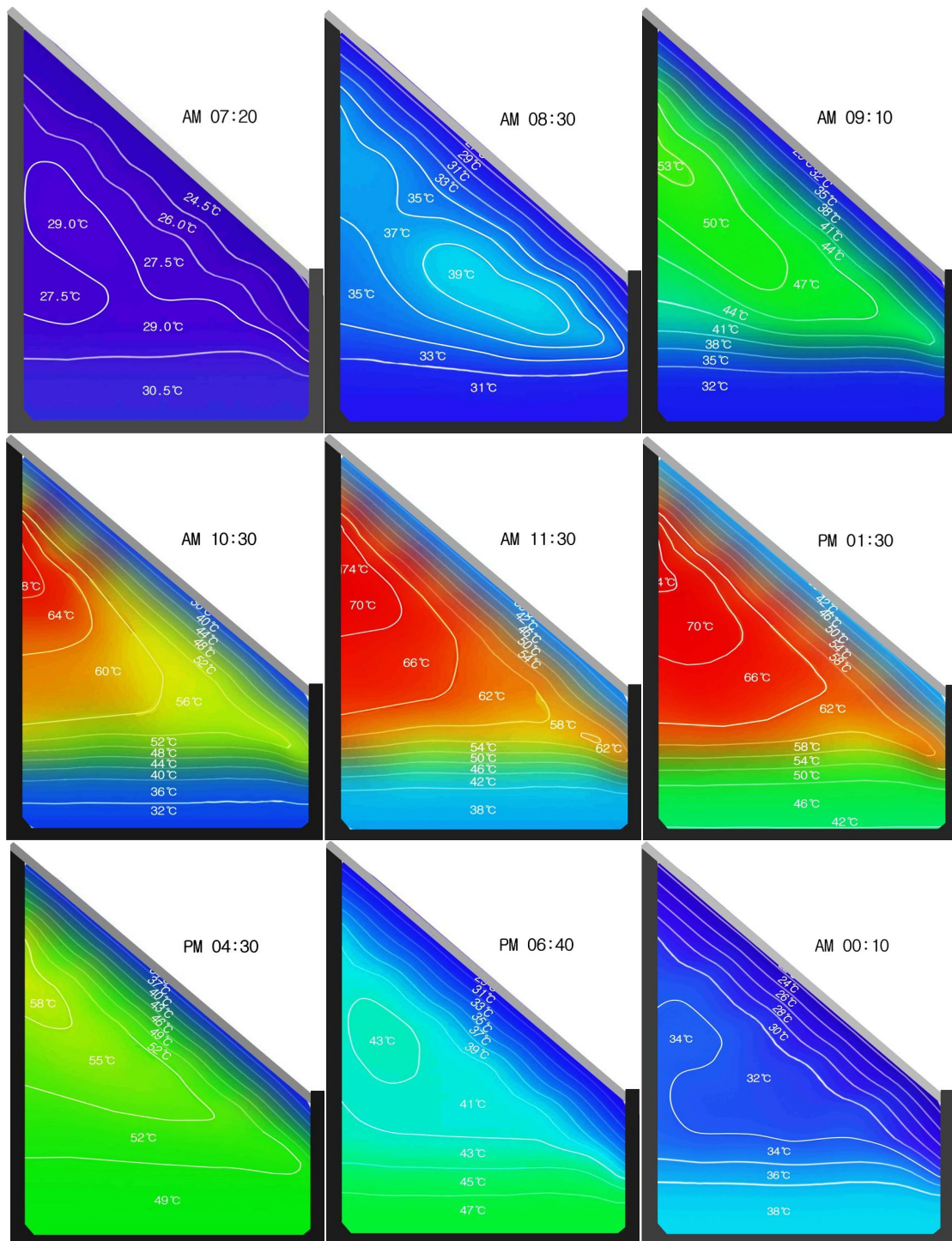


Fig 14. The isotherm at 45° tilted angle on a clear day (2009.08.22)

Table 3.은 맑은 날(2009.08.22)의 응축특성을 나타낸 표이다. 이 날의 태양 고도각에 수직한 집열면은 지면과 24° 이며 실험장치 중에서 30° 경사각이 가장 수직에 가까운 장치이다.

태양에 수직한 집열면적은 30° 경사각과 비교하여 15° 는 10.98% 가 적고, 45°와 60° 경사각은 각각 14.98%, 41.03% 크며, 집열면적 당 내부공기체적은 30° 경사각과 비교하여 15° 경사각은 29.90% 가 작고, 45° 는 32.49%, 60° 는 71.62% 가 크다.

일사에 의한 내부의 물과 공기온도 차이가 발생하고, 30° 경사각이 물의 온도가 가장 높아 많은 응축수가 발생하였다.

이때 30° 경사각이 1 ml 의 응축수를 발생하는데 9.67 kJ 의 일사량이 필요하였으며, 경사각 중 가장 적은 일사량으로 응축할 수 있어 경사각별로 30° > 15° > 45° > 60° 순으로 발생량의 차이가 있었다.

Table 3. The condensation characteristic at each tilted angle on a clear day (2009.08.22)

Division \ Tilted angle		15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)		20,778			
Vertical slope angle on the sun (°)		24.0			
Glass area (cm ²)		10,350	11,540	14,140	19,999
Inner air volume (cm ³)		254,000	407,000	620,000	985,000
Collecting area (cm ²)		10,220	11,480	13,200	16,190
Air volume per collecting area (cm ³ /cm ²)		24.85	35.45	46.97	60.84
Maximum temperature (°C)	Water	56.4	56.7	50.6	51.8
	Air	65.3	67.9	76.2	81.6
Condensate amount (ml/m ² ·d)		1,653	2,148	1,644	1,638
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)		12.57	9.67	12.64	12.68

Table 4.는 실험기간(2010.01 ~ 2010.12) 중 구름의 양이 30% 미만인 맑은 날인 87 일 간의 기상조건과 응축수 발생량을 나타낸 표이다.

기간 중 구름양의 평균은 13% 이며, 일조시간은 연간 평균값인 5시간 보다 80% 가 길어 9시간으로 나타났다. 맑은 날의 연간 일사량 평균값은 17,662 kJ/m²·d 로 일년 평균일사량 12,540 kJ/m²·d 보다 40.85% 높게 측정 되었고, 30° 경사각의 경우 연간 응축수 발생량의 25.33% 인 102,554 ml 의 응축수가 발생하였다.

경사각 별 응축수 발생량은 30° 경사각이 가장 많았는데, 이는 실험장소인 광주지방의 태양광이 수직으로 입사하는 각도가 지면과 연평균 35.1° 로서 경사각이 30° 인 장치에서 가장 많은 일사량을 받을 수 있어 많은 응축이 발생하였고, 1 ml 의 응축수가 발생하는 데에는 14.98 kJ 의 일사량이 필요하였다.

Table 4. The condensation characteristic on a clear day for a year
(2010.01 ~ 2010.12)

Division \ Tilted angle	15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)	17,662			
Amount of cloud (%)	13			
Duration of sunshine (h)	9.0			
Glass area (cm ²)	10,350	11,540	14,140	19,999
Average condensate amount (A clear day, ml/m ² ·d)	1,063	1,179	839	863
Condensate amount (A clear day, ml/m ² ·y)	92,478	102,554	72,956	75,048
Condensate amount (ml/m ² ·y)	381,204	404,846	276,247	272,969
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)	16.62	14.98	21.05	20.47

Fig 15.는 실험기간 중 맑은 날의 응축수 발생량과 일사량과의 관계를 회귀분석 한 결과이다.

맑은 날 중에서 일사량이 $10,000 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이상인 날들은 30° 경사각에서 가장 많은 응축수가 발생하였고, 일사량이 $10,000 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 미만인 날에는 60° 경사각에서 많이 발생하였다.

구름이 적고, 일사량이 많은 날에 응축수량이 적게 발생한 날들은 1월과 2월, 12월에 나타났는데 이는 외기온도가 낮아서 장치의 벽면, 바닥면으로의 열손실로 인하여 장치 내부의 물과 공기의 온도상승이 적었기 때문이다. 45° , 60° 장치는 벽체면적이 커서 열손실이 많으며, 집열면적 당 가열해야하는 공기체적이 커져 온도상승이 적으며 응축수량이 적게 나타났다.

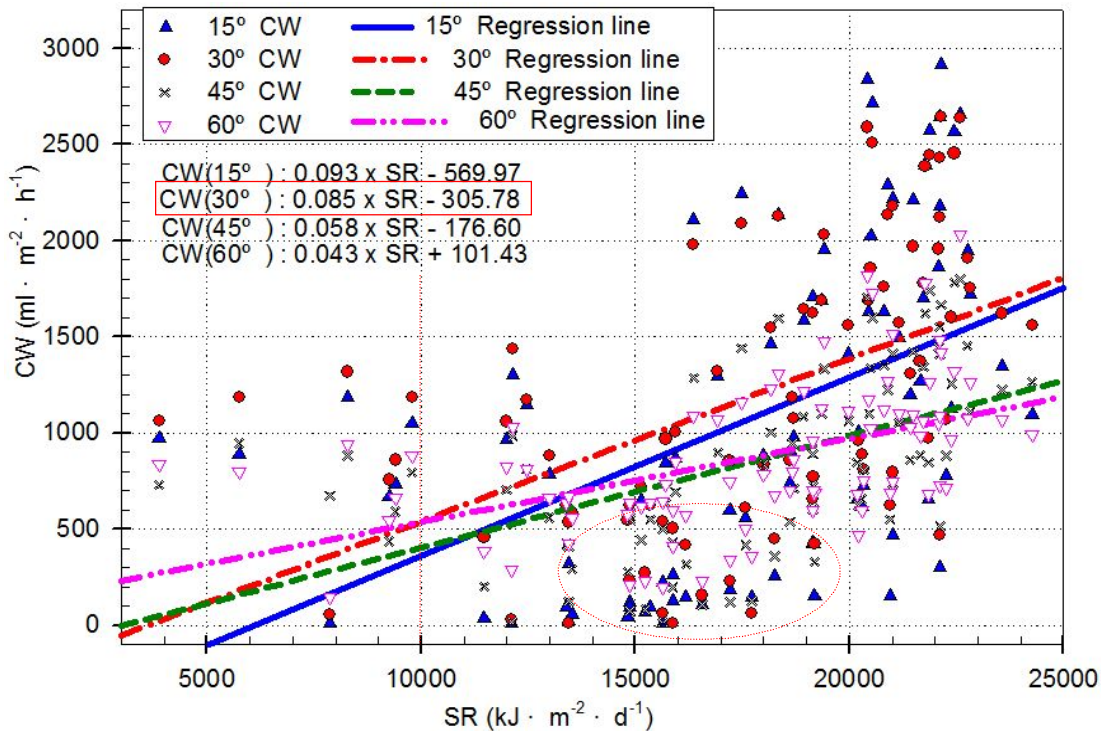


Fig 15. The relations of Solar radiation and condensed water on clear days (2010.01 ~ 2010.12)

4.1.2 구름 적은 날

Fig 16.은 일사량이 $18,867 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며, 구름의 양이 43% 인 날의 15° 경사각을 갖는 실험장치의 물과 공기온도 변화에 따른 응축특성을 나타내는 그래프이다.

장치 내부의 물과 공기온도는 일사량과 비례하는 경향으로 변화하는 것을 알 수 있고, 일사가 시작되는 6시부터 장치내부의 공기와 물의 온도가 상승하기 시작하며, 공기온도는 급격히 상승하여 14시 경에 59°C 까지 상승한 후 급격히 하강하는 것을 볼 수 있다. 물의 온도는 공기에 비하여 서서히 상승하여 15시 경에 45°C 까지 상승하고 일사가 감소하는 시간대에도 공기에 비하여 서서히 감소하여 다음날 다시 일사가 시작되는 시간까지 공기온도보다 5°C 정도 높게 유지되었다.

응축수 발생은 일사가 시작되어 공기온도가 물의 온도보다 높아지면서 감소하고, 일사량이 감소하면서 서서히 응축이 증가하고 물과 공기온도가 교차되는 시간대에서 급격하게 증가하며, 일몰시간 2시간 전에 최대의 응축수량을 보였다.

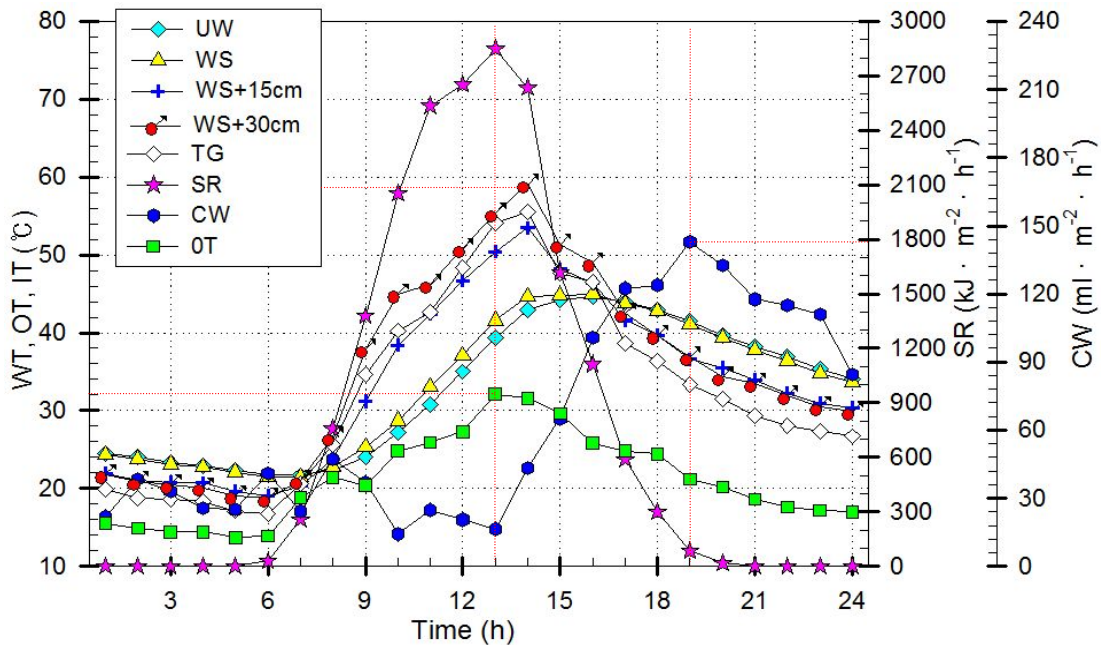


Fig 16. The inner temperature variation and the amount of condensed water at 15° tilted angle on a small cloudy day (2009.05.29)

Table 5.는 구름 적은 날(2009.05.29)의 경사각별로 응축특성을 나타낸 그래프이다. 태양 고도각에 수직한 집열면의 각도는 지면과 13.4°이며, 실험장치 중에서 15° 경사각이 가장 수직에 가까운 장치이다. 태양과 수직한 집열면적의 크기는 15° 경사각과 비교하여 30°는 6.86%가 크고, 45°와 60° 경사각은 각각 15.33%, 32.75%가 크며, 집열면적 당 내부 공기체적은 15° 경사각과 비교하여 30° 경사각은 44.91%, 45°는 109.82%, 60°는 192.13%가 커서 공기체적에 의한 공기온도의 차이와 상·하부공기의 온도차이가 발생하며, 하부의 공기온도가 높은 15° 장치의 물의 온도가 가장 높아 응축수가 많이 발생하였다.

이때 15° 경사각이 1 ml의 응축수를 발생하는데 12.57 kJ의 일사량이 필요하여 경사각 중 가장 적은 일사량으로 응축할 수 있고 경사각별로 15° > 30° > 45° > 60° 순으로 발생하였다.

Table 5. The condensation characteristic at each tilted angle on a small cloudy day (2009.05.29)

Tilted angle		15°	30°	45°	60°
Division					
Solar radiation (kJ/m ² ·d)		18,867			
Vertical slope angle on the sun (°)		13.4°			
Glass area (cm ²)		10,350	11,540	14,140	19,999
Inner air volume (cm ³)		254,000	407,000	620,000	985,000
Collecting area (cm ²)		10,350	11,060	12,040	13,740
Air volume per collecting area (cm ³ /cm ²)		24.54	36.79	51.49	71.69
Maximum temperature (°C)	Water	44.6	42.8	39.7	35.4
	Air	59.1	61.1	69.2	70.4
Condensate amount (ml/m ² ·d)		1,501	1,433	1,030	854
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)		12.57	13.17	18.32	22.09

Table 6.은 실험기간 중(2010.01 ~ 2010.12) 구름의 양이 30 ~ 50% 인 날인 112일 동안의 응축수 발생특성을 나타낸 표이다.

기간 중 구름양의 평균은 44% 이며, 일조시간은 연간 평균값 5시간보다 34% 가 길어 6.7시간으로 나타났다. 구름 적은 날들의 연간 일사량평균값은 14,797 kJ/m²·d 로 연간 평균일사량 12,540 kJ/m²·d 보다 18.0% 높게 측정 되었고, 30° 경사각의 경우 연간 응축수 발생량의 36.53% 인 147,908 ml/m²·y 가 발생하였다.

경사각별 응축수 발생량은 30° 경사각이 가장 많았는데, 이는 실험장소인 광주지방의 태양광이 수직으로 입사하는 경사면의 각도가 연평균 35.1° 로서 장치의 경사각이 30° 인 장치에서 가장 많은 일사량을 받을 수 있어 가장 많은 응축이 발생하였고 1 ml 의 응축수가 발생하는 데에는 11.20 kJ 의 일사량이 필요하였다.

Table 6. The condensation characteristic on a small cloud day
(2010.01 ~ 2010.12)

Division \ Tilted angle	15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)	14,797			
Amount of cloud (%)	44			
Duration of sunshine (h)	6.7			
Glass area (cm ²)	10,350	11,540	14,140	19,999
Average condensate amount (A small cloud day, ml/m ² ·d)	1,287	1,321	888	862
Condensate amount (A small cloud day, ml/m ² ·y)	144,098	147,908	99,412	96,582
Condensate amount (ml/m ² ·y)	381,204	404,846	276,247	272,969
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)	11.49	11.20	16.66	17.16

Fig 17.은 실험기간 중 맑은 날의 응축수 발생량과 일사량과의 관계를 회귀분석 한 결과이다.

일사량이 $18,000 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이상인 날에는 15° 경사각에서, 일사량이 $18,000 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 미만인 날에는 30° 경사각에서 많은 응축수가 발생 하였다.

구름이 적은 날의 분포가 응축수량이 많은 봄철, 여름철과 가을철에 분포하여 일사량이 많고 외기온도가 높아 열손실이 적어서 내부 물 온도가 고온으로 상승하였다.

Fig 17.에서 우측 아랫부분의 Data는 일사량은 많으나 응축수량이 적은 날들로서 겨울철의 Data가 많이 분포되었다. 즉 겨울철에는 일사량이 많아도 외기온도가 낮아져 있어 내·외부의 온도 차이에 의한 열손실로 인하여 응축수량이 적게 발생되었음을 알 수 있었다.

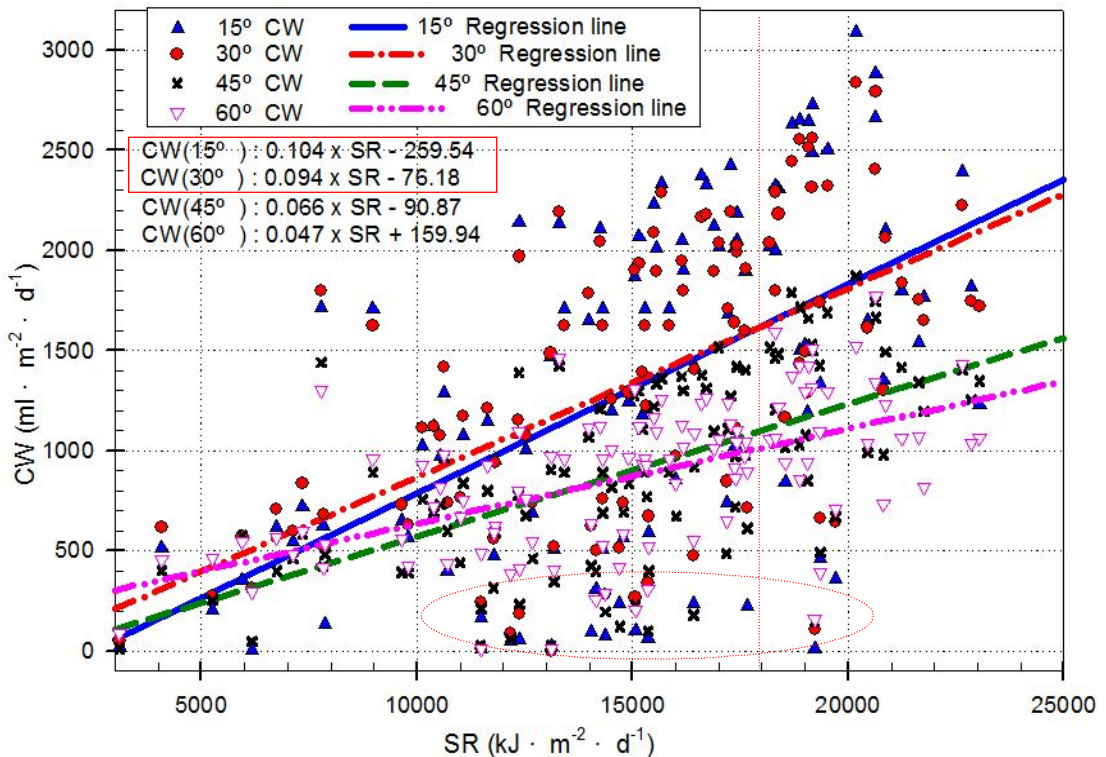


Fig 17. The relations of solar radiation and the amount of condensed water at each tilted angle on small cloudy days (2010.01 ~ 2010.12)

4.1.3 흐린 날

Fig 18.은 일사량이 $3,891 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며 구름의 양이 93% 인 9월 14일의 일사량과 온도변화, 응축특성을 나타낸 그래프이다.

전날의 일사량($19,301 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$)의 영향으로 응축수량이 많았으며, 9월 평균일사량인 $13,736 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 의 28.32% 로 줄었으나 응축수 발생량은 9월 평균응축수량인 $1,593 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d}$ 의 89.64% 인 $1,428 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d}$ 로 감소하여 일사량에 비하여 응축수량의 감소가 적은 것은 전날의 기상에 영향을 받았기 때문이다.

구름의 양이 많고 일사량이 적어서 일출 때보다 내부공기 온도는 8°C , 외기온도는 5.5°C 상승에 불과하였으며, 물의 온도는 일사가 시작된 이후에도 2°C 미만의 상승을 보였고, 10시부터는 0.1 mm 의 비가내린 영향으로 유리면온도가 하강하고 일시적으로 응축수가 상승한 것을 볼 수 있다. 일사량이 적으면 내부온도 상승이 작아 응축수량이 적었다.

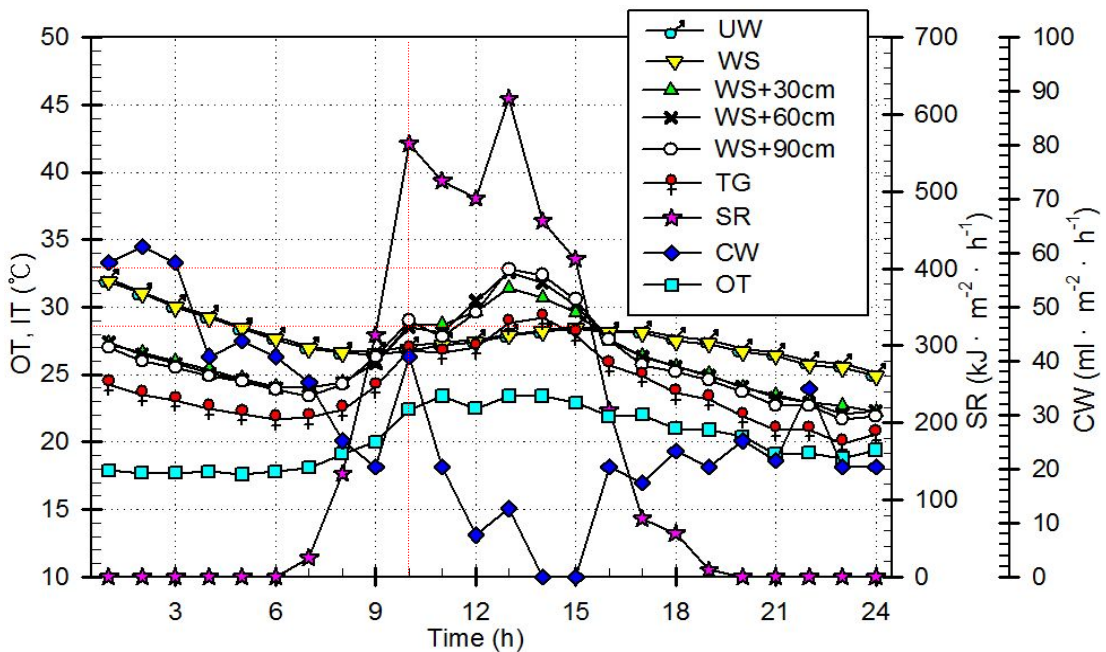


Fig 18. The relation of condensed water, solar radiations, and inner and outer temperature and time at 45° tilted angle on a cloudy day (2009.09.14)

Fig 19.는 일일 일사량이 3,891 kJ/m²·d 이며 구름의 양이 93% 인 날(2009.09.14)의 내부온도변화를 등온선으로 표시한 것이다.

등온선 그래프에서 07시, 10시, 13시의 45° 경사각 내부는 공기온도가 8℃ 상승하고 물의 온도변화가 매우적은 것을 볼 수 있다. 따라서 이 날의 응축수 발생량의 대부분은 전일의 일사에 의한 것이다.

응축수를 발생하기위한 열원인 일사량은 공기온도와 물의 온도상승의 에너지원이며, 응축수 발생량과 직접적인 관계가 있다. 따라서 일사량이 많고 적음은 기상과 관계가 되므로 구름의 양과 외부공기의 온도, 강수에 의해 응축수량이 결정됨을 알 수 있다.

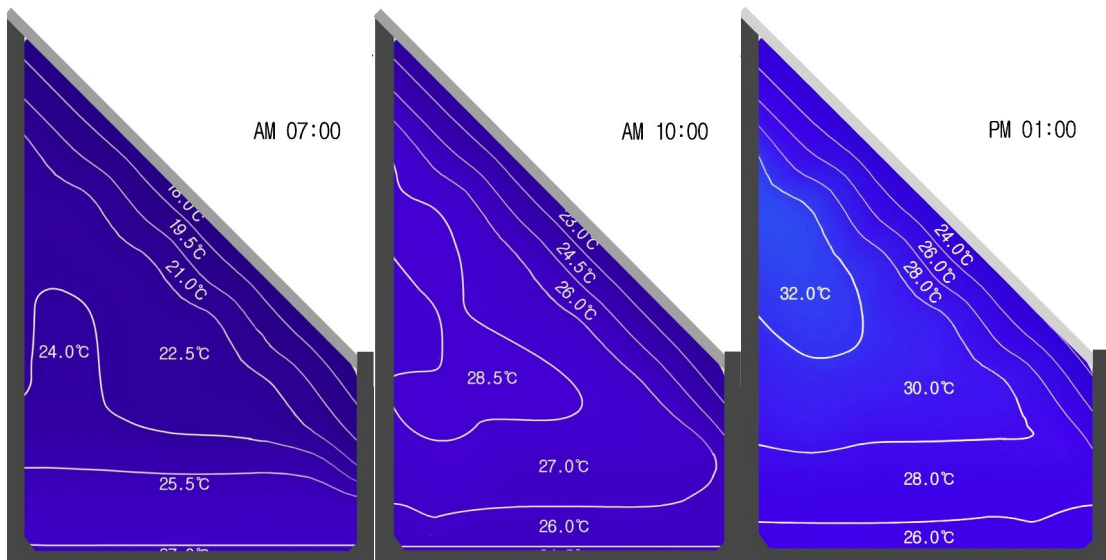


Fig 19. The isotherm at 45° tilted angle on a cloudy day (2009.09.14)

Table 7.은 구름의 양이 93% 로 일사량이 매우적은 날로서 경사각별로 매우 작은 온도 차이를 보여 응축수량도 적었다.

또한 경사각별 응축수의 발생량은 $60^\circ > 45^\circ > 30^\circ > 15^\circ$ 순으로, 이는 표에서 보는 바와 같이 집열면적이 경사각이 큰 장치가 매우커서 일사량을 많이 받을 수 있기 때문에 내부공간의 포화수증기량의 차이가 발생하여 내부 공간체적이 큰 장치에서 많은 응축이 이루어짐을 알 수 있다.

Table 7. The condensation characteristic at each tilted angle on a cloudy day (2009.09.14)

Division \ Tilted angle		15°	30°	45°	60°
		Solar radiation (kJ/m ² ·d)	3,891		
Vertical slope angle on the sun (°)	32.8°				
Glass area (cm ²)		10,350	11,540	14,140	19,999
Inner air volume (cm ³)		254,000	407,000	620,000	985,000
Collecting area (cm ²)		9,850	11,530	13,820	17,800
Air volume per collecting area (cm ³ /cm ²)		25.78	35.30	44.86	55.34
Maximum temperature (°C)	Water	28.7	28.3	28.4	27.5
	Air	30.9	31.8	30.8	34.30
Condensate amount (ml/m ² ·d)		597	653	671	734
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)		6.52	5.96	5.80	5.30

Table 8.은 실험기간(2010.01 ~ 2010.12) 중 구름의 양이 90% 이상인 흐린 날은 62 일 동안으로 기상조건과 응축수 발생량을 나타낸 표이다.

기간 중 구름량 평균은 97% 이며 일조시간은 연간 평균인 5.0시간 보다 매우 짧은 0.4시간에 불과했다.

흐린 날의 연간 평균일사량 값은 5,025 kJ/m²·d 이었으며, 일사량이 작아서 응축수 량이 적기도 하였지만, 응축수량은 내부체적과도 관계가 있음을 Table 7.에서 볼 수 있고, Table 8.에서도 경사각이 큰 장치의 경우 흐린 날의 경우 다른 날씨보다 상대적으로 응축수량이 많음을 볼 수 있다.

경사각 별 응축수 발생량은 30° 경사각이 가장 많았는데, 이는 실험장소인 광주지방의 태양광이 수직으로 입사하는 경사면의 각도가 1년 평균 35.1° 로서 장치의 경사각이 30° 인 장치에서 가장 많은 일사량을 받을 수 있어 가장 많은 응축이 발생하였고 1 ml 의 응축수가 발생하는 데에는 6.82 kJ 의 일사량이 필요하였다.

Table 8. The condensation characteristic on a cloudy day for a year (2010.01 ~ 2010.12)

Division \ Tilted angle	15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)	5,025			
Amount of cloud (%)	97			
Duration of sunshine (h)	0.4			
Glass area (cm ²)	10,350	11,540	14,140	19,999
Average condensate amount (A cloudy day, ml/m ² ·d)	643	737	521	512
Condensate amount (ml/m ² ·y)	381,204	404,846	276,247	272,969
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)	7.81	6.82	9.45	9.81

Fig 20.은 실험기간(2010.01 ~ 2010.12) 중 흐린 날의 응축수 발생량을 일사량과의 관계를 회귀분석 한 결과이다.

흐린 날들은 여름철의 장마와 우기에 주로 나타나며, 따라서 태양과 수직인 집열면의 경사각이 Table 7.에서 본 바와 같이 32.8° 로서 30° 경사각에서 가장 많은 응축수가 발생하였다.

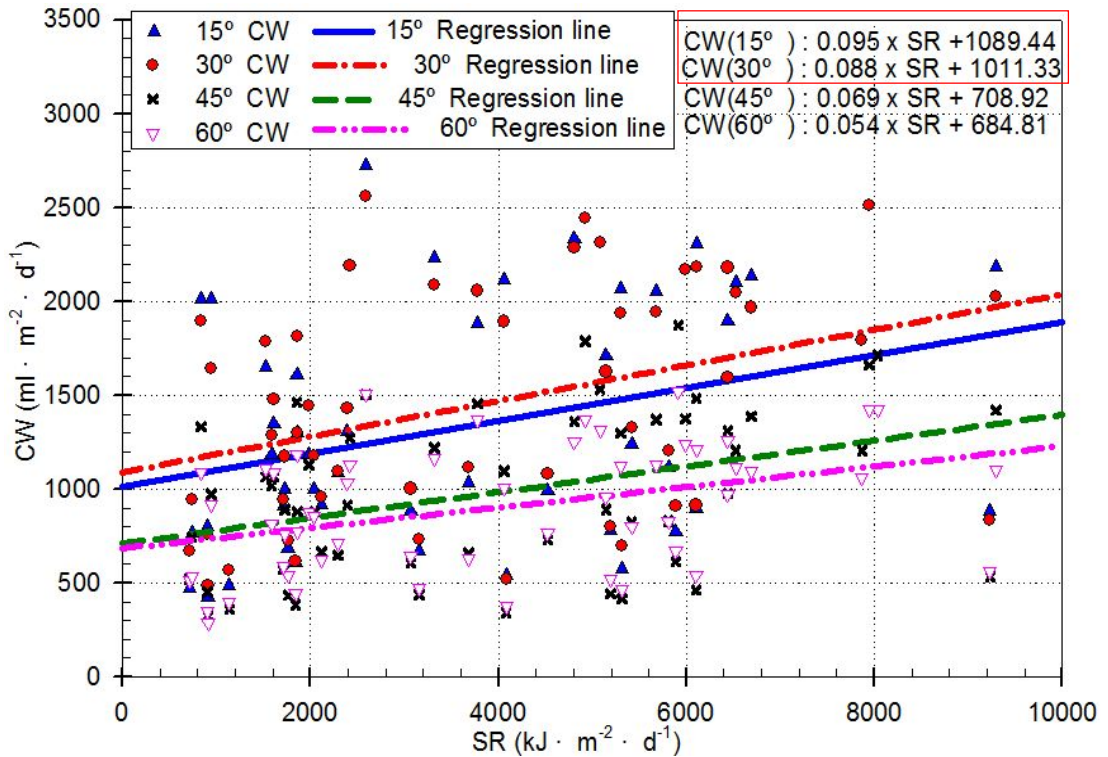


Fig 20. The solar radiations and the condensed water on cloudy days at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

4.1.4 비 온 날

Fig 21.은 일사량이 $4,319 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며, 구름의 양이 79%, 강수량이 62.1 mm 로서 오전 11시부터 18시까지 많은 비가 내린 날의 응축특성을 나타낸 그래프이다.

이 날의 일사량은 10시까지는 맑은 날과 같이 증가하였으나 그 후부터는 비가 내려 급격히 감소하여 매우 적은 양이 측정되었다. 따라서 내부온도의 변화는 10시까지 일사에 의한 온도상승이 14시에 최고를 보였고 65°C 까지 상승하였다.

물의 온도상승은 40°C 까지 상승하여 일사량이 최고인 시간대를 제외하고는 지속적으로 적은 양의 응축수가 발생되었다.

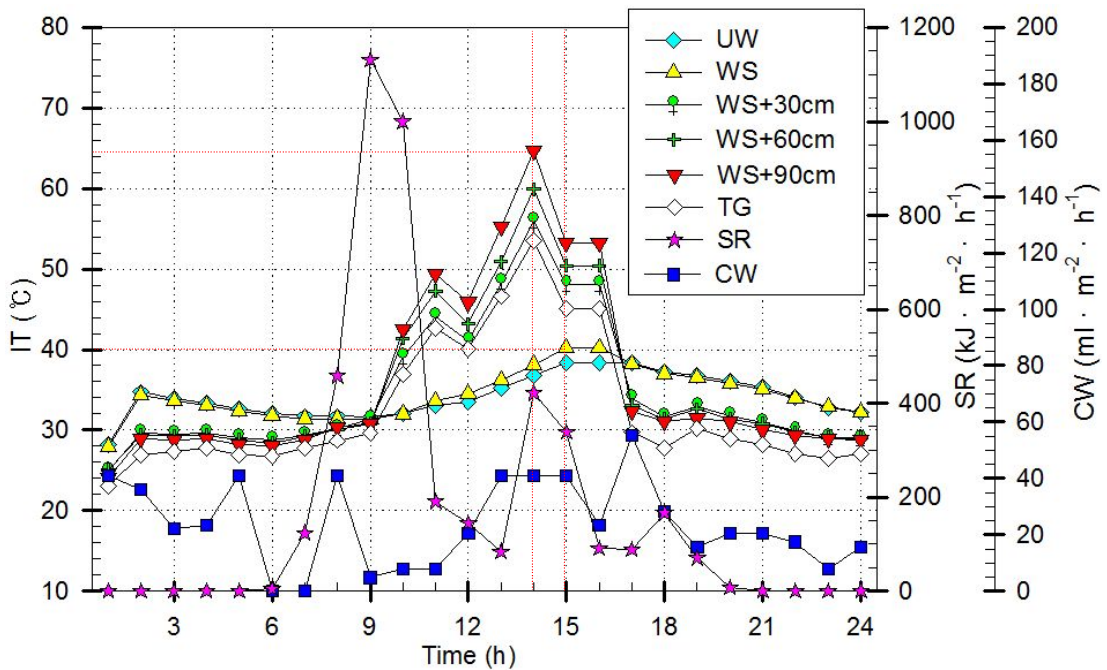


Fig 21. The inner temperature, the condensed water and the solar radiations at 45° tilted angle on a rainy day (2009.08.07)

Fig 22.는 해당일(2009.08.07)의 일사가 오전 10시에 급격히 줄어들고 비가 내림으로서 11시의 온도가 12시의 온도보다 높은 현상이 발생하였으나 비가 오는 도중에도 일시적인 일사가 있어 온도가 다시 상승하여 14시경에 최고온도에 도달하였다.

내부공기의 온도는 일사에 따라 상승하거나 하강하는 것을 볼 수 있고, 물의 온도는 서서히 상승하고 하강하는 것을 볼 수 있다.

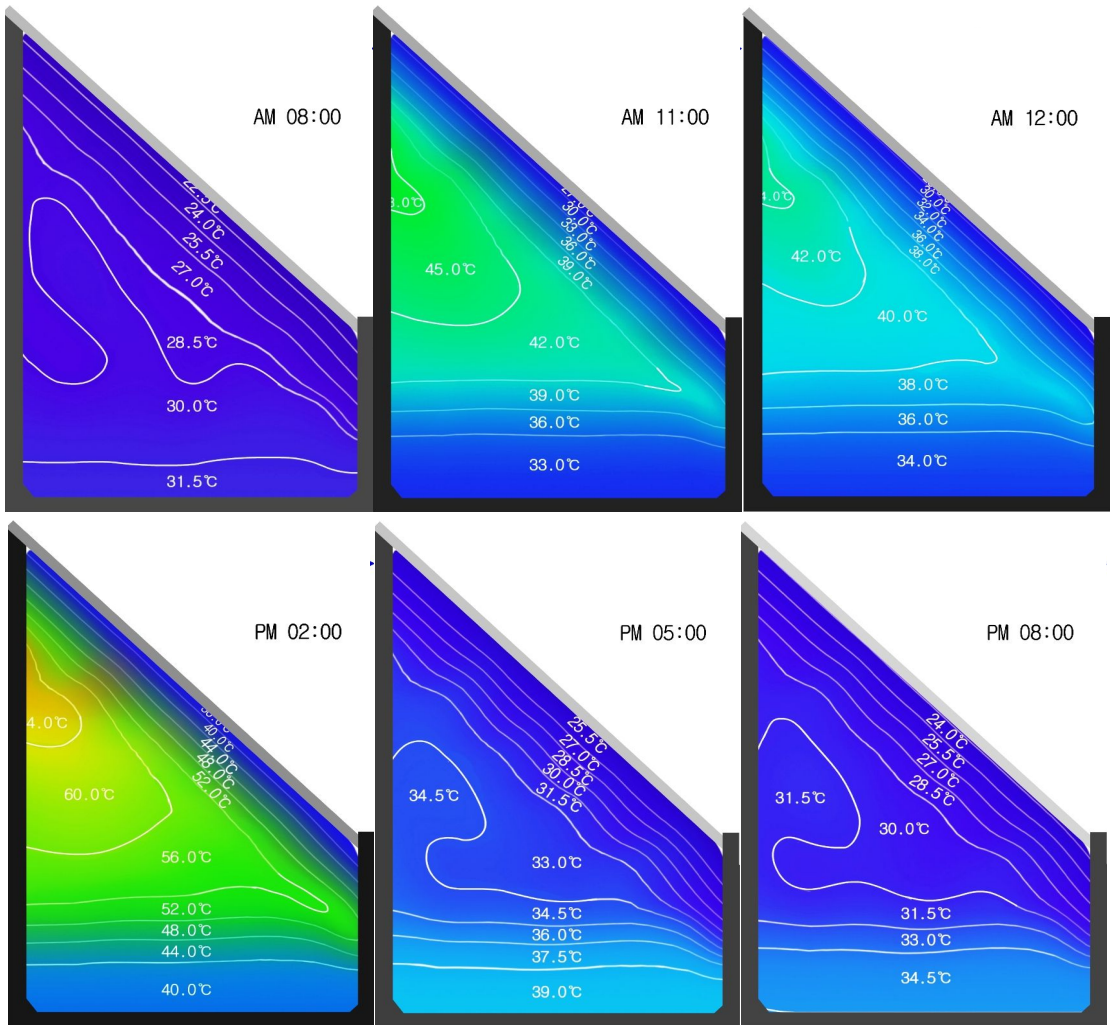


Fig 22. The isotherm at 45° tilted angle on a rainy day (2009.08.07)

Table 9.는 10시 이후부터 구름이 많아지고 12시 이후부터는 매우 많은 양(62.1 mm)의 비가 온 날의 응축특성이다.

오전부터 구름이 많고 비가 옴으로 인하여 일사량이 작아 물의 온도상승이 매우작고, 경사각별 물의 온도차이가 5℃ 이내이며, 공기온도는 비열이 작은 관계로 65.8℃까지 42℃ 상승하였으나, 물의 온도는 상승하지 못하여 응축량은 내부 공기체적이 큰 장치에서 많은 양이 응축되었고, 경사각별로 711 ml(60°) > 653 ml(30°) > 588 ml(15°) > 571 ml(45°) 순으로 응축되었다.

이 날의 태양과 수직경사면의 각도는 19.1°로서 경사각별 집열면적은 1.03 m²(15°) < 1.13 m²(30°) < 1.27 m²(45°) < 1.51 m²(60°)이며, 집열면적이 넓은 경사각이 큰 장치에서 많은 양의 응축수가 발생하였다.

Table 9. The condensation characteristic at each tilted angle on a rainy day (2009.08.07)

Division \ Tilted angle		15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)		4,319			
Vertical slope angle on the sun (°)		19.1°			
Glass area (cm ²)		10,350	11,540	14,140	19,999
Inner air volume (cm ³)		254,000	407,000	620,000	985,000
Collecting area (cm ²)		10,330	11,330	12,720	15,120
Air volume per collecting area (cm ³ /cm ²)		24.59	35.92	48.74	65.15
Maximum temperature (°C)	Water	42.3	45.0	40.2	40.4
	Air	55.2	57.6	64.7	65.8
Condensation volume (A rainy day, ml/m ² ·d)		588	653	571	711
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)		7.74	6.61	7.56	6.07

Table 10.은 실험기간 중(2010.01 ~ 2010.12) 비가 온 날은 122일 동안으로 기상조건과 응축수 발생량을 나타낸 표이다.

기간 중 구름양 평균은 83% 이며, 연간 평균일조시간은 5.0시간 보다 매우 짧아 1.9시간에 불과했다. 비 온 날의 연간 평균일사량 값은 8,242 kJ/m²·d 이었으며, 연평균 일사량 12,540 kJ/m²·d 의 66% 정도로서 일사량에 의한 응축조건 형성에 불리하였다.

30° 경사각의 경우 연간 응축수 발생량의 30.38% 인 123,006 ml 의 응축이 발생하여 가장 많았으며, 이는 실험장소인 광주지방의 태양광이 수직으로 입사하는 경사면의 각도가 연평균 35.1° 로서 장치의 경사각이 30° 인 장치에서 가장 많은 일사량을 받을 수 있어 응축수량이 많았다.

1 ml 의 응축수가 발생하는 데에는 8.18 kJ 의 일사량이 필요하였다.

Table 10. The condensation characteristic on a rainy day for a year
(2010.01 ~ 2010.12)

Division \ Tilted angle	15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)	8,242			
Amount of cloud (%)	83			
Duration of sunshine (h)	1.9			
Glass area (cm ²)	10,350	11,540	14,140	19,999
Average condensate amount (A rainy day, ml/m ² ·d)	945	1,008	681	661
Condensate amount (ml/m ² ·y)	381,204	404,846	276,247	272,969
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)	8.72	8.18	12.10	14.4

Fig 23.은 실험기간 중 비 온 날들의 응축수 발생량과 일사량의 관계를 회귀분석 한 결과이다.

비 온 날의 경우 일사량에 관계없이 30° 경사각에서 가장 많은 양이 발생하였고, 45°, 60° 경사각에서는 적은 양의 응축수가 발생하였는데, 이는 구름이 많아 일사량이 적고, 경사각이 큰 장치는 장치내부의 공기체적이 커서 일사량에 의한 공기와 물의 온도상승이 불리하였기 때문이다.

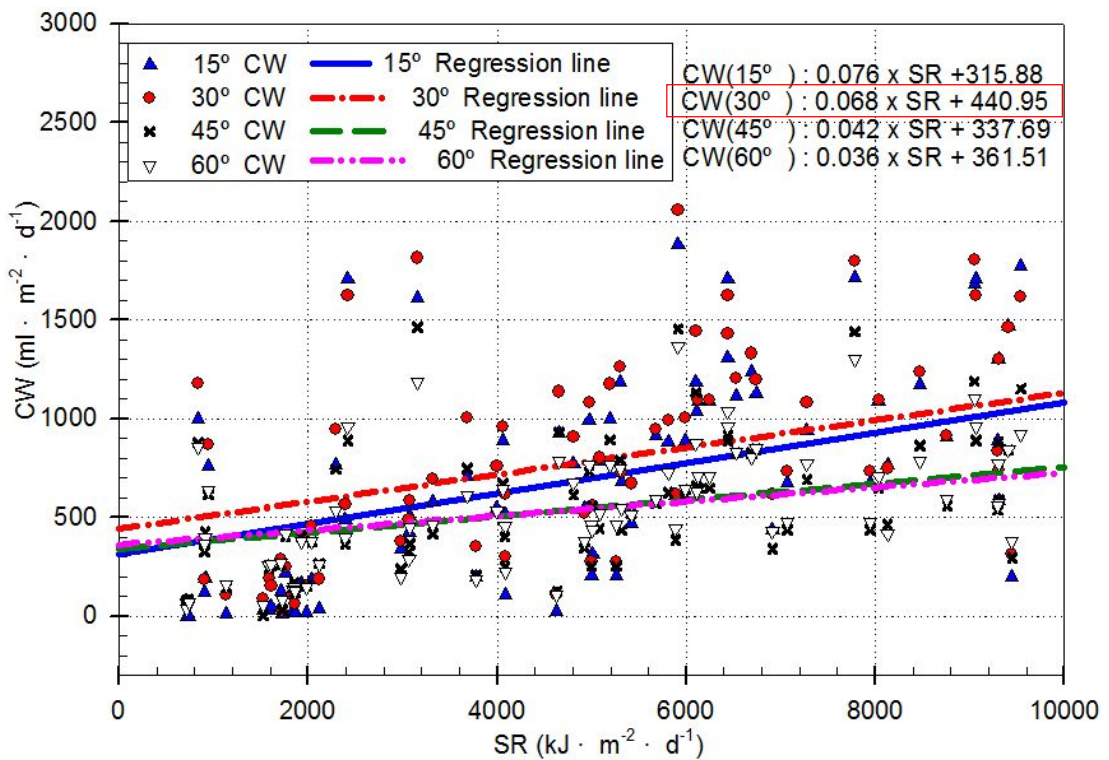


Fig 23. The solar radiation and the condensed water on rainy days at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

4.1.5 눈 온 날

Fig 24.는 일사량이 $8,960 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며 구름의 양이 65%, 적설량이 9.5 cm 인 날의 응축특성을 나타낸 그래프이다.

이 날은 1시 ~ 9시, 17시 ~ 19시까지 눈이 내린 날로서 일사가 시작된 후에도 구름으로 인하여 내부 공기온도가 지속적으로 상승하지 못하고 45° 경사각의 경우 공기온도는 44°C , 물의 온도는 12°C 까지 밖에 상승하지 못하였으며, 전날의 일사량도 적어서 응축수량이 매우 적게 측정되었다.

외기온도의 경우 4°C 가 최고로서 낮 시간에도 영하인 시간대가 많았다. 또한 3시부터 9시까지는 유리면이 결빙되어 응축이 거의 없다가 일사가 시작되면서 해빙과 동시에 많은 응축이 발생하였다. 겨울철에는 일조시간이 짧아 일사량이 적기 때문에 물과 공기의 온도상승이 작아 지속적인 증발과 응축이 이루어지지 못하여 일사가 있는 시간대에 증발한 수증기만이 응축되어 응축수량이 매우 적었다.

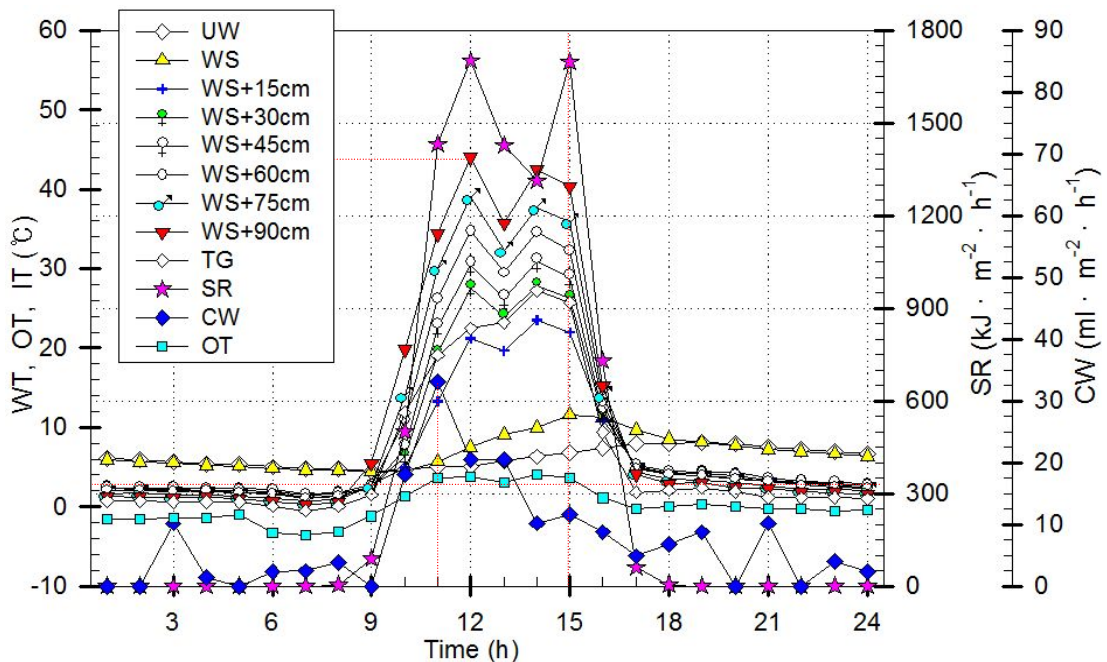


Fig 24. The inner temperature variation and the amount of condensed water at 45° tilted angle on a snowy day (2009.12.20)

Fig 25.는 60° 경사각 장치의 온도변화와 응축특성을 나타내는 그래프로서 45° 경사각에서의 응축특성과 유사한 특성을 나타내고 있다.

적은 일사량으로 인하여 물의 온도상승은 매우 적고 공기온도만 일부가 상승하여 장치 내부공기가 함유하는 수분량 만큼만 응축되었다. 따라서 일사량이 매우 적은 흐린 날, 비 온 날과 같이 겨울철 눈 온 날의 응축특성은 내부 공기체적이 큰 장치에서 많은 양이 응축되는 특성을 보였다.

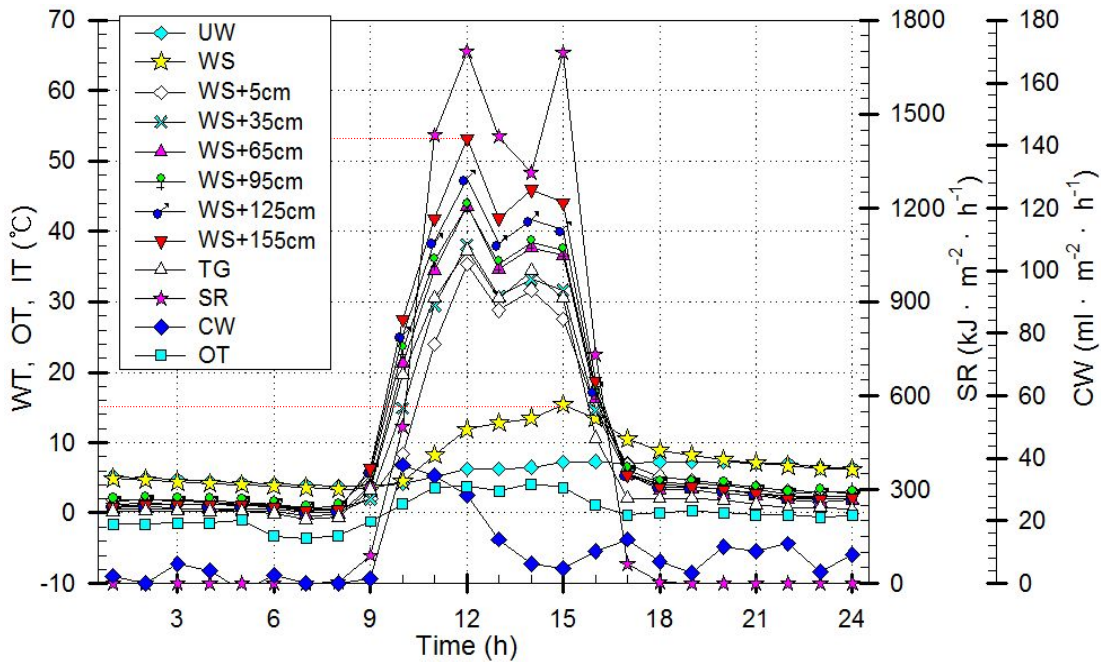


Fig 25. The inner temperature variation and the amount of condensed water at 60° tilted angle on a snowy day (2009.12.20)

Table 11.은 8,960 kJ/m²·d 이며 구름의 양이 65%, 적설량이 9.5 cm 인 날의 응축특성을 나타낸 표이다.

이날의 태양 고도각이 32.50° 이며, 태양과 수직하는 경사면이 58.5° 로서 경사각이 큰 장치일수록 태양광과 수직하는 집열면적이 증가하여 15° 경사장치에 비하여 60° 경사장치는 2.6배가 커서, 경사각이 큰 장치가 물과 공기온도 모두 높게 나타나고, 응축수량도 경사각별로 60° > 45° > 30° > 15° 순으로 발생하였다. 가장 많이 발생한 60° 장치의 경우에는 222 ml/m²·d 의 응축수가 발생하였다.

겨울철에는 대기온도의 하락으로 장치의 외부온도가 낮아 열손실이 많아지고 내부의 온도상승의 에너지원으로 일사량 밖에 없어 일사량을 받는 면적이 큰 장치일수록 내부의 온도가 많이 상승하였고 응축수량도 많았다.

Table 11. The condensation characteristic at each tilted angle on a snowy day (2009.12.20)

Division \ Tilted angle		15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)		8,960			
Vertical slope angle on the sun (°)		58.5°			
Glass area (cm ²)		10,350	11,540	14,140	19,999
Inner air volume (cm ³)		254,000	407,000	620,000	985,000
Collecting area (cm ²)		7,500	10,140	13,750	19,990
Air volume per collecting area (cm ³ /cm ²)		33.87	40.14	45.09	49.27
Maximum temperature (°C)	Water	8.5	10.3	11.6	15.4
	Air	25.8	30.4	44.0	53.2
Condensation water (ml/m ² ·d)		43	126	180	222
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)		208.37	71.11	49.78	40.36

Table 12.는 실험기간(2010.01 ~ 2010.12)중 눈이 온 15일 동안으로 기상조건과 응축수 발생특성을 나타낸 표이다.

북반구의 경우 여름철의 가조시간(13.88시간)보다 겨울철의 가조시간(10.1시간)이 짧으나 겨울철의 구름량(47%)이 적어 일조시간이 2010년 여름철(4.1시간)보다 많은 5.0시간 이었다.

눈 온 날들의 일사량 평균은 $9,249 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{d}$ 이었으며, 연평균일사량 $12,540 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{d}$ 의 74% 정도로서 일사량에 의한 응축조건 형성에 불리하였다.

경사각별 응축수 발생량은 60° 경사각이 가장 많았는데, 이는 실험장소인 광주지방의 태양광이 수직으로 입사하는 경사면의 각도가 지면과 평균 54.3° 로서 장치의 경사각이 60° 에서 가장 많은 일사량을 받을 수 있어 가장 많은 응축이 발생하였고 1 ml 의 응축수가 발생하는 데에는 37.90 kJ 의 일사량이 필요하였다.

Table 12. The condensation characteristic on a snowy day for a year
(2010.01 ~ 2010.12)

Division \ Tilted angle	15°	30°	45°	60°
Solar radiation ($\text{kJ/m}^2\cdot\text{d}$)	9,249			
Amount of cloud (%)	64			
Duration of sunshine (h)	4.2			
Glass area (cm^2)	10,350	11,540	14,140	19,999
Average condensate amount ($\text{ml/m}^2\cdot\text{d}$)	102	171	181	244
Condensate amount ($\text{ml/m}^2\cdot\text{y}$)	381,204	404,846	276,247	272,969
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)	90.68	54.09	51.09	37.90

Fig 26.은 실험기간 중 눈 온 날의 응축수 발생량과 일사량과의 관계를 회귀분석 한 결과이다.

눈 온 날의 경우 일사량에 관계없이 60° 경사각에서 많은 응축이 발생하였고, 경사각이 클수록 많은 응축이 발생하였는데, 이는 낮은 남중고도로 인하여 경사각이 클수록 태양과 수직하는 집열면적이 증가하고 내부공간의 온도가 상승할 수 있기 때문이다.

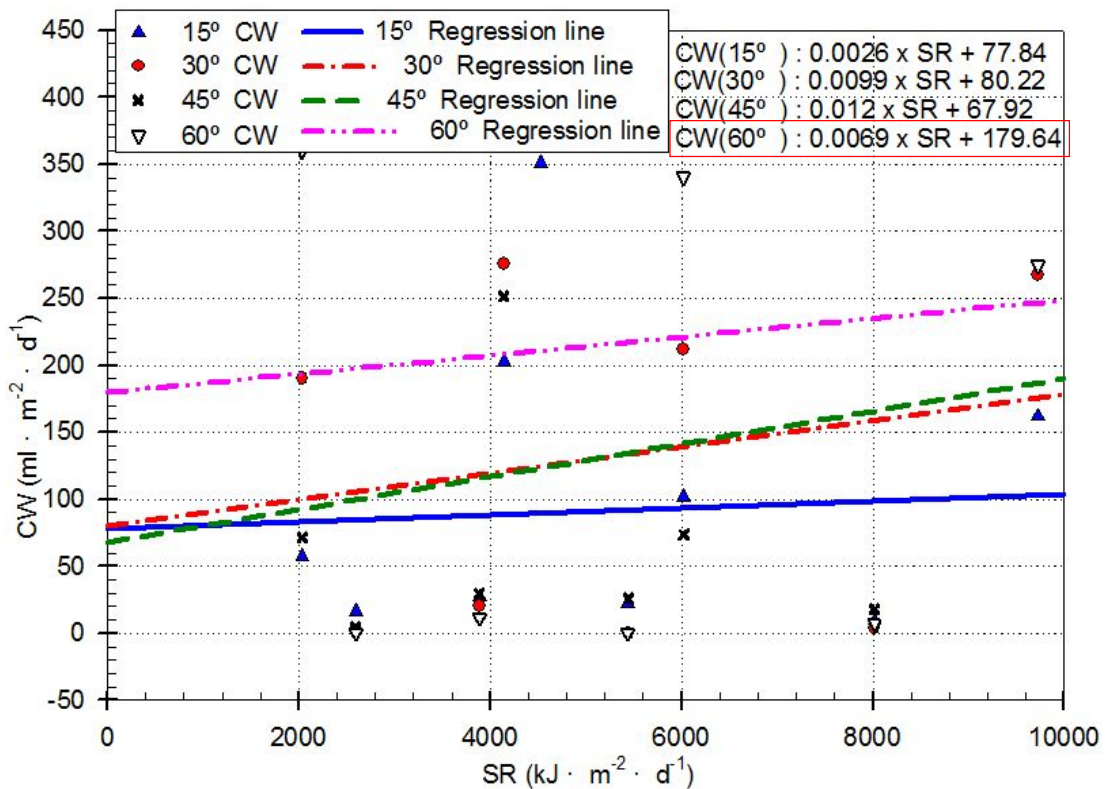


Fig 26. The solar radiation and the condensed water on the snowy days at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

4.1.6 내부 온도변화에 따른 응축특성

Fig 27.은 일사량의 변화에 따른 장치 내부온도 변화와 응축특성을 시간대별로 나타낸 그래프이다.

일사량은 일출과 동시에 급격하게 상승하여 태양이 남중하는 시간을 지나 13시경이 가장 높았다

내부 공기온도는 일사와 동시에 빠르게 상승하여 최대의 일사량에 도달한 후 1시간 늦게 가장 높은 온도에 도달하였으며, 물은 열용량이 커서 서서히 상승하여 내부 공기 온도 보다 2시간정도 늦게 최고온도에 도달한 후 하강하고, 외부와 유리면의 온도가 낮아져 그 영향으로 공기온도가 내려가 장치내부의 공기온도와 물 온도가 같아지는 열평형상태에 도달하는데 이 시간부터 응축수량의 증가율이 빠르게 증가하였다.

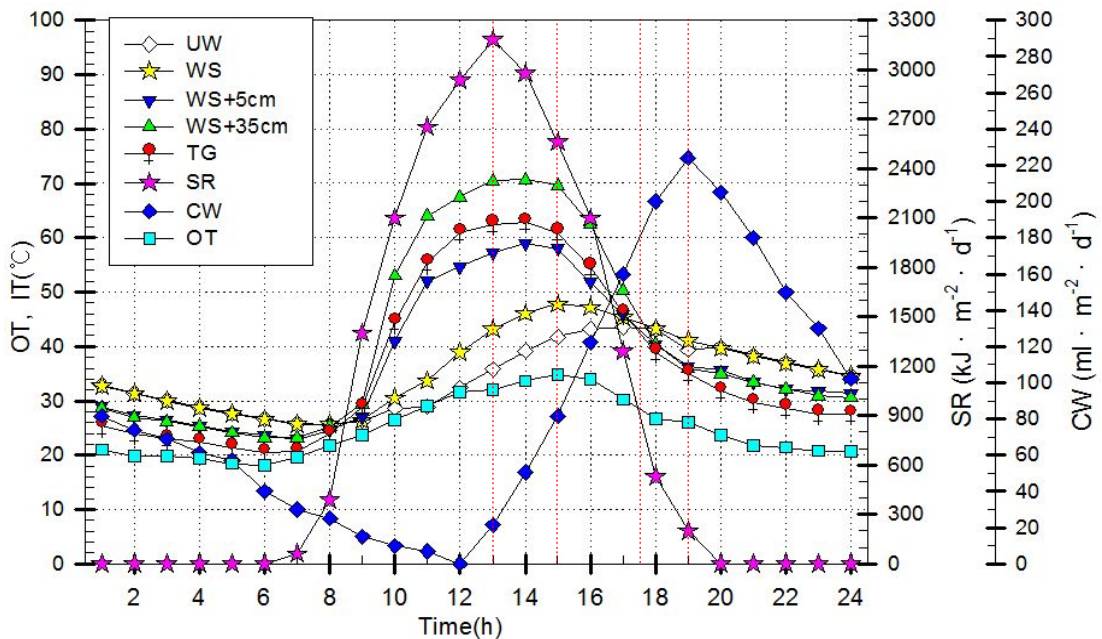


Fig 27. Solar radiation and inner temperature changes according to the condensation characteristic (2009.09.09)

Fig 28.은 장치 내부온도 변화에 따른 응축특성인 응축수량이 최대가 되는 시간과, 일몰시간 및 열평형을 이룬 시간을 월별로 평균하여 나타낸 그래프이다.

일몰시간은 1월부터 6월까지 서서히 늦어져 6월에 19시 30분경이 된 후 7월부터 12월까지는 천천히 빨라짐을 보였다. 일사량에 따라 외부 공기온도가 감소함에 따라 유리면의 온도가 내려가며, 내부공기와 물의 온도는 내려가는데 물의 열용량이 더 크므로 온도강하가 느리므로 물과 공기의 온도가 같아지게 되어 열평형을 이루게 된다.

1월부터 3월까지의 일몰시간보다 늦게 일어나며 3월에는 열평형시간과 일몰시간이 거의 같으며 3월 이후부터 열평형 시간이 빨라져 6월과 7월에는 16시 30분경에 열평형이 일어났으며 차츰 늦어져 10월에는 열평형시간과 일몰시간이 거의 같으며 12월에는 19시에 열평형을 이루었다. 열평형을 이룬 후 항상 2시간 후에 응축수량의 증가율이 가장 컸으며 그 후 감소하였다.

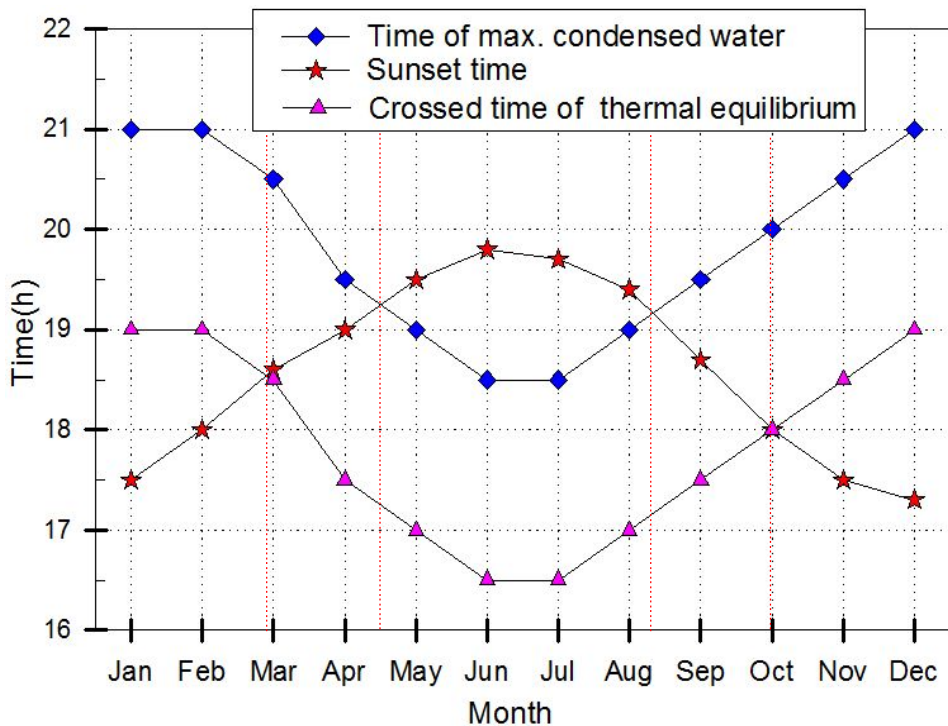


Fig 28. The sunset time and averaged maximum produced condensed water monthly for a year (2010.01 ~ 2010.12)

4.2 일사량에 따른 응축

Fig 29.는 실험기간 중 (2010.01 ~ 2010.12) 12개월간의 일사량과 응축수량의 관계를 나타낸 그래프이다.

그래프에서 볼 수 있듯이 겨울철인 11월부터 2월까지의 공전궤도에서 태양과 근일점에 있으면서도 지축이 23.5° 기울어진 상태로 자전하여 지구의 북반구는 가조시간이 줄어들어 일사량이 작게 측정되었다. 일사량의 변화는 지축이 기울어 자전하는 영향인 가조시간의 변화와 태양고도가 낮아지는 것에 의하여 변화하게 된다.

연간 일사량의 변화는 겨울철에는 매우 작게 측정되며, 3월을 지나 상승하기 시작하고 5월까지 상승하다가 6월과 7월은 장마와 우기철인 관계로 5월 평균보다 낮아지며, 8월에 다시 상승하여 5월과 비슷하게 유지되다가 10월부터 다시 하강한다.

여름철에는 태양고도가 높고 가조시간이 길어 지면의 온도가 상승하고 따라서 일사에 의한 영향으로 대기온도가 상승하게 된다. 여름철에는 장마와 태풍 등으로 인한 구름양의 증가로 매우 적게 나타나기도 했다.

일사량의 변화에 따른 응축수량 변화는 1월부터 4월까지(4개월)와 10월부터 12월까지(3개월)는 일사량보다는 외기온도에 종속되는 것으로 보이며, 5월부터 9월까지는 5개월간은 일사량과 응축수량의 증가와 감소가 매우 유사함을 알 수 있다.

대기의 온도가 낮아지게 되면 장치 내부의 열이 벽체와 바닥으로 손실되어 내부의 물과 공기온도의 상승이 적어지므로, 응축수량이 외기온도에 영향을 받는 시기인 7개월간의 응축수량의 증가를 위해서는 장치의 단열의 보완이 필요하다.

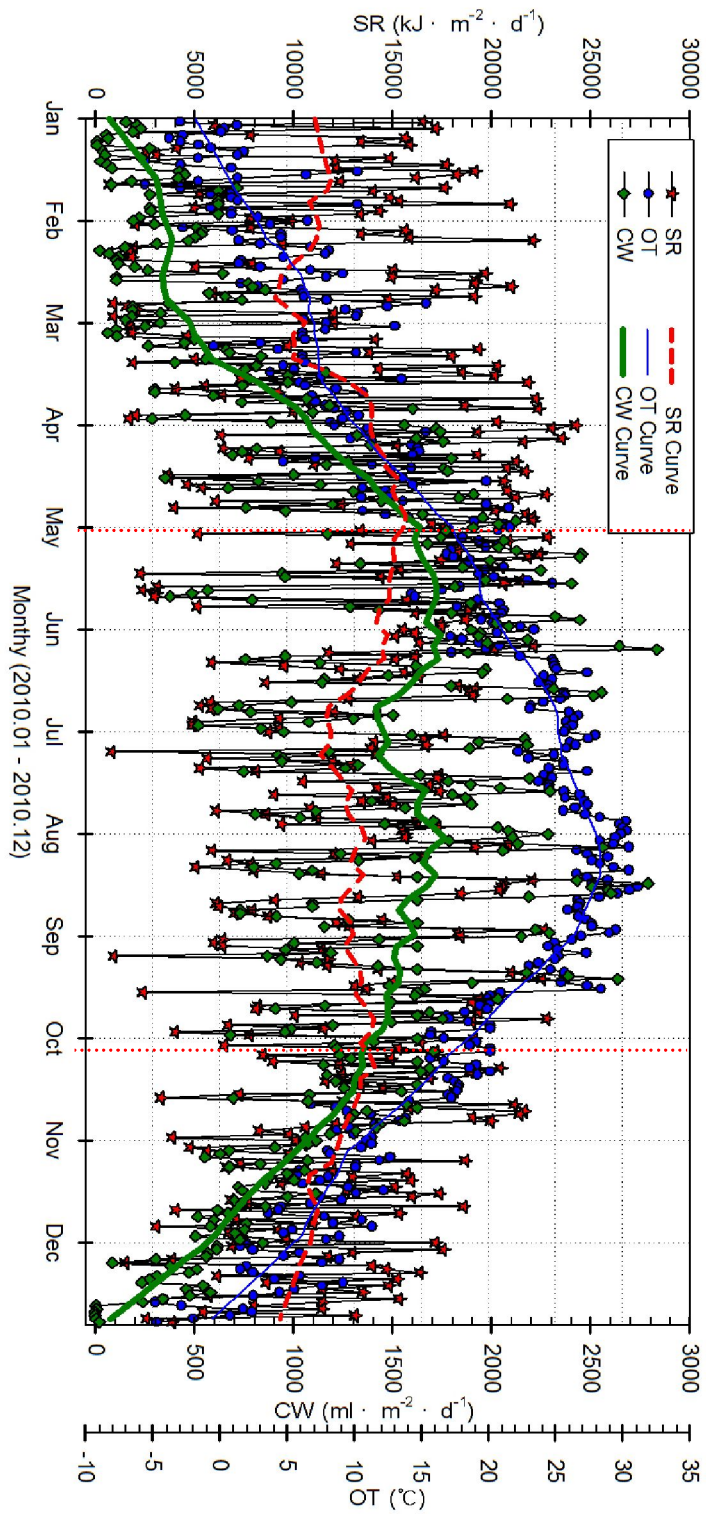


Fig 29. The relation of condensed water and solar radiations (2010. 01 ~ 2010. 12)

4.2.1 10,000 kJ/m²·d 미만인 날

Fig 30.은 일사량이 4,657 kJ/m²·d 이며 구름의 양이 90%, 강수량이 12.5 mm 인날에 45° 경사각을 갖는 장치에서의 응축특성을 나타낸 그래프이다.

이 날(2009.04.21)은 일사량이 적어서 물의 온도가 2.2°C, 공기온도는 12.7°C 상승하는데 그쳤고, 구름량이 많아 내부 공기온도 상승도 적어 응축조건을 형성하지 못하여 응축수가 적게 발생하였다.

전날은 일사량이 20,646 kJ/m²·d 로 매우 많아서 전날의 일사량에 의한 응축수량이 많은 부분을 차지하였다.

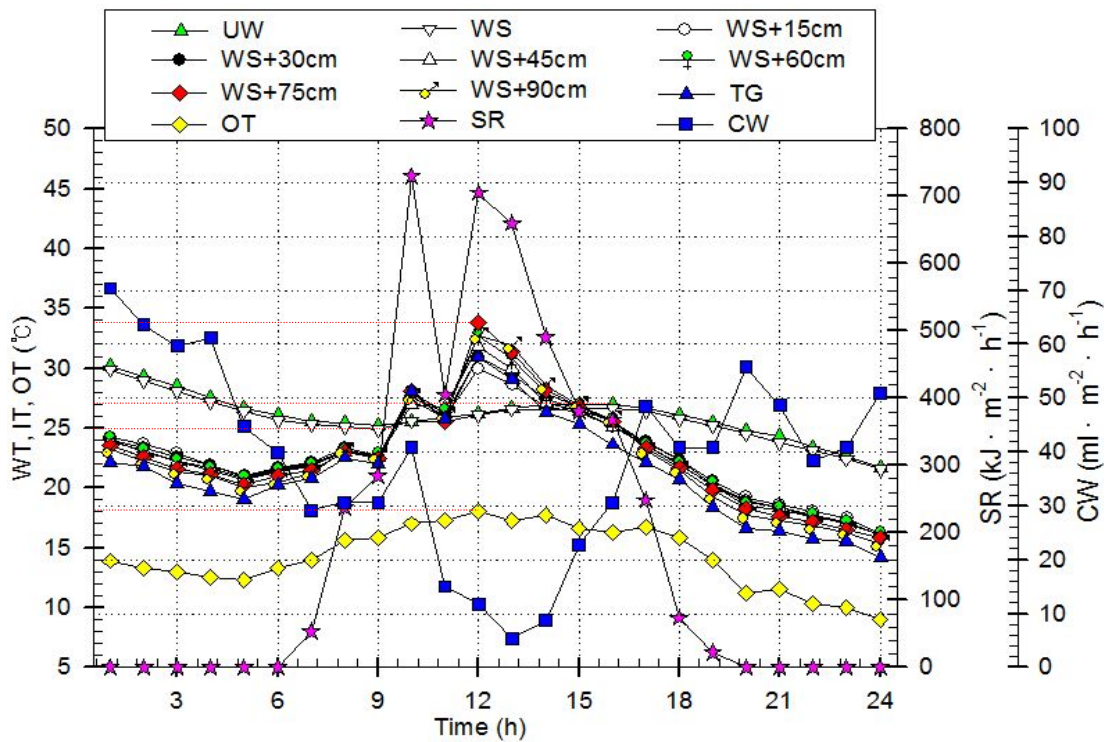


Fig 30. The relation of inner, outer and water temperature, condensed water and solar radiation below 10,000 kJ/m²·d with time at 45° tilted angle (2009.04.21)

Table 13.은 실험기간 중 일사량이 매우 적은 4,657 kJ/m²·d 인 날(2010.04.21)의 경사각별 응축특성을 나타낸 표이다.

이 날의 태양 고도각과 수직인 경사면의 각도는 23.2° 로서 이 각도와 근접한 경사각을 갖는 장치인 30° 경사각 장치에서 가장 많은 응축수가 발생하였다.

물과 공기온도는 지속적인 응축의 발생에 영향을 미치며, 내부공기의 체적이 큰 장치일수록 온도의 상승이 낮았다.

물의 온도변화는 내부공간이 작을수록 온도가 높았는데, 이는 물의 온도가 높아야 지속적으로 증발되고, 포화수증기압에 해당하는 포화온도 이상이 되는 공기의 양이 많을수록 응축수량이 많아지게 된다. 경사각별 응축수량은 30° > 15° > 45° > 60° 순이며, 가장 많이 발생된 30° 의 경우는 1,136 ml/m²·d 였다.

Table 13. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is below 10,000 kJ/m²·d (2010.04.21)

Tilted angle		15°	30°	45°	60°
Division					
Solar radiation (kJ/m ² ·d)		4,657			
Vertical slope angle on the sun (°)		23.2°			
Glass area (cm ²)		10,350	11,540	14,140	19,999
Inner air volume (cm ³)		254,000	407,000	620,000	985,000
Collecting area (cm ²)		10,240	11,460	13,130	16,010
Air volume per collecting area (cm ³ /cm ²)		24.80	35.51	47.22	61.52
Maximum temperature (°C)	Water	28.3	27.2	26.7	24.9
	Air	29.9	30.3	32.7	33.0
Condensation Water (ml/m ² ·d)		931	1,136	930	784
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)		5.01	4.10	5.01	5.94

Table 14.는 실험기간 중(2010.01 ~ 2010.12) 일사량이 10,000 kJ/m²·d 미만인 날인 133일간의 기상과 응축수량을 나타낸 표이다.

기간 중 평균 일일일사량은 평균 5,630 kJ/m²·d 이며, 구름의 양은 79%, 일조시간은 1.5시간으로 연간평균에 일사량은 44.89%, 구름의 양은 143.63%, 일조시간은 30%에 불과하여 응축수량은 일사량이 적은 날 일수록 경사각이 큰 장치가 상대적으로 많은 응축수가 발생하였다.

실험장소인 광주지방의 태양광이 수직으로 입사하는 경사면의 각도가 연평균 35.1°로서 장치의 경사각이 30° 인 장치에서 가장 많은 일사량을 받을 수 있어 가장 많은 응축이 발생하였고 1 ml 의 응축수가 발생하는 데에는 7.93 kJ 의 일사량이 필요하였다.

Table 14. The condensation characteristic at each tilted angle for a year, when solar radiation is below 10,000 kJ/m²·d (2010.01 ~ 2010.12)

Division \ Tilted angle	15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)	5,630			
Amount of cloud (%)	79			
Duration of sunshine (h)	1.5			
Glass area (cm ²)	10,350	11,540	14,140	19,999
Average condensate amount (ml/d)	607	710	499	512
Condensate amount (ml/m ² ·y)	381,204	404,846	276,247	272,969
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)	9.28	7.93	11.28	10.99

Fig 31.은 실험기간 중 일사량이 10,000 kJ/m²·d 미만인 날의 응축수량과 일사량과의 관계를 회귀분석 한 그래프이다.

10,000 kJ/m²·d 미만인 날들은 30° 경사각에서 가장 많은 응축이 발생하여, 『 CW₃₀ = SR x 0.0718 + 305.17 』의 회귀식이 산출되었다.

15°, 30° 경사각은 3,200 kJ/m²·d 이상에서 45° 와 60° 보다 많은 응축수를 발생하였고 전 영역에서 유사한 응축특성을 보였다.

경사각이 큰 장치는 일사량과 관계없이 내부공기의 양이 많고, 따라서 집열면적 당 공기체적이 커서 물과 내부공기 온도의 상승이 적어 응축조건의 형성에 불리하였다.

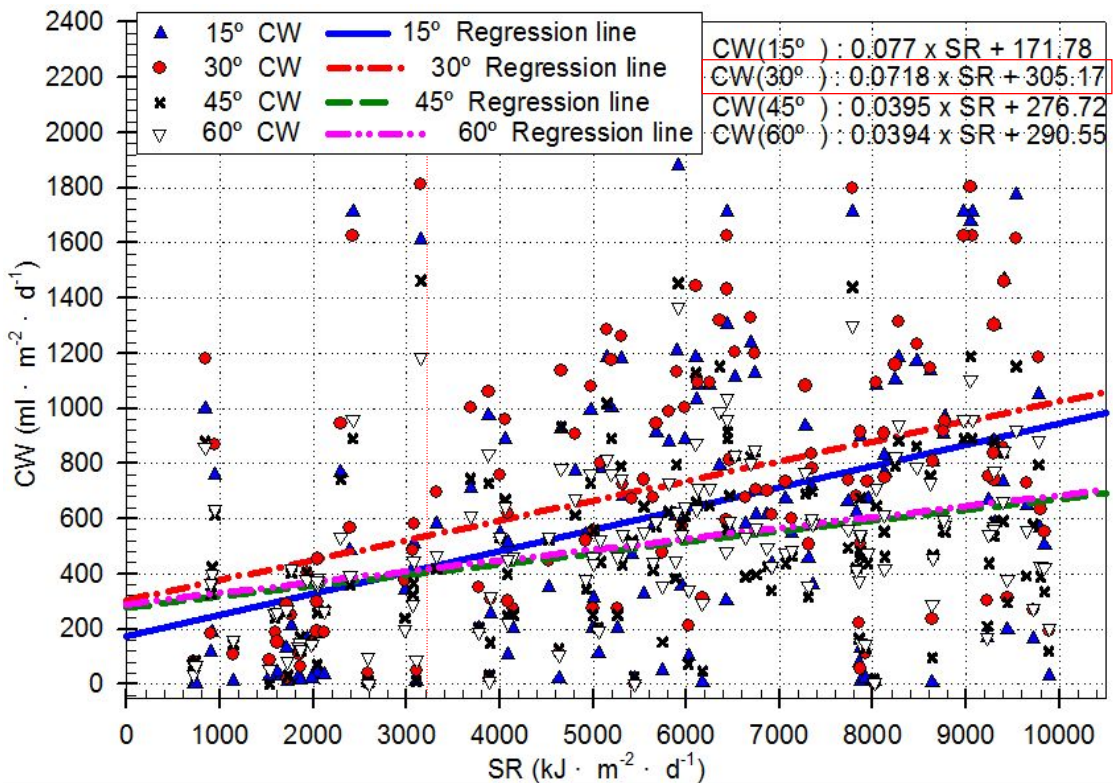


Fig 31. The relation of condensed water and solar radiation below 10,000 kJ/m²·d at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

4.2.2 10,000 ~ 20,000 kJ/m²·d 인 날

Fig 32.는 일사량이 17,662 kJ/m²·d 이며 구름의 양이 45%, 일조시간이 7.6시간인 날(2010.05.04)에 30° 경사각을 갖는 장치에서의 응축특성을 나타낸 그래프이다.

이 날은 일사량이 연간 평균일사량 12,540 kJ/m²·d 보다 40.84% 많은 날로서 그래프에서 볼 수 있듯이 12 ~ 15시 사이에 구름이 있었다.

내부 공기온도는 일사와 동시에 급격히 상승하고, 일사량에 따라 내부 공기온도 변화하여 일출 전보다 35℃ 가 상승하였다.

물의 온도는 공기온도보다 변화폭이 적어 10℃ 상승하는데 그쳤고, 응축은 일출 전까지는 전일의 일사량에 의한 영향으로 발생하였으며, 일사가 시작되면서부터 일사량이 최대에 이르는 정오까지는 지속적으로 감소하다가 일사량이 감소하면서 다시 응축수량이 증가하고 최대의 응축수량은 일몰 1.5시간 전에 발생하였다.

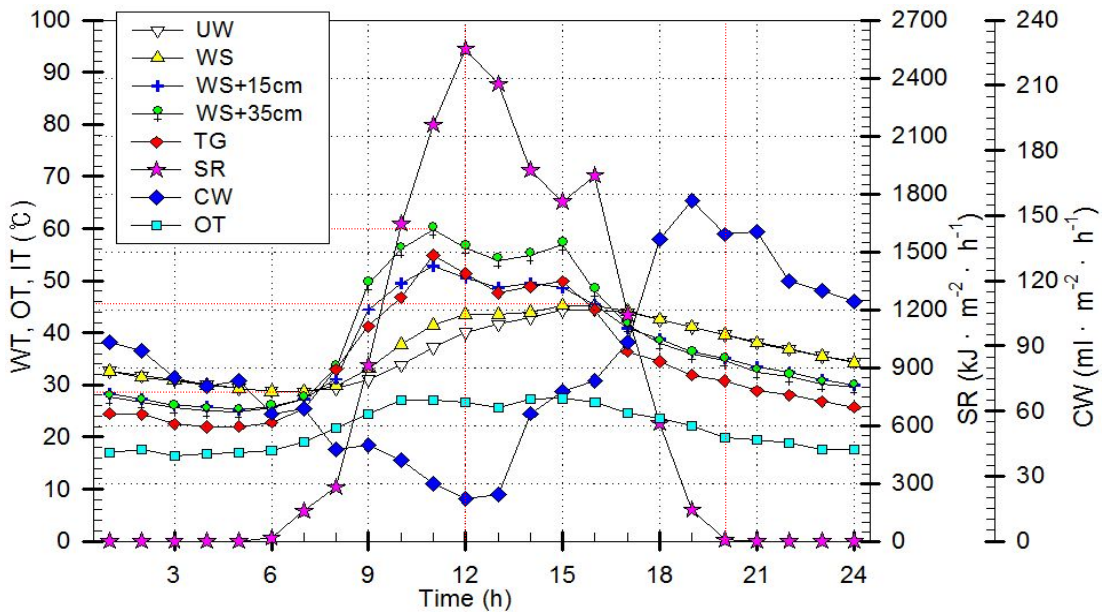


Fig 32. The relation of inner, outer and water temperature, condensed water and solar radiation of 10,000 ~ 20,000 kJ/m²·d with time at 30° tilted angle (2010.05.04)

Table 15.는 실험기간 중 일사량이 매우 적은 17,662 kJ/m²·d 인 날(2010.05.04)의 경사각별 응축특성을 나타낸 표이다.

이 날의 태양고도각과 수직한 경사면의 각도는 19.0°로서 이 각도와 근접한 경사각을 갖는 장치인 15°, 30° 경사각 장치에서 가장 많은 응축수가 발생하였다.

경사각별 내부공기의 평균온도는 15° < 30° < 45° < 60° 순으로 경사각이 클수록 높았으며, 15°, 30° 경사각은 온도차이가 매우 적었고 45°, 60° 보다 1.5℃ 정도 높게 나타났다. 물의 온도변화는 내부공간이 작을수록 온도가 높았는데, 경사각이 작을수록 내부 공간체적이 적어 공기온도 상승에 필요한 열량이 적고, 공간의 높이가 낮아 물과 접촉하는 하단의 공기온도가 높아 물온도가 높게 나타났다.

경사각별 응축수량은 30° > 15° > 45° > 60° 순으로 가장 많이 발생된 30° 의 경우는 1,909 ml/m²·d 이었다.

Table 15. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is 10,000 ~ 20,000 kJ/m²·d (2010.05.04)

Tilted angle		15°	30°	45°	60°
Division					
Solar radiation (kJ/m ² ·d)		17,662			
Vertical slope angle on the sun (°)		19.0°			
Glass area (cm ²)		10,350	11,540	14,140	19,999
Inner air volume (cm ³)		254,000	407,000	620,000	985,000
Collecting area (cm ²)		10,320	11,330	12,710	15,100
Air volume per collecting area (cm ³ /cm ²)		24.61	35.92	48.78	65.23
Maximum temperature (°C)	Water	48.0	45.3	43.9	41.8
	Air	56.3	56.9	66.5	70.0
Condensation Water (ml/m ² ·d)		1,897	1,909	1,400	1,043
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)		9.31	9.25	12.62	16.93

Table 16.은 실험기간(2010.01 ~ 2010.12) 중 일사량이 10,000 ~ 20,000 kJ/m²·d 인 184일간의 기상과 응축수량을 나타낸 표이다.

기간 중 일사량은 평균 15,193 kJ/m²·d 이며, 구름의 양은 46%, 일조시간은 6.3시간 으로 연간 평균일사량은 121%, 구름량은 84.09%, 일조시간은 125.39%로서 구름량이 적어, 일조시간과 일사량이 연 평균값보다 높게 나타났고 응축수량은 30° 경사각에서 연간평균 응축수량보다 11.09% 많이 발생하였다.

일사량이 10,000 ~ 20,000 kJ/m²·d 인 184일간의 응축수량은 30° 경사각의 경우 연간 응축수량의 55.98% 였다.

실험장소인 광주지방의 태양광이 수직으로 입사하는 경사면의 각도가 년 평균 35.1°로서 장치경사각이 30°인 장치에서 가장 많은 일사량을 받을 수 있어 많은 응축이 발생하였고, 1 ml 의 응축수가 발생하는 데에는 7.93 kJ 의 일사량이 필요하였다.

Table 16. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is below 10,000 ~ 20,000 kJ/m²·d (2010.01 ~ 2010.12)

Division	Tilted angle			
	15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)	15,193			
Amount of cloud (%)	46			
Duration of sunshine (h)	6.3			
Glass area (cm ²)	10,350	11,540	14,140	19,999
Condensate amount (10,000~20,000 kJ/m ² ·d, ml/m ² ·y)	218,696	226,617	150,574	151,573
Condensate amount (ml/m ² ·y)	381,204	404,846	276,247	272,969
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)	9.28	7.93	11.28	10.99

Fig 33.은 실험기간 중 일사량이 10,000 ~ 20,000 $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 인 날의 응축수량과 일사량과의 관계를 회귀분석 한 그래프이다.

184일간의 경사각별 응축수 발생은 30° 경사각에서 가장 많았으며, 응축수량은 일사량과의 관계에서 『 $\text{CW}_{30} = \text{SR} \times 0.0705 + 160.87$ 』의 회귀식이 산출되었고 15° , 30° 경사각은 일일 일사량이 10,000 ~ 20,000 $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 인 전 영역에서 45° 와 60° 보다 많은 응축수가 발생하였고 유사한 응축특성을 보였다.

경사각이 큰 45° 와 60° 장치는 그래프의 기울기가 작아 일사량의 증가에 따른 응축수량의 증가량이 보다 작은 것을 볼 수 있는데, 이는 경사각이 크면 일사량이 많은 날에 불리하며, 일사량이 많은 날들은 춘분과 추분 사이에 많이 있고, 이 기간은 태양고도가 높으므로 태양광과 수직하는 경사면에 근접하는 경사를 갖는 장치가 효율적이기 때문이다.

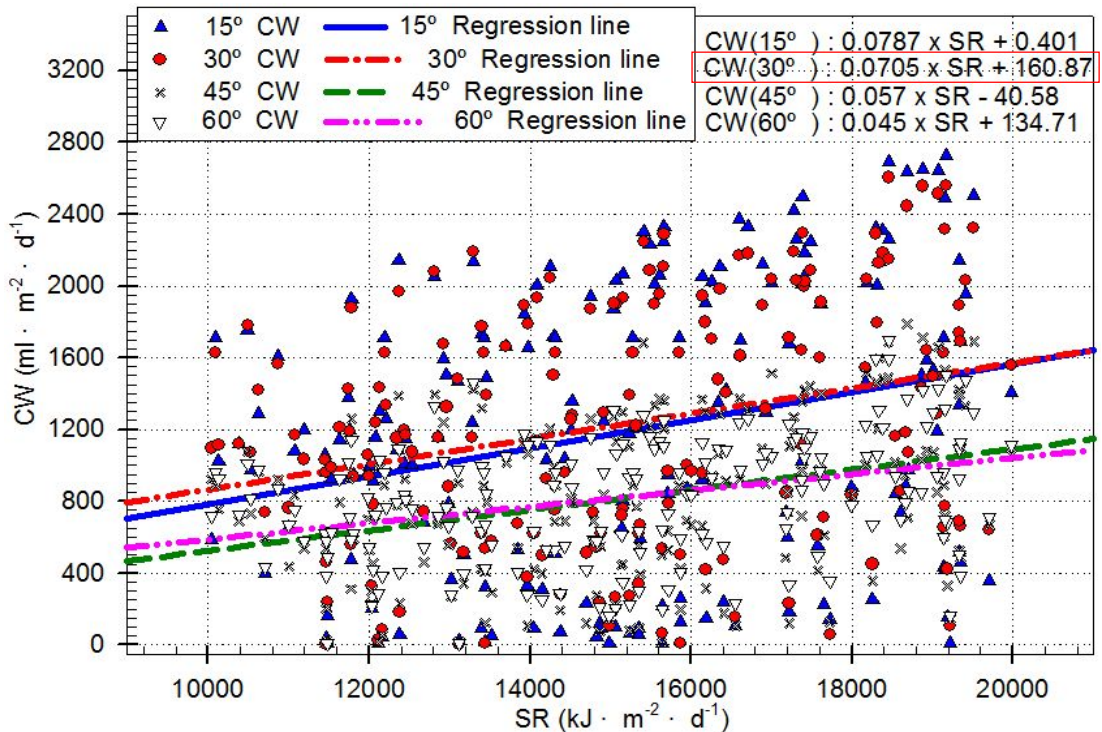


Fig 33. The relation of Solar radiation of 10,000 ~ 20,000 $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ and condensed water at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

4.2.3 20,000 kJ/m²·d 이상인 날

Fig 34.는 일사량이 20,183 kJ/m²·d 이며, 구름량이 54%, 일조시간은 10.1시간인 날 (2009.06.10)의 30° 경사각 장치의 응축특성을 나타낸 그래프이다.

이 날은 실험기간 중 응축수량이 가장 많이 발생한 날로서 전일의 일사량도 22,138 kJ/m²·d 로 많았고, 당일 물의 최저온도가 26.5°C 로 높아 물의 최고온도는 46°C 까지 상승하였다.

전일의 일사에 의한 응축은 당일 일사가 최대가 되는 13시까지 지속적으로 감소하면서 발생하였고, 일사가 감소하면서 다시 급격하게 증가하였다. 당일 일사에 의한 최대의 응축시간은 19시로서 일몰 2시간 전에 발생하였다. 내부공기 온도는 25°C 에서 60°C까지 상승하였고 내부공기와 물의 온도가 교차하는 시간을 지나면서 최대의 응축이 발생하였다.

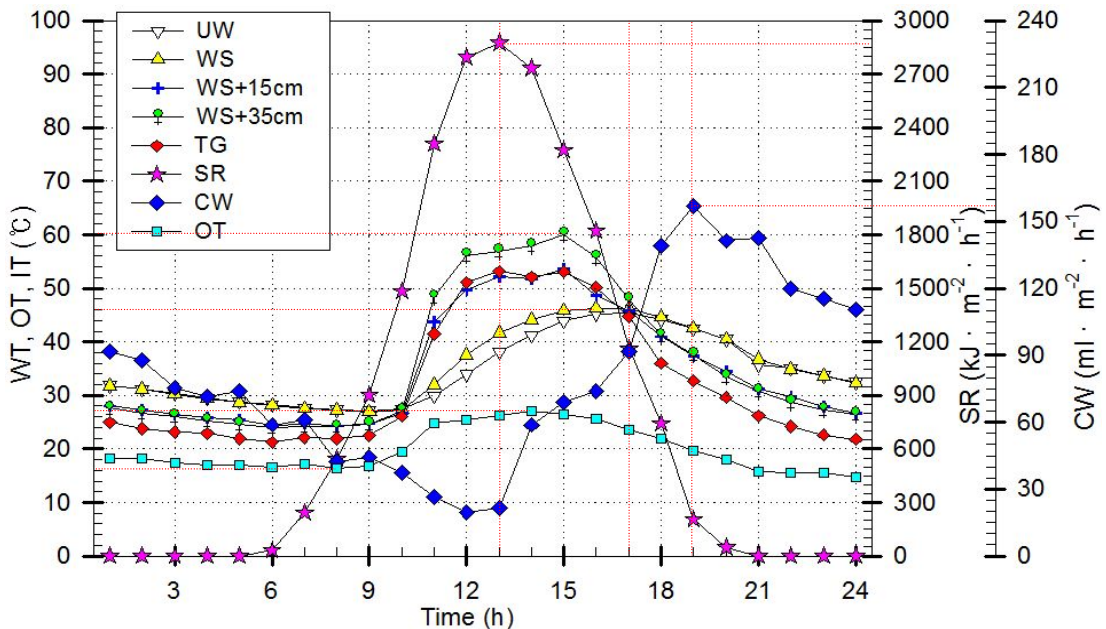


Fig 34. The relation of inner, outer and water temperature, condensed water and solar radiation more than 20,000 kJ/m²·d with time at 30° tilted angle (2009.06.10)

Table 17.은 실험기간 중 일사량이 20,183 kJ/m²·d 인 날의 경사각별 응축특성을 나타낸 표이다.

이 날의 태양고도각과 수직한 경사면의 각도는 12.0° 로서 이 각도와 근접한 경사각을 갖는 장치인 15° 경사각 장치에서 가장 많은 응축수가 발생하였다. 경사각별 내부공기의 평균온도는 36.3℃(15°) > 35.0℃(30°) > 34.1℃(45°) > 31.4℃(60°) 순으로 경사각이 클수록 내부공기의 체적이 커져 온도상승이 낮았다. 내부공기의 최고온도는 15° < 30° < 45° < 60° 로 경사각이 클수록 높게 나타나고 대류현상으로 인하여 장치의 상단에서 높게 나타났다.

응축수량은 경사각별로 3,088 ml(15°) > 2,835 ml(30°) > 1,874 ml(45°) > 1,521 ml(60°)가 발생되었다. 경사각별 집열면적은 태양광에 수직하는 각도에 근접하는 장치에서 발생하며, 태양 고도각이 높으면 낮은 경사각에서 많은 응축이 발생하였다.

Table 17. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is more than 20,000 kJ/m²·d (2010.06.10)

Division \ Tilted angle		15°	30°	45°	60°
		15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)		20,183			
Vertical slope angle on the sun (°)		12.0			
Glass area (cm ²)		10,350	11,540	14,140	19,999
Inner air volume (cm ³)		254,000	407,000	620,000	985,000
Collecting area (cm ²)		10,340	10,980	11,860	13,339
Air volume per collecting area (cm ³ /cm ²)		24.56	37.08	52.28	73.84
Maximum temperature (°C)	Water	50.2	46.3	45.1	43.3
	Air	60.2	60.7	69.5	67.5
Condensation Water (ml/m ² ·d)		3,088	2,835	1,874	1,521
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)		6.54	7.12	10.77	13.27

Table 18.은 실험기간 중(2010.01 ~ 2010.12) 일사량이 20,000 kJ/m²·d 이상인 날인 48일간의 기상과 응축특성을 나타낸 표이다.

15° 경사각 장치에서는 일사량이 많아 응축수량이 많은 시기에는 응축수가 흘러내리지 못하고 수면으로 떨어지는 현상이 발생하였다. 이 현상은 경사진 유리면 안쪽에 응축된 응축수가 중력에 의하여 하부로 흘러내려오며 주위의 응축수와 합해져서 그 부피와 질량이 커지면 유리면과의 부착력보다 중력방향으로의 힘이 커지므로 하부의 수면으로 떨어져 응축수량이 증가되지 않는다. 수면으로 떨어지는 응축수량은 응축위치와 경사각과 응축수와 유리면의 온도, 응축수의 물리적 성질에 의해 달라진다.

기간 중 평균 일사량은 21,518 kJ/m²·d 이며, 구름량은 20.1%, 일조시간은 9.95시간으로 일일평균 응축수량은 경사각별로 1,746 ml(30°) > 1,705 ml(15°) > 1,235 ml(45°) > 1,109 ml(60°)가 발생하여 1 ml 의 응축수가 발생하는 데에는 30° 경사각에서 12.32 kJ 의 일사량이 필요하였다.

Table 18. The condensation characteristic at each tilted angle, when solar radiation is more than 20,000 kJ/m²·d (2010.01 ~ 2010.12)

Division \ Tilted angle	15°	30°	45°	60°
Solar radiation (kJ/m ² ·d)	21,518			
Amount of cloud (%)	20.1			
Duration of sunshine (h)	9.95			
Glass area (cm ²)	10,350	11,540	14,140	19,999
Average condensate amount (More than 20,000 kJ/m ² ·d, ml/m ² ·d)	1,705	1,746	1,235	1,109
Condensate amount (ml/m ² ·y)	381,204	404,846	276,247	272,969
Solar radiation per condensation volume (kJ/ml)	12.62	12.32	17.42	19.40

Fig 35.는 실험기간 중 일사량이 20,000 kJ/m²·d 이상인 날의 응축수량과 일사량과의 관계를 회귀분석 한 그래프이다.

20,000 kJ/m²·d 이상인 날들은 30° 경사각에서 가장 많은 양이 발생하여 『 CW₃₀ = SR x 0.0151 + 1440.1 』 식이 산출되었다.

이 식에서는 Fig 33.의 그래프에서 나타난 회귀식 『 CW₃₀ = SR x 0.0705 + 160.87 』 보다 일사량이 증가함에 기울기가 작아져 15°, 30° 경사각 모두 20,000 kJ/m²·d 미만 보다 일사량 증가에 따른 응축수량의 증가가 적음을 알 수 있다.

15°, 30° 경사각은 20,000 kJ/m²·d 이상에서 45° 와 60° 보다 많은 응축수를 발생하였고 전 영역에서 유사한 응축특성을 보였다.

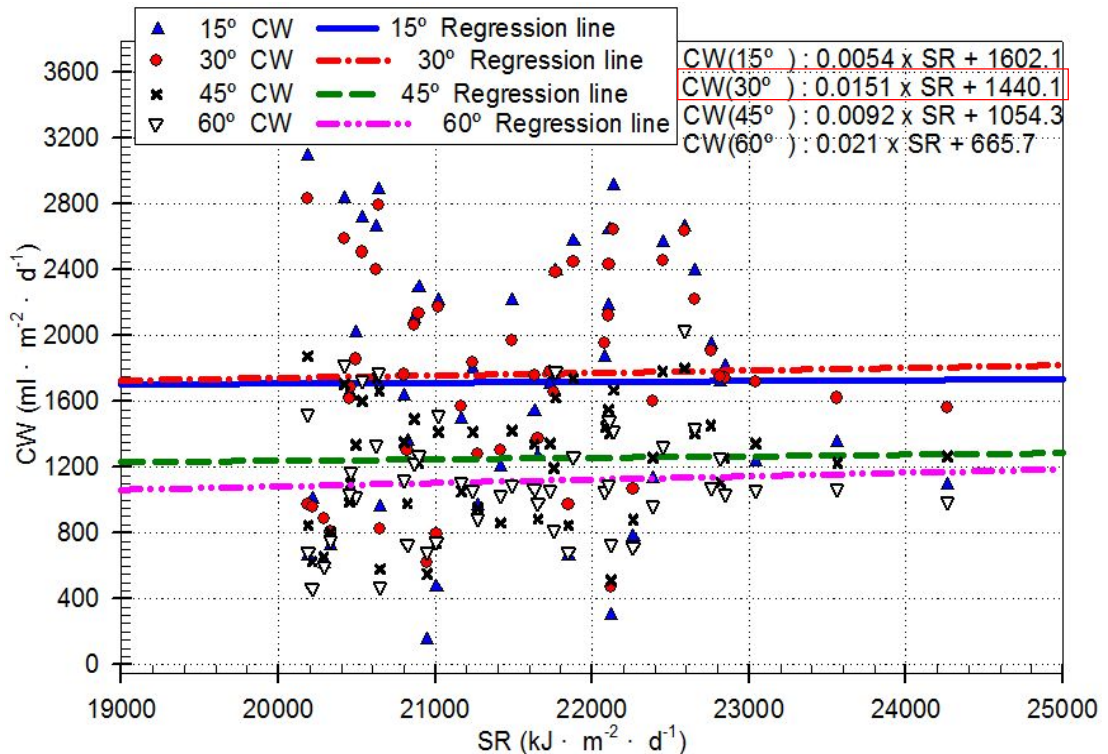


Fig 35. The relation of solar radiation more than 20,000 kJ/m²·d and condensed water at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

Fig 36.은 일사량변화에 따른 응축수량의 변화를 회귀분석 한 그래프이다.

15° 경사각 장치에서의 응축특성은 수면으로 바로 떨어지는 양이 많아져 많은 증발량에도 불구하고 수집되는 응축수량이 적었다.

30° 경사각 장치에서는 Fig 36.에서와 같이 일사량의 증가에 따라 응축수량이 증가하였으며, 연중 응축수량이 실험장치중 가장 많이 발생하였고, 일사량의 증가에 따른 응축수량의 증가는 15° 경사각이 30° 경사각보다 크게 나타났다. 일사량에 따른 응축수량을 회귀분석 한 결과 15° 경사각에서의 일사량과 응축수량의 관계는 『 $CW_{15} = 0.0675 \times SR + 197.79$ 』 식이, 30° 경사각은 『 $CW_{30} = 0.0625 \times SR + 324.44$ 』 식이 산출되었다.

45° 와 60° 경사각 장치는 작은 경사각 장치들에 비하여 매우 적은 응축수가 발생하였는데 이는 내부공간의 체적이 크고, 벽체면적이 커서 열손실이 크며 태양광과 수직하는 집열면적의 변화가 계절별로 큰 차이가 있기 때문이다.

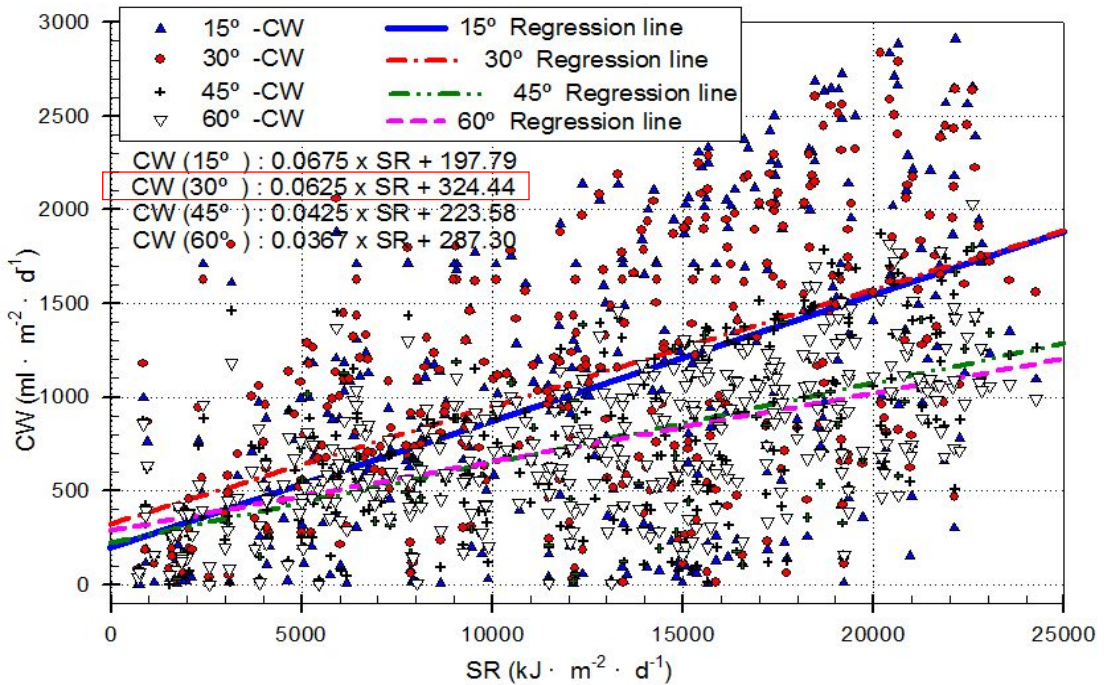


Fig 36. The relation of condensed water and solar radiation (2010.01 ~ 2010.12)

4.3 외기온도 변화에 따른 응축

4.3.1 일사량과 외기온도 변화

기단의 교체가 일어나지 않는 한, 맑은 날에는 기온이 비교적 규칙적인 일변화(日變化)를 나타낸다. 이른 아침에는 기온이 가장 낮고 14시 전·후에 가장 높아지는데, 이 변화를 기온의 일변화라고 한다.

일평균기온을 다시 1년에 걸쳐 조사해 보면 계절에 따라 변동하는데, 온대지방에서의 최고와 최저기온은 7월과 1월에 각각 나타나지만, 우리나라와 같이 3면이 바다로 둘러싸여 있는 반도에서의 최고기온은 8월에 나타난다. 기온의 연간변화는 위도에 따라 다르며 결코 순탄한 곡선적 변화가 아니어서 장기간의 평균을 취해도 변동이 심하다. 대개 연간변화의 진폭은 고위도지방 일수록 크고 저위도지방 일수록 작다.

지구의 자전축이 공전궤도면에 대해 기울어져 있기 때문에 계절에 따라 태양고도와 밤낮의 길이가 달라져 계절변화가 생긴다.

실험지역인 광주지방의 위도가 $35^{\circ}10'N$ 이므로 태양고도는 Fig 37.과 같이 변화하게 된다. 따라서 광주지방의 계절별 태양고도는 춘분과 추분 때에는 『 $90^{\circ} - 35.10^{\circ} + 0^{\circ} = 54.9^{\circ}$ 』, 하지 때에는 『 $90^{\circ} - 35.1^{\circ} + 23.5^{\circ} = 78.4^{\circ}$ 』, 동지 때에는 『 $90^{\circ} - 35.1^{\circ} - 23.5^{\circ} = 31.4^{\circ}$ 』 이다.

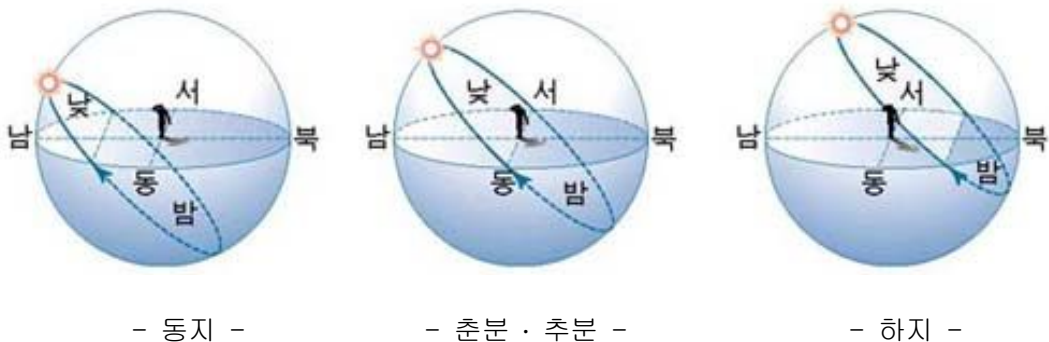


Fig 37. Seasonal variation of altitude

지구의 적도 북쪽에 위치하는 한반도는 지구의 자전축이 기울어져 있기에 겨울철에는 태양고도가 낮아지고 따라서 태양의 빛을 수직으로 받는 면적이 작아지며 가조시간이 줄어들게 되어 지구표면이 받을 수 있는 일사량은 줄어들고, 지구 공전궤도에서는 겨울철에 태양의 근일점에 지구가 위치하지만 북반구의 온도는 낮아지게 된다.

Fig 38.은 실험기간(2010.01 ~ 2010.12)중 측정된 일사량과 외기온도와의 관계를 회귀분석 한 그래프이다.

그래프에서 볼 수 있듯이 일사량이 외기온도에 영향을 미치는는 하지만 『 $OT = 0.000228 \times SR + 11.71$ 』 식에서 나타난 바와 같이 외기온도 변화에 미치는 영향이 작음을 알 수 있다.

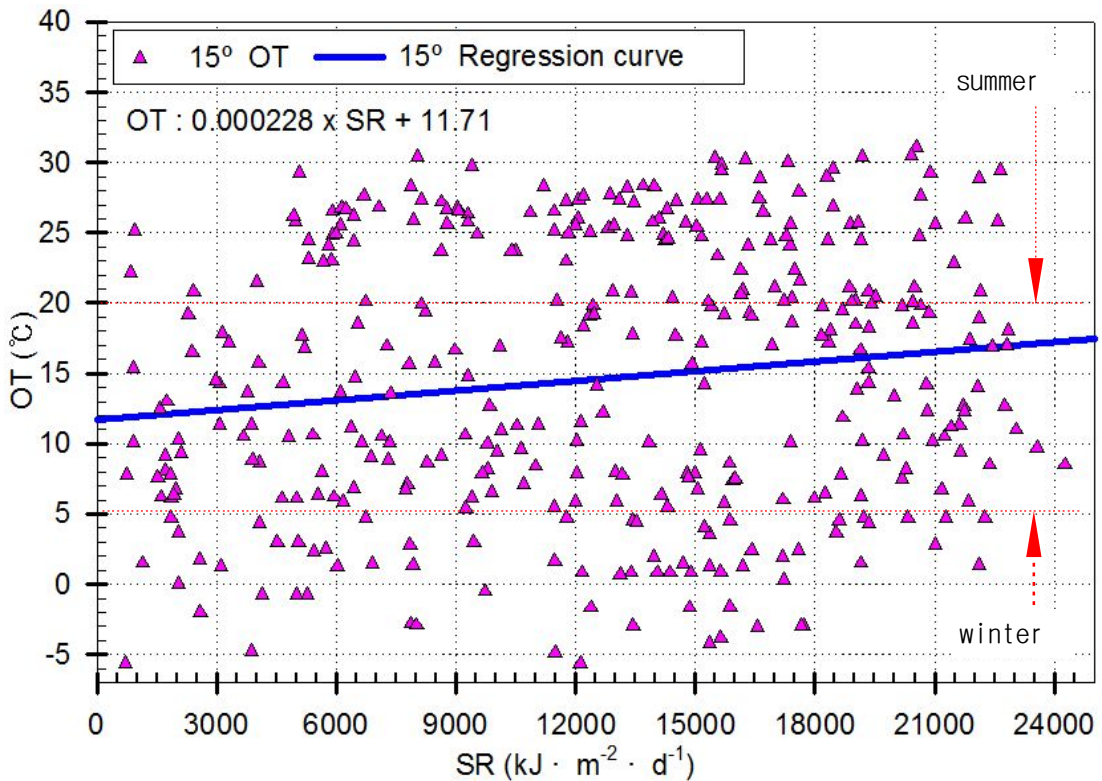


Fig 38. The relation of outer temperature and solar radiation at 15° tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

Table 19.는 기간 중 기상을 계절별로 분류하여 나타낸 표이다. 겨울의 일사량이 봄에 비하여 80.28% 로 크게 차이가 나지 않지만, 외기온도 변화는 일사량의 변화와는 관계가 적음을 알 수 있다. 즉 외기온도는 일사량에 의한 변화보다 계절적 특징으로 나타나는 현상이라고 볼 수 있다.

Table 19. The seasonal changes of weather (2010.01 ~ 2010.12)

Season	Average during a day			
	Solar radiation (kJ/m ² ·d)	Air temperature (°C)	Cloud amount (1/10%)	Duration of sunshine (h)
Spring (MAR ~ MAY)	13,385	12.9	5.8	5.4
Summer (JUN ~ AUG)	13,043	25.7	6.9	4.1
Autumn (SEP ~ NOV)	12,950	16.4	4.4	5.6
Winter (DEC ~ FEB)	10,749	3.1	4.7	5.0

4.3.2 외기온도에 따른 내부공기와 물의 온도

4.3.2.1 외기온도에 따른 내부공기의 온도변화

Fig 39.는 일사량이 $20,493 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며 구름의 양은 9%, 일조시간이 12.5시간인 날(2010.05.16)의 외부공기 온도와 경사각별 장치내부 공기온도 변화를 시간대별로 나타낸 그래프이다.

일출과 동시에 외부와 내부공기 온도의 상승이 이루어지고 내부공기 온도는 온실효과와 대류현상에 의하여 급격하게 상승하며 경사각이 큰 장치의 온도가 높고 최고온도에 빠르게 도달하며, 온도의 하강도 급격하게 나타난다.

경사각이 작은 장치는 온도의 상승과 하강이 서서히 변화하게 되는데 외부공기 온도와 내부공기 온도 차이는 29°C 정도의 차이를 보였다.

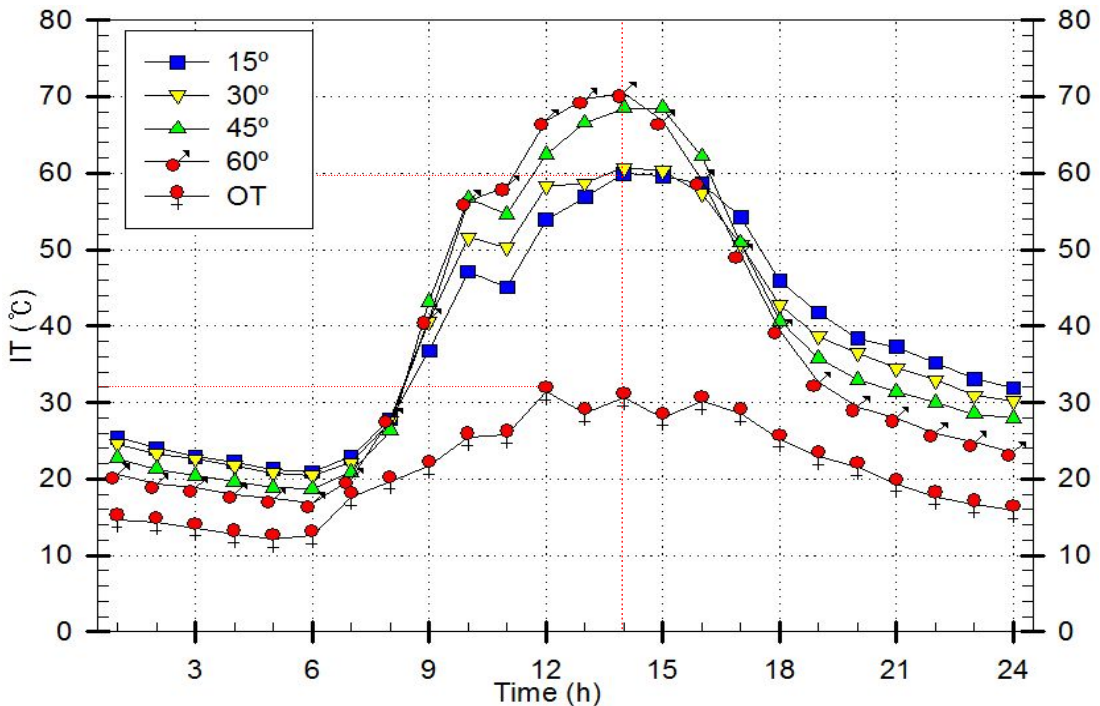


Fig 39. The relation of outer and inner temperature with time at each tilted angle (2010.05.16)

Fig 40.은 실험기간 12개월 동안 외부공기 온도변화에 따른 내부공기 온도변화를 회귀분석 한 그래프이다.

그래프의 식에서 볼 수 있듯이 경사각이 작은 장치가 외부공기 온도변화에 대하여 큰 기울기를 가지게 되며, 이는 내부체적이 작기 때문에 외기온도 변화에 많은 영향을 받게 된다. 또한 외부공기 온도가 낮을 때보다 높을 때 내부공기의 온도분포가 집중되는 것을 알 수 있었다.

경사각별로 외부공기 온도변화에 대한 내부공기 온도의 변화는 외부공기 온도 23℃까지는 내부공기 온도는 경사각이 클수록 높게 나타나고, 23℃ 이상에서는 경사각이 작은 장치에서 내부공기의 온도가 높게 나타났다. 측정된 Data에서는 계절별로 외기온도가 다르게 분포됨을 알 수 있고 회귀분석 결과 내부공기의 온도변화는 외부공기의 온도변화에 따라 비례하는 경향이 있음을 알 수 있다.

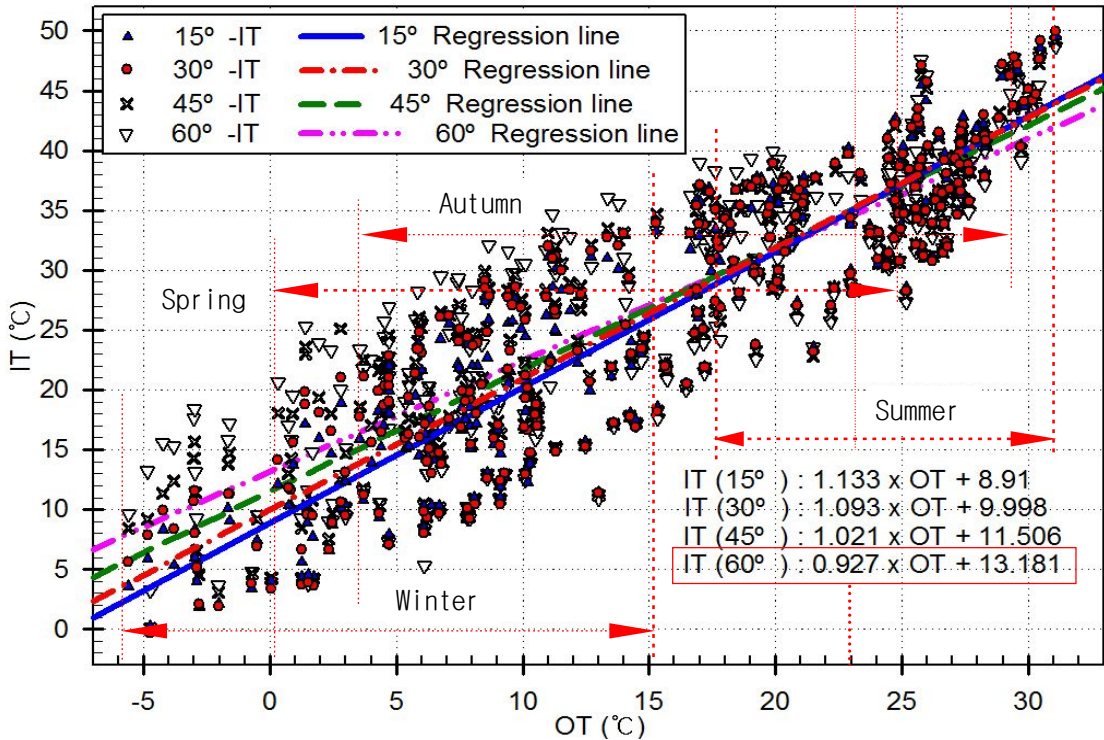


Fig 40. The relation of outer and inner temperature at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

4.3.2.2 외기온도에 따른 물의 온도변화

Fig 41.은 일사량이 $20,493 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며 구름의 양은 9%, 일조시간이 12.5시간인 날(2010.05.16)의 외기온도와 경사각별 장치내부 물의 온도변화를 시간대별로 나타낸 그래프이다.

일출과 동시에 외기온도가 상승하며 내부 물의 온도는 열용량이 커서 2시간 정도 후에 상승하기 시작하였다. 물의 온도상승은 최고온도가 50.5°C 로 당일 일사에 의해 26°C 상승하였다.

경사각별로는 15° 경사각이 가장 높은 온도를 보였으며, 물의 최고온도는 늦게 나타나고 서서히 하강하였다.

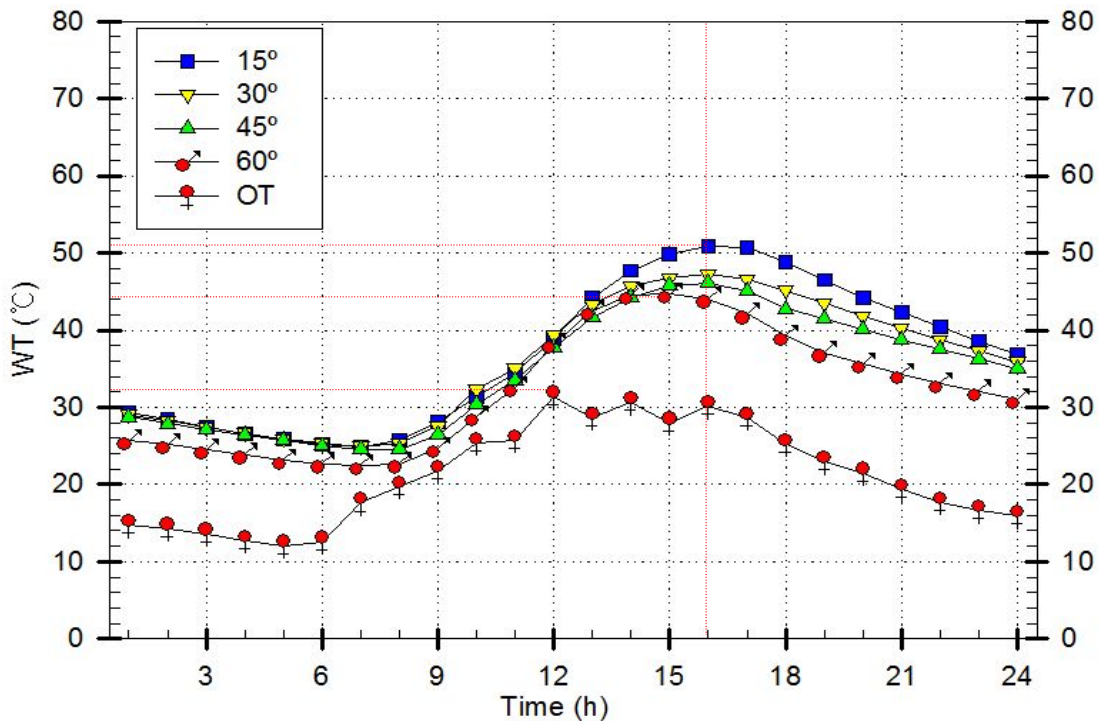


Fig 41. The relation of water temperature with time at each tilted angle (2010.05.16)

Fig 42.는 실험기간 12개월 동안 외기온도 변화에 따른 장치내부 물의 온도변화를 회귀분석 한 그래프이다.

그래프의 식에서 볼 수 있듯이 경사각이 작은 장치가 외기온도 변화에 대하여 큰 기울기를 가지게 되며, 이는 내부체적이 적어 공간의 상하부의 온도차이가 작아서 공기의 열이 물로 전달이 용이하였기 때문이다.

경사각별로는 경사각이 작을수록 기울기가 커서 15° 경사각의 물 온도가 가장 높게 나타났고, 물의 온도변화가 외기온도의 변화에 비례하는 경향을 나타내었다.

회귀분석 결과 『 $WT_{15} = 1.1458 \times OT + 8.721$ 』 식이 산출되어 외기온도에 따라 물 온도가 변화함을 알 수 있었다.

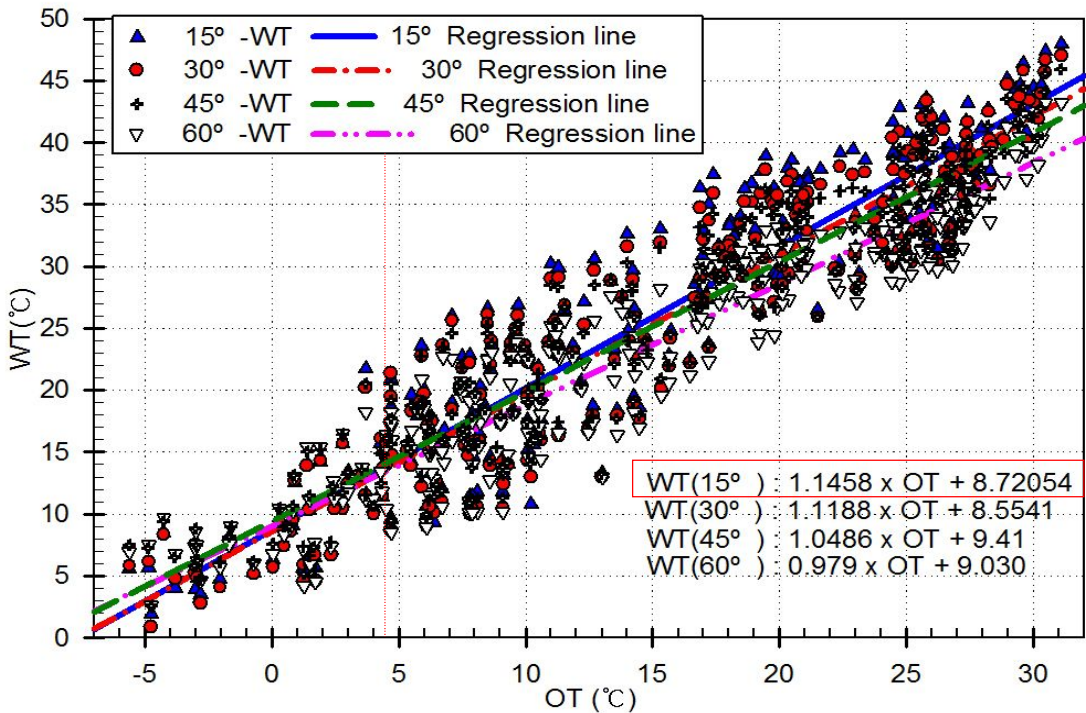


Fig 42. The relation of outer and water temperature at each tilted angle
(2010.01 ~ 2010.12)

4.3.3 외기온도 변화와 응축

Fig 43.은 일사량이 $22,450 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며 구름의 양은 4%, 일조시간이 7.9시간인 날 (2010.05.12)의 외기온도와 응축수량을 시간대별로 나타낸 그래프이다.

오전 중의 응축은 전일의 일사에 의한 것으로 외기온도가 상승하는 시간대까지는 지속적으로 감소하면서 발생하며, 경사각이 작을수록 응축수 발생이 빠르게 변화하고, 외기온도가 최고점인 시간대를 지난 후 3시간 뒤인 18시경에 최대가 되었다.

최대의 응축을 나타내는 시간대는 경사각별로 동일한 시간대에 발생하였으며, 경사각이 작을수록 응축수량이 많았고 시간대별 응축수량의 상승과 하강의 경향은 경사각별로 유사하게 나타났다.

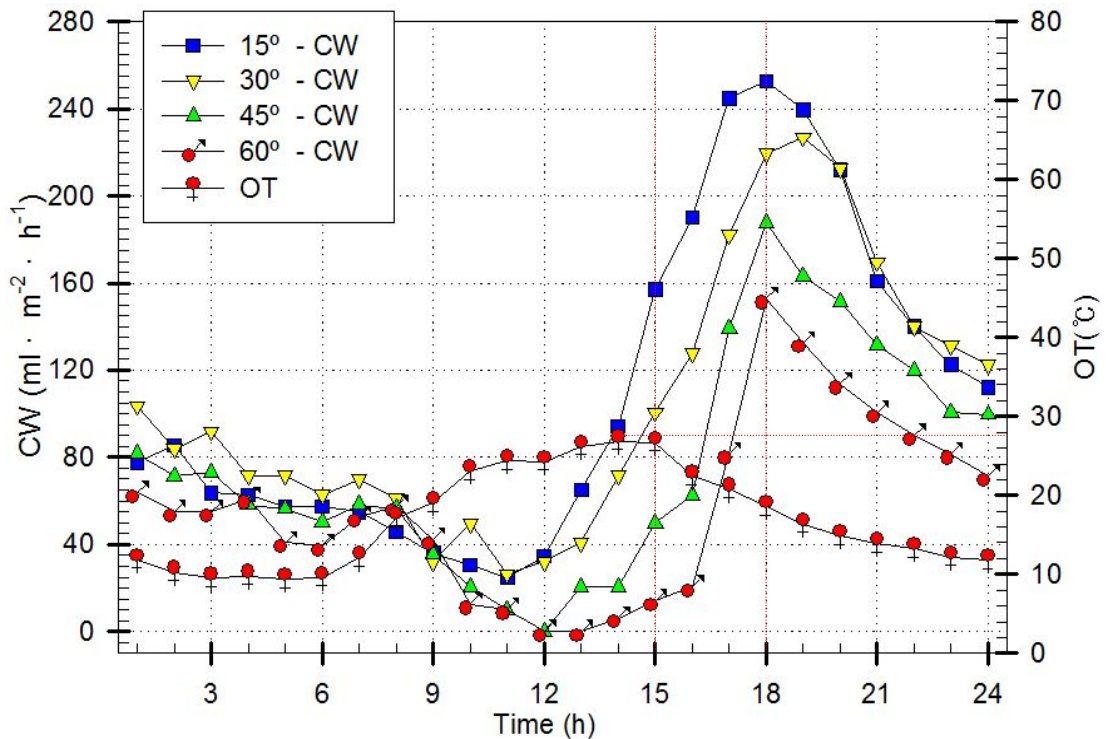


Fig 43. The relation of outer temperature and condensed water with time at each tilted angle (2010.05.12)

Fig 44.는 실험기간(2010.01 ~ 2010.12)중 12개월간의 외기온도 변화와 응축수량의 관계를 나타낸 그래프이다.

그래프에서 볼 수 있듯이 외기온도는 1월에서 꾸준히 상승하여 8월 중순에 최고로 상승한다. 외기온도의 하강은 12월까지 상승 때 보다 빠르게 하강한다. 일사량은 장마와 우기에는 증가하지 않지만 온도는 태양고도가 높고, 가열된 지면에 의해 장마와 우기에도 꾸준히 상승한다.

외기온도 변화에 따른 응축수량의 변화는 1월부터 4월까지 4개월은 외기온도와 같이 증가하며, 5월부터 9월까지는 외기온도가 증가하더라도 응축수량은 증가하지 않고 일사량의 변화에 따른다. 10월부터는 다시 외기온도에 감소에 따라 응축수량이 감소한다.

5월부터 9월까지 5개월간을 제외하고는 응축수량은 외기온도에 상승과 하강에 따라 발생하므로 장치의 단열을 개선하여 응축수량을 증가시킬 수 있을 것이다. 이는 장치 내부의 물과 공기의 온도가 상승하면 낮은 외기온도에 의해 벽체와 바닥을 통해서 열 손실이 발생하기 때문이다.

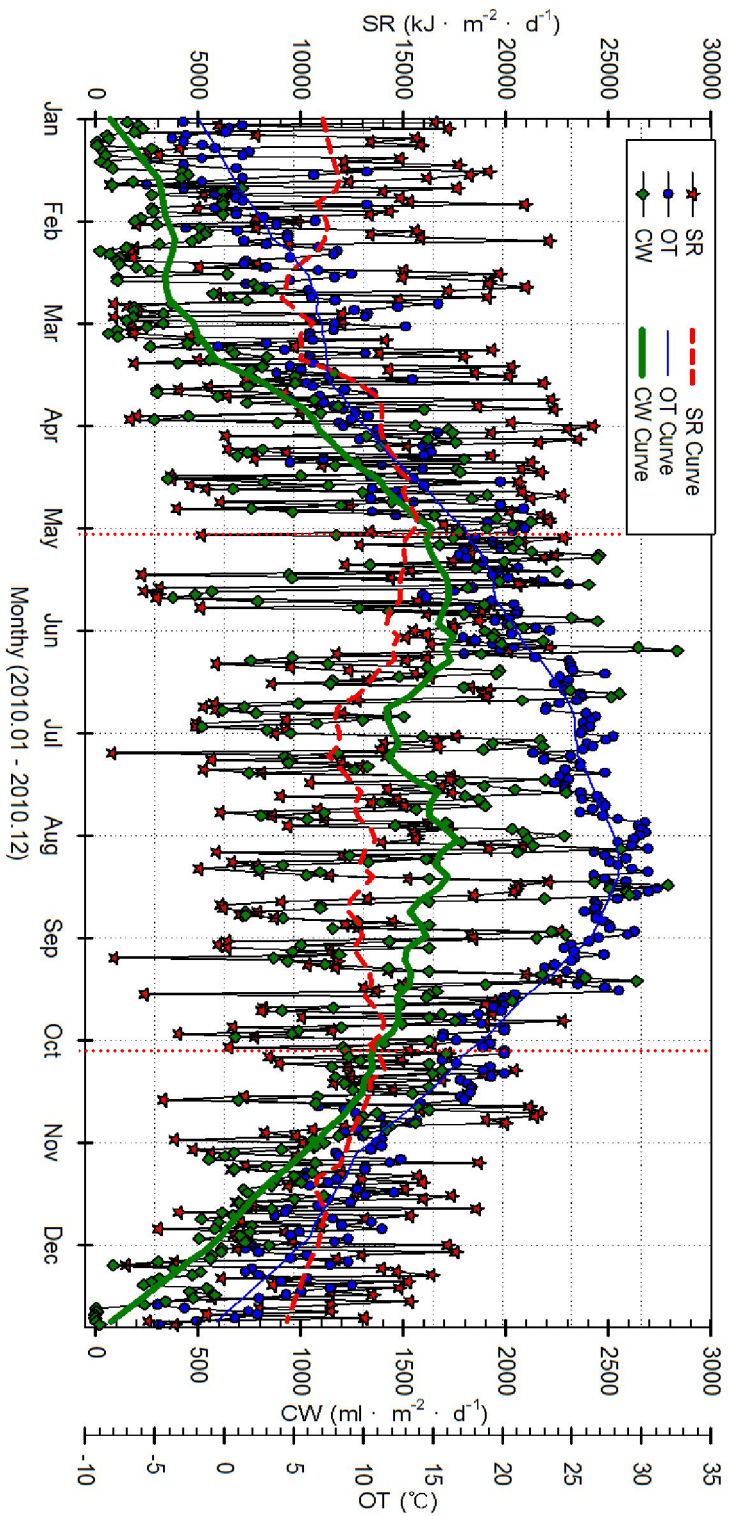


Fig 44. The relation of outer temperature and condensed water (2010. 01 ~ 2010. 12)

Fig 45.는 실험기간 12개월 동안 외기온도 변화와 응축의 관계를 회귀분석 한 그래프이다.

실험기간 중 일사량은 $12,540 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$, 구름의 양은 55%, 일조시간은 5.5시간의 평균값을 나타냈다. 응축수량은 경사각별로 $1,109 \text{ ml}(30^\circ) > 1,044 \text{ ml}(15^\circ) > 757 \text{ ml}(45^\circ) > 748 \text{ ml}(60^\circ)$ 순으로 발생되었으며, 경사각이 큰 45° 와 60° 경사각에서는 적은 양의 응축수가 발생되었다.

회귀분석 결과 경사각이 작을수록 외기온도 변화에 대한 응축수량 기울기가 크게 나타났고 외기온도가 7°C 미만에서는 경사각이 큰 장치에서 응축수량이 많았고, 7°C 이상에서는 15° 와 30° 경사각에서 많은 응축이 발생하고, 외기온도가 20°C 를 넘는 경우에는 15° 경사각에서 응축수량이 많았다.

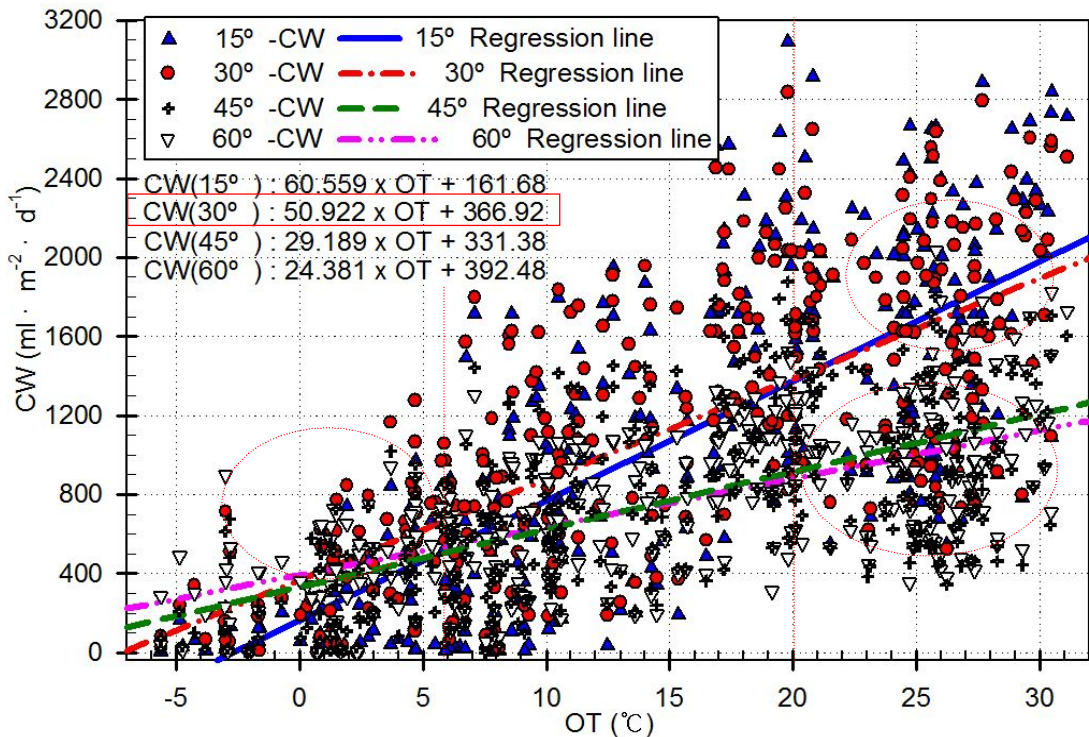


Fig 45. The relation of outer temperature and condensed water at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

4.4 경사각에 따른 응축

4.4.1 경사각별 집열면적 변화와 응축특성

Fig 46.은 계절에 따른 태양고도각의 변화로 인한 경사각별 일사량의 변화를 나타내는 그래프이다.

그래프에서는 월별로 태양고도에 따라서 일사량을 받는 양이 달라짐을 알 수 있다. 실험장소인 광주지방의 위도가 $35^{\circ}1'N$ 이므로 태양열을 수직으로 받기 위한 각도는 『 $90^{\circ} - \text{남중고도}$ 』로서 남중고도가 『 $90^{\circ} - \text{위도} + \text{지축기울기}$ 』이므로 하지와 동지 때에는 11.7° 와 58.5° 가 태양과 수직한 경사각이 된다.

따라서 여름철에는 태양의 고도가 올라감에 따라서 경사각이 작은 장치가, 겨울철에는 태양의 고도가 낮아짐에 따라서 경사각이 큰 장치가 태양광에 수직하는 집열면적이 증가함을 알 수 있다.

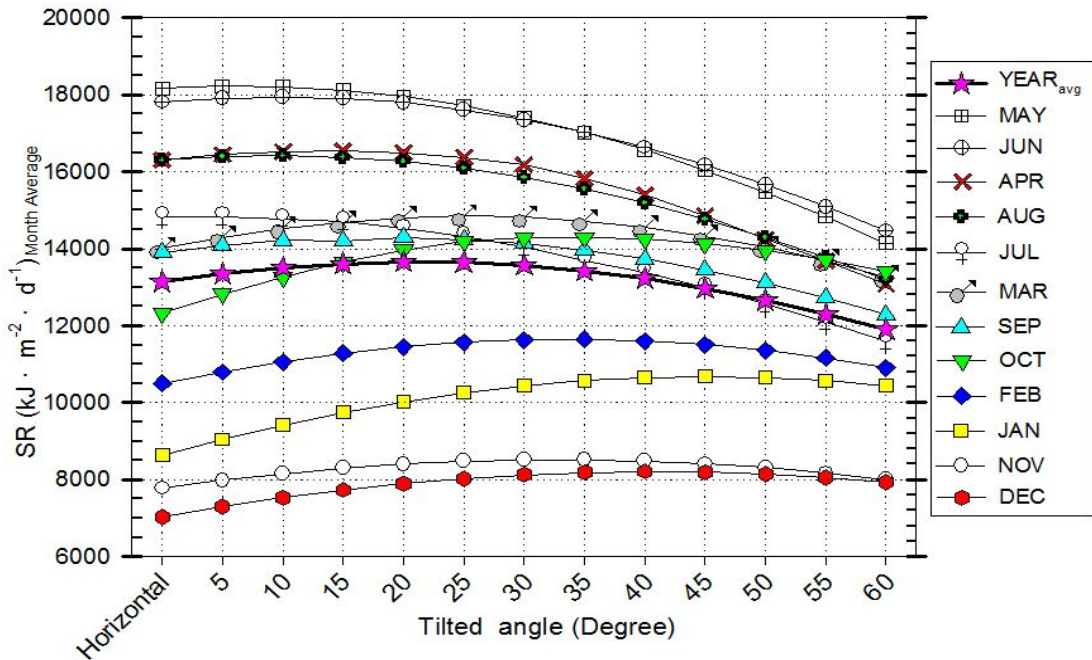


Fig 46. The relation of heat collection and each tilted angle per 1 m^2 in Gwangju

Fig 47.은 일출에서 일몰 시간까지의 시간대별 집열면적과 일사량의 변화를 나타내는 그래프이다.

정남향으로 고정된 경사각을 갖는 실험장치에서 태양광과 수직하는 경사면의 면적은 『 경사면 유리면적 $\times \text{Sin}(\text{장치경사각} + \text{태양고도각}) \times \text{Cos}(\text{방위각})$ 』으로 산출할 수 있다. 일출 후 방위각이 변화함에 따라 일사량을 받는 면적이 증가하고, 남중시간에 가장 많은 일사량을 받을 수 있게 된다.

일사량을 최대로 받는 시간대는 경사각별로 모두 남중시간대로 동일하나, 실제로 일사량계로 측정되는 일사량은 경사각별로 시간대가 남중시간 이후에 최대의 일사량이 측정되었는데 이는 일사에 의해 지면의 온도가 상승하고 반사와 산란이 최대가 되는 시간은 남중시간 이후가 되기 때문이다.

경사각이 큰 장치가 집열면적이 크고 많은 일사량을 받을 수 있고, 받을 수 있는 일사량은 경사각과 고도각, 방위각의 변화에 따라 달라진다.

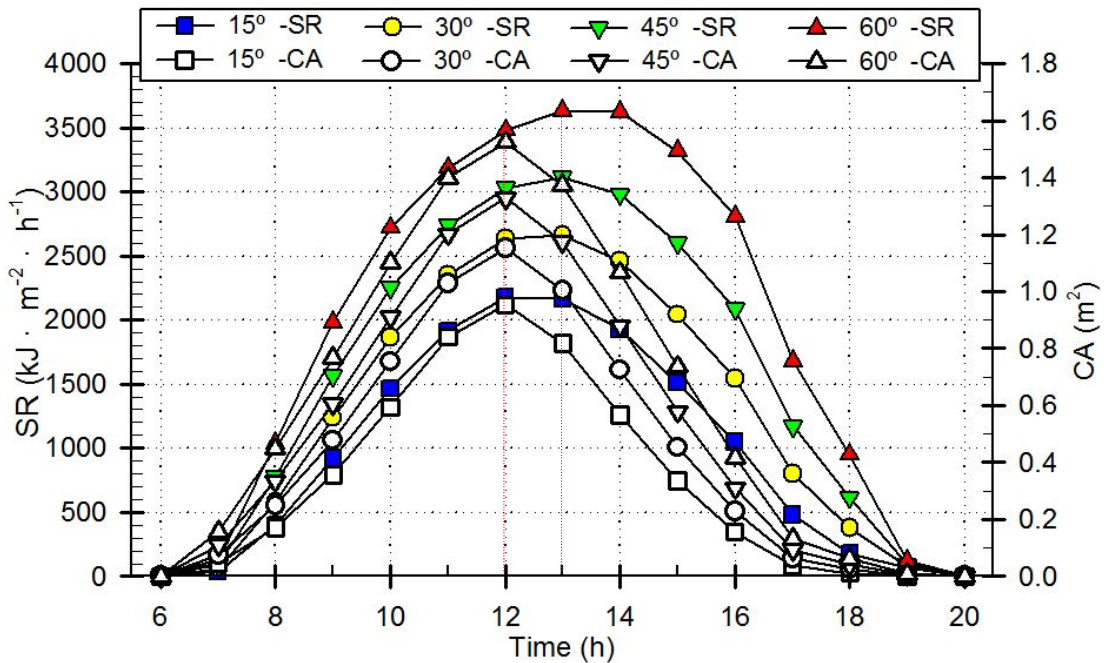


Fig 47. The relation of solar radiation and collecting area with time at each tilted angle (2009.09.10)

Fig 48.은 계절(춘분, 하지, 추분, 동지)과 경사각에 따라 태양이 남중할 때 태양과 수직하게 일사를 받을 수 있는 면적의 변화를 나타낸 그림이다.

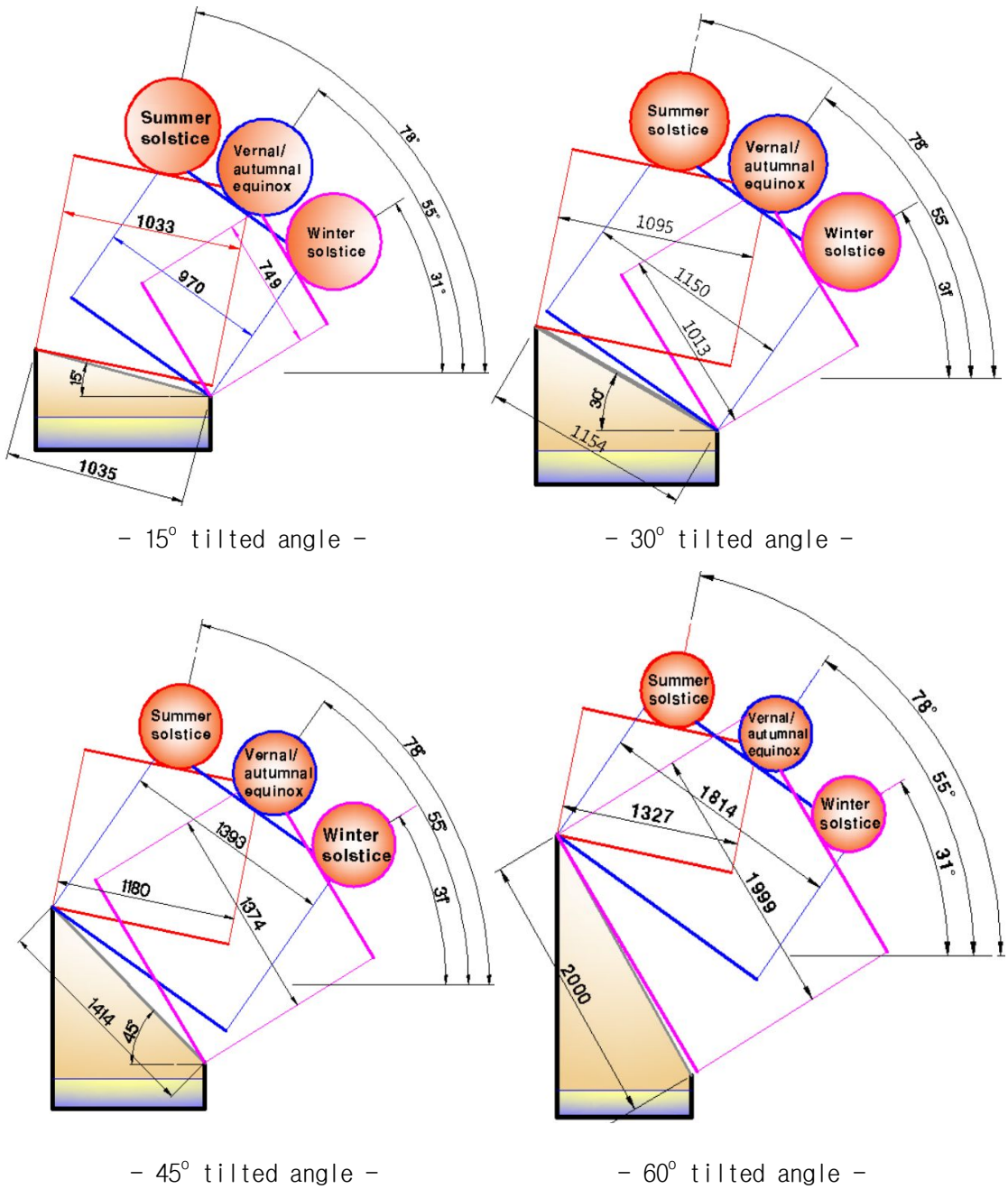


Fig 48. Normal area variation to the sun at each tilted angle at sun altitude

Fig 49.는 동일한 바닥면적을 갖는 실험장치의 태양 고도각의 변화에 따른 태양과 수직인 집열면적의 변화를 경사각 별로 나타낸 것이다.

실험장치 경사각별 실질적인 집열면이 60° 장치는 겨울철에 크고 여름철에는 작아지며, 15° 장치는 여름철에 크고 겨울철에 작아짐을 알 수 있다. 그래프에서 보는 바와 같이 60° 경사각은 수직면적의 연간 변화가 매우 컸으며, 35° 경사각일 때 연간 수직 집열면적의 변화가 가장 작음을 알 수 있다. 60°의 경우 면적의 변화가 크지만 장치의 유리면적이 매우 커서 가장 많은 일사량을 받을 수 있다.

태양광과 수직인 경사면의 각도를 계산한 결과 연중 수직 집열면적 크기의 변화는 경사각 별로 11.51%(30°) > 15.97%(45°) > 27.06%(15°) > 33.02%(60°)였으며, 연중 집열면의 변화가 가장 작은 경사각은 실험장치가 설치된 장소의 위도와 같은 경사각이 된다.

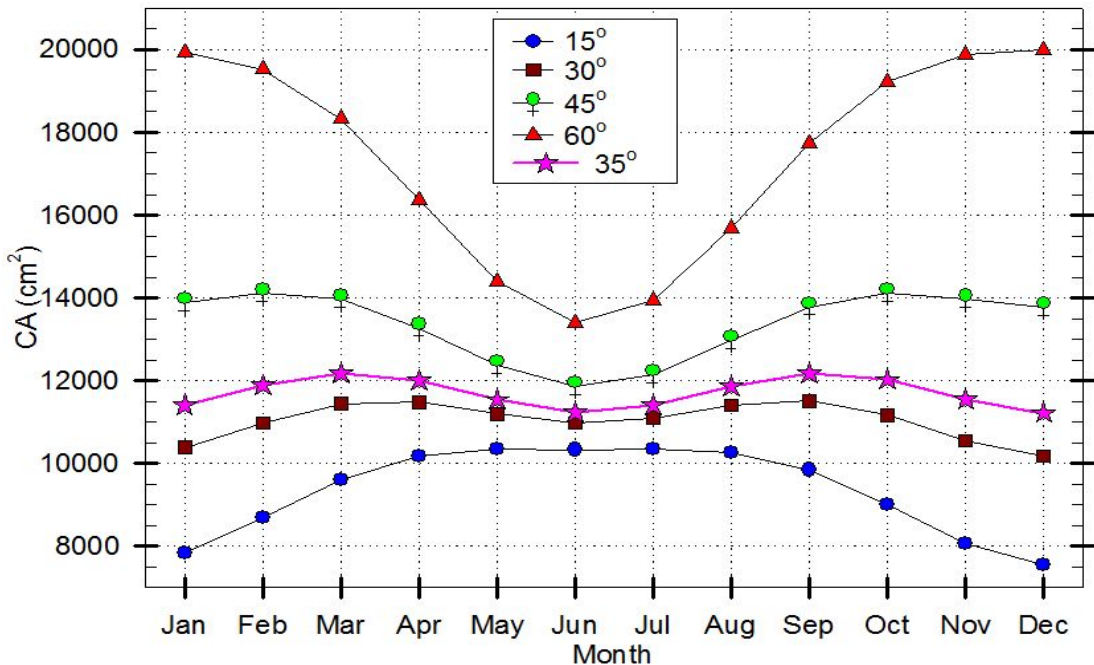


Fig 49. The monthly area per 1 m² normal to the sun at each tilted angle

Fig 50.은 계절별로 경사각에 따른 외기온도와 내부공기의 평균온도를 나타낸 그래프이다. 경사각에 따라서 월별로 태양의 남중고도 변화에 따라 태양광과 수직한 경사면의 면적변화가 발생하는 것은 Fig 49.와 같다. 태양광과 수직한 면적의 크기는 막대 그래프에서 보듯이 경사각이 작으면 여름 > 봄 = 가을 > 겨울 순이며, 경사각이 크면 겨울 > 봄 = 가을 > 여름 순으로 변화하였고, 실험장치 중 계절별로 태양과 수직한 집열면적의 변화가 가장 작은 경사각은 30° 경사각 장치였다.

일사량에 의한 외기의 평균온도는 계절별로 여름(26°C) > 가을(15.5°C) > 봄(13°C) > 겨울(3°C) 순으로 나타났다. 이에 따른 장치 내부공기 평균온도 변화는 경사각이 클수록 겨울철의 온도가 높고, 여름철에는 낮았다. 이는 경사각이 크면 겨울철에는 집열면적이 커서 내부공기의 온도상승이 컸으며, 여름철에는 경사각별 태양광과 수직한 집열면적의 차이가 크지 않아 내부공기 체적이 작은 장치에서 온도가 높게 나타났기 때문이다.

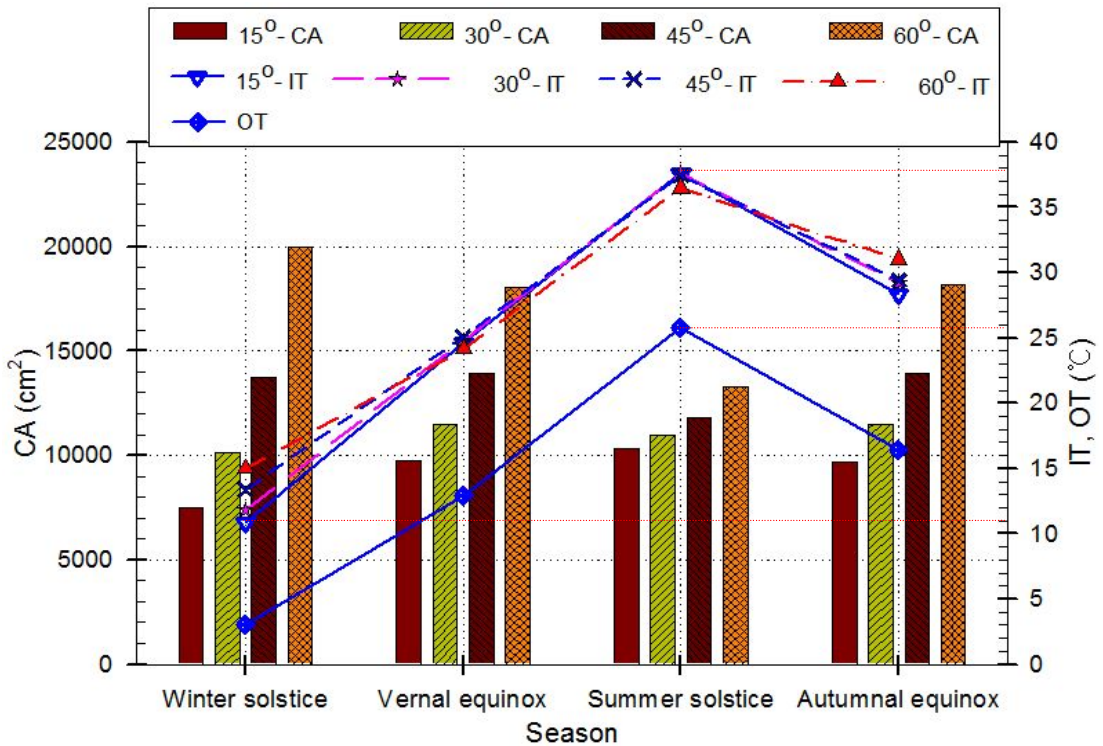


Fig 50. The outer temperature and seasonal area per 1 m² normal to the sun at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

Fig 51.은 계절별로 외기온도와 장치내부 물의 평균온도를 경사각별로 나타낸 그래프이다.

물의 온도는 Fig 50.의 공기온도 상승과 다르게 경사각이 작을수록 물의 온도가 높게 나타났다. 이는 장치 내부의 공기체적이 작아 공기의 상·하부의 온도차이가 작아지고 물과 접하는 하부공기의 온도가 높아져 물로의 열전달이 많아지고 벽체와 바닥으로의 열손실이 적기 때문에 물의 온도는 높게 나타났다.

여름철에는 경사각이 크면 태양고도가 높아져 태양광과 수직한 집열면적은 급격하게 줄어들어 집열면적 당 공기의 체적이 커서 온도가 낮게 형성되었다.

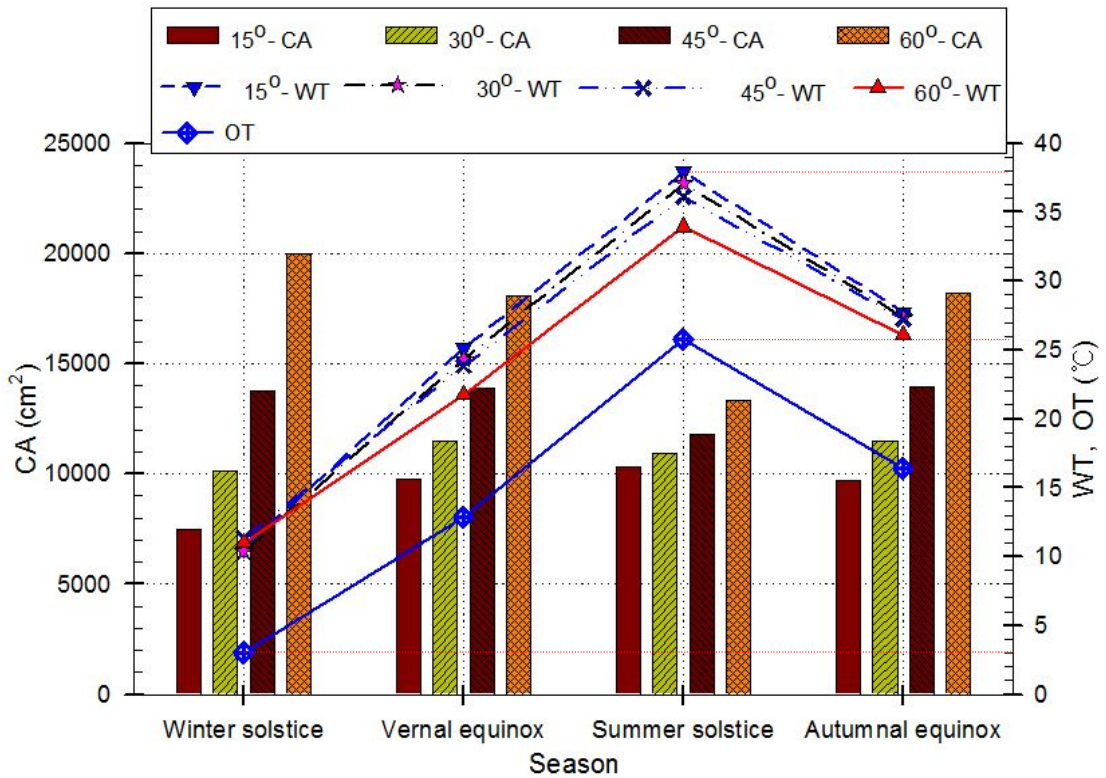


Fig 51. The water temperature and seasonal area per 1 m² normal to the sun at each tilted angle (2010.01 ~ 2010.12)

4.4.2 경사각별 내부 공기체적과 응축특성

Fig 52.는 계절별, 경사각별 집열면적의 변화에 따른 공기체적 당 집열면적 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

15° 경사각의 경우 겨울철에는 남중고도가 낮아 집열면적이 크게 감소하여 집열면적당 공기체적이 크게 되어 내부공기 온도가 낮아지고 작은 응축수량을 보인다. 이와 반대로 60°의 경우 여름철에는 남중고도가 높아 집열면적이 감소하게 되어 집열면적당 공기체적이 크게 되어 온도의 상승이 낮다. 즉 15°는 겨울철에 60°는 여름철에 응축에 불리하다.

또한 30° 경사각 장치는 그래프에서 보듯이 15° 경사각에 비하여 집열면적 상승 기율이 내부공기량의 증가보다 커서 온도상승에 유리하였다.

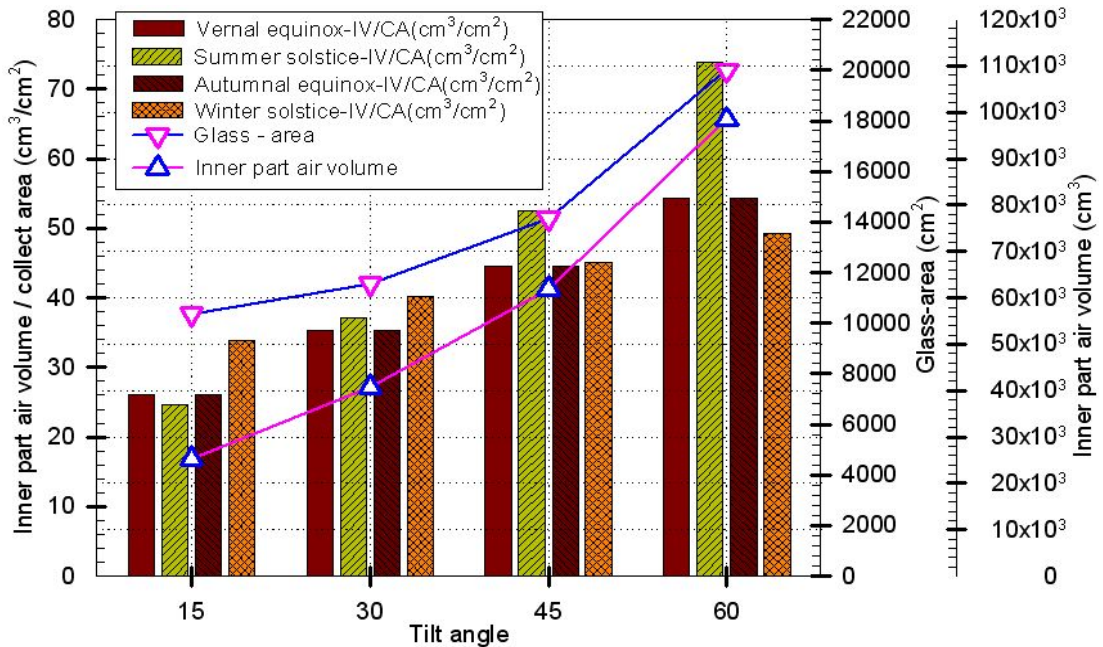


Fig 52. Air volume party collecting area change by change of collecting area by tilt angle (2010.01 ~ 2010.12)

Fig 53.은 경사각별 일사량의 변화에 따른 내부공기 온도와 외부공기 온도, 응축수량의 변화를 나타낸 그래프이다.

일사는 6시에 시작해서 13시에 최대이며, 내부온도는 일사가 시작되면서부터 상승하기 때문에 일사량은 13시에, 내부공기 온도는 14시에 최대가 된다. 경사각별로 보면 일사가 있을 때 경사각이 클수록 내부공기의 최고온도가 높으며, 온도의 상승과 하강이 급격하게 이루어짐을 알 수 있다.

15° 경사각은 내부공기 체적이 작아 물과 열교환이 활발히 이루어져 공기온도의 변화가 서서히 상승하고 온도도 낮았다. 60° 장치는 대류현상으로 하부공기가 상부로 이동하여 온도가 높게 나타난다. 최대 일사시간대를 지난 후 일사량과 더불어 내부공기의 온도는 빠르게 감소하게 되는데, 장치내부의 공기는 상부와 하부의 공기온도가 교차하는 시간대가 경사각별로 동일하게 발생하며, 이 시간대 전·후에 응축수량이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

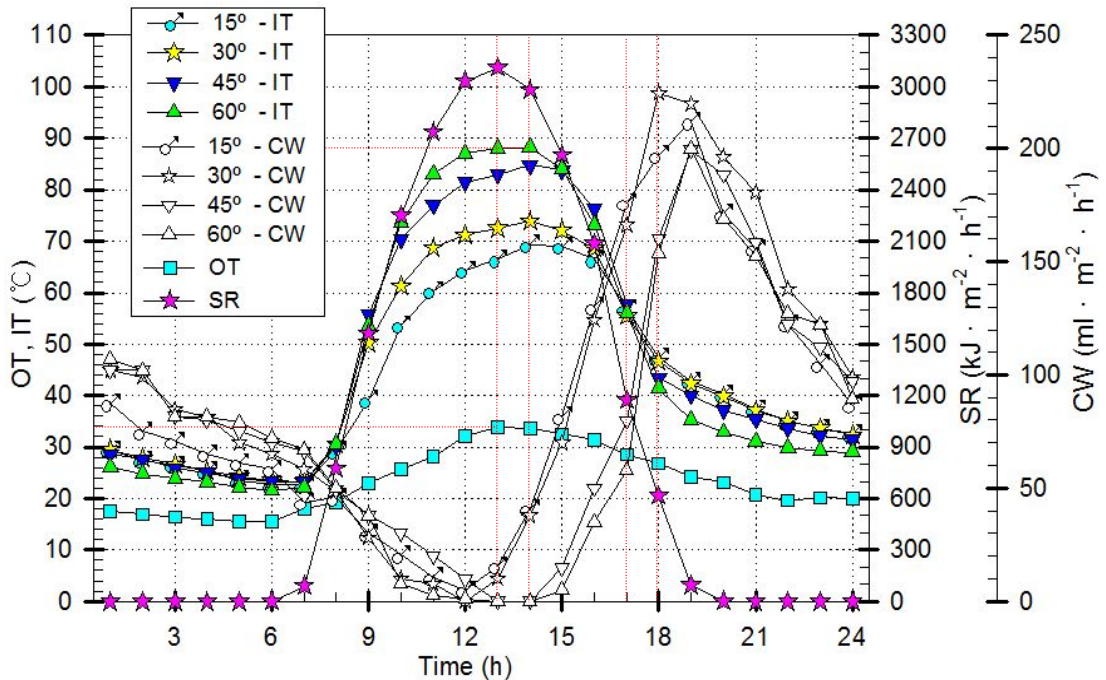


Fig 53. The solar radiation, condensed water and Inner temperature at each tilted angle (2009.09.10)

Fig 54.는 경사각별 물의 온도와 응축수량, 외기온도 변화를 시간별로 나타낸 그래프이다. 물 온도는 공기보다 비열이 크기 때문에 Fig 53.의 내부공기 온도변화에 비해 그 온도변화가 2시간 정도 늦게 나타나고 온도도 낮게 나타났다.

경사각별로는 경사각이 큰 60° 장치는 집열면적이 커서, 일사의 증가에 따라 물 온도의 상승과 하강이 빠르게 변화한다. 15° 경사각의 경우 상승속도는 느리나 내부공기의 체적이 작아 물로의 열전달이 많아 온도가 높게 상승하였고, 외기와 접하는 유리면적이 작아서 온도의 하강이 서서히 이루어진다.

일사에 의한 물 온도는 16시, 외기온도는 13시에 최대점에 이르러 물 온도는 온실효과에 의하여 54℃ 까지 상승하여 장치의 외부온도 보다 22℃ 정도 높게 나타났다. 응축은 외기온도가 하강할 때부터 발생하여 급격하게 증가하고 18시 정도에 최대의 응축을 보이며 다음날 일사가 최대가 되는 시간까지 지속적으로 감소하면서 발생한다.

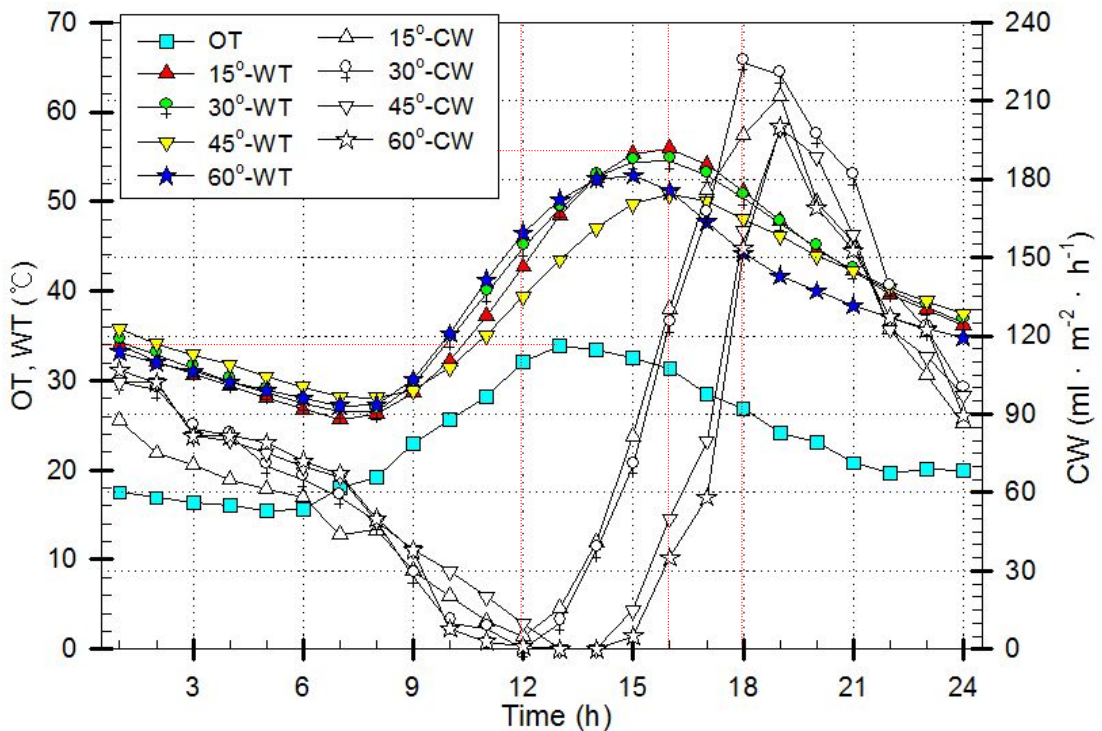


Fig 54. The relation of condensed water, inner water temperature and outer temperature at each tilted angle (2009.09.10)

4.5 계절과 날씨에 따른 응축

4.5.1 봄철 날씨와 응축특성

Table 20.은 2010년 3월부터 5월까지 3개월간의 기상과 응축수량을 월별 평균값으로 나타낸 표이다.

일사량은 3월에서 5월로 갈수록 증가하여 봄철에는 평균 $13,398 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{d}$ 이었으며, 구름의 양은 58%, 일조시간은 5.3시간으로 측정되었다. 이 기간의 일사량은 연평균 일사량 $12,540 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{d}$ 에 비하여 높게 나타났고 응축수량은 경사각별로 3월과 4월에는 30° 경사각에서 많이 발생하였으나 일사량이 많아지고 태양고도가 높아지면서 5월에는 15° 경사각에서 많이 발생하였다.

월별로 태양고도각의 변화로 인하여 태양광과 수직인 경사면 각도는 3월에는 37.2° , 4월은 25° , 5월은 16.1° 이며 이 각도와 장치 경사각이 근사한 장치에서 많은 응축수가 발생하였는데, 태양과 수직하는 각도와 경사면의 각도가 같을 때 집열면적이 커서 많은 일사를 받을 수 있기 때문이다.

월별로는 3월에서 5월로 갈수록 일사량이 증가하고 일조시간이 증가하여 응축수량이 급격하게 증가하였으며 경사각별로는 15° 경사각에서 응축수량의 증가가 가장 높았으며 기간평균 응축수량은 $30^\circ > 15^\circ > 45^\circ > 60^\circ$ 순으로 발생하였다.

Table 20. The weather and the condensation in spring (2010.03 ~ 05)

Division	Solar radiation ($\text{kJ/m}^2\cdot\text{d}$)	Amount of cloud (1/10%)	Duration of sunshine (h)	CW ($\text{ml/m}^2\cdot\text{d}$)			
				15°	30°	45°	60°
MAR	10,487	6.4	3.7	401	615	563	474
APR	14,690	5.5	6.1	1,063	1,245	957	794
MAY	15,019	5.5	6.2	1,701	1,677	1,228	940
Average (MAR~MAY)	13,398	5.8	5.3	1,055	1,179	916	736
Average (Year)	12,540	5.5	5.0	1,044	1,109	757	748

Fig 55.는 일사량이 $15,233 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며, 구름의 양이 45% 인 날(2010.04.09)의 경사각별 내부온도 변화와 일사량에 따른 응축수 발생량을 나타낸 그래프로서 이 날의 응축수량은 경사각별로 $931 \sim 1,389 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d}$ 가 발생하였다.

이 날은 전일의 일사가 매우 많아서 응축수량이 많았고, 내부공기 온도는 $60 \sim 73^\circ\text{C}$ 로서 경사각이 클수록 높았으며, 물의 온도변화는 경사각별로 16°C 정도로서 매우 작은 차이를 보였다.

전일의 일사에 의하여 오전 중에 응축수량이 많았고, 일사량이 증가하는 시간대에도 응축수량이 증가하지 않고 계속 감소하는 경향을 보였다. 응축수량은 일사량이 감소하기 시작하면서 다시 증가하였고, 내부공기의 온도상승은 경사각이 클수록 높았고, 응축수 발생속도는 경사각이 작을수록 구배가 크게 나타났다.

최대의 응축수가 발생하는 시간대는 20시 경으로 $110 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{h}$ 이 발생되었고, 30° 경사각이 하루 동안 $1,389 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d}$ 를 생산하였고 경사각별로는 $30^\circ > 15^\circ > 45^\circ > 60^\circ$ 순으로 발생되었다.

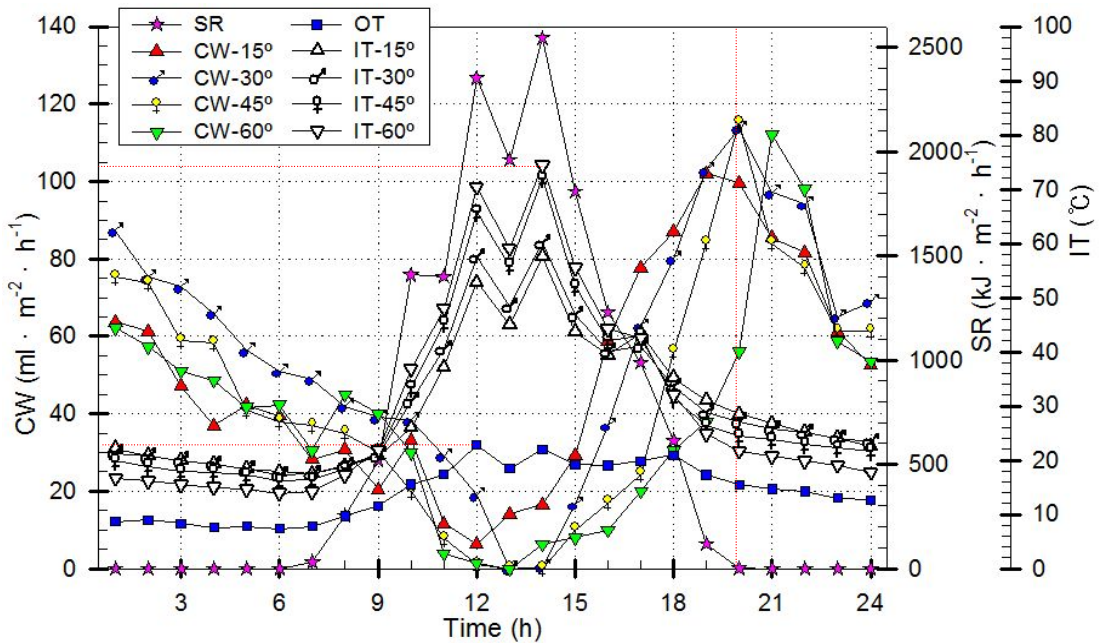


Fig 55. Solar radiation, condensed water and inner and outer temperature at each tilted angle (2010.04.09)

Fig 56.은 3월부터 5월까지 92일간의 일사량, 운량, 일조시간, 강수량의 변화에 따른 경사각별 응축수량을 나타낸 그래프이다. 5월로 갈수록 지속적으로 응축수량이 증가함을 알 수 있다.

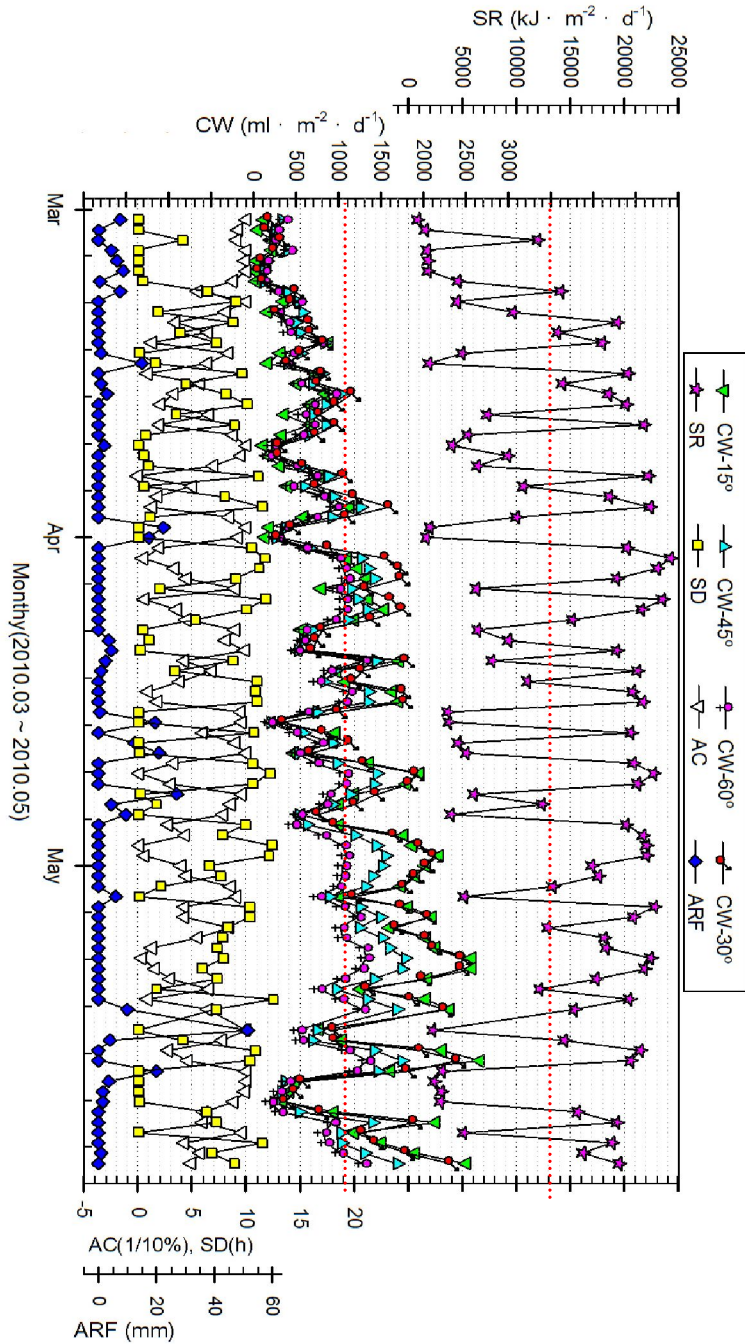


Fig 56. Condensation characteristic in spring (2010. 03 ~ 2010. 05)

Fig 57.은 3월부터 5월까지 92일 동안 외기온도 변화에 따른 경사각별 응축수 발생량을 회귀분석 한 그래프이다.

그래프에서는 경사각이 작은 장치일수록 외기온도 변화에 대한 기울기가 크고, 응축수 발생량은 계절평균 30° 경사각에서 가장 많은 응축수가 발생하였으며, 외기온도가 20℃ 를 넘는 경우에는 15° 경사각이 가장 많은 응축수를 발생하였는데, 작은 경사각에서 응축수가 많이 발생한 것은 내부 공간체적이 가장 작아서 공기의 열이 물로 전달이 잘되어 온도가 높았기 때문이다.

45° 와 60° 경사각의 경우 외기온도 변화에 따른 응축수 발생량의 변화가 작았으며 회귀분석 결과 가장 많은 응축수량을 나타낸 30° 경사각의 외기온도 변화에 대한 응축수 발생식은 『 $CW_{30} = 67.747 \times OT + 319.17$ 』 이 산출되었다.

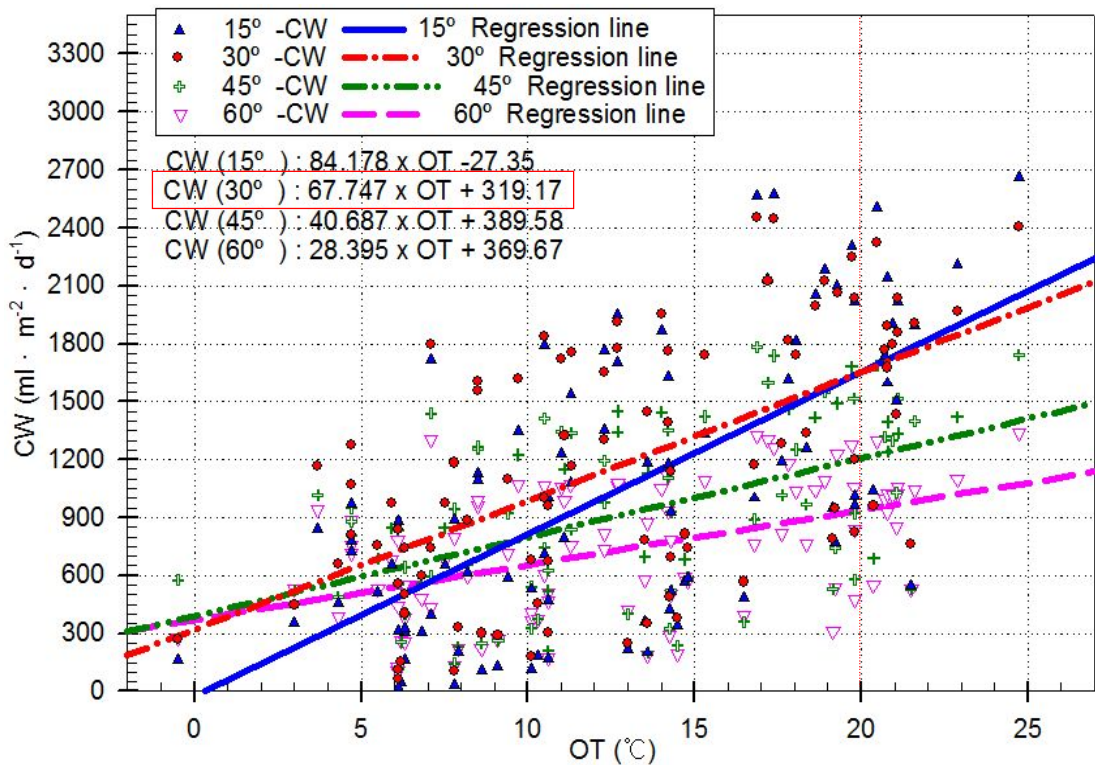


Fig 57. The relation of condensed water and outer temperature
(2010.03 ~ 2010.05)

Fig 58.은 3월부터 5월까지 92일 동안 일사량의 변화에 따른 경사각별 응축수 발생량을 회귀분석 한 그래프이다.

그래프에서는 30° 경사각이 일사량 전 영역에서 응축수 발생량이 가장 많음을 알 수 있고, 일사량이 많아질수록 15° 경사각 장치가 30° 경사각에 근접하게 되고 15°, 30° 경사각 모두 일사량이 많아질수록 응축수 발생량이 커짐을 알 수 있다.

Fig 57.에서의 외기온도 변화에 대한 그래프와 마찬가지로 45° 와 60° 경사각은 일사량에 대해서도 가장 낮은 기울기를 갖고 따라서 응축수의 발생량도 적었다.

회귀분석 결과 30° 경사각의 일사량 변화에 대한 응축수 발생식은 『 $CW_{30} = 0.058 \times SR + 404.17$ 』 이 산출 되었다.

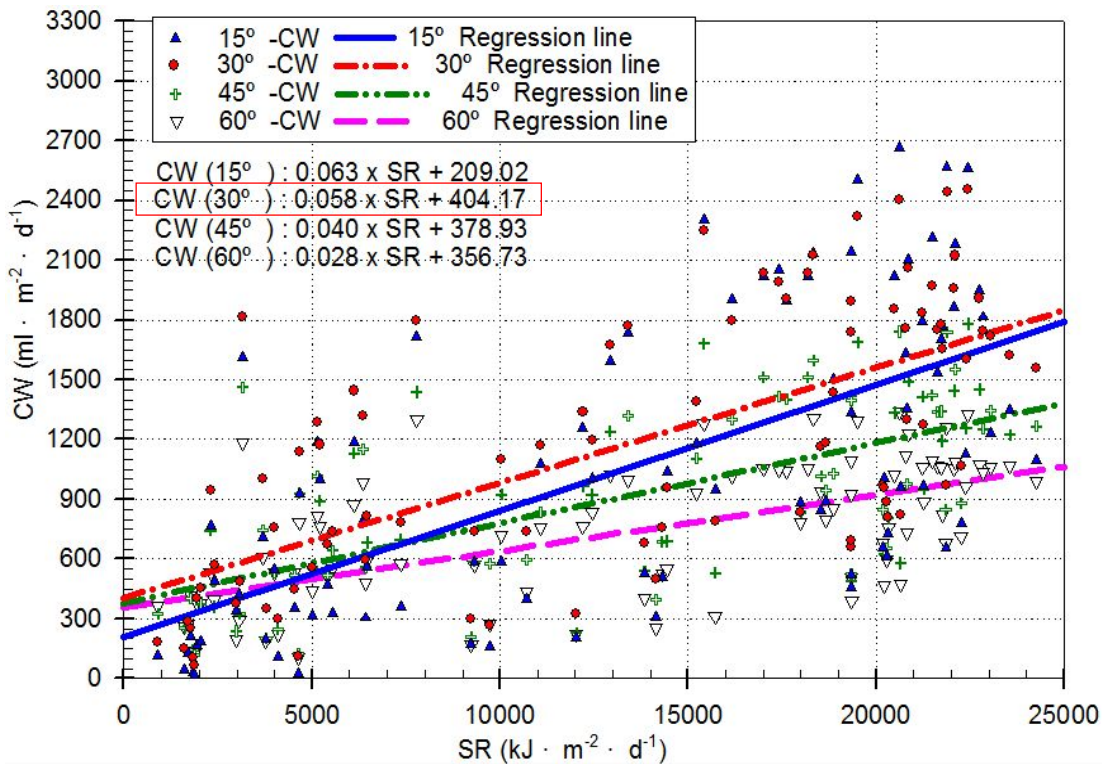


Fig 58. The relation of condensed water and solar radiation at each tilted angle (2010.03 ~ 2010.05)

4.5.2 여름철 날씨와 응축특성

Table 21.은 2010년 6월부터 8월까지 3개월간의 기상과 월 평균 응축수량을 나타낸 표이다.

일사량은 6월에서 8월로 갈수록 증가하여 여름철 평균 13,235 kcal/m²·d 이었으며, 구름의 양은 68.7%, 일조시간은 4.2시간으로 측정되었다. 응축수량은 경사각별로 6월, 7월, 8월 모두 15° 경사각에서 많이 발생하였는데, 월별로 태양고도의 변화로 태양광과 수직인 경사면의 각도는 6월에는 12°, 7월은 14.2°, 8월은 22.1° 로서 이 각도와 근접한 경사각을 갖는 장치에서 많은 응축수가 발생하였다.

이는 경사각이 태양수직면과 근접하여야 장치 상부 유리면에 수직으로 입사하는 면적이 증가하여 많은 일사량을 받을 수 있기 때문이다.

6월부터 8월까지 여름철의 일사량은 연평균 일사량 12,540 kcal/m²·d 에 비하여 5.25% 높았고 발생한 응축수량도 연간 평균값보다 많았다. 7월은 구름양이 77% 로 많고 강수량도 월 453 mm 로 매우 많아 여름철 중에 가장 적은 응축수가 발생되었다. 경사각별로 여름철의 응축수 발생량은 15° > 30° > 45° > 60° 순으로 발생하였다.

Table 21. The weather and the condensation in summer (2010.06 ~ 2010.08)

Division	Solar radiation (kJ/m ² ·d)	Amount of cloud (1/10%)	Duration of sunshine (h)	Rainfall (mm)	CW (ml/m ² ·d)			
					15°	30°	45°	60°
JUN	14,461	6.4	5.4	62.7	1,827	1,730	1,166	1,007
JUL	11,552	7.7	3.2	453.8	1,523	1,456	886	851
AUG	13,694	6.5	4.0	337.6	1,746	1,692	1,013	1,043
Average (JUN~AUG)	13,235	6.87	4.2	284.7	1,698	1,626	1,021	967
Average (Year)	12,540	5.5	5.0	1,513.4	1,044	1,109	757	748

Fig 59.는 일사량이 $14,752 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며, 구름의 양이 88% 로서 강수량이 15.5 mm/d 인 날(2010.07.25)의 경사각별 내부온도 변화와 일사량에 따른 응축수량을 나타낸 그래프로서 경사각별로 $1,154 \sim 1,944 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d}$ 의 응축수가 발생되었다.

이 날은 전일의 일사가 매우 작아서 오전중의 응축수량이 적었고, 내부공기 온도는 $59 \sim 73^\circ\text{C}$ 로서 경사각이 클수록 높았으며, 물의 온도변화는 경사각별로 15° 정도의 변화를 보였다.

일사량이 증가하는 시간대에도 응축수량이 증가하지 않고 계속 감소하였고 최대의 일사량을 보인 후 일사량이 감소하면서 15시 이후에 비가 내리면서 일사량이 매우 적어지면서 응축수는 폭발적으로 발생하였고, 18시 이후에 다시 비가 시작되면서 응축이 증가하는 현상이다. 이 날은 강수량이 15.1 mm/d 로서 비로인하여 일사량이 감소하고 응축수 발생량과 시간대가 불규칙적으로 발생하였고 경사각별로 $15^\circ > 30^\circ > 45^\circ > 60^\circ$ 순으로 발생 하였다.

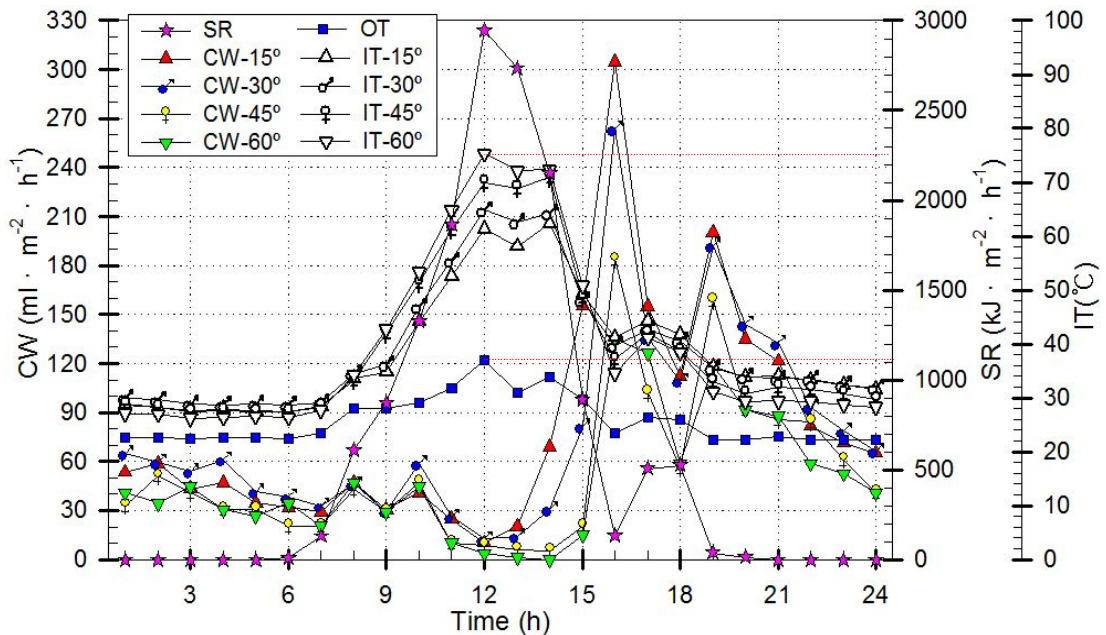


Fig 59. Solar radiation, inner and outer temperature and condensed water at each tilted angle (2010.07.25)

Fig 60.은 6월부터 8월까지 92일간의 일사량, 구름양, 일조시간, 강수량의 변화에 따른 경사각별 응축수량을 나타낸 그래프이다. 7월은 장마철로 일사량이 적고 구름양이 많아 응축수가 적게 발생하였다.

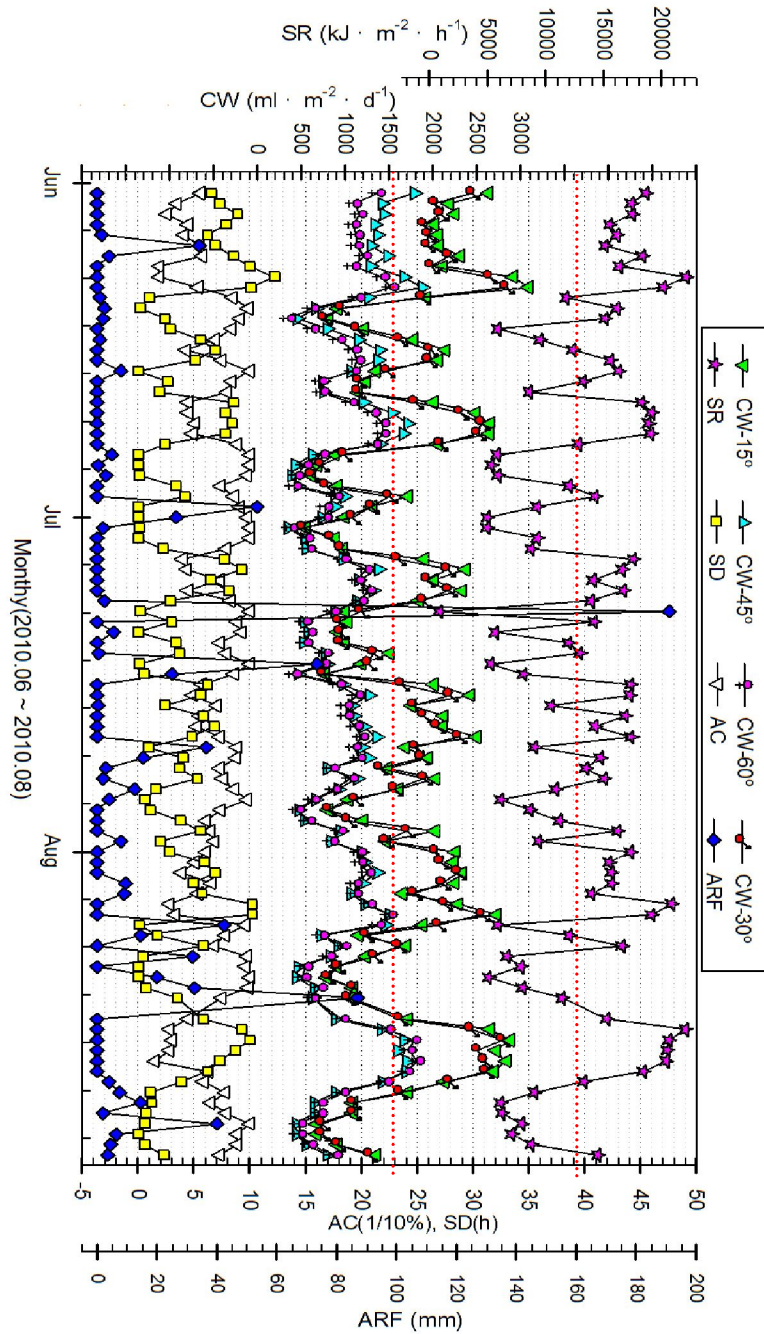


Fig 60. Condensation characteristic in summer (2010. 06 ~ 2010. 08)

Fig 61.은 6월부터 8월까지 92일 동안 외기온도 변화에 따른 경사각별 응축수 발생량을 회귀 분석한 그래프이다.

그래프에서는 여름철의 외기온도가 높게 분포되어 많은 응축수가 발생하며, 경사각이 작은 장치와 큰 장치의 응축수 발생특성은 유사하나 기울기가 작음을 알 수 있다.

응축수 발생량은 외기온도가 22℃ 를 넘으면서 15° 경사각에서 가장 많은 응축수가 발생하였다.

회귀분석 결과 15° 경사각의 외기온도 변화에 대한 응축수 발생식은 『 $CW_{15} = 17.06 \times OT + 1,232.38$ 』 이 산출 되었다.

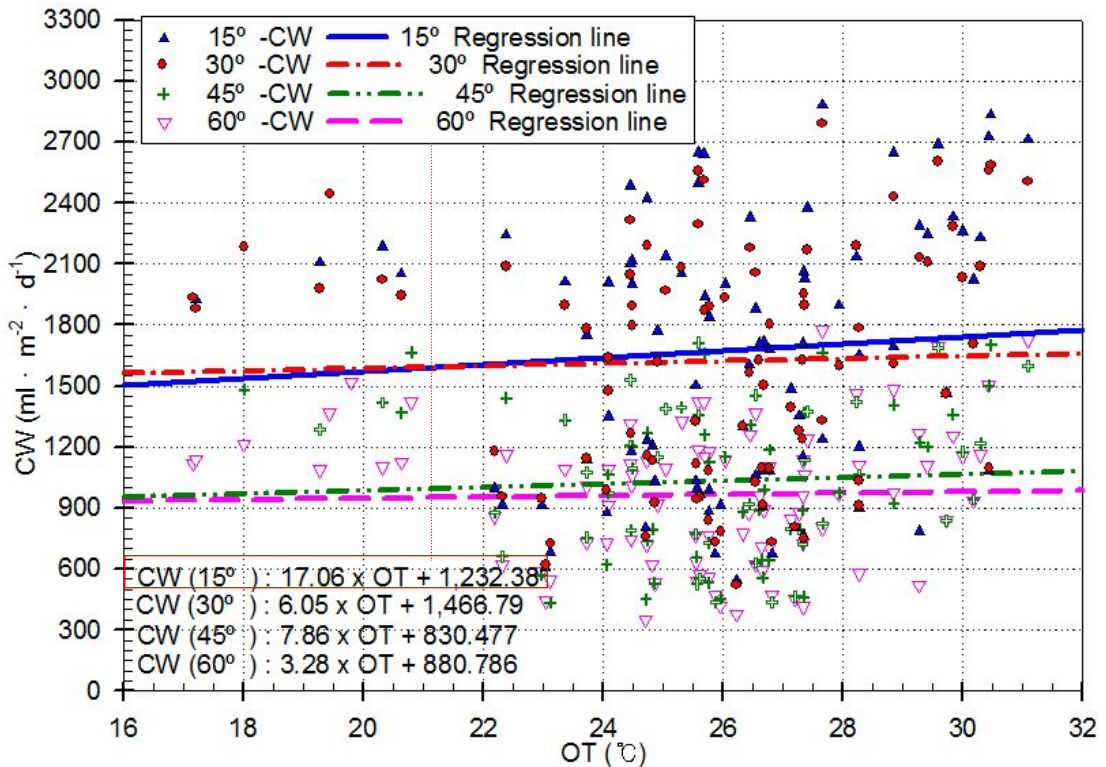


Fig 61. The relation of condensed water and outer temperature at each tilted angle (2010.06 ~ 2010.08)

Fig 62.은 6월부터 8월까지 92일 동안 일사량의 변화에 따른 경사각별 응축수 발생량을 회귀 분석한 그래프이다.

그래프에서는 15° 경사각은 일사량 8,500 $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 이상에서 응축수 발생량이 많음을 알 수 있고, 이는 태양의 고도각과 수직하는 경사면의 각도가 3개월간 평균 16.1°로 15° 경사각 장치가 이와 근사한 경사를 갖기 때문이다.

그래프에서 보는 바와 같이 경사각이 작은 15° 와 30° 경사각과 45° 와 60° 경사각의 일사량에 대한 기울기 차이가 큼을 알 수 있고 내부공간 체적이 작은 경사각이 큰 기울기를 갖게 됨을 알 수 있다.

회귀분석 결과 15° 경사각의 일사량 변화에 대한 응축수 발생식은 『 $\text{CW}_{15} = 0.112 \times \text{SR} + 241.062$ 』 가 산출 되었다.

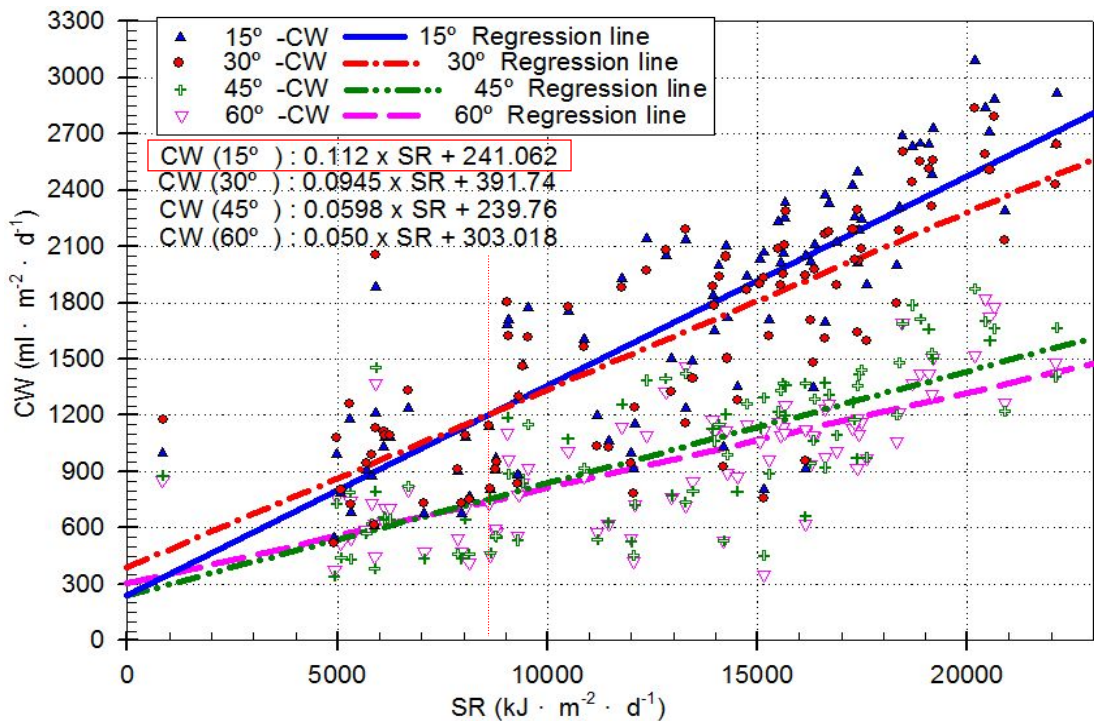


Fig 62. The relation of condensed water and solar radiations at each tilted angle in summer (2010.06 ~ 2010.08)

4.5.3 가을철 날씨와 응축특성

Table 22.는 2010년 9월부터 11월까지 3개월간의 기상과 응축수량을 월별로 평균하여 나타낸 표이다.

가을철 일사량은 평균 $12,937 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{d}$ 이었으며, 구름의 양은 44.6%, 일조시간은 5.63시간으로 측정되었다.

응축수량은 9월에는 15° 경사각이 많이 발생 하였고, 10월과 11월은 30° 경사각에서 많이 발생하였으며 9월에서 11월로 갈수록 응축수량이 감소하였는데 구름양이 감소하고 일조시간이 증가하였는데도 응축수량이 감소한 것은 북반구에 위치한 지역은 태양 고도 감소로 지표면이 받는 일사량이 감소하고 외기온도가 감소하였기 때문이다.

경사각에 따라서는 11월로 갈수록 15° 경사각 장치에서 30° 경사각 장치로 최대응축수량을 발생시키는 장치가 변화하였다. 이는 경사각이 태양광과 수직으로 입사하는 면적이 증가하기 때문에 많은 일사량을 받을 수 있기 때문이다. 9월부터 11월까지 여름철의 일사량은 연평균 일사량 $12,540 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 에 비하여 3.06% 높았고 발생된 10월까지의 응축수량은 연간 평균값보다 많이 발생하였다. 경사각별로 가을철의 응축수 발생량은 $30^\circ > 15^\circ > 60^\circ > 45^\circ$ 순으로 발생하였다.

Table 22. The weather and the condensation in autumn (2010.09 ~ 2010.11)

Division	Solar radiation ($\text{kJ/m}^2 \cdot \text{d}$)	Amount of cloud (1/10%)	Duration of sunshine (h)	Rainfall (mm)	CW ($\text{ml/m}^2 \cdot \text{d}$)			
					15°	30°	45°	60°
SEP	13,763	5.6	5.1	74.5	1,600	1,593	1,001	1,080
OCT	14,105	4.3	5.4	42.9	1,271	1,317	848	932
NOV	10,944	3.5	6.4	7.5	802	899	593	686
Average (SEP~NOV)	12,937	4.46	5.63	41.6	1,224	1,269	814	899
Average (Year)	12,540	5.5	5.0	1,513.4	1,044	1,109	757	748

Fig 63.은 일사량이 $16,636 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ 이며, 구름의 양이 53%, 일조시간 5.5시간 인 날의 경사각별 내부온도 변화와 일사량에 따른 응축수량을 나타낸 그래프로서 경사각 별로 $1,021 \sim 1,183 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d}$ 가 발생되었다.

내부공기 온도는 $50 \sim 76^\circ\text{C}$ 로서 경사각이 클수록 높았으며, 물의 온도변화는 경사각 별로 8°C 정도로서 작은 변화를 보였다.

응축수는 오전 중에는 전일의 일사에 의해 지속적으로 감소하여 발생하고 일사량이 증가하여 내부공기 온도가 상승하면서 내부온도가 일시적으로 포화온도상태에 도달하여 증가하였고, 오후에는 일사량이 감소하고 일몰시간대에 급격하게 응축수량이 많아 지는 특성을 보였다.

이 날은 응축수 발생량과 시간대가 불규칙적으로 발생하였고 경사각별로 $30^\circ > 45^\circ > 60^\circ > 15^\circ$ 순으로 발생 하였다.

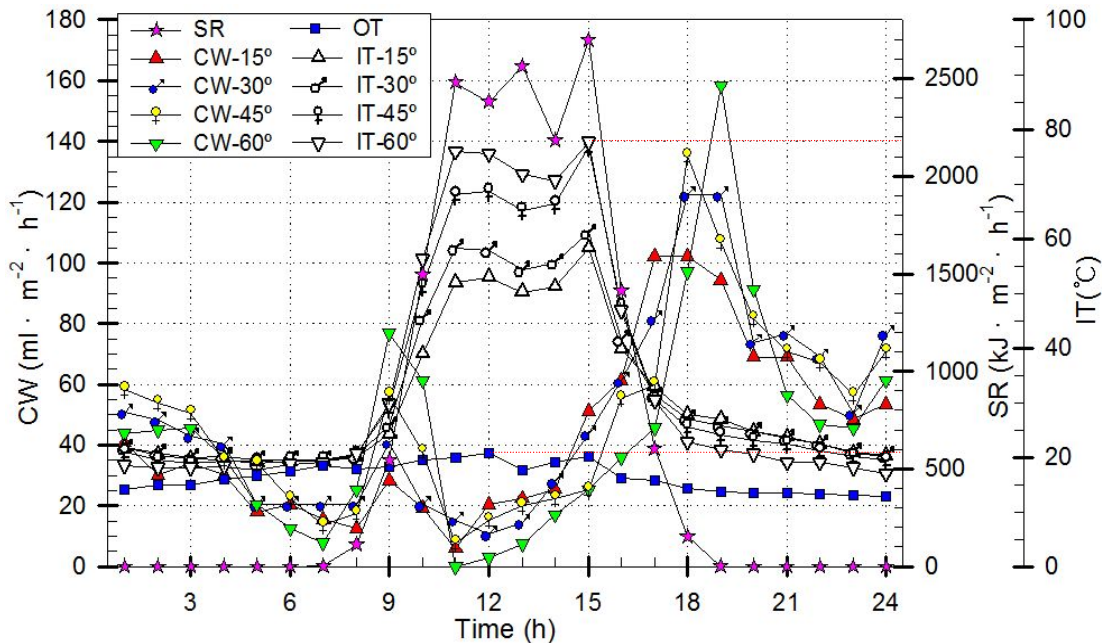


Fig 63. Solar radiation, inner and outer temperature and condensed water at each tilted angle (2010.10.19)

Fig 64.는 9월부터 11월까지 91일간의 일사량, 구름량, 일조시간, 강수량의 변화에 따른 경사각별 응축수량을 나타낸 그래프 이다. 10월이 구름이 적고 일사량이 가장 많았으며, 응축수량은 11월로 갈수록 점차 감소하였다.

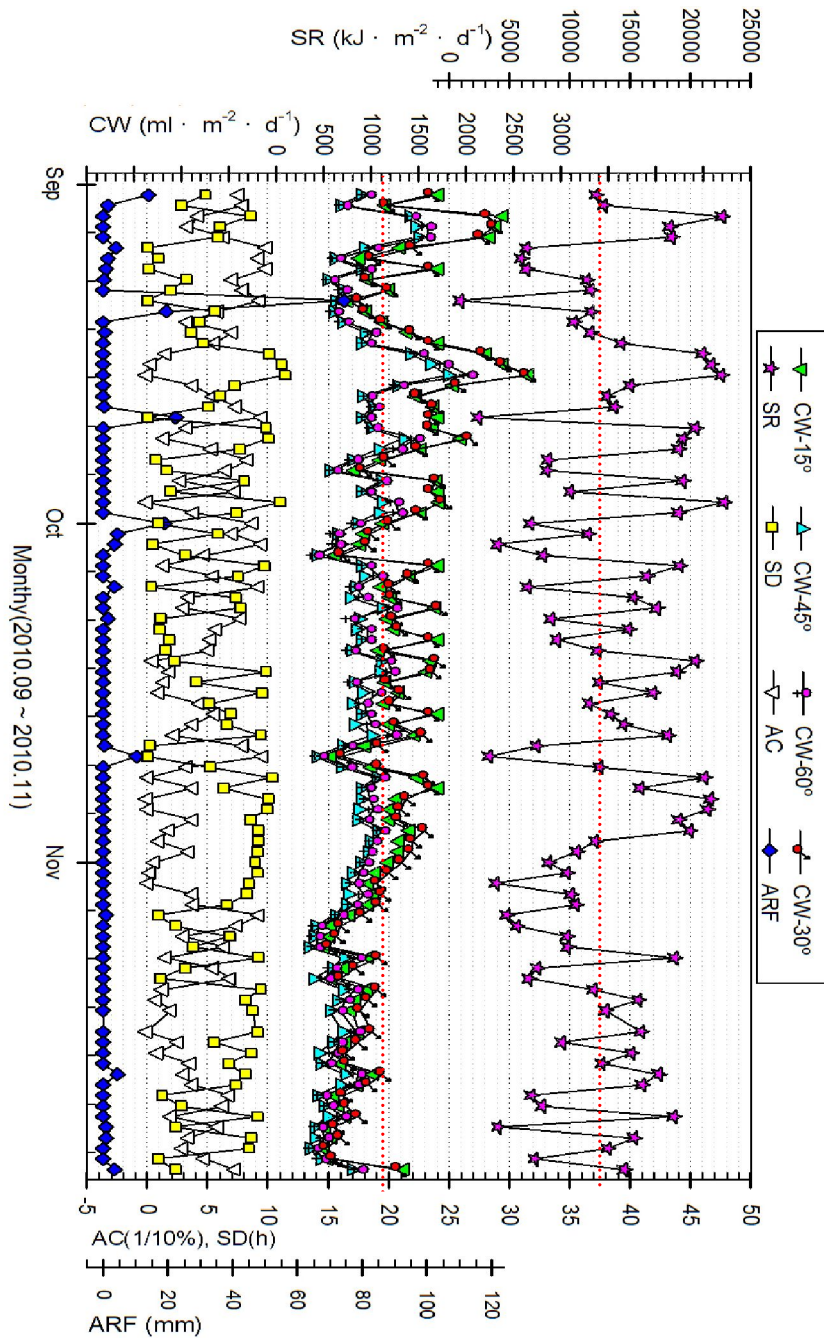


Fig 64. Characteristic of condensation in autumn (2010. 09 ~ 2010. 11)

Fig 65.는 9월부터 11월까지 91일 동안 외기온도 변화에 따른 경사각별 응축수 발생량을 회귀 분석한 그래프이다.

그래프에서는 여름철의 외기온도가 높게 분포되어 많은 응축수가 발생하며, 경사각이 작은 장치와 큰 장치의 응축수 발생특성은 유사하며, 경사각이 클수록 기울기가 작음을 알 수 있다. 응축수 발생량은 외기온도가 24℃를 넘으면서 경사각이 작은 15° 경사각이 가장 많은 응축수가 발생하였으며, 계절평균 30° 경사각이 가장 많은 응축수가 발생되었다.

회귀분석 결과 30° 경사각의 외기온도 변화에 대한 응축수 발생식은 『 $CW_{30} = 38.234 \times OT + 643.24$ 』가 산출 되었다.

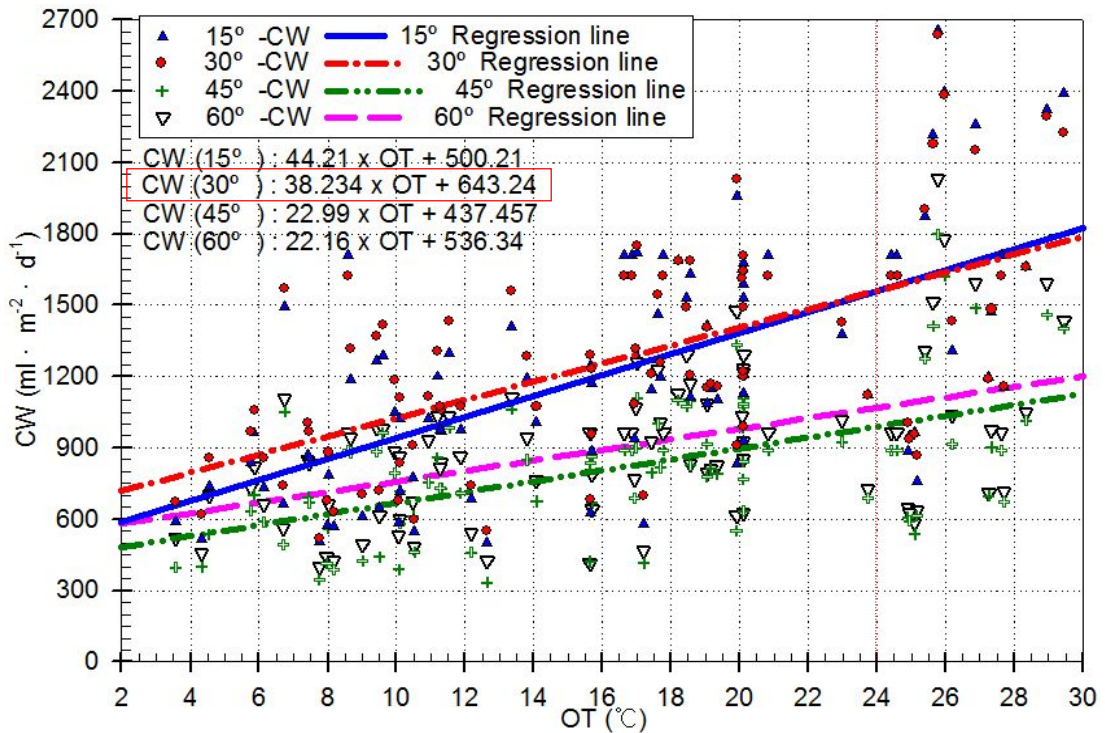


Fig 65. The relation of condensation water and outer temperature at each tilted angle (2010.09 ~ 2010.11)

Fig 66.은 9월부터 11월까지 91일 동안 일사량의 변화에 따른 경사각별 응축수 발생량을 회귀 분석한 그래프이다.

그래프에서는 30° 경사각이 일사량 전 영역에서 응축수 발생량이 가장 많음을 알 수 있고, 이는 태양의 고도각과 수직하는 경사면의 각도는 9월은 33.5°, 10월은 45.3°, 11월 54.3° 로 3개월간 평균 44.41° 로 이 각도와 근사한 경사를 갖는 장치인 45° 경사각 장치가 많은 일사량을 받을 수 있으나 내부공간의 체적이 적은 30° 경사각에서 응축수 발생이 많았다.

그래프에서 보는 바와 같이 경사각이 작은 15° 와 30° 경사각과 45° 와 60° 경사각의 일사량에 대한 응축수 발생량이 차이가 있음을 알 수 있는데 이는 내부공간 체적이 적을수록 많은 응축수가 발생하기 때문이다.

회귀분석 결과 30° 경사각의 일사량 변화에 대한 응축수량은 『 $CW_{30} = 0.049 \times SR + 641.48$ 』 이 산출 되었다.

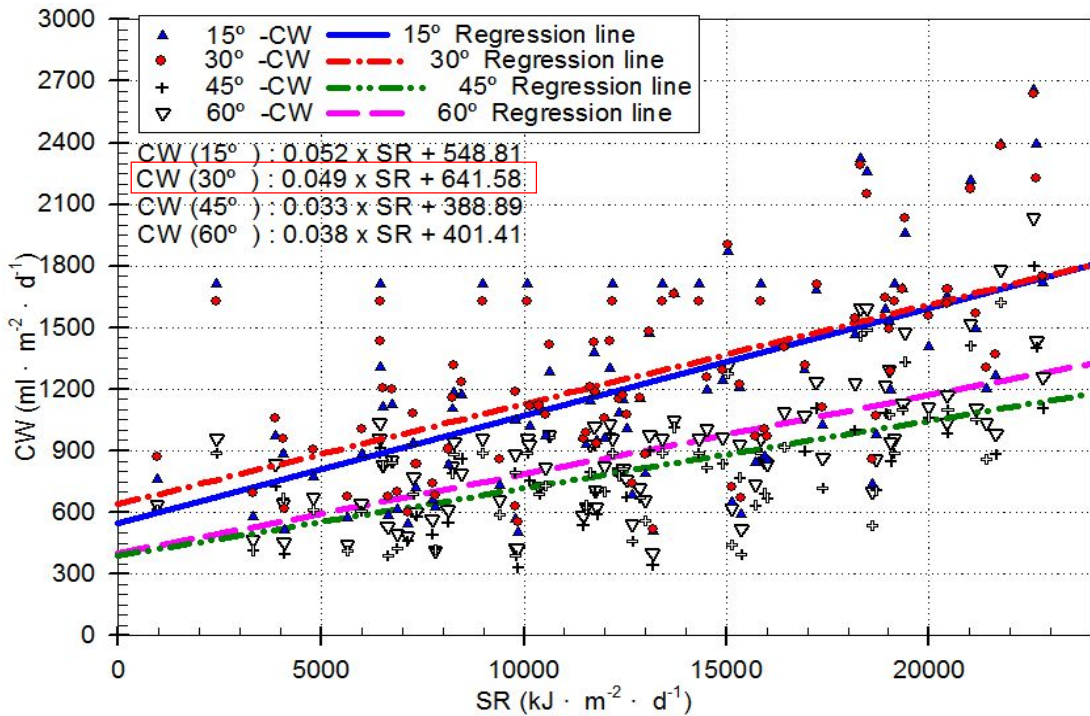


Fig 66. The relation of condensation water and solar radiations at each tilted angle in autumn (2010.09 ~ 2010.11)

4.5.4 겨울철 날씨와 응축특성

Table 23.은 2010년 12월부터 2011년 02월까지 3개월간의 기상과 응축수량을 월별로 평균하여 나타낸 표이다.

겨울철 일사량은 평균 10,749 kcal/m²·d 이었으며, 구름의 양은 47%, 일조시간은 4.97시간으로 측정되었다. 응축수량은 12월에는 30° 경사각이 많이 발생 하였고 1월과 2월은 60° 경사각에서 많이 발생하였으며, 12월에서 2월로 갈수록 응축수량이 증가하였는데 1월이 12월과 2월에 비해 일사량이 가장 많고 구름의 양은 가장 작았지만 그와 관계없이 응축수량이 증가한 것은 북반구에 위치한 지역은 태양고도 증가로 지표면이 받는 일사량이 증가하고 대기온도가 상승하였기 때문이다.

경사각에 따라서는 12월에는 30° 경사각이 응축수량이 가장 컸으나 1월과 2월에는 60° 의 응축수량이 가장 컸다. 이 또한 경사각이 태양수직면과 근접해야 장치 상부면에 수직으로 입사하는 면적이 증가하여 때문에 많은 일사량을 받을 수 있다.

12월에서 2월까지 겨울철의 일사량은 연평균 일사량 12,540 kJ/m²·d 에 비하여 14.28% 낮았고 발생된 2월까지의 응축수량은 연간 평균값보다 적게 발생하였다. 경사각별로 겨울철의 응축수 발생량은 60° > 30° > 45° > 15° 순으로 발생하였다.

Table 23. The weather and the condensation in winter (2010.12 ~ 2010.02)

Division	Solar radiation (kJ/m ² ·d)	Amount of cloud (1/10%)	Duration of sunshine (h)	Rainfall (mm)	CW (ml/m ² ·d)			
					15°	30°	45°	60°
DEC	7,802	5.0	4.4	15.3	252	403	203	346
JAN	11,830	3.5	5.8	23.3	100	269	236	407
FEB	10,347	5.5	4.7	128.4	195	376	371	399
Average (DEC~FEB)	10,749	4.7	5.0	55.7	182	348	267	384
Average (Year)	12,540	5.5	5.0	1,513.4	1,044	1,109	757	748

Fig 67.은 일사량이 9,446 kJ/m²·d 이며, 구름의 양이 64%, 일조시간 2.9시간 인 날의 경사각별 내부온도 변화와 일사량에 따른 응축수량을 나타낸 그래프로서 경사각별로 198 ~ 380 ml/m²·d 가 발생되었다.

내부공기 온도는 0 ~ 60℃ 로서 경사각이 클수록 높았으며, 일사량에 따라 비례하는 경향으로 변화하였다.

응축수는 하루 중 오전에 많이 발생하였는데, 이는 유리표면 온도가 저녁에는 영하로 내려가 전날 증발된 수증기가 얼어붙으면서 일사 이전에는 응축수가 발생하지 않고, 일사가 시작되면서 얼었던 응축수가 녹아내리기 때문이다. 일사가 시작된 이후에는 증발된 응축수가 낮은 외기온도 때문에 적은 양이 간헐적으로 발생하는 경향을 보였다.

이 날은 응축수 발생량과 시간대가 불규칙적으로 발생하였고 경사각별로 60° > 30° > 45° > 15° 순으로 발생 하였다.

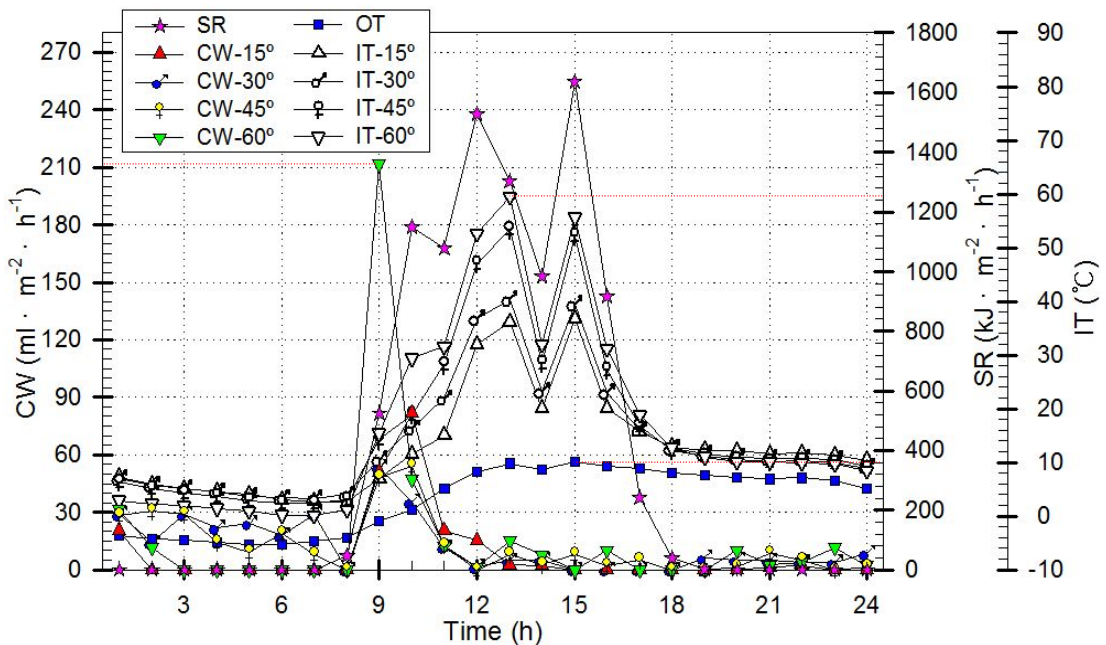


Fig 67. Solar radiation, inner and outer temperature and condensed water at each tilted angle (2010.02.07)

Fig 68.은 12월에서 2월까지 90일간의 일사량, 구름양, 일조시간, 강수량의 변화에 따른 경사각별 응축수량을 나타낸 그래프 이다. 1월이 구름이 적고 일사량이 가장 많았으며, 응축수량은 2월로 갈수록 점차 증가하였다.

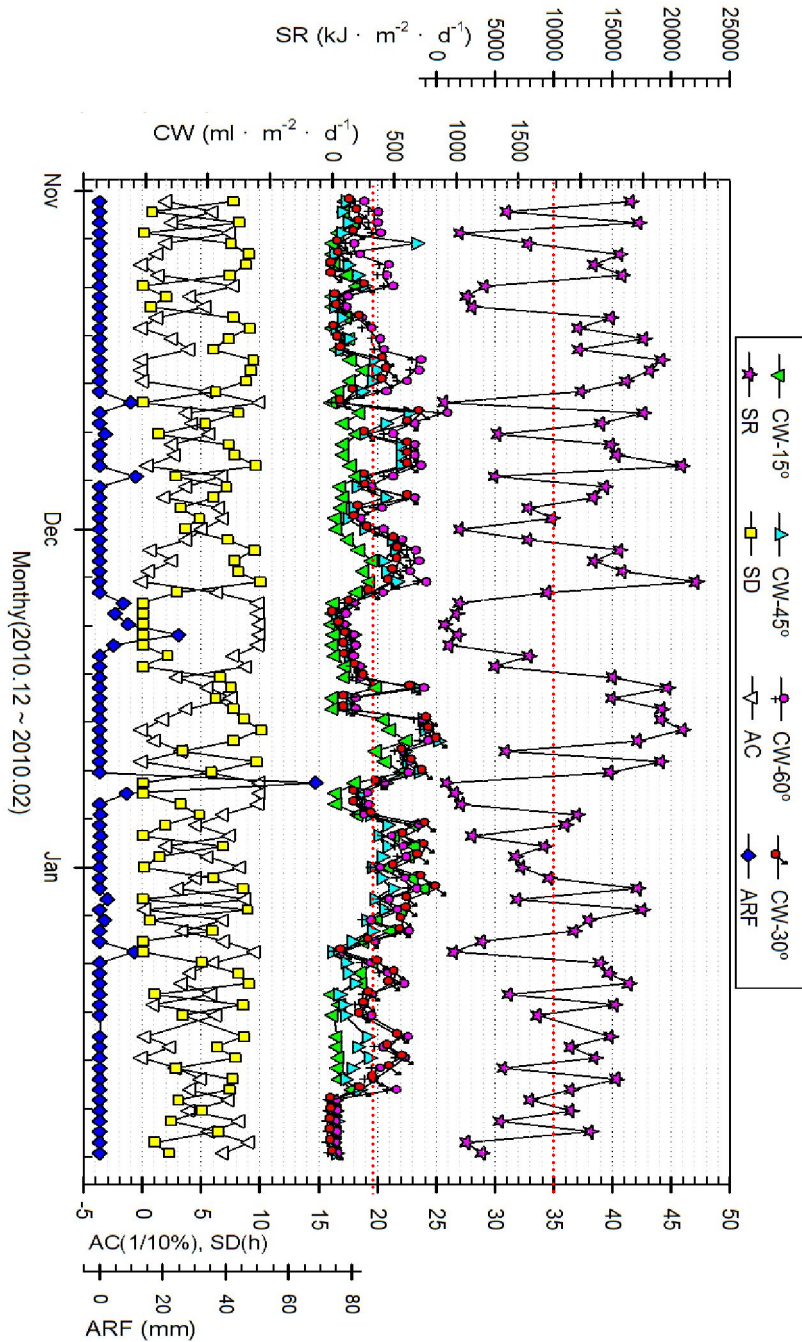


Fig 68. Characteristic of condensation in winter (2010. 12 ~ 2010. 02)

Fig 69.는 12월부터 2월까지 90일 동안 외기온도 변화에 따른 경사각별 응축수 발생량을 회귀 분석한 그래프이다.

그래프에서는 겨울철의 외기온도가 상당히 낮아 응축수가 조금 발생하며, 경사각이 작은 장치와 큰 장치의 응축수 발생특성은 유사하며, 경사각이 30° 일 때 기울기가 가장 큰 것을 알 수 있다. 응축수 발생량은 외기온도가 7°C 를 넘으면서 30° 경사각이 가장 많은 응축수가 발생하였으며, 계절평균 60° 경사각이 가장 많은 응축수가 발생되었고, 태양고도가 낮아지면서 60° 경사각이 집열면적이 증가하여 응축수량이 증가하는 현상을 보였다. 또한 60° 경사각의 경우 외기온도가 낮을수록 다른 경사각들에 비해 응축수량이 많다.

회귀분석 결과 60° 경사각의 외기온도 변화에 대한 응축수 발생식은 『 $CW_{60} = 8.63 \times OT + 350.74$ 』 가 산출 되었다.

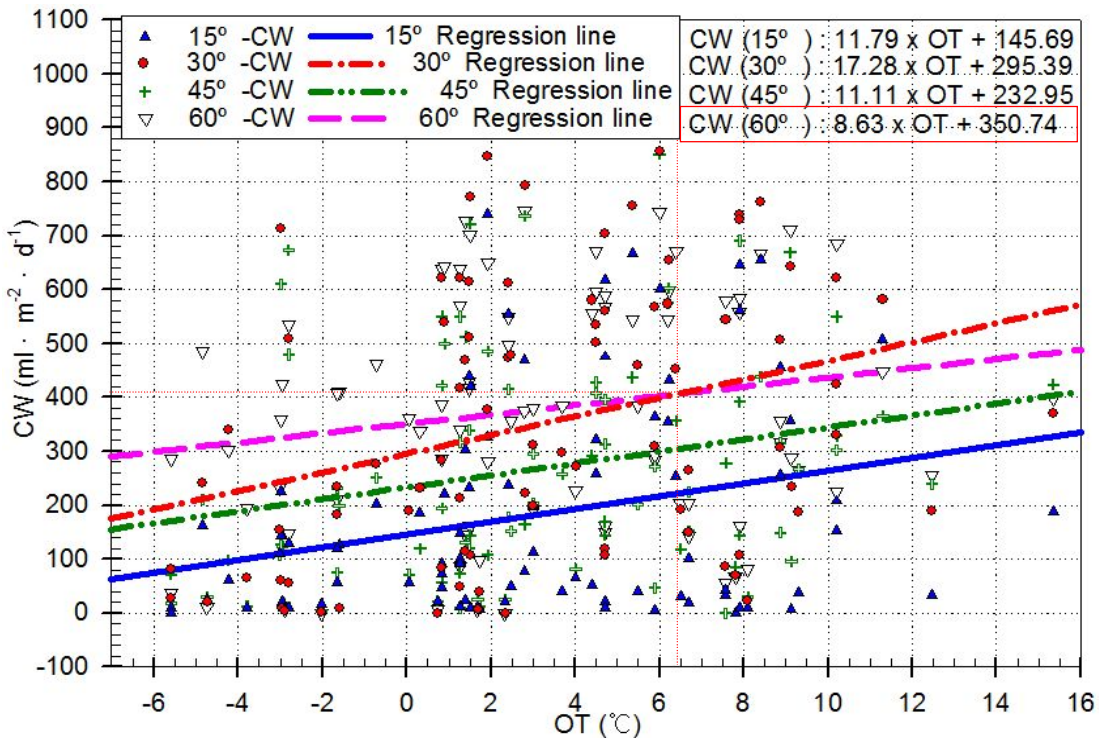


Fig 69. The relation of condensed water and outer temperature at each tilted angle in winter (2010.12 ~ 2010.02)

Fig 70.은 12월부터 2월까지 90일 동안 일사량의 변화에 따른 경사각별 응축수 발생량을 회귀 분석한 그래프이다.

그래프에서는 60° 경사각이 일사량 전 영역에서 응축수 발생량이 가장 많음을 알 수 있고, 이는 태양 고도각과 수직하는 경사면의 각도는 12월은 58.4°, 1월은 56.0°, 2월 48.0° 로 3개월간 평균 54.34° 로 이 각도와 근사한 경사를 갖는 장치인 60° 경사각 장치가 많은 일사량을 받으며 45° 경사각의 경우 집열면적에 비해 내부공간의 체적이 커서 30° 경사각보다 응축수가 적게 발생하였다.

회귀분석 결과 60° 경사각의 일사량 변화에 대한 응축수량은 『 $CW_{60} = 0.019 \times SR + 168.38$ 』 이 산출 되었다.

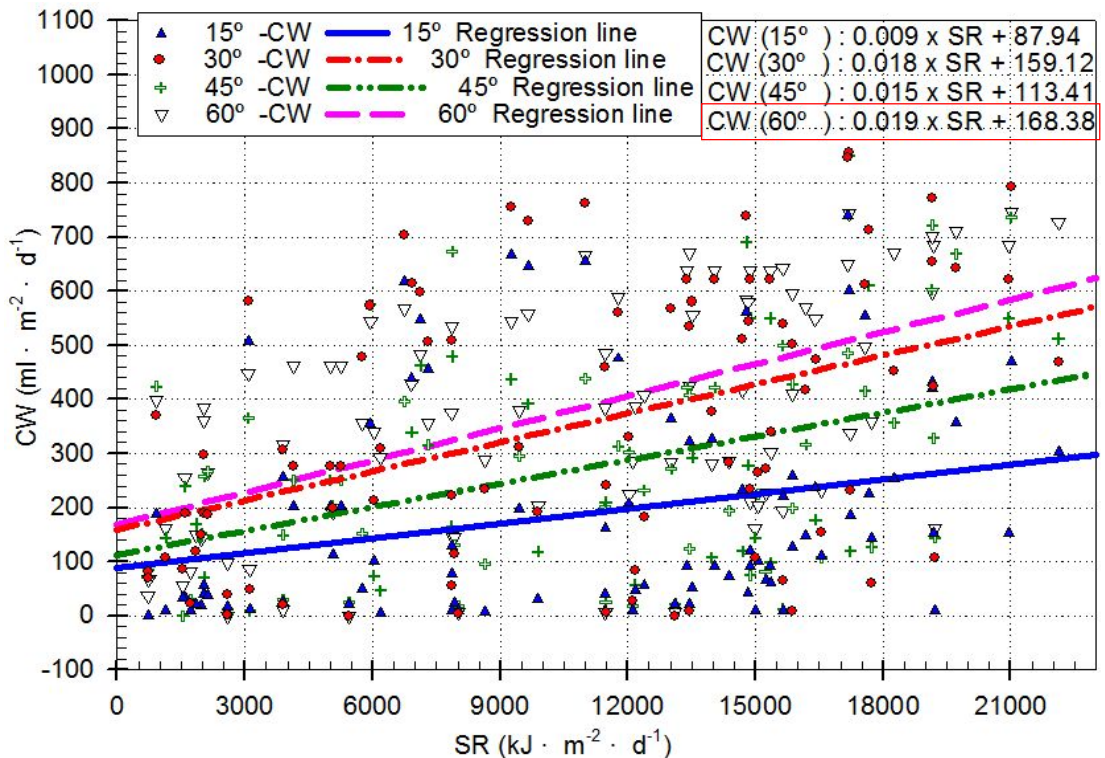


Fig 70. The relation of condensed water and solar radiation at each tilted angle in winter (2010.12 ~ 2010.02)

4.6 필요 집열면적

4.6.1 응축수량과 필요 집열면적

Table 24.는 경사각별로 일사량에 따른 장치 내부의 물 온도와 외기온도, 응축수량을 월별로 평균값을 나타낸 표이다.

Table 24. According to the monthly solar radiation and outer temperature condensation (2010.01 ~ 2010.12)

Month	SR (kJ/m ² ·d)	WT (°C)				OT (°C)	CW (ml)			
		15°	30°	45°	60°		15°	30°	45°	60°
JAN	11,830	7.2	7.4	8.5	8.4	0.3	100	269	236	407
FEB	10,347	12.9	12.3	13.1	12.3	5.5	195	376	371	399
MAR	10,487	16.7	16.1	16.1	14.8	7.1	401	615	563	474
APR	14,690	25.3	24.6	24.1	21.7	12.5	1,063	1,245	957	794
MAY	15,019	33.3	32.3	31.3	28.8	19.0	1,705	1,677	1,228	940
JUN	14,461	36.3	35.3	34.3	31.8	22.9	1,827	1,730	1,166	1,007
JUL	11,552	37.1	36.2	35.3	33.2	25.7	1,523	1,456	886	851
AUG	13,694	40.4	39.7	38.8	36.8	28.5	1,746	1,692	1,013	1,043
SEP	13,763	35.8	35.2	34.7	33.1	24.0	1,600	1,593	1,001	1,080
OCT	14,105	28.0	27.5	27.4	26.1	16.4	1,271	1,317	848	932
NOV	10,944	19.4	19.3	19.5	19.0	8.8	802	899	593	686
DEC	10,031	12.2	12.0	12.9	12.9	3.6	252	403	203	346

Fig 71.은 2010년 1월부터 12월까지 12개월간 발생한 월 평균 응축수량을 경사각별로 나타낸 그래프이다.

그래프에서는 11월부터 3월까지 5개월간은 모든 경사각에서 매우 작은 양의 응축수가 발생하였다. 이는 겨울철에는 태양고도가 낮아져 일조시간이 짧아 일사량이 감소하여 외기온도가 낮아지고, 경사각이 작은 장치는 집열면적이 좁으며, 경사각이 큰 장치는 집열면적은 넓으나 공기체적이 커서 물과 공기온도상승이 적었다. 또한 경사각이 큰 장치는 장치의 벽체면적이 커서 온도가 낮은 외부로 열손실이 증가하여 응축수량이 적었다.

4월부터 10월까지의 경사각이 작은 장치에서 낮은 태양고도각과 작은 공기체적으로 물과 공기온도가 높게 상승하였고 응축수가 많이 발생하여 30° 경사각 장치에서 4월에 1,245 ml/m²·d 의 응축수량이 측정되었다. 7월에는 장마와 비온 날이 많아 일사량이 적어 응축수량이 감소하였으나 30° 경사각 장치에서 1,475 ml/m²·d 가 발생하여 4월과 10월의 응축수량보다 많았다.

4월과 10월에는 태양광에 수직인 경사각과 유사한 경사각을 갖는 30° 경사각 장치에서 응축수량이 많았으며, 태양 고도각이 높아지는 5월부터 9월까지는 15° 경사각 장치에서 응축수량이 많았고 경사각이 큰 장치들은 응축수량이 작은 장치들보다 매우 적게 발생하였다.

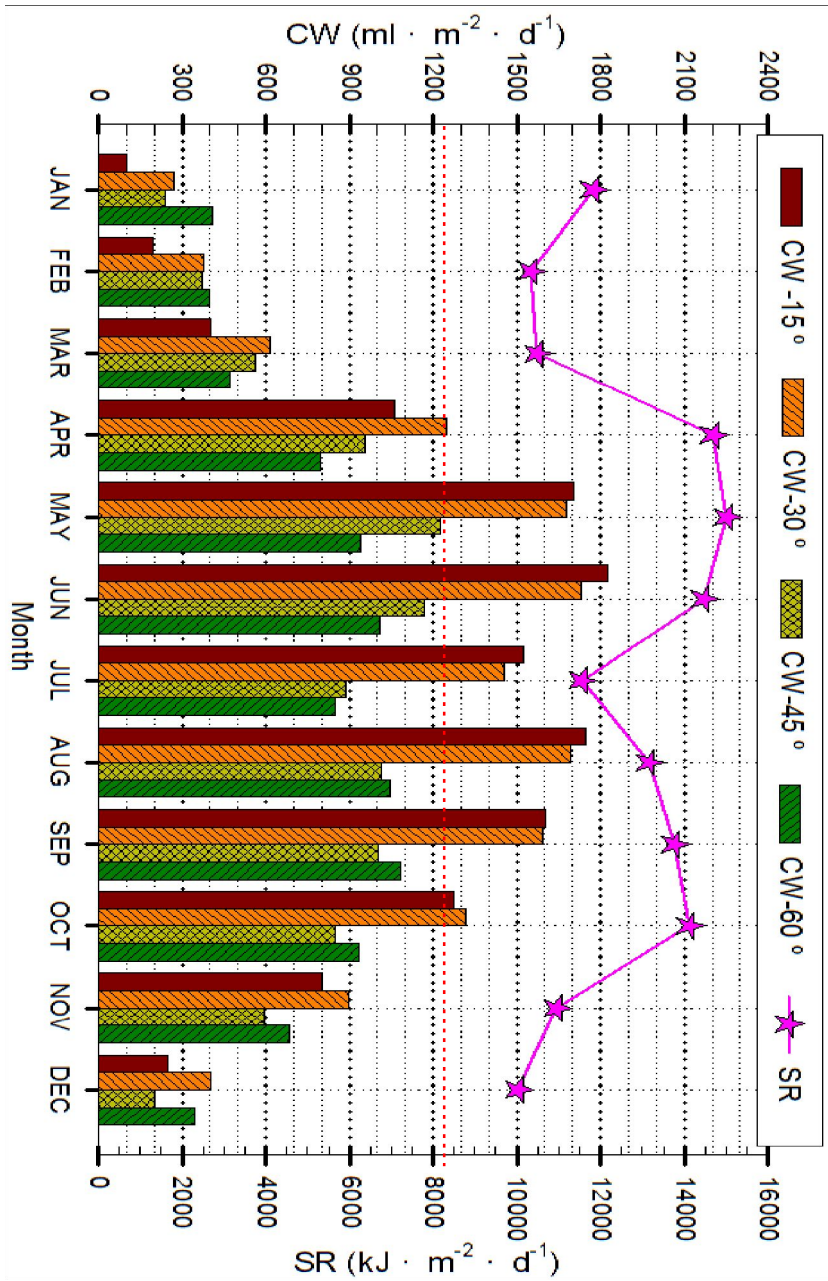


Fig 71. The condensed water and solar radiation at each tilted angle
(2010. 01 ~ 2010. 12)

Table 25.는 바닥면적이 1 m² 로 동일하고, 육면체 상부면의 경사각을 15°, 30°, 45°, 60° 로 제작한 장치로 12개월 간 실험한 결과이다.

우리나라 기후 특성상 가뭄이나 홍수가 발생하는 4월부터 10월까지 7개월 동안은 일인당 일일 최저 필요음용수량인 2,000 ml/인·d 기준하였을 때 평균적으로 15° 경사각의 장치는 1.88 m², 30° 경사각 장치는 1.61 m² 의 바닥면적이 필요함을 알 수 있었다.

Table 25. 2,000 ml/d of the bottom area required for the production of condensate (2010.01 ~ 2010.12)

Division	CW (ml/m ² ·d)				Required bottom Area (m ²)			
	15°	30°	45°	60°	15°	30°	45°	60°
JAN	100	269	236	407	19.93	7.45	8.46	4.91
FEB	195	376	371	399	10.28	5.31	5.39	5.01
MAR	401	615	563	474	4.98	3.25	3.55	4.22
APR	1,063	1,245	957	794	1.88	1.61	2.09	2.52
MAY	1,705	1,677	1,228	940	1.17	1.19	1.63	2.13
JUN	1,827	1,730	1,166	1,007	1.09	1.16	1.72	1.99
JUL	1,523	1,456	886	851	1.31	1.37	2.26	2.35
AUG	1,746	1,692	1,013	1,043	1.15	1.18	1.97	1.92
SEP	1,600	1,593	1,001	1,080	1.25	1.26	2.00	1.85
OCT	1,271	1,317	848	932	1.57	1.52	2.36	2.15
NOV	802	899	593	686	2.49	2.22	3.37	2.92
DEC	252	403	203	346	7.95	4.97	9.83	5.78

4.6.2 최적 경사각과 필요 집열면적

Fig 72.는 경사각을 다르게 제작한 4개의 실험장치에서 12개월간 실험한 Data를 계절별로 분석하여 최대 응축수량이 발생하는 경사각과 일인당 일일 필요 음용수량 2,000 ml/d 을 얻을 수 있는 바닥면적을 산출하였다.

그래프에서 볼 수 있듯이 겨울철의 경우 모든 경사각에서 375 ml/m²·d 미만의 적은 응축수량을 보였으며, 3월부터 11월까지 9개월 동안은 26° 경사각 장치에서 봄철에 1,200 ml/m²·d, 가을철에 1,345 ml/m²·d, 여름철에 1,730 ml/m²·d 를 얻을 수 있었다.

회귀분석에 의하여 경사각(AE)에 따른 봄철의 응축수량의 추정회귀식으로 『 $CW_{spring} = 82.305 + 103.737 \times AE - 2.932 \times AE^2 + 0.0231 \times AE^3$ 』 이 산출되어, 봄철에 26° 의 경사각 장치에서는 1.666 m² 바닥면적으로 2,000 ml/d 이상의 응축수를 9개월(3월부터 11월까지) 동안 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

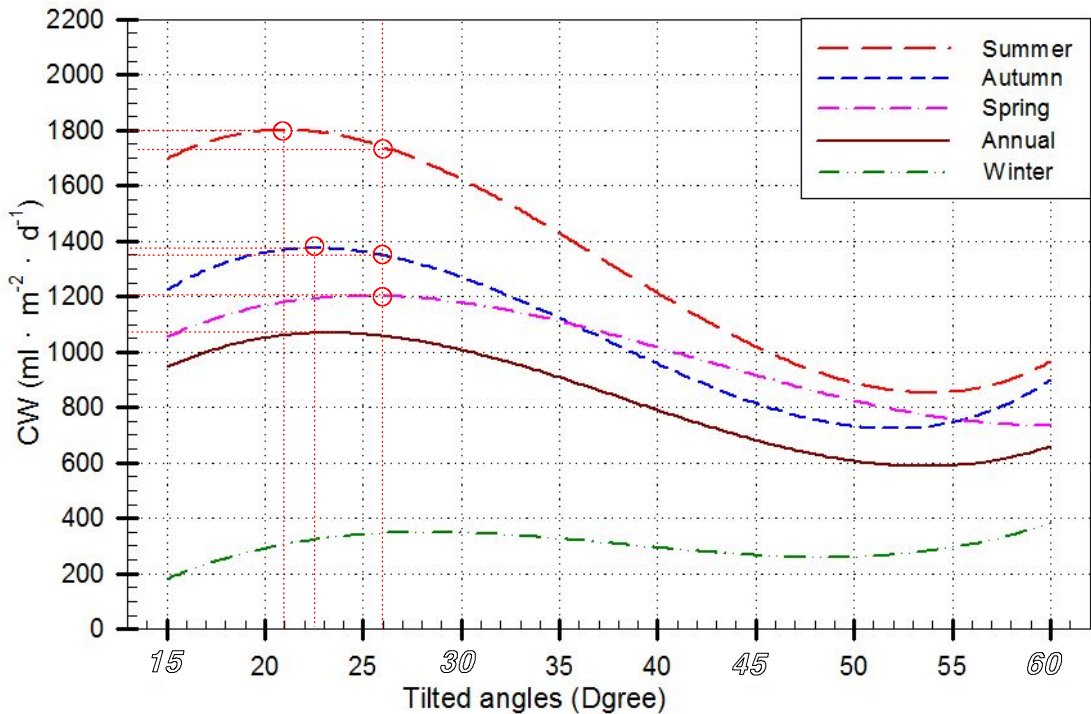


Fig 72. The Seasonal average condensation is the maximum estimated the tilted angles (2010.01 ~ 2010.12)

Fig 73.은 가뭄과 홍수로 인한 물 부족현상이 발생하는 실험기간 중 4월부터 10월까지 7개월간 날씨별로 최대 응축수량을 얻을 수 있는 경사각을 나타낸 그래프이다.

그래프에서는 날씨에 따라 최대 응축수량이 22° 경사각일 때 발생함을 알 수 있고, 맑은 날은 2,010 ml/m²·d 를, 비온 날은 1,078 ml/m²·d 를 얻을 수 있어 7개월간은 평균적으로 1,657 ml/m²·d 을 발생함을 알 수 있다.

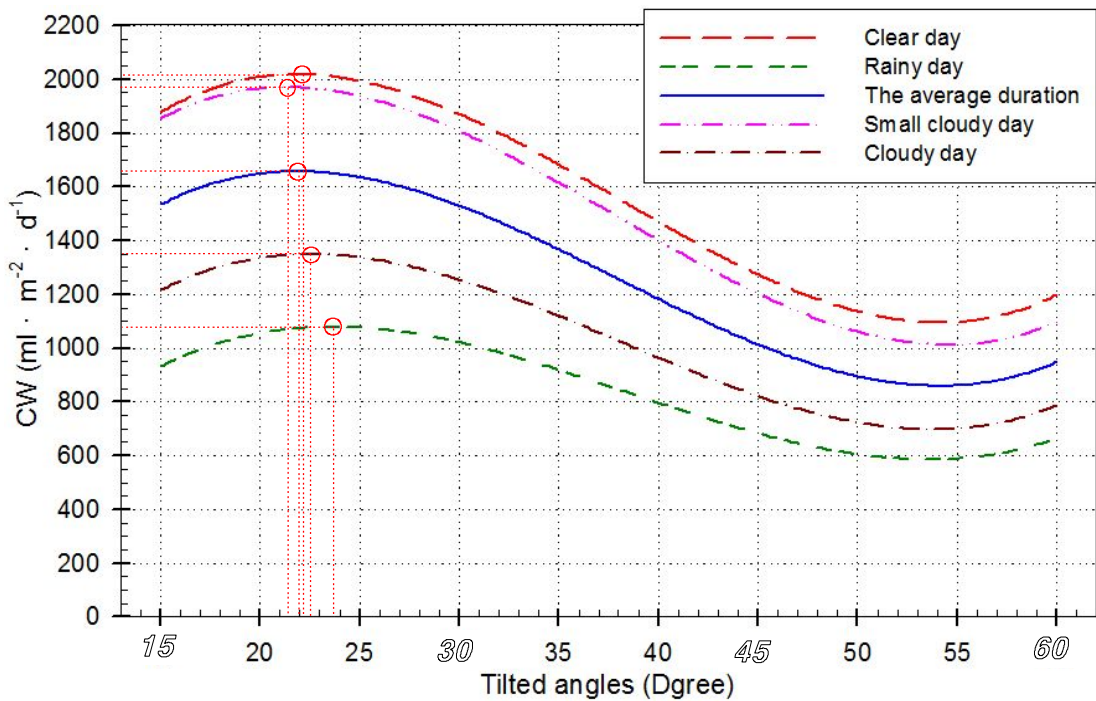


Fig 73. The Condensation according to climate change average that the maximum tilt angle is estimated (2010.04 ~ 2010.10)

Table 26.은 실험기간 중 Data를 분석하여 최대 응축수량이 발생하는 경사각과 필요 음용수량을 Fig 72.와 Fig 73.의 그래프를 분석하여 추정한 결과이다.

11월부터 3월까지 5개월 동안은 태양고도가 높아 일사량이 적으며, 외기온도가 낮아 매우 적은 응축수가 발생하여 모든 경사각 장치에서 효율성이 떨어진다.

회귀분석에 의한 경사각(AE)에 따른 응축수량을 추정한 결과 7개월 동안(4월부터 10월까지)은 『 $CW_{AVG} = 62.2662 + 168.766 \times AE - 5.423 \times AE^2 + 0.0476 \times AE^3$ 』의 회귀식이 산출되어, 경사각을 22° 로 할 때 2,000 ml/d 의 필요음용수량을 충족하는 응축수를 얻기 위해서는 1.207 m² 의 바닥면적이 필요함을 알 수 있었다.

Table 26. Optimum angle to obtain the maximum amount of condensed water and bottom area (2010.01 ~ 2010.12)

Calculation Period	Optimum tilted angle (°)	Condensed water per day (ml/m ² ·d)	Required bottom area (m ²)
Spring (MAR~MAY)	26.0	1,200	1.666
Summer (JUN~AUG)	21.0	1,800	1.111
Autumn (SEP~NOV)	22.5	1,375	1.454
Winter (DEC~FEB)	28.0	350	5.714
Clear day (APR~OCT)	22.2	2,010	0.955
Small cloudy day (APR~OCT)	21.5	1,975	1.013
Cloudy day (APR~OCT)	22.7	1,352	1.479
Rainy day (APR~OCT)	23.8	1,078	1.885
Seven months the average condensed water (APR~OCT)	22.0	1,657	1.207

제 5 장 결 론

태양열을 이용한 경제적인 정수시스템을 개발하기 위하여 바닥면적이 동일하고 상부면의 경사각이 각각 15°, 30°, 45°, 60°인 육면체의 실험장치를 제작하여 일사량과 경사각에 따른 응축특성을 실험하고 연구 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 내부온도 변화에 따른 응축특성

내부온도는 13시에 최고온도가 되며 그 후 일사량과 외부온도에 의한 영향으로 내부 상·하 공기온도와 물의 온도가 같아지는 열평형이 일어난 후부터 응축률은 빠르게 상승하여 2시간이 지나면 응축수량이 가장 많아진다. 열평형은 여름철(3월~10월)에는 일몰 전에 나타나며, 겨울철에는 일몰 후에 나타난다.

2) 일사량에 따른 응축특성

일사량이 많고 외기온도가 높은 5월부터 9월까지는 응축수량이 일사량에 따라 변화하는 경향을 나타내었으며 『 $CW_{30} = 0.0625 \times SR + 324.44$ 』로 나타낼 수 있다.

3) 외기온도 변화에 따른 응축특성

10월부터 4월까지는 일사량이 적고 외기온도가 낮아 내부와 외부의 온도차이가 커서 외기온도의 영향이 크며 응축수량은 『 $CW_{30} = 50.992 \times OT + 366.92$ 』로 나타낼 수 있다.

4) 경사각에 따른 응축특성

일사량에 따른 최적의 경사각은 일사량이 유효한 4월부터 10월까지 22° 로, 3월부터 11월까지는 26° 로 추정되었다,

5) 계절에 따른 응축특성

봄철(3월~5월)과 가을철(9월~11월)에는 일사량보다 외기온도의 변화에 의존하는 경향이 있음을 나타내었으며, 여름철(6월~8월)에는 외기온도보다는 일사량변화에 따라 응축수량이 변화함을 나타내었다.

6) 필요 집열면적

2,000 ml/d 의 음용수량을 얻기 위한 최적 경사각 22° 이며 응축수량은 『 $CW = 62.2662 + 168.766 \times AE - 5.423 \times AE^2 + 0.0476 \times AE^3$ 』 으로 나타낼 수 있고 필요 집열바닥 면적은 1.207 m^2 이다.

본 연구에서는 홍수나 가뭄에 따른 음용수의 부족을 해결하기 위한 태양열을 이용한 정수시스템을 개발하고자 하였으며, 4월부터 10월까지의 태양열을 이용한 경우 매우 경제적으로 나타났다. 그 외의 달은 보조열원을 사용하면 해결될 수 있으리라고 생각되며, 경사각에 따른 물방울의 적하현상을 방지할 수 있으면 더욱 많은 응축수량을 얻을 수 있어 이에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

REFERENCES

1. “물 부족 대책 국제회의” , 스위스 제네바, 1992. 2.
2. 양귀철, 김동국, 김상현, 전원표, “증기재압축식 해수담수화장치의 구성 및 운전특성” , 한국에너지공학회, 춘계 학술발표회 논문집, 2000, pp.243-248.
3. 김재윤, 박상진, 송치성, “해상플랜트용 담수화장치 기술개발” , 한국박용기관학회 춘계학술발표대회 논문집, 2001, pp.112-116.
4. 문덕수, 정동호, 김현주, 신필권, “역삼투압막 해수담수화 장치의 미네랄 분리 성능평가” , 한국해양환경공학회지, Vol.8, No.2, 2005. 5, pp.60-66.
5. 이부윤, “풍차를 이용한 담수화장치” 기계저널, Vol.48, No.5, 2008, pp.10-11.
6. 정형호, “증발법에 의한 해수담수화” , 설비저널 Vol.37, No.1, 2008.1, pp.40-44.
7. 홍대석, “해수 담수화 공정의 비교 및 에너지 저감화” , 설비저널 Vol.37, No.1, 2008. 1, pp.45-49.
8. 곽희열, 백남춘, 이동원, 이진국 등 “태양에너지 해수담수화를 위한 시스템 실용화 연구(II)” , 연구보고서 KIER-A62432, 한국에너지기술연구원, 2006.
9. Robert E. Foster, Martin Romero, Sharon Eby-Martion, Gregory R. Vogel, Michael Cormier, William Amos, Vipin Gupta, 2002, American Solar Energy Society Reno, Nevada, "Solar Distillation Providing Potable Water for Border Colonias"
10. W.R.McCluney, 1984, "Solar Distillation of Water", Energy Note FSEC - EN - 80 February 1984.
11. Lourdes Garcia-Rodriguez, Carlos Gomez-Camacho, 1999, "Preliminary Design and Cost Analysis of a Solar Distillation System", Desalination 126, 1999, pp.109-114
12. A. E. KLabeel, M. A. Rayan, "Theoretical and Experimental Investigation on the Influence of Still Glass Cover Cooling on Water Productivity"

13. Foster, R.E. and M. Cormier, Solar Distillation: Water Problems-Solar Solutions : EPSEA Solar Still Construction and Operation Manual, El-Paso Solar Energy Association, El Paso, Texas, August, 1996.
14. 박영훈, 김병철, “태양열에 의한 증발효과에 대한 연구” , 대한설비공학회, 하계 학술 발표대회 논문집, 2004, pp.224.
15. 백남춘, “태양열 집열기 및 온수기 인증제도” , Solar Energy, Vol.4, No. 4, pp.3-9.
16. 태양에너지학회 “태양에너지핸드북” pp.2-149, ISBN 89-8205-089-2, 2004.10.
17. 김정배, 곽희열, “태양에너지 해수담수화시스템에의 적용을 위한 판형 해수담수기의 열성능에 관한 실험적 연구” , 한국태양에너지학회 논문집 Vol.27, No.4, 2007, pp.35-41.
18. 김정배, 주홍진, 윤응상, 주문창, 곽희열, “태양에너지 해수담수화시스템 실증” 한국태양에너지학회 논문집 Vol.27, No.4, 2007, pp27-33.
19. Korea Meteorological Administration Seoul Korea, “Annual Climatological Report ” 1982-2009
20. 조덕기, 강용훈 외, “한반도태양에너지자원의 분석·평가 및 Data 신뢰성 향상 연구” , 연구보고서 2004-N-PS04-P-03 산업자원부, 2006, pp. 163-292
21. 태양에너지 이용 활성화에 따른 절감효과 분석 자료집 (2001.1. 에너지대안센터)
22. 김석중, “태양열 집열기 및 온수기에 대한 국내 현황” , Solar Energy, Vol.11, No. 3, 1991, pp.84-88.
23. 강용혁, 양윤섭, “태양열 이용기술 개발 현황” , Solar Energy, Vol.18, No. 2, 1998, pp.1-17.
24. 김유, 이종봉, 유성연, 김병철, 김경훈, “열전달” ISBN 89-785-270-0 교보문고, 1999, pp.526-529
25. 한영호 외, “현대기상학” , pp 43-44, 진명문화사, 1979
26. 김영섭, 김경익, “대기광학과 복사학” , pp 53-60, 시그마프레스, 2002

27. 조덕기, 강용혁 “국내 태양열시스템 설치를 위한 최적 설치각 산출을 통한 최대 경사면 일사량 분석”, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.29, No.2, 2009, pp.47-54.
28. 김정배, 주홍진, 윤응상, 주문창, 곽희열, “태양에너지 해수담수화시스템 실증” 한국태양에너지학회 논문집 Vol.27, No.4, 2007, pp27-33.
29. 김정배, 곽희열, “태양에너지 해수담수화시스템에의 적용을 위한 판형 해수담수기의 열성능에 관한 실험적 연구”, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.27, No.4, 2007, pp.35-41.
30. Hanson, A., W. Zachritz, K. Stevens, L. Mimbela, R. Polka, L. Cisneros, "Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies," Solar Energy, Journal of the International Solar Energy Society, Vol. 76, No. 5, 2004. 42. Foster, R. E., M. Romero, S. Eby Martin, G. Vogel, M. Cormier, W. Amos, V. Gupta, "Solar Distillation Providing Potable Water for Border Colonias," Proceedings of SOLAR 2002, ASES, ASME, NPSC, Reno, Nevada, June 15-20, 2002.
31. Weil, Andrew, M.D., Eating Well for Optimum Health: The Essential Guide to Food, Diet, and Nutrition, ISBN 0-375-40754-5, Random House, New York City, New York, 2000.
32. Eby-Martin, S., and R. Foster, "Final Project Report: Targeting Drinking Water in Border Colonias: A Solar Still Development Project for Ciudad Juárez," Border Partners in Action (Border-PACT)/Consortium for North American Higher Education Collaboration, Tucson, Arizona, June, 2002.