



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

태양에너지 저온활용의 효율성  
제고를 위한 연구 :  
자연채광 및 흡착식 해수담수화



濟州大學校 大學院

에너지 工學科

金永珉

2011年 2月

태양에너지 저온활용의 효율성  
제고를 위한 연구 :  
자연채광 및 흡착식 해수담수화

指導教授 千 院 基

金 永 珉

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2011年 2月

金永珉의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 李 潤 俊 (印)

委 員 金 南 鎭 (印)

委 員 千 院 基 (印)

濟州大學校 大學院

2011年 2月

A study on the performance enhancement of  
low-temperature solar applications :  
Daylighting and Adsorption Desalination System

Yeong Min Kim  
(Supervised by Professor Wongee Chun)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement  
for the degree of Master of Science

2011. 2.

This thesis has been examined and approved.

.....  
Thesis Director, Wongee Chun, Prof. of Nuclear and Energy Engineering  
.....  
.....  
.....

.....  
Date

Department of Nuclear & Energy Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

LIST OF FIGURES .....	iii
LIST OF TABLES .....	vi
SUMMARY .....	vii
I. 서 론 .....	1
1. 광 파이프를 이용한 자연채광 시뮬레이션 .....	1
2. 실리카겔(Silica gel)을 이용한 흡착식 해수담수화의 연구 .....	3
II. 이론적 배경 .....	5
1. 자연채광 시뮬레이션 .....	5
1.1 광에너지의 단위 .....	5
1.2 자연채광 시스템(Daylighting System) .....	7
1.3 시뮬레이션 프로그램 .....	11
2. 흡착식 해수담수화 시스템 .....	14
2.1 해수 담수화의 유형별 특징 .....	20
2.2 흡착제의 종류 및 특성 .....	28
III. 광 파이프 시뮬레이션 .....	30
1. 모델링 및 시뮬레이션 .....	30
1.1 모델링 .....	30
1.2 시뮬레이션 .....	32

2. 결과 분석 및 고찰 .....	34
2.1 광 파이프 시스템의 기본 성능 시뮬레이션 .....	34
2.2 광 파이프 시뮬레이션 조도 비교 .....	38
3. 소결론 .....	43
<b>IV. 흡착식 해수담수화 시스템의 개발 .....</b>	<b>45</b>
1. 실험장치 구성 .....	45
1.1 해수담수화 설비의 구성 .....	45
1.2 냉공조 시스템(Chiller)의 구성 .....	51
1.3 계측 장비 구성 .....	53
2. 실험방법 .....	57
2.1 기본원리 .....	57
2.2 예비실험 .....	58
2.3 예비실험결과 .....	60
3. 실험결과 및 고찰 .....	64
3.1 실리카겔(Silica gel)의 타입별 효율 .....	64
4. 소결론 .....	72
<b>V. 결 론 .....</b>	<b>73</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>74</b>
<b>감사의 글</b>	

## LIST OF FIGURES

Fig. 1. Sun pipe system;	
(a) Schematic of sun pipe system	
(b) Photograph of sun pipe system .....	8
Fig. 2. Lens-optical fiber system;	
(a) Schematic of lens-optical fiber system	
(b) Photograph of Himawari solar lighting system .....	9
Fig. 3. Mirror-optical fiber system;	
(a) Schematic of mirror-optical fiber system	
(b) Photograph of mirror-optical fiber .....	10
Fig. 4. Mirror heliostat system;	
(a) Schematic of mirror heliostat system	
(b) Photograph of mirror heliostat system .....	10
Fig. 5. Examples of ECOTEECT analysis;	
(a) Distribution of annual insolation in 3D modeling	
(b) Analysis of interior illuminance distribution .....	12
Fig. 6. Examples of RADIANCE analysis;	
(a) Illuminance and (b) Luminance .....	13
Fig. 7. Schematic of Multi-Effect Distillation(MED) .....	22
Fig. 8. Schematic of Multiple-Stage Flash Distillation(MSF) .....	23
Fig. 9. Schematic of Mechanical Vapor Compression Distillation(VCD)	24
Fig. 10. Schematic of Reverse Osmotic pressure(R.O) .....	25
Fig. 11. Schematic of Electrodialysis method(ED) .....	26
Fig. 12. Schematic of Absorption Desalination System(AD) .....	27
Fig. 13. Modeling by ECOTEECT;	
(a) Top view	
(b) Side view	
(c) Isometric view	
(d) 3D sectional view .....	31

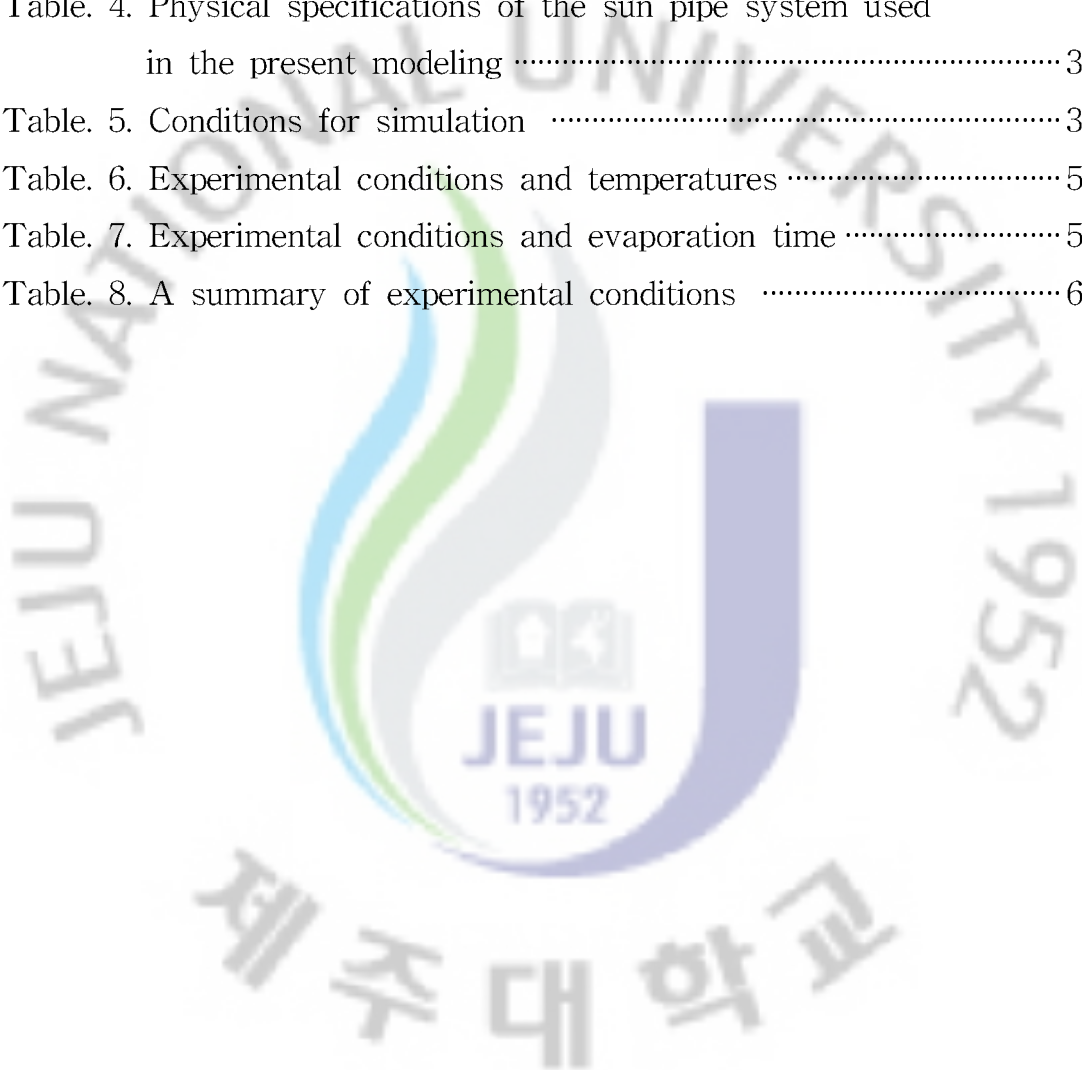
Fig. 14. Solar altitude of (a) Vernal equinox (b) Summer solstice .....	32
Fig. 15. Measurement point in floor for analyzing the illuminance .....	34
Fig. 16. Illuminance distribution of classroom without sun pipe system at 12PM; March 22 [(a), (c)] and June 22 [(b), (d)] .....	35
Fig. 17. Illuminance distribution of classroom utilizing the sun pipe system without diffuser at 12PM; March 22 [(a), (c)] and June 22 [(b), (d)] .....	36
Fig. 18. Illuminance distribution of classroom utilizing the sun pipe system with diffuser at 12PM; March 22 [(a), (c)] and June 22 [(b), (d)] .....	37
Fig. 19. Illuminance distribution of classroom on March 22; [(a), (c)] without sun pipe system and [(b), (d)] with sun pipe system .....	39
Fig. 20. Illuminance distribution of classroom on June 22; [(a), (c)] without sun pipe system and [(b), (d)] with sun pipe system .....	40
Fig. 21. Illuminance distribution of classroom on September 22; [(a), (c)] without sun pipe system and [(b), (d)] with sun pipe system .....	41
Fig. 22. Illuminance distribution of classroom on December 22; [(a), (c)] without sun pipe system and [(b), (d)] with sun pipe system .....	42
Fig. 23. Design of the evaporator .....	46
Fig. 24. Photograph of the evaporator used in present experiment .....	46
Fig. 25. Design of the reactor .....	47
Fig. 26. Photograph of the reactor used in present experiment .....	48
Fig. 27. Design of the condenser .....	49
Fig. 28. Photograph of the condenser used in present experiment .....	50
Fig. 29. Photograph of the adsorption desalination system used in	



present experiment .....	50
Fig. 30. Layout of the chiller .....	51
Fig. 31. Photograph of the chiller used in present experiment .....	52
Fig. 32. ACM1000–multi channel Controller and APT1004 Pirani vacuum gauge. ....	53
Fig. 33. A front panel display of LabVIEW application for monitoring and collecting vacuum data. ....	54
Fig. 34. An example of monitoring display of data logger (34970A) for temperature measurements .....	55
Fig. 35. Measurement of salt concentration (YSI 63) .....	56
Fig. 36. A schematic diagram of the central unit .....	57
Fig. 37. Fresh water yield at different temperatures in the evaporator .....	60
Fig. 38. Fresh water yield at different temperatures in the reactor (Cooling–water) .....	61
Fig. 39. Fresh water yield at different temperatures in the reactor (Hot–water) .....	61
Fig. 40. Fresh water yield and operation time of the evaporator .....	62
Fig. 41. Fresh water yield and operation time of the reactor .....	62
Fig. 42. Temperature variation of A–type silica gel .....	64
Fig. 43. Pressure variation of A–type silica gel .....	65
Fig. 44. Temperature variation of Blue silica gel .....	66
Fig. 45. Pressure variation of Blue silica gel .....	67
Fig. 46. Temperature variation of Mycom silica gel .....	68
Fig. 47. Pressure variation of Mycom silica gel .....	69
Fig. 48. Fresh water yield with different types of silica gel .....	70
Fig. 49. Production efficiency with different types of silica gel .....	71

## LIST OF TABLES

Table. 1. Luminous flux of general light sources .....	5
Table. 2. Classification of desalination plants .....	21
Table. 3. Typical characteristics of silica gels .....	29
Table. 4. Physical specifications of the sun pipe system used in the present modeling .....	31
Table. 5. Conditions for simulation .....	33
Table. 6. Experimental conditions and temperatures .....	58
Table. 7. Experimental conditions and evaporation time .....	59
Table. 8. A summary of experimental conditions .....	63



## SUMMARY

Thermal applications of solar energy are categorized by low, medium and high temperature. The present study has explored two major applications of solar energy widely researched and practiced these days. Of these, one deals with the utilization of solar energy for lighting in buildings, which is responsible for a great portion of electricity consumption, especially, for office and public buildings. Rapid improvements in lighting technology harnessing solar energy (daylight) have greatly contributed to radically reduce its consumption levels - and thereby reduce CO<sub>2</sub> emissions and cost. The other case considered here for solar utilization is so-called solar desalination using adsorbents (silica gels). This technology utilizes a silica gel adsorbent (desiccant) as a medium between an evaporator and a condenser to reject and facilitate latent heat of vaporization. Vapour is adsorbed and desorbed between evaporation and condensation phases.

### 1. Daylighting simulation

A lighting upgrade is an obvious step toward improving a building's energy consumption, which could be easily assessed by using computer simulations. The present study has carried out a series of computer simulations for a lightless space as well as an actual classroom (in Jeju National University) when sun pipe systems are installed. They were first modeled by ECOTECH before RADIANCE was called in to conduct lighting analysis. Simulations were performed for equinoxes and solstices when the sun is at its highest altitude, i.e. at noon (12 PM). A lightless space and classroom of the same dimensions revealed the effectiveness of sun pipe systems to improve indoor lighting conditions throughout the year.

### 2. Development of adsorption desalination system utilizing silica-gel

Some major components of an adsorption desalination system were designed and fabricated to assess its desalination efficiency when packs of

silica-gel were used at different operating conditions. The amount of fresh water yield was studied and compared for different temperatures and different operation time of evaporator and reactor. Also tested were different types of silica gel, A-type silica gel, Blue silica gel and Mycom silica gel, where A-type silica gel showed the best performance in producing fresh water. To achieve higher efficiency, it deems the system has to be further explored for operational optimization including some drastic improvement in the desorption rate of silica gel.



## I. 서론

태양에너지는 인류의 역사상 가장 오래 전부터 이용해 온 에너지의 하나이다. 또한, 탄소 등의 이물질 배출하지 않는 청정에너지로써 현재 태양광 발전이나 태양열 급탕 등에 다양하게 활용되고 있다. 본 연구에서는 태양에너지 중 저온으로 활용될 수 있는 시스템을 재고 및 개발하여 태양에너지 적용시스템에 대한 공간적 제약을 해소하고 효율성을 향상시키는 것이 최종 목표이다. 이는 기존에 전기에너지가 담당하고 있는 부하를 태양에너지를 활용해 효율적으로 해결할 수 있도록 함으로써 CO<sub>2</sub>의 저감은 물론 자연에너지원으로서 태양에너지의 이용을 극대화시켜 상당한 경제적 및 사회적 파급효과를 가져올 것으로 기대된다.

본 연구에서는 태양에너지 저온활용의 재고를 위하여 자연채광 시스템 중 광파이프에 대한 시뮬레이션 및 해수담수화 시스템 개발과 관련한 내용을 중점적으로 다루고 있다.

### 1. 광 파이프를 이용한 자연채광 시뮬레이션

일반적으로 현대식 오피스 건축물에서 소비되는 에너지 중 전기조명에 의해 소비되는 에너지는 총 에너지 사용량의 약 30% 이상을 차지하고 있다. 이처럼 에너지 소비가 많은 조명의 에너지 절감을 위해 청정 에너지원인 주광을 이용하여 실내를 조명하고자 하는 관심이 높아지고 있다. 자연채광에 의한 실내조명은 재실자로 하여금 외부환경을 직접적으로 접촉하는 개방감을 느끼게 하며, 주광에 의해 심리적으로 안정감을 느끼게 해준다. 그리고 사용자들의 약 90%가 창문이 있고, 밖을 내다 볼 수 있는 조망이 가능한 공간에서 일하기를 선호한다고 밝히고 있으며, 자연채광은 작업능률 및 생산성 향상에 긍정적인 영향을 미치게 된다.

그러나 이러한 자연채광의 긍정적인 이유에도 불구하고 건축 설계에 자연채광을 적극적으로 반영하는 경우가 극히 드문 것이 현실이다. 그 이유는 건축 설계에 있어서 효율적인 자연채광을 반영하기 위해서는 주광을 정확히 분배하고

확산시키는 역할을 하는 건물외피의 개구부 또는 자연채광 시설을 적절하게 위치시켜야 하는데, 주광의 양과 질이 항상 일정하지 않아 예측하기가 어렵기 때문이다. 이러한 자연채광을 건축 설계 단계에서 반영하고, 반영된 자연채광 시스템의 성능을 평가할 수 있는 방법으로는 모형실험법과 조명시뮬레이션 소프트웨어를 이용하는 방법 등이 있다.

본 연구에서는 자연채광 시스템 중 패시브형 광 파이프 시스템을 시뮬레이션하여 분석하였다. ECOTECT 프로그램으로 광 파이프의 기본 성능 분석을 위해 무창공간에서 모델링 하였으며 ECOTECT에서는 실행 할 수 없었던 Diffuser에 의한 빛 산란을 Radiance 프로그램을 통해 시뮬레이션 하였다. 이를 바탕으로 광 파이프 시스템의 적용성을 분석하기 위해 실제 모델인 제주대학교 강의실을 모델링하여 춘하추동의 실내에서의 사계절별 조도값 및 조도 분포를 시뮬레이션하여 비교하였다.



## 2. 실리카겔(Silica gel)을 이용한 흡착식 해수담수화 시스템의 기초성능 연구

유엔 환경 보고서에 따르면 현재 세계 인구 중 3분의 1 가량이 심각한 물 부족 상태에 처해 있으며, 우리나라도 물 부족 국가로 분류되고 있다. 해수는 지구상에 존재하는 물의 절대적으로 많은 양을 점유하고 있지만, 인간의 생활용수나 산업용수로 이용하기에는 염도가 너무 높아서 해수를 그대로는 사용하지 못하고 있다. 부족한 물의 양을 보충하고, 담수의 부족현상과 고갈현상 등의 문제점을 해결하기 위해서는 해수를 담수로 전환할 필요가 있다.

해수담수화란 생활용수나 공업용수로 직접 사용하기 힘든 바닷물로부터 염분을 포함한 용해물질을 제거하여 순도 높은 음용수 및 생활용수, 공업용수 등을 얻어내는 일련의 수처리 과정을 말한다. 해수탈염이라고도 하며, 해수를 담수로 생산하는데 사용되는 설비를 해수담수화 설비 또는 해수담수화 플랜트라고 한다.

일반적으로 해수담수화 시스템은 화석연료의 사용을 줄이고 해수를 담수화 하여 물부족 국가의 고민을 해결하기 위한 두 마리 토끼를 사냥하고자 하는 의도를 내포한 프로젝트이다. 하지만, 해수담수화 시스템의 특성을 고려할 때 매우 많은 양의 전기 및 열에너지가 해수의 염분제거 공정에 소요된다. 이에 사용된 전기 및 열에너지를 화석연료로부터 얻는다고 한다면 화석연료 사용 축소를 통한 온실가스 배출감축이라는 본래의 취지가 퇴색될 것이며, 이에 따른 기후변화는 더 많은 물 부족 현상을 야기 시키는 악순환을 되풀이 하게 된다고 예상할 수 있다. 이러한 문제로 인해 전 세계적으로 해수담수화 공정에 사용되는 에너지를 최소화 시키는 방법들에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서 제안한 기술은 녹색기술로서 신재생에너지 기술 중 가장 그 안정성 및 신뢰성이 높은 태양에너지 기술을 적극 활용하여 기존의 전기에너지가 담당하고 있는 부하를 태양에너지가 해결 할 수 있도록 함으로써 CO<sub>2</sub>의 절감량을 높임은 물론 자연 에너지원으로서 태양에너지의 효율적 이용을 극대화시켜 상당한 경제적 및 사회적 파급효과를 가져올 것으로 기대된다. 또한, 본 기술의 핵심인 흡착식 담수화에 대한 연구는 국내에서는 시작 단계이고, 흡착식 담수화시스템의 특허출원도

매우 낮으며, 국내의 흡착식 시스템은 거의 대부분이 제습과 관련된 연구로서 직접적인 담수화에 관련된 흡착식 시스템의 연구는 부족한 실정이다.[천원기, 2010.]

본 연구에서는 기존의 담수화 시스템을 대체할 수 있는 흡착식 담수화 시스템의 설계 및 제작에 관한 기술을 제시하고, Prototype의 성능 분석을 위한 기초 단계로 흡착식 담수화 시스템의 흡착제인 실리카겔(Silica gel)의 성능을 분석하였다.





## II. 이론적 배경

### 1. 광 파이프 시뮬레이션

#### 1.1 광 에너지의 단위

##### 1) 방사속

전자파로서 전달되는 에너지를 총칭하여 방사라고 하고, 단위시간에 어떤 면을 통과하는 방사에너지의 양을 방사속(Radiant flux:  $\Phi$ )이라 한다. 단위는 와트(Watt; W)를 사용한다.

##### 2) 광속

사람의 눈에 보이는 가시범위의 방사속을 광속(Luminous flux: F)이라 하며, 파장이 380~760nm사이인 방사속을 말한다. 단위는 루멘(Lumen: lm)을 사용한다.

Table. 1. Luminous flux of general light sources

광원	광속[lm]	광원	광속[lm]
태양	$3.6 \times 10^{28}$	백색 형광램프 40W	3,000
백열전구 40W	350	3파장 형광램프 40W	3,500
주광색 형광램프 40W	2,500	고압나트륨램프 400W	46,000

##### 3) 조도

빛을 받는 면의 밝기를 표시한 것을 조도(Illumination: E)라 하며, 단위면적당의 입사광속으로 표시된다.

$$E = \frac{F}{S} [lm/m^2] \quad (1)$$

F : 입사광속

S : 입사면적

단위는 룩스(Lux; lx)와 풋캔들(Footcandle: fc)을 사용하며  $1lx = \frac{1lm}{m^2}$  ,  
 $1fc = \frac{1lm}{ft^2}$ 이다.

#### 4) 광도

광원으로부터 모든 방향으로 빛이 발산되고 있으나, 그 방향에 따라 빛의 발산이 달라진다. 이처럼 어떤 방향에 대한 빛의 세기를 광도(Luminous intensity: I)라 하며, 그 방향의 단위입체각에 포함된 광속으로 나타낸다. 단위는 칸델라(Candela: cd)를 사용한다.

$$I = \frac{F}{\omega} \quad (2)$$

F : 입체각  $\omega$ 에 포함된 광속

$\omega$  : 입체각

점광원으로부터 모든 방향으로 균등하게 광속이 발산되면 다음 식과 같다.

$$I = \frac{F}{4\pi} \quad (3)$$

#### 5) 휘도

광원을 볼 때 강하게 빛나 보이는데 이 빛나는 정도를 휘도(Luminance; L)라고 하며, 어떤 방향의 광도를 그 방향으로의 투영면적으로 나눈 값으로 표시된다.

$$L = \frac{I}{S'} \quad (4)$$

I : 어느 방향의 광도

S' : 어느 방향의 투영면적

단위로는 스틸브(Stilb; sb), 니트(Nit; nt) 및 풋램버트(Foot lambert; fL)를 사용하며,  $1nt = \frac{1cd}{m^2}$ ,  $1fL = 0.29191 \frac{cd}{m^2}$ 가 된다.

또한 완전확산면의 경우 휘도 L과 광속발산도 M은  $M = \pi L$ 과 같은 관계를 갖는다.[지철근, 2010]

## 1.2 자연채광 시스템(Daylighting System)

태양빛은 인간과 동식물에게 있어서 성장과 생활과 리듬을 확보하는데 중요한 요소이며, 태양광 조명시스템은 자연 에너지 중에서 인간에게 가장 중요한 태양 빛 그 자체를 이용하는데 목적으로 하는 시스템이다. “태양광 채광전송시스템”은 태양빛이 들어오지 않는 건물 내부의 복층과 지하 공간에 태양빛을 광섬유 케이블 및 광 파이프 등을 통해 자유롭게 전송하며, 전송하는 태양빛은 인간의 건강을 활성화하거나, 동식물의 생육 및 성장에 적당한 환경을 만드는 시스템이며, 어두운 공간을 연출하기에는 적당한 시스템이다.

태양광 조명 시스템은 크게 비집광형 방식(No Concentration)과 집광형 방식(With Concentration)으로 나뉘어진다. 비집광형 방식은 빛을 집속하지 않는 태양광 조명 시스템으로서 반사거울 방식, 광 덕트 혹은 광 파이프 방식이 있으며, 집광형 방식으로는 빛을 집속하는 시스템으로 렌즈 또는 반사거울-광섬유(Optical Fiber Cable) 방식이 있다.

### 1) 광 파이프(Sun pipe) 방식

1988년 스테판 서튼은 일사량이 적은 영국인이 겪고 있는 계절성 우울증에 대한 방안으로서 태양광 조명 시스템을 개발하고 특허를 취득했고, 영국 Monodraught사가 이를 상용화하였다. 현재 Monodraught는 단순 기능을 가진 태양광 조명 시스템에서의 환기와 채광이 가능한 시스템으로 제품을 발전시키고 있다.

이 방식은 건물 상단 외부에 채광기를 설치하고 내부로 입사되는 태양광을 광 덕트로 전송하는 방법으로 유럽에서 가장 보편적으로 사용되는 시스템이다. 구조

는 원형, 돔형, 다이아몬드형 등 다양한 형태에 소재는 PMMA(Polymer Methyl Methacrylate), PC(Poly Carbonate)등이 이용되고 있다. 주로 생활공간, 아트리움, 지하공간, 수변전시설 등 자연광이 부족한 주거 및 업무시설에 적용 되고 있으며, 태양의 조도에 무관하게 채광효율을 유지할 수 있는 장점을 가지며 연중 운영가능일수는 260일 정도이다. Fig. 1은 광 파이프 시스템의 개념도 및 모습을 보여주고 있다.

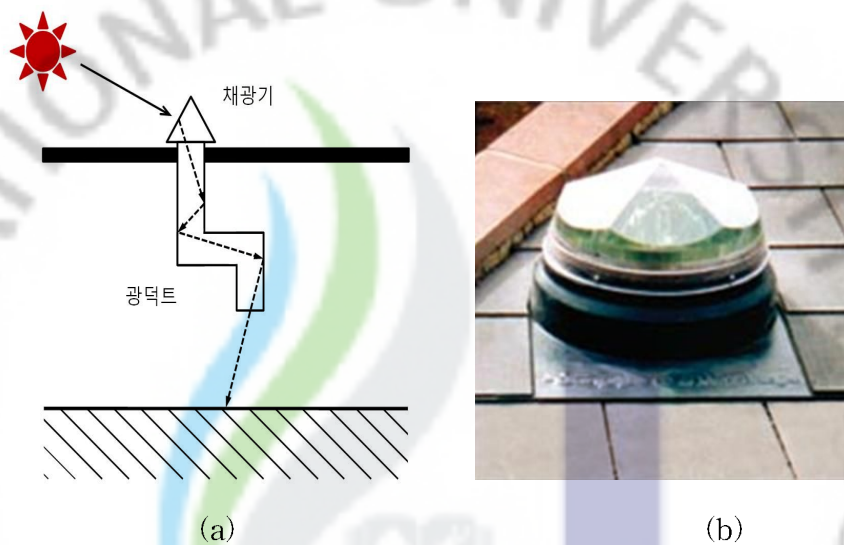


Fig. 1. Sun pipe system; (a) Schematic of sun pipe system  
(b) Photograph of sun pipe system

## 2) 렌즈-광 섬유 방식

렌즈-광 시스템은 렌즈를 통해 집광된 빛을 광섬유를 사용하여 조명에 사용하는 방식으로 태양광을 집광하는 렌즈와 집광된 빛을 전송하는 광섬유로 구성된다. 집광 효율을 높이기 위해 태양광 추적 장치가 사용되며 태양의 방위각과 경사각을 모두 추적하는 2축 방식과 경사각만을 추적하는 1축 방식이 있으며 광 전송 거리가 길고 시공이 편리한 장점이 있으나 산란광 하에서는 사용이 불가능한 단점이 있다. 연중 운영 가능일수는 120일 정도이다. Fig. 2에서 렌즈-광 섬유 방식의 원리와 Himawari 시스템을 보여주고 있다.

일본 Sanyo사는 태양추적과 반사형 덕트 시스템을 혼합한 프리즘 형태의 고정형 덕트 방식인 슬라이트를 개발하여 상용화하였다. 그리고 일본의 Laforet사

는 광 덕트를 광섬유로 대체한 Himawari 시스템을 상용화하였으나 이 제품의 경우 광전송 효율성은 높으나 크기가 갖는 공간성에 많은 단점을 가진다.

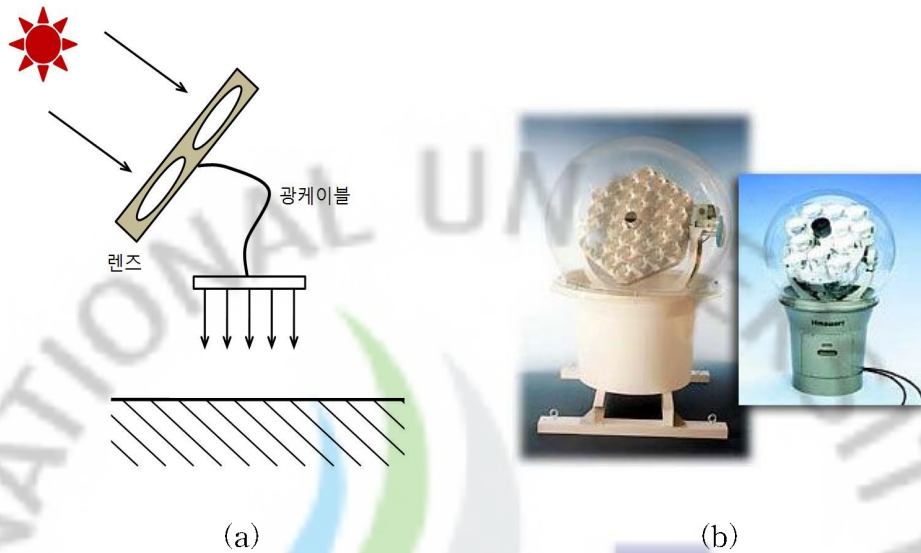


Fig. 2. Lens-optical fiber system; (a) Schematic of lens-optical fiber system  
(b) Photograph of Himawari solar lighting system

### 3) 반사거울-광섬유 방식

1990년대 미국의 Oak Ridge National Laboratory에서 수행한 연구결과를 바탕으로 Sunlight Direct사가 지름이 4ft인 대형거울을 이용하여 광을 수집하고 수집된 광은 광섬유를 이용하여 조명부로 전송하는 시스템을 개발하고 있으며 이를 상용화 추진하고 있다. 이 시스템은 파라볼라 거울을 이용해 1차적으로 태양광을 모으고 집속된 광은 2차적으로 광섬유로 전송되는 방식으로 렌즈-광섬유 방식과 동일한 집광 효율을 위해 태양광 추적 장치가 사용된다. Fig. 3은 반사거울-광섬유 방식을 보여주고 있다.

### 4) 반사거울 방식

반사거울을 사용하여 별도의 장치가 없이 빈 공간을 통해 빛을 전송시키는 시스템을 말한다. 거울은 평면 또는 곡면형상을 가진 것이 사용되는데, 1개로도 사용되지만 여러 개의 반사거울을 적용하여 복합화도 가능하다. 반사거울 방식은 건물이 고층화 됨에 따라 발생하는 일조권 문제를 해결하기에 적합하다. Fig. 4

는 반사거울 방식의 개략도 및 사진을 보여주고 있다.

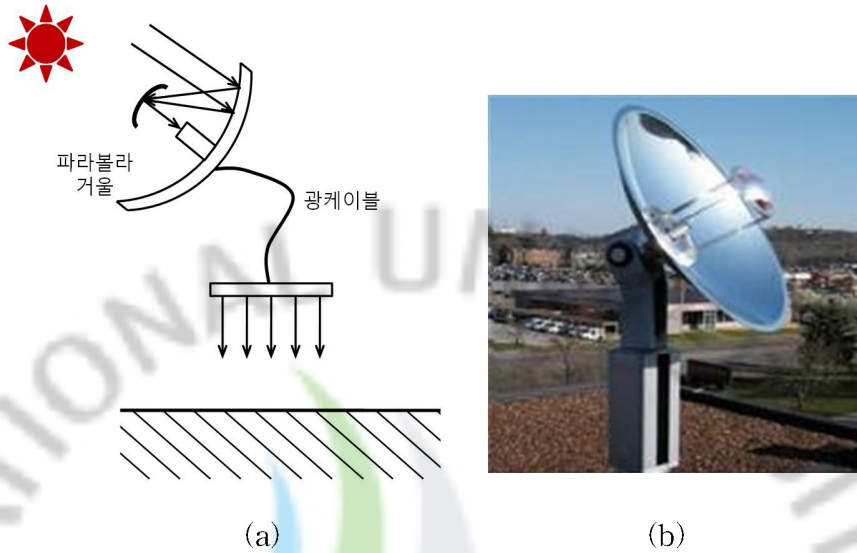


Fig. 3. Mirror-optical fiber system; (a) Schematic of mirror-optical fiber system (b) Photograph of mirror-optical fiber

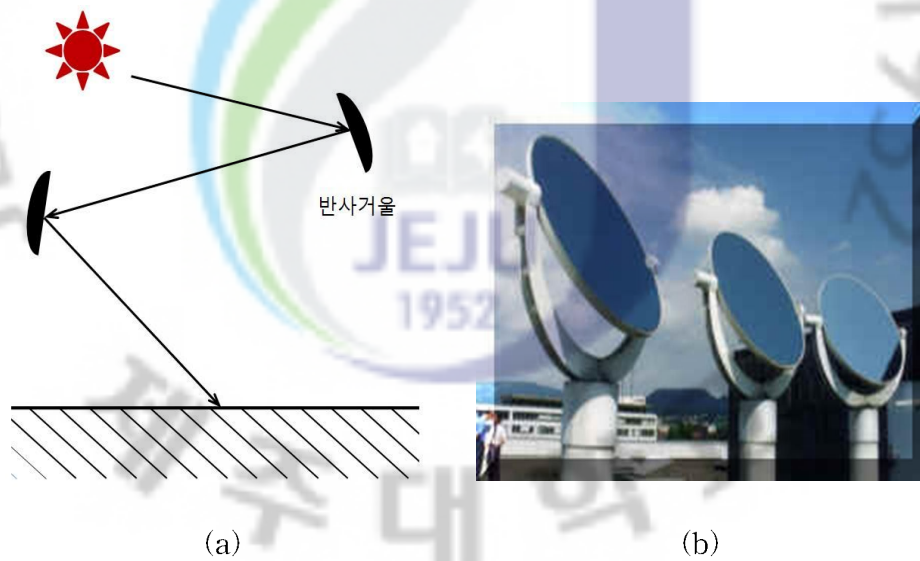


Fig. 4. Mirror heliostat system; (a) Schematic of mirror heliostat system (b) Photograph of mirror heliostat system



### 1.3 시뮬레이션 프로그램

#### 1) ECOTEECT

ECOTEECT은 Square One Research사와 Andrew Marsh 박사에 의해 2000년에 개발되었다. 그 후 친환경 건물성능 평가와 그린 빌딩의 이슈화에 따라 Autodesk사에서 2008년 6월에 인수하여, 현재 최신버전인 Autodesk ECOTEECT 2011 Analysis까지 출시되었다. 본 연구에서는 ECOTEECT 2010 버전을 사용하였다.

ECOTEECT은 친환경 디자인과 환경 분석 프로그램이다. 초기 디자인 과정부터 최종평가까지 다양한 분야의 건축 환경을 평가 및 분석한다. 또한 건물 디자인과 각종 시스템들이 친환경 평가에 어떠한 영향을 미치는지 파악할 수 있다. 특히 ECOTEECT의 주요 특징이라 볼 수 있는 다양한 3D 이미지와 결과물 들은 고효율 건물 및 그린 빌딩 이슈를 직접적으로 평가가 가능하다. 주요기능은 다음과 같다.

##### (a) 일조 및 음영 분석

ECOTEECT을 이용하여 빠르고 간단하게 일조 평가 및 분석이 가능하다. 태양의 시간별 위치 및 연중계적 또한 파악이 가능하며, 기존의 태양궤적도로는 파악하기 어려운 태양의 위치를 해당 모델과 함께 연중 태양궤적을 3D로 표현하여 일조를 분석할 수 있다.

##### (b) 일사량 분석

기본적인 일사량 분석이 가능하다. 기상데이터의 수평면 일사량 분석이외에도 다양한 건물외피에서의 일사량 분석이 가능하다. 우선 기본적으로 단일 객체의 연중 월별 시간별 일사량을 그림과 같은 그래프로 한 눈에 알아볼 수 있도록 제공하며, 태양 궤적도를 통해서도 확인이 가능하다. 특히 Fig. 5.(a)와 같이 ECOTEECT 3D모델링에서의 일사량 분석이 가능하다. 연간, 일일, 시간별 평균값은 물론 해당 모델에서 다양한 이미지를 보여준다.

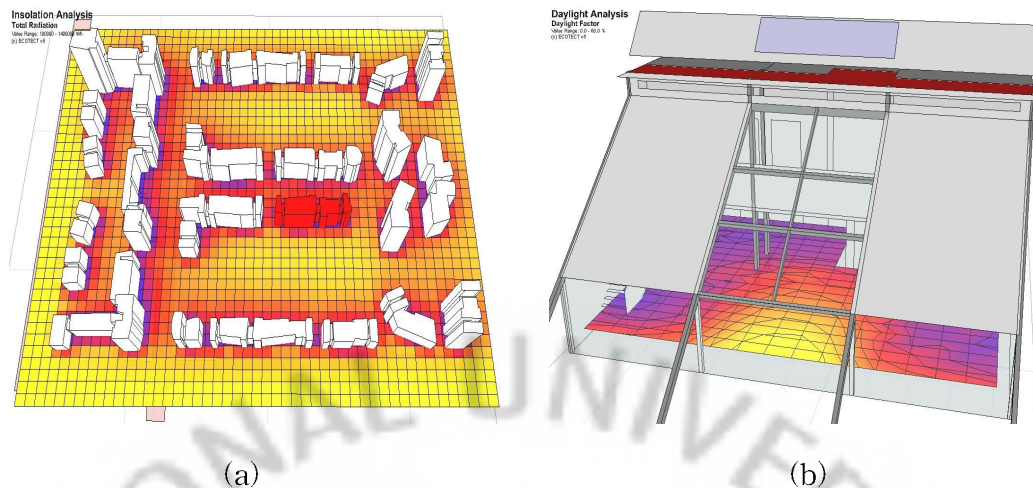


Fig. 5. Examples of ECOTECT analysis; (a) Distribution of annual insolation in 3D modeling (b) Analysis of interior illuminance distribution

(c) 실내조도 분석

각 실내공간에서의 측창 및 천창과 같은 건물 개구부 디자인에 따른 실내 조도의 분석이 가능하다. Fig. 5.(b)와 같이 실내 시뮬레이션 그리드를 통해 실내 조도와 주광률을 산출할 수 있으며, 특히 차양이나 광선반동의 디자인 요소를 적용시 더욱 용이하게 자연채광 디자인 평가가 이루어질 수 있다. 또한 더욱 세부적인 기준을 평가하기 위해 RADIANCE 또는 DAYSIM을 통한 시뮬레이션 평가 또한 가능하다. 다양한 시뮬레이션 옵션을 통하여 좀 더 실사와 같은 이미지의 연출이 가능하며, 이를 기반으로 다양한 실내 조도 분포의 분석이 이루어질 수 있다.[고동환, 2010.]

2) RADIANCE

RADIANCE 프로그램은 미국 국립 Lawrence Berkeley Laboratory(LBL)의 조명연구팀이 개발한 프로그램으로서 1987년 이래로 버클리의 캘리포니아 대학 건축공과에서 사용되어오고 있는 조명 렌더링 및 시뮬레이션 프로그램이다. 본 연구의 시뮬레이션에서는 Desktop RADIANCE 2.0 버전을 활용하였다.

RADIANCE 프로그램은 역광선추적기법(Backwards Ray-tracing Technique)을 기초로 한다. 이것은 광선이 자연적으로 진행되는 방향의 반대 방향으로 추적하여, 실제 광선이 발생한 광원의 활동을 예측하는 것을 의미한다. 그 과정은 눈



으로부터 시작하여 공간의 대상물들의 표면들을 따라 모든 물리적 상호작용을 계산하여 광원까지의 광선을 쫓아가게 된다. 이러한 개념은 몬테카를로 방법과 광선추적기법에 기본 바탕을 두고 있다. 실제 공간에서 광원으로부터 반사된 광선은 결국 흡수될 때까지 반사, 투과되는데 우리가 실제로 보게 되는 장면은 이러한 광선들이 망막에 영상을 만든 것이다. 이처럼 망막에 영상이 맺히게 되는 것은 공간 내에 존재하는 전체 광선 중 일부분만이 재실자의 눈에 들어옴으로써 이루어지는 것이므로, 눈으로부터 주변 환경을 거쳐 광원으로부터까지의 광선을 역으로 추적함으로써, 광원으로부터 나온 광선들의 거동을 확인하여 빛 환경을 가시화할 수 있게 된다. 또한 대상공간의 기하학적, 광학적 모델링이 완료되면 광선 추적 결과로부터 조도 분포 및 휘도 분포 값을 계산하고, 그 결과로부터 이미지 파일을 생성한다. Fig. 6은 RADIANCE 관련 주요 적용분야에 대하여 보여준다. [송규동, 2002.]

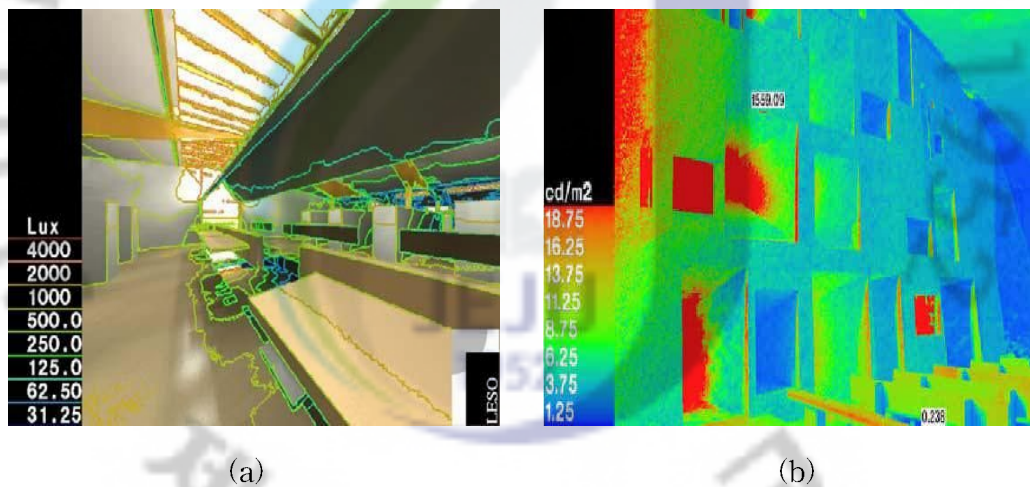


Fig. 6. Examples of RADIANCE analysis; (a) Illuminance and (b) Luminance

## 2. 흡착식 해수담수화 시스템

본 논문에서는 증발을 이용한 담수화시스템을 적용하려고 하며, 기존의 방식에 시스템의 압력과 온도를 변화시키고, 실리카겔(Silica-gel)을 이용하여 그 효율을 높이려고 한다. 해수담수화 시스템에서 증발과정이란 해수용액의 일부가 먼저 증발하고 증발된 증기는 응축시키는 과정들의 반복이라고 할 수 있다. 이러한 해수의 상태변화인 증발과 응축과정은 온도, 압력, 농도차이로 발생하는 추진력(Driving force)에 의하여 기체와 액체가 동시에 존재하는 영역에서 에너지와 물질이 전달됨에 따라 각각 그 특성이 달라진다.

일반적으로 증발과정은 일정한 압력상태에서 용액을 가열하거나 단열과정에서 팽창함으로써 증류수를 만들게 된다. 증발과정에서 증기 용액을 가열할 때는 비등현상에 의하여 발생하고 팽창과정에서는 플래싱(flashing)에 의하여 발생하므로 증발은 가열과 팽창의 조합된 과정에 의하여 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 그리고 발생된 증기가 잔존하는 용액에서 분리되어 직접 응축되는 것은 대개 정압과정에 따른다. 용액에서 분리된 증기의 최고온도는 용해된 성분의 휘발성과 침전물에 따라 결정되며 휘발성은 발생된 증기의 순도에 영향을 주고 침전되는 성분은 스케일의 원인이 된다. 오염되지 않은 해수가 증발할 때 생성된 증기에서는  $H_2O$ 이외의 성분은 거의 무시할 수 있으나  $150^\circ C$  이상으로 가열되면 해수 중의 염성분이 혼입된다고 생각할 수 있다.

현재 건설되어 있는 대부분의 담수화플랜트는 스케일과 부식을 고려하여 그 사용온도가  $90^\circ C \sim 125^\circ C$ 로 한정된다. 이 이상 사용온도를 높이려면 스케일방지를 위하여 해수의 특수한 화학처리가 필요하게 된다. 따라서  $125^\circ C$  이내의 온도에서 플랜트가 운전되므로 해수를 담수화하는 플랜트에서 얻어지는 증류수는 결국 순수한  $H_2O$ 라 할 수 있다.

담수화플랜트에서 증류수를 연속적으로  $M_d$ 의 생성율로 생산하려면 해수를  $M_f$ 의 비율로 공급해야 한다.

이때  $(M_f - M_d)$ 의 차이를 브라인비율(Brine rate)이라고 하며  $M_b$ 로 표시한다. 플랜트 운전시  $M_b$ 의 값은 브라인 중의 염 질량비  $y_b/y_f$ 에 의하여 결정된다. 여기

서  $y$ 는 염의 질량을 나타낸다.

따라서 공급수의 전체 염의 양은 브라인에서와 같게 되므로  $M_f y_f = M_b y_b$ 가 되고 이때  $M_d, M_f$ 를 회수율(recovery ratio)이라고 부른다.

이상적인 담수과정은 정상상태의 가역분리과정으로 생각할 수 있다. 따라서 열과 일의 적용에 의하여 유출 유입되는 유동은 같은 온도 같은 압력에서 일어난다고 가정할 수 있다.

이들 가역과정에 열역학 제 1법칙과 제 2법칙을 결합함으로써 유입 유출되는 과정에서 자유에너지차(Free energy difference) 즉 분리효과에 필요한 최소 일량을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$W_{rev} = (\Delta g)_{P_0, T_0} \quad (1)$$

위 식은 생산된 증류수의 단위당 필요한 일로 표시하였고, 계에 들어간 일의 양의 값으로 나타내었다.

이에 따른 필요한 최소열량은 Carnot 기관에서 공급되는 가역 일량으로 얻을 수 있으며 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$q_{rev} \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) = (\Delta g)_{P_0, T_0} \quad (2)$$

$$\text{혹은 } q_{rev} = T(\Delta g)_{P_0, T_0} / (T - T_0) \quad (3)$$

여기서  $q_{rev}$ 는 시스템에 가해지는 것이므로 양의 값으로 표시하였고  $T$ 는 열원의 온도이다.

따라서 일과 열원을 사용하는 분리과정(separation process)에서 자유에너지변화에 관계되는 필요한 최소에너지는 다음 식으로 나타낸다.

$$q_{rev} \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) + W_{rev} = (\Delta g)_{P_0, T_0} \quad (4)$$

위 식에서 분리에 필요한 자유에너지  $(\Delta g)_{P_0, T_0}$ 는 다음과 같이 간단한 가정을 도입하여 얻을 수 있다.

즉 생산된 증류수와 같이 거의 염성분이 포함되지 않는 희박용액(dilute solution)은 작은 회수율(recovery ratio)이 0으로 되려는 경향이 있으므로 단위 증류수당 분리자유에너지에 대한 표현을 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$(dG)_{P,T} = \sum_i \mu_i dM_i = (\mu_w^0 dM_a) \text{ distillate stream} \\ + (\mu_w dM_b + \sum_s \mu_s dM_s) \text{ brine stream} \quad (5)$$

여기서  $G$ 는 Gibbs의 자유에너지,  $\mu_i$ 는  $i$ 종(Specis)의 Gibbs 화학포텐셜(chemical potential),  $M_i$ 는  $i$ 종의 질량,  $\mu_w^0$ 는 순수한 물을 나타내고,  $\mu_w$ 는 브라인에 있는 물, 그리고  $\mu_s$ 는 염에 대한 Gibbs의 화학포텐셜(chemical potential)을 나타낸다.

따라서 증류수는 거의 염성분이 없으므로  $dM_d = -dM_b$  그리고  $dM_s = 0$  그러므로

$$(dG)_{P,T} = (\mu_w^0 - \mu_w) dM_d \quad (6)$$

희박용액에서는  $\mu_w^0 - \mu_w = RT \ln X_w = RT X_s$ 가 된다. 여기서  $X_w$ 와  $X_s$ 는 물의 몰(mol) 분율과 염의 유효 몰(mol) 분율이다.

따라서 (7)식이 된다.

$$(dG)_{P,T} = (-RT \ln X_w) dM_b = RT X_s dM_d \quad (7)$$

앞에서 기술했듯이 회수율(Recovery ratio)이 0으로 되는 경향이 있으므로  $X_s$ 는 공급수의 몰 분리 효율이 되고,  $((\delta G / \delta M_d)_{P_0, T_0, r \rightarrow 0})$ 을  $g_0$ 에 의하여 표시하면

$$g_0 = RT_0 X_s \quad (8)$$

물은 전해질 용액에서 (8)식은 계수  $\phi$ 에 의해서 수정된다. 여기서  $\phi$ 는 용액에서의 이온조성에 의하여 결정되는 계수이다.

$$g_0 = \phi RT_0 x_s \quad (9)$$

세분화된 회수(recovery)에 대하여 (8)식은 공급 수농도에서 브라인농도까지 적분함으로써 다음과 같이 얻어진다.

$$(\Delta g)_{P_v T_0} = \frac{1}{M_d} \int_{X_{s1}}^{X_{s2}} g_0 dM_d \quad (10)$$

물은 용액에서 염의 양  $x_s$ 는 삼투압(osmotic pressure)  $\Pi$ 에 관계되고 또 증기압  $P^v$ 는 비등점상승(boiling point elevation)  $\alpha$ 에 관계되므로 식(8)은 다른 방법에 의하여 다음과 같이 표현된다. Vant Hoff 식은  $\Pi_v = x_w RT$  이고 여기서  $v$ 는 용액의 비체적이다.

따라서

$$g_0 \approx \Pi_v \quad (11)$$

Raoult 법칙에서  $x_w = P^v/P^{0v}$ , 여기서  $P^{0v}$ 는 순수 용매의 증기압이다.

따라서

$$X_s \approx \ln X_w = \ln(P^{0v}/P^v) \quad (12)$$

그러므로

$$g_0 \cong RT_0 \ln(P^{0v}/P^v) \quad (13)$$

$(v_g - v_f)$ 을 이상기체로 가정하면 Clapeyron 식은 다음과 같다.

$$(dP/dT)_{saturation} \cong (h_g - h_f)/T(v_g - v_f) \cong LP/RT^2 \quad (14)$$

이 식을  $P^v$ 와  $P^{0v}$  사이의 포화해수에 적용시키면  $dP/P = (L/R) \cdot (dT/T^2)$ 이 되므로  $\ln(P^{0v}/P^v) = (L/R)(1/T_0 - 1/(T_0 + \alpha))$ 가 된다.

이것을 (13)식에 대입하여 다음식을 얻는다.

$$g_0 \cong L\alpha/(T_0 + \alpha) \quad (15)$$

식 (15)는 비점상승에 대한 증발잠열(L)을 높이려는 이상적인 열펌프를 나타낸다.

탈염과정은 실제적으로 비가역과정이므로 분리과정에 필요한 에너지는 식(4)와 열학적 제 1법칙 및 2법칙을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$q(1 - T_0/T) + W = (\Delta g)_{P_0, T_0} + T_0 S^e \quad (16)$$

여기서  $q$ 와  $W$ 는 증류수 단위용량당 실제 사용되어진 값이고  $S^e$ 는 증류수 단위용량당 생성된 엔트로피이다.

일을 소비하는 과정(Work consuming process)에서 열원의 온도는  $T = T_0$  이고, 열을 소비하는 과정(heat-consuming process)에서  $W$ 는 단위 증류수당 펌프일을 나타낸다.

여기서,

$$q(1 - T_0/T) + W_p = (\Delta g)_{P_0, T_0} + T_0 S^e \quad (17)$$



증발 프로세스에서 가장 중요한 비가역성은 열전달에 따른 온도차이다. 예를들면 단위 증류수당 열전달은 90°C에서 93°C까지의 기화잠열과 같고 일반적인 분리자유에너지의 6배정도인  $T_0 S^c$ 의 값을 갖게된다.

따라서 단위 증류수당 엔트로피 생성을 줄이는 것은 증발플랜트의 경제적인 최적화에 가장 중요한 것 중의 하나이다.

일반적으로  $S^c$ 는 단위 증류수 당 시설비투자에 따라서 결정되며 시설투자비가 높게되면  $S^c$ 의 값을 줄일 수 있다.

따라서 (16)식에서  $S^c$ 을 줄임으로서 에너지 필요량은 감소하고 생산수원가가 감소하게 된다.

실제에너지 필요량은 일 소비과정에 대한 최소 필요량의 25~40배이며 열 소비과정에 대해서는 15~30배의 실제에너지가 필요하게 된다.

열 소비과정에서 실제로 필요한 열량은 일반적으로 성능비(Performance ratio)호 나타내며, 사용되는 성능비는 다음 3가지 형식을 가진다.

$$R' \equiv L_r/q \quad (18)$$

i)  $L_r = T_0$ 에서  $L$ , 이 경우  $R'$ 은 이득출력비(gained output ratio)라고 부르며 에너지비로 사용된다.

ii)  $L_r = 73^\circ\text{C}$ 에서 증기의 잠열과 같은 단위에너지, 즉 2326KJ(1000BTU), 이때  $R'$ 은 단위열량에 대한 증류수의 질량비로 사용된다.

iii)  $L_r =$  포화온도에서 가열증기의 엔탈피변화, 이때  $R'$ 은 단위가열 증기의 질량에 대한 증류수의 질량으로 사용된다.

위에서 나타낸  $L_r$ 의 값은  $L_{T_0} > L_{73^\circ\text{C}} > L_T$ 의 순서로 되며 이들 3개의 비율에 의하여 얻어지는 값의 크기도 같은 순서이다.

예를 들면 성능비로 표시된 최소 필요 열량은 205KJ/KJ, 194kg/232KJ, 그리고 182kg/kg의 3개 비로 될 것이다.

이들 3개의 비는 펌프일  $W_p$ 을 포함하지 않고 있으므로 완전한 성능비를 나타내지 않는다.

그러므로 다시  $R' \equiv L_r/(q + W_p)$ 로 정의하게 되면, 이때는 일에 대한 열역학적 값과 같은 양의 열량으로 비교하는 것이 간과 되어있다.

그러므로 기계적인 구동과정에서도 마찬가지로 적용되는 일반적인 성능비를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_a \equiv 1/(q(1 - T_0/T) + W_p) = 1/((\Delta g)_{P_0, T_0} + T_0 S^{\circ}) \quad (19)$$

여기서  $R_a$ 는 사용된 에너지 단위당 생산된 증류수를 나타낸다.[고석문, 1985.]

## 2.1 해수 담수화의 유형별 특징

바닷물이나 짠물을 먹는 물이나 생활용수 또는 공업용수로 사용하지 못하는 이유는 바닷물이나 짠물에 녹아있는 우리가 일반적으로 염분이라고 말하는 여러 가지 이온성분 때문이다. 이러한 염분을 없애 먹는 물로 이용하려는 인간의 노력은 예전부터 있었다. 가장 간편한 담수화 방법은 물을 끓여 수증기만을 응축시켜 담수를 얻는 방법으로 1593년 R. Hawkins가 신대륙으로 향하는 장기간의 선박 여행에서 증발기를 사용하여 해수를 담수화한 것이 담수화 기술의 시초였으며, 산업혁명의 도래 이후, 다중효용 증발법(Multiple Effect Distillation)과 다단플래시 증발법(Multi-Stage Flash Distillation, MSF)이 개발되어 이용되기 시작했으나 본격적인 담수화플랜트는 1960년 중동의 쿠웨이트에 4,000m<sup>3</sup>/일 용량을 갖는 증발법 해수담수화 플랜트가 최초였으며 1980년대에 는 전체 담수화 플랜트의 3/4가 증발법을 이용한 설비였다.

그러나 현재에는 많은 에너지를 필요로 하는 증발법은 에너지 가격이 안정되고 값싼 중동지역에 편중되어 사용되고 있으며 이외의 지역에서는 증발법 외에 역삼투막법, 전기투석법, 냉동법 등이 개발되어 활용되고 있다.[박광규, 2008.]



1) 증발법

증발법은 담수화 기술 중 가장 역사가 오래된 기술이며 현재 전 세계 담수화 생산용량 중 약 70%를 차지하고 있다. 이 방법은 증발기의 형상과 열원의 이용 방법에 따라 크게 다중 효용방식, 다단 플래쉬방식, 증기압축식 등으로 분류할 수 있다.

Table. 2. Classification of desalination plants

상변화	증발법	다단플래쉬법
		다중효용법
		증기압축법
		투과기화법
	결정법	냉동법
		가스수화물법
상불변	막법	역삼투법
		전기투석법
		용매추출법

(a) 다중 효용방식(MED: Multi-Effect Distillation)

이 방식은 단순 증류기를 시리즈로 배열한 형태로 첫 번째의 증발기에 보일러에서 발생된 증기로 열을 가하여 해수를 증발시키면, 발생된 증기는 다음 증발기에서 응축되어 담수가 되고 동시에 가열 원으로 작용하여 증발기 내부의 해수를 증발시킨다. 또한 이때 발생된 증기는 다시 다음 증발기에서 가열 원으로 작용한다. 이 때 각 효용 증발기 내의 압력을 차례로 낮게 유지하여 공정이 진행됨에 따라 더 낮은 온도에서 비등이 일어나도록 해 주어야 한다. 또, 각 효용에서 생산된 담수의 온도가 상온보다 높기 때문에 유입되는 해수와 상호 열 교환을 시켜 생산 담수의 현열을 회수하는 방법도 널리 채택되고 있다.

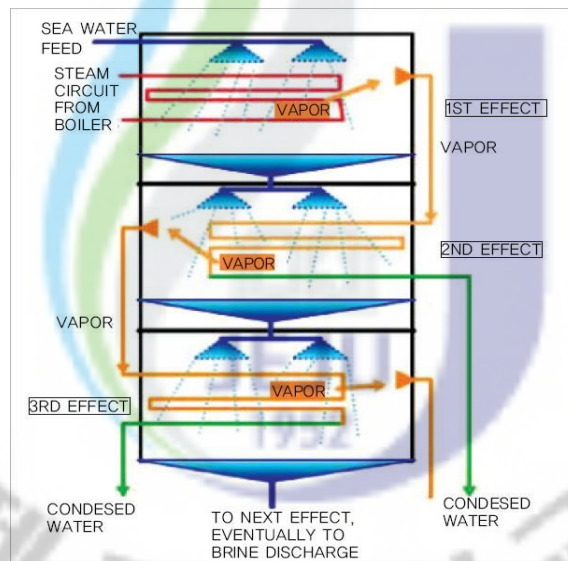


Fig. 7. Schematic of Multi-Effect Distillation(MED)

(b) 다단 플래쉬 방식(MSF: Multiple-Stage Flash Distillation)

다단 플래쉬 방식은 현재 대용량 담수화장치에 가장 널리 사용되는 담수화 기술로 현재 전세계 담수화 용량의 약 2/3 가량을 담당하고 있으며, 다중 효율 방식과 가장 큰 차이점은 증발관 내에서 증발이 일어나는데 비해 다단 플래쉬 방식에서는 상대적으로 고압의 열교환기 내에서 가열된 해수가 오리피스를 통해 저압의 격실로 분출되면서 열공급이 없으므로 원수의 잉여 에너지에 해당하는 부분만의 잠열로 변환되기 때문에 각 격실에서 증발량은 수 % 이내이다. 다단 플래쉬 방식의 일반적인 계통은 점차 진공도가 높은 격실이 직렬로 이어진 형태를 가진다.

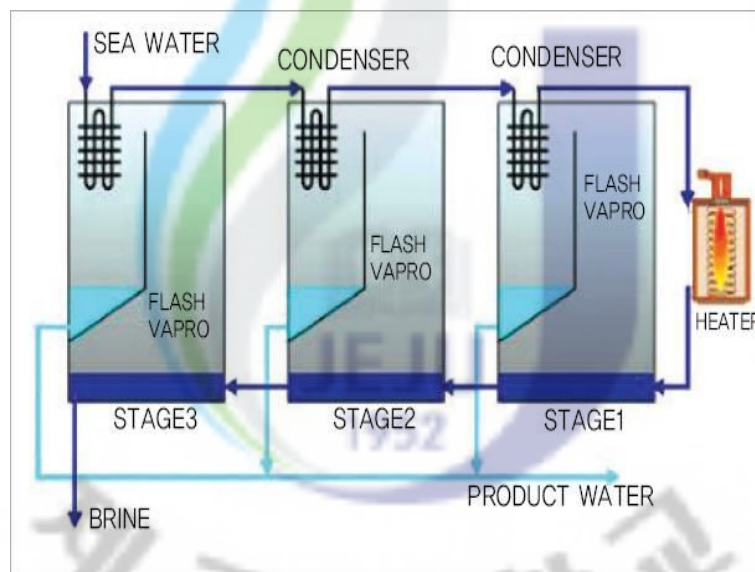


Fig. 8. Schematic of Multiple-Stage Flash Distillation(MSF)

(c) 증기 압축식(VCD: Mechanical Vapor Compression Distillation)

증발기에서 발생한 증기를 압축기로 압축시키면 온도와 압력이 상승하게 되는데 이를 다시 증발기의 고열원으로 사용한다. 해수가 열교환기를 거치면서 배출되는 브라인과 생산된 담수의 현열을 회수하여 약 97℃로 증발기에 들어가서 압축된 증기가 응축하면서 방출하는 열에 의하여 증발하고 증기는 다시 압축기로 고온의 증기로 압축되어 증발기에서 응축되고 이후에 열 회수기를 통과하면서 증발기로 들어가는 해수에 그 현열을 전달하여 담수화에 이용하는 공정이다.

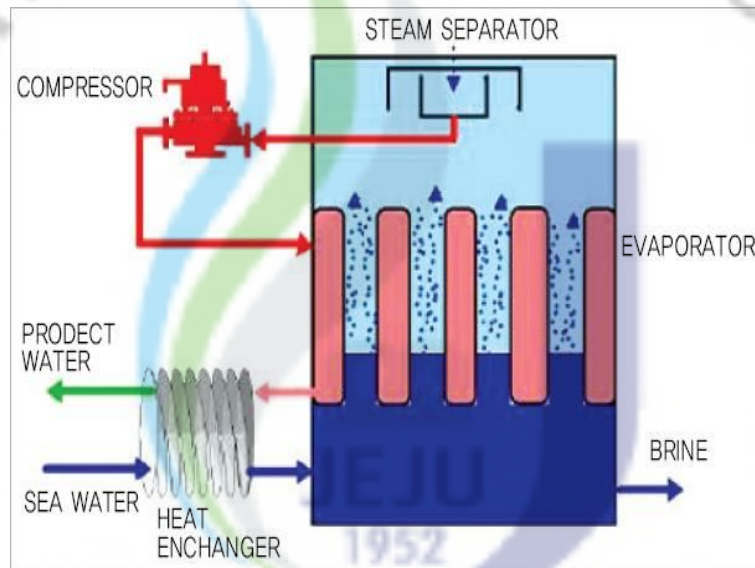


Fig. 9. Schematic of Mechanical Vapor Compression Distillation(VCD)

## 2) 역삼투압식(R.O: Reverse Osmotic pressure)

삼투현상이란 반투막을 사이에 두고 동일한 양의 저농도 용액(담수)과 고농도 용액(해수)을 일정한 시간동안 두면 고농도 용액 양이 증가하게 되는 현상을 삼투현상이라 하고 이 때의 수두차를 삼투압이라 하며, 유체는 일정시간 후 평형상태를 유지한다. 유체 평형상태에서 고농도 용액 측에 삼투압 이상의 압력을 가하게 되면 삼투현상과는 반대로 고농도의 용액에서 순수한 물이 저농도 용액 측으로 흘러 들어가는 현상을 역삼투 현상이라 하며 가해진 압력을 역삼투압이라 한다. 역삼투막법에 의한 해수담수화는 물에 용해되어 있는 이온성 물질은 거의 배제되고 순수한 물은 통과 되는 반투막(멤브레인)에 의해 담수화하는 기술이다. 해수에서 이온성 물질과 순수한 물을 분리시키기 위해서는 삼투압 이상의 높은 압력을 필요로 하는데 이때의 압력을 역삼투압이라 하며 해수담수화의 경우 보통 42~80bar 정도의 높은 압력을 필요로 한다.

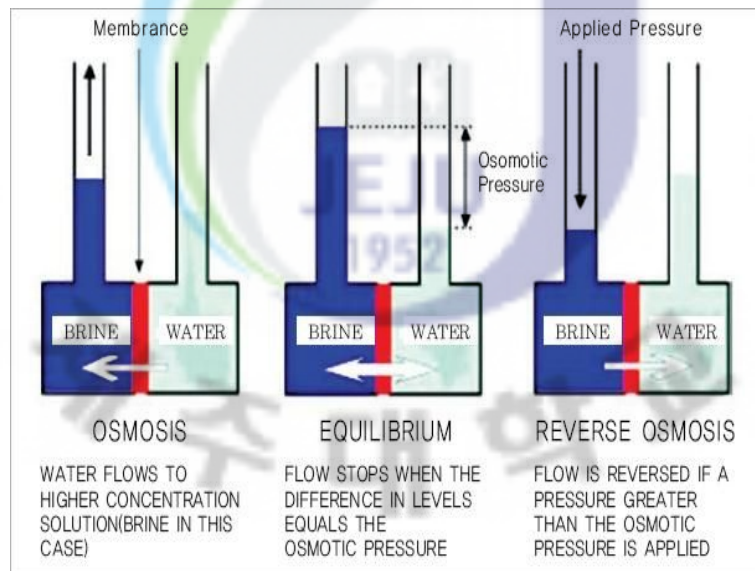


Fig. 10. Schematic of Reverse Osmotic pressure(R.O)

### 3) 전기투석법(ED:Electrodialysis method)

수중에 용해되어 있는 무기물은 거의 대부분 이온화되어 있다. 여기에 전극을 삽입하여 전류를 흐르게 하면 양이온은 음극으로 음이온은 양극으로 이동한다. 따라서 양이온 또는 음이온을 선택적으로 통과시키는 막을 이용하면 이온 성분과 물의 분리가 가능하다. 전기 투석법은 해수로부터 소금을 생산하기 위해 비교적 오래전부터 사용되어 왔는데 전기투석과 역삼투법은 분리막을 사용한다는 점에서 동일하다. 그러나 근본적인 차이점은 역삼투법의 경우 구동력이 압력인 반면 전기 투석법에서는 전기적인 힘이다. 따라서 역삼투압 공정에서는 수중의 모든 물질이 제거되는 반면 전기 투석법에서는 전기적인 전하를 가진 물질만 제거된다는 점이다. 이는 전처리를 비교적 엄격히 하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다. 또한 설치되는 장비가 비교적 간단하여 유지, 보수가 용이하다. 전기 투석법은 전류에 의해 이온 용액의 분리를 행하는 단위조작으로서 분리되는 이온에 대하여 선택투과성을 가진 막을 매개체로 하여 전류를 통하게 함으로서 이루어진다.[박광규, 2008.]

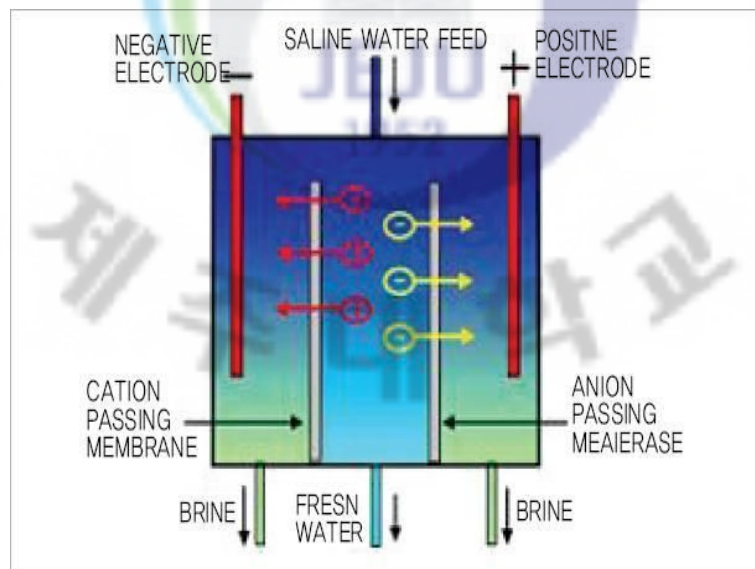


Fig. 11. Schematic of Electrodeionization method(ED)



#### 4) 증발흡착법(AD: Absorption Desalination System)

증발흡착법의 기본 방식은 증발식과 거의 동일하다. 다만 증발법이 Evaporator 과 Condenser만으로 이루어 졌다면 증발 흡착식은 흡착과 탈착 공간인 Reactor 의 추가된다는 점이다. 증발된 증기를 흡착물질의 낮은 온도에서는 증기를 흡착하고 높은 온도에서는 증기를 탈착하는 것을 이용하여 보다 고효율을 얻기 위해 고안된 방법이다. Evaporator에서 증발된 증기는 Reactor로 이동 되는데 이때 Reactor안은 cool-water가 흐르고 있으며 흡착물질은 따라서 증기를 흡착하게 된다. 흡착물질이 증기를 흡착하는 시간이 흐른 뒤 모든 연결관의 통로를 닫고 hot-water을 가하게 되면 흡착되어 있던 증기가 탈착된다. 이때 Condenser의 통로를 열어 탈착된 증기를 응축시켜 담수화를 시킨다. 이는 같은 크기의 담수화 장치보다 효율적으로 많은 이득을 얻을 수 있다.

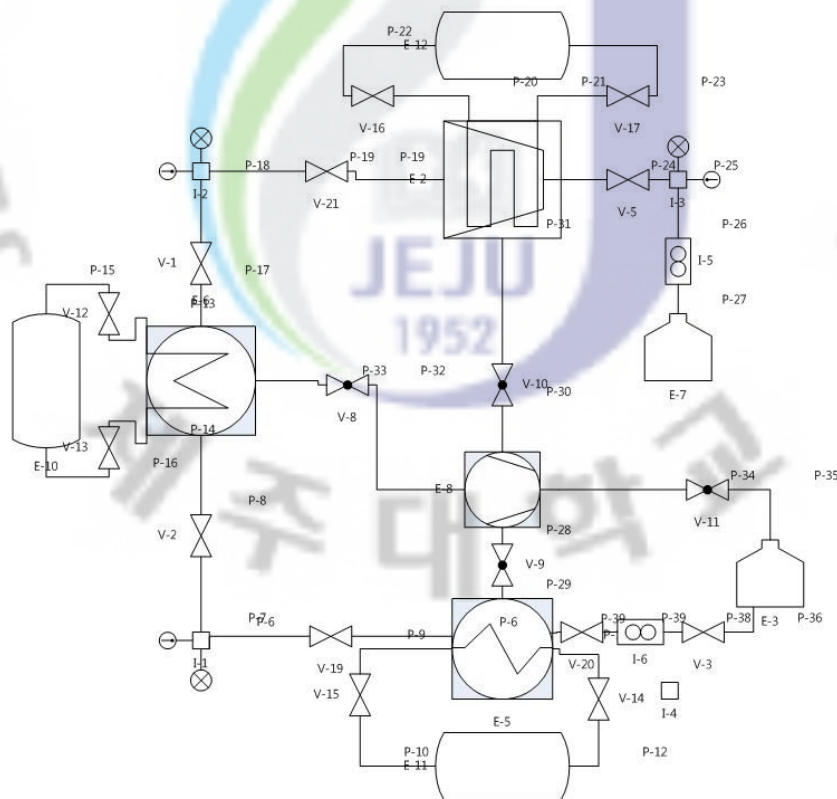


Fig. 12. Schematic of Absorption Desalination System(AD)

## 2.2 흡착제의 종류 및 특성

적절한 흡착제와 냉매의 선택은 시스템의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 부분이며, 현재 문헌상에 발표된 흡착제와 냉매의 조합 중 실리카겔(Silica gel)-물, 활성탄-암모니아, 지올라이트(Zeolite)-물과 염화칼슘-암모니아의 조합이 활용되고 있다.[천원기, 2010.]

흡수제에 대한 고체 흡착제의 장점 중의 하나는 흡착제와 작동냉매의 분리가 간단하다는 것이다. 많은 흡수제의 경우 흡수제와 냉매의 분리를 위해 복잡한 장치가 필요하게 되고 이로 인해 담수화의 성적계수도 저하된다. 흡착식 담수화에서는 복잡한 분리과정(Distillation)이 필요 없으므로 장치가 간단하게 된다. 담수화에서 사용하는 흡착제와 냉매의 조합이 갖추어야 할 이상적인 조건은 다음과 같다.

- 넓은 흡착폭
- 발생/흡착 과정에서 흡착량의 감소를 일으키는 hysteresis가 없을 것
- 고온에서의 안정성
- 작은 비열
- 높은 흡착속도
- 낮은 인화, 폭발 가능성
- 무독성
- 환경에 무해할 것

흡착제의 가장 중요한 요건 중의 하나는 Hysteresis가 없고 흡착폭이 넓어야 한다는 것이다. 이것은 주기적으로 작동하는 담수화의 원리로부터 직접적으로 한 주기에서 단위 흡착제 질량당 흡착할 수 있는 양이 커지는 것을 의미한다. 또한 흡착량이 커지는 것은 열 교환량이 커지는 것을 의미하므로 담수화 시스템이 불필요하게 커지는 것을 방지한다. 그리고 흡착폭이 큰 경우에는 흡착제의 가열, 냉각에 필요한 열량이 감소되어 성적계수가 증가하게 된다.


흡착제의 파괴를 피하기 위해서는 주기적인 운전에 있어서 작동 흡착제/냉매



조합의 안정성이 요구된다. 만약 흡착제/냉매 조합의 열역학적 특성이 운전 중에 저하되면 담수화의 성적계수가 감소되고 심한 경우에는 담수화시스템이 작동하지 않을 수도 있다. 흡착제의 안정성은 작동냉매 증기가 존재할 때에는 온도와 증기압에 의해 영향을 받는다. 또한 담수화의 사용 용도와 작동조건에 따라서도 흡착제 선정하여야 한다.[정시영, 1992.]

표 3는 본 연구에서 비교대상의 펄 실리카겔(Silica gel)의 특성을 보여준다.

Table. 3. Typical characteristics of silica gels  
[출처:SUN-GEL:http//sungel.co.kr]

종류	흡수율 (%)	안전성	팽윤 수용성 용해성 여부	비고
 A-type	30	양호	없음	작은 세공크기와 넓은 비표면적을 가진 제품으로 미세한 습기도 강력하게 흡착.
 Blue-type	30	양호	없음	흡착량이 높아 환경에 따라 거의 영구적으로 표준습도를 유지. 수분을 흡수함에 따라 푸른색에서 분홍으로 바뀜.
 Mycom-type	60	양호	없음	A-타입 실리카겔 보다 작은 비표 면적을 가지고 있으나 큰 세공 크기를 가지고 있어서 상대적으로 높은 상대 습도 하에서 흡착력이 뛰 어남.

### Ⅲ. 광 파이프 시뮬레이션

#### 1. 모델링 및 시뮬레이션

##### 1.1 모델링

광 파이프 시뮬레이션 분석을 위한 평가모델은 2가지로 나누어 모델링 되었다. Diffuser 적용 및 미적용에 대한 조도값 및 조도 분포를 분석하기 위하여 창문이 없는 무창공간을 모델링하였으며, 실생활에서의 적용 가능한지를 분석하기 위하여 실제 제주대학교 공대 4호관 강의실과 동일한 형상으로 모델링 하였다. 광 파이프 시스템은 패시브형 수직 광 파이프를 적용한 것이며, 첫 번째 시뮬레이션에서는 광 파이프의 구성장치 중 Diffuser의 유무에 따른 조도값을 분석하였다. 그리고 두 번째 시뮬레이션에서는 순수하게 실내로 입사하는 태양 조도값과 비교하기 위하여 광 파이프 시스템을 적용하지 않은 실험도 병행하였다.

무창공간과 강의실의 크기는 748cm×967.5cm×270cm이고, 책상에서 천장까지의 높이는 195cm이며, 실제 강의실 모델링에서는 광 파이프 시스템을 통해 유입되는 태양광의 순 조도가 실생활에 적용 가능한지를 분석하기 위해 남향의 창문을 설치하였으며 그 크기는 930cm×190cm이다. 무창공간에서는 칠판 쪽 벽으로부터 240cm 떨어진 곳과 640cm 떨어진 중앙 부분에 지름 80cm인 광 파이프를 설치하였으며 강의실에서는 남향의 창문과의 비교를 위하여 칠판 쪽 벽으로부터는 거리가 같으나 중앙 부분에 위치해 있던 광 파이프를 북쪽방향으로 220cm 이동하여 설치하였다. 광 파이프의 높이는 140cm이다. Fig. 13은 ECOTECT를 이용하여 설계된 도면을 보여준다.

모델링은 별도의 모델링 프로그램을 사용하지 않고 ECOTECT 프로그램 안에서 완성하였다. Table. 4는 본 모델링에 적용한 광 파이프 시스템의 구성장치들에 대한 재질 및 특성을 보여주고 있다. 광 파이프의 Dome 실내로 비나 먼지들이 유입을 막는 것이 주목적이며 투과율을 고려하여 Glass로 재질을 선택하였다. Light pipe의 재질은 입사하는 빛의 반사율을 높이기 위하여 Mirror로 설정하였고, Diffuser는 glass로 재질을 선택하였으며, Dome과 Light pipe의 직경과

같은 80cm로 모델링하였다.

Table. 4. Physical specifications of the sun pipe system used in the present modeling

	Dome	Light Pipe	Diffuser
Material	glass	mirror	glass
Diameter(cm)	$\Phi$ 80	$\Phi$ 80	$\Phi$ 80
Height(cm)	40	100	-
Thickness(mm)	0.6	0.6	0.6

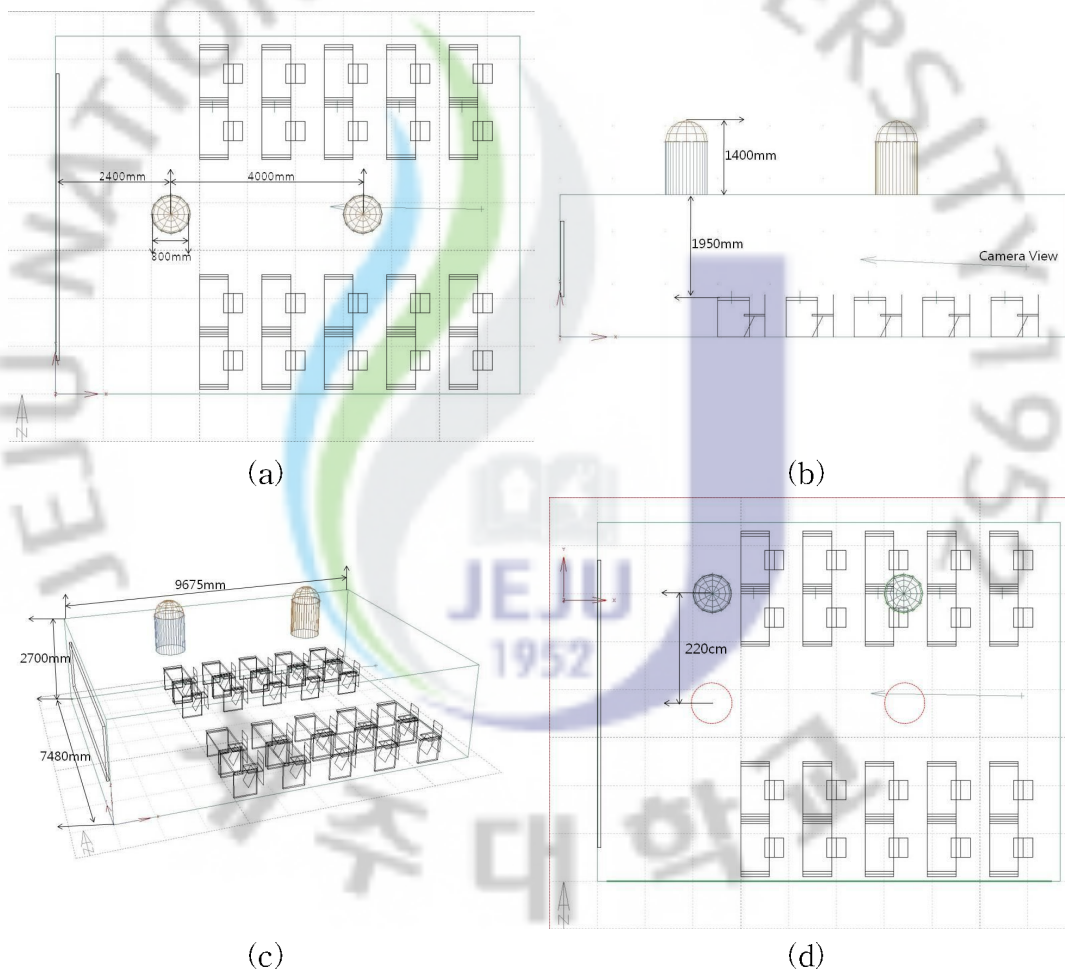


Fig. 13. Modeling by ECOTECT; (a) Top view(without window)  
(b) Side view (c) Isometric view (d) Top view(with window)

## 1.2 시뮬레이션(Simulation)

시뮬레이션은 RADIANCE와 연동하여 수행하였다. ECOTECT은 기본 알고리즘이 재질 표면의 현상 분석만이 가능하기 때문에 광 파이프의 구성장치인 Diffuser에 의한 투과를 구현하기에 적합하지 않기 때문에 RADIANCE를 통해 광 파이프의 채광 성능을 분석하였다.

광 파이프 시스템 채광성능 분석과 Diffuser의 성능 분석을 위한 모델에서 먼저 비교대상이 되는 무창공간에서 광 파이프 미적용 상태의 실내 조도값 측정은 춘분(양력 3월 22일)과 하지(양력 6월 22일)의 12:00에 실내 조도값을 측정하였으며 실제 모델에서의 적용으로 광 파이프 시스템의 유무에 따른 실내 조도값 측정은 춘분과 하지, 추분(양력 9월 22일), 동지(양력 12월 22일)의 12:00에 실내 조도값을 측정하였다.

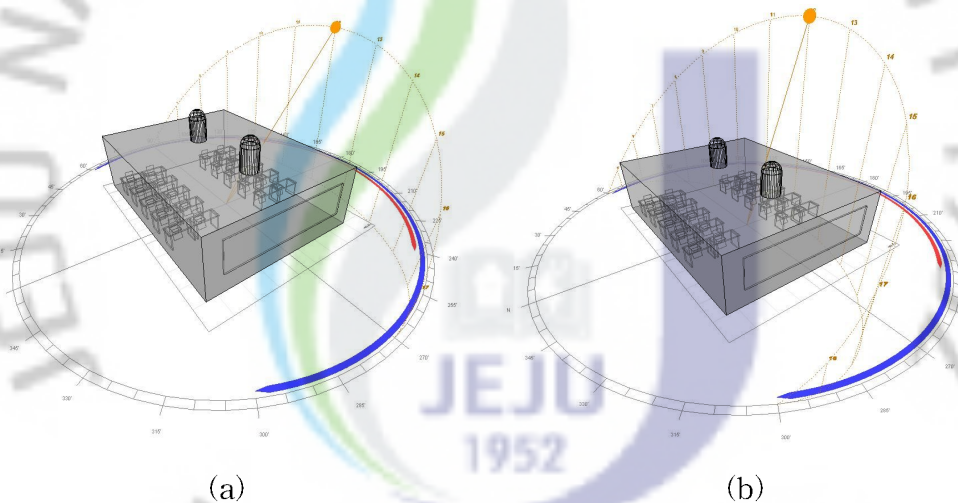


Fig. 14. Solar altitude of (a) Vernal equinox (b) Summer solstice

Fig. 14는 춘분과 하지의 12시에서의 태양고도를 보여준다. 태양의 고도는 광 파이프로 입사되는 빛의 양을 결정하므로 매우 중요한 항목이다. 이에 따라 본 연구에서 계절에 대하여 조도값이 다르게 되고, 시스템의 설치 가능 유무에 대한 고려가 가능하다.

천공상태는 Sunny Sky로 설정하고 광 파이프의 Dome 부분의 가시광선 투과율은 0.9로 설정하였으며 Light pipe 부분의 반사율은 0.748로 설정하였다. 광 파

이프로 입사되는 빛을 확산 시키는 Diffuser 부분의 총 투과율은 0.9로 설정하였다. Table. 5는 본 연구에서 적용된 시뮬레이션 조건을 보여준다.

앞에서 언급한 것처럼 ECOTECT는 Diffusing 구현이 불가능하여 Diffuser는 RADIANCE에서 시뮬레이션 조건 값을 지정해 주었고 다른 Dome, Light pipe, 건물의 벽 등은 ECOTECT에서 시뮬레이션 조건 값을 입력 하였다.

그리고 조도값 분포를 확인하기 위하여 실내에 어안렌즈(Fisheye)를 ECOTECT내에 설치하였다.

Table. 5. Conditions for simulation

Dome	Solar absorption	0.1
	Visible transmittance	0.9
Light pipe	Surface roughness	0.252
	Total reflectance of material	0.748
Diffuser	Surface roughness	0.05
	Total transmittance of the material	0.9

## 2. 결과 분석 및 고찰

### 2.1 광 파이프 시스템의 기본 성능 시뮬레이션

본 연구에서는 광 파이프의 채광성능 분석과 Diffuser의 성능 분석을 위하여 무창공간에서 태양의 고도에 따른 조도값과 조도 분포를 측정하였으며, 이를 이용하여 실제 모델인 제주대학교 강의실 중 하나를 ECOTECT로 모델링하여 태양의 고도에 따른 실내 조도 비교를 위해 춘분(3월 22일), 하지(6월 22일), 추분(9월 22일), 동지(12월 22일)에서 태양의 고도가 가장 높은 시간인 낮 12시를 적용하여 RADIANCE에 의해 아래와 같은 조건으로 시뮬레이션을 수행 하였고 측정된 조도(Lux) 값을 비교 분석하였다.

- (i) 광 파이프 시스템이 설치되어 있지 않은 경우(무창공간)
- (ii) Diffuser가 장착되지 않은 광 파이프 시스템(무창공간)
- (iii) Diffuser가 장착된 광 파이프 시스템(무창공간)

무창공간내 조도값은 10군데의 지점에서 측정 되었으며 Fig. 15는 무창공간내의 측정 지점을 보여준다.

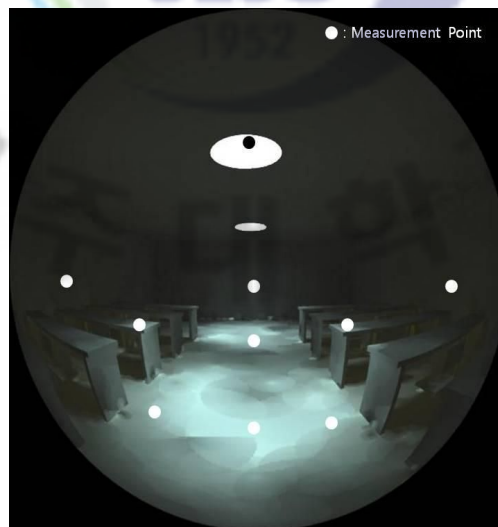


Fig. 15. Measurement point in floor for analyzing the illuminance



1) 광 파이프 시스템이 설치되지 않은 경우(무창공간)

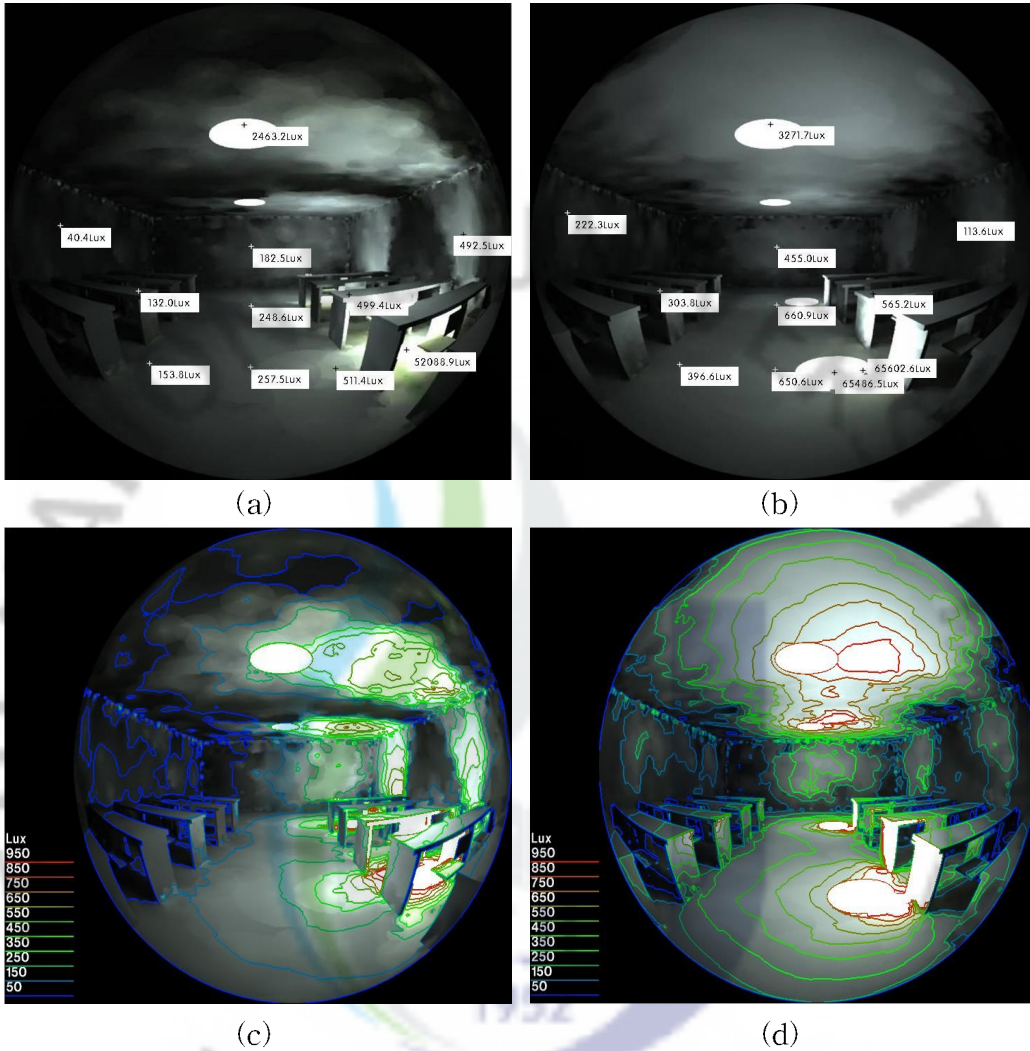


Fig. 16. Illuminance distribution of classroom without sun pipe system at 12PM; March 22 [(a), (c)] and June 22 [(b), (d)]

춘분과 하지일 때 최대 조도값은 각각 52,088.9 Lux, 65,602.6 Lux이며 강의실 내에서 다른 지점에서 최대치를 보인다. 이는 태양 고도가 하지일 때 춘분 때보다 태양고도가 높기 때문에 강의실 내에서 보다 중앙 쪽으로 태양광이 유입되는 것을 의미한다.

2) Diffuser가 장착되지 않은 광 파이프 시스템(무창공간)

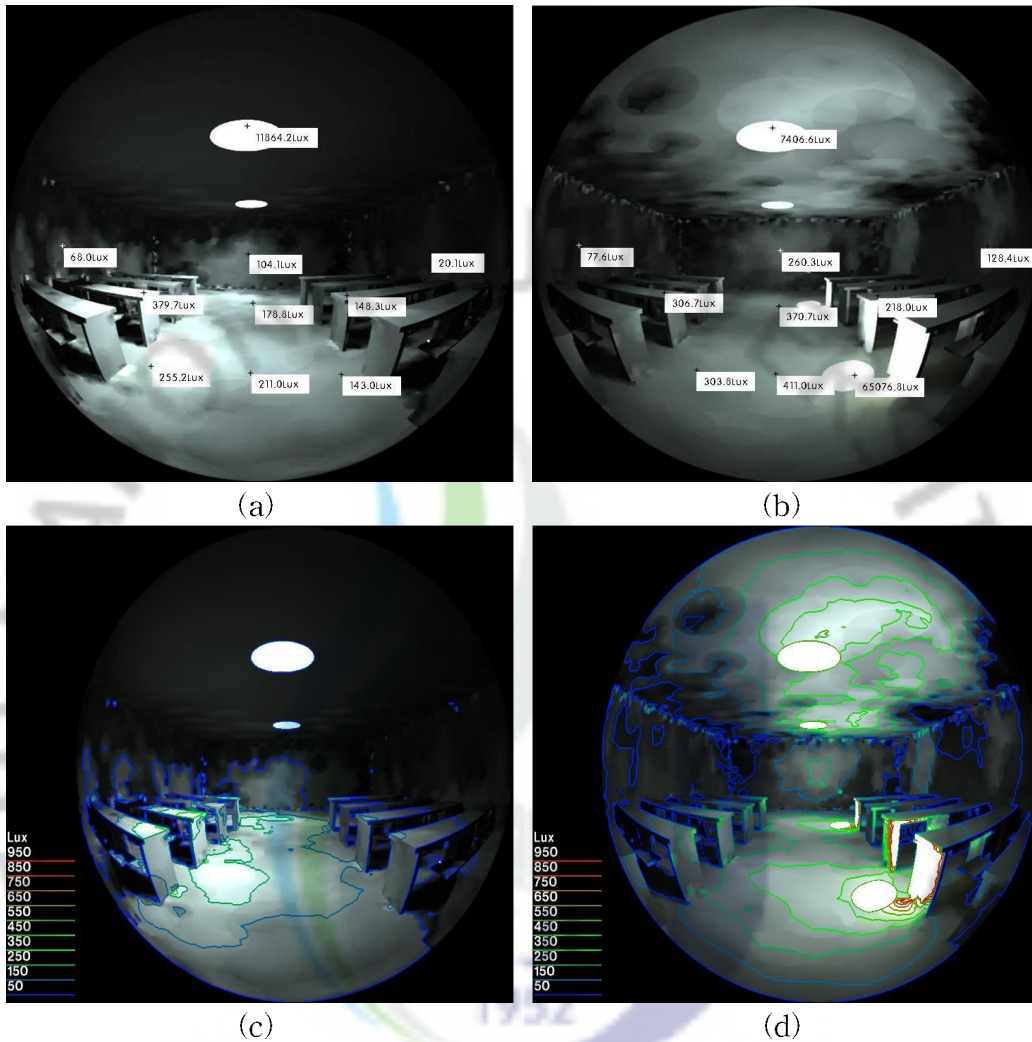


Fig. 17. Illuminance distribution of classroom utilizing the sun pipe system without diffuser at 12PM; March 22 [(a), (c)] and June 22 [(b), (d)]

시뮬레이션 된 조도 결과 값은 춘분과 하지일 때 태양의 고도에 따라 많은 양의 차이를 보였다. 춘분일 때 379.7Lux, 하지일 때 65,076.8 Lux가 측정 되었다. 그리고 조도 분포를 등고선으로 나타낸 그림(c), (d)을 보면 조도값이 편중되어 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 균일한 조도 분포를 위해 Diffuser가 요구된다.

### 3) Diffuser가 장착된 광 파이프 시스템(무창공간)

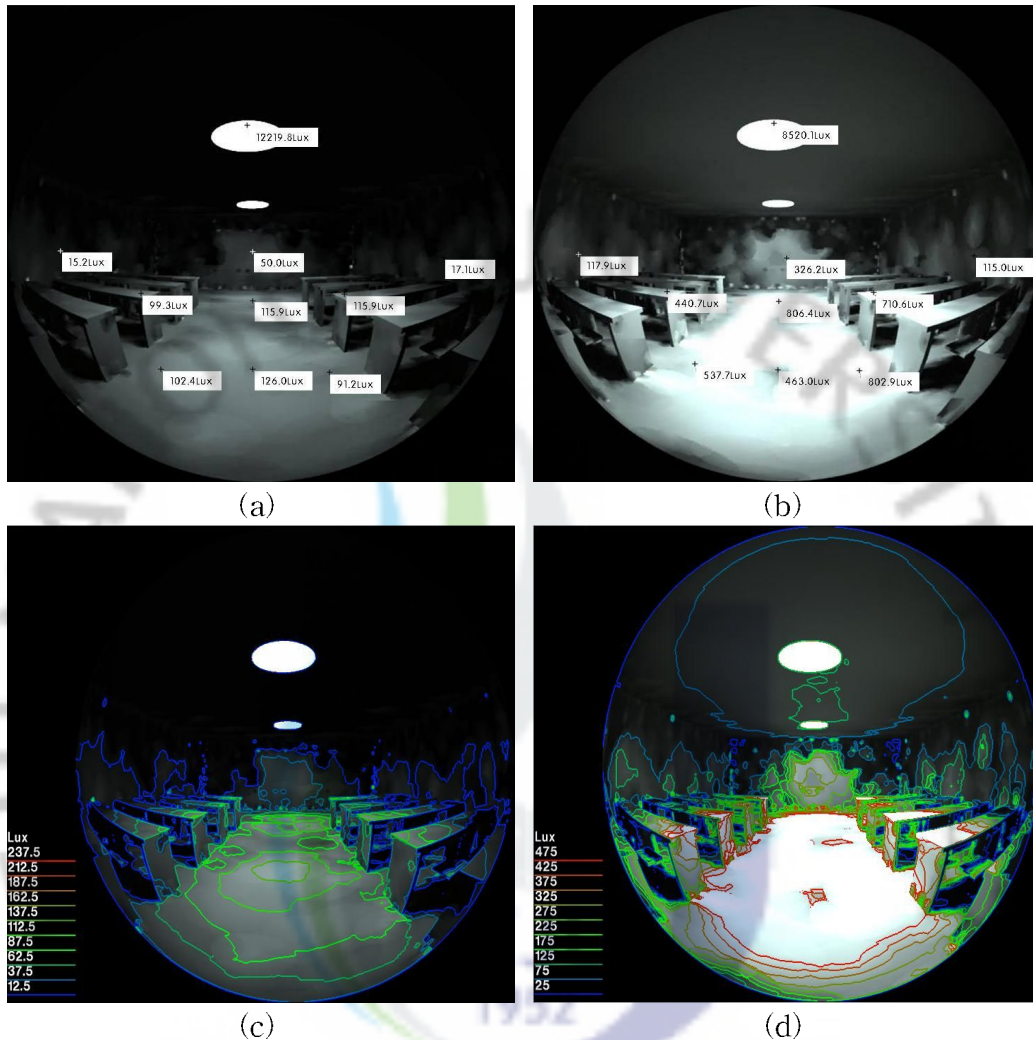


Fig. 18. Illuminance distribution of classroom utilizing the sun pipe system with diffuser at 12PM; March 22 [(a), (c)] and June 22 [(b), (d)]

춘분과 하지에서 최대 조도값은 강의실내의 중앙지점으로써 각각 126.0 Lux, 836.4Lux가 측정되었다. 또한, 그림 18의 (c), (d)를 보면 조도가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서 Diffuser가 장착되지 않은 광 파이프 시스템과 비교하여 상대적으로 균일한 수치를 보였다고 할 수 있다. 그리고 Diffuser를 통해 최대 조도값이 강의실의 중앙지점으로 이동하였으며 이는 인간이 생활하기 적합한 환경을 제공하는 것이다.

## 2.2 광 파이프 시뮬레이션 조도 비교

본 연구의 궁극적인 목표는 광 파이프를 적용하여 전기 소비량을 절감함으로써 인공조명에 걸린 부하를 대체하는 것이다. 이를 위해서는 실생활에서 광 파이프를 적용했을 경우 얼마만큼의 성능을 보여주는가가 중요하다.

다음은 실제 모델인 제주대학교 강의실에서 Diffuser를 설치한 광 파이프의 유무에 따른 춘분, 하지, 추분, 동지에서의 태양 고도가 가장 높은 12:00에 시뮬레이션을 수행한 결과이며, 각각의 조도값과 조도 분포를 분석하였다.





1) 춘분(3월 22일) 12:00PM

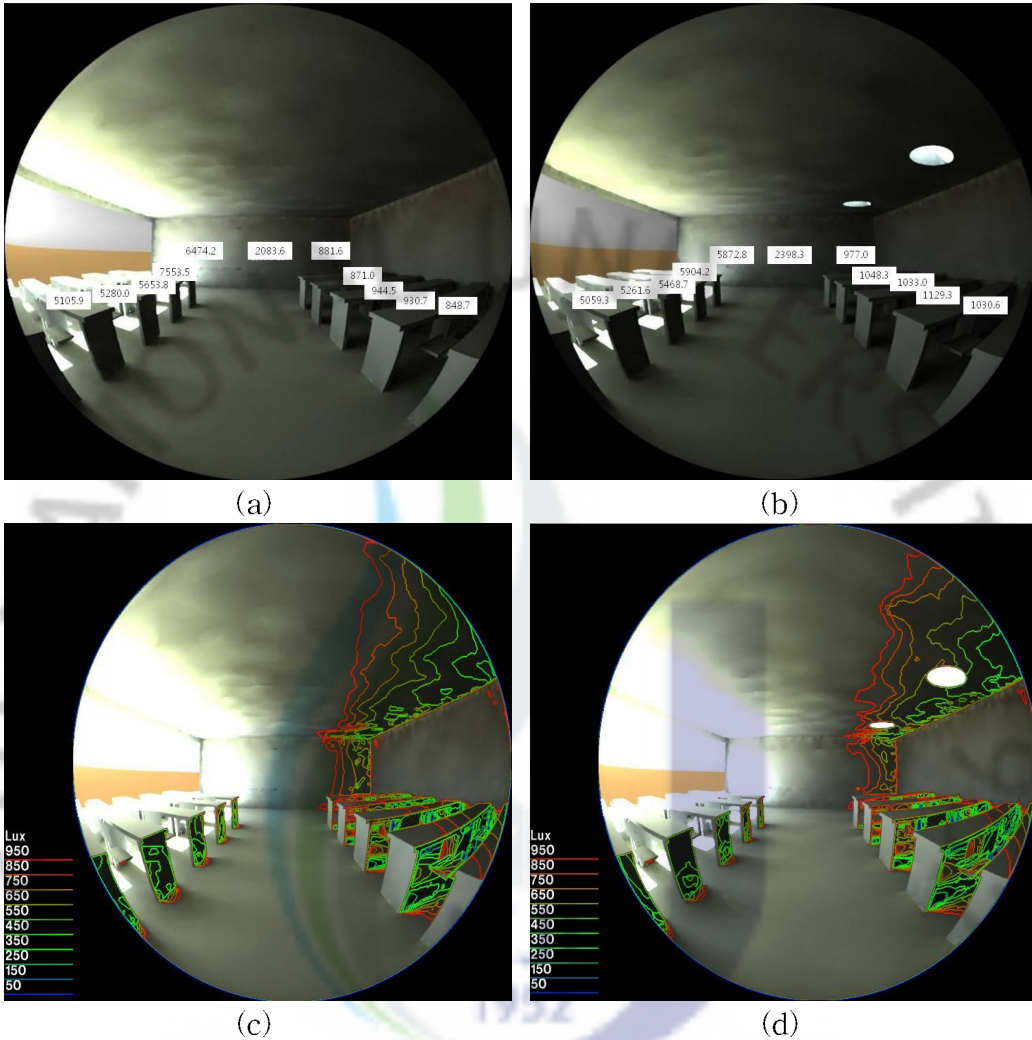


Fig. 19. Illuminance distribution of classroom on March 22;  
 [(a), (c)] without sun pipe system and [(b), (d)] with sun pipe system

춘분 때의 광 파이프가 미설치된 강의실인 경우 창문 반대쪽의 최소 조도값과 최대 조도값은 848.7Lux와 944.5Lux이며 광 파이프가 설치된 강의실인 경우 창문 반대쪽의 최소 조도값과 최대 조도값은 977.0Lux와 1,129.9Lux로 측정되었다. 창문 쪽의 조도값과는 많은 차이를 보이고 있으나 광 파이프 설치 시 좀 더 높은 조도값을 보이고 있다.

2) 하지(6월 22일) 12:00PM

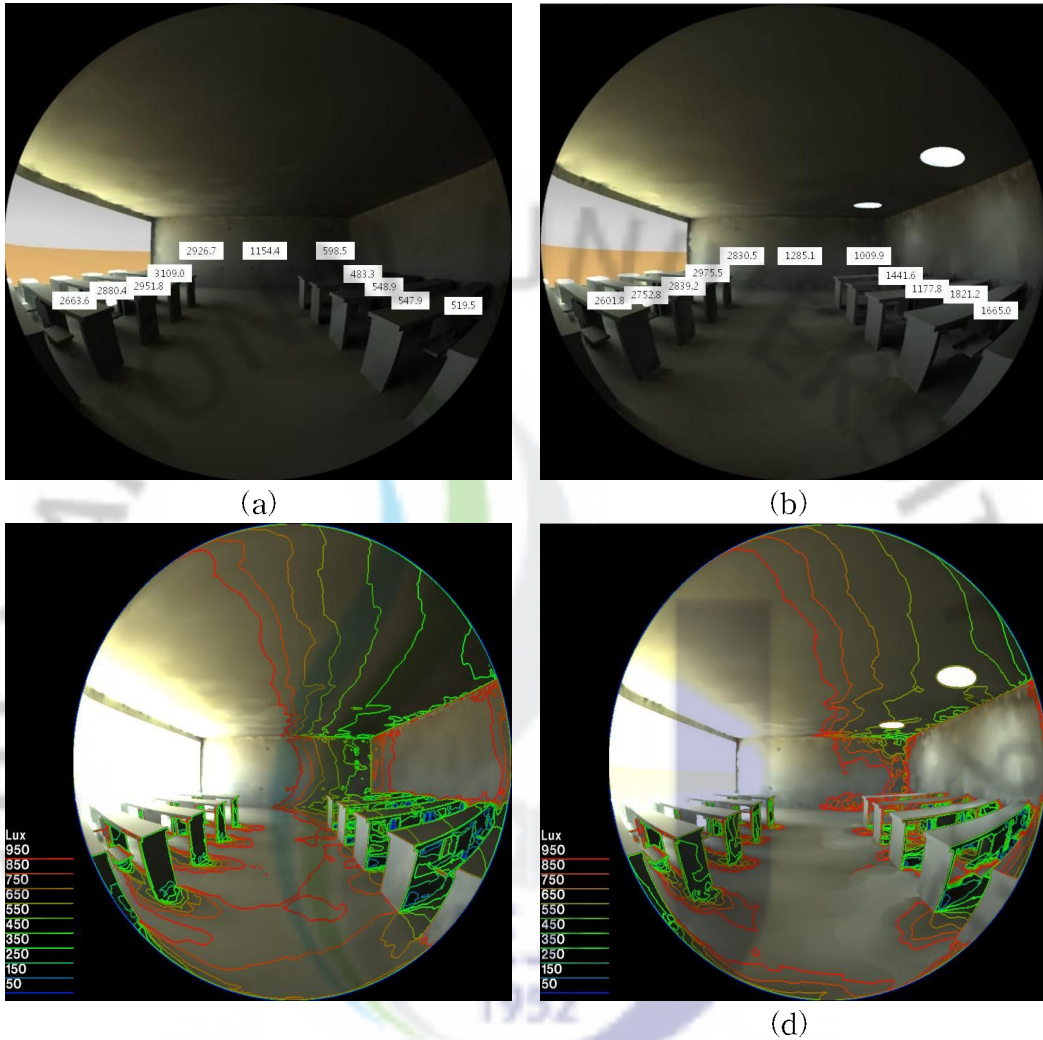


Fig. 20. Illuminance distribution of classroom on June 22;  
 [(a), (c)] without sun pipe system and [(b), (d)] with sun pipe system

하지 때의 광 파이프가 미설치된 강의실인 경우 창문 반대쪽의 최소 조도값과 최대 조도값은 483.3Lux와 598.5Lux이며 광 파이프가 설치된 강의실인 경우 창문 반대쪽의 최소 조도값과 최대 조도값은 1,009.9Lux와 1,821.2Lux로 측정되었다. 광 파이프의 유무에 따라 조도값을 측정할 계절 중 가장 많은 차이를 보였다. 이는 태양의 고도가 높아 창문으로 들어오는 빛은 감소하고 광 파이프로 유입되는 빛은 증가함에 따라 나타난 결과라 할 수 있다.



3) 추분(9월 22일) 12:00PM

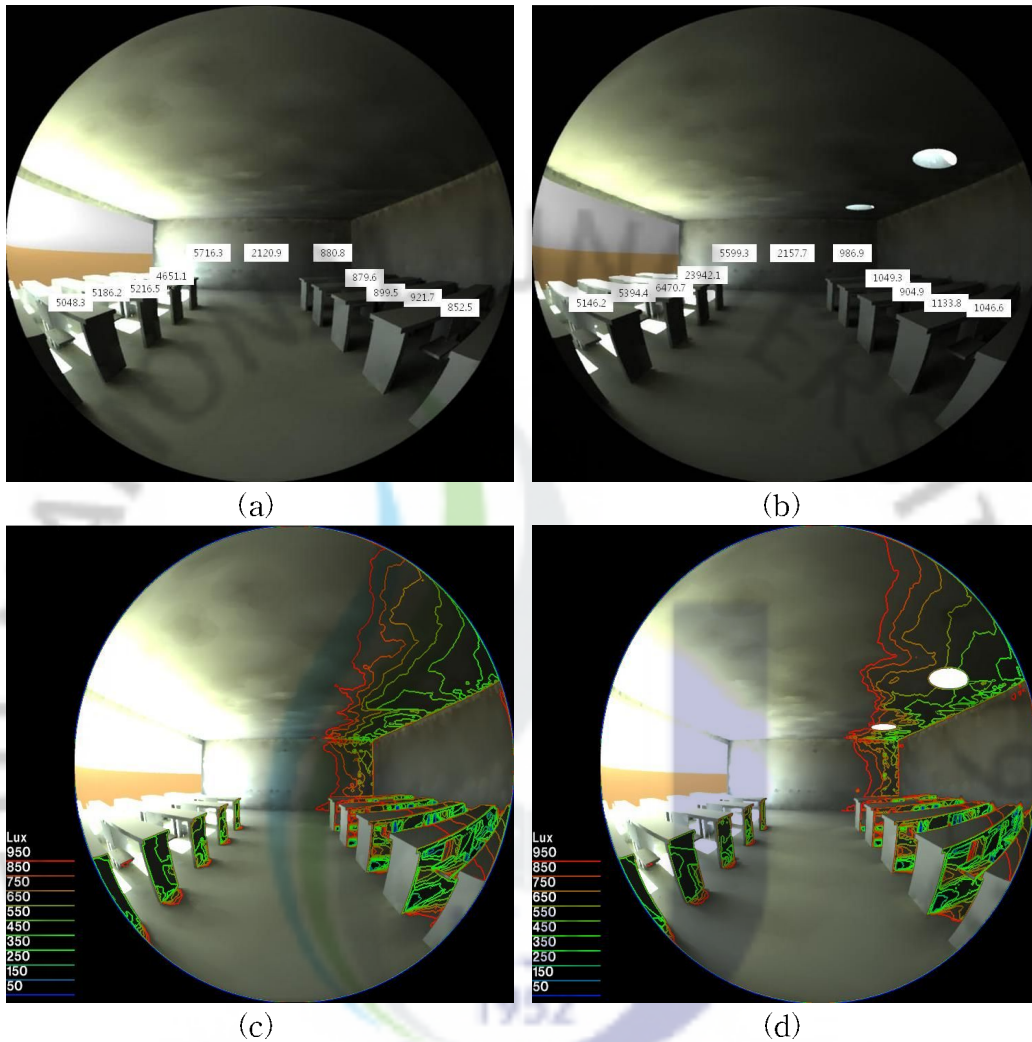


Fig. 21. Illuminance distribution of classroom on September;  
 [(a), (c)] without sun pipe system and [(b), (d)] with sun pipe system

추분 때의 광 파이프가 미설치된 강의실인 경우 창문 반대쪽의 최소 조도값과 최대 조도값은 852.5Lux와 921.7Lux이며 광 파이프가 설치된 강의실인 경우 창문 반대쪽의 최소 조도값과 최대 조도값은 904.9Lux와 1,133.8Lux로 측정되었다. 태양의 고도가 내려감에 따라 광 파이프의 유무에 관계없이 창문 쪽 고도 값과 많은 차이를 보이고 있으나, 광 파이프를 설치된 쪽이 조도값이 더 높은 값을 보이고 있다.

4) 동지(12월 22일) 12:00PM

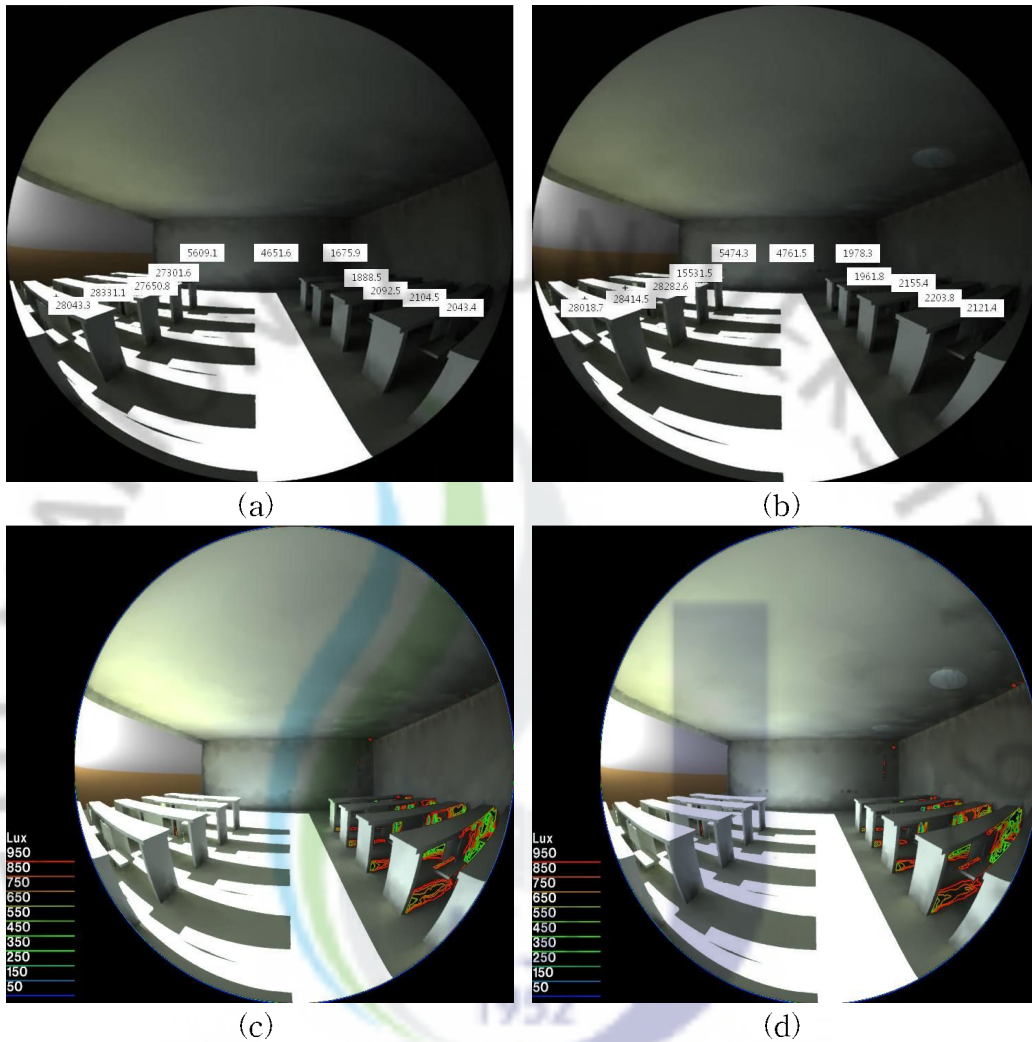


Fig. 22. Illuminance distribution of classroom on December 22;  
 [(a), (c)] without sun pipe system and [(b), (d)] with sun pipe system

동지 때의 광 파이프가 미설치된 강의실인 경우 창문 반대쪽의 최소 조도값과 최대 조도값은 1,675.9Lux와 2,092.5Lux이며 광 파이프가 설치된 강의실인 경우 창문 반대쪽의 최소 조도값과 최대 조도값은 1,961.8Lux와 2,203.8Lux로 측정되었다. 본 실험에서 측정한 계절 중 가장 높은 조도값을 보였다. 이는 동지 일때 태양의 고도가 가장 낮아 창문으로 입사하는 빛의 양이 많아지는 영향 때문인 것으로 사료된다.

### 3. 소결론

본 연구에서는 ECOTECT을 이용하여 무창공간과 실제 크기의 모델링을 제시하였으며, 광 파이프 시스템의 유무와 Diffuser의 유무, 춘분과 하지, 추분, 동지 때의 광 파이프의 유무에 따른 조도값의 분석을 위해 RADIANCE 프로그램을 이용하여 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

#### (i) 광 파이프 시스템의 유무

광 파이프를 설치했을 때보다 설치하지 않았을 경우의 조도값이 더 높게 측정되었다. 하지만 광 파이프 미설치 시에는 강의실로 입사되는 태양 빛이 태양 고도각도로 입사되므로 입사 방향에만 조도값이 집중됨을 알 수 있다. 하지만, 광 파이프 설치 시에는 광 파이프가 강의실 중앙에 강의실 바닥과 수직으로 설치되어 있어 강의실 중앙 부분의 조도값이 높게 측정되었다.

#### (ii) Diffuser의 유무

Diffuser는 광 파이프를 통해 입사되는 빛을 산란시켜 실내의 조도를 균일하게 분포하도록 하는 장치이다. Diffuser가 미설치 된 시스템인 경우 광 파이프를 통해 입사되는 빛은 강의실 중앙 부분에 높은 값이 밀집되는 반면 Diffuser가 설치 된 시스템인 경우 고르게 분포됨을 알 수 있다.

#### (iii) 광 파이프의 유무에 따른 계절 조도값의 비교

태양빛의 세기와 고도는 광 파이프의 집광 효율에 직접적인 영향을 주는 가장 중요한 요소이다. 광 파이프의 유무에 따른 계절 조도값을 측정한 결과 태양빛이 가장 강하고 태양 고도가 높은 하지의 12:00에 강의실 창문의 반대쪽에서의 최대 조도값과 최소 조도값의 크기가 가장 큰 차이를 보였다. 이는 태양의 고도가 가장 높아 창문으로 입사하는 빛의 양이 가장 적고, 광 파이프로 유입되는 빛의 양이 가장 많아 발생한 것으로 사료되며 창문쪽 조도값과 큰 차이를 보이지 않아 실생활에 충분히 적용 가능하다고 사료된다. 동지 12:00때의 조도값은 측정 계정 중 가장 높은 값을 보였으나, 이는 광 파이프 시스템의 효율 높아서라기보다는

태양 고도가 가장 낮아 창문쪽으로 유입되는 빛에 따른 영향인 것으로 사료된다.

본 논문에서 제시된 시뮬레이션 프로그램 방법은 친환경 건축 설계 및 자연 채광 시스템 기초 성능 평가 분석 분야에서 기본 인프라가 될 것이라 생각하며 특히, Diffuser의 구현이 불가능한 ECOTECT에서 RADIANCE를 통해 빛 산란을 시킴으로써 실제 광 파이프 시스템의 Diffuser 현상을 통한 자연채광 시스템 분석에 도움을 줄 것으로 기대된다.

또한, 광 파이프의 집광효율을 높이고 Diffuser의 투과율을 높인다면, 실내조명에서 인공조명이 차지하고 있는 전기 부하를 충분히 대체 할 수 있을 것으로 사료된다.



### Ⅲ. 흡착식 해수담수화 시스템의 개발

#### 1. 실험장치 구성

##### 1.1 해수담수화 설비의 구성

본 연구의 목적은 소형 해수담수화 시스템의 설계이다. 흡착제인 실리카겔을 이용하여 같은 효율 높은 담수화 설비를 제작하여 담수를 얻는 것이다. 본 연구에서 고안된 기초적인 해수담수화 장치는 Evaporator, Reactor, Condenser로 구성된다.

##### 1) Evaporator

Evaporator는 Chiller로부터 Tap-water을 공급받아 해수를 증기로 바꾸는 역할을 한다. 본 연구에서는 길이 325mm 직경이 105mm의 원통형으로 제작되었다. 또한 해수를 사용하므로 산화를 방지하기 위하여 재질은 스테인레스 스틸(Stainless steel)을 사용하였다. 위쪽으로 12.7mm와 9.5mm의 배관이 있으며, 아래쪽으로 12.7mm의 배관이 있다. 그리고 옆쪽으로 3개의 배관이 있는데 모두 12.7mm이며, 2개의 배관은 Tap-water가 흐르는 배관이고 남은 한 개의 배관은 효율적인 증발을 위하여 노즐로 연결된 배관이다. 위쪽 부분의 12.7mm 배관은 +자 피팅을 써서 압력과 온도를 측정하게 되어 있으며, Reactor와 연결하는 부분이다. 9.5mm의 배관은 Evaporator 내의 진공 유지를 위해 진공펌프와 연결되어 있다. 그림 23은 본 연구에서 사용된 Evaporator의 3D 디자인을 보여주고 있으며 그림 24는 설계를 바탕으로 제작된 Evaporator를 보여준다.



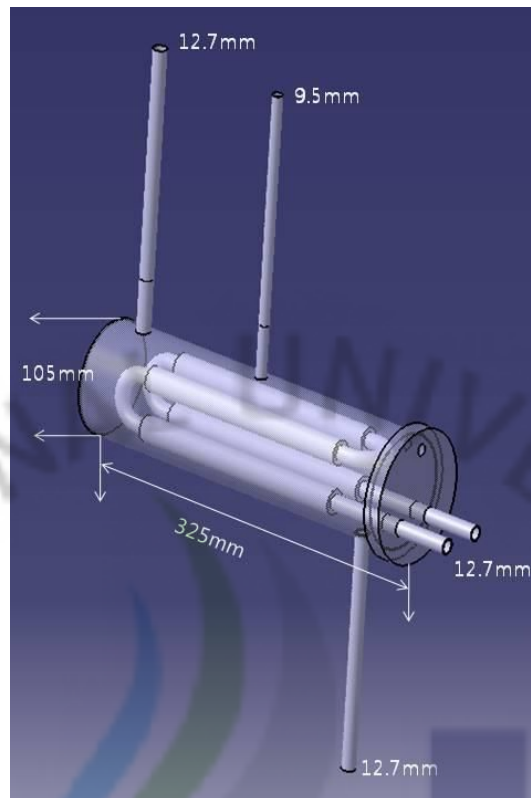


Fig. 23. Design of the evaporator



Fig. 24. Photograph of the evaporator used in present experiment



## 2) Reactor

Reactor는 Evaporator로부터 증기를 공급 받아 실리카 겔을 이용하여 증기를 흡착하고 흡착이 완료되면 Condenser로 방출하는 역할을 한다. Reactor도 크기는 Evaporator과 동일하며 원통형으로 제작되었다. 위쪽으로 12.7mm의 배관이 2개 있으며, 아래쪽으로 12.7mm의 배관이 1개 있다. 그리고 옆쪽으로 12.7mm의 배관이 2개 있는데 옆쪽의 배관은 Chiller(냉공조)와 연결되어 Tap water와 Hot water이 흐른다. 위쪽 첫번째 배관은 +형 피팅을 이용하여 Evaporator, Condenser와 배관으로 연결되어 있으며, 온도를 측정하게 된다. 두 번째 배관은 진공펌프와 연결되어 시스템 내부의 진공을 유지시켜주며 진공계이지와도 연결되어 있다. 그림 25는 Reactor의 3D 디자인을 보여주고 있으며, 그림 26은 3D 디자인을 토대로 제작한 Reactor 이다.

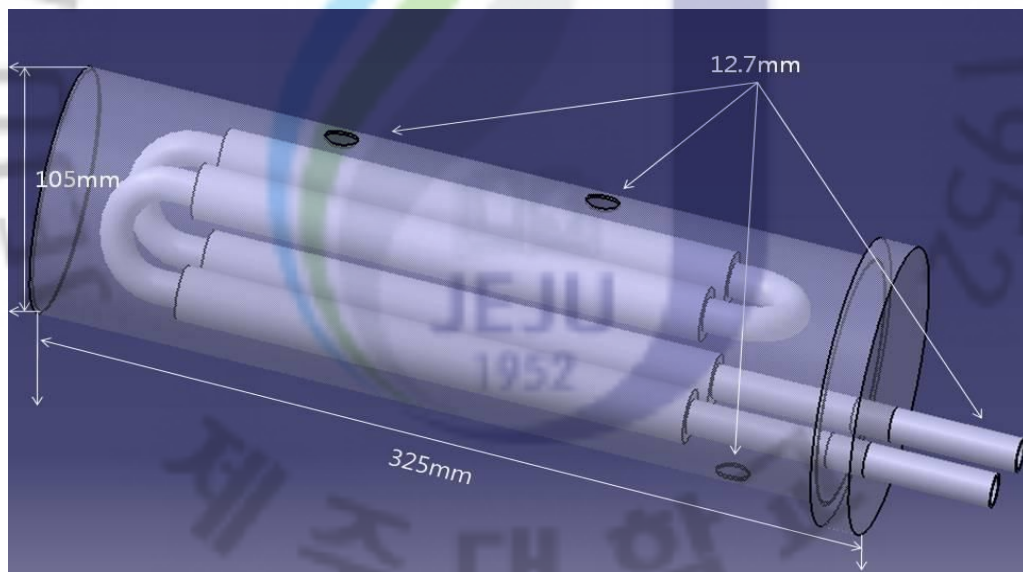


Fig. 25. Design of the reactor

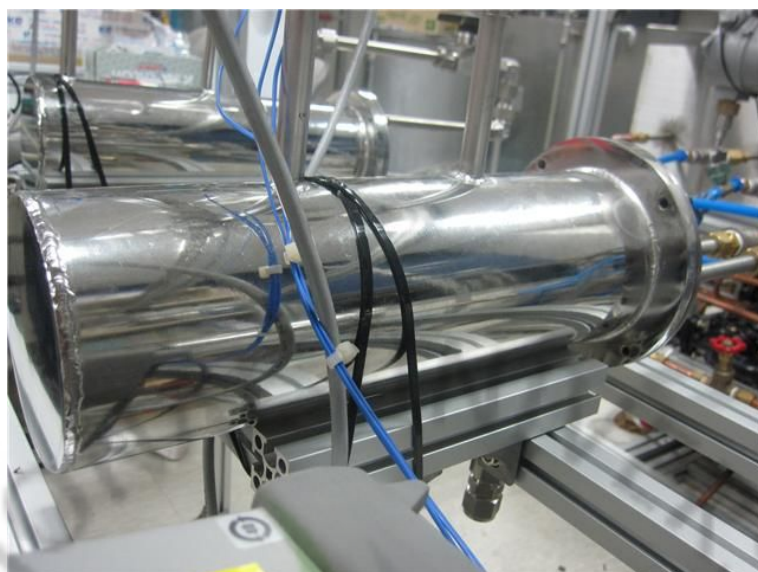


Fig. 26. Photograph of the reactor used in present experiment



### 3) Condenser

Condenser는 Reactor에서 탈착된 증기를 응축시키는 역할을 한다. 크기와 모양은 Evaporator, Reactor과 동일하며 위 아래로 12.7mm의 배관이 연결되어 있고 옆쪽으로는 Chiller와 연결되는 배관이 2개 있다. 위쪽 배관으로 +형 피팅을 연결하여 Reactor에서 방출된 증기가 유입되며 온도와 진공게이지가 연결되어 있다. 그림 27은 Condenser의 3D 디자인을 보여주고 있으며, 그림 28은 실제 제작된 Condenser 이다. 또한 그림 29는 본 실험에 사용된 해수담수화 시스템을 보여준다.

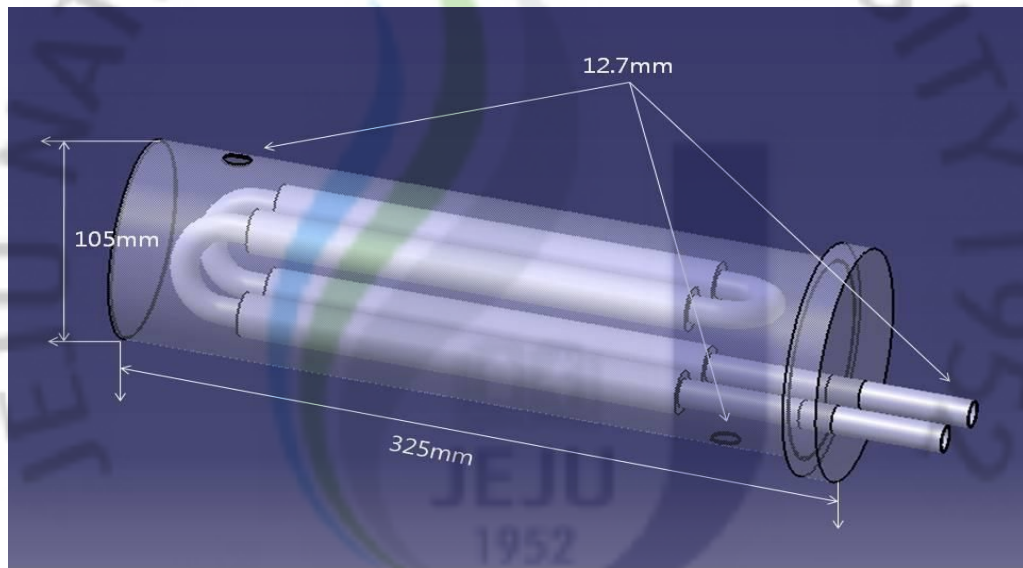


Fig. 27. Design of the condenser



Fig. 28. Photograph of the condenser used in present experiment

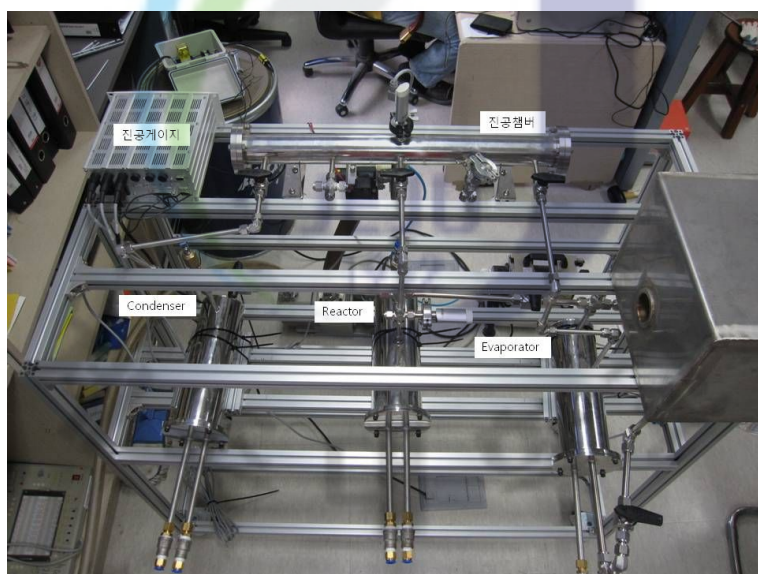


Fig. 29. Photograph of the absorption desalination system used in present experiment

## 1.2 Chiller(냉공조 시스템)의 구성

본 연구에서 Chiller 시스템은 실리카 겔의 효율적인 흡착과 발열을 위해 hot-water와 cool-water 동시에 생산할 수 있도록 증기압축식 냉동기로 설계되었다. 냉매는 증발기에서 저열원으로부터 열을 흡수하여 압축기를 거쳐 응축기에서 고열원으로 열을 버린 후 팽창밸브를 거쳐 다시 증발기로 되돌아가는 순환과정을 되풀이 한다. 또한, 발열기를 통하여 열교환기로 들어가는 물을 40℃ ~ 80℃ 유지시킨다.[홍성훈, 1993.] chiller 시스템은 차후에 태양열과 폐열로 대체 될 것이다.

냉공조 시스템의 설계 및 제작에서는 해수담수화 시스템에서 필요한 열원을 파악하여 분석 및 수행함으로써 냉공조 시스템의 개발 방향을 확립하였다. 해수담수화와 효과적인 연계관계를 위하여 필수 요소들을 설계 및 제작 하였고, 누수 등의 문제점을 해결하기 위하여 예비 실험을 수행하였다. 그림 30은 냉공조 시스템의 계통도이며 그림 31은 실제 제작된 냉공조 시스템을 보여준다.

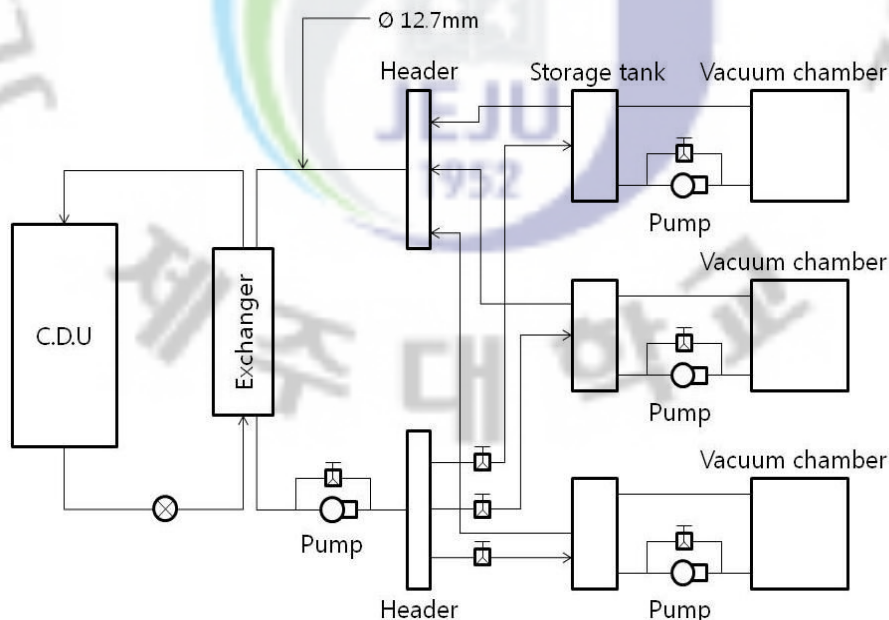
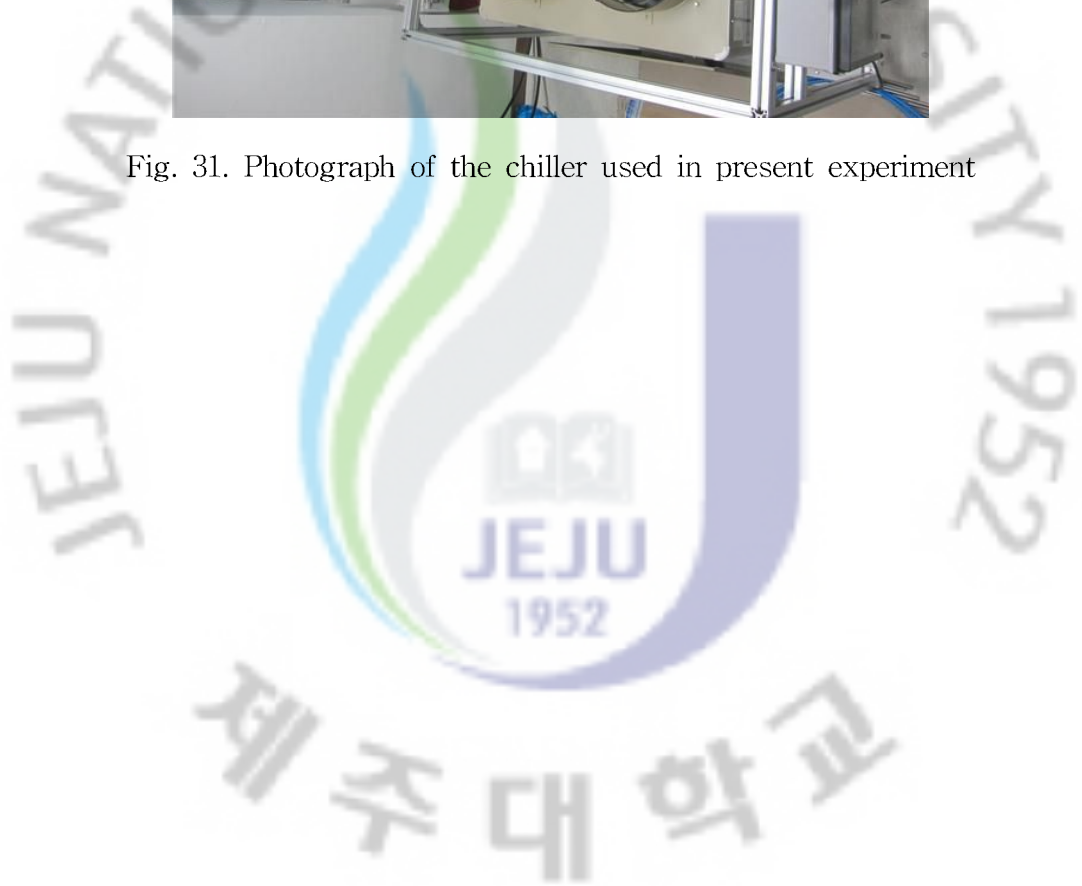


Fig. 30. Layout of the chiller





Fig. 31. Photograph of the chiller used in present experiment





### 1.3 계측 장비 구성

#### 1) 진공게이지 및 컨트롤러

솔레노이드 밸브는 추가적인 컨트롤러 장치와 RS-232 케이블로 연결되어 미리 설정한 Set-point 에 의하여 자동으로 작동되며, 이는 진공 챔버 내의 진공도를 원하는 수준으로 지속적으로 유지시킬 수 있도록 제어 된다.

컨트롤러 장치는 ALCATEL 사의 ACM 1000-Multi channel Controller로 6개의 Sensor connection을 가지고 있다. 또한, 진공챔버와 담수화 시스템 내부의 압력측정을 위하여 ALCATEL 사의 APT 1004 게이지를 사용하였다. 이 모델은 Pirani gauge로써, 저압과 진공영역을 측정하는데 있어 널리 쓰이는 압력게이지이다. 그림 32는 ACM 1000-Multi channel Controller와 APT1004 게이지의 모습이다.



Fig. 32. ACM1000-multi channel Controller and APT1004 Pirani vacuum gauge.

Pirani gauge의 원리는 기체의 열전도율이 저압하에서는 거의 진공도(잔류기체의 압력)에 비례한다는 것을 이용하며 구조적으로는 필라멘트를 가진 관구의 한쪽 끝을 진공장치에 연결을 할 수 있도록 되어 있다. 이 필라멘트에 전류를 흘려서 전기 저항을 측정함으로써 온도를 통해 필라멘트에서 상실된 열을 알고, 그 측정값을 통해 간접적으로 진공장치 안의 진공도를 측정한다.

#### 2) 데이터 수집장치

본 연구에서 담수화 시스템내의 진공도와 온도 데이터는 매우 중요한 요소이다. 따라서 진공도와 온도 변화 모니터링은 필수적이며 실시간으로 데이터를 수집하고 저장 할 수 있어야 한다.

데이터 모니터링과 수집을 위하여 사용된 데이터 수집 장치들은 AGILENT사의 34970A 계측기와 National Instrument사의 Data Acquisition Board 이고, LabVIEW를 이용하여 어플리케이션을 작성하여 실시간으로 진공도와 온도 변화를 모니터링 하며 데이터를 수집하였다. 그림 33은 렘뷰를 활용한 진공데이터 수집의 모니터링을 보여주며, 그림 34는 34970A를 사용한 압력데이터 수집 모니터링을 보여준다.

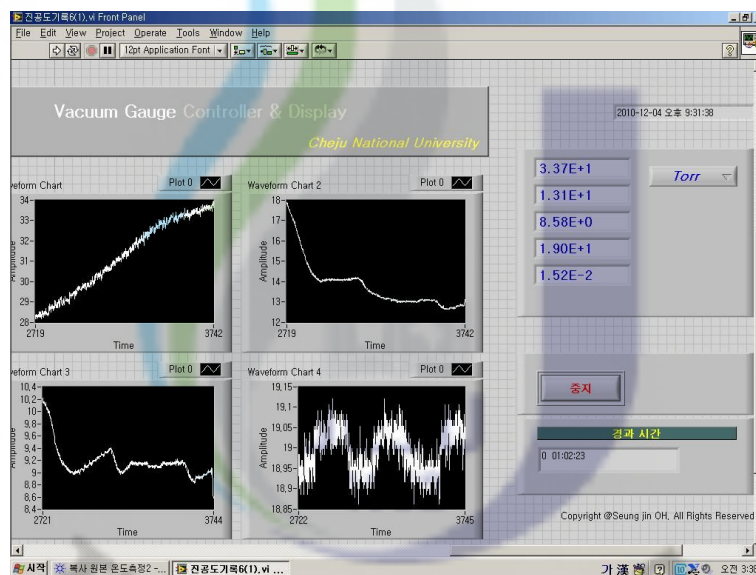


Fig. 33. A front panel display of LabVIEW application for monitoring and collecting vacuum data.

구형: 34970A : 스펙 모드: ...  
 상태: 복사 읽기 온도측정: | 1개 연결됨 | 비활성 | Experience BenchLink Data Logger

34970	설정	시작	종료	종지	설정	데이터 제어	시작/종지	스펙	결과 시간
1, ASPL2:INST R	...	즉시	00:00:10.00	사용자	...	데이터 계속기 <주소> <날짜> <시간>	수동	스펙하지 않음	스펙하지 않음

마지막 스펙 결과						
34970A	채널	측정	데이터	경보	최소	최대
1	<I,ASPL2:INST R>	101	온도(타입 K)			
2	<I,ASPL2:INST R>	102	온도(타입 K)			
3	<I,ASPL2:INST R>	103	온도(타입 K)			
4	<I,ASPL2:INST R>	104	온도(타입 K)			
5	<I,ASPL2:INST R>	105	온도(타입 K)			

Fig. 34. An example of monitoring display of date logger (34970A) for temperature measurement



### 3) 염분농도 측정장치

해수와 담수의 염분을 측정하기 위한 염분농도 측정장치는 YSI 63 제품을 사용하였다. 단일 프로브로 pH, 전도도, Salinity, 온도 측정이 가능하며, 100ft까지 측정가능한 견고한 시스템을 갖추고 있다. 50개까지 데이터 저장이 가능하다.

YSI 63의 염도 측정범위는 0 ~ 80 PPT 이며, 정밀도는  $\pm 0.2\%$  ~  $\pm 0.1$  PPT 이다. 그림 35는 YSI 63을 보여준다.



Fig. 35. The measurement of salt concentration(YSI 63)

## 2. 실험방법

### 2.1 기본원리

흡착식 소형 담수화 시스템의 작동원리는 Vacuum pump에서 Sea-water storage tank와 Fresh-water storage를 제외한 장치에 압력을 1.5Torr로 유지시킨다. 상압의 Sea-water storage tank에서 Evaporator로 valve가 열리면서 0.3ℓ의 Sea-water가 노즐 형태로 Evaporator로 유입된다. 노즐 형태로 분사될 경우 좀더 효율적으로 증기를 생산할 수 있으므로 노즐 형태로 분사한다. 유입되면 Evaporator는 Tap-water를 이용하여 Sea-water를 증발시켜 염분을 제거한다. 변환된 증기는 Reactor로 전달되며 Reactor는 Evaporator에서 전달받은 증기를 흡착 및 Condenser로 탈착, 이때 흡착을 용이하게 하기위해 cooling-water가 Reactor의 U-type 튜브를 통해 유입되고 탈착을 용이하게 하기위해 hot-water가 U-type 튜브 내부로 유입된다. Condenser는 Reactor에서 전달받은 증기를 tap-water를 이용하여 응축 시키며 응축된 담수를 Fresh-water storage에 저장하게 된다. 그림 36은 해수담수화 시스템의 계통도를 보여준다.

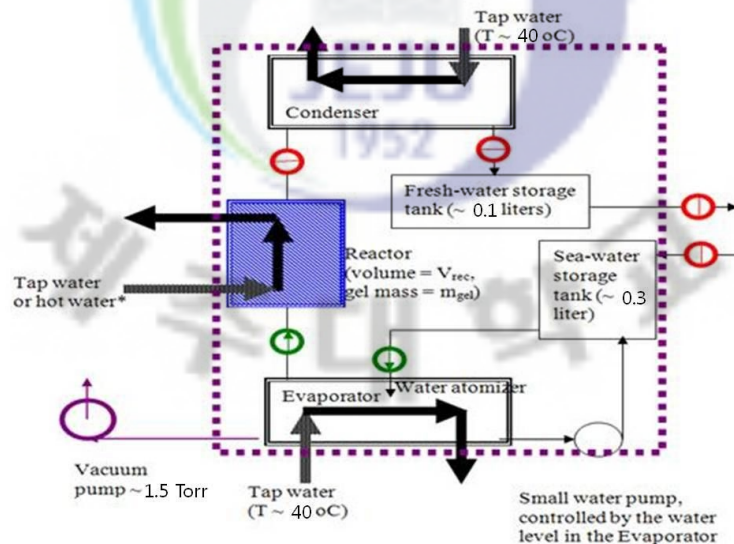


Fig. 36. A Schematic diagram of the central unit

## 2.2 예비실험

실리카겔(Silica gel) 타입별 테스트에 앞서 담수화 시스템의 동일한 조건(온도, 압력, 시간)을 갖추고 최적의 상태를 알아보고자 예비 실험을 수행하였다.

### 1) 온도 변화에 따른 성능 테스트

흡착식 담수화 시스템에서 각 구성의 온도 변화는 효율과 밀접한 관계를 갖는다. 이에 따라 각 구성별 최적의 온도 상태를 알아보고자 아래와 같은 실험을 실시하였다.

Table. 6. Experimental conditions and temperatures

Component	Silica gel(kg)	Sea-water (ml)	Pressure (Torr)	Time (min.)	Temperature (°C)	Note
Evaporator	1	300	1.5	30	30, 40, 45	
Reactor (Tap Water)					10, 30	
Reactor (Hot Water)					70, 80	

Evaporator에 유입되는 Sea water의 양을 0.3ℓ로 하였으며, 이 때 탈염을 위해 Evaporator로 유입되는 유입수의 온도는 30°C~40°C, Evaporator의 압력은 1.5Torr로 설정하였다.

Evaporator에서의 반응시간은 최초 10분간 Valve를 닫고 증발시간을 가진 후 Evaporator와 Reactor 사이의 Valve를 열고 20분간 탈염 및 흡착 과정을 진행하였다.

탈염반응이 이루어지는 동안에 압력이 1.5Torr로 설정된 Reactor내의 U-type tube에는 10°C의 cooling-water가 흐른다. 이 cooling-water로 하여금 Silica-gel



이 내장된 Reactor의 온도를 낮춰 탈염되어 이동 되어온 증기를 냉각하여 Silica-gel이 흡착 할 수 있도록 하였다.

탈염과정과 흡착과정이 끝나면, Reactor내의 U-type tube에 70℃~80℃의 hot-water를 유입시켜 Silica-gel에 흡착된 담수를 증발시키는 과정을 거친다. 이때, 반응시간은 10분의 증발시간을 가진 후 Reactor와 Condenser사이의 Valve를 열고 증발 및 응축시간을 갖는다.

Condenser에서의 증발 및 응축시간은 30분으로 책정하였고, 여기서의 Condenser는 1.5Torr의 압력을 Setting하고 10℃의 cooling-water를 유입시킨다.

## 2) 시간 변화에 따른 성능 테스트

흡착식 담수화 시스템에서 증발시간은 증기의 생산량과 밀접한 관계가 있으며 따라서 효율과도 밀접한 관계를 갖는다. 이에 따라 각 구성별 최적의 시간 상태를 알아보고자 성능 테스트를 실시하였다.

Table. 7. Experimental conditions and evaporation time

Component	Silica gel(kg)	Sea-water (ml)	Pressure (Torr)	Time (min.)	Temperature (℃)	Note
Evaporator	1	300	1.5	10, 20, 30	40	
Reactor (Tap Water)					10	
Reactor (Hot Water)					80	
Condenser				10	10	

실험과정은 온도변화에 따른 담수생산량 과정과 동일하며 압력과 온도를 일정하게 유지시킨 후 시간에 따른 담수생산량을 측정하였다.

## 2.3 예비실험 결과

본 연구의 온도에 따른 실험 결과를 다음에 나타내었다. 그림 37은 Evaporator의 온도변화에 따른 담수 생산량을 나타낸 것으로 Reactor의 cooling-water의 온도는 10℃, hot-water의 온도는 80℃로 하였다. Evaporator에서의 증발 온도를 30℃, 40℃, 45℃로 각각 측정을 하였고, 각각의 경우에 생산되는 담수의 양은 각각 약 60ml와 95ml이다. 45℃의 경우는 Evaporator와 Reactor의 압력이 역전되는 현상이 나타나 높은 증발 온도에도 불구하고 담수의 양은 약 80ml정도 생산되었다.

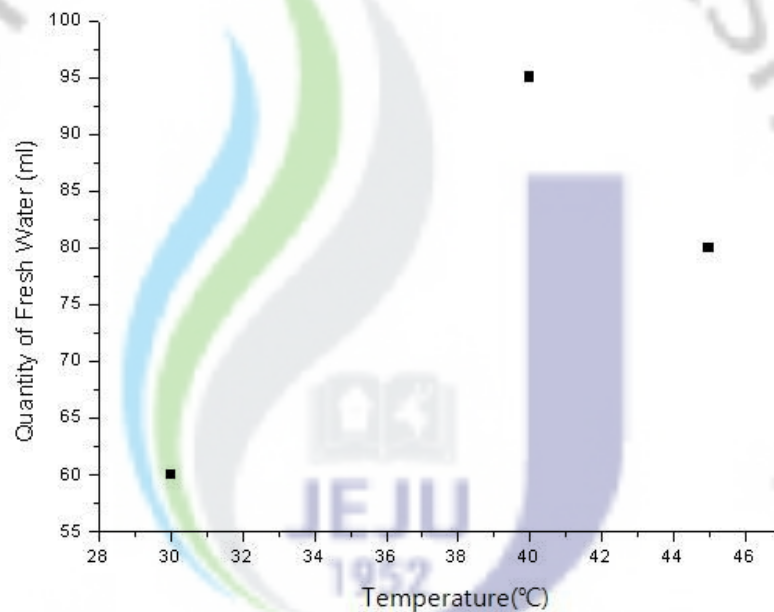


Fig. 37. Fresh water yield at different temperatures in the evaporator

그림 38과 39는 Reactor 내의 cooling-water와 hot-water의 온도변화에 따른 담수량을 나타낸 것으로 cooling-water의 경우 30℃에서 45ml의 담수 생산량 보다 낮은 온도인 10℃에서 60ml로 더 많은 담수 생산량을 보여준다. hot-water의 경우는 반대로 70℃에서보다 높은 온도인 80℃에서 약 25ml의 담수 생산량이 증가한다.

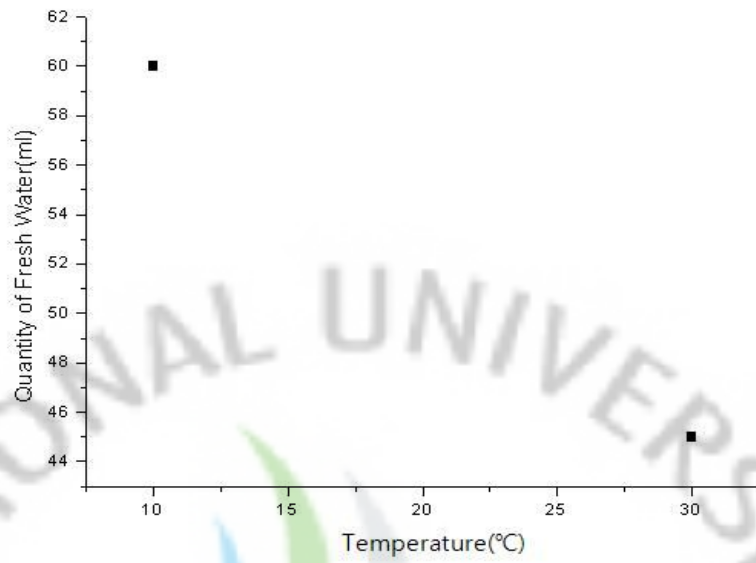


Fig. 38. Fresh water yield at different temperatures in the reactor(cooling-water)

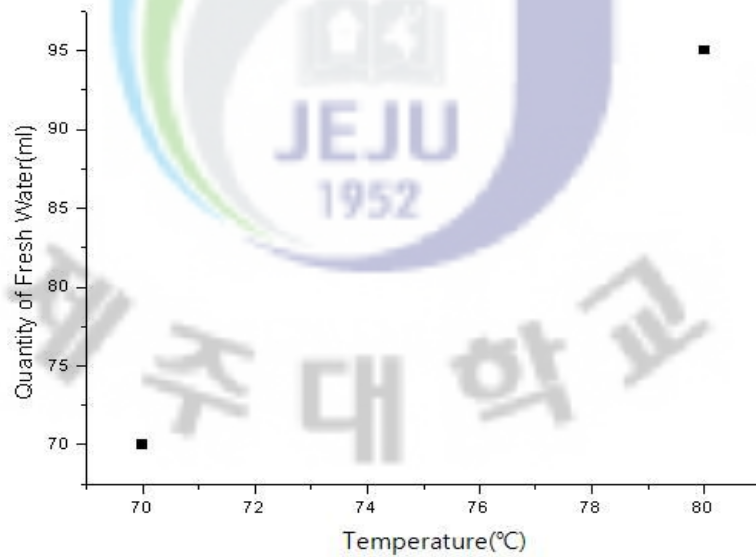


Fig. 39. Fresh water yield at different temperatures in the reactor(hot-water)

온도변화에 따른 담수생산량 테스트에서 각 구성별 최적의 온도는 Evaporator 40℃, Reactor(cool-water) 10℃, Reactor(hot-water) 80℃ 측정되었다.

그림 40은 Evaporator에서의 시간변화에 따른 담수 생산량을 보여준다. Evaporator의 가동시간이 30분일 때 담수 생산량이 70ml로 가장 높게 측정되었다.



Fig. 40. Fresh water yield and operation time of the evaporator

Fig. 41. Fresh water yield and operation time of the reactor

Reactor의 시간변화에 따른 담수량은 그림 41에서 보여주고 있으며, 실험 시간이 30분일 때 가장 높은 60ml의 담수량을 가진다.

실리카겔(Silica gel)의 타입별 효율을 측정하기 위하여 위의 예비실험 결과로 Table 8과 같은 최종 실험 조건을 갖추었다.

Table. 8. A summary of experimental conditions

Pressure of the system(torr)	1.5
Mass of silica gel per bed(evaporator)(g)	1000
Cycle time(min)	30
Switching time(s)	180
Tap water inlet(desorber)(°C)	40
Cooling water inlet(adsorber)(°C)	10
Hot water inlet(desorber)(°C)	80
Cooling water inlet(condenser)(°C)	10
Sea water inlet(ml)	300
Sea water concentration(PPT)	55

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실리카겔(Silica gel)의 타입별 효율

실리카겔(Silica gel)의 효율을 측정하기 위하여 예비실험 결과 분석을 토대로 실험을 수행하였으며, 해수와 담수의 농도는 염분농도 측정기를 이용하여 측정하였고, 담수량은 눈금 실린더를 이용하여 측정하였다.

담수화 내부의 온도변화와 압력변화는 데이터 모니터링을 통하여 측정하였다.

##### 1) A-type 실리카겔(Silica gel)

A-type 실리카겔(Silica gel)을 Reactor의 열교환기에 투입하고 농도 55PPT의 해수를 투입시켜 온도변화와 압력변화를 측정하였고, 담수된 물의 양을 측정하였다. 그림 42는 시스템 내부의 온도변화를 나타내며 그림 43은 압력변화를 나타낸다.

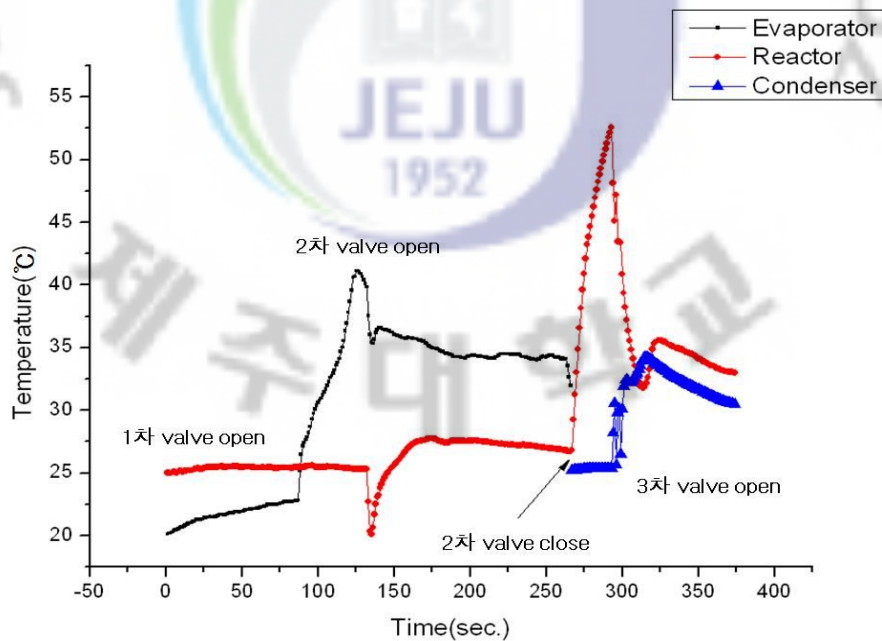


Fig. 42. Temperature variation of A-type silica gel



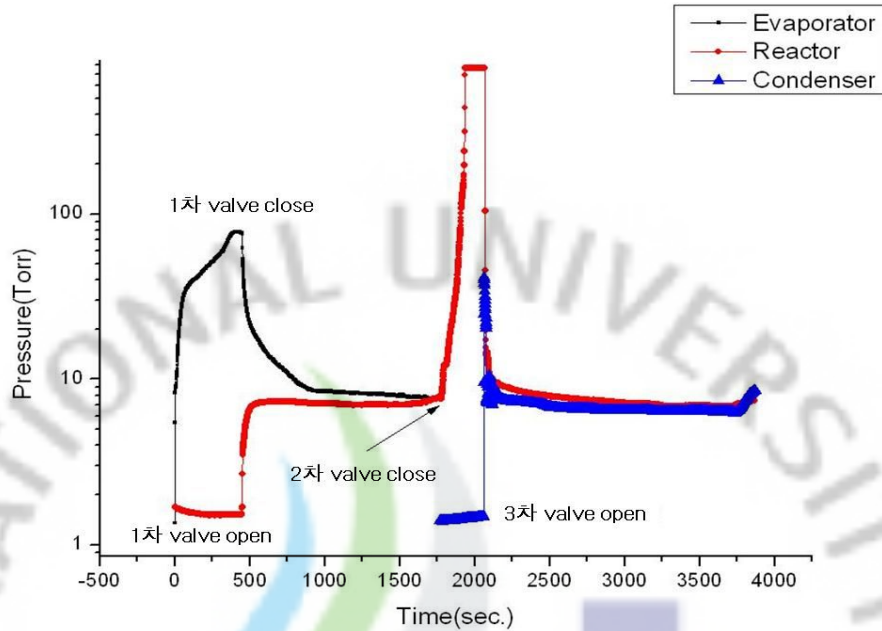


Fig. 43. Pressure variation of A-type silica gel

그림 42와 43에서 알 수 있듯이 해수 투입 시 온도는 서서히 떨어지는 반면 압력은 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. 1차 valve를 열게 되면 압력의 차로 인해 Evaporator의 증기가 Reactor로 이동되며 실리카겔(Silica gel)이 증기를 흡착하므로 Evaporator의 압력이 Reactor의 압력보다 높아 증기가 계속 Reactor로 이동하는 것을 추측할 수 있다. 1차 valve를 닫고 Reactor에서 cooling-water를 hot-water로 바뀌게 되면 실리카겔(Silica gel)이 흡수하고 있던 증기를 방출하게 되며 이때, 온도와 증기는 급속도로 증가하게 된다. 20분이 시간이 경과 뒤 2차 valve를 열게 되면 압력의 차로 인해 Reactor에서 Condenser로 증기가 유입되며 온도와 압력은 급하강 하다가 서서히 Condenser의 온도와 압력에 가까워지는걸 확인할 수 있다.

본 실험에서의 담수의 생산량은 75ml 이며 Evaporator에서 회수된 해수량은 70ml이다. 담수의 농도는 0.2PPT로 측정되었으며, 회수된 해수의 농도는 염분농도 측정기의 측정범위를 초과하였다.

## 2) Blue-type 실리카겔(Silica gel)

Reactor의 내부에 Blue-type 실리카겔을 교환 후 농도 55PPT의 해수를 투입시켜 온도와 압력변화 그리고 담수생산량을 측정하였다. 그림 44와 45는 Blue-type 실리카겔의 온도변화와 압력변화를 보여준다.

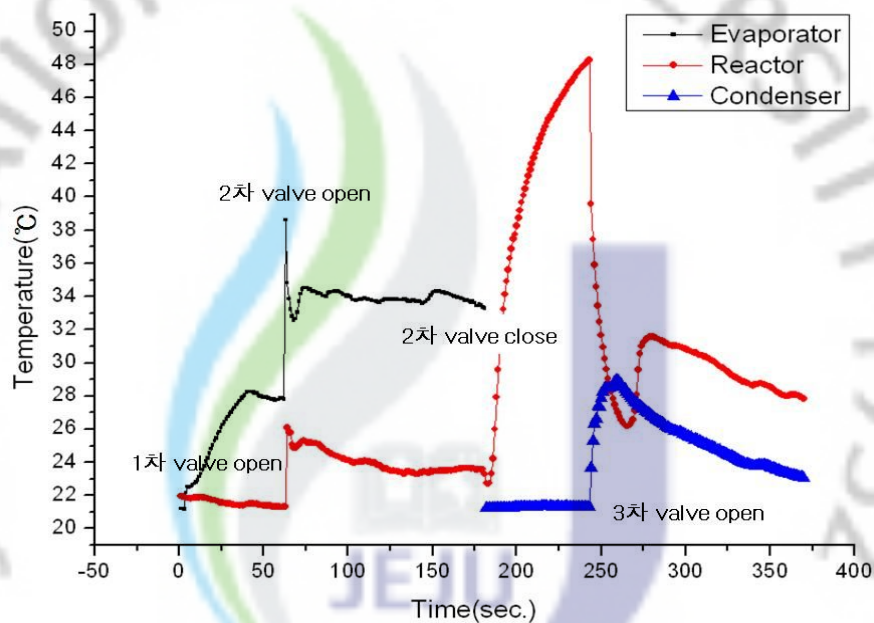


Fig. 44. Temperature variation of Blue-type silica gel

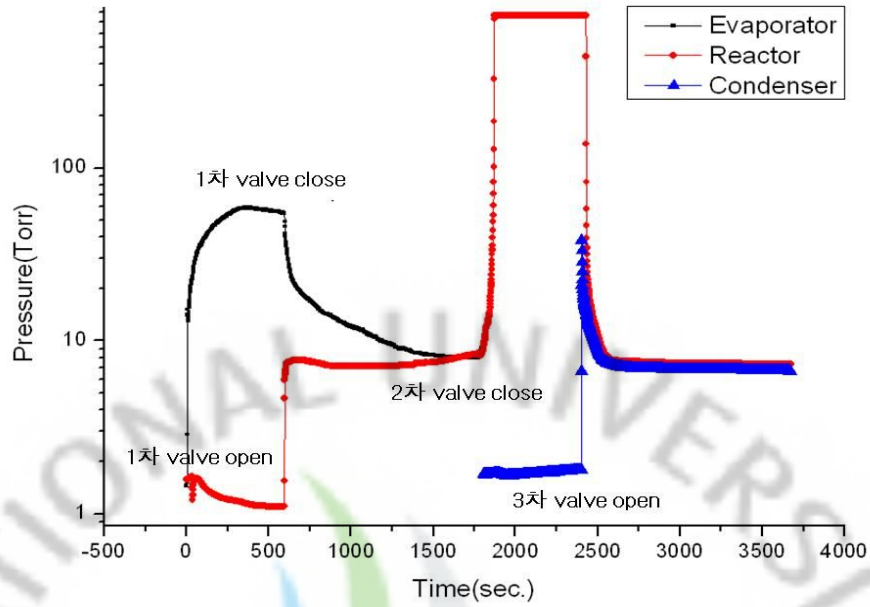


Fig. 45. Pressure variation of Blue-type silica gel

blue-type 실리카겔(Silica gel)은 A-type 실리카겔(Silica gel)과 거의 일치하는 온도와 압력분포를 보였다.

본 실험에서의 담수의 생산량은 65ml 이며 Evaporator에서 회수된 해수량은 65ml이다. 담수의 농도는 0.3PPT로 측정되었으며, 회수된 해수의 농도는 염분농도 측정기의 측정범위를 초과하였다.

### 3) Mycom-type 실리카겔

Reactor의 내부에 Mycom-type의 실리카겔(Silica gel)을 투입하여 농도 55PPT의 해수를 투입하여 온도와 압력변화 그리고 담수생산량을 측정하였다.

그림 46과 47은 Mycom-type 실리카겔의 온도와 압력변화를 보여준다.

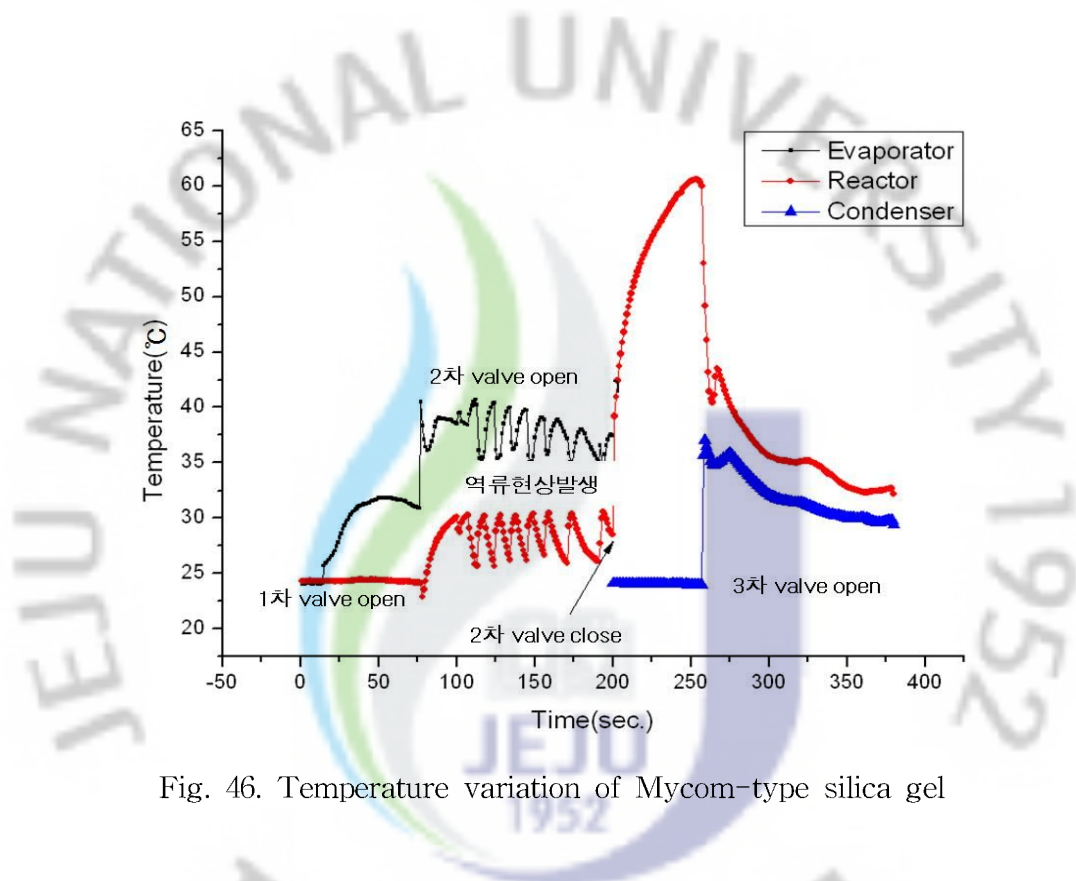


Fig. 46. Temperature variation of Mycom-type silica gel

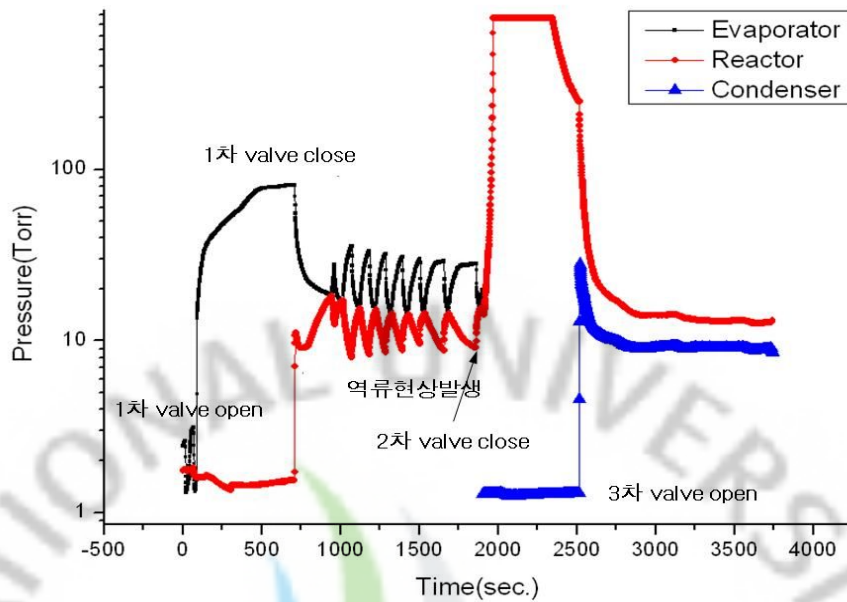


Fig. 47. Pressure variation of Mycom-type silica gel

Mycom-type 실리카겔 역시 위 두 type과 같은 양상의 온도와 압력 변화를 보이지만, 1차 valve를 열고 약 4분 뒤 Evaporator의 압력이 Reactor의 압력보다 떨어지는 역류현상이 발생한다. 이는 Evaporator에서 발생하는 증기량 보다 Reactor에서 흡수하는 증기량이 더 많아 역류현상이 발생하는 것으로 보인다. 역류현상이 발생이 되면 1차 valve를 잠시 닫았다가 약 20Torr의 압력차가 생기면 다시 열어 증기를 이동시켰다. 그 후의 온도와 압력변화는 위 실험과 거의 동일한 값을 가졌다.

본 실험에서의 담수의 생산량은 역류현상의 발생으로 위 두 실험보다 적은 55ml이며 Evaporator에서 회수된 해수량은 역시 역류현상의 발생으로 위 두 실험보다 많은 145ml이다. 담수의 농도는 0.1PPT로 측정되었으며, 회수된 해수의 농도는 염분농도 측정기의 측정범위를 초과하였다.

#### 4) 실리카겔(Silica gel)별 비교 분석

본 실험에서는 3가지 타입의 실리카겔(Silica gel)을 같은 조건하에서 실험을 실시하였다. 각 타입별로 담수의 생산량은 아래와 같다.

Fig. 48. Fresh water yield with different types of silica gel

실리카겔(Silica gel)의 담수량을 확인해 본 결과 A-type 실리카겔이 약 75ml의 담수량으로 가장 많이 측정되었다. Mycom-type 실리카겔은 실험 시 역류현상 발생으로 담수량이 55ml로 가장 적게 측정되었다.

3가지 실리카겔(Silica gel)의 type별 생산 효율은 18%~25%로 측정되었으며 그 중 A-type 실리카겔이 가장 높게 측정되었다. 그림 49는 각 type별 효율을 보여주고 있다.





Fig. 49. Production efficiency with different types of silica gel

#### 4. 소결론

본 연구에서는 흡착식 해수담수화 시스템을 위한 주요구성 요소를 설계 및 제작하였으며, 그에 따른 기초 성능 평가인 실리카겔의 타입별 효율을 측정하였다.

열 전달율이 높고 구입이 용이하며 산화를 방지할 수 있는 스테인레스 스틸을 이용하여 주요구성 요소의 설계를 제안 하였고, 시스템 내부의 진공도와 온도 변화를 관찰하였다. 또한, 온도와 시간변화에 따른 담수량 비교로 최적의 조건을 제시하였으며, 이를 바탕으로 실리카겔의 타입별 비교 실험을 통하여 성능을 분석하였다.

흡착식 담수화 시스템은 특성상 증발식 담수화 시스템과는 다른 증기를 흡착 및 탈착할 수 있는 Reactor를 장착 하여야 한다. 또한, 실리카겔이 증기를 흡착 및 탈착에 용이하도록 적정의 온도를 투입하여야 한다. 이에 따라 온도와 압력 그리고 시간의 분포는 매우 중요하다.

온도와 시간변화에 따른 담수생산량 비교에서의 각 구성별 최적의 온도는 Evaporator 40℃, Reactor(cooling-water) 10℃, Reactor(hot-water) 80℃, Condenser 10℃로 측정되었으며, 시간변화에 최적의 조건은 Evaporator 30분, Reactor 30분, Condenser 30분으로 책정 되었다. 위의 조건을 바탕으로 실리카겔 타입별 효율 측정을 수행한 결과 A-type 실리카겔이 가장 높은 75ml로 25%의 담수 생산 효율을 보였으며, Mycom-type 실리카겔의 경우 역류현상 발생으로 담수량이 55ml로 가장 적게 측정되었다.

흡착식 담수화 시스템 개발에 있어서 가장 중요한 요소는 최적의 설계와 최대 효율의 실리카겔 사용으로 최대한의 담수생산과 대체 에너지 사용으로 인한 생산 비용 절감이다. 현재 진행 중인 흡착식 담수화 시스템의 최적화 설계를 통하여 실리카겔의 탈착률을 보다 높인다면 높은 효율을 기대할 수 있을 것으로 사료되며 본 연구에서 cooling-water와 hot-water를 투입하였던 Chiller를 현재 연구 중인 태양광발전 및 폐열로 대체 시킨다면 생산비용 절감도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 태양에너지의 저온활용 효율성의 재고를 위한 자연채광 시스템 중 광 파이프에 대한 시뮬레이션 및 흡착식 해수담수화 시스템 개발과 관련한 내용을 중점적으로 다루고 있다.

자연채광 시뮬레이션에서는 ECOTECT를 이용하여 광 파이프 실제 크기의 모델링을 제시하였으며, 광 파이프 시스템의 유무와 Diffuser의 유무, 광 파이프의 유무에 따른 계절별 조도값과 분포를 비교 분석하기 위해 RADIANCE 프로그램을 이용하여 수행하였다. 시뮬레이션 분석 결과 광 파이프와 Diffuser의 장착을 통해 태양 고도에 따라 한곳에 집중된 조도값이 강의실 중앙 부분으로 넓게 분포됨을 알 수 있었으며, 태양 고도가 높은 하지 12:00에 조도값이 많은 차이를 보였다. 그리고 동지에는 가장 높은 조도값이 측정 되었으나 이는 광 파이프의 영향 보다는 창문으로 입사하는 태양 빛의 영향으로 사료된다. 하지 때의 경우 창문쪽과 조도값이 크게 차이를 보이지 않아 실제 건축 설계에 적용할 수 있을 것으로 보이나, 다른 계절의 경우 실제 건축 설계에 적용할 경우 인공조명이 요구되는 사실을 알 수 있었다.

흡착식 해수담수화의 개발에서는 해수담수화 시스템을 설계 및 제작하였으며 본 연구에서 흡착제로 사용된 실리카겔(Silica gel)의 최적 타입을 찾기 위해 3가지 타입의 효율을 측정하고 분석하였다. 예비실험을 수행하여 해수담수화 시스템의 주요구성요소에 대한 최적의 온도, 압력, 시간을 설정한 후 실리카겔(Silica gel)의 타입별 실험을 수행하였다. 실험 결과, A-type 실리카겔(Silica gel)이 25%로 가장 높은 담수를 생산량을 보였으며, 담수의 염분농도도 0.2PPT로 양호하게 측정되었다.

본 연구는 추후 태양에너지의 저온활용 분야에서 기초 데이터로 활용될 것이라 생각되며, 앞으로도 활발한 연구를 통해 기존 전기에너지가 담당하고 있는 부하를 태양에너지로 대체해 나가야 한다. 특히, 해수담수화 시스템의 효율을 높이기 위해 최적화에 대한 연구가 계속 진행되어야 되며 앞서 언급했던 역류현상발생에 대한 문제점을 도출하여 기술적 보완이 필요할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

M. Paroncini, F. Corvaro, G. Nardini, and S.Pistoiesi, “The Experimental and Numerical Analysis of a Lightpipe using a Simulation Software”, World Academy of science, Engineering and Technology 40, 2008.

Harvard Design School, 6332 “Day-Lighting Buildings”, 4 December, 2010.

EBRG, “Provide roof treatment to cut heat gains ENE BG2”, Environmental Building Guidelines for Greater Hyderabad Ver. 1.1, 2008.

Dr. Christoph F. Reinhart, “Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design“, Institute for Research in Construction, 29 August, 2006.

Jitka Mohelnikova, Frantisek Vajkay, “Daylight simulations and tubular light guides”, International Journal of Sustainable Energy. 01 September, 2008.

송규동, “RADIANCE 프로그램”, 대한건축학회 논문집 제 20권 제 1호, pp.6~13, 2002.

이종영, 정명순, 송규동, “자연채광 시스템을 이용한 학교교실의 시환경 개선 방안”, 한국건축친환경설비학회, 2010년 춘계학술발표대회, pp.231~234, 2010.

박준언, 정모, 이의준, 정봉만, “태양광 광파이프 조명 시스템 설계 및 해석 기술에 관한 연구”, 한국태양에너지학회, 2000 춘계학술발표대회 논문집, pp. 102~109, 2000.

최안섭, 박병철, “친환경 조명 및 조명설계”, 설비저널 제 38권 제 6호, 2009.

고동환, “Autodesk ECOTECH Analysis 2010을 이용한 친환경 건축물 평가 및 분석”, 대한건축학회 제 54권 제 7호, pp. 56~60, 2010.

지철근 외, “최신 조명환경원론”, 문운당, 2010.

김유신, 최안섭, “자연채광 유입에 따른 실내 조도의 적합한 예측을 위한 조명시뮬레이션

소프트웨어 비교 연구”, 한국조명·전기설비학회, 2007.

K.C. Ng, X.L. Wang, L.Z. Gao, A. Chakraborty, B.B. Saha, S. Koyama, A. Akisawa and T. Kashiwagi, “Apparatus and Method for Desalination”, Singapore Patent Application, 12th May, 2005.

H.T. Chua, K.C. Ng, A. Malek, T. Kashiwagi, A. Akisawa, and B.B. Saha, “Regenerative Adsorption Process and Multi-Reactor Regenerative Adsorption Chiller”, 2002.

Ng KC, Saha BB, Chakraborty A, et al. “Adsorption desalination quenches global thirst”. Heat Trans Eng. 2008.

Seawater Desalination in California, Chapter 1: Energy Use Section, published by California Coastal Commission, (<http://www.coastal.ca.gov/index.html>).

N.H. Afgan, M. Darwish and M.G. Carvalho, “Sustainability Assessment of Desalination Plants for Water Production”, Desalination, Vol. 124, No. 1-3, pp. 19-31, 1999.

T. Miyazaki, A. Akisawa, B.B. Saha, I.I. El-Sharkawy, A. Chakraborty, “A new cycle time allocation for enhancing the performance of two-bed adsorption chillers”, ELSEVIER, 24 December, 2008.

천원기 외, “태양열 및 폐열 적용 흡착식 냉방 및 담수화 기술 개발”, 한국연구재단 보고서, 2010.

곽희열, 윤응상, 주문창, 주홍진, “태양에너지 해수담수화 시스템 운전 성능”, 한국태양에너지학회, 제 29권 제 1호, 2009.

곽희열, 김정배, 윤응상, 주문창, “태양에너지 해수담수화 시스템 실증”, 한국태양에너지학회, 추계학술발표대회논문집, pp.98~103, 2006.

주홍진, 황인선, 곽희열, “태양열 이용 저압 증발식 해수 담수기 성능 연구”, 대한설비공학회, 하계학술발표대회, pp. 1536~1541, 2010.

정시영, “흡착식 열펌프의 기술개발 동향”, 대한설비공학회, 공장방문강연회, pp. 13~36, 1992.

박광규, “담수화 기술의 현황 및 기술개발 동향”, 물과 미래, 제 41권 제 6호, 2008.

윤상국, 정일영, 곽희열, 주홍진, 황인선, “냉매를 열원으로 하는 증발식 담수 시스템 특성연구”, 한국태양에너지학회, 춘계학술발표대회 논문집, 제 30권 제 1호, 2010.





## 감사의 글

지난 2년이라는 시간은 저에게 배움에 있어서 너무나도 짧고 아쉬운 시간이었지만, 제 주위에 계신 분들과의 만남에 있어서는 너무나도 값지고 소중한 시간이었습니다. 이제는 지난 시절 아름다운 추억들을 마음속에 간직한 채 새로운 출발을 위한 첫걸음을 내디뎌야 할 때인가 봅니다. 많은 분들을 통해 얻은 삶에 지혜와 경험은 제 앞길에 새로운 지침이 될 것입니다.

본 논문이 완성되기까지 항상 저를 응원해주시고 사랑해 주신 수많은 분들께 감사의 글을 올립니다. 오늘이 있기까지 언제나 부족한 저에게 항상 따뜻한 사랑과 자상하신 가르침으로 지도를 아끼지 않으신 지도 교수이신 천원기 교수님께 머리 숙여 깊은 감사드립니다. 그리고 배움이 항상 부족한 저에게 학문적으로나 인격적으로 많은 배려와 지도를 해주신 이운준 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 부족한 논문에 자상한 검토와 지도를 아끼지 않으신 김남진 교수님과 학부생 때부터 한결같은 사랑으로 많은 조언과 격려를 하여주신 이현주 교수님, 박재우 교수님, 김신 교수님, 정범진 교수님께 다시 한번 감사드립니다.

에너지공학과에서 오랜 시간을 보내면서 항상 많은 조언과 격려를 아끼지 않은 준호형, 지훈이형, 승진이형에게도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 몇 년간 같은 방에서 같이 지낸 친구이자 동기인 원종이에게도 고맙다는 말을 전하며 바쁜 학과 업무 와중에도 많은 도움을 준 조교선생님인 형훈이형과 우용이에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 또한, 실험 기자재의 보급뿐만 아니라 소주한잔과 따뜻한 말씀으로 저를 다독거리던 고연중 선배님, 진호형, 성원이형, 각자의 일이 바쁜 와중에서 항상 저를 다독거리며 힘이 되어준 보안이형, 상범이형, 정성이형, 민석이형, 성식이, 경욱이, 정환이, 재경이, 세민이, 그리고 실험실 동생들에게도 고마움을 전하며 이외에도 곁에서 많은 힘이 되어주신 선·후배님들에게도 감사의 말을 전합니다.

끝으로 바쁘다는 핑계로 집안 농사일도 자주 돕지 못하고 걱정만 끼쳐드린 못난 아들에게 한결같은 내리사랑을 주신 사랑하는 부모님과 항상 내편이 되어준 누나, 영호에게 진심으로 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.