

실리카겔을 이용한 흡착식 담수화 시스템의 기초연구

현준호*, 김영민**, 정진호***, 이윤준****, 천원기*****

*제주대학교 에너지공학과(juneho@jejunu.ac.kr), **제주대학교 에너지공학과(km820426@jejunu.ac.kr),
제주대학교 에너지공학과(leeyj@jejunu.ac.kr), *제주대학교 에너지공학과(wgchun@jejunu.ac.kr)

Development of Adsorption Desalination System Utilizing Silica-gel

Hyun, Jun-Ho*, Kim, Yeong-Min**, Jung, Jin-Ho***, Lee, Yoon-Joon****, Chun, Won-Gee*****

*Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University(juneho@jejunu.ac.kr),
**Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University(km820426@jejunu.ac.kr),
***Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University(jhjung@jejunu.ac.kr)
****Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University(leeyj@jejunu.ac.kr),
*****Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University(wgchun@jejunu.ac.kr)

Abstract

According to the environment report of UN, Korea was classified as potable water shortage countries. Approximately 71% of the Earth's surface is covered by ocean. However, it is difficult to use for industry of residential purpose without a certain processing.

The development of solar and waste-heat used absorption desalination technology have been examined as a viable option for supplying clean energy. In this study, the modelling of the main devices for solar and waste-heat used and adsorption desalination system was introduced. The design is divided into three parts. First, the evaporator for the vaporization of the top water is designed, and then the reactor for the adsorption and release of the steam is designed, followed by the condenser for the condensation of the fresh water is designed. In addition, new features based on the energy balance are also included to design absorption desalination system.

In this basic research, One-bed(reactor) adsorption desalination plant that employ a low-temperature solar and waste energy was proposed and experimentally studied. The specific water yield is measured experimentally with respect to the time controlling parameters such as heat source temperatures, coolant temperatures, system switching and half-cycle operational times.

Keywords : 흡착식 담수화 시스템(Adsorption Desalination System), 태양열, 폐열(Solar and Waste-heat), 담수(Fresh water), 증발기(Evaporator), 응축기(Condenser)

기 호 설 명

\dot{m}	: Sea water 유량 (kg/s)
Q	: 열량 (W)
T	: 온도 (°C)
t	: 시간 (min)
P	: 압력 (torr)
M_{sg}	: Silica gel의 질량(kg)

1. 서 론

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 물 부족 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 CO₂의 절감량을 높임은 물론 자연에너지원으로서 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.

본 연구에서는 흡착식 담수화 시스템의 설계 및 제작에 관한 기술을 연구하고, Prototype의 성능 분석을 위한 기초 단계로 흡착식 담수화 시스템의 흡착제인 실리카겔(Silica gel)의 성능을 분석하였다.

2. 시스템의 원리와 설계

흡착식 담수화 시스템의 기본 방식은 증발식과 유사하다. 다만, 증발식이 Evaporator와 Condenser만으로 구성되어 졌다면 흡착식은 흡착과 탈착 공간인 Reactor가 추가된다는 점이다. 흡착물질이 낮은 온도에서는 증발된 증기를 흡착하고 높은 온도에서는 증기를 탈착하는 방식으로 보다 고효율을 얻기 위해 고안된 방법이다.

2.1 시스템의 작동원리

본 논문에서 제작된 흡착식 소형 담수화 시스템의 작동원리는 Evaporator, Reactor, Condenser에 일정한 압력을 유지시키고 Sea-water storage

tank에서 Evaporator로 valve가 열리면 Sea-water가 노즐을 통해 Evaporator로 유입된다. Evaporator로 유입된 Sea water는 25~40℃ 정도의 온도를 가진 Water를 이용하여 증발과정을 거치게 된다. 증발과정을 거친 Sea water는 Reactor로 연결된 밸브의 Open과 동시에 Reactor로 전달되며 Reactor에서는 증발된 수증기의 흡착을 용이하게 하기 위해 Silica-gel을 Reactor 내부에 투입하였다. 그리고, Cooling water가 Reactor의 U-tube를 통해 유입되어 Silica-gel의 흡착 반응을 용이하게 한다. 흡착과정 후 Cooling water가 흐르던 U-tube에 Hot water를 유입시켜 Silica-gel에 흡착된 Sea water를 증발시키는 과정을 수행함으로써 또 한 번의 증발과정을 거치게 되고, Condenser로 연결된 Valve를 Open하여 증발된 Sea water가 Condenser로 이동하게 되어 탈착이 이루어진다. Condenser는 Reactor에서 전달받은 증기를 Cooling water로 응축시키며 응축된 담수를 Fresh-water storage에 저장하게 된다. 그림 1은 해수담수화 시스템의 계통도를 보여준다.

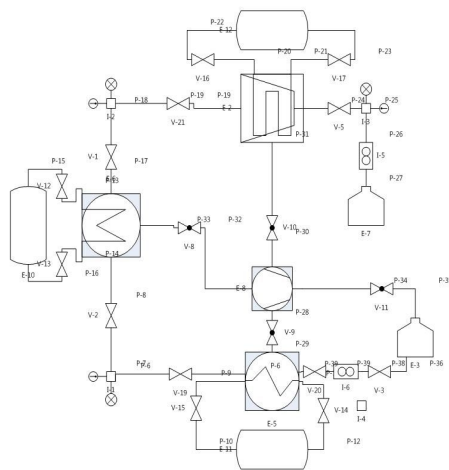


그림 1 해수담수화 시스템의 계통도

2.2 흡착제의 종류 및 특성

적절한 흡착제와 냉매의 선택은 시스템의

성능에 중대한 영향을 미치는 부분이며, 현재 문헌상에 발표된 흡착제와 냉매의 조합 중 실리카겔(Silica gel)-물, 활성탄-암모니아, 지올라이트(Zeolite)-물과 염화칼슘-암모니아의 조합이 활용되고 있다.

흡수제에 대한 고체 흡착제의 장점 중의 하나는 흡착제와 작동 냉매의 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 안정성은 작동냉매 증기가 존재할 때에는 온도와 증기압에 의해 영향을 받는다. 또한 담수화의 사용 용도와 작동조건에 따라서도 흡착제 선정하여야 한다.

표 1 Silica-gel의 특성

종류	흡수율 (%)	안전성	팽윤 수용성 용해성 여부
A-type	30	양호	없음
Blue-type	30	양호	없음
Mycom-type	60	양호	없음

표 1은 본 연구에서 비교대상의 될 실리카겔(Silica gel)의 특성을 보여준다.

3. 실험

3.1 실험 조건

본 연구에서 적용된 실험조건은 표 2에 나타내었고 아래의 내용과 같이 시행하였다.

표 2 흡착식 담수화 시스템의 실험 조건

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

4. 실험결과

4.1 Silica-gel의 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 2는 시스템 내부의 온도변화를 나타내며 그림 3은 압력변화를 나타낸다.

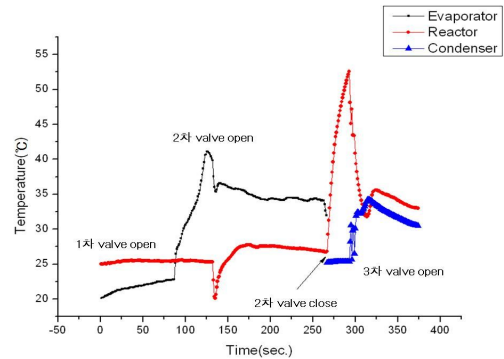


그림 2 시스템 내부의 온도변화

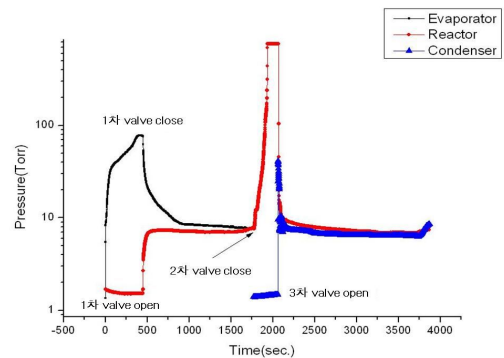


그림 3 시스템 내부의 압력변화

그림 2와 3에서 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 바꿔게 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 온도

와 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)

그림 4와 5는 Blue-type 실리카겔의 온도 변화와 압력변화를 보여준다.

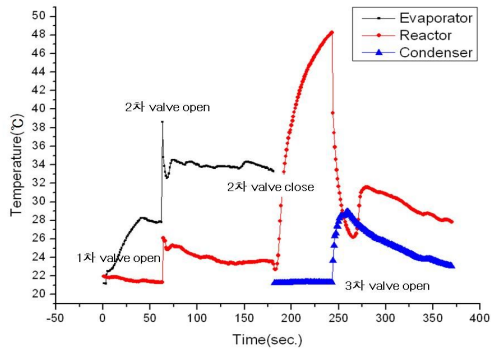


그림 4 시스템 내부의 온도변화

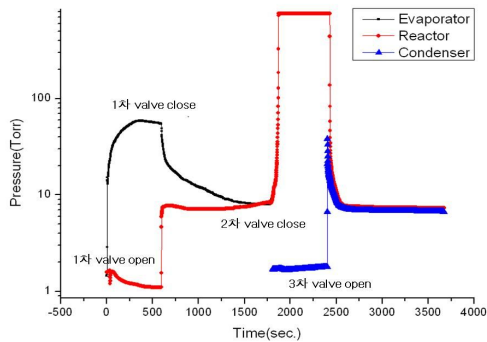


그림 5 시스템 내부의 온도변화

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

그림 6과 7은 Mycom-type 실리카겔의 온도와 압력변화를 보여준다.

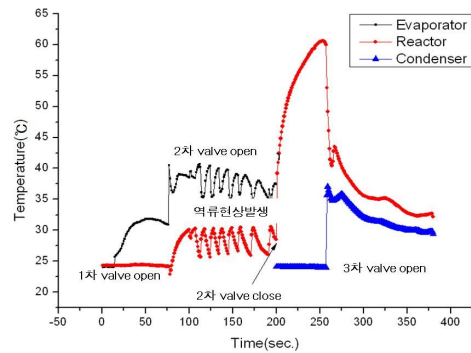


그림 6 시스템 내부의 온도변화

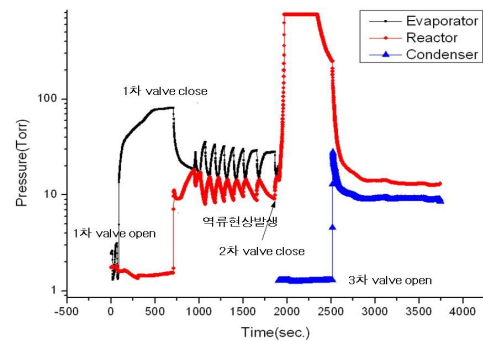


그림 7 시스템 내부의 온도변화

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 발생하였다. 그 후의 온도와 압력변화는 위 실험과 거의 동일한 값을 가졌다.

본 실험에서의 담수의 생산량은 역류현상의 발생으로 위 두 실험보다 적은 55ml 이며 Evaporator에서 회수된 해수량은 위 두

실험보다 많은 145ml이다. 담수의 농도는 0.1PPT로 측정되었으며, 회수된 해수의 농도는 염분농도 측정기의 측정범위를 초과하였다.

4) Silica-gel별 담수량

본 실험에서는 3가지 타입의 Silica-gel을 동일한 조건하에서 실험을 실시하였다. 각 type별로 담수의 생산량을 확인해 본 결과 A-type Silica-gel이 약 75ml의 담수량으로 가장 많이 측정되었다. B-type Silica-gel은 약 65ml, Mycom-type Silica-gel은 담수량이 55ml로 가장 적게 측정되었다.

3가지 Silica-gel의 type별 생산 효율은 18%~25%로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 흡착식 담수화 기술 개발의 일환으로 흡착식 소형 담수화 시스템의 개발을 위한 기초실험을 중 Silica-gel의 종류에 따른 성능 실험을 수행한 결과를 나타내었다. 이런 일련의 연구 과정을 통한 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 흡착제로서 Silica-gel을 이용하여 세가지 type의 실리카겔의 성능을 측정해 볼 수 있었다.
- (2) 현 시스템의 온도와 시간변화에 따른 담수생산량 비교에서의 각 구성별 의 온도 및 압력값은 향후 태양열이나 폐열 등을 적용한 흡착식 담수화 시스템에 대한 기초 요소 기술을 구축하는데 도움이 되었으며, 이러한 기본적인 실험적 경험을 바탕으로 실제 산업적으로 이용 가능한 담수화 시스템을 개발하는데 도움이 될 것으로 본다.
- (3) Silica-gel의 실제 흡수율과 많은 차이를 보이는 Mycom-type Silica-gel의 실험에서 압력의 역전현상이 나타났는데, 역

전현상 이 흡수율 차이의 직접적인 원인이 되는지를 규명해 볼 필요가 있다.

후 기

본 연구는 한국 과학재단 세계수준의 연구중심대학 육성사업의 일환인 “태양열 및 폐열 적용 흡착식 냉방 및 담수화 기술 개발 [과제번호 R33-2008-000-10166-00]”과제 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

1. 정시영, 흡착식 열펌프의 기술개발 동향, 대한설비공학회, pp.13~36, 1992.
2. 곽희열, 김정배, 윤웅상, 주문창, 태양에너지 해수담수화 시스템 실증, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회논문집, pp. 98~103, 2006.
3. 곽희열, 윤웅상, 주문창, 주홍진, 태양에너지 해수담수화 시스템 운전 성능, 한국태양에너지학회 Vol. 29, NO.1, 2009.
4. Ng KC, Saha BB, Chakraborty A, et al. Adsorption desalination quenches global thirst. Heat Trans Eng. 2008.
5. 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.
6. 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.