

# 태양열 해수담수화를 위한 증발식 MEMS(Multi-Effect-Multi-Stage) 담수기 성능 실험 연구

## Experimental Study on Performance of MEMS(Multi-Effect-Multi-Stage) Distiller for Solar Thermal Desalination

주홍진\* · 전용한\*\* · 광희열\*\*\*†

Joo Hong-Jin\*, Jeon Yong-Han\*\* and Kwak Hee-Youl\*\*\*†

(Submit date: 2013. 4. 23. Judgment date: 2013. 4. 23. Publication decide date: 2013.6. 24.)

**Abstract :** In this study, we have carried out development and performance evaluation of optimized MEMS(Multi-Effect-Multi-Stage) fresh water generator with 7m<sup>3</sup>/day for solar thermal desalination system.

The developed MEMS was composed of high temperature part and low temperature part. This arrangement has the advantage of increasing the availability of solar thermal energy. The MEMS consists of 2 steam generators, 5 evaporators, and 1 condenser. Tubes of heat exchanger used for steam generators, evaporators and condenser were manufactured by corrugated tubes.

The performance of the MEMS was tested through in-door experiments, using an electric heater as heat source. The experimental conditions for each parameters were 20℃ for sea water inlet temperature to condenser, 8.16m<sup>3</sup>/hour sea water inlet volume flow rate, 70℃ for hot water inlet temperature to generator of high temperature part, 3.6 4.8, 6.0 m<sup>3</sup>/hour for hot water inlet volume flow rate.

As a result, The developed MEMS was required about 85 kW heating source to produce 7m<sup>3</sup>/day of fresh water. It was analyzed that the performance ratio of MEMS was about 2.6.

**Key Words :** 해수담수화(Sea Water Desalination), 태양열 담수화(Solar Thermal Desalination), 다중효용 담수기(Multi Effect Distiller), PR(Performance Ratio)

\*\*\*† 광희열(교신저자) : 한국에너지기술연구원  
E-mail : hykwak@kier.re.kr, Tel : 042-860-3516  
\*주홍진 : 인하대학교 기계공학과 대학원  
\*\*전용한 : 상지영서대학교 소방안전과

\*\*\*† Kwak Hee-Youl(corresponding author) : Korea Institute of Energy Research  
E-mail : hykwak@kier.re.kr, Tel : 042-860-3516  
\*Joo Hong-Jin : Graduate School of Mechanical Engineering, Inha University  
\*\*Jeon Yong-Han : Department of Fire Protection and Safety, Sangji Youngseo College

### 기 호 설 명

$C_p$	: Specific heat of water(kJ/kg)
$GOR$	: Gained Output Ratio
$h_{fg}$	: Heat of vaporization of water(kJ/kg)
$M_F$	: Fresh water flow rate(kg/s)
$M_S$	: Steam flow rate(kg/s)
$M_D$	: kg of distillate
$\dot{m}$	: Flow rate(kg/s)
$PR$	: Performance ratio
$Q$	: Thermal heat input(kW)
$T_i$	: Inlet temperature of hot water(°C)
$T_o$	: Outlet temperature of hot water(°C)

### 하 침 자

$BR$	: Brine
$CON$	: Condenser
$FSW$	: Feed sea water
$GH$	: High generator
$GL$	: Low generator
$H$	: High
$L$	: Low
$NCG$	: Noncondesable gas
$ST$	: Steam
$SW$	: Sea water
$1H$	: High part 1st evaporator
$2H$	: High part 2nd evaporator
$3H$	: High part 3rd evaporator
$1L$	: Low part 1st evaporator
$2L$	: Low part 2nd evaporator

## 1. 서 론

생활수준의 향상에 따라 물 수요도 크게 증가하고 있다. 물 부족으로 발생하는 문제는 다양하며, 인류의 생존을 위협할 수 있는 문제 중에 하나로 부각되고 있다. 이러한 물 부족을 해결하기 위한 방법으로 해수담수화 기술이

가장 큰 해결책으로 부각되고 있다. 그러나 해수담수화 공정에는 매우 많은 양의 전기 및 열에너지가 해수의 염제거 공정에 소요된다.<sup>1)</sup> 따라서 세계적으로 해수담수화 공정에 사용되는 에너지를 최소화 시키는 방법들에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으며,<sup>2)3)4)</sup> 그 중에서도 해수담수화 공정에 사용되는 열에너지를 태양열로 공급하는 친환경 해수담수화 기술에 많은 연구가 진행되어 왔다. 태양열 해수담수화 플랜트에 대한 대표적인 연구로 A.M. El-Nashar et al.<sup>5)</sup>은 Abu-dabhi에 18단 구조의 다중효용 담수기와 태양열 집열기 1,862m<sup>2</sup>를 설치하여 일일 120m<sup>3</sup>/day 규모의 태양열 해수담수화 시스템을 구축하여 13년간 실증 연구를 수행하였다. 또한 Diego-César Alarcón-Padilla et al.<sup>6)</sup>은 스페인 AQUASOL 프로젝트를 통해 CPC(compound parabolic concentrator) 집열기를 이용하여 태양열 담수화 시스템(PSA)을 구축하였으며, 이에 사용된 담수기는 14중 효용의 다중효용 담수기를 개발하여 적용하였다. PSA 담수화 플랜트는 태양열 담수화 시스템과 2중 효용 흡수식 냉방 시스템을 연계한 하이브리드 담수화 시스템으로 일일 72m<sup>3</sup>/day 용량의 담수를 생산하나, 태양열이 부족할 경우 가스보일러를 통해 스팀을 생산하여 증발기에 공급 하는 방식으로 시스템이 구축되어 졌다. Kwak et al.<sup>7)</sup>은 2005년 국내 최초로 관형 증발식 1중 효용 담수기를 이용한 태양열 해수담수화 시스템을 개발하여 제주도에서 현재 실증 운행 중이며, 또한 태양열 해수담수화 시스템을 위한 1중효용 증발식,<sup>8)</sup> 및 3중효용 증발식,<sup>9)</sup> 담수기를 개발하여 가열수 열원 및 이젝터,<sup>10)</sup> 성능이 담수화 시스템에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.

그러나 이러한 많은 연구에도 불구하고 현

재까지 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 태양열을 이용한 해수담수화 공정에 최적화된 고효율의 담수기의 개발은 연구단계이며, 아직까지 태양열을 이용한 담수기의 상용화는 미미한 실정이다. 태양열을 이용한 해수담수화 시스템에 있어서 고효율의 담수기란 생산 담수 톤당 열에너지 소비율이 적은 담수기를 말하며, 담수기의 에너지 소비량이 적을수록 태양열 해수담수화 시스템에 요구되는 집열기의 설치 면적이 감소한다. 이에 따라 태양열 해수담수화 시스템의 상용화 및 보급을 위해서는 태양열에 최적화된 고효율의 담수기 개발이 절실히 필요하다.

이에 본 연구에서는 기존 태양열 해수담수화 연구개발을 통해 축적해온 담수기 요소기술을 적극 도입하여 태양열에 최적화된 일일 7m<sup>3</sup>/day 용량의 증발식 다중효용-다단플래쉬 MEMS(Multi-Effect-Multi-Stage) 담수기를 설계, 제작 및 성능 분석을 수행하였으며, 이를 통하여 태양열 해수담수화 시스템에 최적화된 MEMS 담수기의 성능을 평가하고자 한다.

## 2. MEMS 증발식 담수기 설계 및 개발

### 2.1 증발식 담수기 성능 평가

증발식 다중효용 담수기(MED)의 담수량 및 담수기의 효율 PR(Performance Ratio) 값은 담수기의 증발기 단수에 비례한다. 다중효용 담수화 시스템은 증발기를 시리즈로 배열한 형태로 첫 번째 증발기에 열수를 공급하여 저압에서 해수를 증발시키면, 증발된 증기는 다음 증발기의 관내에서 응축되어 담수가 생산되고 동시에 가열원으로 작용하여 증발기 관외부에서는 해수를 증발시킨다. 또한 이 때

발생된 증기는 다시 다음 증발기에 보내져 가열원으로 작용한다. 다중효용 담수기의 증발기 내부압력은 각각의 증발기 단수에 따라 차압을 주어 해수의 비등을 유발한다. 이처럼 다중효용 증발식 담수기는 1중효용 증발식 담수기와 달리 증발기에서 발생된 증기를 다음 증발기의 가열원으로 사용하여 적은 에너지를 갖고도 많은 양의 담수를 생산할 수 있는 큰 특징이 있다. 일반적인 MED 담수기의 GOR(Gained Output Ratio)은 식(1)과 같이 시간당 생산된 담수량과 공급된 스팀량의 비율이며, PR(Performance Ratio) 값은 식(2)와 같이 생산된 증기량에 대해서 증기로 상변화 시키기 위해 필요한 에너지 비율로 나타낸다.<sup>11)</sup>

$$GOR_{(Mass\ Ratio)} = \frac{M_F}{M_S} \quad (1)$$

$$PR = \frac{M_D}{2326kJ} \quad (2)$$

그러나 본 연구에서 사용된 증발식 다중효용 담수기는 태양에너지를 이용하는 것으로 기존의 스팀을 이용하는 담수화 시스템과 달리 증온수를 사용함으로써 가열수를 통해 공급된 열량으로 나타내며, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$PR = \frac{M_F L_T}{Q} \quad (3)$$

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_i - T_o) \quad (4)$$

식 (3)에서  $L_T$ 는 물의 증발잠열이고  $Q$ 는 담수 생성에 필요한 가열열량이며, 담수기에 공급되는 가열수의 입·출구 온도차 및 유량으로 계산되어진다.

## 2.2 MEMS 증발식 담수기 이론

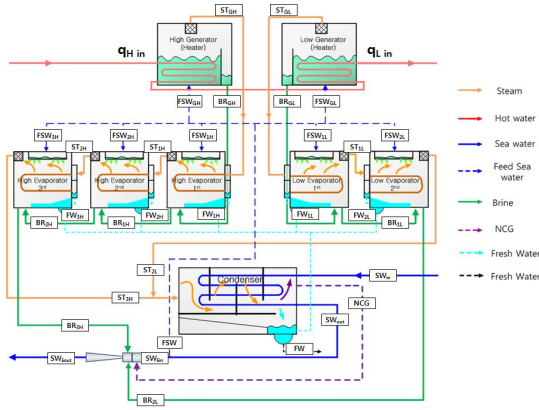


Fig 1. Schematic diagram of MEMS distiller

본 연구를 통해 설계 및 개발된 MEMS 증발식 담수기의 열역학적 계산은 기존의 다중효용 담수기와 유사한 과정을 갖는다. 그러나

본 연구에서 개발된 MEMS 담수기의 경우 기존의 담수기와는 달리 고온부와 저온부로 나뉘어 있으며, 고온부 발생기에서 해수를 증발시키는데 사용된 열수를 저온부 발생기로 재공급시켜 온수열원의 사용을 극대화시키는 특징이 있다. 이러한 방식은 태양에너지를 이용하는 해수담수화 시스템에서 태양에너지 이용효율을 극대화시킬 수 있으며 또한 태양에너지가 부족할 시 한쪽의 발생기에 공급되는 열원을 차단함으로써 불필요한 열손실을 사전에 차단할 수 있는 새로운 담수 시스템이라 할 수 있다. MEMS 증발식 담수기는 각단의 발생기 및 증발기에서 증기가 만들어 지고 남은 Brine이 다음단의 증발기로 유입되어 Flash 현상 까지 나타나기 때문에 기존의 1중효용 증발식 계산식과는 많은 차이를 보인다. 본 연구를 통해 개발된 증발식 담수기는 스팀

Table 1. Analysis conditions for mass and energy balance

Condenser	$m_{SWin} = m_{SWout}$	(5)
	$m_{SWin} c_p (T_{SWout} - T_{SWin}) = m_{ST3H} h_{fg} + m_{ST3L} h + m_{NCG}$	(6)
Distribution of Condenser	$m_{SWout} = m_{FSW} + m_{SWEin}$	(7)
	$m_{SWEout} = m_{SWEin} + m_{BR3H} + m_{BR2L} + m_{NCG}$	(8)
	$T_{SWEout} = T_{FSW} + T_{SWEin} (h_{SWEout} = h_{FSW} + h_{SWEin})$	(9)
High generator	$q_H = m_{BRGH} h_{BRGH} + m_{STGH} h_{STGH}$	(10)
Low generator	$q_L = m_{BRGL} h_{BRGL} + m_{STGL} h_{STGL}$	(11)
High part 1st evaporator	$m_{BRGH} h_{BRGH} + m_{STGH} h_{STGH} = m_{ST1H} h_{ST1H} + m_{BR1H} h_{BR1H} + m_{FW1H} h_{FW1H}$	(12)
High part 2nd evaporator	$m_{BR1H} h_{BR1H} + m_{ST1H} h_{ST1H} = m_{ST2H} h_{ST2H} + m_{BR2H} h_{BR2H} + m_{FW2H} h_{FW2H}$	(13)
High part 3rd evaporator	$m_{BR2H} h_{BR2H} + m_{ST2H} h_{ST2H} = m_{ST2H} h_{ST2H} + m_{BR2H} h_{BR2H} + m_{FW2H} h_{FW2H}$	(14)
Low part 1st evaporator	$m_{BRGL} h_{BRGL} + m_{STGL} h_{STGL} = m_{ST1L} h_{ST1L} + m_{BR1L} h_{BR1L} + m_{FW1L} h_{FW1L}$	(15)
Low part 2nd evaporator	$m_{BR1L} h_{BR1L} + m_{ST1L} h_{ST1L} = m_{ST2L} h_{ST2L} + m_{BR2L} h_{BR2L} + m_{FW2L} h_{FW2L}$	(16)
Feed Sea Water	$m_{FSW} = m_{BR3H} + m_{BR2L} + m_{STGH} + m_{STGL} + m_{ST1H} + m_{ST2H} + m_{ST3H} + m_{ST1L} + m_{ST2L} + m_{NCG}$	(17)
	$m_{FSW} = m_{BR3H} + m_{BR2L} + m_{NCG} + m_{FW}$	(18)
Fresh water	$m_{FW} = m_{FSW} - m_{BR3H} - m_{BR2L} - m_{NCG}$	(19)
	$m_{FW} = m_{STGH} + m_{STGL} + m_{ST1H} + m_{ST2H} + m_{ST3H} + m_{ST1L} + m_{ST2L}$	(20)
	$m_{FW} = m_{FW1H} + m_{FW2H} + m_{FW3H} + m_{ST3H} + m_{FW1L} + m_{FW2L} + m_{ST2L}$	(21)

발생기 2EA(고온, 저온), 증발기 5EA(고온 3EA, 저온 2EA), 응축기 1EA로 구성된다. 각각의 베셀에서는 증발, 응축 및 증발되지 못한 해수는 밖으로 배출되는 현상이 발생되며 이러한 과정에서 발생하는 mass balance & energy balance를 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 표 1과 같은 Mass& Energy balance로부터 MEMS 증발식 담수기의 성능은 식 (22)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (22)에서 나타낸 것과 같이 MEMS 담수기의 PR 값은 이론적으로 담수를 만드는데 필요한 에너지를 실제 사용된 에너지로 나눈 값으로 나타낸다.

$$PR = \frac{\text{Distillate flow rate (Kg/s)} \times 2326 \text{ (KJ/Kg)}}{\text{Power Input (KW)}} \quad (22)$$

### 2.3 MEMS 증발식 담수기 설계

표 2는 본 연구를 통해 개발된 MEMS 증발식 담수기의 열량 및 담수량 설계치를 나타낸 것이다. MEMS 증발식 담수기의 특성상 증발기 각단의 압력은 단수가 높아질수록 낮아져야 하는 특성이 있다. 따라서 본 연구를 통해 개발된 MEMS 증발식 담수기의 경우 고온 발생기의 압력은 포화온도 60.08℃에 해당하는 약 19kPa를 유지하며, 저온 발생기는 포화온도 55℃에 해당하는 15.75kPa를 유지하도록 설계되어 졌다. 포화온도가 고온과 저온 발생기가 다른 것은 고온 발생기에서 태양에너지로부터 열을 한번 빼앗긴 가열수가 저온 발생기로 다시 들어가는 형태로 가열수의 이용효율을 극대화 하며 또한 태양열 이용 특성상 태양열 집열기에 공급되는 온도가 낮을수록 태양열 이용효율이 높아지는 효과를 동시에 도출할 수 있다. 고온 발생기에서 만들어진 증기는 고온 1단 증발기로 공급되며 이때의 고

온 1단 증발기의 압력은 포화온도 55.28℃ 약 15kPa, 고온 2단 증발기의 압력은 포화온도 50℃ 약 12.34kPa, 고온 3단 증발기의 압력은 포화온도 45℃ 약 9.59kPa로 설계되었으며, 고온 증발기와 마찬가지로 저온 1단 증발기의 압력은 포화온도 50℃ 약 12.34kPa, 저온 2단 증발기의 압력은 포화온도 45℃ 약 9.59kPa를 정상상태에서 유지 할 수 있도록 설계 되었다. 그림 2는 개발된 MEMS 담수기를 나타낸 것이다.

Table 2. Designed operating conditions

	Steam (kg/day)	Latent heat (kJ/s)	Pressure (kPa)	Sat Temp (°C)	Feed water (LPM)	Sensible heat (kJ/s)
GH	1,440	38.767	19.93	60	2.5	6.096
1H	1,152	31.013	15.75	55	2.0	4.18
2H	922	24.811	12.34	50	1.6	2.787
3H	737	19.849	9.59	45	1.28	1.723
GL	1,152	31.013	15.75	55	2.0	4.18
1L	922	24.811	12.34	50	1.6	2.787
2L	737	19.849	9.59	45	1.28	1.783
CON	-	-	4	-	-	39.697



Fig 2. MEMS distiller

### 3. MEMS 증발식 담수기 설계 및 개발

MEMS 증발식 담수기에 성능 실험을 수행하기 위하여 담수기 성능 평가를 위한 실험

장치를 구축하였다. 담수기 성능 평가를 위한 실험장치로는 이젝터 펌프, 가열수 펌프, 유량계, 냉각기, demister, 증발기, 응축기로 구성 되어있다. 해수의 온도는 응축기입구와 이젝터 출구에서 가열수의 온도는 고온, 저온 증발기 입구와 출구에서 4-wire RTD를 사용하여 각 지점의 온도를 측정하였다. 또한 해수 유량은 저온 증발기출구에서 TOSHIBA사 전자식 질량 유량계를 이용하여 측정하였다. 성능 평가 실험의 경우 외부 환경에 영향을 받지 않아야 하며, 따라서 본 연구에서는 이러한 실험 오차를 최대한 줄이고자 항상 일정한 실내 온도, 압력 및 담수기 내부의 온도를 일정하게 유지하여 성능을 측정하였다. 실험 조건으로는 고온 발생기에 공급되는 가열수 공급 유량을 60, 80, 100 LPM, 공급 온도 70°C로 고정 시킨 후에 유량을 변경시키며 담수기의 성능 평가를 수행하였다.

Table 3. Measured operating conditions

Hot water (LPM)	GH Inlet (°C)	GL Inlet (°C)	GL Out (°C)	Sea water (LPM)	CON Inlet (°C)	CON Outlet (°C)
60.45	69.5	62.3	56.1	135	20.8	24.8
79.62	69.2	63.5	58.4	135	21.3	25.5
99.75	69.4	64.6	60.2	135	20.9	25.6

그림 3은 가열수 공급 온도 70°C, 유량 80LPM 일 때 MEMS 증발식 담수기의 발생기, 증발기 및 응축기의 압력 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 가열수 공급 이전 담수기의 전체 평균 압력은 4kPa이며 가열수가 공급 되고 나서부터 발생기 및 증발기 응축기의 압력이 증가하는 것을 알 수 있다. 가열수가 공급되는 순간 가장 먼저 고온발생기의

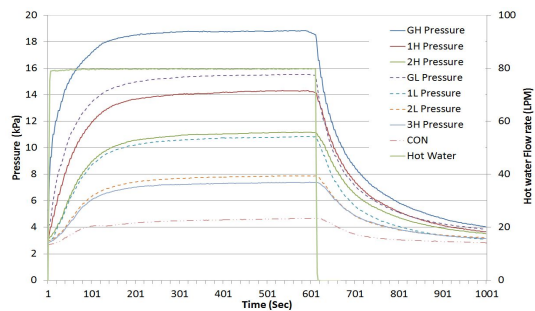


Fig 3. The pressure profiles & Hot water flow rate

압력이 상승한다. 이는 고온발생기에 가열수가 먼저 공급되기 때문이며, 압력의 증가는 발생기 내부에서 해수의 증발로 인하여 증기가 발생되어 부피의 팽창으로 압력이 상승된다. 또한 고온 발생기 다음으로 저온 발생기의 압력이 상승하며 이는 고온 발생기에서 한번 열을 빼앗기고 나온 가열수가 바로 저온 발생기에 공급되어 발생기 내부에 증기가 발생되기 때문이다.

Table 4. Evaporating & Condensing capacity

LPM	High Part Heat (kW)	Low Part Heat (kW)	Total Heat (kW)	Condenser Heat (kW)	Fresh Water (LPM)	kWh/m <sup>3</sup>
60	30.29	25.84	56.13	38.34	3.195	292.8
80	31.58	28.21	59.79	41.16	3.42	291.37
100	32.90	30.30	63.20	44.36	3.66	288.19

표 4는 가열수 공급 유량에 따른 MEMS 증발식 담수기의 가열열량 및 담수 생산량을 나타낸 것이다. 가열수 유량의 증가로 인하여 각각의 실험조건 하에서 가열열량이 변하는 것을 알 수 있다. 가열수 공급 유량이 80LPM에서 100LPM으로 증가할 경우 가열열량은 60LPM에서 80LPM으로 증가 시켰을 때의 증가 폭과 동일한 3kW가 증가 하였다. 이는 MEMS 증발식 담수기에 적용한 열교환기의

최대 열전달량에 근접하기 때문에 열공급량의 증가폭이 일정한 것으로 분석되었다. 가열수 공급 100LPM에서의 담수 생산량은 3.66LPM으로 이때 시간당 담수 1m<sup>3</sup>의 생산을 위해 공급되는 열량은 288.19 kWh로 분석되었다.

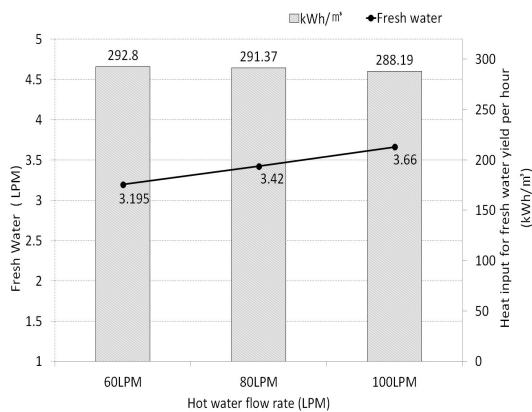


Fig 4. Fresh water & Heat input for hot water

그림 4는 MEMS 증발식 담수기의 가열열량에 따른 담수 생산량 및 시간당 1m<sup>3</sup>의 담수를 만들기 위해 필요한 열량을 나타낸 것이다. 가열수 유량 변화에 따른 MEMS 증발식 담수기의 성능 변화는 공급 유량이 증가 할 수록 시간당 담수 1m<sup>3</sup> 생산을 위한 가열열량이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 해수를 사용하는 증발식 담수기의 특성상 담수기 내부의 증발 온도가 높아져 스케일이 발생하는 것을 사전에 방지 할 수 있으며, 담수 시스템의 스케일 억제 방지를 통해 운전비용 절감 및 유지관리 측면에서도 매우 중요한 결과로 사용될 수 있다.

그림 5는 MEMS 증발식 담수기의 가열수 공급 열량에 따른 일일 담수 생산량을 나타낸 것이다. MEMS 증발식 담수기는 하루 7m<sup>3</sup>의 담수를 생산하기 위해 필요한 가열열량은 약 85kW이며, 이 때 PR값은 2.6으로 분석되었다.

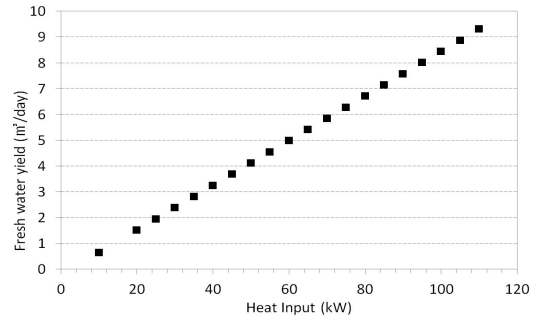


Fig 5. Fresh water yield for heat input

## 5. 결 론

본 연구에서는 태양열 해수담수화 시스템을 위한 7m<sup>3</sup>/day 용량의 증발식 MEMS 담수기를 설계 및 제작하였으며, 가열수 유량 및 온도 조건에 따른 담수기의 성능 평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) 태양열 해수담수화 시스템에 최적화된 담수기의 개발을 위하여 MEMS 담수기는 기존의 증발식 담수기와 달리 고온 및 저온부로 구성되었다.
- (2) 가열수 공급 유량 100LPM, 70°C 조건에서 일일 7m<sup>3</sup>/day 용량의 담수를 생산하기 위해 필요한 순간 가열열량은 약 85kW이며, PR 값은 평균 2.6으로 나타났다.
- (3) 시간당 1m<sup>3</sup>의 담수를 생산하기 위해 공급되는 열량은 288 kWh/m<sup>3</sup>으로 분석되었다.

## 참 고 문 헌

1. S. Nisan, N. Benzarti, A comprehensive economic evaluation of integrated desalination systems using fossil fuelled and nuclear energies and including their environmental costs, *Desalination*, 229, 125-146, (2008)
2. M. A. Darwish and Hisman El-Dessouky, The heat recovery thermal vapour-compression

- desalting system : a comparison with other thermal desalination processes, *Applied Thermal Engineering*, 16, 523-537, (1996)
3. Hisham T. El-Dessouky, Hisham M. Ettouney and Faisal Mandani, Application of gas-turbine exhaust gases for brackish water desalination: a techno-economic evaluation, *Applied Thermal Engineering*, 24, 2487-2500, (2004)
  4. S. Nisan, N. Benzarti, A comprehensive economic evaluation of integrated desalination systems using fossil fuelled and nuclear energies and including their environmental costs, *Desalination*, 229, 125-146, (2008)
  5. A.M. El-Nashar and M. Samad, The solar desalination plant in Abu Dhabi 13 years of performance and operation history. *Renewable Energy*, 14, 263-274, (1998)
  6. Diego-César Alarcón-Padilla, Julián Blanco-Gálvez, Lourdes García-Rodríguez, Wolfgang Gernjak and Sixto Malato-Rodríguez, First experimental results of a new hybrid solar/gas multi-effect distillation system : the AQUASOL project, *Desalination*, 220, 619-625, (2008)
  7. Kwak, H. Y., Kim, J. B., Joo, H. J., Yoon, E. S., and Joo, M. C., Demonstration study on desalination system using solar energy, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 27, No.4, 27-33, (2007)
  8. Kwak, H. Y., Joo, H. J., and Hwang, I. S., Thermal performance of single stage shell & tubes(SAT) fresh water generator, INTA-SEGA, 2009.
  9. Joo, H. J., Hwang, I. S., and Kwak, H. Y., Development of Multi Effect Distillation for Solar Thermal Seawater Desalination System, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 31, No.1, 1-7, (2011)
  10. Joo, H. J., Jung, I. Y., Yoon, S. K., and Kwak, H. Y., CFD Analysis on the Flow Characteristics of Ejector According to the Position Changes of Driving Nozzle for F.W.G, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 31, No.3, 23-29, (2011)
  11. Andrew Porteous., et al., *Desalination Technology Development and Practice*, Applied Science Publishers, London, 1983.