

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 3, 2007

Dish/Stirling 시스템 적용을 위한 Hybrid 태양열 흡수기의 열특성에 관한 실험 연구

강명철*, 김진수*, 강용혁*, 김낙주**, 유성연***, 김진혁***

* 한국에너지기술연구원 태양열연구센터(mckang21@kier.re.kr, jnskim@kier.re.kr, yhkang@kier.re.kr)

** 서울산업대학교 정밀화학과(nackjoo@snu.ac.kr)

*** 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단(syyooh@cnu.ac.kr, maple80@cnu.ac.kr)

An Experimental Study on the Thermal Characteristics of Hybrid Solar Receiver for Dish/Stirling System

MyeongCheol Kang*, JinSoo Kim*, YongHeack Kang*, NackJoo Kim**,
SeongYeon Yoo***, JinHeack Kim***

* Solar Thermal Research Center, Korea Institute of Energy Research
(mckang21@kier.re.kr, jnskim@kier.re.kr, yhkang@kier.re.kr)

** Department of Fine Chemistry, Seoul National University of Technology(nackjoo@snu.ac.kr)

*** BK21 Mechatronics Group at Chungnam National University(syyooh@cnu.ac.kr, mcple80@cnu.ac.kr)

Abstract

A Dish type solar concentrating system consists of a parabolic concentrator and a cavity receiver. In order to achieve high temperatures from solar energy, it is essential to efficiently reflect the solar rays in the concentrator and to minimize thermal losses in the cavity receiver. Improving the economical efficiency of a solar power system required the stirling unit to be operated continuously. For continuous operation of the stirling unit, the receiver must be continuously provided with thermal energy from solar as well as additional combustion heat. It is possible for a hybrid solar receiver system equipped with an additional combustion to be operated 24 hrs/day.

A hybrid solar receiver was designed and manufactured for a total thermal load of 35 kW in the operating temperature range 700°C to 800°C. The hybrid receiver system was tested in gas-only mode by gas-fired heat to investigate thermal characteristics at inclination angle varying from 0 deg to 30 deg(cavity facing down) and the aperture to cavity diameter ratios of 0(closed cavity) and 1.0(open cavity). This paper has been conducted to measure temperature distribution in cavity surface and to analyze thermal resistances, and the evaporation and condensation heat transfer coefficient in all cases(open and closed cavity).

Keywords : 접시형/스터링 시스템(Dish/Stirling system), 복합 태양열흡수기(Hybrid solar receiver), 열특성(Thermal characteristics), 연소시스템(Combustion system)

접수일자 : 2007년 5월 22일, 심사완료일자 : 2007년 7월 3일

교신저자 : 유성연(syyooh@cnu.ac.kr)

1. 서론

태양열을 이용한 집광형 집열기는 100°C 이상, 고 집광형에서는 1000°C 이상의 온도를 얻을 수 있다. 그러므로 태양열 발전과 같은 효율적인 에너지 이용에 적합하다. 태양열 발전은 집광방식과 규모에 따라 PTC(Parabolic Trough Concentrator)형, Dish형, Tower형이 사용되는데 분산형 발전인 경우에는 Dish형 태양열시스템을 적용한 발전이 효과적으로 사용된다.

태양열을 이용하는 발전은 에너지밀도가 낮은 태양에너지를 이용함으로써 지역적이고 계절적인 영향에 좌우되기 때문에 태양열 발전의 이용효율과 경제성을 향상시키기 위해서는 부가적인 별도의 연료를 사용할 수 있는 복합시스템이 필요하다(1). 복합발전은 새로운 개념의 흡수기의 개발이 요구되며 그중 열수송 능력이 뛰어난 히트파이프 적용기술이 연구된 바 있다.

태양열과 가스 연소열을 복합적으로 이용하기 위한 연구로는 고온용 히트파이프를 태양열 흡수기에 적용한 연구가 대부분이다. Hartenstine et al. (2)은 히트파이프 흡수기의 외부면에 세라믹 연소 챔버를 설치하고 환상방향으로 세 개의 가스버너에 의해서 열을 공급하는 장치를 설계/제작하였다. Laing, et al. (3,4)은 스텔링엔진의 열원 공급장치로 적용하기 위해 태양열과 가스연소열을 복합 적용한 히트파이프 흡수기를 개발하였다. 성능실험으로 태양열, 가스열, 태양열/가스 복합실험을 수행하여 각각 16%, 17%, 15%의 시스템 효율을 얻었다. Moreno, et al. (5)은 75 kWt 흡수기를 개발하였고 가스 연소열을 18 kWt에서 75 kWt, 출구온도 750°C 범위에서 실험을 수행하였다. 시스템 효율은 68%를 얻었으며 부가적인 외부단열을 적용한다면 효율이 75%로 증가하는 결과를 제시하였다.

국내의 히트파이프를 적용한 태양열 흡수기의 연구는 전무하다. 그러나 고온 히트파이프에 대한 연

구는 박수용 등(6) 몇몇 연구자에 의해 주로 원관 형태 히트파이프의 열전달 특성에 대한 기초 성능 자료를 획득하였고 직육면체형 Sodium 히트파이프의 제작과 실험을 통하여 초기 작동 특성을 파악하였다.

본 연구에서는 태양열과 가스 연소열을 복합적으로 사용하기 위해 히트파이프를 적용한 복합 태양열 흡수기를 제작하였다. 기초적인 성능특성을 파악하기 위한 목적으로 가스 연소열만을 적용하였다. 흡수기는 설치각과 공급된 열량에 따라 발생하는 열손실이 차이가 생기고 히트파이프가 작동되는 특성이 다르므로 본 연구에서는 적용할 변수로 흡수기의 설치각과 공급 열부하를 사용하여 초기 작동 특성과 열전달 특성을 규명하기 위한 실험을 수행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 복합흡수기

복합 태양열 흡수기는 동공측으로 집광된 태양열을 열원으로 사용하고 외측면으로 가스연소열을 사용하는 형태이다. 두가지 열원을 복합적으로 사용하기 위해 열전달 장치로서 히트파이프를 적용하였다. 그림 1은 동공으로는 태양열을 집광하고 흡수기의 외측면으로 가스 연소열을 이용하는 흡수기의 개념을 보여주고 있다. 흡수기는 히트파이프를 적용한 2중 원통관 구조의 형상을 가지며 원통관의 내 외측 및 내측 바닥면에 가해지는 고온의 열을 작동유체의 상변화에 의해 축방향 및 반경방향으로 이송하여 외부에 열을 전달한다.

고온 범위에 사용되는 히트파이프의 작동유체는 열물성치면에서 우수한 조건을 갖는 나트륨을 사용하였다. 제작된 히트파이프의 용기는 스테인리스 스틸 재질을 사용하여 내측 직경 216 mm, 외측 직경 315 mm이고 길이는 320 mm이다. 내부에 삽입한 워 구조물은 스테인리스 재질의 스크린 메쉬 워, 메쉬번호 50과 80을 사용하여 용기 내부의

내·외면과 바닥면에 부착하였다.

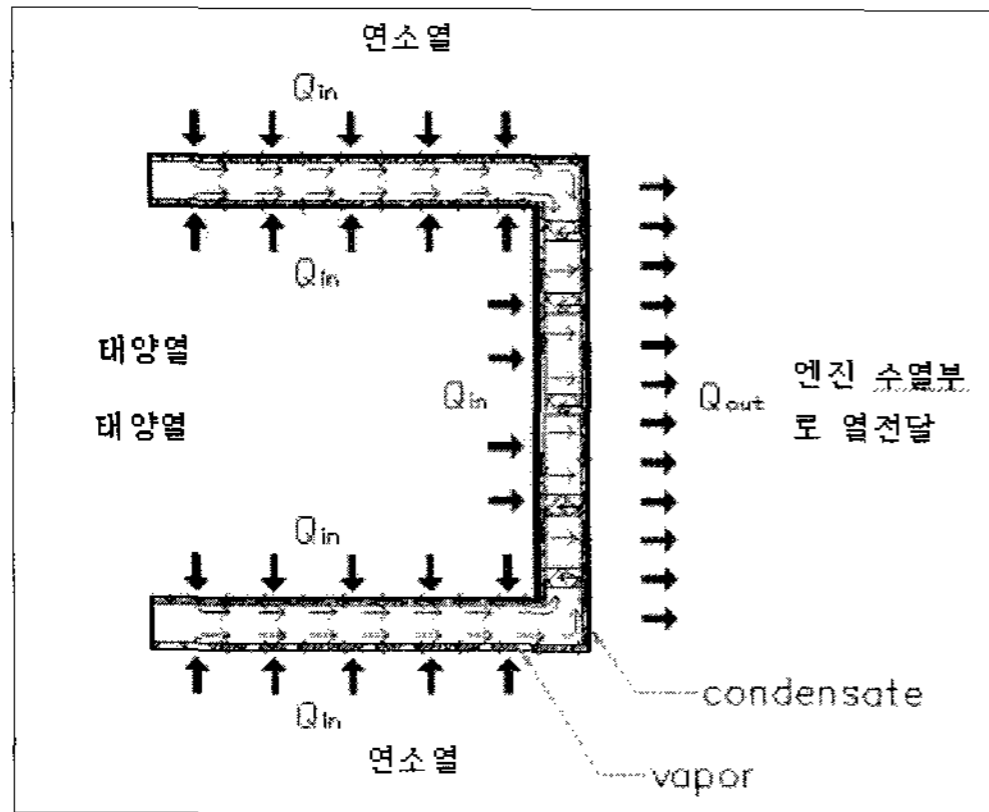


그림 1. 흡수기의 열원 유동형태

연소기는 버너, 연소기 팬, 화염 감지 장치, 공기량 제어모터, 점화트랜스 장치, 압력조정기, 가스 압력감지 장치 등으로 구성하였고 외부면으로 열을 공급한다. 가스 연소열은 히트파이프 외부면에서 환상의 유동로를 순환하여 열을 공급하는 형태이다. 연소기는 설정된 온도에 따라 비례제어되고 공기량은 공기량 제어모터에 의해 조절되는데 공기량의 변화에 의해 가스 압력을 변화시켜 가스량을 조절하였다.

온도측정은 고온용 K-type 열전대를 사용하였고

환상방향 4곳, 축방향 3곳의 온도를 측정하기 위해 동공측 14개, 외부면 12개를 부착하였다. 그림 2는 전체적인 실험장치의 개략도를 보인 것으로 설치된 열전대 위치가 표시되어 있다.

그림 3은 열특성 실험을 위한 실험장치로 흡수기, 연소시스템, 냉각시스템, 자료획득장치 등으로 구성되어 있다.

연소열은 버너의 초기온도를 설정하여 제어되고 일정한 온도로 공급된다. 응축부에서의 냉각은 냉각수량을 일정하게 공급하면서 냉각수의 입출구 온도를 측정하였다. 흡수기의 각도는 0° 에서 10° 간격으로 30° 까지 변화시켜 수행되었으며 실험과정에서 흡수기의 동공표면과 외측 표면온도를 측정하여 열저항을 계산하였고 증발부와 응축부의 평균 열전달계수를 계산하였다.

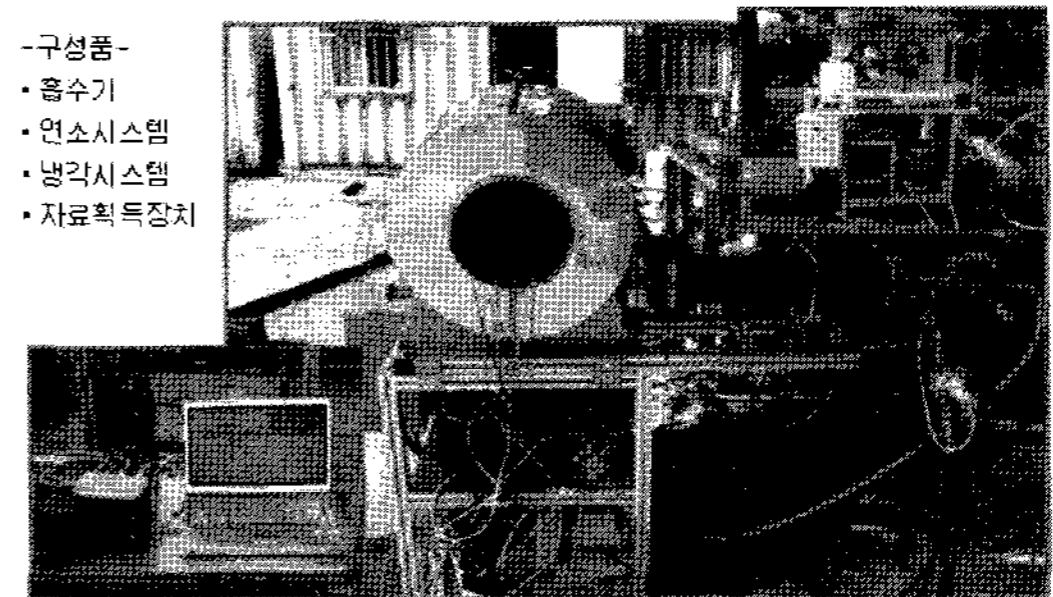


그림 3. 열특성 실험장치

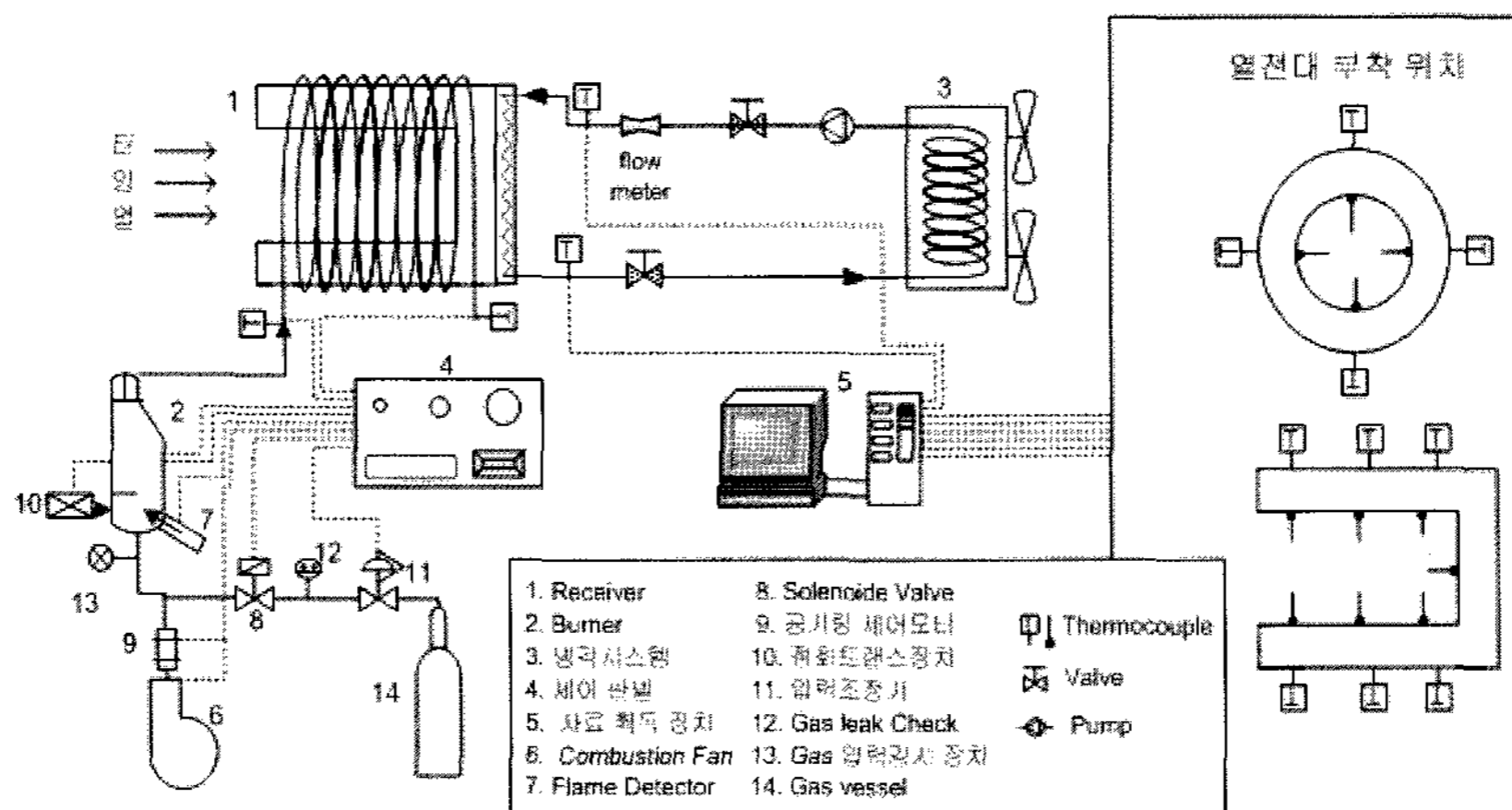


그림 2. 실험장치 개략도와 열전대 위치

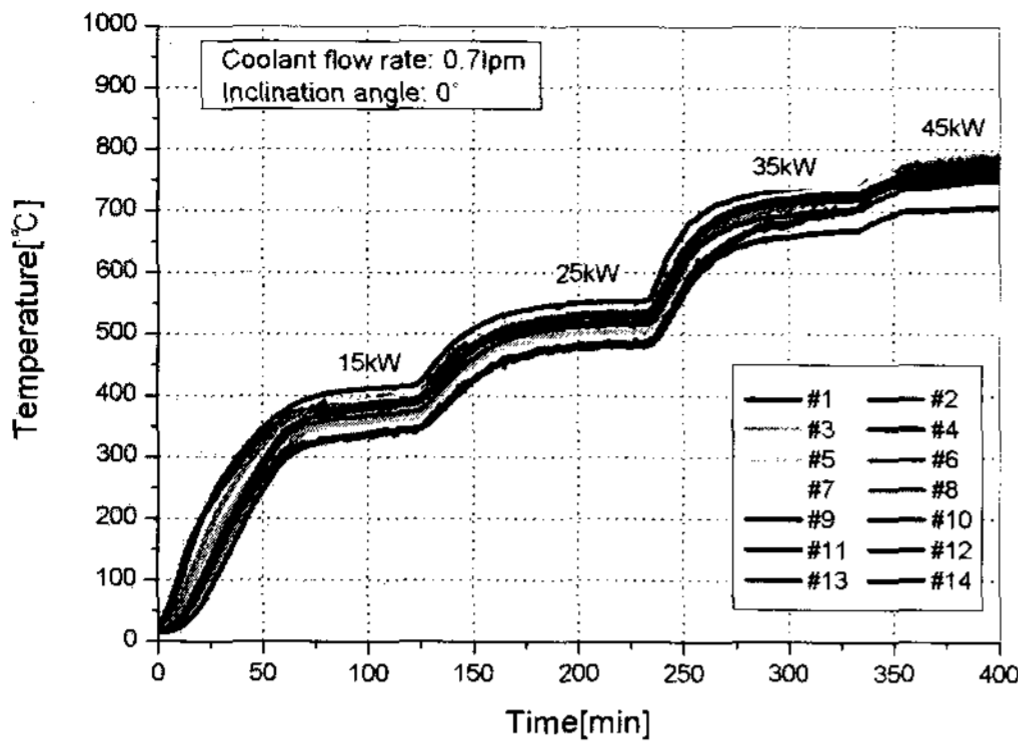


그림 4. 열공급에 따른 동공 표면의 온도변화(0도)

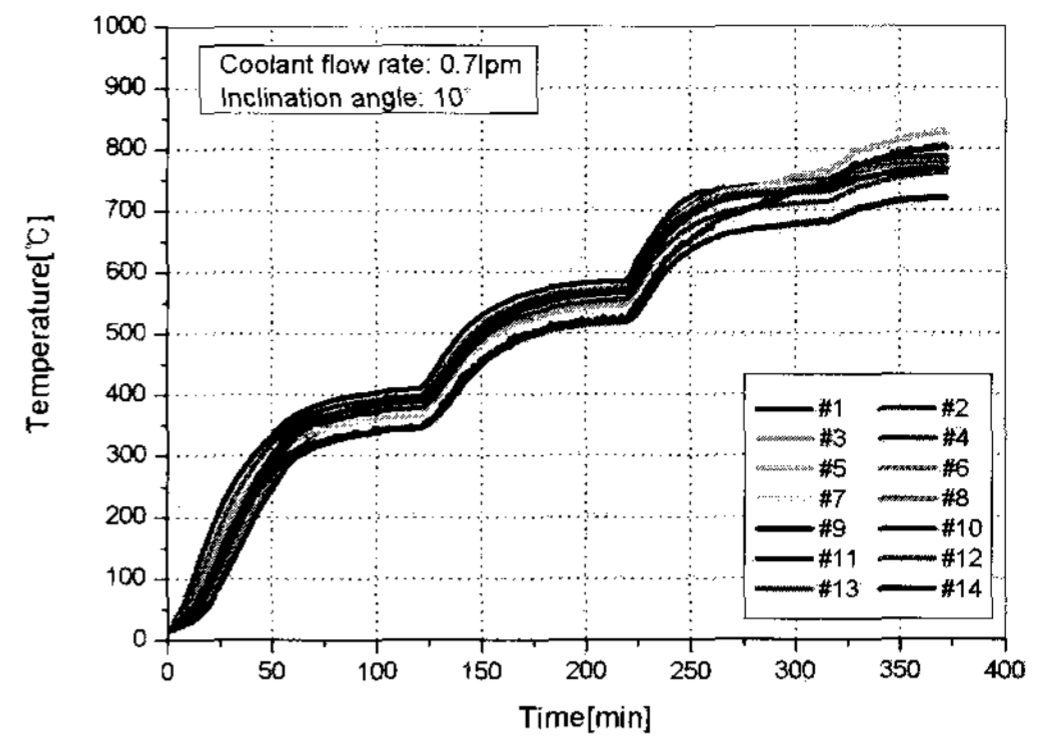


그림 5. 열공급에 따른 동공 표면의 온도변화(10도)

3. 실험결과 및 고찰

그림 4는 냉각수량을 분당 0.7 리터를 공급하고 흡수기 설치각을 0°로 고정한 경우 동공측 표면 온도의 변화를 보여준다. 길이 방향으로 최대 온도차는 열공급 변화에 따라 34~39°C이고 응축면과 인접한 바닥면의 온도는 #13과 #14로 표시되었는데 낮은 열공급에서는 340°C, 열공급을 높이면 온도가 700°C로 증가하였다. 그리고 증발부측 온도는 환상방향 4곳(#1~#4)의 길이방향(#5~#8, #9~#12)으로 각각 17~40°C, 10~40°C, 21~55°C의 온도차이가 발생하였으며 응축부와 가까운 부분이 온도차가 크게 나타났다.

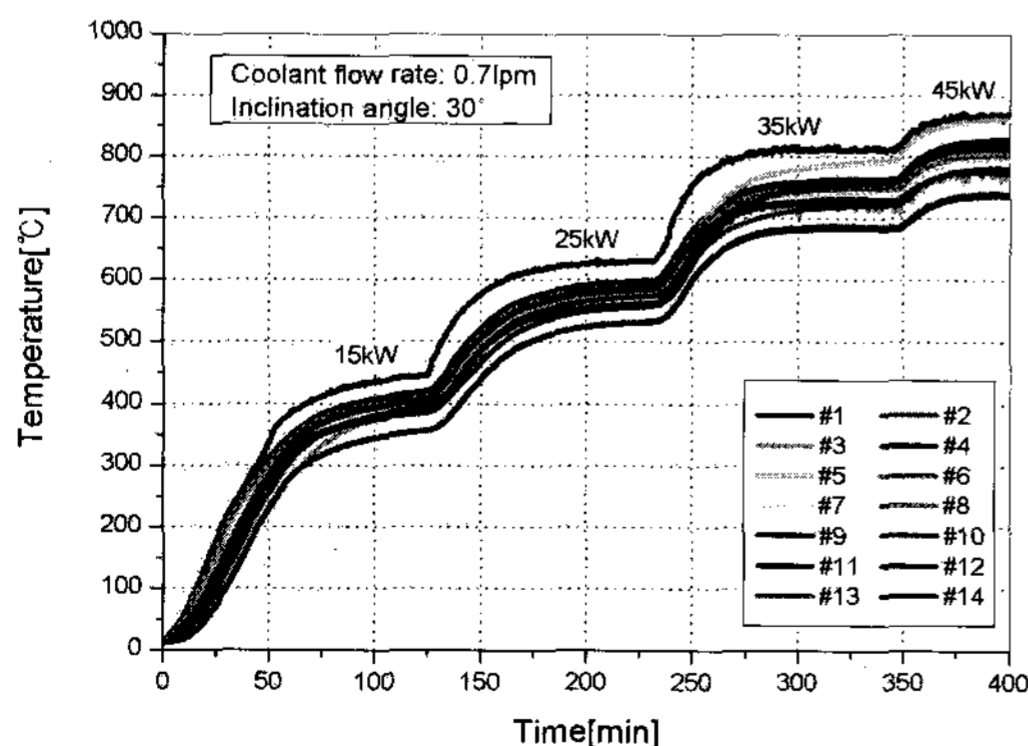


그림 6. 열공급에 따른 동공 표면의 온도변화(30도)

그림 5는 흡수기 설치각이 10°인 경우 공급 열부하에 따라 측정된 동공측 표면온도를 보여준다. 길이방향 온도의 변화로 최대 온도차는 37~44°C이고 바닥면 온도는 345~719°C로 증가하였다. 환상방향으로의 온도차는 14~21°C, 9~46°C, 20~45°C로 나타났다.

그림 6은 설치각 30°인 경우 공급 열부하에 따른 동공측 온도분포를 보여주고 있다. 설치각 0°, 10°인 경우와 비교하면 표면 온도가 높아지는 현상이 나타났고 각 측정점들의 온도차이도 증가하였다. 그리고 열공급량이 증가할 수록 환상방향의 온도차 또한 높게 되는 현상이 발생하였다. 열공급에 따른 온도차를 살펴보면 54~96°C, 9~64°C, 18~53°C으로 연소 입구측의 온도차가 높은 현상을 볼 수 있다.

그림 7에서 9는 공급 열부하에 따른 흡수기 동공측 길이방향, 측정위치에서의 온도분포이다. 설치각이 0°인 경우는 각 열공급에 따라 51~60°C의 온도차가 나타났으며 10°에서는 52~66°C, 30°인 경우는 60~80°C로 설치각이 증가할 수록 온도차가 증가하였고 10°와 30°인 경우 열공급을 증가하면 온도차가 더욱 커지는 결과를 볼 수 있었다.

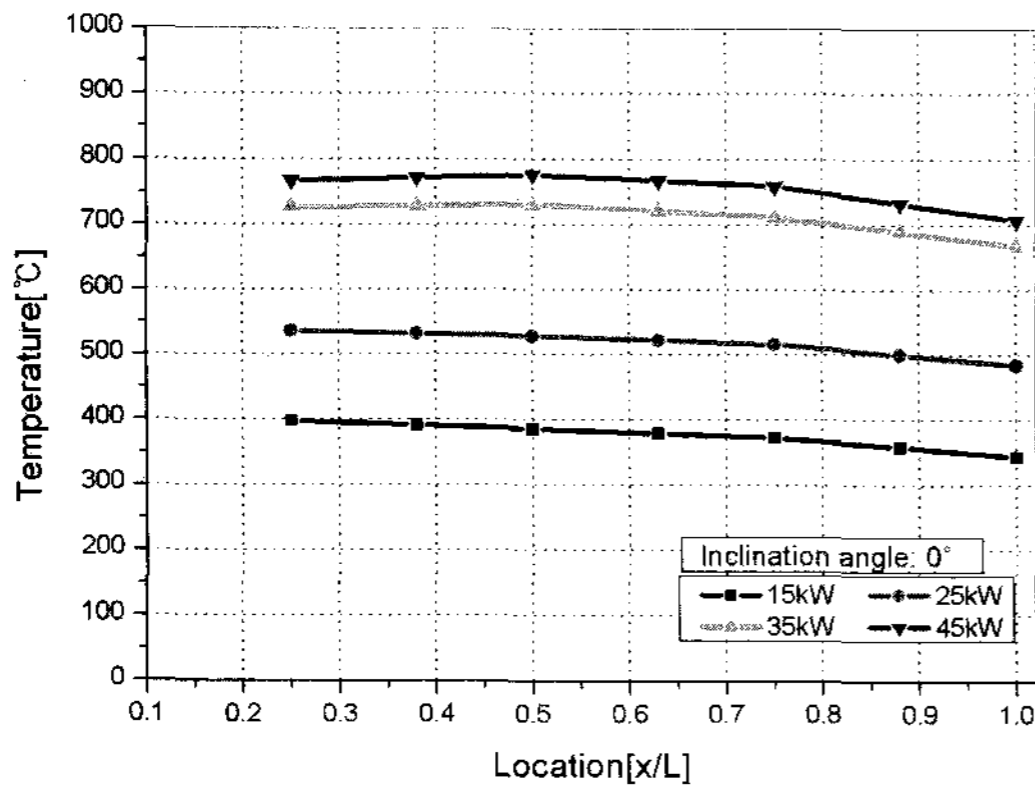


그림 7. 동공표면의 길이방향 온도분포(0도)

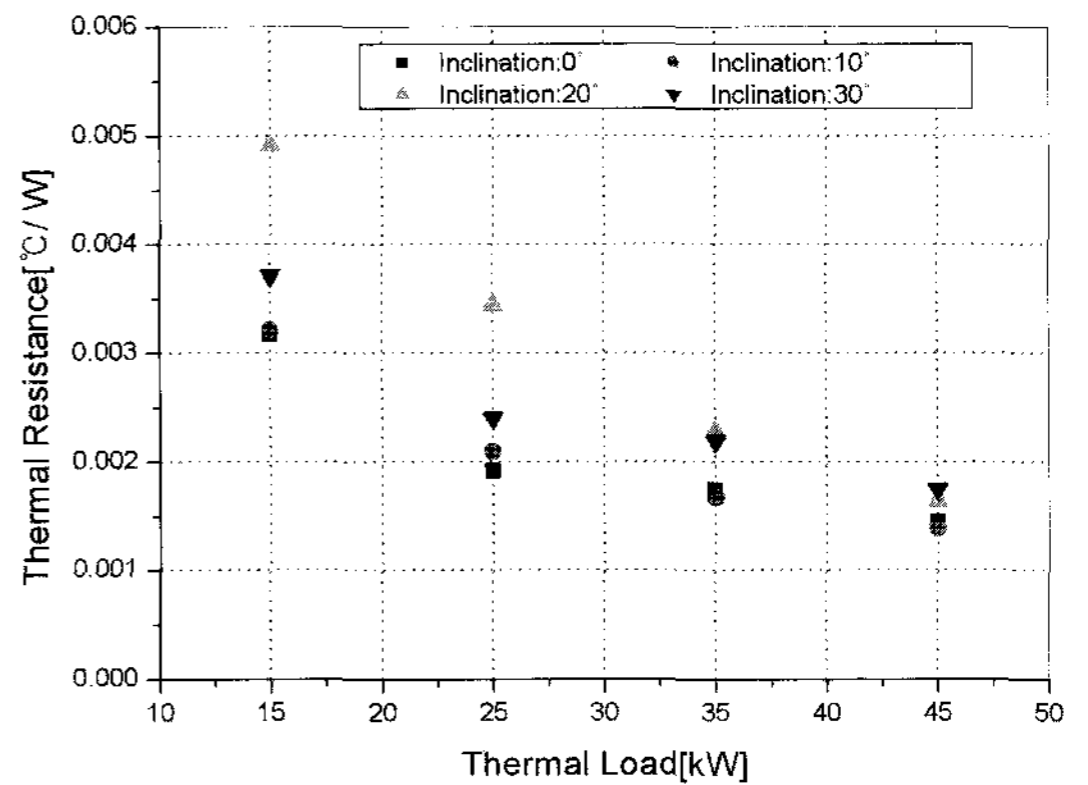


그림 10. 경사각에 따른 열저항 변화

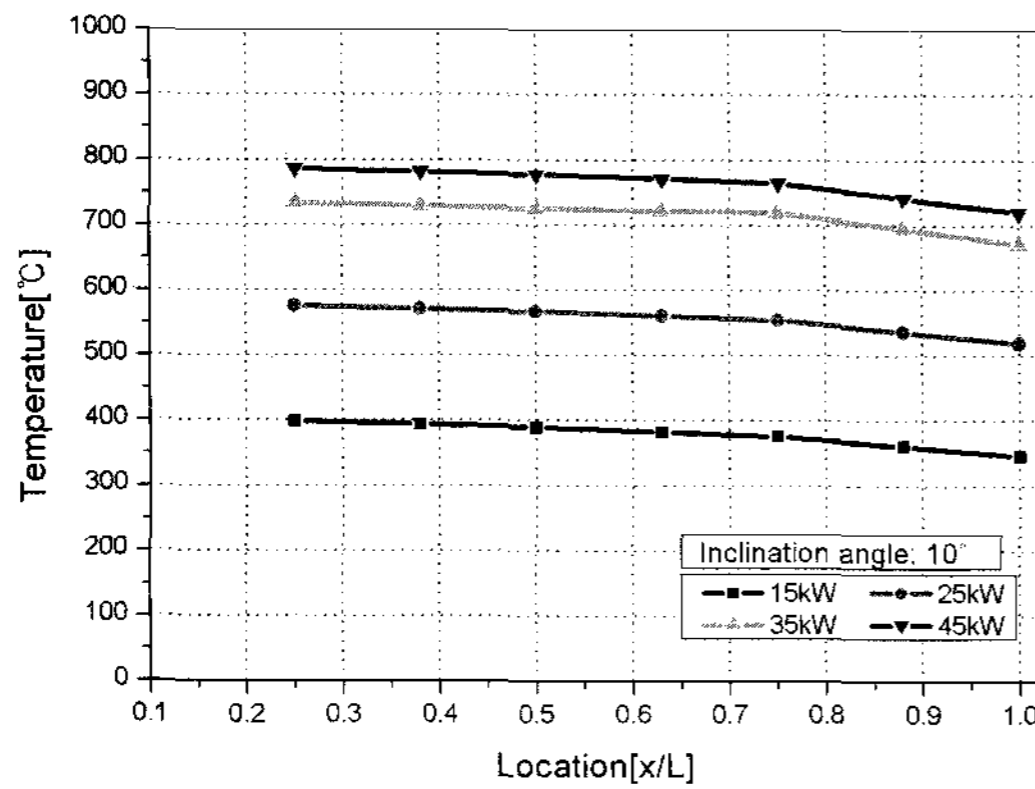


그림 8. 동공표면의 길이방향 온도분포(10도)

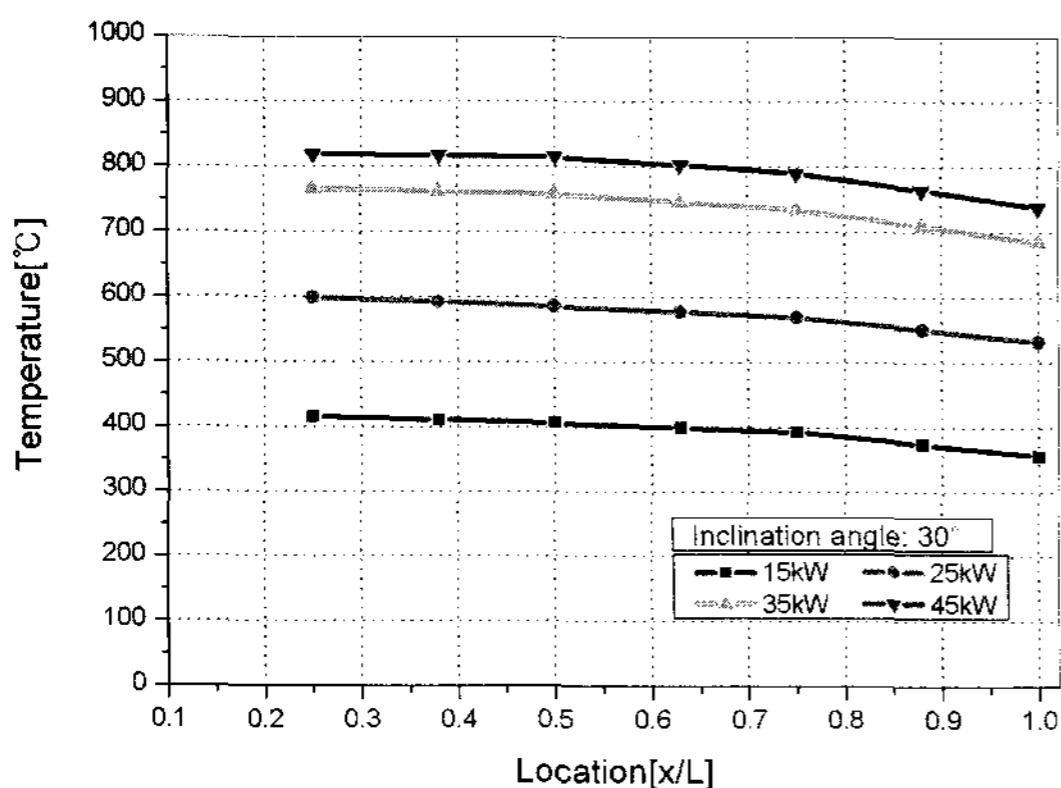


그림 9. 동공표면의 길이방향 온도분포(30도)

그림 10은 동공측에서 측정된 표면온도를 이용하여 계산한 열저항 값을 보여준다. 길이방향의 측정된 표면온도를 위치에 따라 증발부의 평균온도와 응축부 평균온도로 가정하였고 두 값의 차를 공급열부하로 나누어 계산되었다. 설치각 0°에서의 열저항은 0.00144~0.00317 °C/W로 나타나고 있으며 10°에서는 0.00138~0.0032 °C/W로 비슷한 경향을 보이고 30°에서는 0.00174~0.00370 °C/W로 계산되었는데 낮은 열공급에서는 설치각에 다른 분포를 보이지만 높은 열공급에서는 설치각에 따라 유사한 열저항이 나타났다.

그림 11과 그림 12는 열공급에 따라서 임계점에 도달된 표면온도와 용기 두께를 통한 전도열 저항을 고려하여 증발부와 응축부의 내면온도와 증기온도를 계산하였다. 그리고 그 값을 이용하여 증발부측과 응축부측의 평균 열전달계수를 계산하였다. 증발부측의 평균 열전달계수는 설치각과

열공급에 따라 각각 1345~6670 W/m²K, 1537~7922 W/m²K, 2432~16757 W/m²K로 증가하는 경향을 보이고 있으며 응축부측의 평균 열전달계수 또한 각각, 3622~11976 W/m²K, 3886~13104 W/m²K, 4458~13055 W/m²K로 나타났다. 설치각이 증가할 수록 증발부와 응축부의 평균 열전달계수는 증가하고 높은 열공급에서는 설치각에 대한 영향으로 인하여 설치각이 증가

하면 열전달계수가 큰폭으로 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

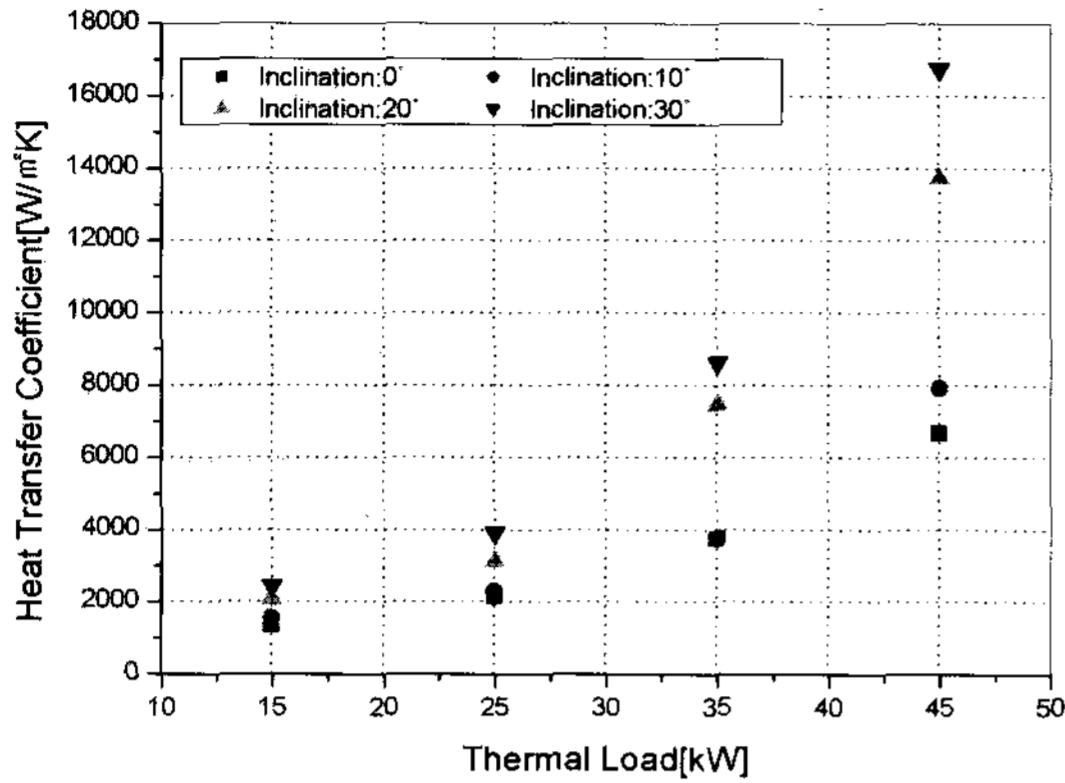


그림 11. 증발부의 평균 열전달계수

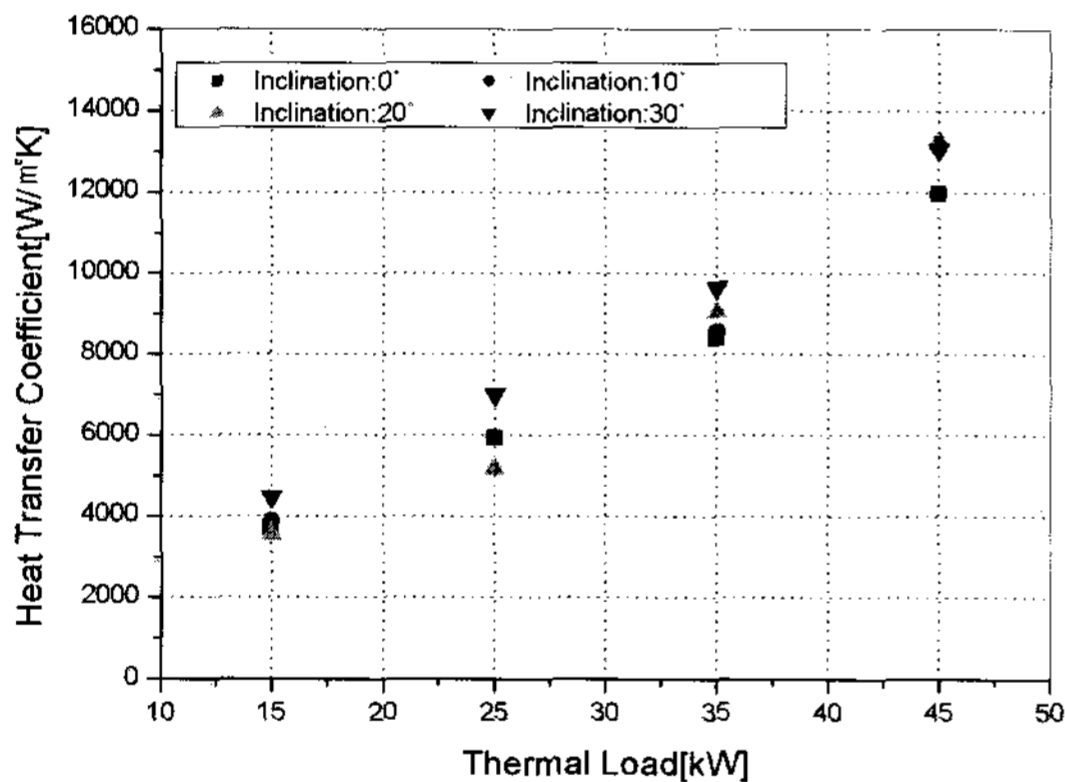


그림 12. 응축부의 평균 열전달계수

4. 결론

태양열과 가스 연소열을 복합적으로 적용하기 위한 복합 태양열 흡수기를 제작하고 기초적인 성능 특성을 파악하기 위한 목적으로 가스 연소열을 적용한 실험을 수행하였다. 초기 작동 특성과 열전달 특성을 규명하기 위한 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 공급 열부하를 증가시키면 동공의 표면온도가 점차 증가하는데 설치각이 증가할 수록 온도 증가가 높게 나타났다. 또한 설치각이 증가함으로

써 환상방향 4곳의 온도차가 증가하는 결과를 보였다. 열공급이 증가하면 길이방향에 따른 최대 온도차가 증가하는 경향을 보였는데 경사각 30도 인 경우는 더 큰 차이를 보였다.

2) 증발부와 응축부의 평균온도를 이용하여 계산된 열저항은 설치각 0°와 10°에서는 열공급에 관계없이 거의 유사한 경향이 나타났고 30°에서는 낮은 열공급에서 0°와 10°와 비교하여 증가하는 경향을 보였다. 그러나 열공급이 증가하면 설치각에 대한 영향이 거의 없었다.

3) 증발부측의 평균 열전달계수는 설치각과 열공급에 따라 각각 증가하는 경향을 보였는데 설치각도 30°에서는 높은 열공급에서는 급격하게 높아지는 현상을 보였다. 응축부측의 평균 열전달계수 또한 설치각이 증가할 수록 높아지는 결과가 나타났으며 설치각도가 작은 경우에는 증발부의 열전달계수와 비교하여 2배이상 높게 나타났다.

태양에너지의 활용효율을 극대화시키고 안정적으로 이용하기 위해서는 태양열과 복합열원을 동시에 이용할 수 있는 복합흡수기의 개발이 반드시 필요하다. 또한, 태양열 복합발전은 태양열의 여러 단점들을 극복하기 위한 태양열, 연소열, 기타 다른 열원을 복합적으로 이용함으로써 최대, 최적의 운전을 기대할 수 있다.

참고 문헌

1. 강명철 외, "태양열과 가스 연소열을 적용한 복합 태양열 흡수기의 열특성 연구", 신재생에너지, 2006, Vol. 2, No. 4, pp.33~38.
2. J. R. Hartenstine and P. M. Dussinger, "Development of a Solar and Gas-Fired Heat Pipe Receiver for the Cummins Power Generation 7.5kWe Dish/Stirling System", 29th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 1994, pp. 1935~1941.

3. D. Laing and Magnus Palsson, "Hybrid Dish/Stirling Systems: Combustor and Heat Pipe Receiver Development", Journal of Solar Energy Engineering, 2002, Vol. 124, pp. 176~181.
4. D. Laing and Reusch M., "Design and Test Results of First and Second Generation Hybrid Sodium Heat Pipe Receiver for Dish/Stirling System", Proceedings. of the International Solar Energy Conference, 1998, pp. 4.03~408.
5. James Moreno, et al., "Dish/Stirling Hybrid Heat Pipe Receiver Design and Test Results", 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 2002, pp. 556~564.
6. 박수용 외, "고온 유리 성형 공정을 위한 직육면체형 Sodium 히트파이프의 실험 연구", 대한기계학회논문집, 2002, Vol. 26, No. 11, pp. 1622~1629.