

태양열과 가스 연소열을 적용한 복합 태양열 흡수기의 열특성 연구

강명철*, 김진수, 강용혁, 윤환기, 유창균, 이상남

Thermal Characteristics of Hybrid Solar Receiver using a Solar and Combustion heating

Myeongcheol Kang, Jinsoo Kim, Yongheack Kang, Hwanki Yoon, Changkyun Yu, Sangnam Lee

Abstract The Dish/Stirling system with the Stirling engine is currently used to convert solar energy directly to electrical energy. Successful operation of dish/Stirling system is supported by hybrid system, which will allow continuous operation driven by solar and combustion heating. The hybrid Receiver has to be provided with an additional combustion system.

The heat pipe receiver and combustion system were manufactured and tested for thermal characteristics of receiver. Maximum temperature difference along the heat pipe surface is 200°C. Emission measurements showed low NOx values of 28 to 46 ppm and very high CO values of 18 to 201 ppm.

Key words Stirling System(스터링 시스템), Hybrid Solar Receiver(복합 태양열 흡수기), Thermal Characteristic(열특성), Combustion System(연소시스템)

* 한국에너지기술연구원 태양열수력연구센터

■E-mail : mckang21@kier.re.kr ■Tel : (042) 860-3743 ■Fax : (042) 860-3739

1. 서론

태양열을 이용한 발전을 행하기 위해서는 크게 세 가지의 핵심장치가 필요하다. 빛을 초점지역에 집광하는 반사경으로 이루어진 집광부와 모아진 빛을 흡수하는 흡수기, 그리고 흡수기에 모아진 열을 이용하여 전기를 만드는 발전부로 구성되어 있다.

집광을 통한 성공적인 태양열 발전을 위해서는 흡수기의 설

계가 매우 중요하다. 흡수기는 집광된 빛의 플럭스 분포, 형상, 크기 등을 고려하여 설계되어 지고 또한 흡수기에 영향을 미치는 요소들과 성능 예측을 설계에 반영하게 된다. 발전부를 포함한 흡수기는 설계가 어려울 뿐만 아니라 핵심요소이므로 기술이전이 불가능하다. 그러므로 태양열 발전의 국산화를 위해서는 반드시 해결해야 할 기술이다.

세계적으로 상용화된 독립형 태양열 발전에는 스텔링엔진을 사용한 발전방식이 적용되고 있다. 상용화된 스텔링엔진은 흡

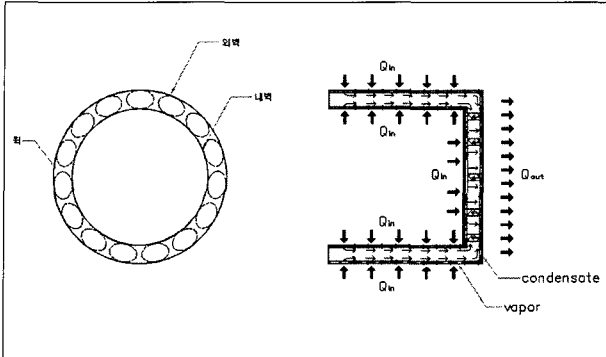


Fig. 1 벽의 설치 구조와 작동유체의 유동

수부와 발전부가 하나의 모듈로 이루어져 태양빛을 흡수부에 모으면 바로 발전시스템이 작동하여 발전을 행하게 된다. 그러나 태양열 발전은 에너지 밀도가 낮은 태양에너지를 이용함으로써 시간과 지역적인 영향에 좌우됨으로 발전의 경제성을 향상시키기 위한 연구들이 진행되고 있다. 그중 태양열과 별도의 열원을 사용하여 년중 발전을 행할 수 있는 복합시스템을 구성하는 연구가 시도되고 있다. 복합열원으로는 NG(Natural Gas)나 미활용에너지원인 LFG(Landfilled Gas)도 고려되고 있다.

태양열-가스 연소열을 스테링엔진의 열원으로 사용할 수 있는 흡수기에 대한 연구로는 대부분이 히트파이프를 채용하고 있다. D.Laing[1] 등은 스테링 엔진에 적용하기 위한 복합흡수기로 태양열과 가스 연소시스템을 통합한 하이브리드 시스템을 개발하여 실증실험을 수행하였다.

본 연구에서는 태양열과 가스연소열을 이용할 수 있는 히트파이프를 채용한 동공형태의 하이브리드 흡수기를 제작하였고 열전달 특성과 흡수기의 위치각도 변화에 대한 작동 특성을 살펴 보았다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 히트파이프

히트파이프의 최대 수송 열부하는 35kW로 연소 작동온도 800℃로 설계하였다.

히트파이프는 작동온도의 범위에 따라 다양한 작동유체를 선택하여 사용할 수 있는데 본 연구에서는 고온용으로 사용할

수 있을 뿐만 아니라 저렴하고 안전하며 열물성치면에서 우수한 조건을 갖는 나트륨을 사용하였다.

히트파이프 용기는 내측 외경(개구부 직경) 216mm, 외측 외경 315mm의 환상형태로 길이는 320mm이다. 용기의 재질은 태양열과 연소시스템 적용을 고려하여 고온용인 스테인리스 스틸 310을 사용하였다.

작동유체의 귀환을 위한 모세관 구조물로는 스크린 메쉬를 사용하여 용기 내부의 내,외면, 바닥면, 내부구조물의 벽면에 설치하였고 메쉬번호 50(2겹), 80(1겹)을 사용한 복합 외의 형태로 제작하였다. 그리고 진공으로 인한 용기의 외벽을 지지할 수 있는 격자 구조물을 삽입하였다.

온도 측정을 위해서 K-type 열전대를 용기의 외부면에 원주방향으로 12개, 동공측 13개를 부착하였다. Fig. 1은 히트파이프 외의 구조 및 작동유체의 유동형태를 보여주는 그림이다.

2.2 연소시스템

연소기용 버너는 Max. 58kW 용량으로 버너하우징, 에어 공급용 송풍기, 점화트랜스 장치, 공기량 제어모터, 공기압 감지 압력변환 장치, 가스압력 감지장치, 가스 차단 안전장치 등으로 구성되었다. 연소기는 히트파이프 외부면에 장착되어 연소 가스가 환상면의 유동로를 돌아서 열을 공급하고 밖으로 배출되도록 구성하였다. 연소기의 제어는 설정된 온도에 따라 비례 제어 하도록 설치하였고 버너헤드측에 공기압 감지포트를 부착하여 공기량의 변화에 따라 가스압력을 변화시킴으로써 가스량을 조절하여 연소량이 변화되도록 설치하였다.

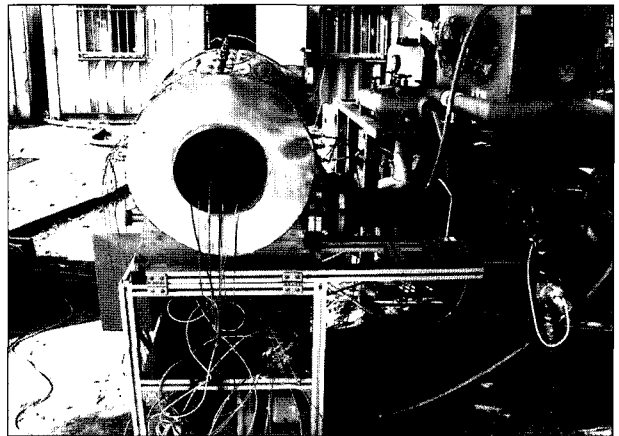


Fig. 2 연소시스템이 적용된 복합 흡수기

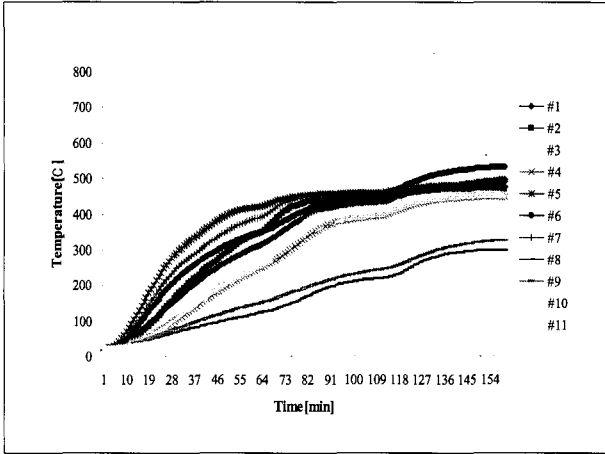


Fig. 3 경사각 10°인 경우 온도 변화

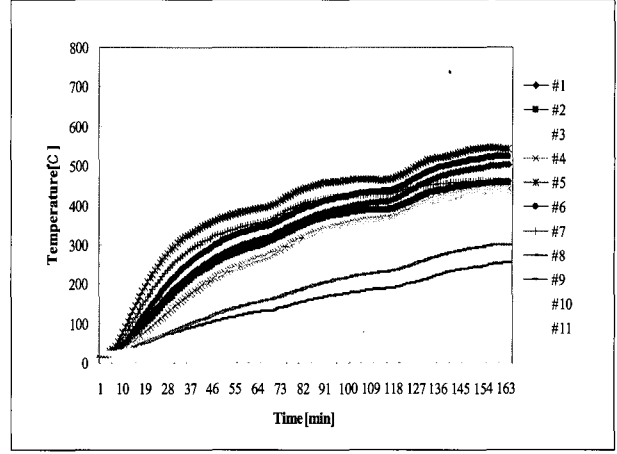


Fig. 5 경사각 30°인 경우 온도 변화

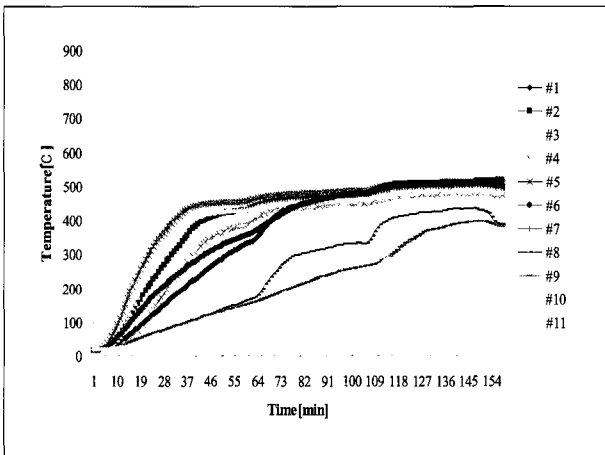


Fig. 4 경사각 20°인 경우 온도 변화

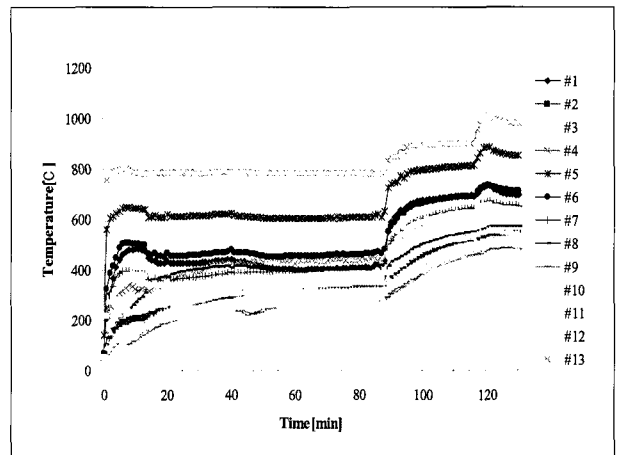


Fig. 6 경사각 0°인 경우 표면 온도 변화

2.2 실험방법

Fig. 2는 연소시스템을 설치한 흡수기의 실험 장치를 보여주는 그림으로 히트파이프를 채용한 흡수기, 연소시스템, 냉각시스템, 자료획득 장치로 구성되어 있다.

실험은 버너의 초기온도를 설정하여 연소되는 발열량을 제어하고 일정한 온도의 연소열이 흡수기 외부면에 공급되도록 하였다. 흡수기의 각도와 냉각유량을 변화시키면서 연소가스가 유동로를 통하여 흐르는 히트파이프의 외부 표면 온도와 동공 내부 온도를 측정하여 각 표면의 온도 변화를 관찰하였다. 그리고 연소 배가스의 조성을 측정하여 주요한 오염성분을 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도분포

Fig. 3에서 Fig. 5까지는 동공내부로 연소가스 연소열을 공급했을 경우 흡수기의 각도를 10°, 20°, 30° 변화에 따른 외부 표면의 온도 변화를 나타내는 그림이다. 공급되는 연소열은 세단계로 나누어 온도에 의해 조절하였다.

Fig. 6은 경사각이 0°인 경우 공급 열부하에 따른 표면의 온도 변화를 보여주는 그림이다. 처음 시작후 약 60분이 경과하면서 정상적인 작동이 진행되며 원주방향 위치에 따라 증발부측에서는 80~100°C의 온도차가 발생하고 있으며 응축부측에서는 150~200°C의 온도차가 나타나고 있다. 이는 연소가스에 의

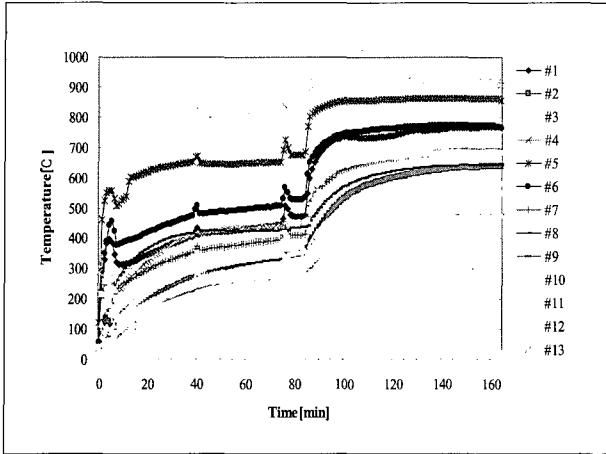


Fig. 7 경사각 10°인 경우 표면 온도 변화

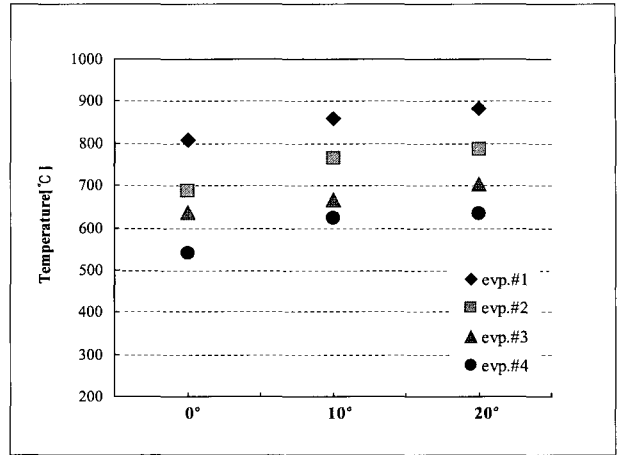


Fig. 10 공급열부하 20kW인 경우 증발부

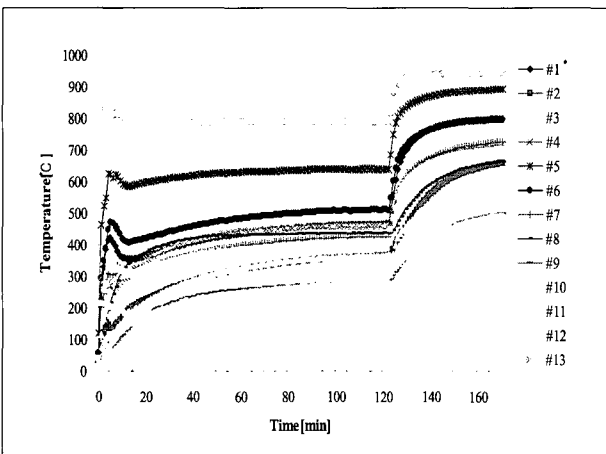


Fig. 8 경사각 20°인 경우 표면 온도 변화

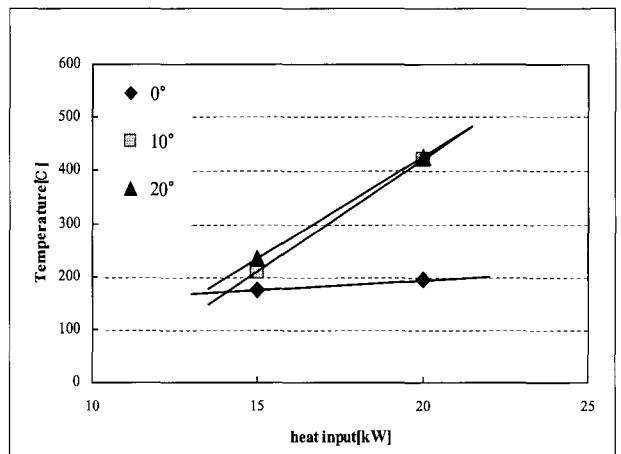


Fig. 11 공급열부하에 따른 응축부 온도

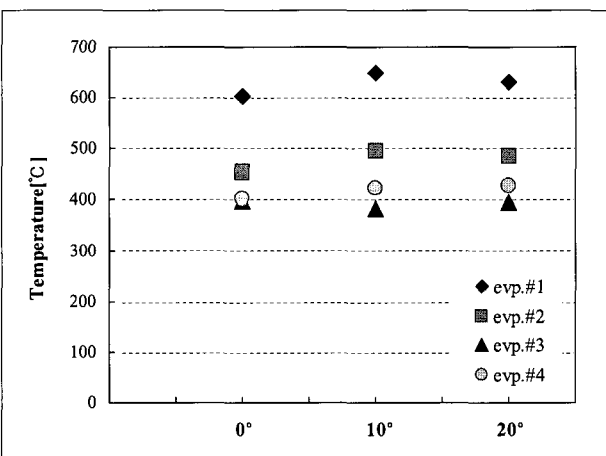


Fig. 9 공급열부하 15kW인 경우 증발부 온도

해 열을 공급하므로 표면에 균일한 열을 공급하지 못하는 결과이다.

Fig. 7은 경사각이 10°인 경우에 공급열부하의 증가에 따른 표면의 온도변화를 보여주는 그림이다. 공급열량을 증가시키면 원주방향의 온도차이가 더욱 커지는 경향을 보이고 있다.

Fig. 8은 경사각 20°로 설치한 경우 열부하 증가에 따른 표면온도 변화를 보여주는 그림이다. 경사각이 증가할수록 표면온도는 증가하는 것을 볼 수 있다.

3.2 증발부와 응축부 온도변화

흡수기의 경사각을 0°에서 20°로 변화시키면서 흡수기 외부면으로 공급열부하에 따른 대표적인 증발부측 온도변화를 살

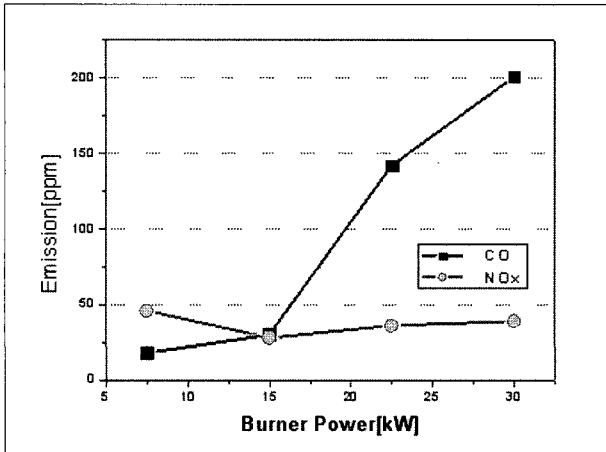


Fig. 12 공급열부하에 따른 배가스 측정결과

펴 보았다. Fig. 9는 공급 열부하로 15kW를 공급한 경우 증발부의 원주 방향 4곳의 온도분포를 보여주는 그림이다. 온도는 거의 일정한 차이를 보여주고 있으며 흡수기의 하단면의 온도가 다른 곳의 비해 높게 나타나고 있다.

Fig. 10은 공급 열부하로 20kW를 공급한 경우 증발부의 원주 방향 4곳의 온도분포를 보여주는 그림이다. 그림에서 보는 것처럼 각도가 증가할 수록 증발부의 온도도 증가하고 있다.

Fig. 11은 각도에 따른 응축부의 온도변화를 보여주는데 0°인 경우는 온도변화가 미미하지만 각도가 증가할수록 응축부의 온도도 급격하게 상승하고 있다.

Fig. 12는 연소기 배가스의 오염성분을 측정된 결과 그림이다. 공급 열부하가 증가함에 따라 NOx의 변화는 거의 없지만 CO의 변화는 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있었다.

4. 결론

태양열과 가스 연소열을 복합적으로 이용할 수 있는 히트파이프를 채용한 흡수기와 연소시스템을 제작하였으며 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 공급 열부하를 증가하면서 표면온도의 변화를 보면 원주 방향으로 온도차이가 발생하고 열부하의 증가에 따라 차이가 커지는 결과를 얻었다. 각도를 증가시키에 따라서는 온도차이는 유사하지만 표면온도는 증가하였다.

2) 각도를 0°에서 20°로 변화시키고 열부하를 증가시키면 증발부의 온도는 증가하는 경향이 나타났고 흡수기의 하단부

의 온도가 상대적으로 높은 경향을 보였다.

3) 연소기 배가스의 오염성분을 측정된 결과 NOx는 입력에 따라 변화가 거의 없지만 CO성분은 열부하 증가에 따라 18ppm에서 201ppm으로 급격하게 증가하는 경향을 보였다.

복합 태양열 흡수기는 태양열과 다른 열원을 사용하여 경제성을 향상시킬 수 있다. 또한 미활용 에너지원인 LFG를 이용하여 전력을 생산하는 발전기술을 태양열을 이용한 발전기술과 연계하여 에너지 이용효율을 극대화시킬 수 있는 장점이 있다. 가스 연소열 및 집광기에 의해 모아진 태양열을 복합적으로 사용할 수 있는 복합 흡수기를 외연기관인 스티어링 엔진과 결합하여 복합발전을 행함으로써 시스템을 비교적 단순하게 구성할 수 있고 향후 소규모 복합발전시스템에 적합하여 지속적인 연구개발이 필요하다.

References

- (1) D. Laing and Magnus Palsson, 2002, "Hybrid Dish/Stirling Systems: Combustor and Heat Pipe Receiver Development", J. of Solar Energy Engineering, Vol. 124, pp. 176~181.
- (2) 강 명 철외, 2006, "태양열 Hybrid Heat Pipe 흡수기의 설계와 제조 특성에 관한 연구, 한국태양에너지 춘계학술대회 논문집, pp. 170~175.
- (3) James B. Moreno, et al., 2001, "Recent Progress in Heat-Pipe Solar Receivers", Proc. of 36th Intersociety Energy Conversion Engineering Conf., pp. 565~572.
- (4) J. R. Hartenstine and P. M. Dussinger, 1994, "Development of a Solar and Gas-Fired Heat Pipe Receiver for the Cummins Power Generation 7.5kW Dish/Stirling System", Proc. of 29th IECEC, pp. 1935~1941.
- (5) P. M. Dussinger, 1991, "Design, Fabrication, and Test of a Heat Pipe Receiver for the Cummins Power Generation 5kW Dish/Stirling System", Proc. of 26th IECEC, pp. 171~176.
- (6) D. Laing and O. Goebel, 1991, "Sodium Heat Pipe Solar Receiver for a SPS V-160 Stirling Engine: Development, Laboratory and On-Sun Test Results",

Proc. of 26th IECEC, pp. 363~369.

(7) D. Laing and Reusch M., 1998, "Design and Test Results of First and Second Generation Hybrid Sodium Heat Pipe Receiver for Dish/Stirling System", Proc. of the International Solar Energy Conf., pp. 403~408.

(8) James Moreno, et al., 2002, "Dish/Stirling Hybrid Heat Receiver Design and Test Results", Proc. of 37th IECEC, pp. 556~564.

강명철



1998년 제주대학교 에너지공학과 공학사
2000년 제주대학교 에너지공학과 공학석사
2006년 충남대학교 기계설계공학과 박사과정 수료

현재 : 충남대학교 기계설계공학과 박사과정
(E-mail ; mckang21@kier.re.kr)

김진수



1993년 연세대학교 화학공학과 공학사
1995년 한국과학기술원 화학공학과 공학석사
1999년 한국과학기술원 화학공학과 공학박사

현재 : 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부 선임연구원
(E-mail ; jnskim@kier.re.kr)

강용혁



1981년 인하대학교 기계공학과 공학사
1984년 인하대학교 대학원 기계공학과 공학석사
1995년 인하대학교 대학원 기계공학과 공학박사

현재 : 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부 책임연구원
(E-mail ; yhkang@kier.re.kr)

윤환기



1994년 한남대학교 전자공학과 공학석사

현재 : 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부 책임연구원
(E-mail ; hkyoon@kier.re.kr)

유창균



1988년 한밭대학교 건축공학과 공학사
1991년 청주대학교 건축공학과 공학석사

현재 : 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부 책임연구원
(E-mail ; ckyu@kier.re.kr)

이상남



1988년 대전산업대학교 기계공학과 공학사
1996년 충남대학교 기계공학과 공학석사

현재 : 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부 선임연구원
(E-mail ; snlee@kier.re.kr)