

# 가정용 스티어링엔진 열병합발전시스템 운전특성에 관한 연구

최재준, 박병식, 정대현

한국에너지기술연구원

## The Operation Characteristics of Domestic Stirling Engine Cogeneration System

Jaejoon Choi, Byungsik Park, Daeheon Jung

*Korea Institute of Energy Research*

**ABSTRACT:** The unpredicted worldwide oil price makes the energy efficiency technology be more importance than any other period. The small cogeneration system is one of the most representative technology among the energy efficiency technologies, and the Stirling engine cogeneration system has been concerned and investigated due to the preferable characteristics - low toxic emission, low noise and vibration level, and the various form of fuel. A tiny, 1kW of electrical output, gas fueled Stirling engine cogeneration system was investigated. The electrical efficiency and thermal efficiency of the system were measured. The experiment was executed at an independent Stirling engine mode, independent secondary burner mode, and the combined mode. Part load characteristics of the Stirling engine cogeneration system were investigated also. With the efficiency characteristics, the O<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emission characteristics were measured.

**Key words:** Cogeneration system(열병합발전 시스템), 스티어링 엔진(Stirling Engine), 시스템 성능평가(System Evaluation)

### 1. 서 론

2008년 발생한 전세계적인 원유 가격의 폭등으로 인한 불안 뿐 만 아니라 높아져가고 있는 온실가스 배출에 대한 인식 때문에 상용화하기에 가격적으로나 시기적으로 미흡한 신재생에너지보다 적은 투자액으로 확실하고 빠른 효과를 얻을 수 있는 에너지효율향상 기술이 주목을 받고 있으며, 이러한 에너지효율향상기술 중 소형 열병합발전시스템의 유용성에는 많은 사람들이 공감, 동의하고 있으며 이러한 기대 속에서 소형열병합발전시스템의 개발과 도입이 전세계적으로 확산되고 있는 추세이다. 소형 열병합발전시스템은 기존의 화력발전과 열전용 보일러에서 이원화하여 생산하던 전기·열에너지 공급을 일원화하여

생산해 내는 시스템으로서 전체적으로 30% 정도의 에너지를 절약할 수 있는 현실적으로 가장 뛰어난 에너지효율기기 중 하나이다.

열병합발전시스템 보급·확산의 기초를 타고 가정 부문에서도 가정의 난방과 급탕을 담당하는 가정용 보일러를 열병합발전시스템으로 대체하려는 노력이 선진국을 중심으로 하여 일어나고 있다. 일본의 Honda에서는 전기출력 1kW의 가스엔진 열병합발전시스템인 'EcoWill' 제품을 출시하여 도시가스 회사를 중심으로 판매하고 있으며, 미국과 유럽 등지에도 수출하여 가정용 열병합발전시스템의 보급에 앞장서고 있다. 영국의 Microgen과 뉴질랜드의 WhisperTech에서는 전기출력 1kW급의 스티어링엔진 열병합발전시스템을 출시하여 상용화 진행중에 있다. 외연기관인 스

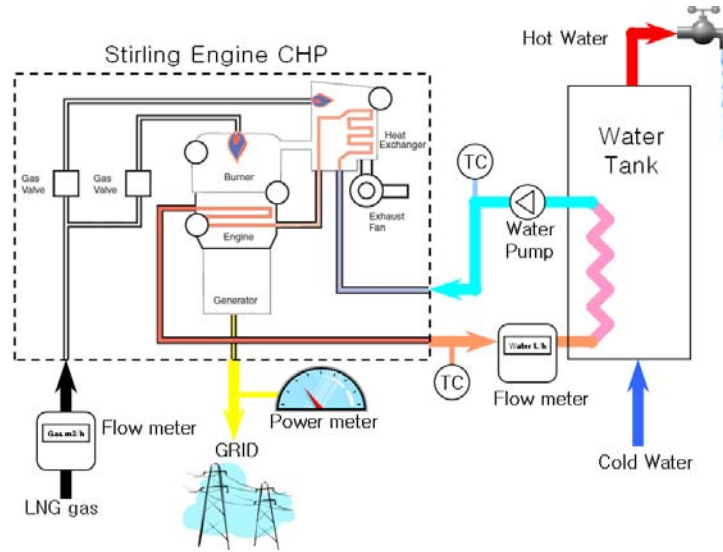


Fig. 1 Schematic Diagram for System Evaluation of Stirling Engine CHP

터링엔진을 원동기로 하는 열병합발전시스템은 가스엔진 열병합발전시스템에 비하여 진동과 공해배출물 측면에서 유리하여 차세대 원동기로서 각광을 받고 있다. 본 연구에서는 상용화 준비중인 스텔링엔진 열병합발전시스템 중 하나를 실험실에 구성하고, 전기 특성과 열성능을 측정하여 스텔링엔진 열병합발전시스템의 운전특성과 효율 특성을 조사해 보았다.

## 2 실험방법

Fig. 1은 스텔링엔진 열병합발전시스템의 성능 특성을 실험을 위한 장치의 개략도를 보여주고 있다. 스텔링엔진 열병합발전시스템에서 발생하는 전기는 전력계통에 연결되어 송전되거나 시스템이 전력을 필요로 할 때에는 수전하는 형태로 되어 있다. 연료는 도시가스를 사용하였으며, 전력 계통에 연결되기 전단에서 전력분석계를 연결하여 계통으로 들어가는 전력 또는 소비되는 전

력을 측정하였고, 온수는 외부의 펌프를 이용하여 온수 저장 탱크에 열전달을 하여 열소비를 하는 형태로 하여 실험을 진행하였다.

본 실험에 사용된 스텔링엔진 열병합발전시스템은 열에너지가 많이 필요하지 않을 경우에 이용되는 스텔링엔진 단독운전모드, 열에너지만 필요할 때 이용되는 보조보일러 단독운전모드, 최대 열에너지가 필요하거나 전기에너지와 열에너지가 동시에 필요한 경우 이용되는 스텔링엔진과 보조보일러를 동시에 사용하는 병행운전 모드의 3가지 모드로 운전될 수 있어 3가지 모드 각각에 대한 실험을 모두 수행하여 각각의 조건에 따른 출력치와 효율값을 측정하고 계산하였다. 제조사에서는 전기출력 1kW로 운전하는 것만을 권장하고 있지만, 제조사의 도움을 받아 전기출력 1kW 뿐 만 아니라 전기출력 800W, 600W 때의 특성도 실험하였다. Table 1은 실험 조건을 정리하여 나타내 주고 있다. 또한, 각 조건에 대하여 배기가스 배출 특성을 파악하기 위하여 배기가스 측정장치를 이용하여 각 조건에 대한 배출가스를 측정하여 기록하였다.

Table 1 Experimental Conditions

	Stirling Engine	Aux. Burner	Stirling Engine + Burner
1000W	O	O	O
800W	O		O
600W	O		O

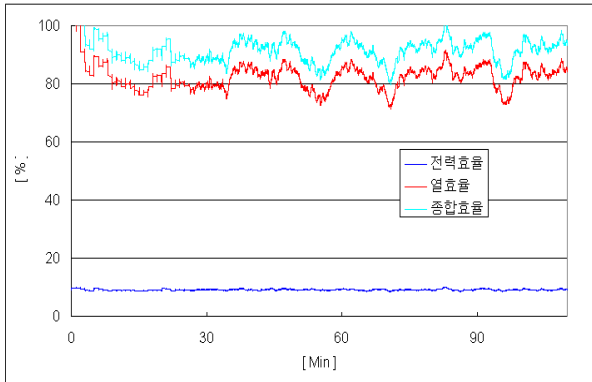


Fig. 2 Efficiency for Independent Stirling Engine Mode(1kW)

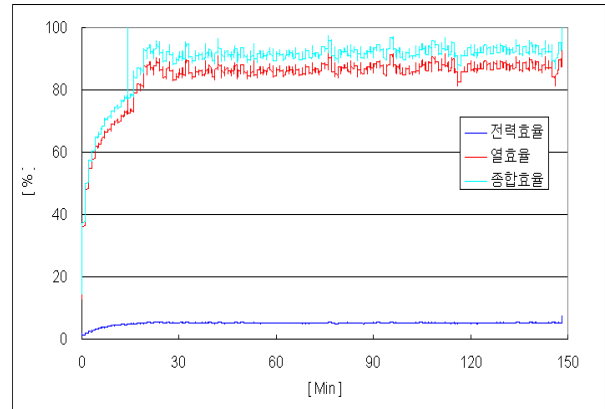


Fig. 3 Efficiency for Combined CHP Mode(1kW)

### 3 실험결과

#### 3.1 1kW 부하시 성능특성

Fig. 2 는 스텔링엔진만 전기출력을 1kW로 설정하고 가동시켰을 때의 효율 그래프를 나타내어 준다. 스텔링엔진만 가동하였을 때의 평균적인 발전효율은 LHV(Lower Heating Value) 기준으로 9.1%를 나타내고 있어 전기효율이 높지 않음을 나타내어 주고 있다. 열효율은 시스템을 순환하는 물의 온도와도 관련이 있는데, 이 경우에는 온수 입구온도가 약 50°C였으며 온수 출구온도가 약 68°C에서 일반적인 가정에서 이용하는 온수 온도와 비슷하게 실험이 진행되었다. 열출력은 9.0kW, 7,700kcal/h 수준이었으며 이때의 열효율은 82.2%이었고, 평균 종합효율은 91.3%로서 전기보다 열이 9배 많이 생산되는 것으로 나타났다.

Fig. 3 은 스텔링엔진과 보조보일러를 동시에 가동하였을 때의 효율 그래프이다. 전체적인 시스템의 발전효율은 1kW 출력을 발생시키는 데에 5.2%이고, 열출력은 16.7kW, 14,300kcal/h 수준이며 열효율은 86.8%, 종합효율은 92.0% 수준으로 스텔링엔진 단독으로 운전되었을 때보다 열효율과 종합효율이 약간씩 더 증가하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4 는 보조보일러 단독으로 운전될 때의 효율을 나타내어 준다. 보조보일러를 단독으로 운전하면 열효율과 종합효율이 동일하게 되고, 열효율은 95.4%로 측정되었다. 이렇게 보조보일러 단독 운전시 열효율이 높은 스텔링엔진이 운

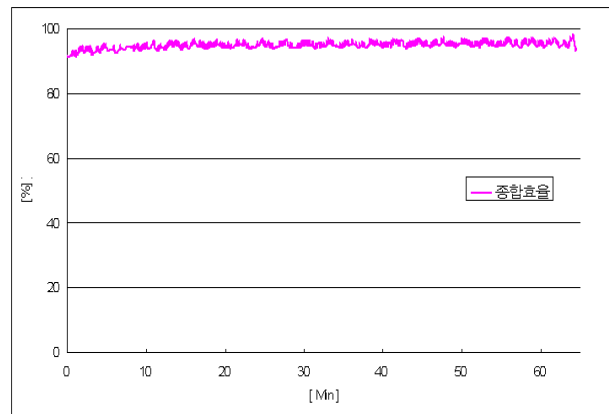


Fig. 4 Efficiency for Independent Secondary Burner Mode(1kW)

전될 때에는 엔진 측에서의 열손실 때문에 보조보일러의 가동비율이 높을수록 효율이 높은 것으로 추정된다.

#### 3.2 800W 부하시 성능특성

Figs. 5, 6은 스텔링엔진 출력을 800W로 조정 후 수행한 성능시험 그래프이다. Fig. 5는 스텔링엔진 단독으로 운전한 그래프를 나타내며, Fig. 6은 스텔링엔진과 보조보일러를 동시에 가동한 그래프를 나타내고 있다. 스텔링엔진 단독 운전시의 발전효율은 7.6%, 열효율은 86.6%로서 종합효율은 94.4%였으며, 스텔링엔진과 보조보일러를 동시에 운전하였을 때의 발전효율은 4.3%, 열효율은 89.5%, 종합효율은 93.8%로 나타났다.

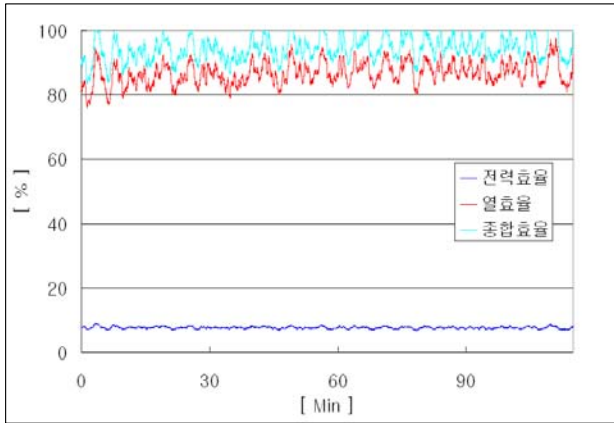


Fig. 5 Efficiency for Independent Stirling Engine Mode(800W)

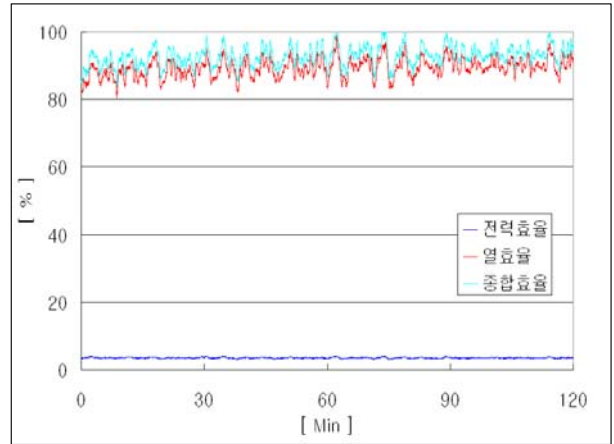


Fig. 8 Efficiency for Combined CHP Mode(600W)

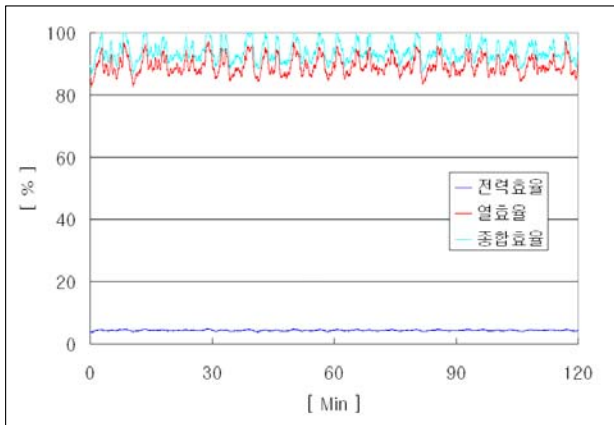


Fig. 6 Efficiency for Combined CHP Mode(800W)

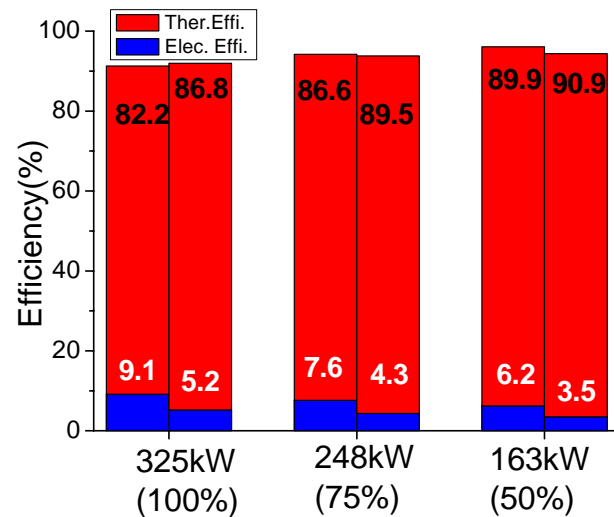


Fig. 9 Efficiency for Various Load Condition

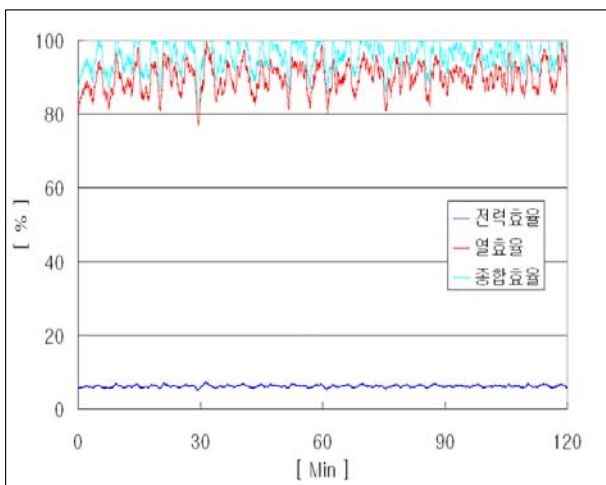


Fig. 7 Efficiency for Independent Stirling Engine Mode(600W)

### 3.3 600W 부하시 성능특성

Figs. 7, 8은 스텔링엔진 출력을 600W로 조정 한 후 수행한 성능시험 그래프이다. Fig. 7은 스텔링엔진 단독으로 운전한 그래프를 나타내며, Fig. 8은 스텔링엔진과 보조보일러를 동시에 가동한 그래프를 나타내고 있다. 스텔링엔진 단독 운전시의 발전효율은 6.2%, 열효율은 89.9%로서 종합효율은 96.1%였으며, 스텔링엔진과 보조보일러를 동시에 운전하였을 때의 발전효율은 3.5%, 열효율은 90.9%, 종합효율은 94.5%로 나타났다.

Fig. 9는 부하에 따른 스텔링엔진 단독운전 모드와 스텔링엔진과 보조보일러 동시운전모드의 전기·열효율을 비교한 그래프이다. 발전효율은

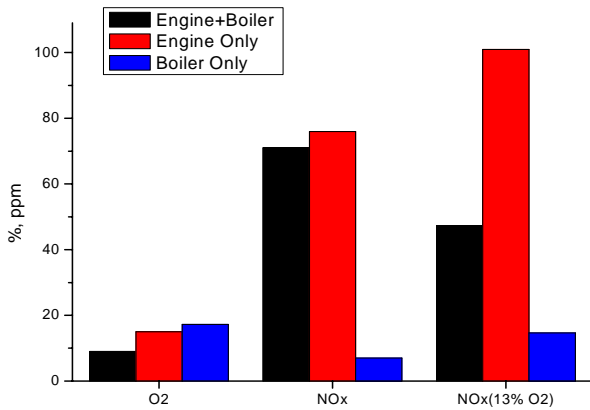


Fig. 10 O<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emission

전기부하가 작을수록 낮아지는 경향을 확인할 수 있으며, 열효율은 전기부하가 작을수록 높아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 가스엔진 열병합발전시스템에서의 발전효율과 열효율의 상관관계<sup>3)</sup>와 동일한 경향을 나타낸다.

### 3.4 스텔링엔진 열병합발전시스템의 배기특성

스텔링엔진 열병합발전시스템 가동시 배출되는 NO<sub>x</sub>와 산소량을 측정하였다(Fig. 10 참조). 스텔링엔진과 보조보일러를 동시에 가동하였을 때의 산소배출량은 9%, NO<sub>x</sub>는 71ppm(13% O<sub>2</sub> 기준 47.3ppm), 스텔링엔진만 가동하였을 때의 배기가스 중 산소농도는 15%, NO<sub>x</sub>는 76ppm(13% O<sub>2</sub> 기준 101ppm), 보조보일러만 가동하였을 경우 산소농도는 17.2%, NO<sub>x</sub> 배출량은 7ppm(13% O<sub>2</sub> 기준 14.7ppm)로 측정되었다. 이는 실험에서 사용된 스텔링엔진 열병합발전시스템이 스텔링엔진과 보조보일러를 함께 가동할 때 최대의 효율과 최적의 배기가스 조건이 유지되도록 설계되었다는 것을 의미하나, 국내 열병합발전시스템의 NO<sub>x</sub> 배출 기준으로 보면 NO<sub>x</sub> 배출이 다소 많은 것을 알 수 있다. 본 시스템을 제작한 스텔링엔진 열병합발전시스템 제조회사에서는 본 제품보다 NO<sub>x</sub> 배출을 줄이기 위하여 더 많은 연구와 시제품을 제작했다고 한다.

Fig. 11은 부하에 따른 NO<sub>x</sub> 배출량(13% O<sub>2</sub> 기준)을 비교해 놓은 그래프를 보여준다. 모든 부하조건에서 스텔링엔진 단독으로 운전시보다 스텔링엔진과 보일러 병행운전시 질소산화물 배출이 적은 것을 확인할 수 있으며, 부하가 작아질

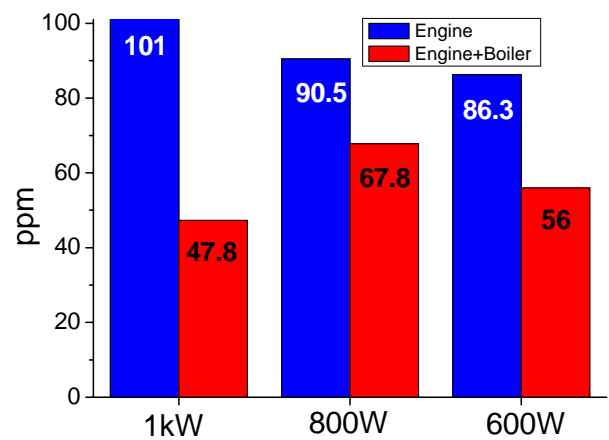


Fig. 11 NO<sub>x</sub> Emission Level at Various Condition

수록 스텔링엔진에서 배출되는 NO<sub>x</sub> 양은 적어지나, 보조보일러와 동시에 운전할 시에는 1kW 부하일 때가 가장 NO<sub>x</sub> 양이 적은 것을 알 수 있다. 이것은 제조사가 본 스텔링엔진이 1kW 부하에서 운전되도록 설정해 놓아서 1kW 부하시 최소 NO<sub>x</sub>가 발생되도록 최적화시켜 놓았기 때문이라고 유추할 수 있다.

## 4 결론

- 1kW급 스텔링엔진 열병합발전시스템의 실험장치를 구성하고 성능시험을 수행하였다.
- 스텔링엔진 열병합발전시스템 실험은 스텔링엔진 단독운전, 보조보일러 단독운전, 병행운전의 3가지 모드와 발전효율 1kW, 800W, 600W의 조건을 조합하여 총 7가지 조건으로 실험을 수행하였다.
- 스텔링엔진 열병합발전시스템의 전기부하가 높을수록 발전효율이 높고, 열효율이 낮은 것을 확인할 수 있었다.
- 유해배기배출물로서 NO<sub>x</sub> 배출량을 측정하였고, 1kW 발전시 스텔링엔진과 보조보일러 병행 운전시 13% O<sub>2</sub> 기준으로 47.3ppm의 NO<sub>x</sub>가 배출되는 것을 확인하였다. 발전량이 작아질수록 스텔링엔진에서 배출되는 NO<sub>x</sub>의 양은 적어졌지만, 병행운전모드에서는 1kW 부하시의 NO<sub>x</sub> 배출량이 가장 적었다.

## 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 기관고유사업으로 지원받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 이영수, 이기우, “스터링 엔진의 연료 다양화에 관한 연구”, 한국에너지기술연구원, (1994)
2. 최재준, 박병식, 정대현, 임용훈, 최영호, 송대섭, “가정용 스팀엔진 열병합발전시스템 성능특성에 관한 연구”, 한국에너지공학회 2009년도 춘계 학술발표회 논문집, (2009)
3. 박화춘, 최재준, “300kW급 소형 엔진 열병합발전시스템의 평가기술 개발 및 실증시험”, 대한설비공학회 2007년도 동계학술발표대회 논문집
4. <http://www.whispergen.com>