

# 300kW급 가스엔진 열병합발전시스템 성능평가 및 실증

최 재 준, 박 화 춘

한국에너지기술연구원

## The Experimental Evaluation and Verification of a 300kW Small Engine Cogeneration System

Jaejoon Choi, Hwa-Choon Park

Korea Institute of Energy Research

**ABSTRACT:** The importance of the evaluation and verification of small-size cogeneration system has been emphasized because there is no KS-code related to the small-size cogeneration system. The evaluation method of small-size engine cogeneration system, regarding Japanese standard JIS B-8122 and international standard organization, ISO-8528, was applied to the system. The evaluation methods, start-test, rapid-load-up and rapid-load-down, etc. were executed at the system, and reasonable results were acquired. The electrical and thermal efficiencies were executed and analyzed at various load conditions. The NO<sub>x</sub> emission at various load condition was also measured. Finally, the gas engine cogeneration system was installed to a site for actual usage and it was continually operated during more than 6 months as the site condition.

**Key words:** Cogeneration system(열병합발전 시스템), 평가기술(System Evaluation), 시스템 최적화(System optimization)

### 1. 서 론

현재 국내의 아파트단지, 병원 및 호텔 등에 보급되는 각종 외국의 열병합발전기의 경우 그 성능은 천차만별하다. 도입선에 따라 매우 우수한 열 및 전기 성능을 보이는 시스템이 있는가 하면 열효율은 물론 인클로우저 패키징 기술이 떨어져 소음특성이 매우 불량한 제품도 도입되어 공급되고 있는 실정이다. 이러한 현상에 대해 국내에서 개발 공급되는 시스템의 성능상의 위치를 잘 파악하는 것이 매우 필요하다. 이를 위하여 객관적인 성능평가의 기준이 되는 시험방법 및 성능분석 틀이 마련되어야 하며 출력 전기의 특성, 열회수 특성, 소음 및 진동 특성, CO, NO<sub>x</sub> 등 공해배출물 특성 및 신뢰도 특성 등 열병합발전 시스템 전반에 걸쳐 광범위하게 평가될 수 있

도록 하여야 한다. 국내에서 기 개발된 300kW급 소형 가스엔진 열병합발전 시스템<sup>(1,2)</sup>의 경우에도 개발업체는 제품의 성능이 수요자에게 가급적 좋게 인식되어 매출에 긍정적인 성능평가결과를 얻기를 원하겠지만, 보다 엄격한 성능평가과정을 거쳐 공인될 수 있는 성적치를 확보하도록 오히려 연구개발에 힘쓰도록 충고하고 나아가 국제적인 경쟁력을 차체에 확보할 수 있는 계기로 삼아야 할 필요가 있다. 선행 연구에서는 일본의 열병합발전시스템 평가방법인 JIS B-8122를 기준으로 열병합발전시스템의 평가방법을 작성하였으며, 국제표준협회에서 작성된 ISO-8528에서 엔진발전기의 평가기준에 따라 기기의 평가항목에 대한 등급을 설정하고 평가하였다.

개발된 열병합발전시스템의 정확한 성능평가를 위해서는 온도, 습도, 압력 등 요구되는 규정의

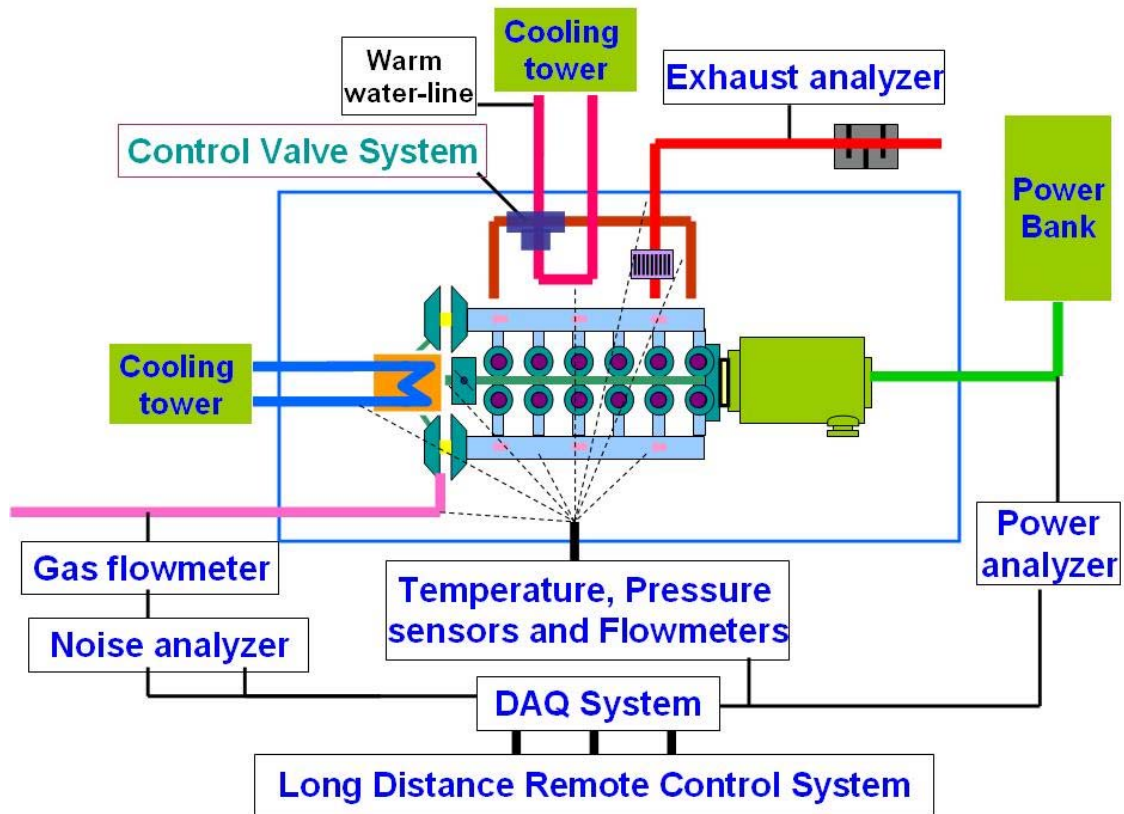


Fig. 1 열병합발전 평가 시스템의 구성

평가 환경이 잘 확보되어야 하며 사용되는 계측기는 계측목적에 부합되도록 가급적 요구 정밀도에 합당한 것이 선택될 필요가 있고, 사전에 잘 검증되어야 한다. 또한, 정확하게 측정된 평가 결과로서 개발되고 있는 국산 300kW급 소형 가스엔진 열병합발전시스템의 최적화에 도움을 주어 좋은 성능을 발휘하게 하는 것 또한 본 파트에서 담당하게 될 부분이다.

개발된 열병합발전시스템의 실제 실증 사이트에서의 연속운전 시험은 시스템 신뢰성을 획득하며, 연속운전에 있을 수도 있는 시스템의 불안정성, 미흡한 점을 살펴볼 수 있으며, 실제로 전기와 열을 사용하는 사이트에서 설치되어 운영되므로 운영 부하에 따른 시스템의 조건을 상기할 수 있고, 이에 따른 최적화를 꾀할 수 있으므로 열병합발전시스템 연구개발에 있어서 반드시 필요한 시험이다. 이에 본 사업에서는 개발된 300kW급 가스엔진 열병합발전시스템에 대하여 실증 사이트를 선정하고, 실증 사이트에서 6개월 이상 연속운전을 수행함으로써 개발된 국산 열병합발

전시스템의 신뢰성을 증가시켰다.

## 2. 300kW급 열병합발전시스템 평가

개발되어 시제품 형태로 존재하는 300kW급 가스엔진 열병합발전시스템을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같은 평가 시스템을 구축하고 평가 방법<sup>3)</sup>에 따른 실험을 하였다. 평가 시스템에는 발생된 전기를 소모해 줄 수 있는 부하기와 발생된

Table 1 시동시험 결과

항목	1	2	3
대기 온도(°C)	24.7	25.1	24.8
냉각수 온도(°C)	43.5	43.6	43.6
윤활유 온도(°C)	27.1	27.0	27.1
시동의 가부	가	가	가
시동 시간(초)	12.51	12.25	12.85
시동 전 축전지 전압(V)	25.9	25.3	25.6
시동 후 축전지 전압(V)	25.2	25.1	25.1

Table 2 보호장치 작동시험 결과

항목	결과
냉각수 온도 상승	PASS
윤활유 압력저하	PASS
과전압	PASS
과전류	PASS
비상정지	PASS

열을 소모시켜 줄 수 있는 냉각기가 포함되었다. 시동시험은 냉시동(cold-start)시 시동의 가부와 시동시간, 축전지(battery)의 전압 등을 살펴 보기 위하여 수행한다. Table 1에서 볼 수 있듯이 3번의 시동 시험에서 시동은 모두 성공하였고, 시동 시간은 대부분 12초 정도가 소요되었으며, 시동을 걸기 전과 후의 축전지 전압차는 0.2V~0.7V 정도로 측정되었다.

JIS B-8122 코드에 의하여 발전기와 통합제어기 쪽의 보호장치 작동시험을 수행하였다. Table 2에서 볼 수 있듯이 냉각수 온도 상승, 과전압, 과전류, 비상정지의 경우 실제로 조건을 만들어서 실험을 하였고, 결과적으로 모든 경우에 비상정지가 성공하였다(엔진의 작동이 멈춤). 윤활유 압력저하 실험은 오일 압력 감지 센서의 입력을 '0'으로 만들어서 윤활유가 없는 것처럼 보이게 하는 모의 실험으로 대체하였고, 엔진이 정지되는 결과를 얻었다. 이에 따라서, 본 열병합발전시스템의 보호장치 작동시험 중 냉각수 온도 상승, 윤활유 압력저하, 과전압, 과전류, 비상정지 항목에 대하여 모두 기준을 통과하는 것을 확인할 수 있었다.

조속운전시험은 정격 부하(325kW)에서 무부하로 서서히 부하를 내리면서 수행되었으며, Table 3과 같은 결과를 얻었다. Table 3에서 확인할 수 있는 바와 같이, 정정회전속도 조정률은 0.3% 미만으로 측정되어 ISO-8528에서 제시한 가장 까다로운 규격인 G3 등급인 주파수변동률 0.5% 이내를 만족하는 것으로 확인되었으며, 정정전압 조정률 또한 0.3% 정도로 역시 1% 이내의 기준 조건을 가지고 있는 G3 등급에 해당하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 본 시스템은 ISO-8528에서 제시하고 있는 조속성능시험에서 가장 까다로운 등급인 G3 등급을 만족하는 것으로 평가되었다.

Table 3 조속성능시험 결과

항목	1	2	3
무부하시 주파수(Hz)	59.98	60.00	59.98
무부하시 전압(V)	219.70	219.79	219.89
전부하시 주파수(Hz)	59.96	59.85	60.04
전부하시 전압(V)	220.30	220.10	220.29
정정회전속도 조정률(%)	0.03	0.25	-0.10
정정전압 조정률(%)	-0.27	-0.14	-0.18

Table 4 부하투입률

원동기의 종류	BMEP, MPa	부하 투입률(%)
가스 엔진	0.4 MPa 이하	100
	0.4 MPa 초과 0.8 MPa 이하	70
	0.8 MPa 초과 1.0 MPa 이하	50
	1.0 MPa 초과 1.2 MPa 이하	40
	1.2 MPa 초과	30

전압변동시험 중 순간 부하 투입률은 JIS B-8122의 가이드에 따라 Table 4와 같이 제동평균유효압력(BMEP ; Brake Mean Effective Pressure) 정도에 따라 다르게 적용된다. 본 사업에서 제작된 가스엔진은 1800RPM에서 325kW 정격출력을 제공하도록 되어 있으므로 본 엔진의 제동평균유효압력은 다음과 같이 계산된다.

$$BMEP = \frac{Brake\ power}{V_{cylinder} \frac{Revolution/Second}{2}} = \frac{325kW}{22L \times \frac{1800RPM}{60s \times 2}} = 0.98MPa$$

따라서, Table 4에 의하여 본 엔진의 전압변동시험 중 순간 부하 투입률은 50%로서, 무부하에서 급격히 50% 부하를 투입하는 실험이 된다. 전압변동특성 시험 결과가 Table 5에 나타나 있다. 전압변동시험 중 순간 부하투입시 순간전압변동률은 3.87%, 순간회전속도변화율은 9.88%로 ISO-8528에서 G3 등급이라고 제시하고 있는 15% 이내를 모두 만족하는 특성을 보였다. 또한, 순간 부하 투입시의 전압에 대한 정정시간과 회전속도에 대한 복귀시간은 각각 5.34초와 1.89초를 나타냄으로서, 전압에 대한 복귀시간은 G1등급(10초 이내)이며, 주파수에 대한 복귀시간은

Table 5 전압변동특성 시험 결과

항목		결과
부하투 입시 (50%)	전압(V)	219.86
	주파수(Hz)	59.84
	순간최저전압(V)	211.35
	순간최저주파수(Hz)	53.93
	정정시간(전압)	5.34
	정정시간(주파수)	1.89
	순간전압변동률	3.87
	순간회전속도변화율	9.88
부하제 거시 (100%)	전압(V)	220.57
	주파수(Hz)	60.33
	순간최고전압(V)	268.37
	순간최고주파수(Hz)	106.73
	정정시간(전압)	3.56
	정정시간(주파수)	1.86
	순간전압변동률	21.99
	순간회전속도변화율	76.9

G3등급(3초 이내)을 만족하는 것으로 나타났다. 100% 부하 차단 시험의 결과를 살펴보면 원래의 전압으로 되돌아가는 시간인 전압의 정정시간과 회전속도의 정정시간은 각각 3.56초와 1.86초로 ISO-8528 에서의 G3 등급을 만족한다. 그러나, 부하가 순간적으로 차단되었을 때의 순간최대전압과 순간최대회전주파수가 268.4V 와 106.73Hz 로 측정되어 순간전압변동률은 22.0%, 순간회전속도변화율은 76.9%로 계산이 된다. 이 결과는 ISO-8528 기준에서 보았을 때에 전압변동률 25% 이내에 해당되어 G1 등급에 해당되나, 주파

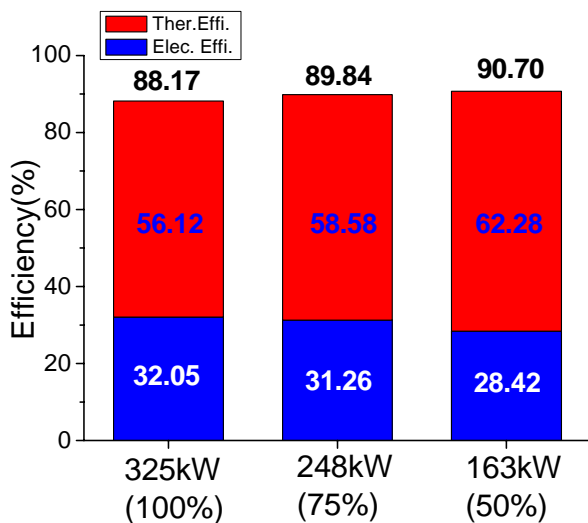


Fig. 2 시스템 목표성능과 실제성능

수변동률은 G1등급에도 해당되지 않는 것을 볼 수 있었다.

부하운전 시험을 통해 Fig. 2와 같은 50%, 75%, 100% 부하에서의 전기효율과 열효율의 결과를 얻었다. 열효율은 3가지 경우 중 50%에서 가장 높은 값인 62.28%의 효율을 보였고, 전기효율은 부하가 높아지면 커져서 100% 부하에서 32.05%의 효율을 보였다. 종합효율은 75% 부하에서 89.8%의 효율을 보였으며, 100% 부하에서는 88.2%의 결과가 나타났다.

부하에 따른 NOx 배출 수준(산소농도 13% 환산)을 나타낸 그래프가 Fig. 3에 표시되어 있다. 본 사업에서 제작된 가스엔진 열병합발전시스템은 희박연소(Lean Burn)엔진이 아닌 이론공연비연소(Rich Burn) 엔진을 사용하므로 배기가스 후단에 삼원촉매(Three-way Catalyst)가 설치되어 있어서 NOx 배출량을 감소시킨다. NOx 배출량을 감소시키기 위하여 공연비가 주기적으로 바뀌게 되는데, 이에 따라서 NOx 배출량도 주기적으로 변화하게 된다. Fig. 3에서 보면 부하 100%에서 최대 NOx 배출량 19.3ppm, 평균 NOx 배출량 6.8ppm으로 NOx 배출 정도가 상당히 우수한 것을 알 수 있다.

### 3. 열병합발전시스템 현장 설치 및 실증 시험

개발된 열병합발전시스템의 연속운전과 현장 실증 시험을 위하여 실증 사이트에 열병합발전시

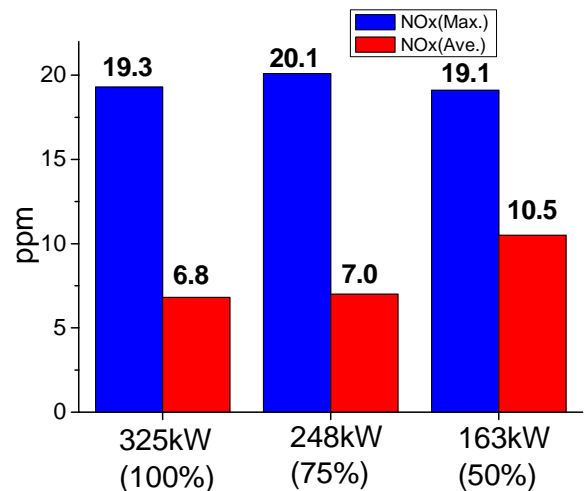


Fig. 3 부하에 따른 NOx 배출 수준



Fig. 4 실증사이트에 설치된 열병합발전시스템

시스템 설치 후 연속운전을 수행하였다. Fig. 4는 실증사이트에 설치된 가스엔진 열병합발전시스템의 사진을 보여주고 있다. 본 열병합발전시스템은 실증사이트에서의 첨두부하 절삭과 열에너지를 사용하기 위하여 설치되었으며, 운영되었다.

Fig. 5는 2008년 8월에 가스엔진 열병합발전시스템이 실증사이트에 설치되어 운용된 가동시간을 보여주고 있으며, Fig. 6은 실제 가동시간과 부하율을 보여주고 있다. 첨두부하를 절삭하기 위하여 열병합발전시스템을 설치하였기 때문에 첨두부하 시간에만 시스템을 가동하였으며, 시스템 가동시에는 허락하는 한 최대 부하로 운전을 시행하였다. 2008년 8월 후반부터 2009년 4월까지 가동하였으며, 2009년 4월말 현재 약 1,800시간의 시스템 가동을 수행하였다.

#### 4 결론

1. 개발되고 있는 300kW급 소형 가스엔진 열병합발전시스템의 시동시험, 보호장치 작동시험, 조속성능시험, 전압변동특성시험을 수행하였으며, 대부분 만족할 만한 결과를 획득하였다.
2. 부하운전시험을 수행하여 최대, 정격부하에서 전기효율 32.05%, 열효율 56.1%, 종합효율 88.2%의 결과를 얻었다.
3. 부하에 따른 질소산화물(NOx) 배출량을 측정하였으며, 산소농도 13% 환산치로서 100% 부하에서 최대 NOx 배출량 19.3ppm, 평균 6.8ppm의 양호한 NOx 배출 결과를 얻었다.
4. 개발된 가스엔진 열병합발전시스템을 실증사이트에 설치하고 6개월 이상 가동하였으며, 현재까지 가동중이다.

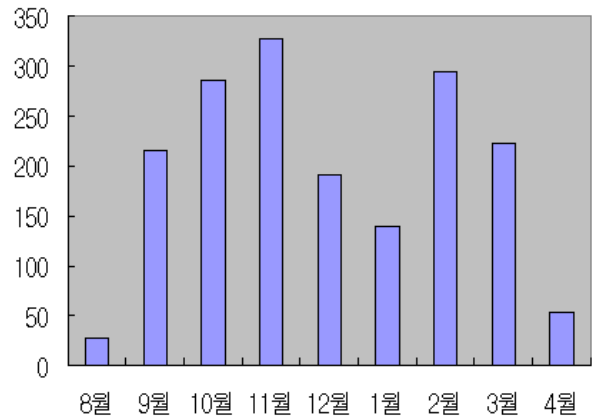


Fig. 5 열병합발전시스템 실증 가동 시간

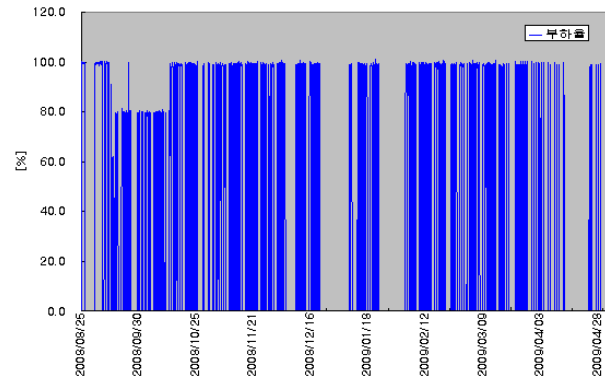


Fig. 6 실증 가동 시간 및 부하율

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 에너지·자원기술개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 박화춘 외 ; 고효율 저공해 소형 엔진 열병합발전시스템 상용화 개발, 산업자원부, 2006, 6
2. 박화춘, 최재준, 임용훈, 2006, 고효율 저공해 300kW급 소형 엔진 열병합발전 시스템 개발, 2006년도 한국에너지공학회 추계 학술발표회 논문집
3. 박화춘, 최재준, 300kW급 소형 엔진 열병합발전시스템의 평가기술 개발 및 실증시험, 대한설비공학회 2007년도 동계 학술발표대회 논문집

4. JIS B-8122, 2001, 열병합발전시스템의 성능시험방법
5. ISO-8528, 1993, Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets - part 5 : Generating sets