

300kW급 소형 엔진 열병합발전시스템의 평가기술 개발 및 실증시험

최 재 준, 박 화 춘

한국에너지기술연구원

Development of Evaluation Method and Experimental 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 was investigated by the reference of Japan evaluation code, JIS B-8122 and international standard organization, ISO-8528. Evaluation method was introduced such as start-test, rapid-load-up and rapid-load-down, etc. The evaluation method was applied to the 300kW small-size gas engine cogeneration system newly developed. The precise and strict evaluation and verification of the system will help the developing cogeneration system to optimum condition. It will also be a base document of KS-Code.

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. 도입전에 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 중요하다. 이를 위하여 객관적인 성능평가의 기준이 되는 시험방법 및 성능분석 틀이 마련되어야 하며 출력 전기의 특성, 열회수 특성, 소음 및 진동 특성, CO, NO_x 등 공해배출물 특성 및 신뢰도 특성 등 열병합발

전 시스템 전반에 걸쳐 광범위하게 평가될 수 있도록 하여야 한다. 국내에서 개발된 300kW급 소형 가스엔진 열병합발전 시스템^(1,2)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. 본 연구에서는 일본의 열병합발전시스템 평가방법인 JIS B-8122를 기준으로 열병합발전시스템의 평가방법을 작성해 나갔으며, 국제표준협회에서 작성된 ISO-8528에서 엔진 발전기의 평가기준에 따라 기기의 평가항목에 대한 등급을 설정하고 평가하였다.

정확한 성능평가를 위해서는 온도, 습도, 압력 등 요구되는 규정의 평가 환경이 잘 확보되어야 하며 사용되는 계측기는 계측목적에 부합되도록 가급적 요구 정밀도에 합당한 것이 선택될 필요가 있고, 사전에 잘 검증되어야 한다. 본 연구에서는 개발되는 300kW급 열병합발전 시스템에 대한 성능평가 방법을 개발하여 해당되는 본 시스템 뿐 만 아니라 수입되는 비슷한 용량의 모든 시스템에 대한 성능평가 기준을 만들고, 개발되는 300kW급 소형 가스엔진 열병합발전시스템에 적용하여 정확한 성능을 평가하고자 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.

2. 성능시험 방법

JIS B-8122에서 정의하고 있는 시험의 종류는 형식시험과 인도시험으로 나뉘어진다. 형식시험과 인도시험에서의 시험항목은 Table 1에서 보는 바와 같다. 형식시험은 대표 시스템에 대하여 시스템 주요 성능치, 신뢰성, 내구성을 확인하기 위하여 실시하며 인도시험은 생산된 제품을 주문자에게 인도할 시점에 주문자의 입회하에 실시한다.

Table 1 형식시험과 인도시험에서의 시험항목

시 험 항 목	형식 시험	인도 시험
a) 시동시험	○	○
b) 보호장치 작동시험	○	○
c) 조속성능시험 및 전압변동특성 시험	○	○
d) 부하운전시험	○	○
e) 연속운전시험	○	
f) 열출력 측정 시험	○	○
g) 배기가스 배출특성 시험		○
h) 소음측정시험		○
i) 진동측정시험		○
j) 병렬운전시험		○
k) 적용전력계통 연계시험		○

JIS B-8122에 표기된 형식시험에 있어서의 계측기의 정밀도는 Table 2에서 보여지는 바와 같다. 실제 개발되고 있는 300kW급 가스엔진 열병합발전시스템의 평가시에는 이러한 계측기의 정밀도에 기준하여 모든 장비를 장만하였고, 이에 따라 측정하였다.

Table 2 형식시험에 있어서 계측기의 정밀도

계측기	정밀도 또는 측정오차
전류계	±1.5 %
전압계	±1.5 %
역률계	±3.0 %
전력계	±1.5 %
주파수계	±0.5 %
온도계	±2 K [*]
배기가스용 온도계	±15 K [*]
압력계	±5 % [*]
대기압계	±0.5 % [*]
유량계	±2 %
연료가스용 유량계	±3.0 %
소음계	±1.5 dB
진동계	±1 dB

2.1 시동시험

상은 상태에서 시동 전, 시동 후, 시동되는 순간에 측정을 하며 시동의 가부, 시동에 걸리는 시간 등을 측정하여 표기한다.

2.2 보호장치 작동시험

보호장치 작동시험은 과전압, 과전류, 비상정지 등의 주요장치 보호작동시험과 주문자와 공급자가 명시하는 장치의 보호작동시험을 실시한다.

2.3 조속성능시험 및 전압변동특성시험

조속성능시험은 시스템의 전기출력을 정격으로 조정 한 후 서서히 무부하까지 부하를 감소시켜서 주파수 및 전압을 측정하는 방법으로서 무부하와 정격출력 사이의 차이(error)를 비율로 나타내어 측정하며 ISO-8528에 의한 평가방법은 Table 3에서 나타내는 바와 같다.

Table 3 조속성능시험 등급

	등급		
	G1	G2	G3
주파수변동율	2.5%이내	1.5%이내	0.5%이내
전압변동율	±5%	±2.5%	±1%

전압변동특성시험은 급속부하투입시, 급속부하 차단시 전압과 주파수가 순간적으로 변하는 비율과 다시 원래 전압, 주파수로 돌아오는 시간을 측정하며 평가기준은 Table 4와 Table 5에 명기되어 있는 바와 같이 ISO-8528의 평가기준에 따라 적용되었다.

Table 4 부하투입시 전압변동특성시험 등급

	등급		
	G1	G2	G3
주파수변동율	-25%이내	-20%이내	-15%이내
주파수복귀시간	10sec이내	5sec이내	3sec이내
안정화된 주파수범위	3.5%이내	2%이내	2%이내
전압변동율	-25%이내	-20%이내	-15%이내
전압복귀시간	10sec이내	6sec이내	4sec이내

Table 5 부하차단시 전압변동특성시험 등급

	등급		
	G1	G2	G3
주파수변동율	18%이내	12%이내	10%이내
주파수복귀시간	10sec이내	5sec이내	3sec이내
안정화된 주파수범위	3.5%이내	2%이내	2%이내
전압변동율	35%이내	25%이내	20%이내
전압복귀시간	10sec이내	6sec이내	4sec이내

2.4 부하운전시험

부하운전시험은 0~100% 부하에서 Table 6에서 보여지는 시간동안 행해진다. 부하운전시험동안 열출력실험과 배기가스 배출특성 시험을 동시에 행하기도 한다.

Table 6 전력부하 및 시험시간

전력부하구분(%)		0	50	75	100
시험시간 (분)	형식	10	10	10	30
	인도	10	-	-	30

2.5 연속운전시험

연속운전시험은 100% 부하에서 출력이 안정된 후 3시간동안 1시간마다 1회씩 총 4회 측정하여 기록하도록 되어 있다.

3. 300kW급 열병합발전시스템 평가

개발되고 있는 열병합발전시스템을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같은 평가 시스템을 구축하고 실험을 하였다. 평가 시스템에는 발생된 전기를 소모해 줄 수 있는 부하기와 발생된 열을 소모시켜 줄 수 있는 냉각기가 포함된다.

시동시험은 냉시동(cold-start)시 시동의 가부와 시동시간, 축전지(battery)의 전압 등을 살펴보기 위하여 수행한다. 3번의 시동 시험에서 시동은 모두 성공하였고, 시동 시간은 대부분 9초 정도가 소요되었으며, 시동을 걸기 전과 후의 축전지 전압차는 약 0.2V 정도로 측정되었다.

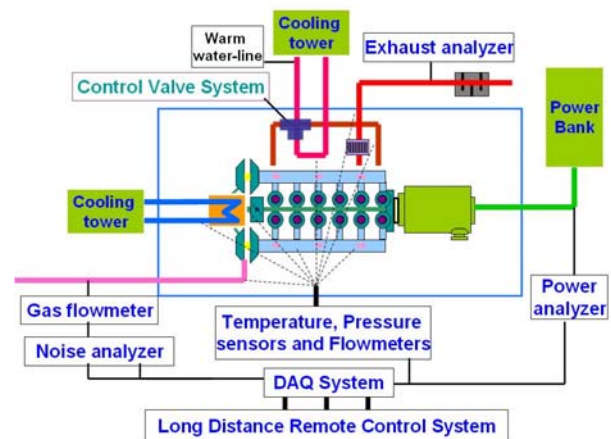


Fig. 1 열병합발전 평가 시스템의 구성

Table 7 시동시험 결과

항목	1	2	3
대기 온도(°C)	19.3	20.7	20.6
냉각수 온도(°C)	25.1	25.9	33.6
윤활유 온도(°C)	21.2	24.2	27.4
시동의 가부	가	가	가
시동 시간(초)	4.88	9.47	9.31
시동 전 축전지 전압(V)	25.55	25.57	25.56
시동 후 축전지 전압(V)	25.36	25.32	25.31

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

Table 8 보호장치 작동시험 결과

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

조속운전시험은 정격 부하(325kW)에서 무부하로 서서히 부하를 내리면서 수행되었으며, Table 9와 같은 결과를 얻었다. Table 9에서 확인할 수 있는 바와 같이, 정정회전속도 조정률은 0.2% 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 G3 등급을 만족하는 것으로 평가되었다.

Table 9 조속성능시험 결과

항목	1	2	3
무부하시 주파수(Hz)	60.121	59.940	60.024
무부하시 전압(V)	217.48	217.39	217.41
전부하시 주파수(Hz)	60.032	60.045	59.911
전부하시 전압(V)	216.86	216.65	216.73
정정회전속도 조정률(%)	0.148	-0.175	0.189
정정전압 조정률(%)	0.286	0.342	0.314

전압변동시험 중 순간 부하(50%) 투입시 순간 전압변동률은 7.7%, 순간회전속도변화율은 13.2%로 ISO-8528에서 G3 등급이라고 제시하고 있는 15% 이내를 모두 만족하는 특성을 보였다. 또한, 순간 부하 투입시의 전압에 대한 정정시간과 회전속도에 대한 정정시간은 각각 1.4초와 1.2초를 나타냄으로서, ISO-8528 기준에서의 G3 기준(4초 이내와 3초 이내)에 모두 부합되는 것으로 나타났다. 따라서, 본 열병합발전 시스템의 순간 부하 투입 실험에서의 주파수와 전압 특성 모두 다 ISO-8528 기준에서의 G3 기준을 만족한다고 할 수 있다. 100% 부하 차단 시험의 결과를 살펴보면 원래의 전압으로 되돌아가는 시간인 전압의 정정시간과 회전속도의 정정시간은 각각 1.8초와 2.0초로 ISO-8528 에서의 G3 등급을 만족한다. 그러나, 부하가 순간적으로 차단되었을 때의 순간최대전압과 순간최대회전주파수가 266.4V 와 69.1Hz 로 측정되어 순간전압변동률은 21.1%, 순간회전속도변화율은 15.2%로 계산이 된다. 이 결과는 ISO-8528 기준에서 보았을 때에 전압변동률 25% 이내에 해당되고, 주파수변동률은 18% 수준인 G1 등급에 해당된다고 볼 수 있다.

Table 10 전압변동특성 시험 결과

항목		결과
부하 투입 시 (50%)	전압(V)	220
	주파수(Hz)	60.0
	순간최저전압(V)	203.1
	순간최저주파수(Hz)	52.1
	정정시간(전압)	1.4초
	정정시간(주파수)	1.2초
	순간전압변동률	7.7%
	순간회전속도변화율	13.2%
부하 제거 시 (100%)	전압(V)	220
	주파수(Hz)	60.0
	순간최고전압(V)	266.4
	순간최고주파수(Hz)	69.1
	정정시간(전압)	1.8초
	정정시간(주파수)	2.0초
	순간전압변동률	21.1%
	순간회전속도변화율	15.2%

소음특성 시험은 주변의 소음 특성상 주위 소음이 최소화 될 수 있는 새벽 시간에 측정하였다. 측정된 소음특성은 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 표시된다. 열병합발전 시스템의 각 면에서의 소음을 측정하였고, 소음측정 방법은 앞 장에서 기술한 바와 같이 수행하였다. 각 면에서의 소음이 동일하지는 않은 것으로 나타났는데, 이것의 원인으로는 소음측정장치가 측정하고 있는 곳에서의 다른 기계(물펌프 등)에서 야기된 소음이 합쳐졌을 수 있고, 엔진과 인접한 측이 조금 더 소음이 많이 측정되는 등 실제로 각 위치에서



Fig. 2 시스템 소음특성

의 소음이 다르게 나올 수 있으며, 또한 실험실 구조상 소음이 뒤편으로 뻗어나올 수 있는 부분 (벽과 열병합발전 시스템의 거리가 먼 부분)과 소음이 벽에 충돌하여 중첩될 수 있는 부분 때문에 반사음의 크기가 달라지는 것이 그 이유가 될 수 있다.

부하운전 시험을 통해 Fig. 3과 같은 0%, 50%, 75%, 100% 부하에서의 전기효율과 열효율의 결과를 얻었다. 열효율은 4가지 경우 중 75%에서 가장 높은 값인 56.1%의 효율을 보였고, 전기효율은 부하가 높아지면 커져서 100% 부하에서

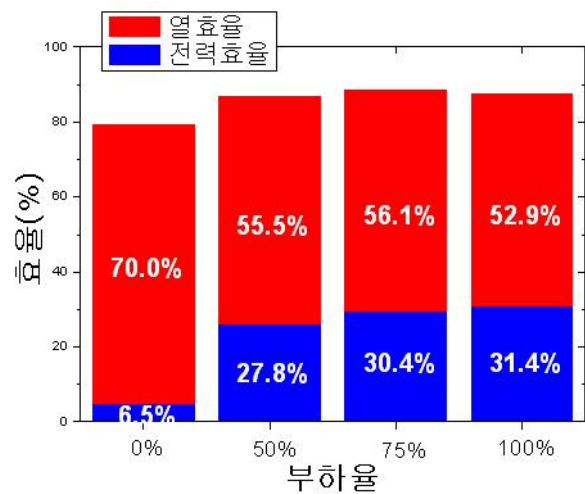


Fig. 3 부하율에 따른 전력효율과 열효율

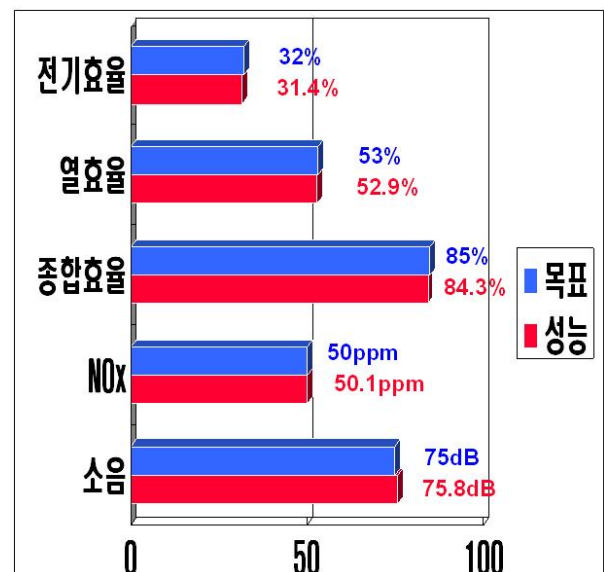


Fig. 4 시스템 목표성능과 실제성능

31.4%의 효율을 보였다. 종합효율은 75% 부하에서 86.5%의 효율을 보였으며, 100% 부하에서는 84.3%의 결과가 나타났다. 300kW급 가스엔진 열병합발전시스템의 처음 목표와 100% 부하에서 나타난 실제 성능과의 비교치가 Fig. 4에 나타나 있다. 전기효율과 종합효율, 소음은 목표치에 약간 모자라는 것으로 나타났고, 열효율과 NOx 배출량은 목표치를 달성하는 것으로 생각할 수 있다.

4 결 론

1. 전기성능, 열성능, 공해성능 및 신뢰성 등 각종 성능평가기준을 JIS B-8122 코드와 ISO-8528 코드를 사용하여 작성하였다.
2. 평가방법은 시동시험, 보호장치 작동시험, 조속운전 시험 및 전압변동시험, 부하운전시험, 연속운전시험, 열출력측정시험 등의 항목으로 나눌 수 있다.
2. 개발되고 있는 300kW급 소형 가스엔진 열병합발전시스템의 평가 결과 시동시험, 보호장치 작동시험에서 만족할 만한 결과를 얻어고, 조속 성능시험과 전압변동특성시험에서 대부분 ISO-8528 기준으로 최고 등급인 G3를 얻을 만큼의 성능이 나오는 것을 확인하였다. 효율면에

서 보면 전기효율 31.4%, 열효율 53% 수준으로 종합효율이 84.3% 정도로 목표치인 종합효율 85%에 조금 미치지 못했다. 공해배출물 중 NOx 레벨은 모든 부하 조건에서 50ppm 이하로 측정되어 만족할 만한 결과를 보이는 것을 확인하였다.

후 기

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