

합성 바이오가스를 이용한 상용 가스엔진 발전기의 구동 특성

Testing a Commercial Gas Engine using Synthetic Biogas

심재훈^{*}·홍성구(한경대)·권순국(서울대)

Shim, Jae Hoon^{*}·Hong, Seong Gu·Kwun Soon Kuk

Abstract

Biogas is widely accepted as one of renewable energy. Raw biogas can be used in internal combustion engines either spark ignition or diesel engines. Since the gas has relatively low calorific values, engine power also is lower than rated power values. Modified engines or biogas-specific engines have been utilized in order to increase efficiency. Recently, gas engine/generators are provided for various purposes. They are mostly for LPG or natural gas. When biogas is fueled to the gas engines, de-rating is inevitable due to its lower calorific values. Meanwhile, massively produced commercial gas engines are more competitive in terms of initial investment for engines, compared to biogas-specific engines. Then, the characteristics of the commercial engine and power generation should be understood for better operation. A 5kW gas engine/generator(natural gas) was tested for determining an allowable maximum concentration of CO₂ in synthetic biogas, with respect to engine staling, power generation. Experimental results indicated that about 65% of methane concentration is required to start the gas engine. At this condition, the power generated was about 3 kW. It is about 60% of the nominal power, which is similar to the ratio of calorific values.

I. 서론

유기성 폐기물의 분해, 소화 혹은 처리과정에서는 이산화탄소, 메탄가스, 산화질소 등의 온실가스가 대기 중으로 방출된다. 매립지와 하수처리과정에서 인간활동에서 유발되는 전체 메탄가스방출량의 약 20%가 배출되고 있다. 더구나 산업화된 국가에서는 그 비율이 약 30~40%를 차지함으로써 폐기물 처리 활동이 매우 중요한 온실가스 배출원이 되고 있다. 바이오가스 성분의 대부분이 되는 메탄가스는 백년주기의 온실효과를 감안할 때 같은 무게의 이산화탄소의 약 24.5배의 온실효과를 가져올 수 있는 가스이므로 매립지, 하수처리장 등 폐기물 처분시설의 온실가스배출저감이 매우 큰 의의를 갖게 되는 것이다.(박순철, 2002)

청정개발체제(CDM)는 기후변화협약의 교토의정서에서 온실가스감축의무의 이행을 위하여 국가간의 온실가스감축의 공동이행, 청정개발체제의 활용, 배출권거래제를 규정함으로써 생기게된 제도이다. CDM은 온실가스저감비용이 높은 나라가 비용이 낮은 나라에서 일정한 온실가스감축기술을 시행하고 이를 달성한 후 감축량의 일정 분을 자국의 실적으로 인정받는 제도이다.(한국에너지기술연구원, 2002) 바이오가스 에너지 활용에서 CDM이 거론되는 것은 동 사업이 온실가스감축효과가 크고 우리나라와 같은 개도국은 사업을 추진하기 위한 자본과 기술의 유치가 필요하기 때문일 것이다.

한편 CDM은 온실가스 감축효과를 현금수익화 할 수 있다는 점에서 CDM의 수행주체인 선진국 기술공여자는 물론이고 우리나라에서도 사업타당성을 높여주는 계기가 될 수 있을 것이다. 예를 들어 해외 사업자의 참여의사만 있다면 우리나라도 CDM으로 인정받을 요건을 충분히 충족할 수 있으며 예상되는 저감 크레딧(배출권 거래시 US\$13/톤 CO₂ 예상)으로 적지 않은 수익을 추가로 얻을 수 있을 것이다.(대한설비공학회, 2002) 그러므로 바이오가스의 활용은 온실가스 감축과 대체

에너지생산 그리고 폐자원의 재활용이라는 일석삼조의 의미를 가지게 된다. 바이오가스란, 가축분뇨나 생활쓰레기 등의 바이오매스(biomass; 유기물)를 메탄발효 시킴으로서 얻을 수 있는 가스이며, 주로 메탄(CH_4 :약 60%)과 이산화탄소(CO_2 :약 40%)로 구성되며, 적은 양의 황화수소(H_2S), 암모니아(NH_3), 미량의 수소, 질소, 이산화탄소 등으로 구성된다. 현재 바이오가스 활용은 중질가스로 직접 열이용, 발전/병합발전(가스엔진, 가스터빈, 스팀터빈), 고품질의 파이프라인 가스로 정제(CNG등 이용 포함), 기타 온실 가온용, 이산화탄소 제조, 메탄올제조용, 연료전지 이용발전 등이 있으나 내연기관을 이용한 발전이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 바이오가스의 특성을 고려하여 개조를 하고 새로이 제작을 하는 실정이라서 가격이 비싸 경제성이 떨어지는 실정이다. 지금 상용되는 가스엔진에는 주로 천연가스와 LPG를 연료로 이용하고 있다.

본 연구에서는 대량생산으로 가격경쟁력이 있는 상용가스엔진 발전기를 이용하여 그 특성을 파악하고 합성바이오가스를 이용하여 시동 및 발전 등의 구동특성을 파악하였다. 합성바이오가스는 메탄과 이산화탄소를 이용하여 제조하였으며, 성분비율에 따른 가스엔진구동특성을 평가하였다. 이를 토대로 바이오가스를 이용한 가스엔진활용방안을 정립할 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 합성 바이오가스

메탄(CH_4)을 주성분으로 하는 LNG를 이용하여 인공 바이오가스로 이용하려 하였으나 사용의 제약이 있고 구입의 어려움이 있어 바이오가스의 주성분인 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)를 이용하여 합성 바이오가스를 만들어서 사용하였다. 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)를 MFC(Mass Flow Controller)로 유량을 조절하여 일정한 조성비를 갖도록 가스저장탱크(420L, max 8 kg/cm²)에 저장·혼합하여 합성하였다. 다음은 가스저장탱크의 모습이다.



[Figure 1] Storage for gas mixing

합성 바이오가스를 만들기 위해서 일정한 유량을 흘려 보내주는 MFC(Mass Flow Controller)를 이용하여 각각의 압력이 동일한 상태에서 각각 기체를 20LPM으로 42분 동안 가스저장탱크(420L, 8 kg/cm^2)에 주입하였다.

2. 가스엔진 발전기

바이오가스를 이용할 수 있도록 개조하지 않고 상용 가스엔진 발전기를 그대로 사용하여 구동하였고 가스엔진 발전기의 개요는 다음과 같다.



[Figure 2] Gas generator

모 델 명 : EPS-6-AC 출 력 : LPG - AC 6KW. NG - 5KW 전 압 : AC 120/240 Volt. 60Hz. 1 - Phase. 엔 진 : 가솔린 공랭식 3600 RPM OHVI엔진 탑재. 시동방식 : 전기식(DC12V) 시동. 제품규격 : 1016 × 559 × 584 mm (L×H×W) 제품중량 : 112kg 제조회사 : GENERAC POWER SYSTEMS,INC. U.S.A
--

Figure 2에서 보이는 상용가스엔진 발전기의 경우 LPG로 또는 LNG로 교체하여 사용할 수 있게 되어있어 바이오가스의 특성상 주성분이 메탄(CH_4)인 LNG에 가깝기 때문에 LNG로 셋팅하여 구동하였다.

3. 발전기의 구동

가스엔진 발전기를 구동하기 위하여 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)의 비율을 조정하기 위하여 MFC를 이용하여 유량을 조절하여 가스저장탱크에 유입시켰다. 가스저장탱크의 압력을 통하여 저장되는 유량을 계산하였다. 초기에 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)의 비율을 1:1로 하여 가스저장탱크안에 유입하였고 메탄(CH_4)의 비율을 조금씩 변화시켜 가면서 가스엔진이 시동되는 조건을 찾았다. 엔진구동조건에서 전력측정계(CW240-F/C1/PM1, Yokogawa)를 이용하여 전압, 전류, 주파수를 측정하였다. 발전기에 부하를 걸어주기 위해서 전기히터(1.2kw, 1.8kw)와 Hot plate(600w)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 합성가스 생성 및 가스엔진 발전기 구동

주입 후 가스저장탱크의 압력은 4 kg/cm^2 이었다. 상용 가스엔진 발전기는 LNG용으로 변환하여 구동하였으며 엔진가동에 필요한 최소 메탄비율을 확인하기 위하여 처음 혼합상태 1:1에서 점차적으로 메탄의 양을 늘려가면서 구동여부를 확인하였다.

다음 [Table 1]은 엔진구동여부를 확인하기 위한 메탄비율을 나타내고있다.

[Table 1] Engine drive from methane ratio

CH4(%)	CO2(%)	*AIR(%)	Engine drive
40.0	40.0	20.0	X
46.2	35.9	17.9	X
56.5	29.0	14.5	X
64.9	23.4	11.7	X
66.0	22.5	11.5	O

* 초기에 가스 저장탱크 안에 있던 공기

가스엔진 발전기 구동 시에 가스저장탱크의 압력은 약 $2\sim 3\text{ kg/cm}^2$ 으로 유지하고 가스엔진이 구동되지 않으면 메탄을 추가로 주입하는 방식으로 메탄의 농도를 높였다. 가스엔진 발전기가 구동되지 않을 때는 스타트 모터만 돌아가다가 멈추었고 가스엔진이 돌아가 발전기가 가동이 되는 시점을 엔진 구동 시점으로 파악하였다. 이로써 가스엔진 발전기의 구동 최소 메탄비율은 약 65% 전·후 임을 알 수 있었다.



[Figure 3] Gas engine connected to gas tank



[Figure 4] Gas mixing with MFC

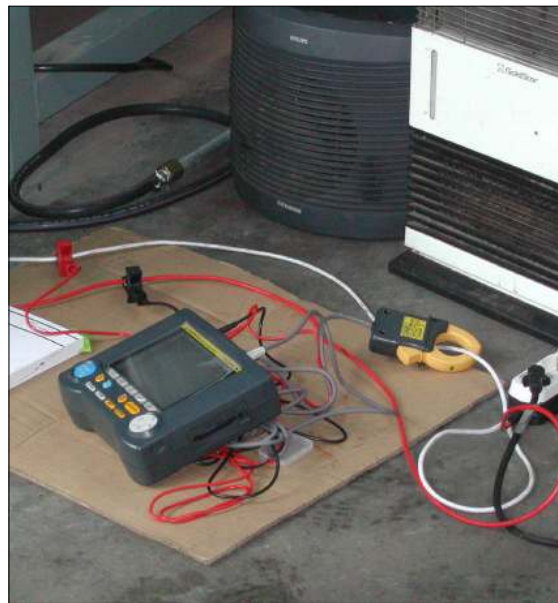
상용 가스엔진 발전기의 구동 시 배기가스온도는 약 200°C 정도였다. 가스엔진 발전기 자체적으로 열을 식히는 기능을 하지만 장시간 가동 시에는 온도가 좀더 올라갈 것이라 생각되 이 열을 배기가스 열교환기를 이용하여 배열을 이용할 수 있다.

2. 가스엔진 발전기의 출력 특성

[Table 2] Power generation at minimum methane concentration, when engine started to run

Load	메탄농도 (%)	소비전력 (KW)	전압 (V)	전류 (A)	전력 (KW)	비고
Hot-plate 3EA	66.0	각각 0.6	218~227	8.2~8.6	1.78~1.95	각각 전부연결
Hot-plate 1		1.2	215~220	5.3~6.0	1.13~1.32	
Hot-plate2		1.8	"	16	2.4-3.2	일시적 출력

가스엔진 발전기의 시스템 상에는 연료를 LNG로 구동했을 경우 최대출력이 5KW라고 되어있지만 본 연구에서는 메탄비율이 상대적으로 낮은 합성 바이오가스를 사용하였기 때문에 최대출력이 약 3KW이하로 구동되었다.



[Figure 5] Power measurement with hotplate [Figure 6] Measuring power generated by gas engine generator

정확한 출력을 측정하기 위하여 부하를 소비전력이 적은 것부터 차례로 걸어보았다. 처음에는 각각의 소비전력이 0.6KW인 Hot plate를 한번에 연결하여 부하를 걸어보았다. 총 부하량이 1.8KW인 상태에서는 아무런 문제없이 전압, 전류 충분하게 측정되었다. 두 번째에는 Hot plate를 빼고 소비전력이 1.2KW인 전기히터를 연결하여 부하를 걸어보았다. 역시 아무런 문제없이 전압, 전류 충분하게 측정되었다. 세 번째로는 Hot plate 2개와 소비전력 1.2KW 전기히터를 한꺼번에 연결하여 보았다. 약간의 엔진 떨림이 있었지만 역시 아무런 문제없이 전압, 전류 충분하게 측정되었다. 마지막으로 Hot plate 1개와 1.2KW 전기히터, 그리고 1.8KW 전기히터를 연결하여 부하를 걸어보았다. 그 결과 약 3.2KW까지 측정되다가 1.8KW 전기히터가 꺼져버리고 아주 심하게 엔진이 떨리는 현상을 볼 수 있었다. 결국 가스엔진까지 정지되어버렸다. 주파수는 약 58.2Hz~

59.9Hz까지 측정되었다. 발전전력은 최대 3KW 수준으로서 천연가스를 이용할 때의 정격출력 5KW의 60% 수준이다. 이는 천연가스 발열량 대비 합성바이오가스의 열량비와 비슷한 수준이다

IV. 결 론

본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 합성 바이오가스를 이용한 상용 가스엔진 발전기의 구동 최소 메탄비율은 약 65% 전·후 임을 알 수 있었다.
2. 메탄비율을 높이기 위한 방법으로 이산화탄소를 제거한다면 실제 바이오가스를 이용하여 가스엔진의 구동이 더욱더 효율적으로 이루어질 것이다.
3. 상용 가스엔진 발전기의 구동 시 발생하는 배기가스의 열을 회수하여 이용한다면 전체효율을 좀더 높일 수 있을 것이다.
4. 가스엔진 발전기의 구동이 가능한 최소 메탄비율인 65%로 구동한 결과로서 발전기의 출력 또한 정격출력의 60%수준으로 나타났다.

참고문헌

1. 일본공업신문, 2003, 경제활성화 프로젝트-바이오매스(1), 한국과학기술정보연구원 해외과학기술동향
2. 대체에너지개발보급센터, 2005, 대체에너지원별 기술자료, 에너지관리공단
3. 박순철, 2002, 미활용바이오가스 에너지 이용, 한국에너지기술연구원
4. 정동수, 1989, 자동차용 원동기의 대체에너지별 특성 및 전망, 한국기계연구소