

국내의 바이오가스엔진 기술개발 현황

이 장 희

Status of Development of Biogas Engine in Korea

Janghee Lee

Key words : Biogas (바이오가스), Dual Fuel Engine(혼소 엔진), Dedicated Engine(전소 엔진), Replacement Rate(대체율)

Abstract : Generally, biogas contained methane contents of 40~75%, was made in anaerobic compost facilities, landfill site, etc. And it is very useful for gas engine as a fuel. So, many imported biogas engines for electrical generation, are installed and operating now at landfill sites and anaerobic compost facilities. And KIMM has studied on and developed biogas engines with the aids of engine maker and parts companies for several years. Some results are shown here.

1. 서론

쓰레기 매립지, 음식물쓰레기 처리장, 하수 중말 처리장, 가축분뇨 처리장 등에서 발생하는 바이오 가스 중에는 연료 성분인 메탄가스를 약 40%~75% 정도 함유하고 있으며, 이를 공기 중에 그대로 방출하게 되면 이산화탄소와 함께 온실가스로서 지구온난화를 촉진하게 된다.

바이오 가스는 이산화탄소를 흡수해서 생성된 바이오매스에서 발생된다는 점을 고려할 때, 에너지원으로 사용하게 되면 순 이산화탄소의 증가는 없다고 할 수 있으며, 기존의 화석연료사용에 의한 CO₂ 증가를 저감할 수 청정에너지원이다. 따라서 환경보호와 폐자원의 활용이라는 차원에서 전 세계적으로 이를 활용하기 위한 많은 노력이 진행되고 있다.

국내에서도 이를 활용하기 위해서 1980년대부터 하수중 종말처리장에 바이오가스를 이용한 혼소형 가스엔진 발전시스템이 도입되었고, 최근에 와서는 김포매립지와 전국의 매립지에 전소형 가스엔진 발전시스템이 도입되어 활발히 운영 중에 있다.

현재까지는 외국의 엔진을 도입하여 사용하여 왔으나 국내에서도 한국기계연구원을 중심으로 중소 매립지나 하수처리장 음식물쓰레기 처리시설 등에 적용가능한 바이오가스엔진이 개발 완료 단계에 있으며 이를 간략히 소개하고자 한다.

2. 바이오가스 엔진의 종류

바이오 가스 엔진은 점화플러그로 점화하는 전소(Dedicated) 엔진과 바이오 가스를 주 연료로 하고 소량의 디젤로 점화하는 혼소(Dual fuel) 엔진으로 구별된다. Table 1은 전소엔진과 혼소엔진의 장단점을 나타낸 것이다.

Table 1 Comparison of Biogas Engines

	전소 엔진	혼소 엔진
점화방식	스파크 플러그에 의한 불꽃 점화	미량의 경유분사에 의한 압축착화
압축비	상대적으로 낮음 (8.5~13)	상대적으로 높음 (14~17)
연료성분	비교적 양질의 연료성분이 요구되며, 성분변화가 적어야 함	연료 성분의 변화가 어느 정도 허용됨
연료	바이오가스 100% 사용	바이오가스(85~99%)와 경유(15% 미만) 사용
엔진개조	어려움 (실린더 헤드 및 피스톤 등 개조가 어려움)	용이함 (기존의 디젤엔진사용, 연료공급장치 추가)
유지보수	점화플러그 등 잦은 교체	용이함

1) 한국기계연구원 친환경엔진연구센터
E-mail : jhlee@kimm.re.kr
Tel : (042)868-7319 Fax : (042)868-7305

2.1 혼소 엔진

혼소엔진은 기존 디젤엔진의 흡기관에 가스연료를 공급하는 장치를 부착하고, 흡기관내에서 공기와 가스의 혼합기를 형성하여 실린더 내로 흡입한 후, 압축말기에 약간의 고압의 경유를 분사하여 압축착화되면서 점화가 일어나도록 되어 있다.

따라서 기존 디젤엔진을 개조하여 제작하기가 쉬울 뿐만 아니라 펌핑 손실이 작아 출력저하도 없다. 또한 디젤엔진과 같이 전기 점화장치가 필요 없기 때문에 유지보수가 간단할 뿐만 아니라, 디젤연료에 의한 고에너지 다점점화(여러 곳에서 점화가 동시에 일어남)로 점화 안정성이 우수하여 전소엔진에 비해 가연한계(연소가능한 공기-연료비)가 매우 넓은 장점이 있다. 자연급기식 혼소엔진에서는 쓰로틀이 없어 공연비 제어가 안되므로 저부하 영역에서 불완전 연소가 일어나기 쉬워 HC, CO가 증가하고 연소효율이 감소하는 문제점이 발생될 수 있으나 과급방식을 사용하면 이러한 문제점은 사라진다.

혼소엔진의 효율을 결정하는 것으로 대체율이 사용된다. 즉, 엔진에서 사용된 전체 연료중에서 바이오가스가 차지하는 비율로서 이에 대한 정의는 다음과 같다.

$$\text{대체율} = \text{바이오가스} / (\text{바이오가스} + \text{경유}) \quad (1)$$

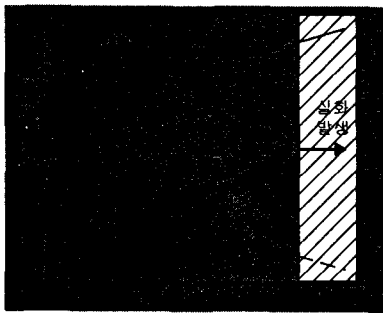


Fig. 1 혼소엔진의 대체율 변화

Fig.1은 혼소엔진의 대체율 변화를 나타낸 것으로 대체율이 높을수록 바이오가스 사용량이 증가하여 바람직하나, 대체율을 너무 높이면 실화가 발생하기도 하며, 최근에 와서는 디젤엔진의 커먼 레일(Common rail)시스템이 보급됨에 따라 99% 대체율이 가능하다고 한다.^[3] 그러나 과도한 대체율의 증가는 노즐 소착 등의 문제를 새로이 야기하므로 엔진의 실린더 헤드 냉각시스템과 함께 고려해야 한다.

2.2 전소 엔진

전소엔진의 출력조절은 쓰로틀에 의해 이루어지도록 되어 있어 쓰로틀 개도에 따라 공기량이

변화하면 연료량이 자동적으로 변화하여 항상 일정한 공기-연료비가 유지된다. 전소엔진은 배기저감 효과에 있어서 혼소엔진보다 우수하지만 점화플러그 설치를 위한 실린더헤드 변경, 압축비 감소, 쓰로틀 설치 등 많은 설계변경과 정밀한 엔진제어장치가 추가되어야 하며, 조악한 연료의 사용에 따른 고압방전 시스템 등의 사용이 요구되므로 점화장치의 잦은 교환이 요구된다.

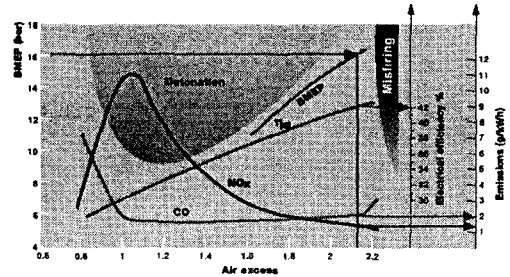


Fig. 2 전소엔진의 공연비별 효율 및 배출가스

전소엔진의 공연비별 효율 및 배출가스 배출 특성은 Fig.2와 같다. 전소가스 엔진의 배기가스 저감기술은 2가지로 분류된다. 하나는 이론공연비 연소후 삼원 촉매를 사용하는 기술이고, 또 다른 하나는 회박연소후에 배출되는 배기가스를 SCR등을 사용하여 저감하는 것이다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 이론공연비 연소에서는 NOx가 많이 배출되나 이를 삼원촉매를 사용하면 95%이상 저감이 가능하므로 2005년 배기규제를 만족시킬 수 있다.

그러나 회박연소시에 NOx가 이론공연비 연소에 비해 적게 배출된다. 그러나 회박연소에서는 적게 배출되는 NOx를 저감하는 기술개발이 부족하여 고가의 SCR 등을 사용하여 저감하여야 한다. Fig.2에서 알 수 있듯이 회박하면 할수록 NOx 배출량이 감소하므로 회박한계를 극대화하는 것이 바람직하나 실제적으로 어느 한계를 넘어서면 실화(misfire)가 발생하여 엔진이 정상적으로 작동하지 않는다.

3. 국내의 바이오가스 엔진 현황

3.1 바이오가스 엔진 보급 현황

혼소엔진은 중량 하수처리장, 안양 하수처리장, 대전 하수처리장 등에 1980년대부터 도입되어 설치되었으며, 동해시 음식물 쓰레기 처리장에는 50kW급 혼소형 엔진이 1998년 독일에서 도입되어 운영 중에 있다.

전소엔진은 김포매립지에 1.3MW * 5기가 설치된 것을 시작으로 부산의 생곡매립지, 제주의 회천매립지, 광주 운정매립지, 대전의 금고동 매립지 등 매립지에서만 외국에서 도입된 전소엔진이

전국적으로 약 30MW의 발전을 하고 있다. 부산 수영하수처리장과 파주 음식물 쓰레기 처리장 등에도 전소형 엔진이 운영 중에 있다.

그리고 대구의 방천매립지와 제주시 하수종말처리장 등에도 전소형가스엔진의 도입이 추진되고 있다.

3.2 국내 바이오가스엔진 개발 현황

국내에서 최초로 시도된 혼소형 바이오가스 엔진 개발은 오래전에 대우중공업에서 축산분뇨에서 나오는 바이오가스를 대상으로 혼소형 바이오가스엔진을 개발했다는 이야기가 있으나 기록이 없고 다만 참여했던 연구진의 구전에 의하여 전해지고 있다.

기계연구원에서는 동해시에 설치된 혼소형 엔진을 벤치마킹하여 1999년 75kW급 혼소형 가스엔진을 개발하여 대전시 유성구 금고동에 소재한 유성구 음식물 쓰레기 처리장에 설치(Fig. 3)하였으며, 2000년에는 김포매립지에서 매립지 가스를 이용한 75kW급 혼소형 발전시스템을 시험(Fig. 4)하였으며, 2002년에는 대전시 상서동 매립지에서 250kW급 혼소형 가스엔진을 시험(Fig. 5)한 바 있다.

이때의 경험을 바탕으로, 한전과 병렬운전이 가능한 150kW급 혼소형가스엔진(Fig. 6) 개발을 참여기업 (주)템스와 환경부 차세대 과제로 진행 중이며, 안양시 하수처리장에 금년 6월중 설치하여 시운전 할 예정이다.

전소형 엔진개발은 에너지관리공단의 대체에너지과제로 두산인프라코어(구 대우종합기계)와 공동으로 350kW급을 개발하여 현재 김포 매립지에서 시운전 중(Fig. 8)에 있다.

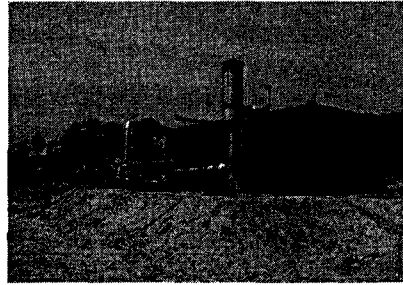


Fig. 5 혼소형 250kW 매립지가스 발전시험 (대전시 상서동 매립지, 2002)

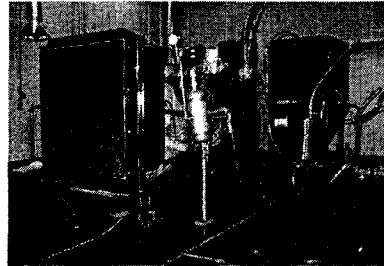


Fig. 6 도시가스로 시험중인 혼소형 150kW 발전시스템 (KIMM, 2005)

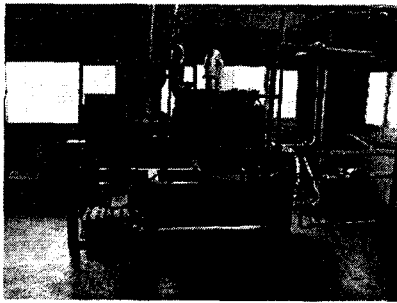


Fig. 3 혼소형 75kW급 열병합 발전시스템 (유성구 금고동, 1999)

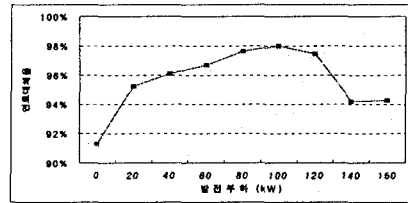


Fig. 7 부하별 대체율 (KIMM, 2005)



Fig. 4 혼소형 75kW급 매립지가스 발전시험 (김포 매립지, 2000)



Fig. 8 전소형 350kW급 LFG 발전시스템 (김포매립지, 2005)

4. 결 론

지구온난화 방지와 폐자원의 활용을 위하여 바이오가스를 이용한 발전은 지구환경 보호를 위하여 필수적인 기술이다. 특히 바이오가스의 주성분인 메탄은 지구온난화에 미치는 영향이 CO₂의 21배 이므로 발전연료나 보일러 연료로 활용하지 못하더라도 지구온난화를 방지하기 위해서는 반드시 소각해서 배출하여야 한다.

“대체에너지이용 발전전력의 기준가격지침”(산자부공고 2002-108)에 의거하여 매립지 가스(LFG)발전에 대한 지원제도가 확립됨에 따라 매립지가스를 이용한 발전은 민자사업으로 급속히 보급되어 전국적으로 약 30MW의 가스엔진 발전 시설이 가동 중에 있고, 2006년에는 김포매립지에 50MW 스팀터빈이 가동될 예정이다.

그러나 하수종말 처리장등에 적용되는 바이오메스에 대한 전원별 기준가격이 정해지지 않고 유보됨에 따라 이에 대한 보급은 활발히 전개되지 못하고 있는 실정이다. 그나마 앞서가는 일부 지자체에서 대체에너지 활용차원에서 일부시설이 가동 중에 있다. 바이오메스 발전가격의 기준이 하루 빨리 제정되어 일반 사업자들이 적극적인 참여를 할 수 있도록 유도하여야 한다.

바이오가스엔진은 혼소형 바이오가스엔진과 전소형 바이오가스엔진이 있으며, 각각 장단점이 있으므로 용도에 따라 적합한 것을 선정하여 사용하는 것이 바람직하다.

메탄농도변화가 심하거나 바이오가스 발생량의 변화가 있는 곳에서는 혼소형 엔진의 사용을 권장하는 바이다.

바이오가스엔진은 국내기술이 확립되지 않아 지금까지 외국의 엔진이 도입되어 설치되었으나, 350kW이하의 전소엔진과 250kW이하의 혼소형 엔진의 국산화 개발은 완료단계에 있으므로 이의 활용을 기대하는 바이다.

References

- [1] 김영민, 이장희 : “열병합 발전용 천연가스 엔진의 기술동향”, 대한기계학회 2000년도 열공학부문 추계학술대회 논문집, pp 175-184, (2000)
- [2] 박종환 : “청정개발체제를 통한 온실가스 저감 및 매립가스자원화 방안”, 한국폐기물학회 2000년 폐기물 매립기술 심포지엄, pp 69-83, (2000)
- [3] David P. M., Gary D. B., John C. H., and John T. K. : "Evaluation of Six Natural Gas Combustion Systems for LNG Locomotive Applications", SAE972967, (1997)
- [4] Gary P. Mueller : "Landfill Gas Application Development of the Catterpillar G3600 Spark ignited Gas Engine", Trans. ASME J. ICE-Vol 22, pp 161-168, (1994)
- [5] 이장희, 김영민, 이종윤, 박종환, 유만식 : “유기

성폐기물의 처리과정에서 생성되는 바이오가스를 이용한 발전기술”, 한국폐기물학회 2000년도 추계학술대회논문집 pp287-292 (2000)

- [7] 이장희, 김영민, 노윤현, 최병철, 팽성일, 김성진 : “바이오가스를 이용한 혼소형 가스엔진발전시스템 개발”, 제6회 환경기술세미나 (2004)