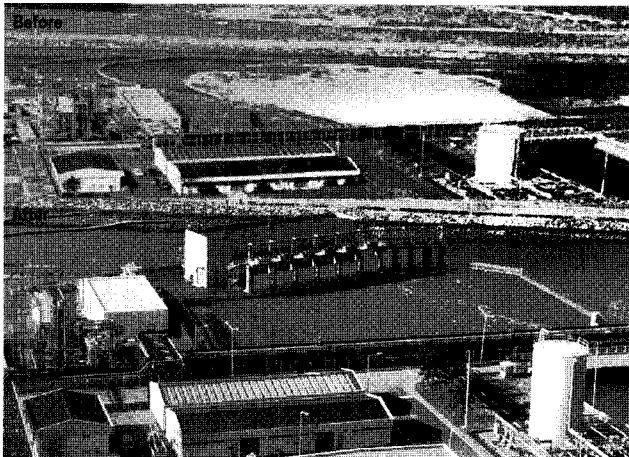


적용 예 (삼천포 해양화력발전소)



참고문헌

1. Jürgen Giesecke, Emil Mosonyi – asserkraftanlagen, 1998
2. Hersel, H. ; Mönchmeier, R.J. : Die ersten Rohrturbinen an der Saale.
3. Sandor O. Palfy: WASSERKRAFTANLAGEN. Klein – und Kleinstkraftwerke.
4. 한국전력공사 전력연구원, 화력발전소의 해양수력발전시스템 타당성 조사
5. 한국수자원공사 “수력개발을 위한 타당성조사기준”, 1986

바이오가스를 이용한 가스엔진 발전기술에 관한 연구

* 본 자료는 일본 열병합발전센터 자료에서 발췌·번역한 것임

1. 머리말

지구온난화개선을 향한 京都議定書의 批准을 받고 금 후 더욱 온난화방지를 향한 대응을 강화해 나갈 필요가 있다. 우리는 종래부터 도시가스 가스엔진 고효율발전과 배열화수시스템 (Co-generation) 의 기술개발에 대응하고 전기와 열을 Onsite에서 공급하고 에너지 손실이 없는 고 환경성의 에너지공급과 에너지시스템의 보급확대에 힘써왔다.

한편 CO₂로 대표되는 온난화가스의 배출량 삭감을 향한 별도의 Approach로서는 Biomass의 이용이 있다. 바이오매스에 포함된 탄소분은 대기중에 포함된 CO₂가 광합성에 의하여 식물 내에 고정되어있는것이므로 바이오매스의 이용에 의하여 CO₂가 발생하여도 실질적인 CO₂의 증가에는 관련이 없다. 바이오매스의 이용방법으로서의 직접연소방식, 메탄발효 및 열분해반응/화학반응에 의한 가스화의 유효이용 등이 있다.

바이오매스로부터의 가스화는 에너지자원의 순환이용, 반송과 보존성의 향상, 그래서 자동차나 발전용 등 에의 용도확대 등 편리성이 크게 향상된것으로부터 바이오매스 이용의 보급확대가 기대된다.

본 보고에서는 바이오매스 에너지의 유효이용기술로 바이오가스 (메탄발효가스) 를 연료로하는 가스엔진 발전기술을 실용화로 향한 시험용 단기통 가스엔진을 이용한 연소 기초시험과 실 바이오가스를 이용하여 실증 시험을 한 내용을 보고한다.

본 보고의 일부는 독립행정법인·신에너지·산업기술종합개발기구 (NEDO) 와의 공동연구, 바이오매스 등 미활용에너지 실증시험사업·동 사업조사, 바이오매스 등 미활용 에너지 실증시험사업 「海産 미활용 바이오매스를 이용한 에너지 커뮤니티에 관한 실증시험사업」에서 다룬 내용이다.

2. 바이오가스를 이용한 가스엔진발전의 위치 부여

바이오게 연료를 발전용 연료로 사용할 경우 주로 4가지의 형태가 있다.

- 가스엔진발전
- 디젤엔진발전
- 가스터빈발전
- 연료전지 (인산형 발전)

가스엔진은 디젤엔진에 이어 효율이 높고 배가스가 청정하여 친 환경적이다. 근년에는 기술혁신이 진전되어 디젤엔진과 동등 이상의 효율을 실현하고있는것이 많이 있다. 또한 연소온도가 높아 열회수가 용이하다.

디젤엔진에는 주로 폐 식용유에 메타놀과 가성소다를 가하여 반응솔에 넣어 가열, 에스테르화 정제처리한 바이오 디젤연료를 사용하는것이 보통이다. 발전효율이 높고 가격도 저렴하다. 그러나 배기처리촉매가 사용되지 않으므로 NO₂ 배출량이 많은 결점이 있다.

가스터빈은 발전효율이 낮고 대규모, 대량의 증기열원을 필요로하는 곳에 적합하다. 또한 조성 변동을 동반하는 연료가스에 의한 운전이 비교적 가능하다. 그러나 연료 중에 불순물이 함유되면 터빈 Blade에 악영향을 주므로 바이오가스의 정제처리에는 심분 주의할 필요가 있다.

연료전지는 4개의 원동기 중에 가장 발전효율이 높고 전기를 필요로하는 물품에 적합하다. 그러나 초기비용이 높고 또한 연료가스의 전처리에 심분 주의할 필요가 있다.

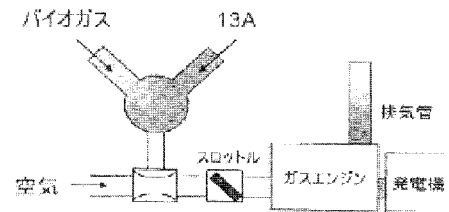
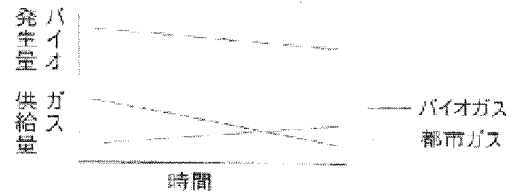
일본에 있어서의 바이오매스 설비는 개개의 설비를 보면 어느것이나 소규모의 설비가 많다. 한편 가스엔진은 소규모이면서 높은 발전효율을 갖고 환경면이나 비용(초기, 유지비)에 있어서도 여타의 발전방식과 비교하여 우위를 차지한다. 가스엔진 발전방식은 일본의 바이오가스발전에 적합하다고 말할 수 있다.

[표-1]은 바이오가스발전시스템의 비교를 표시한다.

3. 가스엔진에 의한 바이오가스 發電課題와 연구목적

메탄발효에 의하여 얻어진 바이오가스를 가스엔진 열병합 연료로 이용할 경우 발효되는 원료나 발효시의 환경상태에 따라 가스조성이나 발생량이 변동 할 시의 대응이 과제로 된다. 이 변동은 가스엔진 운전의 불안정화

를 초래하고 또한 가스발생량의 부족에 의한 운전정지 등 운용상의 문제를 이르기킬 요인이 된다. 여기서 우리는 바이오가스의 변동에 대응하는 바이오가스과 도시가스와의 혼소방식에 着目하였다. (그림-1 참조)



[그림-1] 혼소방식 개념도

혼소방식이란 바이오가스에 조성과 열량이 안정된 연료가스(예로 도시가스)를 첨가하여 가스엔진에 공급, 二燃料가스에 의하여 운전을 행하는 방식을 가리킨다. 본 개발에서 안정된 조성·열량을 갖는 가스로 도시가스를 채택하였다. 이 방식에 의하여 엔진에 공급하는 연료의 Input 저하를 도시가스로 보충하는것이 가능하므로 바이오가스의 발생량이나 조성변동의 영향을 받지않고 발전출력이 일정한 운전이 상시 가능하게된다.

본 연구에서는 혼소방식에 의한 안정된 가스엔진 발전장치의 실용화를 향하여 우선 원동기인 가스엔진 혼소시에 기관특성을 시험용 단기통 시험기를 이용하여 실험적으로 검토하여 혼소의 효과를 확인하는것을 목적으로 하였다. 또한 단기통 시험기에 의한 기본 성능시험 결과를 먼저 구축한 가스엔진 혼소시스템 제어계의 검토와 평가를 실 바이오가스 발전 플랜트에서 실시하여 실용화를 향한 식견을 얻는것을 목적으로 하였다.

[표-1] 바이오가스 發電시스템의 비교

항 목	가스엔진	디젤엔진	가스터빈	연료전지(인산)
연료 (Biomass계)	소화가스 바이오가스	바이오액체연료	바이오가스 바이오액체연료	메타놀 바이오가스
출력범위	15~1,200kW	100~13,000kW	400~100,000kW	바이오가스
발전효율	25~35	32~40%	20~30%	50~200kW 정도
폐열회수	온수&증기	온수&증기	증기	40~45%
소음	디젤보다 작음 95~35%	100dB (A)전후 102~105dB	고주파역높음	온수
진동	방진대책 요	방진대책 요	105~110dB	
가 격	가스터빈과동등	가스엔진보다저가	방진대책 불요	최고로 높다
특 징	배가스가 청정 각종배기후처리 촉매 이용가	발전효율이 높다 배기후처리촉매는 사용되지않음	발전효율이 낮음 소형 경량	CO 함유율 제한 Cell의 작동온도 190~220℃

4. 온소시의 가스엔진 기본 성능시험 (단기통 가스엔진시험)

도시가스 및 바이오가스(메탄가스) 혼합연료의 기본 연소특성을 파악하기 위하여 시험용 단기통 가스엔진을 이용하여 실험을 실시하였다. 연소방식은 구조가 간단한 단실식 불꽃 점화방식으로, 또한 고출력화와 고효율화를 목적으로 희박연소방식으로 하였다. 압축비는 가스엔진으로 표준인 12를 채택하고 Piston 연소실형상은 Bathtub형으로 하였다.

바이오가스의 대상은 메탄발효가스로 하고 실험에서는 Bombe로부터 공급된 각 가스를 Flow controller로 조정하여 模擬 바이오가스를 사용하였다.

운전조건은 圖示平均有效壓 IMEP = 1.2MPa, 회전수 1000rpm 일정하게, 점화시기, 공급가스 중의 도시가스 혼합비율 및 공기비를 파라미터로하여 시험을 실시하였다. 모의 바이오가스 및 도시가스의 혼합비율은 Mass flow 유량 조정 및 도시가스의 공급압 조정에 의하여 수동 조정하였다. 공기비는 가스엔진으로 공급하는 공기량에 의하여 조정하였다.

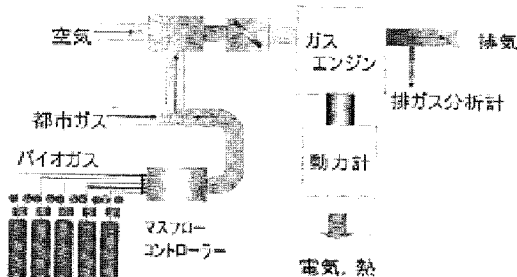
供試機關 諸元을 [표-2]에, 실험조건을 [표-3]에 각각 표시하였다. 또한 실험장치의 Flow를 [그림-2]에 표시하였다.

[표-2] 공기기관(단기통 가스엔진)

bore X stroke	φ125 X 130mm
기통수	1
압축기	12
연소실形狀	Bathtub
연소방법	불꽃점화단실식희박연소

[표-3] 시험조건

供試機關	[표-2]기재 가스엔진
출력	IMEP = 1.2MPa 일정
회전수	1000rpm
연소실형상	bathtub
연소방식	불꽃점화단실식희박연소
연료	도시가스 13A 모의 바이오가스 (CH ₄ :CO ₂ = 60:40 vol%)
파라미터	공기비, 연료가스혼합비율



[그림-2] 단기통시험기 실험 FLOW

4.2 메탄발효가스와 도시가스와의 혼소 성능시험

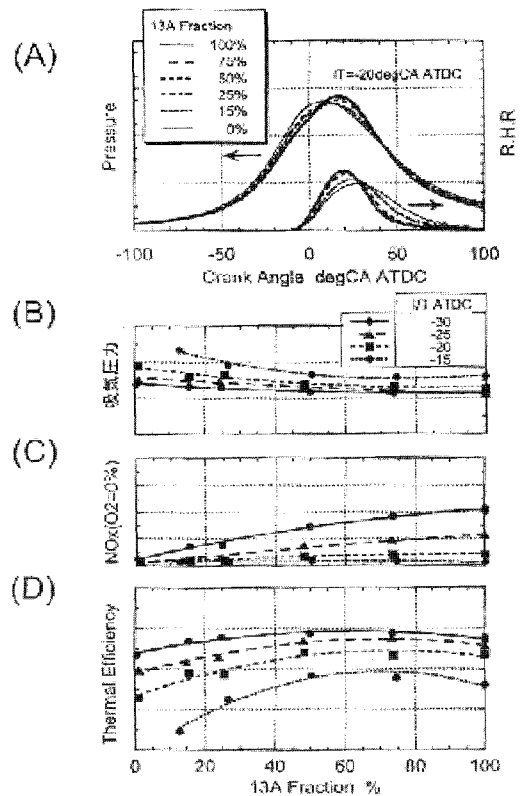
출력, 회전수 그리고 공기비 1.7의 일정 조건에서 각 점화시기에있어서 공급연료가스 중의 도시가스 비율을 변경하였을 시의 기관 성능을 [그림-3]에 표시하였다. 공급가스 중의 도시가스 혼합비율을 크게하여 나가면 열발생율 (Rate of Heat Release-RHR)이 커지고 연소가 빨라지는 모양이 확인되었다(그림-3 (A)).

이것은 도시가스 비율증대에 의하여 모의 메탄발효가스 중에 포함되는 연소 저해성분인 불활성가스가 상대적으로 적어져 연소가 활성화된 것으로 생각된다. 이 결과 도시가스 혼합률(13A Fraction)의 증대에 의하여 열효율이 향상되어(그림-3 (D)), 배가스 중에 함유된 질소산화물 (NOx)의 농도도 증대되는 경향이다(그림-3 (C)).

공급가스 중의 도시가스 혼합비율에 대한 흡기 Manifold 압력의 관계를 그림-3(B)에 표시하였다.

흡기 Manifold는 일반적으로 Throttle 과 실린더 사이에 있는 작은 공간영역을 이르고 이영역의 압력을 감시하여 엔진이 소정의 출력을 유지하는데 필요한 가연성 혼합기량 (체적)과 공기비를 추정하는것이 가능하다.

이상과 같은 견해로 혼소율에 대한 흡기 Manifold의 압력특성을 고찰한다(그림-3 (B)). 메탄발효가스에 도시 가스를 혼합하면 가스엔진에 공급되는 가연성 혼합기의



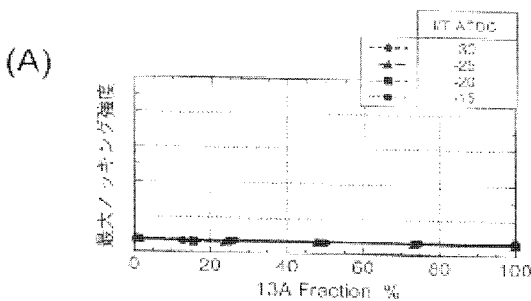
[그림-3] 메탄발효가스 혼소시의 기관특성 (λ = 1.7, IMEP = 1.2MPa, 1000rpm)

단위체적 당 열량이 상승하므로 소정의 가스엔진 출력을 유지하는데 필요한 가연성 혼합기량은 적어지고 흡기 Manifold 압력은 저하되었다. 이 결과 도시가스 비율 증대에 의하여 많은 가연성 혼합기를 실린더에 공급할 수 있는 여력이 증가되어 가스엔진의 比出力(단위배기량 당 출력) 증대가 가능하다는것을 실험적으로 확인하였다.

4.3 Knocking의 영향

[그림-4]에 공급가스의 도시가스 혼합비율에 대하여, 최대 노킹강도의 관계를 기술하였다.

여기서 최대 노킹강도란 가스엔진 실린더 내의 압력을 3~10 kHz로 Band pass Filter 처리하여 280 사이클 평균화 처리한 신호의 최대치이고 次元은 압력으로 표시한다. 공급연료가스 중의 도시가스 비율이 증대하면 불활성가스성분인 CO₂ 배율이 감소하므로 이론적으로는 노킹이 발생하기 용이하게 된다. 역시 실험으로는 도시가스배율을 증대시켜도 노킹강도의 증대는 보이지 않는다. 도시가스 비율 증대에 의한 노킹의 문제는 없는것으로 확인하였다.



[그림-4] 메탄발효가스 혼소시의 기관특성 (Knocking)
(λ=1.7m IMEP=1.2MPa, 1000rpm)

4.4 기본성능시험 정리

기본성능시험결과에 의하여 메탄 발효가스와 도시가스의 혼소운전에 있어서 공급가스 중의 도시가스 비율이 증대되었을 시의 가스엔진 성능에 관하여 다음과 같은 지식을 얻었다.

- 열효율이 향상된다.
- 가스엔진의 比出力의 증대가 가능.
- 공기비나 점화시기를 조정하여 바이오가스 専焼보다 동일한 NO_x 농도에서 효율이 높게된다.
- 도시가스 専焼운전에서 노킹의 문제가 없으면 도시가스의 어떤 혼합비율에 있어서도 문제가 없다.

5. 實바이오가스를 이용한 실증시험

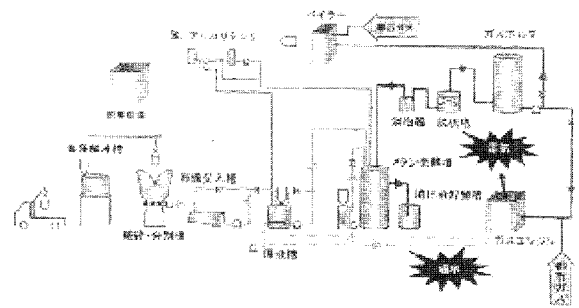
4장에서 기본시험을 근간으로 우리는 독립행정법

인·신에너지·산업기술 종합개발기구 (NEDO)와 공동으로 海藻를 원료로하는 바이오가스화 발전기술에 관하여 실증시험을 실시하였다.

가스엔진 발전시험에서는 단기통 시험결과를 근간으로 구축한 혼소 자동제어장치를 이용하여 주로 가스엔진의 혼소시의 제어성 평가를 실시하였다. 본장에서 혼소 자동제어장치의 개요, 혼소자동제어장치를 이용하여 단기통 시험기기의 시험결과를 기록한다.

5.1 바이오가스 발전 Plant 개요

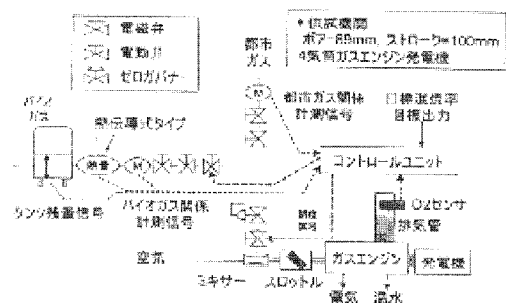
본 실증시험의 Flow 개요를 [그림-5]에 표시하였다. 海藻원료는 입고 후 전처리공정을 거쳐 메탄발효조에 보내어진다. 메탄발효에 의하여 발생된 바이오가스는 정제 후 가스홀터에 저장되고 저장된 바이오가스는 도시가스와 혼합하여 가스엔진 Co-generation 의 연료로 사용된다. 발전된 전기는 부지 내 건물의 조명 등에 이용하고 배열은 槽의 가운에 이용된다.



[그림-5] 실증시험 FLOW 概略圖

5.2 가스엔진의 제어에 관하여

단기통시험에 의한 가스엔진 혼소 기본성능시험의 결과를 근간으로 혼소 자동제어장치의 Logic 고안과 제어장치를 구축하였다. 혼소 자동제어장치의 구성을 [그림-6]에 표시하였다.



[그림-6] 혼소자동제어장치 개요

본 장치는 Control unit를 중심으로 제어에 사용하는 각종 센서 (전력계, 가스유량계, 바이오가스 열량계, 배기 O₂ 센서 와 가스유량조정용 밸브로 구성된다.

Control Unit는 각종 센서로부터의 신호를 취합하여 현재의 가스엔진의 운전상태를 파악, 적절한 공기비가 되도록 도시가스와 바이오가스 혼합 후의 가스유량조정 전동변을 제어한다. 운전 중의 공기비는 배기관에 설치된 산소센서로부터의 신호를 指標로 혼소 기본 성능시험에서 얻어진 데이터로 적절한 배기 산소농도가 되도록 제어한다.

5.3 가스엔진 개요와 시험결과

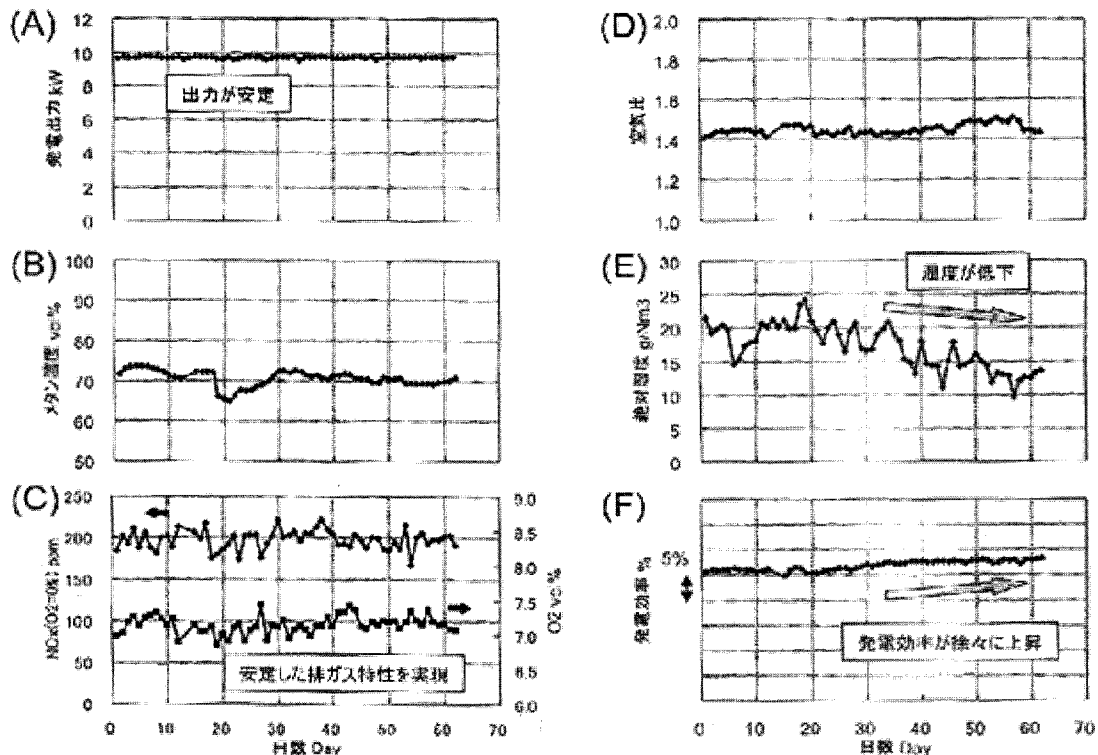
구축한 가스엔진 혼소자동제어장치를 이용하여 혼소운전 장기 운전시험을 실시하였다. 원동기는 Bore 88mm × Stroke 90mm, 3기통 단실 점화식 가스엔진으로 Coupling을 끼워 발전기가 접속되었다. 발전출력 9.8kW, 점화시기 일정조건으로 혼소율은 도시가스 전소 시험과 손색이 없는 효율로, 가스화Plant에서 발생한 바이오가스를 발전용 연료로 적극적으로 이용하는 것을想定, 50%vol.로 설정하였다. 또한 혼소 자동제어장치는 가스엔의 배가스 NOx 농도가 200ppm (O₂=0%)이 되도록 자동제어를 하였다. 상기 운전조건에서 DSS(Daily Start and Stop)로 약 60일(강)운전을 하여 가스엔진의 운전 안정성(발전출력, NOx, 효율)을 평가하였다.

운전일수에 따른 각종 계측결과 추이를 [그림-7]에 표시하였다. 그림 중의 Plot는 매일 정상운전 시의 평균치이다. 그 결과 그림-7(B)에 나타난 바와 같은 열량변

동 (= 바이오가스 중의 메탄농도의 변동)은 물론 구축한 혼소 자동제어장치에 의하여 적절한 공기비가 설정되어 (그림-7 (D)), 안정된 발전출력 및 배가스 NOx 농도에서의 운전이 실현되었다 (그림-7 (A), (C)). 발전효율 (그림-7 (F))도 안정된 성능을 유지되고 있지만 운전일수를 연장함에 따라 효율의 향상이 보인다. 그 이유로 장기간 운전시험기간에 있어서 동절기에 접근함에 따라 대기중의 절대습도가 저하하므로 (그림-7 (E)) 연소 저해 성분인 수분량의 감소가 수반, 엔진 실린더 내의 연소가 활발하게 되어 효율이 향상된 것으로 추정한다. 이와같이 계절에 따라 변화하는 대기중의 절대습도에 의하여 약간 가스엔진의 성능은 영향을 받으나 바이오가스 열량이 변화하여도 장기운전기간 중에 있어서 발전효율에 큰 변화없이 안정된 운전과 성능을 유지하게 되었다.

6. 맺는 말

單氣筒 試驗機에 의한 기본 성능시험에 의하여 바이오가스와 도시가스의 혼소시에 있어서의 기본 성능 특성을 파악할 수 있었고 구축한 혼소 자동제어장치에 의한 바이오가스의 조성변동에 관계없이 안정된 운전을 실현하는것이 가능하게 되었다. 안정성이 높은 제어계 구축에 의하여 바이오가스 이용 보급에 의한 온난화방지에 기대하고 싶다.



[그림-7] 가스엔진 장기운전시험성능 (발전출력 9.8kW, 혼소율 50%, 점화시기 일정, DSS 운전)