

고효율 저공해 열병합발전 하이브리드 시스템 개발

최재준, 김혁주, 정대헌, 박화춘

한국에너지기술연구원

Development of High Efficiency and Low Pollutant Cogeneration Hybrid System

Jaejoon Choi, Hyouckju Kim, Daehun Chung, Hwa-Choon Park

Korea Institute of Energy Research

ABSTRACT: The importance of the more efficient cogeneration system is emphasized. Also the more clean energy is needed at recent energy system. The cogeneration system using Lean burn engine is more preferred to the system using Rich burn engine because of the electrical efficiency. Although the cogeneration system using Lean burn engine is economically preferred, because of the NOx emission level, the system using Rich burn engine with 3-way catalyst can only be used in Korea. The NOx regulation level is 50ppm at oxygen level 13%. The cogeneration hybrid system is consist of Lean burn gas engine, afterburner, boiler, economizer, DeNOx catalyst, combustion catalyst, absorption chiller, cooling tower and grid connection system. The system was accurately evaluated and the result is following ; 90% total efficiency, below 10ppm NOx, 50ppm CO, 25ppm UHC. The cogeneration hybrid system can meet the NOx level and exhaust gas regulation. It can achieve the clean combustion gas and efficient cogeneration system.

Key words: Cogeneration system(열병합발전 시스템), 하이브리드(Hybrid), 후연소버너(Afterburner), 보일러(Boiler), 시스템 최적화(System optimization)

1. 서론

열병합발전시스템은 기존 발전기가 발전 전용으로 발전 과정에서 발생하는 열을 인위적으로 방열시켜 소비하는 데 비하여 배열과 방열을 회수하여 이를 온수나 증기 형태로 물 또는 작동유체와 열교환을 하여 폐열을 적극적으로 활용하는 시스템이다. 시스템의 높은 전기·열적 효율에 따른 경제성에 기인하여 열병합발전시스템에 관한 관심 또한 높아지고 있고, 이미 많은 공동주택단지, 병원, 대형건물 등에서 열병합발전시스템을 설치·운영중에 있다. 열병합발전시스템 운영에 있어서 최근 환경과 공해에 대한 관심이 높아지고 있어 우리나라에서는 전세계적으로 유래 없

는 열병합발전시스템의 NOx 수준을 2008년부터 50ppm(@ 13% O₂)으로 규제하고 있고, 인구밀집지역인 수도권에서는 엔진을 이용한 열병합발전시스템의 NOx 규제 수준을 20ppm(@ 15% O₂)에 맞추도록 하고 있어 현재 122ppm(@ 13% O₂) 수준인 외산 열병합발전시스템의 국내 진입이 어려운 형편이다. Rich burn 형태의 연소방식을 사용하는 엔진 열병합발전시스템에서는 강력한 삼원촉매방식의 후처리 장치의 사용으로 50ppm을 달성한 바 있지만⁽¹⁾, Rich burn 엔진을 이용한 열병합발전시스템은 전기 효율이 Lean burn 엔진을 이용한 열병합발전시스템보다 낮아 전기 효율이 중요한 열병합발전시스템에서의 선호도가 떨어지는 것이 사실이다. Lean burn 엔진을 이용한



Fig. 1 150kW급 가스엔진

열병합발전시스템에서는 NOx 수준을 맞추기 위하여 암모니아를 사용하는 SCR (Selective Catalytic Reduction)과 같은 Lean NOx 촉매를 사용하기도 하지만, 설치비와 유지비가 만만치 않아 경제성이 떨어지게 되며 Lean burn 엔진을 사용하는 장점이 없어지게 된다. 이에 본 연구에서는 전기 효율이 좋은 Lean burn 엔진을 사용하여 전기 생산량·효율을 높이고 엔진 배가스 중 연소되지 않은 산소를 이용, 후연소를 시켜 산소를 소모하면서 보일러에서 열을 회수하는 방법인 열병합발전 하이브리드 시스템(열병합발전 시스템 + 보일러 시스템)을 설계·제작하였고, 고온, CO가 있는 분위기에서 NOx를 제거할 수 있는 DeNOx 촉매를 이용하여 NOx를 제거한 후 연소촉매를 이용하여 잔여 CO와 UHC(Unburned Hydrocarbon)를 제거하여 청정한 배기가스가 방출될 수 있는 시스템을 설계, 제작하였다.

2. 시스템 구성

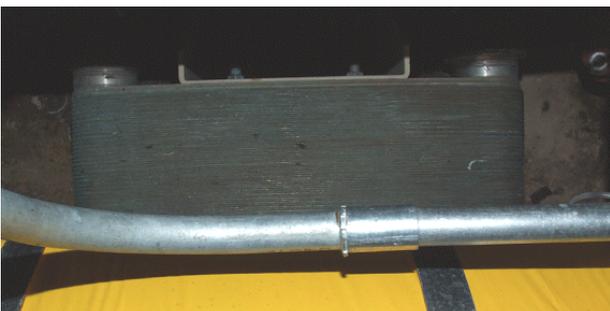


Fig. 2 엔진 냉각수 열교환기



Fig. 3 후연소버너

2.1 Lean burn 엔진

본 열병합발전 하이브리드 시스템에 사용되는 원동기인 Lean burn 엔진으로서는 Deutz사의 180kW급 열병합발전용 가스엔진이 사용되었다. 본 엔진은 한국 전기 방식인 60Hz의 전기를 생산하기 위하여 엔진이 1800RPM으로 회전하며, 도시평균유효압력(IMEP; Indicated Mean Effective Pressure)은 10.1bar이며, 본 시스템에서는 최대 150kW의 전기를 생산하도록 조정되어 있다. Fig. 1은 본 설비에서 사용된 엔진의 사진을 보여주고 있다. 가스엔진 발전기 세트에는 엔진 냉각수 열교환기가 포함되어 있어 엔진의 냉각열을 수요처에서 사용할 수 있도록 한다. Fig. 2는 가스엔진 발전기 세트에 사용된 엔진 냉각수 열교환기를 나타내어 주고 있다. 가스엔진 시스템에는 엔진 비상 냉각기가 포함되어 있어 수요처의 공급온수 온도가 높을 때에 단독으로 엔진 냉각수의 온도를 낮추어줄 수 있다.

2.2 후연소 버너(Afterburner)

본 시스템에 사용된 Lean burn 엔진의 배기가스에는 부피비로 8%의 산소가 존재한다. 이렇게 배기가스에 포함된 8%의 산소와 연소를 안정시키기 위한 약간의 추가공기를 송풍기를 이용하여 더 주입하고, 혼합된 배기가스에서의 산소를 모두 소비하기 위하여 추가 연료를 사용하여 후연소버너를 이용하여 모든 산소를 소비하는 개념으로 후연소버너를 설계·제작하였다. 또한, 본 연구에

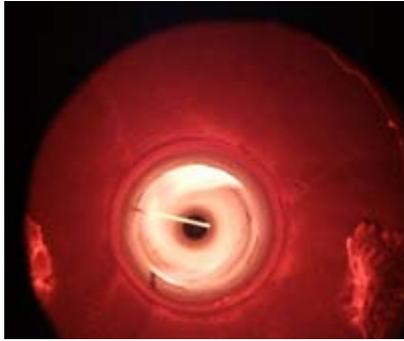


Fig. 4 후연소버너에서의 연소과정

서 사용된 DeNOx 촉매가 약 300~1000ppm의 CO를 환원제로 사용되기 때문에 후연소버너에서의 믹싱 가스의 튜닝으로 300~1000ppm의 CO를 발생시키기 위하여, 또한 공급된 산소를 전부 다 소비하기 위하여, 후연소버너의 역할은 본 시스템에서의 핵심이라고 할 수 있다. Fig. 3은 본 연구에서 제작된 후연소버너의 사진을 나타내고 있다. 본 후연소버너 시스템은 새로운 공기와 약간의 연료가 파일릿 화염을 형성하고, 엔진 배기가스와 혼합된 연료가 강제로 태워지는 형식인, 강력한 스웰 형성으로 인하여 저산소농도에서도 연소가 이루어질 수 있게 만든 저산소버너라고 할 수 있다. Fig. 4는 본 후연소버너에서 배기가스와 함께 연소되는 모습을 촬영한 사진을 나타내어 주고 있다.

2.3 DeNOx 촉매



Fig. 5 배열회수보일러



Fig. 6 2-pass와 3-pass 사이에 설치된 DeNOx 촉매

본 시스템에서 사용된 DeNOx 촉매는 Pt/Rh계 촉매로서, 420°C~520°C에서 DeNOx 효율이 90% 이상이다. 본 촉매는 300~1000ppm의 CO를 환원제로 사용하므로 암모니아 같은 별도의 환원제가 필요없이 연소중 생성되는 물질만 이용하여 DeNOx가 진행되게 함으로서 경제적인 DeNOx 촉매라고 할 수 있다. 산소가 없는 분위기에서만 CO가 NOx의 산소 성분을 환원해가는 원리로 DeNOx가 진행될 수 있으므로 후연소버너에서 본 촉매가 필요한 조건인 산소 0.1% 이하, CO 300~1000ppm을 버너에서 맞추어주는 것이 필요하며 DeNOx 촉매가 있는 위치에서의 온도가 DeNOx 촉매 활성화 온도인 420°C~520°C로 맞추어 주는 기술 또한 필요하다.

2.4. 배열회수 보일러

후연소버너와 엔진 배기가스의 열은 배열회수 보일러에 의하여 회수되어 온수를 가열하는 데에 사용된다. Fig. 5는 본 시스템에 설치된 배열회수 보일러의 사진을 보여주고 있다. 본 배열회수 보일러는 3-pass 연관식 타입으로서 전열면적은 24.5m³이다. DeNOx 촉매의 활성화 온도가 420°C~520°C이므로 2-pass와 3-pass 사이의 위치에 DeNOx 촉매를 위치시켰으며 이 위치에서의 온



Fig. 7 최종 시스템 전경

도가 420°C~520°C가 되도록 보일러를 튜닝하였다. Fig. 6은 배열회수보일러의 2-pass와 3-pass 사이의 위치에 설치된 DeNOx 촉매를 보여주고 있다. 아래쪽의 2-pass 관에서 나온 연소배가스는 모두 DeNOx 촉매를 거쳐서 3-pass 관의 입구로 들어가게 설계되어 있다.

2.5 연소촉매

DeNOx 촉매와 배열회수보일러를 지난 연소가스는 NOx-free한 배기가스이지만 DeNOx 촉매를 활성화하기 위한 다량의 CO가 포함되어 있는 상태이다. 이러한 CO와 제거되지 않은 UHC를 산화시키기 위하여 배열회수보일러 뒷단에 연소촉매(Pt-Pd 계열)가 위치하고 있고, CO와 UHC를 산화시키기 위하여 추가의 산소가 필요하기 때문에 추가의 공기가 송풍기를 통하여 주입된다. 연소촉매의 활성화 온도는 200°C 이상이므로 배열회수보일러 뒷단의 온도가 200°C 이상이 되도록 배열회수보일러를 튜닝해 주는 기술 또한 필요하다.

2.6 이코노마이저

연소촉매를 지난 연소배가스는 200°C 이상으로 많은 열을 가지고 있다. 이에 이코노마이저를 설

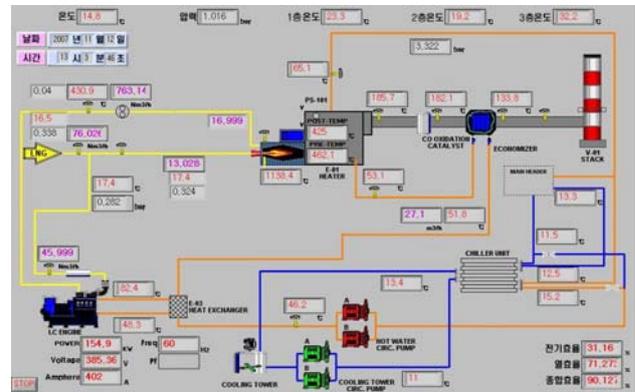


Fig. 8 시스템 P&ID

치하여 연소배가스가 가지고 있는 나머지 열을 회수하였다. 이코노마이저는 본 시스템에서 충분히 큰 용량을 사용하여 연소배가스의 온도가 응축온도인 100°C 이하로 떨어져 배가스가 가지고 있는 열을 최대한 회수하도록 설계되어 있다.

2.7 전체 시스템 및 P&ID

Fig. 7은 최종적으로 완성된 시스템 전경을 보여주고 있다. 전체 시스템에는 230RT급의 흡수식 냉동기와 320RT급의 쿨링타워, 계통연계시스템이 포함되어 있다. 계통연계시스템으로 인하여 본 열병합발전 하이브리드 시스템에서 생산된 전기는 한국에너지기술연구원에 전기를 공급하여 줄 수 있다.

Fig. 8은 시스템의 P&ID를 나타내어 주고 있다. 연료인 LNG 가스가 원동기인 가스엔진과 후연소버너 측으로 공급되고 있으며, 가스엔진에서 발생된 배기가스가 후연소버너에서 추가연료와 함께 재연소되고 배열회수보일러에서 배열이 회수되며, 배열회수보일러의 2-pass와 3-pass 위치에 설치된 DeNOx 촉매로 인하여 DeNOx 작업이 이루어지며, 배열회수보일러 끝단의 연소촉매로 인하여 CO와 UHC가 제거된다. 마지막으로 연소배가스는 이코노마이저를 통하여 가지고 있는 열이 회수되어 최종적으로 Stack으로 배출되게 된다. 온수의 순환에서는 수요처에서 나온 온수가 가스엔진 냉각수 열교환기를 거쳐서 가스엔진의 냉각수로부터 열을 회수하며, 이코노마이저를 통하여 온도가 더욱 상승하게 되고 배열회수보일러를 거쳐 최종적으로 수요처로 다시 공급되

는 형태를 가지고 있다.

3. 열병합발전 하이브리드 시스템 평가

열병합발전 하이브리드 시스템의 운전 성능 평가가 이루어졌고, 그에 대한 결과가 Fig. 7에 표시되어 있다. 시스템 성능 목표는 종합효율 90%, NOx 10ppm, CO 50ppm, UHC 25ppm(@ 13% O₂)을 목표로 하였으며 후연소버너에 투입되는 연료량을 포함하여 총 연료량 90Nm³/h를 목표로 설정하였다. 평가 결과 시스템 종합효율과 NOx, CO에 있어서 목표치를 달성하였고, UHC는 15ppm 정도 수준으로 달성하였다. 또한, 후연소버너에 투입되는 연료량을 포함한 총 연료량은 후연소버너에 대한 2차 설계 등 최적화를 통하여 75Nm³/h를 달성하여 목표를 초과달성하였다.

4 결 론

1. 150kW급 Lean burn 엔진을 이용한 열병합발전 하이브리드 시스템을 설계·제작하였고, 운전·평가하여 시스템 성능을 측정하였다.
2. 열병합발전 하이브리드 시스템은 원동기인 가스엔진, 후연소버너, 배열회수보일러, 이코노마



Fig. 7 목표 대비 성능 비교

이저, DeNOx 촉매, 연소촉매, 흡수식냉동기, 쿨링타워, 계통연계 시스템으로 구성되어 있다.

3. 열병합발전 하이브리드 시스템의 운전결과 종합효율 90% 이상, NOx 10ppm 이하, CO 50ppm 이하, HC 25ppm 이하인 목표를 달성하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 목표로 하였던 총 연료 사용량 90Nm³/h를 75Nm³/h로 줄여 열 발생량을 줄이고 전기 발생율을 높이는 결과를 가져올 수 있었다.
4. 본 열병합발전 하이브리드 시스템은 높은 전기효율을 가지고 있는 Lean burn 엔진과 보조 보일러의 개조를 통한 하이브리드 시스템으로서 강화되고 있는 NOx 규제치에 대하여 대응하는 열병합발전시스템으로서 의미를 부여할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 기본사업으로 지원받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최재준, 박화춘, “300kW급 소형 엔진 열병합발전시스템의 평가기술 개발 및 실증시험”, 대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집, pp. 453-458
2. 박화춘 외 ; 고효율 저공해 소형 엔진 열병합발전시스템 상용화 개발, 산업자원부, 2006, 6
3. 정대현 외 ; 저NOx 고효율 열병합발전 하이브리드 시스템 개발, 공공기술연구회, 2008. 1
4. 박화춘, 최재준, 임용훈, 2006, 고효율 저공해 300kW급 소형 엔진 열병합발전 시스템 개발, 2006년도 한국에너지공학회 추계학술발표회 논문집