

150kW급 열병합발전 하이브리드 시스템 최적화 연구

최재준, 김혁주, 정대현, 박화춘

한국에너지기술연구원

Optimization of 150kW Cogeneration Hybrid System

Jaejoon Choi, Hyukjoo Kim, Daeheon Jung, 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 using Lean burn engine is up to be optimized because of the large amount of the extra-fuel at the after-burner system. The after-burner system at different concept was applied. The reduction time for the activation temperature of the DeNOx catalyst was achieved by making a hole between the combustor and boiler. Because of the lowered fuel consumption, the lowered temperature level was optimized by blocking the hole of the boiler. The optimized cogeneration hybrid system consumes 76Nm³/h LNG to produce 150kW electricity compared to before optimization 103Nm³/h LNG. The system was accurately evaluated and the result is following ; 90% total efficiency, below 10 ppm NOx, 50ppm CO, 25ppm HC. The cogeneration hybrid system can meet the current 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. 서 론

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 공동주

택단지, 병원, 대형건물 등에서 열병합발전시스템을 설치·운영중에 있다. 열병합발전시스템 운영에 있어서 최근 환경과 공해에 대한 관심이 높아지고 있어 우리나라에서는 전세계적으로 유래 없는 열병합발전시스템의 NOx 배출 수준을 2008년부터 50ppm(@ 13% O₂)으로 규제하고 있고, 인구밀집지역인 수도권에서는 엔진을 이용한 열병합발전 시스템의 NOx 규제 수준을 20ppm(@ 15% O₂)에 맞추도록 하고 있어 현재 122ppm(@ 13% O₂) 수준인 외산 열병합발전시스템의 국내

진입이 어려운 형편이다. Rich burn 형태의 연소 방식을 사용하는 엔진 열병합발전시스템에서는 강력한 삼원촉매방식의 후처리 장치의 사용으로 50ppm을 달성한 바 있지만, 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 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.

이전 연구⁽¹⁾에서 Lean burn 엔진을 사용하고 엔진 배가스 중 연소되지 않은 산소를 이용, 후연소를 시켜 산소를 소모하면서 보일러에서 열을 회수하는 방법인 열병합발전 하이브리드 시스템(열병합발전시스템 + 보일러 시스템)을 설계·제작한 바 있다. 본 시스템은 NOx, CO, UHC(Unburned Hydrocarbon) 등 배출 성능이 좋으나 전체적인 관점에서 보았을 때에 150kW 전기를 생산하기 위하여 엔진 자체에는 45Nm³/h 정도의 연료만 소모가 되지만 NOx 촉매의 활성화를 위하여 후연소버너에서 58Nm³/h 정도의 연료가 추가로 필요하는 등 종합효율은 높지만(90% 정도) 전체적인 전기효율이 낮아(14% 정도) 개선이 필요하다.

이에 본 연구에서는 본 시스템의 핵심이라고 할 수 있는 후연소버너를 재설계하여 추가되는 연료를 최소화하였으며, 이로 인하여 감소된 열량 때문에 NOx 촉매의 활성화, 산화촉매의 활성화 조건에 온도가 도달하지 않는 문제의 해결을 위하여 보일러를 개조하였다. 또한 NOx 촉매 위치에서의 빠른 촉매 활성화 온도 도달을 위하여 by-pass 라인을 설치하여 NOx 촉매 위치에서의 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(열병합발전시스템 + 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. 최적화 전 성능

2.1 전체 연료량 과다

Fig. 1은 이전 연구⁽¹⁾에서 실험한 결과를 보여 준다. NOx 10ppm 이하, CO 50ppm 이하, HC 25ppm 이하의 배기가스 목표는 달성하였고, 종합 효율도 88.8%로 거의 달성하였지만, 전체 소모되는 연료량에 있어서는 예상치보다 많은 연료가 소모되었다. 이렇게 소모된 연료는 열에너지로 변환되어 종합 효율에 영향을 주지는 않지만, 같은 양의, 부가가치가 높은 전기 생산을 위하여 더 많은 연료가 투입됨으로서 전체적으로는 전기 효율을 낮추는 역할을 하여 좋지 않은 영향을 미친다.

2.2 촉매 활성화 온도 소요시간

Fig. 2에서 보는 바와 같이 NOx 촉매장치는 3-pass 구조의 보일러에서 2-pass와 3-pass 사이에 위치하고 있다. 본 장치에 사용된 NOx 촉매장치의 활성화 온도가 최소 380°C 이상이므로 이 위치에서의 온도가 빠르게 380°C 이상으로 증

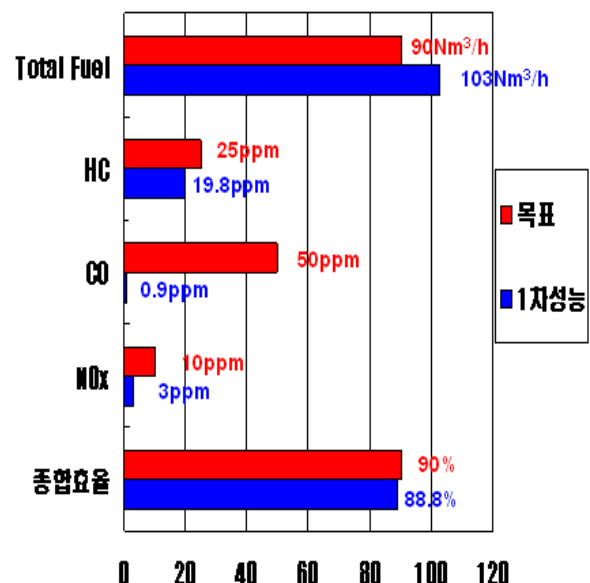


Fig.1 최적화 이전 성능



Fig. 2 DeNOx 촉매장치 위치

가하여야 전체 시스템의 배기가스에서의 NOx 배출이 줄어들게 된다. 하지만, 초기 가동시 후연소되어 높아진 온도의 배기가스가 보일러의 1-pass와 2-pass를 지나면서 정상상태에 도달하지 않은 온도의 공급수축을 지나게 됨으로서 초기에 촉매 위치에서의 480°C 이상의 유지가 어려운 형태이다.

3. 시스템 최적화

3.1 후연소 버너 최적화

Fig. 3은 최적화 전의 대략적인 버너 설계도를

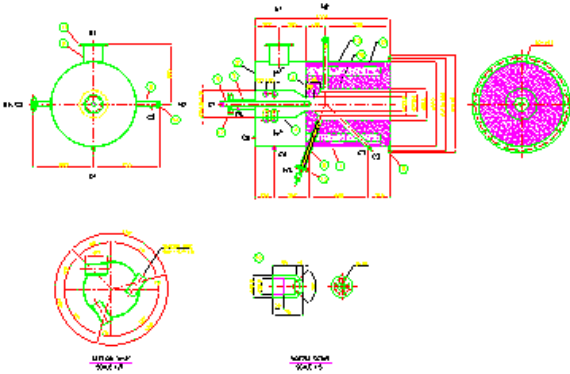


Fig. 3 버너 최적화전 설계

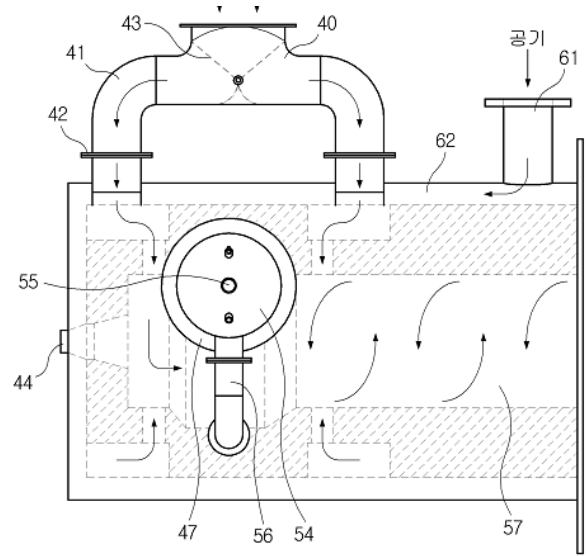


Fig. 4 버너 최적화 설계

나타내고 있다. 최적화 전의 버너는 엔진 배기가스와 추가 공기, 추가 연료가 혼합되어 한 곳의 노즐에서 스월을 이루면서 분사되어 화염을 형성하도록 되어 있다. 이렇게 이루어진 화염은 스월에 의한 작용 때문에 산소가 21%보다 적은 상태에서도 연소가 가능하였지만, 엔진 배가스에 존재하는 8% 산소만으로는 연소가 불가능하며, 부피비로 약 13% 이상의 산소가 존재할 때에 연소가 되는 것을 알 수 있었다. 그러나, 엔진 배가스에 존재하는 8% 산소에 공기(21% O₂)를 추가하여 13% 산소 상태로 만들고, 이러한 산소를 모두 연소시켜 산소가 없는 상태로 만들기 위해서는 엔진에 투입되는 연료량보다 많은 연료가 후연소



Fig. 5 최적화된 후연소 버너

버너에 투입되어야 한다는 결론이 나온다. 이에 후연소 버너를 Fig. 4와 같은 형태로 디자인한 후 교체하였다. 새로운 후연소 버너는 약간의 연료와 추가 공기를 공급함으로써 파일럿 화염을 생성시킨 후 엔진 배가스와 연료를 혼합하여 버너 내로 주입함으로써 엔진 배가스와 혼합된 연료를 강제로 연소시키는 형태를 하고 있다. 이렇게 함으로써 전체적으로 산소농도 10% 이하, 추가연료 30Nm³/h정도로 후연소 버너를 성공적으로 운전할 수 있어 후연소 버너 연료 소비량을 48% 감소시켰다. Fig. 5는 새로운 후연소 버너의 외관을 보여준다.

3.2 촉매 활성화 온도 도달시간 최적화

새로운 개념의 후연소버너로 후연소버너에서의 연료 소모를 최적화하였지만, 보일러의 2-pass와 3-pass 사이에 위치하고 있는 DeNOx 촉매 위치에서의 촉매 활성화 온도는 낮아진 열량 때문에 이전과 같이 촉매 활성화 온도 도달시간이 더욱 더 길어지고 도달하기 힘들어졌다. 이에 Fig. 6과 같이 연소실과 2-pass를 관통하는 홀을 가공하고, 이를 조절하는 밸브를 이용하여 DeNOx 촉매 위치에서의 촉매 활성화 온도가 빨리 도달하도록 제작하였다.

3.3 보일러 최적화

새로운 개념의 후연소버너를 이용하여 전체적인 연료 소모가 감소하였기 때문에, 전체적으로 보일러에서부터 이코노마이저까지 각 부분에서의 절대온도가 감소하였다. 본 시스템에서는 DeNOx 촉매 위치에서의 온도, 연소촉매 위치에서의 온도가 각각 380°C 이상, 200°C 이상으로 유지되어야 하기 때문에 본 조건을 지켜주어야 한다. 따라서, 보일러의 전열면을 효과적으로 줄이고, 각 부분에서의 온도를 조절하기 위하여 Fig. 7에서와 같이 연도를 인위적으로 막아 버너 뒤 각 부분에서의 온도를 유지하도록 하였다.

3.4 최종 시험 결과

Fig. 8은 최종적으로 완성된 시스템 전경을 보여주며, Fig. 9는 시스템 P&ID와 각 부분에서의



Fig. 6 연실과 화실 사이의 홀가공

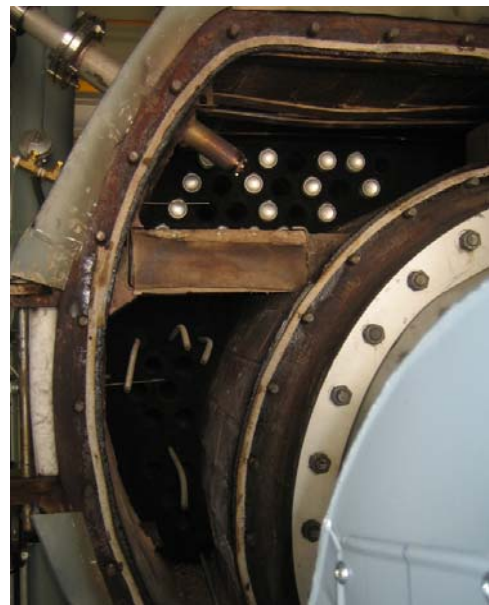


Fig. 7 보일러 최적화 작업

온도를 보여주고 있다. 후연소버너측으로 30 정도의 추가 연료가 소모되는 것을 확인할 수 있으며, DeNOx 촉매 위치에서의 온도가 400°C 이상, 산화촉매 위치에서의 온도가 180°C 이상 유지되는 것을 볼 수 있다. 이에 대하여 최종 시스템의 성능이 Fig. 9에 표시되어 있다. 효율은 최적화 이전 시스템과 거의 동일하며, NOx 10ppm 이하, CO 50ppm 이하, HC 25ppm 이하의 목표를 모두 만족시켰으며, 전체 소비되는 연료량이 103Nm³/h에서 75Nm³/h로 27%가 감소되어 결과적으로 투입 연료 대비 전기출력의 양이 증가되는 결과를 가져왔다.



Fig. 8 전체 시스템 전경

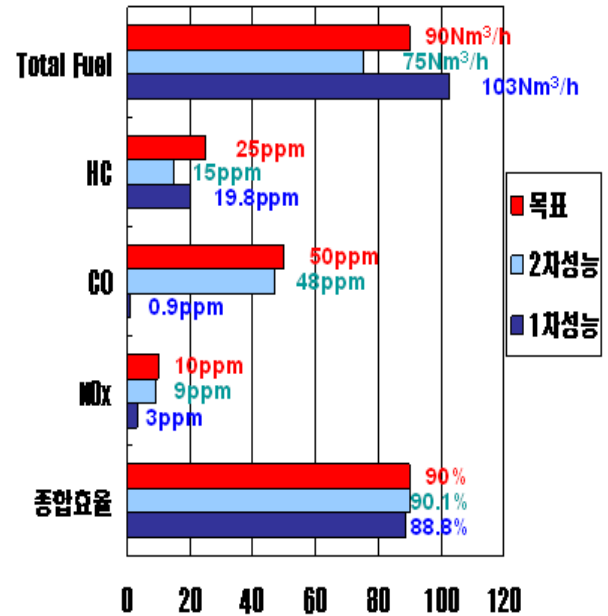


Fig. 9 최종 시스템 성능

4 결론

1. 기 개발된 150kW급 열병합발전 하이브리드 시스템의 추가 연료 소모량을 감소시키기 위하여 후연소버너를 재설계, 제작하였고, 장착하여 실험한 결과 후연소버너에 투입되는 추가 연료의 양이 58Nm³/h에서 30Nm³/h로 48%가 감소되는 결과를 얻었다.
2. DeNOx 촉매 위치에서의 촉매 활성화 온도에 신속하게 도달하기 위하여 화실과 연실 사이에 홀을 가공하고, 밸브로 제어를 하여 DeNOx 촉매 위치에서의 촉매 활성화 온도인 380°C 이상을 신속하게 만들 수 있었다.
3. 후연소버너에 투입되는 추가 연료의 감소로 인한 전체 열량의 감소 때문에 DeNOx 촉매 위치, 산화촉매 위치에서의 촉매 활성화 온도 도달의 난이점 때문에 보일러의 연통을 폐쇄시키는 방법을 사용하여 시스템 각 부분에서의 목표온도에 도달할 수 있었다.
4. 열병합발전 하이브리드 시스템의 운전결과 종합효율 90% 이상, NOx 10ppm 이하, CO 50ppm 이하, HC 25ppm 이하인 목표를 달성하는 것을 확인할 수 있었다.
5. 본 열병합발전 하이브리드 시스템은 높은 전기효율을 가지고 있는 Lean burn 엔진과 보조보일러의 개조를 통한 하이브리드 시스템으로서 강화되고 있는 NOx 규제치에 대하여 대응

하는 열병합발전시스템으로서 의미를 부여할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 기관고유사업으로 지원받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최재준 김혁주, 정대현, 박화춘 ; 고효율 저공해 열병합발전 하이브리드 시스템 개발, 2008년도 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집
2. 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