

촉매연소에 의한 저온 건조공정에서의 에너지 절약 효과

강성규, 유인수, 하영옥*, 원장묵**

한국 에너지 기술 연구소
* (주) 남진 풍열 기계
**에너지·자원 기술개발 지원 센터

Energy conservation by catalytic combustion on low temperature drying process

Sung-kyu Kang, In-soo You, Young-ok Ha*, Jang-mook Won**

Korea Institute of Energy Research
* NamJin Machinery Co., Ltd.
**R&D Management Center for Energy & Resources

요약

천연가스의 주성분인 순수 메탄에 대한 촉매 산화반응은 Pd촉매가 가장 양호하나 LP 가스의 주성분인 프로판에 대해서는 Pt촉매가 가장 양호한 결과를 보였다. 그러나 유황 피독된 Pd촉매는 메탄에 대해 영구피독 현상을 보였고, fresh한 Pd촉매는 연료 중 미량의 유황분 량에 의해 반응 개시온도가 지연되는 경향을 보였다. 이와 같은 촉매독 영향이 적은 Rh촉매머너를 개발하여 8000 시간 이상 성공적인 연소 실험을 하고 있으며 C방식의 염색 시험기에 적용 실험한 결과 기존의 적외선 전기 건조기에 비해 에너지 절감은 약 30 - 40%를 기하였고 연료비는 70 - 80%의 절약효과를 얻었다.

1. 서론

섬유나 화학 제품 제조에서와 같이 다량의 저온 열량이 필요한 공정에서 화염을 동반한 고온의 일차 에너지를 직접 활용하기에는 많은 문제점이 야기 된다. 그러나 무화염의 촉매 연소기술은 피가열체에 보다 근접하여 직접 가열 시킬 수 있고, 유기물질에 열 흡수능이 큰 원적외선 파장을 방출하여 전체적으로 지대한 에너지 절약효과를 기대할 수 있다. 또한 촉매를 이용하여 저온에서도 완전연소를 기할 수 있어 연소 전·후 처리 시스템을 간단하게 하여 운전비나 부대설비 설치비를 절감 할 수 있다.

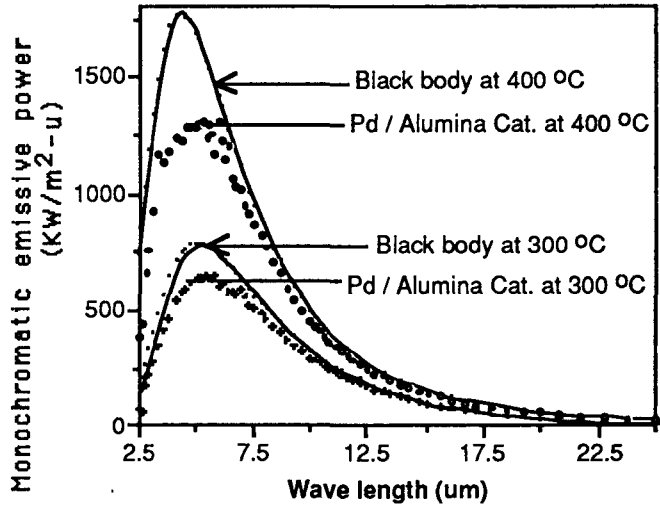
한편, 도시가스 중에는 촉매독을 야기시키는 부취제를 첨가하고 있어 보다 경제적인 촉매를 선정하기 위해서는 각각의 조업 조건에 맞는 촉매물질 선정과 연소방식에 적합한 촉매 연소의 설계가 필요하다.

2. 결과 및 고찰

가. 촉매체의 에너지 방사 특성

한국 에너지 기술 연구소가 제조한 0.39% Pd/Al₂O₃ 촉매의 에너지 방사 강도 측정 결과는 [그림 1]과 같다.

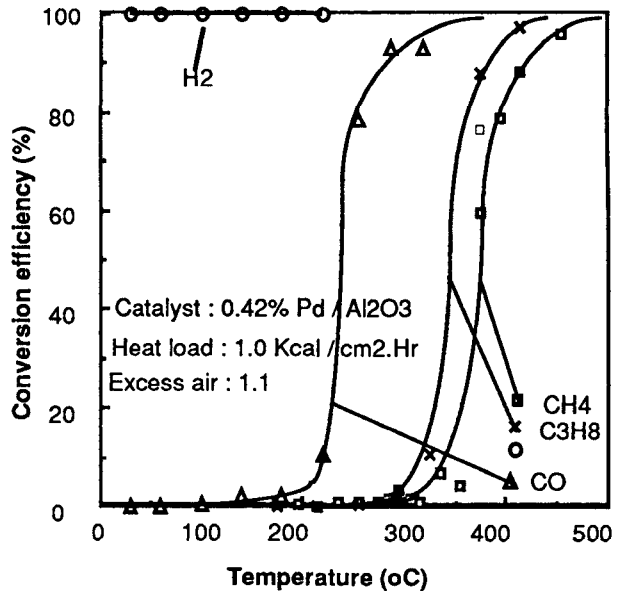
에너지 흡수능은 전영역에서 흑체에 비해 85% 이상 유지되는 것으로 측정되었으며 특히 4 μ m 파장대에서 최고를 유지하였다. 한편, 탄화수소 계통의 유기물질들은 대체로 원적외선 영역에서 열흡수율이 가장 양호하며 고효율 세라믹 히타는 2.5-5 μ m 영역에서 에너지 방사 강도를 갖는 것으로 측정되었다¹⁾.



[그림 1] Comparison of radiation effect

나. 촉매의 산화반응 특성

현재 실제적으로 많이 이용되는 가스 연료들의 주성분은 메탄, 프로판, 부탄, 일산화탄소 및 수소 등이 있다. 이들 연료에 대한 촉매반응은 [그림 2]에서 보는바와 같이 서로 상이하다²⁾. Pd 촉매에 대한 메탄의 산화 반응은 350 $^{\circ}$ C 이상에서 왕성하여 지나 프로판에 대해서는 300 $^{\circ}$ C 이상, 일산화탄소에 대해서는 250 $^{\circ}$ C 이상에서 왕성해지며 수소에 대해서는 상온에서 완전 연소반응이 일어난 것으로 측정되었다.



[그림 2] Reactivity of fuels over Pd catalyst

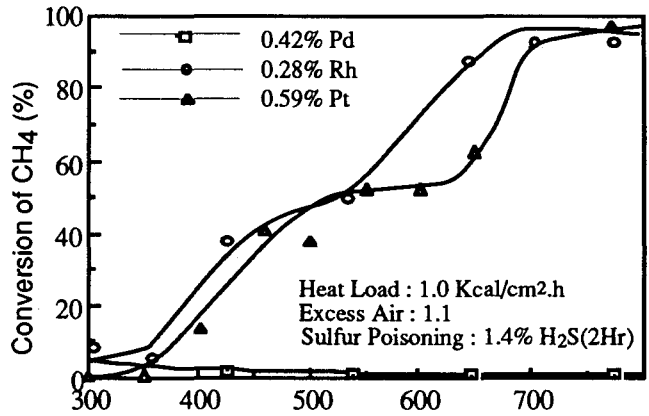
다. 촉매독의 영향

촉매의 산화반응은 동일한 촉매에 대하여 대상 연료에 따라 영구 촉매독이 되기도 하고 일시 촉매독이 되기도 한다. 또한 연료 중에 촉매독의 미량 성분량에 의해 촉매반응이 차이가 있다³⁾. 예로서 [그림 3]에서 보는바와 같이 Pd 촉매는 메탄에 대해 온도를 상승시키어도 영구 피독되어 회복되지 못한 경향을 보였으나 Pt나 Rh 촉매는 반응온도가 지연 또는 반응율이 저

하되는 일시 촉매독의 성격을 나타내었다.

라. 확산식 촉매버너의 연소 특성

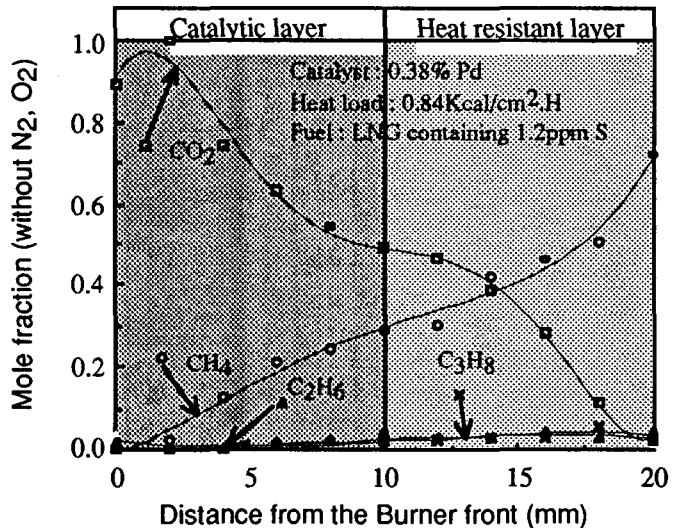
한국 에너지 기술 연구소가 시험 제작한 Pd-촉매버너의 연소반응특성은 [그림 4]와 같다. 완전 연소 반응은 표면에서 까지 진행되나 완전연소의 생성물은 버너 표면으로 부터 약간 안쪽에서 발생되었다. 그러나 확산의 연소반응은 표면의 충전밀도나 충전층 두께 등에 의해 조절할 수 있다.



[그림 3] Reactivity of CH4 over H2S treated Pd cat.

마. 확산식 촉매버너의 장기 성능 실험

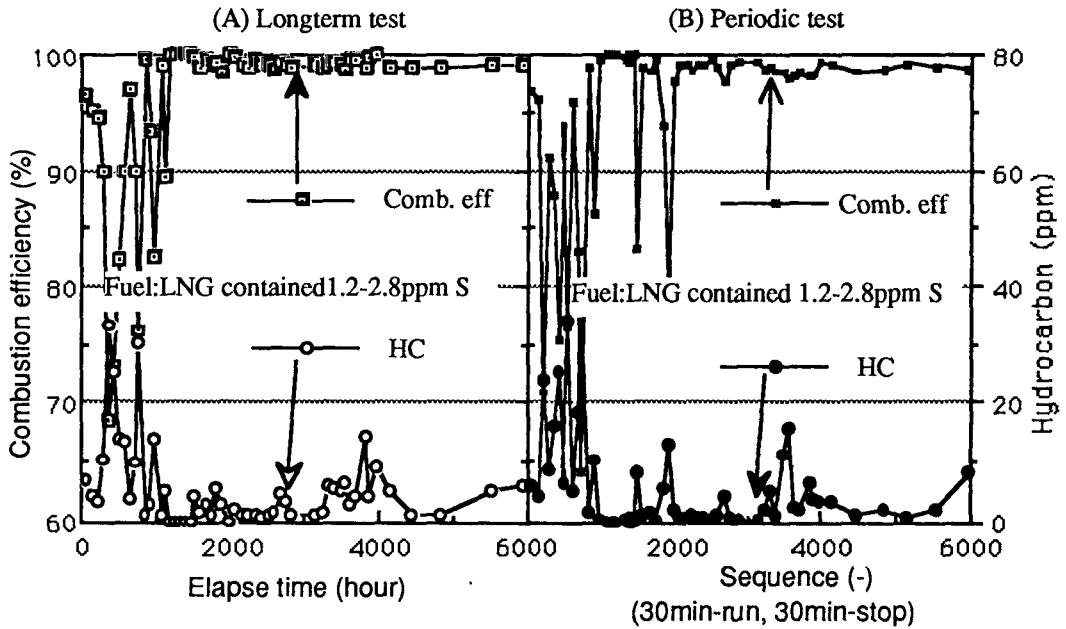
Rh촉매의 장기/단속 반복 연소 실험 결과는 [그림 5]와 같다. 이들 실험에서 정상적인 상태에서의 HC 발생량은 약 10ppm 이하이며 연소 효율은 99.5% 이상 유지되는 결과를 보이고 있다. 현재 8000시간 이상 운전에서도 양호한 연소상태를 유지하고 있으며 외견상 촉매의 결점없이 지속적으로 운전되고 있다.



[그림 4] Combustion gas distrib. in Pd-cat. burner

<표 1> 촉매연소 실증대비

항 목	Cotton CM 40*40/133*72		P/C 45*45/136*94		P/C 45*45/136*94	
	전기가열	촉매가열	전기가열	촉매가열	전기가열	촉매가열
공급열량(kcal/hr)	5163.6	3056.9	4303.0	3056.9	5163.6	4101.3
평균온도(degC)	65.5	63.0	49.4	63.2	92.7	4101.3
Dryer Speed(cm/min)	153.7	176.0	213.9	176.0	153.7	4101.3
건조속도(g/s) (물)	0.1898	0.1702	0.1364	0.1791	과건조	과건조
(연료)	0.1862	0.1708	-0.1833	0.154	0.1861	



[그림5] Results of longterm and periodically repetitive tests in a Rh-catalytic burner

바. 염색 건조 공정에서의 촉매연소 효과

촉매연소의 건조 효율을 확인하고자 C방적의 6kw급 입형 염색시험기에 적용 실험한 결과는 <표 1>과 같다. 촉매연소 실험 시에는 전기히타와 동일한 적외선 가열효과 이외에도 근접 가열과 복사 전도율이 공기보다 높은 이산화 탄소 및 수증기 존재 효과에 의해 에너지 절감율은 30-40% 정도이고 연료비는 70-80%의 절약효과가 있는 것으로 측정되었다⁵⁾.

3. 결론

1) 메탄에 대한 촉매반응의 활성은 Pd > Rh > Pt 등의 순서로 나타났으나 프로판에 대해서는 Pt > Rh > Pd의 순서를 보였다. 한편, 메탄에 대해 피독된 Pd촉매는 영구 피독으로 온도를 높이어도 회복되지 못하였고, 연료 중에 미량의 유황 성분량 증가에 따라 연소반응의 개시가 지연되는 결과를 보였다.

2) 촉매버너의 촉매층내 온도 및 연소상태 조절은 열부하율과 촉매 충전밀도 등에 의해 조절될 수 있다. 부취성분이 함유된 도시가스의 적정 열부하율은 2 kcal/cm²-hr이내이며 그 이상에서는 HC발생이 급증되나 무부취의 도시가스는 HC발생이 완만하게 증가되었다.

3) 시중의 도시가스에 대한 Rh-촉매버너의 8000시간 운전에서도 양호한 촉매를 유지하고 있어 실용 가능성을 입증하였다.

4) 염색 건조공정에 촉매연소를 적용 실험한 결과 기존의 전기 가열 방식에 비해 에너지 절감은 30 - 40% 정도, 연료비는 70 - 80% 이상 절약할 수 있다.

4. 참고 문헌

- 1) 최병혁 외3인 “ 원적외선 방사 Coating제의 기초 자료 조사에 관한 연구” , 한국동력자원연구소 연구보고서 KE-84(TR)-II, (1984)
- 2) 강병선 외3인 “촉매연소 특성연구(II)- 촉매연소의 반응 특성-” , 에너지 R&D Vol.15, No. 3, pp48-65, (1993)
- 3) S.K. Kang et al. “The study of the characteristics of low temperature catalytic combustion and sulfur poisoning of noble metals” , 2nd International workshop on catalytic combustion, April 18-20 1994, Tokyo, pp21-25, (1994)
- 4) 하영옥 외3인 “촉매연소 특성연구(I)- 확산식 촉매버너의 연소 특성-” , 에너지 R&D Vol. 15, No. 2, pp 34-48, (1993)
- 5) 강성규 “저온 촉매연소 버너의 에너지절약 효과” , 에너지관리, 1994년 3월호, pp 75-80, (1994)