

촉매연소를 이용한 수소버너의 작동 특성에 관한 연구

김태영*, 박창권*[†], 오병수*

*전남대학교 기계공학과

A Study about an Operating Characteristic of Hydrogen Burner by Using Catalytic Combustion

TAE YOUNG KIM*, CHANG KWON PARK*[†], BYEONG SOO OH*

*Dept. of Mechanical Engineering, Chonnam National University
300 Yongbong-Dong, Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea

ABSTRACT

Human has faced in lack of fossil fuel and environmental crisis because of high population growth and development of industry. Hydrogen, unlimited amount and clean resource from water electrolysis, is remarkably known as the solution of recent energy crisis. One of the special characteristics of hydrogen is that a little amount of catalytic such as platinum and palladium makes nonflammable combustion, in other words catalyst combustion. Catalytic combustion fueled by hydrogen is environmentally friendly.

This paper considers some comparisons of characteristic of catalytic combustion between a single layer of platinum catalyst, double layer of platinum and nickel catalysts and mixture of platinum and nickel catalysts. Some experiments of temperature distribution at different positions and characteristic of combustion in low temperature region were done in order to find an applicable possibility as a house-cooking burner.

KEY WORDS : fossil fuel(화석 연료), catalytic combustion(촉매 연소), platinum(백금), nickel(니켈), palladium(팔라듐),

1. 서 론

산업이 고도화되고 석유, 석탄, 천연가스 등의 화석연료의 사용량이 현저하게 증가함에 따라 대기오염, 산성비 등과 같은 환경오염 문제 및 이산화탄소의 과다 발생에 따른 지구온난화 문제가 크

게 대두되고 있다. 이에 따라 지구환경에 적절한 청정에너지 개발과 적절한 사용방법을 위해 많은 과학자들이 연구하고 있다. 화석연료의 경우 연소하면 물과 이산화탄소가 생성되어 온실효과의 원인을 제공하기 때문에 이를 대체할 수 있는 새로운 에너지원의 개발이 현재 절실히 필요하다. 또한 화석연료의 경우 향후 30~40년 이내에 석유가 고갈될 것으로 많은 에너지 관련 기관들은 예측하고

[†]Corresponding author : parranmal@empal.com

있어 청정에너지의 관점에서 뿐 아니라 향후 인류의 문명 유지수단으로서도 청정 대체 에너지는 반드시 해결해야 할 인류의 과제이기도 하다¹⁻⁴⁾.

현재 부각되고 있는 대체에너지원으로는 태양, 지열, 풍력, 해양에너지 등 자연에너지와 물을 원료로 하는 수소에너지가 있다. 이러한 대체에너지의 연구개발은 70년대의 석유파동 이후 세계 각국에서 꾸준히 연구가 진행되어 왔다. 그 중에서 궁극의 에너지원으로 불리는 수소는 원료가 무한히 존재하는 물이고, 태양에너지를 이용하면 물을 분해시켜 많은 양의 수소를 만들 수 있다는 장점이 있다. 또한 수소를 그 상태로 연소시키면 열에너지로, 내연기관을 이용하면 기계에너지로, 산소와 반응시켜 전기를 발생하는 연료전지으로도 이용할 수 있다. 이러한 장점 외에 수소는 어떤 연소과정에서도 용이하게 원래의 물로 되돌아간다는 장점이 있어 다른 형태로 수소에너지를 변화시키더라도 자연의 순환을 방해하지 않는 이상적인 청정에너지이다.

일반가정에서 사용하고 있는 난방기 및 조리기기 등에 이용되는 일반적인 가스버너는 화염이 외부에서 형성되어 대류에 의하여 열에너지를 이용하는 일반적인 방법이며, 형상과 구조적인 측면에서 열효율 증대와 CO 및 NOx 저감에 대한 기술은 이미 한계에 직면하고 있다. 최근 이를 극복하기 위하여 열복사에 의한 열전달 메커니즘을 사용하는 버너에 대한 연구가 이루어지고 있으나 화석에너지의 고갈 문제와 더불어 친환경적이면서 화석에너지를 대체할 수 있는 에너지원을 찾는 것이 매우 중요하다⁵⁻⁸⁾.

본 연구에서는 물로부터 얻을 수 있어 자원량이 무한하고, 비탄소계열 연료인 수소에너지를 사용함으로써 친환경적인 수소 연료형 가정용 촉매연소 버너를 개발 및 설계하기 위한 기본 자료를 제공하고자 한다.

2. 본 론

2.1 촉매연소

촉매연소기에서 사용되는 촉매체는 활성물질인 촉매와 이것을 담지하는 지지체로 이루어지는데, 촉매연소기에서 이 두 가지 물질의 선정이 매우 중요하다.

2.1.1 촉매(catalyst)

촉매는 가능한 낮은 온도에서 연료/공기의 혼합물을 착화시켜야 하고, 많은 유량에서 공기의 예열을 적게 하여도 완전연소가 이루어질 수 있도록 충분히 활성이 높아야 한다. 완전연소에 사용되는 촉매에는 단일금속 촉매, 이원금속촉매, 금속산화물 또는 복합산화물을 직접 촉매로 이용하거나 지지체에 담지시킨 담지촉매 및 복합 산화물을 spinel 또는 perovskite 구조로 만든 촉매 등이 있다. 이들 중에서 백금과 팔라듐이 촉매연소 반응에서 활성이 좋아 많이 이용되고 있다. 이들은 금속산화물에 비하여 탄화수소의 산화반응에서 높은 활성을 갖고, 낮은 온도에서 활성이 쉽게 저하되지 않으며, 500°C 이하 온도에서도 황 피독 현상이 적다. 또한 이들 귀금속들은 다양한 지지체를 이용하여 분산도가 좋은 촉매를 쉽게 만들 수 있으며, 작은 양(0.1~0.5wt%)이 담지되어도 연소반응에서 높은 활성을 보인다. 그러나 이들 귀금속들은 500°C~900°C에서 소결되어 활성을 잃기 때문에 이를 극복하기 위해 다양한 washcoat 물질과 기술이 개발되고 있다.

2.1.2 지지체(substrate)

촉매연소기에서 지지체는 금속이나 금속산화물의 표면적을 증가시켜 금속 입자가 잘 분산되도록 매트릭스를 제공하고, 활성 촉매 물질의 소결을 감소시키고 열 안정성을 향상시키며, 촉매물질과 결합하여 활성을 향상시키기도 하고, 성형성과 기계적 강도를 향상시키는 역할을 한다. 지지체는 다시 형상과 기계적 강도를 유지해주는 substrates와 촉매가 안정적으로 분산되도록 넓은 표면적을 제공하는 washcoat 물질로 나눌 수 있다.

지지체는 펠릿, 거품, 섬유, 하니컴의 형태로 나

Table 1 Characteristic of ceramic monolith materials

Material	Maximum temperature(°C)	Thermal expansion coefficient(K ⁻¹)
Cordierite	1350	1.1×10 ⁻⁶
Alumina	1800	8.8×10 ⁻⁶
Mullite	1650	4.2×10 ⁻⁶
Aluminium titanate	1700	0.8×10 ⁻⁶

타난다. 하니컴 지지체는 대부분 촉매연소에 사용된다. 그 이유는 하니컴이 다른 형태보다 압력에 덜 영향을 받기 때문이다. 지지체는 신뢰할만한 기계적인 강도와 열적 안정성 그리고 또한 큰 표면적을 가지고 있어야 한다. 그것은 촉매연소에 있어 필수불가결한 요소이다. 최근 금속 하니컴이 열충격에 대한 우수한 특성 때문에 활발하게 개발이 이루어지고 있다. 금속 하니컴의 최대 유효온도는 대략 세라믹 하니컴의 1200~2100°C과 비교해보면 300~1400°C이다. 비록 금속 하니컴의 유효온도가 세라믹 하니컴보다 낮지만 높은 열적 안정성을 가진 금속 하니컴은 쉽게 제작될 수 있다. 특히 Fecralloy는 금속 하니컴의 재료로서 널리 이용되고 있다.

열적팽창계수는 촉매연소의 지지체를 선택하는데 있어서 중요한 요소이다. Table 1은 촉매연소에 많이 사용되고 있는 지지체(substrates)를 보여주고 있으며 Table 2는 세라믹 지지체들의 열적상수 값들을 나열한 것이다⁹⁾.

본 연구에서 지지체로 사용한 γ-alumina는 코팅 재료로서 가장 많이 사용되고 있는 재료이다. 그러나 그 재료의 상이 높은 표면적의 γ-phase로부터 낮은 α-alumina의 상으로 변화하는 단점을 가지고 있다. α-alumina의 낮은 표면적으로 소결을 방지하기 위한 첨가물이 현재 소개되고 있다.

2.2 실험장치 및 방법

2.2.1 실험장치

수소 촉매연소 버너의 전체 시스템을 Fig. 1에

Table 2 Thermal parameters of ceramic substrate materials

Material	Maximum temperature(°C)	Thermal expansion coefficient(K ⁻¹)
Dense alumina	1500	8×10 ⁻⁶
γ-alumina	1100	-
α-alumina	2070	-
Zirconia	2200	11.8×10 ⁻⁶
Mullite	1350	2×10 ⁻⁶
Silicon carbide	1650	4.7~5.3×10 ⁻⁶

나타내었다. 수소의 유량 조절은 Alicat Scientific社의 최대용량 20 l/min의 16series MFC(mass flow controller)을 사용하였고, 수소가스의 역류를 방지하기 위한 Check valve, valve(solenoid valve)를 장착하였다. 온도측정은 K-type의 열전대를 사용하였으며, 온도 데이터 수집은 Labview DAQ board를 사용하였다.(Fig. 2) 수소는 게이지 압력으로 1기압으로 흘려주었다. 그리고 수소의 누설 여부를 확인하기 위하여 Neodym Technology社의 resolution 100 ppm으로 20,000 ppm까지 측정할 수 있는 hydrogen detector를 사용하였다.

본 연구에서 연소기를 제작하는데 있어서 주안점으로 둔 것은 촉매층까지 수소가스를 고르게 분배시키는 것과 수소에 대한 취성, 내열성 등을 고려하였다. 따라서 자체 제작한 연소기는 수소에 대한 취성이 좋고, 고온에서 견딜 수 있는 STS304로

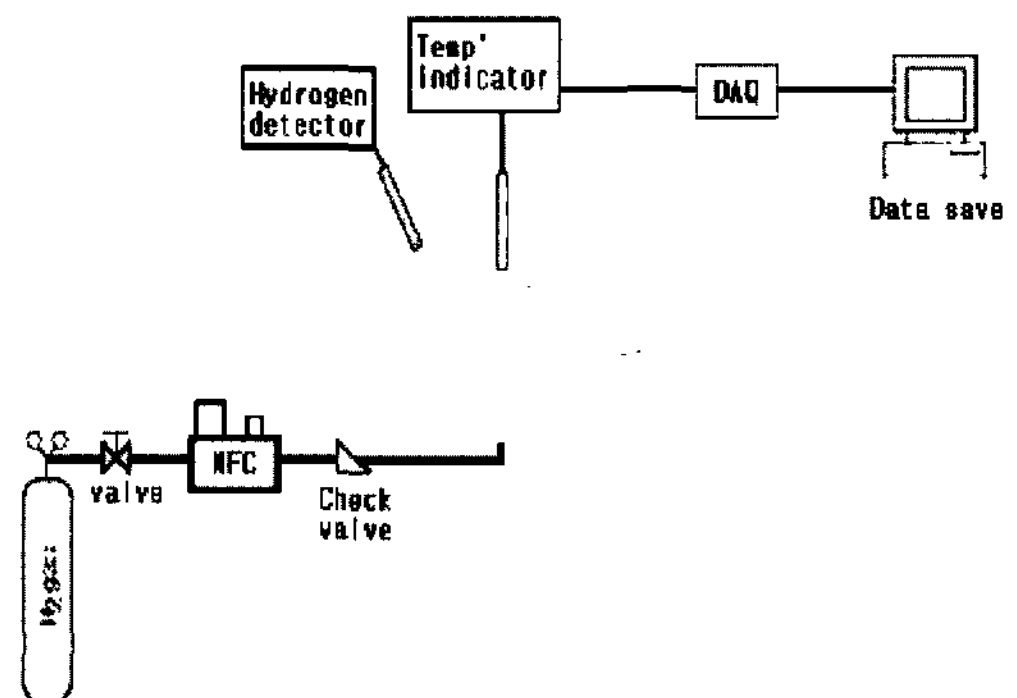


Fig. 1 Schematic diagram of hydrogen catalytic combustion burner system

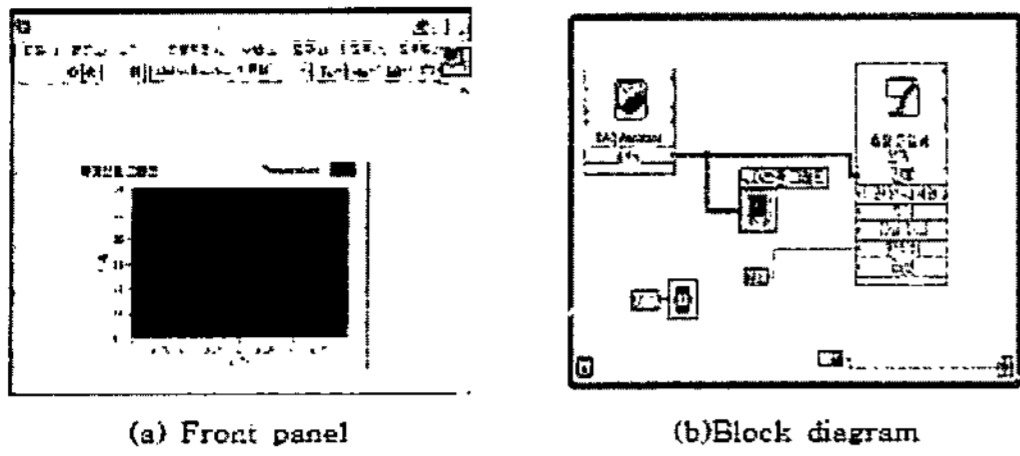


Fig. 2 Temperature acquisition program using Labview

제작하였고, 촉매층과 가스 분사 노즐 사이에는 단열성과 기공성이 좋은 세라크올을 이용하였다. 촉매층은 Pt/ γ - Al_2O_3 와 Pt촉매층위로 Ni촉매층을 얹은 Ni/ γ - Al_2O_3 와 Pt/ γ - Al_2O_3 의 double layer, 그리고 Pt와 Ni을 혼합하여 제조한 Pt+Ni/ γ - Al_2O_3 의 세 가지 촉매를 사용하여 각각의 특성을 비교하였다. 그리고 Fig. 3과 Fig. 4에서 보인 두가지 타입의 연소기 중에서 Fig. 3의 Plate type combustor는 촉매층위로 피가열체를 올렸을 때, 중심부에서 공기의 부족으로 소염되는 현상이 있어서 본 연구에서는 Plate type을 보완하여 제작한 Fig. 4의 Donut type combustor를 사용하였다. Fig. 5는 자체 제작한 수소 촉매연소 버너를 보여주고 있으며, donut type은 중심부에 공기가 유입될 수 있도록 원형관을 설치하였고, 가스분사노즐도 ring type으로 하였다.

그리고 저온영역의 실험은 $0^{\circ}C \sim -25^{\circ}C$ 까지 항온조의 온도를 변화시키면서 실험을 하였다.

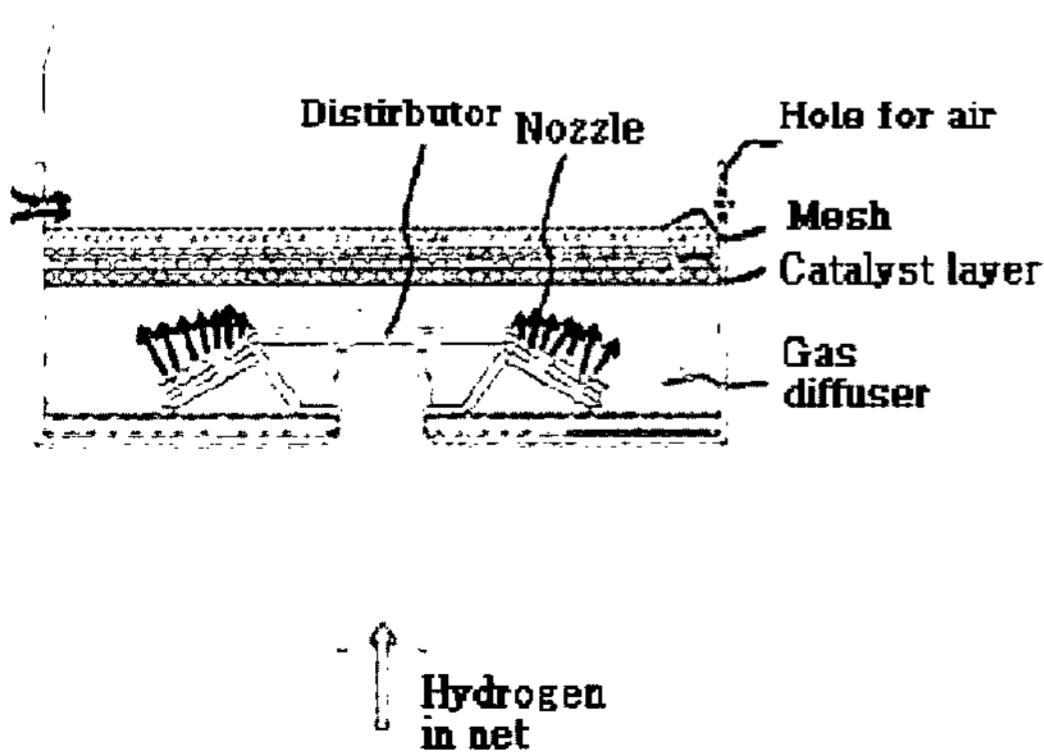


Fig. 3 Plate type combustor

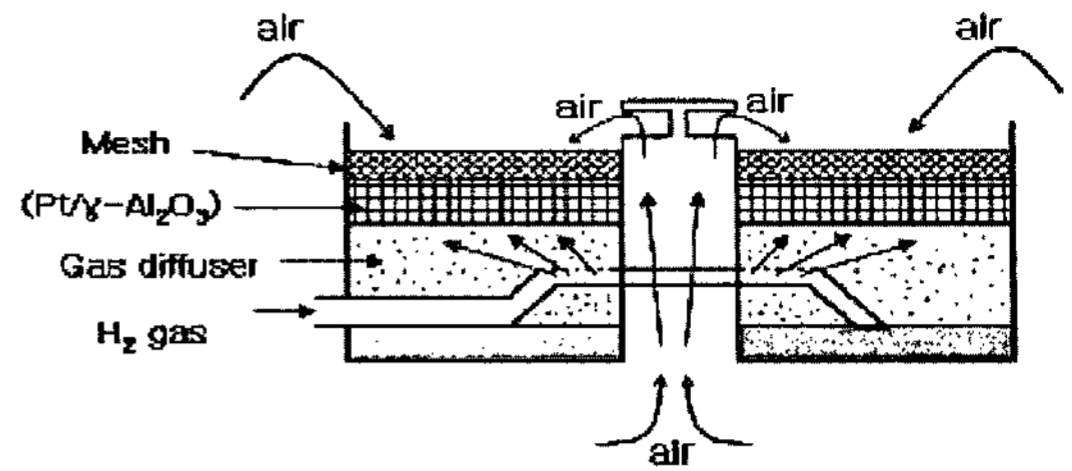


Fig. 4 Donut type combustor

2.2.2 지지체 선정

촉매연소용 지지체로는 비표면적이 넓고, 고온에서 안정하여 변형이 적어야 하며, 금속 촉매를 잘 분산시킬 수 있는 물질이어야 한다. 감마 알루미나는 표면적이 $100 m^2/g$ 이상으로 비교적 크고 약 $900^{\circ}C$ 이하의 온도에서 상이 변하지 않으며, 큰 기공이 매우 잘 발달되어 저온 연소 및 중온 연소용 촉매 소재로 널리 사용되는 물질이다. 감마 알루미나 이외에도 다공성 실리카나, 메조포러스 물질, 제올라이트 등과 같이 미세세공이 잘 발달되어 있는 소재도 검토되었으나, 감마알루미나와 같이 형태를 갖기 위해서는 금형을 갖고, 매우 높은 온도에서 소성해야 하는 문제점 등이 있어 본 연구에서는 알루미나를 주요 지지체로 선정하여 사용하였다. 본 연구에서 선정한 알루미나는 직경이 약 $5 \mu m$ 인 섬유형 감마알루미나이며, 질소흡착법으로 측정하여 BET(Branauer Emmett Teller)방법으로 계산한 비표면적은 약 $173 m^2/g$ 이었고 BJH desorption으로 확인한 평균 세공지름은 $3.5 nm$ 였다. 이는 연소촉매의 지지체로 사용하기에 충분한 조건이었다.

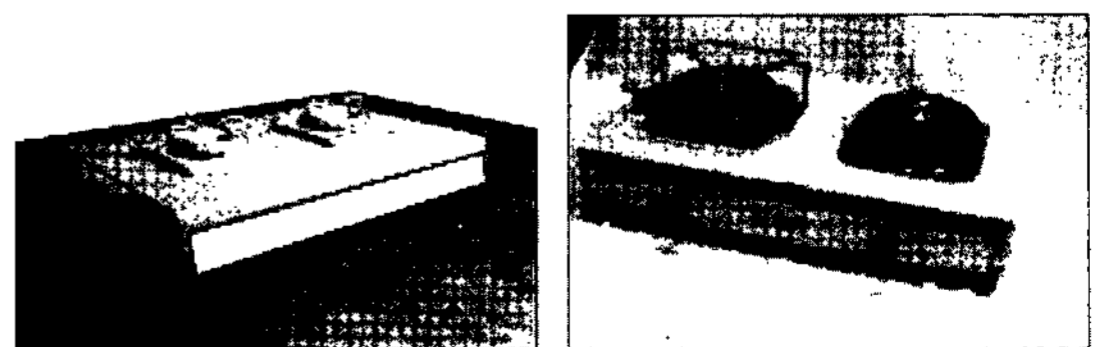


Fig. 5 Burner shape design and photograph

2.2.3 실험 방법

1) 연소방식

촉매층에서 연료의 일부를 대기 중의 공기를 이용하여 촉매반응에 의하여 연소시키고, 나머지 연료는 촉매층 후단에서 화염연소에 의해 완전 연소시키는 방식으로 CST(catalytically stabilized thermal) combustor라고 하며, 이 방식은 촉매층의 온도를 낮게 유지하여 촉매층의 열적변형을 막을 수 있다.

2) 촉매별 반응 특성 비교

촉매층은 Pt촉매만 사용하는 경우(case 1)와 하단에는 Pt촉매를 상단에는 Ni촉매를 조합하여 2단으로 구성한 경우(case 2), 그리고 Pt촉매와 Ni촉매를 혼합한 Pt-Ni bimetallic catalyst(case 3)의 세 가지 경우에 대하여 비교한다. 비교방법은 촉매층에서 온도를 측정하여 촉매반응의 특성을 나타내는 LOT(light off temperature)의 특성을 분석하였다.

3) 촉매층 온도 분포 조사

촉매층 표면의 온도 분포를 조사하기 위해서 직경이 150 mm인 촉매층 표면의 반경방향으로 온도를 측정하고, 높이에 따른 온도 측정은 5 mm 단위로 증가시키며 측정하였고, 온도측정은 K-type의 열전대를 사용하였다. 열전대로 측정한 값은 복사에 의하여 발생하는 오차에 대한 보상 없이 사용하였다.

4) 저온영역에서 반응성 조사

일반적으로 수소는 백금촉매를 사용하면 상온(20℃)에서 점화장치가 필요없이 완전 연소시킬 수 있는 특징이 있고, 이러한 특징은 본 연구의 가장 중요한 원리이기도 하다. 그러나 수소 촉매연소 버너의 작동 환경이 상온이지만은 않기 때문에, 저온영역에서도 특성 조사 또한 중요하다. 그래서 Fig. 6과 같이 항온조 내에서 촉매층을 저온으로 유지시켜놓고 점화 유무 및 연소 특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

수소는 백금촉매를 이용하였을 때 상온에서 점화기(ignitor)없이 안전하게 완전연소를 시킬 수

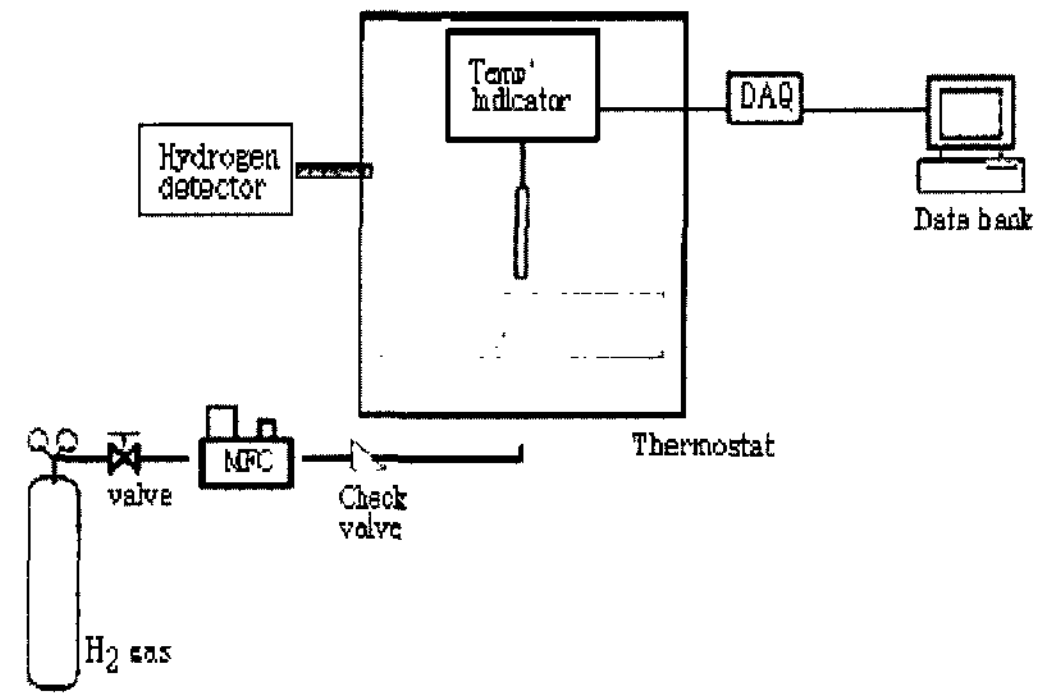


Fig. 6 Schematic diagram of low temperature test system

있다. 그러나 백금은 고가이기도 하지만 백금자체도 자원양이 무한하지 않기 때문에 백금의 사용량을 줄이는 것 또한 중요하다. 따라서 본 연구에서는 고온촉매면서 저가인 니켈촉매를 함께 사용하는 실험을 하였다.

3.1 촉매별 특성 평가

세 가지 촉매를 비교하여 실험한 결과가 Fig. 7과 Fig. 8에 나타나있다. 편의상 Pt만 사용한 경우를 case1, Pt와 Ni을 층으로 조합한 경우를 case 2, Pt와 Ni을 혼합하여 사용한 경우를 case3으로 하겠다. Fig. 3.1은 수소의 유량을 2 l/min (300 W) 흘렸을 때 각 경우의 표면의 온도를 비교한 것이다. 그래프에서 확연히 알 수 있듯이 case 1과 case 3은 연소의 시작 온도가 거의 동일한 상승률로 증가했다. 반면 case 2의 경우는 case 1, 3과 비교하여 온도의 상승률이 더딜 뿐만 아니라, 온도가 안정화단계까지 도달하는 시간도 case 1,3에 비하여 약 2.5배의 시간이 더 소모되었다. 이는 니켈촉매가 활성화되기 위해서는 150~200℃의 preheating이 필요하기 때문에 온도상승률이 낮은 것이다.

수소 촉매연소 버너가 2 kW급의 열용량을 내기 위해서는 수소의 유량을 11 l/min흘려주어야 한다. 그러나 case1과 case 3은 수소를 11 l/min흘려주었을 경우 작동 초기에만 미반응 수소가스가 검출되나, case 2와 같은 경우는 작동 초기부터 약

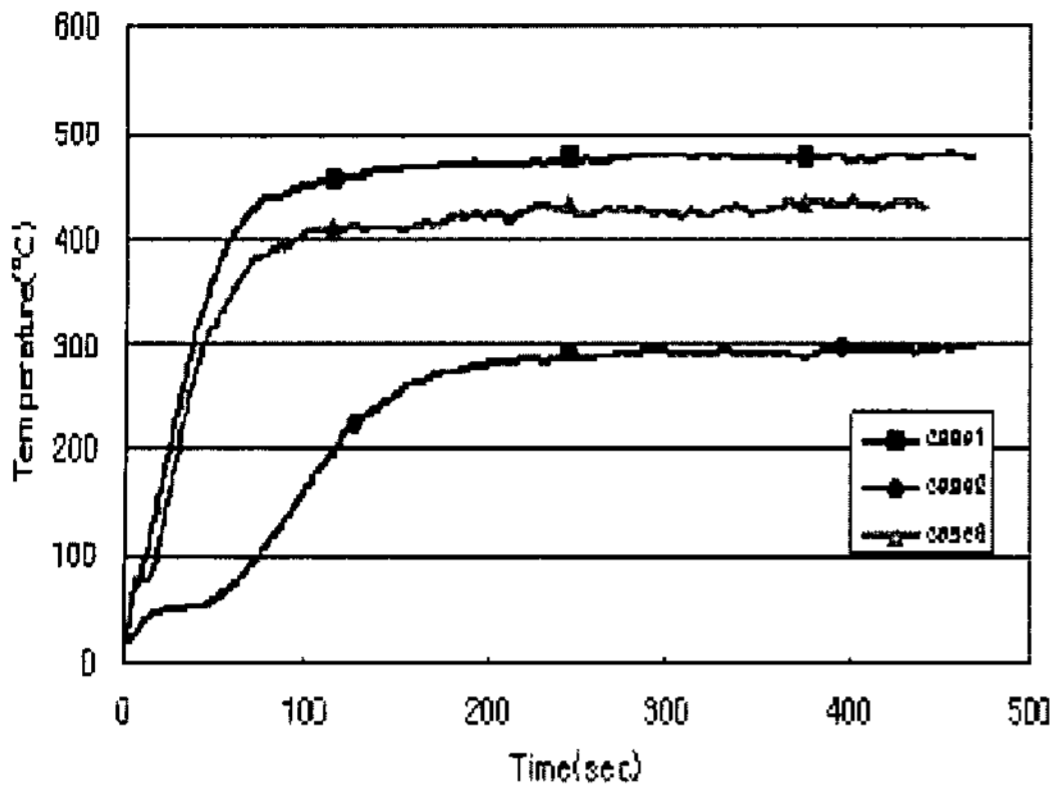


Fig. 7 Temperature variation of the catalyst layer surface(H₂ gas flow rate : 2 l/min)

120sec가 지난 후까지 미반응 수소가스가 검출되었다. Ni촉매층을 충분히 예열시키지 않고 상온에서 case 2에 다량의 수소를 작동 초기에 유입시키는 것은 수소의 누출로 인해 안전상의 문제가 있을 수 있다. 그렇기 때문에 case 2는 수소의 유량을 2 l/min로 시작하여 6 l/min, 그리고 11 l/min로 작동 중에 증가시켜 주어야 한다. 따라서 case 2는 별도의 점화장치 없이 백금촉매에 의해 점화를 시키는 수소 촉매연소 버너를 가정에 적용하기에는 적합하지 않다. 가정용으로 적용하기 위해서는 빠른 시간 내에 고온으로 도달해야 하기 때문이다. case 2를 적용하고자 한다면 니켈 촉매를 활성화시키기 위한 예열장치가 필요하다. case 3은 백금의 함량을 1 wt%로 줄였음에도 Pt촉매만 사용한 case 1과 유사한 성능을 보여주었다.

3.2 촉매층 표면의 온도 분포

연소기의 위치별 온도 분포는 Pt/γ-Al₂O₃ 촉매에 한하여 수행하였다. 촉매층 표면의 온도 측정은 촉매층 표면 반경방향으로 온도를 측정하였다. 그 결과는 Fig. 9에 나와 있다. Fig. 9에서 촉매 버너 위에 피가열체 즉 가열냄비(heating pan)이 없을 때 중심의 온도가 가장 높고, 가장자리로 갈수록 온도가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 반면에 촉매층위에 촉매층과 같은 면적을 갖는 피가열체를

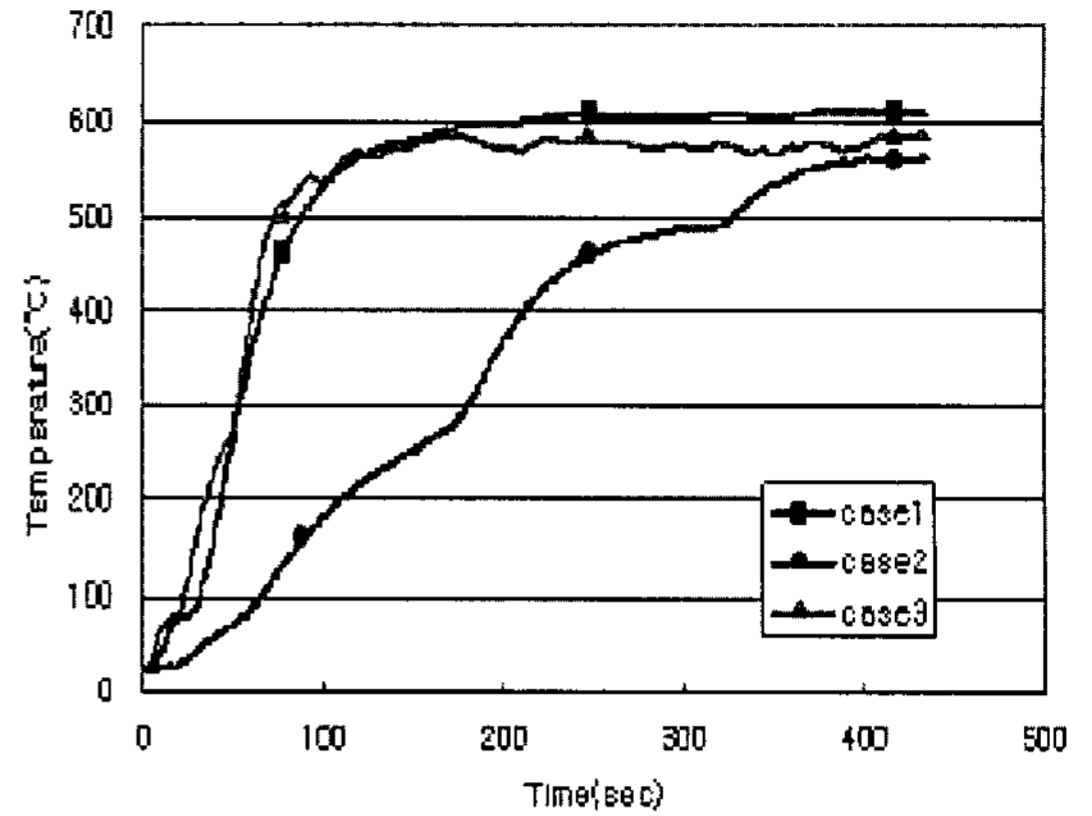


Fig. 8 Temperature variation of the catalyst layer surface(H₂ gas flow rate : 11 l/min)

올렸을 경우에는 가장 자리의 온도가 가장 높았다. 그 이유는 자연대류에 의해 공기가 유입되기 때문에 공기가 촉매층 중심부로 오지 못하고 대부분 가장 자리에서 수소와 반응하여 연소되었기 때문이다. 그럼에도 불구하고 중심부의 온도가 가장 낮지 않았던 이유는 중심부에 있는 원통에서 공기의 유입이 있었기 때문이다.

3.3 촉매층 높이에 따른 온도 분포

높이에 따른 온도 분포는 수소 촉매연소 버너를 조리용 버너로 적용하는데 있어서 중요한 요소이

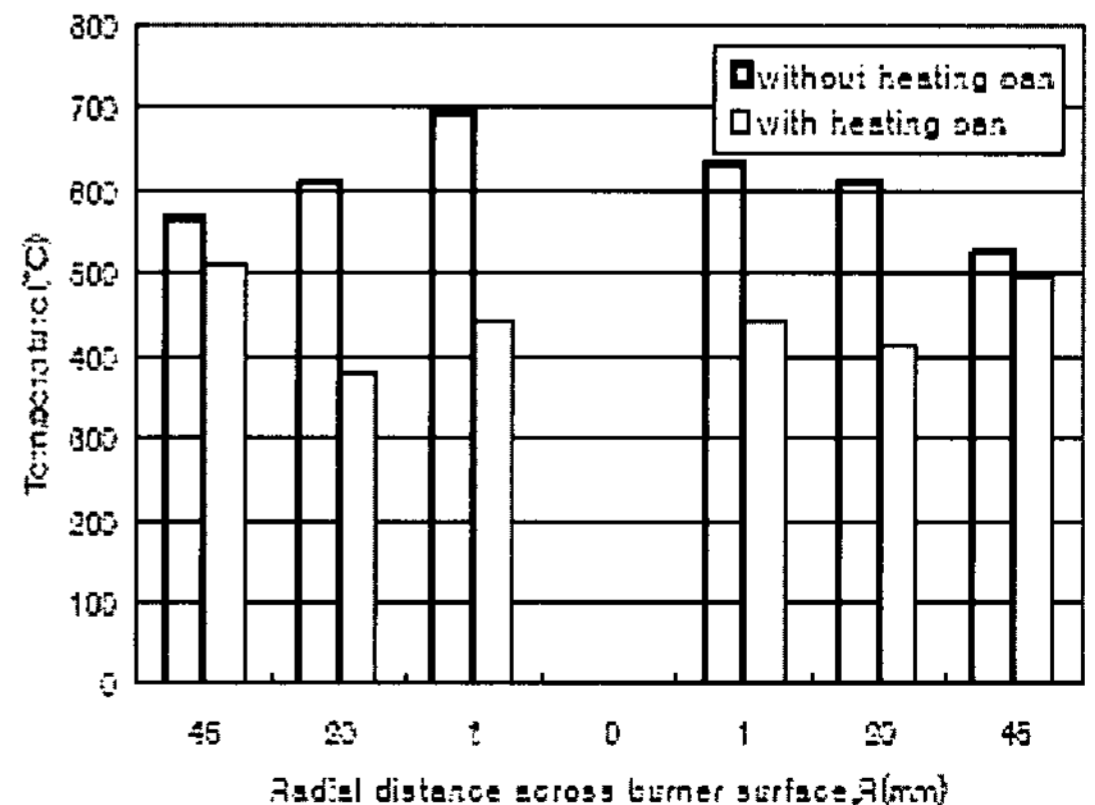


Fig. 9 Radial temperature distribution of surface(H₂ gas flow rate : 11 l/min)

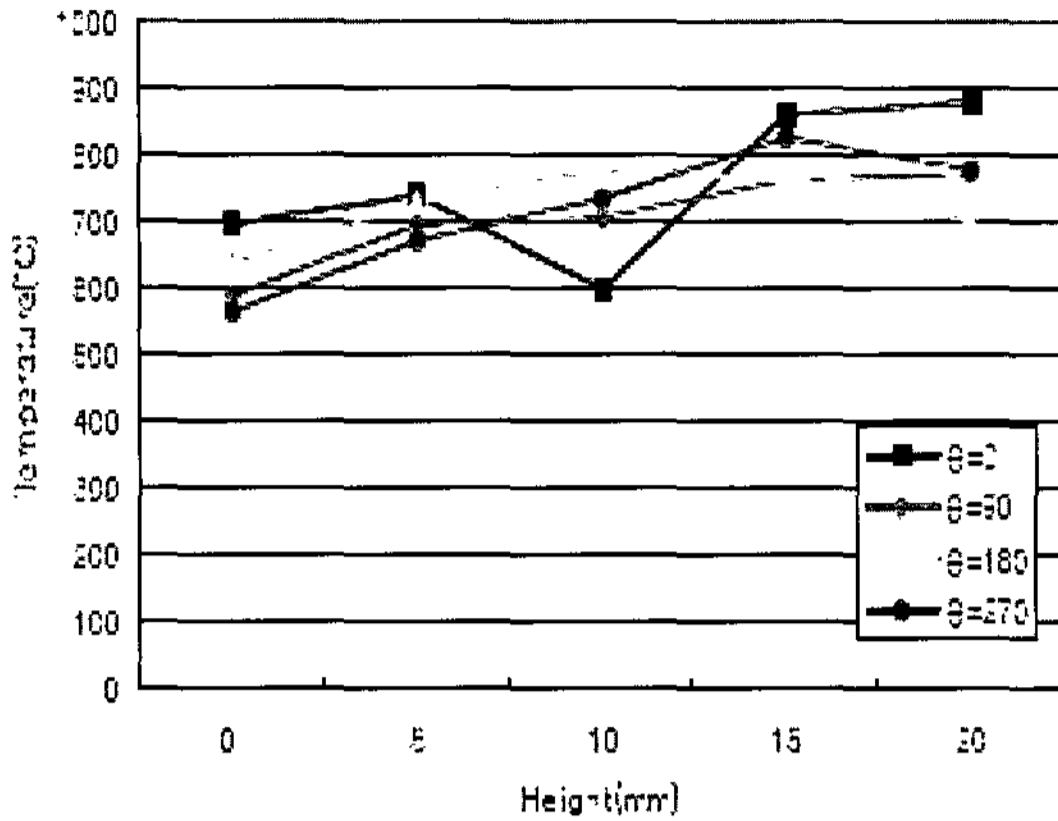


Fig. 10 Temperature distribution at different heights from catalyst layer surface(Radial distance :1 mm, H₂ Flow rate : 11 l/min)

다. 버너의 효율을 높이기 위해서 피가열체를 빠르게 가열시키고 열손실을 최소화 할 수 있는 최적 높이를 설정해야하기 때문이다. 높이에 따른 온도 측정은 원주방향으로 90°씩 이동하면서 4곳의 위치를 정하고 위로 5 mm 단위로 변화시키면서 20 mm까지 수행하였다.

Fig. 10에서 $\theta=0^\circ$ 인 지점에서는 높이에 따른 온도 편차가 다른 곳에 비해 심했지만, 대부분 촉매 표면으로부터 15~20 mm부근에서 온도가 가장 높은 것을 확인 할 수 있었다. 높이가 15~20 mm

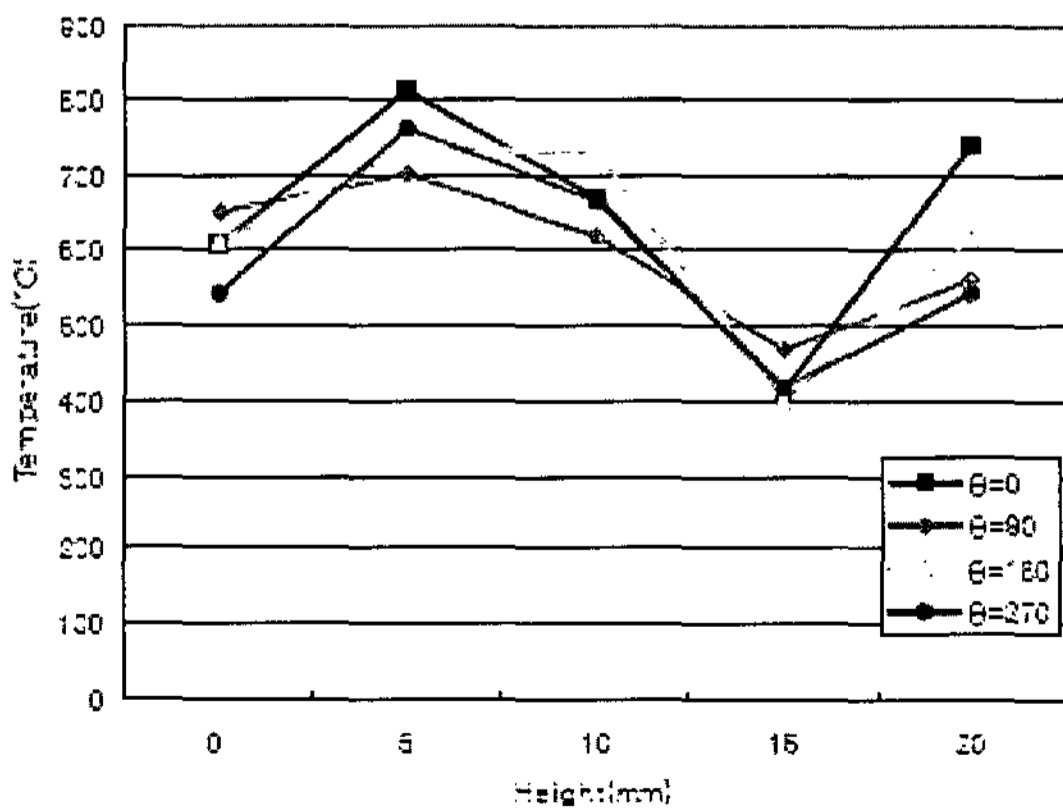


Fig. 11 Temperature distribution at different heights from catalyst layer surface(Radial distance :20 mm, H₂ Flow rate : 11 l/min)

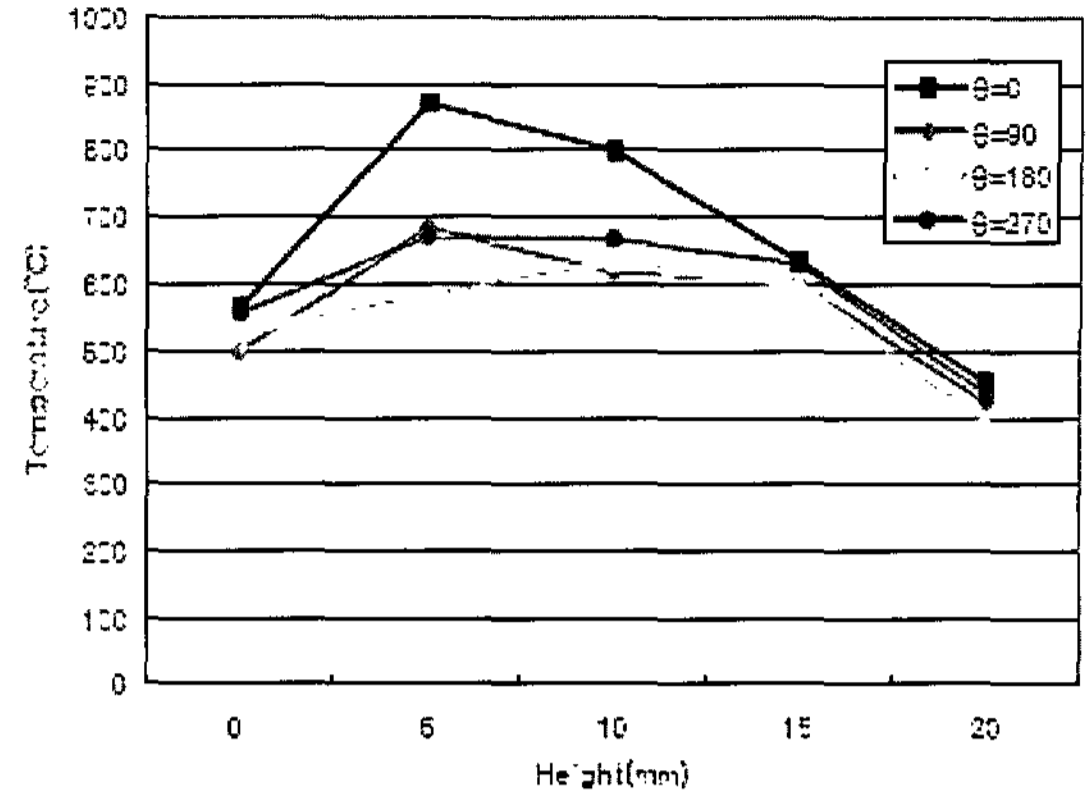


Fig. 12 Temperature distribution at different heights from catalyst layer surface(Radial distance :45 mm, H₂ Flow rate : 11 l/min)

인 곳은 화염이 형성되는 끝부분이다.

Fig. 11의 결과에서는 15 mm에서 온도가 가장 낮았고, 5 mm에서 온도가 가장 높았다. 높이가 20 mm인 곳에서도 평균온도가 650°C정도였고, Fig. 12에서 가장 바깥쪽의 온도는 5 mm인 곳이 가장 높았고 20 mm인 지점이 가장 낮았다.

이 세 가지 결과를 종합해 볼 때 반경방향으로 0~±20 mm인 지점까지는 높이가 5 mm인 곳과 20 mm 부근의 평균 온도가 가장 높았고, 그 외의 바깥 영역에서는 5 mm인 곳이 가장 높았다. 이의 결과를 토대로 조리용 기구를 올려놓을 수 있는

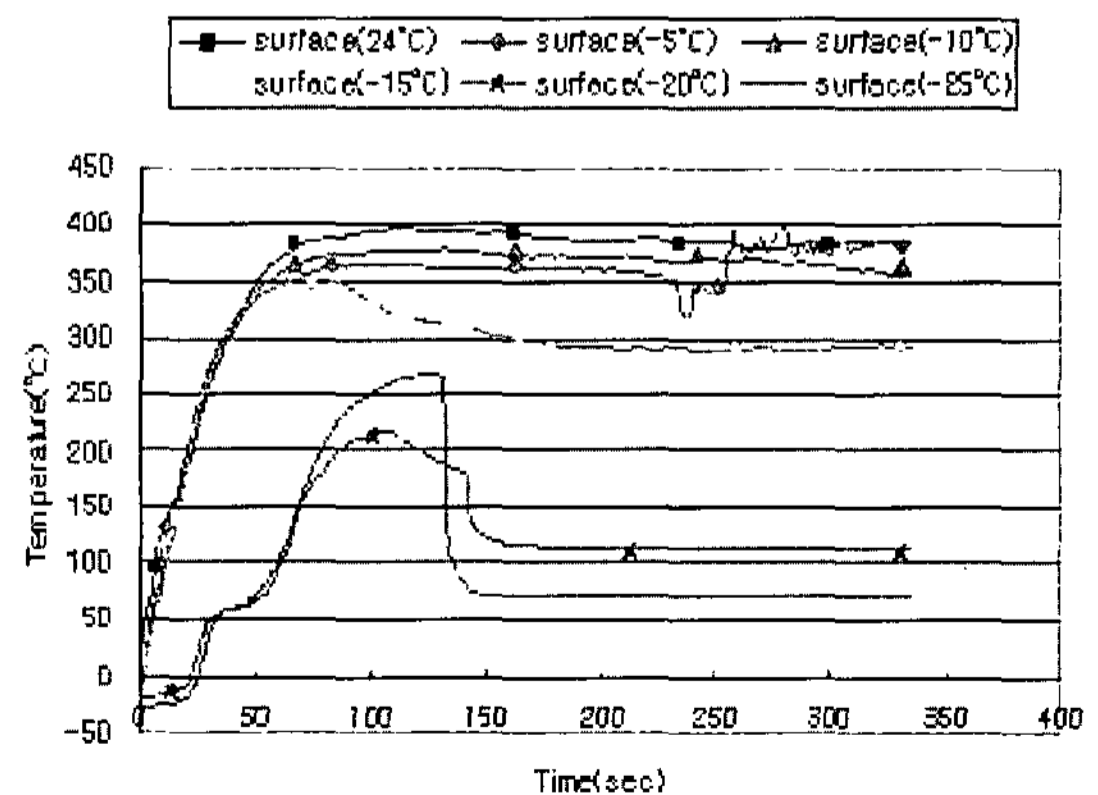


Fig. 13 Temperature variation at catalyst layer surface with different starting temperatures(H₂ gas flow rate : 100 cc)

거치대의 높이를 설정한다면 20 mm인 곳이 최적 높이라고 판단된다. 온도는 5 mm인 곳이 가장 높았지만, 그곳에 거치대를 설치하고 피가열체를 올려 놓는다면 표면과 피가열체의 공간이 협소하여 자연대류에 의한 공기의 유입량이 줄어들어 공기량 부족으로 인해 불완전 연소가 될 수 있다.

3.4 저온영역에서 작동여부 측정

본 연구에서는 Fig. 6에서 보인 바와 같이 항온조 내에 소형으로 제작된 수소 촉매연소 버너(촉매층 면적 $\approx 10 \text{ cm}^2$)를 직접 넣고 chamber내의 온도와 촉매층의 온도가 평형을 이룰 때까지 운전시킨 다음 상온의 수소 가스를 유입시켜 실험하였다. 촉매층의 온도는 -5°C 에서 5°C 씩 감소시키면서 -25°C 까지 수행하였고, 상온에서 작동시킨 후 얻은 자료와 비교하였다.

실험 결과는 Fig. 13에서 확인할 수 있듯이, 촉매층의 온도가 -15°C 일 때 까지는 온도가 촉매층의 온도가 상온(24°C)일 때와 같은 상승률을 보였으며, 촉매층 표면 온도와 같게 나왔다. -15°C 일 때는 350°C 까지 상승했다가 300°C 정도로 떨어지며 일정해지는 것을 볼 수 있다. 그런데 -20°C , -25°C 일 때는 초기에 약 20초 정도 변화가 없다가 온도가 상승하는 것을 확인할 수 있었으며, 초기에 수소의 미반응 가스가 hydrogen detector에 의해 확인되었다. 약 25초부터 연소가 시작되는 것은 상온(22°C)의 가스에 의해 연소가 시작되었을 것으로 판단되어지며, 130초가 되는 시점에서 표면온도가 급격하게 떨어지고 70°C 와 120°C 로 온도가 유지되는 것을 확인할 수 있다. 촉매연소는 표면반응이기 때문에 촉매표면의 조건이 중요하다. 그런데 촉매층 주위의 온도가 -20°C 와 -25°C 로 극저온상태이기 때문에 수소와 산소가 반응하여 부산물로 만들어낸 수증기가 바로 열기에 의해 증발하지 못하고 응축되면서 촉매층 표면에서 일어나는 촉매반응을 떨어뜨렸기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 백금촉매를 이용하여 가정에서 조리용으로 사용할 수 있는 수소 촉매연소 버너의 적용가능성을 타진하고, 기초 자료 조사/분석을 목적으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Pt사용량을 줄이기 위한 방법으로 Pt와 Ni을 2중층으로 조합하여 실험한 결과 Ni촉매가 활성화되기까지 많은 시간이 소모되어 가정용버너에 적용하기는 효율적인 측면이나 안전상의 문제때문에 적합하지 않았으며, Pt함량을 줄이고 Ni과 혼합하여 제조한 촉매는 Pt만을 사용한 촉매와 유사한 성능을 보였다.
- 2) 저온영역에서 촉매반응이 일어나는지 확인해 보았다. 상온의 가스를 저온의 촉매에 보냈을 때, 촉매층 온도가 -15°C 까지는 상온에서의 연소특성과 차이가 없었지만, 그 이하로 내려갔을 때는 연소반응이 불안정하였다.
- 3) 수소 촉매연소 버너가 2 kW급의 용량을 내기 위해서는 수소가 11 l/min 필요한데, 작동 초기에 이 양을 유입시켜주면 미반응 가스가 검출되기 때문에 초기에 유량을 제어할 필요가 있다.
- 4) 백금촉매가 저온에서 반응성이 떨어지므로 수소가스가 저온일 때 연소특성과 함께 배출가스 분석에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

후 기

This research was supported by the Program for the Training of Graduated Students in Regional Innovation which was conducted by the Ministry of Commerce Industry and Energy of the Korean Government(2007).

참 고 문 헌

- 1) Cengel, Yunus A : Introduction to thermodynamics and heat-transfer, McGraw-Hill, New York Inc, 1997.

- 2) Quick, L. M and Kamitomi, W.C, Diffusive catalytic combustor, J of the Institute of fuel, 1975, pp. 208-214.
- 3) Dalla Betta, R .A, Schlatter, J. C. et al., Development of a catalytic combustor for a 1300°C class gas turbine, Catalysis Today, 26, 1997, pp. 345-350.
- 4) Yong Seog Seo, Combustion Characteristics of the Lean Premixed Mixture in a Catalytically Stabilized Combustor, 2000, pp. 6-11.
- 5) Young Seog Seo, Sung Kyu Kang, Hyun Dong Shin, Surface reaction and flame combustion of lean premixed mixture in catalytically stabilized thermal combustor, the Korean Society of Mechanical Engineering, 1998, pp. 342-347.
- 6) Jae Hyuk Wee, An experimental study of combustion characteristics in ceramic fiber burner, 2005, pp. 31-35.
- 7) Jin Sung Kang, A study about the running of a gas turbine with combustion of hydrogen and oxygen, 1997, pp. 4-11.
- 8) H. J. Niu, D. P. Hampshire, Disordered Nanocrystalline Superconducting PbMo6S8 with a Very Large Upper Critical Field, Physical review Letters, Vol. 91, 2003, pp. 2-4.
- 9) Won Young Choi, Se Jin Kwon, Catalytic Combustion Characteristics of Hydrogen-Air Premixture in a Millimeter Scale Monolith Coated with Platinum, the Korean Society of Combustion, Vol. 1, No. 10, 2005, pp. 20-26.