

## 섬유 코팅 건조기를 위한 파이버매트 촉매버너

서용석, 류인수, 류민웅, 조성준, 송광섭, 강성규  
한국에너지기술연구소

### Fiber Mat Catalytic Burners for Drying Processes of Textile Coating

Yong Seog Seo, Ihn Soo Ryu, Min Woong Ryu,  
Sung June Cho, Kang Sup Song and Sung Kyu Kang  
Korea Institute of Energy Research

#### 요 약

본 연구는 섬유 코팅 건조기에서 사용하고 있는 열풍 건조방식을 촉매버너를 이용한 직접 건조 방식으로 대체하기 위한 것이다. 촉매버너는 파이버 매트를 사용한 확산식 연소 방식을 채택하였다. 확산식 촉매버너는 코팅 건조기와 같은 밀폐형 구조에는 적합하지 않아서 개선이 필요한 것으로 나타났다. 연소용 공기를 촉매버너의 표면에 강제적으로 공급하여 촉매버너의 연소효율을 개선하였다. 아크릴이 코팅된 섬유의 건조 과정에서 발생하는 톨루엔을 회수하여 촉매버너의 연료로 재사용하도록 하였다. 이를 위하여 톨루엔을 사용한 경우의 촉매버너의 최적 설계조건을 도출하였다.

#### 1. 서론

촉매연소는 화염연소와 비교하여 두드러진 특징을 가지고 있다. 촉매연소는 산화반응에 필요한 활성화에너지가 화염연소에 비하여 매우 낮다. 그리고 연소가 가능한 가연 범위가 화염연소의 경우보다 매우 넓다.  $CH_4$ 의 경우에 착화온도가  $400\text{ }^\circ\text{C}$  정도이며, 가연 범위는 수백 ppm 까지 희박 연소가 가능하다.

촉매연소의 이같은 특징을 활용하여 알루미늄 파이버에 귀금속 촉매를 담지한 촉매를 사용한 촉매버너를 개발하여 난방용과 산업용 가열기 등으로 사용하고 있다<sup>(1)</sup>. 그러나 이러한 저온용 촉매버너를 산업용 공정에서 사용할 경우에 공기의 공급이 차단된 밀폐공간이나 또는 컨베이어로 이송되는 피가열물을 바로 위에서 가열해야 하는 경우가 많다. 이러한 경우에는 확산식 촉매버너에 연소용

공기의 공급이 원활하지 못하다. 이러한 곳에 촉매버너를 사용하고자 할 때에는 자연 확산식 촉매버너의 연소방식을 강제 확산식 또는 예혼합식으로 변경하여야 한다.

본 연구는 섬유의 아크릴 코팅의 건조공정에 촉매버너를 사용하기 위한 연구의 일환이다. 섬유 코팅 공정에서 기존의 건조방식은 열풍식을 많이 사용하고 있다. 그러나 건조효율을 높이고, 건조과정에서 발생하는 톨루엔을 다시 연료로 회수하여 사용하기 위하여 촉매버너를 이용하기로 하였다. 이를 위해서는 밀폐된 건조실에 적합한 촉매버너의 개발과 함께 톨루엔을 연소시킬 수 있는 촉매버너의 개발이 필요하다.

이를 위하여 먼저 자연 확산식 촉매버너를 강제확산식과 예혼합식으로 각각 변경하였을 때의 연소특성을 실험하였다. 그리고 촉매의 허용온도 범위 내에서 촉매버너를 사용하기 위한 적정 운전조건을 도출하였다. 이어서 톨루엔을 사용하여 촉매버너의 연소특성을 실험하였다. 톨루엔을 사용할 때에 촉매의 허용온도를 고려한 촉매버너의 적정 운전조건을 도출하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2. 1 실험용 촉매버너의 제작

본 연구에서는  $Al_2O_3$  파이버를 담체로 하여 여기에 백금을 담지한 귀금속 촉매를 사용하였다. 담체(support)는 영국 ICI사 제품인  $Al_2O_3$  fiber (catalytic grade,  $\eta$ -alumina 50 %,  $Al_2O_3 > 95$  %,  $SiO_2 < 5$  %)를 사용하였다. 여기에 촉매로서 Pt(1.0 wt %)를 담지하였다.  $H_2PtCl_6$  용액에 파이버매트를 침전시켜 이를 탈수, 건조, 산화, 환원과정을 통하여 백금촉매를 제조하였다<sup>(2)</sup>.

실험에 사용한 촉매버너의 구조는 Fig. 1과 같다. 촉매버너의 가장 앞쪽에 촉매매트(두께 15 mm)가 설치되고, 촉매매트의 바로 뒷면에는 보온용 세라믹 파이버 매트(두께 20 mm)가 설치된다. 촉매매트와 보온재 매트 사이에는 전열히터(1 kw)가 설치된다. 이 전열히터는 촉매버너를 점화시킬 때, 촉매를 점화온도(약 250 °C)까지 예열하는데 사용한다. 보온재 매트 뒤에는 혼합기를 공급할 수 있는 노즐이 설치된다.

촉매버너를 운전하기 위해서는 먼저 전열히터를 사용하여 촉매층을 예열한다. 촉매층이 충분히 예열되어 열전대의 온도가 250 °C 이상으로 증가하면 연료밸브를 열어 가스를 공급하여 촉매반응이 일어나도록 한다. 촉매반응이 안정화되면 전열선의 전기를 단전한다.

### 2. 2 실험장치

LPG를 위한 촉매버너의 실험장치를 Fig. 2에 보여주고 있다. 가스연료는 가버너를 통하여 적정 압력으로 조절하고 오리피스 유량계를 통하여 가스유량을 측정하였다. 공기는 콤퓨레서를 사용하여 공급하였으며, 가버너를 이용하여 적정 압력으로 감압하여 오리피스 유량계를 이용하여 유량을 측정하였다. 촉매층내의 온도를 측정하기 위해서 K-type 열전대(shield 직경 3.0 mm)를 사용하였다. 열전

대는 촉매층과 보온재층 사이에 설치하였다.

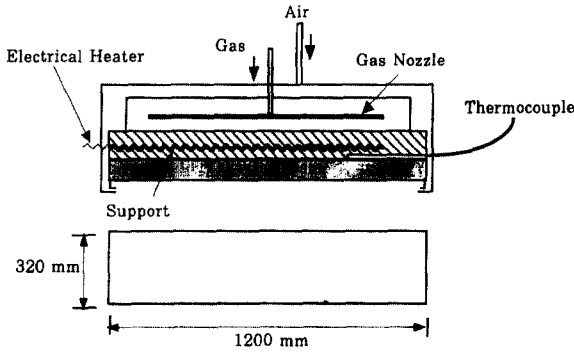


Fig. 1 Schematic diagram of catalytic burner.

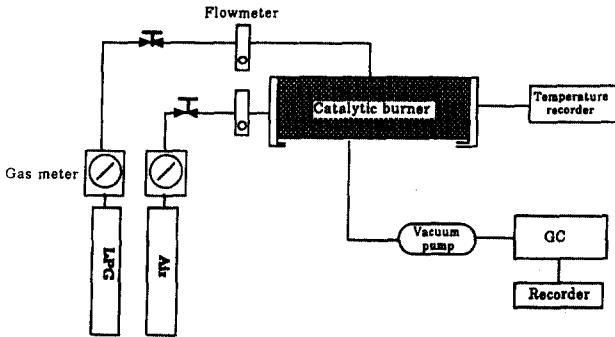


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus for LPG(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3. 1 LPG의 실험결과

촉매버너를 수직, 수평상향, 수평하향으로 각각 설치하여 열부하를 변화시키면서 촉매버너의 연소효율을 측정하였다. Fig. 3은 촉매버너의 설치방법에 따른 연소효율의 변화를 측정한 결과이다.

촉매버너를 수직 혹은 수평상향으로 설치할 때 열부하 0.7~1.8 kcal/h.cm<sup>2</sup> 범위에서 연소효율은 100 %로 나타났다. 이것은 저온 촉매버너의 기존의 결과와 잘 일치하고 있다<sup>(3)</sup>. 그러나 동일한 촉매버너를 수평하향으로 설치할 때는 연소효율이 현저히 감소하였다. 열부하 0.6 kcal/h.cm<sup>2</sup>에서 연소효율이 99.3 %이고 열부하를 증가시키면 연소효율은 급격히 감소하여 열부하 1.0 kcal/h.cm<sup>2</sup>일 때 91 %로 감소하고, 1.6 kcal/h.cm<sup>2</sup>에서는 60 %로 감소하였다. 이것은 촉매버너를 수평하향으로 설치하게 되면 연소용 공기가 촉매층으로 확산되어 들어가는 것이 원활하지 못하기 때문이라고 판단된다.

가열공정에서 피가열물이 컨베이어에 의하여 이송되는 경우에는 촉매버너를 피가열물의 바로 위 곧 수평하향으로 설치해야 하는 경우가 많다. 이러한 경우에는 촉매버너의 연소효율이 좋지 않으므로 이에 대한 개선이 필요하게 된다. 촉매버너를 수평하향으로 설치하였을 때의 촉매버너의 연소효율을 개선하기 위하여 자연 확산에 의하여 공급되는 연소용 공기를 강제확산으로 공급하는 방법을 고려할 수 있다.

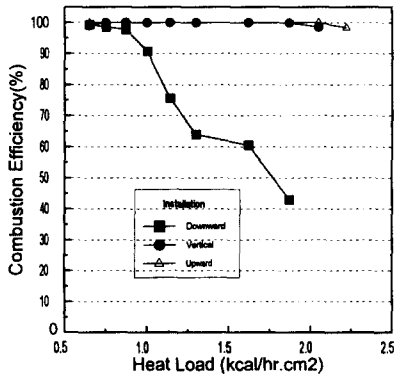


Fig. 3 Combustion efficiency of the catalytic burner depending on installation.

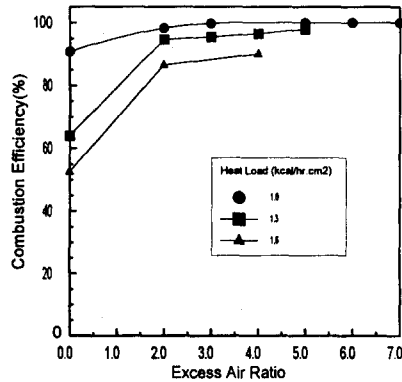


Fig. 4 Combustion efficiency of the catalytic burner when combustion air is forcedly supplied on the catalyst surface.

촉매버너를 수평하향으로 설치한 상태에서 확산용 공기를 강제적으로 공급하였을 때의 촉매버너의 연소 개선 효과를 실험하였다. 촉매층 표면에 연소용 공기를 강제적으로 공급하기 위하여 촉매버너의 측면에 틈새 1 mm의 슬릿노즐을 촉매표면에서 20 mm 떨어진 위치에 설치하였다.

Fig. 4는 촉매버너에 강제 확산공기를 공급하였을 때의 촉매버너의 연소효율을 측정된 결과이다. 강제적으로 공급하는 확산공기의 양이 증가하면 촉매버너의 연소효율은 개선되는 것으로 나타났다. 열부하량이 1.0 kcal/h.cm<sup>2</sup>인 경우에 강제 확산공기량을 이론 공기량의 3배 이상으로 공급하면 연소효율이 100 %에 도달하였다. 그러나 이처럼 연소효율이 증가하더라도 열부하량이 과도하게 증가하면 100 %의 연소효율을 얻기가 어려웠다. 본 촉매버너를 수직하향으로 설치했을 때 100 %의 연소효율을 얻기 위한 적정 열부하량은 1.0 kcal/h.cm<sup>2</sup>, 적정한 강제 확산 공기량은 이론공기량의 3배 이상인 것으로 나타났다.

### 3. 2 톨루엔의 실험결과

톨루엔이 발생하는 공정에서 촉매버너를 사용하기 위해서는 톨루엔을 사용할 때의 촉매버너의 적정 운전 조건을 도출하는 것이 필수적이다. 촉매버너를 사용

하는 데에 있어서 촉매층의 온도는 촉매의 내열온도 이내로 유지되어야 한다. 그리고 촉매연소에 의한 톨루엔의 연소가 만족할 만한 수준에 이르러야 한다. 톨루엔이 전부 연소되어 100 %의 연소효율을 얻는 것이 가장 바람직하다.

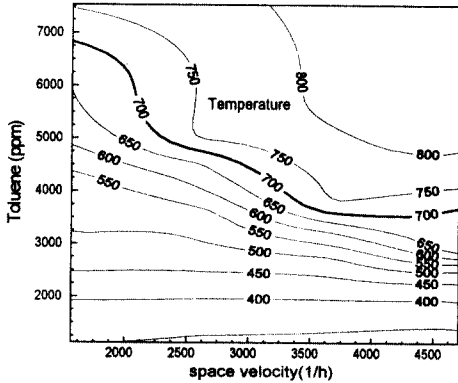


Fig. 5 Temperature of the catalyst layer.

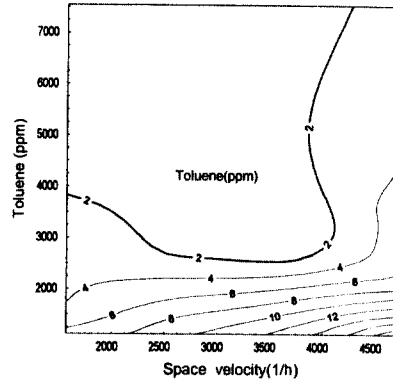


Fig. 6 Conversion efficiency of the catalytic burner for toluene.

Fig. 5는 톨루엔을 사용하여 다양한 운전조건에서 촉매층의 온도를 측정한 결과이다. 촉매의 내열온도가 700 °C인 것을 감안하여 촉매층에서의 온도가 700 °C 이내가 되는 운전 조건을 Fig. 5로부터 얻을 수 있다. 예를 들어 공정에서 발생하는 톨루엔의 농도가 5000 ppm 이라고 가정할 때, 본 촉매버너로 처리할 수 있는 톨루엔 유량은 최대 공간속도 2300 h<sup>-1</sup>이 되는 것을 알 수 있다.

한편 촉매층의 온도가 지나치게 낮아지면 촉매연소가 지속되지 못하고 촉매버너가 꺼지게 된다. 촉매층의 온도가 400 °C 이하에서는 촉매버너가 꺼지는 것으로 측정되었으나, 실제 공정에 적용하기 위해서는 안전성을 고려해서 촉매층의 최고 온도가 500 °C 이하로 내려가지 않도록 하는 것이 좋다.

Fig. 6은 다양한 운전조건에서 톨루엔 가스가 촉매버너를 통과하여 연소된 후 배기가스 중의 미연 톨루엔 농도를 측정한 결과이다. 실험결과, 공간속도가 증가할수록 미연 톨루엔의 양이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 공간속도가 증가하게 되면 촉매버너에서 처리해야 할 톨루엔의 양이 증가함과 함께 촉매표면과 톨루엔가스와 접촉 시간이 감소함으로 촉매반응이 둔화되어 미연 톨루엔의 양이 증가하는 것으로 생각된다. 미연 톨루엔 양을 줄이기 위해서는 가능한 공간속도가 줄이는 것이 유리하다고 생각된다.

### 3. 3 건조공정에 촉매버너의 적용

Fig. 7은 섬유 코팅 및 건조공정을 나타낸다. 섬유를 아크릴로 코팅하고자 할 때, 용재로서 톨루엔을 사용하며 섬유 위에 도포된 아크릴과 톨루엔은 건조실을 통과하면서 톨루엔은 증발되어 건조실 밖으로 빠져나가고 아크릴은 섬유 위에

코팅된다. 기존의 코팅공정에서는 대부분 열풍식 건조방식을 채택하고 있으며, 발생된 톨루엔 가스는 적절한 처리방법이 없어서 대기 중으로 방출시키고 있는 실정이다. 이러한 문제점이 있는 기존의 건조공정에 촉매버너를 설치하여, 건조 효율을 높이고, 이어서 건조과정에 발생하는 톨루엔가스를 다시 회수하여 촉매버너의 열원으로 활용하고자 한다. 이렇게 할 때, 에너지 효율개선, 폐열회수, 공해방지의 이득이 얻어지리라 예상된다.

건조기의 초기 운전 시에는 LPG를 사용하여 촉매버너를 운전하며, 정상적인 상태에 도달하면, 이어서 LPG 밸브를 잠그고 배기가스로 나가는 톨루엔가스를 회수하여 촉매버너의 연료로 공급하게 된다.

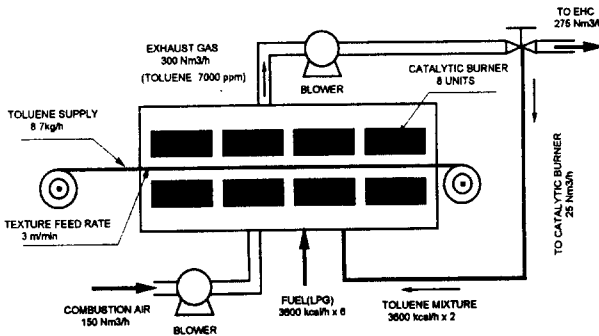


Fig. 7 Schematic diagram of application of the catalytic burner to drying process of textile coating.

#### 4. 결론

본 연구에서는 섬유의 아크릴 코팅의 건조공정에 사용되는 기존의 열풍식 건조기를 촉매버너로 대체하기 위하여 밀폐된 건조실 공간에서 사용이 가능하며, 톨루엔을 연료로 사용할 수 있는 촉매버너의 개발을 수행하였다.

밀폐된 건조실에 촉매버너의 사용이 가능하도록 자연확산식 촉매버너를 강제 확산식 촉매버너로 개선하였다. 한편 건조과정에서 발생하는 톨루엔가스를 회수하여 촉매버너의 연료로 활용하기 위하여 톨루엔 가스를 사용하였을 때의 촉매버너의 연소특성과 적정 운전조건을 도출하였다.

#### 5. 참고문헌

- (1) 貞森博己 外, 1986, "遠赤外線放射式 觸媒燃焼バーナの開發と利用技術", 工業加熱, Vol.24, No.4, pp.23-31
- (2) 강성규 외, 1996, "폐가스순환형 촉매연소 건조기 개발 연구", 한국에너지기술연구소, pp.70-106
- (3) 貞森博己 外, 1988, "擴散式觸媒燃焼バーナ-(II)", 燃料協會誌, 第67卷 第12號, pp.1052-1060
- (4) 강성규 외, 1993, "염색 건조용 촉매연소 시스템 개발 연구", 한국에너지기술연구소