

PE2) 다공성 Al/Al₂O₃ 복합층이 피복된 휘발성 유기화합물 촉매산화용 금속 monolith 반응기의 개발

Preparation of wire-mesh honeycomb coated with Al/Al₂O₃ composite for catalytic combustion of volatile organic compounds(VOCs)

양경식 · 최진성 · 정종식
포항공과대학교 화학공학과

1. 서 론

휘발성유기화합물(volatile organic compounds, 이하 'VOCs')은 대기 중에서 태양광선에 의해 질소산화물과 광화학적 산화반응을 일으켜 그 결과 지표면의 오존농도를 증가시켜 스모그(Smog) 현상을 초래시키는 모든 유기화합물을 일컫는다. 이러한 VOCs를 제거하기 위하여 여러 방법이 제시되고 있는데, 촉매를 이용하여 VOCs를 산화시켜 제거하는 촉매 산화법은 촉매사용으로 인하여 소각법에 비하여 조업 온도를 많이 떨어뜨릴 수 있으므로, 에너지 소비의 절감과 이에 따른 제2의 오염물질의 배출이 거의 없다는 점에서 유리한 면을 갖고 있어 VOCs 제거에 가장 적합한 방법이라고 할 수 있다.

일반적으로 굴뚝에서 나오는 대기오염가스나 자동차 배출가스 등에 사용되는 촉매들은 가스흐름 내의 압력손실을 줄이기 위해 cordierite로 제작된 벌집 honeycomb 형태의 structured monolith 반응기 모듈에 촉매 입자를 coating하여 사용하게 된다 [1]. 그러나 이러한 반응기는 각각의 채널 사이가 상호차단되어 있어 유량 흐름이 직각 방향으로만 상호 혼합이 불가능해진다라는 단점을 가지고 있으며, 이러한 점을 보완하기 위해 본 그룹에서는 wire-mesh를 사용하여 3방향 흐름이 가능한 honeycomb형 저압차 반응기를 제작하였다 (wire-mesh honeycomb, 이하 'WMH') [2]. 이러한 wire-mesh 반응기는 표면이 금속 성분이라 금속산화물로 된 촉매를 견고하게 부착하기가 힘들므로, 이 문제점을 극복하기 위해 본 연구에서는 electrophoretic deposition(이하 'EPD')법을 이용하여 다공성 금속/금속산화물(예로 Al/Al₂O₃)을 금속 wire 표면에 피복하는 방법을 고안하였다 [3]. 또한 제작된 반응기에 촉매활성성분을 코팅하여 다이옥신 simulant인 1,2-dichlorobenzene(이하 'o-DCB')의 촉매산화반응에 적용하여 그 활성을 기존의 ceramic honeycomb과 비교해 보았다.

2. 연구 방법

Wire-mesh 표면에 촉매의 코팅을 위한 산화층 형성을 위하여 electrophoretic deposition (EPD)법을 이용하였다. EPD에서 solvent로 ethanol, 코팅물질로 aluminum powder, 첨가제로서 aluminum isopropoxide를 각각 사용하였다. EPD를 거친 aluminum이 코팅된 wire-mesh는 다시 800°C에서 적절한 sintering 과정을 거친 후 다시 500°C에서 소성을 거쳐 표면에 얇은 Al₂O₃ 피막을 형성시킨다. 앞의 주름판과 평판을 엮갈려 조립하여 wire-mesh honeycomb(148 mm×148 mm×150 mm)을 제작하였으며, 비교를 위해 동일한 크기와 cell 밀도를 가진 ceramic honeycomb을 준비하였다.

위의 WMH에 10wt.%V₂O₅/TiO₂를 코팅하여 최종적으로 반응기를 제조하였으며 (그림 1), pilot scale의 1,2-dichlorobenzene(o-DCB) 촉매산화반응에 적용하였다. o-DCB의 경우 다이옥신 중 가장 독성이 강한 2,3,7,8-Tetrachlorinated-dibenzo-dioxin과 유사한 구조를 가지고 있고, 고체인 다이옥신보다는 휘발성이 높기 때문에 이를 반응물로 채택하였다 [4]. 반응물질은 peristaltic pump를 이용하여 mixing chamber내로 공급하였으며, 분석은 gas chromatography를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

EPD 수행시 slurry의 조성을 바꾸어 가며 실험을 하였으며, 그림 2에서 볼 수 있듯이 deposition되는 양은 첨가제의 농도에 따라 매우 민감하며 특정한 영역에서만 일어남을 볼 수 있다. Aluminum powder

의 deposition 후 열처리를 거친 표면의 SEM 사진은 그림 3에 나타내었다. 코팅된 면은 매우 porous하여 촉매코팅에 매우 유리하며, 이때 표면적은 $12.23\text{m}^2/\text{g}$ 으로 측정되었다. Aluminum이 코팅된 wire-mesh의 경우 표면적이 6배 이상 증가하였으며, pore의 양과 크기도 증가하였음을 알 수 있었다. 또한, 이 $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 코팅면은 산소의 내부침투를 막아줄 수 있으므로, 고온에서 반응시 문제가 될 수 있는 wire-mesh의 산화에 의한 촉매탈착의 문제점을 해결해 줄 수 있다.

이렇게 제작된 WMH 반응기에 $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ 를 washcoating하여, o-DCB의 촉매산화반응에 적용하였다. 우선 최적의 코팅량을 알아보기 위하여 코팅량을 변화시켜 반응을 수행한 결과(그림 4), 20wt%의 코팅량이 적절하였으며, 이를 앞으로의 반응에 사용하였다. WMH 반응기는 가스가 channel duct 방향 뿐만 아니라 wire-mesh에 나있는 구멍을 통해 직경 방향으로도 흐름이 형성되기 때문 먼지에 막히거나 입구에서의 가스 배분 문제가 없고 난류를 형성하여 mass transfer 속도가 높아져 전체 반응속도가 ceramic honeycomb에 비해 월등하게 증가하는 장점이 있다. 그림 5에서와 같이 기존의 ceramic honeycomb과 비교 실험을 수행한 결과 그 성능이 월등히 우수함을 확인할 수 있었다.

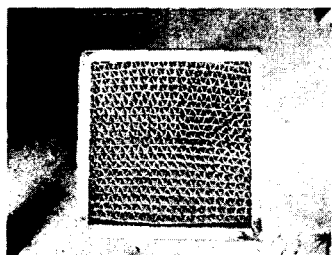


Fig. 1. Top view of WMH coated with aluminum

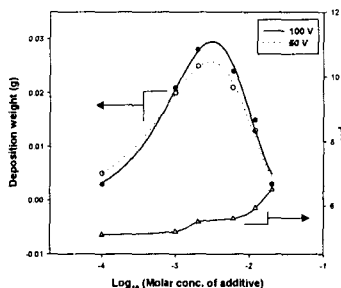


Fig. 2. Effect of additives' conc. in EPD

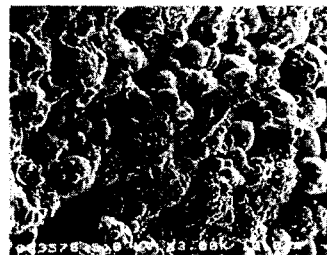


Fig. 3. SEM picture of $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ coated wire-mesh

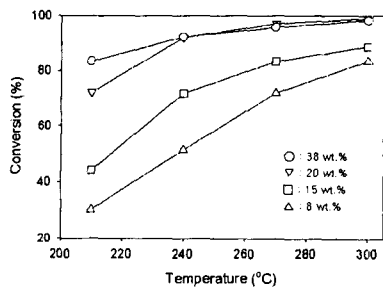


Fig. 4. Influence of $\text{V}(10)/\text{TiO}_2$ catalyst loading. (10000h^{-1} , 500ppm)

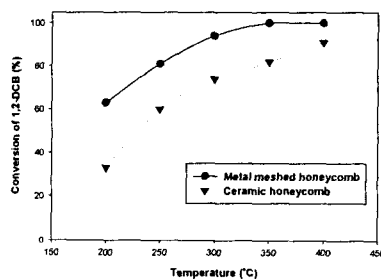


Fig. 5. 1,2-dichlorobenzene removal efficiency (10000h^{-1} , 500ppm)

참고 문헌

- [1] A. Cybulski, J.A. Moulijn, Catal. Rev. Sci. Eng. 36 (1994) 179.
- [2] K.S. Chung, Z. Jiang, B.S. Gill, J.S. Chung, Appl. Catal. A 237 (2002) 81.
- [3] K.S. Yang, Z. Jiang, J.S. Chung, Surf. Coat. Tech. 168 (2003) 103.
- [4] Z. Jiang, B.S. Gil, C.M. Nam, J.S. Chung, Environ. Eng. Res. 5 (2000) 183.