

PC2) **Electrophoretic Deposition(EPD)법을 이용한 휘발성 유기 화합물 촉매산화용 저압차 반응기 개발** **Development of wire mesh honeycomb using electrophoretic deposition for catalytic oxidation of VOCs**

양경식 · 최진성 · 정중식
포항공과대학교 화학공학과

1. 서 론

휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compound : 이하 VOCs 라 칭함)은 탄화수소화합물의 총칭으로 오존 등 광화학적 스모그의 원인이 되는 물질일 뿐만 아니라 발암성 등의 유해 물질, 지구온난화와 성층권의 오존층 파괴의 원인 물질, 대기 중 악취물질로서[1] 환경 및 인간의 건강에 영향을 초래하여 VOCs 감축을 주요 대기오염정책으로 세우는 국가가 증가하는 추세이다.

촉매를 이용하여 VOCs를 산화시켜 제거하는 촉매 산화법은 촉매사용으로 인하여 소각법에 비하여 조업온도를 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 대량의 유체가 흐르는 촉매 반응에서는 압력차를 줄이기 위하여 저압차 반응기를 사용하게 되는데, 기존에 가장 많이 사용되고 있는 형태는 세라믹을 재질로 한 honeycomb 형태의 반응기이다. 그러나 이러한 형태의 반응기들은 각각의 채널 사이가 상호차단되어 있어 유량 흐름이 직각 방향으로는 상호 혼합이 불가능해진다는 단점을 가지고 있으며, 이러한 점을 보완하기 위해 본 실험에서는 wire-mesh를 사용한 honeycomb형 저압차 반응기를 제작하였다. 또한 wire-mesh honeycomb은 그 재질이 금속이므로 전기를 통할 수 있다는 특징을 이용하여 electrophoretic deposition(이하 EPD)법을 이용하여 촉매 입자를 표면에 쉽게 코팅할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 실험에서는 wire-mesh를 이용하여 honeycomb 형태의 저압차 반응기를 개발하였으며, EPD법을 이용하여 촉매를 코팅한 저압차 반응기를 최종적으로 제작하였다. 또한 제작된 저압차 반응기를 이용해 벤젠의 촉매산화반응에 적용하여 그 활성을 기존의 ceramic honeycomb과 비교해 보았다.

2. 연구 방법

본 연구에서 촉매로 Pt를 담체로 TiO₂를 사용하였으며 Pt, TiO₂와 적절한 binder를 slurry 형태로 만들어 wire-mesh honeycomb에 coating하여 실험을 수행하였다. Honeycomb의 재료로는 stainless steel을 사용하였으며, 촉매를 wire-mesh screen에 coating을 하기 위해서 본 연구에서는 mesh의 표면처리공정, EPD, washcoating에 의한 촉매의 코팅으로 이루어졌다. 표면처리공정에서는 stainless steel mesh 표면 위에서 코팅 물질이 우수한 부착력을 유지하기 위해서 산처리를 하는 과정을 거쳤다. EPD를 위해 dispersant로는 TEA(triethyl amine)과 PAA(polyacrylic acid), NH₄OH 등이 사용되었으며, washcoating을 위해 사용된 바인더로서는 H₃PO₄과 PVA, 촉매의 precursor로서는 H₂PtCl₆를 사용하였다.

반응물인 benzene은 상온에서 액상으로 존재하기 때문에 반응물을 saturator에 담은 후에 MFC(유량 조절기)에 의해 유량이 조절된 공기를 일정한 온도를 유지하고 있는 saturator에 통과시킴으로써 일정한 농도의 반응기체를 얻을 수 있었다. 반응기 전후로의 모든 line은 벤젠의 응축을 방지하기 위해서 100°C 이상으로 유지하였다. 분석은 gas chromatography(Hewlett Packard 6890A, column: HP-5)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

Suspension의 조성을 바꾸어 가며 실험을 하였으며, TEA의 농도가 $5 \times 10^{-3}M$, 전압은 100V, deposition time은 3분일 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. Aluminum powder가 코팅된 표면의 SEM 사진은

그림 1에 나타내었으며, 입자가 균일하게 코팅이 되어 있음을 알 수 있다.

코팅된 표면의 표면적과 세공 구조를 알아보기 위해 BET 표면적을 측정하였으며, pore size distribution을 나타낸 결과는 그림 2, 3과 같다. Aluminum이 코팅된 wire-mesh의 경우 표면적이 6배 이상 증가하였으며, pore의 양과 크기도 증가하였음을 알 수 있었다. 따라서 본 반응기의 제작에 사용된 EPD법을 이용한 wire-mesh의 경우 촉매 반응에 유리할 것이라 판단되는 고표면적을 가진 porous한 표면이었다.

EPD법을 통하여 제작된 wire-mesh는 그 표면에 얇은 alumina layer를 가지고 있으므로 표면적이 크며, 세공이 많다. 이렇게 제작된 wire-mesh honeycomb에 촉매를 코팅하는 방법으로는 촉매 precursor를 직접 담지하는 방법과 다른 지지체에 담지된 촉매 powder를 washcoating하는 방법이 있다. 어느 방법이나 그 과정에 있어서 어려움은 없으나, 여기서는 벤젠 촉매산화반응에서 주로 사용되는 Pt/TiO₂ 촉매를 제조한 후 EPD법을 통해 제작된 wire-mesh honeycomb에 washcoating 하였다. 촉매 코팅량과 코팅 강도 test를 통하여 촉매 코팅 정도를 확인하여 본 결과, 단위 질량당 촉매 코팅량이 EPD법을 통해 제작된 wire-mesh의 경우 2.5배에 달하였고, 그 강도 또한 매우 우수하였다. 이는 porous한 표면 구조에 기인하는 것으로 보이며, 더 작은 크기와 질량으로도 같은 정도의 성능을 타나낼 수 있음을 유추할 수 있었다. 본 실험에서 제작된 반응기를 나타낸 사진은 그림 4와 같으며, benzene 산화반응 실험에 적용하여 본 결과는 그림 5와 같다. 기존의 ceramic 반응기에 비해 약 20~30°C가 낮은 온도에서도 95% 이상의 활성을 보임으로써 그 성능이 매우 우수함을 확인할 수 있었다.

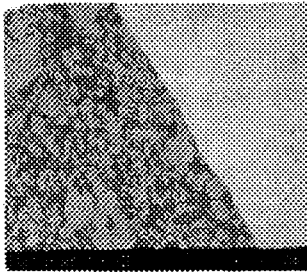


Fig. 1 SEM picture of wire coated with aluminum

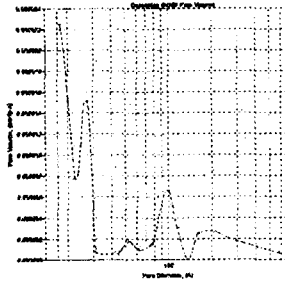


Fig. 2 Pore-size distribution of pure-wire surface area = 1.83m²/g

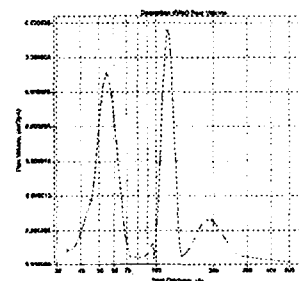


Fig. 3 Pore-size distribution after EPD surface area = 12.23m²/g

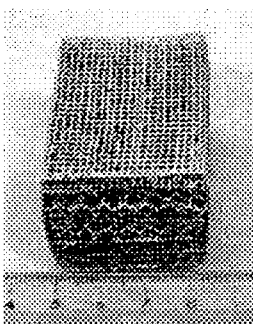


Fig. 4 Wire-mesh honeycomb

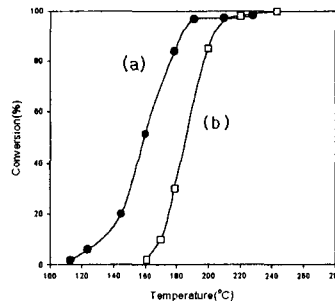


Fig. 5 Benzene removal efficiency

- (a) Pt/TiO₂ washcoated on Al coated WMH
- (b) Pt/TiO₂ washcoated on ceramic honeycomb

참고 문헌

R. Atkinson, Journal of Physical and Chemical Reference Data, Monograph No. 1, 1989
 J. J. Spivey, Ind. Eng. Chem. Res., 26, 2165, 1987
 P. Sarkar and P. S. Nicholson, J. Am. Ceram. Soc., 79, 8, 1987, 1996
 P. Sarkar, X. Haung, P. S. Nicholson, J. Am. Ceram. Soc., 75, 10, 1992