

## VOC 제거용 rotor식 흡착농축장치의 설계 및 운전

김홍수, 유윤종, 안영수, 주국택\*, 설용건\*\*, 한문희  
한국에너지기술연구원 기능소재연구센터, 에너지저장연구센터\*, 연세대학교 화학공학과\*\*

### Design and Operation of VOC concentrator for VOC abatement

Hong-Soo Kim, Yoon-Jong Yoo, Young-Soo Ahn,  
Kuck-Tack Chue\*, Yong-Gun Shul\*\*, Moon-Hee Han  
Korea Institute of Energy Research, Functional Materials Research Center  
Korea Institute of Energy Research, Energy Storage Research Center\*  
Yonsei University, Department of Chemical Engineering\*\*

#### 1. 서론

톨루엔, 벤젠, MEK, MIBK 등 유기용매를 사용하는 작업장에서 대기로 방출되는 휘발성 유기화합물(VOC : Volatile Organic Compound)은 대기환경보전법에 의하여 배출을 억제하거나 방지할 수 있는 시설을 설치하도록 규정되어 있다. 1,000 ppm 이하의 낮은 농도의 VOC를 배출하는 작업장의 경우 VOC 배출 규제를 만족시키기 위한 다양한 제거방법 가운데 rotor식 흡착농축장치를 사용하는 것이 가장 운전비용이 저렴한 것으로 알려져 있다. VOC 흡착용 rotor는 두께 0.2mm의 얇은 세라믹 종이를 편파형으로 성형하여 허니컴을 만든 후 제올라이트 혹은 활성탄소를 함침한 것으로 VOC흡착농축장치 비용의 거의 절반을 차지하는 핵심부품이다. 본 연구에서는 지난 2년간 연구결과 확보한 기술을 바탕으로 직경 37cm, 길이 40cm의 VOC 흡착 rotor를 제작하였으며, 이 흡착 rotor를 200 ~ 300 ppm의 톨루엔, 벤젠, MEK, MIBK로 오염된 공기를 500 Nm<sup>3</sup>/hr 처리할 수 있는 VOC 흡착농축장치에 장착할 수 있도록 흡착장치를 설계 제작하여, 운전을 실시하고, 운전특성을 분석하였다.

#### 2. 실험 장치 및 방법

##### 2-1. 세라믹흡착로타의 제조

세라믹 화이버를 주성분으로 하는 두께 0.2mm의 세라믹 종이를 제조하여 이를 편파성형한 후 둥글게 말아서 직경 37 cm, 길이 40 cm인 허니컴구조체를 만들었다. SiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 몰비가 200이상인 소수성 제올라이트(Degussa-Huels, Wessalith DAY-P)와 야자계 활성탄(삼천리, SPC-100)을 구조체 표면에 혼합 함침하여 제올라이트/활성탄-로타를 제조하였다. 이때 로타에 함침된 흡착제량(바인더 포함)은 1.46kg이었다.

##### 2-2. 농축흡착장치의 설계

흡착장치에 장착된 흡착로타에 설계기준에 따라 흡착영역을 300° , 탈착영역을 30° , 냉각영역을 30° 로 하여 제작된 V자형 칸막이를 설치하였으며, 오염공기, 농축공기, 냉각용공기가 서로 섞이지 않도록 발포 실리콘 재질의 러버 씰링재로 기밀을 유지시켰다. 또한, 로타로 공급되는 공기가 로타로만 공급되도록 로타에 플랜지를 달고, 플랜지 주변을 같은 재질의 씰링재로 기밀을 유지시켰다. VOC 로타의 구동은 스테핑 모터를 이용하였으며, 흡착로타의 회전수가 시간당 2 ~ 10회전할 수 있도록 하였다. 가열재생용 인입가스의 온도는 설계조건에 맞도록 최고 190℃를 유지하도록 하였으며, 가열된 공기가 지나가는 배관은 두께 25mm의 세라믹화이버 단열재로 보온하였다. 흡착제거와 세정, 가열재생의 입구 및 출구

에는 VOC 가스의 농도분석을 하기 위한 연결관을 달아 농도 분석장치인 THC analyzer (model : Horiba)에 배관으로 연결되도록 하였다. 오염공기 공급용 fan과 세정용 공기공급용 fan의 입구와 출구에는 유량을 조절하기 위하여 밸브를 부착하였으며, 유량을 측정하기 위한 flow meter를 부착하였다. 흡착제거부위와 세정가열 재생의 입구 및 출구에는 배관내에 열전대를 달 수 있도록 하고 T-type의 열전대를 부착하여 각각의 온도를 지시하도록 하였다.

### 2-3. 농축흡착장치의 운전

VOC 흡착설비의 VOC 흡착성능실험은 스텐레스로 만든 20리터의 원통형 통에 톨루엔, 벤젠, MEK, MIBK를 각각 넣고, 1/2" 스텐레스 파이프를 액상의 VOC에 담가 air compressor로 일정한 유량의 공기가 공급되도록 함으로써 스텐레스 파이프에 공급되는 공기의 양에 의해 공기 중에 포함되는 VOC 가스의 양을 조절하였다. 생성된 VOC 가스는 500 Nm<sup>3</sup>/hr 용량의 air fan에 의해 흡착영역으로 공급된다. VOC 가스가 흡착영역을 지나면서 세라믹 로터에 함침되어 있는 흡착제에 의해 흡착제거되며, 이 흡착장치에 장착된 세라믹 로터는 시간 당 2 ~ 10회 회전하므로 흡착영역에 있던 셀이 일정한 시간이 경과되면 170℃의 가열공기가 공급되는 탈착영역에 도달하게 된다. 탈착영역에 공급되는 열풍은 흡착영역에 공급되는 오염공기의 방향과 반대방향으로 공급하였으며, 이렇게 함으로써 흡착영역에 포화상태로 흡착되어 있던 VOC 가스가 쉽게 농축되어 배출된다. 본 연구에서는 톨루엔, 벤젠, MEK, MIBK가 160 ~ 260 ppm으로 오염된 공기를 390 ~ 500 Nm<sup>3</sup>/hr 공급하고 흡착로터의 회전수를 시간당 3회전하며 VOC 가스를 흡착제거하여 출구에서의 정화된 공기의 VOC 오염농도를 측정하고, 농축되어 배출되는 VOC 가스의 농도를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

흡착제의 표면고찰 : Fig. 1은 활성탄소와 제올라이트를 혼합하여 원통형 rotor에 함침한 시편의 표면 SEM 사진이다. 활성탄소와 제올라이트를 동시에 함침시킨 시편의 표면은 검은 색을 띠고 있으나, SEM 관찰 결과 오히려 표면에는 제올라이트가 많이 노출되어 있으며 (Fig. 1 (a)과 (b) 참조), 활성탄소는 제올라이트 아래에 묻혀있어서 (Fig. 1 (c)과 (d) 참조) 활성탄소가 제올라이트보다 무기질 섬유와의 친화력이 좋으며, 활성탄소가 무기질 섬유와 우선적으로 결합한 후 제올라이트는 나중에 함침된 것으로 보인다.

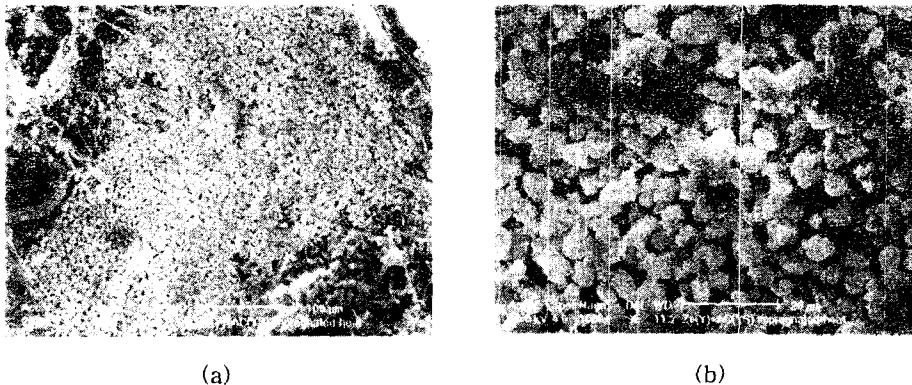


Fig. 1. 활성탄소와 제올라이트를 혼합하여 함침한 시편의 SEM 사진

(a) 100배 (b) 1000배

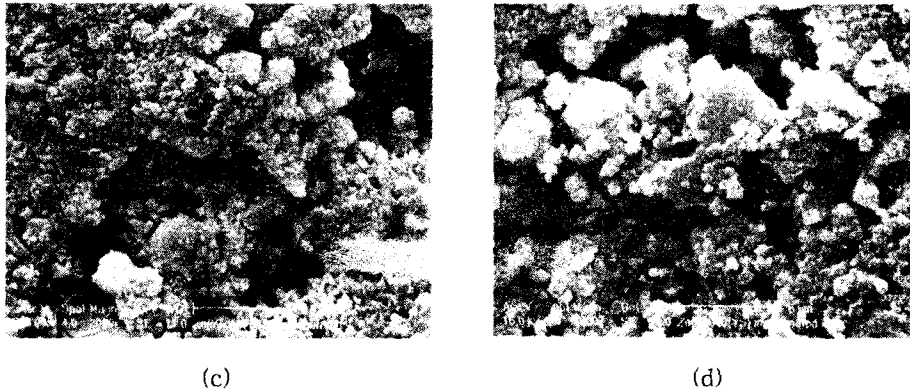


Fig. 1. 활성탄소와 제올라이트를 혼합하여 합성한 시편의 SEM 사진  
(c) 100배 (d) 1000배

**흡착농축장치의 운전** : 톨루엔 농도가 320 ppm인 오염공기를 320 Nm<sup>3</sup>/hr로 공급하여 얻은 연속운전결과를 Fig.2에 나타내었다. 톨루엔의 농도가 320 ppm이고 온도 36℃인 오염공기를 320 Nm<sup>3</sup>/hr로 공급하여 정상상태에 도달하였을 때, 흡착제거부에서 배출되는 톨루엔의 농도를 적분하여 평균농도를 계산하였으며, 이 때의 평균농도는 17.2 ppm으로 제거효율은 94.7%에 해당한다. 이 때 가열재생부에 공급되는 재생용 가스의 온도는 192℃였고 가열재생부 출구에서 배출되는 톨루엔농도는 600 ~ 980 ppm 범위에서 변화하며 평균농도는 780 ppm으로 2.4배 농축됨을 알 수 있다.

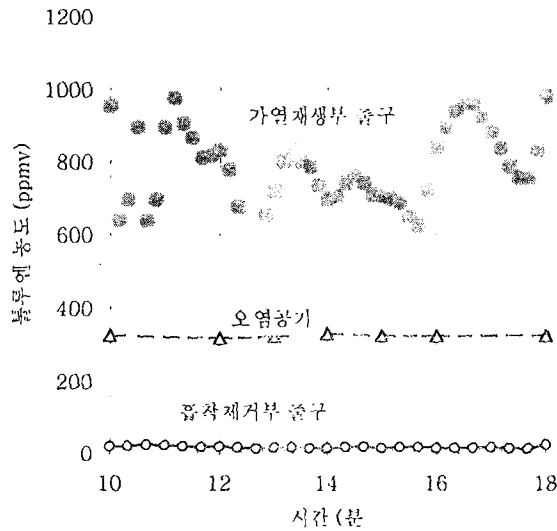


Fig. 2 정상상태에서의 톨루엔 흡착농축 연속운전실험 결과  
(오염공기 톨루엔 320 ppm, 처리유속 320 Nm<sup>3</sup>/hr, 공급온도 36℃, 재생온도 192℃)

Table 1.은 톨루엔, 벤젠, MEK, MIBK에 대하여 여러 가지 조건에서 흡착농축실험을 실시한 결과이다. Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 160 ~ 260 ppm의 농도로 오염된 VOC를 500 Nm<sup>3</sup>/hr 처리한 결과 90%이상의 제거효율을 얻었으며, 농축비는 3 ~ 5배의 결과를 얻었다.

Table. 1 VOC 흡착농축장치의 연속운전실험결과

	오염공기					가열재 생온도 (℃)	농축VO C농도 (ppm)	청정공 기농도 (ppm)	제거율 (%)	농축비 (배)
	VOC	유속 (Nm <sup>3</sup> /hr)	농도 (ppm)	온도 (℃)	습도 (RH,%)					
Run#1	톨루엔	390	237	38	-	194	706	13	94.4	3.0
Run#2	톨루엔	390	235	41	-	194	733	18	92.2	3.1
Run#3	톨루엔	390	233	42	-	194	754	13	94.6	3.2
Run#4	톨루엔	420	204	41	80	194	690	13	93.6	3.4
Run#5	톨루엔	500	250	42	70	200	894	25	90.0	3.6
Run#6	톨루엔	500	258	45	62	200	817	46	82.2	3.2
Run#7	톨루엔	500	263	46	50	205	898	21	92.0	3.4
Run#8	MIBK	420	193	41	70	199	842	13	93.4	4.4
Run#9	MIBK	500	221	47	77	202	1089	10	95.5	4.9
Run#10	MEK	500	161	47	55	197	828	19	88.4	5.2
Run#11	MEK	500	274	44	68	202	1402	22	91.9	5.1
Run#12	벤젠	500	206	38	92	197	674	14	93.2	3.3

#### 4. 결론

- 불연성 세라믹 종이를 소재로 제올라이트와 활성탄소를 동시에 함침하여 직경 37cm, 길이 40cm의 VOC 흡착용 허니컴형 세라믹로타를 제조하였다.
- 함침된 rotor의 표면을 SEM으로 관찰한 결과 활성탄소가 무기질 섬유와 우선적으로 결합하여 함침층의 내부에 존재하고 제올라이트는 함침층의 외부에 노출되어 있음을 확인하였다.
- 제올라이트와 활성탄을 동시에 함침시킴으로써 톨루엔, MEK, MIBK에 대하여 우수한 흡착성능을 가진 제올라이트와 벤젠에 대하여 우수한 함침성능을 가진 활성탄소의 장점을 모두 활용할 수 있었다.
- 제올라이트와 활성탄을 동시에 함침시킨 흡착로터를 장착시킨 처리규모 500 Nm<sup>3</sup>/hr의 흡착농축장치를 설계 제작하였으며, 흡착제거율은 90%이상, 농축비는 3 ~ 5배를 얻었다.

#### 참고문헌

- 유윤중, 주국택, 김홍수, 한문희, “실리카제올라이트를 함침한 벌집상 흡착제에 대한 톨루엔의 흡탈착거동”, 한국에너지공학회(2000년도) 춘계학술발표논문집, p.307-312.
- 김홍수, 유윤중, 주국택, 실용건, 한문희, “톨루엔 흡착제거를 위한 회전식 흡착제거장치 설계”, 한국에너지공학회(2000년도) 추계학술발표논문집, p.205-210.
- 유윤중, 주국택, 김홍수, 한문희, “하이실리카 제올라이트를 함침한 흡착로타의 VOC 흡탈착거동”, 한국화학공학회(2000년도) 추계학술발표논문집.
- 유윤중, 김홍수, 안영수, 한문희, 주국택, 정승호, 장건익, “활성탄 및 제올라이트 허니컴 흡착로타의 VOC 흡탈착 거동”, 한국에너지공학회(2001년도) 춘계학술발표논문집, pp. 163-168