

ORIGINAL ARTICLE

유증기 회수를 위한 VOCs 탈착에 미치는 온도, 압력 및 공기유량의 영향

이승우 · 나영수¹⁾ · 감상규²⁾ · 이민규*

부경대학교 화학공학과, ¹⁾세계화학공업(주) 연구소, ²⁾제주대학교 환경공학과

Effect of Temperature, Pressure, and Air Flow Rate on VOCs Desorption for Gasoline Vapor Recovery

Song-Woo Lee, Young-Soo Na¹⁾, Sang-Kyu Kam²⁾, Min-Gyu Lee*

Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

¹⁾Segye Chem. Co., Ltd., R & D Center, Kyungnam, 626-120, Korea

²⁾Department of Environmental Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

Abstract

Desorption characteristics of VOCs were investigated for the effective recovery of gasoline vapor. The adsorption capacity and desorption capacity were excellent at relatively low temperatures. The differences in the desorption capacity were not large in the condition; desorption temperature 25 °C, desorption pressure 760 mmHg, inlet air flow rate 0.5 L/min, but were relatively great in the condition; desorption temperature 0 °C, desorption pressure 60 mmHg, inlet air flow rate 1.0 L/min. The desorption ability of pentane was increased to about 81.4%, and the desorption ability of hexane was increased to about 102%, also the desorption ability of toluene was increased to about 156.7% by changes of temperature, pressure, inlet air flow rate in the experimental conditions. The optimum desorption condition for the effective recovery of VOCs was in the conditions; desorption temperature 0 °C, desorption pressure 60 mmHg, inlet air flow rate 1.0 L/min.

Key words : Gasoline vapor, Recovery, Desorption, VOCs, Pentane, Hexane, Toluene

1. 서론

주유소와 같이 휘발유를 취급하는 업종과 테이프 제조, 인쇄, 그리고 도장업체와 같이 휘발성 유기용제를 취급하는 업종에서 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)의 배출은 작업환경을 오염시킬 뿐만 아니라 화재, 폭발 등의 사고와 인체장애의 심각한 원인이 되고 있다. 배출되는 VOCs의 대부

분이 건조공정에서 휘발되어 대기 중으로 배출되고 있어 작업장에서 증기로 배출되는 VOCs를 제거하기 위한 많은 연구가 수행되고 있다(Khan과 Ghoshal, 2000). VOCs 제어기술이 이미 상용화되어 있음에도 불구하고 주유소나 세탁소 등에 적용되지 못하는 이유는 대부분의 설비들이 산화형 장치로 소규모 사업장에서는 경제성이 적고, 발생된 VOCs를 고온에서 연소시키는 방법은 주유소와 같이 엄격한 안전관리를

Received 18 February, 2013; Revised 23 April, 2013;

Accepted 9 May, 2013

*Corresponding author : Min-Gyu Lee, Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
Phone: +82-51-629-6435
E-mail: mglee@pknu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

요구하거나 소방법에 적용을 받는 사업장에는 적용이 불가능하다. 따라서, 주유소와 같은 소규모 사업장에서 발생된 유증기는 적합한 시스템으로 회수해야 에너지 자원의 재활용과 대기오염의 방지에 기여할 것으로 판단된다. VOCs 회수장치는 흡착공정, 탈착공정, 그리고 응축공정으로 이루어져 있다. VOCs를 함유한 증기가 유입구에서 VOCs 흡착탑 하부로 이송되어 흡착제에 흡착된 후 흡착탑을 통과한 정화된 공기가 VOCs 흡착탑 상부로 유출되며 대기 중으로 배출된다. VOCs 흡착탑에 흡착된 VOCs는 진공 혹은 상압 분위기에서 탈착시킨 후 저온에서 응축시켜 회수한다. 그리고 응축되지 않은 VOCs를 함유한 증기는 VOCs 응축공정에 유입되는 관에 합류시켜 재 응축 후 다시 흡착공정으로 유입되도록 하는 것이 일반적이다(Shie 등, 2003; Chue 등, 2004). 지금까지 VOCs를 제거하기 위한 연구에서 흡착법이 가장 효과적인 방법으로 알려져 있으며, 흡착에 관한 연구는 활성탄을 흡착제로 주로 사용하며, 흡착제의 종류에 따른 흡착량을 평가하거나 흡착능과 흡착질의 분자크기, 또는 흡착질 극성과의 상관관계를 비교 고찰한 것이 대부분을 차지하고 있다 (Lee 등, 2006; Lee 등, 2007, 2008a). 그리고 무기계 흡착제인 제올라이트와 실리카-알루미늄의 흡착특성을 고찰하였다(Lee 등, 1999; Lee 등, 2008b, 2011a, 2011b). 흡착제를 사용한 연구의 대부분이 흡착에 관련된 것이고 탈착 및 재생과 회수에 관련된 연구는 아직 부족한 실정이다(San Miguel 등, 2001; Popescu 등, 2003; Lee 등, 2012a, 2012b). 흡착법을 이용한 용매회수에서 가장 중요한 단계는 탈착이며, 이것은 흡착제의 재생단계이다.

본 연구는 유증기 회수용 장치에서 흡착탑에 흡착된 유증기의 효과적인 탈착을 위해 활성탄에 흡착된 VOCs 회수를 위해 탈착특성을 고찰한 것이다. 탈착특성을 고찰하기 위해 탈착에 영향을 미치는 탈착온

도, 압력, 그리고 공기유량 등의 조건을 변화시키면서 탈착실험을 수행한 결과를 비교분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

유증기에 포함된 VOCs를 탈착하는데 사용된 흡착제는 Westvaco사(U.S.A.)의 크기가 12~16 mesh인 파쇄형 활성탄(WVA-1100)을 사용하였다. 흡착질은 유증기에 포함된 VOCs 중 대표적인 물질인 pentane (C_5H_{12}), hexane(C_6H_{14}), 그리고 toluene(C_7H_8)을 사용하였으며, 이들의 물리적 특성치와 제조사는 Table 1과 같다.

2.2. 실험방법

탈착온도를 25℃ 및 0℃로 일정하게 하고서 탈착장치에 유입하는 공기유량과 탈착압력에 따른 탈착특성을 비교하였다. 탈착장치에 유입 공기유량은 0.5 L/min, 1.0 L/min로 변화시키고, 탈착장치의 압력은 60~760 mmHg 범위에서 변화시키면서 각각의 조건 변화에 따른 탈착특성을 비교하였다. 실험에 사용한 장치는 Fig. 1과 같은 흡·탈착장치이다. 대기압(760 mmHg) 이하의 압력은 탈착장치의 끝부분에 진공펌프(KnF, N816.3KT.45.18)를 설치하여 탈착장치 내의 압력상태를 조절하였다. 탈착용 시료를 제조하기 위해 흡착시 흡착질의 농도는 실린지 펌프로 액상의 흡착질을 일정한 속도로 공급하며, 실험에 필요한 증기의 농도로 조절하기 위해 유입공기의 양을 유량계로 조절하며 혼합하였다. 발생된 증기는 by-pass line으로 통과시키면서 해당 증기의 농도가 설정치의 $\pm 5\%$ 이내로 유지될 때 흡착층 내로 통과시키며 흡착실험을 수행하였다. 탈착온도는 탈착장치의 냉각장치를 사용하여 조절하고 유입공기의 유량을 유량계를 사용하여 조절하였으며, 탈착장치 내의 압력은 진공펌프

Table 1. Characteristics of VOCs contained in gasoline vapor

VOCs	Molecular weight.	Boiling point. °C	Vapor press. at 20°C mmHg	Density g/mL	Maker
Pentane (C_5H_{12})	72.15	36.1	442	0.626	KANTO
Hexane (C_6H_{14})	86	69	127	0.626	SAMCHUN
Toluene (C_7H_8)	92.14	110.6	23.2	0.867	JUNSEI

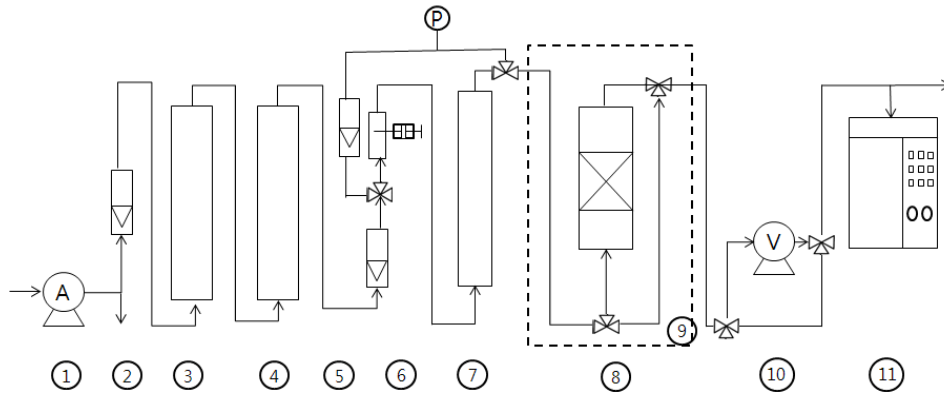


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus (① air pump, ② flow meter, ③ silica gel tube, ④ activated carbon tube, ⑤ flow meter, ⑥ syringe pump, ⑦ mixing chamber, ⑧ adsorption-desorption bed, ⑨ refrigerator, ⑩ vacuum pump, ⑪ GC).

를 사용하여 조절하였다.

2.3. 특성분석

활성탄의 기공특성을 고찰하기 위하여 BET 비표면측정기(Micromeritics, AUTOSORB-1)를 사용하여 측정한 활성탄의 특성치는 비표면적(S_{BET} , BET specific surface area) $1,760 \text{ m}^2/\text{g}$, 총세공부피(V_T , Total pore volume) $1.508 \text{ cm}^3/\text{g}$, 평균세공직경(D_p , Average pore size diameter) 34.28 \AA 이었다. 시료의 유증기 탈착량은 저울을 이용하여 탈착 전후의 무게를 측정하여 계산하였다. 유증기로 포화된 활성탄의 초기 무게를 측정하고, 탈착실험 시작 후 일정 시간이 경과 할 때마다 무게를 측정하여 그 무게 감소로 탈착량을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Pentane의 탈착특성

활성탄에 흡착된 pentane 증기의 탈착특성을 고찰하기 위해 탈착온도를 25°C 와 0°C 로 일정하게 하고 탈착시간을 증가시키며 탈착압력의 변화에 따른 탈착량을 측정하여 탈착특성을 비교 고찰하였다. 탈착실험용 시료는 활성탄 2 g에 농도 5000 ppmv의 pentane 증기로 흡착시켜 포화시킨 활성탄을 시료로 사용하였으며, 온도 25°C 에서 활성탄 시료에 흡착된 pentane의 흡착량은 약 184 mg/g 이었다. 유입 공기유량 0.5 L/min ,

탈착압력 $60 \sim 760 \text{ mmHg}$ 범위에서 탈착시간에 따른 pentane 증기의 탈착량 변화를 측정하여 Fig. 2에 비교하였다. 탈착시간을 40분까지 경과시키며 탈착특성을 고찰한 결과, 탈착압력에 따라 시료에 흡착된 pentane 흡착량의 $50.5 \sim 54.9\%$ 가 탈착하였다. 탈착압력을 대기압인 760 mmHg 에서 진공압력인 60 mmHg 까지 변화시키에 따른 탈착량의 차이는 4.4% 정도로 압력차이에 따른 차이가 크지 않음을 볼 수 있었다.

탈착온도 0°C 에서 활성탄 2 g에 농도 5000 ppmv의 pentane 증기로 흡착시켜 포화시킨 활성탄을 시료로 사용하여 유입 공기유량 0.5 L/min , 탈착압력 $60 \sim 760 \text{ mmHg}$ 범위에서 탈착시간에 따른 pentane 증기의 탈착량 변화를 측정하여 Fig. 3에 비교하였다. 온도 0°C 에서 활성탄 시료에 흡착된 pentane의 흡착량은 약 247 mg/g 이었으며, 탈착시간을 40분까지 경과시키면서 탈착특성을 고찰한 결과를 살펴보면 탈착압력에 따라 활성탄 시료에 흡착된 pentane 흡착량의 $48.2 \sim 56.3\%$ 가 탈착하였다. 탈착온도 25°C , 탈착압력 760 mmHg 에서 탈착시간을 40분까지 경과시켰을 때의 pentane의 탈착량은 94 mg/g 이었지만 탈착온도를 0°C 로 감소시켰을 때의 탈착량은 120 mg/g 로 약 33.3% 정도 증가되었다. 그리고 탈착압력 60 mmHg 일 때 탈착온도 25°C 에서 탈착시간을 40분까지 경과시켰을 때 탈착량이 100 mg/g 이었지만 탈착온도를

0°C로 감소시켰을 때의 탈착량은 138 mg/g로 약 38% 정도 증가됨을 알 수 있었다. 실험조건과 같이 탈착온도와 탈착압력의 변화에 의해 pentane의 탈착량을 33~38% 정도 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

탈착 공기유량에 따른 pentane 탈착량 변화를 고찰하기 위해 탈착온도 0°C, 탈착압력 60 mmHg에서 유입 공기유량을 0.5 L/min와 1.0 L/min로 변화시킨 경우의 탈착량의 변화를 Fig. 4에 비교하였다. 공기유량 0.5 L/min에서 pentane의 탈착량은 58.6%였고 공기유량이 1.0 L/min에서 pentane의 탈착량은 64.3%였다. 같은 온도와 같은 압력에서 공기유량을 0.5 L/min에서 1.0 L/min로 변화에 의해 5.7%의 탈착량이 증가하였다. 탈착압력 60 mmHg에서는 탈착시간 10분까지의 탈착곡선의 감소 기울기가 대기압에 비해 비교적 크게 나타났으며 탈착 초기에 탈착이 비교적 많이 된다는 것을 확인 할 수 있었다.

탈착압력 760 mmHg, 온도 25°C, 유입 공기유량 0.5 L/min에서 탈착량은 94 mg/g이었지만 탈착압력 60 mmHg, 온도 0°C, 유입 공기유량 1.0 L/min에서의 탈착량은 170.5 mg/g이었다. 탈착 실험한 조건에서 온도, 압력, 그리고 유입 공기유량의 변화에 의해 탈착능을 약 81.4%까지 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

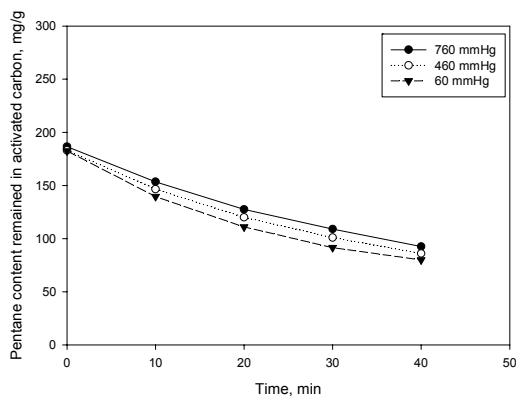


Fig. 2. Effect of pressure on the desorption characteristics of pentane from activated carbon saturated with 5000 ppmv pentane vapor at 25°C (activated carbon bed, 2 g; air flow rate 0.5 L/min; pressure, 60~760 mmHg).

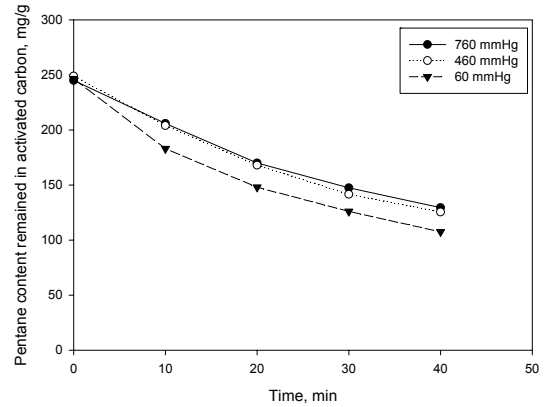


Fig. 3. Effect of pressure on the desorption characteristics of pentane from activated carbon saturated with 5000 ppmv pentane vapor at 0°C (activated carbon bed, 2 g; air flow rate, 0.5 L/min; pressure, 60~760 mmHg).

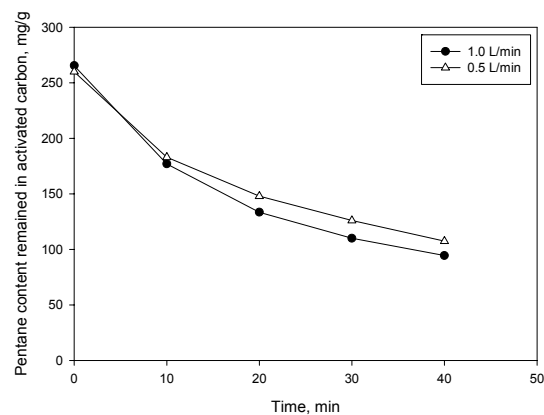


Fig. 4. Effect of flow rate on the desorption characteristics of pentane from activated carbon saturated with 5000 ppmv pentane vapor at 0°C (activated carbon bed, 2 g; pressure, 60 mmHg; air flow rate, 0.5~1.0 L/min).

3.2. Hexane의 탈착특성

활성탄에 흡착된 유증기 중의 hexane 탈착특성을 고찰하기 위해 탈착온도 25°C와 0°C에서 탈착시간을 증가시키며 탈착압력의 변화에 따른 탈착량을 측정하여 hexane의 탈착특성을 비교 고찰하였다. 온도 25°C에서 활성탄 2g에 농도 5,000 ppmv의 hexane 증기로 흡착시켜 포화시킨 활성탄 시료를 유입 공기유량 0.5

L/min, 탈착압력 60~760 mmHg 범위에서 탈착시간에 따른 hexane 증기의 탈착량 변화를 측정하여 Fig. 5에 비교하였다. 온도 25°C에서 활성탄 시료에 흡착된 hexane의 흡착량은 약 310.5 mg/g이었다. 탈착시간을 40분까지 경과시키며 탈착특성을 고찰한 결과 탈착압력에 따른 hexane의 탈착량은 흡착량의 34.3~40.7%가 탈착됨을 알 수 있었다. 탈착압력을 대기압인 760 mmHg에서 진공압력인 60 mmHg까지의 변화에 따른 hexane의 탈착량 차이는 6.4% 정도 차이가 있음을 볼 수 있었다. 같은 조건에서 hexane의 탈착량은 pentane 탈착량보다 14.2~16.2% 정도 탈착량이 적음을 알 수 있었다. 이것은 Table 1에 있는 hexane과 pentane의 특성치 중 분자량과 증기압에 따른 결과로 판단되었다.

탈착온도 0°C에서 활성탄 2 g에 농도 5,000 ppmv의 hexane 증기로 흡착시켜 포화시킨 활성탄시료를 유입 공기유량 0.5 L/min, 탈착압력 60~760 mmHg 범위에서 탈착시간에 따른 hexane 증기의 탈착량 변화를 측정하여 Fig. 6에 비교하였다. 온도 0°C에서 활성탄 시료에 흡착된 hexane의 흡착량은 약 426.2 mg/g이었다. 탈착시간을 40분까지 경과시키며 탈착특성을 고찰한 결과 탈착압력에 따른 hexane의 탈착량은 흡착량의 33.4~41.7%가 탈착됨을 알 수 있었다. 탈착압력을 대기압인 760 mmHg에서 진공압력인 60 mmHg까지의 변화에 따른 차이는 8.3% 정도로 압력 차이에 따른 차이가 있음을 볼 수 있었다. 탈착압력이 760 mmHg일 때 탈착온도 25°C에서 탈착시간을 40분까지 경과시켰을 때의 hexane의 탈착량은 108 mg/g이었지만 탈착온도를 0°C로 감소시켰을 때의 탈착량은 143.5 mg/g로 약 32.8% 정도 증가되었다. 그리고 탈착압력 60 mmHg일 때 탈착온도 25°C에서 탈착시간을 40분까지 경과시켰을 때 탈착량이 125 mg/g이었지만 탈착온도를 0°C로 감소시켰을 때의 탈착량은 177 mg/g로 약 41.6% 정도 증가됨을 알 수 있었다. 실험조건과 같이 탈착온도와 탈착압력의 변화에 의해 hexane의 탈착량을 32.8~41.6% 정도 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

탈착 공기유량에 따른 hexane 탈착량 변화를 고찰하기 위해 온도 0°C, 탈착압력 60 mmHg에서 유입 공기유량을 0.5 L/min와 1.0 L/min로 변화시켜 탈착량의 변화를 Fig. 7에 비교하였다. 공기유량이 0.5 L/min

에서는 hexane 탈착량이 42.7%였고 공기유량이 1.0 L/min에서는 hexane의 탈착량이 50.8%였다. 같은 온도와 같은 압력에서 공기유량을 0.5 L/min에서 1.0 L/min로 변화에 의해 8.1%의 탈착량이 증가됨을 볼 수 있었다. 온도 0°C, 탈착압력 60 mmHg에서 탈착량은 실험에 따라 약 1.0% 정도의 차이를 가지고 있었다. 탈착압력 60 mmHg에서도 hexane의 탈착곡선의 감소 기울기가 pentane에 비해 비교적 작다는 것을 확인할 수 있었다.

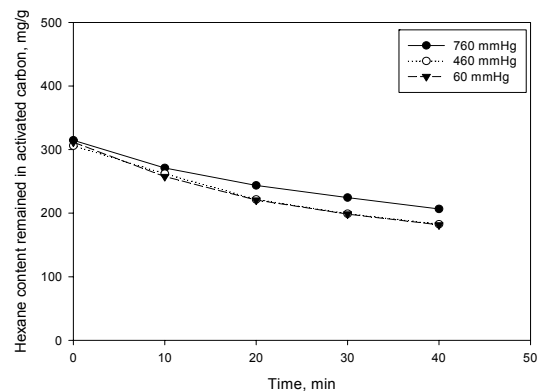


Fig. 5. Effect of pressure on the desorption characteristics of hexane from activated carbon saturated with 5000 ppmv hexane vapor at 25°C (activated carbon bed, 2 g; air flow rate, 0.5 L/min; pressure, 60~760 mmHg).

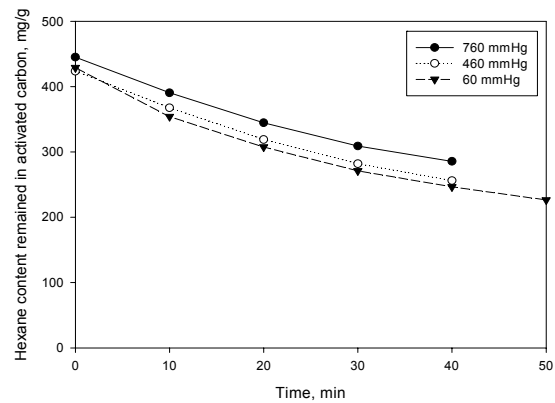


Fig. 6. Effect of pressure on the desorption characteristics of hexane from activated carbon saturated with 5000 ppmv hexane vapor at 0°C (activated carbon bed, 2 g; air flow rate, 0.5 L/min; pressure, 60~760 mmHg).

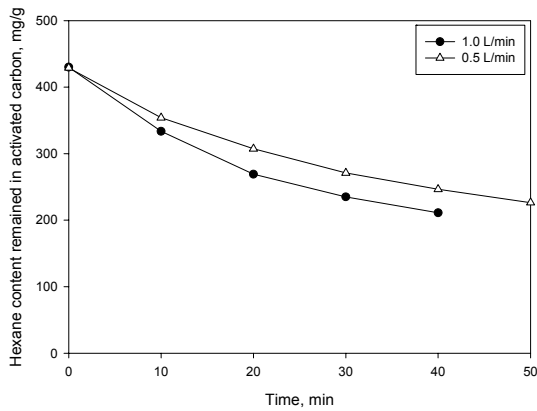


Fig. 7. Effect of flow rate on the desorption characteristics of hexane from activated carbon saturated with 5000 ppmv hexane vapor at 0°C (activated carbon bed, 2 g; pressure, 60 mmHg; air flow rate, 0.5~1.0 L/min).

탈착압력 760 mmHg, 온도 25°C, 유입 공기유량 0.5 L/min에서 탈착량은 108 mg/g이었지만 탈착압력 60 mmHg, 온도 0°C, 유입 공기유량 1.0 L/min에서의 탈착량은 218 mg/g이었다. 탈착 실험한 조건에서 온도, 압력, 그리고 유입 공기유량의 변화에 의해 탈착능을 약 102%까지 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

3.3. Toluene의 탈착특성

활성탄에 흡착된 유증기 중의 toluene 탈착특성을 고찰하기 위해 탈착온도 25°C와 0°C에서 탈착시간을 증가시키며 탈착압력의 변화에 따른 탈착량을 측정하여 toluene의 탈착특성을 Table 2에 비교하였다. 온도 25°C에서 농도 5,000 ppmv의 toluene 증기로 흡착시켜 포화시킨 활성탄 시료를 유입 공기유량 0.5 L/min, 탈착압력 60~760 mmHg 범위에서 탈착시간에 따른 toluene의 탈착량 변화를 측정하여 Fig. 8에 비교하였다. 온도 25°C에서 활성탄 시료에 흡착된 toluene의 흡착량은 약 564.2 mg/g이었으며, 탈착시간을 40분까지 경과시키며 탈착특성을 고찰한 결과 탈착압력에 따른 toluene의 탈착량은 흡착량의 22.1~29.5%가 탈착됨을 알 수 있었다. 탈착압력을 대기압인 760 mmHg에서 진공압력인 60 mmHg까지의 변화에 따른 toluene의 탈착량 차이는 7.4% 정도로 압력차이에 따른 차이를 볼 수 있었다. 탈착곡선의 기울기가 전체적으로 직

선적인 감소 경향을 보였으며, 같은 조건에서 pentane과 hexane에 비해 탈착율이 작음을 알 수 있었다.

온도 0°C에서 농도 5,000 ppmv의 toluene 증기로 흡착시켜 포화시킨 활성탄 시료를 공기유입 유량 0.5 L/min, 탈착압력 60~760 mmHg 범위에서 탈착시간에 따른 toluene증기의 탈착량 변화를 측정하여 Fig. 9에 비교하였다. 온도 0°C에서 활성탄에 흡착된 toluene의 흡착량은 약 842.5 mg/g이었으며, 탈착시간을 40분까지 경과시키며 탈착특성을 고찰한 결과 탈착압력에 따른 탈착량은 흡착량의 23.7~24.6%가 탈착됨을 알 수 있었다. 탈착압력을 대기압인 760 mmHg에서 진공압력인 60 mmHg까지의 변화에 따른 차이는 0.9% 정도로 압력차이에 따른 차이가 온도 25°C와는 차이가 있음을 볼 수 있었다. 탈착곡선의 기울기가 직선적으로 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 같은 조건에서 pentane과 hexane에 비해 탈착율의 크기가 적음을 알 수 있었다. 탈착압력이 760 mmHg일 때 탈착온도 25°C에서 탈착시간을 40분까지 경과시켰을 때의 toluene의 탈착량은 126 mg/g이었지만, 탈착온도를 0°C로 감소시켰을 때의 탈착량은 198 mg/g로 약 57.1% 정도 증가되었다. 그리고 탈착압력 60 mmHg일 때 탈착온도 25°C에서 탈착시간을 40분까지 경과시켰을 때 탈착량이 164.5 mg/g이었지만, 탈착온도를 0°C로 감소시켰을 때의 탈착량은 209 mg/g로 약 27%

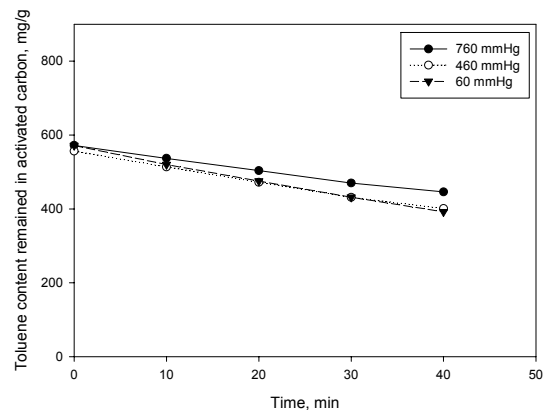


Fig. 8. Effect of pressure on the desorption characteristics of toluene from activated carbon saturated with 5000 ppmv toluene vapor at 25°C (activated carbon bed, 2 g; air flow rate, 0.5 L/min; pressure, 60~760 mmHg).

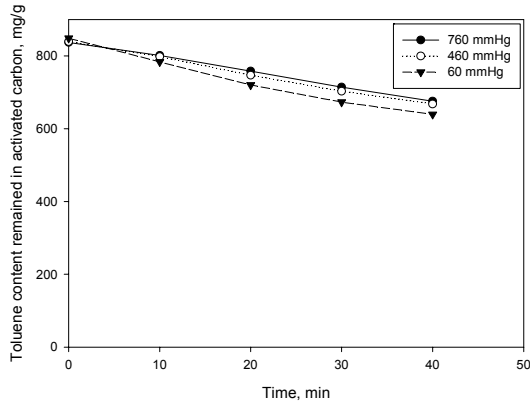


Fig. 9. Effect of pressure on the desorption characteristics of toluene from activated carbon saturated with 5000 ppmv toluene vapor at 0°C (activated carbon bed, 2 g; air flow rate, 0.5 L/min; pressure, 60~760 mmHg).

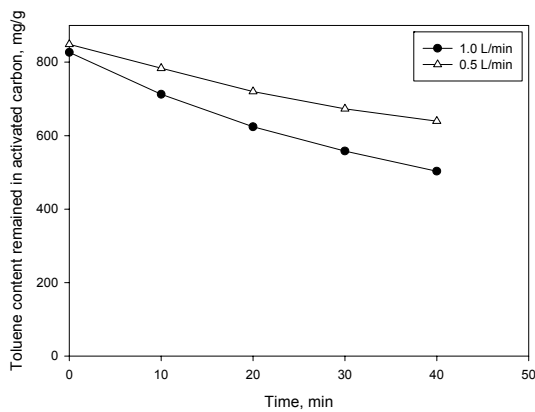


Fig. 10. Effect of flow rate on the desorption characteristics of toluene from activated carbon saturated with 5000 ppmv toluene vapor at 0°C (activated carbon bed, 2 g; pressure, 60 mmHg; air flow rate, 0.5~

1.0 L/min).

정도 증가됨을 알 수 있었다. 실험조건과 같이 탈착온도와 탈착압력의 변화에 의해 hexane의 탈착량을 27~57.1% 정도 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

탈착 공기유량에 따른 toluene 탈착량 변화를 고찰하기 위해 온도 0°C, 탈착압력 60 mmHg에서 유입 공기유량을 0.5 L/min와 1.0 L/min로 변화시켜 탈착량의 변화를 Fig. 10에 비교하였다. 공기유량이 0.5 L/min에서는 toluene의 탈착율이 24.6%였고, 공기유량이 1.0 L/min에서는 toluene의 탈착율이 39.1%였다. 같은 온도와 같은 압력에서 공기유량을 0.5 L/min에서 1.0 L/min로 변화에 의해 14.5%의 탈착율이 증가됨을 볼 수 있었다.

탈착압력 760 mmHg, 온도 25°C, 유입 공기유량 0.5 L/min에서 탈착량은 126 mg/g이었지만 압력 60 mmHg, 온도 0°C, 유입 공기유량 1.0 L/min에서의 탈착량은 323.5 mg/g이었다. 탈착 실험한 조건에서 온도, 압력, 그리고 유입 공기유량의 변화에 의해 탈착능을 약 156.7%까지 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

탈착 실험한 결과를 Table 2와 Fig. 11에 정리하여 비교하였다. 본 연구에서 실행한 실험조건에서 비교한 pentane, hexane, 그리고 toluene의 흡착능 및 탈착능은 비교적 낮은 온도에서 우수한 것을 알 수 있었다. Fig. 11과 같이 탈착조건; 온도 25°C, 탈착압력 760 mmHg, 유입 공기유량 0.5 L/min에서 비교한 3가지 물질; pentane, hexane, toluene의 탈착량 차이는 크지 않았지만, 탈착조건; 온도 0°C, 탈착압력 60 mmHg, 유입 공기유량 1.0 L/min에서의 비교한 3가지 물질의 탈착량 차이는 비교적 많음을 알 수 있었다. 본 연구에서 실행한 실험조건에서 탈착능은 탈착조건; 온도 0°C,

Table 2. Adsorption and desorption characteristics of VOCs contained in gasoline vapor according to temperature, air flow rate, and pressure

Temperature, °C	Air flow rate, L/min	Pressure, mmHg	Desorption ratio, %			Desorption capacity, mg/g			Adsorption capacity, mg/g		
			Pentane	Hexane	Toluene	Pentane	Hexane	Toluene	Pentane	Hexane	Toluene
25	0.5	760	50.5	34.3	22.1	94	108	126	184	310.5	564.2
25	0.5	60	54.9	40.7	29.5	100	125	164.5	184	310.5	564.2
0	0.5	760	48.2	33.4	23.7	120	143.5	198	247	426.3	842.5
0	0.5	60	56.3	41.7	24.6	138	177	209	247	426.3	842.5
0	0.5	60	58.6	42.7	24.6	152.5	183.5	209	247	426.3	842.5
0	1.0	60	64.3	50.8	39.1	170.5	218	323.5	247	426.3	842.5

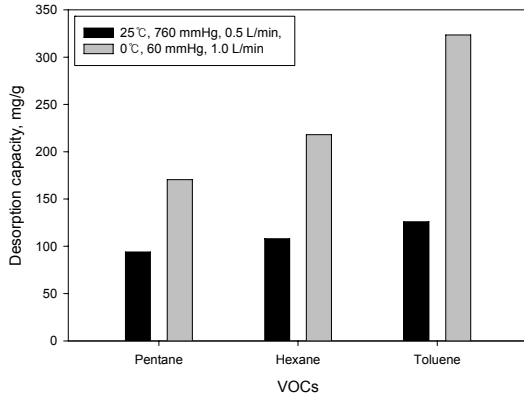


Fig. 11. Comparison of desorption capacities of VOCs adsorbed on activated carbon according to desorption conditions.

탈착압력 60 mmHg, 유입 공기유량 1.0 L/min가 최적의 조건임을 알 수 있었다.

4. 결론

유증기 회수용 장치에서 흡착탑에 흡착된 유증기의 효과적인 회수를 위해 유증기 중의 VOCs 탈착특성을 고찰하였다.

Pentane, hexane, 그리고 toluene의 흡착능 및 탈착능은 비교적 낮은 온도에서 우수한 것을 알 수 있었다. 탈착조건; 온도 25°C, 탈착압력 760 mmHg, 유입 공기유량 0.5 L/min에서 pentane, hexane, 그리고 toluene의 탈착량 차이는 크지 않았지만, 탈착조건; 온도 0°C, 탈착압력 60 mmHg, 유입 공기유량 1.0 L/min에서의 탈착량 차이는 비교적 많았다. 탈착 실험을 수행한 조건에서 온도, 압력, 그리고 유입 공기유량을 변화시키기에 따라 pentane의 탈착능은 약 81.4%까지 증가되었고, hexane의 탈착능은 약 102%까지 증가되었으며, toluene의 탈착능은 약 156.7%까지 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 실행한 실험조건에서 탈착온도 0°C, 탈착압력 60 mmHg, 유입 공기유량 1.0 L/min가 최적의 탈착조건이었다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(PK-2011-79)

참고 문헌

- Chue, K., Park, Y. K., Jeon, J. K., 2004, Development of adsorption buffer and pressure swing adsorption (PSA) unit for gasoline vapor recovery, *Korean J. Chem. Eng.*, 21(3), 676-679.
- Khan, F. I., Ghoshal, A. K., 2000, Removal of volatile organic compound from polluted air, *J. of Loss Prevention in the Process Industries*, 13, 527-545.
- Lee, H. J., Lee, H. K., Park, G. I., Ro, S. G., Choi, H. S., Lee, Y. T., 1999, Adsorption property of water vapor on the modified natural zeolite, *J. Korean Soc. Environ. Engrs*, 21(4), 643-651.
- Lee, M. G., Lee, S. W., Lee, S. H., 2006, Comparison of vapor adsorption characteristics of acetone and toluene based on polarity in activated carbon fixed-bed reactor, *Korean J. Chem. Eng.*, 23(5), 773-778.
- Lee, S. W., Cheon, J. K., Park, H. J., Lee, M. G., 2008a, Adsorption characteristics of binary vapors among acetone, MEK, benzene, and toluene, *Korean J. Chem. Eng.*, 25(5), 1154-1159.
- Lee, S. W., Kam, S. K., Lee, M. G., 2007, Comparison of breakthrough characteristics for binary vapors composed of acetone and toluene based on adsorption intensity in activated carbon fixed-bed reactor, *J. Ind. Eng. Chem.*, 13(6), 911-916.
- Lee, S. W., Na, Y. S., An, C. D., Lee, M. G., 2011a, Comparison of adsorption characteristics on zeolite 13X and silica-aluminar, *J. Environ. Sci.*, 20(6), 729-736.
- Lee, S. W., Na, Y. S., An, C. D., Lee, M. G., 2011b, Adsorption characteristics of water vapor on zeolite, *J. Environ. Sci.*, 20(5), 667-672.
- Lee, S. W., Na, Y. S., An, C. D., Lee, M. G., 2012a, Comparison of adsorption and desorption characteristics of acetone vapor and toluene vapor on activated carbons according to pore structure, *J. Environ. Sci.*, 21(10), 1195-1202.
- Lee, S. W., Na, Y. S., An, C. D., Lee, M. G., 2012b, Comparison of desorption characteristics of water vapor on the types of zeolites, *J. Environ. Sci.*, 21(12), 1463-1468.
- Lee, S. W., Park, H. J., Lee, S. H., Lee, M. G., 2008b, Comparison of adsorption characteristics according to polarity difference of acetone vapor and toluene vapor on silica-aluminar fixed-bed reactor, *J. Ind.*

- Eng. Chem., 13, 10-17.
- Popescu, S., Joly, J. P., Carre, J., Danatoiu, C., 2003, Dynamic adsorption and temperature-programed desorption of VOCs (toluene, butyl acetate and butanol) on activated carbons, *Carbon*, 41, 739-748.
- San Miguel, G., Lambert, S. D., Graham, J. D., 2001, The regeneration of field-spent granular-activated carbon, *Wat. Res.*, 35(11), 2740-2748.
- Shie, J. L., Lu, C. Y., Chang, C. Y., 2003, Recovery of gasoline vapor by a combined process of two-stage dehumidification and condensation, *J. Chin. Inst. Chem. Engrs.*, 34(6), 605-616.