

## 방독마스크 정화통의 샘플관을 이용한 수명예측

김기환 · 신창섭  
충북대학교 안전공학과

### 1. 서론

방독마스크 수명예측을 위하여는 여러 모델식이 제안되었으며, Cohen등은 bed-residence 흡착 모델을 사용하여 정화통에서 채취한 활성탄을 carbon tube에 bed-residence time이 같게 충전시켜 습도에 따른 정화통의 수명을 예측하였다. 그리고, Moyer는 Potential Jonas 모델을 적용하여 환경적 조건들과 아세톤에 대하여 유기증기 정화통의 특성을 묘사하였다. Yoon등<sup>[1, 2]</sup>은 시간에 따른 분자의 흡착될 확률의 감소 속도는 흡착될 확률과 파과될 확률에 비례한다는 원리를 적용하여 정화통의 농도와 습도변화, 그리고 단일물질 및 혼합물에 의한 정화통의 파과시간을 예측하였다. 이들의 연구는 새로운 이론을 이용하여 계산한 정화통과 샘플관 흡착량과 파과시간이 실험값과 잘 일치함을 보였다.

본 연구에서는 각 작업현장의 환경조건에 따른 정화통의 수명을 예측하기 위하여 샘플관에 정화통에서 꺼낸 활성탄소를 소량 충전하고 파과곡선을 구하였다. 이를 Yoon의 흡착모델식<sup>[1, 2]</sup>에 적용시켜 필요한 변수값을 얻은 후, 이 변수값을 이용하여 작업현장 조건에 따른 정화통의 수명을 예측하고, 이를 실험값과 비교하여 가장 정확히 파과시간을 예측할 수 있는 방법을 찾고자 하였다.

### 2. 이론적 배경

Yoon등<sup>[1, 2]</sup>은 시간에 따른 분자의 흡착될 확률의 감소 속도는 흡착될 확률과 파과될 확률에 비례한다는 원리를 이용하여 다음과 같은 흡착 모델식을 제시하였다.

$$P = \frac{1}{1 + e^{k'(\tau - t)}} \quad (1)$$

$$t = \tau + \frac{1}{k'} \ln \frac{P}{1 - P} \quad (2)$$

여기서, P 는 통과될 확률, k' 는 속도상수(min<sup>-1</sup>), τ 는 50% 파과를 얻기 위해 필요한 시간, t 는 파과시간(min/cartridge)이다.

$$k' = \frac{kCF}{W_e} = \frac{k}{\tau} \quad (3)$$

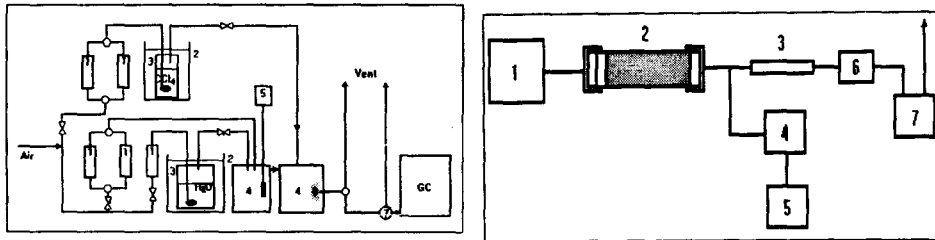
여기서, C는 오염가스의 농도(g/L), F는 유속(L/min),  $W_e$ 는 활성탄의 흡착량(g contaminant/cartridge)이다.

### 3. 실험 장치 및 방법

#### 3.1 실험 장치

본 실험에 사용한 방독마스크 정화통의 실험장치는 Fig. 1과 같다. 공기의 유량은 유량계로 조절하였고, 유입공기의 상대습도는 습도계를 사용하여 측정하였으며, 활성탄 층을 통과한 사염화탄소와 공기의 혼합가스는 주입밸브를 사용하여 분석기에 주입하였다.

Fig. 2는 샘플관 측정시 사용한 실험장치로써 샘플관을 통과한 공기와 사염화탄소의 혼합가스를 펌프를 사용하여 배출하였다.



- |               |                     |                            |                      |
|---------------|---------------------|----------------------------|----------------------|
| 1. Flowmeter  | 5. Thermohygrometer | 1. Organic vapor generator | 5. Recorder          |
| 2. Water bath | 6. Adsorption tube  | 2. Sampling tube           | 6. Flowmeter         |
| 3. Impinger   | 7. Sampling valve   | 3. Charcoal sampling tube  | 7. Air sampling pump |
| 4. Vessel     |                     | 4. Gas Chromatography      |                      |

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus. Fig. 2. Schematic of sampling tube.

#### 3.2 실험 방법

$0.47\text{g/cm}^3$ 의 밀도로 압축된 활성탄 45g이 충전되어 있는 유기증기용 정화통을 실험에 사용하였다. 샘플관은 아크릴로 제작하였으며, 정화통의 활성탄을 꺼내어 충전시켜 충전밀도를  $0.40\text{g/cm}^3$ 로 하였다. 이때 시험가스는 현재 산업안전보건법상 유기가스용 방독마스크 정화통의 제독성능 시험의 기준물질인 사염화탄소( $\text{CCl}_4$ )를 사용하였다.

농도에 따른 흡착특성을 측정하기 위하여 사염화탄소의 농도를 1000 ppm에서 300 ppm까지 변화시켰으며, 정화통의 혼합가스 유량은  $32\text{ l/min}$ , 샘플관은  $5.5\text{ l/min}$ 로 일정하게 하였고, 유량을 확인하기 위하여 wet-test meter로 보정하였다.

Table 1. Classification of sampling tube by size

Type	Sampling tube		Weight of packed activated carbon (g)	Packing density (g/cm <sup>3</sup> )
	Length (mm)	Diameter (mm)		
A	30.0	8	0.603	0.40
B	30.0	10	0.942	0.40
Respirator cartridge	21.0	76	45.00	0.47

#### 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 A형 샘플관의 경우로 주입농도에 따른 파과곡선을 측정하여 나타낸 것으로 실험 초기부터 파과가 시작되어 파과율 10% 이전에는 주입농도에 따른 파과시간이 큰 차이를 보이지 않았으나, 그 이후에는 주입농도에 따른 특성이 뚜렷해지는 것을 알 수 있었다. 1000ppm의 경우  $\tau$ 가 13.66분 이었으나, 300ppm의 경우 37.25분으로 주입농도가 감소함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 유량에 비하여 충전량이 적어 전체 파과시간이 매우 짧게 나타났다.

각 사염화탄소의 농도에 대하여  $k'_1$  을 결정하기 위하여, 시간에 따른  $[\ln P/(1-P)]$  를 Fig. 4에 나타내고 선형관계를 회귀분석 하였다.

1000ppm과 800ppm사이, 600ppm과 500ppm 사이에  $k'_1$  전의 차이가 거의 없는데 이는 작은 샘플관의 경우 충전시 불균일한 점이 영향을 준 것으로 볼 수 있으며, 전체적으로 주입농도가 감소할수록  $k'_1$  은 낮은 값을 나타내었다.

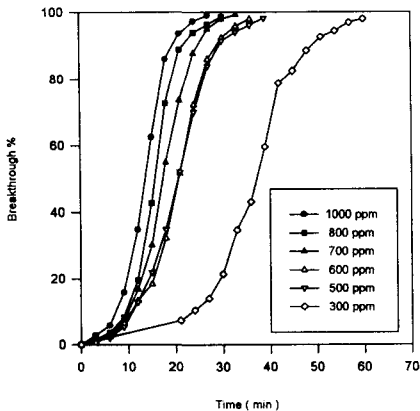


Fig. 3. Effect of concentration on the adsorption characteristics of sampling tube.

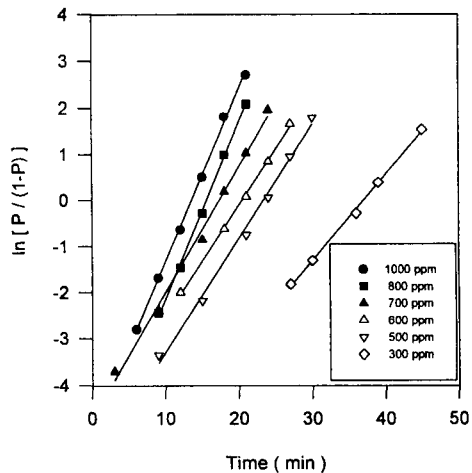


Fig. 4. Representative plots of  $\ln [P/(1-P)]$  versus time for  $\text{CCl}_4$  at various assault concentration on sampling tube.

Fig. 5는 정화통의 수명을 예측하기 위한 속도상수( $k'_3$ )를 구하기 위하여 샘플관의 속도상수( $k'_1$ )와 정화통의 속도상수( $k'_2$ )의 관계를 나타낸 것이다. 여

기서  $k'_1$  과  $k'_2$ 는 유속, 충전밀도 등의 영향을 받는다고 판단되며, 이 관계식은 선형관계로 표현이 가능하다는 것을 알 수 있었고,  $k'_3$  를 얻어낼 수 있었다.

Fig. 6은 주입농도 1000ppm일 경우, 예측한 정화통의 파과곡선과 정화통 실험 파과곡선을 나타낸 것이다. 그 결과 샘플관에 흡착된 유기증기의 양을 이용하여 방독마스크 정화통의 수명 예측이 가능하였다.

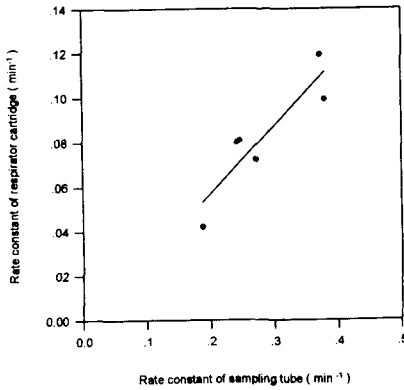


Fig. 5. Comparison of rate constant of sampling tube with respirator cartridge.

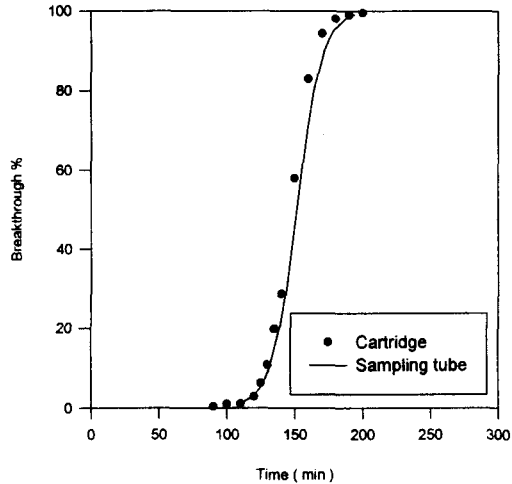


Fig. 6. Comparison of respirator cartridge breakthrough time with calculated data at 1000 ppm.

## 5. 결 론

방독마스크 정화통의 수명을 예측하기 위하여 샘플관을 가지고 작업환경에 따른 흡착실험한 결과 Yoon의 흡착 모델식<sup>[1-2]</sup>을 이용하여 방독마스크 정화통의 수명을 예측할 수 있었다. 또한, 샘플관에 대한 활성탄의 흡착량은 선속도의 영향으로 정화통에 대한 활성탄의 흡착량보다 크게 나타났으며, 정화통의 속도상수( $k'_2$ )는 샘플관의 속도상수( $k'_1$ )보다 작게 나타났는데, 이는 유속, 충전밀도의 영향이라고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Young Hee Yoon and James H. Nelson. Application of gas adsorption kinetics - I. A theoretical model for respirator cartridge service life. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* Vol. 45, pp 509~516, 1984.
2. Young Hee Yoon and James H. Nelson. Application of gas adsorption kinetics - II. A theoretical model for respirator cartridge service life and its and practical applications. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* Vol. 45, pp 517~524, 1984.
3. G. O. Nelson, A. N. Correia, Respirator cartridge efficiency studies : VI. Summary and Conclusions. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* Vol. 37, pp 514~525, 1976.