

유기용제용 방독마스크 정화통의 성능검정기준 시험농도에 타당성에 관한 연구

박 두 용[‡]

한성대학교 산업시스템공학부 안전과학기술연구소

Evaluation of Validity of the Test Concentration Level for Air Purifying Respirator Cartridge

Doo Yong Park[‡]

Department of Industrial Safety Engineering Hansung University

It is a requirement in the Korean standard that breakthrough time at 5 ppm should be at least 50 min with the challenge concentration at 300 ppm against carbon tetrachloride for small cartridge respirator for gas and vapor. However, this requirement may not a good index for the adsorption capacity of the carbon at the field situation where concentration level is much lower than the test challenge concentration. Maximum concentration where air purifying respirator can be applied is the 10 times of the workplace standard. Thus, working concentration for carbon tetrachloride is 5-50ppm. In this range, the adsorption capacity must have different characteristics from those at 300 ppm since the adsorption capacity is also a function of challenge concentration. This study was initiated to evaluate validity of the challenge concentration level of the current cartridge performance test regulated by the Korean ministry of labor and to provide useful information for the respirator cartridge performance test protocol. The breakthrough curves were obtained for two types of 3M respirator cartridges (model #7251, and #7168(AX)) against carbon tetrachloride. The adsorption capacities of carbons were calculated using mass

transfer balance equation derived from the curve fitting to the breakthrough curves experimentally obtained. Adsorption isotherms were derived from these data. Much higher adsorption capacity of carbon at 300 ppm challenge concentration was shown in the cartridge #7251. On the contrary, the cartridge #7168(AX) showed higher adsorption capacity than the cartridge #7251. The cartridge #7251 or similar types have been widely used in general industries because of higher adsorption capacity. The AX cartridge (#7168) has been developed for lower molecular vapors in the Europe. The carbons of this type have smaller micropore size compared to the traditional cartridge carbon. Due to this characteristics, the adsorption capacity at lower concentration level was increased and, thus, performance was improved. From these results, it is concluded that the current challenge concentration level is not proper to evaluate the cartridge performance and the performance tests should be made at the similar concentration range with the field situation. Otherwise, performance tests at two concentration levels are recommended to estimate the adsorption capacity at lower concentration range.

* 본 연구는 한성대학교 2002년도 교내특별연구비의 지원으로 이루어졌음.

접수일 : 2003년 11월 11일, 채택일 : 2003년 12월 19일)

‡ 교신저자 : 박두용(서울 성북구 삼선동 3가 한성대학교 산업시스템공학부 안전과학기술연구소

Tel : 02-760-4329, E-mail : dooyong@hansung.ac.kr)

I. 서 론

작업환경의 유해물질로부터 근로자의 건강을 보호하기 위해서는 궁극적으로는 환기나 대체 등의 공학적 개선방안이 강구되어야 하지만 현실적으로 근본적인 작업환경을 개선하기 어려운 경우도 많다. 이러한 작업장에서는 일반적으로 근로자의 건강을 보호하기 위하여 개인보호구를 착용함으로써 유해한 요인에 과다하게 노출되는 것을 방지하고 있다. 또한 간헐적으로 이루어지는 작업이나 임시작업 등은 개인보호구를 이용하는 것이 보다 경제적이며 효과적인 경우도 많다. 사업장에서 일반적으로 사용되는 호흡보호구는 방진마스크와 방독마스크이다. 호흡보호구를 착용하여 실제 효과를 보기 위해서는 크게 두 가지 조건을 만족시켜야 한다. 하나는 보호구자체의 성능이 일정 수준이상이어야 하며, 다른 하나는 근로자 개개인이 보호구를 사용할 때 주의 사항에 유의하여 제대로 착용하는 것이다. 호흡보호구의 성능은 일반인이나 근로자가 알 수 없기 때문에 국가에서는 산업안전보건법 제35조 및 동법시행령 제28조에 의하여 적정한 성능과 규격을 법으로 규정하고 있으며, 국가의 위임을 받은 산업안전공단에서는 이에 근거하여 법적으로 규정된 모든 보호구를 검정하고 있다(노동부, 2003).

방진마스크의 원리는 입자상 물질을 걸러내는 여과(filtration)이다. 따라서 방진마스크의 성능은 여과에 의한 집진율과 근로자가 호흡을 할 때 저항을 적게 느끼도록 흡기시 저항을 검정한다. 여과 성능은 사용시간의 증가하여도 집진율 자체는 저하되지 않는다. 그러므로 방진마스크의 검정은 여과지 자체의 집진율을 검정하며 사용시간이 경과한 후에는 흡기저항의 증가만 검정한다. 그러나 방독마스크는 유해 가스나 증기가 정화통에 흡착되어 제거되므로 사용시간이 증가함에 따라 정화통의 성능이 저하된다. 따라서 방독마스크의 정화통은 흡기저항 뿐만 아니라 사용시간에 따른 성능을 검정하도록 되어 있다(노동부, 2003).

호흡보호구의 정화통(cartridge)은 강력한 흡착제인 활성탄(activated carbon)이 충전되어 있다. 오염된 공기가 이 정화통을 통과할 때 유해한 gas와 유기용제가 제거되고 깨끗한 공기만 통과되어 근로자는 신선한 공기만을 흡입할 수 있다. 정화통을 지속적으로 사용하면 활성탄의 여과능력이 점점 감소함에 따라 일정기간이 지나면 가스나 유기용제가 정화통을 통과하기 시작하며, 결국은 유해가스나 유기용제가 전혀 여과되지 않고 정화통을 통과한다. 이러한 현상을 파과현상(breakthrough)이라하며, 이 때 걸리는 시간을 파과시간(breakthrough time)이라 한다.

‘정화통의 수명(service life)’은 일반적으로 정화통을 사용하기 시작하여 파과농도가 작업환경 중 유해물질 허용기준의 10%에 이르는 시간으로 정의되며, 현재 우리나라의 방독마스크 성능검정은 시험물질로는 사염화탄소를 사용하고 있고 시험농도는 가장 일반적으로 사용되는 직결식소형의 정화통의 경우 0.03%, 즉 300ppm이며 파과농도는 5ppm으로 설정되어 있다.¹ 정화통의 수명은 기본적으로 가스나 유기용제에 대한 활성탄의 여과용량에 의하여 결정되는데, 유기용제의 종류와 수, 농도, 작업장의 온도, 작업자의 작업강도 등에 의하여 크게 영향을 받는다. 이 중에서 특히 가스 및 유기용제의 종류와 농도가 절대적인 영향을 미치며 환경요인으로는 습도와 작업자의 호흡량이 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Cohen, et al., 1991; Nelson, et al., 1974; Nelson, et al., 1976(a); Yoon, et al., 1976; Nelson et al.(b), 1976).

한편, 호흡보호구의 수명을 예측할 수 있는 방법에 대한 관심은 산업장의 산업보건관리자나 근로자들로부터 매우 오래전부터 제기되어 왔으나 위에서 언급한 대로 영향을 미치는 인자가 다양하고 복잡하며, 실험방법이 까다롭기 때문에 그동안 이에 대한 연구는 미비한 실정에 있다. 특히 우리나라에서는 정 등이 의하여 실시된 기초연구가 1건이 보고되어 있을 뿐이다(정해동 등, 1996).

현재 노동부에서 한국산업안전공단에 위탁하여 실시하고 있는 성능검정도 실제 작업환경 허용농도보다 약 100배이상에서 실시되고 있다. 그러나 활성탄의 유기용제 처리용량은 농도에 따라 달라지며, 특히 농도가 낮은 조건에서는 수명이 급격히 감소하므로 실제 작업환경농도 수준에서의 실험적 검토가 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 산업현장에서 널리 사용되는 대표적인 유기용제에 대하여 실험적으로 얻은 다단계 농도 수준에서의 파과곡선을 분석하여 현재 시행되고 있는 우리나라 방독마스크의 성능검정규격의 타당성을 고찰하고 개선방안을 마련하는데 기초자료를 제공하고자 하는데 있다.

II. 연구방법

1. 실험방법

우리 나라 노동부에서 설정한 직결식 소형방독마스크의 정화통(이하 정화통)에 대한 제독능력시험(성능검정)기준은 일반적인 유기용제의 경우 사염화탄소(CCl₄)를 함유하는 공기(300ppm)를 분당 30ℓ의 유량으로 정화통에 통과시키고 이 농도를 가스분석기로 측정하며 시험온도는 20±2℃, 시험습도는 50±5%를 유지하도록 되어 있으며, 성능기준은 파과농도가 5ppm에 도달하는 시간이 50분 이상이어야 한다.¹ 본 연구에서는 유량, 시험온도, 시험습도는 우리나라의 방독마스크용 정화통의 성능시험조건과 유사하게 설정하고 시험대상물질과 시험농도를 달리하여 정화통의 성능을 검정하였다. 시험대상물질은 우리나라는 물론 세계적으로 정화통의 성능검정에 널리 사용되어 온 사염화탄소(carbon tetrachloride)이다.

본 연구에서 사용한 정화통은 3M사의 제품으로 일반적인 유기용제용(Model #7251)과 저분자량 및 고휘발성 유기용제용 1종(Model #7168, 일명 AX, 이하 ‘AX 정화통’이라 함)이었다. 3M #7251은 우리

나라에서 널리 사용되고 있는 일반적인 유기용제용 정화통이며 AX정화통은 유럽의 정화통 기준(CEN European Respirator Standards)에서 설정한 저분자량 유기용제용이다(CEN, 1990). AX정화통에 사용된 활성탄은 기존의 정화통에 사용된 활성탄에 비하여 미세공극(micropore)의 크기가 작다. 따라서 전체적으로 미세공극의 표면적이 작으며 총 흡착용량도 작다. 그러나 미세공극의 크기가 작기 때문에 저분자량 물질에 대한 흡착효과가 우수하고 따라서 저분자량 물질에 대한 정화통의 전체 성능은 향상된다.

활성탄의 성능을 시험하기 위한 장치로는 그림 1과 같이 정화된 공기를 공급하는 장치와 습도를 유지하기 위한 수욕조(water bath), 유기용제를 일정하게 공급하는 장치와 공기시료제조를 위한 혼합 챔버로 구성되어 있다. 외부의 공기를 압축시켜 공기정화장치와 건조기를 거쳐 공기가 공급되면 2개의 유량조절기(주 유량조절기: 0-200L/min, Dwyer RMC-104, 보조 유량조절기: 0-75L/min, Gilmont F-1500)에서 유량을 32±1L/min로 조절하여 시험장치로 공급한다. 실제 유량은 파과실험의 전후에 가스유량계(Dry Gas Meter, American Meter Company, model DTM-325)를 사용하여 실측하였다. 이 시험공기는 수욕조를 거쳐 습도가 50±5%가 유지되도록 한 후 혼합조로 공급된다. 혼합조의 습도는 General Eastern사의 습도계(model 850)를 이용하여 측정하고, 이 신호를 받아 자동조절장치(LEF model 2003)에 의하여 수욕조의 온도가 조절된다. 한편, 유기용제는 미량주사기 펌프(Harvard Apparatus model 22)에서 일정 유량으로 혼합조내의 알루미늄 열판위(flash evaporator, Aldrich #Z11737-4)로 공급된다. 알루미늄 가열판의 온도는 유기용제가 일정하게 증발되도록 조절하여 혼합조내의 유기용제 농도가 일정하게 유지되도록 한다. 혼합조는 3개의 챔버가 연속적으로 연결되어 유기용제 증기가 완전히 혼합되도록 설계되었다. 마지막 혼합조에는 정화통을 장착하도록 되어 있고 정화통을 거친 공기는 외부로 배출하

도록 되어 있다. 이 때 배출구에서 파과 농도를 측정하기 위하여 가스분석기(Bruel & Kjaer사의 B&K 1302)의 시료 채취관을 연결하였다. Bruel & Kjaer사의 B&K 1302 가스분석기의 광학필터는 UA0980을 장착하였고 측정결과를 기록과 분석은 RS-232 케이블을 연결한 IBM PC를 이용하였다. B&K 1302 가스분석기는 사용 전 각 유기용제에 대하여 3단계의 알고 있는 농도수준의 시료를 이용하여 보정하였다.

2. 파과곡선식과 활성탄의 흡착용량의 계산

본 연구에서는 실험을 통하여 그림 2와 같이 파과농도(breakthrough concentration)가 시험농도(challenge concentration)에 이르기까지, 정화통을 사용하기 시작하면서부터 100% 파과가 일어나는 전과정의 파과곡선도를 구하였다. 따라서 실험에서 얻은 파과곡선도(breakthrough curve)로부터 <식 1>과 같은 흡착평형식(mass transfer balance equation)의 변수를 구할 수 있다(Gerry et al., 1991; Jonas et al., 1973; McBain, 1932).

$$t_b = \left(\frac{W_e W}{C_o Q} \right) - \left(\frac{W_e \rho_\beta}{k_v C_o} \right) \ln \left(\frac{C_o - C_x}{C_x} \right) \quad \dots\dots\dots <식 1>$$

- t_b : 파과시간(breakthrough time, min)
- W_e : 활성탄 1 g 당 흡착용량(equilibrium adsorption capacity, g/g carbon)
- W : 활성탄량(weight of carbon adsorbent, g)
- C_o : 시험농도(challenge concentration, g/cc)
- Q : 유량(air flow rate, ml/min)
- ρ_β : 정화통의 활성탄 밀도(bulk density of the packed bed, g/cc (0.43 cc/g))
- k_v : 흡착율 계수(adsorption rate coefficient, min⁻¹)
- C_x : 파과농도(exit concentration, g/cc)

<식 1>을 파과농도, C_x 에 대하여 정리

하면 <식 2>와 같다.

$$C_x = \frac{C_o}{1 + e^{\left(\frac{\left(\frac{W_e W}{C_o Q} \right) - t_b}{\left(\frac{W_e \rho_\beta}{k_v C_o} \right)} \right)}} \quad \dots\dots\dots <식 2>$$

m_1 과 m_2 를 다음과 같이 정의하면 <식 2>는 <식 3>과 같이 2개의 미지변수로 된 함수식이 된다.

$$\left(\frac{W_e W}{C_o Q} \right) = m_1, \quad \left(\frac{W_e \rho_\beta}{k_v C_o} \right) = m_2$$

$$C_x = \frac{C_o}{1 + e^{\left(\frac{m_1 - t_b / m_2}{m_2} \right)}} \quad \dots\dots\dots <식 3>$$

여기에서 미지변수 m_1 과 m_2 는 실험에서 얻은 파과곡선도로부터 curve fitting program(Jandel Scientific사의 SigmaPlot)을 이용하여 구한 후, m_1 으로부터 활성탄의 흡착용량, W_e 를 계산하고, 계속하여 m_2 로부터 흡착율계수, K_v 를 계산한다.

3. 흡착등온곡선식

활성탄의 흡착용량은 시험농도의 함수이며, 농도별 흡착용량의 수식적 모델은 여러 가지가 개발되어 있다. 본 연구에서는 파과실험의 결과로 파과농도가 시험농도의 100%에 이를 때까지의 전체 파과곡선도를 얻었으므로 이러한 자료에 적합한 Dubinin/Radushkevich(D/R) 흡착등온곡선식(adsorption isotherm equation)을 적용하였다(식 4)(Dubinin, 1975).

$$\ln W_e = W_o d_L \exp \left[-b W_o P_e^{-1.8} R^2 T^2 \left(\ln \left\{ \frac{P}{P_{sat}} \right\} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots <식 4>$$

- W_e : 흡착용량, g/g C
- W_o : carbon micropore volume, cc/g
- d_L : Liquid density of adsorbate, g/cc
- P : partial pressure at C_x
- P_{sat} : saturation vapor pressure at $T(^{\circ}K)$
- R : ideal gas constant
- P_e : molar polarization

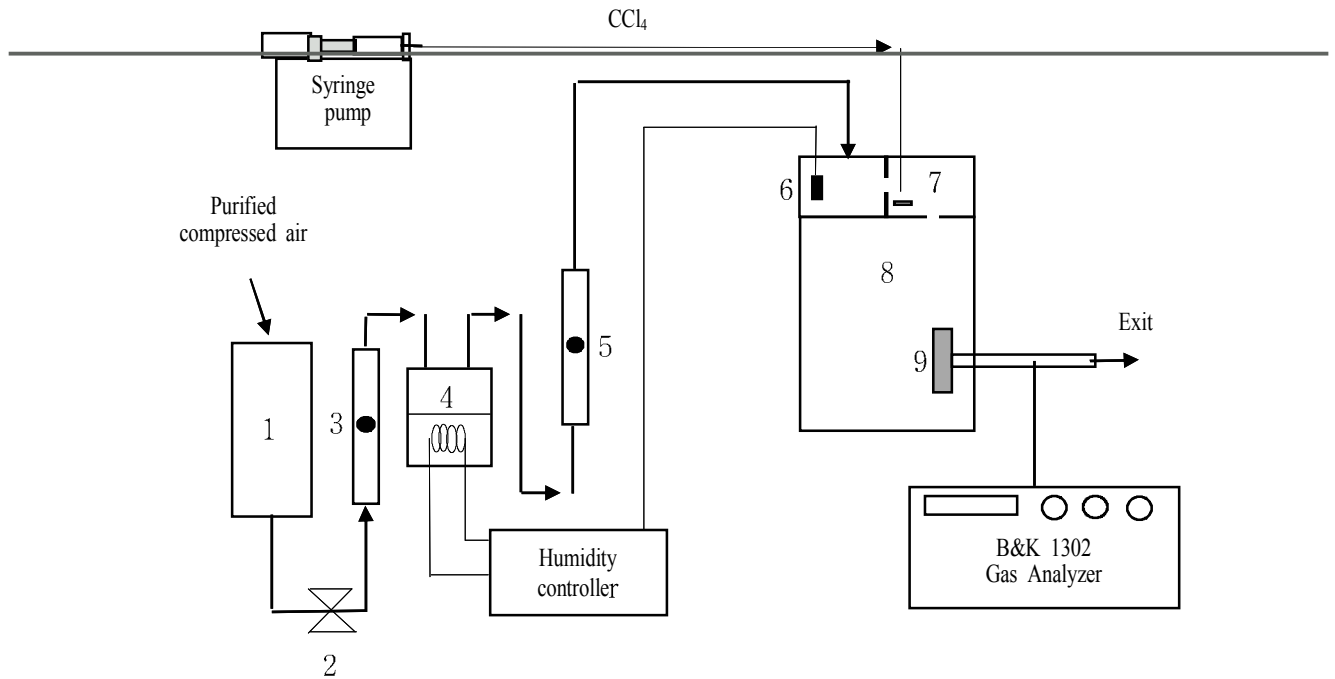


Fig 1. The schematic of the experimental apparatus and system. 1. Compressed air filter and regulator panel, 2. Valve to adjust moist air flow, 3. Rotameter, 4. Humidity generator, 5. Rotameter, 6. RH probe, 7. Flash evaporator, 8. Test chamber, 9. Tested cartridge.

III. 결과 및 고찰

1. 시험농도에서의 흡착용량(W_e) 및 흡착율계수(k_v)

본 실험결과에서 얻은 모든 유기용제의 정화통에 대한 파과곡선은 그림 2에서 보는 바와 같이 이론적인 흡착평형식에 의한 모델과 비슷한 유형을 나타냈다. 그러나 이론적인 흡착평형식과 실험을 통한 파과곡선은 완벽하게 일치하지 않았다. 이론식과 실측치간에 차이는 파과가 일어나기 시작한 직후와 활성탄이 거의 포화상태에 이른 지점에서 나타났다. 이러한 차이는 주로 정화통의 물리적인 구조나 불균일한 활성탄의 충전으로 인하여 시험공기가 정화통을 통과할 때 활성탄의 앞층부터 완벽하게 포화되지 않기 때문인 것으로 추정된다(McBain, 1932). 이러한 오차는 공기의 흐름을 방해하지 않고 활성탄의 밀도를 고르게 충전하여 실험함으로써 제거할 수 있다. 그러나 본 연구의 목적이 활성탄 자체의 흡착용량

을 측정하는 것이 아니고 실제 산업현장에서 상용되고 있는 정화통에 충전된 상태에서의 활성탄 흡착용량을 보기 위한 것이었으므로 이러한 오차를 인위적으로 제거하지 않고 변이로 간주하였다. 전체적인 파과농도의 측정치는 이론식과 유

사하였으므로 측정점을 연결하는 <식 3>을 만족하는 곡선을 산출하여 <식 1>에서의 미지의 두 변수인 흡착용량(W_e)과 흡착율계수(k_v)를 계산하였다. 두 종류의 정화통에 대하여 각각의 시험농도별로 산출된 흡착용량(W_e)과 흡착율계수(k_v)는

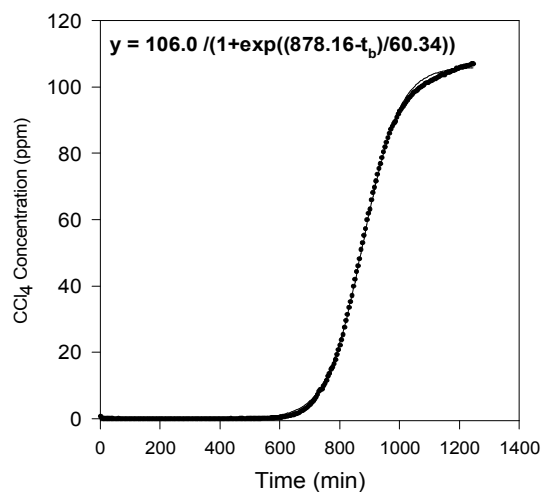


Fig 2. The breakthrough curve obtained from the experiment for 3M cartridge #7251 against carbon tetrachloride. The equation shown in the figure is the mass transfer balance equation derived from the experimental data using curve fitting program.

Table 1. The equilibrium adsorption capacity(W_e) and adsorption rate coefficient(k_v) values for carbon tetrachloride

Challenge Level(ppm)	Concentration Actual(ppm)	Flow rate (Lpm)	Adsorption capacity, W_e (g/gC)	Adsorption rate coefficient, k_v (min ⁻¹)
Cartridge	3M #7251			
50	49.15	32.13	0.3237	5787.05
100	106.4	32.10	0.4111	5089.48
	103.0	32.17	0.4021	5270.12
	106.0	32.11	0.4109	4450.75
	103.9	31.71	0.4101	4306.21
	101.0	32.11	0.3894	5323.70
	101.5	31.71	0.3742	4482.16
250	254.4	32.10	0.5319	5546.16
	259.0	32.17	0.5391	5279.40
	250.0	32.07	0.5229	5758.57
500	496.0	32.11	0.6024	5166.79
	510.0	31.17	0.5930	5704.15
1000	1006.5	32.27	0.6648	6089.02
	1009.9	31.81	0.6518	6695.82
	1006.5	32.10	0.6524	5882.04
	1012.9	32.17	0.6517	6651.83
	1014.0	32.10	0.6687	6062.91
	1011.3	32.17	0.6740	5195.78
	1016.2	32.10	0.6749	6300.24
	1006.3	32.17	0.6721	5315.20
Mean±SD				5518.9±668.6
Cartridge	3M AX	(#7168)		
100	104.0	32.11	0.3607	2845.08
	99.0	31.71	0.3508	2270.53
250	238.0	32.05	0.3900	2053.74
1000	992.7	32.11	0.4191	1877.46
	1000.5	31.71	0.4196	2108.08
	1026.0	32.31	0.4345	1769.15
Mean±SD				2154.0±381.6

표 1과 같다.

우리 나라에서 산업현장에서 일반적으로 상용되고 있는 정화통의 특성과 유사한 계열의 3M #7251의 경우, 흡착율계수(k_v)가 5518.9±668.6 min⁻¹로 나타났고, 저분자량용 정화통으로 개발된 AX 정화통은 2154.0±381.6 min⁻¹로 나타났다.

2. 흡착등온곡선식과 시험농도별 흡착용량

표 1에서 보는 바와 같이 실제 활성탄의 흡착용량은 시험농도에 따라 달라진다. 이와 같이 흡착농도가 시험농도의 함

수이므로 시험농도별 흡착용량을 예측하기 위한 여러 가지 수학적 모델들이 제시되어 왔다. 본 연구에서는 실험을 통하여 100%의 완전한 파과곡선도를 얻었으므로 전 파과곡선도에 적용하기에 가장 적합한 Dubinin/Radushkevich(D/R) 흡착등온곡선식 모델을 적용하였다(<식 4>참고)(Dubinin, 1975).

그림 3과 4는 정화통 #7251과 AX에 대하여 표 1에서 본 바와 같은 실험결과에 대하여 Dubinin/Radushkevich(D/R) 흡착등온곡선식 모델(이하 'D/R 흡착등온곡선식'이라 함)을 적용하여 얻은 등온곡선식이다. 정화통 #7251과 AX에 대하여 D/R

흡착등온곡선식으로부터 산출된 미세기공의 부피(W_0)는 각각 0.6386, 0.3086 cc/g으로 #7251 활성탄이 AX 활성탄보다 2배이상 큰 것으로 나타났다. 이것은 AX 정화통이 활성탄의 미세기공의 크기가 작은 특성을 지니고 있어 저분자량의 유기용제용으로 개발되었다는 사실에 잘 부합된다. 한편, #7251과 AX 활성탄의 미세기공성 상수(b)는 각각 3.0588×10^{-5} 및 2.1978×10^{-5} 이었다. 이 상수로부터 시험농도가 낮아짐에 따른 흡착용량이 감소율이 AX 활성탄보다 #7251 활성탄이 더 큰 것을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 그림 3과 4에서도 뚜렷하게 볼 수 있다.

그림 3에서 시험농도 수준별 활성탄의 흡착용량의 변화를 살펴보면 250ppm 이상의 농도수준에서는 활성탄의 흡착용량이 비교적 높은 수준에서 유지되지만 이보다 낮은 농도수준에서는 흡착용량이 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 모든 활성탄의 흡착에서 나타나는 전형적인 특성이다. 왜냐하면 활성탄에 증기가 흡착되는 원리는 단순 확산에 의한 것이므로 시험농도가 낮은 수준, 즉, 활성탄의 미세기공과 외부의 농도 구배가 작은 경우에는 확산속도가 낮고, 확산량이 적으며 미세기공으로 확산된 증기분자의 밀도가 일정수준이상으로 높지 않으면 응축이 일어나지 않아 다시 외부로 빠져 나올 수 있기 때문이다. 그러므로 농도가 낮거나 분자량이 작아 활성탄의 미세기공으로 확산된 증기가 잘 응축되지 않거나 재확산되어 파과가 일어나기 쉬운 물질에 대해서는 흡착하는 데에는 미세기공의 크기가 작은 특성을 가진 활성탄이 효과적이다.

이러한 사실은 그림 4에서 보는 바와 같이 AX 정화통에 대한 실험결과로부터 산출된 활성탄의 흡착용량에서 확인된다. AX 정화통의 활성탄은 시험농도가 1000

ppm과 같은 고농도 조건에서는 #7251 정화통의 활성탄에 비하여 흡착용량이 낮게 나타났으나 흡착용량의 감소율은 시험농도가 100ppm 수준까지 크게 감소하지 않았다. 실제 이러한 경향은 100ppm 이하의 저농도 수준에서도 지속되어 나타났다. AX 정화통은 저분자량의 유기용제로 개발된 것으로 저분자량의 유기용제에 대한 흡착효율을 향상시키기 위하여 미세기공의 크기가 상대적으로 작은 활성탄을 사용한 것이다. 이러한 활성탄의 구조적 특성은 단지 저분자량의 유기용제에 대하여 흡착용량이 증가할 뿐만 아니라 사염화탄소와 같은 고분자량의 유기용제에 대해서도 작업장에서 보통 나타나는 농도수준에서 기존의 정화통보다 흡착용량이 증가한 것으로 나타났다.

3. 직결식 소형 방독마스크의 사용환경에서의 성능

일반적으로 유기용제용 직결식 호흡보호구를 사용할 수 있는 환경 농도의 범위는 허용기준의 10배 범위이내이다. 사염화탄소의 경우, 우리 나라의 허용기준이

5ppm이므로 직결식 소형 방독마스크를 사용하는 공기 중 사염화탄소의 농도범위는 허용기준 정도에서 허용기준의 10배에 해당하는 5-50ppm이라고 하겠다. 그러므로 실제적으로 산업현장에서는 이 정도의 농도 수준에서 정화통의 성능, 즉 정화통내 활성탄의 흡착용량이 얼마나 될 것인지가 중요한 문제가 된다(AIHA, 1980).

그림 5는 다양한 시험농도조건에서 #7251 및 AX 정화통의 활성탄 흡착용량을 비교한 것이다. #7251 정화통의 활성탄은 50ppm 이상의 고농도조건에서는 AX 정화통의 활성탄에 비하여 흡착용량이 큰 반면, 50ppm 이하의 농도수준에서는 반대로 AX 정화통 활성탄의 흡착능력이 우수한 것으로 나타났다. 전술한 바와 같이 실제 직결식 소형방독마스크의 사용환경이 50ppm 이하이므로 AX 정화통이 #7251 정화통보다 우수한 성능을 가지고 있다.

그러나 우리 나라 노동부의 직결식 소형방독마스크 성능검정규격은 시험농도가 0.03%(300ppm) 단일농도 수준으로 규정되어 있다. 즉, 이러한 성능검정 규격은 실제 사업장 등에서 방독마스크를 사용

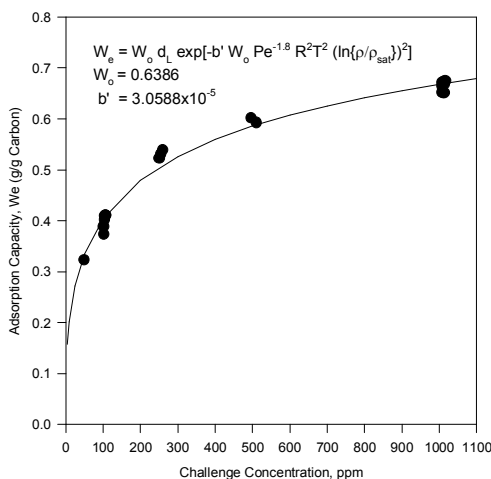


Fig 3. Carbon tetrachloride adsorption isotherm of the cartridge #7251 carbon. Black circles indicate the adsorption capacities calculated from the experimental breakthrough curve. The isotherm curve was obtained from curve fitting to the D/R isotherm equation.

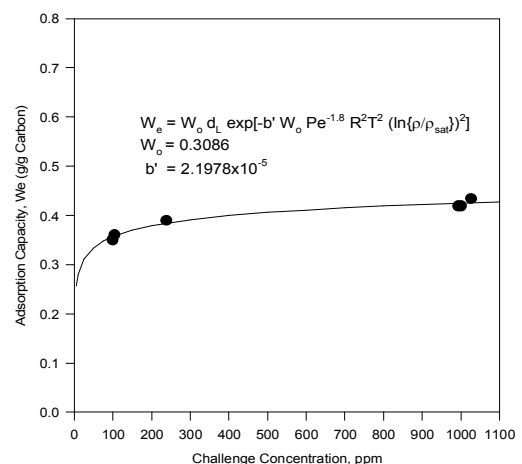


Fig 4. Carbon tetrachloride adsorption isotherm of the AX carbon. Black circles indicate the adsorption capacities calculated from the experimental breakthrough curve. The isotherm curve was obtained from curve fitting to the D/R isotherm equation.

조건에서의 정화통 성능을 제대로 평가하지 못할 가능성도 있다.

4. 우리 나라 정화통의 성능기준의 문제점과 개선방향

본 실험결과에서 보는 바와 같이 정화통내 활성탄의 흡착용량은 시험농도, 즉, 호흡보호구를 사용할 경우에는 작업환경의 농도에 따라 좌우된다. 따라서 정화통의 성능검정은 이러한 보호구의 사용환경에 알맞은 조건에서 이루어져야 할 것이다. 우리 나라에서는 정화통의 성능검정시 유기용제용 직결식 소형인 방독마스크의 경우, 사염화탄소의 농도를 300ppm으로 설정되어 있다. 그러나 직결식 소형인 방독마스크의 실제 사용환경은 이보다 훨씬 낮은 농도조건인 5-50ppm이므로 노동부의 성능검정기준을 충족시킨다고 하여도 실제 사용환경에서의 성능이 적합한 것인지 알 수 없다.

따라서 노동부의 방독마스크 성능검정시 시험농도를 가능한 실제 사용환경을 반영할 수 있는 농도수준으로 설정하는

것이 바람직할 것이다. 이 때, 시험농도를 낮게 설정하면 검정시험 자체의 난이도가 높고 파과시간이 오래 소요되는 등 검정에 따른 자원의 소요가 증가하므로 실제 사용환경의 최대농도(보통 허용기준의 10배)를 시험농도로 설정하는 것이 바람직할 것이다. 다른 대안으로는 고농도 조건에서 검정을 실시하되 두 단계의 농도수준에서 100% 파과곡선도를 얻고 이를 바탕으로 본 실험에서와 같이 이론적인 흡착평형곡선식과 등온곡선식을 이용하여 시험농도별 정화통의 흡착용량을 추정하는 방법을 적용하는 방법이 있다.

IV. 결 론

두 종류의 정화통(3M사 model #7251과 #7168(일명AX))을 대상으로 사염화탄소에 대하여 여러 농도수준에서 파과실험을 실시하여 흡착용량을 계산하였다. 실험으로부터 얻은 파과곡선도에 흡착평형 모델식을 적용하여 흡착용량을 계산하였으며, 이러한 자료에 Dubinin/Radu-

shkevich(D/R) 흡착등온곡선식 모델을 적용하여 시험농도별 흡착용량을 추정하였다. 우리나라의 직결식 소형방독마스크의 검정시 시험농도기준인 300ppm 이상의 수준이상의 고농도조건에서는 #7251 정화통의 흡착용량이 AX 정화통의 흡착용량보다 크게 나타났으나 실제 직결식 소형방독마스크의 사용환경인 5-50ppm 수준에서는 AX 정화통의 성능이 우수한 것으로 나타났다. 이것은 정화통의 성능, 즉 활성탄의 흡착용량이 시험농도의 함수이기 때문에 어느 한 농도수준에서의 흡착용량만으로 다른 농도수준에서의 흡착용량이나 성능을 추정할 수 없기 때문이다.

따라서 우리 나라 노동부의 직결식 소형방독마스크의 검정시 시험농도수준을 실제 사용환경의 농도수준으로 조절할 필요가 있다. 시험농도수준을 낮추면 실험의 난이도가 커지고 시간이 오래 소요된다. 따라서 시험농도수준을 보호구의 최대 사용환경농도로 설정하거나 고농도 수준에서 검정하되 두 단계이상의 농도수준에서 시험하여 시험농도별 흡착용량을 추정하는 방법을 적용하는 방법을 사용하는 것이 바람직 할 것이다.

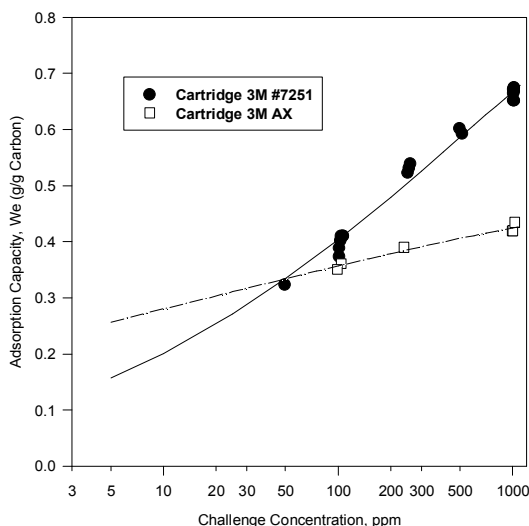


Fig 5. Comparison of the adsorption isotherm for the cartridge #7251 and AX for carbon tetrachloride. At the concentration above 50ppm, the #7251 carbons have higher adsorption capacities than the AX carbon. However, the AX carbon was superior to the 7251 carbon below 50ppm range. Most industrial hygienic applications are made in the range between 5 and 50ppm.

REFERENCES

- 노동부. 보호구 성능검정 규정고시. 노동부고시 제1997-45호; 1997
- 정해동, 백남원. 복합유기용제에 노출된 호흡보호구용 정화통의 파과에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1996;6(1)
- American Industrial Hygiene Association (AIHA): Respiratory Protection - A Manual and Guideline 1st Ed. Akron. OH, AIHA. 1980.
- Cohen HJ, Briggs DE, Garrison RP. Development of a Field Method for Evaluating the Service Life of Organic Vapor Cartridges-Part III : Results of Laboratory Testing Using Binary Mixtures. Am Ind Hyg Assoc J 1991;52(1):34-43.
- Dubinin, MM. Physical Adsorption of Gases

- and Vapors in Micropores. *Prog Surf Membr Sci* 1975;1-70
- European Committee for Standardization (CEN). CEN European Respirator Standards. CEN 1990.
- Gerry O. Wood, Ernest S. Moyer. A review and Comparison of Adsorption Isotherm Equations Used to Correlate and Predict Organic Vapor Cartridge Capacities. *Am Ind Hyg Assoc J* 1991;52:235-242
- Jonas LA. and Rehrmann JA. Predictive Equations in Gas Adsorption Kinetics Carbon 1973;11:59-64
- McBain JW. The Sorption of Gases and Vapors by Solids. London: Routledge, 1932
- Nelson GO and Harder CA. Respirator Cartridge Efficiency Studies: V. Effects of Solvent Vapor. *Am Ind Hyg Assoc J* 1974;35:391-410
- Nelson GO and Harder CA. Respirator Cartridge Efficiency Studies : VI. Effects of Concentration. *Am Ind Hyg Assoc J* 1976;37:205-216
- Nelson GO, Correia AN, Harder CA. Respirator Cartridge Efficiency Studies : VII. Effects of Relative Humidity and Temperature. *Am Ind Hyg Assoc J* 1976;37:280-288
- Yoon YH and Nelson JH. A Theoretical Study of the Effect of Humidity on Respirator Cartridge Service Life. *Am Ind Hyg Assoc J* 1988;49(7):325-332