

아연염에 의한 활성탄의 표면처리가 톨루엔의 활성탄관 과과현상과 포집능력에 미치는 영향

인제대학교 보건대학 산업보건학과 · 한서대학교 공과대학 환경공학과*
순천향대학교 자연과학대학 환경보건학과** · 서울대학교 보건대학원 환경보건학과***

이진현 · 한돈희 · 김영규* · 손부순** · 정문호***

— Abstract —

Effects of Surface-Treatment by Zinc Salts on Breakthrough and Adsorption Capacity of Toluene in Coconut Activated Carbon Tubes

Jin-Heon Lee, Don-Hee Han, Young-Gyu Kim*, Bu-Soon Son** and Moon-Ho Chung***

Department of Industrial Health, College of Health Sciences, Inje University
*Department of Environmental Engineering, Hanseo University **
*Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University***
*Department of Environmental Health Science, Graduate School, Seoul National University****

The purpose of this study was to determine the effects of surface-treatment by zinc salts on breakthrough and adsorption capacity of toluene. Firstly, the coconut activated carbon treated the surface with zinc salts, were exposed by the spike sample(toluene, 69.02ppm, 260.1mg/m³). and then the effects of zinc salts were examined by using the gas adsorption kinetics.

The results obtained were as follows :

- 1) BET(Brumaure Emmett Teller) surface area were 954.4m²/g in coconut activated carbon treated with 0.0001 N Zn(NO₃)₃ 6H₂O, and 830.3m²/g in coconut activated carbon treated with 0.0001 N ZnCl₂.
- 2) Migration was decreased in coconut activated carbon treated with the thin level of zinc salts.
- 3) Breakthrough volume were 73.07 L in coconut activated carbon treated with 0.0001 N Zn(NO₃)₃ 6H₂O, and 72.76 L in charcoal treated with 0.0001 N ZnCl₂.
- 4) τ values(the time required for 50% breakthrough) were 1046.1 min in coconut activated carbon treated with 0.0001 N ZnCl₂ and 921.2 min in coconut activated carbon treated with 0.0001 N Zn(NO₃)₃ 6H₂O.
- 5) Maximum adsorption capacity was 53.9 mg/tube in coconut activated carbon treated with 0.0001 N ZnCl₂ and 47.4 mg/tube in coconut activated carbon treated with 0.0001 N Zn(NO₃)₃ 6H₂O.

In conclusion, the coconut activated carbon treated the surface with the thin concentration of zinc salts, decreased the breakthrough and increased the BET surface area and the adsorption capacity in case of sampling airborne toluene.

1. 서 론

산업장에 폭로되는 오염물질로 인한 직업병 발생이 노동자와 사업자뿐만 아니라 전체국민에 있어서 중요한 관심사로 대두됨에 따라 작업장에서 유해물질의 정확한 측정은 신뢰성 있는 작업환경 평가를 위하여 선행되어야 할 가장 중요한 업무가 되었다.

노동부에서는 1981년 산업안전보건법에 작업환경 측정제도를 설정하여 산업위생보건 담당자로 하여금 6개월에 1번씩 작업환경을 측정토록하였고, 1991년에는 측정시료분석에 대한 정도관리를 실시하는 등 작업환경 측정제도를 보완하여 각 작업장이 정확하고 신뢰성 있는 측정자료를 제시할 수 있도록 제도를 강화해 나가고 있다(한국산업안전공단, 1994, 윤명조 등, 1993). 또한 Phillip과 James(1985)에 의하면 산업장에서 폭로되는 물질 중 인체에 발암물질로 확인된 12종류의 물질 중에서 유기용제에 속하는 유기화학 물질은 8종류이었고, 인체에 발암물질로 의심되는 38종류의 물질중에서 유기용제에 속하는 유기화학 물질은 32종류이었다고 보고하였다. 그러므로 작업장에서 근무하고 있는 근로자의 건강을 직업병으로부터 보호하기 위해서는 유기용제에 대한 정확한 측정과 올바른 관리가 매우 중요하다고 볼 수 있다.

활성탄을 이용한 공기중의 유기물질 포집방법은 1930년대부터 시작하여 1940년대까지 미미하게 사용하다가 CS₂에 의한 탈착 기법의 개발과 미량을 측정할 수 있는 각종 가스크로마토그래피(GC)의 개발로 인하여 1960년경 부터 유기용제의 시료채취에 활성탄을 본격적으로 사용하게 되었다. 현재 활성탄으로 측정가능한 유기용제는 탄화수소류, 염소화 탄화수소류, 에스테르류, 에테르류, 알코올류, 케톤류, 글리콜 에테르류 등이다(Ness, 1991).

활성탄관에 의하여 유기용제를 측정할 때에 일반적으로 문제가 되는 것은 파과현상이다. 파과가 20%이상 일어나게 되면 시료의 일부가 활성탄을 빠져나간 것으로 간주되기 때문에(Susanne, 1989) ACGIH에서는 파과가 25% 이상 일어난 시료는 버리도록 하고 있다.

파과현상은 시료채취시 활성탄 앞층이 포화되어 유기용제가 뒷층으로 넘어가 흡착하는 경우와 시료

채취 속도가 너무 빨라 앞층의 활성탄에 흡착할 충분한 시간이 없어서 뒷층으로 넘어가는 경우로 구분할 수 있으며, 이 때 영향을 미치는 요인으로는 시료채취 시간, 유량, 유기용제의 공기중 농도, 온도, 압력, 습도 및 활성탄의 특성 등이다(Saalwachter 등, 1977).

파과현상은 그 동안 몇몇 연구자들에 의하여 경험적으로 설명되어 왔는데, Yoon과 James(1984a, 1984b, 1990)가 가스흡착력의 원리(the principle of gas adsorption kinetics)를 사용하여 고체입자에 gas와 증기가 흡착되고 파과되는 현상을 수식으로 나타내었다. 비록 이것은 마스크의 성능을 검사하는데 적용할 수 있도록 되어있지만, 마스크에 활성탄이 사용됐다는 점에서 유기용제를 포집하는데 사용하는 활성탄관에도 적용할 수 있다고 생각된다. Yoon과 James (1990)는 n-Heptane의 폭로농도를 변화시킬 때, 그리고 이진현 등(1994)은 이황화탄소의 폭로농도를 변화시킬때 이 원리를 이용할 수 있다고 제시하였다.

본 연구에서는 아연염류들이 2중결합을 하고 있는 에틸렌계통의 물질과 결합하면 π 결합에 의하여 흡착력이 증가한다는 정미숙과 박종렬(1991)의 보고와 Uhola(1975)의 보고를 근거로 아연염을 사용하여 활성탄을 표면처리하고, 이것으로 제조한 활성탄관에 불루엔의 기지시료(spike samples)를 폭로시키고, Yoon과 James(1984a, 1984b, 1990)가 제시한 가스흡착력의 원리를 적용하여 각 활성탄의 파과현상과 포집능력을 비교분석함으로써 불루엔의 포집에 가장 적합한 활성탄의 표면처리방법을 개발하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

1) 그룹별 활성탄 제조

예비실험을 통하여 활성탄의 표면처리에 적합한 아연염의 농도범위를 결정한 후에 아연염을 농도별로 처리한 활성탄에서 발생하는 흡착율과 파과현상을 관찰하기 위하여 Table 1과 같이 활성탄관을 제조하였다. 제조방법은 coconut 활성탄(크기;10/30 mesh)에 각각 0.0001, 0.01 및 1.0 N의 ZnCl₂와 0.0001N Zn(NO₃)₂·6H₂O의 용액을 잘 섞은 후 전기로에서 질소가스를 불어 넣으면서 10분 동안

Table 1. The methods of each coconut activated carbon

Groups	Manufacturing methods
CRC-1	Coconut Activated Carbon
CRC-2	Coconut Activated Carbon treated with 0.0001 N ZnCl ₂
CRC-3	Coconut Activated Carbon treated with 0.01 N ZnCl ₂
CRC-4	Coconut Activated Carbon treated with 1.0 N ZnCl ₂
CRC-5	Coconut Activated Carbon treated with 0.0001 N Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O

520-580℃로 승온한 뒤 10분 동안 가열한 후에 상온으로 냉각하여 각 그룹의 활성탄을 제조하였다.

2) 활성탄관과 기지시료 제조

NIOSH에서 권장하는 크기의 유리관(길이; 7cm, 외경; 6mm, 내경; 4mm)에 유리관 내경과 같은 크기의 우레탄 폼을 먼저 넣고 활성탄을 정확히 50mg을 넣는다. 다시 동일한 우레탄 폼을 넣어 유리관내 활성탄을 고정시킨 후에 활성탄을 정확히 100mg을 넣고 유리섬유로 활성탄을 고정시킨다. 그 후에 입구를 활성탄관 캡으로 막고 sealing paper로 밀봉하여 냉동실에 보관하면서 실험에 사용하였다(Ness, 1991).

기지시료를 제조하기 위하여 SKC Sample Bag(Tedlar, 100L, Catalog No. 232-50)과 톨루엔(Sigma)를 사용하였다. 개인용 공기펌프(Gilian, PN 800464와 SKC(Model 224-52))에 실리카겔관을 부착시키고 유속을 비누 버블미터로 보정한 후에 샘플링 백에 공기를 정확히 100L 넣고, 마이크로 실린저를 사용하여 정확히 30μl toluene를 주입하여 톨루엔의 농도가 69.02ppm(260.1 mg/m³)인 기지시료를 만들었다. 제조한 기지시료는 실내(20-25℃)에서 약 2시간 이상 방치하면서 때때로 흔들어 주어 톨루엔을 완전히 확산시켰다.

3) 비표면적 측정

각 농도의 아연염으로 coconut activated carbon를 처리한 후에 비표면적을 측정하였는데, 비표면적은 전자동흡착장치(Micro Meritic社, ASAP 2000)를 이용하여 측정하였다.

4) 회분, 고정탄소 및 중금속 측정

활성탄의 회분함량은 전기로에서 800℃로 1시간 이상 유지한 다음 데시게이터에 냉각하여 계산하였고, 활성탄의 고정탄소는 백분율에서 수분과 회분,

휘발분의 함량을 뺀 값으로 계산하였다. 활성탄내 SiO₂는 0.3g의 활성탄을 백금도가니내에서 평량한 후 고온전기로에서 700℃로 1시간 가열하여 탄소를 탄화시켜 무게를 측정된 후 불산(HF)을 가해 얻은 값과의 중량차이로 계산하였으며, 그 외의 중금속은 염산으로 녹여 여과한 후 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry)로 측정하였다.

5) 시료채취 및 분석

시료채취는 준비한 활성탄관에 개인용 공기펌프를 연결하여 유속을 0.2 LPM으로 보정한 후에 기지농도시료에서 채취하였고, 활성탄관에 흡착된 toluene은 이황화탄소(1ml)를 사용하여 탈착하여 Flame Ionization Detector(FID)가 부착된 GC(Varian 3400)로 분석하였다. 톨루엔의 회수율은 93-102%의 범위였고, 분석조건과 표준용액의 크로마토그램은 Figure 1과 같았다. 각 그룹에서 측정된 흡착 및 파과현상의 분석결과와 Yoon과 James(1984a, 1984b, 1990)가 제시한 가스흡착력의 원리를 이용하여 필요한 상수와 수식을 산출하였고, 회귀분석 등 필요한 자료분석을 위해서는 SAS프로그램을 사용하였다.

Column ; Stainless Steel Tube, 3.0m × 2 mm, 10% OV-275 on 100/200 mesh Chromosorb W-AW
 Injector Temperature ; 200 °C
 Temperature Program ; 50 °C for 3min, then 10 °C/min to 150 °C
 Detector Temperature ; 200 °C
 Carrier Gas, Flowrate ; N₂, 5 mL/min
 Air Flowrate ; 300 ± 15 mL/min
 Hydrogen Flowrate ; 30 ± 1 mL/min
 Detector ; Flame Ionization Detector(FID)

3. 실험결과 및 토의

1) 각 활성탄의 비표면적

활성탄의 원료물질에 따라 고유한 세공구조를 가지고 있는데(Rook, 1983), 김영규와 정문호(1993)의 연구에서 coconut 활성탄이 micropore(20Å 이하)를 차지하는 면적이 전체 비표면적의 82.9-89.6%이고, 평균 세공크기가 14.4-14.8Å이었다고 보고하였다. 본 실험에서 사용한 coconut 활성탄의 각 그룹별 비표면적은 Table 2와 같이 CRC-5에서

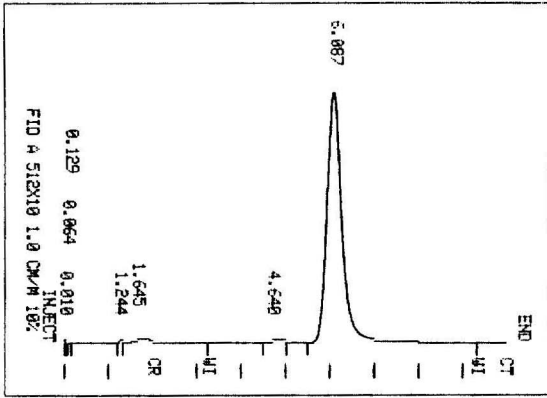


Fig. 1 Chromatogram of GC with FID for Standard Solution.

954.4 m^2/g 로 가장 높게 나타났고, 그 다음은 CRC-1, CRC-2, CRC-4 및 CRC-3의 순서로 나타났다. 즉 낮은 농도의 아연염으로 표면처리한 활성탄의 비표면적이 약간 증가하였고, 높은 농도의 아연염으로 표면처리한 활성탄의 비표면적은 감소하였다. 이는 높은 농도의 아연염으로 표면처리하면 세공이 막히어 비표면적이 감소하기 때문인 것으로 보인다.

2) 각 활성탄의 성분조성

각 그룹 활성탄의 성분조성은 Table 2와 같다. 활성탄의 Al, Si, Mg, Ca 등 회분함량은 세공크기

분포에 영향을 준다고 하였는데(Uhola, 1975), 본 실험에서 사용한 활성탄의 산화속함량은 3-18%이었고, 회분함량은 처리하지 않은 활성탄에서 4.6%이었는데 아연염으로 표면처리한 활성탄에서는 5.69-7.26%로 증가하였다.

0.0001N ZnCl_2 로 표면처리한 활성탄의 Zn함량은 1542ppm으로 활성화만시킨 활성탄의 아연함량 30ppm보다 높게 나타났고, MgO와 K_2O 를 제외한 대부분의 중금속 함량도 0.0001N ZnCl_2 로 표면처리한 활성탄에서 높게 침착된 것으로 나타났다.

3) 각 활성탄관의 톨루엔 이동율

아연염으로 표면처리를 달리한 각 활성탄에 톨루엔의 농도가 69.02ppm ($260.1\text{mg}/\text{m}^3$)인 기지시료를 0.198LPM으로 폭로시키었을 때 활성탄관에서 나타난 톨루엔의 각 그룹별 이동율은 Table 3과 같이 CRC-2가 1.054-4.980%로 가장 낮게 나타났다.

일반적으로 0.0001 N의 ZnCl_2 과 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 로 표면처리한 활성탄에서 톨루엔의 이동율이 낮게 나타났다.

4) 각 활성탄관의 파과부피 (breakthrough volume)

파과부피란 주어진 오염농도에서 파과가 발생하기 전까지 채취한 시료의 부피를 리터(L)로 나타낸 것으로서 어떤 오염물질을 시료로 채취하고자 할 때는

Table 2. Pore structure and composition of each coconut activated carbon

Items	CRC-1	CRC-2	CRC-3	CRC-4	CRC-5
BET Surface Area(m^2/g)	862.6	830.3	782.9	797.6	954.4
Fixed carbon	89.7	88.4	69.4	87.7	90.0
SiO_2 (%)	2.90	3.83	3.23	3.97	3.40
Al_2O_3 (%)	0.54	0.60	0.46	0.21	0.62
Fe_2O_3 (%)	0.25	0.95	0.70	0.91	0.98
CaO (%)	0.14	0.26	0.24	0.26	0.26
MgO (%)	0.44	0.16	0.14	0.14	0.15
Na_2O (%)	0.16	0.23	0.18	0.07	0.27
K_2O (%)	0.40	0.23	0.30	0.07	0.27
Zn (ppm)	30	1542	551	12939	1357
Cd (ppm)	343	371	176	384	269
Mn (ppm)	48	168	90	158	148
Cu (ppm)	5	13	15	14	16

Table 3. Migration of toluene in the zinc salts treatment-activated carbon tube with 69.02ppm(260.1 mg/m³) spiked air sampling

(mean ± S.D.)

Groups	Sampling Time	Number of sample	Front Section (mg)	Back Section (mg)	Migration (%)
CRC-1	60 min	7	2.005 ± 0.069	0.0248 ± 0.0104	1.236
	120 min	7	5.010 ± 0.116	0.1028 ± 0.0025	2.052
	290 min	7	11.594 ± 0.040	0.6300 ± 0.0333	5.434
	420 min	7	18.476 ± 0.276	1.2720 ± 0.0570	6.885
CRC-2	60 min	7	2.167 ± 0.081	0.0299 ± 0.0068	1.380
	130 min	7	5.712 ± 0.105	0.0602 ± 0.0081	1.054
	240 min	7	11.295 ± 0.113	0.1700 ± 0.0080	1.505
	332 min	7	14.799 ± 0.158	0.7370 ± 0.0374	4.980
CRC-3	60 min	7	2.079 ± 0.032	0.0093 ± 0.0055	0.447
	122 min	7	5.573 ± 0.095	0.0722 ± 0.0081	1.296
	240 min	7	9.840 ± 0.021	0.6244 ± 0.0314	6.346
	420 min	7	18.535 ± 0.240	1.0288 ± 0.0533	5.551
CRC-4	60 min	7	2.347 ± 0.106	0.0073 ± 0.0008	0.331
	134 min	7	6.129 ± 0.116	0.0696 ± 0.0069	1.136
	240 min	7	10.420 ± 0.103	0.5829 ± 0.0466	5.594
	330 min	7	16.244 ± 0.136	0.7821 ± 0.0466	4.815
CRC-5	60 min	7	2.228 ± 0.057	0.0251 ± 0.0060	1.127
	120 min	7	5.274 ± 0.123	0.0854 ± 0.0088	1.629
	290 min	7	12.223 ± 0.220	0.4618 ± 0.0041	3.778
	330 min	7	14.895 ± 0.110	0.6938 ± 0.0451	4.658

파과부피보다 적은 공기의 양을 채취하여야 한다. 만약 이 부피를 초과하여 공기시료를 채취하면 활성탄관의 뒷층으로 오염물질이 이동하게 되는데, NIOSH에서는 150mg포집관을 사용하였을 때 뒷층에 이동한 오염물질의 양이 총량의 20%를 초과하지 않아야 한다고 권장하고 있다(Saalwaechter et al., 1977).

본 실험에서 아연염으로 활성탄 표면을 처리하여 제조한 각 그룹별 활성탄관에 톨루엔의 농도가 69.02ppm(260.1mg/m³)인 기지시료를 0.198LPM으로 흡수시켰을 때 각 활성탄관의 톨루엔에 대한 파과부피는 Table 4와 같다. 낮은 농도의 아연염으로 표면처리한 활성탄의 파과부피는 72.76L이었는데, 0.01 N, 1.0 N의 아연염으로 표면처리한 활성탄의 파과부피는 각각 61.54L와 67.95L로 나타나서 낮은 농도의 아연염으로 표면처리한 활성탄의 파과부피가 높게 나타났다. 특히 Saalwaechter 등

(1977)은 BC-580-26 petroleum 활성탄을 사용하였을 때 스티렌, 테트라클로르에틸렌 및 톨루엔의 파과부피가 20-30L이었다고 보고하여 본 실험결과와 파과부피가 약 2배 이상 높게 나타났는데, 이러한 이유에 대하여 Ness(1991)는 coconut 활성탄이 petroleum 활성탄보다 포집능력이 높기 때문인 것으로 설명하였다. 따라서 NIOSH에서는 활성탄의 재질로 petroleum보다는 coconut의 사용을 권장하고 있다.

5) 각 활성탄의 파과시간(Breakthrough Time)

일정한 양의 오염물질이 활성탄관 뒷층으로 이동하는데 소요되는 시간인 파과시간을 산출하기 위하여 Yoon과 James(1984a, 1984b)는 실험에 의하

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

Table 4. Breakthrough volume(L) in the zinc salts treatment-activated carbon tubes with 69.02ppm(260.1 mg/m³) spiked air sampling

Groups	a	b	r	Breakthrough Volume(L)
CRC-1	- 4.293	0.0582	0.9918	73.81
CRC-2	- 4.532	0.0623	0.9049	72.76
CRC-3	- 5.436	0.0883	0.9532	61.54
CRC-4	- 6.589	0.0970	0.9902	67.95
CRC-5	- 3.899	0.0534	0.9711	73.07

$\ln Y = a + b X,$

Y ; toluene adsorbed in back section, X ; sampling volume(L)

Table 5. Parameters related with breakthrough for toluene in the zinc salts treatment-activated carbon tubes with 69.02ppm(260.1 mg/m³) spiked air sampling

Groups	Samplng Time	Probability of Breakthrough(%)	$\ln(P/(1-P))$	k' (min ⁻¹)	τ (min)	k
CRC-1	60 min	1.222	- 4.392	4.808×10^{-3} ($r=0.9731$)	943.4	4.536
	120 min	2.011	- 3.886			
	290 min	5.154	- 2.912			
	420 min	6.441	- 2.676			
CRC-2	60 min	1.361	- 4.283	4.68×10^{-3} ($r=0.8155$)	1046.1	4.896
	130 min	1.043	- 4.553			
	240 min	1.483	- 4.196			
	332 min	4.744	-3.000			
CRC-3	60 min	0.447	-5.406	6.794×10^{-3} ($r=0.8523$)	777.1	5.280
	122 min	1.279	-4.346			
	240 min	5.967	-2.757			
	420 min	5.259	-2.891			
CRC-4	60 min	0.308	-5.780	0.0107 ($r=0.9310$)	569.5	6.093
	134 min	1.123	-4.478			
	240 min	5.204	-2.902			
	330 min	4.648	-3.021			
CRC-5	60 min	1.114	-4.486	5.183×10^{-3} ($r=0.9995$)	921.2	4.775
	120 min	1.594	-4.123			
	290 min	3.641	-3.276			
	330 min	4.451	-3.067			

여 k' 값과 τ 값을 산출하고 이들을 다음식에 대입하였다.

k' 값은 $\ln(P/(1-P))$ 와 시료채취시간을 풀뮈한 1차 선형방정식의 기울기이고, τ 값은 $P=0.5$ 일때, 즉 포집된 전체 오염물질 양의 50%가 뒷층으로 이동하는데 소요되는 시간이다. 본 연구실험에서 각 그룹

별 활성탄관에 대한 k' 값과 τ 값은 Table 5와 같고, 각 그룹의 파파확율별 파파시간은 Table 6과 같다.

Yoon과 James(1984a)는 메틸아세테이트와 비닐클로라이드의 오염농도를 변화시키에 따라 k' 값과 τ 값이 변한다고 보고하였고, Yoon과 James(1990)

Table 6. The breakthrough time of toluene in the zinc salts treatment-activated carbon tubes with 69.02ppm(260.1 mg/m³)spiked sampling.

The Probability for breakthrough(%)	Breakthrough Time(t, min)				
	CRC-1	CRC-2	CRC-3	CRC-4	CRC-5
5	331.0	461.9	343.7	194.3	353.1
10	486.4	576.6	453.7	364.2	497.3
15	582.6	675.5	521.8	407.4	586.5
20	655.1	749.9	573.1	439.9	653.7
25	714.9	811.4	615.4	466.8	709.2
30	767.2	865.1	652.4	490.3	757.7
35	814.6	913.8	686.0	511.6	801.8
40	859.1	959.5	717.4	531.6	843.0
45	901.7	1003.2	747.6	550.7	882.5
50	943.4	1046.1	777.1	569.5	921.2
55	985.1	1089.0	806.6	588.3	959.9
60	1027.7	1132.7	836.8	607.4	999.4
65	1072.2	1173.4	868.2	627.4	1040.6
70	1119.6	1227.1	901.8	648.7	1084.7
75	1171.9	1280.8	938.8	672.2	1133.2
80	1231.7	1342.3	981.1	699.1	1188.7
85	1304.2	1416.7	1032.4	731.6	1255.9
90	1400.4	1515.6	1100.5	774.8	1345.1
95	1555.8	1675.3	1210.5	844.7	1489.3

은 헵탄에서 시료농도 및 시료채취속도의 변화에 대하여 k' 값이 증가하고 τ 값은 감소한다고 보고하였다. 본 연구실험에서 k' 값과 τ 값의 사이는 역비례 관계를 나타내고 있으며, τ 값은 CRC-2가 1046.1로 가장 높게 나타났고, 그 다음은 CRC-1, CRC-5, CRC-3 그리고 CRC-4의 순서로 나타났다. 즉 0.0001N ZnCl₂로 표면처리한 활성탄의 τ 값은 활성화만 시킨 활성탄보다 높았고, 0.0001N Zn(NO₃)₂·6H₂O로 표면처리한 활성탄의 τ 값은 활성화만 시킨 활성탄과 비슷하게 나타났다.

또한 Yoon과 James(1984a)는 시료공기 오염농도가 변해도 k 값은 변하지 않는다고 보고 하였으며, Yoon과 James(1990)는 n-Heptane에서 k 값이 시료오염농도의 변화에 관계없이 11.5 ± 1.9 였다고 보고하였다. 본 연구실험에서의 k 값은 CRC-1, CRC-2, CRC-5에서 4.536-4.896 범위로 비슷하였지만 CRC-3과 CRC-4에서는 다소 큰 값을 나타내었다.

따라서 파과시간은 CRC-2가 10%, 파과시간이

576.6min로써 가장 길게 나타났고, 그 다음은 CRC-5, CRC-1, CRC-3 그리고 CRC-4의 순서로 나타났다. 즉 낮은 농도의 아연염(0.0001 N ZnCl₂와 0.0001 N Zn(NO₃)₂·6H₂O)으로 표면처리한 활성탄의 파과시간이 활성화만 시킨 활성탄에 비하여 길게 나타났다. 이것은 표면처리에 의한 활성탄의 비표면적 증가와 낮은농도의 아연염으로 처리한 것과 관련이 있으며, 결국 낮은 농도의 아연염으로 표면처리한 활성탄의 경우에 파과시간이 길게 나타난 것은 세공이 막히지 않아 비표면적이 증가하였고, ZnCl₂에 의한 틀루엔의 흡착력이 강하게 작용하였기 때문이라고 생각된다. 이것은 Zn²⁺이 에틸렌분자와 결합하면 착물을 형성하여 흡착력이 높아진다는 정미숙과 박종열(1991)이 보고한 연구결과의 이론과 일치하고 있다.

6) 각 활성탄의 포집능력

Yoon과 James(1984a)는 활성탄이 포집할 수 있는 최대능력을 계산하기 위하여 $We=FC$ 를 유도하

Table 7. The capacity of charcoal for toluene in the zinc salts treatment-activated carbon tubes with 69.02ppm(260.1mg/m³)spiked sampling

	CRC-1	CRC-2	CRC-3	CRC-4	CRC-5
We(mg/tube)	48.6	53.9	40.0	29.3	47.4

We=FCτ
 We; Maximum weight of adsorbed toluene(mg/tube)
 F; Sampling Rate(m³/min), 0.198 × 10⁻³ m³/min
 τ; Time required for 50% toluene breakthrough(min)
 C; Toluene concentration(mg/m³) of spike sample, 260.1 mg/m³

였다. 이 방정식에는 t=0에서 t=τ까지의 시간동안에 파과되는 오염물의 양과 t=τ에서 완전히 포화되는 시간동안 파과되는 오염물질의 양이 동일하다는 가정에서 성립된다. 본 실험의 조건들과 결과로 얻어진 상수를 이 식에 대입하여 산출한 각 그룹별 활성탄의 최대 포집능력은 Table 7과 같다. CRC-2가 53.9mg으로 가장 높게 나타났고, CRC-1와 CRC-5는 각각 48.6mg과 47.4mg으로 비슷하였다. 즉 0.0001 N ZnCl₂로 표면처리한 활성탄의 최대포집능력이 가장 크게 나타난 것은 활성탄의 비표면적의 증가와 낮은 농도의 아연염에 의한 흡착효과인 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 활성탄관을 아연염(0.0001 N ZnCl₂, 0.01N ZnCl₂, 1.0N ZnCl₂ 그리고 0.0001N Zn(NO₃)₆H₂O)으로 표면처리하여 만든 활성탄관에 0.198LPM의 유속으로 톨루엔의 기지 시료(69.02ppm, 260.1mg/m³)를 폭로시키었다. 각 그룹의 활성탄에서 발생한 톨루엔의 파과현상과 포집능력은 가스흡착력의 원리(Yoon과 James, 1984a, 1984b, 1990)에 의하여 비교분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 비표면적이 0.0001 N Zn(NO₃)₆H₂O으로 표면처리한 활성탄에서는 954.4m²/g 0.0001 N ZnCl₂로 표면처리한 활성탄에서는 830.3m²/g으로 높게 나타났다.

2) 톨루엔의 활성탄관 이동율은 낮은 농도의 아연염으로 표면처리한 활성탄에서 비교적 낮게 나타났다.

3) 파과부피는 0.0001 N ZnCl₂로 표면처리한 활성탄에서는 72.76 L로 높게 나타났고, 아연염의 농도가 높을수록 낮게 나타났다.

4) τ값은 0.0001 N ZnCl₂로 표면처리한 활성탄에서 1046.1min, 0.0001 N Zn(NO₃)₆H₂O로 표면처리한 활성탄에서 921.2min으로 높게 나타났다.

5) 10% 파과시간은 0.0001 N ZnCl₂로 표면처리한 활성탄에서 576.6min으로 가장 길게 나타났다.

6) 최대포집능력은 0.0001 N ZnCl₂로 표면처리한 활성탄에서 53.9mg/tube로 활성화만 시킨 활성탄의 48.6mg/tube보다 높게 나타났다.

결론적으로 낮은 농도의 아연염을 사용하여 활성탄의 표면을 처리하면 공기중의 톨루엔을 포집할 때에 파과가 적어지고 포집능력이 증가하였다. 낮은 농도로 표면처리한 활성탄의 포집능력이 증가한 것은 비표면적의 증가와 아연염에 의한 톨루엔의 흡착능력이 증가하였기 때문이었다.

참고문헌

- 김영규, 정문호 : 아자겝질 탄화탄과 아자겝질 활성탄에 의한 수증 Trichloroethylene의 흡착에 관한 연구. 한국환경위생학회지 1993;19(4):25-32.
- 윤명조, 이경남, 백도명, 이은영, 김광중, 안규동, 이성호, 이승권 : 작업환경 측정대상 및 측정횟수 조정제도 개발에 관한 연구보고. 한국산업안전공단 1993, 1-15.
- 이진현, 홍인석, 한돈희 : 가스흡착력의 원리에 의한 CS₂의 활성탄관 파과현상에 미치는 사료채취속도의 영향. 인제논총 1994;10(2):951-958.
- 정미숙, 박종렬 : 은이온과 아연이온으로 치환한 제올라이트 A의 탈수한 결정구조와 이것에 에틸렌을 흡착시킨 결정구조 대한화학회지 1991;35:189-195.
- 한국산업안전공단:작업환경측정에 관한 정도관리규정. 1994, II-1, II-7.
- Guenier JP, Muller J : Sampling of gaseous pollutants on activated charcoal with 900mg tubes. Ann Occup Hyg 1976;28:61-75.
- Ness SA : Air monitoring for toxic exposures, an integrated approach. Van Nostrand Reinhold, 1991,51-92.
- Peter ME : NIOSH manual of analytical methods, Method 1600,1984.
- Phillip LW, James LB : Industrial toxicology, New York, Lifetime Learning Publication, 1985,301-341.
- Rook JJ : Comparison of the removal of Halogenated

and Other organic compounds by six types of carbon in Pilot Filter, *Advances in Chemistry Series 202*, Am Chem Soc Washington DC 1983,455-480.

Saalwaechter AT, McCammon CS, Roper P, Carlberg KS : Performance testing of the NIOSH charcoal tube technique for the determination of air concentrations of organic vapors, *Am Ind Hyg Assoc J* 1977;38:476-486.

Susanne VH : Air sampling instruments, 7th edition, ACGIH, 1987;421-434.

Uholá AJ : Iodine adsorption and structure of activated carbon, *Carbon* 13,1974;347-442.

Yoon YH, James HN : Application of Gas Adsorption Kinetics I . A theoretical model for respirator cartridge service life, *Am Ind Hyg Assoc J* 1984a,45(8):509-516.

Yoon YH, James HN : Application of Gas Adsorption Kinetics II . A theoretical model for respirator cartridge service life and its practical applications, *Am Ind Hyg Assoc J* 1983b;45:517-524.

Yoon YH, James HN : Contaminant Breakthrough, A Theoretical study of charcoal sampling tubes, *Am Ind Hyg Assoc J* 1990;51(6):319-325.