

활성탄관에 포집된 혼합 유기용제의 보조탈착용매 변화에 따른 탈착률 비교

성남병원 산업의학센터, 가톨릭대학교 산업보건대학원*

김강윤 · 노인봉 · 김현욱*

— Abstract —

Desorption Efficiency of Various Cosolvents for Organic Solvent Mixtures Collected on Activated Charcoal Tube

Kang Yoon Kim, In Bong Ro, Hyun Wook Kim*

*Occupational Medical Center, Sung Nam General Hospital, Sung Nam, Korea
Graduate School of Occupational Health, Catholic University, Seoul, Korea**

The purpose of this study was to find a suitable cosolvent to CS₂ so that desorption efficiency can be improved for both polar and non-polar organic solvent mixtures collected on an activated charcoal tube. Cosolvents added to CS₂ include: DMF(N,N-dimethylformamide): CS₂ (v/v 1:99), DMF:CS₂(v/v 3:97), BC (butyl carbitol, 2-(2-butoxy ethoxy) ethanol):CS₂(v/v 1:99), and BC:CS₂(v/v 3:97)).

The results obtained were as follows :

1. Comparing the desorption efficiency of CS₂ with those of CS₂ with 1, 3, 5 % DMF and 1, 3 % BC cosolvents for two different groups of charcoal tubes each containing 8 different polar and non-polar organic solvents with 3 different concentration levels, the desorption efficiencies of the cosolvent-added CS₂ increased significantly for all polar organic solvents regardless of concentration levels tested. For non-polar organic solvents, no noticeable improvement was detected except xylene and trichloroethylene. The desorption efficiency of xylene increased significantly while that of trichloroethylene increased significantly at the lowest concentration level tested.
2. Either 5 % DMF or 3 % BC was the most suitable cosolvent because the desorption efficiency for non-polar organic solvent mixtures was similar or slightly improved compared with that of CS₂, while those of for polar organic solvent mixtures were above 75 % except for cyclohexanone.
3. The smallest variations in desorption efficiency represented by the ratio calculated from the maximum to minimum desorption efficiency for all concentration levels tested were found when 3 % BC was used as a cosolvent.

The above results indicate that the desorption efficiency of CS_2 particularly for polar organic solvent mixtures collected on a charcoal tube can be significantly improved by the use of cosolvents such as 5 % DMF or 3 % BC. A caution, however, is in order for selecting a cosolvent whenever the cosolvent itself is being used in the workplace or the impurities contained in the cosolvent may interfere with the analytical results. In addition, to improve desorption efficiencies for such organic solvents as cyclohexanone or ketones, it is recommended to use suitable collection and desorption media other than the traditional method of charcoal tube collection/ CS_2 desorption.

Key Words : Activated charcoal tube, Adsorbent, Desorption efficiency, Desorbing solution, Cosolvent, Polar organic solvent, Non-polar organic solvent.

머 리 말

작업장에서 많이 사용되고 있는 유기용제는 지방족, 방향족 또는 할로젠화 탄화수소 등의 비극성 유기용제이다. 그러나 최근 들어 이들 유기용제의 독성 문제 때문에 상대적으로 독성이 적다고 알려진 극성 유기용제의 사용이 증가되고 있는 추세이며 (Harper et al., 1993), 글리콜류와 같은 일부 극성 유기용제는 강한 독성에도 불구하고 유기용제 자체의 유용성 때문에 널리 사용되고 있기도 하다. 이러한 이유때문에 작업장에서 근로자들에게 노출되고 있는 물질은 극성과 비극성 유기용제가 혼재되어 있는 곳이 많은 실정이다. 이와 같이 극성 및 비극성 유기용제가 혼재되어 있는 경우, 우리나라에서 유기용제 포집은 주로 활성탄을 사용하고 있으며 이황화탄소(이하 CS_2)를 사용하여 탈착한 후 분석하고 있다. 그러나 CS_2 에 의한 탈착방법은 주로 작업환경 중의 비극성 유기용제의 경우에는 약 100 %의 탈착률을 보이지만 알콜류 (alcohols), 케톤류 (ketones), 에스테르 (esters) 류 등 극성 유기용제는 탈착률이 급격하게 감소되는 것으로 알려져 있으며 특히 낮은 농도에서는 그 정도가 더욱 심한 것으로 알려져 있다 (White et al, 1970; Saalwaechter et al., 1977; Dommer & Melcher, 1978; Johansen & Wendelboe, 1981; Rudling, 1988; Beck et al., 1990).

극성 유기용제의 경우는 그 종류에 따라 CS_2 에 의한 탈착의 경우 40-50 % 또는 그 이하까지 감소되는 경우도 있어 이들에 대한 탈착용매의 효율에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 국내에서도 이에 대한 연구가 진행되기 시작했다. 그러나 국내에

서 이루어진 연구는 케톤류 단일 계통에서 탈착용매에 관한 연구 (김경란과 백남원, 1995) 만이 진행되어 있는 실정이다. 이는 작업장에서 사용되는 물질에 대한 정확한 정보가 있을 때에 사용 가능한 일이며, 또 각각 (방향족 탄화수소류, 염소계 탄화수소류, 케톤류, 알콜류, 에스테르류)의 유기용제에 대한 종류별 시료 채취가 이루어졌을 때는 각각에 맞는 탈착용매를 사용하여 분석하는 것이 가장 좋은 방법이다. 그러나 극성, 비극성 유기용제가 혼재해 있고 그 성분을 확실하게 알 수 없어서 물질 각각에 대한 시료채취가 불가능한 대부분의 작업장의 유기용제를 하나의 활성탄관에 포집해 오는 경우, CS_2 에 의한 한번의 탈착으로 분석결과를 보고하는대는 무리가 있다. 미국 국립산업안전보건연구원 (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, 1994)은 작업환경중 유기용제의 탈착효율을 75 % 이상으로 권고하고 있어 혼합 유기용제 분석시 CS_2 에 의한 탈착에 문제가 있음을 시사하고 있다.

이상적인 탈착은 작업환경중에 존재하는 모든 극성 및 비극성 화합물을 한 단계에 그리고 분석에 있어서의 어떤 간섭도 없이 정량할 수 있는 것이라 할 수 있다 (Beck et al., 1990). 따라서 본 연구에서는 작업장에서 주로 사용되는 혼합 유기용제 (방향족 탄화수소류, 염소계 탄화수소류, 에스테르류, 케톤류, 알콜류 등)를 활성탄관에 포집·분석할 경우 전통적으로 비극성 유기용제 탈착에 사용되어진 CS_2 에 의한 탈착방법을 개량하기 위하여 극성유기용제와 비극성 유기용제를 동시에 분석하면서 탈착률을 향상시킬 수 있는 보조탈착용매를 선정하기 위해 연구하였다.

재료 및 방법

1. 시료 조제

본 연구는 작업장에서 근로자들에게 주로 노출되는 유기용제 중 16 가지를 방향족 탄화수소류, 염소계 탄화수소류, 알콜류, 케톤류, 에스테르류로 골고루 선택하여 이들 유기용제를 표적장기가 비슷한 것끼리, 또 극성과 비극성 유기용제가 골고루 분포되도록 편의상 8 종씩 묶어 2 군으로 나누어 탈착률 검정에 대한 실험을 실시하였다. 이러한 분류작업은 분석과정중 가스크로마토그래프(이하 GC) 칼럼에서의 분리를 용이하게 하고 분석시간을 효율적으로 줄이기 위하여 시행되었다.

1 군과 2 군으로 분류된 유기용제의 종류는 표 1과 같고 본 실험에 사용된 유기용제 표준물질은 벤젠(benzene), o-크실렌(o-xylene), 트리클로로에틸렌(trichloroethylene), 1,1,1-트리클로로에탄(1,1,1-trichloroethane), 퍼클로로에틸렌(perchloroethylene), 이소프로필알콜(isopropyl alcohol), 2-에톡시에탄올(2-ethoxy ethanol), 2-부톡시에탄올(2-butoxy ethanol), 시클로헥사논(cyclohexanone), 부틸아세테이트(butyl acetate), 에틸아세테이트(ethyl acetate) (Sigma-Aldrich, U.S.A. LC grade), 톨루엔(toluene), 메틸에틸케톤(methyl ethyl ketone), 메틸이소부틸케톤(methyl isobutyl ketone), 2-(2-부톡시에톡시)에탄올(2-(2-butoxyethoxy) ethanol, 이하

Table 1. The grouping of organic solvents used in the study

Group	Organic solvents
Group 1	benzene, o-xylene, 2-butanol, 2-ethoxy ethanol, 2-butoxy ethanol, cyclohexanone, acetone, butyl acetate
Group 2	toluene, trichloroethylene, 111-trichloroethane, perchloroethylene, isopropyl alcohol, methyl ethyl ketone, methyl isobutyl ketone, ethyl acetate

Table 2. Spiked amount of organic solvents by concentration

(Unit: mg)

Compound	KPEL ¹⁾ (ppm)	Level I ²⁾	Level II	Level III
Group 1				
benzene	10	0.0409	0.0818	0.1635
o-xylene	100	0.1637	0.3274	0.6549
2-butanol	100	0.1503	0.3007	0.6013
2-ethoxy ethanol	5	0.0217	0.0433	0.0866
2-butoxy ethanol	25	0.0839	0.1678	0.3356
cyclohexanone	25	0.0881	0.1762	0.3524
acetone	750	0.1472	0.2943	0.5887
butyl acetate	150	0.1643	0.3286	0.6571
Group 2				
toluene	100	0.1300	0.2601	0.5419
trichloroethylene	50	0.2190	0.4380	0.9125
111-trichloroethane	350	0.1988	0.3975	0.8281
perchloroethylene	50	0.2438	0.4875	1.0156
isopropyl alcohol	400	0.1178	0.2355	0.4906
methyl ethyl ketone	200	0.1208	0.2415	0.5031
methyl isobutyl ketone	50	0.1200	0.2400	0.5000
ethyl acetate	400	0.1352	0.2703	0.5631

1) KPEL: Korean permissible exposure limit (the Ministry of Labor, 1991)

2) Level I : $0.5 \times \text{KPEL}$, Level II : $1.0 \times \text{KPEL}$, Level III : $2.0 \times \text{KPEL}$

BC) (Merck, Germany, LC grade), 2-부탄올 (2-butanol) (Waco pure chemical industries LTD, Japan, GR grade), 아세톤 (acetone), N,N-디메틸포름아미드 (N,N-dimethyl formamide, 이하 DMF), 이황화탄소 (carbon disulfide, CS₂) (Junsei chemical co. LTD, Japan, GR grade)이었다.

혼합 유기용제의 탈착용매에 따른 탈착률을 결정하기 위하여 각 군별로 유기용제를 활성탄판(activated charcoal (100 mg/50 mg), SKC, U.S.A.)에 원액 상태로 3가지 농도수준을 만들어 각 농도수준당 2개씩 미량주사기 (10 µl, Hamilton, U.S.A.)를 이용하여 주입하였다. 농도수준은 작업장에서 각 1, 2군별로 8가지 유기용제가 혼합된 상태로 작업장에 존재한다고 가정했을 때 혼합 유기용제의 농도평가 산출방법에 따라 약 0.5-2.0 배의 허용농도수준이 되도록 (노동부, 1991) 하였으며, 24 시간 정도 상온에 방치한 후 각 농도별, 탈착용매별로 2회 반복실험하여 탈착률을 결정하였다.

활성탄에 주입된 각각의 유기용제의 양은 표 2와 같다. 표 2에서 유기용제의 농도는 각 1, 2 군이 따로 8가지씩 유기용제가 혼합된 상태로 작업장에서 발생된다고 가정했을 때 0.1 l/min의 유량으로 약 60-90 분간 측정했을 때의 농도이며 이는 극성, 비극성 유기용제가 혼합된 실제 작업장에서의 파과용량을 고려하여 계산된 것이다.

2. 시료 분석

시료 분석은 활성탄판을 앞·뒤층로 나누어 각각 다른 vial에 담은 후 탈착용매별로 1 ml씩 넣어 30 분 이상 흔들어 주어 (Agitator, Supelco, U.S.A.) 탈착하였다 (NIOSH, 1994). 본 연구에서 선정된 탈착용매는 앞선 연구들 (Fracchia et al., 1977; Johansen & Wendelboe, 1981; Beck et al., 1990)에서 보고된 DMF, dichloromethane, DMF/CS₂, BC/CS₂, methanol/CS₂, isopropyl alcohol/CS₂, ethanol/CS₂, acetone/CS₂ 등을 참조한 후 적절한 탈착효율을 보였다고 보고한 DMF/CS₂와 BC/CS₂를 분석에서의 간섭현상 등을 고려하여 적절한 비율로 혼합하여 사용하였다. 본 연구에서 사용된 탈착용매에 대한 보조탈착용매의

비율은 CS₂ 단독, DMF/CS₂ (1/99, v/v, 이하 1 % DMF), DMF/CS₂ (3/97, v/v, 이하 3 % DMF), DMF/CS₂ (5/95, v/v, 이하 5 % DMF), BC/CS₂ (1/99, v/v, 이하 1 % BC), BC/CS₂ (3/97, v/v, 이하 3 % BC)로 하였으며 이에 대한 탈착률은

$$\text{탈착률 (\%)} = \frac{\text{검출량}}{\text{주입량}} \times 100 \text{로 결정하였다.}$$

본 실험은 불꽃 원자화 검출기 (flame ionization detector (FID))가 장착된 가스 크로마토그래프 (Varian star 3400 CX, U.S.A., range=11, injection volume; 1 µl, capillary column; Rtx-502.2 (30 m × 0.32 mm I.D., Group 1), HP-20M (50 m × 0.32 mm I.D., Group 2))를 사용하여 한 시료당 3회씩 자동시료주입기 (Autosampler, Varian 8200 CX, U.S.A.)를 이용하여 주입하였고 이에 대한 평균값을 산출하였다.

3. 자료분석

본 실험에서 통계분석은 SAS 프로그램을 이용하여 농도 수준별, 용매 종류별 탈착률의 평균값 및 표준편차를 구하였고 농도별, 용매 종류별 탈착률에 차가 있는지 알아보기 위하여 ANOVA 분석을 시행하였다. 그리고 다중비교 결과를 알아보기 위하여 Student-Newman-Keuls (이하 SNK)을 실시하였다.

또한 각 활성탄에 주입된 유기용제의 농도에 따라 탈착용매의 종류별로 변이가 얼마나 되는지 알아보기 위하여 탈착용매별로 농도에 따른 최대 탈착률에 대한 최소 탈착률의 비를 산출하였는데 최대 탈착률에 대한 최소 탈착률의 비는 (Beck et al., 1990)

$$\text{비} = \frac{\text{최대탈착률 (\%)}}{\text{최소탈착률 (\%)}} \text{로 산출하였다.}$$

성 적

혼합 유기용제 (극성 및 비극성 유기용제)를 활성탄판에 포집한 후 이들 유기용제에 대한 탈착효율을

구한 결과는 표 3, 4와 같다.

표 3은 활성탄관내의 혼합 유기용제를 CS₂ 단독으로, 그리고 CS₂내 DMF 농도를 1, 3, 5 %로 보조탈착용매의 혼합비율을 바꾸어 가면서 탈착했을 때의 탈착률을 나타낸 것이다.

CS₂를 단독으로 사용하여 구한 탈착률은 농도 및 유기용제의 종류에 따라 차이는 있지만 방향족 탄화수소류의 경우 91.93~105.96 %, 염소계 탄화수소류의 경우는 99.67~103.15 %, 알콜류의 경우 LOD(limit of detection) 이하~76.74 %, 케톤류의 경우 39.89~88.63 %, 에스테르류의 경우 81.69~101.97 %였다. 방향족 탄화수소류와 염소계 탄화수소류의 경우에는 약 100 %에 가까운 탈착률을 보였지만 본 실험에서 대상으로 삼은 알콜류와 케톤류에서 NIOSH에서 제시한 75 % 이하의 탈착결과를 보였다. 또한 트리클로로에틸렌과 퍼클로로에틸렌을 제외한 모든 유기용제에서 각 농도가 높아질수록 탈착률이 유의하게 증가되는 경향을 보였는데 특히 극성 유기용제의 경우에는 매우 유의하게 증가하였다(P<0.01). 또 비극성 유기용제중에서는 벤젠과 크실렌의 경우 농도가 증가됨에 따라 매우 유의하게(P<0.01), 톨루엔과 111-트리클로로에탄에서는 유의하게 증가하였다(P<0.05).

1 % DMF로 탈착하였을 경우, 탈착률은 방향족 탄화수소류의 경우 98.25~104.09 %, 염소계 탄화수소류의 경우 95.47~104.23 %, 알콜류의 경우 54.68~95.44 %, 케톤류의 경우 48.41~101.21 %였으며 에스테르류의 경우 100.33~104.31 %으로 나타나, CS₂단독으로 탈착했을 경우보다 알콜류와 케톤류의 경우 종류에 따라서는 현저한 증가현상을 보이기도 하였으나 2-에톡시에탄올, 2-부톡시에탄올과 시클로헥사논의 경우에는 75 %보다 낮은 탈착률을 보였다. 나머지 방향족 탄화수소류나 염소계 탄화수소류 및 에스테르류의 경우에는 CS₂ 단독으로 탈착했을 때와 다름없는 약 100 %에 가까운 탈착률을 보이거나 약간의 증가현상을 보였다. 비극성 유기용제인 톨루엔에서는 농도가 증가함에 따라 탈착률이 매우 유의하게(P<0.01), 트리클로로에틸렌은 유의하게 증가하였다(P<0.05). 극성 유기용제의 경우 메틸에틸케톤, 메틸이소부틸케톤, 시클로헥사논, 아세톤, 에틸아세테이트의 경우 매우 유의하게 증가하였다(P<0.01). 또한 CS₂의 탈착률과 비교해서도

시클로헥사논을 제외한 대부분의 극성 유기용제에서 탈착률이 매우 유의하게 증가하였다(P<0.01).

또 3 % DMF로 탈착하였을 경우, 탈착률은 방향족 탄화수소류의 경우 98.15~103.73 %, 염소계 탄화수소류의 경우 99.39~102.15 %, 알콜류의 경우 75.12~97.15 %, 케톤류의 경우 61.43~99.62 %였으며 에스테르류의 경우 100.71~103.23 %으로 나타나, CS₂단독으로 탈착했을 경우보다 매우 유의하게 증가하였다(P<0.001). 또한 시클로헥사논을 제외한 모든 유기용제의 탈착률이 75 % 이상 유의한 증가를 보였으며 나머지 방향족 탄화수소류나 염소계 탄화수소류 및 에스테르류의 경우에도 CS₂ 단독으로 탈착때와 다름없이 100 %에 가까운 탈착률을 보였다. 그러나 시클로헥사논의 경우에는 3 % DMF에서도 탈착률은 약간의 향상 정도에 그쳐 NIOSH에서 제시한 75 % 탈착률에는 미치지 못하였다. 3 % DMF를 탈착용매로 사용했을 경우 각 농도간에 유의한 차를 보인 유기용제는 없었다.

또 5 % DMF로 탈착했을 때, 탈착률은 방향족 탄화수소류의 경우 95.86~104.13 %, 염소계 탄화수소류의 경우 98.50~103.28 %, 알콜류의 경우 82.79~100.30 %, 케톤류의 경우 50.60~103.08 %였으며 에스테르류의 경우 101.98~107.45 %으로 나타나, 시클로헥사논을 제외한 모든 유기용제의 탈착률이 75 % 이상의 탈착률을 보였다. 시클로헥사논의 경우에는 5 % DMF에서도 탈착률은 크게 향상되지 않았을 뿐 아니라 3 % DMF로 탈착했을 때보다 낮은 결과를 나타내 오히려 CS₂ 단독으로 탈착했을 때와 1 % DMF로 탈착했을 때와 다중비교 결과 차이가 없는 것으로 나타났다. 비극성 유기용제 경우 벤젠과 트리클로로에틸렌은 농도가 높아질수록 매우 유의하게(P<0.01), 톨루엔과 크실렌은 유의하게(P<0.05) 탈착률이 증가하였다. 극성 유기용제중에서는 2-에톡시에탄올, 2-부톡시에탄올, 시클로헥사논과 아세톤의 경우 농도가 증가함에 따라 매우 유의하게 증가되었다(P<0.01).

Beck et al. (1990)이 제안한 혼합 유기용제의 탈착용매로써 2-(2-butoxyethoxy) ethanol(butyl carbitol, BC)을 CS₂에 혼합하여 농도를 1, 3 %으로 하여 활성탄관내 혼합 유기용제의 탈착률을 실험한 결과는 표 4와 같다.

1 % BC로 탈착하였을 때, 탈착률은 방향족 탄화

수소류의 경우 96.25~104.41 %, 염소계 탄화수소류의 경우 99.38~102.76 %, 알콜류의 경우 67.96~93.67 %, 케톤류의 경우 67.72~101.24 %였으며 에스테르류의 경우 100.57~103.27 %으로 나타나 CS_2 단독으로 탈착했을 때보다 부틸아세테이트를 제외한 모든 극성 유기용제에서 통계적으로 매우 유의하게 증가하였다($P<0.01$). 그러나 2-에톡시에탄올과 시클로헥사논의 경우 NIOSH에서 제시한 75 % 탈착률을 넘지는 못하였다. 또 극성 유기용제의 경우 CS_2 로 탈착했을 때보다 매우 유의한 증가를 나타냈으나($P<0.01$), 1 % DMF와 비교했을 때 이소프로필알콜, 2-부탄올, 메틸에틸케톤, 아세톤, 에틸아세테이트, 부틸아세테이트의 경우에는 통계적으로 유의한 차를 보이지 않았다. 3 % DMF로 탈착했을 때와는 거의 비슷한 결과를 보여 다중비교 결과 2-부톡시에탄올, 2-부탄올, 메틸에틸케톤, 메틸이소부틸케톤, 시클로헥사논, 아세톤, 에틸아세테이트, 부틸아세테이트의 경우 차이가 없었다. 또한 농도간의 차를 살펴본 결과 비극성 유기용제는 농도가 높아짐에 따라 크실렌 ($P<0.01$), 벤젠, 톨루엔, 111-트리클로로에탄 ($P<0.05$)이 유의하게 증가하였다. 극성 유기용제중에는 시클로헥사논의 경우 각 농도간에 매우 유의하게($P<0.01$) 부틸아세테이트의 경우 유의하게 증가하였다($P<0.05$).

또 3 % BC로 탈착하였을 때, 탈착률은 방향족 탄화수소류의 경우 98.37~103.69 %, 염소계 탄화수소류의 경우 100.52~103.06 %, 알콜류의 경우 85.39~98.27 %, 케톤류의 경우 70.81~107.15 %였으며 에스테르류의 경우 101.54~104.67 %으로 나타났다. 1 % BC와 비교했을때 이소프로필알

콜, 2-에톡시에탄올, 2-부톡시에탄올, 아세톤에서 매우 유의하게 증가하였으며($P<0.01$) NIOSH에서 정한 75 % 탈착률보다 증가되는 경향을 보여 적절한 탈착용매인 것으로 판단되었다. 그러나 시클로헥사논의 경우 NIOSH에서 제시한 75 % 탈착률에 미치지 못하였다. 5 % DMF와 비교했을 때 시클로헥사논과 아세톤을 제외한 모든 유기용제간에 탈착률 차이가 없는 것으로 나타났다. 농도에 따른 차이가 있는지 알아본 결과에서는 톨루엔의 경우에서만 농도에 따른 매우 유의한 증가를 보였을 뿐($P<0.01$), 나머지 15가지 물질의 경우에는 농도간의 유의한 차를 보이지 않았다.

그림 1은 혼합 유기용제의 탈착용매로써 CS_2 단독으로, CS_2 에 보조탈착용매로써 DMF를 1, 3, 5 % 첨가했을 때와 BC를 1, 3 % 첨가했을 때 방향족 탄화수소류, 염소계 탄화수소류, 알콜류, 케톤류, 에스테르류등 종류별 탈착률을 그래프로 나타낸 것이다. 비극성 유기용제인 방향족 탄화수소류와 염소계 탄화수소류의 경우에는 탈착용매의 종류에 상관없이 일정하게 약 100 %의 탈착률을 유지하고 있지만 알콜류와 케톤류, 에스테르류에서는 CS_2 단독으로 탈착했을 때에 비해 보조탈착용매로써 DMF나 BC를 첨가했을 때 유의한 증가를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 5는 사용된 탈착용매의 종류에 따른 농도간 탈착률 변이(ranges of desorption efficiency)를 나타낸 것으로써 표 3, 4에서 볼 수 있듯이 일부 비극성 유기용제 및 극성 유기용제의 경우 활성탄에 부하된 양에 따라 탈착률에 차이가 있어 최대탈착률에 대한 최소탈착률의 비가 크게 나타나는 것을 볼

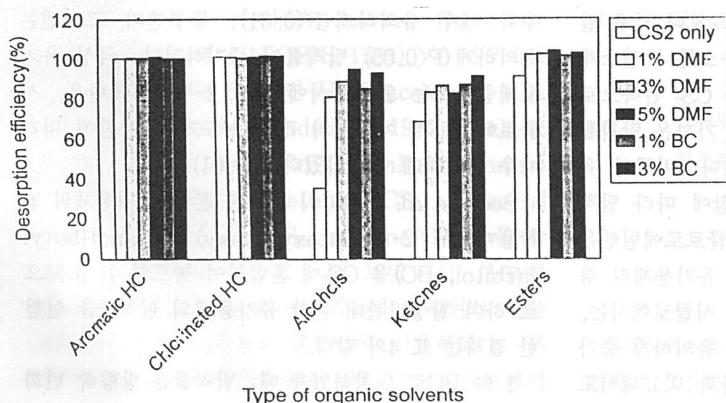


Fig. 1. The desorption efficiency(%) for the type of organic solvents by desorbing solution.

Table 3. Desorption efficiency(%) for organic solvent mixtures by CS₂ and DMF(N,N-dimethyl- formamide)

Type	Compounds	Conc. Level	Desorption Efficiency by Desorbing Solution, %							
			CS ₂ only		DMF:CS ₂ (1:99)		DMF:CS ₂ (3:97)		DMF:CS ₂ (5:95)	
Aromatic Hydro-carbon	benzene	I ^(a)	99.75±2.37	102.62	101.18±1.51	101.89	103.73±5.12	102.28	95.86±1.03	100.36
		II ^(a)	102.14±0.80	±3.00**	102.64±1.50	±1.66	102.31±0.49	±3.50	102.80±1.16	±3.47**
		III ^(a)	105.96±0.80		101.84±2.05		100.79±3.56		102.43±1.10	
	toluene	I	98.66±2.39	100.62	98.25±1.54	100.83	98.15±2.55	100.12	97.67±3.55	100.74
		II	100.93±1.55	±2.18*	100.16±1.73	±2.85**	100.23±2.216	±2.42	101.02±1.96	±1.62*
		III	102.27±0.62		104.09±0.85		101.97±0.54		103.53±1.67	
	o-xylene	I ^(a)	91.93±2.90	98.20	99.43±2.62	99.38	101.00±3.59	103.23	100.34±1.83	102.63
		II ^(a)	98.78±1.80	±5.42**	99.60±0.45	±1.6610	102.31±0.49	±3.25	103.41±0.90	±2.45*
		III ^(a)	103.87±0.40		99.10±1.68		100.79±2.56		104.13±2.66	
	sub-total		100.48±4.11		100.70±2.32		100.724±3.03		101.24±3.21	
Chlorinated Hydro-carbon	trichloroethylene	I ^(a)	101.22±0.72	101.10	99.19±2.60	0.89	100.15±1.54	100.80	98.50±1.62	101.12
		II	100.98±0.57	±0.53	100.26±0.30	±2.28*	100.90±1.05	±1.11	101.78±2.22	±2.51**
		III	101.10±0.38		103.22±0.75		101.34±0.34		103.08±0.81	
	1,1,1-trichloroethane	I	100.76±1.09	102.17	103.70±4.02	103.38	99.78±2.52	101.19	100.92±2.69	101.83
		II	103.15±1.12	±1.51*	102.22±0.94	±2.68	101.64±2.69	±2.37	101.28±2.40	±2.70
		III	102.61±1.30		104.23±2.52		102.15±1.68		103.28±3.09	
	perchloroethylene	I	99.67±4.99	100.57	95.47±4.40	99.12	99.39±2.49	99.87	99.41±0.54	100.44
		II	101.22±2.36	±3.01	99.00±1.48	±2.90	99.96±1.18	±1.53	100.41±1.80	±1.62
		III	100.81±0.96		99.49±3.87		100.27±0.65		101.51±1.77	
	sub-total		101.28±2.03		101.13±3.11		100.62±1.79		101.13±2.33	
Alcohols	isopropyl alcohol	I ^(a)	59.65±2.04	61.82	88.29±3.06	90.04	92.58±2.33	94.14	94.73±3.48	96.81
		II ^(a)	59.43±0.77	±3.82**	90.05±1.23	±3.28	94.18±3.83	±2.95	96.72±3.44	±3.68
		III ^(a)	66.38±2.70		91.79±4.51		95.68±2.32		98.97±3.70	
	2-ethoxy ethanol	I ^(a)	-a	5.09	54.99±10.23	62.28	75.12±4.84	77.60	82.79±0.84	85.05
		II ^(a)		±7.53**	54.68±6.28	±8.52	77.30±4.52	±4.37	84.64±1.36	±2.37**
		III ^(a)	15.28±0.64		67.41±5.81		80.38±2.71		87.71±1.23	
	2-butoxy ethanol	I ^(a)		10.66	74.90±5.92	78.27	83.57±4.49	86.67	96.67±0.99	97.97
		II ^(a)	8.03±1.38	±10.43**	79.77±4.18	±5.23	87.88±1.51	±3.50	96.93±1.29	±2.08**
		III ^(a)	23.97±0.41		80.14±4.99		88.57±1.74		100.30±1.53	
	2-butanol	I ^(a)	53.96±2.66	64.20	90.31±3.65	93.28	94.11±3.58	96.07	98.92±1.22	98.88
		II ^(a)	61.91±1.20	±9.98**	94.10±2.59	±3.62	97.15±0.66	±2.85	99.82±0.72	±1.60
		III ^(a)	76.74±0.75		95.44±3.00		96.95±2.96		97.91±2.22	
	sub-total		35.44±29.09		80.97±13.41		88.62±8.07		94.68±6.18	
Ketones	methyl ethyl ketone	I ^(a)	62.53±1.30	66.34	80.43±1.59	83.96	85.86±5.37	86.76	85.15±6.04	88.09
		II ^(a)	65.40±3.01	±4.30**	83.06±2.92	±4.03**	86.12±5.22	±4.60	87.39±3.75	±4.77
		III ^(a)	71.11±2.51		88.40±2.13		88.29±4.09		91.74±1.67	
	methyl isobutyl ketone	I ^(a)	83.14±0.74	85.67	95.76±2.03	97.96	99.12±1.06	99.18	98.76±1.77	100.06
		II ^(a)	85.23±2.47	±2.82**	96.92±1.67	±2.84**	98.78±1.55	±1.09	99.81±1.40	±1.91
		III ^(a)	88.63±1.44		101.21±0.82		99.62±0.61		103.08±0.81	
	cyclohexanone	I ^(a)	39.89±1.10	52.12	48.41±4.39	54.95	61.42±5.83	65.12	54.85±2.64	54.02
		II ^(a)	49.46±0.67	±11.76**	54.68±6.28	±7.00**	65.57±2.66	±5.14	50.60±0.99	±3.13**
		III ^(a)	67.01±0.64	*	61.77±1.28		68.37±4.83		56.60±1.60	
	acetone	I ^(a)	61.93±1.47	70.83	92.55±2.38	96.20	94.34±3.90	95.00	81.28±1.89	88.61
		II ^(a)	66.90±5.28	±10.17**	96.52±1.89	±3.57**	97.19±1.28	±4.62	94.88±1.64	±6.01**
		III ^(a)	83.67±1.66		99.53±2.16		93.47±1.16		89.67±0.82	
	sub-total		68.74±14.46		83.27±17.97		86.51±13.88		82.69±17.90	
Esters	ethyl acetate	I ^(a)	88.12±1.09	90.43	100.68±1.98	101.77	100.71±1.02	101.98	102.32±2.00	103.13
		II ^(a)	90.11±2.68	±2.71*	100.33±0.94	±2.34**	102.19±0.63	±1.49	102.91±1.79	±1.69
		III ^(a)	93.04±1.52		104.31±1.52		103.05±1.71		104.17±0.93	
	butyl acetate	I ^(a)	81.69±2.74	91.58	102.92±1.90	103.00	103.39±4.94	103.23	101.98±1.14	105.50
		II ^(a)	91.07±1.39	±8.82**	103.18±1.90	±1.83	103.23±0.89	±3.25	107.45±1.01	±2.80**
		III ^(a)	101.97±0.84		102.89±2.23		103.05±3.67		107.07±1.28	
	sub-total		91.00±6.41		102.39±2.15		102.61±2.55		104.31±2.57	

a : less than limit of detection(the LOD of 2-ethoxy ethanol is 0.0021 mg, and of 2-butoxy ethanol is 0.0062 mg)

* : Significant difference among concentration levels(P<0.05); ** : Significant difference among concentration levels(P<0.01)

(1) Significant difference among desorbing solutions within a concentration level(P<0.05)

(2) Significant difference among desorbing solutions within a concentration level(P<0.01)

Table 4. Desorption efficiency(%) for organic solvent mixtures by CS₂ and BC(butyl carbitol®)

Type	Compounds	Conc. Level	Desorption Efficiency by Desorbing Solution, %			
			BC:CS ₂ (1:99)		BC:CS ₂ (3:97)	
Aromatic Hydro-carbon	benzene	I	104.41±3.56		101.44±2.14	
		II	99.36±0.98	101.59	100.80±0.55	100.78
		III	101.00±1.73	±3.06*	100.09±2.07	±1.68
	toluene	I	100.88±0.55		99.29±1.43	
		II	101.73±0.37	102.11	101.46±1.42	101.48
		III	103.70±1.09	±1.40*	103.69±1.16	±2.23**
	o-xylene	I	97.96±1.41		99.84±3.21	
		II	96.25±0.09	97.86	99.19±1.28	99.13
		III	99.36±0.45	±1.54**	98.37±5.34	±3.38
	sub-total		100.52±2.83		100.46±2.65	
Chlorinated Hydro-carbon	trichloroethylene	I	102.76±0.62		101.56±0.84	
		II	101.31±1.30	102.25	102.02±1.90	102.22
		III	102.69±2.06	±1.49	103.06±0.66	±1.31
	111-trichloroethane	I	99.38±2.39		100.52±0.67	
		II	101.93±1.01	101.24	101.37±1.68	101.43
		III	102.41±0.21	±1.94*	102.40±2.99	±1.99
	perchloroethylene	I	101.52±6.30		101.89±2.36	
		II	102.19±6.10	101.91	100.80±1.40	101.60
		III	102.03±1.35	±4.64	102.11±0.35	±1.56
	sub-total		101.80±2.97		101.75±1.64	
Alcohols	isopropyl alcohol	I	88.24±3.83		91.19±3.12	
		II	89.00±1.81	89.52	93.48±2.22	93.69
		III	91.32±0.82	±2.64	96.39±3.05	±3.39
	2-ethoxy ethanol	I	67.96±4.78		87.95±4.40	
		II	73.10±3.15	71.39	85.39±3.90	86.44
		III	73.09±4.39	±4.54	85.98±3.06	±3.64
	2-butoxy ethanol	I	85.84±2.07		94.85±6.48	
		II	85.09±0.16	85.71	93.57±4.11	93.46
		III	86.19±2.12	±1.62	91.97±7.14	±5.61
	2-Butanol	I	93.85±5.54		97.86±4.60	
		II	93.62±0.91	93.71	98.04±2.18	98.06
		III	93.67±3.61	±3.49	98.27±1.58	±2.79
	sub-total		85.08±9.05		92.91±5.72	
Ketones	methyl ethyl ketone	I	85.11±2.63		84.97±4.43	
		II	85.48±3.09	86.40	86.93±3.39	87.47
		III	88.62±3.39	±3.21	90.50±1.42	±3.84
	methyl isobutyl ketone	I	100.14±0.89		99.49±0.90	
		II	99.24±1.12	100.21	99.81±1.50	100.37
		III	101.24±1.62	±1.42	101.80±0.53	±1.43
	cyclohexanone	I	69.47±0.05		71.92±6.49	
		II	67.72±1.16	70.04	70.81±3.89	71.67
		III	72.92±1.32	±2.44**	72.28±2.03	±4.14
	acetone	I	88.90±11.60		104.19±4.66	
		II	93.82±0.41	91.54	106.05±4.72	105.80
		III	91.90±4.06	±6.76	107.15±13.78	±8.09
	sub-total		87.05±11.76		91.33±14.14	
Esters	ethyl acetate	I	101.44±1.25		101.54±2.211	
		II	100.57±1.41	101.44	101.77±1.79	102.19
		III	102.33±2.03	±1.63	103.27±1.71	±1.9
	butyl acetate	I	101.31±1.59		104.67±2.35	
		II	100.87±0.31	101.82	103.98±1.49	103.93
		III	103.27±0.35	±1.39	103.12±5.13	±3.12
	sub-total		101.63±1.49		103.06±2.68	

b: BC : butyl carbitol , [2-(2-butoxy ethoxy) ethanol]

*: Significant difference among concentration levels(P<0.05) **: Significant difference among concentration levels(P<0.01)

Table 5. The ratio of maximum to minimum desorption efficiency by CS₂ only, and DMF and butyl carbitol® (BC) in CS₂.

Compounds	Ratio by Desorbing Solution					
	CS ₂ only	1% DMF	3% DMF	5% DMF	1% BC	3% BC
benzene	1.06	1.01	1.03	1.07	1.05	1.01
toluene	1.04	1.03	1.01	1.02	1.01	1.00
o-xylene	1.13	1.01	1.02	1.04	1.03	1.01
trichloroethylene	1.03	1.03	1.01	1.03	1.01	1.02
111-trichloroethane	1.05	1.00	1.02	1.02	1.06	1.02
perchloroethylene	1.04	1.04	1.01	1.01	1.04	1.02
isopropyl alcohol	1.16	1.03	1.03	1.03	1.06	1.04
2-ethoxy ethanol	-	1.23	1.07	1.06	1.08	1.03
2-butoxy ethanol	-	1.07	1.06	1.04	1.01	1.03
2-butanol	1.42	1.06	1.03	1.02	1.00	1.00
methyl ethyl ketone	1.18	1.09	1.02	1.06	1.05	1.01
methyl isobutyl ketone	1.10	1.05	1.00	1.01	1.02	1.00
cyclohexanone	1.68	1.28	1.11	1.12	1.08	1.02
acetone	1.35	1.08	1.04	1.17	1.03	1.03
ethyl acetate	1.09	1.03	1.02	1.01	1.03	1.03
butyl acetate	1.25	1.00	1.00	1.05	1.02	1.02
Mean	1.1842	1.0650	1.0300	1.0475	1.0362	1.0181

수 있다.

탈착용매로써 CS₂만을 단독으로 사용하였을 때 그 변이가 최대로 극성유기용제의 경우 1.68까지 증가된 경우도 있었으며 보조탈착용매를 첨가했을 때 감소된 결과를 보였다. CS₂ 단독으로 탈착했을 경우 그 비가 1.68이었던 시클로헥사논의 경우 3 % BC를 사용했을 때 1.02까지 줄어들었다. 시클로헥사논 다음으로 농도에 따른 탈착률의 차가 컸던 아세톤이나 2-부탄올의 경우에도 각각 1.35, 1.42에서 1.03, 1.00까지 그 비가 감소되었다. 극성 유기용제뿐 아니라 비극성 유기용제의 경우에도 탈착용매에 따라 큰 차이는 아니었지만 약간 개선된 결과를 보였다.

고 찰

가스나 증기 상태의 물질을 포집하는데 사용되는 흡착제는 크게 무기흡착제 (inorganic adsorbents), 카본흡착제 (adsorbents on the basis of carbon), 그리고 다공성 고분자흡착제 (porous polymer) 3가지로 나눌 수 있다. 무기흡착제 (inor-

ganic adsorbents)는 활성 알루미늄 산화제 (activated aluminum oxides), 실리카겔과 제올라이트 (zeolite, molecular sieve)가 있고, 카본흡착제에는 활성탄, carbosieve나 carbopack과 같은 흡착제가 있으며, 다공성 고분자흡착제에는 Tenax GC, Porapak N, P, Q, R, S, T와 Amberlite XAD synthetic resin (XAD-1, 2, 4, 7, 8), Chromosorb 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108이 이에 포함된다 (Crisp, 1980; Henschler & Kettrup, 1993). 이 중 작업환경 중의 가스나 증기상의 물질을 포집할 때 주로 사용되어 왔던 흡착제는 활성탄과 실리카겔이었다. 활성탄은 작업환경 중의 유기용제를 포집하는데 널리 이용되고 있으며 그 사용 범위 또한 대단히 넓다.

활성탄은 흑연성 표면 (graphite like surface)과 표면 산화물 (surface oxide)로 구성되어 있다. 그런데 지방족 탄화수소는 전자공여체 (electron donor)나 전자수용체 (electron acceptor)가 없으므로 흑연성 표면에 흡착되지만 케톤류나 알콜류와 같은 전자교환이 가능한 물질은 흑연성 표면과 표면 산화물 양쪽에 흡착된다. 이렇게 흡착된 유기용제는

CS₂와 같은 탈착용매에 의해 흡착 표면으로부터 떨어져 나오게 되는데 CS₂는 표면 산화물과는 반응하지 않기 때문에 이 부분에 흡착된 극성유기용제는 그대로 남아 있게 된다. 이런 이유로 극성 유기용제의 탈착효율은 CS₂에 의한 탈착에 의해 낮아진다고 한다(Rudling, 1986; Beck et al., 1990).

활성탄관법에 의해 포집된 유기용제의 탈착용매로는 주로 CS₂가 사용되어져 왔다. 이는 혼합 상태로 존재하는 유기용제의 경우 비극성 유기용제의 탈착에 비극성 탈착용매를 사용함으로써 경쟁적인 흡착(competitive adsorption)이 일어나도록 하는 것이다(Fracchia et al., 1977; Mueller & Miller, 1979). 활성탄관에 포집된 유기용제는 활성탄과 탈착용매의 상평형(phase equilibrium)에 의해 탈착용매쪽으로 유기용제가 탈착되어지는 것으로서 습도, 흡착제 종류, 탈착 용매, 탈착용매의 양, 탈착 온도, 탈착시간 등 여러가지 인자에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Dommer & Melcher, 1978).

본 연구에서는 비극성 유기용제와 극성 유기용제가 혼합된 작업환경에서 활성탄관을 이용해 채취한 시료를 보조탈착용매를 적절히 혼합 사용하여 최소 75 %이상 탈착이 가능한 탈착용매를 선정하고자 하였다.

CS₂ 단독으로 탈착했을 때 Johansen과 Wendelboe(1981)가 보고한 탈착률(비극성 유기용제: 93.69~101.77 %, 극성 유기용제: 37.82~103.92 %)보다 극성 유기용제의 경우 상당히 낮은 결과를 보였고 비극성 유기용제의 경우에는 비슷한 결과를 보였다. Burnett(1976)은 실험에 사용된 유기용제의 종류가 본 실험과는 조금씩 다르지만 비극성 유기용제의 경우 95~105 %, 극성 유기용제의 경우 44~94 %의 결과를 보여, 유기용제중 극성 유기용제의 경우 본 실험이 더 낮은 탈착결과를 보였다. 또 Beck et al. (1990)은 비극성 유기용제의 경우 93~107 %, 극성 유기용제의 경우 가장 탈착률에 문제가 된 2-에톡시에탄올의 14~71 %를 포함하여 103 %까지의 탈착률을 보고하였다. 비슷하게 Posner와 Okenfuss(1981)는 2-부톡시에탄올의 경우 14~77 %의 탈착결과를 보고하였다. 본 실험의 결과가 이와 같이 앞선 보고들보다 더 낮은 탈착률을 보인 이유는, 활성탄관에 주입한 유기용제의 양

이 앞선 실험들보다 더 낮은 농도를 대상으로 했기 때문으로 보인다. 특히 극성 유기용제의 경우 적은 양의 유기용제가 활성탄관에 부하되었을 때 탈착시 탈착률이 저하되었다는 Posner와 Okenfuss(1981), Rudling과 Bjorkholm(1986), Ballesta et al. (1995)의 결과와 동일한 결과를 보여주는 것이다. Saalwaechter et al. (1977)은 극성유기용제의 농도가 낮을수록 활성탄표면에 약간의 분석물질은 비가역적으로 항상 결합되어 있어 탈착되지 않기 때문에 이같은 결과를 나타낸다고 하였다. 또 Burnett(1976)의 경우 활성탄관의 종류를 MSA사의 활성탄관을 사용했기 때문에 본 실험에서 사용한 SKC사의 활성탄관과 표면적을 포함한 물리적, 화학적 성질이 각 제조회사마다 다를 수 있는 점도 탈착률에 영향을 주는 요소로 사료되었다(Rudling, 1986).

또 CS₂에 DMF를 각각 1, 3, 5 % 첨가하거나 BC를 각각 1, 3 % 첨가한 후 혼합 유기용제를 탈착한 본 연구결과는 5 % DMF로 시클로헥사논의 탈착률이 75 % 이상 개선된 결과를 보인 김경란과 백남원(1995) 결과와는 달랐다. 이는 연구대상 물질이 김경란과 백남원(1995)의 경우는 케톤류의 4가지 물질에 제한되었던 반면, 본 연구대상은 작업장에서 근로자에게 노출될 가능성이 있는 혼합 유기용제였기 때문에 경쟁적인 흡착 또는 탈착과정에서 차이가 있었을 것으로 판단된다.

또한 활성탄관내 유기용제 부하량에 따라 탈착률이 달라지는 변이는 농도에 따른 탈착률의 차가 적을수록 탈착률이 안정된 결과를 보인다고 볼 수 있다(Beck et al., 1990). 그러므로 탈착률이 75 % 이상인 결과를 나타내고 농도에 따른 탈착률의 차가 적은 탈착용매를 결정하기 위하여 최대탈착률에 대한 최소탈착률의 비를 산출한 결과, CS₂를 단독으로 사용했을 경우 대부분의 극성 유기용제는 변이가 큰 편이었고 비극성 유기용제의 경우에도 농도에 따른 차가 있는 것으로 나타났다. 그러나 보조탈착용매의 사용으로 농도에 따른 차가 감소되어 3 % BC를 사용했을 때 가장 그 비가 적어 안정된 보조탈착용매로 평가되었다. 이는 Beck et al. (1990)의 결과와 비교했을 때 CS₂를 사용한 경우는 물질에 따라 약간의 차이는 있지만 거의 비슷한 결과를 보였다. Beck et al. (1990)은 가장 적절한 탈착용매로 5 %

BC를 권고하였으나 5 % BC는 2-에톡시에탄올의 경우 변이가 1.11이었던 반면, 본 연구에서 3 % BC의 결과는 1.03으로써 더 나은 결과를 보인 것으로 나타났다.

혼합 유기용제를 탈착함에 있어 사용된 탈착용매는 여러 보고들에 의해 제시되고 있는데 Beck et al. (1990)은 메탄올을 CS₂에 혼합한 방법과 BC를 CS₂에 혼합 사용함으로써 혼합 유기용제의 탈착률을 개선하였음을 보고하였다. 이 연구에서 Beck et al. (1990)은 5 % BC를 사용했을 때 가장 좋은 결과를 보였다고 하였다. Johansen과 Wendelboe (1981)는 DMF를 1 ml 가하여 탈착한 결과 CS₂를 사용했을 때와는 반대로 극성 유기용제의 탈착률은 개선되었으나 비극성 유기용제의 탈착률은 감소되는 결과를 보고하였다. Fracchia et al. (1977)은 극성 유기용제의 탈착효율을 최대화 하기 위하여 DMF나 디클로로메탄과 같은 극성용매를 사용하여 탈착하거나 1 % 또는 5 %의 메탄올, 이소프로필알콜, 에탄올이나 아세톤을 CS₂에 혼합 사용함으로써 탈착률이 증가하였다고 하였다. 김경란과 백남원(1995)은 DMF, methanol 그리고 BC의 농도를 CS₂에 일정량씩 증가시키면서 실험한 결과 10 % DMF를 CS₂에 혼합한 실험에서 케톤류의 탈착효율이 최대가 되는 결과를 얻었다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 5 %의 DMF와 3 % BC만으로도 시클로헥사논을 제외한 전체 유기용제의 탈착률이 개선되는 결과를 얻을 수 있었다.

5 % DMF나 3 % BC나 비슷한 결과를 얻었으나, 3% BC가 탈착률의 결과와 활성탄에 부하된 유기용제의 양에 따른 변이가 가장 적어 적절한 보조탈착용매로 평가되었다.

본 연구결과 CS₂ 단독탈착의 문제점은 2-에톡시에탄올과 2-부톡시에탄올의 탈착효율이 급격하게 떨어져서 NIOSH에서 제시한 75 %이상의 결과를 보이지 않아 탈착률 적용에 있어서 농도에 따른 정확성 및 정밀성의 문제점이 따를 뿐 아니라 미량의 유기용제가 흡착된 경우에는 다른 보조탈착용매를 사용할 경우 충분히 검출할 수 있는 양의 시료도 CS₂만으로 탈착했기 때문에 검출하지 못한 채 지나쳐 버리는 경우도 발생할 수 있다는 것이다.

DMF를 보조탈착용매로 사용했을 경우는, 탈착률은 개선되어 좋으나 DMF가 작업장에서 때때로 사

용되고 있는 유기용제중의 하나인 점이다. 따라서 작업장에서 사용되는 유기용제중에 DMF가 포함되어 있을 경우 DMF에 의한 탈착이 활성탄에 흡착된 DMF의 간섭으로 인해 문제점으로 지적될 수 있다.

이러한 문제를 극복할 수 있는 점에서 BC를 보조탈착용매로 사용을 권장할 수 있다. 그러나 BC의 사용상의 문제점은 5 % BC를 사용했을 때 탈착용액에 포함되어 있는 2,3-헥산디올(2,3-hexanediol), 2,3-부탄디올(2,3-butanediol)과 2-부톡시에탄올에 의한 영향이다. 이는 본 연구에서 GC/mass spectrometer(SATURN 2000, Varian, U.S.A.)를 사용 이러한 물질의 존재를 확인하였으며, 연구결과도 아세톤, 2-부탄올과 2-부톡시에탄올이 과대 평가되었다. 따라서 작업환경중 2-부탄올이나 2-부톡시에탄올 등이 포함되어 있을 경우 GC 칼럼의 종류에 따라서는 시료를 분석할 때 과대평가할 가능성이 있으며, 특히 낮은 농도의 경우에는 더욱 그 가능성이 높다고 하겠다. 또한 시클로헥사논의 경우에는 BC를 사용해도 NIOSH에서 권고한 75 % 이상의 탈착률을 보이지 않아 단점으로 지적된다. 본 실험에서 5 % BC를 탈착용매로써 사용하지 않은 이유는 이와같은 과대평가의 가능성이 있었기 때문이었다. 또한 BC에 의해 DMF를 사용하거나 CS₂만을 단독으로 사용했을 때보다 분석시간이 5~7 분정도가 더 길어질 수 있으므로 이점을 감안하여 DMF나 BC를 택일하여 분석에 임하는 것이 현명하다고 생각된다.

DMF나 BC를 보조탈착용매로 사용할 때 보조탈착용매의 양을 늘려 갈수록 분석시 GC-FID에서 DMF나 BC의 검출 면적이 넓어져 다른 유기용제의 분석에 간섭을 일으킬 수도 있다. 그러므로 DMF, BC 등의 보조탈착용매의 농도를 CS₂에서 증가시키고자 할 때에는 이점을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

여러문헌에서 밝힌 바와 같이(Rudling et al., 1986; OSHA, 1979, 1988) 케톤류의 경우 저장시간이나 온도, 습도에 따른 차가 탈착률에 영향을 주었다. 또한 본 실험결과 시클로헥사논에서 나타난 것처럼 탈착률이 보조탈착용매의 사용에도 불구하고 크게 개선되지 않은 것은 활성탄표면에서의 가수분해로 인해 cyclic ketone류의 경우 손실이 심각하게 일어났다고 보고한 Rudling et al. (1986) 현상이

본 실험에서도 일어난 것으로 판단되었다. 또 CS_2 내 DMF의 농도를 점점 증가시키면서 탈착률의 증가현상을 알아본 본 연구결과에서 극성 유기용제중 메틸에틸케톤, 아세톤, 시클로헥사논의 경우 5 % DMF에서 3 % DMF로 탈착했을 때보다 오히려 낮은 탈착결과를 보였다. 이는 본 실험을 수행함에 있어 3 % DMF에 의한 실험은 계절적으로 이른봄에 실시한 반면 5 % DMF에 의한 탈착 실험은 7·8월의 여름에 실시함으로써 원액상태로 주입된 유기용제를 활성탄에 완전히 흡착시키는 과정에서 저장온도차에 의한 영향을 받지 않았나 생각된다(Melcher et al., 1978).

시클로헥사논, 아세톤이나 메틸에틸케톤 등의 경우 그 저장 안정성의 변이가 저장시간 및 저장온도, 습도 등에 의한 영향이 매우 심하기 때문에 활성탄 판에의 포집보다는 흡착제의 개선에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다. 이와 관련해 연구되어 온 흡착제로는 실리카겔을 비롯(Eliskamp & Schultz, 1983)하여 hydroquinone으로 처리한 coconut shell charcoal(Rudling et al., 1986), Ambersorb XE-348(Levin & Carleborg, 1987), Carbosieve S-III (OSHA, 1988), Chromosorb 106(OSHA, 1979) 등에 관한 것이 있다. 또한 케톤류 등의 극성 유기용제에 관한 연구를 통해 시료채취시 가장 문제가 될 수 있는 파과현상을 고려하여 시료채취용량을 최대한 하면서 탈착률 및 저장안정성이 뛰어난 Anasorb 747, CMS 등을 이용하여 좋은 결과를 얻은 경우도 있었다(Harper et al., 1993).

이상의 결과로 볼 때 작업장에 혼재해 있는 유기용제를 활성탄에 포집할 경우 CS_2 만을 단독으로 사용하여 탈착하기 보다는 5 % DMF나 3 % BC로 탈착하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 그러나 이 경우 분석 시간이나 탈착용매에 의한 다른 유기용제와의 겹침 현상이나 간섭현상 등을 고려하여 그때마다 적절한 탈착용매를 선택적으로 사용하는 것이 좋겠고, 시클로헥사논을 비롯한 메틸에틸케톤, 아세톤 등 케톤류의 경우에는 활성탄이 아닌 다른 적절한 흡착제를 사용하여 따로 포집한 후 적절한 탈착제를 사용 분석한다면 훨씬 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

또한 본 실험에서 탈착률은 유기용제가 혼합된 상

태에서의 탈착률로써 유기용제가 혼합되어 있을 때에는 유기용제가 단독으로 있을 때와는 달리 다른 화합물의 존재에 의존하기 때문에(Posner & Okenfuss, 1981), 유기용제 각각에 대한 탈착률을 알고자 할 때에는 각각의 유기용제를 활성탄에 주입한 후 따로 탈착률 검정을 실시해야 할 것으로 생각된다.

맺 음 말

본 연구는 활성탄판에 포집된 혼합 유기용제 탈착시 보조탈착용매를 사용하여 탈착효율을 개선하므로써, 작업환경에서 혼합 유기용제의 형태로 포집되는 시료 분석시 적절한 탈착용매를 제시하고자 실시하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 16가지 혼합 유기용제를 CS_2 로 탈착했을 때와 CS_2 에 보조탈착용매로 1, 3, 5 % DMF와 1, 3 % BC를 사용하여 비교한 결과, 극성 유기용제는 모든 물질에서 농도에 관계없이 통계적으로 유의한 증가경향을 보였고 비극성 유기용제중에서는 크실렌만이 통계적으로 유의하게 증가하였으며 트리클로로에틸렌의 경우 낮은 농도인 약 0.5배 허용농도수준에서만 탈착용매에 따른 유의한 증가를 보였다.
2. 5 % DMF와 3 % BC를 보조탈착용매로 사용했을때, 비극성 유기용제의 경우는 CS_2 단독으로 탈착했을 때보다 약간 증가되거나 비슷한 결과를 보였고, 극성 유기용제의 경우는 시클로헥사논을 제외하고는 75 % 이상의 탈착률을 보여 가장 좋은 탈착용매로 나타났다.
3. 농도에 따른 최대 탈착률에 대한 최소 탈착률의 비를 비교하여 안정성을 평가한 결과 3 % BC를 사용했을 때 가장 안정된 결과를 나타냈다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 작업환경중에 혼재해 있는 혼합 유기용제를 분석하기 위해서는 CS_2 만으로 탈착하는 것보다는 5 % DMF나 3 % BC를 CS_2 에 넣어 탈착한다면 분석에 있어 훨씬 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 작업장에서 다른 유기용제와 함께 DMF가 사용되고 있다면 이 경우에는 BC를 보조탈착용매로 사용하여 간섭을 최소

화 해야 할 것으로 생각된다. 그러나 이 경우도 BC 내에 존재하는 물질의 간섭현상을 고려하여야 한다. 또 작업장에서 시클로헥사논이나 케톤류를 사용하는 경우는 활성탄이 아닌 다른 흡착제와 그에 맞는 적절한 탈착제를 선택적으로 사용하여야 탈착률을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

김경란, 백남원(1995): 활성탄관에 포집된 극성유기용제의 탈착효율에 관한 연구. 한국산업위생학회 1995; 5(1): 104-118

노동부(1994): 유해물질의 허용농도(노동부 고시 제 91-21호). 1991.

Ballesta PP, Ferradas EG, Aznar AM: Desorption isotherms of volatile organic compounds adsorbed on activated charcoal. Am Ind Hyg Assoc J 1995; 56: 171-177

Beck SW, Stock TH, Whitehead LW: Improved efficiency of desorption of oxygenated solvents from activated charcoal using a new polar additive to carbon disulfide. Appl Occup Environ Hyg 1990; 5(3): 171-177

Crisp, S: Solid sorbent gas sampler. Ann Occup Hyg 1980; 23: 47-76

Dommer RA, Melcher RG: Phase equilibrium method for determination of desorption efficiencies. Am Ind Hyg Assoc J 1978; 39: 240-246

Elskamp CJ, Schultz GR: An alternate sampling and analytical method for 2-butanone. Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44(3): 201-204

Fracchia ML, Pierce L, Graul R, Stanley R: Desorption of solvents from charcoal collection tubes. Am Ind Hyg Assoc J 1977; 38: 144-146

Harper M, Kimberland ML, Orr RJ, Guild LV: An evaluation of sorbents for sampling ketones in work-place air. Appl Occup Environ Hyg 1993; 8(4): 293-304

Henschler D, Kettrup A: Analyses of Hazardous Substances in Air. Vol. 2, New York, VCH publishers Inc. 1993, 3-12

Johansen I, Wendelboe JF: Dimethylformamide and carbon disulfide desorption efficiencies for organic vapours on gas-sampling charcoal tube analyses with a

gas chromatographic backflush technique. J Chromatogr 1981; 217: 317-326

Levin JO, Carleborg L: Evaluation of solid sorbents for sampling ketones in work-room air. Ann Occup Hyg 1987; 31(1): 31-38

Melcher RG, Langner RR, Kagel RO: Criteria for the evaluation of methods for the collection of organic pollutants in air using solid sorbents. Am Ind Hyg Assoc J 1978; 39(5): 349-361

Mueller FX, Miller JA: Determination of airborne organic vapor mixtures using charcoal tubes. Am Ind Hyg Assoc J 1979; 40: 380-386

NIOSH: NIOSH Manual of Analytical Methods. 4th ed. 1003, 1300, 1022, 1400, 1401, 1403, 1501, U.S. Department of Health and Human Services, 1994

OSHA: OSHA Analytical Methods Manual 2nd ed. part I, method no. 01, 07, 16, 69, U.S. Department of Labor, 1990

Posner JC, Okenfuss JR: Desorption of organic analytes from activated carbon. I. Factors affecting the process. Am Ind Hyg Assoc J 1981; 42(9): 643-646

Rudling J: Simple model based on solubility parameters for liquid desorption of organic solvents adsorbed on activated carbon. J Chromatogr 1986; 362: 175-185

Rudling J, Bjorkholm E: Effect of adsorbed water on solvent desorption of organic vapors collected on activated carbon. Am Ind Hyg Assoc J 1986; 47: 615-620

Rudling J, Bjorkholm E, Lundmark BO: Storage stability of organic solvents adsorbed on activated carbon. Ann Occup Hyg 1986; 30(3): 319-327

Rudling J: Multicomponent Adsorption isotherms for determination of recoveries in liquid desorption of mixtures of polar solvents adsorbed on activated carbon. Am Ind Hyg Assoc J 1988; 49(3): 95-100

Saalwaechter AT, McCammon CS, Roper CP, 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

White LD, Taylor DG, Mauer PA, Kupel RE: A Convenient optimized method for the analysis of selected solvent vapors in the industrial atmosphere. Am Ind Hyg Assoc J 1970; 31: 225-232