

활성탄관에 포집된 극성 및 비극성 유기용제 분석시 탈착용매 종류에 따른 탈착효율 비교

한국통신공사 선로기술연구소 · 가톨릭대학교 산업보건대학원*

손 연 주 · 김 현 옥*

— Abstract —

A comparison of desorption efficiency by types of solvent for polar and non-polar organic compounds collected on activated charcoal tube

Yonjoo Son · Hyunwook Kim*

*Outside Plant Technology Laboratory, Korea Telecom
Graduate School of Occupation Health, Catholic University, Seoul, Korea*

This study was conducted to evaluate desorption efficiencies by types of desorption solvent for polar and non-polar organic compounds collected on activated charcoal tubes.

Analytes tested were toluene, m-xylene, isobutyl alcohol, n-butyl alcohol, cellosolve acetate, and butyl cellosolve. Three different concentration levels of spiked sample were made.

Types of cosolvent mixed with the main solvent, CS₂, were methanol, pentanol, and dimethylformamide (DMF) and the cosolvent for methylenechloride was methanol. The amounts of cosolvent added to the main solvent were 1, 5, and 10% by volume (v/v%), respectively.

The results were as follows:

1. For all mixed solvents except 1% methanol and 1% pentanol with CS₂, desorption efficiency significantly increased, compared with that of CS₂ alone.
2. Desorption efficiency increased by increasing analyte loading on charcoal tube regardless of mixed solvents used and the material polarity.
3. For all cosolvents mixed with CS₂ by 1% and 5% volume, desorption efficiency for non-polar compound was significantly higher than that of polar compound. For the 10% mixed solvents and the methylenechloride mixed with methanol, the results were opposite.
4. The lowest mean percent bias of 4.79% was obtained from the 5% DMF-CS₂ mixed solvent, followed by 4.82% from the 10% DMF-CS₂ solvent while the highest bias of 23.26% was from the solvent of CS₂ alone.

Based on the results of this study, in order to increase desorption efficiency, it is recommended to add such cosolvents as methanol, pentanol, and DMF to CS₂, preferably 5% by volume for analyzing polar compounds collected in charcoal tubes.

Key Words : desorption efficiency, polarity, activated charcoal, cosolvent

I. 머 리 말

유기용제란 탄소를 함유하고 있는 유기화합물로서 용질의 성질을 변화시키지 않고 용해시킬 수 있는 물질을 말하는데, 산업장에서 매우 널리 사용되고 있으며 사용 목적에 따라 단독 혹은 혼합하여 사용하고 있다. 또한 유기용제는 화학적인 성상에 따라 지방족, 지환족 및 방향족 탄화수소, 할로젠화 탄화수소, 알콜류, 에스테르류, 알데히드류, 케톤류, 글리콜류 및 에테르류 등과 같이 분류할 수 있다. 최근들어 지방족, 방향족 및 염소계 탄화수소의 독성이 밝혀짐에 따라, 사업장에서 많이 사용하는 이들 용제들은 독성이 약하지만 극성이 큰 알콜류나 케톤류 등으로 대체되고 있다(Harper et al. 1993).

분자의 극성은 각 결합의 벡터합으로 주어지며, 다원자 분자의 극성을 알기 위해서는 그 분자의 입체적 구조를 알아야 한다. 일반적으로 대칭인 분자는 무극성 분자이고, 비대칭 분자는 극성분자이다(박택규, 1988). 예를들어 톨루엔, 크실렌, CS_2 등은 무극성분자이고, 물, 알코올 등은 극성분자이다.

활성탄은 작업장내의 공기중에 있는 유기용제 증기를 포집하는 흡착제로 가장 광범위하게 쓰여지고 있으나, 가스크로마토그래프법으로 분석시에는 우선 흡착된 물질들을 탈착해야 한다(Rudling & Bjorkholm, 1986). 이러한 유기용제를 활성탄으로부터 탈착할 때 이황화탄소는 불꽃이온화검출기에 낮은 감도를 나타내고 대부분의 분석컬럼에서 머무름시간이 짧고, 또한 비극성물질의 탈착능이 좋은 이유로 많이 사용되어져 왔다(Taylor, 1977).

미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, 이하 NIOSH)에서는 탈착효율이 $100 \pm 25\%$ 이상인 분석방법을 사용하여야 한다고 권고하고 있는데(NIOSH, 1994), 알콜류, 케톤류, 글리콜류 그리고 에테르류와 같은 극성 유기물질들의 경우에는 활성탄- CS_2 와 같은 방법을 사용할 때 이들의 탈착효율이 비극성물질에 비해 낮고, 농도변화(loading)에 따라 변하는 단점이 보고되

고 있다(Rudling & Bjorkholm, 1986; Beck et al, 1990). 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 CS_2 대신 다른 용매를 사용하거나(Johansen & Wendelboe, 1981; Posner, 1981; Rudling & Bjorkholm, 1986), CS_2 에 1~5% 정도의 보조용매(cosolvent)를 섞어 사용하여(Taylor, 1977; Beck et al, 1990) 탈착효율을 높이려는 연구들이 제시되었다. 극성유기용제의 탈착효율은 흡착제의 종류, 저장온도와 기간, 수분의 영향, 탈착용매의 변화 등과 같은 여러 조건들에 따라 변화됨이 여러 연구들을 통해 밝혀졌다(Fracchia et al. 1977; Saalwaecher, 1977; Johansen & Wendelboe, 1981; Posner & Okenfuss, 1981; Rudling & Eva, 1983; Rudling et al. 1986; Beck et al, 1990; Rudling, 1990).

현재까지 우리나라 작업환경 측정기관에서는 탈착효율의 중요성을 인식하고 있지 못하여 탈착효율로 보정한 측정결과를 산출하는 기관이 거의 없는 실정이다(김경란, 1995). 그리고 복합 유기용제를 분석시 극성과 비극성 구분없이 활성탄- CS_2 의 방법에만 의존하고 있다. 또한 지금까지 우리나라에서는 극성 유기용제 중에서도 케톤류의 탈착효율에 대한 연구는 행하여졌으나(김경란, 1995) 그 외에 알콜류, 글리콜류, 에테르류, 글리콜에테르류 등에 대한 연구는 수행된 것이 없다.

본 연구에서는 락커, 수지, 잉크, 휘발유 첨가제, 부동액 등 사업장에서 광범위하게 사용되고 있으나 탈착효율 검증이 거의 없었던 극성유기용제 중 알콜류와 에스테르류, 비극성유기용제 중에서 방향족유기용제를 대상으로 탈착용매의 변화에 따른 탈착효율을 알아보고, 극성물질과 비극성물질 모두에게 좋은 탈착효율을 갖는 탈착용매를 찾으려 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

본 연구에서 분석대상물질로 사용한 물질들은 극성 유기용제중 알콜류에서는 이소부틸알콜(Osaka, Japan)과 노말부틸알콜(Junsei Co. Japan), 글리콜에테

르류에서는 셀로솔브아세테이트(Yakuri Co. Japan) 와 부틸셀로솔브(Junsei Co. Japan)를, 그리고 비극성유 기용제 중에서는 방향족탄화수소인 톨루엔(Junsei Co. Japan)과 메타-크실렌(Sigma-Aldrich Co. U.S.A.)을 사용하였다. 이와 같이 선정된 물질들은 각 종류의 유기용제에 대한 대표성도 고려하였지만, 크로마토그램 상에서 탈착용매와 피크가 겹치지 않는 것도 고려하여 선정하였다.

활성탄관은 국내에서 시판, 사용되고 있는 앞층 100mg, 뒷층 50mg의 활성탄관 (C.N.:226-01, SKC, U.S.A.)을 사용하였다.

2. 방법

- 1) 대상물질을 포함한 활성탄 시료의 제조
활성탄관에 포집된 총포집 공기량 10ℓ를 기준으

로하여(한국산업안전공단 산업보건연구원, 1995) 우리나라 허용기준(Korean permissible exposure limits-the Ministry of Labor, KPEL)의 0.5배, 1.0배, 2.0배 수준으로 농도를 Table 1과 같이 계산하였다. 또한 이것을 고려하여 표준원액을 Table 2와 같이 3가지 종류로 만들어서, 활성탄관의 앞층(100mg)에 Table 3과 같이 10 μℓ 용량의 미량주사기(Hewlett Packard, U.S.A.)를 이용하여 1, 2, 3 세개의 활성탄에 차례대로 부하량을 증가시키면서 표준원액 I 과 II를 직접 주입하였다. 이때 표준원액 III의 경우에는 주입하는 용량이 큰것을 고려하여 1, 2, 3 세개의 활성탄에 차례대로 부하량을 감소시키면서 표준원액을 주입하여, 각각의 활성탄에 주입한 용량이 모두 20μℓ 내외하도록 하였으며, 이렇게 하여 활성탄에 유기물질들이 골고루 흡착될 수 있도록 하였

Table 1. Korean permissible exposure limits(KPEL) for selected solvents and spiked amount of analytes

Type	Solvents	PEL		S.G.**	Spiked amount(mg/sample)		
		ppm	mg/m		0.5PEL	0.1PEL	2.0PEL
Alcohols	IBOH	50	150	0.824	0.803	1.606	3.212
	n-BtOH	50	150	0.803	0.824	1.648	3.296
Glycoethers	CA	5	27	0.992	0.198	0.397	0.794
	BC	25	120	0.917	0.734	0.167	2.934
Hydrocarbon	Tol	100	375	0.881	1.762	3.524	7.048
	m-Xyl	100	435	0.885	2.655	5.310	10.620

*IBOH : Isbutylalcohol

BC : Butyl cellosolve

n-BtOH : n-Butylalcohol

Tol : Toluene

CA : Cellosolve acetate

m-Xyl : m-Xylene

**S.G. : Specific gravity (@ 25°C)

Table 2. Volume of each solvent added to make stock solutions(unit:ml)

Stock I			Stock II			Stock III		
IBOH	n-BtOH	Total	CA	BC	Total	Tol	m-Xyl	Total
1	1	2	1	4	5	2	3	5

Table 3. Spiked volume of stock solution(unit:μℓ)

Charcoal tube No	Stock I	Stock II	Stock III	Stock IV
1	2	1	20	23
2	4	2	10	16
3	8	4	5	17

다. KPCL 1배수준을 기준으로 하여 0.5배, 1.0배, 2.0배 농도수준으로 각각 3개씩 만들어서 밀봉한 후, 실제 작업환경측정 시료채취시와 같은 조건을 재현시키기 위하여 실온($20 \pm 3^\circ\text{C}$)에서 5시간동안 방치한 후에 냉장(5°C)보관하였다.

2) 탈착용매의 제조

CS_2 (Tedia, U.S.A.)를 주용액으로 하는 용매들은 메탄올(Hayman Limited, U.K.), 노말-펜탄올(Fisher Scientific, U.S.A.), 디메틸포름아마이드(Junsei Co. Japan)와 같은 극성물질 1%, 5%, 10%(v/v)를 보조용매로 첨가하여 만들었고, 이렇게 만든 탈착용매의 종류가 단독 CS_2 를 포함하여 모두 10가지였다.

메틸렌클로라이드(Junsei Co. Japan)를 주용액으로 하는 용매는 CS_2 때와 같은 메탄올 1%, 5%, 10%(v/v)를 보조용매로 첨가하여 만들었고, 이렇게

만든 탈착용매의 종류가 단독 메틸렌클로라이드를 포함하여 모두 4가지였다. 이와 같이 만들어진 탈착용매의 종류는 전부 14가지였다.

분석오차를 최소화하기 위하여 이들 탈착용매 모두에는 내부 표준물질로서 에틸벤젠(Junsei Co. Japan)을 0.1%(v/v)의 농도로 첨가하여 보정해 주었다.

3) 시료분석

분석시에는 미리 제조하여 7~17시간동안 냉장보관했던 활성탄관을 꺼내어 깨뜨린 후, 앞층(100mg)과 뒷층(50mg) 모두를 4ml 용량의 바이알에 담아 미리 제조해 두었던 탈착용매를 1ml씩 넣어 30분간 초음파 진동식탈착기(SUPELCO Inc. U.S.A.)를 이용하여 탈착하였으며, 탈착후에는 GC (HP5890 seriesII, U.S.A)로 분석하였다. GC의 분석조건은 Table 4와 같았다.

시료분석전에 탈착용매를 분석하여 오염 여부를 확인하였고, 또한 시료제조시 사용한 표준원액과 각각의 탈착용매를 이용하여 표준용매를 만들고 분석하여 표준회귀방정식을 구하였으며, 이렇게 구한 1차식을 이용하여 크로마토그램의 피크면적으로부터 각 분석물질의 농도를 구하였다.

4) 자료분석

자료분석은 통계프로그램인 SAS 6.04을 이용하여 1) 용매종류, 각 농도수준, 그리고 부하량에 따른 탈착효율에 대해 평균값과 표준편차를 구하였고, 2) 탈착용매의 변화에 따른 탈착효율의 차이는 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 3) 용매변화, 부하량 그리고 극성 및 비극성의 탈착효율간의 차이에 대한 비교검정은 Student-Numan-Keuls test ($\alpha=0.05$) 실시하였다.

Table 4. Gas chromatograph conditions for analyzing extracted solvents

Variables	conditions
Detector	FID
Injection volume	1 μl (split ratio 86:1)
Column	HP20M (50m \times 0.2mm \times 0.2 μm)
Carrier gas	N_2
Gas flow rate	
Air	340 dl/min
H_2	35 dl/min
N_2	33 dl/min
Split vent	76.5 dl/min
Column head	0.9 dl/min
Temperature	
Injector	200 $^\circ\text{C}$
Detector	250 $^\circ\text{C}$
Oven temp. programing	
1st Temp.	50 $^\circ\text{C}$
Time	5 min
Rate I	20 $^\circ\text{C}/\text{min}$
2nd Temp.	70 $^\circ\text{C}$
Time	1 min
Rate II	30 $^\circ\text{C}/\text{min}$
3rd Temp.	130 $^\circ\text{C}$
Time	1.5 min

Table 5. Desorption efficiency by loading on charcoal and type of solvents(continued)

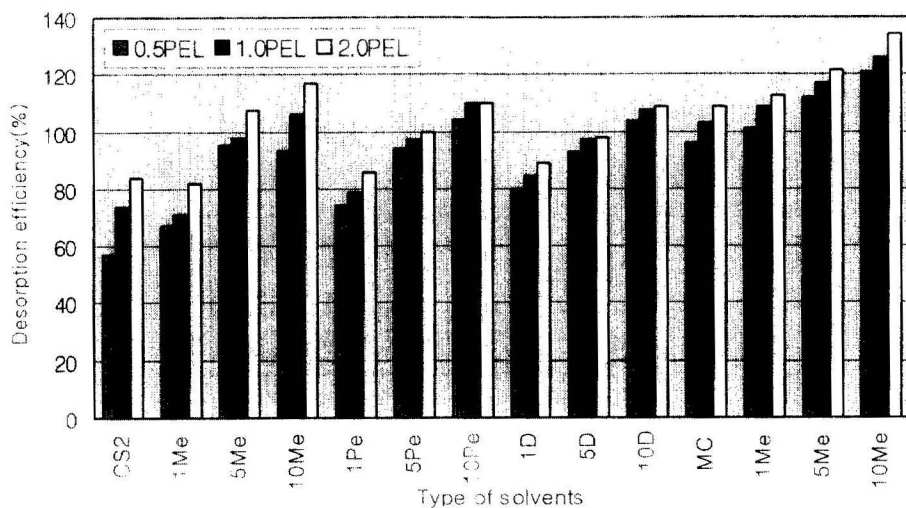
Solvent	Analytes	Desorption Efficiency (Mean±SD, %)*		
		0.5 PEL (n=3)	1.0 PEL (n=3)	2.0 PEL (n=3)
1% DMF in CS ₂	IBOH	83.80±0.86	85.35±1.07	87.45±2.96
	n-BrOH	79.85±0.60	84.14±3.12	89.14±1.04
	CA	88.86±5.77	95.76±2.91	95.73±1.70
	BC	66.39±0.56	72.31±2.85	78.09±2.03
	Tol	95.79±1.04	99.18±0.49	99.29±0.66
	m-Xyl	97.86±1.13	98.67±0.41	98.01±0.26
5% DMF in CS ₂	IBOH	97.33±0.68	100.75±0.79	100.34±1.22
	n-BrOH	92.51±0.27	97.16±0.20	97.60±0.85
	CA	98.62±0.42	94.16±2.11	99.79±0.72
	BC	84.28±0.76	87.81±0.31	90.89±1.02
	Tol	91.50±0.18	95.25±1.22	95.44±1.55
	m-Xyl	94.88±0.35	98.21±0.44	97.37±0.26
10% DMF in CS ₂	IBOH	109.04±1.38	109.32±0.78	110.59±0.64
	n-BrOH	103.29±1.64	107.16±0.98	108.44±0.52
	CA	102.75±3.70	104.24±4.12	105.98±2.74
	BC	90.15±1.85	94.47±0.65	97.84±1.00
	Tol	95.80±3.78	97.52±0.54	98.33±2.32
	m-Xyl	99.50±1.05	98.82±2.20	101.67±0.61
only MC	IBOH	102.45±1.26	109.46±1.58	115.29±1.46
	n-BrOH	95.80±0.81	103.01±1.13	108.76±1.26
	CA	106.45±3.55	112.95±3.70	113.08±2.28
	BC	69.55±2.03	84.27±3.22	93.02±4.10
	Tol	89.11±0.46	93.02±0.28	97.18±1.30
	m-Xyl	83.18±2.23	88.11±0.17	92.14±0.37
1% MeOH in MC	IBOH	107.69±3.43	110.07±3.64	119.70±1.61
	n-BrOH	101.11±3.07	108.60±1.09	112.34±2.04
	CA	85.91±2.78	100.62±5.81	109.68±2.61
	BC	65.01±2.99	82.92±3.78	92.54±1.36
	Tol	89.91±2.21	92.90±0.80	96.38±2.58
	m-Xyl	83.24±0.28	88.83±0.47	91.66±1.23
5% MeOH in MC	IBOH	117.51±0.65	121.68±1.22	125.68±3.41
	n-BrOH	112.19±0.75	116.78±3.35	121.27±4.01
	CA	102.34±0.62	104.87±4.81	114.34±1.83
	BC	98.53±3.61	100.93±2.82	104.61±15.13
	Tol	91.23±0.51	93.48±0.05	98.02±0.73
	m-Xyl	84.07±0.56	89.60±0.13	93.23±0.67
10% MeOH in MC	IBOH	125.83±1.88	130.72±0.60	136.19±3.84
	n-BrOH	120.65±1.89	125.90±3.24	134.18±0.23
	CA	110.60±3.07	115.34±2.56	116.92±2.45
	BC	108.23±2.22	113.03±2.80	119.36±0.98
	Tol	92.13±1.69	96.07±0.35	100.48±0.84
	m-Xyl	85.94±0.08	92.27±0.38	95.61±0.37

* P<0.001

Table 5. Desorption efficiency by loading on charcoal and type of solvents

Solvent	Analytes	Desorption Efficiency (Mean \pm SD, %)*		
		0.5 PEL (n=3)	1.0 PEL (n=3)	2.0 PEL (n=3)
only CS ₂	IBOH	63.95 \pm 3.91	76.95 \pm 1.16	83.87 \pm 3.86
	n-BtOH	56.96 \pm 3.68	73.52 \pm 1.30	84.01 \pm 3.55
	CA	67.84 \pm 8.51	90.52 \pm 4.94	101.75 \pm 0.66
	BC	9.94 \pm 3.94	32.40 \pm 3.25	54.52 \pm 1.49
	Tol	99.70 \pm 0.53	100.70 \pm 0.41	102.27 \pm 1.14
	m-Xyl	96.34 \pm 0.34	97.13 \pm 0.26	96.34 \pm 0.55
1% MeOH in CS ₂	IBOH	74.58 \pm 1.19	76.80 \pm 5.87	87.64 \pm 2.51
	n-BtOH	66.96 \pm 1.44	71.12 \pm 5.49	81.74 \pm 1.36
	CA	76.19 \pm 1.85	82.30 \pm 2.76	91.09 \pm 0.28
	BC	36.03 \pm 2.88	47.41 \pm 9.11	69.42 \pm 1.50
	Tol	94.92 \pm 1.20	96.10 \pm 1.10	98.15 \pm 1.29
	m-Xyl	95.52 \pm 2.95	98.21 \pm 4.80	94.84 \pm 0.94
5% MeOH in CS ₂	IBOH	101.73 \pm 1.09	101.90 \pm 2.85	112.99 \pm 0.66
	n-BtOH	94.98 \pm 0.81	97.79 \pm 2.81	107.51 \pm 3.23
	CA	84.85 \pm 1.25	89.96 \pm 4.30	96.07 \pm 2.58
	BC	76.12 \pm 2.53	82.62 \pm 6.80	91.69 \pm 1.68
	Tol	99.40 \pm 0.66	99.04 \pm 2.06	101.60 \pm 1.63
	m-Xyl	99.49 \pm 2.15	98.88 \pm 0.31	98.20 \pm 1.23
10% MeOH in CS ₂	IBOH	98.84 \pm 5.84	110.83 \pm 5.32	124.78 \pm 3.89
	n-BtOH	93.35 \pm 5.49	105.88 \pm 6.95	117.15 \pm 3.09
	CA	89.68 \pm 2.82	94.15 \pm 5.22	100.36 \pm 0.68
	BC	91.34 \pm 4.81	91.48 \pm 4.19	98.78 \pm 3.33
	Tol	104.31 \pm 0.59	104.68 \pm 0.65	103.93 \pm 3.70
	m-Xyl	103.95 \pm 1.57	103.44 \pm 0.09	102.87 \pm 1.67
1% PeOH in CS ₂	IBOH	81.41 \pm 1.09	84.38 \pm 1.05	88.79 \pm 1.72
	n-BtOH	74.36 \pm 1.26	78.73 \pm 0.63	85.35 \pm 1.02
	CA	80.54 \pm 2.77	81.03 \pm 0.74	89.03 \pm 0.73
	BC	36.52 \pm 6.00	47.90 \pm 3.39	64.88 \pm 1.39
	Tol	97.59 \pm 0.92	97.30 \pm 0.56	96.38 \pm 2.56
	m-Xyl	95.92 \pm 0.38	97.36 \pm 0.25	95.94 \pm 1.31
5% PeOH in CS ₂	IBOH	99.84 \pm 3.26	101.84 \pm 2.77	101.94 \pm 1.57
	n-BtOH	94.07 \pm 1.64	97.22 \pm 1.48	99.46 \pm 1.73
	CA	84.93 \pm 2.45	93.54 \pm 1.72	96.54 \pm 0.26
	BC	59.36 \pm 3.13	69.87 \pm 2.96	78.73 \pm 0.25
	Tol	95.88 \pm 0.89	96.30 \pm 1.53	96.05 \pm 2.44
	m-Xyl	94.80 \pm 0.22	94.60 \pm 1.24	93.96 \pm 0.27
10% PeOH in CS ₂	IBOH	107.90 \pm 1.95	112.61 \pm 2.09	112.64 \pm 1.02
	n-BtOH	104.15 \pm 1.65	109.77 \pm 1.34	109.66 \pm 0.72
	CA	92.64 \pm 3.36	98.67 \pm 0.80	101.54 \pm 0.17
	BC	78.01 \pm 4.37	87.72 \pm 3.61	96.26 \pm 0.40
	Tol	96.80 \pm 0.74	96.92 \pm 0.25	96.03 \pm 0.97
	m-Xyl	96.22 \pm 0.18	95.92 \pm 1.72	95.72 \pm 0.75

* P<0.001

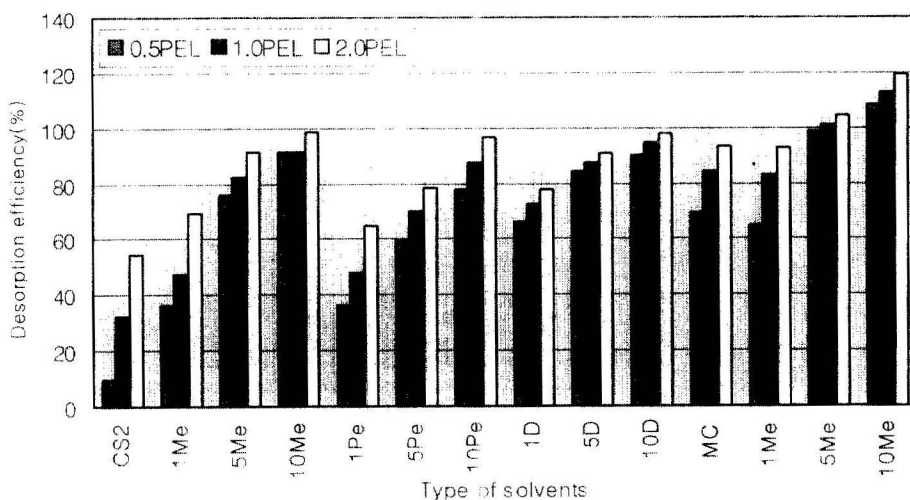
CS₂ : only CS₂1, 5, 10Pe : 1%, 5%, 10%Pentanol in CS₂

MC : only MC

1, 5, 10MeC : 1%, 5%, 10% Methanol in CS₂1, 5, 10D : 1%, 5%, 10%DMF in CS₂

1, 5, 10MeM : 1%, 5%, 10% Methanol in MC

Fig 1. Desorption efficiency by loading on charcoal and type of solvents.
(Among alcohols : n-Butylalcohol)


$$\text{CS}_2 : \text{only } \text{CS}_2$$

1, 5, 10Pe : 1%, 5%, 10% Pentanol in CS₂

MC : only MC

1, 3, 10MeC : 1%, 5%, 10% Methanol in CS₂

1, 2, 10D : 1%, 5%, 10%DMF in CS₂

1, 5, 10MeM : 1%, 5%, 10% Methanol in MC

Fig 2. Desorption efficiency by loading on charcoal and type of solvents.
(Among glycolethers : Butyl cellosolve)

III. 성 적

1. 부하량과 용매변화에 따른 탈착효율 비교

단독으로 사용된 용매 2 종류와 보조용매를 넣은 12 종류의 탈착용매에 따라서 6 가지 분석물질별로 부하량을 증가시켜서 탈착효율을 구한 값은 Table 5 와 같다. 모든 종류의 탈착용매에서 부하량이 클수록 탈착효율이 증가하였으며 유의한 차이를 보였다 ($P<0.001$). 또한 탈착용매의 종류에 따라서 각 분석 물질들의 탈착효율을 본 결과도 유의한 차이를 보였다 ($P<0.001$).

2. 극성 및 비극성 유기용제와 부하량에 따른 탈착 효율 비교

Table 6과 같이 6가지의 분석물질을 극성과 비극성으로 구분하여 부하량에 대한 탈착효율의 변화를 비교한 결과 모두 부하량이 증가할수록 탈착효율이 유의하게 높았다($P<0.001$).

3. 극성 및 비극성 유기용제와 용매의 종류에 따른 탈착효율 비교

Table 7과 같이 14종류의 용매에 따른 탈착효율의 변화를 비교한 결과 1% 메탄올, 펜탄올을 CS_2 에 첨가한 탈착용매는 단독 CS_2 의 탈착효율과 유의한

Table 6. Results of ANOVA on desorption efficiency by loading on charcoal and by polarity

Polarity	Desorption Efficiency (Mean \pm SD, %)*		
	0.5 PEL	1.0 PEL	2.0 PEL
Polar	87.57 \pm 21.61	93.98 \pm 18.84	100.48 \pm 16.24
Non-Polar	94.46 \pm 5.58	96.38 \pm 3.88	97.40 \pm 3.12

* $P<0.001$

Table 7. Desorption efficiency by polarity and by type of solvents

Solvent	Desorption Efficiency (Mean \pm SD, %)	
	Polar	Non-Polar
only CS_2	66.39 \pm 25.61	98.75 \pm 2.50
1% MeOH in CS_2	71.77 \pm 15.92	96.29 \pm 1.53
† 5% MeOH in CS_2	94.85 \pm 10.58	99.44 \pm 1.16
† 10% MeOH in CS_2	101.39 \pm 11.17	103.86 \pm 0.64
1% PeOH in CS_2	74.41 \pm 16.56	96.75 \pm 0.76
† 5% PeOH in CS_2	89.78 \pm 13.78	95.27 \pm 0.94
† 10% PeOH in CS_2	100.96 \pm 10.80	96.27 \pm 0.49
† 1% DMF in CS_2	83.91 \pm 8.73	98.13 \pm 1.29
† 5% DMF in CS_2	95.10 \pm 5.26	95.44 \pm 2.34
† 10% DMF in CS_2	103.61 \pm 6.41	98.61 \pm 1.97
† only MC	101.17 \pm 13.55	90.46 \pm 4.79
† 1% MeOH in MC	99.68 \pm 15.4	90.49 \pm 4.79
† 5% MeOH in MC	111.73 \pm 9.18	91.61 \pm 4.65
† 10% MeOH in MC	121.41 \pm 9.20	93.75 \pm 4.90

* $P<0.001$

† $P<0.001$

Table 8. Accuracy and desorption efficiency by type of solvents

Solvent	Analyte	Desorption Efficiency (Mean \pm SD)	%Bias*	Group** %Bias(%)	Mean*** %Bias(%)
only CS ₂	IBOH	74.92 \pm 10.11	-25.89	27.195	23.26
	n-BtOH	71.50 \pm 13.64	-28.50		
	CA	86.85 \pm 17.32	-13.15	40.430	
	BC	32.29 \pm 22.29	-67.71		
	Tol	100.89 \pm 1.30	0.89	2.145	
	m-Xyl	96.60 \pm 0.46	- 3.40		
1% MeOH in CS ₂	IBOH	79.67 \pm 6.99	-20.33	23.530	20.26
	n-BtOH	73.27 \pm 7.62	-26.73		
	CA	83.19 \pm 7.49	-16.81	32.930	
	BC	50.95 \pm 16.98	-49.05		
	Tol	96.39 \pm 1.63	- 3.61	3.710	
	m-Xyl	96.19 \pm 1.78	- 3.81		
5% MeOH in CS ₂	IBOH	105.54 \pm 6.45	5.54	2.815	5.50
	n-BtOH	100.09 \pm 6.58	0.09		
	CA	90.29 \pm 5.62	- 9.71	13.115	
	BC	83.48 \pm 7.82	-16.52		
	Tol	100.01 \pm 1.39	0.01	0.575	
	m-Xyl	98.86 \pm 0.65	- 1.14		
10% MeOH in CS ₂	IBOH	111.18 \pm 12.98	11.18	8.320	5.96
	n-BtOH	105.46 \pm 11.91	5.46		
	CA	94.73 \pm 5.36	- 5.27	5.700	
	BC	93.87 \pm 4.26	- 6.13		
	Tol	104.31 \pm 0.38	4.31	3.865	
	m-Xyl	103.42 \pm 0.54	3.42		
1% PeOH in CS ₂	IBOH	84.86 \pm 3.71	-15.14	17.830	18.14
	n-BtOH	79.48 \pm 5.53	-20.52		
	CA	83.53 \pm 4.77	-16.47	33.350	
	BC	49.77 \pm 14.27	-50.23		
	Tol	97.09 \pm 0.63	- 2.91	3.250	
	m-Xyl	96.41 \pm 0.83	- 3.59		
5% PeOH in CS ₂	IBOH	101.21 \pm 1.19	1.21	2.145	8.80
	n-BtOH	96.92 \pm 2.71	- 3.08		
	CA	91.67 \pm 6.03	- 8.33	19.505	
	BC	69.32 \pm 9.70	-30.68		
	Tol	96.08 \pm 0.21	- 3.92	4.735	
	m-Xyl	94.45 \pm 0.44	- 5.55		
10% PeOH in CS ₂	IBOH	111.05 \pm 2.73	11.05	9.455	6.89
	n-BtOH	107.86 \pm 3.21	7.86		
	CA	97.62 \pm 4.54	- 2.38	7.490	
	BC	87.33 \pm 9.13	-12.6		
	Tol	96.58 \pm 0.49	- 3.42	3.735	
	m-Xyl	95.95 \pm 0.25	- 4.05		

* %Bias : DE%-100%

** Group %Bias : Mean of | %Bias | in same group

*** Mean %Bias : Mean of Group %Bias

Table 8. Accuracy and desorption efficiency by type of solvents(continued)

Solvent	Analyte	Desorption Efficiency (Mean \pm SD)	%Bias*	Group** %Bias(%)	Mean*** %Bias(%)
1% DMF in CS ₂	IBOH	85.53 \pm 1.83	-14.47	15.045	11.35
	n-BtOH	84.38 \pm 4.65	-15.62		
	CA	93.45 \pm 3.98	- 6.55	17.145	
	BC	72.26 \pm 5.85	-27.74		
	Tol	98.09 \pm 1.99	- 1.91	1.865	
	m-Xyl	98.18 \pm 0.43	- 1.82		
5% DMF in CS ₂	IBOH	99.47 \pm 1.87	- 0.53	2.385	4.79
	n-BtOH	95.76 \pm 2.82	- 4.24		
	CA	97.52 \pm 2.97	- 2.48	7.410	
	BC	87.66 \pm 3.31	-12.34		
	Tol	94.06 \pm 2.22	- 5.94	4.560	
	m-Xyl	96.82 \pm 1.73	- 3.18		
10% DMF in CS ₂	IBOH	109.65 \pm 0.83	9.65	7.975	4.82
	n-BtOH	106.30 \pm 2.68	6.30		
	CA	104.32 \pm 1.62	4.32	5.085	
	BC	94.15 \pm 3.86	- 5.85		
	Tol	97.22 \pm 1.29	- 2.78	1.390	
	m-Xyl	100.00 \pm 1.49	0.00		
only MC	IBOH	109.07 \pm 6.43	9.07	5.795	9.87
	n-BtOH	102.52 \pm 6.49	2.52		
	CA	110.83 \pm 3.79	10.83	14.275	
	BC	82.28 \pm 11.86	-17.72		
	Tol	93.10 \pm 4.04	- 6.90	9.545	
	m-Xyl	87.81 \pm 4.49	-12.19		
1% MeOH in MC	IBOH	112.49 \pm 6.36	12.49	9.920	10.00
	n-BtOH	107.35 \pm 5.72	7.35		
	CA	98.74 \pm 12.00	- 1.26	10.550	
	BC	80.16 \pm 13.97	-19.84		
	Tol	93.06 \pm 3.24	- 6.94	9.515	
	m-Xyl	87.91 \pm 4.29	-12.09		
5% MeOH in MC	IBOH	121.62 \pm 4.09	21.62	19.185	10.62
	n-BtOH	116.75 \pm 4.54	16.75		
	CA	107.18 \pm 6.33	7.18	4.270	
	BC	101.36 \pm 3.06	1.36		
	Tol	94.24 \pm 3.46	- 5.76	8.395	
	m-Xyl	88.97 \pm 4.61	-11.03		
10% MeOH in MC	IBOH	130.91 \pm 5.18	30.91	28.910	16.36
	n-BtOH	126.91 \pm 6.82	26.91		
	CA	114.29 \pm 3.29	14.29	13.915	
	BC	113.54 \pm 5.58	13.54		
	Tol	96.23 \pm 4.18	- 3.77	6.250	
	m-Xyl	91.27 \pm 4.91	- 8.73		

* %Bias : DE%-100%

** Group %Bias : Mean of | %Bias | in same group

*** Mean %Bias : Mean of Group %Bias

차이가 없었으며, 그외에 11종류의 용매의 탈착효율은 단독 CS₂의 탈착효율과 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.001$).

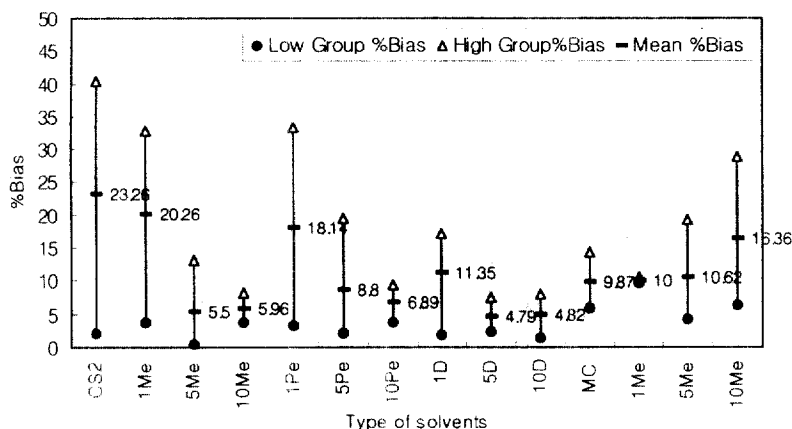
비극성 성질을 가진 CS₂를 주용매로 하는 경우, 1%, 5%의 보조용매를 첨가한 탈착용매를 사용하였을 때는 비극성물질들의 탈착효율이 극성물질들의 탈착효율보다 높게 나왔고, CS₂에 10 %의 보조용매를 넣어서 만든 용매와 극성의 성질을 띤 메틸렌클로라이드를 주용매로 사용한 탈착용매의 경우에는 오히려 극성물질의 탈착효율이 비극성물질의 탈착효율보다 높게 나와 유의한 차이를 보였다($P < 0.001$).

4. 용매의 종류에 따른 탈착효율과 정확도 비교

Table 8과 같이 탈착용매의 종류에 따라 6가지 물질별로의 탈착효율에 대해 평균값과 표준편차를 구하였고, 100 %를 기준값으로 하여 %오차를 구하였고 그것을 이용해서 탈착용매에 따른 평균%오차를 구하였다. 그 결과 탈착용매의 종류에 따라 분석물질들의 탈착효율은 유의한 차이를 보였다($P < 0.001$). 평균 %오차의 값은 5%, 10% DMF를 CS₂에 첨가하여 만든 탈착용매에서 각 4.79%, 4.82% 으로 기준

값에 가장 접근하였고, CS₂를 단독으로 사용한 경우에는 평균 %오차가 23.26 %으로 기준값에서 가장 벗어났다.

6가지 분석물질의 %오차를 Group별로 구한 Group %Bias를 보면, 비극성 방향족탄화수소류인 톨루엔과 메타-크실렌은 주용매가 CS₂인 경우에는 보조용매의 변화에 따라 별다른 영향을 보이지 않았지만, 주용매가 메틸렌클로라이드인 경우에는 보조용매의 %함량이 증가할 수록 %오차가 줄어들었다. 그리고 극성 알콜류인 이소부틸알콜과 노말부틸알콜은 주용매가 CS₂, 메틸렌클로라이드 일때 모두 보조용매의 %함량이 1%보다 5%일때 %오차가 감소하였지만, %함량이 10%일때는 오히려 %오차가 증가하였다 또한 극성 글리콜에테르류인 셀로솔브아세테이트와 부틸셀로솔브의 결과를 보면 - 특히 부틸셀로솔브의 경우는 %오차값이 다른 물질들에 비해 큰 변화를 보였는데 - 주용매가 CS₂인 경우에는 보조용매의 %함량이 증가할수록 %오차가 줄어들었으나, 주용매가 메틸렌클로라이드인 경우에는 보조용매의 %함량이 1%보다 5%일때 %오차가 감소하였지만 10%일때는 오히려 %오차가 증가하였다.



CS₂ : only CS₂ 1, 5, 10MeC : 1%, 5%, 10%Methanol in CS₂
 1, 5, 10Pe : 1%, 5%, 10%Pentanol in CS₂
 1, 5, 10D : 1%, 5%, 10%DMF in CS₂
 MC : only MC 1, 5, 10MeM : 1%, 5%, 10%Methanol in MC

Fig 5. Accuracy according to %Bias by type of solvents

평균 %오차가 작은 순서대로 배열해보면, 5% DMF in CS₂ < 10% DMF in CS₂ < 10% PeOH in CS₂ < 5% MeOH in CS₂ < 10% MeOH in CS₂ < 5% PeOH in CS₂ < only MC < 1% MeOH in MC < 5% MeOH in MC < 1% DMF in CS₂ < 10% MeOH in MC < 1% PeOH in CS₂ < 1% MeOH in CS₂ < only CS₂ 와 같다.

IV. 고 찰

탈착용매는 첫째, 높고 재현성 있는 탈착효율을 가져야하고, 둘째, GC피크에서 중요한 피크를 덮어 버리거나 꼬리를 만들어서 피크면적을 변화시켜 분석에 간섭을 하지 않아야 하며, 셋째, 포집된 유기물질과 화학적으로 반응하지 않고 흡착제를 파괴하지 않는 것이어야 한다(Mueller & Miller, 1979). 또한 Beck 등(1990)은 이상적인 탈착제에 대해 일단계과정으로 극성과 비극성 물질 모두 정량적이고 어떤 분석물질들이 존재하더라도 방해받지 않는 것이어야 한다고 했다.

지금까지는 활성탄-CS₂와 같은 방법이 가장 많이 사용되어져 왔으나 극성유기용매의 경우에 이 방법을 사용하면 탈착효율이 낮은 문제점이 있음을 많은 연구자들이 지적하였다(Fracchia et al, 1977; Johansen & Wendelboe, 1981; Posner, 1981; Goller, 1985; Rudling & Bjorkhelm, 1986; Kenny & Stratton, 1989). 본 연구에서도 CS₂만 사용한 결과 비극성인 톨루엔과 메타-크실렌의 경우에는 각각의 탈착효율이 100.89(±1.30), 96.60(±0.46)이었으나, 극성인 이소부틸알콜, 노말-부틸알콜, 셀로솔브 아세테이트, 부틸셀로솔브의 경우에는 탈착효율이 각각 74.92(±10.11), 71.50(±13.64), 86.85(±17.32), 32.29(±22.29)로 낮았고, 특히 부틸셀로솔브는 매우 낮았다.

활성탄은 흑연과 같은 작은 결정으로 이루어져 있는 무정형탄소(amorphous carbon)로서, 불규칙한 기본결정자의 배열로 만들어진 세공(pore)은 적당한 부활방법에 의해 세공의 형상이나 세공분포, 표면의

화학적성질이 다르게 형성되어지고, 이 세공벽의 총면적이 흡착용량을 나타낸다. 또한 활성화되는 동안 산성 및 염기성 표면산화물이 탄소층의 가장자리에 재형성되어 형성되는데, 염기성산화물은 산을 흡착하고 산성산화물은 알칼리를 흡착한다. 활성탄의 표면에 존재하는 유기 관능기로는 카르복실기, 페놀성수산기, 락톤류, 카르본산무수물, 고리모양의 과산화물 등이 있다. 활성탄에 유기물이 흡착될 때는 같은 계열에서는 분자량이 클수록 쉽게 흡착되고, 분자의 크기가 같은 경우에는 방향족이 지방족보다, 측쇄화합물이 직쇄화합물보다 쉽게 흡착되는 경향이 있다. 또 용해도가 작을 수록 잘 흡착된다(김용권, 1995).

활성탄의 표면과 흡착된 물질사이에 상호작용은 분산력에 의해 크게 좌우된다. 전자수용체 또는 공여체가 없는 지방족탄화수소와 같은 비극성물질은 표면산화물과 반응하지 않고 graphite-like표면에 흡착되고, 반면 케톤류나 알콜류 같이 전자교환능력이 있는 극성물질들은 표면의 소수성(hydrophobic)부분과 표면산화물 양쪽 모두에 흡착될 수 있다(Beck et al, 1990).

이 모든 것을 고려해볼 때 비극성 CS₂를 용매로 사용한 경우 CS₂가 표면산화물과 상호작용하지 않으므로 알콜류, 케톤류, 물과 같은 "극성"분자는 이런 부위에 흡착되어 남아있을 것이다. 그러므로 이런 극성분자들을 옮기기 위하여는 메틸렌클로라이드, DMF와 같은 다른 탈착제를 사용해야 한다(Johansen & Wendelboe, 1981; Posner, 1981; Rudling & Bjorkhelm, 1986). 반면 Johansen와 Wendelboe (1981)에 의하면 방향족은 DMF를 탈착용매로 사용한 경우 정량적으로 회수되지 않는다고 하였다. 본 연구의 결과를 보면 단독 DMF를 사용했을 경우에는 DMF용매 피크가 분석물질과 완전히 겹침으로 결과를 낼 수 없었고, 보조용매로 DMF를 사용했을 경우에는 보조용매의 함량이 증가할 수록 비극성물질인 톨루엔, 메타-크실렌의 탈착효율이 1% DMF in CS₂에서 톨루엔은 98.89 (1.99), 메타-크실렌은 98.18 (±0.43), 5% DMF in CS₂에서 톨루엔은 94.06 (±2.22), 메타-크실렌은 96.82 (±1.73), 10% DMF in

CS₂에서 톨루엔은 97.22(±1.29), 메타-크실렌은 100.00 (±1.49)로 단독 CS₂때와 별다른 차이가 없었다. 또한 극성과 비극성용매에 반응해성인 메틸렌클로라이드를 단독으로 사용하였을 경우 톨루엔이 93.10(±4.04), 메타-크실렌이 87.81(±4.49)로 단독 CS₂ 사용시보다 탈착효율이 유의하게 낮았다 ($p < 0.001$). 주용매 CS₂와 메틸렌클로라이드에 대한 보조용매의 %함량이 1 %에서 5%, 10%로 커짐에 따라 각 분석대상물질들의 %오차가 기준값인 100 %에 접근하여 감소할 것으로 기대하였지만, 극성 알콜류인 이소부틸알콜과 노말부틸알콜의 경우, 그리고 극성 글리콜에테르류인 셀로솔브아세테이트와 부틸셀로솔브의 경우 메틸렌클로라이드가 주용매로 사용되었을 때에는 보조용매 함량이 10%일 때 오히려 %오차가 증가하였다. 이런 결과로 보아 적당한 보조용매의 함량은 5%정도로 하는 것이 좋은 탈착효율을 낼 것이라고 생각된다.

용질의 분자나 이온이 용매 속에 균일하게 녹아 들어가는 현상을 용해(dissolution) 라고 한다. 용해된 용질의 분자 또는 이온 등의 입자는 용매 분자와 함께 다른 입자 사이를 자유롭게 운동하며, 일반적으로 용질의 분자구조가 용매분자의 구조와 비슷하거나 같은 작용기를 갖고 있을 때는 잘 녹는다. 즉, 무극성용매(벤젠, 석유, 에테르 등)에는 무극성 물질이 잘 녹고, 극성용매(물)에는 극성물질과 이온성물질이 잘 녹는다. 이와 같은 성질을 나타내는 이유는 극성분자끼리는 쌍극자를 통하여 서로 끌어당기어 잘 섞일 수 있지만 극성분자와 무극성분자 사이에 작용하는 힘은 약하고 오히려 극성분자끼리 화합하기 때문이다(박택규, 1988).

이와 같은 용해도의 개념으로 생각해보면, 비극성 CS₂에 대해 비극성물질들의 용해도는 크므로 쉽게 탈착될 것이고, 반면 극성물질들의 용해도는 적으므로 쉽게 탈착되지 않을 것이다. 그러나 비극성 CS₂에 보조용매로 극성용매들을 첨가했을 경우에는 다른 결과가 나올 수 있다. 주 용매인 CS₂에 대해 보조용매의 용량은 1~10%로 작을지라도 흡착된 분석물질의 경우 보조용매에 대해서는 더욱더 작은 양이

므로 여기에 극성분석물질들이 극성보조용매에 화합함으로써 쉽게 탈착될 수 있으리라고 생각된다.

3%, 5% 메탄올, 1%, 3%, 6%, 10% 부틸셀로솔브(Beck et al, 1990), 5% 메탄올(Fracchia et al, 1977), 10% 펜탄올(Kenny & Stratton, 1989), 2% 메탄올(Rudling & Bjorkhelm, 1986)등을 보조용매로하고 CS₂를 주용매로 사용한 연구가 보고되었고, NIOSH Method No. 1400, 1401, 1402를 보면 알콜류를 분석할 때 1% 2-부탄올, 1% 2-프로판올, 5% 2-프로판올을 보조용매로 한 주용매 CS₂를 사용하였다. 본 연구에서도 보조용매로 메탄올, 펜탄올, DMF를 1%, 5%, 10%(v/v) 용량으로 주용매 CS₂에 첨가하여 사용하였는데, 그 결과 모든 경우에서 표 7과 같이 단독 CS₂를 용매로 사용하였을 때와 비교시 유의하게 탈착효율이 증가했다($p < 0.001$).

Posner와 Okenfuss(1981)는 단독 CS₂를 탈착용매로하여 여러 물질들의 단일, 혼합일때 각각의 탈착효율을 구하였는데 서로 다른 결과가 나온다고 했다. 그 이유로 비극성용매 CS₂안에 있는 극성물질사이의 인력이 강하므로 단일 물질일때의 탈착효율보다 혼합 물질일때의 탈착효율이 증가되었고(Mieller & Miller, 1979), 큰 차이를 보인다고 했다(Krajewski et al, 1980). 이와 같은 결과를 보면 본 연구에서는 각 분석물질에 대해 단일물질일때의 탈착효율을 구하진 않았지만, 용해도와 같은 개념으로 보았을 때 다른 극성 물질(용매)의 존재시에는 극성물질의 탈착효율 증가를 유도한다고 생각된다.

탈착효율에 영향을 끼치는 원인의 하나로 부하량을 제시한 연구들이 많다(Saalwaecher, 1977; Posner, 1981; Posner & Okenfuss, 1981; Beck et al, 1990). 많은 연구들에서 극성물질의 경우 부하량의 변화에 민감하다고 했는데, Saalwaecher (1977)는 부하량이 감소함에 따라 탈착효율이 감소하는 이유로 활성탄표면에 어느 정도의 분석물질이 항상 비가역적으로 결합되어 있고 탈착되지 않기 때문이라고 했다. 본 연구결과 극성, 비극성물질 모두 부하량이 증가할수록 탈착효율이 증가했다. 바꾸어 말하면, 부하량이 감소할수록 탈착효율이 감소했다. 이 결과는 활성탄의 표

면이 보통 소수성으로 보여짐에 따라 극성물질의 경우 비가역적인 화학적흡착(chemisorption)이나 매우 활성적인 부위에 아주 강한 흡착을 함으로(Harper et al, 1993), 이 흡착이 탈착용매에 대한 용해도보다 커서 나타난 것이라고 생각된다.

극성유기용제의 낮은 탈착효율을 극복하기 위해 실리카겔 등과 같은 흡착제를 사용한 연구(Elkamp & Schultz, 1983)와 활성탄을 표면처리한 후 탈착효율에 미치는 영향을 살펴본 것이 있다(Rudling, 1990). 활성탄-CS₂에 비해 실리카겔-DMSO(methylsulfoxide)를 사용한 경우 고습도, 저장기간과 온도에 의해 탈착효율의 영향이 없었지만, DMSO에 의한 GC-FID의 오염문제가 나타났다.

본 연구에서 CS₂에 보조용매 10% 메탄올을 사용한 경우 메탄올과 CS₂가 두층으로 분리되어 혼합시에는 혼탁한 상태였다가 다시 두층으로 분리되는 현상이 나타나 탈착용매로 사용시 1ml씩 취할때 매번 같은 성분의 용매가 취해졌다고 하기에는 곤란하다. 또한 보조용매로 알콜류를 사용하였을때 피크에 미치는 유령피크들이 나타났는데 어떤물질인지는 확인하지 못했다.

탈착용매제조시 내부표준물질로 에틸벤젠을 가하였는데, 0.1%(v/v)의 용량을 50ml CS₂ 내에 첨가할때 autopipet을 사용하였다. Beck 등(1990)에 의하면 탈착효율이 100 %보다 큰 이유가 활성탄에 탈착용매가 흡착되기 때문에 탈착용액 부피의 감소로 인해서라고 하였는데, 본 연구에서는 100%가 넘는 탈착효율의 경우 내부표준물질을 첨가하는 이 과정에서 차이가 났을 가증성이 있다.

앞으로 행해져야 할 과제로는 여러 유기용제의 종류에 따라 대표되는 몇가지 물질에 대해서만이 아니라 여러가지 물질에 대해서 반복실험을 하고, 또한 분석물질의 종류에 따라 적당한 보조용매를 설정하는 연구가 계속되어야 하겠다.

V. 맺 음 말

본 연구에서는 여러종류의 탈착용매를 이용하여

활성탄에 포집된 극성 및 비극성 유기용제의 탈착효율에 대해 비교평가하였다.

분석대상 물질로는 톨루엔, 메타-크실렌, 이소부틸알콜, 노말부틸알콜, 셀로솔브아세테이트, 부틸셀로솔브를 사용하였다. 제조된 시료의 농도수준은 세가지 다른 농도로 하였다.

주용매인 이황화탄소에 대해 혼합된 보조용매의 종류는 메탄올, 펜탄올, 디메틸포름아미드였고 메틸렌클로라이드에 대한 혼합보조용매의 종류는 메탄올이었다. 주용매에 가하여진 보조용매의 %함량은 1%, 5%, 10%(v/v%)로 하였다.

그 결과는 다음과 같다.

1. 1% 메탄올, 1% 펜탄올을 각각 CS₂에 첨가한 탈착용매를 제외한 모든 종류의 혼합용매에서 탈착효율이 CS₂를 단독으로 사용한 경우에 비하여 통계적으로 유의하게 높았다($p < 0.001$).
2. 사용된 혼합용매나 물질의 극성도에 관계없이 활성탄판에 부하된 분석물질이 증가함에 따라서 탈착효율이 증가하였다.
3. CS₂를 주용매로 하고 1%, 5%함량의 보조용매를 첨가한 모든 종류의 탈착용매에서 비극성물질들이 극성물질들의 탈착효율보다 통계적으로 유의하게 높게 나왔다($p < 0.001$). 10%의 혼합용매와 메틸렌클로라이드에 메탄올을 섞은 용매에서는 오히려 그와 반대의 결과가 나왔다.
4. CS₂를 단독으로 사용한 경우에 23.26%로 높은 오차값이 나왔고, 5 % DMF-CS₂ 혼합용매에서 4.79%로 가장 낮은 평균%오차가 나왔고, 다음으로 10% DMF-CS₂ 용매에서 4.82 % 오차가 나왔다.

본 연구의 결과로 보아 활성탄판에 포집된 극성유기용제를 분석할 경우, 탈착효율을 증가시키기 위하여, 5%(v/v%)정도의 함량으로 메탄올, 펜탄올, DMF와 같은 보조용매를 첨가, 사용하여야 할 것이다.

인 용 문 헌

- 김경란, 백남원 : 활성탄관에 포집된 극성유기용제의 탈착효율에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1995; 5(1):104-118
- 김용권 : 활성탄 수처리기술과 관리, 서울, 신광문화사, 1995, 23-58
- 노동부 : 유해물질의 허용농도, 노동부고시 제 91-21, 노동부, 1991
- 박택규 : 고교화학II, 서울, 고려서적주식회사, 1988, 42-47, 108-138
- 한국산업안전공단 산업보건연구원: 산업위생실험실의 자체정도관리 지침서, 1995, 15-25, 61-66
- 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
- Elskamp CJ, Schultz GR : An alternate sampling and analytical method for 2- Butanone. Am Ind Hyg Assoc J 1983;44(3) :201-204
- Fracchia M, Pierce L, Graul R, Stanley R : Desorption of organic solvents from charcoal collection tubes. Am Ind Hyg Assoc J 1977;38(1):144-146
- Goller JW : Displacement of polar by non-polar organic vapors in sampling systems. Am Ind Hyg Assoc J 1985; 46(3):170-173
- Harper M, Kimberland ML, Orr RJ, Guild LV : An evaluation of sorbents for sampling ketones in workplace. Appl Occup Environ Hyg : 1993;8(4):293-304
- Johansen I, Wendelboe JF : Dimethylformamide and carbon disulphide desorption efficiencies for organic vapours on gassampling charcoal tube analyses with a gas chromatographic backflush technique. Journal of Chromatography 1981;217:317 -326
- Kenney J, Stratton G : Improved desorption solvent for organic solvent mixtures. Am Ind Hyg Assoc J 1989; 50(6):A-431-A-434
- Krajewski J, Gromiec J, Dobecki M : Comparison of methods for determination of desorption efficiencies. Am Ind Hyg Assoc J 1980;41(7):531-534
- Mueller FX, Miller JA : Determination of airborne organic vapor mixtures using charcoal tubes. Am Ind Hyg Assoc J 1979; 40(5):380-386
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : NIOSH manual of analytical methods 1400, 1401, 1402. 1994; 4(8):A-D
- Posner JC : Desorption of organic analytes from activated carbon II; Dealing with the problems. Am Ind Hyg Assoc J 1981;42(9) :647-652
- Posner JC, Okenfuss JR : Desorption of organic analytes from activated carbon I : Dealing with the process. Am Ind Hyg Assoc J 1981;42(9):643-646
- Rudling J : Improvement of activated carbon air sampling. Journal of Chromatography 1990;503:33-40
- 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(10) :615-620
- Rudling J, Eva B : Effect of adsorbed water on solvent desorption of organic vapors collected on activated carbon. Am Ind Hyg Assoc J 1983;44:201-204
- Rudling J, Eva B, Bengt-ove L : Storage of organic solvents adsorbed on activated carbon. Ann Occup Hyg 1986;30:319-327
- Saalwaechter AT, Mccammon CS, Roper CP, Carlberg KS : Performance testing of NIOSH charcoal tube technique for the determination of air concentrations of organic vapors. Am Ind Hyg Assoc J 1977;38(9):476-486
- Taylor DG, Fupel RE, Bryant JM : Documentation of the NIOSH Validation Tests. DHEW(NIOSH) Cincinnati Ohio 1977