

碩士學位論文

GC를 이용한 유기용제 시료분석시
휘발에 의한 손실방지를 위한
물 첨가법에 관한 연구

2006年

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

金 秉 年

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

GC를 이용한 유기용제 시료분석시
휘발에 의한 손실방지를 위한
물 첨가법에 관한 연구

Development and Validity Test for an Water Additive
Method into the Vial of Desorbed Organic Solvent
Sample during GC Analysis

2005年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

金 秉 年

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

GC를 이용한 유기용제 시료분석시
휘발에 의한 손실방지를 위한
물 첨가법에 관한 연구

Development and Validity Test for an Water Additive
Method into the Vial of Desorbed Organic Solvent
Sample during GC Analysis

위 論文을 産業衛生工學 碩士學位論文으로 提出함

2005年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

金 秉 年

金秉年の 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

2005年 12月

심사위원장 (인)

심 사 위 원 (인)

심 사 위 원 (인)

목 차

표 차례	ii
그림 차례	iii
I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	3
II. 실험 및 평가방법	4
1. 물질선정	4
2. 분석기기의 조건	5
3. 시료분석 방법	6
(1) 분석대상 물질의 제조	6
(2) 물을 첨가한 시료의 제조	6
(3) 분석과정	7
III. 결과 및 고찰	8
1. 실험실 내의 온·습도	8
2. 각 물질별 비율 변화	8
3. CS ₂ 로 보정한 각 물질별 비율 변화	15
IV. 결론	23
참고문헌	24
ABSTRACT	25

표 차례

표 1. 유독물질별 제조량 및 사용량	2
표 2. 분석물질의 특성	4
표 3. 각 기관의 물질별 노출기준	5
표 4. GC 분석조건	5
표 5. 유기용제 혼합액 제조	6
표 6. 노출기준 1배 수준의 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율	9
표 7. 노출기준 0.5배 수준의 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율	11
표 8. 노출기준 0.1배 수준의 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율	13
표 9. 노출기준 1배 수준을 CS ₂ 로 보정한 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적 과 비율	16
표 10. 노출기준 0.5배 수준을 CS ₂ 로 보정한 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율	18
표 11. 노출기준 0.1배 수준을 CS ₂ 로 보정한 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율	20
표 12. 각 수준별 시료의 비율과 CS ₂ 로 보정한 시료 비율의 변화	22

그림 차례

그림 1. 분석순서도	7
그림 2. 노출기준 1배 수준 일반시료의 비율 변화	10
그림 3. 노출기준 1배 수준 물 첨가 시료의 비율 변화	10
그림 4. 노출기준 0.5배 수준 일반시료의 비율 변화	12
그림 5. 노출기준 0.5배 수준 물 첨가 시료의 비율 변화	12
그림 6. 노출기준 0.1배 수준 일반시료의 비율 변화	14
그림 7. 노출기준 0.1배 수준 물 첨가 시료의 비율 변화	14
그림 8. 노출기준 1배 수준을 CS ₂ 로 보정한 일반시료의 비율 변화	17
그림 9. 노출기준 1배 수준을 CS ₂ 로 보정한 물 첨가 시료의 비율 변화	17
그림 10. 노출기준 0.5배 수준을 CS ₂ 로 보정한 일반시료의 비율 변화	19
그림 11. 노출기준 0.5배 수준을 CS ₂ 로 보정한 물 첨가 시료의 비율 변화 ...	19
그림 12. 노출기준 0.1배 수준을 CS ₂ 로 보정한 일반시료의 비율 변화	21
그림 13. 노출기준 0.1배 수준을 CS ₂ 로 보정한 물 첨가 시료의 비율 변화 ...	21

감사의 글

학문적 가르침과 본 논문을 완성하기까지 많은 지도를 해 주신 박두용교수님께 진심으로 감사드립니다.

그리고 저를 항상 믿어주시고 성원해주신 부모님과 누나, 동생들에게 감사드립니다.

또한, 2여년동안 저에게 많은 도움과 격려를 주신 신철임선배, 김원기, 김병수, 류관호조교에게 감사를 드립니다.

본 대학원에서 배운 가르침을 소중히 간직하며 감사의 글을 바칩니다.

I. 서 론

1. 연구배경

유기용제는 산업장에서 가장 널리 사용되는 화학물질이다. 2004년에 환경부가 조사한 화학물질은 <표 1>과 같이 종류와 양이 매우 많다. 작업환경측정대상 물질도 유기용제가 가장 많다. 따라서 유기용제의 측정은 산업위생분야에서 매우 중요하다.

작업환경 중 유기용제의 측정은 활성탄관과 공기채취펌프를 이용한다. 이 과정은 크게 시료채취(sampling), 기구보정(calibration), 시료분석(analysis) 및 자료처리(data handling system) 등 4단계로 나누어 볼 수 있다. 모든 측정에서는 오차가 발생하며, 각 단계마다 측정오차를 최소화함으로써 보다 정확한 측정을 할 수 있다. 시료측정단계에서 발생하는 오차의 원인은 주로 채취효율, 측정장치의 누출, 공기유량의 변동, 측정시간, 시료채취과정, 운반 및 보관 시 시료의 안정성, 공기 중에 존재하는 방해물질 등이 있으며, 분석단계에서는 검량선의 정확성, 기기의 안정성, 시료의 안정성 그리고 계산과정의 정확성 등이 있다.¹⁾

분석과정에서 시료의 안정성은 활성탄관에서 용매로 탈착한 다음부터 GC에서 분석이 이루어지기까지의 분석시료의 안정성을 의미한다. 이 과정에서 시료의 손실을 방지하기 위해서는 탈착 후 짧은 시간 안에 분석하는 것이다.²⁾ 그러나 분석과정에서 시료의 수가 많거나 실험실 조건에 따라 탈착 후 분석까지 시간이 오래 걸리는 경우가 많다. 분석시료를 보관하는 동안 또는 GC로 시료를 분석하는 동안 시료인 유기용제는 휘발에 의한 손실이 발생하게 된다. 분석과정에서 시료손실에 관한 연구를 실시한 김 석(2005)에 의하면 증기압이 높은 물질은 시간이 경과할수록 농도가 감소하였고 증기압이 낮은 물질은 시간이 경과할수록 농도가 증가하였다.³⁾

특히, 분석실에서 시료를 GC로 분석할 때 대부분 GC 자동시료주입

기(auto injector)의 원판(tray)에 여러 개의 유리병(vial)을 올려놓고 자동으로 분석을 한다. 그러나 분석할 분석물질이 많을 때, 분석물질의 분리가 잘 되지 않을 때, Column에서 분석물질의 머무름시간이 길 때, 분석시간이 길어져 시료는 처음 분석하는 시료와 나중에 분석되는 시료의 시간차이가 발생하여 나중에 분석되는 시료는 Tray에서 긴 시간 동안 방치됨으로써 일부 휘발에 의한 손실이 일어나게 된다.

[표 1] 환경부의 유독물질별 제조량 및 사용량⁴⁾(2004)

유독물내역		유독물영업등록업	
순위	물질명	제조량	사용량
1	Xylene	5,313,409.33	4,133,932.15
2	Sulfuric acid	4,900,241.72	2,954,102.51
3	Sodium hydroxide	3,708,713.14	1,932,756.10
4	Benzene	3,496,118.61	1,353,418.72
5	1,2-Dichloroethane	838,289.87	1,338,871.19
6	Hydrogen chloride	1,461,715.64	1,302,931.53
7	Methyl alcohol	52,553.00	1,068,202.58
8	Toluene	2,460,714.43	913,438.11
9	Ammonia	52,682.62	838,672.69
10	Nitric acid	1,251,781.12	488,668.99
⋮	⋮	⋮	⋮
41	Nitrous acid salt	1,059.32	6,471.90
42	White phosphorus		5,979.95
43	1-Chloro-2-nitrobenzene		4,914.17
44	Chromic anhydride	2,042.16	4,859.47
45	Carbon disulfide	8.28	3,974.49
총량	26,672,304.31	19,396,645.33	14,036,616.51

본 연구는 GC 분석 시 유리병(vial)에 담긴 탈착된 시료가 시간에 따라 증기압으로 인한 손실이 발생하므로, 비극성물질인 유기용제의 휘발을 막기 위해 시료가 담긴 유리병(Vial)에 소량의 물(3차 증류수)을 첨가하여 유기용제 표면에서 유기용제의 휘발을 억제함으로써 시료손실을 방지할 수 있는지에 대하여 시험하였다.

2. 연구목적

유기용제를 분석하기 위해 사용하는 GC는 각 분석물질의 수나 머무름시간 및 분석조건에 의해 분석시간이 영향을 받게 된다. 그러므로 유리병(Vial)에 담겨 있는 유기용제는 경과시간에 따라 각 물질의 증기압에 의해 손실이 발생하며 이는 시료의 참값을 얻는데 오차로 작용되어 결과의 과대평가 및 과소평가의 원인이 될 수 있다.

이런 오차를 줄이고자 본 연구에서는 극성물질인 물을 사용하여 유기용제의 표면에 수막을 형성하여 증기압으로 인한 손실을 최소화하고 유기용제의 비율변화를 보고자한다.

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. CS₂로 탈착된 유기용제의 분석시간에 따라 시료의 손실정도를 파악한다.
2. 시료가 담긴 유리병에 소량의 물을 첨가했을 경우 시료의 손실정도를 측정·비교한다.

II. 실험 및 평가방법

1. 물질선정

실험대상물질로는 사용량이 많고 산업위생분야에서 상대적으로 중요하면서 가장 기본적인 물질인 벤젠, 톨루엔, 자일렌을 선정하였으며, 탈착용매인 CS₂보다 증기압이 높은 pentane도 포함시켰다. Pentane은 산업보건학적으로 그다지 중요한 물질은 아니지만 CS₂보다 증기압이 높기 때문에 다른 물질과 비교하기 위하여 선정하였다.

본 연구에 선정된 물질과 각각의 물리·화학적 특성은 <표 2>와 같다. 선정된 대상물질에 대한 우리나라 노동부의 노출기준⁶⁾과 미국 산업위생전문가협회(American of Government Industrial Hygienists, ACGIH)⁷⁾의 노출기준은 <표 3>과 같다.

[표 2] 분석물질의 특성⁵⁾

Substance	CAS No.	Molecular weight	Boiling point in °C	Vapor Pressure in mmHg at 20°C
Pentane	109-66-0	72.15	35~36	426
Benzene	71-43-2	78.11	80	75
Toluene	108-88-3	92.14	110.6	22
o-Xylene	95-47-6	106.17	143~145	6.6
Carbon disulfide	95-47-6	76.13	46	300

[표 3] 각 기관의 물질별 노출기준 (ppm)

대상물질	노동부		ACGIH	
	TWA	STEL	TLV	STEL
Pentane	600	750	600	
Benzene	1		0.5	2.5
Toluene	100	150	50	
o-Xylene	100	150	100	150

2. 분석기기의 조건

GC는 Agilent 6890N(Agilent Technologies, USA)을 사용하였다. 주입기는 Auto-injector를 사용하였고 검출기는 불꽃 이온화 검출기(Flame Ionization Detector, FID)을 사용하였다.

[표 4] GC 분석조건

변수	상태
Oven temp.	50℃
Injector temp.	220℃
Injector pressure	4.95psi
Split ratio	30:1
Column	Agilent HP-5 5%Phenyl Methyl Siloxane
Column Initial flow	1.0 ml/min
Detector temp.	250℃
Hydrogen flow	30.0 ml/min
Air flow	300.0 ml/min
Make up flow	15.0 ml/min
Inlet Sample Washes	3
Inlet Sample Pumps	3
Injection Volume	1.0 μ l
Syringe Size	10.0 μ l
Plunger Speed	Fast

3. 시료분석 방법

(1) 분석대상 물질의 제조

4개의 유기용제를 혼합하여 노출기준의 1배, 0.5배, 0.1배의 수준별로 1 ml씩 취하여 일반시료 3개(1 Set)와 물을 첨가한 시료 3개(1 Set)를 구분하여 총 18개(6 Set)의 시료를 각각 유리병(Vial)에 담은 후 GC의 Auto-injector Tray에 올려놓았다. 같은 시료를 경과시간에 따라 4회 분석하였다.

(2) 물을 첨가한 시료의 제조

극성분자란 전하가 불균형 또는 불규칙한 배열의 분자를 말한다. 극성 혼합물은 극성액체에 용해되고 비극성 혼합물은 비극성 액체에 용해된다. 비극성혼합물은 극성액체에 잘 용해되지 않는다.⁸⁾ 그러므로 물을 첨가하여 유기용제의 표면을 덮어줌으로써 소수성(疏水性)인 유기용제와 공기사이에 분리막을 형성함으로써 유기용제의 휘발을 방지할 수 있을 것이다.

물의 주입량은 유기용제가 들어있는 유리병(Vial)에 물을 첨가할 때 물이 유리병(Vial)의 유기용제의 표면을 완전히 덮을 수 있는 400 μl 를 주입하였다.

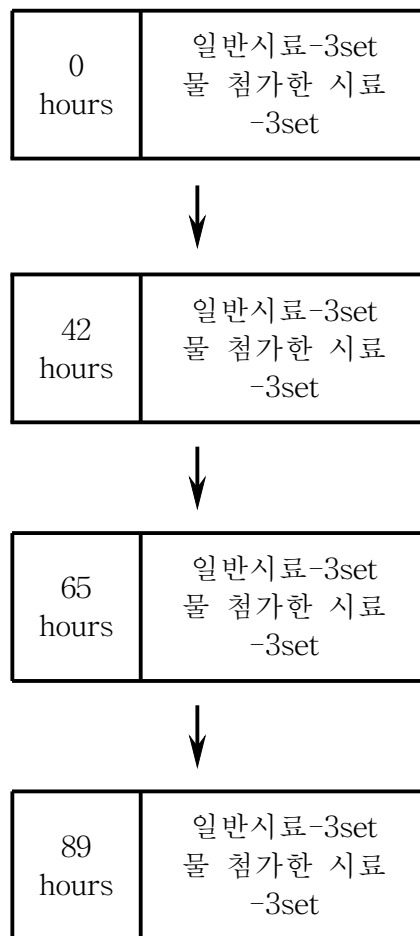
[표 5] 유기용제 혼합액 제조

Substance	Calculated conc. ($\mu\text{g}/\text{ml}$ CS ₂)	Mixing Ratio (ml)
Pentane	433~3462	2
Benzene	12~97	0.04
Toluene	300~2398	1
o-Xylene	1217~9735	4

(3) 분석과정

분석 시에 유리병(Vial)의 뚜껑은 Auto-injector의 바늘이 삽입된 후 테프론(Teflon)에 손상이 생기며 손상된 틈으로 유기용제의 휘발에 의한 손실을 고려하여 각 회 분석 후 유리병(Vial)의 뚜껑은 새것으로 교체하였다.

분석과정은 <그림 1>와 같이 분석하였다.



[그림 1] 분석순서도

Ⅲ. 결과 및 고찰

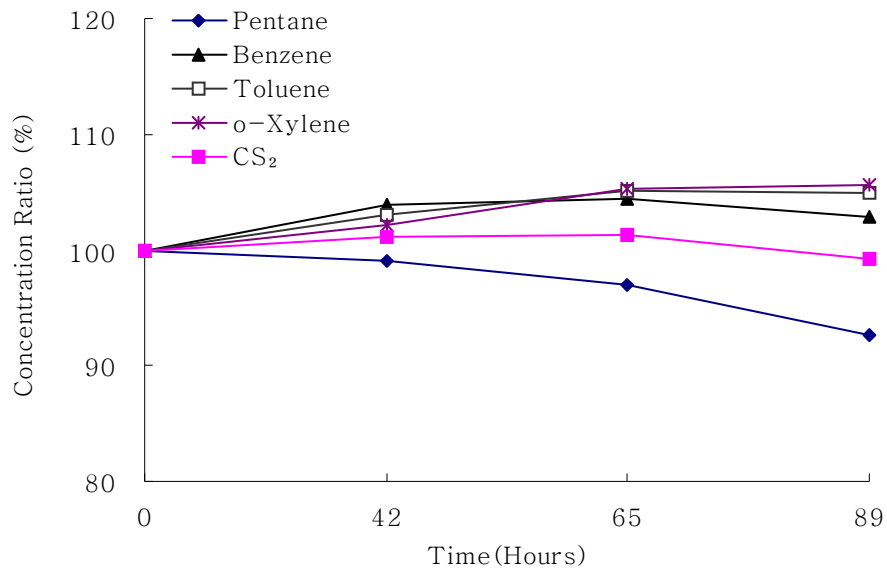
1. 실험실 내의 온·습도

실험과정에서 실험실내의 온도는 $18.2^{\circ}\text{C}(\pm 0.3)$ 를 유지하였고 습도는 $31.2\%(\pm 0.7)$ 수준을 유지하였다.

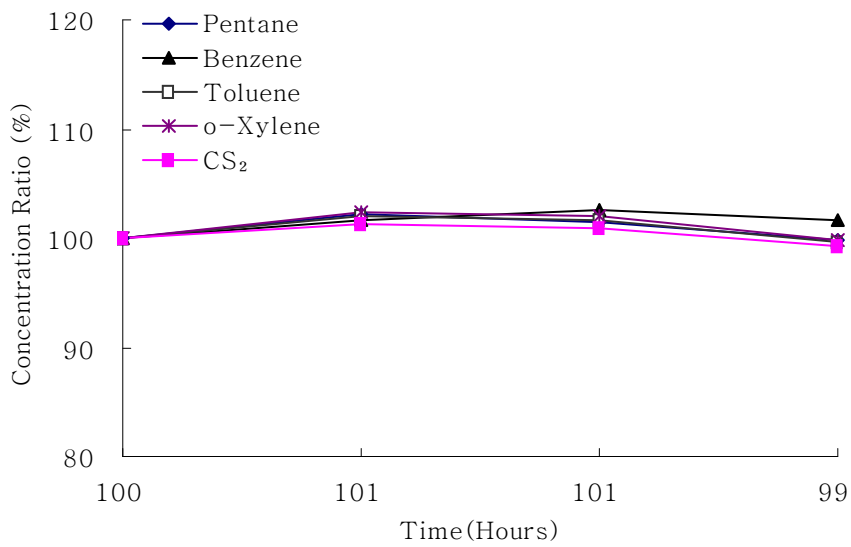
2. 시료제조 후 분석까지의 시간에 따른 시료손실 정도

시료를 제조한 후 분석까지 일정한 시간별로 GC 분석을 실시하여 시료의 변화를 GC peak 면적으로 비교한 결과, 농도수준별로 <표 6>에서 <표 8>과 같다. 시료제조 후 곧바로 분석한 결과를 100으로 할 때 Pentane은 노출기준 1배 수준에서 최대 7%, 0.5배 수준에서 최대 2%, 0.1배 수준에서 2% 감소하였다. Benzene은 노출기준 1배 수준에서 최대 4%, 0.5배 수준에서 8%, 0.1배 수준에서 4% 증가했고 Toluene도 노출기준 1배 수준에서 최대 5%, 0.5배 수준에서 6%, 0.1배 수준에서 7% 증가하였다. 또한 o-Xylene은 노출기준 1배 수준에서 최대 6%, 0.5배 수준에서 8%, 0.1배 수준에서 10% 증가하였고 CS₂는 노출기준 1배 수준에서 최대 1%, 0.5배 수준에서 3%, 0.1배 수준에서 6% 증가하였다.

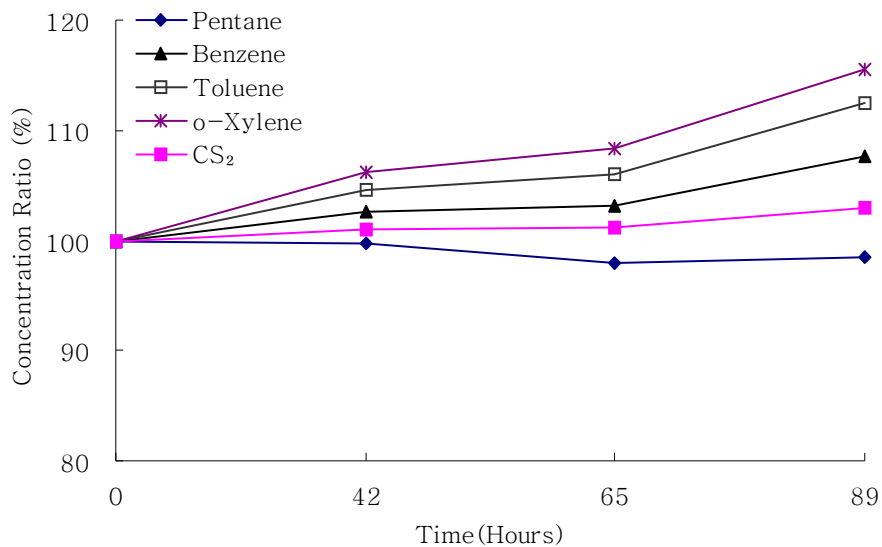
휘발에 의한 손실을 억제하기 위하여 물을 첨가한 시료의 경우는 <표 6>에서 <표 8>까지 보는 바와 같이 Pentane은 1배 수준에서 최대 2%, 0.5배 수준에서 2%, 0.1배 수준에서 6% 증가하였다. Benzene은 노출기준 1배 수준에서 최대 3%, 0.5배 수준에서 2%, 0.1배 수준에서 6% 증가하였고 Toluene은 노출기준 1배 수준에서 2%, 0.5배 수준에서 2%, 0.1배 수준에서 6% 증가하였다. 또한 Xylene은 노출기준 1배 수준에서 2%, 0.5배 수준에서 2%, 0.1배 수준에서 6% 증가하였고 CS₂는 노출기준 1배 수준에서 최대 1%, 0.5배 수준에서 1%, 0.1배 수준에서 4% 증가하였다.



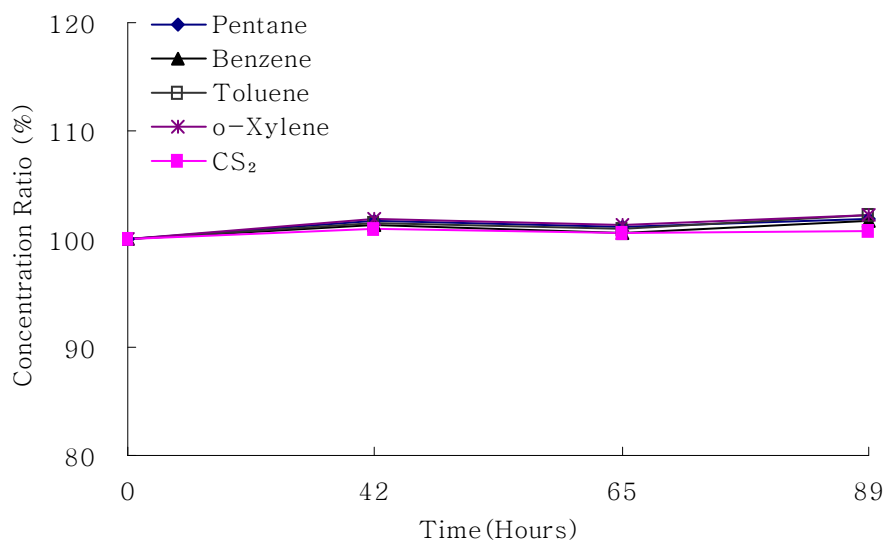
[그림 2] 노출기준 1배 수준 일반시료의 비율 변화.



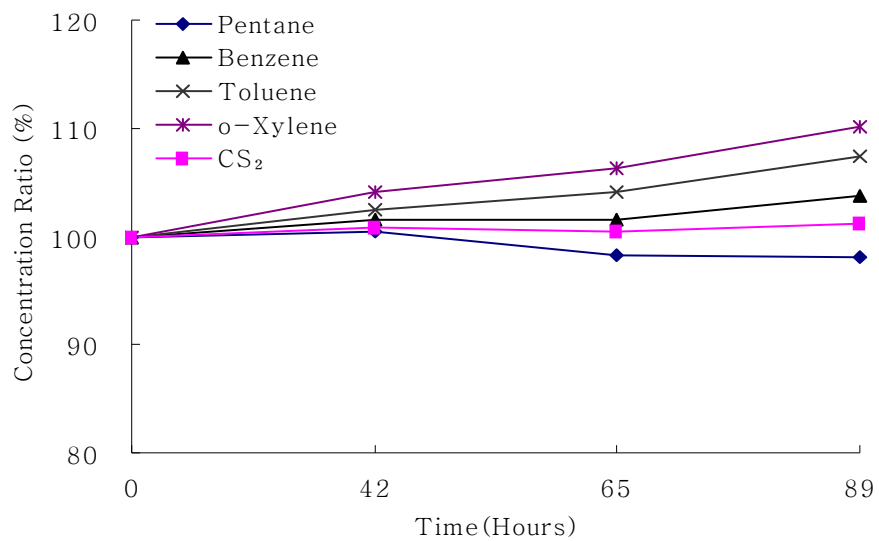
[그림 3] 노출기준 1배 수준 물 첨가 시료의 비율 변화.



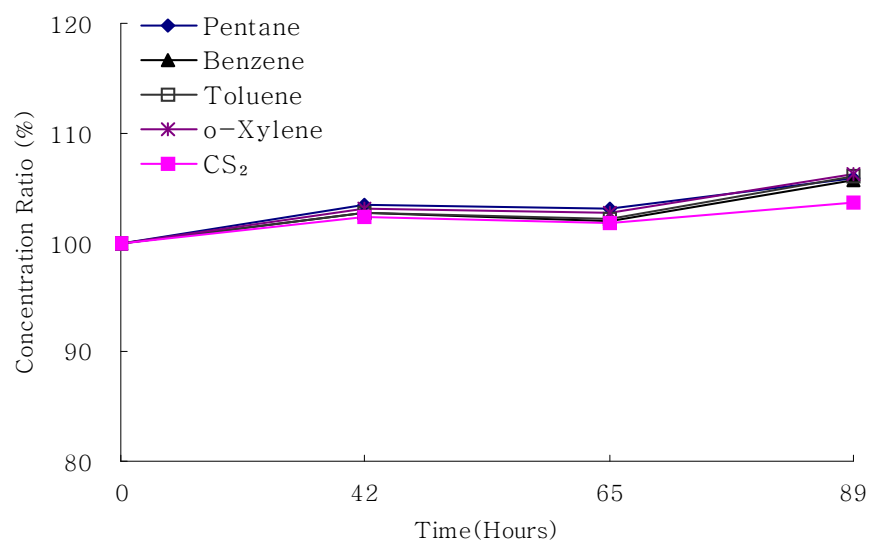
[그림 4] 노출기준 0.5배 수준 일반시료의 비율 변화.



[그림 5] 노출기준 0.5배 수준 물 첨가 시료의 비율 변화.



[그림 6] 노출기준 0.1배 수준 일반시료의 비율 변화.



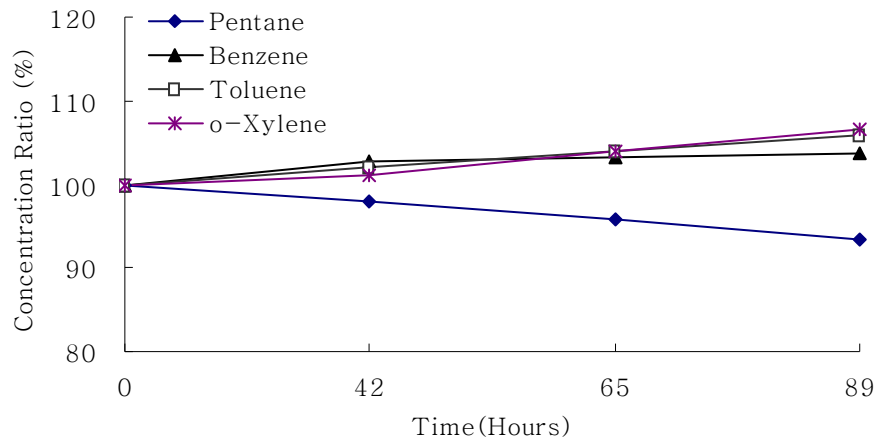
[그림 7] 노출기준 0.1배 수준 물 첨가 시료의 비율 변화.

3. CS₂를 기준으로 보정한 결과

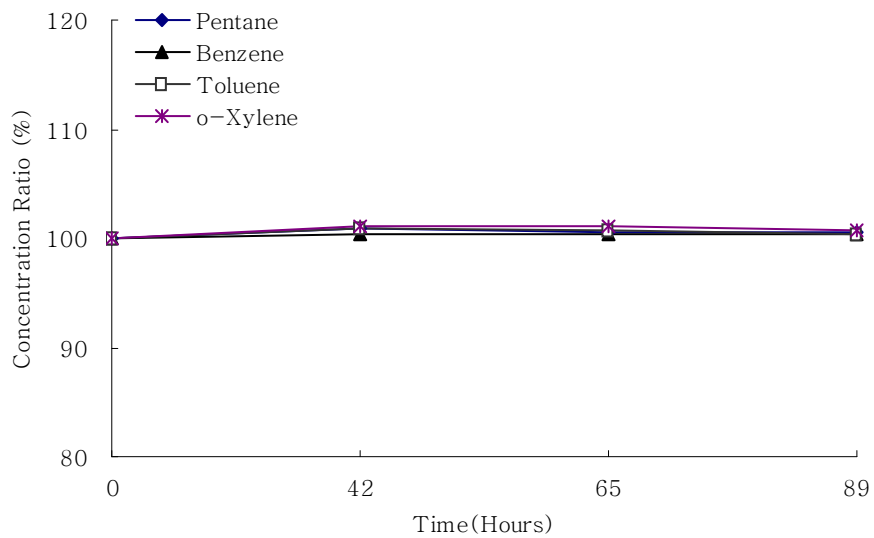
GC 분석 시 자동분석 주입기에서 주입한 양(injection amount to GC)의 차이를 보정하기 위하여 CS₂를 기준으로 보정하여 그 결과를 살펴본 결과는 <표 9>에서 <표 11>과 같다.

Pentane은 노출기준 1배 수준에서 최대 7%, 0.5배 수준에서 4%, 0.1배 수준에서 3% 감소하였다. Benzene은 노출기준 1배 수준에서 최대 4%, 0.5배 수준에서 5%, 0.1배 수준에서 3% 증가하였고 Toluene은 노출기준 1배 수준에서 6%, 0.5배 수준에서 9%, 0.1배 수준에서 9% 증가하였다. 또한 Xylene은 노출기준 1배 수준에서 6%, 0.5배 수준에서 12%, 0.1배 수준에서 9% 증가하였다.

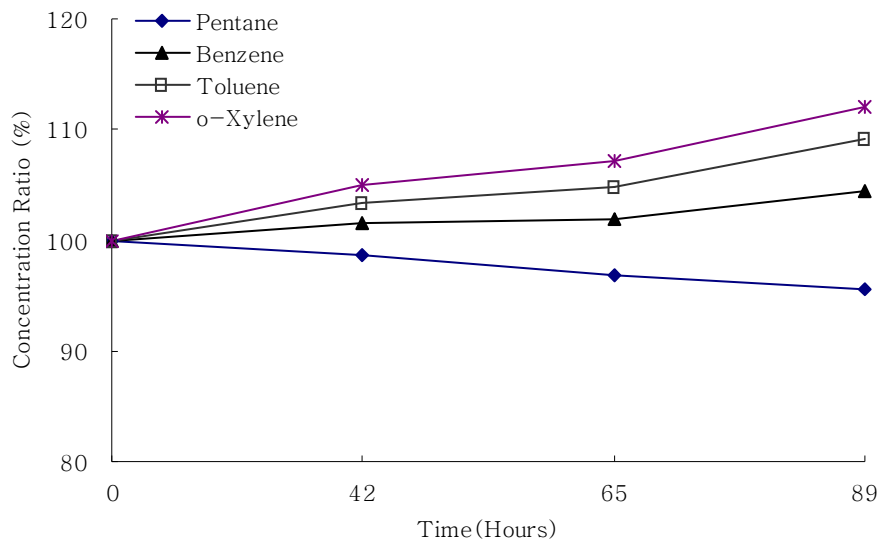
물을 첨가한 경우 Pentane은 노출기준 1배 수준에서 최대 1%, 0.5배 수준에서 1%, 0.1배 수준에서 2% 증가하였고 Benzene은 노출기준 1배 수준에서 0%, 0.5배 수준에서 최대 1%, 0.1배 수준에서 2%증가하였다. 또한 Toluene은 노출기준 1배 수준에서 1%, 0.5배 수준에서 1%, 0.1배 수준에서 2% 증가하였고 Xylene은 노출기준 1배 수준에서 1%, 0.5배 수준에서 1%, 0.1배 수준에서 2% 증가하였다.



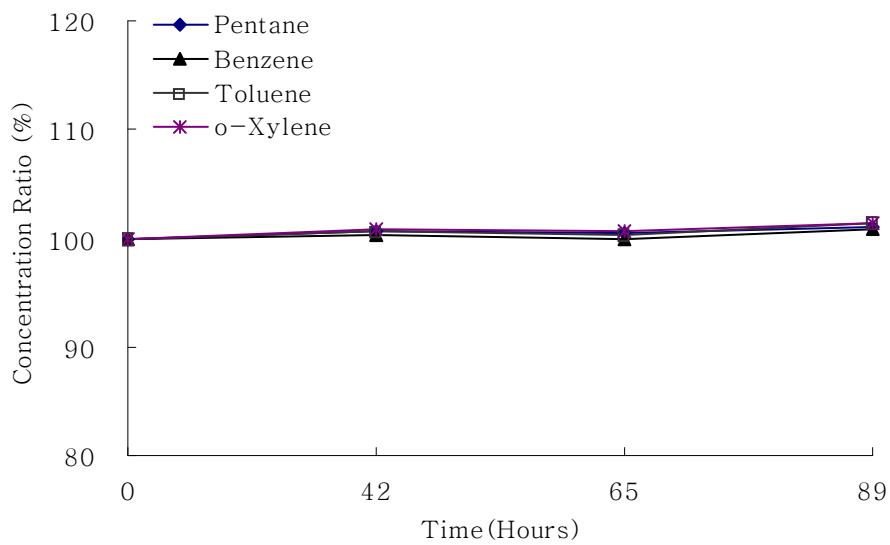
[그림 8] 노출기준 1배 수준을 CS₂로 보정한 일반시료의 비율 변화.



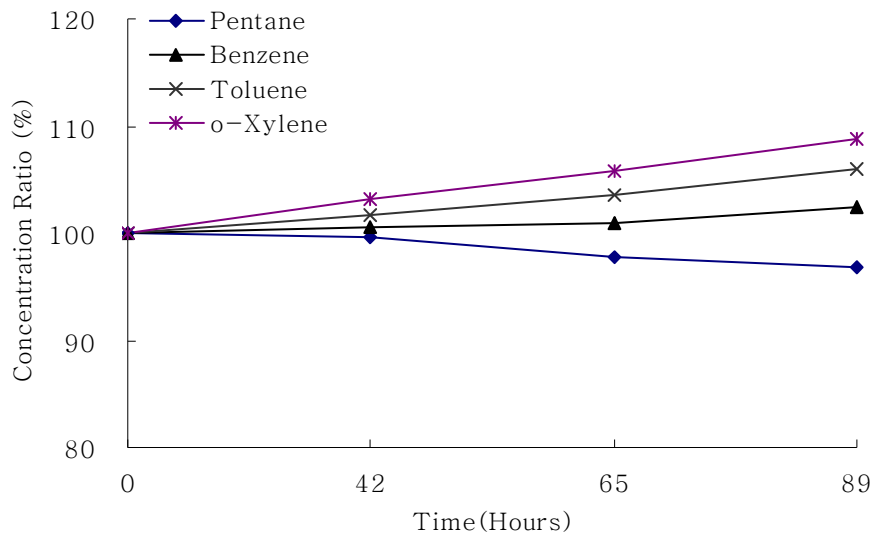
[그림 9] 노출기준 1배 수준을 CS₂로 보정한 물 첨가 시료의 비율 변화.



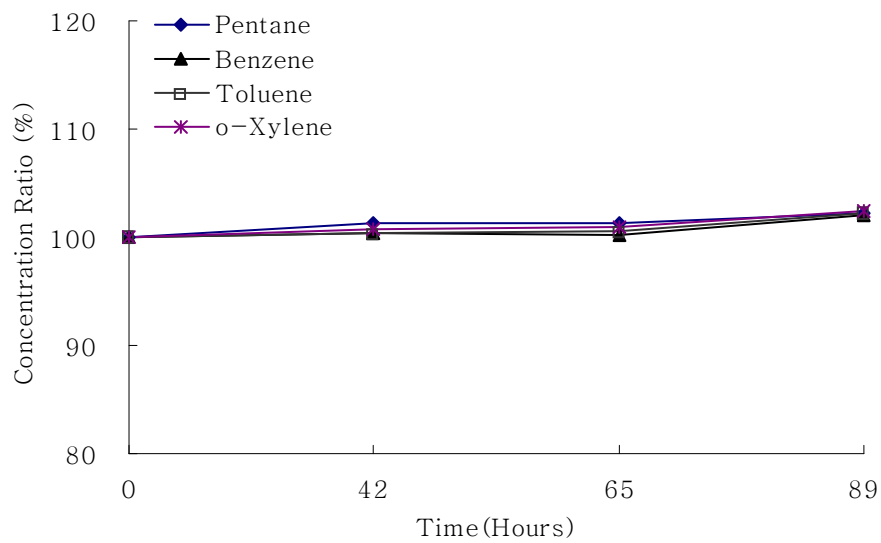
[그림 10] 노출기준 0.5배 수준을 CS₂로 보정한 일반시료의 비율 변화.



[그림 11] 노출기준 0.5배 수준을 CS₂로 보정한 물 첨가 시료의 비율 변화.



[그림 12] 노출기준 0.1배 수준을 CS₂로 보정한 일반시료의 비율 변화.



[그림 13] 노출기준 0.1배 수준을 CS₂로 보정한 물 첨가 시료의 비율 변화.

IV. 결론

유기용제 분석 시 탈착 후 분석을 하기까지 시료를 보관하는 동안 또는 GC에서 시료가 분석되기까지 휘발에 의해 손실이 일어나는 오차를 제어하기 위하여 시료에 물을 첨가하여 시료의 손실을 최소화하는 방법을 적용한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 시료조제 후 89시간이 지난 후 노출기준 1배, 0.5배, 0.1배의 각 수준에서 GC peak area 기준으로 Pentane은 최대 7%, 2%, 2% 감소하였다. Benzene은 최대 4%, 8%, 4% 증가했고 Toluene도 최대 5%, 6%, 7% 증가하였다. 또한 o-Xylene은 최대 6%, 8%, 10% 증가하였다. 물을 첨가한 시료는 시료조제 후 89시간이 지난 후 분석한 결과, 노출기준 1배, 0.5배, 0.1배의 수준에서 Pentane은 최대 2%, 2%, 6% 증가하였다. Benzene은 최대 3%, 2%, 6% 증가하였고 Toluene도 2%, 2%, 6% 증가하였다. 또한 Xylene은 2%, 2%, 6% 증가하였고 CS₂도 최대 1%, 1%, 4% 증가하였다.

2. GC의 주입량에 따른 오차를 보정하기 위하여 CS₂를 기준으로 GC peak area를 보정한 결과, 89시간이 지난 후 분석한 결과, 노출기준 1배, 0.5배, 0.1배의 수준에서 Pentane은 7%, 4%, 3% 감소하였다. Benzene은 최대 4%, 5%, 3% 증가하였고 Toluene도 6%, 9%, 9% 증가하였다. 또한 Xylene은 6%, 12%, 9% 증가하였다. 물을 첨가한 경우, Pentane은 최대 1%, 1%, 2% 증가하였고 Benzene도 0%, 1%, 2% 증가하였다. 또한 Toluene은 1%, 1%, 2% 증가하였고 Xylene도 1%, 1%, 2% 증가하였다.

참고문헌

1. 백남원, 박동욱, 윤충식 : 작업환경측정 및 평가, 신광출판사, P. 56, (2001)
2. 변종각 : 물 분석용 시료의 보존과 보관, 원로과학기술원, (2005)
3. 김석 : GC를 이용한 유기용제 분석시 시료의 안정성에 관한 연구, 한성대학교, (2005)
4. 환경부 : 유독물 유통량 취급실태 분석결과, 환경부 환경정책실 화학물질안전과, (2004)
5. 한국산업안전공단 : 한국산업안전공단 홈페이지(<http://www.kosha.net>) - 물질안전보건자료(MSDS)
6. 노동부 : 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 고시 제2002-8호, (2002)
7. ACGIH : TLV and BEIs, P. 15, 46, 56, 60, (2003)
8. George I. Sackheim, Dennis D. Lehman : Chemistry For The Health Sciences, Prentice Hall, P. 124~125, (1981)

ABSTRACT

Development and Validity Test for an Water Additive Method into the Vial of Desorbed Organic Solvent Sample during GC Analysis.

Kim, Byung Nyun

Division of Industrial Hygiene Engineering Graduate School of
Occupational Safety and Health Hansung University

Director

Park, Doo Yong, Dr.P.H., CIH

To evaluate evaporation loss during GC analysis or storage after desorption of charcoal tube samples for organic vapors, an experiment was conducted for a water-addition method to vial for suppression of evaporation of non-polar organic vapors.

Four organic samples were chosen for this experiment; pentane, benzene, toluene and o-xylene. Samples were prepared in 1 ml CS₂ simulated to desorbed samples. Analytical results by time after the sample preparation were made by comparison for GC peak area.

GC peak area for pentane were decreased up to 7%, 4% and 3% after 89 hour storage. GC peak area for benzene were increased 4%, 5%, and 3%, for toluene, 6%, 9%, 9% and for xylene, 6%, 12%, 9% respectively. When water added into vial, GC peak area for pentane was increased up to only 1%, 1%, 2% for 89 hours storage. GC

peak area for benzene were increased 0%, 1%, 2%, and for toluene, 1%, 1%, 2% and for xylene, 1%, 1%, 2% respectively.

[표 6.] 노출기준 1배 수준의 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율

물 질 명	경 과 시 간 (hours)	일 반 시 료					물 첨 가 시 료				
		A1-1	A1-2	A1-3	평 균	비 율 (%)	A1-4	A1-5	A1-6	평 균	비 율 (%)
Carbon Disulfide	0	927.94	924.66	918.66	923.75	100	915.95	927.55	925.31	922.94	100
	42	-	936.46	931.04	933.75	101	937.30	934.36	931.41	934.35	101
	65	-	938.51	931.51	935.01	101	929.14	933.14	932.24	931.51	101
	89	-	919.09	914.21	916.65	99	913.36	911.75	920.91	915.34	99
Pentane	0	1771.94	1782.43	1770.99	1775.12	100	1742.78	1776.13	1770.72	1763.21	100
	42	-	1780.12	1736.69	1758.40	99	1809.97	1805.51	1791.48	1802.32	102
	65	-	1738.12	1702.76	1720.44	97	1780.65	1794.32	1791.45	1788.81	101
	89	-	1664.48	1625.48	1644.98	93	1753.65	1753.10	1772.67	1759.81	100
Benzene	0	66.64	66.82	66.31	66.59	100	66.41	67.34	67.16	66.97	100
	42	-	69.06	69.23	69.14	104	68.22	68.16	67.90	68.10	102
	65	-	69.52	69.53	69.52	104	67.40	67.80	67.62	67.61	103
	89	-	68.29	68.70	68.49	103	66.01	66.03	66.94	66.33	102
Toluene	0	1887.25	1727.74	1709.77	1774.92	100	1718.74	1740.11	1734.82	1731.22	100
	42	-	1820.40	1838.84	1829.62	103	1770.89	1768.21	1763.30	1767.47	102
	65	-	1862.84	1870.39	1866.62	105	1757.18	1762.98	1757.88	1759.35	102
	89	-	1849.93	1876.48	1863.21	105	1715.94	1717.62	1740.74	1724.77	100
o-Xylene	0	8536.31	7237.14	7148.84	7640.76	100	7192.81	7270.55	7251.89	7238.42	100
	42	-	7756.02	7848.28	7802.15	102	7424.52	7406.65	7397.32	7409.50	102
	65	-	8024.85	8051.65	8038.25	105	7385.62	7406.98	7379.36	7390.65	102
	89	-	8006.87	8136.95	8071.91	106	7187.85	7203.84	7284.37	7225.36	100

[표 7.] 노출기준 0.5배 수준의 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율

물 질 명	경 과 시 간 (hours)	일 반 시 료					물 첨 가 시 료				
		A1-1	A1-2	A1-3	평 균	비 율(%)	A1-4	A1-5	A1-6	평 균	비 율(%)
Carbon Disulfide	0	915.23	929.54	918.16	920.98	100	930.50	919.10	928.91	926.17	100
	42	929.29	929.44	933.47	930.74	101	936.46	934.45	935.24	935.38	101
	65	934.69	934.90	924.65	931.41	101	934.10	930.08	930.47	931.55	101
	89	948.15	945.80	953.17	949.04	103	932.90	919.49	948.59	933.66	101
Pentane	0	873.55	889.38	869.57	877.50	100	889.50	870.19	884.31	881.34	100
	42	874.37	876.14	876.05	875.52	100	899.42	896.48	892.29	896.06	102
	65	866.65	865.62	847.22	859.83	98	895.77	888.31	887.80	890.63	101
	89	866.82	861.29	865.58	864.57	99	899.24	880.18	912.39	897.27	102
Benzene	0	33.24	33.72	33.25	33.40	100	33.71	33.31	33.81	33.61	100
	42	34.33	34.20	34.34	34.29	103	34.08	33.97	34.16	34.07	101
	65	34.72	34.53	34.05	34.43	103	33.83	33.70	33.82	33.78	101
	89	35.98	35.83	36.11	35.97	108	34.02	33.48	35.04	34.18	102
Toluene	0	853.66	863.09	852.35	856.37	100	862.02	853.29	866.01	860.44	100
	42	899.90	890.48	895.17	895.18	105	872.89	869.83	878.73	873.82	102
	65	919.37	909.32	896.42	908.37	106	867.69	865.71	870.14	867.85	101
	89	964.07	959.49	966.01	963.19	112	873.29	859.68	904.40	879.12	102
o-Xylene	0	3577.89	3597.42	3560.67	3578.66	100	3588.21	3562.54	3608.36	3586.37	100
	42	3832.82	3767.42	3793.57	3797.94	106	3647.96	3631.90	3672.45	3650.77	102
	65	3940.51	3879.37	3819.42	3879.76	108	3628.41	3622.47	3641.22	3630.70	101
	89	4139.60	4114.75	4142.25	4132.20	115	3641.43	3588.91	3775.94	3668.76	102

[표 8.] 노출기준 0.1배 수준의 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율

물 질 명	경 과 시 간 (hours)	일 반 시 료					물 첨 가 시 료				
		A1-1	A1-2	A1-3	평 균	비 율 (%)	A1-4	A1-5	A1-6	평 균	비 율 (%)
Carbon Disulfide (CS ₂)	0	928.71	929.13	927.64	928.49	100	923.28	917.34	919.75	920.12	100
	42	934.72	939.30	936.32	936.78	101	942.28	944.06	936.49	940.95	102
	65	932.69	934.35	933.58	933.54	101	936.80	937.89	932.98	935.89	102
	89	925.24	946.56	949.22	940.34	101	943.96	948.79	967.92	953.56	104
Pentane	0	226.01	221.51	219.62	222.38	100	217.05	214.84	215.79	215.90	100
	42	225.75	222.92	221.55	223.40	100	224.26	224.19	221.91	223.46	104
	65	221.13	217.45	216.66	218.41	98	223.12	222.45	221.54	222.37	103
	89	217.57	217.13	219.59	218.10	98	226.59	227.27	232.34	228.74	106
Benzene	0	9.11	8.85	8.85	8.94	100	8.82	8.74	8.78	8.78	100
	42	9.23	9.03	8.96	9.07	101	9.02	9.06	8.98	9.02	103
	65	9.24	9.00	8.99	9.08	102	8.93	8.98	8.95	8.95	102
	89	9.21	9.30	9.32	9.28	104	9.11	9.22	9.50	9.28	106
Toluene	0	220.31	214.13	214.02	216.15	100	213.27	211.86	212.10	212.41	100
	42	225.79	219.60	219.53	221.64	103	218.45	219.11	217.09	218.22	103
	65	229.23	222.83	222.51	224.85	104	217.37	217.90	216.07	217.11	102
	89	230.79	233.51	231.82	232.04	107	220.91	223.95	230.51	225.12	106
o-Xylene	0	907.49	883.55	881.15	890.73	100	878.65	874.77	876.57	876.66	100
	42	947.00	915.60	918.00	926.87	104	903.75	906.11	898.49	902.78	103
	65	967.99	937.35	935.65	947.00	106	901.29	903.26	895.39	899.98	103
	89	975.22	988.12	979.61	980.98	110	912.50	926.83	952.98	930.77	106

[표 9.] 노출기준 1배 수준을 CS₂로 보정한 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율

물 질 명	경 과 시 간 (hours)	일 반 시 료					물 첨 가 시 료				
		A1-1	A1-2	A1-3	평 균	비 율 (%)	A1-4	A1-5	A1-6	평 균	비 율 (%)
Pentane	0	190.95	192.77	192.78	192.17	100	190.27	191.49	191.36	191.04	100
	42	-	190.09	186.53	188.31	98	193.11	193.24	192.34	192.89	101
	65	-	185.20	182.80	184.00	96	191.64	192.29	192.17	192.03	101
	89	-	181.10	177.80	179.45	93	192.00	192.28	192.49	192.26	101
Benzene	0	7.18	7.23	7.22	7.21	100	7.25	7.26	7.26	7.26	100
	42	-	7.37	7.44	7.40	103	7.28	7.29	7.29	7.29	100
	65	-	7.41	7.46	7.44	103	7.25	7.27	7.25	7.26	100
	89	-	7.43	7.51	7.47	104	7.23	7.24	7.27	7.25	100
Toluene	0	203.38	186.85	186.12	192.12	100	187.65	187.60	187.49	187.58	100
	42	-	194.39	197.50	195.95	102	188.94	189.24	189.32	189.17	101
	65	-	198.49	200.79	199.64	104	189.12	188.93	188.56	188.87	101
	89	-	201.28	205.26	203.27	106	187.87	188.39	189.02	188.43	100
o-Xylene	0	919.92	782.68	778.18	826.93	100	785.29	783.85	783.73	784.29	100
	42	-	828.23	842.96	835.59	101	792.12	792.70	794.21	793.01	101
	65	-	855.06	864.37	859.72	104	794.89	793.77	791.57	793.41	101
	89	-	871.17	890.05	880.61	106	786.96	790.11	791.00	789.36	101

[표 10.] 노출기준 0.5배 수준을 CS₂로 보정한 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율

물 질 명	경 과 시 간 (hours)	일 반 시 료					물 첨 가 시 료				
		A1-1	A1-2	A1-3	평 균	비 율(%)	A1-4	A1-5	A1-6	평 균	비 율(%)
Pentane	0	95.45	95.68	94.71	95.28	100	95.59	94.68	95.20	95.16	100
	42	94.09	94.27	93.85	94.07	99	96.04	95.94	95.41	95.80	101
	65	92.72	92.59	91.63	92.31	97	95.90	95.51	95.41	95.61	100
	89	91.42	91.07	90.81	91.10	96	96.39	95.72	96.18	96.10	101
Benzene	0	3.63	3.63	3.62	3.63	100	3.62	3.62	3.64	3.63	100
	42	3.69	3.68	3.68	3.68	102	3.64	3.63	3.65	3.64	100
	65	3.71	3.69	3.68	3.70	102	3.62	3.62	3.63	3.63	100
	89	3.79	3.79	3.79	3.79	105	3.65	3.64	3.69	3.66	101
Toluene	0	93.27	92.85	92.83	92.99	100	92.64	92.84	93.23	92.90	100
	42	96.84	95.81	95.90	96.18	103	93.21	93.08	93.96	93.42	101
	65	98.36	97.26	96.95	97.52	105	92.89	93.08	93.52	93.16	100
	89	101.68	101.45	101.35	101.49	109	93.61	93.49	95.34	94.15	101
o-Xylene	0	390.93	387.01	387.80	388.58	100	385.62	387.61	388.45	387.23	100
	42	412.45	405.34	406.39	408.06	105	389.55	388.67	392.67	390.30	101
	65	421.58	414.95	413.07	416.53	107	388.44	389.48	391.33	389.75	101
	89	436.60	435.06	434.57	435.41	112	390.34	390.31	398.06	392.90	101

[표 11.] 노출기준 0.1배 수준을 CS₂로 보정한 일반시료와 물 첨가시료의 GC 면적과 비율

물 질 명	경 과 시 간 (hours)	일 반 시 료					물 첨 가 시 료				
		A1-1	A1-2	A1-3	평 균	비 율(%)	A1-4	A1-5	A1-6	평 균	비 율(%)
Pentane	0	24.34	23.84	23.68	23.95	100	23.51	23.42	23.46	23.46	100
	42	24.15	23.73	23.66	23.85	100	23.80	23.75	23.70	23.75	101
	65	23.71	23.27	23.21	23.40	98	23.82	23.72	23.75	23.76	101
	89	23.51	22.94	23.13	23.20	97	24.00	23.95	24.00	23.99	102
Benzene	0	0.98	0.95	0.95	0.96	100	0.96	0.95	0.95	0.95	100
	42	0.99	0.96	0.96	0.97	101	0.96	0.96	0.96	0.96	100
	65	0.99	0.96	0.96	0.97	101	0.95	0.96	0.96	0.96	100
	89	1.00	0.98	0.98	0.99	103	0.97	0.97	0.98	0.97	102
Toluene	0	23.72	23.05	23.07	23.28	100	23.10	23.10	23.06	23.09	100
	42	24.16	23.38	23.45	23.66	102	23.18	23.21	23.18	23.19	100
	65	24.58	23.85	23.83	24.09	103	23.20	23.23	23.16	23.20	100
	89	24.94	24.67	24.42	24.68	106	23.40	23.60	23.81	23.61	102
o-Xylene	0	97.72	95.09	94.99	95.93	100	95.17	95.36	95.30	95.28	100
	42	101.31	97.48	98.04	98.94	103	95.91	95.98	95.94	95.94	101
	65	103.79	100.32	100.22	101.44	106	96.21	96.31	95.97	96.16	101
	89	105.40	104.39	103.20	104.33	109	96.67	97.69	98.46	97.60	102

[표 12.] 각 수준별 시료의 비율과 CS₂로 보정한 시료 비율의 변화

물질명	경과시간 (hours)	일반시료						CS ₂ 로 보정한 시료					
		1배		0.5배		0.1배		1배		0.5배		0.1배	
		일반 시료	물 첨가 시료	일반 시료	물 첨가 시료	일반 시료	물 첨가 시료	일반 시료	물 첨가 시료	일반 시료	물 첨가 시료	일반 시료	물 첨가 시료
Carbon Disulfide	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	42	101	101	101	101	101	102	100	100	100	100	100	100
	65	101	101	101	101	101	102	100	100	100	100	100	100
	89	99	99	103	101	101	104	100	100	100	100	100	100
Pentane	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	42	99	102	100	102	100	104	98	101	99	101	100	101
	65	97	101	98	101	98	103	96	101	97	100	98	101
	89	93	100	99	102	98	106	93	101	96	101	97	102
Benzene	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	42	104	102	103	101	101	103	103	100	102	100	101	100
	65	104	103	103	101	102	102	103	100	102	100	101	100
	89	103	102	108	102	104	106	104	100	105	101	103	102
Toluene	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	42	103	102	105	102	103	103	102	101	103	101	102	100
	65	105	102	106	101	104	102	104	101	105	100	103	100
	89	105	100	112	102	107	106	106	100	109	101	106	102
o-Xylene	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	42	102	102	106	102	104	103	101	101	105	101	103	101
	65	105	102	108	101	106	103	104	101	107	101	106	101
	89	106	100	115	102	110	106	106	101	112	101	109	102