

석사학위논문

활성탄관과 수동식시료채취기를 이용한
작업환경측정 정확도 비교 연구

2 0 1 5 년

한성대학교 대학원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

김 창 현

석사학위논문
지도교수 박두용

활성탄관과 수동식시료채취기를 이용한
작업환경측정 정확도 비교 연구

A Study on Comparisons of Workplace Measurements for Some
Organic Vapors Using Passive Samplers and Charcoal Tubes

2 0 1 4 년 12 월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 창 현

석사학위논문

지도교수 박두용

활성탄관과 수동식시료채취기를 이용한
작업환경측정 정확도 비교 연구

A Study on Comparisons of Workplace Measurements for Some
Organic Vapors Using Passive Samplers and Charcoal Tubes

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2 0 1 4 년 12 월 일

한성대학교 대학원

기계시스템공학과

산업위생공학전공

김 창 현

국 문 초 록

활성탄관과 수동식시료채취기를 이용한 작업환경측정 정확도 비교 연구

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
김 창 현

우리나라에서 작업환경측정기관에서 통상적으로 작업환경을 측정할 때 활성탄관과 수동식 시료채취기(3M OVM3500)로 에틸벤젠, 스티렌, 톨루엔, 메틸에틸케톤, 에틸아세테이트 및 크실렌 등 6종의 유기용제를 측정한 자료를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 에틸벤젠에 대하여 활성탄관법과 수동식 시료채취기로 동시에 측정한 결과($n=69$), 수동식 시료채취기의 측정결과는 활성탄관의 $67\pm148\%$ 로 평균은 낮게 나타났고 오차의 변이는 상당히 큰 것으로 나타났다. 활성탄관 측정결과와 수동식 채취기의 측정 결과 간 상관관계를 구해 본 결과, 회귀식이 $y = 0.932x + 0.388$ ($R^2=0.810$, $p<0.01$)로 나타나, 수동식 시료채취기가 활성탄관의 측정결과보다 약 93.2%정도 되는 것으로 나타났다.

2. 스티렌에 대하여 활성탄관법과 수동식 시료채취기로 동시에 측정한 결과($n=26$), 활성탄관을 기준으로 수동식 시료채취기의 오차는 $6.5\pm53.5\%$ 로 나타났다. 두 측정 간 상관관계 분석결과는 회귀식이 $y = 1.198x - 0.172$

($R^2=0.759$, $p<0.01$)로 나타나 수동식 시료채취법이 활성탄관법보다 과대평가되는 것으로 나타났다.

3. 톨루엔에 대하여 활성탄관법과 수동식 시료채취기로 동시에 측정한 결과 ($n=180$), 수동식 시료채취기로 측정한 결과는 활성탄관으로 측정한 결과보다 $91\pm317\%$ 로 평균은 비슷하였으나 오차범위가 상당히 큰 것으로 나타났다. 두 측정법간 상관관계는 회귀식이 $y = 0.708x + 7.660$ ($R^2=0.482$, $p<0.01$)으로 수동식 시료채취법이 활성탄관법보다 과소평가되는 것으로 나타났다.

4. 메틸에틸케톤은 수동식 시료채취기로 측정한 결과는 활성탄관으로 측정한 결과보다 $67\pm57\%$ 로 나타났다($n=67$). 두 측정간 회귀식은 $y = 0.965x + 8.200$ ($R^2=0.453$, $p<0.01$)로 나타나 수동식 시료채취법이 활성탄관법보다 약간 낮게 나타났다.

5. 에틸아세테이트는 수동식 시료채취기로 측정한 결과는 활성탄관으로 측정한 결과보다 $13.8\pm52.0\%$ 로 나타났다($n=59$). 두 측정간의 회귀식은 $y = 0.436x + 11.402$ ($R^2=0.415$, $p<0.01$)로 나타나 오차가 상당히 크다는 것을 알 수 있었다.

6.. 크실렌은 수동식 시료채취기로 측정한 결과는 활성탄관으로 측정한 결과보다 $59.9\pm77.8\%$ 로 나타났다($n=46$). 두 측정간 회귀식은 $y = 0.706x + 3.120$ ($R^2=0.306$, $p<0.01$)로 나타나 수동식 시료채취기의 측정결과가 활성탄에 비해 과소평가되는 것으로 나타났다.

7. 전반적으로 낮은 농도구간에서 수동식 채취기와 활성탄관법의 측정결과간 차이는 더 커지는 것으로 크게 나타났다.

【주요어】 활성탄관법, 수동식 시료채취기법, 활성탄관법, 확산식 채취기

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구배경 및 필요성	1
제 2 장 연구대상 및 방법	3
제 1 절 연구대상	3
제 2 절 연구방법	3
1) 시료채취	3
2) 분석	4
가) 표준용액제조	4
나) 시료전처리	5
다) 분석기기	5
제 3 장 연구결과	6
제 1 절 물질별 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선	6
1) 에틸벤젠의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선	6
2) 스티렌의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선	7
3) 톨루엔의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선	9
4) 메틸에틸케톤의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선	10
5) 에틸아세테이트의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선	12
6) 크실렌의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선	12
제 2 절 물질별 탈착효율 검정실험	16
1) 에틸벤젠의 탈착효율 검정 실험결과	16

2) 스티렌의 탈착효율 검정 실험결과	17
3) 톨루엔의 탈착효율 검정 실험결과	18
4) 메틸에틸케톤의 탈착효율 검정 실험결과	19
5) 에틸아세테이트의 탈착효율 검정 실험결과	20
6) 크실렌의 탈착효율 검정 실험결과	21
제 3 절 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 측정결과의 일치도	24
1) 전체농도의 물질별 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 측정결과의 일치도	24
2) 저농도의 물질별 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 일치도	32
제 4 절 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차	40
1) 에틸벤젠의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 차이	40
2) 스티렌의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차	42
3) 톨루엔의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	43
4) 메틸에틸케톤의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	45
5) 에틸아세테이트의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	47
6) 크실렌의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	48
 제 4 장 결 론	 50
 참 고 문 헌	 53
 ABSTRACT	 55

표 목 차

<표 1> 대상물질별 표준용액의 농도	4
<표 2> 가스크로마토그래피의 분석조건	5
<표 3> 에틸벤젠의 표준용액 농도 및 면적값	6
<표 4> 스티렌의 표준용액 농도 및 면적값	7
<표 5> 톨루엔의 표준용액 농도 및 면적값	9
<표 6> 메틸에틸케톤의 표준용액 농도 및 면적값	10
<표 7> 에틸아세테이트의 표준용액 농도 및 면적값	12
<표 8> 크실렌의 표준용액 농도 및 면적값	13
<표 9> 에틸벤젠의 탈착효율 검정 실험결과	16
<표 10> 스티렌의 탈착효율 검정 실험결과	17
<표 11> 톨루엔의 탈착효율 검정 실험결과	18
<표 12> 메틸에틸케톤의 탈착효율 검정 실험결과	19
<표 13> 에틸아세테이트의 탈착효율 검정 실험결과	20
<표 14> p-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과	21
<표 15> m-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과	22
<표 16> o-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과	23
<표 17> 활성탄관법과 수동식 시료채취기법을 이용한	25
<표 18> 유기용제별 전체농도에 따른 활성탄관법과	26
<표 19> 표준용액1과 표준용액2 농도 사이에서 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 농도 결과	33
<표 20> 유기용제별 표준용액1과 표준용액2 농도 사이에서 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 일치도	34
<표 21> 에틸벤젠의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	41
<표 22> 스티렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	42

<표 23> 톨루엔의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	44
<표 24> 메틸에틸케톤의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	46
<표 25> 에틸아세테이트의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	47
<표 26> 크실렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	49

그 립 목 차

<그림 1> 에틸벤젠의 표준검량곡선	8
<그림 2> 스티렌의 표준검량곡선	8
<그림 3> 톨루엔의 표준검량곡선	11
<그림 4> 메틸에틸케톤의 표준검량곡선	11
<그림 5> 에틸아세테이트의 표준검량곡선	14
<그림 6> p-크실렌의 표준검량곡선	14
<그림 7> m-크실렌의 표준검량곡선	15
<그림 8> o-크실렌의 표준검량곡선	15
<그림 9> 에틸벤젠에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	27
<그림 10> 스티렌에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	27
<그림 11> 톨루엔에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	28
<그림 12> 메틸에틸케톤에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	29
<그림 13> 에틸아세테이트에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	30
<그림 14> 에틸벤젠에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	31
<그림 15> 에틸벤젠에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	34
<그림 16> 스티렌에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	35
<그림 17> 톨루엔에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	36

<그림 18> 메틸에틸케톤에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	37
<그림 19> 에틸아세테이트에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	38
<그림 20> 크실렌에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.	39
<그림 21> 에틸벤젠의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	41
<그림 22> 스티렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	43
<그림 23> 톨루엔의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	45
<그림 24> 메틸에틸케톤의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	46
<그림 25> 에틸아세테이트의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	48
<그림 26> 크실렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율	49

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경 및 필요성

유기용제는 화학산업은 물론이고 기계, 전자, 건설 등 주요 산업은 물론 도장, 세척, 인쇄는 물론 의약품 제조 등 다양한 산업분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 사업장에서는 단일 유기용제 또는 혼합 유기용제 형태로 사용되고 있으며, 거의 모든 유기용제는 사용하는 동안 공기 중으로 증발되므로 근로자에게 노출될 가능성이 상당히 높다.¹⁾ 거의 모든 유기용제는 근로자의 건강에 좋지 않은 영향을 미친다. 따라서 산업위생분야에서 유기용제에 대한 작업환경관리는 매우 중요한 분야이다.

우리나라에서는 근로자의 보건관리를 위하여 산업안전보건법상에 작업환경측정을 하도록 규정하고 있다.²⁾ 작업환경측정은 작업이 정상적으로 이루어지는 작업시간과 유해인자에 대한 근로자의 노출 정도를 정확하게 파악하기 위하여 특별한 사유가 아니라면 개인시료 채취방법을 원칙으로 하도록 하고 있다.³⁾ 개인시료채취방법은 개인시료채취기를 이용하여 근로자의 호흡기 위치에서 측정하는 방법이며 물질의 존재 상태여부에 따라 시료채취 매체를 선택하여 사용한다. 유기용제를 측정하는 방법 중 가장 많이 사용되는 것은 공기채취펌프와 고체흡착관을 이용하는 활성탄관법과 펌프를 이용하지 않고 자연 확산에 의해 시료를 채취하는 수동식 시료채취법이 있다. 작업환경 중 유기용제 시료채취방법은 보통 고체흡착법을 이용한다. 가장 널리 사용되는 표준 방법은 활성탄관에 공기채취펌프를 연결하여 공기를 통과시켜 유기용제를 채취하는 방법이다. 최근 펌프를 사용하지 않는 확산식 시료채취기도 많이 사용하고 있다.

활성탄관법의 경우 채취된 시료의 분석 시 정확도와 정밀도가 우수하다는 장점을 지니고 있지만, 채취 전 펌프유량의 보정 및 근로자에게 펌프를 채워

1) 한국산업안전공단, 『복합유기용제의 발생과 유해성 평가』, 2003, p1.

2) 산업안전보건법 제5장 제42조.

3) 산업안전보건법 시행규칙 제5편 제1장 제93조의3.

야하는 채취과정이 복잡한 단점을 지니고 있다.

반면 수동식 시료채취법은 자연적인 기류에 의한 확산과 투과의 원리를 이용한 방법이며, 시료 채취 시 복잡한 과정이 없고 근로자에게 불편함을 제공하지 않는 장점이 있다. 하지만 오염물질의 농도, 확산경로의 길이, 시료포집 시간, 투과막의 두께, 오염물질의 친화력 등 측정 농도에 영향을 주는 인자가 많다는 단점이 있다.⁴⁾ 그 동안 확산식 채취기의 정확도는 다양하게 평가되어 왔다.⁵⁾ 실험실에서 알고 있는 농도의 공기시료에서 실험을 하여 측정한 결과가 공기 중 농도와 얼마나 정확한지 평가를 하거나 실험실 조건에서 활성탄관법과 동시에 측정하여 그 결과를 비교하는 것이 가장 일반적인 확산식 채취기의 정확도를 평가하는 방법이었다.

그러나 확산식 측정기를 현장에 직접 적용할 때 정확도가 어떻게 되는지 평가한 연구는 많지 않다. 작업장 현장에서는 시간별 농도변이, 혼합물질의 존재, 온도, 습도, 기류 등의 조건이 다양하며 변화가 심하기 때문에 오차가 커질 수밖에 없고 이러한 요인은 제어가 매우 어렵거나 불가능하기 때문에 실험을 하기 쉽지 않다. 또한 다양한 사업장에 접근하기도 쉽지 않다. 현장 적용연구는 어떤 실제 작업장의 공기 중 농도에 대한 참값을 알기 어렵다. 시료채취는 물론 분석에 이르기까지 오차가 발생할 소지도 다양하다. 따라서 현장 적용연구는 상대적으로 많지 않다. 그러나 역설적으로 현장연구가 필요한 이유가 있다고 할 수 있다.

본 연구는 실제 우리나라에서 통상적으로 사업장의 작업환경 측정이 이루어지는 상황에서 확산식 채취기 방법과 활성탄관법으로 동시에 유기용제를 채취하여 그 시료를 같은 실험실에서 동일한 방법으로 분석한 값의 차이를 회귀분석을 통하여 물질별로 전체농도와 검량선 작성범위를 벗어난 외삽형태의 낮은 농도에서의 차이가 얼마나 되는지 확인하고, 표준용액1~5의 검량선과 표준용액2~5의 검량선에 따른 활성탄관법에 따른 확산식 채취기 방법의 오차율을 확인하기 위해 실시되었다.

4) 한국산업안전공단, 『수동식 유기용제 시료채취기 최적조건 연구』, 2007, p11-12.

5) 안규동, 연유용, 이병국, 「확산형 포집기와 활성탄관을 이용한 공기중 혼합유기용제 측정에 관한 연구」, 『한국산업위생학회지 제4권 제2호』, 한국산업위생학회, 1994, pp.127-136.

제 2 장 연구대상 및 방법

제 1 절 연구대상

본 연구는 2012년 5월 1일부터 2013년 9월 30일까지 유기용제를 취급하는 인쇄업, 신발제조업, 제품 제조업, 스크린 제작, 자동차 수리업, 화학제품 제조업 등 25개 사업장의 근로자 208명을 대상으로 작업환경측정의 표준방법으로 사용되고 있는 공기채취펌프를 이용하여 활성탄관으로 시료를 채취하는 방법(이하 ‘활성탄관법’이라 함)과 펌프를 이용하지 않고 수동식 시료채취기만 이용하는 방법(이하 ‘수동식 시료채취기법’이라 함)을 동시에 착용시켜 작업환경을 측정하도록 하였다.

대상물질은 Ethyl benzene, Styrene, Toluene, MEK, Ethyl acetate, Xylene 등 6종이었다.

제 2 절 연구방법

1) 시료채취

본 연구는 작업환경측정 대상 근로자에게 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시 (고용노동부 고시 제2013-39)에 따라 실시하였으며, 공기채취를 위해 개인시료포집기(LFS-113, Gillian, USA)를 이용하여 0.1 L/min의 유량으로 활성탄관(coconut shell charcoal, SKC 226-01, 100mg/50 mg)에 공기를 통과시켜 6시간 동안 (점심시간 제외) 연속으로 유기용제를 채취하는 한편, 동시에 수동식 시료채취기(3M OVM #3500)를 부착시켜 유기용제를 채취하였다.

2) 분석

가) 표준용액제조

본 연구에 대상물질인 Ethyl benzene, Styrene, Toluene, MEK, Ethyl acetate, Xylene 6종을 분석의 기기의 정확도와 정밀도를 확인하고, 작업환경 측정 시료분석시 제조하는 표준용액과 동일한 방법으로 알고있는 농도의 표준용액을 제조하였다. 각각의 물질별 표준용액의 농도는 [표1]과 같다.

<표 1> 대상물질별 표준용액의 농도 (단위 : mg)

	Ethyl benzene	Styrene	toluene	MEK
STD1	0.000	0.000	0.000	0.000
STD2	0.262	0.301	0.289	0.267
STD3	0.523	0.602	0.578	0.535
STD4	1.047	1.203	1.155	1.069
STD5	2.094	2.407	2.310	2.138
TLV-TWA	13.513	3.125	6.122	18.227
	Ethyl acetate	p-xylene	m-xylene	o-xylene
STD1	0.000	0.000	0.000	0.000
STD2	0.299	0.284	0.286	0.287
STD3	0.598	0.568	0.573	0.574
STD4	1.197	1.137	1.146	1.148
STD5	2.393	2.273	2.292	2.297
TLV-TWA	44.599	14.886	14.886	14.886

나) 시료전처리

NIOSH Method 방법에 따라 표준용액을 제조하고 고체채취 흡착튜브 (SKC 226-01, 100mg/50mg)를 앞뒤 층 분리해서 깐 후 2 mL 바이알에 담아 탈착용매인 내부표준물질(1,2-dichloroethane)와 탈착효율을 높이기 위해 N,N-디메틸포름아미드 (N,N-Dimethylformamide)이 포함된 CS₂ 1mL 넣어 뚜껑을 닫고 30분간 탈착시켰다.

수동식 시료채취기법(3M OVM #3500)는 같은 용출액 CS₂ 1mL를 매체에 넣고 30분간 탈착시킨 후 2 mL 바이알에 담았다.

다) 분석기기

실험에 사용한 분석기기는 불꽃이온화검출기(FID)가 부착된 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, CP-3800, Bruker)로 분석하였으며, 분석용 컬럼은 Agilent사의 DB-WAX (30m × 0.25mm × 0.25um)를 사용하였고 이동상 가스(carrier gas)로 질소(N₂)를 사용하였다. 가스크로마토그래피의 분석조건은 [표 2]에 나타냈다..

<표 2> 가스크로마토그래피의 분석조건

Column	DB-wax(30m× 0.25mm ID × 0.25um, Agilent)
Column oven Temp.	35℃(10min) - 120℃(10℃/min, 3min)
Injector Temp.	250℃ (Split ratio: 110)
Detector Temp.	250℃
Carrier gas	N ₂ , 1.0 mL/min
Injection volume	1 uL

제 3 장 연구결과

제 1 절 물질별 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선

1) 에틸벤젠의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선

공기 중 에틸벤젠 측정시료를 분석하기 위해 표준용액을 이용하여 검량선을 작성하였으며, 이 때 사용한 표준용액의 농도와 면적값은 [표 3]과 같다. 에틸벤젠의 표준용액의 검량곡선에 대한 회귀방정식은 $y = 5.69x - 0.068$ ($R^2 = 0.999$)로 나타났으며, 검출한계(LOD)는 0.0692 mg/시료, 정량한계(LOQ)는 0.2284 mg/시료였다. <그림 1>은 에틸벤젠의 검량곡선을 나타냈다..

<표 3> 에틸벤젠의 표준용액 농도 및 면적값

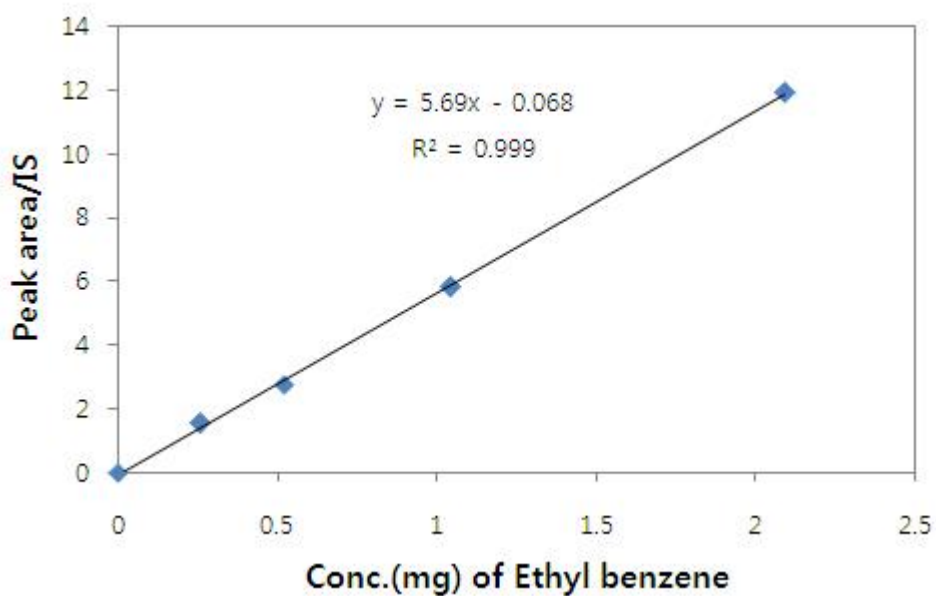
No. of Standard	Concentration (mg)	Peak area / Internal Standard	Standard Curve
1	0	0	y = 5.69x - 0.068 R² = 0.999
2	0.262	1.525	
3	0.523	2.752	
4	1.047	5.808	
5	2.094	11.913	
LOD : 0.0692 mg/sample		LOQ : 0.2284 mg/sample	

2) 스티렌의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선

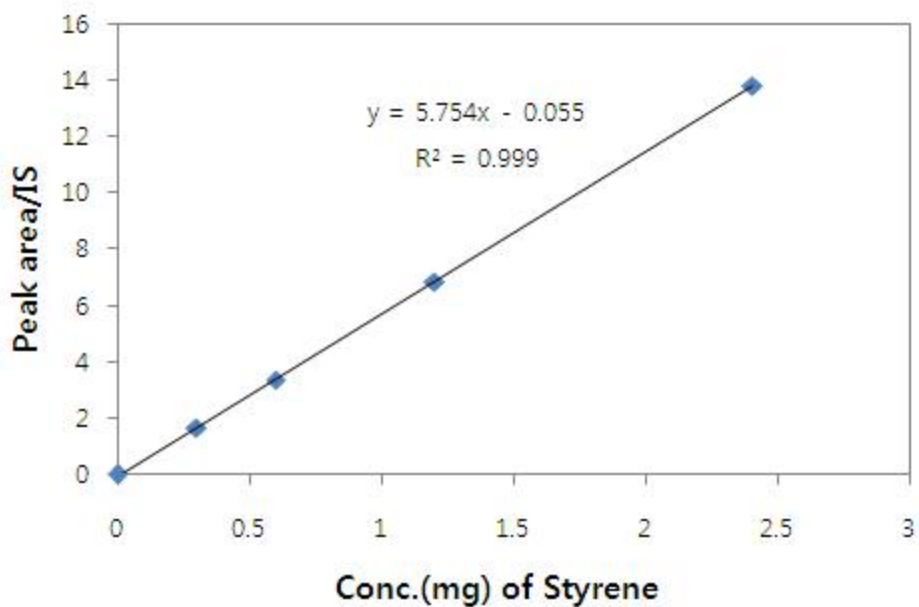
공기 중 스티렌 측정시료를 분석하기 위해 표준용액을 이용하여 검량선을 작성하였으며, 이 때 사용한 표준용액의 농도와 면적값은 [표 4]와 같다. 스티렌의 표준용액의 검량곡선에 대한 회귀방정식은 $y = 5.754x - 0.055$ ($R^2 = 0.999$)로 나타났으며, 검출한계(LOD)는 0.0237 mg/시료, 정량한계(LOQ)는 0.0784 mg/시료였다. <그림 2>는 스티렌의 검량곡선을 나타냈다..

<표 4> 스티렌의 표준용액 농도 및 면적값

No. of Standard	Concentration (mg)	Peak area / Internal Standard	Standard Curve
1	0	0	y = 5.754x - 0.055 R ² = 0.999
2	0.301	1.659	
3	0.602	3.357	
4	1.203	6.860	
5	2.407	13.811	
LOD : 0.0237 mg/sample		LOQ : 0.0784 mg/sample	



<그림 1> 에틸벤젠의 표준검량곡선



<그림 2> 스티렌의 표준검량곡선

3) 톨루엔의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선

공기 중 톨루엔 측정시료를 분석하기 위해 표준용액을 이용하여 검량선을 작성하였으며, 이 때 사용한 표준용액의 농도와 면적값은 [표 5]와 같다. 톨루엔의 표준용액의 검량곡선에 대한 회귀방정식은 $y = 5.541x - 0.040$ ($R^2 = 1$)로 나타났으며, 검출한계(LOD)는 0.0207 mg/시료, 정량한계(LOQ)는 0.0684 mg/시료였다. <그림 3>은 톨루엔의 검량곡선을 나타냈다..

<표 5> 톨루엔의 표준용액 농도 및 면적값

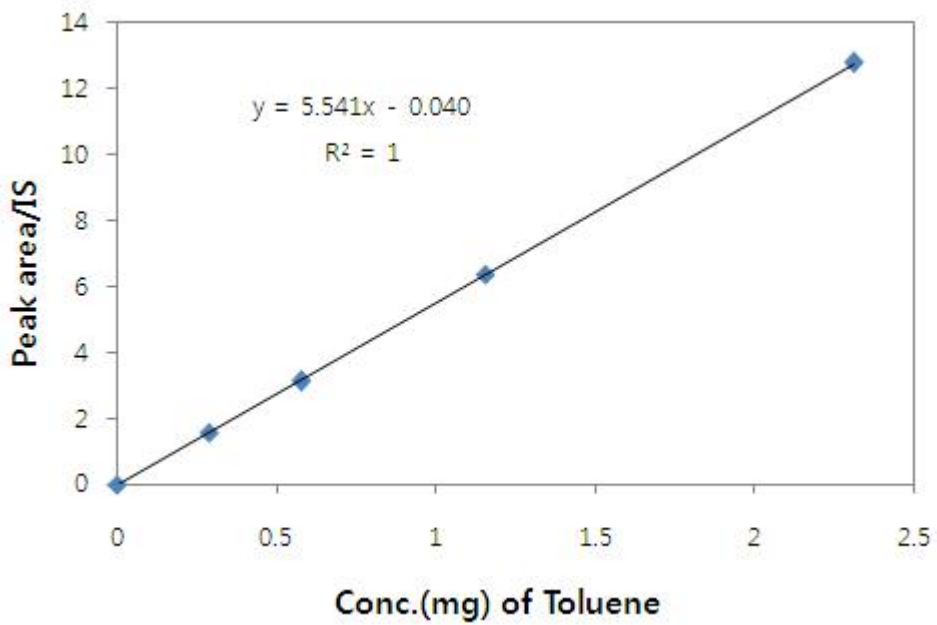
No. of Standard	Concentration (mg)	Peak area / Internal Standard	Standard Curve
1	0	0	y = 5.541x - 0.040 R ² = 1
2	0.289	1.551	
3	0.578	3.110	
4	1.155	6.372	
5	2.310	12.769	
LOD : 0.0207 mg/sample		LOQ : 0.0684 mg/sample	

4) 메틸에틸케톤의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선

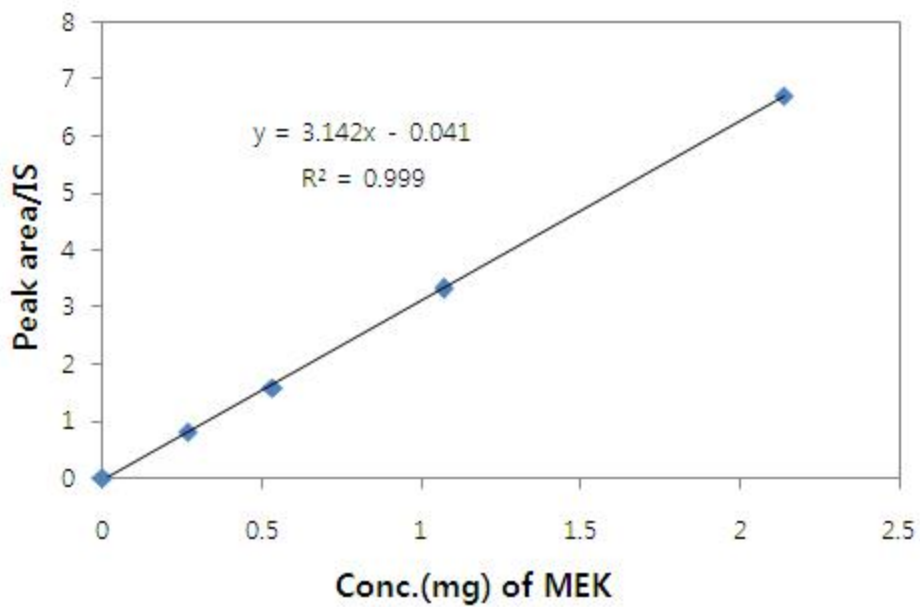
공기 중 메틸에틸케톤 측정시료를 분석하기 위해 표준용액을 이용하여 검량선을 작성하였으며, 이 때 사용한 표준용액의 농도와 면적값은 [표 6]과 같다. 메틸에틸케톤의 표준용액의 검량곡선에 대한 회귀방정식은 $y = 3.142x - 0.041$ ($R^2 = 0.999$)로 나타났으며, 검출한계(LOD)는 0.0438 mg/시료, 정량한계(LOQ)는 0.1444 mg/시료였다. <그림 4>은 메틸에틸케톤의 검량곡선을 나타냈다.

<표 6> 메틸에틸케톤의 표준용액 농도 및 면적값

No. of Standard	Concentration (mg)	Peak area / Internal Standard	Standard Curve
1	0	0	$y = 3.142x - 0.041$ $R^2 = 0.999$
2	0.267	0.809	
3	0.535	1.574	
4	1.069	3.315	
5	2.138	6.694	
LOD : 0.0438 mg/sample		LOQ : 0.1444 mg/sample	



<그림 3> 톨루엔의 표준검량곡선



<그림 4> 메틸에틸케톤의 표준검량곡선

5) 에틸아세테이트의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선

공기 중 에틸아세테이트 측정시료를 분석하기 위해 표준용액을 이용하여 검량선을 작성하였으며, 이 때 사용한 표준용액의 농도와 면적값은 [표 7]과 같다. 에틸아세테이트의 표준용액의 검량곡선에 대한 회귀방정식은 $y = 2.074x - 0.026$ ($R^2 = 0.999$)로 나타났으며, 검출한계(LOD)는 0.0496 mg/시료, 정량한계(LOQ)는 0.1637 mg/시료였다. <그림 5>는 에틸아세테이트의 검량곡선을 나타냈다.

<표 7> 에틸아세테이트의 표준용액 농도 및 면적값

No. of Standard	Concentration (mg)	Peak area / Internal Standard	Standard Curve
1	0	0	y = 2.074x - 0.026 R ² = 0.999
2	0.299	0.611	
3	0.598	1.171	
4	1.197	2.437	
5	2.393	4.955	
LOD : 0.0496 mg/sample		LOQ : 0.1637 mg/sample	

6) 크실렌의 표준용액의 분석결과 및 표준검량곡선

공기 중 크실렌 측정시료를 분석하기 위해 크실렌의 이성질체 p-크실렌, m-크실렌, o-크실렌의 표준용액을 이용하여 검량선을 작성하였으며, 이 때 사용한 표준용액의 농도와 면적값은 [표 8]과 같다.

크실렌의 표준용액의 검량곡선에 대한 p-크실렌의 회귀방정식은 $y = 5.796x - 0.044$ ($R^2 = 1$)로 나타났으며, 검출한계(LOD)는 0.0211 mg/시료, 정량한계(LOQ)는 0.0697 mg/시료였다.

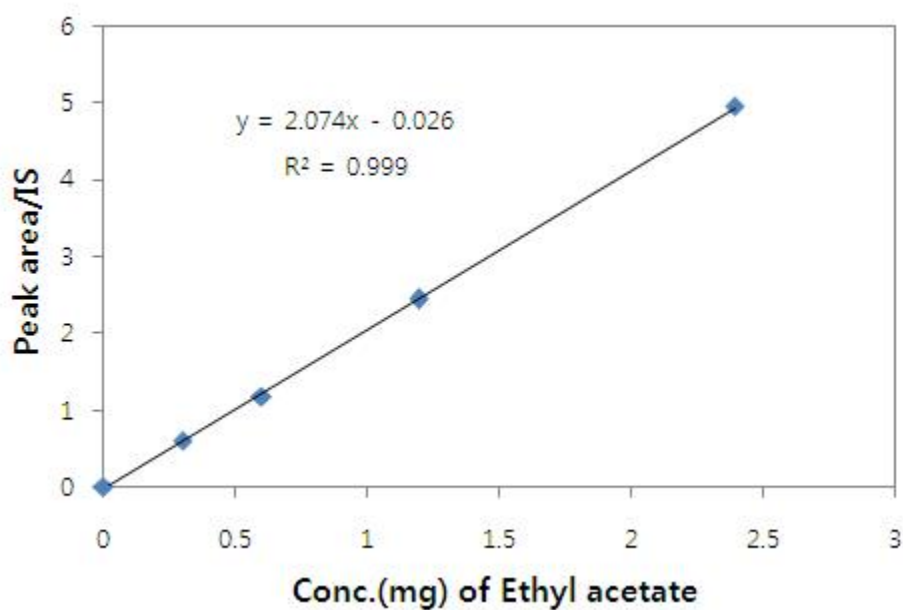
m-크실렌의 회귀방정식은 $y = 5.752x - 0.040$ ($R^2 = 1$)로 나타났으며,

검출한계(LOD)는 0.0194 mg/시료, 정량한계(LOQ)는 0.0639 mg/시료였으며, o-크실렌의 회귀방정식은 $y = 5.710x - 0.020$ ($R^2 = 0.999$)로 나타났으며, 검출한계(LOD)는 0.0246 mg/시료, 정량한계(LOQ)는 0.0810 mg/시료였다.

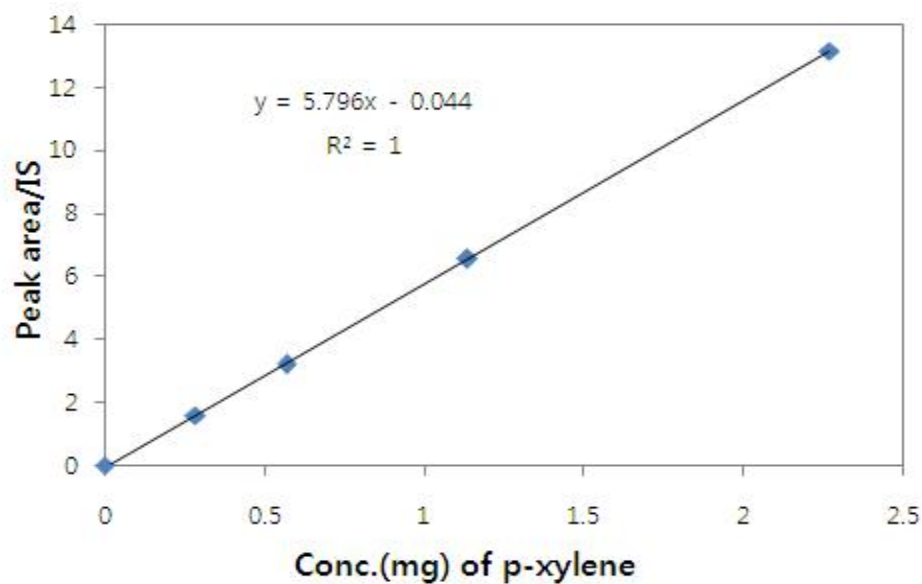
<그림 6>, <그림 7> 및 <그림 8>은 크실렌의 검량곡선을 나타냈다.

<표 8> 크실렌의 표준용액 농도 및 면적값

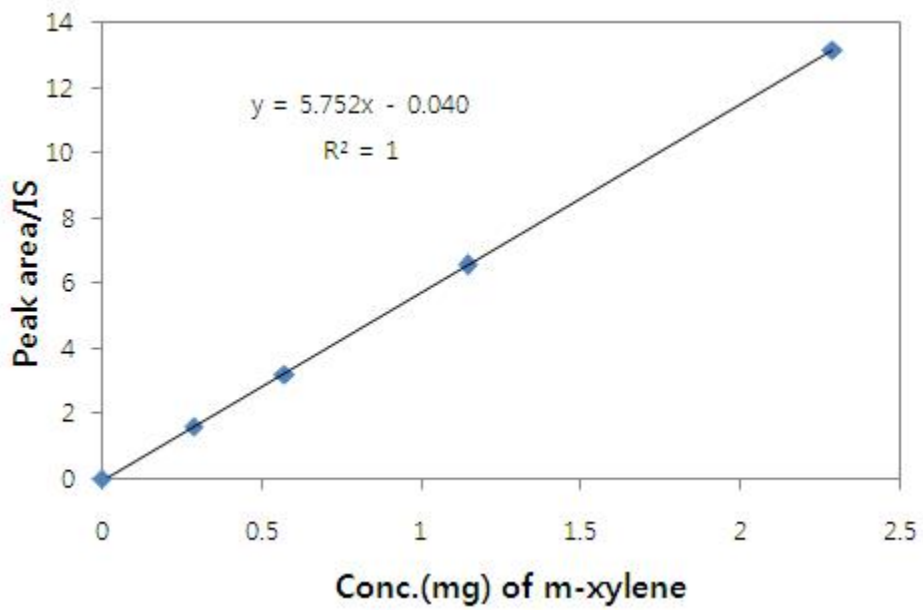
	No. of Standard	Concentration (mg)	Peak area / Internal Standard	Standard Curve
p-xylene	1	0.000	0.000	y = 5.796x - 0.044 R ² = 1
	2	0.284	1.595	
	3	0.568	3.197	
	4	1.137	6.547	
	5	2.273	13.144	
LOD : 0.0496 mg/sample			LOQ : 0.1637 mg/sample	
m-xylene	1	0.000	0.000	y = 5.752x - 0.040 R ² = 1
	2	0.286	1.603	
	3	0.573	3.207	
	4	1.146	6.551	
	5	2.292	13.155	
LOD : 0.0496 mg/sample			LOQ : 0.1637 mg/sample	
o-xylene	1	0.000	0.000	y = 5.710x - 0.020 R ² = 0.999
	2	0.287	1.596	
	3	0.574	3.217	
	4	1.148	6.598	
	5	2.297	13.079	
LOD : 0.0496 mg/sample			LOQ : 0.1637 mg/sample	



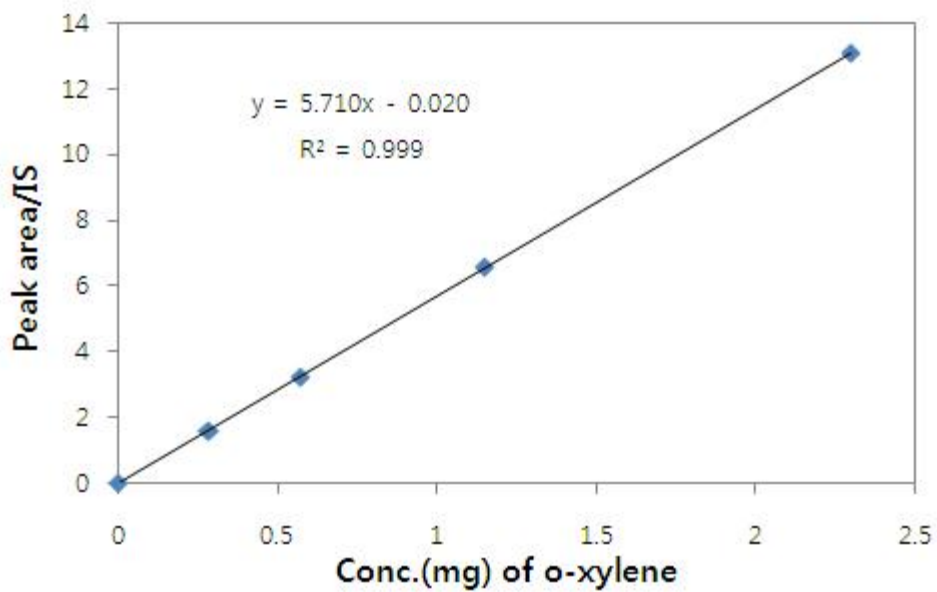
<그림 5> 에틸아세테이트의 표준검량곡선



<그림 6> p-크실렌의 표준검량곡선



<그림 7> m-크실렌의 표준검량곡선



<그림 8> o-크실렌의 표준검량곡선

제 2 절 물질별 탈착효율 검정실험

1) 에틸벤젠의 탈착효율 검정 실험결과

에틸벤젠의 분석 시 분석방법의 검증을 통해 측정된 시료의 분석결과 신뢰도를 확보하고자 탈착효율 검정 실험을 하였다.

고체흡착관의 탈착효율 평가를 위해 4개 농도수준(0.393-1.570 mg)의 시료를 3세트 제조하여 각 농도별 3회 분석을 실시 후 탈착효율을 구하였으며, 반복분석을 통하여 기기의 변이를 평가하였다.

시료1(0.393 mg), 시료2(0.785 mg), 시료3(1.178 mg), 시료4(1.570 mg)의 평균 탈착효율은 각각 91.4%, 89.1%, 99.0%, 88.9%였으며, 평균 변이계수(%)는 5.13, 6.35, 3.00, 1.10 이었다. 에틸벤젠의 전체 평균 탈착효율은 92.1%, 평균 변이계수(%)는 3.89였다.

수동식 시료채취기의 평가는 3M에서 제공하는 Technical Data Bulletin을 이용하였으며, 에틸벤젠의 Recovery coefficient는 0.96으로 나타났다.

에틸벤젠의 탈착효율 검정 실험결과는 [표 9]와 같다.

<표 9> 에틸벤젠의 탈착효율 검정실험결과

n	SAM 1 0.393 mg(%)	SAM 2 0.785 mg(%)	SAM 3 1.178 mg(%)	SAM 4 1.570 mg(%)
1	0.339 (86.4%)	0.723 (92.1%)	1.161 (98.5%)	1.385 (88.2%)
2	0.362 (92.1%)	0.648 (82.6%)	1.204 (102.2%)	1.390 (88.5%)
3	0.376 (95.7%)	0.727 (92.6%)	1.135 (96.3%)	1.414 (90.0%)
mean	0.359 (91.4%)	0.700 (89.1%)	1.167 (99.0%)	1.396 (88.9%)
SD	0.018	0.044	0.035	0.015
CV(%)	5.13	6.35	3.00	1.10
Total	3.89			
CV(%)	(92.1%)			

2) 스티렌의 탈착효율 검정 실험결과

스티렌의 분석 시 분석방법의 검증을 통해 측정된 시료의 분석결과 신뢰도를 확보하고자 탈착효율 검정 실험을 하였다.

고체흡착관의 탈착효율 평가를 위해 4개 농도수준(0.361-2.168 mg)의 시료를 3세트 제조하여 각 농도별 3회 분석을 실시 후 탈착효율을 구하였으며, 반복분석을 통하여 기기의 변이를 평가하였다.

시료1(0.361 mg), 시료2(0.723 mg), 시료3(1.084 mg), 시료4(2.168 mg)의 평균 탈착효율은 각각 62.9%, 75.5%, 77.1%, 86.5%였으며, 평균 변이계수(%)는 2.52 , 3.32 , 3.78 , 3.48 이었다. 스티렌의 전체 평균 탈착효율은 75.5%, 평균 변이계수(%)는 3.28였다.

수동식 시료채취기의 평가는 3M에서 제공하는 Technical Data Bulletin을 이용하였으며, 스티렌의 Recovery coefficient는 0.88으로 나타났다.

에틸벤젠의 탈착효율 검정 실험결과는 [표 10]과 같다.

<표 10> 스티렌의 탈착효율 검정 실험결과

	SAM 1	SAM 2	SAM 3	SAM 4
n	0.361 mg(%)	0.723 mg(%)	1.084 mg(%)	2.168 mg(%)
1	0.221 (61.2%)	0.566 (78.4%)	0.802 (74.0%)	1.835 (84.6%)
2	0.228 (63.0%)	0.537 (74.4%)	0.865 (79.8%)	1.949 (89.9%)
3	0.233 (64.4%)	0.533 (73.8%)	0.838 (77.3%)	1.838 (84.8%)
mean	0.227 (62.9%)	0.546 (75.5%)	0.835 (77.1%)	1.874 (86.5%)
SD	0.006	0.018	0.032	0.065
CV(%)	2.52	3.32	3.78	3.48
Total		3.28		
CV(%)		(75.5%)		

3) 톨루엔의 탈착효율 검정 실험결과

톨루엔의 분석 시 분석방법의 검증을 통해 측정된 시료의 분석결과 신뢰도를 확보하고자 탈착효율 검정 실험을 하였다.

고체흡착관의 탈착효율 평가를 위해 4개 농도수준(0.337-2.021 mg)의 시료를 3세트 제조하여 각 농도별 3회 분석을 실시 후 탈착효율을 구하였으며, 반복분석을 통하여 기기의 변이를 평가하였다.

시료1(0.337 mg), 시료2(0.674 mg), 시료3(1.010 mg), 시료4(2.021 mg)의 평균 탈착효율은 각각 89.1%, 95.9%, 95.2%, 100.4%였으며, 평균 변이계수(%)는 1.85 , 1.66 , 2.70 , 3.00 이었다. 톨루엔의 전체 평균 탈착효율은 95.1%, 평균 변이계수(%)는 2.30이었다.

수동식 시료채취기의 평가는 3M에서 제공하는 Technical Data Bulletin을 이용하였으며, 톨루엔의 Recovery coefficient는 1.00으로 나타났다.

톨루엔의 탈착효율 검정 실험결과는 [표 11]와 같다.

<표 11> 톨루엔의 탈착효율 검정 실험결과

n	SAM 1 0.337 mg(%)	SAM 2 0.674 mg(%)	SAM 3 1.010 mg(%)	SAM 4 2.021 mg(%)
1	0.302 (89.6%)	0.658 (97.7%)	0.932 (92.2%)	1.976 (97.8%)
2	0.294 (87.3%)	0.641 (95.2%)	0.979 (96.9%)	2.095 (103.7%)
3	0.305 (90.4%)	0.638 (94.7%)	0.975 (96.5%)	2.014 (99.7%)
mean	0.300 (89.1%)	0.646 (95.9%)	0.962 (95.2%)	2.028 (100.4%)
SD	0.006	0.011	0.026	0.061
CV(%)	1.85	1.66	2.70	3.00
Total CV(%)	2.30 (95.1%)			

4) 메틸에틸케톤의 탈착효율 검정 실험결과

메틸에틸케톤의 분석 시 분석방법의 검증을 통해 측정된 시료의 분석결과 신뢰도를 확보하고자 탈착효율 검정 실험을 하였다.

고체흡착관의 탈착효율 평가를 위해 4개 농도수준(0.314-1.886 mg)의 시료를 3세트 제조하여 각 농도별 3회 분석을 실시 후 탈착효율을 구하였으며, 반복분석을 통하여 기기의 변이를 평가하였다.

시료1(0.314 mg), 시료2(0.629 mg), 시료3(0.943 mg), 시료4(1.886 mg)의 평균 탈착효율은 각각 93.1%, 96.7%, 95.6%, 98.5%였으며, 평균 변이계수(%)는 3.57, 0.83, 1.45, 0.74 이었다. 메틸에틸케톤의 전체 평균 탈착효율은 96.0%, 평균 변이계수(%)는 1.65였다.

수동식 시료채취기의 평가는 3M에서 제공하는 Technical Data Bulletin을 이용하였으며, 메틸에틸케톤의 Recovery coefficient는 0.91으로 나타났다.

메틸에틸케톤의 탈착효율 검정 실험결과는 [표 12]와 같다.

<표 12> 메틸에틸케톤의 탈착효율 검정 실험결과

n	SAM 1 0.314 mg(%)	SAM 2 0.629 mg(%)	SAM 3 0.943 mg(%)	SAM 4 1.886 mg(%)
1	0.304 (96.6%)	0.606 (96.4%)	0.888 (94.2%)	1.856 (98.4%)
2	0.283 (90.0%)	0.605 (96.2%)	0.900 (95.5%)	1.845 (97.8%)
3	0.291 (92.7%)	0.614 (97.6%)	0.914 (97.0%)	1.872 (99.3%)
mean	0.293 (93.1%)	0.608 (96.7%)	0.901 (95.6%)	1.858 (98.5%)
SD	0.010	0.005	0.013	0.014
CV(%)	3.57	0.83	1.45	0.74
Total CV(%)	1.65 (96.0%)			

5) 에틸아세테이트의 탈착효율 검정 실험결과

에틸아세테이트의 분석 시 분석방법의 검증을 통해 측정된 시료의 분석결과 신뢰도를 확보하고자 탈착효율 검정 실험을 하였다.

고체흡착관의 탈착효율 평가를 위해 4개 농도수준(0.359-2.154 mg)의 시료를 3세트 제조하여 각 농도별 3회 분석을 실시 후 탈착효율을 구하였으며, 반복분석을 통하여 기기의 변이를 평가하였다.

시료1(0.359 mg), 시료2(0.718 mg), 시료3(1.077 mg), 시료4(2.154 mg)의 평균 탈착효율은 각각 91.7%, 96.2%, 96.1%, 98.5%였으며, 평균 변이계수(%)는 2.20 , 1.40 , 1.03 , 0.75 이었다. 에틸아세테이트의 전체 평균 탈착효율은 95.6%, 평균 변이계수(%)는 1.35였다.

수동식 시료채취기의 평가는 3M에서 제공하는 Technical Data Bulletin을 이용하였으며, 에틸아세테이트의 Recovery coefficient는 0.99으로 나타났다.

에틸아세테이트의 탈착효율 검정 실험결과는 [표 13]와 같다.

<표 13> 에틸아세테이트의 탈착효율 검정 실험결과

n	SAM 1 0.359 mg(%)	SAM 2 0.718 mg(%)	SAM 3 1.077 mg(%)	SAM 4 2.154 mg(%)
1	0.329 (91.7%)	0.692 (96.4%)	1.023 (95.0%)	2.104 (97.7%)
2	0.322 (89.6%)	0.700 (97.5%)	1.042 (96.7%)	2.133 (99.0%)
3	0.336 (93.7%)	0.681 (94.8%)	1.040 (96.6%)	2.130 (98.9%)
mean	0.329 (91.7%)	0.691 (96.2%)	1.035 (96.1%)	2.122 (98.5%)
SD	0.007	0.010	0.011	0.016
CV(%)	2.20	1.40	1.03	0.75
Total	1.35			
CV(%)	(95.6%)			

6) 크실렌의 탈착효율 검정 실험결과

p-크실렌의 분석 시 분석방법의 검증을 통해 측정된 시료의 분석결과 신뢰도를 확보하고자 탈착효율 검정 실험을 하였다.

고체흡착관의 탈착효율 평가를 위해 4개 농도수준(0.340-2.042 mg)의 시료를 3세트 제조하여 각 농도별 3회 분석을 실시 후 탈착효율을 구하였으며, 반복분석을 통하여 기기의 변이를 평가하였다.

시료1(0.340 mg), 시료2(0.681 mg), 시료3(1.021 mg), 시료4(2.042 mg)의 평균 탈착효율은 각각 86.0%, 94.2%, 92.2%, 98.9% 였으며, 변이계수(%)는 3.52 , 2.66 , 3.50 , 3.57 이었다. p-크실렌의 전체 평균 탈착효율은 92.8%, 평균 변이계수(%)는 3.31였다.

수동식 시료채취기의 평가는 3M에서 제공하는 Technical Data Bulletin을 이용하였으며, 에틸아세테이트의 Recovery coefficient는 0.97으로 나타났다.

p-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과는 [표 14]와 같다.

<표 14> p-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과

n	SAM 1 0.340 mg(%)	SAM 2 0.681 mg(%)	SAM 3 1.021 mg(%)	SAM 4 2.042 mg(%)
1	0.282 (83.0%)	0.661 (97.0%)	0.905 (88.6%)	1.969 (96.4%)
2	0.293 (86.0%)	0.632 (92.9%)	0.969 (94.9%)	2.102 (102.9%)
3	0.303 (89.0%)	0.630 (92.6%)	0.951 (93.2%)	1.987 (97.3%)
mean	0.293 (86.0%)	0.641 (94.2%)	0.942 (92.2%)	2.019 (98.9%)
SD	0.010	0.017	0.033	0.072
CV(%)	3.52	2.66	3.50	3.57
Total	3.31			
CV(%)	(92.8%)			

m-크실렌의 분석 시 분석방법의 검증을 통해 측정된 시료의 분석결과 신뢰도를 확보하고자 탈착효율 검정 실험을 하였다.

고체흡착관의 탈착효율 평가를 위해 4개 농도수준(0.344-2.062 mg)의 시료를 3세트 제조하여 각 농도별 3회 분석을 실시 후 탈착효율을 구하였으며, 반복분석을 통하여 기기의 변이를 평가하였다.

시료1(0.344 mg), 시료2(0.687 mg), 시료3(1.031 mg), 시료4(2.062 mg)의 평균 탈착효율은 각각 86.7%, 94.5%, 92.5%, 99.0%였으며, 변이계수(%)는 3.76 , 2.28 , 3.63 , 3.30 이었다. m-크실렌의 전체 평균 탈착효율은 93.2%, 평균 변이계수(%)는 3.24였다.

수동식 시료채취기의 평가는 3M에서 제공하는 Technical Data Bulletin을 이용하였으며, 에틸아세테이트의 Recovery coefficient는 0.97으로 나타났다.

m-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과는 [표 15]와 같다.

<표 15> m-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과

n	SAM 1 0.344 mg(%)	SAM 2 0.687 mg(%)	SAM 3 1.031 mg(%)	SAM 4 2.062 mg(%)
1	0.288 (83.7%)	0.667 (97.0%)	0.915 (88.7%)	1.998 (96.9%)
2	0.296 (86.2%)	0.639 (92.9%)	0.981 (95.1%)	2.118 (102.7%)
3	0.310 (90.2%)	0.644 (93.7%)	0.965 (93.6%)	2.006 (97.3%)
mean	0.298 (86.7%)	0.650 (94.5%)	0.953 (92.5%)	2.041 (99.0%)
SD	0.011	0.015	0.035	0.067
CV(%)	3.76	2.28	3.63	3.30
Total	3.24			
CV(%)	(93.2%)			

o-크실렌의 분석 시 분석방법의 검증을 통해 측정된 시료의 분석결과 신뢰도를 확보하고자 탈착효율 검정 실험을 하였다.

고체흡착관의 탈착효율 평가를 위해 4개 농도수준(0.341-2.046 mg)의 시료를 3세트 제조하여 각 농도별 3회 분석을 실시 후 탈착효율을 구하였으며, 반복분석을 통하여 기기의 변이를 평가하였다.

시료1(0.341 mg), 시료2(0.682 mg), 시료3(1.023 mg), 시료4(2.046 mg)의 평균 탈착효율은 각각 83.9%, 91.7%, 90.3%, 96.9%였으며, 변이계수(%)는 3.67 , 1.91 , 3.72 , 3.22 이었다. o-크실렌의 전체 평균 탈착효율은 90.7%, 평균 변이계수(%)는 3.13이었다.

수동식 시료채취기의 평가는 3M에서 제공하는 Technical Data Bulletin을 이용하였으며, 에틸아세테이트의 Recovery coefficient는 0.97으로 나타났다.

o-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과는 [표 16]와 같다.

<표 16> o-크실렌의 탈착효율 검정 실험결과

	SAM 1	SAM 2	SAM 3	SAM 4
n	0.341 mg(%)	0.682 mg(%)	1.023 mg(%)	2.046 mg(%)
1	0.276 (81.0%)	0.639 (93.7%)	0.886 (86.6%)	1.944 (95.0%)
2	0.285 (83.6%)	0.617 (90.4%)	0.953 (93.2%)	2.057 (100.5%)
3	0.297 (87.2%)	0.621 (91.0%)	0.932 (91.1%)	1.950 (95.3%)
mean	0.286 (83.9%)	0.626 (91.7%)	0.924 (90.3%)	1.984 (96.9%)
SD	0.010	0.012	0.034	0.064
CV(%)	3.67	1.91	3.72	3.22
Total	3.13			
CV(%)	(90.7%)			

제 3 절 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 측정결과의 일치도

1) 전체농도의 물질별 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 측정결과의 일치도

본 연구는 실제 우리나라에서 통상적으로 사업장의 작업환경 측정이 이루어지는 상황에서 확산식 측정기 방법과 활성탄관법으로 동시에 유기용제를 채취하여 그 시료를 같은 실험실에서 동일한 방법으로 분석하도록 하여 그 차이가 물질별로 또는 농도별로 얼마나 되는지 확인하기 위해 실시되었다.

Ethyl benzene의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 전체 시료수는 각각 69건이었으며, 각각의 평균은 2.453 ± 3.684 ppm, 2.674 ± 3.814 ppm 이었으며, Styrene의 전체 시료수는 각각 26건이었으며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 각각의 평균은 11.486 ± 7.667 ppm, 13.586 ± 10.819 ppm 이었다.

Toluene의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 전체 시료수는 각각 180건이었으며, 각각의 평균은 18.044 ± 25.381 ppm, 20.434 ± 25.869 ppm 이었으며, MEK의 전체 시료수는 각각 67건이었으며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 각각의 평균은 18.200 ± 17.998 ppm, 25.769 ± 25.814 ppm 이었다.

Ethyl acetate의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 전체 시료수는 각각 59건이었으며, 각각의 평균은 35.350 ± 54.820 ppm, 26.799 ± 37.058 ppm 이었으며, Xylene의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 전체 시료수는 각각 46건이었으며, 각각의 평균은 3.572 ± 2.867 ppm, 5.641 ± 3.661 ppm 이었다.

활성탄관법과 수동식 시료채취기법을 이용하여 동시에 측정한 시료를 분석한 유기용제 농도분석결과는 [표 17]과 같다.

**<표 17> 활성탄관법과 수동식 시료채취기법을 이용한
유기용제 전체농도 측정결과 (단위:ppm)**

	N	Charcoal				Passive Sampler			
		AM	SD	GM	GSD	AM	SD	GM	GSD
Ethyl benzene	69	2.453	3.684	0.984	4.310	2.674	3.814	1.173	4.128
Styrene	26	11.486	7.867	8.321	2.590	13.586	10.819	7.572	4.114
Toluene	180	18.044	25.381	7.698	4.452	20.434	25.869	9.352	4.349
MEK	67	18.200	17.998	7.161	5.386	25.769	25.814	11.297	4.694
Ethyl acetate	59	35.350	54.820	10.043	5.878	26.799	37.058	10.514	4.743
Xylene	46	3.572	2.867	2.830	1.922	5.641	3.661	3.882	2.826

활성탄관법의 매체를 이용한 포집농도를 기준으로 수동식 시료채취법의 매체를 이용한 포집 농도를 비교하기 위하여 물질별로 단순회귀분석을 실시하였다.

유기용제 6종에 대한 단순회귀분석을 실시한 결과 회귀식은 통계학적으로 유의하게 나타났으며($p < 0.01$), 각 물질에 대한 기울기의 범위는 0.0436-1.198이다. 각 물질에 대한 회귀식과 결정계수(R^2)는 [표 18]과 같이 나타났다..

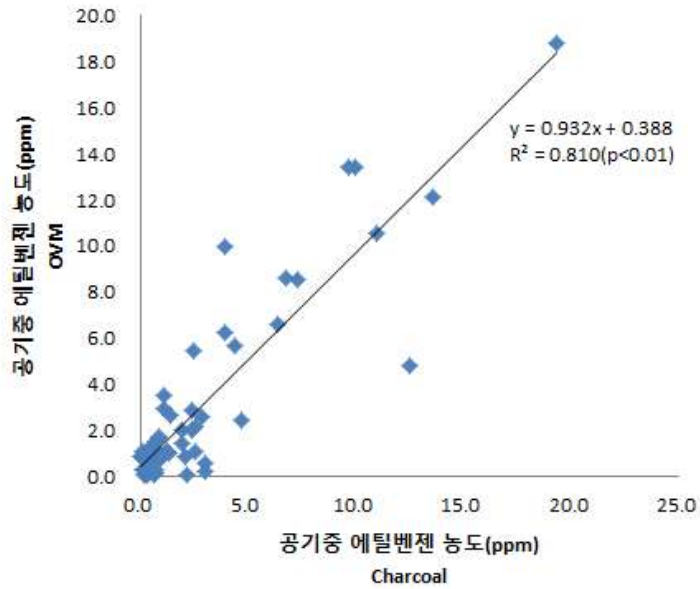
**<표 18> 유기용제별 전체농도에 따른 활성탄관법과
수동식 시료채취기법의 일치도**

Compounds	N	Regression equation ($y = ax + b$)	R ²	p-value
Ethyl benzene	69	$y = 0.932x + 0.388$	0.810	<0.01
Styrene	26	$y = 1.198x - 0.172$	0.759	<0.01
Toluene	180	$y = 0.708x + 7.660$	0.482	<0.01
MEK	67	$y = 0.965x + 8.200$	0.453	<0.01
Ethyl acetate	59	$y = 0.436x + 11.402$	0.415	<0.01
Xylene	46	$y = 0.706x + 3.120$	0.306	<0.01

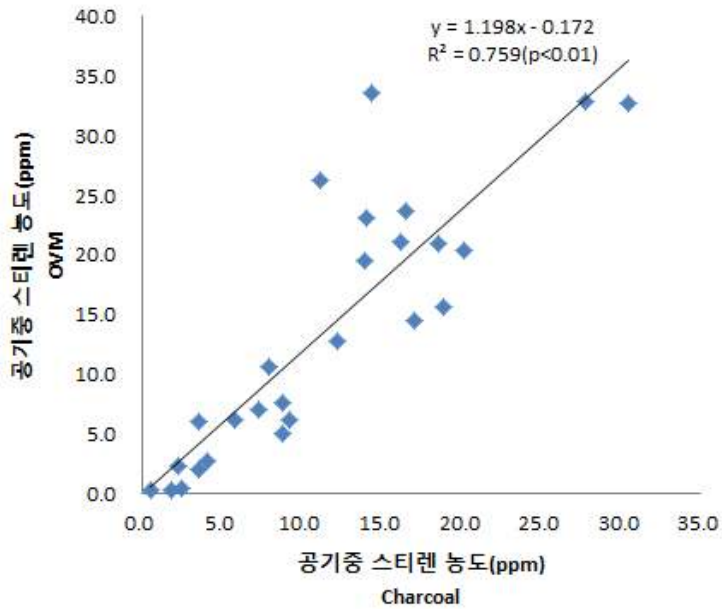
x : Charcoal tube concentration(ppm). **y** : Passive Sampler concentration(ppm).

각 물질별 통계 분석 결과를 살펴보면, Ethyl benzene은 회귀식 $y = 0.932x + 0.388$ 로 나타났으며, 결정계수(R²)는 0.810이며, 기울기가 1보다 작게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과소평가되었다(a<1)<그림 9>.

Styrene은 회귀식 $y = 1.198x - 0.172$ 로 나타났으며, 결정계수(R²)는 0.759이며, 기울기가 1보다 크게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과대평가되었다(a>1)<그림 10>.

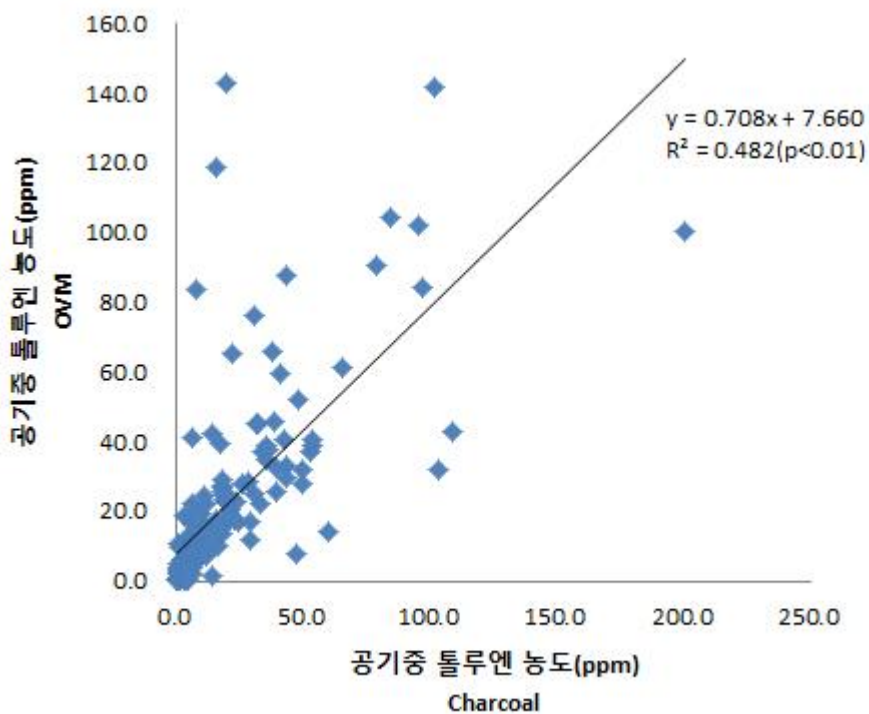


<그림 9> 에틸벤젠에 대한 활성탄관법과 수동식
시료채취기법의 측정결과 비교.



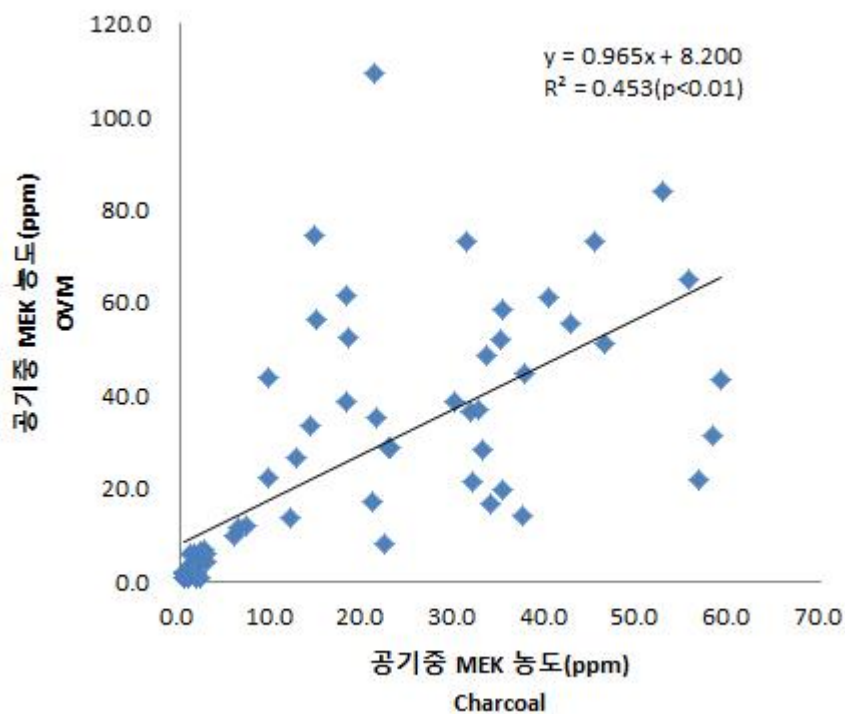
<그림 10> 스티렌에 대한 활성탄관법과 수동식
시료채취기법의 측정결과 비교.

Toluene은 회귀식 $y = 0.708x + 7.660$ 로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.482이며, 기울기가 1보다 작게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과소평가되었다($a < 1$) <그림 11>.



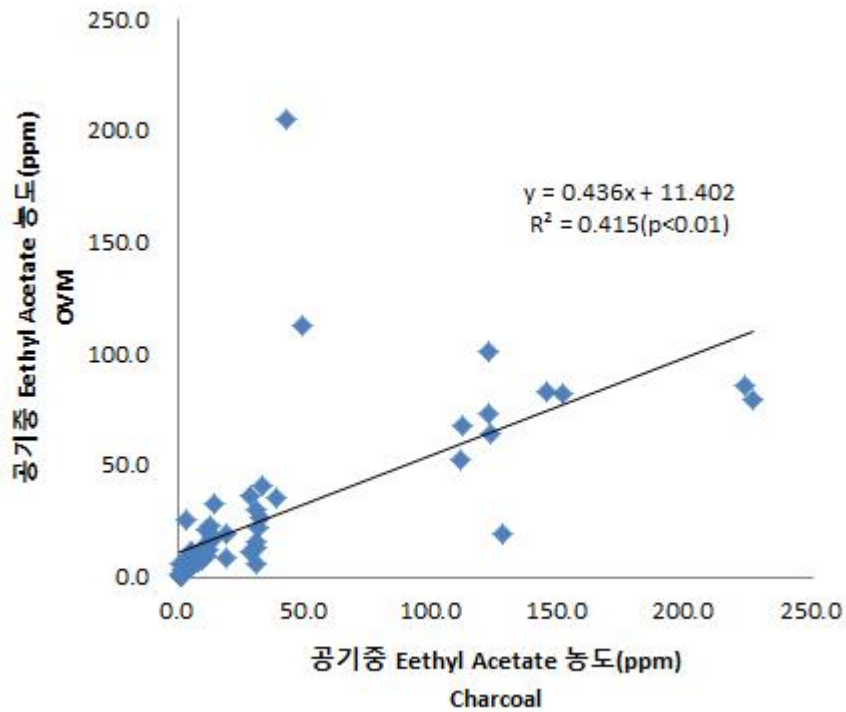
<그림 11> 톨루엔에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

또한, MEK는 회귀식 $y = 0.965x + 8.200$ 로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.453이며, 기울기가 1보다 작게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과소평가되었다($a < 1$) <그림 12>.



<그림 12> 메틸에틸케톤에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

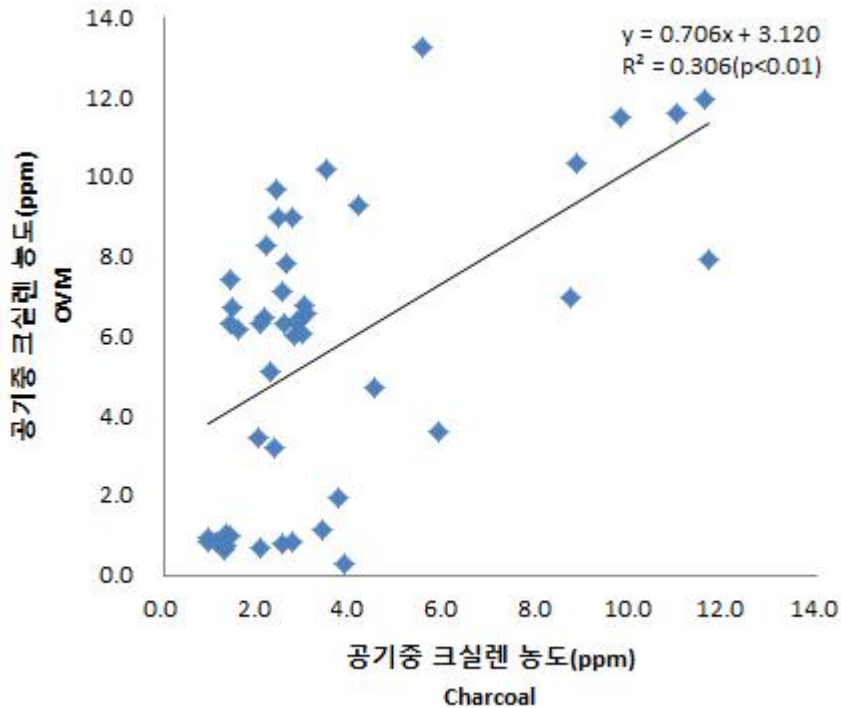
Ethyl acetate는 회귀식 $y = 0.436x + 11.402$ 로 나타났으며, 결정계수 (R^2)는 0.415이며, 기울기가 1보다 작게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과소평가되었다($a < 1$)<그림 13>.



<그림 13> 에틸아세테이트에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

Xylene은 회귀식 $y = 0.706x + 3.120$ 으로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.306이며, 기울기가 1보다 작게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과소평가되었다($a < 1$)<그림 14>.

각 물질별 통계결과를 살펴본 결과, Styrene은 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과대평가되었으며($a > 1$), Ethyl benzene, Toluene, MEK, Ethyl acetate, Xylene은 과소평가 되었다($a < 1$).



<그림 14> 에틸벤젠에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

2) 저농도의 물질별 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 일치도

본 연구에서 실험한 각각의 유기용제는 표준용액의 농도를 제조하여 검량선을 작성하였으며, 임의로 영점을 지나도록하여 작성하였다.

유기용제를 분석하기 위해 제조한 표준용액의 농도수준은 표준용액1~5로 가장 낮은 농도 수준은 표준용액2였다. 검량선 작성 시 표준용액 1의 경우 농도수준은 0으로 작성하였기 때문에 표준용액1과 표준용액2 사이의 농도는 검량선의 범위를 벗어난 외삽의 형태라고 할 수 있다. 그러므로 표준용액1과 표준용액2 사이에서의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 일치도를 확인하고자 하였다.

Ethyl benzene의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 시료수는 각각 46건이었으며, 각각의 평균은 0.656 ± 0.488 ppm, 0.966 ± 0.675 ppm 이었으며, Styrene의 시료수는 각각 4건이었으며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 각각의 평균은 1.808 ± 0.888 ppm, 0.829 ± 0.996 ppm 이었다.

Toluene의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 시료수는 각각 33건이었으며, 각각의 평균은 0.880 ± 0.620 ppm, 2.453 ± 2.651 ppm 이었으며, MEK의 시료수는 각각 26건이었으며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법 각각의 평균은 1.242 ± 0.758 ppm, 2.632 ± 2.009 ppm 이었다.

Ethyl acetate의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 시료수는 각각 16건이었으며, 각각의 평균은 1.131 ± 0.592 ppm, 3.069 ± 6.103 ppm 이었으며, Xylene의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 시료수는 각각 14건이었으며, 각각의 평균은 1.487 ± 0.397 ppm, 2.993 ± 2.725 ppm 이었다.

표준용액1과 표준용액2 사이에서의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법을 이용하여 동시에 측정한 시료를 분석한 유기용제 농도분석결과는 [표 19]과 같다.

**<표 19> 표준용액1과 표준용액2 농도 사이에서 활성탄관법과 수동식
시료채취기법의 농도 결과 (단위:ppm)**

	N	Charcoal				Passive Sampler			
		AM	SD	GM	GSD	AM	SD	GM	GSD
Ethyl benzene	46	0.656	0.488	0.447	2.839	0.966	0.675	0.680	3.002
Styrene	4	1.808	0.888	1.556	2.045	0.829	0.996	0.537	2.669
Toluene	33	0.880	0.620	0.670	2.174	2.453	2.651	1.351	3.260
MEK	26	1.242	0.758	1.023	1.927	2.632	2.009	2.002	2.130
Ethyl acetate	16	1.131	0.592	1.022	1.552	3.069	6.103	1.470	2.739
Xylene	14	1.487	0.397	1.440	1.297	2.993	2.725	1.895	2.750

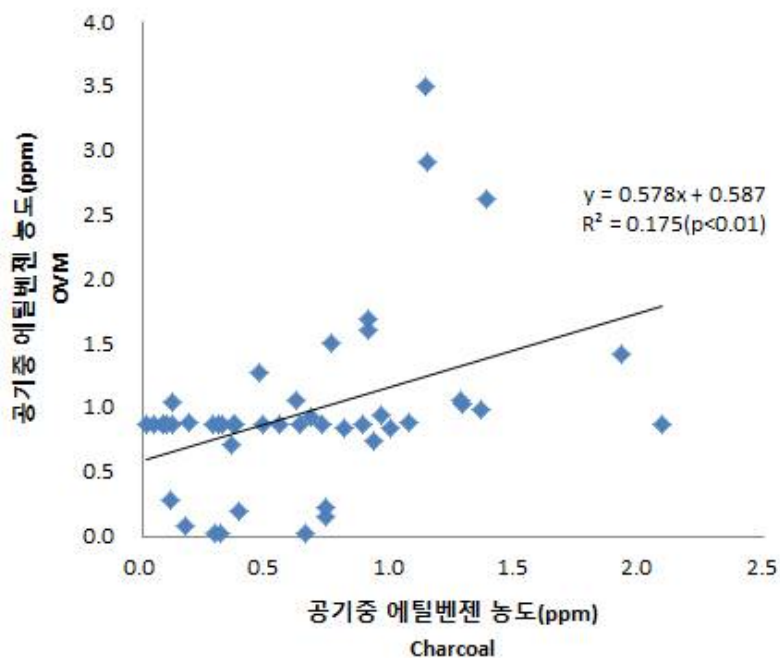
활성탄관법의 매체를 이용한 포집농도를 기준으로 수동식 시료채취법의 매체를 이용한 포집 농도를 비교하기 위하여 물질별로 단순회귀분석을 실시하였다.

유기용제 6종에 대한 단순회귀분석을 실시한 결과, Ethyl benzene, MEK, Ethyl acetate의 회귀식은 통계학적으로 유의하게 나타났으며($p < 0.01$), Styrene($p = 0.593$), Toluene($p = 0.143$), Xylene($p = 0.250$)은 통계학적으로 유의하지 않았다. 각 물질에 대한 기울기의 범위는 0.457-7.638이다. 각 물질에 대한 회귀식과 결정계수(R^2)는 [표 20]와 같이 나타났다.

<표 20> 유기용제별 표준용액1과 표준용액2 농도 사이에서 활성탄관법
과 수동식 시료채취기법의 일치도

Compounds	N	Regression equation ($y = ax + b$)	R ²	p-value
Ethyl benzene	46	$y = 0.578x + 0.587$	0.175	<0.01
Styrene	4	$y = 0.457x - 0.002$	0.166	0.593
Toluene	33	$y = 1.115x + 1.472$	0.068	0.143
MEK	26	$y = 1.567x + 0.685$	0.349	<0.01
Ethyl acetate	16	$y = 7.638x - 5.568$	0.549	<0.01
Xylene	14	$y = 2.258x - 0.365$	0.109	0.250

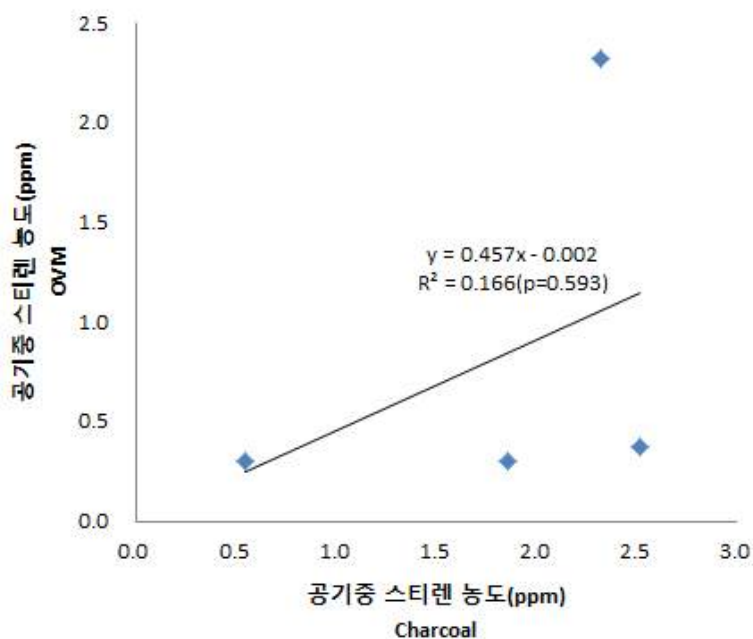
x : Charcoal tube concentration(ppm). y : Passive Sampler concentration(ppm).



<그림 15> 에틸벤젠에 대한 활성탄관법과 수동식
시료채취기법의 측정결과 비교.

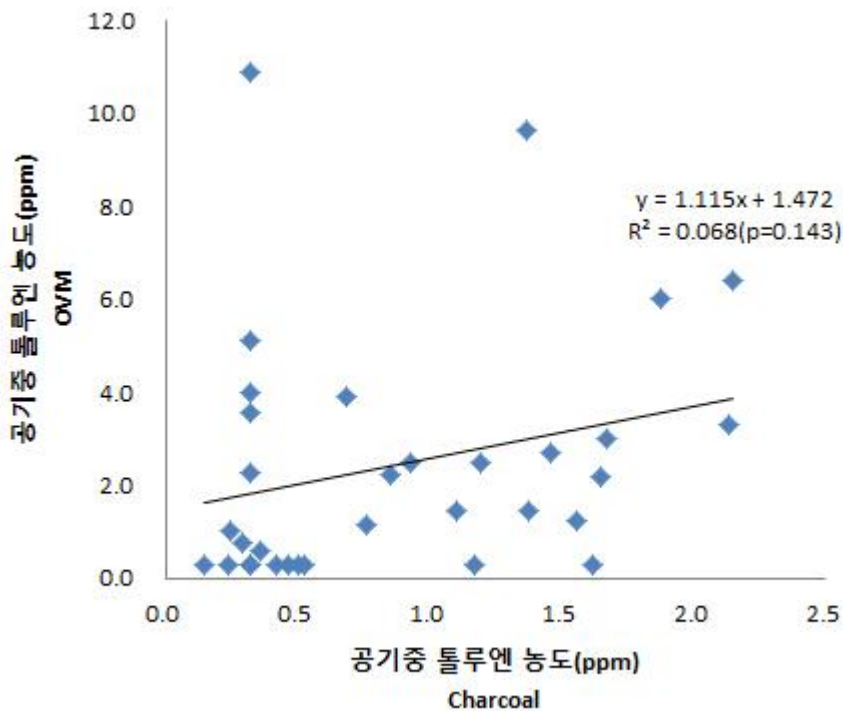
각 물질별 통계 분석 결과를 살펴보면, Ethyl benzene은 회귀식 $y = 0.578x + 0.587$ 로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.175이며, 기울기가 1보다 작게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과소평가되었다($a < 1$)<그림 15>. 전체농도에 대한 회귀분석결과는 과소평가되었고, a값은 0.932에서 0.578로 감소하였으며 이는 알 수 없는 농도인 외삽법에 의해 농도가 분석된 구간에서 차이가 나타났다.

Styrene은 회귀식이 $y = 0.457x - 0.002$ 로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.166이며, 기울기가 1보다 작게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과소평가되었다($a < 1$)<그림 16>. 전체농도에 대한 회귀분석결과는 과대평가 되었으며, a값은 1.198에서 0.457로 감소하였으며 이는 알 수 없는 농도인 외삽법에 의해 농도가 분석된 구간에서 차이가 나타났다.



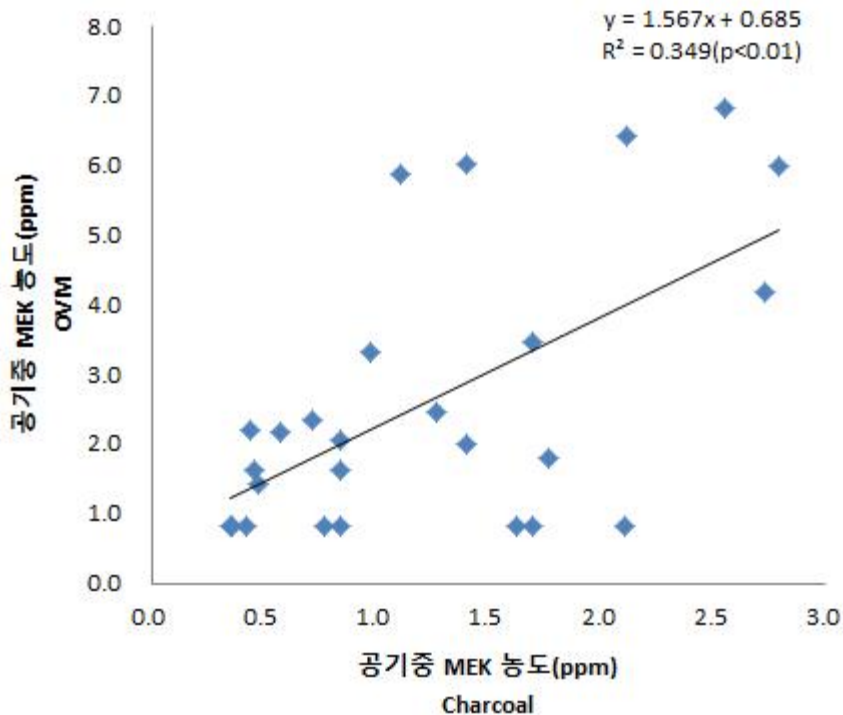
<그림 16> 스티렌에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

Toluene은 회귀식이 $y = 1.115x + 1.472$ 로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.068이며, 기울기가 1보다 크게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과대평가되었다($a > 1$) <그림 17>. 전체농도에 대한 회귀분석결과는 과소평가 되었으며, a값은 0.708에서 1.115로 증가하였으며 이는 알 수 없는 농도인 외삽법에 의해 농도가 분석된 구간에서 차이를 나타냈다.



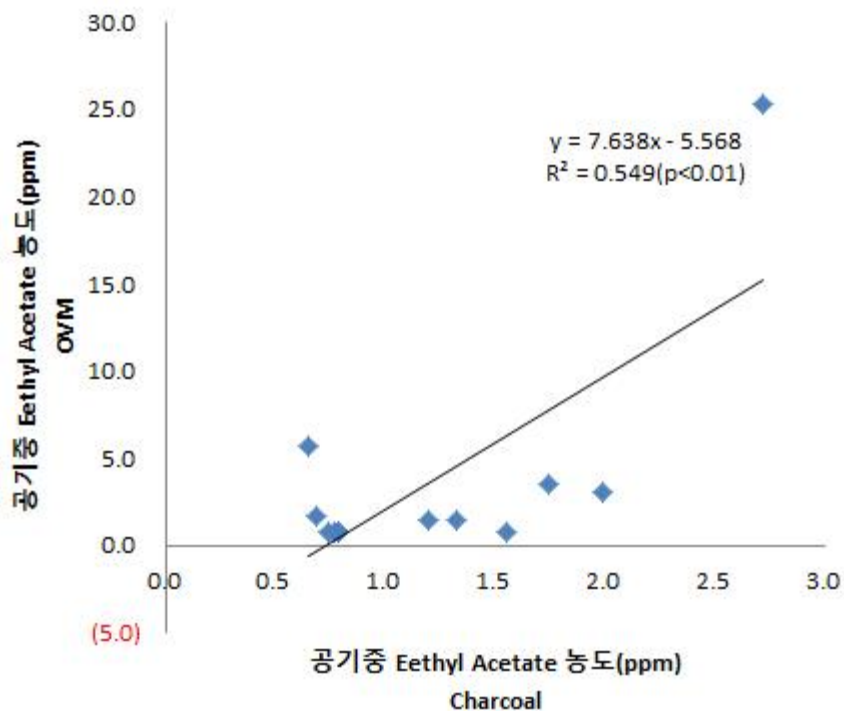
<그림 17> 톨루엔에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

MEK는 회귀식이 $y = 1.567x + 0.685$ 로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.349이며, 기울기가 1보다 크게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과대평가되었다($a > 1$) <그림 18>. 전체농도에 대한 회귀분석결과는 과소평가되었으며, a 값은 0.965에서 1.567로 증가하였으며 이는 알 수 없는 농도인 외삽법에 의해 농도가 분석된 구간에서 차이를 나타냈다.



<그림 18> 메틸에틸케톤에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

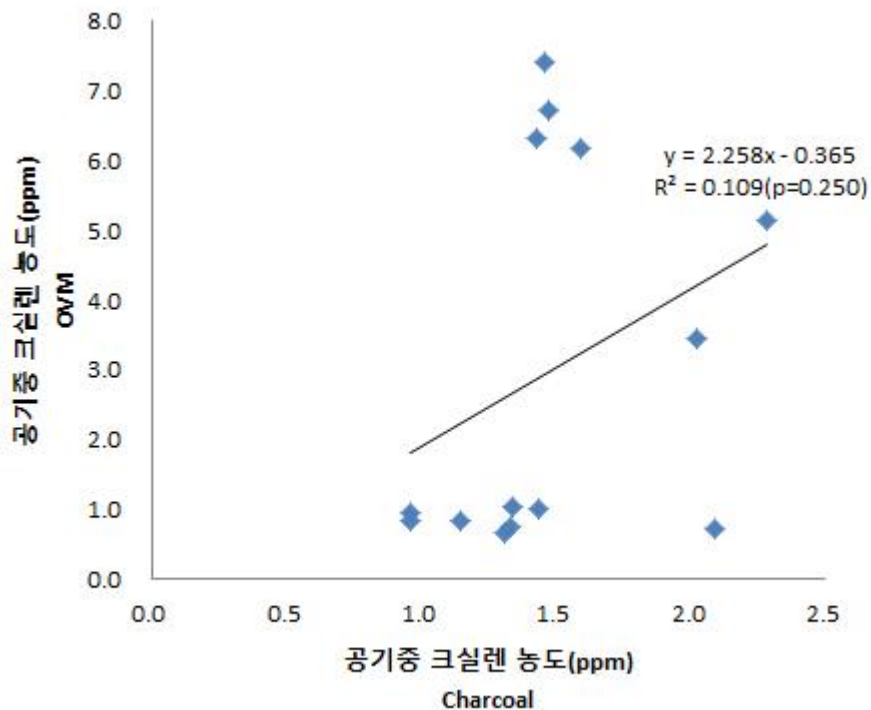
Ethyl acetate는 회귀식이 $y = 7.638x - 5.568$ 로 나타났으며, 결정계수 (R^2)는 0.549이며, 기울기가 1보다 크게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과대평가되었다($a > 1$) <그림 19>. 전체농도에 대한 회귀분석결과는 과소평가 되었으며, a값은 0.436에서 7.683으로 증가하였으며 이는 알 수 없는 농도인 외삽법에 의해 농도가 분석된 구간에서 차이를 나타냈다.



<그림 19> 에틸아세테이트에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

Xylene은 회귀식이 $y = 2.258x + 0.365$ 으로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.109이며, 기울기가 1보다 크게 나타나 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과대평가되었다($a > 1$) <그림 20>. 전체농도에 대한 회귀분석결과는 과소평가 되었으며, a 값은 0.706에서 2.258로 증가하였으며 이는 알 수 없는 농도인 외삽법에 의해 농도가 분석된 구간에서 차이를 나타냈다..

각 물질별 통계결과를 살펴본 결과, Toluene, MEK, Ethyl acetate, Xylene 은 활성탄관법보다 수동식 시료채취법이 과대평가되었으며($a > 1$), Ethyl benzene, Styrene은 과소평가 되었다($a < 1$).



<그림 20> 크실렌에 대한 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 측정결과 비교.

제 4 절 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차

활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 차이를 보기 위해 활성탄관을 기준으로 다음과 같이 그 차이를 산출하였다.

$$\text{Error(\%)} = \frac{\text{Result of charcoal method} - \text{Result of passive sampler}}{\text{Result of charcoal method}} \times 100\%$$

또한 낮은 농도에서 큰 영향을 미치는 것을 제어하기 위해 분석대상물질을 0 mg 함유한 표준용액 1번을 포함한 검량선(표준용액 #1에서 #5까지를 포함하는 검량선)과 표준용액 1번을 제외한 검량선(표준용액 #2에서 #5까지의 검량선)을 각각 작성한 후, 두 개의 검량선을 적용하여 각 분석대상 물질을 정량해 보았다. .

1) 에틸벤젠의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 차이

에틸벤젠의 표준용액 1번을 포함한 검량선(표준용액 #1에서 #5까지를 포함하는 검량선)은 회귀식이 $y = 5.690x - 0.068$ ($R^2 = 0.999$)이었으며, 총 시료수는 53건, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 0.410 ± 0.540 mg, 0.489 ± 0.614 mg이었다. 표준용액 1번을 제외한 검량선(표준용액 #2에서 #5까지의 검량선)의 회귀식은 $y = 5.724x - 0.119$ ($R^2 = 0.999$)이었고, 활성탄관과 수동식 시료채취기로 구한 에틸벤젠의 양은 각각 0.416 ± 0.537 mg, 0.518 ± 0.610 mg이었다.

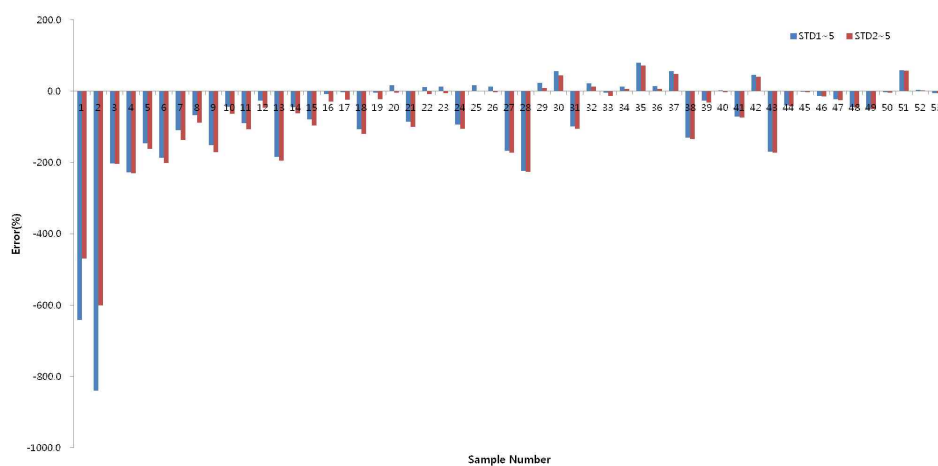
활성탄관법과 수동식 시료채취기의 오차율은 표준용액 1번을 포함한 검량선을 적용하였을 경우 $-840.6 \sim 79.5\%$ 로 나타났으며, 표준용액 1번을 제외한 검량선을 적용하였을 경우에는 $-601.4 \sim 72.2\%$ 로 나타났다. 이 결과로 볼 때 표준용액 1번을 포함한 검량선을 적용할 때보다 표준용액 1번을 제외한 검량선을 적용할 때 오차가 약간 감소했으나 큰 차이는 보이지 않았다.

에틸벤젠의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의

오차율은 [표 21]과 <그림 21>과 같다.

<표 21> 에틸벤젠의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

	STD 1~5		STD 2~5	
	Charcoal	OVM	Charcoal	OVM
Standrd Curve	$y = 5.690x - 0.068$ $(R^2 = 0.999)$		$y = 5.724x - 0.119$ $(R^2 = 0.999)$	
N	53		53	
AM±SD(mg)	0.410 ± 0.540	0.489 ± 0.614	0.416 ± 0.537	0.518 ± 0.610
Error Range(%)	-840.6 ~ 79.5		-601.4 ~ 72.2	



<그림 21> 에틸벤젠의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

2) 스티렌의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차

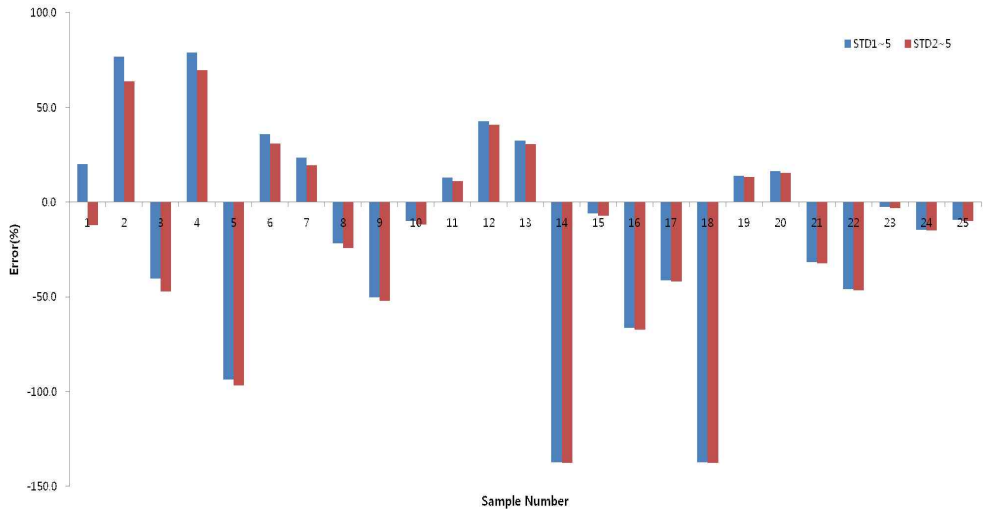
스티렌의 표준용액 1번을 포함한 검량선을 적용한 회귀식은 $y = 5.754x - 0.055$ ($R^2 = 0.999$)이며, 총 시료수는 26건, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 1.527 ± 1.133 mg과 1.887 ± 1.566 mg이었다. 표준용액 1번을 제외한 검량선을 적용한 회귀식은 $y = 5.78x - 0.097$ ($R^2 = 0.999$)이며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기의 평균농도는 각각 1.527 ± 1.128 mg, 1.903 ± 1.559 mg이었다.

활성탄관법을 기준으로 수동식 시료채취기법의 오차율의 범위는 표준용액 1번을 포함한 검량선을 적용한 경우에는 $-137.3 \sim 78.8\%$ 이었으며, 표준용액 1번을 제외한 검량선을 적용한 경우에는 $-137.8 \sim 69.7\%$ 로 나타나 표준용액 1~5의 검량선을 적용한 오차율보다 표준용액 2~5의 검량선을 적용한 오차율이 감소하는 경향을 보이지만 큰 차이가 없었다.

스티렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율은 [표 22]와 <그림 22>와 같다.

<표 22> 스티렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

	STD 1~5		STD 2~5	
	Charcoal	OVM	Charcoal	OVM
Standrd Curve	$y = 5.754x - 0.055$ $(R^2 = 0.999)$		$y = 5.78x - 0.097$ $(R^2 = 0.999)$	
N	26		26	
AM $\pm$ SD(mg)	1.527 ± 1.133	1.887 ± 1.566	1.527 ± 1.128	1.903 ± 1.559
Error Range(%)	$-137.3 \sim 78.8$		$-137.8 \sim 69.7$	



<그림 22> 스티렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

3) 톨루엔의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

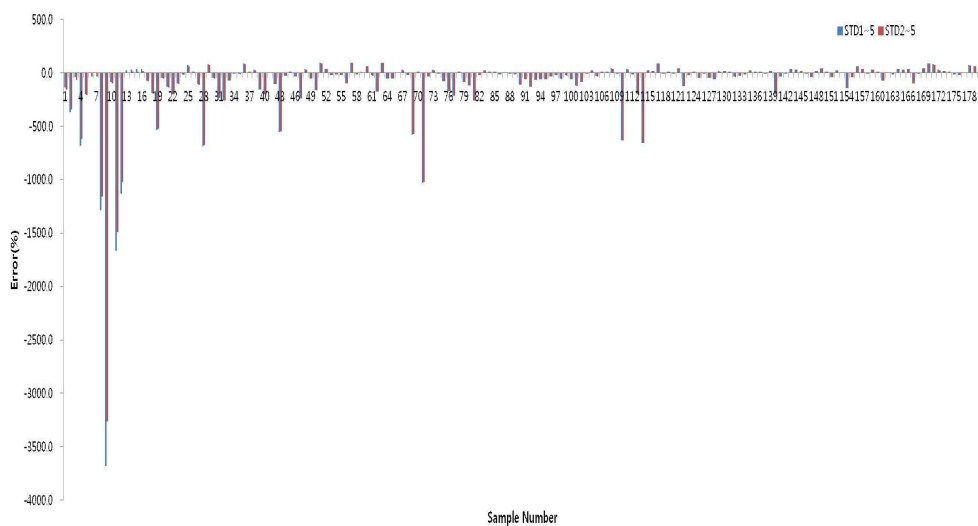
톨루엔의 표준용액1~5의 검량선 회귀식은 $y = 5.541x - 0.040$ ($R^2 = 0.999$)이며, 총 시료수는 180건, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 $2.022 \pm 2.701\text{mg}$, $2.319 \pm 2.776 \text{ mg}$ 이었다. 표준용액2~5의 검량선 회귀식은 $y = 5.560x - 0.070$ ($R^2 = 0.999$)이며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 $2.021 \pm 2.692 \text{ mg}$, $2.328 \pm 2.767 \text{ mg}$ 이었다.

활성탄관법을 기준으로 수동식 시료채취기법의 오차율의 범위는 표준용액 1번을 포함한 검량선을 적용한 경우에는 $-3682.5 \sim 93.4\%$ 였으며, 표준용액 1번을 제외한 검량선을 적용한 경우에는 $-3262.2 \sim 91.1\%$ 로 나타나 표준용액 1~5의 검량선을 적용한 오차율보다 표준용액2~5의 검량선을 적용한 오차율이 감소하는 경향을 보이지만 큰 차이가 없었다.

톨루엔의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율은 [표 23]과 <그림 23>과 같다.

<표 23> 톨루엔의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료 채취기법의 오차율

	STD 1~5		STD 2~5	
	Charcoal	OVM	Charcoal	OVM
Standrd Curve	$y = 5.541x - 0.040$ $(R^2 = 0.999)$		$y = 5.560x - 0.070$ $(R^2 = 0.999)$	
N	180		180	
AM±SD(mg)	2.022 ± 2.701	2.319 ± 2.776	2.021 ± 2.692	2.328 ± 2.767
Error Range(%)	-3682.5 ~ 93.4		-3262.2 ~ 91.1	



<그림 23> 톨루엔의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

4) 메틸에틸케톤의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

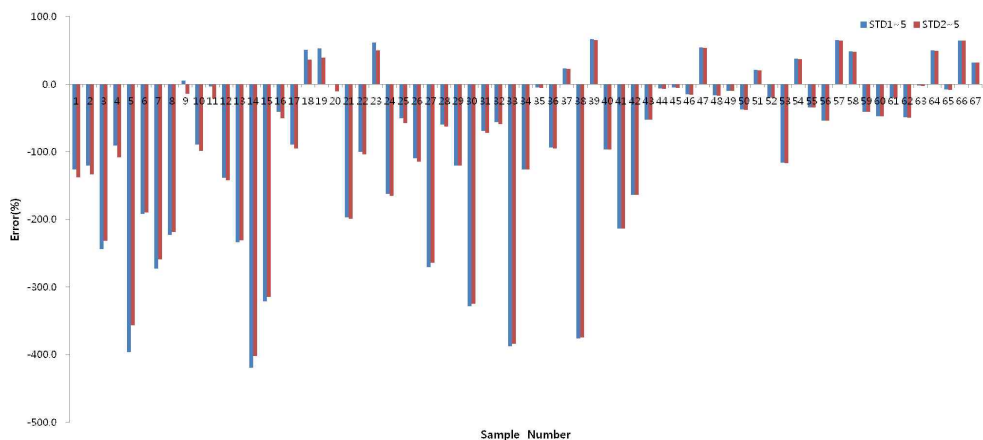
메틸에틸케톤의 표준용액1~5의 검량선 회귀식은 $y = 3.142x - 0.041$ ($R^2 = 0.999$)이며, 총 시료수는 67건, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 1.580 ± 1.606 mg, 2.029 ± 2.007 mg이었다. 표준용액2~5의 검량선 회귀식은 $y = 3.162x - 0.072$ ($R^2 = 0.999$)이며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 1.580 ± 1.596 mg, 2.043 ± 1.994 mg이었다.

활성탄관법을 기준으로 수동식 시료채취기법의 오차율의 범위는 표준용액 1번을 포함한 검량선을 적용한 경우에는 $-419.6 \sim 66.5\%$ 였으며, 표준용액 1번을 제외한 검량선을 적용한 경우에는 $-401.8 \sim 65.2\%$ 로 나타나 표준용액 1~5의 검량선을 적용한 오차율보다 표준용액2~5의 검량선을 적용한 오차율이 감소하는 경향을 보이지만 큰 차이가 없었다.

메틸에틸케톤의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율은 <표 24>와 <그림 24>와 같다.

<표 24> 메틸에틸케톤의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

	STD 1~5		STD 2~5	
	Charcoal	OVM	Charcoal	OVM
Standrd Curve	$y = 3.142x - 0.041$ $(R^2 = 0.999)$		$y = 3.162x - 0.072$ $(R^2 = 0.999)$	
N	67		67	
AM±SD(mg)	1.580 ± 1.606	2.029 ± 2.007	1.580 ± 1.596	2.043 ± 1.994
Error Range(%)	$-419.6 \sim 66.5$		$-401.8 \sim 65.2$	



<그림 24> 메틸에틸케톤의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

5) 에틸아세테이트의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

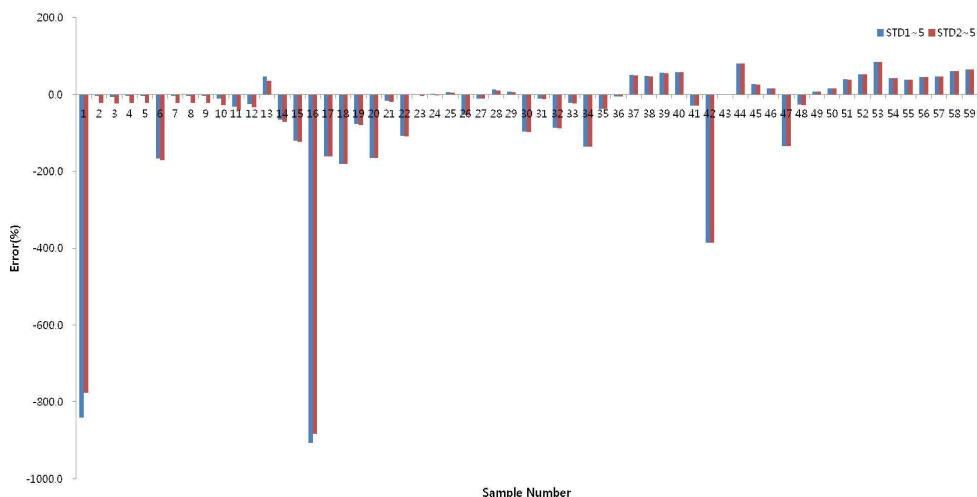
에틸아세테이트의 표준용액1~5의 검량선 회귀식은 $y = 2.074x - 0.026$ ($R^2 = 0.999$)이며, 총 시료수는 59건, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 3.763 ± 5.816 mg, 2.850 ± 3.692 mg이었다. 표준용액2~5의 검량선 회귀식은 $y = 2.086x - 0.046$ ($R^2 = 0.999$)이며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 3.752 ± 5.785 mg, 2.861 ± 3.671 mg이었다.

활성탄관법을 기준으로 수동식 시료채취기법의 오차율의 범위는 표준용액 1번을 포함한 검량선을 적용한 경우에는 $-906.8 \sim 84.9\%$ 였으며, 표준용액 1번을 제외한 검량선을 적용한 경우에는 $-882.3 \sim 84.7\%$ 로 나타나 표준용액 1~5의 검량선을 적용한 오차율보다 표준용액2~5의 검량선을 적용한 오차율이 감소하는 경향을 보이지만 큰 차이가 없었다.

에틸아세테이트의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취
기법의 오차율은 [표 25]와 <그림 25>와 같다.

**<표 25> 에틸아세테이트의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수
동식 시료채취기법의 오차율**

	STD 1~5		STD 2~5	
	Charcoal	OVM	Charcoal	OVM
Standrd Curve	$y = 2.074x - 0.026$ $(R^2 = 0.999)$		$y = 2.086x - 0.046$ $(R^2 = 0.999)$	
N	59		59	
AM±SD(mg)	3.763 ± 5.816	2.850 ± 3.692	3.752 ± 5.785	2.861 ± 3.671
Error Range(%)	-906.8 ~ 84.9		-882.3 ~ 84.7	



<그림 25> 에틸아세테이트의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

6) 크실렌의 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

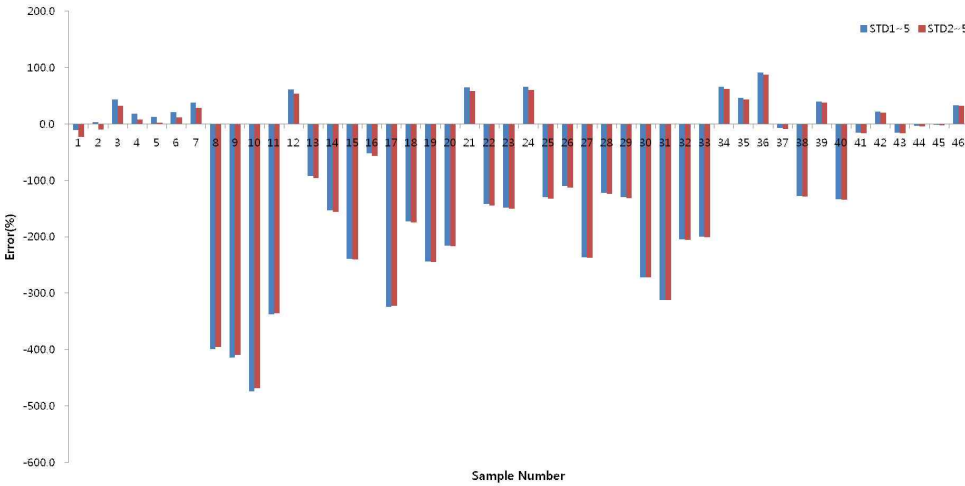
크실렌의 표준용액1~5의 검량선 회귀식은 $y = 5.797x - 0.044$ ($R^2 = 0.999$)이며, 총 시료수는 46건, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 0.490 ± 0.421 mg, 0.813 ± 0.553 mg이었다. 표준용액2~5의 검량선 회귀식은 $y = 5.817x - 0.078$ ($R^2 = 0.999$)이며, 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 평균농도는 각각 0.493 ± 0.419 mg, 0.831 ± 0.551 mg이었다.

활성탄관법을 기준으로 수동식 시료채취기법의 오차율의 범위는 표준용액 1번을 포함한 검량선을 적용한 경우에는 $-474.0 \sim 91.8\%$ 였으며, 표준용액 1번을 제외한 검량선을 적용한 경우에는 $-468.6 \sim 87.9\%$ 로 나타나 표준용액 1~5의 검량선을 적용한 오차율보다 표준용액2~5의 검량선을 적용한 오차율이 감소하는 경향을 보이지만 큰 차이가 없었다.

크실렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율은 [표 26]과 <그림 26>과 같다.

<표 26> 크실렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료 채취기법의 오차율

	STD 1~5		STD 2~5	
	Charcoal	OVM	Charcoal	OVM
Standrd Curve	$y = 5.797x - 0.044$ $(R^2 = 0.999)$		$y = 5.817x - 0.078$ $(R^2 = 0.999)$	
N	46		46	
AM±SD(mg)	0.490 ± 0.421	0.813 ± 0.553	0.493 ± 0.419	0.831 ± 0.551
Error Range(%)	-474.0 ~ 91.8		-468.6 ~ 87.9	



<그림 26> 크실렌의 검량선 작성범위에 따른 활성탄관법과 수동식 시료채취기법의 오차율

제 4 장 결 론

본 연구는 우리나라에서 통상적으로 이루어지는 작업환경측정 상황에서 유기용제를 측정할 때, 활성탄관과 수동식 시료채취기에 의한 유기용제 측정시 측정결과의 차이, 즉 두 시료채취 방법간 오차를 알아보기 위하여 실시되었다. 두 방법간 차이는 시료채취방법과 분석시 검량선의 정량범위 뿐이었고 나머지는 동일하였다. 즉, 차이점은 두 가지였다. 시료채취방법으로 하나는 활성탄관법은 시료채취기구로 표준활성탄을 사용하여 공기채취펌프(약 0.1 Lpm의 유량)로 시료를 채취하였고, 다른 하나는 수동식 시료채취방법으로 시중에 널리 사용되는 3M Organic Vapor Monitor (#M OVM 3500)을 사용하였다.

분석에서 차이점은 활성탄관의 시료는 상대적으로 많은 유기용제가 채취되었으므로 검량선의 높은 범위에서 정량되었고, 수동식 시료채취기의 시료는 상대적으로 적은 시료가 채취되어 검량선의 낮은 범위에 속하는 시료가 많았다. 수동식 시료채취기의 시료는 분석대상 물질을 넣지 않은 공시료(분석대상 물질은 0 mg이 첨가되었고 탈착용매인 CS₂만의 표준용액 #1)와 가장 낮은 양의 분석물질이 첨가된 표준용액 #2 사이에 속하는 것이 많이 나타났다.

작업환경 중 측정된 유기용제는 에틸벤젠, 스티렌, 톨루엔, 메틸에틸케톤, 에틸아세테이트 및 크실렌 등 6종이었으며, 연구결과는 다음과 같다.

1. 에틸벤젠에 대하여 활성탄관법과 수동식 시료채취기로 동시에 측정한 결과(n=69), 평균농도는 활성탄관으로 측정한 결과는 2.5 ± 3.68 ppm, 수동식 채취기로 측정한 결과는 2.7 ± 3.81 ppm로 나타나 평균은 크게 다르지 않았으나 수동식 측정기로 측정한 결과가 약간 높게 나타났으며, 각각의 개별시료간 차이는 상당히 크게 나타났다. 활성탄관 측정결과와 수동식 채취기의 측정결과간 상관관계를 구해 본 결과, 회귀식이 $y = 0.932x + 0.388$ ($R^2=0.810$, $p<0.01$)로 나타나 수동식 시료채취기가 활성탄관의 측정결과보다 약 93.2%정도 되는 것으로 나타났다.

주로 차이가 크게 나타난 부분은 농도가 낮아 수동식 채취기에 채취된 에

틸벤젠량이 검량선의 표준용액 1번(공시료)과 표준용액 2번 사이에 속하는 것 (n=46)으로 이러한 시료의 평균농도는 활성탄관 측정결과는 0.97 ± 0.675 ppm, 수동식 채취기 측정결과는 0.66 ± 0.488 ppm이었다. 활성탄관 측정결과와 수동식 채취기의 측정결과간 상관관계 분석결과는 회귀식이 $y = 0.578x + 0.587$ ($R^2=0.175$, $p<0.01$)로 나타나, 낮은 농도구간에서는 수동식 시료채취기의 측정결과가 활성탄관에 비해 57.8%에 불과한 것으로 나타났다.

2. 스티렌의 경우, 활성탄관법과 수동식 시료채취기로 동시에 측정한 결과 (n=26)는 활성탄관법의 측정결과가 11.5 ± 7.67 ppm이었고, 수동식 시료채취기의 측정결과는 13.6 ± 10.82 ppm이었다. 두 측정간 상관관계 분석결과는 회귀식이 $y = 1.198x - 0.172$ ($R^2=0.759$, $p<0.01$)로 나타나 수동식 시료채취법이 활성탄관법보다 과대평가되는 것으로 나타났다.

스티렌의 경우는 낮은 농도구간, 즉 표준용액 1번과 표준용액 2번 사이에 드는 시료가 4개에 불과하였지만 이 경우만 놓고보면 회귀식이 $y = 0.457x - 0.002$ ($R^2=0.166$, $p=0.593$)로 나타나 역시 낮은 농도구간에서는 수동식 시료채취법이 활성탄관법보다 과소평가 되는 것으로 나타났다.

3. 톨루엔의 경우 180개의 시료가 측정되었는데 활성탄관법의 측정결과가 18.0 ± 25.38 ppm, 수동식 시료채취기의 측정결과는 20.4 ± 25.87 ppm으로 나타났지만, 두 측정법간 상관관계는 회귀식이 $y = 0.708x + 7.660$ ($R^2=0.482$, $p<0.01$)으로 수동식 시료채취법이 활성탄관법보다 과소평가되는 것으로 나타났다. 그러나 낮은 농도구간(표준용액 1번과 표준용액 2번 사이)에서는 두 측정간 상관관계를 분석한 결과, 회귀식이 $y = 1.115x + 1.472$ ($R^2=0.068$, $p=0.143$)로 수동식 시료채취기의 결과가 더 큰 것으로 나타났다.

4. 메틸에틸케톤의 전체농도(n=67)를 비교한 결과, 활성탄관법의 측정결과는 18.2 ± 18.00 ppm, 수동식 채취기의 측정결과는 25.8 ± 25.81 ppm이었고, 회귀식은 $y = 0.965x + 8.200$ ($R^2=0.453$, $p<0.01$)로 나타났다. 낮은

농도구간에서는 두 측정간 상관관계를 분석한 결과 회귀식이 $y = 1.567x + 0.685$ ($R^2=0.349$, $p<0.01$)로 나타나 수동식 시료채취법이 활성탄법보다 높게 나타났다.

5. 에틸아세테이트의 전체농도($n=59$)를 비교한 결과, 활성탄관법의 측정결과는 35.4 ± 54.82 ppm, 수동식 채취기의 측정결과는 26.8 ± 37.06 ppm 이었고, 두 측정간 회귀식은 $y = 0.436x + 11.402$ ($R^2=0.415$, $p<0.01$)로 나타났다. 낮은 농도구간에서는 회귀식이 $y = 7.638x - 5.568$ ($R^2=0.549$, $p<0.01$)로 나타나 에틸아세테이트의 경우 낮은 농도에서는 수동식 채취법으로는 측정이 어려운 것으로 나타났다.

6. 크실렌의 전체농도($n=46$)를 비교한 결과, 활성탄관법의 측정결과는 3.6 ± 2.87 ppm, 수동식 채취기의 측정결과는 5.6 ± 3.66 ppm이었고, 두 측정간 회귀식 $y = 0.706x + 3.120$ ($R^2=0.306$, $p<0.01$)로 나타나 수동식 채취기의 측정결과가 활성탄관의 측정결과보다 낮은 것으로 나타났다. 낮은 농도구간에서는 두 측정간의 회귀식이 $y = 2.258x - 0.365$ ($R^2=0.109$, $p=0.250$)로 나타나 오차가 매우 큰 것으로 나타났다.

7. 활성탄관을 기준으로 수동식 채취기의 측정결과와의 오차는 에틸벤젠이 67%, 스티렌이 6.5%, 톨루엔이 91%, 메틸에틸케톤이 67%, 에틸아세테이트는 13.8%, 크실렌은 60%로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

고용노동부, 산업안전보건법, 2014.

고용노동부, 산업안전보건법 시행규칙, 2014.

고용노동부, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준, 2013.

고용노동부, 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시, 2013

한국산업안전공단, 『복합유기용제의 발생과 유해성 평가』, 2003.

한국산업안전공단, 『수동식 유기용제 시료채취기 최적조건 연구』, 2007.

이광용, 박두용, 정지연, 「확산식 시료채취기에서 기류제어 막 공극 크기에 따른 시료채취율의 변화특성에 관한 연구」, 『한국산업위생학회지 제14권 제2호』. 한국산업위생학회, 2004, pp.125-133.

안규동, 연유용, 이병국, 「확산형 포집기와 활성탄관을 이용한 공기중 혼합 유기용제 측정에 관한 연구」, 『한국산업위생학회지 제4권 제2호』. 한국산업위생학회, 1994, pp.127-136.

2. 국외문헌

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2011 TLVs and BEIs : Threshold limit values for chemical substances and physical agents. ACGIH; 2011.

3M. 3M Technical data bulletin #1028 Organic Vapor Monitor Sampling and Analysis Guide. 3M; 1999.

National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Method. 4th ed. NIOSH; 1994.

ABSTRACT

Comparison of Field application results of Passive Sampler and Charcoal Tube methods for Organic Vapor Measurements with in the Workplaces

Kim, Chang Hyun

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

This study was conducted to evaluate accuracy of workplace measurements for organic vapors using the standard charcoal tube and a passive sampler (3M OVM 3500) in the real field situations. To avoid artificial factors, the measurements for this study were conducted while a periodic annual workplace monitoring was conducted by a workplace measurement laboratory. Results of the study were as follows:

1. Passive samplers' results for ethyl benzene showed $67 \pm 148\%$ of the charcoal tube's results ($n=69$). Regression analysis showed $y = 0.932x + 0.388$ ($R^2=0.810$, $p<0.01$), thus passive samplers' results were lower than the charcoal tubes' results.

2. Passive samplers' results for styrene showed $6.5 \pm 53.5\%$ of the charcoal tube's results ($n=26$). Regression analysis showed $y = 1.198x -$

0.172 ($R^2=0.759$, $p<0.01$).

3. Passive samplers' results for toluene showed $91\pm 317\%$ of the charcoal tube's results ($n=180$). Regression analysis showed $y = 0.708x + 7.660$ ($R^2=0.482$, $p<0.01$).

4. Passive samplers' results for methyl ethyl ketone showed $67\pm 57\%$ of the charcoal tube's results ($n=67$). Regression analysis showed $y = 0.965x + 8.200$ ($R^2=0.453$, $p<0.01$).

5. Passive samplers' results for ethyl acetate showed $13.8\pm 52.0\%$ of the charcoal tube's results ($n=59$). Regression analysis showed $y = 0.436x + 11.402$ ($R^2=0.415$, $p<0.01$).

6. Passive samplers' results for ethyl acetate showed $59.9\pm 77.8\%$ of the charcoal tube's results ($n=46$). Regression analysis showed $y = 0.706x + 3.120$ ($R^2=0.306$, $p<0.01$).

7. In general, the differences between the charcoal tubes' results and passive samplers' results increase as the airborne concentrations decrease.

【Keyword】 Passive sampler, Charcoal tube, 3M OVM, diffusive sampler, active sample.