

연구보고서

작업환경측정 정도관리 자율항목 도입을 위한 연구(2) -수동식시료채취기

노지원 · 박승현 · 장미연 · 조현민

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

연구기간

2019년 1월 ~ 2019년 11월

핵심 단어

작업환경측정 정도관리, 자율항목, 수동식시료채취기

연구과제명

작업환경측정 정도관리 자율항목 도입을 위한 연구(2) 수동식시료채취기

1. 연구배경

- 작업환경측정 정도관리는 25년간 유기화합물과 금속을 중심으로 운영되어 지정측정기관의 분석결과 신뢰성 향상에 기여하였음. 또한 측정 물질 및 분석 장비가 확대됨에 따라 정도관리 커버리지 확대에 대한 사회적 요구 증대 등으로 관련법령개정을 통하여 정도관리에 자율항목이 도입됨.
- 작업환경측정 현황, 전문가 및 분석자의 의견을 수렴하여 수동식시료채취기의 유기화합물 분석을 자율항목으로 도입하기 위한 근거자료를 마련하고자 함.

2. 주요 연구내용

- 유기화합물을 측정할 수 있는 대표적인 수동식시료채취기로 두 가지 모델을 선정함. 3M 모델은 흡착포 형태로 유기용제를 흡착시키며 흡착포를 분리하지 않은 상태에서 전처리하는 방법을 제시함. SKC 모델은 흡착제 형태로 유기용제를 흡착시키며 전처리시 흡착제를 바이알에 옮겨 담아 실시함. 두 모델 모두 공기 흐름이 적은 곳은 피해서 측정해야 함.

- 국외에서 실시하고 있는 수동식시료채취기 사용 정도관리는 미국 산업위생협회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)에서 실시하고 있는 국제정도관리프로그램인 산업위생분석능력평가(Industrial Hygiene Proficiency Analytical Testing, IHPAT)가 유일함. 분석 물질은 벤젠, 톨루엔, O-크실렌으로 변동이 없으며 분석자들의 결과 및 시료 안정성 등을 바탕으로 하여 해당 물질의 농도 범위는 변경되고 있음. 참가기관 수는 208 라운드에 70개 기관에서 218 라운드에 54개 기관으로 감소하는 경향을 보이고 있으며 세 가지 물질 모두 참여 기관의 약 90%가 합격하고 있음.
- 최근 3년간 수동식 시료채취기를 사용하여 측정·분석한 작업환경 측정대상 중 유기화합물(혼합유기화합물 포함)은 총 19,941건이었으며 연도별로는 2016년도 6,144건, 2017년도 6,862건, 2018년도 6,935건이고 측정한 사업장 개소는 각각 939, 1,079, 1,086으로 수동식시료채취기를 사용한 측정·분석 건수는 매년 증가하는 추세를 보이고 있음.
- 시료 저장안정성 시험을 위해 수동식시료채취기에 벤젠, 톨루엔, o-크실렌을 노출기준의 0.1, 0.5, 1, 1.5배의 농도로 희석하여 주입하고 상온(25℃)과 냉장(5℃)에 보관하면서 시료 제조 후 1주, 2주, 4주, 8주, 12주, 16주마다 시료를 분석하여 농도를 비교하였음. 시료는 16주간 상온과 냉장 모두 주입량 대비 약 80~113%의 범위에서 안정성을 보임.
- 자율참여기관을 대상으로 실시한 숙련도평가에서 작업환경측정 정도관리에서 계산하는 방식대로 Grubb's Test를 통하여 95% 신뢰수준에서 이상값을 제거하고, 산술평균값을 기준으로 기준값에 3배의 표준편차를 더하거나 뺀 범위를 합격범위로 하였음. 그 결과 26개소(83.9%) 적합, 5개소(16.1%)가 부적합이었으며 기존의 정도관리 계산 방식으로 산정하였을 때 무리가 없다고 판단됨.

3. 연구 활용방안

- 작업환경측정 정도관리 자율항목으로 수동식시료채취기(유기화합물)를 적용
- 수동식시료채취기를 이용한 작업환경측정 및 분석결과의 신뢰성 향상에 기여

4. 연락처

- 산업안전보건연구원 직업환경연구실 노지원
- ☎ 052) 703-0887
- E-mail : rojiwon@kosha.or.kr

차례

I. 서론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	2
II. 연구방법	3
1. 관련 자료 분석	3
2. 시료저장 안정성 시험	6
3. 실험실간 숙련도 평가	7
III. 연구결과	8
1. 관련 자료 분석	8
2. 시료 저장 안정성 시험	19
3. 실험실간 숙련도 평가	29
IV. 결론	39
V. 참고문헌	41
VI. 부록	42
Abstract	54

표 차례

[표 II-1] 분석기기 및 분석조건	6
[표 III-1] 수동식시료채취기 IHPAT 참가자 벤젠 분석결과	12
[표 III-2] 수동식시료채취기 IHPAT 참가자 톨루엔 분석결과	13
[표 III-3] 수동식시료채취기 IHPAT 참가자 O-크실렌 분석결과	13
[표 III-4] 최근 3년간(2016~2018) 수동식시료채취기 사용 현황	14
[표 III-5] 최근 3년간(2016~2018) 수동식시료채취기 노출기준 대비 분석 결과(%) 건 수	16
[표 III-6] 상온에서 벤젠의 보관기간에 따른 탈착효율 변화	23
[표 III-7] 냉장에서 벤젠의 보관기간에 따른 탈착효율 변화	24
[표 III-8] 상온에서 톨루엔의 보관기간에 따른 탈착효율 변화	25
[표 III-9] 냉장에서 톨루엔의 보관기간에 따른 탈착효율 변화	26
[표 III-10] 상온에서 O-크실렌의 보관기간에 따른 탈착효율 변화	27
[표 III-11] 냉장에서 O-크실렌의 보관기간에 따른 탈착효율 변화	28
[표 III-12] 1차 숙련도평가 벤젠 분석결과	29
[표 III-13] 1차 숙련도평가 톨루엔 분석결과	29
[표 III-14] 1차 숙련도평가 O-크실렌 분석결과	30
[표 III-15] 시료의 균질성 벤젠 실험결과	31
[표 III-16] 시료의 균질성 톨루엔 실험결과	32
[표 III-17] 시료의 균질성 O-크실렌 실험결과	32
[표 III-18] 분석물질별 시료의 이상값 개수	33
[표 III-19] 2차 숙련도평가 벤젠 분석결과	34
[표 III-20] 2차 숙련도평가 톨루엔 분석결과	34

[표 III-21] 2차 숙련도평가 O-크실렌 분석결과	35
[표 III-22] 최근3회 정기정도관리 유기용제 결과 통계자료	36
[표 III-23] 참여기관의 결과 분포	38

그림 차례

[그림 II-1] 제조사별 수동식시료채취기	1
[그림 III-1] (왼쪽부터)3M 모델 착용, 포집 후 링 제거, 뚜껑닫음	9
[그림 III-2] (왼쪽부터)SKC 모델 앞면, 뒷면	10
[그림 III-3] 연도별 유기화합물 노출기준 대비 농도수준	15
[그림 III-4] 수동식시료채취기 분석방법에 따른 현황	17

I. 서론

1. 연구배경

우리나라의 작업환경측정 정도관리(이하 정도관리라 한다) 제도는 1992년부터 시행되었다. 정도관리 제도의 도입 목적은 지정측정기관에서 측정항목의 분석방법을 체계화하고 동일한 시료에 대한 결과값을 일정한 범위 안에 들게 하여 분석값의 신뢰성을 향상시키는 것이었다. 정도관리 항목은 유기용제와 금속 분야로 실시되었고 정도관리 첫 회의 각 분야에서 43%와 52%로 절반 정도의 적합률을 보였다. 그 이후 지정측정기관에서는 시료 분석결과의 정확성 및 정밀성 향상에 노력하였으며 2000년대에 들어서면서 두 분야 모두 92%이상의 적합률을 보이고 있다. 정도관리 적합률이 향상되고 10여 년간 분석의 질 관리 향상이 이루어짐에 따라 지정측정기관의 분석 능력은 상향평준화 되었다.

정도관리 제도가 안정화되면서 작업환경측정 물질의 확대, 새로운 분석 매체와 장비의 개발 등으로 정도관리 분야를 넓히고 사업장 측정 분석 현황을 반영한 제도의 개선이 요구되었다. 초기 정도관리 제도는 시료 분석값의 적합만을 판정하였으나 2013~2016년도에는 지정측정기관의 시스템부터 분석방법까지 전체적으로 기관을 평가하는 현장평가가 이루어졌다. 2017년도에는 지정측정기관에 중복으로 평가되는 항목을 정리하고 정도관리 시료 분석에 자율항목을 도입하는 제도 개선이 이루어졌다.

2016년도 지정측정기관 분석자를 대상으로 실시한 설문조사에서 정도관리 자율항목 도입 물질에 대한 의견으로 산류, 포름알데히드, 결정형 산화규소, 수동식시료채취기 순으로 높게 조사되었다. 그 중 포름알데히드와 결정형 산화규소는 2018년도 분석자 설문조사 및 선행연구를 거쳐 2019년부터 정도관리 자율

항목으로 도입되었다. 산류는 지정측정기관의 필수 법적 장비가 아닌 이온크로마토그래프로 분석하기 때문에 자율항목에 바로 도입되는데 한계가 있다.

수동식시료채취기는 국제 정도관리에서 시행되고 있으며 기존의 능동시료채취 방식에 비해 채취 방법이 편하고 채취기가 가벼워서 사용량이 늘어나고 있다. 또한 분석 물질과 장비는 기존의 유기화합물의 분석 방법과 동일하여 정도관리 자율항목으로 도입되어도 지정측정기관에서 어려움 없이 분석 가능할 것으로 예상된다.

2. 연구목적

본 연구는 수동식시료채취기를 이용한 유기화합물의 분석 현황 조사 및 제조된 시료의 저장성을 확인함으로써 향후 작업환경측정 정도관리 자율항목에 적용할 수 있는 근거를 마련하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 관련 자료 분석

1) 수동식시료채취기를 이용한 작업환경측정분석 방법

유기용제의 특성별로 포집할 수 있는 각 매체의 종류는 다양하다. 그 중 벤젠, 톨루엔, o-크실렌을 포집할 수 있는 매체를 대상으로 고려하였으며 연구에 이용하고자 하는 수동식시료채취기는 국내 측정기관에서 주로 사용하는 3M OVM C.N.:3500과 SKC C.V.:575-001 두 가지 모델로 선정하였다(그림 II-1). 문헌조사를 통하여 각 수동식시료채취기를 이용한 측정·분석 방법 등을 조사하였다.



[그림 II-1] 제조사별 수동식시료채취기

2) 국외정도관리 사례 검토

수동식시료채취기를 이용한 유기용제 분석 관련하여 국외에서 실시하고 있는 정도관리에 대해 알아보았다. 미국산업위생협회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)에서 실시하고 있는 국제정도관리프로그램인 산업위생분석능력평가(Industrial Hygiene Proficiency Analytical Testing, IHPAT)에서는 3M, SKC, Assay Technology의 수동식시료채취기에 대해 분석능력 평가를 실시하고 있다. 연구원에서는 연 2~3회 이 프로그램에 참가하고 있으며 참여결과에서 확인할 수 있는 시료의 농도 및 적합범위 등을 정리하였다.

영국의 안전보건연구원(Health and Safety Laboratory, HSL)에서 실시하는 WASP(The Workplace Analysis Scheme for Proficiency) 정도관리 프로그램에서는 수동식시료채취기 매체는 이산화질소에 대해서만 실시하고 있으며 HSL과 LGC(Laboratory of the Government Chemist), 독일의 DGUV(Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung)의 연구소(Institut Für Arbeitsschutz)에서는 유기용제 측정·분석 매체로써 차콜(Charcoal) 흡착관과 테낙스(Tenax) 흡착관을 이용한 정도관리를 실시하고 있었다.

3) 최근 3년간 수동식시료채취기 작업측정자료 분석

2016~2018년 3년간 국내 작업환경측정 실시 현황 중 ‘확산포집법’으로 측정된 분석 데이터를 확인하였다. 유기화합물 측정·분석이 아닌 다른 물질이거나 잘못 표기된 데이터는 제거하였다. 연간 측정건수 및 측정한 사업장 수, 분석된 물질의 농도 수준을 검토하여 정도관리 시료 제조 농도에 참고하고자 하였다.

4) 수동식시료채취기 사용 현황 및 정도관리 참여 설문조사

지정측정기관 178개소를 대상으로 2018년도 수동식시료채취기 사용 현황 및 정도관리 자율항목 도입 시 참가여부를 설문조사하였다. 측정기관에서 사용하는 수동식시료채취기 매체 종류 및 연간 사용 수량, 실험실간 분석능력 확인을 위한 실험의 참여여부 및 자율정도관리 참여 의사 여부에 대해 파악하였다.

2. 시료저장 안정성 시험

산업안전보건연구원(이하 연구원이라 한다)에서 두 가지 종류의 수동식시료 채취기에 벤젠, 톨루엔, o-크실렌을 각각 8시간 포집 노출기준의 0.1, 0.5, 1, 1.5 배의 농도로 희석하여 주입하여 시료를 제조하였다. 그리고 상온(25℃)과 냉장(5℃)에 보관하면서 시료 제조 후 1주, 2주, 4주, 8주, 12주, 16주마다 시료를 분석하여 농도를 비교하였다. 시료 제조 방법 및 보관, 분석 방법은 모두 동일하게 마이크로시린지를 이용하여 주입 후 이황화탄소 2 mL로 탈착하여 가스크로마토그래프 불꽃이온화검출기로 분석하였다. 가스크로마토그래프의 분석 조건은 아래 표와 같다.

[표 II-1] 분석기기 및 분석조건

구 분	기기 및 분석조건
Gas Chromatograph	Agilent 7890B, USA Flame Ionization Detector
Column	DB-1(30 m×250 μm×0.25 μm), J&W 122-1032
Oven	40℃(0 min) - 8℃/min - 100℃(0 min)
Column Flow	1 mL/min
Injector Temperature	230℃
Injection volume	1 μL
Split Ratio	10:1
Detector Temperature	250℃

3. 실험실간 숙련도 평가

1) 기준실험실 및 측정기관 숙련도 평가

실험실간 숙련도 1차 평가는 분석 경험이 많은 정도관리 실무위원 4명을 대상으로 실시하였다. 3M 모델에 제조한 농도수준별 3개의 시료와 공시료 3개를 우편으로 송부하였고 시료발송 2주 후에 분석결과를 취합하여 비교하였다.

실험실간 숙련도 2차 평가는 국내 178개 작업환경측정기관 중에서 자율적으로 참여 신청한 31개 기관을 대상으로 하였다. 3M 모델에 4개의 농도로 제조된 시료와 공시료 2개를 각 기관에 우편으로 배포하고 한 달 이내에 결과를 제출하도록 하였다.

2) 시료 기준값 및 적합범위 산정방법 검토

기준실험실 및 측정기관에서 받은 분석 결과값을 바탕으로 정도관리 적합범위 산정방법을 확인하여 자율정도관리 항목으로 적용하기 위한 기준값 및 적합범위 산정방법을 검토하고자 하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 관련 자료 분석

1) 수동식시료채취기를 이용한 작업환경측정분석 방법

(1) 수동식시료채취기를 이용한 측정·분석 가능 물질

수동식시료채취기를 사용하기 위해서는 먼저 해당 매체로 측정·분석이 가능한 물질을 확인하여야 한다. 3M 3500 모델을 사용할 경우에 암모니아, 일산화탄소, 황화수소, 이소시아네이트, 메탄, 에탄, 프로판, 메탄올, 디클로로메탄, 메틸아민, 디메틸아민, 트리메틸아민, 유기 고형물, 이산화황 화합물들은 흡착제 층과의 상호작용이 불충분하거나 흡착이 불리한 물질이기 때문에 사용을 제한하고 있으며 산화에틸렌과 포름알데히드는 해당 물질을 흡착하기 위한 다른 모델을 사용하도록 권장하고 있다. 이 외에 아세톤, 벤젠, 클로로벤젠, 톨루엔 등 166개의 유기용제는 포집하여 이황화탄소, 염화메틸, 50% 디메틸포름아미드/이황화탄소 용액, 이소프로판올, 아세토니트릴, 톨루엔, 트리클로로에틸렌과 같은 탈착용매를 이용하여 분석이 가능하며 전체 목록은 부록1에 제시하였다.

SKC 575-001 모델은 흡착제로는 350 mg 차콜이 사용되며 575-002 모델은 Anasorb 747, 500 mg이 사용된다. SKC에서는 575-001로 측정 분석가능한 234개, 575-002로 측정 분석 가능한 211개의 유기용제 및 해당 분석방법을 제시해주며 전체 목록은 부록2에 첨부하였다.

수동식시료채취기 제조업체에서 제시하는 측정분석 가능한 유기용제의 수는 수백 가지이며 이는 흡착관과 펌프를 이용하여 포집하는 능동시료채취에서 측정가능한 대부분의 유기용제를 측정할 수 있을 것이라고 판단된다.

(2) 수동식시료채취기를 이용한 측정 방법

3M사 모델의 경우 플라스틱 캔에 동봉되어있는 매체를 꺼내어 개인 및 지역 시료 채취를 실시할 수 있다. 이 때 매체에 조립되어 있는 하얀색 필름은 매체 내부로의 공기 확산이 용이하도록 도와주고 플라스틱링은 그 필름이 본체에 붙어있도록 해주기 때문에 필름과 플라스틱링을 제거하면 안 된다(그림 III-1). 시료 포집이 모두 끝난 후에 필름과 플라스틱링을 제거한 후 뚜껑을 닫아 준다. 매체 내부에 들어있는 활성탄 흡착패드는 하나이며 8시간 시간가중평균 농도(Threshold Limit Values-Time Weighted Average, TLV-TWA)를 측정하는데 사용 가능하다. 이 연구에 사용되는 3M과 SKC의 모델 모두 단시간 노출 기준(Short Term Exposure Limit, STEL)과 최고노출기준(Ceiling)도 평가할 수 있으나 충분한 양이 포집되는 조건이어야 하며 15분 이내의 측정이나 $10 \mu\text{g}$ 미만의 물질이 흡착하는 경우, 공기의 흐름이 원활하지 않은 벽이나 테이블 상판에서의 사용은 권고하지 않는다.



[그림 III-1] (왼쪽부터) 3M 모델 착용, 포집 후 링 제거, 뚜껑 닫음

SKC사 모델은 측정 직전 앞면의 커버를 열어야 하며 뒷면의 작은 캡은 흡착제의 손실이 일어나지 않도록 막아주는 역할을 하므로 분석하기 전까지 열리지 않게 주의 한다(그림 III-2). 시료 포집이 끝나면 앞면의 커버를 닫는다.



[그림 III -2]
(왼쪽부터)SKC 모델 앞면,
뒷면

(3) 수동식시료채취기를 이용한 분석 방법

3M사 모델의 탈착효율 실험은 지름 2.5 cm의 원형 종이 필터를 매체 안에 넣고 마이크로시린지로 종이 필터에 기지의 분석물질을 주입하여 16~24시간 이후 시료와 같은 방식으로 전처리한다. 탈착효율실험 매체와 시료의 탈착 시에는 매체 중앙의 작은 캡을 열고 이황화탄소를 1~2 mL 정도 주입하고 때때로 매체를 흔들어주어 분석물질의 탈착이 용이하도록 해준다. 탈착용매 주입 30분 후 매체 용기에 동봉되어있는 빨대를 이용하여 매체에 있는 탈착용매를 2 mL 바이알(vial)에 옮기고 가스크로마토그래프/불꽃이온화검출기로 분석한다.

SKC사 모델은 탈착효율 실험을 위한 모델을 구매할 수 있으나 사용 방법에 대해 명확히 제시하고 있지 않다. 활성탄관 매체의 탈착효율 시험과 마찬가지로

지로 마이크로시린지로 매체 내부에 있는 흡착제에 기지의 용액을 주입하여 가
능할 것으로 추측된다. 전처리는 매체 뒤편의 마개를 열어 흡착제를 막고 있는
스펀지를 제거한 후 흡착제를 바이알(4 mL 이상)에 옮겨 담고 탈착용매 2 mL
를 주입하여 이루어진다. 30분 이상의 시간이 흐른 후 2 mL 바이알에 용매를
 옮겨 가스크로마토그래프/불꽃이온화검출기로 분석한다.

각 모델의 제조업체에서는 직접 실험하여 도출한 유기용제별 포집속도를
제시하고 있다. 포집 속도가 불충분한 물질은 유효 포집속도(Sampling Rate
Validation)를 통하여 포집속도가 결정되어진다. 따라서 분석 시 그 데이터를
확인하여 계산 시 적용하면 된다.

2) 국외 정도관리 사례 검토

미국산업위생협회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)에서
실시하고 있는 국제정도관리프로그램인 산업위생분석능력평가(Industrial
Hygiene Proficiency Analytical Testing, IHPAT)의 분석 평가항목은 금속, 실
리카, 공기 중 석면, 유기용제, 수동식시료채취기(Diffusive Sampler)로 구분되
어 있다. 그 중 수동식시료채취기를 이용한 유기용제 분석 항목은 매 짝수 라
운드마다 참여 가능하며 연 2~3회 정도 실시된다. 시료는 총 2개이며 1번 시료
는 180분 포집, 2번 시료는 200분 포집을 기준으로 한다.

수동식시료채취기 정도관리 참여 시 3M, SKC, Assay Technology의 매체
중 원하는 매체를 선택하면 해당 시료를 받을 수 있다. 2017년도에 실시된 208
라운드부터 2019년도의 218 라운드까지 참가자들의 분석 결과 통계자료를 확인
하였다. 208, 210 라운드는 연구원에서 선택하여 분석한 3M 매체 분석의 참가
자 결과를 통계 처리하여 제공하였으며 그 이후부터는 수동식시료채취기 매체
를 선택하여 분석한 모든 참가자들의 결과를 통계 처리하여 제공하였다. 분석
물질은 벤젠, 톨루엔, O-크실렌으로 변동이 없으며 분석자들의 결과 및 시료

안정성 등을 바탕으로 하여 해당 물질의 농도 범위는 변경되고 있다. 참가기관 수는 208 라운드에 70개 기관에서 218 라운드에 54개 기관으로 감소하는 경향을 보이고 있으며 세 가지 물질 모두 약 90%의 참여 기관이 합격하고 있다(표 III-1~3).

208~212 라운드에 시료의 농도 범위는 벤젠 10~40 mg, 톨루엔 9~45 mg, O-크실렌은 10~35 mg 수준이었다. 실제 사업장에서의 노출 수준과 작업환경측정 물질 노출 기준, 분석의 편의성 등을 고려하여 214 라운드에서는 세 가지 물질의 농도를 0.5~3.0 mg으로 낮춘 것으로 추정된다. 그 후 농도를 공통적으로 0.5~10 ppm 으로 통일시키는 것에 대한 찬반 설문조사를 실시하였으며 216 라운드에서는 이전까지의 정도관리 참여 결과 및 찬반 조사결과를 바탕으로 농도 범위를 재조정하여 벤젠 5~25 mg, 톨루엔 15~30 mg, O-크실렌은 5~20 mg 수준으로 시료가 조제되고 있다.

[표 III-1] 수동식시료채취기 IHPAT 참가자 벤젠 분석결과

라운드	샘플 번호	Ref. Value (mg)	Ref.std. dev.(mg)	RSD (%)	참가 기관수 (N)	합격 기관수 (N)	Low (N)	High (N)
208	1	35.01	2.10	6.0	69	63	4	2
	2	15.17	0.91	6.0	69	62	3	4
210	1	12.71	0.76	6.0	70	64	2	4
	2	27.13	1.63	6.0	70	65	2	3
212	1	37.98	2.28	6.0	62	60	2	0
	2	14.43	0.87	6.0	62	60	2	0
214	1	2.61	0.16	6.0	59	55	2	2
	2	0.97	0.06	6.0	59	53	3	3
216	1	9.86	0.59	6.0	55	53	1	1
	2	21.52	1.29	6.0	55	52	3	0
218	1	23.63	1.42	6.0	54	52	1	1
	2	10.76	0.65	6.0	54	52	1	1

<출처 : AIHA PAT Programs, <http://www.aihapat.org>>

[표 III-2] 수동식시료채취기 IHPAT 참가자 톨루엔 분석결과

라운드	샘플 번호	Ref. Value (mg)	Ref.std. dev.(mg)	RSD (%)	참가 기관수 (N)	합격 기관수 (N)	Low (N)	High (N)
208	1	42.79	2.57	6.0	70	65	4	1
	2	9.51	0.57	6.0	70	64	3	3
210	1	39.98	2.40	6.0	70	64	3	3
	2	17.51	1.05	6.0	70	64	3	3
212	1	31.44	1.89	6.0	62	60	2	0
	2	15.09	0.91	6.0	62	59	3	0
214	1	2.13	0.13	6.0	59	52	3	4
	2	1.00	0.06	6.0	59	53	3	3
216	1	15.00	0.90	6.0	55	51	3	1
	2	28.07	1.68	6.0	55	50	5	0
218	1	33.55	2.01	6.0	54	50	2	2
	2	15.85	0.95	6.0	54	51	1	2

<출처 : AIHA PAT Programs, <http://www.aihapat.org>>

[표 III-3] 수동식시료채취기 IHPAT 참가자 O-크실렌 분석결과

라운드	샘플 번호	Ref. Value (mg)	Ref.std. dev.(mg)	RSD (%)	참가 기관수 (N)	합격 기관수 (N)	Low (N)	High (N)
208	1	30.52	1.83	6.0	70	62	5	3
	2	17.47	1.05	6.0	70	64	2	4
210	1	17.54	1.05	6.0	70	65	2	3
	2	33.18	1.99	6.0	70	65	3	2
212	1	13.59	0.82	6.0	62	59	2	1
	2	20.37	1.22	6.0	62	59	3	0
214	1	0.92	0.06	6.0	59	53	2	4
	2	1.39	0.08	6.0	59	54	3	2
216	1	8.89	0.53	6.0	55	50	2	3
	2	15.31	0.92	6.0	55	50	3	2
218	1	21.58	1.29	6.0	54	52	2	0
	2	12.71	0.76	6.0	54	52	2	0

<출처 : AIHA PAT Programs, <http://www.aihapat.org>>

3) 2016~2018년 국내 작업환경측정 자료 분석

최근 3년간 수동식시료채취기를 사용하여 측정·분석한 작업환경측정대상 중 유기화합물(혼합 유기화합물 포함)은 총 19,941건이었다. 연도별로는 2016년도 6,144건, 2017년도 6,862건, 2018년도 6,935건이며 측정한 사업장 개소는 각각 939, 1,079, 1,086로 수동식 시료채취기를 사용한 측정·분석 건수는 매년 증가하는 추세를 보이고 있다(표 III-4).

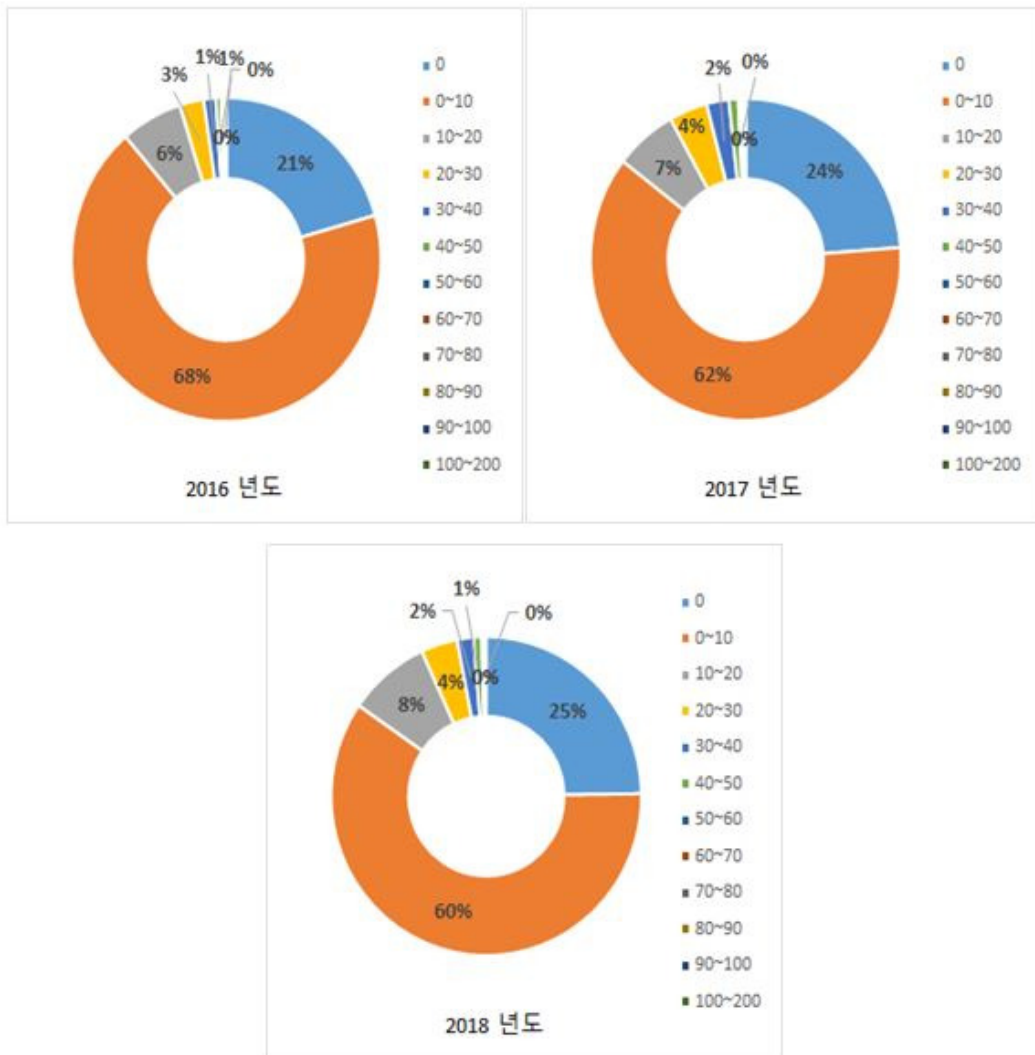
노출기준 대비 측정 결과값의 수준을 보면 2016년부터 2018년도까지 비검출은 전체의 21~25%이며 비검출을 포함하여 노출기준 10% 미만의 값은 85~90%로 전체 결과의 대부분에 해당한다. 노출기준의 10~20%는 전체의 6~8% 수준이며 농도가 높아질수록 전체에서 차지하는 비율은 낮아진다(그림 III-3).

수동식 시료채취기는 일반적으로 펌프를 사용하여 공기를 채취하는 능동시료 채취 방식에 비해 채취량이 적어 분석 결과 농도 수준도 낮을 거라 예상이 된다. 그러나 2017, 2018년도에는 노출기준을 초과한 값이 있었으며 2018년도에는 노출기준의 2배 이상 초과한 경우가 2건 있었다(표 III-5).

측정한 결과값 중 노출기준의 90%이상의 값은 2016년도 포름알데히드 1건, 2017년도 혼합유기화합물 1건, 디클로로메탄 3건, 트리크로로에틸렌 2건, 포름알데히드 2건, 2018년도 트리클로로에틸렌 2건, 트리클로로메탄 1건, 디클로로메탄 2건이었다.

[표 III-4] 최근 3년간(2016~2018) 수동식시료채취기 사용 현황

구 분	2016년	2017년	2018년
측정·분석건수(건)	6,144	6,862	6,935
사업장 수(개소)	939	1,079	1,086



[그림 III -3] 연도별 유기화합물 노출기준 대비 농도수준

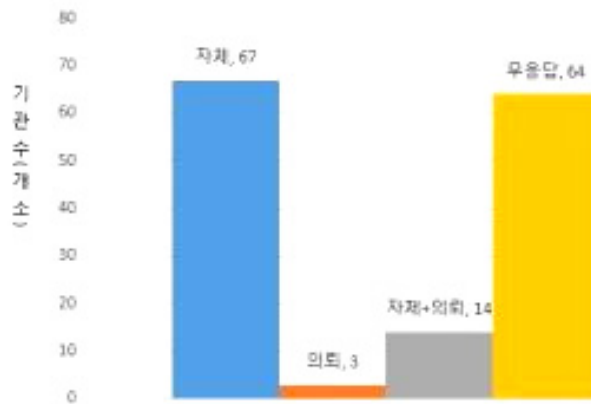
**[표 III - 5] 최근 3년간(2016~2018) 수동식시료채취기 노출기준 대비
분석결과(%) 건 수**

노출기준 대비 분석결과(%)	2016년	2017년	2018
합 계	6,144	6,862	6,935
0 (비검출)	1,266(20.61%)	1,634(23.82%)	1,717(24.76%)
0 초과~10 미만	4,186(68.13%)	4,230(68.85%)	4153(67.59%)
10 이상~20 미만	394(6.41%)	445(7.24%)	592(9.64%)
20 이상~30 미만	155(2.52%)	274(4.46%)	264(4.30%)
30 이상~40 미만	77(1.25%)	159(2.59%)	119(1.94%)
40 이상~50 미만	34(0.55%)	66(1.07%)	57(0.93%)
50 이상~60 미만	7(0.11%)	15(0.24%)	13(0.21%)
60 이상~70 미만	11(0.18%)	11(0.18%)	5(0.08%)
70 이상~80 미만	8(0.13%)	13(0.21%)	8(0.13%)
80 이상~90 미만	5(0.08%)	6(0.10%)	2(0.03%)
90 이상~100 미만	1(0.02%)	3(0.05%)	2(0.03%)
100 이상~200 미만	0(0%)	5(0.08%)	1(0.02%)
200 이상~300 미만	0(0%)	0(0%)	2(0.03%)

4) 2018년도 수동식시료채취기 사용 현황 및 정도관리 참여 설문조사

국내 178개 지정측정기관(2019.04.01.일자 지정측정기관 기준)을 대상으로 2018년도 수동식시료채취기 사용 현황, 2019년도 실험실 숙련도 평가 및 2020년도 정도관리 자율항목 참여 의사에 대한 설문조사를 실시하였다. 설문에 응답한 기관은 148개소였으며 이 중 78개(52.7%) 기관이 2018년도 작업환경측정 시 수동식시료채취기를 사용하지 않았다고 답하였으며 70개(47.3%) 기관이 사용하였다고 답하였다.

수동식시료채취기의 분석 형태는 자체 분석 67개소(45.3%), 무응답 64개소(43.2%), 자체와 의뢰 동시분석 14개소(9.5%), 의뢰 3개소(2.0%) 순으로 높게 답하였다. 무응답의 경우 수동식시료채취기를 사용한 적이 없기 때문인 기관이 63개소, 다른 해에는 사용했으나 2018년도에 수동식시료채취기를 사용하지 않았기 때문에 무응답한 기관이 1개소였다(그림 Ⅲ-4).



[그림 Ⅲ-4] 수동식시료채취기 분석방법에 따른 현황

2018년도에 수동식시료채취기를 사용한 기관 중 69개 기관에서 3M사 제품을 사용하였고 8개 기관에서 SKC사 제품을 사용하였다. 두 회사의 제품을 모두 사용한 기관은 7개소였다. 측정 대상 물질은 3M사 제품은 혼합 유기화합물, 산화에틸렌, 포름알데히드였고 SKC사 제품은 포름알데히드, 이산화황, 이산화질소였다.

SKC사 모델만 사용하고 있는 기관은 모두 정도관리 자율항목 도입 시 불참 의사를 밝혔다. 실험실간 숙련도 평가를 위해 2019년도에 수동식시료채취기 분석에 참여를 희망한 기관은 32개소였으며 그 중 1개 기관은 참여를 원했으나 결과를 제출하지 않았다. 2020년도부터 정도관리 자율항목에 참가하겠다는 기관은 총 36개소였다.

2. 시료 저장 안정성 시험

연구원에서는 4가지 농도수준에서 제조된 시료의 보관온도 및 기간에 따른 농도변화를 알아보고자 하였으며, 정도관리에서 시료조제 및 시료 검증 후 배송 등의 시간을 고려하여 16주간 보관하며 실험하였다.

1) 상온 보관 시 물질별 탈착효율 변화

(1) 벤젠의 농도별 보관기간에 따른 탈착효율 변화

3M 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 91.1~113.4%이고 평균은 101.6%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 100% 이상을 유지하다가 16주차에서 99.2%의 값을 보였다. 노출기준의 0.5, 1배 수준에서의 탈착효율은 1, 12, 16주차 실험에서 90%대였고 2~8주차 실험에서 100% 이상이었다. 노출기준의 1.5배 수준에서 탈착효율은 4, 8주의 실험에서 100% 이상이었으며 다른 주의 실험에서는 90~100% 이내의 탈착효율을 보였다. 모든 농도에서 2~8주차 실험 시 높은 탈착효율을 보이고 있으며 1, 12, 16주차 실험에서 낮은 경향을 보였다. 또한 모든 실험에서 농도가 높아질수록 탈착효율은 낮은 경향을 보였다(표 III-6).

SKC 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 86.8~108.4%이고 평균은 96.0%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 8주차에서 86.8%였고 다른 회차 실험에서는 90%대를 보였다. 노출기준의 0.5, 1, 1.5배 수준에서의 탈착효율은 4주차에서 100% 이상을 보였으며 다른 회차 실험에서는 모두 90%이상의 탈착효율을 보였다. 모든 농도에서 2, 4주차 실험 시 높은 탈착효율을 보이고 있으며 1, 16주차 실험에서 가장 낮은 탈착효율을 보였다. 3M 매체와는 반대로 농도가 높아질수록 탈착효율은 높은 경향을 보였다(표 III-6).

(2) 톨루엔의 농도별 보관기간에 따른 탈착효율 변화

3M 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 92.3~104.5%이고 평균은 99.7%였다. 농도별로 다소 차이는 있으나 2~8주의 탈착효율이 높고 1, 12, 16주의 탈착효율이 낮은 경향을 보였다. 농도 수준별 탈착효율은 특별한 경향성을 띠지 않았다(표 III-7).

SKC 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 88.9~105.8%이고 평균은 94.9%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 12주차에서 88.9%였고 다른 회차 실험에서는 90%대를 보였다. 노출기준의 0.5, 1, 1.5배 수준에서의 탈착효율은 모두 90% 이상이었으며 노출기준의 1.5배 수준의 4주차 실험에서만 100% 이상의 값을 보였다. 모든 농도에서 2~8주차 실험 시 높은 탈착효율을 보이고 있으며 1, 12, 16주차 실험에서 낮은 탈착효율을 보였다. 주입된 톨루엔의 농도가 높아질수록 탈착효율은 높은 경향을 보였다(표 III-7).

(3) O-크실렌의 농도별 보관기간에 따른 탈착효율 변화

3M 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 90.7~105.7%이고 평균은 98.8%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 2주차까지 증가하다가 4주차에 94.9%로 낮아졌으며 다시 8주차에서 102.9%로 높아지고 16주차까지는 98.5%로 떨어진 경향을 보였다. 노출기준의 0.5, 1, 1.5배 수준에서의 탈착효율은 2~8주차 실험 시 높은 경향을 보이고 있으며 1, 12주차 실험에서 낮은 경향을 보였다. 저농도 시료는 실험 초기에 탈착효율이 높았으나 실험 후반기로 갈수록 고농도에서의 탈착효율이 높게 나오는 경향을 보였다(표 III-8).

SKC 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 84.1~101.1%이고 평균은 90.2%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 12주차에서 84.1%로 낮은 수준이었으며 노출기준의 1.5배 수준의 4회차 실험에서 101.1%로 높았다. 모든 농도에서 2~8주차 실험 시 높은 탈착효율을 보이고 있으며 1, 12주차 실험

험에서 가장 낮은 탈착효율을 보였다. 또한 농도가 높아질수록 탈착효율이 높은 경향을 보였다(표 Ⅲ-8).

2) 냉장 보관 시 물질별 탈착효율 변화

(1) 벤젠의 농도별 보관기간에 따른 탈착효율 변화

3M 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 92.4~105.3%이고 평균은 100.4%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 100% 이상을 유지하다가 8주차에서 95.1%이었으며 다시 상승하여 16주차에는 104.2%였다. 노출기준의 0.5, 1, 1.5배 수준에서의 탈착효율은 1~8주차 사이에 증가하다가 12주차부터 다소 감소하는 경향을 보였다. 노출기준의 1.5배 수준에서 탈착효율은 4, 8주의 실험에서 100% 이상이었으며 다른 주의 실험에서는 90%대를 보였다. 모든 농도에서 2~8주차 실험 시 높은 탈착효율을 보이고 있으며 1, 12, 16주차 실험에서 낮은 경향을 보였다. 또한 농도가 높아질수록 탈착효율은 낮은 경향을 보였다(표 Ⅲ-9).

SKC 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 90.7~103.3%이며 평균은 98.5%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 8주차까지 90%대를 유지하였으며 12, 16주 실험에서 100% 이상이였다. 노출기준의 0.5, 1, 1.5배 수준에서의 탈착효율은 8주차까지 탈착효율이 점차 상승하다가 12, 16주차 실험에서 낮아지는 경향을 보였다(표 Ⅲ-9).

(2) 톨루엔의 농도별 보관기간에 따른 탈착효율 변화

3M 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 81.4~103.6%이고 평균은 96.4%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 90%대를 유지하다가 8주차부터 80%대였다. 노출기준의 0.5, 1, 1.5배 수준에서의 탈착효율은 1~8주차 실험까지 탈착효율이 증가하다가 12주차에 감소하였다가 다시 상승하는 경향을 보였다. 모든 농도에서 2~8주차 실험 시 높은 탈착효율을 보이고 있으며 1, 12, 16주차 실험에서 낮은 경향을 보였다(표 III-10).

SKC 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 91.5~100.5%이며 평균은 95.8%였다. 탈착효율은 모두 90%이상이었으며 유일하게 노출기준의 0.5배 수준에서 8주차 실험 시 100%이상을 보였다. 탈착효율은 4~8주까지 상승하다가 8~12주차에 감소하고 16주차에 증가하는 경향을 보였다(표 III-10).

(3) O-크실렌의 농도별 보관기간에 따른 탈착효율 변화

3M 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 80.1~103.3%이고 평균은 95.3%였다. 노출기준의 0.1배 수준에서 탈착효율은 2주차 실험까지 90%대를 유지하다가 4주차부터 80%대였다. 노출기준의 0.5, 1, 1.5배 수준에서의 탈착효율은 4~8주차 실험까지 탈착효율이 증가하다가 12주차에 감소하고 16주차에 다시 상승하는 경향을 보였다(표 III-11).

SKC 매체를 이용한 16주의 실험에서 탈착효율의 범위는 86.9~103.3%이며 평균은 91.1%였다. 1주와 12주에 탈착효율은 모두 80%대였으며 그 외에는 90%대였다. 농도 수준별 경향성은 보이지 않았다(표 III-11).

[표 III -6] 상온에서 벤젠의 보관기간에 따른 탈착효율 변화 (단위:%)

시료 매체	시료 개수 (N)	농도	평균	1주 AM±SD	2주 AM±SD	4주 AM±SD	8주 AM±SD	12주 AM±SD	16주 AM±SD
3M	3	0.1 TLV	106.7	109.0±0.029	113.4±0.177	105.0±0.038	106.1±0.111	107.8±0.024	99.2±0.106
	3	0.5 TLV	101.4	94.7±0.022	105.7±0.026	104.5±0.010	106.5±0.020	97.4±0.036	99.6±0.016
	3	1 TLV	100.2	96.9±0.011	102.0±0.006	104.8±0.107	104.3±0.027	96.9±0.037	96.4±0.042
	3	2 TLV	98.1	91.1±0.023	99.1±0.018	101.5±0.016	100.5±0.008	97.2±0.025	99.3±0.038
SKC	3	0.1 TLV	92.7	93.8±0.016	93.8±0.030	97.8±0.004	86.8±0.008	91.1±0.018	93.0±0.025
	3	0.5 TLV	96.9	92.8±0.012	98.2±0.008	101.7±0.008	96.5±0.006	97.0±0.018	95.4±0.004
	3	1 TLV	96.1	92.0±0.008	98.1±0.014	100.1±0.006	96.9±0.004	95.9±0.006	93.8±0.004
	3	2 TLV	98.1	92.4±0.003	98.7±0.013	108.4±0.153	97.4±0.005	96.7±0.008	94.9±0.006

[표 III-7] 상온에서 툴루엔의 보관기간에 따른 탈착효율 변화 (단위:%)

시료 매체	시료 개수 (N)	농도	평균	1주 AM±SD	2주 AM±SD	4주 AM±SD	8주 AM±SD	12주 AM±SD	16주 AM±SD
3M	3	0.1 TLV	99.2	97.0±0.027	101.6±0.133	96.6±0.032	101.6±0.107	100.7±0.036	97.9±0.093
	3	0.5 TLV	99.4	92.3±0.032	101.7±0.025	102.1±0.013	104.2±0.017	95.4±0.034	100.4±0.014
	3	1 TLV	100.2	97.4±0.011	101.5±0.004	103.6±0.108	103.7±0.021	96.4±0.036	98.8±0.047
	3	2 TLV	100.0	94.1±0.027	99.5±0.008	102.3±0.009	101.6±0.005	98.0±0.008	104.5±0.051
SKC	3	0.1 TLV	93.1	92.4±0.025	94.9±0.021	97.2±0.010	92.9±0.012	88.9±0.014	92.5±0.011
	3	0.5 TLV	95.3	92.0±0.012	95.8±0.006	98.5±0.009	95.7±0.008	94.6±0.016	95.4±0.003
	3	1 TLV	94.6	91.2±0.003	95.7±0.012	97.0±0.005	95.7±0.005	93.4±0.005	94.6±0.003
	3	2 TLV	96.6	91.4±0.002	96.2±0.011	105.8±0.143	96.0±0.003	94.4±0.007	95.6±0.006

[표 III-8] 상온에서 O-크실렌의 보관기간에 따른 탈착효율 변화 (단위:%)

시료 매체	시료 개수 (N)	농도	평균	1주 AM±SD	2주 AM±SD	4주 AM±SD	8주 AM±SD	12주 AM±SD	16주 AM±SD
3M	3	0.1 TLV	98.6	95.8±0.027	99.8±0.130	94.9±0.024	102.9±0.100	99.4±0.036	98.5±0.087
	3	0.5 TLV	98.2	90.7±0.032	100.3±0.028	100.6±0.017	102.9±0.021	94.1±0.033	100.4±0.015
	3	1 TLV	99.1	95.8±0.012	100.0±0.001	102.2±0.107	102.3±0.021	95.3±0.032	99.0±0.051
	3	2 TLV	99.3	93.0±0.031	98.4±0.007	101.4±0.011	100.6±0.001	96.6±0.001	105.7±0.055
SKC	3	0.1 TLV	88.7	88.3±0.022	89.6±0.027	91.2±0.011	90.7±0.005	84.1±0.002	88.2±0.013
	3	0.5 TLV	90.1	86.6±0.010	90.2±0.004	92.7±0.009	90.8±0.009	89.0±0.014	91.4±0.003
	3	1 TLV	90.0	86.3±0.003	90.7±0.010	91.9±0.005	91.1±0.005	88.7±0.001	91.3±0.001
	3	2 TLV	92.1	86.7±0.002	91.6±0.009	101.1±0.130	91.6±0.002	89.6±0.005	92.3±0.003

[표 III -9] 병장에서 벤젠의 보관기간에 따른 탈착효율 변화 (단위:%)

시료 매체	개수 (N)	농도	평균	1주 AM±SD	2주 AM±SD	4주 AM±SD	8주 AM±SD	12주 AM±SD	16주 AM±SD
3M	3	0.1 TLV	102.8	108.8±0.077	105.3±0.167	102.0±0.041	95.1±0.133	101.6±0.100	104.2±0.225
	3	0.5 TLV	101.3	94.6±0.050	101.2±0.010	102.0±0.028	105.3±0.019	99.4±0.053	105.3±0.024
	3	1 TLV	100.0	94.4±0.024	102.1±0.029	105.0±0.018	104.2±0.017	97.6±0.075	96.8±0.062
	3	2 TLV	97.5	92.4±0.002	97.9±0.013	100.2±0.004	100.6±0.008	97.3±0.018	96.7±0.003
SKC	3	0.1 TLV	98.2	94.0±0.038	97.3±0.015	95.6±0.015	90.7±0.009	104.8±0.010	106.6±0.035
	3	0.5 TLV	99.8	94.2±0.011	100.7±0.006	101.3±0.006	103.3±0.031	99.8±0.022	99.5±0.015
	3	1 TLV	97.8	92.8±0.004	98.6±0.013	100.9±0.005	101.1±0.012	97.3±0.014	96.1±0.009
	3	2 TLV	98.2	93.1±0.006	99.5±0.007	102.3±0.005	100.5±0.018	97.6±0.007	96.4±0.002

[표 III-10] 병장에서 툴루엔의 보관기간에 따른 탈착효율 변화 (단위:%)

시료 매체	시료 개수 (N)	농도	평균	1주 AM±SD	2주 AM±SD	4주 AM±SD	8주 AM±SD	12주 AM±SD	16주 AM±SD
3M	3	0.1 TLV	89.3	95.9±0.047	97.8±0.142	91.2±0.013	81.4±0.105	86.0±0.083	83.4±0.244
	3	0.5 TLV	98.1	92.6±0.058	97.6±0.009	98.9±0.026	102.1±0.018	95.4±0.061	101.8±0.029
	3	1 TLV	99.5	95.5±0.022	101.1±0.027	103.6±0.016	103.2±0.011	96.0±0.074	97.5±0.063
	3	2 TLV	98.8	95.8±0.004	99.0±0.012	100.9±0.006	100.9±0.002	97.2±0.012	99.2±0.005
	3	0.1 TLV	95.0	91.5±0.027	99.2±0.008	96.6±0.007	93.0±0.004	95.2±0.007	94.2±0.004
	3	0.5 TLV	96.7	92.7±0.006	98.0±0.003	98.1±0.006	100.5±0.018	94.9±0.014	96.0±0.014
SKC	3	1 TLV	95.6	91.9±0.005	95.8±0.012	97.9±0.006	98.7±0.010	93.7±0.014	95.3±0.005
	3	2 TLV	96.1	92.3±0.009	96.8±0.009	99.0±0.006	98.4±0.020	94.2±0.006	95.7±0.002

[표 III-11] 병장에서 O-크실렌의 보관기간에 따른 탈착효율 변화 (단위:%)

시료 매체	시료 개수 (N)	농도	평균	1주 AM±SD	2주 AM±SD	4주 AM±SD	8주 AM±SD	12주 AM±SD	16주 AM±SD
3M	3	0.1 TLV	88.0	94.9±0.044	96.4±0.142	89.2±0.023	80.1±0.103	84.2±0.083	83.2±0.245
	3	0.5 TLV	96.9	90.5±0.061	95.7±0.009	97.5±0.028	100.5±0.020	93.9±0.062	103.3±0.045
	3	1 TLV	98.3	93.7±0.020	99.5±0.025	102.1±0.018	101.9±0.008	94.7±0.073	97.8±0.064
	3	2 TLV	98.0	94.7±0.003	98.0±0.010	100.1±0.008	99.8±0.006	96.2±0.009	99.2±0.016
SKC	3	0.1 TLV	90.5	87.0±0.027	94.2±0.007	90.2±0.008	91.5±0.004	89.9±0.004	90.2±0.002
	3	0.5 TLV	91.5	87.0±0.006	92.5±0.003	92.4±0.005	94.9±0.014	89.5±0.015	92.4±0.016
	3	1 TLV	90.8	86.9±0.006	90.9±0.010	92.6±0.004	93.6±0.009	88.7±0.012	92.3±0.005
	3	2 TLV	91.5	87.5±0.010	92.0±0.008	93.8±0.004	93.6±0.018	89.5±0.006	92.8±0.004

3. 실험실간 숙련도 평가

1) 1차 평가

분석 숙련자를 대상으로 한 3M 모델의 벤젠, 톨루엔, O-크실렌 4개의 농도 레벨 시료 3개에 대한 결과는 아래와 같았다. 시료는 벤젠, 톨루엔, O-크실렌의 노출기준 농도를 고려하여 제조하였다.

[표 III-12] 1차 분석숙련도평가 벤젠 분석결과

샘플	N	Reference (ug)	AM±SD(ug)	CV (%)	Range(ug)
A	4	5.46	5.79±0.25	4.37	5.47~6.09
B	4	10.92	10.96±0.25	2.25	10.59~11.10
C	4	21.84	21.54±0.87	4.05	20.36~22.42
D	4	43.67	43.22±2.50	5.79	40.50~46.00

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

[표 III-13] 1차 분석숙련도평가 톨루엔 분석결과

샘플	N	Reference (mg)	AM±SD(mg)	CV (%)	Range(mg)
A	4	0.65	0.64±0.03	4.63	0.62~0.69
B	4	1.30	1.27±0.04	3.10	1.24~1.32
C	4	2.60	2.56±0.10	4.04	2.45~2.65
D	4	5.20	5.22±0.30	5.80	4.89~5.56

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

[표 III - 14] 1차 분석속련도평가 O-크실렌 분석결과

샘플	N	Reference (mg)	AM±SD(mg)	CV (%)	Range(mg)
A	4	1.51	1.45±0.06	4.13	1.38~1.52
B	4	3.01	2.91±0.16	5.50	2.71~3.10
C	4	6.02	5.93±0.39	6.59	5.38~6.24
D	4	12.04	12.16±0.89	7.29	10.97~13.03

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

벤젠의 경우 4개 농도수준에서 제조농도 대비 산술평균값은 각각 1.06, 1.00, 0.99, 0.99의 비율로 낮은 농도에서는 1보다 크고 높은 농도에서는 1보다 작은 값을 보였다.

톨루엔의 경우 4개 농도수준에서 제조농도 대비 산술평균값은 각각 0.99, 0.98, 0.98, 1.00의 비율로 낮은 농도에서는 1보다 작고 가장 높은 농도에서는 1이었다.

O-크실렌의 경우 4개 농도수준에서 제조농도 대비 산술평균값은 각각 0.97, 0.97, 0.98, 1.01의 비율로 낮은 농도에서는 1보다 작고 가장 높은 농도에서는 1보다 높게 나왔다.

3가지 물질 모두 낮은 농도에서는 변이계수가 5% 미만이었으나 높은 농도에서는 O-크실렌이 7.29%로 높은 편이었다. 시료에 오염물질이 주입되었을 가능성, 3가지 물질의 농도가 높은 점, 샘플 수가 적은 것이 그 사유로 추정되었다.

2) 2차 평가

(1) 정도관리 시료의 균질성

연구원에서는 벤젠, 톨루엔, O-크실렌의 분석검출기 반응값 및 국외 정도관리 시료 농도를 고려한 4개 농도의 시료를 제조하고, 농도별 10개의 샘플을 무작위 추출하여 시료의 균질성과 제조농도를 확인하여 적합성을 검증하였다. 이론 주입량에 대해 92.02 ~ 98.81%의 농도 수준을 보였으며 변이계수는 2% 미만으로 평가되어 시료가 균질하게 제조된 것으로 평가하였다.

[표 III-15] 시료의 균질성 벤젠 실험결과

샘플	N	Reference (ug)	AM(ug)	SD(ug)	CV(%)	Recovery (%)
S1	10	34.34	31.60	0.26	0.83	92.02
S2	10	51.51	48.35	0.90	1.86	93.87
S3	10	103.01	99.42	0.67	0.67	95.99
S4	10	154.52	150.69	1.77	1.18	97.52

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

[표 III-16] 시료의 균질성 톨루엔 실험결과

샘플	N	Reference (ug)	AM(ug)	SD(ug)	CV(%)	Recovery (%)
S1	10	852.09	838.49	6.11	0.73	98.40
S2	10	306.75	291.46	5.02	1.91	95.02
S3	10	613.50	600.47	4.26	0.78	97.86
S4	10	920.26	909.32	9.93	1.11	98.81

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

[표 III-17] 시료의 균질성 O-크실렌 실험결과

샘플	N	Reference (ug)	AM(ug)	SD(ug)	CV(%)	Recovery (%)
S1	10	845.49	810.77	5.95	0.73	95.89
S2	10	507.29	474.76	9.08	1.91	93.59
S3	10	1014.59	978.66	7.65	0.78	96.32
S4	10	1521.88	1484.17	16.44	1.11	97.52

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

(2) 기준값 및 적합범위 산정방식 적용

자율 참여를 희망한 지정측정기관 31개소의 결과값을 정리하여 통계처리 (Grubb's Test)로 95% 신뢰수준에서 아래 표와 같이 이상값(outlier)을 제거하였다. 농도별로 낮은 이상값이 1~4개씩 있었으며 높은 이상값은 0~2개 있었다. 시료는 3M 모델을 대상으로 하였다.

[표 III-18] 분석물질별 시료의 이상값 개수

분석 물질	시료 번호	Reference (ug)	N	Lower Outlier	Upper Outlier
벤젠	S1	34.34	31	3	1
	S2	51.51	31	3	1
	S3	103.01	31	4	0
	S4	154.52	31	3	0
톨루엔	S1	852.09	31	3	1
	S2	306.75	31	3	2
	S3	613.50	31	3	2
	S4	920.26	31	3	1
O-크실렌	S1	845.49	31	2	1
	S2	507.29	31	2	1
	S3	1014.59	31	1	0
	S4	1521.88	31	3	0

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량

연구원에서 작업환경측정 정도관리 적합범위를 산정할 때와 같은 방식으로 이상값을 제거하고 산술평균값을 기준으로 적합범위를 산정하였을 때 아래의 표와 같았다. 정도관리에서는 측정기관에서 제출한 결과값의 변이계수가 3%보다 작을 경우 3%로 조정한 표준편차를 적용한다.

[표 III-19] 2차 분석속련도평가 벤젠 분석결과

샘플	N	Reference (ug)	AM (ug)	SD (ug)	CV (%)	적합범위(ug)
S1	31	34.34	37.94	3.64	6.58	44.49~66.35
S2	31	51.51	55.42	8.88	8.17	82.09~135.36
S3	31	103.01	108.72	3.34	8.80	27.92~47.96
S4	31	154.52	159.85	16.26	10.17	111.09~208.62

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

[표 III-20] 2차 분석속련도평가 톨루엔 분석결과

샘플	N	Reference (ug)	AM (ug)	SD (ug)	CV (%)	적합범위(ug)
S1	31	852.09	862.41	15.54	4.95	267.01~360.22
S2	31	306.75	313.62	29.51	4.75	533.38~710.42
S3	31	613.50	621.90	39.64	4.60	743.50~981.32
S4	31	920.26	918.06	57.41	6.25	745.83~1090.29

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

[표 III-21] 2차 분석속련도평가 O-크실렌 분석결과

샘플	N	Reference (ug)	AM (ug)	SD (ug)	CV (%)	적합범위(ug)
S1	31	845.49	844.69	27.07	5.28	431.38~593.80
S2	31	507.29	512.59	70.50	7.01	793.69~1216.68
S3	31	1014.59	1005.18	40.05	4.74	724.55~964.82
S4	31	1521.88	1519.63	93.65	6.16	1238.68~1800.58

N : 시료 수, Reference : 이론 주입량, AM : 산술평균, SD : 표준편차, CV : 변이계수

세 물질은 대부분 주입한 양에 대비하여 100% 이상의 탈착효율로 나타났고 O-크실렌의 가장 높은 농도인 S4 시료에서 99%의 탈착효율을 보였다. 변이계수는 벤젠의 경우 6.58~10.17%, 톨루엔 4.60~6.25% O-크실렌 4.74~7.01% 범위였다.

(3) 기존 유기용제 정도관리 결과 비교

연구원에서 기존에 실시하고 있는 정도관리의 최근 3회(2018년도 상반기~2019년도 상반기) 유기용제 결과 통계와 이 연구에서 실시한 수동식시료채취기 결과 통계를 비교해보았다. 기존의 정도관리는 한 회에 10개 농도 수준으로 제조하며 그 중 랜덤으로 4개의 시료에 번호를 부여하여 기관에 송부한다. 기관으로부터 받은 결과의 변이계수가 3% 미만일 경우 3%로 조정하여 3배의 표준편차를 산술평균값에서 더하거나 빼서 합격범위를 결정한다.

[표 III-22] 최근3회 정기정도관리 유기용제 결과 통계자료

구분	분석대상	N	Reference (mg)	SD (mg)	CV (%)	3% 미만 CV (개수)
2018 상반기	이소프로필 알콜	27~32	0.36~2.17	0.0188~0.0942	3.08~6.50	0
	부틸아세테 이트	27~32	0.44~2.41	0.0149~0.1027	2.33~4.24	4
	에틸아세테 이트	27~32	0.41~2.26	0.4076~2.2698	2.67~4.68	2
2018 하반기	벤젠	39~51	0.01~0.03	0.0005~0.0018	4.61~7.70	0
	톨루엔	39~51	0.17~1.18	0.0085~0.0384	2.92~4.82	1
	O-크실렌	39~51	0.20~1.39	0.0115~0.0642	3.31~6.28	0
2019 상반기	톨루엔	49~58	0.52~2.47	0.0220~0.0888	2.83~4.19	1
	노말헥산	49~58	0.36~2.47	0.0139~0.0949	2.88~3.89	1
	트리클로로 에틸렌	49~58	0.16~0.75	0.0073~0.0229	2.87~5.41	3

N : 농도수준 별 시료 수, Reference : 이론 주입량, SD : 표준편차, CV : 변이계수

최근 3회 유기용제 결과 변이계수의 평균은 3.94%였다. 위의 표는 분석물질 별로 각기 다른 10개 농도 결과값의 범위를 표시하였다. 2018년도 하반기 벤젠의 결과값을 제외하고 변이계수는 2.33%에서 6.50% 사이였으며 벤젠의 경우 4.61~7.70%로 다소 높은 편이었다.

이번 연구에서 사용한 수동식시료채취기의 변이계수는 벤젠 6.58~10.17%, 톨루엔 4.60~6.25%, O-크실렌 4.74~7.01%로 기존의 유기용제 흡착관 정도관리 결과보다 높은 경향을 보였다.

(4) 참여기관의 결과 분포

기관 별로 받은 12개의 총 결과값 중 9개 이상 합격범위 안에 들어갔을 때 적합으로 판정하였다. 참여기관별 적합값 분포는 아래 표와 같이 26개소(83.9%) 적합, 5개소(16.1%)가 부적합이었다.

9개 적합한 기관의 경우 벤젠의 결과 값만 다소 낮은 경향을 보였다. 부적합 기관 중 모든 결과가 불합격이었던 기관은 회석배수 적용을 하지 않았으며 2개 합격결과 기관은 시료의 번호를 잘못 입력한 것으로 판단되었다. 4~8개 합격결과로 부적합이었던 기관은 3가지 물질 중 특정 1, 2가지 물질의 값만 낮거나 높은 경향을 보였다. 즉 시료별 차이가 아니라 물질별 결과값의 차이로 인한 부적합이었다.

[표 III-23] 참여기관의 결과 분포

합격결과 개수		기관 수	구성비(%)	
합계	-	31	100	
적합	9개	1	3.2	83.9
	12개	25	80.6	
부적합	0개	1	3.2	16.1
	2개	1	3.2	
	4개	1	3.2	
	6개	1	3.2	
	8개	1	3.2	

IV. 결 론

작업환경측정 정도관리에서 수동식시료채취기를 자율항목으로 도입하기 위해 근거자료를 마련하였으며 주요 연구결과는 아래와 같다.

1) 시료조제는 시약을 수동식시료채취기 내부 흡착포 혹은 흡착제에 직접 주입함으로써 제조가 가능하였다.

2) 시료 매체당 8시간 측정 노출기준의 0.1~1.5배 수준의 벤젠, 톨루엔, O-크실렌을 주입하여 제조된 시료는 16주간 상온과 냉장 모두 약 80~113%범위에서 안정성을 보였다. 8주에서 대부분의 결과가 낮게 나오고 16주까지 다시 상승하는 경향성으로 보아 8주~12주에는 보관상의 문제가 아닌 실험적 오차가 있었던 것으로 판단된다.

3) 분석숙련자 4명을 대상으로 한 숙련도평가와 자율참여기관 31개소를 대상으로 시행한 실험실간 분석숙련도 시범평가를 통하여 정도관리 시료로서 활용가능성에 대한 근거를 마련하였다. 분석숙련자 4명의 실험 후 노출기준 뿐 아니라 가스크로마토그래프/불꽃이온화검출기의 반응값을 고려하여 농도 조정이 필요하다는 의견을 반영하여 측정기관 분석 시에는 벤젠의 양을 늘리고 O-크실렌의 양을 낮추어 제조하였다.

4) 자율참여기관을 대상으로 실시한 숙련도평가에서 작업환경측정 정도관리에서 계산하는 방식대로 Grubb's Test를 통하여 95% 신뢰수준에서 이상값을 제거하고 산술평균값을 기준으로 기준값에 3배의 표준편차를 더하거나 뺀 범위를 합격범위로 하였다. 그 결과 26개소(83.9%) 적합, 5개소(16.1%)가 부적합이었으며 기존의 정도관리 계산 방식으로 산정하였을 때 무리가 없다고 판단되었다.

위와 같은 결과에 따라 작업환경측정 정도관리 자율항목으로 수동식시료채취기를 도입하는 것이 가능하다고 판단된다. 실험실간 분석숙련도 시험에서 기관의 적합률 및 부적합 사유(계산 오류, 시료번호 입력 오류, 분석 오류)를 보았을 때 일반적으로 실험실에서 일어날 수 있는 오류였으며 특이사항이 없었다. 실제 자율정도관리 항목에 도입하였을 때는 신뢰성 향상을 위하여 이를 위한 기초 실험이 필요할 것이며 참여기관의 분석값을 검토한 후 적합범위는 결정해야 할 것으로 생각된다.

V. 참고문헌

노영만, 김현욱, 박용규 등. 작업환경측정 정도관리 평가와 발전방향 제시. 산업안전보건연구원 연구보고서, 2001.

박해동, 박승현, 장미연. 작업환경측정 정도관리 자율항목 도입을 위한 연구(1) -포름알데히드. 산업안전보건연구원 연구보고서, 2018

AIHA Proficiency analytical testing programs, American Industrial Hygiene Association available from <https://online.aihapat.org>

3M. Technical data bulletin: Organic vapor monitor sampling and analysis guide(1028). 3M Center, Occupational Health and Environmental Safety Division. St. Paul, MN 55144-1000

SKC. VOC Check 575 series selection guide on-worker ppm level sampling of organic vapors. SKC Ltd. Available from <https://www.skcltd.com>

The Workplace Analysis Scheme for Proficiency, Health and Safety Laboratory from <https://www.hsl.gov.uk/proficiency-testing-schemes/wasp>

Detuche Gesetzliche Unfallversicherung from <https://www.dguv.de/ifa/index.jsp>

VI. 부 록

1) 3M 3500 OVM으로 측정가능한 물질의 유량, 권장 측정시간, 회수율 목록

(출처: 3M Technical Data Bulletin Organic Vapor Monitor Sampling and Analysis Guide)

Compound List		Sampling Rate (cc/min)	Recommended Sampling Time (Hrs.)	Capacity (mg)	Recovery Coefficient	Calculation Constant A (mg/m³)	Calculation Constant B (ppm)
*	Acetone(c)	40.1	2	7	0.91(i)	24.9	10.50
	Acetonitrile(c)	48.2	2	0.5	1.02(e)	20.7	12.36
*	Acrylonitrile(m)	43.8	8	1.4	0.99(d)	22.8	10.52
	AllylAlcohol	40.4	8	5	0.74(d)	24.8	10.42
	AllylChloride	35.1	8	3	0.86	28.5	9.10
*	n-AmylAcetate	26.0	8	>25	0.98	38.5	7.22
*	n-AmylAlcohol	31.2		24	0.96(d)	32.1	8.89
	s-AmylAlcohol	31.2		>25	0.98(d)	32.1	8.89
*	Benzene	35.5	8	22	0.97	28.2	8.82
	BenzylChloride	27.2	8	>25	0.89	36.8	7.10
	Bromoform	29.3	8	>25	1.02	34.1	3.30
*	1-Bromopropane	31.7	(m)	(m)	1.02	31.5	6.27
*	1,3-Butadiene(c)	42.8	(m)	(m)	0.75(d)	23.4	10.56
	n-ButylAcetate	31.6	8	>25	1.07	31.6	6.66
*	s-ButylAcetate	28.6	8	>25	0.98	35.0	7.36
	t-ButylAcetate	29.4	8	23	0.98	34.0	7.16
	ButylAcrylate	27.3	8	>25	1.06	36.6	6.99
*	n-ButylAlcohol	34.3	8	21	0.95(d)	29.2	9.62
	s-ButylAlcohol	34.8	8	19	0.89(d)	28.7	9.48
	t-ButylAlcohol	35.2	8	15	0.74	28.4	9.37
*	ButylCellosolve	28.2	8	>25	0.91(d)	35.5	7.34
*	ButylCellosolveAcetate	24.3		>25	0.90	41.2	6.28
	ButylGlycidylEther	27.0	8	25	0.93	37.0	6.96
*	p-tert-Butyltoluene	20.7	8	25	1.07	48.3	7.97
	Camphor	21.4	8	>25	0.92	46.7	7.50
	CarbonDisulfide(c)	42.8	8	2.7	0.76(h)	23.4	7.50
	CarbonTetrabromide	26.6	8	>5	0.99(h)	37.6	2.77
*	CarbonTetrachloride	30.2	8	>25	0.95	33.1	5.26
*	Cellosolve	32.4	8	>25	0.84(d)	30.9	8.37
*	CellosolveAcetate	26.6	8	>25	0.73	37.6	6.96
*	Chlorobenzene	29.3	8	>25	0.96	34.1	7.41
*	Chlorobromomethane	34.4	8	18	0.90	29.1	5.49

	Chloroform	33.5	8	21	0.95	29.9	6.11
	Chloroprene	32.2				31.1	8.58
	o-Chlorostyrene	26.0	8	>25	0.78	38.5	6.78
*	2-Chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane	35.8		5	0.87(f)	27.9	5.00
	o-Chlorotoluene	27.3	8	>25	0.92	36.6	7.07
*	Cumene	24.5	8	>25	1.01	40.8	8.30
*	Cyclohexane	32.4	6	13	1.02	30.9	8.97
*	Cyclohexanol	29.5	8	22	1.02(d)	33.9	8.27
*	Cyclohexanone	28.9	8	22	0.85	34.6	8.62
*	Cyclohexene	32.3	8	21	0.99	31.0	9.21
	Cyclopentadiene	39.5				25.3	9.36
	Cyclopentane(c)	36.2	1	5	1.02	27.6	9.63
*	n-Decane	23.1		>25	1.05	43.3	7.44
*	DiacetoneAlcohol	28.2	8	>25	0.94(d)	35.5	7.46
*	o-Dichlorobenzene	27.8	8	>25	0.87	36.0	5.98
*	p-Dichlorobenzene	27.8	8	>25	0.74	36.0	5.98
	1,1-Dichloroethane	33.2	8	13	0.92	30.1	7.44
*	1,2-Dichloroethylene	35.2	6	10	0.96	28.4	7.17
	DichloroethylEther	26.1	8	>25	0.95	38.3	6.55
	1,1-Dichloro-1-nitroethane	28.5				35.1	5.96
*	1,1-Dichloro-2,2,2-trifluoroethane	30.9				32.4	5.17
	Dicyclopentadiene	23.6	8	>25	0.96	42.4	7.84
	DiethylKetone	32.7	8	24	0.98	30.6	8.68
*	DiisobutylKetone	24.6	8	>25	1.03	40.7	6.99
	Dimethylacetamide	32.0	8	>25	0.84(d)	31.3	8.77
	DimethylFormamide	35.5	8	>25	0.65(d)	28.2	9.42
	p-Dioxane	34.5	8	21	0.91	29.0	8.04
	DipropyleneGlycolMethylEther	25.3	8	23	0.82	39.5	6.52
	DipropyleneGlycolMethylEtherAcetate	22.8			0.93	43.9	5.64
	DipropylKetone	27.8	8	25	0.66	36.0	7.70
	DivinylBenzene	23.3	8	20	0.47	42.9	8.06
*	n-Dodecane	21.5		>25	1.09	46.5	6.68
	Enflurane	28.3	8	8	0.88	35.3	4.68
	Epichlorohydrin	29.6	8	20	0.85	33.8	8.93
*	1-Ethoxynonafluorobutane	24.1		>25	0.82(k)	41.5	3.84
*	EthylAcetate	34.5	6	20	0.99	29.0	8.04
	EthylAcrylate	32.2	8	>25	0.93	31.1	7.58
*	EthylAlcohol(c)	43.7	1	3.5	0.98(g)	22.9	12.14
	EthylBenzene	27.3	8	24	0.96	36.6	8.44
*	EthylBromide	36.4	8	6	0.94	27.5	6.18
	EthylButylKetone	28.0	8	>25	0.68	35.7	7.65
	EthyleneChlorohydrin	33.9	8	11	0.82(d)	29.5	8.96
*	EthyleneDibromide	29.6		21	0.93	33.8	4.40
*	EthyleneDichloride	33.2	8	16	0.98	30.1	7.44

	<i>EthylEther(c)</i>	36.8	4	12	0.96	27.2	8.96
	<i>EthylFormate</i>	38.8	8	8	0.65	25.8	8.51
	Furfural	34.3	8	>25	0.62(d)	29.2	7.42
	<i>FurfurylAlcohol</i>	30.6	8	>25	0.71(d)	32.7	8.14
*	Gasoline	30.5	8	>25	0.94	32.8	7.49
	Glycidol	37.1				27.0	8.90
	Halothane	30.2	8	10	1.07	33.1	4.10
*	n-Heptane	28.9	8	>25	1.04	34.6	8.44
	Hexachlorobutadiene	22.9				43.7	4.09
	Hexachloro cyclopentadiene	22.1				45.2	4.06
	Hexachloroethane	26.7	8	25	0.95	37.5	3.87
*	n-Hexane	32.0	8	24	1.07	31.3	8.87
*	<i>Hexanelsomers</i>	32.0	7	24	1.03	31.3	8.87
	<i>IsoamylAcetate</i>	27.2	8	>25	0.97	36.8	6.90
*	<i>IsoamylAlcohol</i>	32.3	8	22	0.95(d)	31.0	8.59
*	<i>IsobutylAcetate</i>	31.0	8	25	1.02	32.3	6.79
*	<i>IsobutylAlcohol</i>	35.9	8	19	0.93(d)	27.9	9.19
	Isoflurane	28.3		7	0.88	35.3	4.68
	<i>IsooctylAlcohol</i>	25.1	8	23	0.80	39.8	7.48
	<i>IsoparG</i>	24.4		>25	0.98	41.0	7.42
*	Isophorone	21.7	8	>25	0.75	46.1	8.15
	Isopropoxyethanol	29.5	8	23	0.92	33.9	7.96
	<i>IsopropylAcetate</i>	31.7	7	15	0.96	31.5	7.55
*	<i>IsopropylAlcohol(c)</i>	39.4	(m)	(m)	0.96(g)	25.4	10.33
	<i>IsopropylEther(c)</i>	31.2	8	21	1.03	32.1	7.67
	<i>IsopropylGlycidylEther</i>	29.1	8	23	0.97	34.4	7.23
*	Mesitylene	26.3	8	>25	1.05	38.0	7.73
*	<i>MesitylOxide</i>	31.2	8	>25	0.89	32.1	7.98
	1-Methoxynonafluoro butane	25.3		18	0.85(k)	39.5	3.87
*	<i>MethylAcetate(c)</i>	37.0	2	3	0.92	27.0	8.92
	<i>MethylAcrylate</i>	35.8	8	11	0.87	27.9	7.93
	<i>Methylal(c)</i>	37.9	1	10	0.97	26.4	8.48
	<i>MethylAmylKetone</i>	27.9	8	24	0.98	35.8	7.67
	<i>MethylBromide(c)</i>	40.9				24.4	6.30
*	<i>Methylt-ButylEther</i>	30.8	8	17	0.98	32.5	9.01
*	<i>MethylButylKetone</i>	29.7	8	24	1.00	33.7	8.22
*	<i>MethylCellosolve</i>	36.3	8	>25	0.78(d)	27.5	8.85
*	<i>MethylCellosolve Acetate</i>	29.0	8	>25	0.65	34.5	7.14
*	<i>MethylCyclohexane</i>	28.9	7	20	1.03	34.6	8.62
	<i>MethylCyclohexanol</i>	25.3	8	>25	0.83	39.5	8.46
*	<i>MethyleneChloride(c)</i>	37.9	(m)	(m)	0.87	26.4	7.60
*	<i>MethylEthylKetone</i>	36.3	8	18	0.91(i)	27.5	9.34
	<i>MethylFormate(c)</i>	45.0	1	0.5	0.76(d)	22.2	9.05
	5-Methyl-3-heptanone	26.4	8	24	0.83	37.9	7.22
	<i>MethylIodide</i>	36.7				27.2	4.69
	<i>MethylIsoamylKetone</i>	28.0	8	>25	1.01	35.7	7.65
	<i>MethylIsobutylCarbinol</i>	29.2	8	21	0.81	34.2	8.19

*	<i>MethylisobutylKetone</i>	30.0	8	>25	0.99	33.3	8.14
	<i>MethylisopropylKetone</i>	32.8	8	24	0.91	30.5	8.65
	<i>MethylMethacrylate</i>	31.8	8	>25	0.98	31.4	7.68
*	<i>MethylPropylKetone</i>	33.0	8	24	0.93	30.3	8.60
	1-Methyl-2-pyrrolidinone	28.8			0.81(d)	34.7	8.56
*	<i>alpha-MethylStyrene</i>	25.0	8	25	1.02	40.0	8.28
*	Naphtha	33.2	8	24	0.92	30.1	7.36
	Naphthalene	24.6	8	>25	0.42	40.7	7.75
*	n-Nonane	24.6	8	>25	1.09	40.7	7.75
*	n-Octane	26.6	8	25	1.05	37.6	8.05
*	<i>n-Pentane(c)</i>	35.3	3	12	0.98	28.3	9.60
	2,4-Pentanedione	31.7		>25	0.81	31.5	7.70
*	Perchloroethylene	28.3	8	>25	1.03	35.3	5.21
	<i>PhenylEther</i>	20.3	8	>25	0.90	49.3	7.08
	<i>PhenylGlycidylEther</i>	22.2	8	19	0.73	45.0	7.33
*	<i>n-PropylAcetate</i>	30.1	8	25	1.00	33.2	7.95
*	<i>n-PropylAlcohol</i>	39.7	6	8	0.85(d)	25.2	10.25
*	<i>PropyleneDichloride</i>	30.6	8	20	1.02	32.7	7.07
*	<i>Propylene Glycol Monomethyl Ether</i>	32.4	8	>25	0.86(d)	30.9	8.37
*	<i>Propylene Glycol Monomethyl Ether Acetate</i>	25.2		>25	1.01	39.7	7.34
*	<i>PropyleneOxide(c)</i>	37.7	8	2	0.97	26.5	11.17
	<i>n-PropylNitrate</i>	33.3	8	25	1.02	30.0	6.99
	Resorcinol	25.8				38.8	8.61
	<i>StoddardSolvent</i>	24.3	8	21	0.98	41.2	6.99
*	Styrene	28.9	8	>25	0.88	34.6	8.12
	1,1,1,2-Tetrachloro-2,2-difluoroethane (c)	27.5				36.4	4.36
	1,1,2,2-Tetrachloro-1,2-difluoroethane (c)	28.2				35.5	4.25
	1,1,2,2-Tetrachloroethane	28.4	8	>25	0.92	35.2	5.13
*	1,1,1,2-Tetrafluoroethane	37.1		2	0.61(f)	27.0	6.46
	Tetrahydrofuran	37.2	8	15	1.01	26.9	9.11
*	Toluene	31.4	8	>25	1.00	31.8	8.45
*	1,1,1-Trichloroethane	30.9	(m)	>25	1.00	32.4	5.93
*	1,1,2-Trichloroethane	29.7	8	>25	0.95	33.7	6.17
*	Trichloroethylene	31.1	8	>25	1.01	32.2	5.98
	1,2,3-Trichloropropane	27.4	8	>25	0.99	36.5	6.05
	1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane (c)	29.1	1	11	0.92	34.4	4.48
	<i>VinylAcetate</i>	35.8	8	9	0.98(i)	27.9	7.93
	<i>VinylBromide</i>	37.0				27.0	6.18
*	<i>VinylChloride(c)</i>	40.8				24.5	9.59
*	4-Vinyl-1-cyclohexene	27.9	8	>25	1.01	35.8	8.10
	<i>VinylideneChloride</i>	35.1	8	4	1.00	28.5	7.19
	<i>VinylToluene</i>	25.1	8	>25	0.86	39.8	8.24
*	Xylene	27.3	8	>25	0.97	36.6	8.44

2) SKC VOC chek 575-001로 측정가능한 물질의 유량, 권장 측정시간, 회수율 목록

(출처: VOC chek 575 Level Series Sampling selection of Organic vapors)

Chemical Hazard	Sampling Rate (ml/min)	Min (min)	Max (hrs)	DE%
Aceticacid	19.6			99.2
Acetoin(acetylmethylcarbinol)	14.9			
Acetonitrile	22.4			103
Acetylmethylcarbinol(acetoin)	14.9			
Allylalcohol	18.4			64
Allylchloride	17.8			95.1
n-Amylacetate	11.7			93.5
sec-Amylacetate(2-pentylacetate)	11.8			
n-Amylalcohol	13.9			87.3
t-Amylmethylether(methyltert-amylether)	13.1	30	8	99
Aniline	14.2			
Benzene	16	15	8	93.5
Benzotrifluoride(trifluoromethylbenzene;OXSOL2000)	13.3	15	8	106
Benzylchloride	12.9			98.7
Bromobenzene	13.8			
Bromodichloromethane(dichlorobromomethane)	16.1			
Bromoethane(ethylbromide)	18.5			
Bromoform	15.2			
Bromomethane(methylbromide)	22.1			
1-Bromopropane(propylbromide)	14.4	30	8	100
1,3-Butadiene	19.6			
n-Butane	18.1			
n-Butanol(n-butylalcohol)	15.6			94
2-Butanol(sec-butylalcohol)	15.6			93
2-Butoxyethanol(butylCELLOSOLVEsolvent)	12			71.2
n-Butylacetate	12.3	15	8	90.4
sec-Butylacetate	12.8			96.2
t-Butylacetate	12.7			95.1
n-Butylalcohol(1-butanol)	15.5			94
sec-Butylalcohol(2-butanol)	15.6			93
t-Butylethylether(ethyltert-butylether)	13.1	15	8	101
t-Butylmethylether(MTBE)	13.6	8.5	8	97.4
p-tert-Butyltoluene	10.4	15	8	100
Camphor	10.8			94.2
Carbolicacid(phenol)	14.5			
Carbondisulfide	19.54			
Carbontetrachloride	14.1	30	8	98.3

2-CELLOSOLVEacetate(ethoxyethylacetate)	12.1			52.7
1-Chloro-2-methylbenzene(monochlorotoluene;OX SOL10)	13	15	8	91.8
1-Chloro-4-(trifluoromethyl)benzene(parachlorobe nzotrifluoride;OXSOL 100)	11.8	15	8	102
Chlorobenzene	14.41	15	8	93.3
Chloroethane(ethylchloride)	20.02			
Chloroform	13	60	8	97.3
Chloromethane(methylchloride)	24.6			
4-Chlorotoluene	12.4			
Cumene(isopropylbenzene)	12.8	15	8	99.3
Cyclohexane	15.6	15	8	105
Cyclohexanol	13.5			98
Cyclohexene	15.4			102
Cyclopentane	16.8			
p-Cymene(4-isopropyltoluene)	11.3			
Decamethylcyclopentasiloxane(D5)	5.66	15	8	99.0
Decamethyltetrasiloxane	7.36			
Dibromochloromethane	15.6			
1,2-Dibromoethane(ethylenedibromide)	15.3			92.3
1,6-Dibromohexane(hexamethylenedibromide)	10.7			
o-Dichlorobenzene(1,2-dichlorobenzene)	12.5	15	8	79.2
m-Dichlorobenzene(1,3-dichlorobenzene)	12.95			91.8
p-Dichlorobenzene(1,4-dichlorobenzene)	12.95			91.1
1,3-Dichlorobenzene(m-dichlorobenzene)	12.95			91.8
1,2-Dichlorobenzene(o-dichlorobenzene)	12.5	15	8	79.2
1,4-Dichlorobenzene(p-dichlorobenzene)	12.95			91.1
Dichlorobromomethane(bromodichloromethane)	16.1			
Dichlorodifluoromethane(Freon12)	18.6			
1,1-Dichloroethane	16.85			
1,2-Dichloroethane(ethylenedichloride)	14.2	60	8	95.8
1,2-Dichloroethene(1,2-dichloroethylene)	14.8	15	8	97.1
Dichloroethylether	12.5			
1,2-Dichloroethylene	14.8	15	8	97.1
1,2-Dichloroethylene(1,2-dichloroethene)	14.8	15	8	97.1
1,1-Dichloroethylene(vinylidenechloride)	12.3	60	8	95.2
Dichloromethane(>4hrsto8hrs)(methylenechloride)	14.7	240	8	96
Dichloromethane(15minto4hrs)(methylenechloride)	16.0	15	4	96
1,2-Dichloropropane(propylenedichloride)	14.3	15	8	97.7
1,1-Dichloropropene	15.6			
1,2-Dichlorotetrafluoroethane(Freon114)	15.3			
Dicyclopentadiene	11.8			
Diethylether(ethylether)	16.4			
Diethylketone(3-pentanone)	14.8			83.9
1,2-Dimethoxyethane(ethyleneglycoldimethylether)	14.7			
Dimethoxymethane(methylal)	17.1			
Dimethyladipate	10.73			
Dimethyldisulfide	15.4			
2,5-Dimethylhexane	11.86			

2,2-Dimethylmethane	21.7			
Dimethylpentanedioate	10.8			
Dimethylsulfide	19			
N,N-Dimethylaniline	12			
2,2-Dimethylbutane(neohexane)	14.2			
trans-1,2-Dimethylcyclohexane	12.4			106.1
2,3-Dimethylpentane	12.8			
Diphenyloxide(phenylether)	10.4			
Dipropylketone	12.3			85.3
Dodecamethylcyclhexasiloxane	6.75			
n-Dodecanol(lauryl alcohol)	8.7			107.5
1-Dodecene	9.29			
1-Dodecylalcohol(lauryl alcohol)	8.7			107.5
Epichlorohydrin	16.4			70.8
2-Ethoxyethanol	14.4			100.8
2-Ethoxyethylacetate(CELLOSOLVEacetate)	12.1			52.7
Ethrane(enflurane)	13.8			
Ethylacetate	13.1	15	8	92.8
Ethylbenzene	12.9	15	6	100
Ethylbromide(bromoethane)	18.5			
Ethylbutylketone(3-heptanone)	12.2			87.9
Ethylchloride(chloroethane)	20.2			
Ethylcyanide	18.61			
Ethylether	16.4			
Ethylformate	17.8			
Ethylmethacrylate	13.1	15	8	84.7
Ethylpropionate	14			
Ethyltert-butylether(tert-butylethylether)	13.1	15	8	101
Ethylenedibromide(1,2-dibromoethane)	15.3			92.3
Ethylenedichloride(1,2-dichloroethane)	14.2	60	8	95.8
Freon114(1,2-dichlorotetrafluoroethane)	15.3			
Freon12(dichlorodifluoromethane)	18.6			
n-Heptane	13.9	15	8	105
4-Heptanone(dipropylketone)	12.1			85.3
3-Heptanone(ethylbutylketone)	12.2			87.9
1-Heptene	13.1			
Hexachlorobutadiene	10.5			
Hexachloroethane	11.5			
Hexadecane	7.7			
Hexamethyldisiloxane(L2)	9.98	15	8	102.9
Hexamethylenedibromide(1,6-dibromohexane)	10.7			
n-Hexane	14.3	15	8	100
2-Hexene	14.5			
Hexylene	14.5			
Iodomethane(methyliodide)	18.7			
Isoamylacetate	11.9			91.9
Isopentane(2-methylbutane)	15.8			
Isopropylacetate	14.2			88.5
Isopropylbenzene(cumene)	12.8	15	8	99.3

Isopropylether	13.4			
Isopropylglycidylether	12.8			
4-Isopropyltoluene(p-cymene)	11.3			
Lauryl alcohol(1-dodecanol)	8.7			107.5
Mesityl oxide	13.7			
Mesitylene(1,3,5-trimethylbenzene)	12.1			93.6
1-Methoxy-2-propanol(propyleneglycolmonomethylether)	14.7			82.9
1-Methoxy-2-propylacetate(propyleneglycolmonomethylether acetate)	12.2			108
2-Methoxyethanol(methylCELLOSOLVE)	16.1			94.7
2-Methylbutane(isopentane)	15.8			
MethylCELLOSOLVE(2-methoxyethanol)	16.1			94.7
MethylCELLOSOLVEacetate(ethyleneglycolmonomethylether acetate)	12.9			43.8
Methylchloroform(1,1,1-trichloroethane)	14.1	15	8	99.9
Methylcyclohexane	14.2	15	8	106
Methylformate	20.58			
Methyliodide(iodomethane)	18.7			
Methylisothiocyanate	17.36			
2-Methylpentane	14.1			
Methylpropylketone(2-pentanone)	14.8			68.1
Methylstyrene(vinyltoluene)	12.3			
Methylt-butylether(MTBE)	13.6	15	8	97.4
Methyltert-amylether(tert-amylmethylether)	13.1	30	8	99
n-Methyl-2-pyrrolidinone	13.97			
5-Methyl-3-heptanone	11.4			87.5
Methylal(dimethoxymethane)	17.1			
1-Methylcyclohexanol	12.4	15	8	94.7
Methylcyclopentane	14.9			
Methylenechloride(dichloromethane)	14.7	240	8	96
Methylenechloride(dichloromethane)	16.0	15	4	96
3-Methylhexane	12.8			
Mineralspirits	10.95			
Monochlorotoluene(1-chloro-2-methylbenzene;OX SOL10)	13.0	15	8	91.8
Neohexane(2,2-dimethylbutane)	14.2			
Nitrobenzene	12.6			
Nonane	10.6	15	8	103
Octadecane	7.1			
Octamethylcyclotetrasiloxane(D4)	6.32	15	8	97.2
Octamethyltrisiloxane	8.6			
n-Octane	12.7	15	8	106
1-Octene	11.99			
OX SOL10(monochlorotoluene[1-chloro-2-methylbenzene])	13	15	8	91.8
Parachlorobenzotrifluoride(1-chloro-4-[trifluoromethyl]benzene;OX SOL 100)	11.8	15	8	102

Pentadecane	7.93			
n-Pentane	14.9	15	8	105.2
3-Pentanone(diethylketone)	14.8			83.9
2-Pentanone(methylpropylketone)	14.8			68.1
1-Pentene	16.3			
2-Pentylacetate(sec-amylacetate)	11.8			
Perchloroethylene(tetrachloroethylene)	13.1	15	8	100.8
Phenol(carbolicacid)	14.5			
Phenylether(diphenyloxide)	10.4			
Phenylglycidylether	11.6			
4-Phenylcyclohexene	11.53			
Propane	21.73			
n-Propanol(propylalcohol)	17.7			87.3
Propionitrile	18.61			
n-Propylacetate	14.1			87.5
Propylalcohol(n-propanol)	17.7			87.3
Propylbromide(1-bromopropane)	14.3	30	8	100
Propylenedichloride(1,2-dichloropropane)	14.3	15	8	97.7
Propyleneglycolmonomethylether(1-methoxy-2-propyl alcohol)	14.7			82.9
Propyleneglycolmonomethyletheracetate(1-methoxy-2-propyl acetate)	12.2			108
Propyleneoxide	19.9			98
Pyridine	16.6			62.1
Solventnaphtha(petroleum)lightaromatic	11.61			
Stoddardsolvent	10.95			
1,1,2,2-Tetrachloroethane	11.8	480	8	64.4*
Tetrachloroethylene(perchloroethylene)	13.1	7.5	12	100.8
Tetradecane	8.3			
1,2,3,4-Tetramethylbenzene	11.1			
1,2,3,5-Tetramethylbenzene	10.8			
Toluene	14.5	15	8	97.9
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane(Freon113)	14.1			
1,2,3-Trichlorobenzene	11.34			
1,2,4-Trichlorobenzene	11.4			
1,1,2-Trichloroethane	12.5	15	8	96.7
1,1,1-Trichloroethane(methylchloroform)	14.1	15	8	99.9
Trichloroethylene	14.9	15	8	102
Trichlorofluoromethane(Freon11)	16.65			
1,2,3-Trichloropropane	11.9	15	8	98.1
Tridecane	9.2			
Trifluoromethylbenzene(benzotrifluoride;OXSOL2000)	13.3	15	8	106
1,2,3-Trimethylbenzene	12.0			91.1
1,2,4-Trimethylbenzene	13.05			88.4
1,3,5-Trimethylbenzene(mesitylene)	12.1			93.6
2,2,4-Trimethylpentane	11.89			
n-Undecane	9.62			
Vinylbromide	19.6			
Vinylchloride	21.4			

Vinyltoluene(methylstyrene)	12.3			
n-Vinyl-2-pyrrolidone	13.9			
4-Vinylcyclohexene	12.4			
Vinylidenechloride(1,1-dichloroethene)	12.3	60	8	95.2
m-Xylene	12.5	15	8	96.6
o-Xylene	11.9	15	8	91
p-Xylene	12.8	15	8	95.6

3) 수동식시료채취기 측정분석 현황 및 자율정도관리 참여 조사표

수동식시료채취기 측정분석 현황 및 자율정도관리 참여 조사표

산업안전보건연구원에서 수행하고 있는 연구과제와 관련하여 작업환경측정기관에서 사용 중인 매체의 현황을 파악하고 향후 정도관리제도의 효율적 운용방안을 마련하기 위하여 동 조사를 실시합니다.

금번 조사과정에서 얻은 정보는 통계처리하여 사용되며, 개별 기관에 대한 자료의 유출은 절대 없음을 알려드리며, 설문에 성심껏 응답해 주시면 대단히 감사하겠습니다.

※ 연구과제명 : “작업환경측정 정도관리 자율항목 도입을 위한 연구(2) -수동식시료채취기”

1. 수동식시료채취기 측정분석 현황

<조사표 작성방법>

*분석방법 : 일부는 자체로 일부는 의뢰하는 경우 둘다 체크(O/X)해주시기 바랍니다
(복수 응답 가능)

*시료채취매체 : 기관에서 사용하고 있는 현황(모델명 표기 및 사용수량)을 작성해 주시기 바랍니다(복수 응답 가능)

조 사 항 목		응답 기재란	
기 관 명			
분석 형태	자체분석		
	의뢰분석		
시료채취 매체	3M		(2018년도 사용수량 :)
	SKC		(2018년도 사용수량 :)
	Dräger		(2018년도 사용수량 :)
	기타		(2018년도 사용수량 :)

2. 참여희망 여부 조사 (O/X로 표시)

2019년도 분석 자율참여 희망여부	
자율적으로 분석을 희망하는 기관을 대상으로 하며 결과는 통계처리하여 연 구보고서에 반영됩니다. 참여기관명 및 기관의 적합/부적합 여부 등의 정보 는 공개되지 않으며, 분석 결과는 개별 신청 기관에 우편으로 발송됩니다. <관련일정(예정)> 7/12(금) : 조사표 접수 마감, 7월 22(월) : 신청기관 시료 배부, 8/23(금) : 분석결과 마감, 9/16(월) : 기관별 결과 우편 발송	
2020년도 이후 자율항목도입시 참여여부	
<참고> 2020년상반기자율항목으로운영하는방안을검토중이며실제참여여부는해당정도 관리접수시선택하면됩니다. 이번조사는향후정도관리준비를위한참고용으로, 참 여희망여부를파악하고자합니다. *정도관리자율항목:기관자율로참여또는미참여가능, 적합/부적합에따른불이익 은없으며결과통보서에적합기관에한하여적합항목및분석자기재되어발급됩니다.	

Abstract

Title

A study to introduce an autonomous item for the quality control program in the industrial hygiene(2) – Passive sampler

Objectives

The purpose of this study is to provide an basic material for introduction of passive sampler as the autonomous item in the quality control program.

Methods

We surveyed cases of another country's quality control program using passive sampler and domestic work environment measurement data of the last 3 years. We made 4 levels of benzene, toluene, o-xylene sample of 2 different samplers and analyze to check storage stability for 16 weeks at another temperature. An analysis proficiency test was conducted on the measurement institutions that applied voluntarily.

Results

Industrial Hygiene Proficiency Analytical Testing(IHPAT), an international quality control program conducted by the American Industrial Hygiene Association(AIHA), is the only foreign program using passive samplers. The number of participation organizations tends to decrease from 70 to 54 among the 208 and 218 round.

The analyte does not change with benzene, toluene and o-xylene but the concentration has changed. Approximately 90% of participants passed the program. Passive samplers used by work environment measurement institutions in Korea have been on the rise ever year with 6,144, 6,862 and 6,935 between 2016 and 2018. For the storage stability test of passive sampler, 3 organic compounds(benzene, toluene and o-xylene) were injected with 0.1TLV, 0.5TLV, 1TLV and 1.5TLV concentrations. Samples were kept in cold(5℃) and room(25℃) temperature for 1, 2, 4, 8, 12 and 16 weeks and analyzed. The analysis value showed stability in the range of 80-113% compared to the amount of injection. 83.9% of applied work environment measurement institutions passed the test by sending passive sampler samples. The acceptance range was removed by statistical processing in the same way as the QC program. 3 times of standard deviation was reduced on the arithmetic mean, if CV value is more than 3%.

Conclusions

Passive samplers for organic compounds were stable enough and acceptable for QC program. In Korea quality control program, it is necessary to adopt passive sampler as the autonomous items, and it will improve the reliability of the work environment monitoring results.

Key Words : Quality control, Autonomous item, Passive sampler

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 직업환경연구실 연 구 원 노지원

공동연구자 : 직업환경연구실 실 장 박승현

직업환경연구실 연 구 원 조현민

직업환경연구실 연 구 원 장미연

〈〈연 구 기 간〉〉

2019. 1. 1 ~ 2019. 11. 30

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원 원장

2019-연구원-1489

작업환경측정 정도관리 자율항목 도입을 위한 연구(2)

- 수동식시료채취기

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

2019-연구원-1489

작업환경측정 정도관리 자율항목 도입을 위한 연구(2)

- 수동식시료채취기

발 행 일 : 2019년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 고재철

연구책임자 : 직업환경연구실 연구원 노지원

발 행 처 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : (052) 7030-887

F A X : (052) 7030-337

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>
