

실내공기질 측정 및 분석 보고서

<하남감일지구 A-6BL
민간참여 공공주택 건설사업 >

2020. 04.



(주)한국보건환경연구소

KOREA INSTITUTE OF HEALTH & ENVIRONMENT

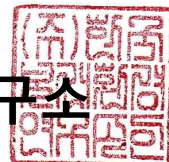
제 출 문

태영건설 귀중

본 보고서를 “하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장의 실내공기질 측정 및 분석”의 결과보고서로 제출합니다.

2020년 04월

(주)한국보건환경연구소



목차

제 1 장 서 론	
1.1 측정 목적	2
1.2 측정대상 및 범위	2
1.3 측정 기간	2
제 2 장 실내공기질 관리내용	
2.1 실내공기질 공정시험기준	4
제 3 장 측정법 및 분석법	
3.1 시료채취방법	19
3.2 시료채취조건	19
3.3 시료채취장소	19
3.4 휘발성유기화합물 분석	20
3.5 폼알데하이드 분석	21
제 4 장 측정결과 및 결론	
4.1 측정결과 및 농도분포 그래프	23
4.2 결 론	28
<별첨>	
1. 측정사진	
2 측정대행등록증	
3 정도관리 검증서	

제 1 장 서 론

1.1 측정 목적

1.2 측정의 대상 및 범위

1.3 측정 기간

제 1 장 서 론

1.1 측정 목적

본 측정은 하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장의 실내 공기 중에 존재하는 휘발성 유기화합물 (벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌) 및 폼알데하이드를 측정하여 관련 실내공기질 규제기준에 대한 만족 여부를 파악해 결과를 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 측정대상 및 범위

(1) 측정대상

하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장

(2) 측정범위

- 1) 실내공기질 측정 및 기기분석
- 2) 실내공기질 규제기준과의 비교평가
- 3) 측정 결과보고서 작성 및 제출

1.3 측정 기간

- (1) 현장측정 : 2020년 03월 04일 ~ 2020년 04월 08일
- (2) 측정자료 분석 및 정리 : 2020년 03월 04일 ~ 2020년 04월 08일
- (3) 결과 보고서 작성 및 제출 : 2020년 03월 09일 ~ 2020년 04월 09일

■ 제 2 장 실내공기질 관리내용

2.1 실내공기질 공정시험기준

제 2 장 실내공기질 관리내용

실내공기질공정시험기준

실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물 측정방법 - 고체흡착관과 기체크로마토그래프-MS/FID법

1. 적용범위

이 시험기준은 실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물(VOCs) 농도 측정을 위한 주시험방법으로 사용된다.

2. 분석기기 및 기구

2.1 기체 크로마토그래프(GC, gas chromatograph)

이동상으로 기체를 사용하는 크로마토그래프

2.2 질량 분석기(MS, mass spectrometer)

주로 모세관 또는 분리기로 기체(혹은 액체) 크로마토그래프와 결합시켜 사용하며 크로마토그래피로부터 유입된 시료의 분자를 전자 흐름으로 충격하여 이온화하고 각 이온의 세기를 질량/전하수의 순서로 나열한 질량 스펙트럼을 측정하는 장치

2.3 불꽃이온화 검출기(FID, flame ionization detector)

수소 불꽃에 의해 화합물의 골격 탄소를 이온화해서 성분을 검출하는 크로마토그래프용 검출기

2.4 열탈착 장치(TD, thermal Desorbtor)

흡수관의 2단계 열 탈착 및 탈착된 증기를 비활성 가스 흐름을 통해 기체크로마토그래프로 전달하기 위한 열 탈착 장치로 일반적인 장치는 관들이 가열되고 동시에 비활성 가스로 퍼지 되는 동안 탈착될 관을 지지 하기 위해 메커니즘을 포함한다. 탈착 온도와 시간은 조정할 수 있고 운반 가스 유속도 마찬가지로이다. 또한 장치는 자동 시료관 주입, 누출 검사 및 냉각 흡착관 또는 탈착 시료의 농축을 위한 기타 적당한 장치와 같은 추가적인 장치도 포함할 수 있다. 퍼지 가스에 함유된 탈착 시료는 가열된 수송관을 통해 기체크로마

토그래프와 컬럼으로 들어간다.

2.5 흡착관

시료를 채취하는 흡착관은 Tenax TA를 사용하여 주로 입자 크기가 0.18 ~ 0.25 mm (60 ~ 80 mesh)를 유리관 또는 스테인리스강 관에 약 200 mg 충전하여 사용한다. 이 때 사용되는 Tenax TA는 2,6 - diphenylene oxide의 다공성 중합체로 생산된 직후 다양한 불순물이 함유되어 있으므로 휘발성 유기화합물을 시료 채취하기 전 열탈착을 이용하여 이를 제거해야 한다.

2.6 흡착관 세척 장치

비활성 가스를 사용하여 흡착관을 세척할 경우 사용하며 반드시 대기 중의 공기가 흡입되는 것을 방지해야 하며 ± 5 °C 내외로 온도를 정밀하게 유지되어야 한다. Tenax TA의 경우 320 ~ 350 °C범위에서 탈착하며 비활성 가스를 약 3시간 동안 50 ~ 100 mL/min로 공급한다.

2.7 표준 용액 주입 장치(선택사항)

일반적인 기체크로마토그래프의 주입 장치는 교정 표준 용액 제조에 이용될 수 있다. 이는 본래 위치에서 이용되거나 분리해서 설치 될 수 있다. 주입 장치로 향하는 운반 가스관은 지탱되어야 한다. 주입 장치의 후면은 필요하다면 시료관을 연결하기에 적합해야 한다. 이는 오링 마개와 압축링을 이용해 간편하게 실시할 수 있다.

2.8 컬럼

시료 중의 분석 물질을 위해 적당한 기체크로마토그래프의 컬럼을 선택한다. 길이 30 ~ 60 m, 안지름 0.25 ~ 0.32 mm 및 상 두께 0.25 ~ 0.33 μ m의 결합형(bonded) 100 % dimethylpolysiloxane 컬럼은 실내공기 중의 휘발성 유기화합물 분석에 적합하다고 입증된 컬럼의 한 예이다.

3. 시약 및 표준 흡착관

3.1 표준용액 및 가스

3.1.1 휘발성유기화합물

헥산, 헥사데칸, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스틸렌은 교정용으로 크로마토그래피 등급으로 되어야 한다.

3.1.2 희석 용액

희석 용액은 크로마토그래피 등급이어야 한다. 이 용액은 4.1.1의 화합물과 함께 용리되는 화합물을 포함하지 않아야 한다. 대부분의 경우 분석하는 휘

발성유기화합물 보다 휘발성이 매우 큰 희석 용액을 사용하는 것이 좋다.

3.1.3 운반 가스(He, Ar, N₂)

비활성이며, 99.999 % 혹은 그 이상의 고순도 가스를 운반 가스로 사용한다. 산소와 유기화합물제거를 위한 여과지가 분석 장치 전단에 설치되어야 하며 이런 여과지들은 제조회사의 지침에 따라서 주기적으로 교환하도록 한다.

3.2 표준 흡착관

3.2.1 액체 표준 용액을 이용한 표준 흡착관 제조

3.2.1.1 기체크로마토그래프를 이용한 표준 흡착관

휘발성유기화합물의 정량을 위해서 시료 채취에 사용하는 흡착관에 정량적으로 각 화합물을 흡착시켜 사용하여야 한다. 가장 간단한 방법은 기체 크로마토그래프 주입구에 흡착관을 연결한 후, 액체표준용액(휘발성유기화합물을 메탄올이나 에틸아세테이트와 같은 용매에 녹인)을 기체크로마토그래프 주입구에 주입하여 시료채취시의 채취된 질량의 범위와 동일하게 흡착관에 흡착하여 교정용 흡착관을 만들어 사용한다. 이때 운반기체의 유속을 50 ~ 100 mL/min 정도로 맞춘다.

3.2.1.2 액체 소량 첨가(spiking)에 의해 주입되는 표준 흡착관

표준흡착관은 다음과 같이 표준 용액의 일부를 깨끗한 흡착관상에 주입함으로써 제작한다. 비활성 퍼지 가스가 유속 100 mL/min로 흐르고 적절한 표준용액 1 ~ 5 µL를 셉텀을 통해 주입하는 스테인리스강 관에 흡착관을 설치하여 5분 후에 관을 분리하고 막는다. 이 때 관 내부의 온도는 약 200 °C 이상이 유지되어 액체가 기화될 수 있어야 한다.

실린지

퍼지용 가스

유량 조절 밸브

퍼지용 가스 주입

가열 중인 관(스테인레스 강)

흡착관

유량조절계

그림 2 합침 장치의 예

3.2.2 표준 가스를 이용한 표준 흡착관 제조

3.2.2.1 교정용 흡착관

정확한 정량을 위해서는 실제 시료와 비슷한 농도 수준인 저농도의 휘발성 유기화합물 표준기체를 흡착관에 각 성분의 흡착효율과 파과부피를 확인한 후, 교정용 흡착관을 만들어 사용한다. 가스를 이용하여 흡착관을 제조할 경우에도 액체를 소량 첨가하여 제조되는 흡착관과 동일하게 비활성 퍼지 가스를 100 mL/min로 흘려주고 적절한 표준 가스를 주입한다.

3.2.2.2 흡착제가 주입된 시판용 표준관

흡착제가 주입된 시판용 표준관은 검증된 제품을 이용한다. 이 표준관은 분석의 품질 관리 및 정기적인 교정을 위해 사용될 수 있다.

3.2.2.3 검정곡선(calibration curve) 작성

화합물의 특정 감응 인자와 관심 화합물에 대한 FID 및 MS의 선형성은 표준 용액으로 분석 시스템을 교정하여 얻는다. 적어도 5개의 농도가 다른 표준 용액(7개의 농도가 다른 표준 용액을 사용하면 더 좋음)을 이용하여 검정곡선을 작성한다. 교정용 표준 용액의 최저 농도는 시료의 최저 농도와 같거나 더 낮아야 하며 각 화합물에 대해 주입된 분석 물질 질량과 상응하는 피크 면적 간의 관계식을 결정한다. 직선 범위에 걸친 곡선의 기울기가 분석한 휘발성 유기화합물의 감응계수이다.

$$A_{st} = b_{st} \times m_{st} + c_{st} \quad (\text{식 1})$$

여기서, A_{st} : 표준용액 크로마토그램에서 분석 물질 피크 면적(면적단위)

b_{st} : 검정곡선의 기울기

m_{st} : 표준 용액 중의 분석 물질 질량 (ng)

c_{st} : 검정곡선의 세로축 절편, 만일 검정곡선이 원점을 지나면 $c_{st} = 0$

4. 시료 채취 및 관리

4.1 고체흡착관을 이용한 시료 채취

시료 채취는 그림과 같이 흡착관, 시료채취용 흡인펌프 및 유량계로 구성된다.

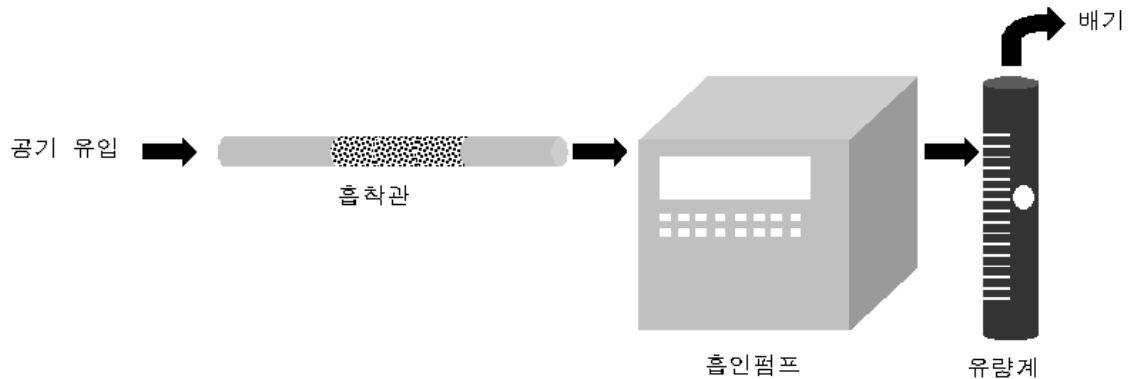


그림 2. 고체 흡착관을 이용한 시료 채취 장치

시료채취를 하기 전 시료채취용 펌프를 가동시키고 시료 채취 유속 또는 기록계 수치를 측정해 기록한 후 시작 시간, 온도 및 필요하다면 기압계 압력도 측정한다. 실내공기 중 휘발성유기화합물 측정 시 적절한 시료 채취 유속은 50 ~ 100 mL/min 범위이며 시료 채취 부피는 1 ~ 5 L범위로 연속 2회 측정한다. 농도를 알지 못하는 시료를 채취하는 경우에는 시료 채취 부피에 다르게 하여 세 개 이상의 비교 시료를 취하는 것이 바람직하다. 또한 건축자재로에서 방출되는 휘발성유기화합물 측정은 공급공기유량의 80 %이하로 하여 최소 2회 이상 측정한다. 시료 채취를 마칠 때에는 유속 또는 기록계 수치를 측정해 기록하고 펌프를 끈 다음 펌프가 꺼진 시간을 측정해 기록한다. 시료가 채취된 흡착관은 시료 채취선에서 분리하고 PTFE 패럴이 장착된 스크루마개 부품으로 양끝을 막은 후 단단히 밀봉하고 직사광선을 피해서 서늘한 곳에 보관하여 이동한다. 이동 후에는 4 °C 냉장보관 하며 변화 가능성을 피하기 위해 시료는 되도록 빨리 분석해야 하고 가급적이면 포집 후 4주 이내에 분석한다.

5. 분석절차

5.1 열탈착을 이용한 전처리

5.1.1 고체 흡착관 전처리

시료를 채취하기 전 관에 포집되어 있을 수 있는 미량의 유기 휘발성분을 제거하기 위해 비활성 가스를 50 ~ 100 mL/min로 흘려주면서 300 °C의 온도에서 10분간 미리 세척된 고체 흡착관을 안정화시킨다.

안정화 시킨 고체 흡착관은 PTFE 패럴이 장착된 금속 스크루 마개 부품으로 밀봉하고 실온에서 밀폐 용기에 보관한다. 안정화 시킨 시료 채취관은 4주 이내에 이용해야 한다. 4주 이상 보관된 관은 시료 채취 전에 다시 안정화시켜야 한다.

5.1.2 시료의 탈착

시료를 채취한 흡착관은 오염되지 않은 장갑을 사용하여 마개를 제거한 후, 열탈착 장치에 장착한다. 이때, 흡착관내의 수분을 제거하기 위해서 흡착관을 시료채취 반대방향으로 연결하여 탈착시킨다. 그런 다음 흡착관을 흡착제의 종류에 따른 운반기체 유량과 가열온도를 설정하여 시료가 완전히 이송될 수 있도록 탈착하고, 탈착된 시료는 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하의 저온 농축관으로 이송된다. 저온 농축관으로 이송된 시료를 다시 가열탈착한 후 시료를 적당히 분할하여 컬럼의 유량을 조정하고 기체크로마토그래프로 이송한다. 저온농축 및 열탈착 시 온도설정 조건은 사용하는 흡착제나 분석대상물질에 따라서 설정할 수 있다.

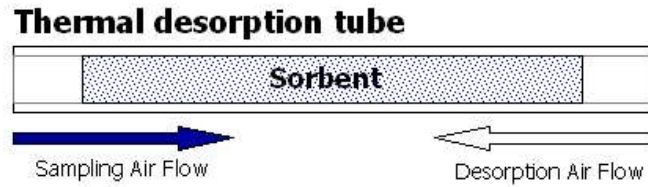


그림 4 고체흡착관의 시료채취방향과 열탈착방향의 예

5.2 분석법

5.2.1 시료 분석

휘발성유기화합물 시료는 되도록 시료 채취 시점으로부터 4주 이내에 분석한다. 현장 바탕 시료 및 적합한 표준 용액을 시료에 연이어 분석한다. 휘발성유기화합물을 MS로 식별하며 FID 또는 MS 크로마토그래프로 정량한다. 휘발성유기화합물의 식별은 순수 화합물의 질량 스펙트럼 또는 시판용 질량 스펙트럼 편람(라이브러리)과 단일 컬럼에서의 교정용 화합물의 머무름 시간과 일치 하여야 한다.

표 2 열탈착장치 및 기체크로마토그래프/질량분석기 분석조건의 예

열탈착장치	
탈착 온도	280 ~ 320 °C(흡착제에 따라)
탈착 유량	30 mL/min, 15 min
저온농축 트랩	흡착제(Tenax TA)
저온농축 흡착 온도	-10 ~ -20 °C
저온농축 탈착 온도	280 °C~ 300 °C
탈착 시간	15 ~ 20분
기체크로마토그래프	
주입기 온도	300 °C
운반기체 및 유량	순도 99.999 %의 비활성 기체, 1.0 ~ 1.5 mL/min
컬럼	길이 30~60 m, 안지름 0.25 ~ 0.32 mm 두께 0.25 ~ 0.33 μ m 의 결합형(bonded) 100 % dimethylpolysiloxane
온도 프로그램	40 °C(4 min) - 4 °C/min - 230 °C-20 °C/min - 280 °C(10min) (모든 목표 화합물이 용리될 때 까지)
질량분석기	
인터페이스 온도	250 °C
이온원 온도	200 °C
이온화 방법	전자이온화(70 eV)
질량 범위	35 m/z ~ 300 m/z

5.2.1.1 개별 휘발성유기화합물 분석

개별 휘발성유기화합물의 분석은 MS로 분석 할 경우 질량 분석 총이온 크로마토그램과 화합물의 유지 시간을 이용하여 시료에서 개별 휘발성유기화합물을 검출한다. 식별 방법은 총이온 크로마토그램을 순수 화합물의 질량 스펙트럼 또는 시판용 질량 스펙트럼 편람(라이브러리)과 비교한다. MS 작동에서 선택적인 이온 분석(SIM, select ion monitoring) 모드 또한 사용 가능하다. 취급자가 선택 가능한 부분으로서, 이 경우 취급자는 선택적인 이온 분석과 스캔 모드의 차이를 알고 있어야 한다.

FID를 이용하여 분석하는 경우 각각 단일 물질을 분석하여 확인하였을 경우에만 개별 휘발성유기화합물의 정량 분석이 가능하다.

개별 휘발성유기화합물의 검정곡선 작성 시 농도 범위는 최대, 최소 농도 차가 10배 이내 차이가 나야 하며 연속적으로 시료를 분석 할 때 마다 검정곡선을 작성하여 직선성은 0.999 이상 되어야 한다.

5.2.1.2 총휘발성유기화합물 분석

총휘발성유기화합물은 크로마토그램에서 헥산에서 헥사데칸까지의 범위에서 검출되는 모든 휘발성유기화합물로 표준물질 분석 시 헥산, 톨루엔, 헥사데칸이 반드시 포함되어 있어야 한다.

이때 검정곡선 작성을 위한 표준물질 농도의 범위는 최대, 최소 농도 차가 10배 이내 차이가 나야 하며 연속적으로 시료를 분석 할 때 마다 검

검정곡선을 작성하여 직선성은 0.999 이상 되어야 한다.

5.2.2 시료의 주입 시 고려사항

5.2.2.1 기체 시료 : 보통 기체시료 주입을 위한 전처리 장치(열탈착장치 등)를 사용하나 주사기(통상 0.5 ~ 5 mL)를 사용하여 주입할 수도 있다.

5.2.2.2 액체시료 : 시료 주입량에 따라 적당한 부피의 미량주사기(micro syringe, 1 ~ 100 μ L)를 사용하여, 시료 주입구로부터 빠르게 주입한다.

5.2.2.3 고체시료 : 용매에 용해시켜 액체시료 주입방법과 동일하게 주입한다.

6. 결과보고

6.1 개별 휘발성유기화합물의 농도계산

시료 중에 존재하는 분석 물질의 질량은 식 1에 따라 분석 물질의 감응 계수를 이용해 검출기 피크 면적으로부터 계산한다.

$$m_A = \frac{(A_A - C_A)}{b_{st}} \quad (\text{식 4})$$

여기서, m_A : 시료 중의 분석 물질 양(ng)

A_A : 시료의 크로마토그램에서 분석 물질의 피크 면적

b_{st} : 검정곡선 기울기

C_A : 검정곡선의 세로축 절편, 만일 검정곡선이 원점을 지나면 $C_A = 0$

시료 채취된 공기 중에 식별된 휘발성유기화합물의 질량 농도는 다음 식으로 계산한다.

$$\rho_A = \frac{(m_A - m_{A0})}{V_{(25\text{CENTIGRADE}, 1\text{atm})}} \quad (\text{식 5})$$

여기서, ρ_A : 시료 채취된 공기 중의 분석 물질 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

m_A : 현장시료 채취관에 존재하는 분석 물질 질량(ng)

m_{A0} : 바탕 시료관에 존재하는 분석 물질 질량(ng)

$V_{(25\text{C}, 1\text{atm})}$: 환산된 시료 채취 부피(L)

채취한 공기는 다음 식에 따라 25 $^{\circ}\text{C}$, 1기압 조건으로 보정하여 그 값을 환산하여 사용한다.

$$V_{(25\text{ CENTIGRADE}, 1\text{ atm})} = V \times \frac{T_{(25\text{ CENTIGRADE})}}{T_2} \times \frac{P_2}{P_{(1\text{ atm})}}$$

(식 6)

여기서, $V_{(25^\circ\text{C}, 1\text{ atm})}$: 25 °C, 1기압일 때 기체의 부피(L)

$T_{(25^\circ\text{C})}$: 25 °C의 절대온도(°K) (298 °K = 273+ 25 °C)

$P_{(1\text{ atm})}$: 1기압(atm)

V : 실제로 채취한 기체의 부피(L)

T_2 : 기체를 채취할 때의 절대온도(°K) (°K=273+ °C)

P_2 : 기체를 채취할 때의 기압(atm)

6.2 총휘발성유기화합물(TVOC)의 농도 계산

총휘발성유기화합물(TVOC)는 n-헥산과 n-헥사데칸 사이 크로마토그램의 총 면적을 고려한다. 톨루엔 감응 계수를 이용해, 면적을 톨루엔의 질량 단위로 전환한다.

$$m_A = \frac{(A_T - C_A)}{b_{st}} \quad (\text{식 7})$$

여기서, m_A : 시료 중의 분석 물질 양(ng)

A_t : 시료의 크로마토그램에서 헥산에서 헥사데칸 사이의 분석 물질 피크 면적의 합

b_{st} : 검정곡선 기울기

C_A : 검정곡선의 세로축 절편, 만일 검정곡선이 원점을 지나면 $C_A = 0$

식 4, 식 5와 식 6에 따라 시료 공기 중 총휘발성유기화합물 질량 농도를 계산한다.

실내공기질공정시험기준

실내 및 건축자재에서 방출되는 폼알데하이드 측정방법 -2,4 DNPH 카트리지와 액체크로마토그래프법

1. 적용범위

이 시험방법은 공동주택실내공기 중에 존재하는 폼알데하이드 농도를 측정하기 위한시험방법으로 2,4-DNPH유도체화 HPLC 분석법을 사용한다.

2. 시료채취방법

2.1 측정원리

측정대상 실내공기의 일정량을 채취하여 2,4-디니트로페닐히드라진(2,4-DNPH ; 2,4-Dinitrophenylhydrazine) 으로 유도체화한 후, 2,4-DNPH 유도체를 고성능액체크로마토그래프(HPLC)에 주입하여 자외선흡광검출기의 흡수파장 360nm 에서 검출되는 크로마토그램의 높이 또는 면적 등으로 폼알데하이드의 농도를 구한다. 반응식은 다음 식으로 표시된다.

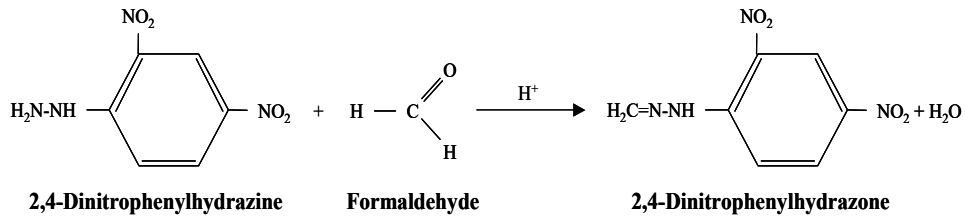


그림 5 폼알데하이드의 반응식

2.2 시료채취장치

2.2.1 DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine) 카트리지

DNPH로 코팅된 카트리지는 여러 공급자들에 의해 상용화가 이루어져 있다. 상용화된 카트리지는 아래의 조건에 준하거나 동등 이상의 성능을 갖추어야 한다.

표 3 DNPH 카트리지의 조건

조 건	내 용
입자크기	150~250 μm (60/100 mesh)
DNPH 부하량	0.29 % (1 mg/cartridge)
베드(Bed) 무게	약 350 mg
용량	전체 카르보닐 화합물의 약 75 μg
배경농도	0.1 μg 이하

2.2.2 오존 스크리버

오존스크리버는 고순도의 요오드칼륨(KI)으로 충전되어 DNPH와 반응하는 오존을 제거해 준다. 습도가 높은 장소에서는 사용에 주의해야 한다.

2.2.3 흡인펌프

측정하고자 하는 유량을 정확하게 채취할 수 있어야 한다.

2.2.4 유량계

카트리지를 통과하는 유량을 정확하게 측정하고 제어할 수 있는 장치이어야 한다.

2.2.5 온습도계

폼알데하이드 채취시간 동안의 실내 온도 및 습도를 정확하게 측정할 수 있어야 한다.

2.3 시료채취

시료채취 전 냉장보관했던 카트리는 용기에서 꺼내어 실온이 될 때까지 따뜻하게 둔다. 카트리가 실온이 되면 폴리글러브를 낀 손으로 카트리의 마개를 제거하고 시료채취장치에 그림 6와 같이 카트리를 연결한다. 유리튜브(glass-tube)로 제작된 카트리의 경우에는 카트리의 양 끝을 깎은 후 시료채취장치에 연결한다. 시료채취는 0.5 L/min에서 1.2 L/min의 유속으로 30분간 연속 2 회 채취한다. 단, 채취 시간은 현장여건 및 장치의 특성에 따라 조절이 가능하다. 시료채취 시 알루미늄 호일 등을 이용하여 DNPH 카트리가 빛에 노출되는 것을 차단한다.

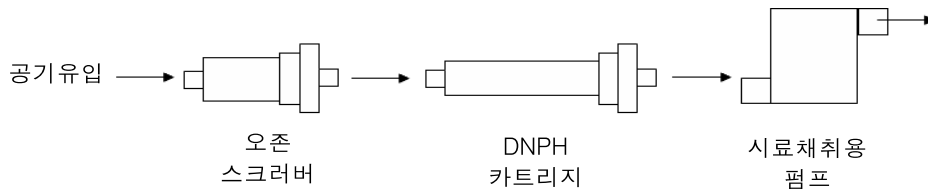


그림 6 DNPH 카트리지와 오존스크리버를 이용한 시료채취장치

2.4 시료보관 및 운반

알루미늄호일 등으로 카트리를 싸서 빛을 차단하여 4℃ 이하의 냉암소에 보관하며, 채취된 시료는 가능한 한 신속히 분석한다.

3. 분석방법

이 방법은 2,4-디니트로페닐히드라진(2,4-DNPH ; 2,4-Dinitrophenylhydrazine)으로 코팅된 실리카겔을 포함하고 있는 카트리를 이용하여 실내공기중의 폼알데하이드를 채취하여 고속액체크로마토그래피(HPLC) 분석방법으로 폼알데하이드의 농도를 측정하는 방법이다.

3.1 오존에 의한 간섭

오존은 카트리지 내에서 DNPH 및 그 유도체와 반응하여 방해물질로 작용한다. 시료에 오존이 존재하면 폼알데하이드 유도체의 머무름 시간보다 더 짧은 머무름 시간을 가진 새로운 화합물의 출현으로 분석에 방해가 된다. 따라서 오존에 의한 간섭작용을 최소화하기 위해서는 DNPH 카트리지의 앞부분에 오존스크러버(Ozone scrubber)를 직렬로 연결하여 사용하는 것을 원칙으로 한다.

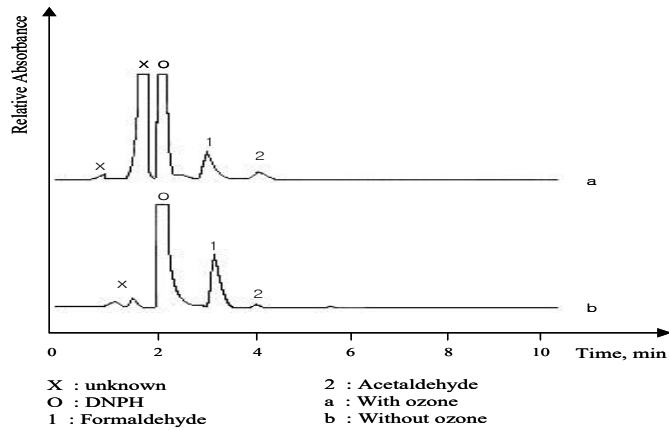


그림 8 오존 유무에 따른 폼알데하이드 분석결과의 비교

3.2 검량선의 작성

DNPH유도체화 폼알데하이드 표준용액(1,000ppm in Acetonitrile)을 희석하여 0.1~10 ppm 사이에 3~5개의 표준시료를 제조하며, 이 때 표준시료의 농도는 미지시료의 농도가 포함될 수 있는 범위로 설정하고, 각각의 표준시료는 가장 높은 농도와 가장 낮은 농도의 차이가 10배를 넘지 않도록 한다. 준비된 표준시료를 분석하여 폼알데하이드의 면적을 구하고 이를 이용하여 검량선을 작성한다.

※ 주의사항 - 검량선 작성시 표준용액의 농도는 폼알데하이드로 수정된 농도를 사용한다.

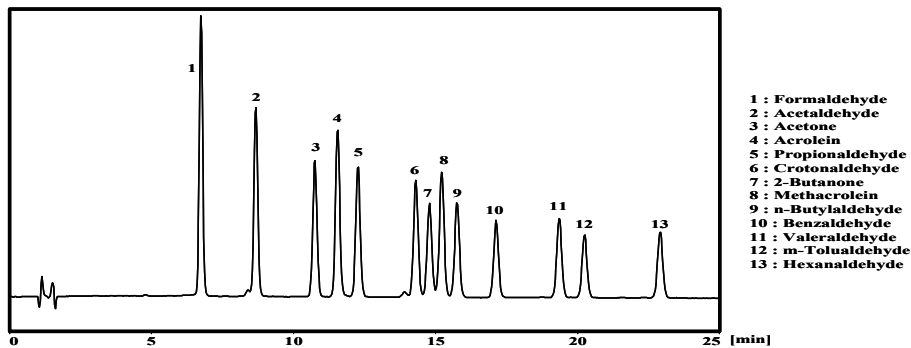


그림 9 DNPH-폼알데하이드 유도체 표준용액의 HPLC 크로마토그램 예

HPLC 조건

- 컬럼 ; C-18(ODS) 역상컬럼(150 × 4.6mmID)
- 이동상 ; A: 물 / 테트라하이드로퓨란(8/2, v/v), B: 아세토니트릴
- 기울기 용리 조건 ; 0->25min B 20->60%, 25->40min B 20% hold
- 유량 ; 1.5mL/min
- 온도 ; 40℃
- 검출기 ; 360nm(UV)

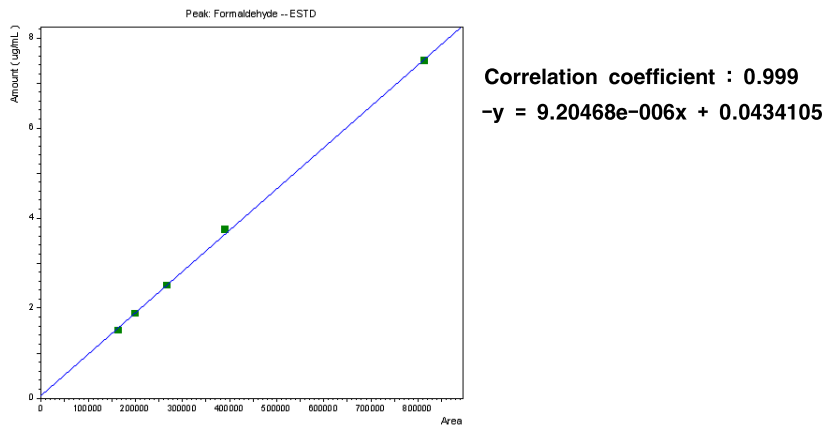


그림 10 DNPH-폼알데하이드 유도체 표준용액의 검량선 예

3.3 시료의 전처리

2,4-DNPH 카트리지에 5mL 아세토니트릴을 이용하여 용출시킨다.

3.4 이동상의 조성

각 분석전에 안정된 상태를 유지하기 위해 검출기의 바탕선을 점검한다. 이동상은 아세토니트릴과 물 혼합용액 (6:4)을 사용하거나 폼알데하이드 분리 분석에 적당한 이동상을 사용한다.

3.5 시료의 분석

시료분석은 고성능액체크로마토그래프(High performance liquid chromatograph)를 이용한다.

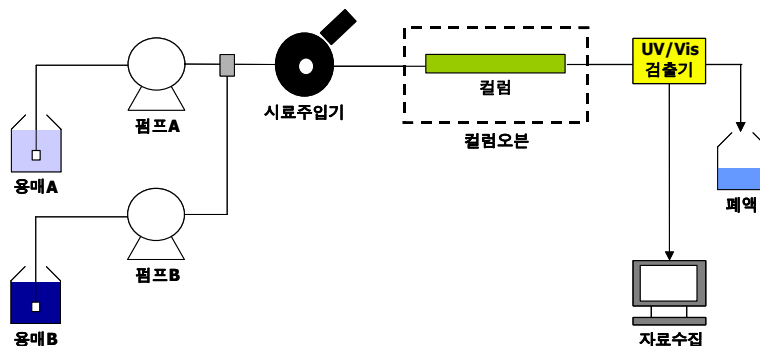


그림 11 폼알데하이드 분석시스템의 구성 예

HPLC 장치에 이동상을 준비한 후, 분석시스템의 안정을 위해, 최초 분석 전 까지 약 20~30 분 동안 펌프를 유량 1.0 mL/min 으로 가동한다. 최초 분석 전 시스템의 안정도의 확인을 위해 적분기(Integrator) 또는 이에 상응하는 장치를 이용하여 시스템에서 나오는 신호가 평형상태에 이르렀는지를 확인한다.

시스템이 평형화된 안정상태에 이르렀다고 판단이 되면, 시료를 HPLC용 주사기(Micro-syringe) 또는 자동시료주입장치를 이용하여 시료주입용 밸브에 주입하여 분석을 시작한다.

DNPH-폼알데하이드 유도체 및 카르보닐화합물이 모두 용출되고 분석이 완료되면 다음 시료를 준비하고 위와 같은 방법으로 분석을 수행한다. 분석한 결과가 HPLC 시스템의 검출 상한을 넘을 경우에는 시료를 희석하거나, 시료 주입량을 줄여서 분석하여야 한다. 또한, 목적성분의 머무름 시간이 초기의 분석조건과 동일하지 않을 경우(목적성분 검출시간의 ±5 % 범위)에는 아세토니트릴과 물의 혼합비율을 조절하여 머무름 시간을 조절한다.

표 4 HPLC의 분석조건 예

운 전 인 자	조 건
컬 럼	C-18 컬럼(ODS, 길이 250mm x 내경 4.6mm), 또는 이와 동등한 것
이동상	아세토니트릴/물 = 60/40 (v/v) 또는 분리 분석에 적당한 용매
자외선검출기	360 nm
유 량	1.0 mL/min
시료 주입량	20μL

3.6 농도 계산

분석결과로부터 얻은 크로마토그램의 면적값을 검량선에 대입하여 실내공기 중 폼알데하이드의 농도를 산출한다.

$$C_A = (A_s - A_b) \times V \div Q$$

C_A : 실내공기시료 중 폼알데하이드의 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

A_s : 실내공기시료 분석결과값($\mu\text{g}/\text{mL}$)

A_b : DNPH 카트리지의 바탕실험값($\mu\text{g}/\text{mL}$)

V : 아세토니트릴 추출부피(mL)

Q_i : 총흡인시료량(m^3)

(채취 종료 후 적산유량(m^3) - 채취직전 적산유량(m^3))

※ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 농도를 ppb 농도로 환산할 경우에는 20°C, 1기압 조건에서 보정하여 환산하는 것을 원칙으로 한다.

제 3 장 측정 및 분석법

3.1 시료채취방법

3.2 시료채취조건

3.3 시료채취장소

3.4 휘발성유기화합물 분석

3.5 폼알데하이드분석

제 3 장 측정 및 분석법

3.1 시료채취방법

휘발성유기화합물은 SUPELCO社 TENAX TUBE를 사용하였고 펌프를 작동시킨 후 30분간 2회 채취하였다. 폼알데하이드는 EVERGREEN TOP社 오존 스크리버를 장착한 KITAGAWA DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine) 카트리지를 펌프에 작동시킨 후 30분간 2회 채취하였다. 라돈의 신축 공동주택 내 시료채취는 연속측정방법으로 최저층에서 측정하였다. 공동주택의 총 세대수가 100 세대일 때 3세대를 측정하고 이후 100 세대가 증가할 때마다 1 세대씩 추가하며 최대 5 세대까지 시료를 채취하였다.

3.2 시료채취조건

- (1) 온도조건 : 시료채취시의 실내온도는 23.3℃ ~ 26.3℃ 였다.
- (2) 기류조건 : 측정 시 기류속도는 0.1m/s 이하 였다.

3.3 시료채취장소

- (1) 시료채취세대수 선정
하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장 내 8지점을 정하여 측정하였다.
- (2) 단위세대에서의 시료채취 장소
시료의 채취는 거실 중앙부에서 실시하였고, 바닥면으로부터 1.5m 높이를 기본 측정점으로 하였다.

3.4. 휘발성유기화합물 분석

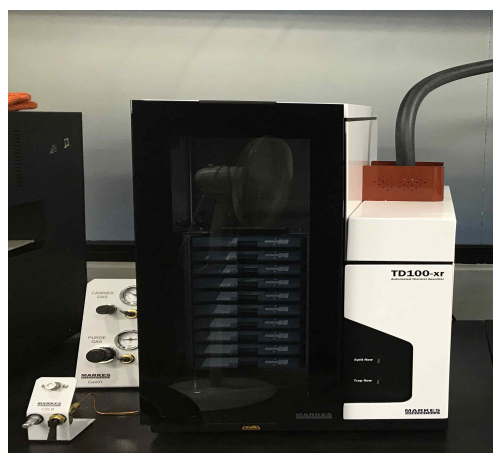
휘발성유기화합물(Volatile organic compounds, VOCs)의 농도를 분석하기 위하여 질량 분석계를 이용한 고체흡착열탈착법(TD-GC/MS)에 의한 시험방법을 선택했다. 고온과 불활성기체를 이용하여 흡착제로부터 휘발성유기화합물을 탈착시켜 기체크로마토그래프로 전달시켜 톨루엔, 벤젠, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌을 정량화 했다. 또한 흡착관을 사용하기 전에 열탈착 장치에 의해서 보통 350℃ (흡착제별로 사용하는 최고온도를 고려하여 조정)에서 순도 99% 이상의 헬륨기체 5 mL/min로 적어도 2시간 동안 안정화시킨 후 사용했다.

분석기와 사용 컬럼 및 표준시료는 다음과 같다.

- (1) 분석기기 - 가스크로마토그래프/질량분석계(GC/MS)
VARIAN CP-3800/ VARIAN SATURN 2200
- (2) 열탈착장치(TD) - Perkin Elmer Turbomatrix 650
- (3) 사용컬럼 - CP-SIL 5CB (60m × 0.25mm × 1.0 μ m film thickness)
- (4) 표준시료 - 52Component Indoor Air Standard
100 μ g/ml in methanol : water (95:5)
Adsorbent Tube Injector System
- (5) 포집튜브 - Prepacked Thermal Desorption Tube - Tenax TA



[가스크로마토그래프/질량분석계-GC/MS]



[열탈착장치 - TD]

3.5. 폼알데하이드 분석

2,4-디니트로페닐히드라진(2,4-DNPH ; 2,4-Dinitrophenylhydrazine)으로 코팅된 실리카겔을 포함하고 있는 카트리지를 이용하여 실내공기중의 폼알데하이드를 채취하여 고성능액체크로마토그래피(HPLC) 방법으로 분석하였다. 오존에 의한 간섭작용을 최소화하기 위해서DNPH 카트리지의 앞부분에 오존스크리버(Ozone scrubber)를 사용하였고, DHPN유도체화 폼알데하이드 표준용액을 아세토니트릴로 희석하여 표준시료를 제조하여 분석하였고, 폼알데하이드의 면적을 구하고 이를 이용하여 검량선을 작성하였다.

HPLC 장치에 이동상을 준비한 후, 분석시스템의 안정을 위해, 최초 분석 전까지 약 20~30분 동안 펌프를 유량 1.0mL/min으로 가동했으며, 시료를 HPLC용 주사기(Micro-syringe)로 시료주입용 밸브에 주입하여 분석을 시작했다.

- (1) 분석기기 - 고속액체크로마토 그래프 (HPLC) (1260 Infinity II Agilent)
- (2) 사용컬럼 - Agilent InfinityLab Poroshell 120 EC-C18 (3*150mm , 4- Micron)
- (3) 이동상 - Acetonitrile : Water = 4.5 : 5.5
- (4) 표준시료 - Formaldehyde-2,4-DNPH (100 μ g/ml in acetonitrile)
- (5) 자외선 검출기 - 360 nm
- (6) 유량 - 0.5ml/min
- (7) 시료주입량 -6 μ l
- (8) 포집튜브 - LpDNPH s-10/ Ozone Scrubber



[고속액체크로마토 그래프 (HPLC)]



[Acetonitrile 5ml로 추출]

■ 제 4 장 측정결과 및 결론

4.1 측정결과 및 농도분포 그래프

4.2 결 론

제 4 장 측정결과 및 결론

4.1 측정결과 및 농도분포 그래프

(1) 측정결과

하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장 실내공기질 측정결과는 표 4.1과 같다. 총 8개 지점으로 측정 시 각 항목의 농도는 폼알데하이드 4.8 ~ 34.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 91.1 ~ 1030.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 벤젠은 불검출, 에틸벤젠 17.0 ~ 117.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 자일렌 32.5 ~ 164.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 스티렌 19.8 ~ 324.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 라돈 49.0 ~ 96.8 로 나타났다.

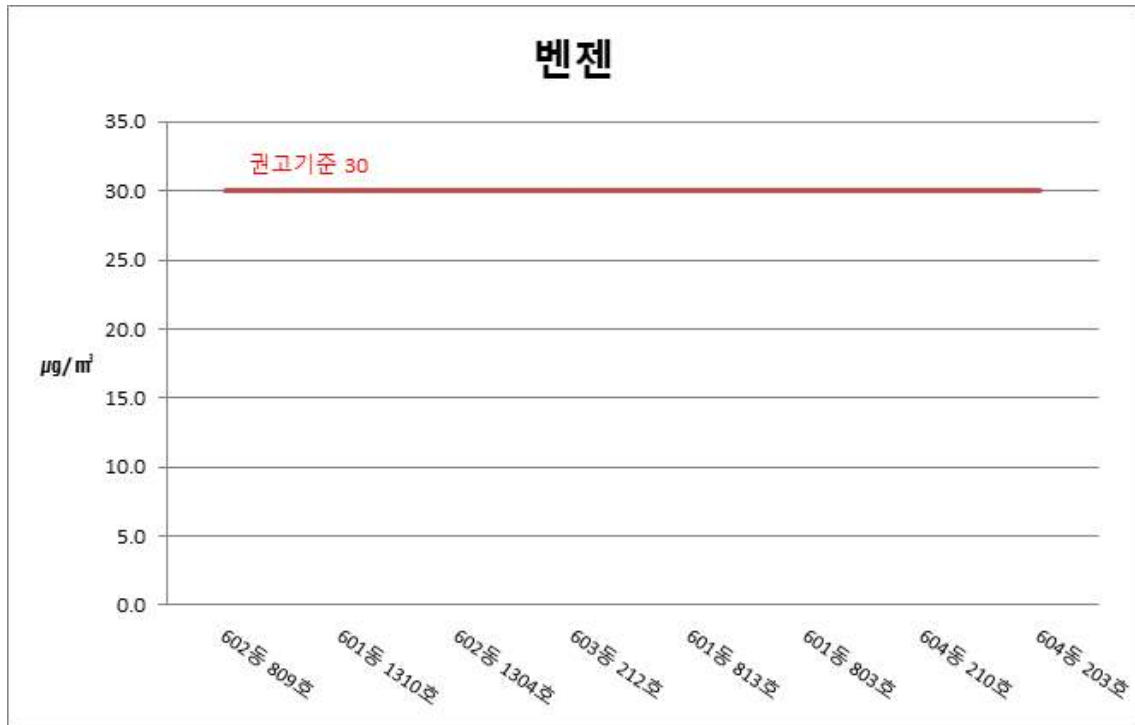
표 4.1 측정결과

	측정 지점별 각 항목의 농도 결과							
	측정위치	벤젠	톨루엔	폼알데하이드	에틸벤젠	자일렌	스티렌	라돈
측 정 결 과	602동 809호	N.D	256.0	20.1	48.7	59.9	108.0	-
	601동 1310호	N.D	91.1	6.4	17.0	32.5	19.8	-
	602동 1304호	N.D	320.4	22.1	76.5	69.7	229.2	-
	603동 212호	N.D	257.0	4.8	33.3	59.5	53.8	-
	601동 813호	N.D	376.5	28.1	76.9	130.2	155.4	-
	601동 803호	N.D	670.7	34.2	108.0	151.6	298.7	-
	604동 210호	N.D	308.5	14.9	26.0	36.7	82.5	-
	604동 203호	N.D	948.4	30.7	68.9	108.1	203.8	-
	601동 105호	-	-	-	-	-	-	70.0
	602동 110호	-	-	-	-	-	-	49.0
	602동 112호	-	-	-	-	-	-	71.7
	603동 110호	-	-	-	-	-	-	96.8
	604동 110호	-	-	-	-	-	-	79.9
	평균	N.D	403.6	20.2	56.9	81.0	143.9	73.5
	권고기준	30이하	1,000이하	210이하	360이하	700이하	300이하	148이하
평가	기준미만	기준미만	기준미만	기준미만	기준미만	기준미만	기준미만	

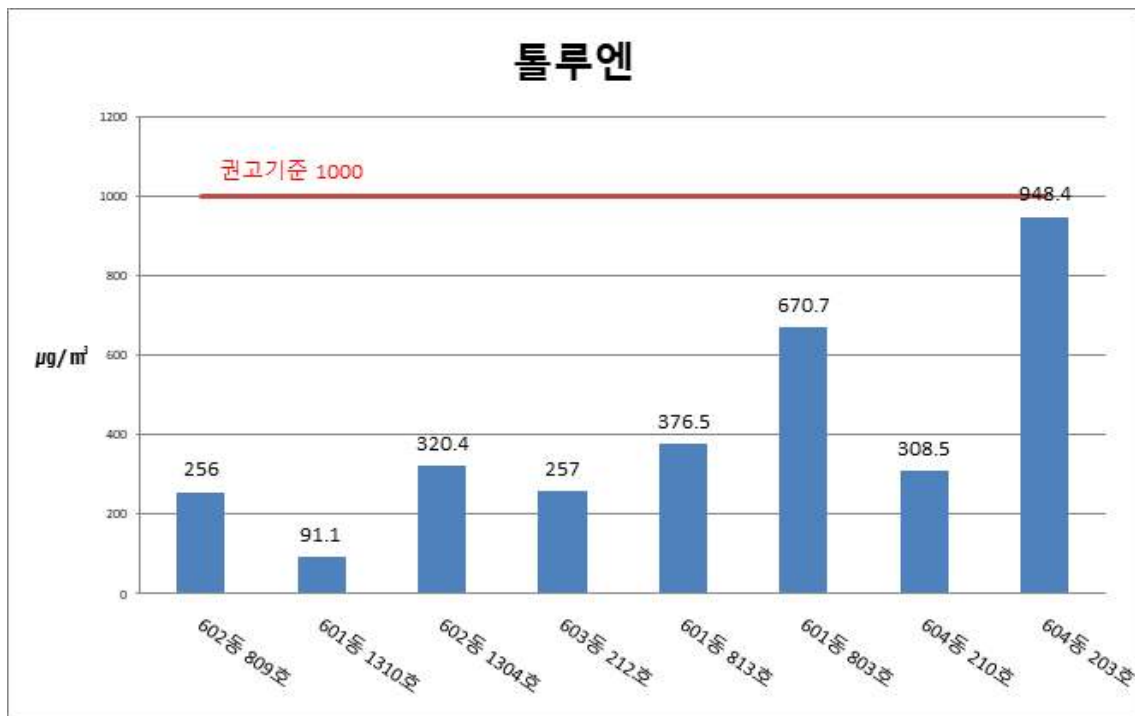
비고: 1. 오염물질의 단위는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 한다.

2. N.D 불검출

(2) 벤젠 농도 그래프



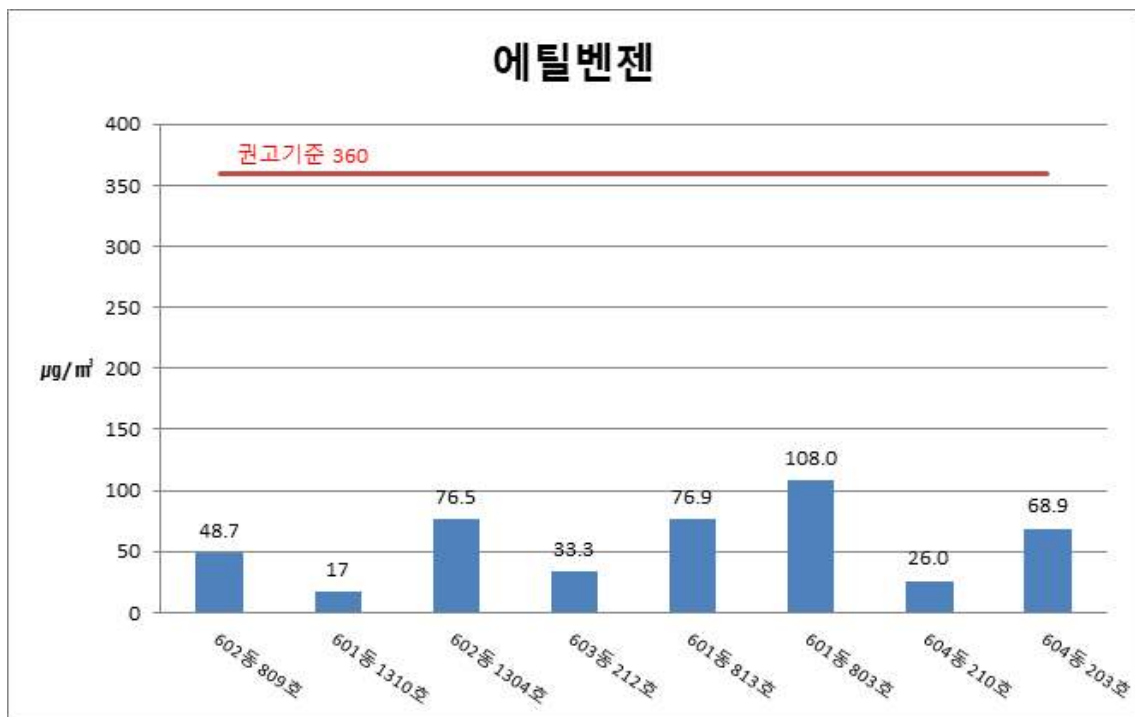
(3) 톨루엔 농도 그래프



(4) 폼알데하이드 농도 그래프



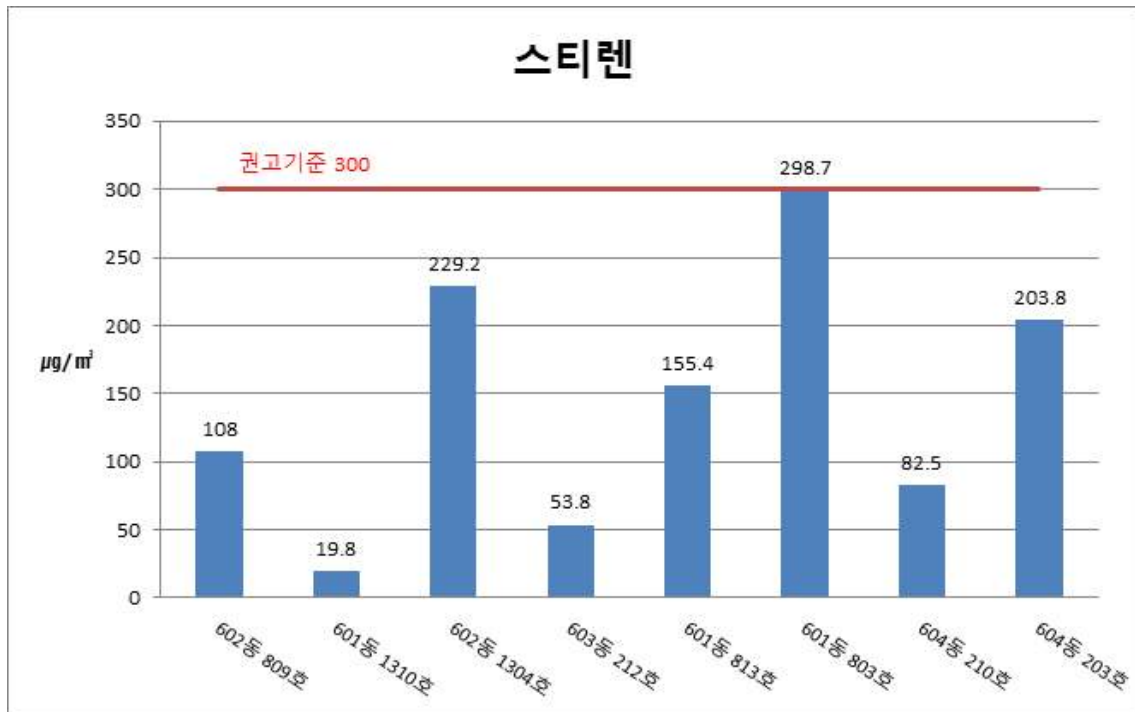
(5) 에틸벤젠 농도 그래프



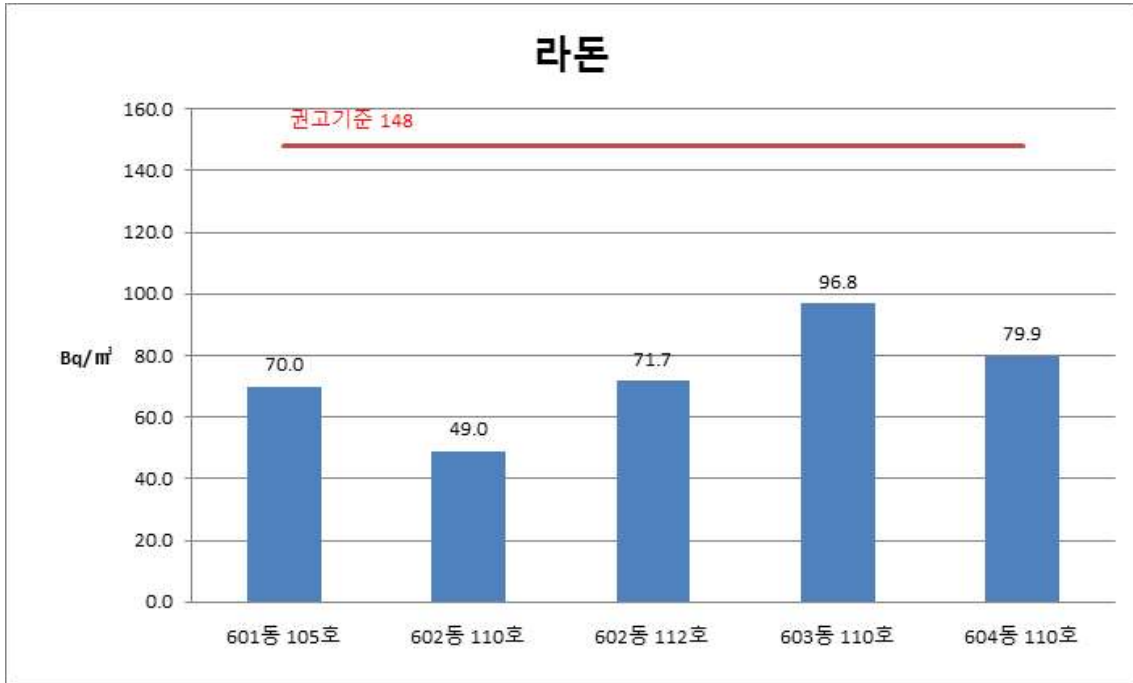
(6) 자일렌 농도 그래프



(7) 스티렌 농도 그래프



(8) 라돈 농도 그래프



4.2 결 론

본 용역은 하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장 실내 공기질을 측정 및 평가하고 관련 규제기준의 달성여부를 파악하여 제시하는데 그 목적이 있으며, 본 용역에서 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 폼알데하이드

하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장 8개 지점에서 측정한 폼알데하이드의 평균농도는 $20.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 신축공동주택 권고기준 $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만을 만족하는 수준으로 나타났다.

(2) 휘발성유기화합물질 5종

하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장 8개 지점에서 측정한 평균농도는 톨루엔 $403.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 벤젠 불검출, 에틸벤젠 $56.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 자일렌 $81.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 스티렌 $143.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 신축공동주택 권고기준에 모두 만족하는 수준으로 나타났다.

(3) 라돈

하남감일지구 A-6BL 민간참여 공공주택 건설사업 현장 5개 지점에서 측정한 라돈 평균농도는 $73.5 \text{Bq}/\text{m}^3$ 로 신축공동주택 권고기준을 만족하는 것으로 나타났다.

< 별첨 >

1. 측정사진
2. 측정대행업 등록증
3. 정도관리 검증서

1. 측정사진

<p>602동809호</p> <p>602 - 809</p> 	<p>601동1310호</p> <p>601 - 1310</p> 
<p>602동1304호</p> <p>602동 1304호</p> 	<p>603동212호</p> <p>603-212</p> 
<p>601동813호</p> 	<p>601동803호</p> 
<p>604동210호</p> 	<p>604동203호</p> 

<p>601동 105호</p>	<p>602동 110호</p>
	
<p>602동 112호</p>	<p>603동 110호</p>
	
<p>604동 110호</p>	
	

2. 측정대행업 등록증

(앞쪽)

등록번호 제 성동-1 호

측정대행업 등록증

대기 수질 소음·진동 실내공기질 약취

성명 (법인의 경우 대표자)	최진영
상호(사업장명칭)	(주)한국보건환경연구소
사업장소재지	성동구 성수이로 87 성문빌딩 2층(성수동2가) (전화번호 : 453-7315~7)
실험실소재지	성동구 성수이로 87 성문빌딩 2층(성수동2가) (전화번호 : 453-7315~7)
측정대행항목	(1) 미세먼지(PM10), (2) 이산화탄소(CO ₂), (3) 포름알데히드(HCHO), (4) 총부유세균, (5) 일산화탄소(CO), (6) 이산화질소(NO ₂), (7) 라돈(Rn) (8) 휘발성유기화합물(VOC), (9) 석면, (10) 오존(O ₃)
등록조건	측정대행업자의 준수사항을 이행할 것

「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제16조제3항과 같은 법 시행규칙 제14조제6항에 따라 측정대행업의 등록을 하였음을 증명합니다.

2020년 3월 11일

성동구청장인 

原本對照筆 

3. 정도관리 검증서



관리번호 : 제2019-201호

환경부

정도관리검증서 Certificate of Environmental Laboratory

1. 기관명 : (주)한국보건환경연구소
2. 대표자 : 최진영
3. 법인(사업자)등록번호 : 206-86-10376
4. 주 소 : 서울특별시 성동구 성수이로 87 (성수동2가)신관2층
5. 유효기간 : 2019년 01월 01일 ~ 2021년 12월 31일
6. 검증분야 : 실내공기질 (일반항목, 유기물질, 기타)

「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제18조의2 및 같은 법 시행규칙 제17조의3제1항 에 따라 정도관리 실시결과 판정기준에 적합한 기관임을 확인합니다.

2018년 12월 18일

국립환경과학원



原本對照筆

