

碩士學位論文

석유화학공장 공조설비 건물의
TVOCs 측정결과

2005年

漢城大學校 安全保健經營大學院

安全保健經營學科

産業衛生工學專攻

金 在 鍾

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

석유화학공장 공조설비 건물의
TVOCs 측정결과

Study on VOCs Concentrations both Inside and Outside
Buildings in a Petroleum Refinery Industry

2004年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

安全保健經營學科

産業衛生工學專攻

金 在 鍾

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

석유화학공장 공조설비 건물의
TVOCs 측정결과

Study on VOCs Concentrations both Inside and Outside
Buildings in a Petroleum Refinery Industry

위 論文을 産業衛生工學 碩士論文으로 提出함

2004年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

安全保健經營學科

産業衛生工學專攻

金 在 鍾

金 在鍾의 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

2004年 12月

심사위원장 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

목 차

I. 서 론	1
1. 연구배경 및 필요성	1
2. 연구목적	3
II. 측정 및 연구 방법	4
1. 연구대상	4
2. 측정 및 조사항목	4
3. 측정 시료보관 및 이송	5
4. 측정 및 분석	5
4.1 시료 포집방법	5
4.2 시료 분석방법	6
5. 시료채취 및 분석의 신뢰도 평가	7
5.1 시료 포집의 신뢰도 평가	8
5.2 시료 분석의 신뢰도 평가	10
III. 연구결과 및 고찰	11
1. 정상운전 시 공조건물 실내외 VOCs측정결과	1
1.1 실내외 THC스농도 비교	11
1.2 실내외 Benzene농도 비교	5
1.3 실내외 Toluene농도 비교	9
1.4 실내외 Xylene농도 비교	23
2. 대 정비작업 공정 건물의 실내외 VOCs 측정결과	2

2.1 실내외 THC스농도 비교	2
2.2 실내외 Benzene농도 비교	3
2.3 실내외 Toluene농도 비교	3
2.4 실내외 Xylene농도 비교	3
3. 정상운전과 대 정비작업의 실내외 THC스농도 비교	5
4. 건물의 케미컬필터 유무에 따른 실내외 VOC스측정결과	6
4.1 케미컬필터가 설치된 건물의 실내외 THC스농도 비교	6
4.2 케미컬필터가 설치되지 않은 건물의 실내외 THC스농도 비교	8
5. 현장부서와 사무부서의 실내외 VOC스측정결과	4
5.1 현장부서 건물의 실내외 THC스농도 비교	4
5.2 사무부서 건물의 실내외 THC스농도 비교	4
6. 향후과제	46
 IV. 결 론	 48
 참고문헌	 50

List of Tables

Table 1. Analytical condition of volatile organic compounds by GC/MSD/TD	7
Table 2. Limit of detection, coefficient of variation (C.V.(%)) and concentration level for working standard on analytical chemistry (Unit : $\mu\text{g}/\text{sample}$)	8
Table 3. Coefficient of variation (C.V.(%)) for validity test of sampling by repetitive measurement	9
Table 4. Coefficient of variation (C.V(%)) for validity test of analysis by repetitive measurement	10
Table 5. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation)	12
Table 6. Distribution of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation)	16
Table 7. Distribution of toluene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation)	20
Table 8. Distribution of xylene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation)	24
Table 9. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting)	29

Table 10. Distribution of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting)	31
Table 11. Distribution of toluene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting)	32
Table 12. Distribution of xylene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting)	34
Table 13. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation and during turnaround troubleshooting)	35
Table 14. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(Installed carbon filters in air supplying inlet)	37
Table 15. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(Not installed carbon filters in air supplying inlet)	39
Table 16. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(Building in production area)	42
Table 17. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings	44

List of Figures

Figure 1. Lognomal distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	14
Figure 2. THC's concentrations by sampling site inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	14
Figure 3. Comparison of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	15
Figure 4. Lognomal distribution of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	18
Figure 5. Benzene concentrations by sampling site inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	18
Figure 6. Comparison of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	19
Figure 7. Lognomal distribution of toluene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	

.....	22
Figure 8. Toluene concentration by sampling site inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	
.....	22
Figure 9. Comparison of toluene concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during normal operations)	23
Figure 10. Lognomal distribution of xylene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	
.....	26
Figure 11. Xylene concentration by sampling site inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations)	26
Figure 12. Comparison of xylene concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during normal operations)	27
Figure 13. Lognomal distribution of THCs concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting)	29
Figure 14. Comparison of THCs concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during turnaround troubleshooting)	
.....	30
Figure 15. Comparison of benzene concentrations inside and outside	

of the HAVC buildings(during turnaround troubleshooting)	31
Figure 16. Comparison of toluene concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during turnaround troubleshooting)	33
Figure 17. Comparison of xylene concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during turnaround troubleshooting)	34
Figure 18. Comparison of THC's concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during normal operation and during turnaround troubleshooting)	36
Figure 19. Comparison of THC's concentrations inside and outside of the HAVC buildings(Installed carbon filters in air supplying inlet).	38
Figure 20. Comparison of THC's concentrations inside and outside of the HAVC buildings(Not installed carbon filters in air supplying inlet).	40
Figure 21. Comparison of THC's concentrations inside and outside of the HAVC buildings(Building in production area)	43
Figure 22. Comparison THC's concentrations inside and outside of the HAVC buildings(Office building)	45

I. 서 론

1. 연구배경 및 필요성

세계적으로 매년 휘발성 유기화합물질(Volatile Organic Compounds : VOCs)이 포함된 원료와 제품을 대규모로 취급하고 있고, 그 중 많은 부분이 제조 및 취급과정에서 대기로 배출되어 환경과 인체에 직, 간접적으로 위해를 끼치고 있다.¹⁾

휘발성 유기화합물질(VOCs)은 건축자재, 가구, 접착제, 카펫, 흡연 및 연료의 연소 등 다양한 오염원으로부터 방출되는 것으로 보고 있으며⁹⁾, 휘발성 유기화합물질(VOCs)은 빌딩증후군(Sick Building Syndrome: SBS)의 원인물질로 추정되고 있다.⁴⁾

빌딩증후군은 건물에서 근무하는 사람들에서 눈, 코, 목구멍, 호흡기, 피부 등의 자극증상과 두통, 정신적 피로감, 어지럼증 등이 높게 호소되는 경우를 총칭한다.^{14),3)} 42개 건물에서 근무하는 4,373명의 영국인을 대상으로 한 SBS의 증상 유병율과 관련요인에 관한 연구에서 중앙 집중 환기시설이 있는 건물에서 근무하는 근로자가 일반 건물에서 근무하는 근로자들보다 증상 호소율이 높게 나타났다.^{10),3)}

최근에 실내 환경이 대두되고 여러 가지 실내 환경 유해인자 중 VOCs에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 과거의 연구에 의하면 공기 중의 금속성분과 휘발성 유기화합물질(VOCs)은 도시환경에서 중요한 발암성물질¹¹⁾이거나 만성 또는 급성의 건강장해를 일으키는 물질로 알려짐에 따라¹²⁾ 휘발성 유기화합물질이 공중보건에 나쁜 영향을 미치는 것으로 조사되고 있다.^{13),4)}

현대사회는 에너지비용의 절감을 위해 건물의 형태가 점차 밀폐화

되어가고 있는 추세이며⁵⁾, 이로 인해 실내 환경의 문제는 더욱 크게 대두되고 있는 실정이다.

이번 조사를 실시한 석유화학공단은 생산설비가 옥외에 설치된 산업으로 VOCs를 대기로 배출하는 가장 큰 산업이다. 우리나라는 여수, 울산, 서산 등이 석유화학 밀집지역이고, 1996년 여천공단을 특별대책지역으로 지정하면서 공단지역에서의 VOCs규제가 시작되었고, VOCs규제법 시행 이후 VOCs저감을 위한 여러 가지 기술이 개발되어 그 결과 스택, 저장탱크 등 점오염원으로부터 배출되는 오염물질의 상당량을 줄일 수 있었다.¹⁾

본 연구에서는 석유화학공단 내에 있는 건물의 실내외 환경에서 VOCs에 대한 농도수준을 조사하고자 하였다. 석유화학공단의 공정 특성상 설비의 자동운전과 근무자에 의한 설비의 수동운전을 위해 공정 옆에 조정실이 있고, 조정실은 방폭을 위해 자연환기가 아닌 강제급기시설에 의해 환기가 이루어지고 있다. 이로 인해 석유화학공단에서 배출하는 VOCs가 석유화학공단 내에 존재하는 공조건물의 실내 VOCs노출에 가능성이 있다. 따라서 다음과 같은 가설을 세우고 조사를 수행하였다.

첫째, 공정이 정상가동 중에 발생하는 VOCs가 공조건물 실내의 VOCs 농도에 영향을 줄 것이다.

둘째, 대정비작업 등에 의한 건물 주변에서 발생하는 고농도의 VOCs가 공조건물 실내의 VOCs농도에 더 큰 영향을 줄 것이다.

셋째, 공조설비의 급기부분에 케미컬필터가 설치된 건물과 설치되지 않은 건물은 실내의 VOCs농도가 다를 것이다.

이런 가설을 구체적으로 입증하기 위해 이번 연구사업장 내에 있는 공조 시설건물 25개를 대상으로 각 건물별로 정상운전과 대 정비작업 시 건물 실내외 VOCs측정을 실시하였다.

이번 조사대상 사업장은 석유화학공단 내에서도 2001년도 국내에서 최초로 LDAR(Leak Detection And Repair)시스템의 도입으로 플랜지, 밸브 등의 비산 배출원으로부터의 VOCs배출량을 상당량 줄인 사업장으로 동일 지역 산단 내에서는 VOCs 발생량을 가장 적극적으로 대처하는 사업장이다. 그럼에도 불구하고, 설비에서 발생하는 VOCs에 대해 원천적인 배출을 막지는 못하고 있는 실정이다. 본 조사 사업장 현장근무자의 경우가끔 조정실에서의 악취에 대한 호소를 하고 있었으며 실제로 본 연구를 수행한 사업장의 악취에 의한 대기질 평가결과⁶⁾ mercaptan, 황화수소와 함께 VOCs농도가 다른 도시지역에 비해 높은 것으로 조사된 바 있다. 따라서 사업장내의 실내 환경 중 VOCs농도도 높을 것으로 예상된다.

2. 연구목적

첫째, 석유화학공단 공기조화설비 건물의 실내와 실외의 VOCs농도를 측정하여 실외의 VOCs농도와 실내의 VOCs농도간 관계를 평가하고자 하였다. 화학공장은 설비의 자동운전과 근무자에 의한 설비의 수동운전을 위해 생산설비 주위에 조정실이 있고, 근무자들은 조정실과 생산현장을 오가며 업무를 수행하고 있다. 조정실 건물에는 강제급기 시설인 공기조화설비가 설치 운영중이나 대부분 건물에 VOCs에 대한 대책은 전무한 상태이기 때문에 이번 조사를 하게 되었다.

둘째, 석유화학공단 대기 중에 존재하는 VOCs에 의해 건물 내로 어느 정도 유입이 있는지를 조사해 향후 석유화학공단 공조기 건물의 효율적인 공조 설비에 대한 가이드라인을 설정하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 측정 및 연구방법

1. 연구대상

본 조사는 여수산업단지에 위치한 모 석유화학사업장의 건물 총 25개를 선정하여 생산 공정이 정상가동중인 2004년 10월말부터 11월초까지 각 건물별로 오전과 오후로 나누어 측정하였다. 1회 측정시간은 30분 내외로 하였으며 조사하고자 하는 각 건물의 실내와 실외(공조기 입구 : 대부분 건물 옥상에 위치)에서 동시에 휘발성유기화합물질(VOCs)을 측정하였다. 또한 7월부터 11월까지 진행된 대 정비작업 과정에 맞추어 대 정비작업이 진행되는 동안 주위 건물에서 실내와 실외에서도 휘발성유기화합물질(VOCs)을 측정하였다.

2. 측정 및 조사항목

2.1. VOCs 농도 평가

- 공정이 정상운전일 때 건물 실내외 VOCs농도 비교 평가
- 대 정비작업이 진행 중인 건물의 실내외 VOCs농도 비교 평가
- 케미컬필터가 설치되어 있는 건물과 케미컬필터가 설치되지 않은 건물의 실내외 VOCs농도 비교 평가
- 현장부서 건물과 사무부서 건물의 VOCs농도 비교 평가

2.2. 건물구조 및 공조설비 현황 파악

- 케미컬필터 설치 유무 확인
- 냉온습도 조절장치 유무 및 작동 확인
- 급기설비의 실내 공기유입구로부터의 균등한 공기공급 확인

- 건물 열적 평가
- 건물 양압상태 평가
- 외부공기급기량 및 환기횟수 평가
- 측정당시 공조설비 가동여부 확인

2.3. VOCs 측정 당시 실내외 환경요인 측정

- 실내외 일산화탄소 측정
- 실내외 이산화탄소 측정
- 실내외 건구 및 습구온도 측정
- 실내외 습도 측정
- 실내외 기류속도 측정

3. 측정 시료보관 및 이송

시료는 시료포집 전과 시료포집 후 모두 냉장 보관하였으며 분석실로 이동시에도 냉장 보관하여 이동하였다.

4. 측정 및 분석

4.1 시료포집 방법

시료포집 시간은 근로자의 활동이 많은 근무 시간에 오전과 오후로 나누어 약 30분간으로 하였다. 오전과 오후의 간격은 보통 5시간정도 간격이었으며 최소 3시간 이상 되도록 하였다. 측정 장소는 실내의 경우 근무자의 활동영역, 내부 시설물, 기류 등에 의해 오염될 가능성이 없는 곳을 선정해 바닥에서 약 1.5m정도 위치에서 측정하였고, 실외는 외부공

기가 유입되는 공조기 입구에서 측정하였다. 포집방법은 저유량 시료포집 펌프(Basic-5, AP Buck, USA)를 이용하였고, 시료포집 펌프에 대한 유량 보정은 시료포집용 펌프의 유량 보정기(PAS calibrator, MSA, U.S.A.)로 시료포집 전·후에 실시하였다. 포집 시 유량은 0.08-0.15 ℓ/min으로 하였고, 측정시간은 30분 내외로 하였다. 시료 포집에 사용된 흡착관은 열탈착을 위한 흡착관으로 Tenax TA tube(1/4×3.5", stainless steel, Supelco, U.S.A. 또는 Markes, U.K.)를 사용하였다. 열탈착용 흡착관은 사용 전 320-330 ℃에서 4시간이상 정화하여 사용하였으며, 시료분석 후 20-30분 정도 재 정화하였다. 열탈착관을 사용하게 된 배경은 일반적으로 실내 환경평가를 하기 위한 튜브로서 저농도 평가에 적합하였기 때문이다.

4.2 시료분석 방법

포집된 시료는 오토샘플러(Ultra TD, Markes, U.K.)가 부착된 열탈착기(Unity, Markes, U.K., 이하 TD)를 통해 탈착한 후 가스크로마토그래프/질량분석기(6890N/5973 Agilent, U.S.A., 이하 GC/MSD)를 이용하여 분석하였다. 사용된 칼럼은 CP Sil 5CB (60m×0.25mm×1μm, Varian, U.S.A.)이었다. 열탈착에 의한 VOCs의 분석조건은 Table 1과 같다. 또한 정량 가능한 개별물질에 대한 표준용액의 농도수준은 Table 2와 같다.

Table 1. Analytical condition of volatile organic compounds by GC/MSD/TD

Parameters	Analytical conditions
<u>Thermal Desorption</u>	
Thermal desorber	UltrA TD/Unity, Markes, U.K.
Desorption temperature	280 °C
Split ratio	1:10
<u>GC/MSD</u>	
GC/MSD	Agilent 6890N/5973 <i>inert</i> (U.S.A.)
Column	CP Sil 5CB(60m×0.25mm×1μm)(Varian, U.S.A.)
Column Temperature (°C)	50°C(15min) – 8°C/min – 200°C(18min) – 20°C/min – 250°C(2.75min)
MSD	Aux temperature : 250 °C
	MS source : 230 °C
	MS Quad. : 150 °C
	Mass range : 35 – 280 m/z

총 휘발성 유기화합물(Total Hydrocarbons : THC) 농도는 헥산을 대체 표준용액(surrogate)으로 하여 C6–C16 (Tenax–TA가 포집 가능한 휘발성 유기화합물의 범위)까지의 전체 유기화합물 농도를 합산하였다.

5. 시료채취 및 분석의 신뢰도(정확도) 평가

이번 조사대상인 실내 환경에서 발생하는 VOCs농도는 생산시설 주변의 작업환경에서 노출되는 농도에 비해 상당히 낮기 때문에 저농도 수준에서 정밀한 측정기술과 분석기술이 요구된다. 따라서 본 조사에서 사용된 측정조건 및 분석조건이 적절한가에 대한 신뢰도 평가를 병행하였다.

Table 2. Limit of detection, coefficient of variation (C.V.(%)) and concentration level for working standard on analytical chemistry (Unit : $\mu\text{g}/\text{sample}$)

Substances	LOD	Standard 1	Standard 2	Standard 3	C.V.(%)
Hexane	0.00336	0.0316	0.0632	0.0948	5.99
111-TCE*	0.01623	0.0624	0.1248	0.1873	13.40
Benzene	0.00217	0.0083	0.0165	0.0248	6.10
Cyclohexane	0.00495	0.0367	0.0734	0.1102	8.49
Isooctane	0.00663	0.0328	0.0657	0.0985	4.78
Heptane	0.00304	0.0322	0.0645	0.0967	6.31
Methylcyclohexane	0.00400	0.0363	0.0726	0.1088	4.39
Toluene	0.00393	0.0409	0.0818	0.1228	2.68
Octane	0.00231	0.0335	0.0669	0.1004	3.22
Ethylbenzene	0.00403	0.0409	0.0817	0.1226	6.27
m+p-Xylene	0.00783	0.0817	0.1633	0.2450	3.91
Styrene	0.00189	0.0428	0.0855	0.1283	5.17
o-Xylene	0.00285	0.0408	0.0816	0.1224	3.36
Nonane	0.00235	0.0326	0.0651	0.0977	2.69
135-TMB**	0.00573	0.0404	0.0808	0.1211	3.37
124-TMB***	0.00578	0.0409	0.0817	0.1226	3.09
Decane	0.00211	0.0345	0.0690	0.1035	1.70
123-TMB****	0.00704	0.0417	0.0835	0.1252	3.09

* 111-TCE : 111-trichloroethane,

** 135-TMB : 135-trimethylbenzene,

*** 124-TMB : 124-trimethylbenzene,

****123-TMB : 123-trimethylbenzene.

5.1 시료포집 과정에서 신뢰도 평가

이번 조사에 시료로 사용된 흡착관에 대해 시료포집 과정에서 정확한 농도를 구하기 위해 Breakthrogth volume를 검토하였다. 또한 시료포집 시 신뢰도를 평가하기 위해 동일조건(동일 장소, 동일 포집시간)에서

별도의 시료를 포집하여 분석한 후 비교하였다. Table 3은 시료 포집 시 실시한 신뢰도평가 결과를 표준편차를 평균으로 나누어서 %로 환산한 CV(%)로 계산했다. 현장에서 포집된 시료는 일련번호를 다시 정리하여 분석실로 보낸 후 블라인드 테스트를 실시하였다.

Table 3. Coefficient of variation (C.V.(%)) for validity test of sampling by repetitive measurement

Substances	site	W	B	B	A	A	R	R
	N	Inside	Inside	Outside	Inside	Outside	Inside	Outside
Hexane		ND	12.5	65.9	4.2	20.8	107.3	ND
111-TCE		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzene		ND	4.5	44.1	0.0	19.4	0.5	3.6
Cyclohexane		ND	4.9	48.7	6.1	43.1	ND	ND
Isooctane		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Heptane		ND	5.6	51.4	1.2	10.3	ND	ND
Methylcyclohexane		ND	10.2	56.6	2.2	13.9	ND	ND
Toluene		129.3	62.2	47.1	10.7	88.2	124.5	19.1
Octane		ND	6.0	20.2	0.6	0.6	ND	ND
Ethylbenzene		82.0	93.9	82.9	3.2	4.0	104.4	ND
m+p-Xylene		71.4	22.2	27.2	1.9	10.0	33.6	21.0
Styrene		ND	140.0	97.4	32.2	55.5	53.8	ND
o-Xylene		ND	13.0	22.1	1.3	1.8	55.7	0.5
Nonane		ND	2.3	12.3	1.7	11.7	ND	ND
135-TMB		ND	4.8	41.6	0.9	8.8	53.9	ND
124-TMB		ND	5.8	57.0	0.2	10.0	37.9	ND
Decane		ND	5.1	8.1	1.3	10.8	63.0	ND
123-TMB		59.0	5.1	60.6	1.1	10.8	25.3	ND
THC		110.8	20.3	29.1	2.7	6.4	90.6	33.9

* $CV(\%) = (SD/MEAN) \times 100$

* ND : Not Detected.

5.2 시료 분석과정에서 신뢰도평가

시료분석 과정에서 발생하는 오차를 줄이기 위하여 열 탈착 튜브의 Blank Test를 실시하였다. 시료의 Blank Test는 전처리 후 개봉하지 않은 시료를 측정 장소로 같이 운반하여 석유화학공단에서 포집에 활용했던 다른 튜브와 동일시간 냉장보관 하고 다시 분석실로 이동하여 Blank Test를 실시하였다. 그 결과 Blank Test한 시료에서 계산에 오차를 작용할 만큼의 농도가 검출되지 않아 공 시료의 적합성과 시료보관 및 시료운반 과정에서 오염이 없었음을 알 수 있었다. Table 4는 알고 있는 농도를 튜브에 주입시켜 분석한 결과를 바탕으로 시료분석 시 나타나는 회수율을 검정한 결과이다.

Table 4. Coefficient of variation (C.V.(%)) for validity test of analysis by repetitive measurement. unit : ppb

Substances	Repetiton No			Mean	Substances	Repetiton No			Mean
	1 (N=3)	2 (N=3)	3 (N=3)			1 (N=3)	2 (N=3)	3 (N=3)	
Hexane	1.6	6.5	9.8	6.0	Ethylbenzene	8.7	5.7	4.4	6.3
111-TCE	22.6	7.5	10.1	13.4	m+p-Xylene	4.7	3.6	3.4	3.9
Benzene	8.4	5.6	4.4	6.1	Styrene	8.1	4.2	3.2	5.2
Cyclohexane	7.5	9.5	8.5	8.5	o-Xylene	4.4	3.7	2.0	3.4
Isooctane	5.4	5.1	3.8	4.8	Nonane	3.8	3.2	1.1	2.7
Heptane	8.8	5.3	4.8	6.3	135-TMB	6.0	2.8	1.4	3.4
Methylcyclohexane	4.7	5.6	2.9	4.4	124-TMB	5.3	2.8	1.1	3.1
Toluene	2.6	2.3	3.2	2.7	Decane	2.0	2.6	0.5	1.7
Octane	2.9	3.6	3.2	3.2	123-TMB	5.2	2.9	1.2	3.1

* CV=(SD/MEAN)*100.

III. 연구결과 및 고찰

1. 정상운전 시 공조건물 실내외 VOCs측정결과

이번 조사에서 신뢰도평가를 위한 시료를 제외하고, 25개의 건물을 대상으로 총 105개의 시료를 채취하였다. 각 건물에서 같은 날 오전과 오후를 나누어 측정하였고, 측정 시에는 실내와 실외(공조기 입구)에서 동시 측정을 실시하였다. 미국산업위생학회에서(American Industrial Hygiene Association, AIHA)에서는 각 물질의 독성을 고려하여 건강영향지수와 노출정도를 나타내는 노출지수를 고려하여 평가 및 관리의 우선순위를 정하도록 하고 있다. 따라서 이번 조사에서 측정한 VOCs를 hexanone으로 환산한 THCs과 측정결과 농도수준 및 유해성을 고려하여 Benzene, Toluene, Xylene 총 4가지 물질에 대해 실내와 실외의 측정농도를 비교 분석하였다. 분석결과 LOD(Limit of Detection)는 Table 4(표준물질별 검출한계, 분석에서의 변이계수 및 농도)를 기준으로 각 시료의 측정당시 유량과 측정시간을 계산하여 적용하였다. 측정한 모든 자료를 Table과 그림으로 표현했으며 실내외 차이가 극단적으로 차이 나는 시료에 대해서는 소수의 시료가 전체 시료의 경향에 미치는 영향을 방지하기 위해 실내외 농도수준이 10배 이상 차이 나는 시료를 제외한 경향도 분석하였다.

1.1 실내외 THCs(Total Hydrocarbons)농도 비교

THCs의 총 45쌍의 측정결과는 Table 5와 같다. Table 5는 같은 날 같은 시간에 각 건물별 실내, 실외에서 측정한 시료의 실외농도 대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내 시료의 최고농도는 11월 2일 R건

물에서 731.3 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 60.7 ppb로 실외농도 기하평균 36.8 ppb보다 약 2배 가까이 높은 것으로 나타났다. Figure 1은 건물의 측정 농도를 실내와 실외로 나누어 THCs 측정자료 분포가 정규 분포를 하는지 기하정규분포를 하는지 95% 신뢰 수준에서 W-test한 결과이며 그 결과 실내외 THCs이 기하정규분포를 하고 있음을 알 수 있었다. Figure 2는 THCs의 실내외 최대값, 최소값, 평균 등의 분포를 나타낸 것이다. Figure 1, 2에서 보는 것처럼 실내 THCs농도가 실외농도보다 높게 나타났다.

실내의 농도와 실외의 농도가 10배 이상 차이를 보이는 7쌍을 제외한 36쌍 중 33개의 건물에서 실내가 높게 나타났으며 나머지 6개 건물에서는 실외가 높은 것으로 나타났다. 이때의 실내농도 기하평균이 59.4 ppb로 실외농도의 기하평균인 32.6 ppb보다 약 2배정도 높았다. Figure 3은 실내와 실외 THCs의 농도수준 및 분포를 나타낸 것이다.

Table 5. Distribution of THCs concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation), unit : ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
1	11/02	R	14:50 ~ 15:31	21.3	14:51 ~ 15:21	731.3	34.3
2	11/02	S	14:57 ~ 15:30	23.7	14:54 ~ 15:25	293.5	12.4
3	10/26	B	11:23 ~ 11:56	11.9	11:20 ~ 11:56	127.0	10.6
4	10/26	D	15:25 ~ 15:56	34.1	15:25 ~ 15:56	312.3	9.2
5	10/27	E	15:10 ~ 15:40	3.7	15:09 ~ 15:38	31.4	8.4
6	10/29	L	09:36 ~ 10:08	6.3	09:26 ~ 09:57	42.8	6.7
7	10/29	L	14:23 ~ 14:55	3.4	14:20 ~ 14:50	18.6	5.5
8	10/26	C	11:34 ~ 12:04	6.8	11:32 ~ 12:04	32.7	4.8
9	10/28	I	15:36 ~ 16:06	8.4	15:34 ~ 16:04	37.6	4.5
10	11/04	W	09:30 ~ 10:01	97.1	09:35 ~ 10:06	411.7	4.2
11	11/02	S	10:04 ~ 10:38	84.2	09:59 ~ 10:31	314.4	3.7
12	11/02	T	12:08 ~ 12:39	59.0	12:04 ~ 12:35	200.9	3.4
13	11/02	Q	16:02 ~ 16:32	43.2	16:00 ~ 16:30	128.5	3.0

Table 5. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation), unit : ppb,(continue)

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
14	10/28	H	15:13 ~ 15:45	5.0	15:11 ~ 15:44	14.1	2.8
15	10/29	M	09:10 ~ 09:50	6.0	09:14 ~ 09:49	16.7	2.8
16	10/27	F	09:56 ~ 10:29	11.3	09:57 ~ 10:29	30.4	2.7
17	10/26	A	10:26 ~ 10:52	37.0	10:20 ~ 10:55	90.1	2.4
18	10/29	K	09:41 ~ 10:06	4.5	09:40 ~ 10:07	11.0	2.4
19	10/27	E	10:09 ~ 10:39	35.5	10:07 ~ 10:38	81.8	2.3
20	10/28	J	15:22 ~ 15:55	3.0	15:22 ~ 15:55	6.8	2.3
21	11/01	O	10:10 ~ 10:45	100.0	10:10 ~ 10:44	219.8	2.2
22	10/26	B	15:07 ~ 15:41	19.4	15:09 ~ 15:41	41.5	2.1
23	11/03	V	09:59 ~ 10:30	149.0	10:03 ~ 10:35	286.8	1.9
24	10/28	H	10:37 ~ 11:07	12.4	10:27 ~ 10:59	22.6	1.8
25	10/26	C	15:16 ~ 15:48	9.0	15:15 ~ 15:48	14.2	1.6
26	11/03	R	08:53 ~ 09:24	43.1	08:54 ~ 09:26	66.9	1.6
27	11/04	W	15:00 ~ 15:30	70.8	15:03 ~ 15:36	98.5	1.4
28	10/28	J	10:03 ~ 10:46	17.6	10:03 ~ 10:46	24.5	1.4
29	10/28	I	09:48 ~ 10:18	45.6	09:48 ~ 10:17	63.1	1.4
30	11/01	P	10:30 ~ 11:02	186.6	10:26 ~ 11:05	236.5	1.3
31	10/26	A	15:01 ~ 15:33	36.2	14:55 ~ 15:32	45.0	1.2
32	11/04	X	15:16 ~ 15:47	104.1	14:54 ~ 15:25	126.7	1.2
33	11/03	V	15:00 ~ 15:31	95.6	15:03 ~ 15:34	106.2	1.1
34	11/03	U	15:03 ~ 15:35	54.0	15:02 ~ 15:33	55.2	1.0
35	10/26	D	11:08 ~ 11:46	94.5	11:09 ~ 11:45	96.1	1.0
36	110/2	T	16:07 ~ 16:39	57.7	16:05 ~ 16:37	58.1	1.0
37	11/01	O	14:00 ~ 14:41	445.6	14:00 ~ 14:40	428.1	1.0
38	11/01	P	14:15 ~ 14:55	215.5	14:08 ~ 14:52	155.4	0.7
39	10/29	N	15:13 ~ 15:45	22.5	15:10 ~ 15:40	14.5	0.6
40	11/03	U	12:41 ~ 13:12	107.2	12:40 ~ 13:11	46.2	0.4
41	10/27	G	15:01 ~ 15:31	26.1	15:02 ~ 15:30	6.9	0.3
42	11/02	Q	12:10 ~ 12:41	535.0	12:09 ~ 12:39	102.1	0.2
43	10/29	N	10:38 ~ 11:08	219.4	10:38 ~ 11:09	14.6	0.1
44	10/27	F	14:54 ~ 15:25	454.9	14:55 ~ 15:25	21.2	0.0
45	10/27	G	09:49 ~ 10:22	478.3	09:47 ~ 10:22	13.9	0.0
M				91.2		117.7	3.4
SD				134.3		145.5	5.5
GM				36.8		60.7	1.7
GSD				4.2		3.3	4.0

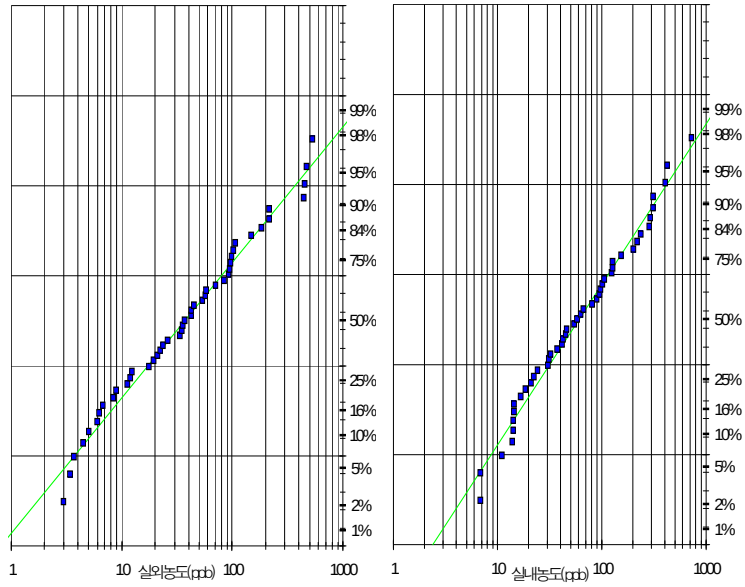


Figure 1. Lognormal distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations).

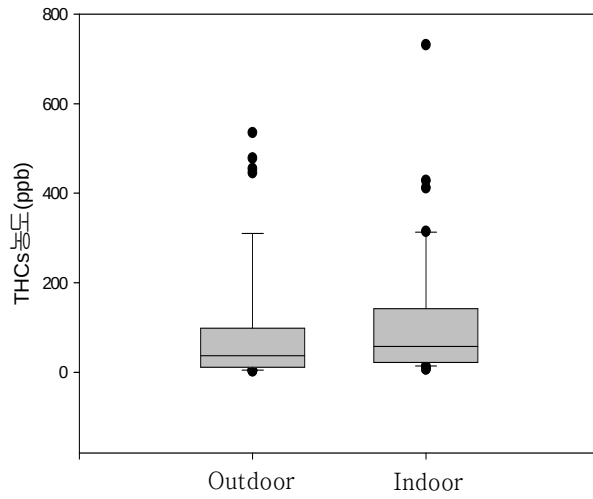


Figure 2. THC's concentrations by sampling site inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations).

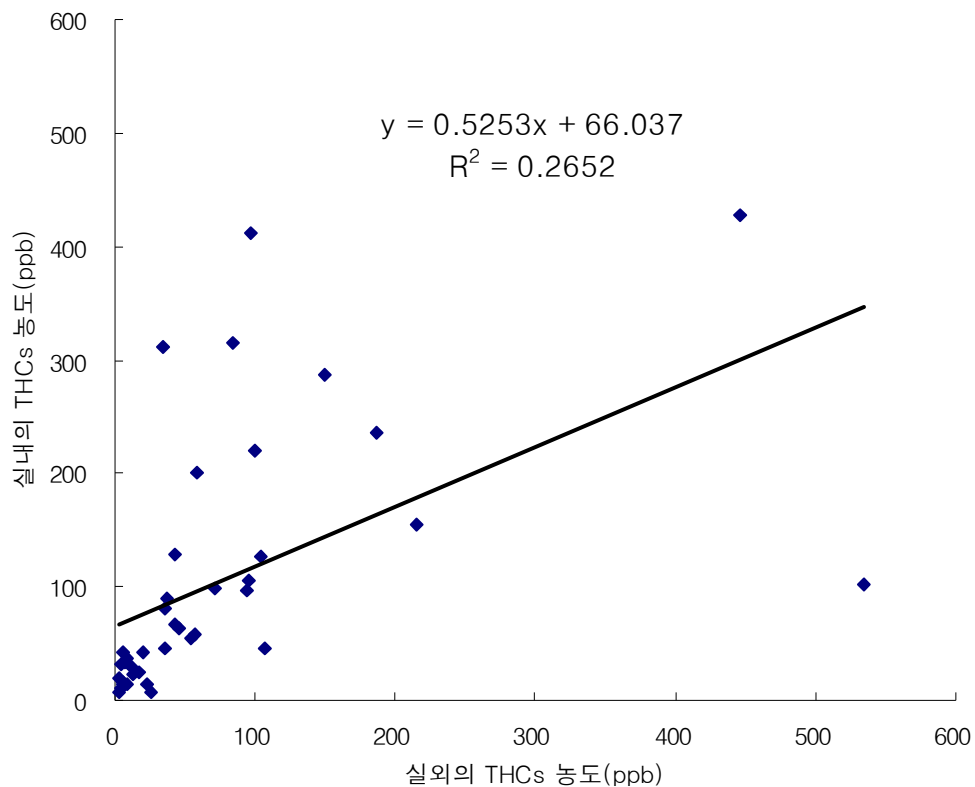


Figure 3. Comparison of THC concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during normal operations).

1.2 실내외 Benzene농도 비교

Benzene의 총 47쌍의 측정결과는 Table 6과 같다. Table 6은 같은 날 같은 시간에 각 건물별 실내, 실외에서 측정한 시료의 실외농도 대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의 최고농도는 11월 2일 S 건물에서 22.2 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 0.8 ppb로 실외농도의 기하평균인 0.6 ppb보다 약간 높게 나타났다. Figure 4는 건물의 측정농도를 실내와 실외로 나누어 Benzene 측정자료 분포가 정규분포를 하는지

기하정규분포를 하는지 95% 신뢰 수준에서 W-test한 결과이며 그 결과 실내외 Benzene이 기하정규분포를 하고 있는 것으로 나타났다. Figure 5는 실내외 최대값, 최소값, 평균 등의 분포를 나타낸 것이다. Figure 4, 5에서 보는 것처럼 Benzene의 실내농도가 실외농도보다 높은 것으로 나타났다.

실내와 실외의 농도가 10배 이상 차이를 보이는 1쌍의 시료를 제외한 46쌍 중 30개의 건물에서 실내농도가 높은 것으로 나타났으며 나머지 16개 건물에서는 실외가 높은 것으로 나타났다. Figure 6은 이때의 실내와 실외의 Benzene농도 수준과 분포를 나타낸 것이다. 벤젠의 경우 측정 결과가 THCs, Toluene, Xylene에 비해 매우 낮게 나타났다.

Table 6. Distribution of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation), unit : ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Benzene(A)	Sampling Time	Benzene(B)	
1	11/02	S	10:04 ~ 10:38	0.7	09:59 ~ 10:31	22.9	30.8
2	10/28	I	15:36 ~ 16:06	0.3	15:34 ~ 16:04	1.8	7.3
3	10/27	F	09:56 ~ 10:29	0.2	09:57 ~ 10:29	1.0	5.2
4	10/27	E	15:10 ~ 15:40	0.3	15:09 ~ 15:38	1.2	4.8
5	11/02	S	14:57 ~ 15:30	0.3	14:54 ~ 15:25	1.6	4.7
6	10/26	D	15:25 ~ 15:56	1.9	15:25 ~ 15:56	6.4	3.4
7	10/26	B	11:23 ~ 11:56	0.2	11:20 ~ 11:56	0.8	3.4
8	11/01	O	10:10 ~ 10:45	1.0	10:10 ~ 10:44	3.3	3.2
9	10/26	C	15:16 ~ 15:48	0.2	15:15 ~ 15:48	0.5	3.2
10	11/03	V	15:00 ~ 15:31	0.7	15:03 ~ 15:34	1.9	2.7
11	11/02	R	14:50 ~ 15:31	0.4	14:51 ~ 15:21	1.0	2.3
12	10/27	E	10:09 ~ 10:39	1.0	10:07 ~ 10:38	1.9	1.8
13	11/04	W	15:00 ~ 15:30	0.5	15:03 ~ 15:36	0.9	1.7
14	10/26	C	11:34 ~ 12:04	0.4	11:32 ~ 12:04	0.6	1.6
15	10/28	J	10:03 ~ 10:46	0.3	10:03 ~ 10:46	0.4	1.6
16	11/04	X	15:16 ~ 15:47	1.3	14:54 ~ 15:25	1.7	1.3

Table 6. Distribution of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation), unit : ppb, (continue)

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Benzene(A)	Sampling Time	Benzene(B)	
17	11/02	T	12:08 ~ 12:39	0.8	12:04 ~ 12:35	1.0	1.3
18	10/29	M	14:10 ~ 14:42	0.1	14:07 ~ 14:38	0.2	1.3
19	11/03	R	08:53 ~ 09:24	0.6	08:54 ~ 09:26	0.8	1.2
20	10/29	K	15:02 ~ 15:34	0.2	15:00 ~ 15:30	0.3	1.2
21	11/03	V	09:59 ~ 10:30	2.4	10:03 ~ 10:35	3.0	1.2
22	11/01	P	14:15 ~ 14:55	0.7	14:08 ~ 14:52	0.9	1.2
23	10/29	L	14:23 ~ 14:55	0.2	14:20 ~ 14:50	0.3	1.2
24	10/29	L	09:36 ~ 10:08	0.3	09:26 ~ 09:57	0.3	1.2
25	10/29	M	09:10 ~ 09:50	0.7	09:14 ~ 09:49	0.8	1.2
26	11/01	P	10:30 ~ 11:02	3.4	10:26 ~ 11:05	4.0	1.2
27	10/28	H	10:37 ~ 11:07	0.2	10:27 ~ 10:59	0.2	1.1
28	10/28	I	09:48 ~ 10:18	8.3	09:48 ~ 10:17	9.1	1.1
29	11/02	Q	16:02 ~ 16:32	0.4	16:00 ~ 16:30	0.4	1.1
30	11/04	W	09:30 ~ 10:01	13.3	09:35 ~ 10:06	13.9	1.0
31	11/01	O	14:00 ~ 14:41	2.6	14:00 ~ 14:40	2.4	0.9
32	11/03	U	15:03 ~ 15:35	0.9	15:02 ~ 15:33	0.8	0.9
33	10/26	B	15:07 ~ 15:41	0.7	15:09 ~ 15:41	0.6	0.9
34	10/29	K	09:41 ~ 10:06	0.3	09:40 ~ 10:07	0.2	0.9
35	10/29	N	15:13 ~ 15:45	0.3	15:10 ~ 15:40	0.2	0.9
36	10/28	H	15:13 ~ 15:45	0.2	15:11 ~ 15:44	0.2	0.7
37	11/03	U	12:41 ~ 13:12	0.9	12:40 ~ 13:11	0.6	0.7
38	10/26	D	11:08 ~ 11:46	4.9	11:09 ~ 11:45	3.1	0.6
39	11/02	Q	12:10 ~ 12:41	0.7	12:09 ~ 12:39	0.4	0.6
40	10/28	J	15:22 ~ 15:55	0.2	15:22 ~ 15:55	0.1	0.6
41	10/29	N	10:38 ~ 11:08	0.2	10:38 ~ 11:09	0.1	0.6
42	10/27	G	09:49 ~ 10:22	0.4	09:47 ~ 10:22	0.2	0.5
43	10/27	G	15:01 ~ 15:31	0.9	15:02 ~ 15:30	0.4	0.5
44	11/02	T	16:07 ~ 16:39	0.5	16:05 ~ 16:37	0.2	0.4
45	10/27	F	14:54 ~ 15:25	0.7	14:55 ~ 15:25	0.3	0.4
46	10/26	A	10:26 ~ 10:52	5.2	10:20 ~ 10:55	1.8	0.3
47	10/26	A	15:01 ~ 15:33	1.7	14:55 ~ 15:32	0.4	0.2
M				1.3	2.0		2.3
SD				2.4	4.0		4.5
GM				0.6	0.8		1.3
GSD				3.0	3.4		

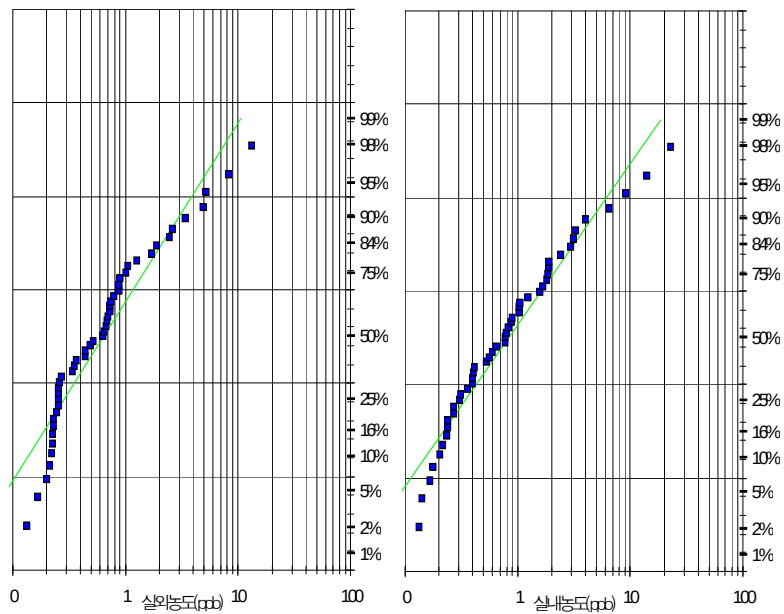


Figure 4. Lognormal distribution of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation).

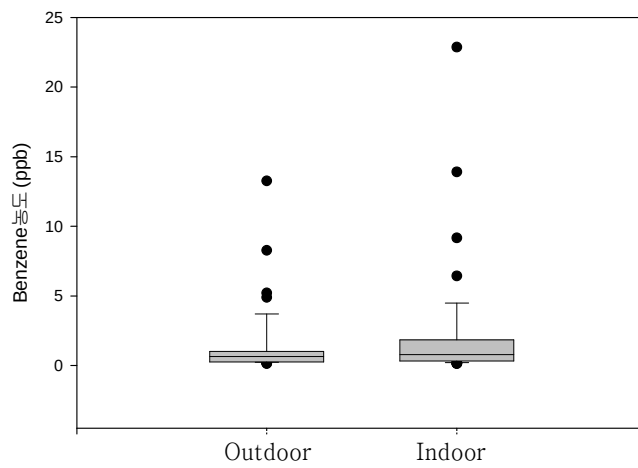


Figure 5. Benzene concentrations by sampling site inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation).

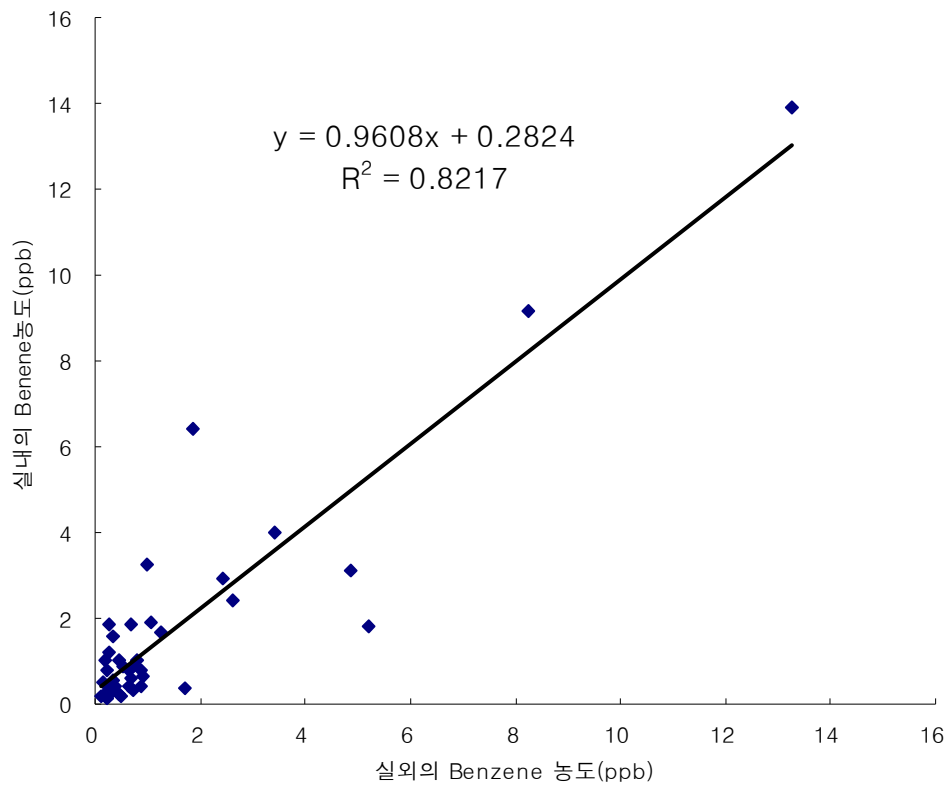


Figure 6. Comparison of benzene concentrations in inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation).

1.3 실내외 Toluene농도 비교

Toluene 총 47쌍의 측정결과는 Table 7와 같다. Table 7은 실외 농도대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의 최고농도는 11월 2일 R건물에서 71.6 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 4.4 ppb로 실외 농도의 기하평균인 2.1 ppb보다 약 2배정도 높은 것으로 나타났다. Figure 7은 측정농도를 실내와 실외로 나누어 Toluene 측정자료 분포가 정규분포를 하는지 기하정규분포를 하는지 95% 신뢰 수준에서 W-test한 결과

이며, 그 결과 실내외 Toluene이 기하정규분포 하고 있는 것으로 나타났다. Figure 8에서 볼 수 있듯이 최대값은 실외가 크지만 각 건물별 전체 평균과 농도분포는 실내가 높은 것으로 나타났다.

실내외 차이가 10배 이상의 차이를 보이는 12쌍의 시료를 제외한 35쌍(실내, 실외)중 측정결과 29지점에서 실내농도가 높게 나타났으며 나머지 6개 지점에서는 실외농도가 높게 나타났다. 이러한 분포도는 Figure 9와 같다.

Table 7. Distribution of toluene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation), unit : ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Toluene(A)	Sampling Time	Toluene(B)	
1	11/02	R	14:50 ~ 15:31	0.3	14:51 ~ 15:21	71.6	213.9
2	11/02	S	14:57 ~ 15:30	0.3	14:54 ~ 15:25	12.2	39.0
3	11/02	Q	16:02 ~ 16:32	0.3	16:00 ~ 16:30	8.6	28.6
4	10/29	L	09:36 ~ 10:08	0.4	09:26 ~ 09:57	5.4	13.5
5	10/27	E	15:10 ~ 15:40	0.4	15:09 ~ 15:38	4.6	11.8
6	10/28	H	15:13 ~ 15:45	0.4	15:11 ~ 15:44	4.2	11.7
7	11/02	T	12:08 ~ 12:39	2.6	12:04 ~ 12:35	30.7	11.7
8	10/26	B	11:23 ~ 11:56	0.9	11:20 ~ 11:56	10.0	10.7
9	11/04	W	09:30 ~ 10:01	2.1	09:35 ~ 10:06	19.8	9.6
10	10/26	D	15:25 ~ 15:56	7.4	15:25 ~ 15:56	68.5	9.2
11	10/29	L	14:23 ~ 14:55	0.3	14:20 ~ 14:50	2.4	7.0
12	10/29	M	14:10 ~ 14:42	0.2	14:07 ~ 14:38	1.3	6.4
13	10/28	I	15:36 ~ 16:06	0.9	15:34 ~ 16:04	5.5	6.3
14	10/26	B	15:07 ~ 15:41	0.8	15:09 ~ 15:41	4.4	5.5
15	10/29	K	09:41 ~ 10:06	0.5	09:40 ~ 10:07	2.7	5.3
16	10/26	C	11:34 ~ 12:04	1.0	11:32 ~ 12:04	4.6	4.4
17	11/02	S	10:04 ~ 10:38	2.5	09:59 ~ 10:31	10.8	4.4
18	10/29	M	09:10 ~ 09:50	0.6	09:14 ~ 09:49	2.8	4.4
19	10/28	H	10:37 ~ 11:07	0.9	10:27 ~ 10:59	3.7	4.0
20	11/03	V	15:00 ~ 15:31	2.4	15:03 ~ 15:34	7.6	3.2
21	11/04	W	15:00 ~ 15:30	0.9	15:03 ~ 15:36	2.8	3.1
22	10/26	A	10:26 ~ 10:52	4.1	10:20 ~ 10:55	12.5	3.1

Table 7. Distribution of toluene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation),unit : ppb(continue)

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Toluene(A)	Sampling Time	Toluene(B)	
23	10/27	E	10:09 ~ 10:39	5.3	10:07 ~ 10:38	13.7	2.6
24	10/26	C	15:16 ~ 15:48	0.6	15:15 ~ 15:48	1.4	2.5
25	10/28	J	10:03 ~ 10:46	0.7	10:03 ~ 10:46	1.5	2.2
26	11/01	O	10:10 ~ 10:45	3.3	10:10 ~ 10:44	6.3	2.0
27	11/03	R	08:53 ~ 09:24	0.8	08:54 ~ 09:26	1.6	1.9
28	10/26	A	15:01 ~ 15:33	2.3	14:55 ~ 15:32	4.1	1.8
29	11/03	V	09:59 ~ 10:30	3.8	10:03 ~ 10:35	6.2	1.7
30	10/28	J	15:22 ~ 15:55	0.4	15:22 ~ 15:55	0.6	1.6
31	10/29	N	15:13 ~ 15:45	2.1	15:10 ~ 15:40	3.3	1.5
32	11/02	T	16:07 ~ 16:39	1.4	16:05 ~ 16:37	2.0	1.4
33	11/01	P	10:30 ~ 11:02	2.3	10:26 ~ 11:05	3.3	1.4
34	10/27	F	09:56 ~ 10:29	3.0	09:57 ~ 10:29	4.1	1.4
35	10/28	I	09:48 ~ 10:18	10.0	09:48 ~ 10:17	12.9	1.3
36	10/29	K	15:02 ~ 15:34	0.3	15:00 ~ 15:30	0.4	1.2
37	11/04	X	15:16 ~ 15:47	2.4	14:54 ~ 15:25	2.6	1.1
38	10/26	D	11:08 ~ 11:46	20.3	11:09 ~ 11:45	20.3	1.0
39	11/03	U	12:41 ~ 13:12	1.5	12:40 ~ 13:11	0.9	0.6
40	11/03	U	15:03 ~ 15:35	1.3	15:02 ~ 15:33	0.8	0.6
41	10/27	G	15:01 ~ 15:31	1.6	15:02 ~ 15:30	0.6	0.4
42	11/01	O	14:00 ~ 14:41	42.2	14:00 ~ 14:40	10.2	0.2
43	11/01	P	14:15 ~ 14:55	38.3	14:08 ~ 14:52	7.6	0.2
44	10/29	N	10:38 ~ 11:08	40.5	10:38 ~ 11:09	2.8	0.1
45	11/02	Q	12:10 ~ 12:41	82.9	12:09 ~ 12:39	2.8	0.0
46	10/27	F	14:54 ~ 15:25	178.3	14:55 ~ 15:25	2.9	0.0
47	10/27	G	09:49 ~ 10:22	205.6	09:47 ~ 10:22	1.7	0.0
M				14.5		8.8	9.5
SD				40.8		14.4	31.3
GM				2.1		4.4	2.1
GSD				5.7		3.1	

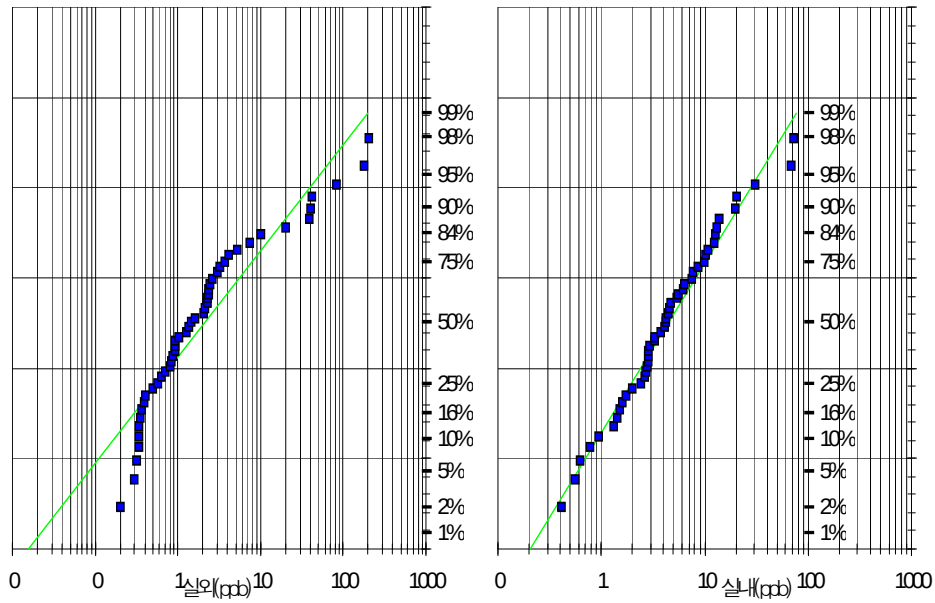


Figure 7. Lognormal distribution of toluene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations).

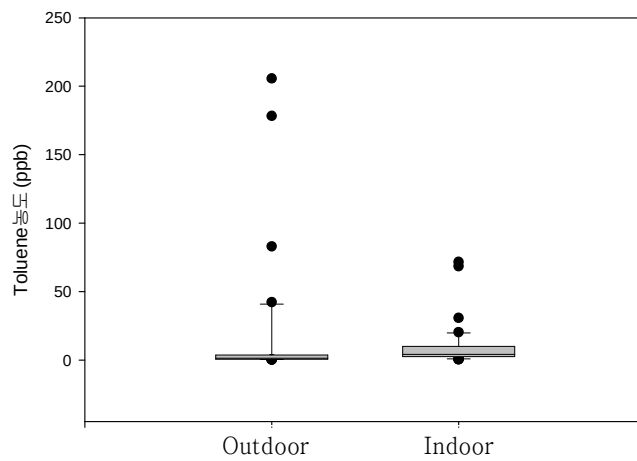


Figure 8. Toluene concentrations by sampling site inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations).

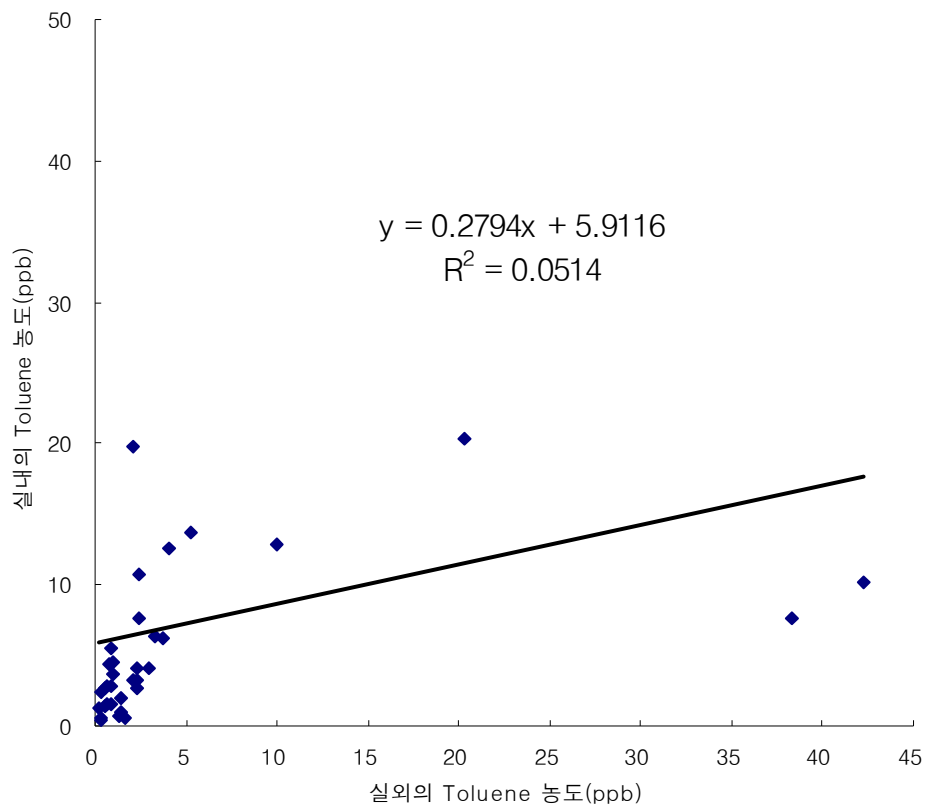


Figure 9. Comparison of toluene concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during normal operations).

1.4 실내외 Xylene농도 비교

Xylene 총 47쌍의 측정결과를 Table 8과 같다. Table 8은 Xylene 실외 농도대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의 최고농도는 11월 3일 오전에 V건물에서 46.3 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내농도가 2.5 ppb로 실외농도의 기하평균인 1.2 ppb보다 약 2배 이상 높은 것으로 나타났다. Figure 10은 측정농도를 실내와 실외로 나누어 Xylene측

정자료 분포가 정규분포를 하는지 기하정규분포를 하는지 95% 신뢰수준에서 W-test한 결과이며 그 결과 실내외 Xylene이 기하정규분포 하고 있음을 알 수 있다. Figure 11에서 볼 수 있듯이 측정결과 Xylene농도분포가 최대값, 평균 모두 실내농도가 실외농도 보다 2배정도 높은 것으로 나타났다.

실내외 농도차이가 10배 이상 차이를 보이는 11쌍의 시료를 제외한 36쌍(실내, 실외)중 24지점에서 실내농도가 높게 나타났으며 나머지 12개 지점에서는 실외농도가 높게 나타났다. Figure 12는 실내와 실외 Xylene 농도수준 및 분포를 나타낸 것이다.

Table 8. Distribution of xylene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation), unit : ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Xylene(A)	Sampling Time	Xylene(B)	
1	11/02	S	14:57 ~ 15:30	0.1	14:54 ~ 15:25	4.8	92.1
2	11/04	W	09:30 ~ 10:01	1.1	09:35 ~ 10:06	38.9	33.9
3	10/26	C	11:34 ~ 12:04	0.2	11:32 ~ 12:04	3.7	24.2
4	10/26	B	11:23 ~ 11:56	0.3	11:20 ~ 11:56	6.6	24.0
5	10/29	L	09:36 ~ 10:08	0.3	09:26 ~ 09:57	5.1	16.3
6	11/02	Q	16:02 ~ 16:32	0.2	16:00 ~ 16:30	2.9	14.3
7	10/27	E	15:10 ~ 15:40	0.3	15:09 ~ 15:38	4.4	14.1
8	10/26	D	15:25 ~ 15:56	4.2	15:25 ~ 15:56	43.2	10.4
9	11/02	R	14:50 ~ 15:31	0.4	14:51 ~ 15:21	4.5	10.1
10	10/29	M	14:10 ~ 14:42	0.2	14:07 ~ 14:38	1.3	7.9
11	10/27	F	09:56 ~ 10:29	0.2	09:57 ~ 10:29	1.7	6.9
12	10/29	L	14:23 ~ 14:55	0.3	14:20 ~ 14:50	1.6	6.0
13	11/03	V	09:59 ~ 10:30	7.9	10:03 ~ 10:35	46.3	5.8
14	11/02	S	10:04 ~ 10:38	1.0	09:59 ~ 10:31	5.0	5.0
15	10/26	A	10:26 ~ 10:52	3.0	10:20 ~ 10:55	13.5	4.5
16	11/04	W	15:00 ~ 15:30	0.7	15:03 ~ 15:36	2.7	3.9
17	10/28	J	10:03 ~ 10:46	0.9	10:03 ~ 10:46	3.3	3.5
18	11/01	O	10:10 ~ 10:45	1.1	10:10 ~ 10:44	3.5	3.2
19	10/28	H	15:13 ~ 15:45	0.3	15:11 ~ 15:44	0.9	3.2

Table 8. Distribution of xylene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation),unit :ppb,(continue)

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Xylene(A)	Sampling Time	Xylene(B)	
20	10/27	E	10:09 ~ 10:39	2.8	10:07 ~ 10:38	8.6	3.0
21	10/26	D	11:08 ~ 11:46	5.7	11:09 ~ 11:45	14.1	2.5
22	11/01	O	14:00 ~ 14:41	7.5	14:00 ~ 14:40	18.3	2.4
23	11/03	R	08:53 ~ 09:24	0.8	08:54 ~ 09:26	1.9	2.3
24	10/29	M	09:10 ~ 09:50	1.3	09:14 ~ 09:49	2.7	2.1
25	10/28	I	15:36 ~ 16:06	3.0	15:34 ~ 16:04	5.2	1.8
26	11/02	T	12:08 ~ 12:39	1.4	12:04 ~ 12:35	2.3	1.7
27	10/26	B	15:07 ~ 15:41	3.2	15:09 ~ 15:41	5.1	1.6
28	10/28	H	10:37 ~ 11:07	1.0	10:27 ~ 10:59	1.6	1.6
29	10/26	C	15:16 ~ 15:48	1.0	15:15 ~ 15:48	1.2	1.2
30	10/29	K	15:02 ~ 15:34	0.3	15:00 ~ 15:30	0.3	1.2
31	10/28	I	09:48 ~ 10:18	2.1	09:48 ~ 10:17	2.5	1.2
32	11/01	P	10:30 ~ 11:02	5.3	10:26 ~ 11:05	5.9	1.1
33	10/26	A	15:01 ~ 15:33	4.3	14:55 ~ 15:32	4.6	1.1
34	11/02	Q	12:10 ~ 12:41	1.9	12:09 ~ 12:39	1.8	1.0
35	11/03	U	15:03 ~ 15:35	0.5	15:02 ~ 15:33	0.4	0.9
36	10/29	K	09:41 ~ 10:06	0.3	09:40 ~ 10:07	0.3	0.9
37	10/29	N	15:13 ~ 15:45	2.1	15:10 ~ 15:40	1.6	0.8
38	11/01	P	14:15 ~ 14:55	1.2	14:08 ~ 14:52	0.9	0.7
39	10/28	J	15:22 ~ 15:55	0.3	15:22 ~ 15:55	0.2	0.6
40	11/04	X	15:16 ~ 15:47	6.9	14:54 ~ 15:25	3.4	0.5
41	11/03	U	12:41 ~ 13:12	0.5	12:40 ~ 13:11	0.2	0.5
42	11/03	V	15:00 ~ 15:31	16.2	15:03 ~ 15:34	5.6	0.3
43	11/02	T	16:07 ~ 16:39	1.5	16:05 ~ 16:37	0.5	0.3
44	10/27	G	15:01 ~ 15:31	3.7	15:02 ~ 15:30	1.1	0.3
45	10/29	N	10:38 ~ 11:08	5.5	10:38 ~ 11:09	1.2	0.2
46	10/27	F	14:54 ~ 15:25	11.7	14:55 ~ 15:25	0.4	0.0
47	10/27	G	09:49 ~ 10:22	10.1	09:47 ~ 10:22	0.3	0.0
M				2.7		6.1	6.8
SD				3.4		10.4	14.6
GM				1.2		2.5	2.1
GSD				3.9		3.8	

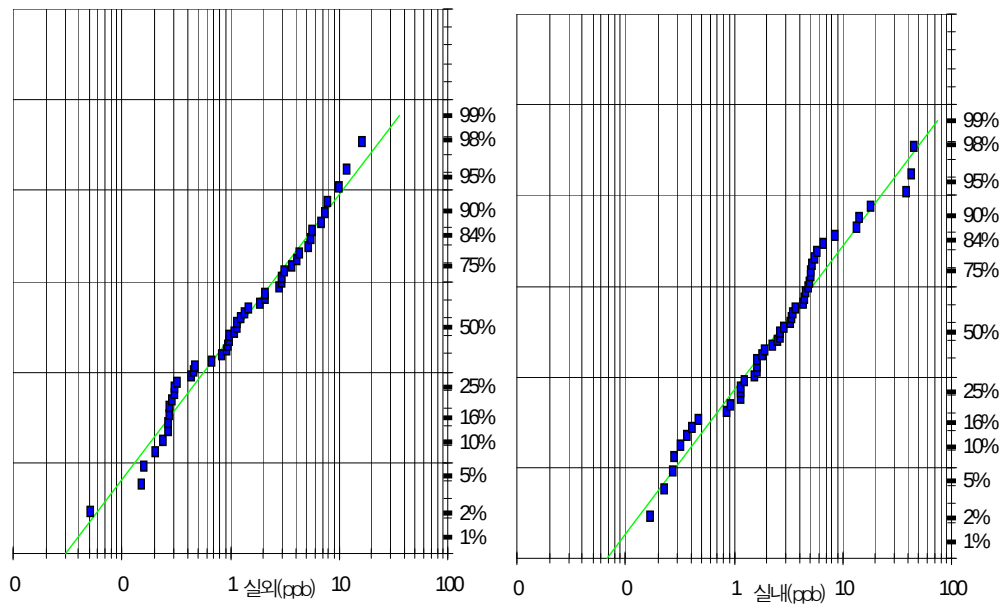


Figure 10. Lognormal distribution of xylene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations).

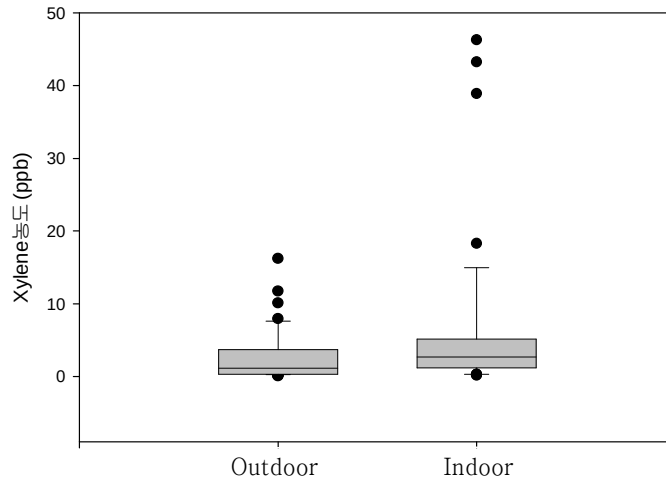


Figure 11. Xylene concentrations by sampling site inside and outside of the HVAC buildings(during normal operations).

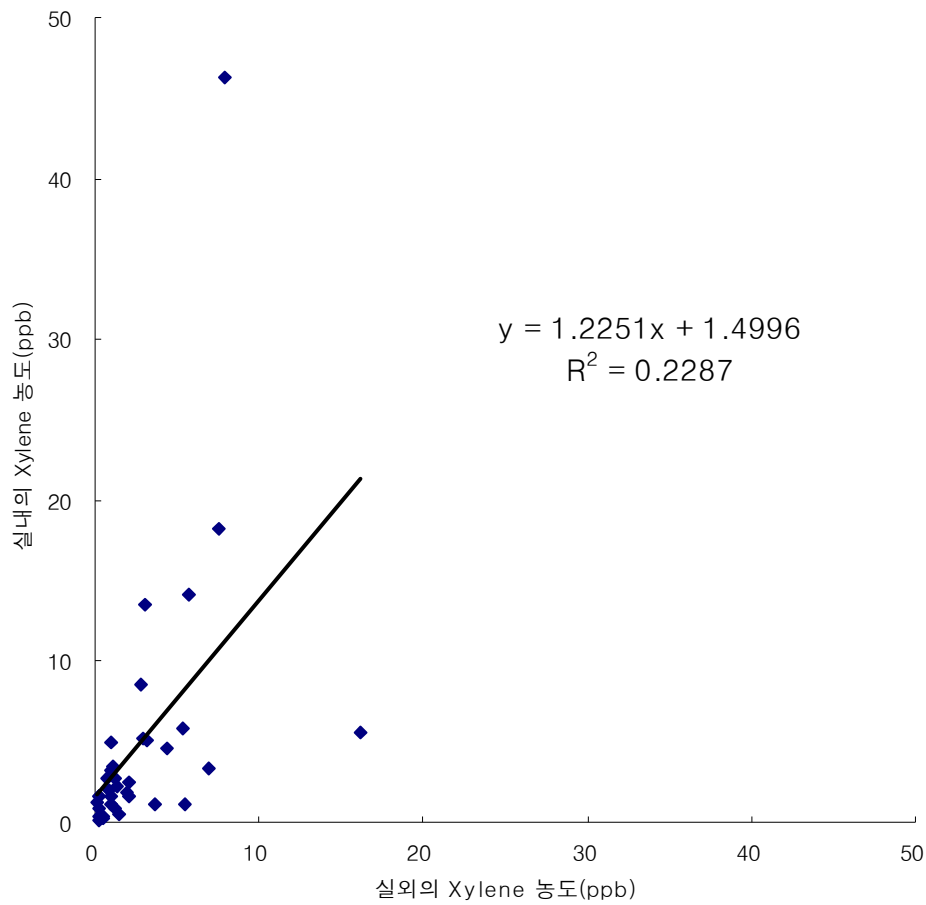


Figure 12. Comparison of xylene concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during normal operations).

2. 대 정비작업 공정 건물의 실내외 VOCs측정결과

이번 조사사업장 2004년 7월에서 11월에 진행된 대 정비작업 과정에서 발생하는 VOCs가 주변 공조건물에 미치는 영향을 조사하기 위해 3개 건물에 대해 5회에 걸쳐 실내와 실외(공조기 입구)에서 총 10개의 시

료를 측정하였다.(신뢰도 평가시료 제외) 각 건물에서 같은 날 같은 시간에 실내와 실외에서 동시측정을 실시하였으며, 측정한 VOCs 중 hexan 농도로 환산한 THC's 농도수준 및 유해성을 고려하여 Benzene, Toluene, Xylene 총 4가지 물질에 대해 실내와 실외의 측정농도를 비교 분석 하였다. 분석결과 LOD는 Table 4(표준물질별 검출한계, 분석에서의 변이계수 및 농도)를 기준으로 각 측정시료의 측정유량과 측정시간을 계산하여 적용하였다.

2.1 실내외 THC's 농도 비교

대정비 작업과정에서 측정한 THC's의 측정결과는 Table 9와 같다. Table 9는 실외농도 대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의 최고농도는 10월 15일 A건물에서 7251.6 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 1762.1 ppb로 실외의 기하평균인 1353.4 ppb보다 높은 것으로 나타났다. Figure 13은 측정농도를 실내와 실외로 나누어 THC's 측정자료 분포가 정규분포를 하는지 기하정규분포를 하는지 95% 신뢰 수준에서 W-test한 결과이며, 그 결과 실내외 THC's이 기하정규분포 하고 있음을 알 수 있었다.

실내외 차이가 10배 이상 차이를 보이는 1쌍의 시료를 제외한 4쌍(실내, 실외)의 시료에서 실내농도가 높은 것으로 나타났으며 Figure 14는 이때의 실내외 농도수준을 나타낸 것이다.

Table 9. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting), unit:ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
1	10/08	I	19:54 ~ 20:19	671.3	19:50 ~ 20:21	3136.9	4.7
2	11/16	B	20:35 ~ 21:05	212.8	20:30 ~ 21:00	911.3	4.3
3	10/15	A	15:25 ~ 15:41	3383.8	15:20 ~ 15:48	7251.6	2.1
4	11/17	B	21:00 ~ 21:37	1336.6	21:05 ~ 21:35	1563.4	1.2
5	10/07	I	19:25 ~ 19:50	7030.9	19:20 ~ 19:51	524.2	0.1
	M			2527.1		2677.5	2.5
	SD			2794.4		2744.6	2.0
	GM			1353.4		1762.1	1.3
	GSD			3.9		2.8	

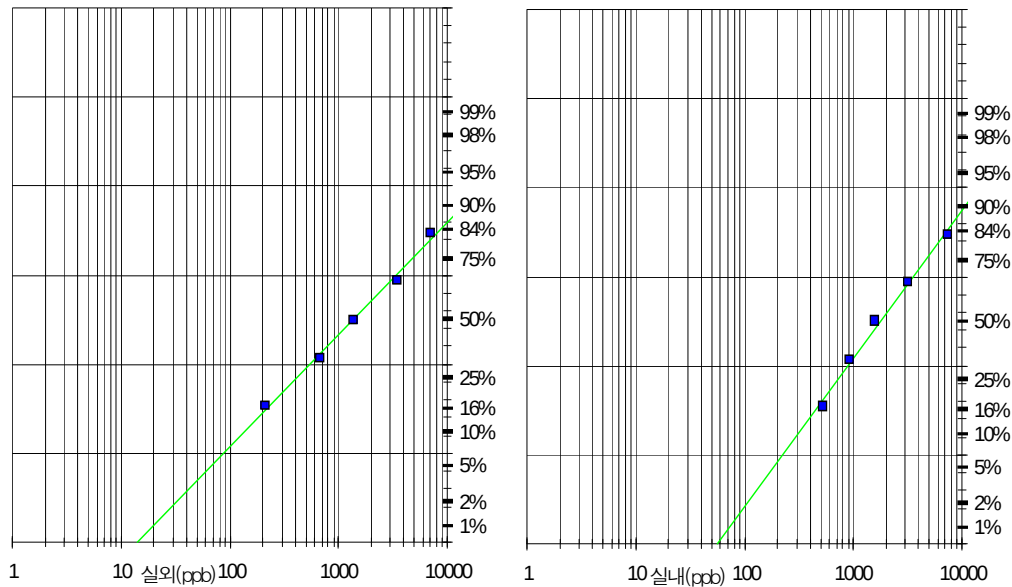


Figure 13. Lognormal distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting).

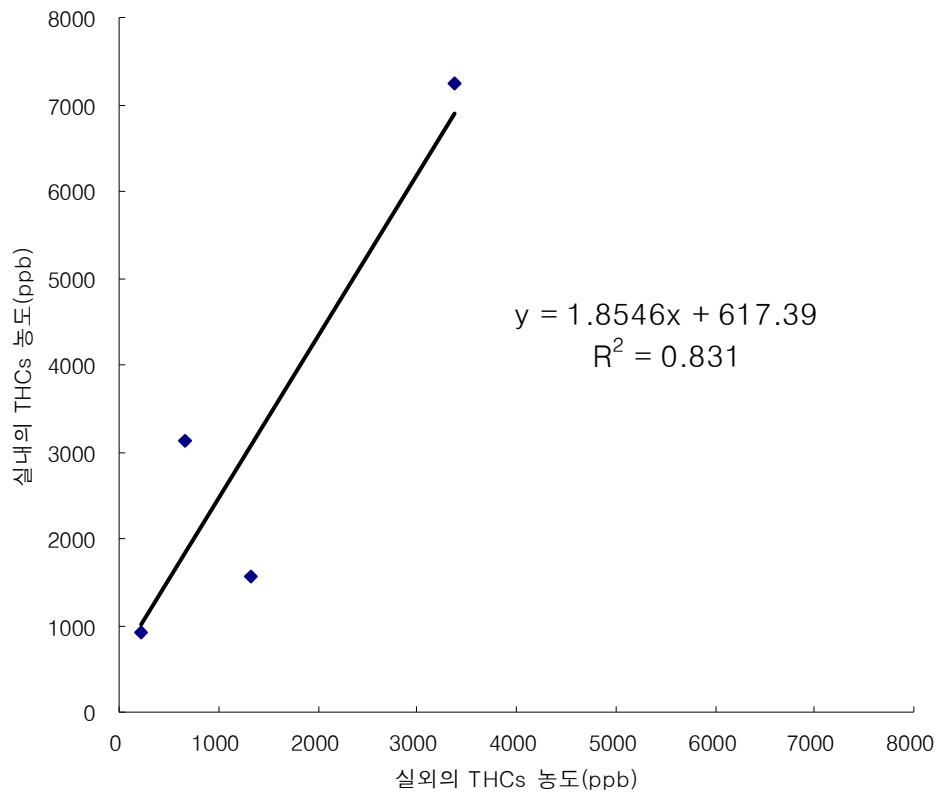


Figure 14. Comparison of THC concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during turnaround troubleshooting).

2.2 실내외 Benzene농도 비교

대정비 작업과정에서 측정한 Benzene의 실내외 5쌍 측정결과는 Table 10과 같다. Table 10은 실외농도 대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의 최고농도는 10월 8일 1건물에서 40.5 ppb로 나타났고, 기하평균은 실내가 14.5 ppb로 실외의 기하평균인 13.7 ppb와 비슷한 농도수준을 보였다. 4건물에서 실내농도가 높은 것으로 나타났으며 나머지 1건물에서는 실외농도가 높은 것으로 나타났다. Figure 15는 이때의

실내외 농도분포를 나타낸 것이다.

Table 10. Distribution of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting), unit:ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Benzene(A)	Sampling Time	Benzene(B)	
1	11/17	B	21:00 ~ 21:37	4.7	21:05 ~ 21:35	9.1	1.9
2	10/15	A	15:25 ~ 15:41	7.3	15:20 ~ 15:48	9.5	1.3
3	10/07	I	19:25 ~ 19:50	35.6	19:20 ~ 19:51	35.7	1.0
4	11/16	B	20:30 ~ 21:00	5.3	20:35 ~ 21:05	5.1	1.0
5	10/08	I	19:54 ~ 20:19	72.0	19:50 ~ 20:21	40.5	0.6
		M		25.0		20.0	1.1
		SD		29.3		16.7	0.5
		GM		13.7		14.5	1.1
		GSD		3.4		2.5	

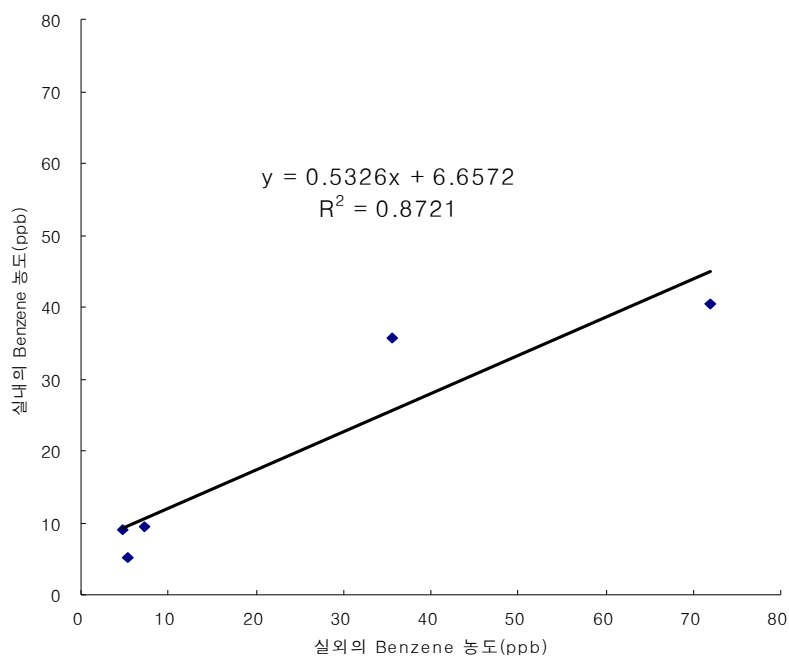


Figure 15. Comparison of benzene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting).

2.3 실내외 Toluene농도 비교

대정비 작업과정에서 측정한 Toluene 5쌍의 측정결과는 Table 11과 같다. Table 11은 실외 농도대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의 최고농도는 10월 15일 A건물에서 440.5 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 100.8 ppb로 실외 기하평균인 44.3 ppb보다 2배 이상 높게 나타났다.

실내외 10배 이상 차이를 보이는 1쌍과 10배 이상은 아니지만 10배에 근접하게 차이를 보이는 1쌍을 제외하고, 3쌍(실내, 실외)의 측정결과 3지점에서 실내가 높게 나왔으며, Figure 16은 이때의 실내외의 농도수준 및 분포를 나타낸 것이다.

Table 11. Distribution of toluene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting), unit:ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Toluene(A)	Sampling Time	Toluene(B)	
1	11/16	B	20:35 ~ 21:05	4.0	20:30 ~ 21:00	60.6	15.3
2	10/15	A	15:25 ~ 15:41	77.2	15:20 ~ 15:48	440.5	5.7
3	10/08	I	19:54 ~ 20:19	102.3	19:50 ~ 20:21	396.3	3.9
4	11/17	B	21:00 ~ 21:37	29.5	21:05 ~ 21:35	30.9	1.0
5	10/07	I	19:25 ~ 19:50	184.8	19:20 ~ 19:51	31.9	0.2
	M			79.6		192.0	5.2
	SD			70.4		207.6	6.0
	GM			44.3		100.8	2.3
	GSD			4.5		3.8	

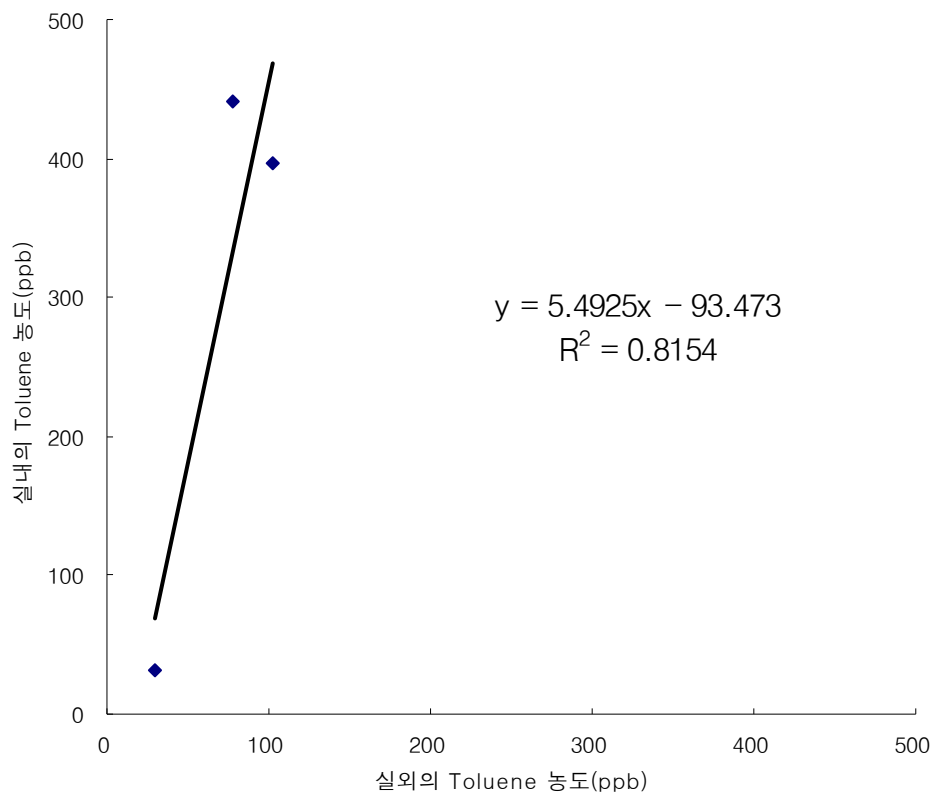


Figure 16. Comparison of toluene concentrations inside and outside of the HAVC buildings(during turnaround troubleshooting).

2.4 실내외 Xylene농도 비교

대정비 작업과정에서 측정한 Xylene 5쌍의 측정결과는 Table 12와 같다. Table 12는 같은 날 같은 시간에 각 건물별 실내, 실외에서 측정한 시료의 실외농도 대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의 최고농도는 10월 8일 I건물에서 35.7 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 17.8 ppb로 실외농도 기하평균인 14.7 ppb보다 약간 높게 나타났다. Figure 17은 이때의 실내외 농도수준 및 분포를 나타낸 것이다.

Table 12. Distribution of xylene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting), unit:ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	Xylene(A)	Sampling Time	Xylene(B)	
1	11/16	B	20:35 ~ 21:05	1.5	20:30 ~ 21:00	14.2	9.6
2	10/15	A	15:25 ~ 15:41	28.9	15:20 ~ 15:48	30.8	1.1
3	11/17	B	21:00 ~ 21:37	17.1	21:05 ~ 21:35	15.6	0.9
4	10/08	I	19:54 ~ 20:19	55.4	19:50 ~ 20:21	35.7	0.6
5	10/07	I	19:25 ~ 19:50	17.2	19:20 ~ 19:51	7.3	0.4
	M			24.0		20.7	2.5
	SD			20.1		12.0	4.0
	GM			14.7		17.8	1.2
	GSD			4.0		1.9	

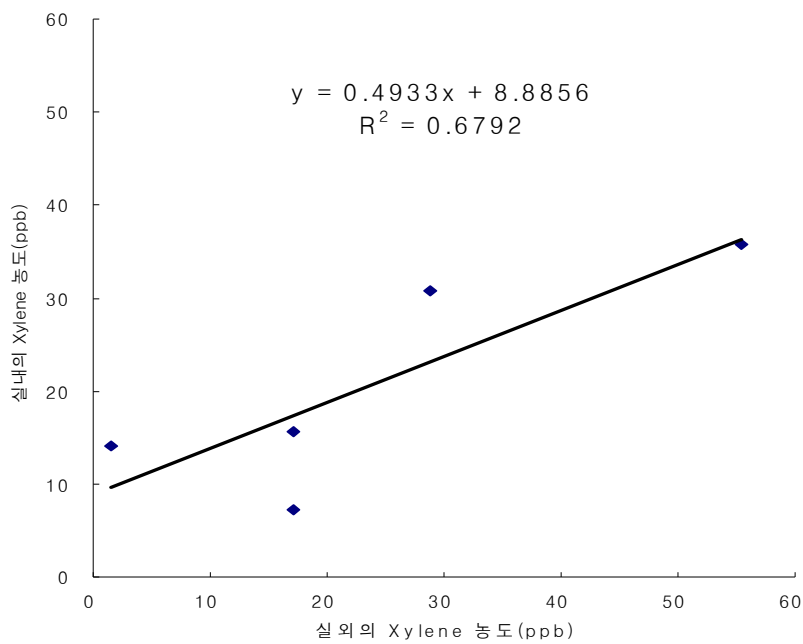


Figure 17. Comparison of xylene concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during turnaround troubleshooting).

3. 정상운전과 대 정비작업의 실내외 THC농도 비교

공정의 정상운전과 대정비 작업과정에서 발생하는 THC에 대해 같은 건물에서 같은 조건으로 측정한 자료를 비교평가 하였으며 결과는 Table 13과 같다. 실내농도는 대정비작업 시 측정한 시료가 기하평균이 1450.1 ppb로 정상운전에서 측정한 시료의 기하평균인 60.8 ppb보다 23배 이상 매우 높게 나타났고, 실외 농도는 대정비작업 시 측정한 농도가 1323.3 ppb로 정상운전의 실외 농도인 1.9 ppb보다 수백 배 이상 높게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 대정비작업 시에는 실내외 구분 없이 고농도로 나타났다. Figure 18은 정상운전과 대 정비작업 실내외 농도분포를 비교한 것이다.

Table 13. Distribution of THC concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation and during turnaround troubleshooting), unit:ppb

No	Site	Outdoor		Indoor	
		Normal stage	Turnaround stage	Normal stage	Turnaround stage
		THCs(A)	THCs(B)	THCs(A)	THCs(B)
1	B	11.9	212.8	127.0	1043.1
		19.4	1378.7	41.5	1563.4
		15.7	1777.7	—	991.4
		—	853.2	—	699.5
2	I	45.6	671.3	63.1	3136.9
		8.4	7030.9	37.6	524.2
3	A	37.0	3383.8	90.1	7251.6
		36.2	—	45.0	—
	M	24.9	2186.9	67.4	2172.9
	SD	14.5	2369.6	35.1	2403.3
	GM	21.1	1323.3	60.8	1450.1
	GSD	1.9	3.1	1.6	2.5

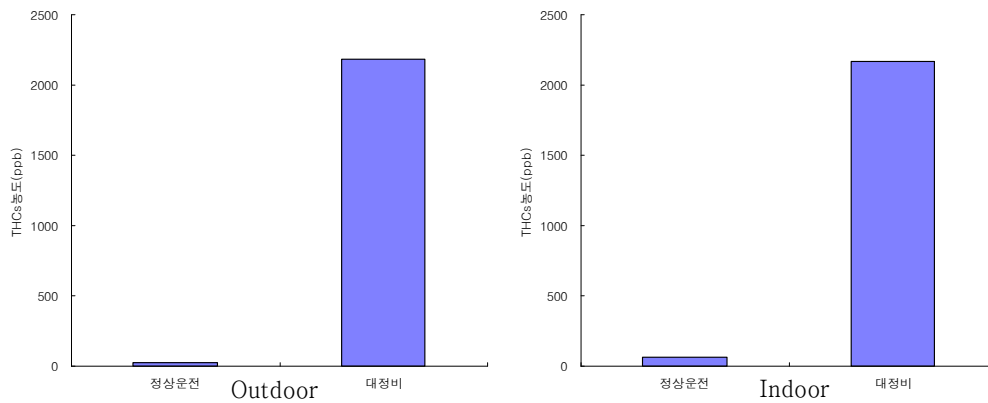


Figure 18. Comparison of THC concentrations inside and outside of the HVAC buildings(during normal operation and during turnaround troubleshooting).

4. 건물의 케미컬필터 유무에 따른 실내외 VOCs측정결과

총 25개의 공조건물 중 케미컬필터가 설치된 5개의 건물에서 측정한 실내외 VOCs농도와 케미컬필터가 설치되지 않은 건물에서 측정한 실내외 VOCs농도에 대해 비교분석 하였다. 각 건물에서 같은 날 오전과 오후를 나누어 측정하였고, 측정 시에는 실내와 실외(공조기 입구)에서 동시에 측정을 실시하였다. 측정한 VOCs 중 헥산농도로 환산한 THC의 측정결과를 실내와 실외에 대해 측정농도를 비교 분석 하였다. 분석결과 LOD는 Table 4(표준물질별 검출한계, 분석에서의 변이계수 및 농도)을 기준으로 각 측정시료의 유량과 측정시간을 계산하여 적용하였다.

4.1 케미컬필터가 설치된 건물의 실내외 THC농도 비교

THCs의 10쌍에 대한 측정결과는 Table 14와 같다. Table 14는 실외 농도수준 대비 실내농도 수준이 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의

최고농도는 10월 26일 D건물에서 312.3 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 29.9 ppb로 실외 기하평균인 21.1 ppb보다 높게 나타났다.

실내외 농도가 10배 이상 차이를 보이는 1쌍의 시료를 제외한 9쌍 중 8건물에서 실내가 실외보다 높게 나타났고, 나머지 1건물에서 실외가 실내보다 높게 나타났다. 이때의 측정결과 기하평균은 실내가 32.6 ppb로 실외농도 기하평균인 14.9 ppb보다 2배 이상 높게 나타났다. Figure 19는 이때의 농도수준 및 분포를 나타낸 것이다.

Table 14. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(Installed carbon filters in air supplying inlet),unit :ppb

No	sampling date	sampling site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
1	10/26	D	15:25 ~ 15:56	34.1	15:25 ~ 15:56	312.3	9.2
2	10/27	E	15:10 ~ 15:40	3.7	15:09 ~ 15:38	31.4	8.4
3	10/26	C	11:34 ~ 12:04	6.8	11:32 ~ 12:04	32.7	4.8
4	10/27	E	10:09 ~ 10:39	35.5	10:07 ~ 10:38	81.8	2.3
5	10/28	J	15:22 ~ 15:55	3.0	15:22 ~ 15:55	6.8	2.3
6	10/26	C	15:16 ~ 15:48	9.0	15:15 ~ 15:48	14.2	1.6
7	10/28	J	10:03 ~ 10:46	17.6	10:03 ~ 10:46	24.5	1.4
8	10/26	D	11:08 ~ 11:46	94.5	11:09 ~ 11:45	96.1	1.0
9	10/27	G	15:01 ~ 15:31	26.1	15:02 ~ 15:30	6.9	0.3
10	10/27	G	09:49 ~ 10:22	478.3	09:47 ~ 10:22	13.9	0.0
	M			70.9		62.1	3.1
	SD			145.7		93.1	3.3
	GM			21.1		29.9	1.4
	GSD			4.7		3.5	

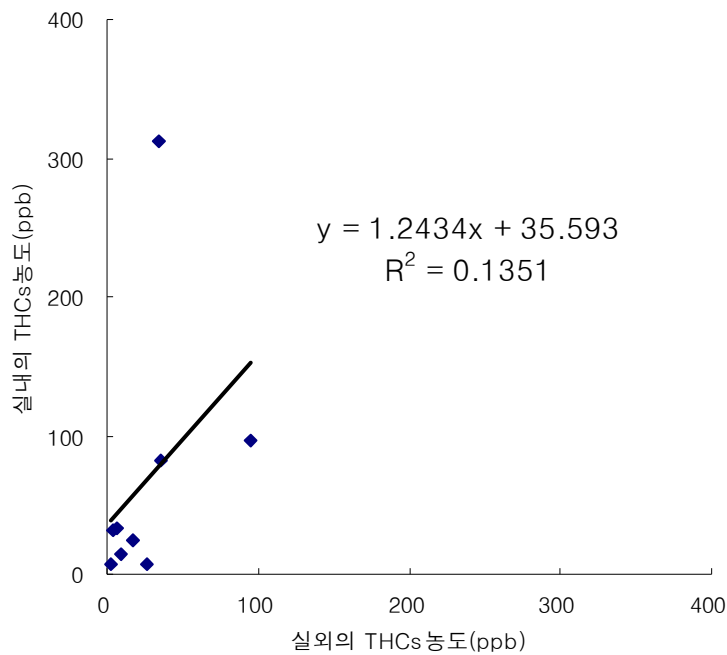


Figure 19. Comparison of THC concentrations inside and outside of the HAVC buildings(Installed carbon filters in air supplying inlet).

4.2 케미컬필터가 설치되지 않은 건물의 실내외 THC농도 비교

케미컬필터가 설치된 5개의 건물을 제외한 모든 건물을 같은 방법으로 측정한 총 35쌍의 결과는 Table 15와 같다. Table 15는 실외농도 대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 실내시료의 최고농도는 731.3 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 74.3 ppb로 실외의 기하평균인 43.2 ppb보다 약 2배정도 높게 나타났다.

실내외 농도가 10배 이상 차이를 보이는 4쌍을 제외한 31쌍의 측정 결과 중 23지점에서 실내가 실외보다 높은 것으로 나타났으며 나머지 8

개 지점에서 실외농도가 높은 것으로 나타났다. Figure 20은 이때의 THC's의 농도수준 및 분포를 나타낸 것이다.

Table 15. Distribution of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(Not installed carbon filters in air supplying inlet). unit : ppb

No	sampling date	sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
1	11/02	R	14:50 ~ 15:31	21.3	14:51 ~ 15:21	731.3	34.3
2	11/02	S	14:57 ~ 15:30	23.7	14:54 ~ 15:25	293.5	12.4
3	10/26	B	11:23 ~ 11:56	11.9	11:20 ~ 11:56	127.0	10.6
4	10/29	L	09:36 ~ 10:08	6.3	09:26 ~ 09:57	42.8	6.7
5	10/29	L	14:23 ~ 14:55	3.4	14:20 ~ 14:50	18.6	5.5
6	10/28	I	15:36 ~ 16:06	8.4	15:34 ~ 16:04	37.6	4.5
7	11/04	W	09:30 ~ 10:01	97.1	09:35 ~ 10:06	411.7	4.2
8	11/02	S	10:04 ~ 10:38	84.2	09:59 ~ 10:31	314.4	3.7
9	11/02	T	12:08 ~ 12:39	59.0	12:04 ~ 12:35	200.9	3.4
10	11/02	Q	16:02 ~ 16:32	43.2	16:00 ~ 16:30	128.5	3.0
11	10/28	H	15:13 ~ 15:45	5.0	15:11 ~ 15:44	14.1	2.8
12	10/29	M	09:10 ~ 09:50	6.0	09:14 ~ 09:49	16.7	2.8
13	10/27	F	09:56 ~ 10:29	11.3	09:57 ~ 10:29	30.4	2.7
14	10/26	A	10:26 ~ 10:52	37.0	10:20 ~ 10:55	90.1	2.4
15	10/29	K	09:41 ~ 10:06	4.5	09:40 ~ 10:07	11.0	2.4
16	11/01	O	10:10 ~ 10:45	100.0	10:10 ~ 10:44	219.8	2.2
17	10/26	B	15:07 ~ 15:41	19.4	15:09 ~ 15:41	41.5	2.1
18	11/03	V	09:59 ~ 10:30	149.0	10:03 ~ 10:35	286.8	1.9
19	10/28	H	10:37 ~ 11:07	12.4	10:27 ~ 10:59	22.6	1.8
20	11/03	R	08:53 ~ 09:24	43.1	08:54 ~ 09:26	66.9	1.6
21	11/04	W	15:00 ~ 15:30	70.8	15:03 ~ 15:36	98.5	1.4
22	10/28	I	09:48 ~ 10:18	45.6	09:48 ~ 10:17	63.1	1.4
23	11/01	P	10:30 ~ 11:02	186.6	10:26 ~ 11:05	236.5	1.3
24	10/26	A	15:01 ~ 15:33	36.2	14:55 ~ 15:32	45.0	1.2
25	11/04	X	15:16 ~ 15:47	104.1	14:54 ~ 15:25	126.7	1.2
26	11/3	V	15:00 ~ 15:31	95.6	15:03 ~ 15:34	106.2	1.1
27	11/03	U	15:03 ~ 15:35	54.0	15:02 ~ 15:33	55.2	1.0
28	11/02	T	16:07 ~ 16:39	57.7	16:05 ~ 16:37	58.1	1.0
29	11/01	O	14:00 ~ 14:41	445.6	14:00 ~ 14:40	428.1	1.0
30	11/01	P	14:15 ~ 14:55	215.5	14:08 ~ 14:52	155.4	0.7
31	10/29	N	15:13 ~ 15:45	22.5	15:10 ~ 15:40	14.5	0.6
32	11/03	U	12:41 ~ 13:12	107.2	12:40 ~ 13:11	46.2	0.4

Table 15. Distribution of THC's concentrations in inside and outside of the HVAC buildings(Not installed carbon filters in air supplying inlet). unit : ppb, (continue)

No	sampling date	sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
33	11/02	Q	12:10 ~ 12:41	535.0	12:09 ~ 12:39	102.1	0.2
34	10/29	N	10:38 ~ 11:08	219.4	10:38 ~ 11:09	14.6	0.1
35	10/27	F	14:54 ~ 15:25	454.9	14:55 ~ 15:25	21.2	0.0
	M			97.1		133.7	3.5
	SD			132.6		154.7	6.0
	GM			43.2		74.3	1.7
	GSD			4.1		3.3	

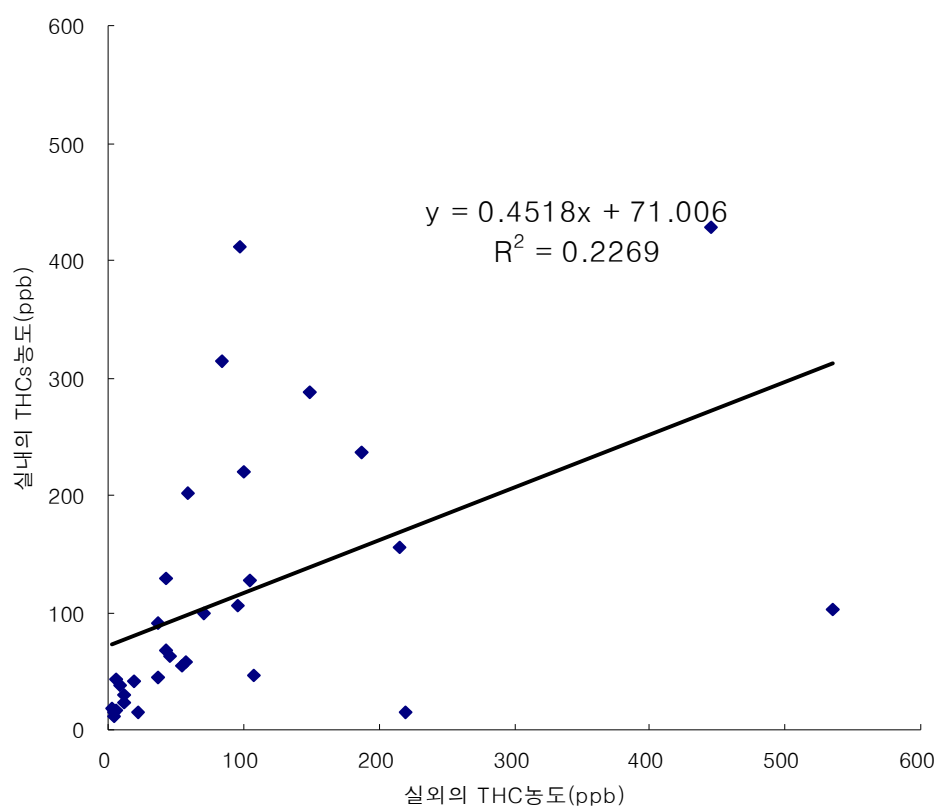


Figure 20. Comparison of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(Not installed carbon filters in air supplying inlet).

케미컬필터가 설치된 건물과 케미컬필터가 설치되지 않은 건물의 실내외 농도가 10배상 차이를 보이는 시료를 제외한 THC의 측정결과는 케미컬필터가 설치된 건물의 실내 기하평균이 32.6 ppb로 케미컬필터가 설치되지 않은 건물의 실내 기하평균인 67.6 ppb보다 낮은 것으로 나타났다. 이러한 측정결과는 케미컬필터가 설치된 건물의 실외농도 기하평균 14.9 ppb와 케미컬필터가 설치되지 않은 건물 실외농도 기하평균 43.5 ppb를 고려할 때 케미컬필터의 역할이 전무함을 알 수 있다. 따라서 실내의 VOCs농도는 외부의 오염된 공기가 공조기를 통해서 들어오기 보다는 건물 내부의 자체적인 발생과 더불어 건물 음압에 따른 주출입문으로의 유입을 예상할 수 있다.

5. 현장부서와 사무부서 건물의 실내외 VOCs측정결과

총 25개의 건물 중 현장부서 건물과 사무부서 건물에서 측정한 실내외 VOCs농도에 대해 비교분석 하였다. 각 건물에서 같은 날 오전과 오후를 나누어 측정하였고, 측정 시에는 실내와 실외(공조기 입구)에서 동시 측정을 실시하였다. 측정한 VOCs 중 hexan 농도로 환산한 THC의 측정결과를 실내와 실외를 비교 분석하였다. 분석결과 LOD는 Table 4(표준물질별 검출한계, 분석에서의 변이계수 및 농도)를 기준으로 각 측정시료의 측정유량과 측정시간을 적용하였다.

5.1 현장부서 건물의 실내외 THC농도 비교

현장부서 건물 THC의 34쌍 측정결과는 Table 16과 같다. Table 16은 실외농도 대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 측정결과 최고

농도수준은 11월 2일 R건물에서 731.3 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 59.1 ppb로 실외 기하평균인 28.2 ppb보다 약 2배정도 높은 것으로 나타났다.

실내외 농도가 10배 이상 차이를 보이는 4쌍의 시료를 제외한 30쌍의 시료 중 26지점에서 실내가 실외보다 높은 것으로 나타났으며 나머지 4개 지점에서 실외가 실내보다 높은 것으로 나타났다. Figure 21은 이때의 실내외 농도분포 수준을 나타낸 것이다..

Table 16. Distribution of THC's concentrations in inside and outside of the HVAC buildings(Building in production area). unit:ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
1	11/02	R	14:50 ~ 15:31	21.3	14:51 ~ 15:21	731.3	34.3
2	11/02	S	14:57 ~ 15:30	23.7	14:54 ~ 15:25	293.5	12.4
3	10/26	B	11:23 ~ 11:56	11.9	11:20 ~ 11:56	127.0	10.6
4	10/26	D	15:25 ~ 15:56	34.1	15:25 ~ 15:56	312.3	9.2
5	10/27	E	15:10 ~ 15:40	3.7	15:09 ~ 15:38	31.4	8.4
6	10/29	L	09:36 ~ 10:08	6.3	09:26 ~ 09:57	42.8	6.7
7	10/29	L	14:23 ~ 14:55	3.4	14:20 ~ 14:50	18.6	5.5
8	10/26	C	11:34 ~ 12:04	6.8	11:32 ~ 12:04	32.7	4.8
9	10/28	I	15:36 ~ 16:06	8.4	15:34 ~ 16:04	37.6	4.5
10	11/02	S	10:04 ~ 10:38	84.2	09:59 ~ 10:31	314.4	3.7
11	10/28	H	15:13 ~ 15:45	5.0	15:11 ~ 15:44	14.1	2.8
12	10/29	M	09:10 ~ 09:50	6.0	09:14 ~ 09:49	16.7	2.8
13	10/26	A	10:26 ~ 10:52	37.0	10:20 ~ 10:55	90.1	2.4
14	10/29	K	09:41 ~ 10:06	4.5	09:40 ~ 10:07	11.0	2.4
15	10/27	E	10:09 ~ 10:39	35.5	10:07 ~ 10:38	81.8	2.3
16	10/28	J	15:22 ~ 15:55	3.0	15:22 ~ 15:55	6.8	2.3
17	11/01	O	10:10 ~ 10:45	100.0	10:10 ~ 10:44	219.8	2.2
18	10/26	B	15:07 ~ 15:41	19.4	15:09 ~ 15:41	41.5	2.1
19	11/03	V	09:59 ~ 10:30	149.0	10:03 ~ 10:35	286.8	1.9
20	10/28	H	10:37 ~ 11:07	12.4	10:27 ~ 10:59	22.6	1.8
21	10/26	C	15:16 ~ 15:48	9.0	15:15 ~ 15:48	14.2	1.6
22	11/03	R	08:53 ~ 09:24	43.1	08:54 ~ 09:26	66.9	1.6
23	10/28	J	10:03 ~ 10:46	17.6	10:03 ~ 10:46	24.5	1.4
24	10/28	I	09:48 ~ 10:18	45.6	09:48 ~ 10:17	63.1	1.4
25	11/01	P	10:30 ~ 11:02	186.6	10:26 ~ 11:05	236.5	1.3
26	10/26	A	15:01 ~ 15:33	36.2	14:55 ~ 15:32	45.0	1.2
27	11/03	V	15:00 ~ 15:31	95.6	15:03 ~ 15:34	106.2	1.1

Table 16. Distribution of THC's concentrations in inside and outside of the HVAC buildings(Building in production area). unit:ppb, (continue)

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
28	11/03	U	15:03 ~ 15:35	54.0	15:02 ~ 15:33	55.2	1.0
29	10/26	D	11:08 ~ 11:46	94.5	11:09 ~ 11:45	96.1	1.0
30	11/01	O	14:00 ~ 14:41	445.6	14:00 ~ 14:40	428.1	1.0
31	11/01	P	14:15 ~ 14:55	215.5	14:08 ~ 14:52	155.4	0.7
32	11/03	U	12:41 ~ 13:12	107.2	12:40 ~ 13:11	46.2	0.4
33	10/27	G	15:01 ~ 15:31	26.1	15:02 ~ 15:30	6.9	0.3
34	10/27	G	09:49 ~ 10:22	478.3	09:47 ~ 10:22	13.9	0.0
	M			71.5		120.3	4.0
	SD			112.6		155.3	6.1
	GM			28.2		59.1	2.1
	GSD			4.1		3.5	

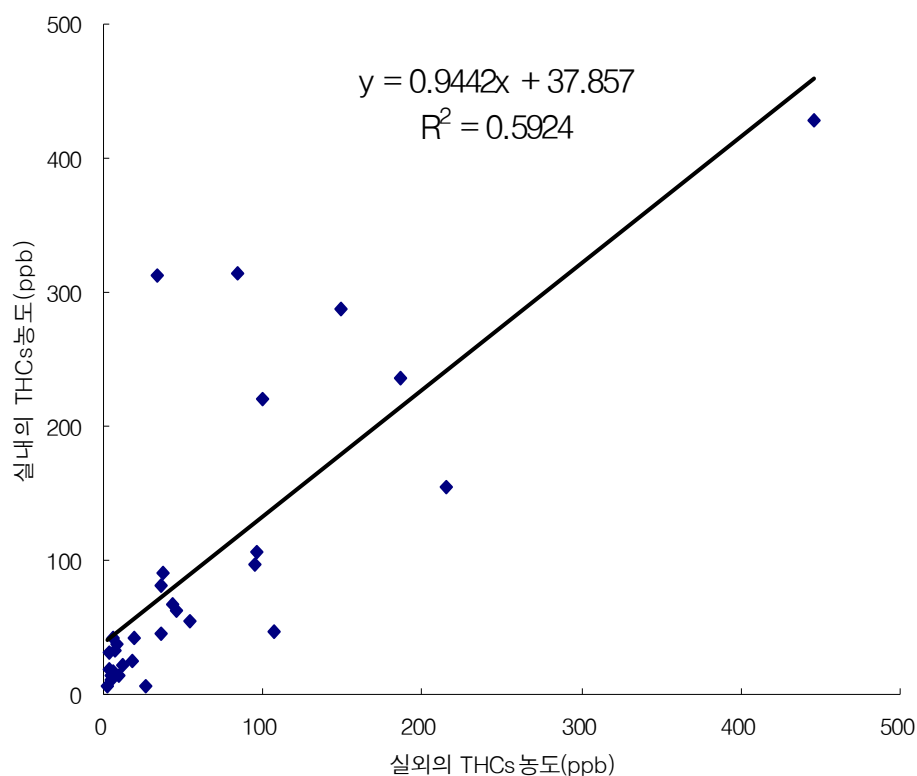


Figure 21. Comparison of THC's concentrations inside and outside of the HVAC buildings(Building in production area).

5.2 사무부서 건물의 실내외 THC농도 비교

사무부서 건물 THCs 11쌍의 측정결과는 Table 17과 같다. Table 17은 실외농도 대비 실내농도가 높은 순서로 나열하였다. 최고 농도는 11월 4일 W건물에서 411.7 ppb로 나타났다. 기하평균은 실내가 66.2 ppb로 실외 기하평균인 83.8 ppb보다 낮게 나타났다.

실내외 농도가 10배 이상 차이를 보이는 2쌍의 시료를 제외한 9쌍의 측정결과 7지점에서 실내가 실외보다 높은 것으로 나타났으며 나머지 2개 지점에서 실외가 높은 것으로 나타났다. 이때의 기하평균은 실내가 88.88 ppb로 실외농도 기하평균인 62.38 ppb보다 약간 높은 것으로 나타났다. Figure 22는 이때의 실내외 농도수준 및 분포를 나타낸 것이다.

Table 17. Distribution of THC's concentration in outdoor and indoor HVAC building(Office building), unit : ppb

No	Sampling date	Sampling Site	Outdoor		Indoor		B/A
			Sampling Time	THCs(A)	Sampling Time	THCs(B)	
1	11/04	W	09:30 ~ 10:01	97.1	09:35 ~ 10:06	411.7	4.2
2	11/02	T	12:08 ~ 12:39	59.0	12:04 ~ 12:35	200.9	3.4
3	11/02	Q	16:02 ~ 16:32	43.2	16:00 ~ 16:30	128.5	3.0
4	10/27	F	09:56 ~ 10:29	11.3	09:57 ~ 10:29	30.4	2.7
5	11/04	W	15:00 ~ 15:30	70.8	15:03 ~ 15:36	98.5	1.4
6	11/04	X	15:16 ~ 15:47	104.1	14:54 ~ 15:25	126.7	1.2
7	11/02	T	16:07 ~ 16:39	57.7	16:05 ~ 16:37	58.1	1.0
8	10/29	N	15:13 ~ 15:45	22.5	15:10 ~ 15:40	14.5	0.6
9	11/02	Q	12:10 ~ 12:41	535.0	12:09 ~ 12:39	102.1	0.2
10	10/29	N	10:38 ~ 11:08	219.4	10:38 ~ 11:09	14.6	0.1
11	10/27	F	14:54 ~ 15:25	454.9	14:55 ~ 15:25	21.2	0.0
		M		152.3		109.7	1.6
		SD		179.1		116.3	1.5
		GM		83.8		66.2	0.8
		GSD		3.2		3.0	

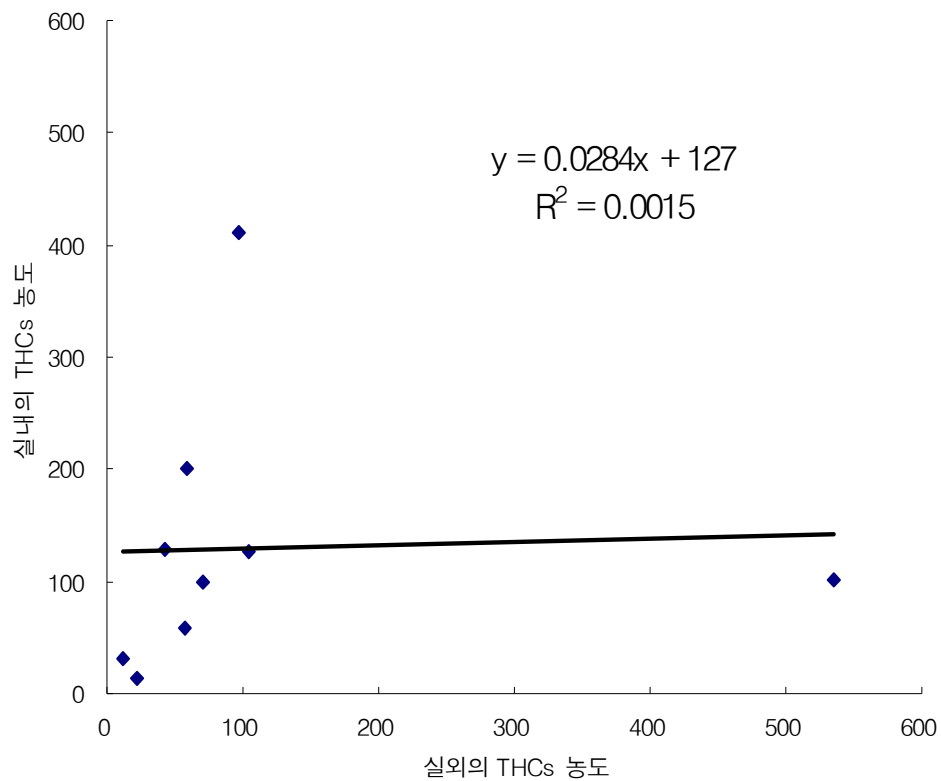


Figure 22. Comparison of THC concentrations inside and outside of the HAVC buildings(Office building).

현장부서 건물과 사무부서 건물의 실내측정 결과 현장부서 건물 실내 기하평균 농도가 59.1 ppb로 사무부서 실내 기하평균 농도인 66.1 ppb 보다 낮게 나타났다. 또한 현장부서 건물의 실외 기하평균 농도가 28.2 ppb로 사무부서 실외 기하평균 농도인 83.8 ppb보다 낮게 나타났다. 현장부서 건물이 사무부서 건물보다 실내외 VOCs농도 수준이 모두 낮게 나타난 결과는 본 조사를 하게 된 지역 석유화학사업장의 경우 현장부서와

사무부서 모든 건물이 VOCs에 대한 동일 노출그룹에 속하며 당일 기류 등에 의한 변수가 VOCs노출에 더 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

6. 향후과제

석유화학공단은 장치가 옥외에 존재하므로 대기조건(조사당일 기압, 풍향 및 풍속 등)에 따라 노출정도가 많이 달라진다. 이러한 사실은 본 조사 사업장의 과거 작업환경측정결과, 2004년도 악취조사결과, 실시간 대기오염 모니터링 결과에서도 나타났다. 특히나 이번조사에서 사용한 측정 방법은 시료포집 시간이 짧은 시간에 이루어지므로 보다 다양한 시간과 조건에서의 지속적인 모니터링이 필요하며 구체적인 추가조사에 대한 방법을 다음과 같이 제시하고자 한다.

첫째, 이번조사에서 VOCs농도가 높을 것으로 예상되는 당 사업장의 2004년도 하반기에 진행된 대 정비공정 주위 건물에서 VOCs를 평가하였으나 시료수가 극히 부족했다. 향후 다른 공정에서도 고농도 노출 가능성이 있을 때에 대한 추가적인 평가가 필요하다.

둘째, 석유화학공단은 주위공정이 정상운전일지라도 시설이 옥외환경이기 때문에 대기조건이 다양한 날에 대한 상대적인 평가가 필요하다. 예를 들면 비오는 날, 저기압인 날, 야간, 계절에 따른 변수를 고려하여 모니터링이 필요하다.

셋째, 이번에 조사를 실시한 대상은 공조건물(강제급기시설 건물)만을 대상으로 하였으나 공조 설비가 갖추어지지 않은 다른 건물에 대한 추가조사 및 비교평가가 필요하다.

넷째, 이번 조사가 진행된 사업장은 동일지역에서 VOCs에 대한 저감대책이 가장 적극적인 사업장이다. 유사한 특성을 가지고 있는 타사업장

에도 적용되어 석유화학공단에 존재하는 건물의 실내외 VOCs에 대한 종합적인 조사 및 평가가 필요하다.

IV. 결론

주택과 사무실에서 측정된 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 각 성분에 대한 평균 실내농도는 벤젠 $38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $21.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o-크실렌 $11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, m/p-크실렌 $29.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며 평균 실외농도는 각각 $27.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $140.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $16.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 실내농도가 실외농도에 비해 1.2배에서 2.4배까지 높은 것으로 조사되었다.⁴⁾ 주택과 사무실에서의 휘발성 유기화합물질(VOCs)농도를 비교해 보면 주택보다 사무실에서 휘발성 유기화합물질(VOCs)이 성분에 따라 2.1배에서 7.6배 높은 것으로 조사되었다⁵⁾

본 조사는 여수산단에 위치한 모 석유화학사업장 내에 존재하는 공조시설 건물로서 총 25개를 선정하여 주위 공정이 정상가동 중인 2004년 10월말부터 11월초까지 각 건물별로 오전과 오후로 나누어 동 시간에 실내와 실외의 유기화합물질(VOCs)을 측정하였다. 또한 7월부터 11월까지 진행된 대정비 작업일정에 맞추어 대정비 작업이 진행되는 주위 건물에 대해 동 시간에 실내와 실외의 유기화합물질(VOCs)을 측정 하였으며 측정 결과를 요약하면 다음과 같다.

이번 조사를 하게 된 사업장의 경우 최초 기술했던 가설가과는 다르게 VOCs에 대한 석유화학공단 특성과는 상관없이 다른 대도시 건물의 실내오염 특성과 비슷한 경향을 보였다. 실외 보다는 실내의 VOCs농도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한 케미컬필터가 설치된 건물과 설치되지 않은 건물에서 비슷한 결과를 보였다. 이러한 실내의 VOCs노출이 실외에서 공조기를 통한 유입보다는 내부 건물 및 내장재에서 발생하는 것과 근무자가 현장에서 작업 후 작업복에 묻어 실내로 유입, 실내에 보관중인 작업복, 개인보호구 등에 의한 지속적인 발생, 건물에 양압 유지가 안됨으

로서 주 출입문으로의 유입에 가능성 있어 보였다. 따라서 주위 공정이 정상운전 시 최초 예상했던 공조기를 통한 실외 VOCs가 실내로 전달됐을 것이라는 예상이 잘못됐음이 입증됐다. 이번 조사를 실시한 사업장의 경우 평상시 공정이 장상가동운전 시에는 외부 VOCs를 정화하여 급기하는 공조기의 케미칼필터 운영보다는 환기를 적절히 하여 실내 VOCs농도를 낮추는 방안을 강구해야 할 것이다. 다만 대정비작업 시 옥외의 높은 VOCs농도에 의해 실내가 고농도로 오염됨을 알 수 있었으므로 대정비 또는 주위 공정의 이상운전으로 인한 VOCs가 다량으로 노출될 경우에는 별도의 VOCs에 대한 대책이 있어야 할 것이다. 더불어 석유화학공단 근무자들의 경우 작업과정에서 노출되는 VOCs와 함께 실내 환경에서 저 농도로 장기간 노출될 수 있기 때문에 이에 대한 연구 및 대책이 필요하다.

참고문헌

1. 박영근, 문정우, 고민수, 박현수, 차순우, 이선우, 홍승철, 김화용, 이종협 : 공정단위장치로부터의 휘발성유기화합물질의 비산 배출량 산정
2. 김윤신 : 실내공기오염 연구의 현황과 전망
3. 강대희 : 사무실 근로자들에서의 sick building syndrome
4. 김윤신 외 : 실내외 공기 중 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 농도조사에 관한 연구
5. 이진홍, 류영태, 유인석 : 공단지역의 휘발성 유기화합물 및 중금속으로 인한 인체 위해도 평가에 관한 연구
6. LG환경연구원 : 본 조사 사업장 Odor Map Project
7. 남병현, 윤미정, 이진홍 : 울산공단 지역의 대기 중 휘발성 유기화합물에 대한 위해도 평가
8. 윤충식, 정지연, 이광용, 박동욱, 박두용 : 유아교육시설의 위치 및 실내, 실외에 따른 포름알데히드 농도 변화
9. Lols R. Ember(1988). Survey Finds High Indoor Levels of Volatile Organic Chemicals C&EN December 5

10. Burge S, Hedge A, Wilson S, Bass JH, Robertson A, Sick building syndrome : A study of 4373 office workers. Ann Occup. Hyg, 1987
11. Paul J. Lioy and Joan M. Daisey(1987). Toxic Air Pollution. Lewis Publishers, Inc.
12. Clyde W. Sweet and Stephen J. Vermette(1992). Toxic Volatile Organic Compounds in Urban Air in Illinois, Environ. Sci. Technol.
13. Marie V. Tancrede and Yukio Yanagisawa, An Analytical Method to Determine Henry's Law Constant For Selected Volatile Organic Compounds At Concentrations And Temperatures Corresponding To Tap Water Use, J. Air Waste Manage. Assoc.
14. World Health Organization. Indoor air pollutants : exposure Office for Europe (EURO reports and studies; no 78). 1983

ABSTRACT

Study on VOCs Concentrations both Inside and Outside Buildings in a Petroleum Refinery Industry

Kim, Jae Jong

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

Director

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

This study was conducted to evaluate the workers' exposure to volatile organic compounds(VOCs) from inside and outside of the buildings in a petroleum refinery industry. VOCs concentrations were measured with the use of Tenax tubes and GC/MSD both in inside and outside of the buildings during normal operations and a turn-around-shut-down (T&A S/D) periods. Hexane based Total hydrocarbons (THCs), benzene, toluene and xylene were quantitatively analyzed.

The results were as follows.

1. THCs concentrations showed log normal distributions. GMs of THCs concentrations were 36.8 ppb outside and 60.7 ppb inside respectively during normal operations. GSDs were 4.2 and 3.3 for outside and inside respectively.
2. GMs of benzene concentrations were 0.6 ppb outside and 0.8 ppb inside respectively during normal operations, which were far below than current occupational exposure limit of 1 ppm(=1,000ppb). GSDs were 3.0 and 3.4 for outside and inside respectively.

3. During normal operations, THC's concentration levels at inside of buildings were 1.7 times higher than those at outside of buildings. It was found to be higher inside concentrations of 1.3 times for benzene, 2.1 times for toluene, and xylene respectively compared to the outside ones.

4. During T&A S/D periods, THC's concentration levels at inside of buildings were 1.3 times higher than those at outside of buildings. It was found to be higher inside concentrations of 1.1 times for benzene, 2.3 times for toluene, and 1.2 times for xylene respectively compared to the outside ones.

5. Geometric mean(GM) of the THC's concentrations during T&A S/D periods was 23.8 times higher than that during normal operations in inside of the buildings. GM of the THC's in outside of the buildings during T&A S/D periods was 697 times higher than that during normal operations.