서울시 휘발성 유기화합물질의 지역별 오염도 분석을 통한 위해도 결정

연세대학교 보건대학원

환경관리학과

유 영 대

Risk Characterization through muti-sector analysis of VOCs in Seoul

지도 정 용 교수

이 논문을 보건학석사 학위논문으로 제출함

2000년 월 일

연세대학교 보건대학원
환경관리학과
유 영 대

유영대의 보건학 석사학위논문을 인준함

심사의원 ____________________ 인

심사의원 ____________________ 인

심사의원 ____________________ 인

연세대학교 보건대학원

2000년 6월 23일

감사의 글

인간은 정지할 수 없으며 정지하지 않는다. 그래서 현 상태로 머물지 아니하는 것이 인간이며, 현 상태로 있을 때, 그는 가치가 없다.

- 장 폴 샤르트르 -

이 논문의 마침은 한 과정의 마무리라기 보다는 새로운 과정의 시작이라고 생각합니다. 제가 환경을 공부하는 동안 많은 도움을 주신 여러분께 진심으로 감사를 드립니다.

환경과 교육에 길잡이가 되어주신 연세대 보건대학원 정용 교수님, 신동천 교수님, 이종태 교수님과 여러 교수님들, 한국외국어 대학교 환경학과 교수님들, 그리고 전혀 기본이 안된 저를 후배로 맞아 소중한 시간들을 쪼개어 논문지도를 해주시고 어려운 순간마다 적절한 해결책을 제시해 주신 조성준, 박성은, 양지연, 김준성 선생님의 배려는 잊을 수가 없습니다. 감사와 존경을 전합니다. 또한 바쁘신 중에도 기꺼이 논문을 심사해 주시고 가르침을 주신 임영욱 교수님, 이무춘 교수님께 진심으로 감사 드립니다.

2년 반 동안의 짧지 않는 기간동안 항상 부탁만 하는데도 늘 한결같은 마음으로 대해주고 많은 도움을 주었던 진용, 은아, 희경에게 특별히 고마움을 전하며, 또한 후배라는 이유 하나만으로 깎듯이 모든 일을 성심 성의껏 도와 준 석주, 찬용, 지호, 창수, 준환, 그리고 많은 환경관리학과 석・박사 과정 선후배님에게도 진한 감사의 마음을 전합니다. 자주 만나지 못해도 대학원 생활 내내 많

은 정신적 평안함과 힘을 주었던 민구, 후배 세도, 동훈에게도 감사의 마음을 전합니다.

누구에게나 부모님은 사랑과 헌신적인 희생의 원천으로 회상되겠지만 이미 순백의 세월 모자를 쓰신 나의 아버지, 엄마께 이 조그마한 결실을 앞에 두고 가장 먼저 그 기쁨을 전해 드리고 싶습니다. 그리고 모든 면에서 부족한 사위를 아들처럼, 도움을 아끼지 않으셨던 장인, 장모님께도 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 끝없는 희생을 부부라는 이름으로 희석시켜 온 든든한 후원자이며 나의 모든 것을 터놓고 의논할 수 있는 착하고 유일한 친구인 사랑하는 나의 아내 김남미와 미래의 나의 아이들과도 이 기쁨을 함께 하고 싶습니다.

이 밖에도 서울 생활의 어려움 속에서도 많은 도움과 충고를 통해 저를 사랑해 주셨던 누나와 매형 그리고 모든 분들께 깊은 감사와 사랑을 전합니다.

2000년 6월

유 영대 사룀

차 례

표 차 례

그 림 차 례

국 문 요 약

본 연구의 궁극적인 목적으로는 환경관리에 대한 전통적인 연구내용은 주로 오염원(source)과 오염현상(environmental fate)을 다루는 것이었으나 이 연구는 최근의 주목받는 연구설계 주제인 환경오염물질로부터 영향을 받는 최종단계인 수용체(receptor) 즉, 인간을 연구설계의 중심으로 하는 연구방법을 적용하였다.

수용체 즉, 인체를 중심으로 그 영향을 규명하는 연구방법으로써 배출원(emission) 또는 오염원에서부터 환경중으로의 배출과 분포(environmental concentration, distribution), 인체로의 노출(human exposure), 인체 내적인 용량(internal dose)에 의한 인체 영향의 과정들을 좀 더 민감한 방법으로 찾아 들어가고자 하는 것이다. 이는 환경오염으로 인한 인체영향을 평가하는데 있어서 질병중심의 연구결과가 높은 타당도를 제공함에도 불구하고 인과관계의 규명이 매우 어렵고 많은 비용과 기간이 소요된다는 방법론적 제한점이 지적되는 바, 현재의 대기질을 개선하기 위해서는 지금의 오염수준을 통해 야기될 수 있는 인체위해를 확률적인 개념으로 예측하고, 위해성 평가 방법론 의거하여 평가하고 관리 대책 수립을 위한 기초자료의 하나로 활용하고자 하는 것이다.

연구 대상물질은 benzene, toluene, ethylbenzene, *m,p*-xylene 및 *o*-xylene으로 선택하였고, 측정방법은 1997년 11월 6일 11일까지 서울 전지역 159sites에서 2㎞×2㎞ 간격으로 측정 지점을 지정하여 OVM 3520 passive sampler를 이용하여 동일시점에 분산 부착 후 24시간동안 시료를 채취하였고, 분석방법은 HP 6890 series GC/MS (Hewlett Packard, USA)로 Liquid Auto Sampler (Hewlett Packard, USA)으로 분석하였다.

측정된 오염물질은 위해성 평가 절차를 거친 후 Surface Mapping System

(Golden software Inc. USA, version5.01)을 이용하여 오염도와 발암물질의 초과 발암위해도, 비발암물질의 위험값을 mapping하였고, benzene의 인체 초과 발암 위해도값과 위험도값을 Crystal Ball 4.0 프로그램을 사용하여 Monte-carlo simulation을 10,000번 무작위 추출하여 발암물질의 초과 발암위해도와 비발암물질의 위험값 범위를 추계하였다.

이번 연구는 최근 서울지역의 자동차 증가, 산업의 확충 에너지 사용 등의 증가로 인한 대기질 악화를 고려하여 대기 환경중에서 측정된 휘발성 유기화합물(VOCs)의 노출량을 바탕으로 오염도 mapping과 인체 위해도 mapping을 통한 서울시 구별 오염도, 환경노출수준을 알아보기 위한 것이었으며 다음과 같은 결론을 내렸다.

서울시의 VOCs농도를 살펴보면, toluene이 가장 높은 19.555±8.745㎍/㎥로 나타났으며, 다음으로는 benzene 12.923±4,595㎍/㎥, *m,p*-xylene 6.753±1.4 41㎍/㎥, ethylbenzen 6.246±2.462㎍/㎥ 그리고 *o*-xylene 5.295±1.227㎍/㎥순으로 나타났다. 측정결과를 놓고 고려해 볼 때, 측정한 VOCs중 5개 대상의 오염도 분포율은 toluene>benzene>*m,p*-xylene>*o*-xylene>ethylbenzene 순으로 toluene 38.5%로 가장 높았으며, 다음은 benzene 28% 높게 나타나 서울시의 석유를 연소시킬 때 발생시키는 휘발성 유기화합물(VOCs)에서는 toluene과 benzene이 전체 공정의 66.5%이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

서울시의 각 구별 발암물질과 비발암물질의 노출평가결과 benzene의 초과 발암위해도를 보면 3.26×10^{-5} 1.54×10^{-4}의 범위를 나타내고 있으며, toluene의 위험값은 RFA(도봉구)1.68×10^{-1} BFE(중구)4.27×10^{-1}, ethylbenzene의 위험값은 YFD(서초구)2.64×10^{-2} GFD(구로구)5.99×10^{-2}, *m,p*-xylene의 위험값은 RFB(강북구)5.42×10^{-1} GFD(구로구)8.01×10^{-1}, *o*-xylene의 위험값은 RFB(강북구)8.25×10^{-2} GFD(구로구)1.30×10^{-1}의 범위를 나타냈는데 대체적으로 초과 발암위해도와 위험값은

오염도 mapping과 유사한 결과를 보이고 있다.

그리고 서울시의 발암성 benzene의 총 초과 발암위해도의 누적분포를 보면, 서울의 25개구 전지역에서 10,000명당 1명의 범위의 위해도 분포를 보이고 있으며, 은평구와 종로구만이 평균값이 100,000명당 1명 범위의 낮은 위해도 분포를 보여주고 있다. 특히, 발암성 benzene의 초과 발암위해도 분포를 보면 평균 1.3×10^{-4}이고 50 95Percentile 값의 범위가 1.3×10^{-4} 1.7×10^{-4}의 초과 발암위해도 분포를 보여주고 있다.

서울지역에서 비발암 VOCs의 총 위험값을 보면 대부분의 비발암물질들이 1 이하의 안전한 값을 나타내어 안전한 수준으로 평가되었으나 서울시의 toluene에 의한 위험값은 평균 0.23으로 ethylbenzene 0.031, *m,p*-xylene 0.01, *o*-xylene 0.09에 비해 다소 높은 위험값을 보이고 있다. 특히, 50 95 Percentile의 범위를 보면 toluene은 0.23 0.39으로 측정된 VOCs 4개 항목 비발암물질 중에서 가장 높았으며, 다음으로 *o*-xylene 0.09 0.12, ethylbenzene 0.031 0.042, *m,p*-xylene 0.01 0.02 순으로 낮은 위험값 분포를 보였다. 연구결과 측정된 비발암물질 VOCs는 50percentile 기여율과 95 percentile 기여율이 거의 유사하게 나타났고, 특히 toluene은 50 percentile의 기여율에서 63%을 나타냈으며, 95 percentile의 기여율에서 69%를 나타냈다. 다음으로는 *o*-xylene>ethlybenzene> *m,p*-xylene 순으로 기여율을 나타내고 있다. 전체적으로 비발암성 VOCs에 대한 서울시의 위험값은 50 95 percentile 값의 범위에서 '1' 이하로 나타나 위해 영향이 일어날 가능성이 없음을 보여주고 있다.

이와 같은 결과로 보아 대기중 VOCs에 대한 구별 지역적인 대기오염 분포를 오염도와 발암물질의 초과 발암위해도, 비발암물질의 위험값을 통해서 알 수 있었으며 이 대기중 노출량을 바탕으로 서울시의 대기중 발암물질과 비발암물질의 노출 기여율을 설명 할 수 있었다. 향후 연구는 대기중 VOCs에 영향을 주는 각

종 요인들을 보다 더 정확히 확인하고 주요 간선도로 및 교통 혼잡지역과 공업지역 같은 그 지역적 특수성을 반영하여 혼란 변수로서 이들의 역할을 분석 평가하여 적용하여야 할 것이다.

Ⅰ.서　론

우리나라의 대기오염은 날로 심각해져 서울은 WHO와 UNEP에 의해 세계에서 두 번째로 대기오염이 심한 도시로 지적되기에 이르렀고, 서울의 대기오염은 일반인들이 느끼기에 허용의 수준을 벗어나 이제 인체 건강피해에 대한 우려의 소리가 높은 실정에 있다. 대기중에는 이미 암을 일으킨다고 알려진 미규제 대기오염물질류의 하나인 휘발성 유기오염물질들(volatile organic compounds : VOCs)등이 수종 존재한다고 밝혀졌으며, 이러한 물질들은 호흡을 통해 인체내로 들어오게 된다. 이미 선진국에서는 장기적인 대규모의 연구를 통해 이들의 오염수준을 파악하고 위해성 평가에 근거한 관리대책을 펴나가고 있으나 우리나라에서는 아직까지 오염수준조차 파악이 안되고 있으며 따라서 관리도 전혀 이루어지고 있지 않은 현실이다.

현재 우리나라에서 대기오염과 인체 건강과의 관련성이 역학적으로 연구 보고된 경우는 드물지만 우리나라의 폐암발생율이 지난 10여 년간 꾸준히 증가하여 최근 암사망 원인 가운데 폐암이 2위 혹은 3위를 차지하고 있는 것(통계청, 1991)으로 보아 대기오염과의 관련성이 의심되고 있다.

VOCs중 가장 대표적인 독성물질인 benzene은 국제 암협회(International Agency for Research on Cancer), 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)등에서 이미 인체에 알려진 발암물질(human carcinogen, wight of evidence "A")로 확인되어 관리되고 있으며 그 외 물질들에 대해서도 많은 연구가 이루어지고 있다.

그 동안 국내에서 보고된 일련의 연구결과(신동천, 1990, 1994; 정용 등, 1991a, 1991b)에 의하면 암과 돌연변이를 유발하는 VOCs와 PAHs 화합물 등이

수종 존재하며 이러한 유기오염물질들에 의한 인체 위해도는 허용 위해도(acceptable risk)를 넘어섬을 알 수 있다.

위해성 평가에서의 위해도 추계과정은 노출평가에서 측정된 매체중의 농도(air concentration) 또는 생물학적 감시자료(environmental and biological monitoring)를 가지고 인체노출량 평가에서 산정된 평생 일일평균노출량(lifetime average dose exposure)과 발암성물질의 경우 용량-반응평가에서 결정된 발암력(cancer potency ; q_1^*) 또는 단위 위해도(unit risk)를 가지고 위해도를 추계하게 되며, 비발암성물질의 경우 역시 용량-반응 평가를 통해 산출된 참고치 또는 평생건강 권고치와의 비교를 통해 위험값(hazard quotients)을 구하게 된다(연세대학교 환경공해연구소, 1998).

발암성물질의 경우 평생 개인 위해도(individual lifetime risk)는 개인이 대상 위해물질에 노출된 결과로 특정 악영향을 받을 초과 확률(excess, increase probability)로서 가장 보편적으로 사용하는 위해도 계산방법이며, 비발암성물질에서는 산정된 위험값, 복합물질의 경우의 총 위험도는 각각의 물질에 해당하는 위험값을 합한 값으로서 이때 유해영향의 크기는 총 위험도에 비례하고 '1'을 초과하는 경우는 잠재적인 건강영향을 유발시킬 수 있는 가능성을 제시해 주게된다. 대상물질의 독성자료에 대한 선별·선택 방법, 동물자료의 인체 외삽, 고용량에서 저용량으로의 외삽과 관련된 모델에 대한 설명은 연세대 환경공해연구소에서 수행한 대기오염물질의 위해성평가 및 관리기술, 2단계 2차년도 연차보고서에 자세히 수록되어 있다(연세대학교 환경공해연구소, 1998).

환경관리에 대한 전통적인 연구내용은 주로 오염원(source)과 오염현상(environmental fate)을 다루는 것이었으나 연구의 궁극적인 목적은 최근의 주목받는 연구설계 주제인 환경오염물질로부터 영향을 받는 최종단계인 수용체(receptor) 즉, 인간을 연구설계의 중심으로 하고 있다.

수용체 즉, 인체를 중심으로 그 영향을 규명하는 연구방법으로써 배출원(emission) 또는 오염원에서부터 환경중으로의 배출과 분포(environmental concentration, distribution), 인체로의 노출(human exposure), 인체 내적인 용량(internal dose)에 의한 인체 영향의 과정들을 좀 더 민감한 방법으로 찾아 들어가고자 하는 것이다. 이는 환경오염으로 인한 인체영향을 평가하는데 있어서 질병중심의 연구결과가 높은 타당도를 제공함에도 불구하고 인과관계의 규명이 매우 어렵고 많은 비용과 기간이 소요된다는 방법론적 제한점이 지적되는 바, 현 대기질을 개선하기 위해서는 지금의 오염수준을 통해 야기될 수 있는 인체 위해를 확률적인 개념으로 예측하고, 위해성 평가 방법론 의거하여 오염도를 평가하고 관리 대책 수립을 위한 기초자료의 하나로 활용하고자 하는 것이다. 세부목적으로는

첫째, 최근 서울지역의 자동차 증가, 산업의 확충, 에너지사용 증가로 인한 대기질 악화를 고려하여 서울시 전지역의 휘발성유기화합물(VOCs)의 노출량을 측정하여,

둘째, 서울시의 구별 VOCs 오염도를 조사하고, Surface Mapping System (Golden software Inc. USA, version5.01)을 이용하여 서울시 구별 오염도와 각각의 VOCs별로 초과 발암위해도, 위험값에 대한 mapping을 실시하였고,

셋째, Crystal Ball 4.0 프로그램을 이용하여 서울시 대기중 VOCs의 인체 위해도 추계를 통한 인체 위해도 분포를 알아보았으며, 연구대상 물질의 노출평가 결과들에 대한 서울시 초과 발암위해도, 위험값의 노출량 범위와 기여율을 알아보았다.

Ⅱ.연구 방법

1. 대상물질

우리가 생활하고 있는 대기중에는 수 천 여종의 화학물질이 존재하며 약 300 여종 이상의 화합물에 대한 생물학적 검증이 이루어져 있으나(Graedel et al, 1986), 우리나라에서 법적으로 규제되고 있는 물질은 SO_2, NO_2, CO, O_3, PM_{10} 및 Pb이다. 따라서 대기오염물질의 인체영향을 파악하기 위해서는 현재 규제대상이 되고 있는 오염물질 뿐만 아니라 대기중에 존재하는 미규제 오염물질을 평가하여, 우선적으로 관리되어야 할 오염물질을 선정하는 것이 중요하다.

수많은 오염물질 가운데, 특히 대기중에서 자주 검출이 되거나 그 독성이 문제시되고 있는 물질로는 휘발성 유기오염물질(Volatile Organic Compounds; 이하 VOCs)이 자주 거론되고 있다. 이는 미국을 비롯한 선진외국에서는 최근 10 여 년간 미량 대기오염물질을 대상으로 ATEOS(Airborne Toxic Element and Organic Substance), TEAM(Total Exposure Assessment Methodology)와 같은 대규모 연구를 통해 연구된 주요 연구물질들이다.

이 연구에서는 위와 같은 연구를 통해 규명된 주요 연구결과들을 토대로 benzene, toluene, ethylbenzene, *m,p*-xylene, *o*-xylene (5germs)의 휘발성 유기오염물질(VOCs)를 대상으로 Table 1과 같이 선정하였다.

Table 1. Target Compouds of Volatile Organic Compounds in Seoul

Target compounds(5germs)
toluene, benzene, ethylbenzene, *m,p*-xylene, *o*-xylene

2. 조사기간 및 측정방법

본 연구는 1997년 11월 6일 8일까지 서울 전지역 159sites에서 2㎞×2㎞ 간격으로 측정 지점을 지정하여 OVM 3520 passive sampler를 이용하여 동일시점에 분산 부착 후 24시간동안 시료를 채취하였고 VOCs 종류 중 발암물질인 benzene과 비발암물질인 toluene, ethylbenzene, *m,p*-xylene, *o*-xylene (4germs)을 Surface Mapping System(Golden software Inc. USA, version5.01)자료를 사용하여 평가하였다. 서울지역의 대기 중 휘발성 유기오염물질의 측정지점은 Table 2과 Figure 1에서 알 수 있듯이 구간별 측정 날짜별로 분류하여 강서남지역(GF), 강서북지역(BF), 강동북지역(RF), 강동남지역(YF)의 4개의 구역으로 나누어 평가하였다.

Table 2. Local Site Distribution of Target Compounds

Class	Site	location	Number	Spot Range
GF01 GF38	Kangso, Yongdungpo Yangchon, Tongjak, Kwanak, Koro, Kumchon	West-South	43	X : 182.8 197.0 Y : 438.9 453.2
BF01 BF29	Unpyong, Jongro, Sodaemun, Chung, Youngsan, Mapo	West-North	31	X : 191.6 201.2 Y : 446.4 459.5
RF01 RF42-2	Tobong, Tongdaemun Kangbuk, Songbuk, Chungnang, Nowon, Kwangjin, Songdong	East-North	49	X : 199.0 209.3 Y : 447.7 464.9
YF01 YF34	Kangdong, Kangnam, Songpa, Socho	East-South	36	X : 199.3 215.2 Y : 439.3 451.3
Total	Seoul		159	

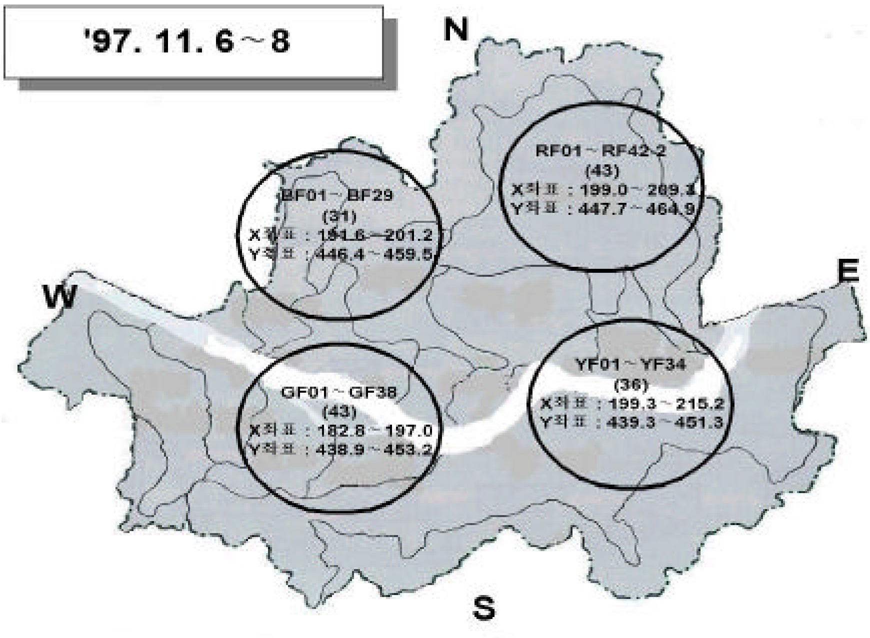


Figure 1. Measured Sites map in Seoul

3. VOCs 분석방법

가. 전처리 방법

3M 사에서 제시한 protocol(3M, 1991)에 따라 passive monitor의 확산에 의해 흡착되어 있는 VOCs를 추출하였다. 먼저 badge에서 wind screeen을 제거하고 backup section과 front section을 분리한 후 teflon이 코팅된 needle nose tweezer를 사용하여 미리 메탄올로 닦아 250℃이상에서 3시간동안 bake 해놓은 2㎖ amber glass vial에 각각의 흡착 pad를 옮겼다. Vial 에 CS_2/aceton(1/2, v/v) 1㎖를 가하여 완전 밀봉하고 40분 동안 초음파 추출하였다. 초음파 추출동안 시료 vial의 온도가 10℃ 이상 올라가지 않도록 ice pack를 초음파 추출기

에 넣었다.

추출용매로는 보통 CS_2를 사용하는데, CS_2에는 benzene이 소량 함유되어 있기 때문에 benzene의 함유량을 줄이는 것이 가장 중요하다. 이때 CS_2/aceton을 1/2(v/v)로 혼합하였을 때 benzene의 background concentration이 가장 적었고, 추출 효율도 좋았다는 보고가 있다(Pellizzari, 1994). 또한 추출용매를 각 pad 당 1.5㎖를 사용하는 것보다 1㎖을 사용하는 것이 benzene의 background 농도를 감소시킨다는 보고(3M, 1991)가 있어 이번 연구에서는 위의 방법을 사용하였다.

초음파 추출 후 추출액 90㎕와 내부 표준물질(fluorobenzene, 10ppm) 10㎕를 취하여 insert가 들어있는 vial에 옮기고 capping하여 GC/MSD로 분석하였다.

Table 3. The condition of GC/MSD for VOCs analysis

Description		Condition
Injector :	port temperature volume split mode	150℃ 2.0㎕ 5:1
Inlet pressure(flow)		2.7kPa→21kPa, 1.0㎖/min(constant flow)
Oven temperature :	initial 1st step 2nd step final	7min hold on 35℃ 4℃/min to 110℃ 100℃/min to 280℃ 3min hold on 280℃
Column		J&W 123-5062, 5% phenylmethylsiloxane, id 0.32mm, 60m, thickness 0.33㎛
Total run time		30.45min

나. 기기 분석 방법

사용 기기는 HP 6890 series GC/MSD(Hewlett Packard, USA)로 Liquid Auto Sampler (Hewlett Packard, USA)를 사용하였다.

GC의 분석조건은 초기 온도 35℃에서 5분간 머물도록 하고, 100℃까지 분당 5℃씩 승온시켰다. 이 온도 범위에서 대부분의 물질이 분리되었으며, 280℃까지 승온시켜 column을 clean-up하였다. 주입구의 온도는 150℃로 고정하였으며, 99.9999% 헬륨을 사용하여 5:1의 split mode에서 1.0㎖/min으로 이동상을 흘려주었다. 고정상은 5% phenylmethylsiloxane (J&W 123-5062)을 사용하였고, column은 내경 0.32mm, 길이 60m로 고정상이 0.33㎛로 도포된 것을 사용하였다. MSD의 transfer line은 280℃로 사용하였고, 시료는 2.0㎕를 주입하였다. MSD는 HP5973을 사용하였다. Total Ion Monitoring을 이용하여 물질을 확인하였고, Selective Ion Monitoring mode로 프로그램 하여 신호/잡음비(S/N ratio)를 향상시켜 각각의 VOCs를 정량하였다(Table 4).

Table 4. Target ion of VOCs to SIM mode

Class	Time	Target Ion(m/z)	Target Compound
1	5.00	61,97,78,62,96,70	1,1,1-Trichloroethane, 1,2-Dichloroethane, **Benzene**, Fluorobenzene
2	7.30	95,130,60	Trichloroethene
3	9.01	91,83,97,61	**Toluene**, 1,1,2-Trichloroethane
4	11.50	129,166,94,79	Dibromochloromethane, Tetrachloroethylene
5	13.60	112,77	Chlorobenzene
6	15.00	91,106,173,104,78	**Ethylbenzene**, Bromoform, ***m.p*-Xylene,** ***o*-Xylene**, Styrene
7	18.00	105,120,77,156,91,120	isopropylbenzene, Bromobenzene, n-Propylbenzene
8	22.00	91,134	Butylbenzene

다. VOCs의 농도 계산 방법

내부표준물질로 fluorobenzene 10㎍/㎖를 10:1이 되도록 각 표준용액과 각각의 시료에 spike하였다. 표준물질은 고농도 물질 및 저농도 물질의 정량을 위하여 2단계 범위로 계산하였다. 저농도 범위는 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0㎍/㎖로 검량선을 작성하였으며, 고농도 물질을 위해 1, 2, 5, 10, 20㎍/㎖의 검량선을 그렸다. 대부분의 물질이 저농도 검량선 범위에서 계산되었다. 노출된 시료의 농도는 OVM 3520 passive monitor에 있는 각각(top and bottom)의 adsorbent(charcoal pad)를 분석함으로써 대기 중 농도를 확인할 수 있다. 그러나 시료 채취시의 주변조건에 따라 채취율에 신뢰성을 확인하여야 한다. 이는 공기중의 VOCs가 charcoal pad로 확산되어 들어가 흡착되는 율이 주변의 온도와 습도에 민감하기 때문이다. 이에 따라 객관적으로 시료의 농도를 계산하고 계산 결과에 신뢰성을 부여하기 위해서는 top pad의 VOCs 농도(Wp)와 bottom pad의 VOCs의 농도(Ws)사이에는 다음의 관계가 성립하는지 확인하여야 한다.

$Ws / Wp \leq 0.50$

Monitor에서 top과 bottom에서 계산된 각각의 물질의 양이 위의 조건을 만족한다면, 이의 최종 농도를 아래의 식에 의해 계산한다.

Wp = weight collected on the primary adsorbent corrected for recovery and blank(㎍)

Ws = weight collected on the secondary adsorbent corrected for recovery and blank(㎍)

$$C(\text{mg/m}^3) = \frac{(Wp + 2.2Ws) \times A}{t} \times CF_T$$

$$C(ppm) = \frac{(Wp + 2.2Ws) \times B}{t} \times CF_T$$

A - calculation coefficient(㎎/㎤)

B - calculation coefficient(ppm)

t=length of sampling period(min)

CF_T - temperature correction factor

각 물질의 coefficient는 3M사의 application note나, 관련 논문 혹은 실험실에서 직접 실험하여 계산하였다.

4. VOCs 용량-반응 평가

발암물질(benzene)에 대한 위해도 결정을 위한 단위위해도(unit risk)와 발암력(q_1^*)을 산출하기 위하여 에서 수행한 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술 2단계 2차년도 자료에서 조사된 역학자료들을 이용하여 용량-반응 평가를 실시하였고(연세대학교 환경공해연구소, 1998), 비발암물질들에 대한 위해도 결정을 위해서는 NOAEL 또는 LOAEL값을 위해 (IRIS, 1998)자료를 이용하여 결정하였다.

위해도 결정은 대기중 측정된 VOCs의 오염도와 용량-반응 평가에서 도출된 결과를 종합하여 대기중에 노출된 VOCs의 오염도에 따라 발생 가능한 단위위해도 또는 비발암 위험값을 산출하였다. 용량-반응 평가와 마찬가지로 발암물질과 비발암 물질에서의 위해도 결정은 접근 방법이 각각 다르게 적용하였다.

가. benzene의 발암력(q_1^*) 및 단위위해도 추계

본 연구에서는 발암물질의 위해도 결정은 benzene처럼 역학자료를 확보할 수 있는 물질들은 각각의 역학자료를 이용하여 산출된 값을 적용하였다(연세대학교 환경공해연구소, 1998). 이러한 발암잠재력에 대한 근거는 생리적인 모수로써 체중을 평균 체중인 60kg으로 하였으며, 평균 수명은 보건사회부에서 제시하고 있는 평균 수명인 70년으로 하였다(보건복지부, 1998). 일일 호흡량은 한국 성인의 일일 호흡량을 구할 수 없으므로 US EPA에서 제안하고 있는 미국 성인의 일일 호흡량인 20㎥/ day로 결정하여 발암 잠재력을 구하는데 적용하였다(Table 5).

Table 5. Cancer potency(q_1^*) by inhalation exposure with epidemiology data

Carcinogens	Exposure route	Extrapolation Model	q_1^* (㎎/㎏/day)$^{-1}$
Benzene	Inhalation	One-hit	2.9E-02

흡입 초과 발암 위해도

=현 오염도 수준(㎍/㎥) × 흡입 발암 잠재력(㎎/㎏/day)$^{-1}$ × 20(㎥/day) × 1/60(㎏) × 10^{-3}

나. 비발암물질의 참고치와 위험값 산정

본 연구에서 적용된 toluene, ethybenzene, *m*,*p*-xylene, *o*-xylene의 비발암 물질의 노출에 따른 위해도 결정은 RfC(호흡 흡입 참고치)를 제시한 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술(정용 등, 1998)자료를 근거로하여 용량-반응 평가를 수행하였고 산출된 참고치를 이용하여 현 노출 수준에서의 위험값을 산정하였다(Table 6). 즉, 현 오염수준을 참고치와 비교하여, 위험값이 1을 초과하는 경우에는 유해영향(독성)이 발생할 가능성이 있는 것이며, 1 이하인 경우에는 안전역에 속해 있는 것으로 판단된다.

$$\text{흡입 위험값} = \frac{\text{현 오염도 수준(㎍/㎥)} \times 10^{-3}}{\text{흡입 참고치, RfC(㎎/㎥)} \times \text{오염원 상대 기여도}}$$

위험값 ≥ 1 : 안전하지 않은 수준으로 간주

위험값 < 1 : 안전한 수준으로 간주

Table 6. Reference concentration of non-carcinogenic chemicals

Chemical	EPA class	RfC(㎎/㎥)	RfD(㎎/㎏/day)
toluene	D	4.0E-01	2.0E-01
ethylbenzene	D	1.0E+00	1.0E-01
m,p-Xylene	D	2.9E-00*	2.0E+02
o-Xylene	D	2.9E-01*	2.0E+02

(자료 : 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술. 정용 등, 1998)

다. Monte-Carlo 접근법을 이용한 위해도 결정

따라서 본 연구는 Monte-Carlo 접근을 통한 위해성 평가는 각각의 노출변수에 대한 확률분포를 일정한 수식에 의해 입력하고 Monte-Carlo simulation에 의해 추계하고자 하는 출력변수의 확률분포를 형성하여 각 percentile에서의 위해도로써 값을 구할 수 있다. 인체노출평가에서 평가된 평생 일일분포를 가지고 평균노출량의 PDF와 각 용량-반응모델에서 산정된 발암력(cancer potency : q1*)과 참고치를 바탕으로 Crystal Ball 4.0 프로그램을 사용하여 Monte-carlo simulation을 10,000번 무작위 추출하여 발암물질의 초과 발암위해도와 비발암물질의 위험값 범위를 추계하였다.

5. 연구 개략도

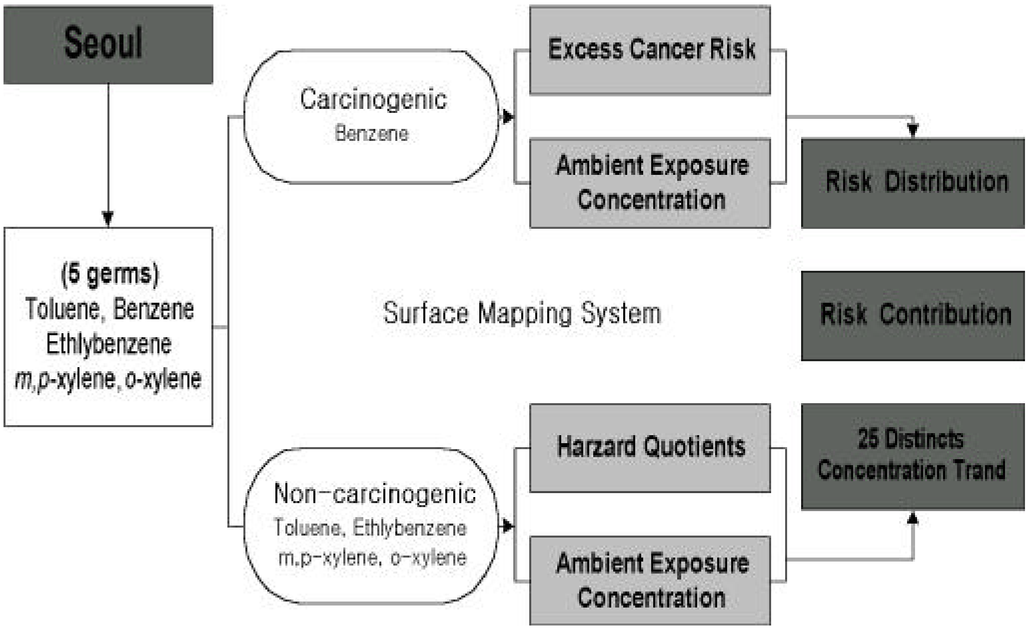


Figure 2. Scheme of this study

Ⅲ.연구 결과

1. 서울시 대기중 VOCs 농도

서울시의 휘발성 유기화합물의 측정농도를 Table 7에서 살펴보면, toluene이 가장 높은 19.555±8.745㎍/㎥로 나타났으며, 다음으로는 benzene 12.923±4,595㎍/㎥, *m,p*-xylene 6.753±1.4 41㎍/㎥, ethylbenzen 6.246±2.462㎍/㎥, *o*-xylene 5.295±1.227㎍/㎥순으로 나타났다. 특히, 측정 연구대상물질을 놓고 고려해 볼 때, 서울시 VOCs 오염도 중 benzene과 toluene의 농도가 전체적으로 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났으며 지역간 차이도 큰 것으로 나타났다(Table 8).

Table 7. The concentration of VOCs 159 sites in Seoul

(Unit : ㎍/㎥)

Target Compounds	Site	Mean	Sd	Max	Med
toluene	159	19.555	8.745	60.174	18.288
benzene	159	12.923	4.595	19.185	14.662
ethylbenzene	159	6.246	2.462	31.074	6.229
***m,p*-xylene**	159	6.753	1.441	14.334	6.899
***o*-xylene**	159	5.295	1.227	13.515	5.393

서울시의 휘발성 유기화합물(VOCs) 오염도를 바탕으로 Surface Mapping System(Golden software Inc. USA, version5.01)의 mapping 방법을 이용하여 평가해보면 Table 13의 세계 대도시의 휘발성 유기화합물의 평균 대기중 농도와 유사한 노출 경향을 나타내고 있다.

Table 8. The Concentration of VOCs 25 distinct in Seoul

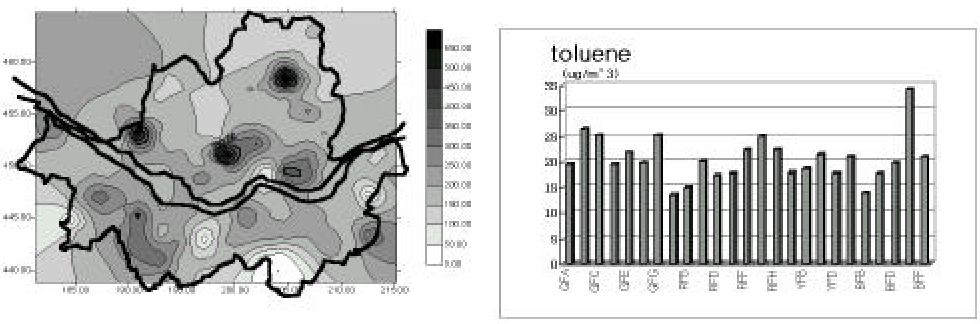
(Unit : μg/ m³)

Class	benzene	toluene	ethylbenzene	*m,p*-xylene	*o*-xylene
Jongro	3.39	13.86	6.24	6.87	5.29
Chung	14.99	34.18	6.04	6.85	5.44
Youngsan	15.30	20.88	5.96	6.75	5.34
Songdong	14.92	24.79	6.69	6.98	5.44
Kwangjin	14.58	22.23	6.39	6.95	5.39
Tongdaemun	16.09	22.29	6.61	6.96	5.51
Chungnang	14.73	17.76	6.34	6.78	5.22
Songbuk	14.41	17.33	6.37	7.00	5.41
Kangbuk	12.72	14.89	5.52	6.18	4.79
Tobong	13.25	13.46	5.57	6.24	4.82
Nowon	12.98	19.89	5.92	6.41	5.00
Unpyong	8.78	20.93	6.49	6.82	5.31
Sodaemun	11.22	17.58	6.18	6.91	5.44
Mapo	8.97	19.64	6.44	7.04	5.54
Yangchon	15.95	26.22	6.53	7.16	5.62
Kangso	14.41	19.33	6.21	6.79	5.29
Koro	11.47	19.45	10.27	7.82	6.45
Kumchon	13.63	25.25	7.02	7.58	5.91
Yongdungpo	14.77	25.20	6.74	7.35	5.76
Tongjak	14.58	21.68	6.26	6.96	5.43
Kwanak	15.63	19.68	6.28	6.97	5.38
Socho	11.89	17.58	5.27	5.26	4.17
Kangnam	13.36	18.60	5.76	6.42	5.07
Songpa	14.57	21.24	6.19	6.93	5.49
Kangdong	15.42	17.77	6.15	6.97	5.51

2. 서울시 VOCs의 농도 map

가. toluene의 오염도

Figure 3은 97년 11월에 측정된 toluene의 지역적 특성을 살펴보면 BFE(중구) 지역이 34.2μg/㎥으로 가장 높았으며 전반적으로 GFB(양천구)26.2μg/㎥, GFC(영등포구) 25.2μg/㎥, GFG(금천구) 25.2μg/㎥ 등의 강서남 지역이 휘발성 유기화합물의 농도가 높게 나타났다. 반면, RFA(도봉구)13.5μg/㎥, BFB(종로구)13.9μg/㎥으로 비교적 낮게 나타난 지역으로 평가되었다.



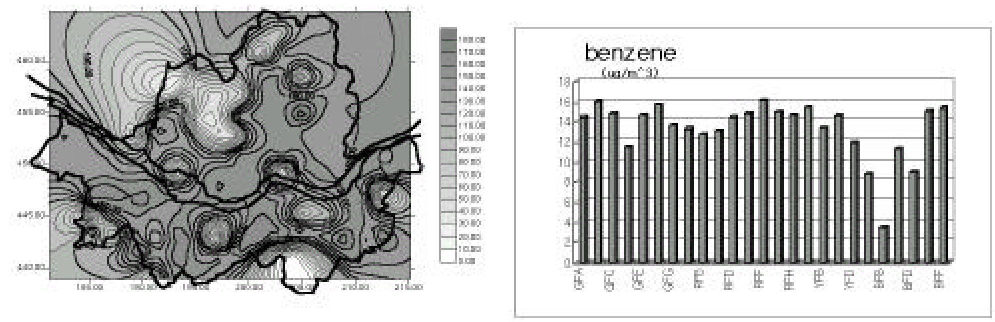
GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 3. The map concentration of toluene at 25 distinct located in Seoul

나. benzene의 오염도

Figure 4은 97년 11월에 측정된 benzene의 지역적 특성을 살펴보면 BFE(동대문구)지역이 16.1μg/㎥으로 가장 높았으며 전반적으로 GFB(양천구)15.9μg/㎥, GFF(관악구)15.6μg/㎥, YFA(강동구)15.4μg/㎥ 등의 강서남 지역과 BFF(용산구)

15.3µg/㎥, BFE(중구)15.0µg/㎥의 서울 중심지역이 benzene의 농도가 높게 나타났다. 반면, BFB(종로구)3.4µg/㎥, BFA(은평구)8.8µg/㎥으로 비교적 낮게 나타난 지역으로 평가되었다.

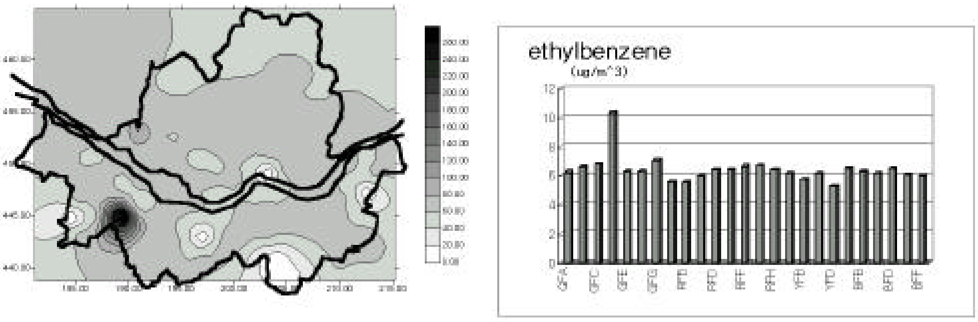


GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 4. The map concentration of benzene at 25 distinct located in Seoul

다. ethylbenzene의 오염도

Figure 5은 97년 11월에 측정된 ethylbenzene의 지역적 특성을 살펴보면 GFD(구로구)지역이 10.3µg/㎥으로 가장 높았으며 전반적으로 GFC(영등포구) 6.7µg/㎥, GFG(금천구)7.0µg/㎥, RFG(성동구)6.7µg/㎥ 등의 주로 강서지역이 ethyl benzene농도가 높게 나타났다. 반면, YFD(서초구)5.3µg/㎥가 가장 낮게 나타난 지역으로 평가되었다.



GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 5. The map concentration of ethylbenzene at 25 distinct located in Seoul

라. *m,p*-xylene의 오염도

Figure 6은 97년 11월에 측정된 *m,p*-xylene의 지역적 특성을 살펴보면 GFD (구로구)가 7.82μg/㎥으로 가장 높았으며 전반적으로 GFC(영등포구)7.34μg/㎥, GFG(금천구)7.57μg/㎥, GFB(양천구)7.16μg/㎥ 등의 주로 강서지역이 *m,p*-xylene 농도가 높게 나타났다. 반면, YFD(서초구) 5.26μg/㎥가 가장 낮게 나타난 지역으로 평가되었다.

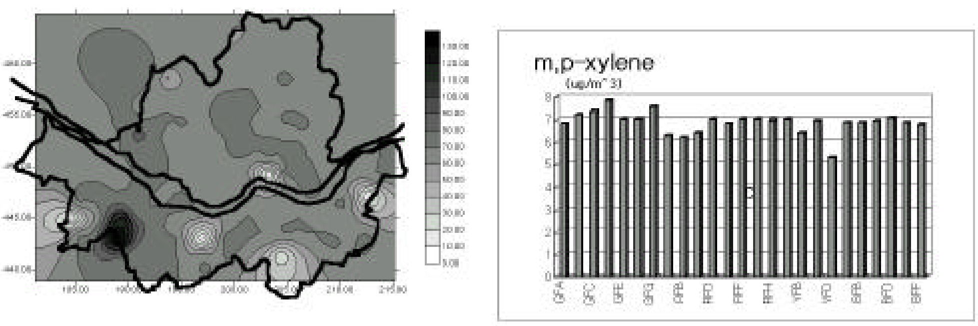
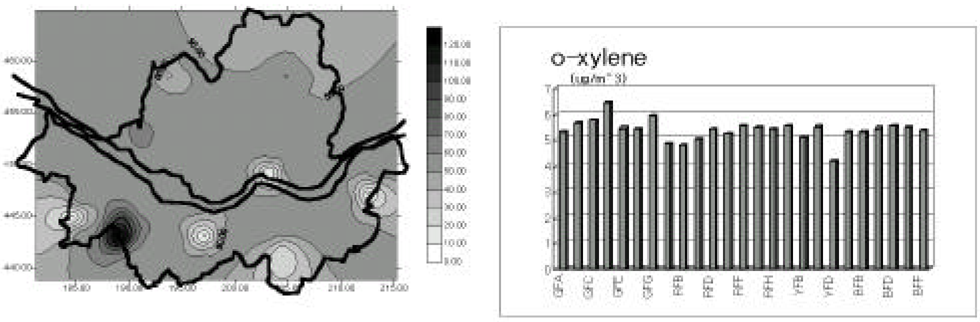


Figure 6. The map concentration of *m,p*-xylene at 25 distinct located in Seoul

마. *o*-xylene의 오염도

Figure 7은 97년 11월에 측정된 *o*-xylene의 지역적 특성을 살펴보면 GFD(구로구)지역이 6.4μg/㎥으로 가장 높았으며 전반적으로 GFC(영등포구)5.8μg/㎥, GFG(금천구)5.9μg/㎥ 등의 주로 강서지역이 *o*-xylene농도가 높게 나타났다. 반면, YFD(서초구)4.2μg/㎥가 가장 낮게 나타난 지역을 제외한 대부분의 지역에서 유사한 농도분포를 보이고있다.

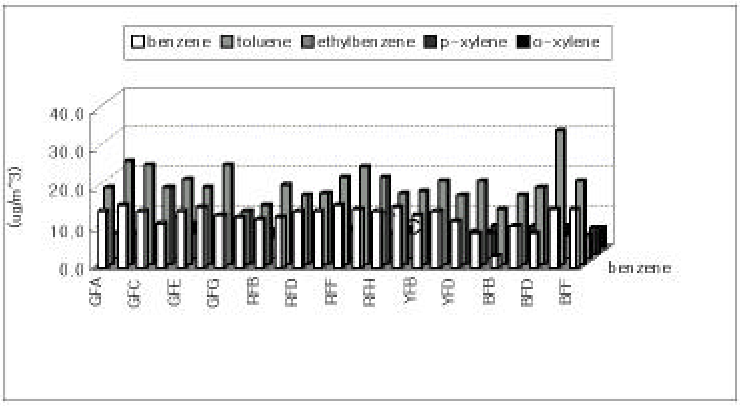


GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 7. The map concentration of *o*-xylene at 25 distinct located in Seoul

3. 서울시 연구대상물질 VOCs의 분포율

서울시 VOCs와 관련된 구별 오염도(Figure 8)와 연구대상물질의 분포율(Figure 9)를 살펴보면 측정된 오염도는 toluene>benzene>*m,p*-xylene>*o*-xylene>ethylbenzene 순으로 toluene 38.5%로 가장 높았으며, 다음은 benzene 28% 높게 나타나 서울시의 석유를 연소시킬 때 발생시키는 VOCs에서는 toluene과 benzene이 전체 공정의 66.5%이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다.



GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 8. The concentration of VOCs at 25 distinct located in Seoul

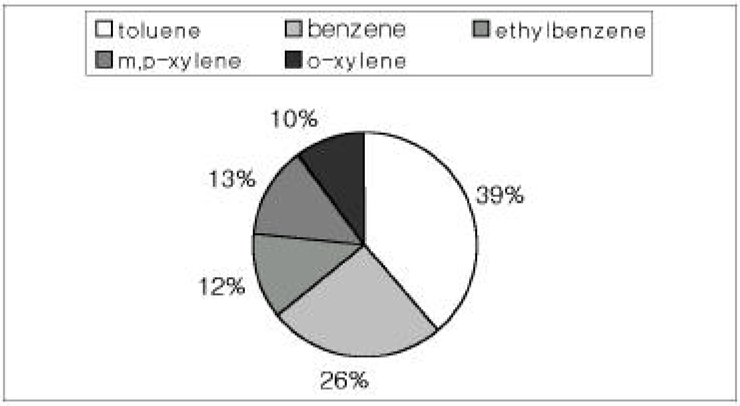


Figure 9. Distribution of measured VOCs concentration in Seoul

4. 대기중 VOCs의 위해도 결정

본 연구에서 조사 측정된 toluene, benzene, ethylbenzene, *m,p*-xylene, *o*-xylene의 발암물질과 비발암물질의 위해도 결정을 위한 VOCs 구별 초과 발암 위해도와 위험값은 연세대 환경공해연구소에서 조사된 단위위해도(unit risk), 발암력(q_1^*)과 호흡 흡입참고치(RfC) 자료를 근거로 산정되었다(Table 9).

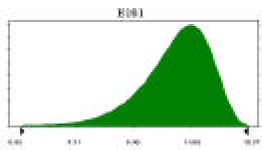
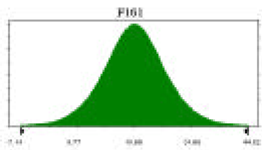
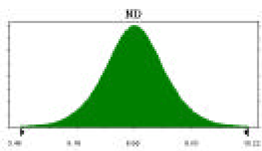
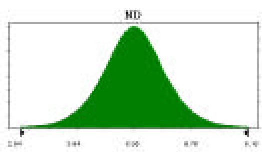
Table 9. the 25 distinct distribution of ECR and HQs by inhalation in Seoul

Class	(benzene) Excess Cancer Risk	(toluene) Harzard Quotient	(ethlybenzene) Harzard Quotients	(*m,p*-xylene) Harzard Quotients	(*o*-xylene) Harzard Quotients
Kangbuk	1.22.E-04	1.86.E-01	2.76.E-02	5.42.E-01	8.25.E-02
Kwangjin	1.40.E-04	2.78.E-01	3.19.E-02	6.09.E-01	9.29.E-02
Nowon	1.25.E-04	2.48.E-01	2.96.E-02	5.62.E-01	8.63.E-02
Tobong	1.27.E-04	1.68.E-01	2.79.E-02	5.48.E-01	8.32.E-02
Tongdaemun	1.54.E-04	2.79.E-01	3.30.E-02	6.10.E-01	9.50.E-02
Songdong	1.43.E-04	3.10.E-01	3.34.E-02	6.12.E-01	9.38.E-02
Songbuk	1.39.E-04	2.17.E-01	3.18.E-02	6.14.E-01	9.33.E-02
Chungnang	1.42.E-04	2.22.E-01	3.17.E-02	5.95.E-01	9.00.E-02
Kangso	1.38.E-04	2.42.E-01	3.11.E-02	5.95.E-01	9.11.E-02
Kwanak	1.50.E-04	2.46.E-01	3.14.E-02	6.11.E-01	9.28.E-02
Koro	1.29.E-04	2.84.E-01	5.99.E-02	8.01.E-01	1.30.E-01
Kumchon	1.31.E-04	3.15.E-01	3.51.E-02	6.65.E-01	1.02.E-01
Tongjak	1.40.E-04	2.71.E-01	3.13.E-02	6.10.E-01	9.36.E-02
Yangchon	1.53.E-04	3.28.E-01	3.27.E-02	6.28.E-01	9.70.E-02
Yongdungpo	1.42.E-04	3.15.E-01	3.37.E-02	6.45.E-01	9.91.E-02
Mapo	8.62.E-05	2.46.E-01	3.22.E-02	6.18.E-01	9.55.E-02
Sodaemun	1.08.E-04	2.20.E-01	3.09.E-02	6.06.E-01	9.37.E-02
Youngsan	1.47.E-04	2.61.E-01	2.98.E-02	5.93.E-01	9.21.E-02
Unpyong	8.43.E-05	2.62.E-01	3.25.E-02	5.99.E-01	9.16.E-02
Jongro	3.26.E-05	1.74.E-01	3.12.E-02	6.03.E-01	9.13.E-02
Chung	1.44.E-04	4.27.E-01	3.02.E-02	6.01.E-01	9.39.E-02
Kwanak	1.28.E-04	2.33.E-01	2.88.E-02	5.63.E-01	8.74.E-02
Kangdong	1.48.E-04	2.22.E-01	3.08.E-02	6.12.E-01	9.49.E-02
Socho	1.14.E-04	2.20.E-01	2.64.E-02	6.16.E-01	9.61.E-02
Songpa	1.40.E-04	2.65.E-01	3.10.E-02	6.08.E-01	9.47.E-02

Table 10에서 처럼 연구대상물질별 노출 분포 모양을 살펴보면 발암물질인

benzene의 경우 Mode 14.68, Scale 2.59이고 Extreme Value distribution모양을 하고 있으며, 비발암물질인 toluene은 Mean 18.69, Scale 4.31이고 ethylbenzene은 Mean 6.20, Scale 0.78, *m,p*-xylene은 Mean 6.85, Scale 0.56이며 *o*-xylene은 Mean 5.35, Scale 0.47이다. 그리고 비발암물질은 모두 Logistic distribution모양을 하고 있다.

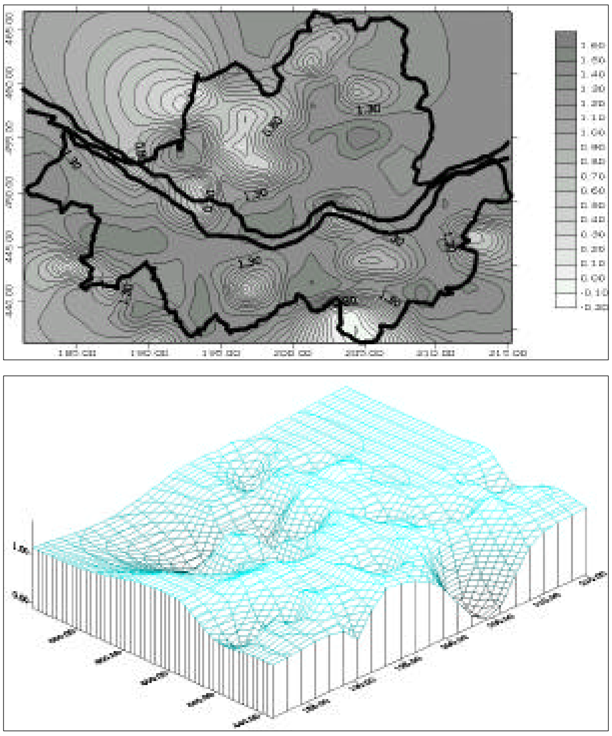
Table 10. Distribution types of Exposure dose at each sites in the cities

Class	Character	Distribution
benzene	Mode 14.68 Scale 2.59 Extreme Value distribution	
toluene	Mean 18.69 Scale 4.31 Logistic distribution	
ethylbenzene	Mean 6.20 Scale 0.78 Logistic distribution	
***m,p*-xylene**	Mean 6.85 Scale 0.56 Logistic distribution	
***o*-xylene**	Mean 5.35 Scale 0.47 Logistic distribution	

가. 발암물질에 대한 위해도 map

1) benzene의 초과 발암위해도

서울시의 각 구별 benzene의 흡입노출에 따른 초과 발암 위해도를 보면, 흡입노출에 의한 발암 위해도는 3.26×10^{-5} 1.54×10^{-4}의 범위를 나타내고 있으며, benzene 호흡에 의한 초과 발암위해도는 동대문구 지역이 1.54×10^{-4}으로 가장 높게 평가되었다. 노출량 측정에 대한 benzene의 대기중 오염도 결과도 16.09㎍/㎥으로 높게 나타나 오염도가 높을수록 초과 발암 위해도가 높은 것으로 나타났다(Figure 10).



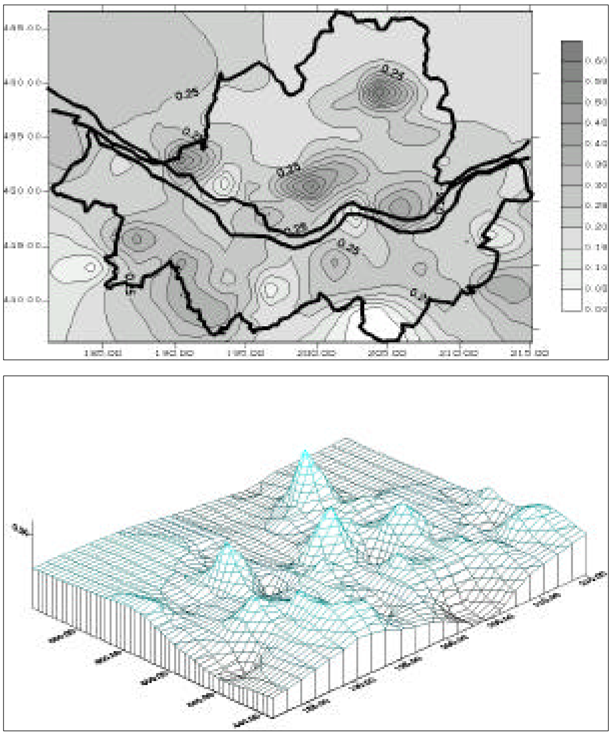
GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 10. The carcinogenic map of benzene at 25 distinct located in Seoul

나. 비발암물질에 대한 위해도 map

1) toluene의 위험값

1997년 11월에 측정된 toluene의 위험값 특성을 살펴보면 BFE(중구)지역이 4.27×10^{-1}으로 가장 높았으며 전반적으로 GFB(양천구)3.28×10^{-1} GFC(영등포구)3.15×10^{-1}, GFG(금천구)3.15×10^{-1} 등의 강서남 지역이 휘발성 유기화합물의 오염도처럼 toluene의 위험값이 높게 나타났다. 반면, RFA(도봉구)1.68×10^{-1}, BFB(종로구)1.74×10^{-1}으로 비교적 낮게 나타난 지역으로 평가되었다(Figure 11).

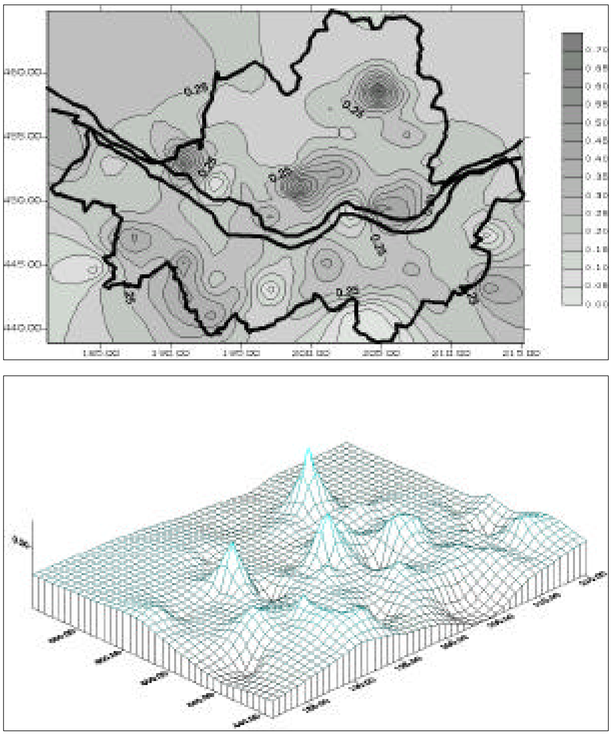


GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 11. The non-carcinogenic map of toluene at 25 distinct located in Seoul

2) ethylbenzene의 위험값

Ehylbenzene의 위험값 정도를 살펴보면 전반적으로 모든 구가 3.00×10^{-2}수준의 값을 나타냈으며 GFD(구로구)지역이 5.99×10^{-2}으로 가장 높았고 GFC(영등포구)3.37×10^{-2}, GFG(금천구)3.51×10^{-2}, RFG(성동구) 3.34×10^{-2} 등의 주로 강서지역의 ethylbenzene의 위험도가 높게 나타났다. 반면, YFD(서초구)2.64×10^{-2}가 가장 낮게 나타난 지역으로 평가되었다(Figure 12).

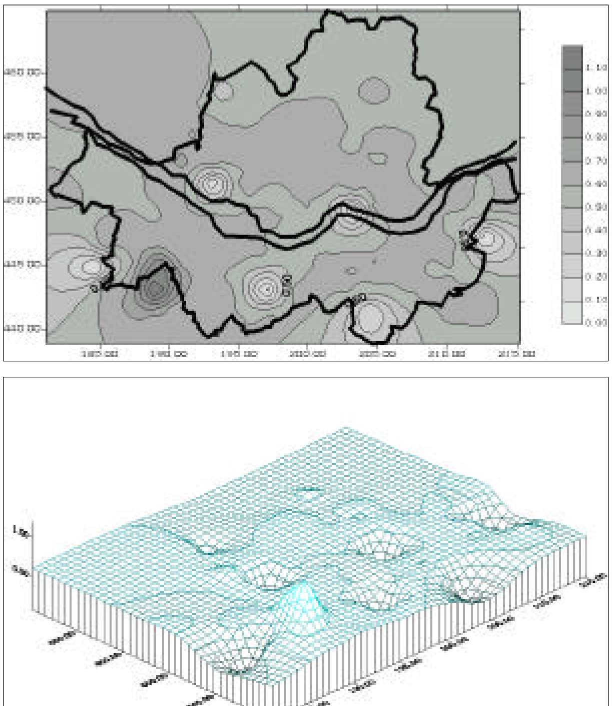


GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Fig 12. The non-carcinogenic map of ethylbenzene at 25 distinct located in Seoul

3) *m,p*-xylene의 위험값

m,p-xylene의 위험값 정도를 살펴보면 GFD(구로구)지역이 8.01×10^{-1}으로 가장 높았으며 전반적으로 GFC(영등포구)6.45×10^{-1}, GFG(금천구)6.65×10^{-1}, GFB(양천구)6.28×10^{-1} 등의 주로 강서지역이 *m,p*-xylene농도가 높게 나타났다. 반면, RFB(강북구)5.42×10^{-1}가 가장 낮게 나타난 지역으로 평가되었다. 그러나 모든 지역이 비슷한 위험값 수준을 나타내고 있다(Figure 13).

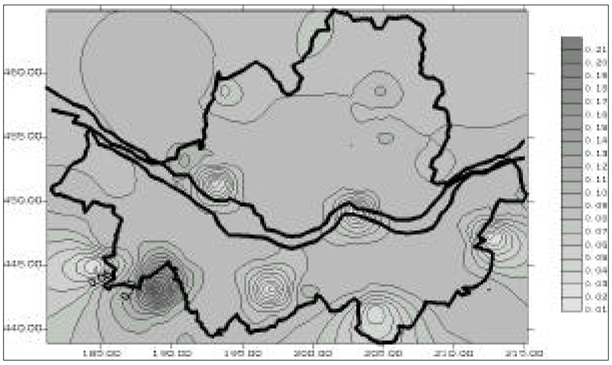


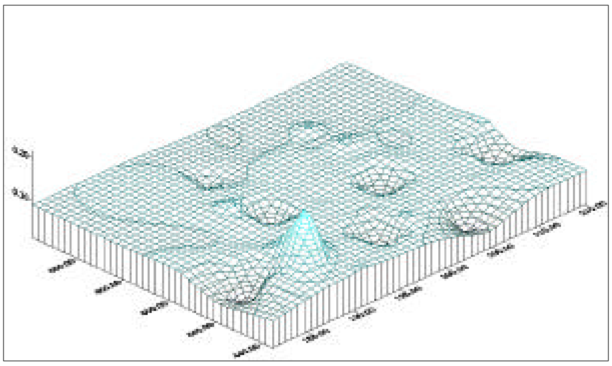
GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 13. The non-carcinogenic map of *m,p*-xylene at 25 distinct located in Seoul

4) o-xylene의 위험값

o-xylene의 위험값 정도를 살펴보면 *m*,*p*-xylene처럼 강서지역인 GFD(구로구) 지역이 1.3×10^{-1}으로 가장 높았으며 전반적으로 GFC(영등포구)9.91×10^{-2}, GFG(금천구)1.02×10^{-1} 등의 주로 강서지역이 *o*-xylene 위험값 높게 나타났다. 반면, RFB(강북구)8.25×10^{-2}, RFA(도봉구)8.32×10^{-2}의 가장 낮은 지역을 제외한 대부분의 지역에서 유사한 위험값 수준을 보이고있다(Figure 14).





GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 14. The non-carcinogenic map of *o*-xylene at 25 distinct located in Seoul

5. 서울시 대기중 VOCs의 인체 위해도 추계

가. 서울시 발암성 benzene의 인체 위해도 분포

서울시의 발암성 benzene의 총 초과 발암위해도의 누적분포를 보면, 서울의 25개구 전지역에서 10^{-4}범위의 위해도 분포를 보이고 있으며, 은평구와 종로구만이 평균값이 10^{-5}범위의 낮은 위해도 분포를 보여주고 있다(Figure 15).

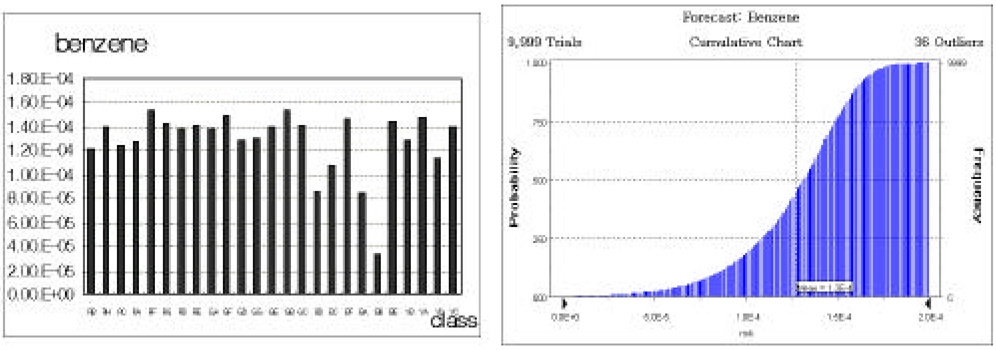


Figure 15. The total ECR of carcinogenic benzene at 25 distinct located in Seoul

Table 11에서 알 수 있듯이 서울시의 발암성 benzene의 초과 발암위해도 분포를 보면 평균 1.3×10^{-4}이고 50 95 Percentile 값의 범위가 1.3×10^{-4} 1.7×10^{-4}의 초과발암위해도 분포를 보여주고 있다.

Table 11. The total Excess Cancer Risk(ECR) of carcinogenic benzene in Seoul

City	Trials	Mean	S.D.	50 Percentile	95 Percentile
Seoul	10,000	1.3E-04	3.2E-05	1.3E-04	1.7E-04

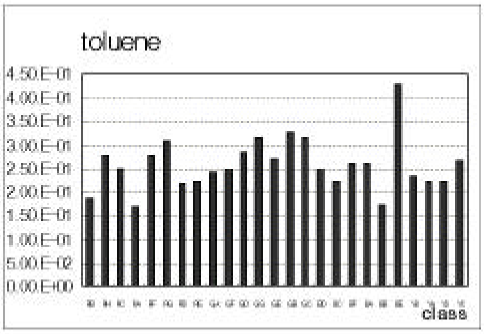
나. 서울시 대기중 비발암성 VOCs의 위험값 분포

Table 12을 통해 서울지역에서 비발암 VOCs의 총 위험값을 보면 대부분의 비발암물질들이 1 이하의 안전한 값을 나타내어 안전한 수준으로 평가되었으나 서울시의 toluene에 의한 호흡노출에 의한 위험값은 평균 0.23으로 ethylbenzene 0.031, *m,p*-xylene이 0.01, *o*-xylene 0.09에 비해 다소 높은 위험값을 보이고 있다.

50 95 Percentile의 범위를 보면 toluene 2.3×10^{-1} 3.9×10^{-1}으로 대체로 높았으며, 다음은 *o*-xylene 9.0×10^{-2} 1.2×10^{-1}, ethylbenzene 3.1×10^{-2} 4.2×10^{-2}, *m,p*-xylene 1.0×10^{-2} 2.0×10^{-2}으로 가장 낮은 위험값 분포를 보였다(Fig 16, 17).

Table 12. The total Harzard Quotients of non-carcinogenic VOCs in Seoul

Class	Trials	Mean	S.D.	50 Percentile	95 Percentile
toluene	10,000	0.23	0.10	2.3E-01	3.9E-01
ethylbenzene	10,000	3.1E-02	7.1E-03	3.1E-02	4.2E-02
m,p-xylene	10,000	0.01	-	1.0E-02	2.0E-02
o-xylene	10,000	0.09	0.01	9.0E-02	1.2E-01



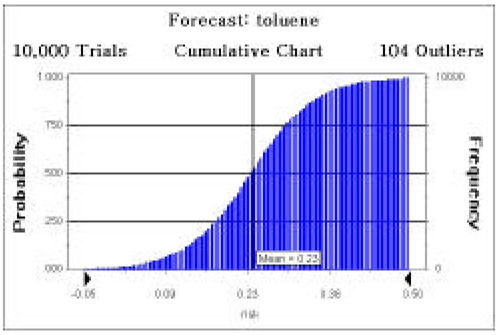
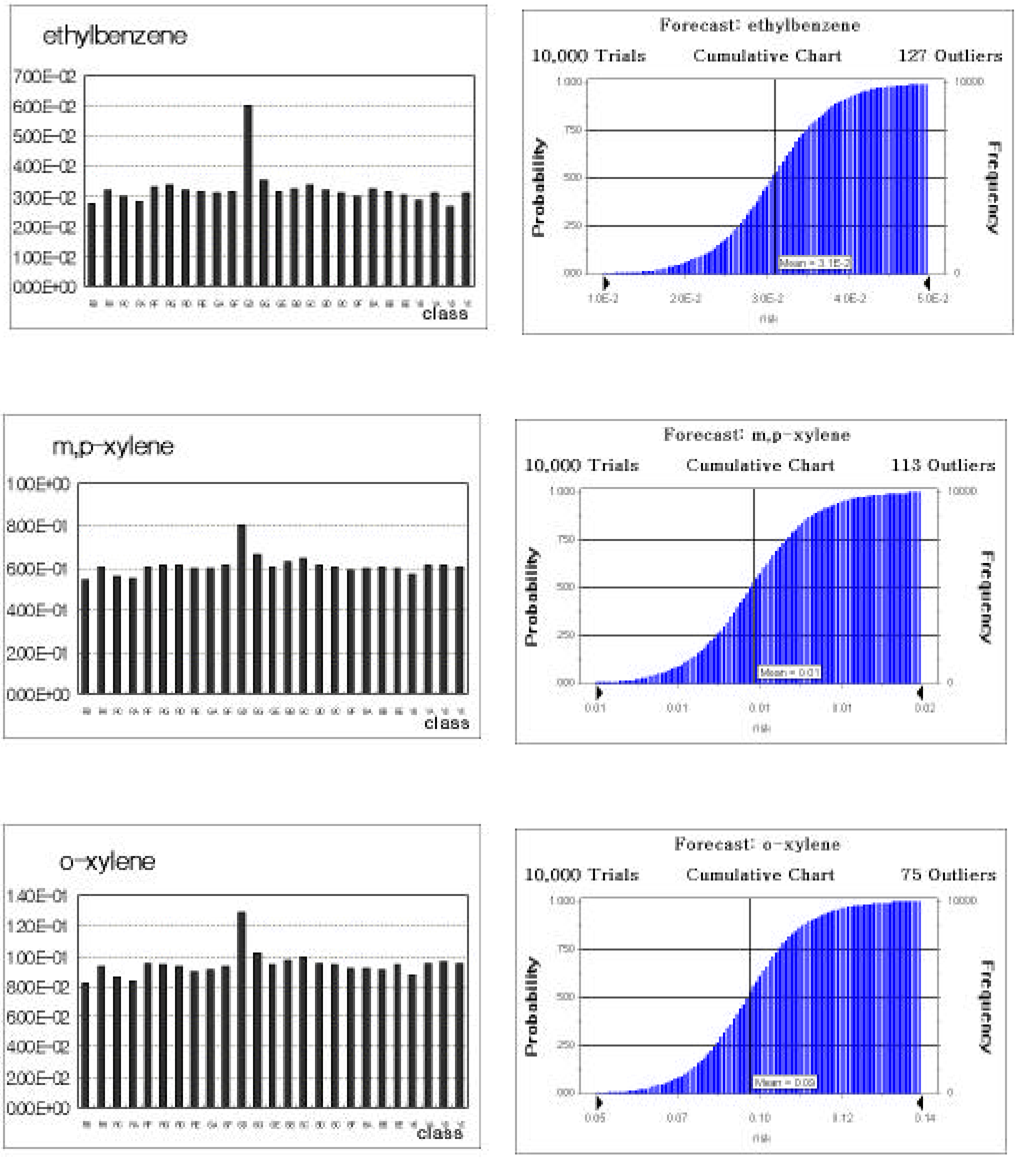


Figure 16. The total Harzard Quotients(HQs) of non-carcinogenic VOCs at 25 distinct located in Seoul



GFA(강서구), GFB(양천구), GFC(영등포구), GFD(구로구), GFE(동작구), GFF(관악구), GFG(금천구), RFA(도봉구), RFB(강북구), RFC(노원구), RFD(성북구), RFE(중랑구), RFF(동대문구), RFG(성동구), RFH(광진구), YFA(강동구), YFB(강남구), YFC(송파구), YFD(서초구), BFA(은평구), BFB(종로구), BFC(서대문구), BFD(마포구), BFE(중구), BFF(용산구)

Figure 16. The total Harzard Quotients(HQs) of non-carcinogenic VOCs at 25 distinct located in Seoul

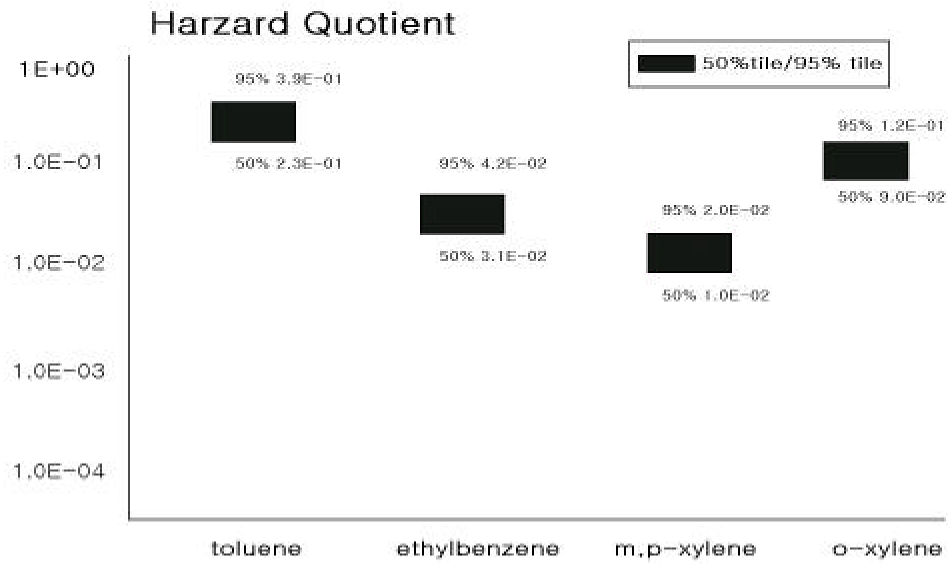


Figure 17. The total Harzard Quotients(HQs) distributions of non-carcinogenic VOCs in Seoul

다. VOCs의 비발암물질의 위험값 기여율

비발암 VOCs는 50 percentile 기여율과 95 percentile 기여율이 거의 유사하게 나타나고 있으며, 특히 toluene은 50 percentile의 기여율에서 63%, 95 percentile의 기여율에서 69%의 높은 기여율을 보이고 있으며 다음으로는 50 percentile와 95 percentile의 기여율에서 *o*-xylene은 25%, 21%, ethlybenzene은 9%, 7% *m*,*p*-xylene 각각 3% 순으로 기여율을 나타내고 있다(Figure 18 19). 전체적으로 비발암성 VOCs에 대한 서울시의 위험값은 50 95 percentile 값의 범

위에서 '1' 이하로 나타나 위해 영향이 일어날 가능성이 없음을 보여주고 있다.

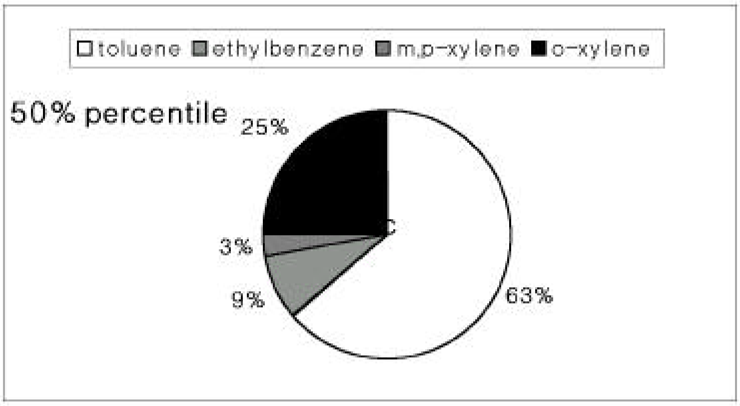


Figure 18. Contribution rate of 50 Percentile HQs to non-carcinogenic VOCs

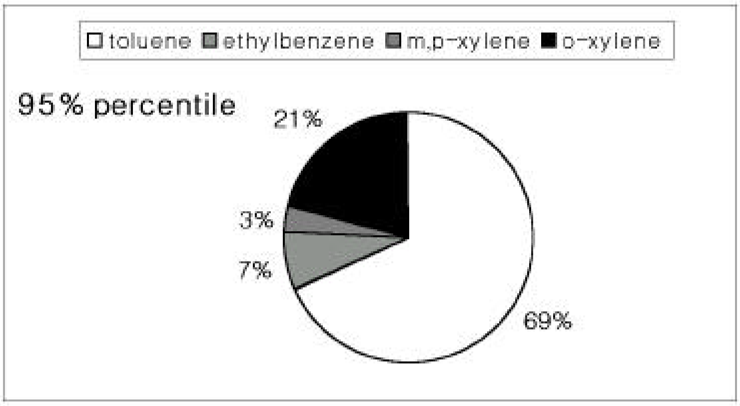


Figure 19. Contribution rate of 95 Percentile HQs to non-carcinogenic VOCs

Ⅳ. 고　　찰

이 연구는 대기중에 분포하고 있는 유기 오염물질군인 휘발성 유기오염물질 (volatile organic compounds : VOCs)의 서울시 25개 자치구의 노출 평가를 알아보기 위하여 대기 환경중에서 측정된 휘발성 유기화합물(VOCs)의 노출량을 바탕으로 오염도 mapping과 인체 위해도 mapping을 통한 서울시 구별 오염도, 환경노출수준을 알아보고 환경노출이 인체노출에 미치는 영향을 알아보는데 큰 의의를 두고자 한다.

휘발성 유기화학물질 VOCs은 주로 자동차, 산업, 석유관련 산업공장에 의해서 발생된 것이며 이들은 전체 대기 VOCs오염의 약 20 25%를 기여하고 있는 것으로 알려져 있다(Wallace et al, 1991b). 특히, 가솔린과 자동차 배출원은 도시 대기오염의 주범이 되고 있으며(Sigsby et al, 1987; Zweidinger et al, 1988; Daisy et al, 1994), 미국의 경우 대기중 벤젠(benzene)농도의 약 80% 가량이 자동차 배기가스나 가솔린 등에 의한 것으로 보고된 바 있다(SCAQMD, 1989).

특히, 휘발성유기오염물질(VOCs)은 공기를 매체로 널리 분포되어 있기 때문에 대부분 호기를 통해 인체로 유입되어 유해를 야기한다, 이들 중 상당수 (benzene, vinyl chloride 등)는 발암물질로 증명된 것들이 있어 매우 중요시되는 물질 군으로 알려져 있으며 이들 오염도 및 위해도는 실내에서 높은 것으로 보고되고 있으며, 노출정도는 개인의 특성에 따라 변이가 크기 때문에 개인 노출평가가 필수적이라고 할 수 있다(Fawell, 1993; Wallace, 1984). 이와 같은 오염원에 의해 발생된 대기중의 VOCs는 만성 노출시에는 인체내 기관에 축적되어 폐부종, 신장독성, 혈액암 등의 유해한 영향을 끼치게 된다(Otto et al, 1992; Hudnell et al, 1992; Koren et al, 1992).

이처럼 VOCs의 중요성에도 불구하고 국내 오염도에 관한 자료가 없을 뿐만 아니라 특히, 뇨, 혈액, 및 호기로부터의 인체 노출 평가가 거의 없는 실정이다. 따라서 향후 VOCs의 연구는 충분한 Data구축이 선행되어야 할 것이다.

그 동안 본 국내에서 보고된 일련의 연구결과를 보면 암과 돌연변이를 유발하는 VOCs와 PAHs 화합물 등이 수종 존재하며 이러한 유기오염물질들에 의한 인체 위해도는 허용 위해도(acceptable risk)를 넘어섬을 알 수 있었다(신동천, 1990, 1994; 정용 등, 1991a, 1991b). 더욱이 고정환경에서 측정, 평가된 연구결과는 개인이 노출되는 수준과는 많은 차이가 있기 때문에 생체지표 등을 이용하여 평가한다면 좀더 직접적인 평가가 될 것으로 사료된다.

위해성 평가(Risk Assessment)를 실시할 때는 현실 가능한 범위 내에서 많은 량의 시료를 빠른 시간에 그리고 값싸게 측정하여야 한다. 하지만 이 방법이 정밀도(precision)와 정확도(accuracy) 그리고 반복성(repeatability)에서 신뢰할 수 있어야 하며 객관적이고 보편 타당해야 한다. 이는 시간적, 공간적 범위 내에서 노출의 분포가 대상 집단 내에서 어떠한 분포를 가지고 있는가를 평가해야 하는 주요 목적에서 출발한다(Stock et al, 1996).

본 연구의 sampling 방법을 살펴보면 위해성 평가시 환경 노출량에서 오는 불확실성을 감안한다면, 개인 노출량을 측정하는 것이 무엇보다 중요하다. trap과 같은 active sampler는 피 실험자의 부담을 준다는 점에서 passive sampler를 사용하는 것이 보다 효율적이라 할 수 있는데, 이 연구에서는 VOCs의 passive monitor에 대한 시료 채취 방법과 분석 방법에 대하여 신뢰성 있는 자료를 얻을 수 있었다. 그러나 이런 passive sampler는 고농도 노출군에서는 어느 정도의 오차의 검출 한계에 여유범위가 노출 평가에 영향을 미치지 않는다는 이유가 포함된다(NAS, 1991). 하지만 대기 환경 중의 실외, 실내, 모니터링이나 개인 노출 측정에 응용하는 방법에는 active sampler에 비해 낮은 포집률(collection rate),

오염물질의 흡수에 의한 배경 농도의 증가, 온도와 습도에 따른 시료 채취 효율이 영향을 받았다는 어느 정도의 제약점도 내포하고 있다(Cohen et al, 1990).

서울시 연구대상 물질의 오염도 측정결과 toluene이 가장 높은 19.555±8.745μg/㎥, benzene 12.923±4,595μg/㎥, *m,p*-xylene 6.753±1.441μg/㎥, ethylbenzen 6.246±2.462μg/㎥, *o*-xylene 5.295±1.227μg/㎥의 결과를 나타냈는데 Table 13에서 알 수 있듯이 세계 대도시의 휘발성 유기화합물(VOCs)의 농도는 서울과 비교했을 때 큰 차이를 보이지 않고 있다. benzene의 경우는 서울의 12.9μg/㎥ 미국의 St. Louis(USA)[g]와 비슷하다(Sweet and vermette et al, 1992). 반면, toluene은 서울이 19.6μg/㎥으로 미국의 Houston(USA)[f]과 비슷하며(Edgerton et al, 1989), ethylbenzene은 서울이 6.3μg/㎥으로 Sydney(Australia)[a]와 비슷하며(Nelson et al, 1982), *m,p*-xylene은 서울이 6.8μg/㎥으로 Oakland(USA)[e]와 비슷하며(Harkov et al, 1982), *o*-xylene은 서울이 5.3μg/㎥으로 Houston(USA)[f]과 비슷한 경향을 나타내고 있다(Edgerton et al, 1989).

Table 13. Average concentrations of VOCs in ambient in the world cities

(Unit : μg/㎥)

City	benzene	toluene	ethylbenzene	*m*+*p*-xylene	*o*-xylene
Sydney(Australia)[a]	9.1	37	**6.2**	8.6	7.1
Hamburg(Germany)[b]	13	38	8.8	22	9.5
Chicago(USA)[c]	11	10	2.4	4.7	1.6
Leeds (United Kingdom)[d]	9.0	22	4.3	22	8.1
Los Angeles(USA)[e]	21	48	11	22	9.0
Oakland(USA)[e]	5.6	13	2.8	**7.1**	3.8
Phoenix(USA)[f]	21	68	11	41	15
Denvor(USA)[f]	9.4	28	5.7	16	7.6
Houston(USA)[f]	9.4	**20**	3.3	12	**5.2**
Philadelphia(USA)[f]	5.2	14	2.8	9.5	7.1
Pittsburgh(USA)[f]	9.1	8.6	1.4	3.3	1.4
San Jose(USA)[f]	8.4	18	7.1	15	7.6
Boston(USA)[f]	3.5	9.5	1.4	5.7	2.4
St. Louis(USA)[g]	**11**	8.5	6.9	16	3.3
London (United Kingdom)[h]	31	56	4.2	13	5.9
Johannesburg (South Africa)[h]	12	42	8.9	21	7.7
Martorell(Spain)[i]	3.8	14	3.8	11	3.6
Seoul	**12.9**	**19.6**	**6.3**	**6.8**	**5.3**

[a]Nelson et al.(2). [b]Bruckmann and Kersten(31). [c]Scheff and Wadden(12). [d]Kupizewska and Pilling(14). [e]Harkov et al.(3). [f]Edgerton et al.(1). [g]Sweet and vermette(11). [h]Finlayson-Pitts and Pitts(32). [i]Present study.

본 연구를 수행하기에 앞서 최근 서울지역의 자동차의 증가, 난방연료, 산업의 확충으로 인한 대기질 악화를 고려하여 어느 지역에서 높은 VOCs가 발생하는가와 주요 간선도로 및 교통 혼잡지역과 공업지역 같은 그 지역적 특수성을 반영하여 오염도 분포를 보이는지 살펴보고, 서울지역의 VOCs의 오염도가 기상현상, 자동차, 산업, 에너지, 용도별면적 등과 같은 서울시의 기초현황 중 어느 요인과 상관성의 경향을 나타내는지 살펴보기 위해 통계분석을 실시하였는데 그 결과는 아래와 같으며 이 연구를 위한 참고용 자료로 제공하고자 한다.

먼저 서울시의 지형적인 특징을 살펴보면 북쪽, 남쪽, 서쪽에는 높은 산이 거

의 없는 지형적 특성을 가지고 있으며, 한강이 동에서 서로 관통하여 바람을 서울특별시의 중앙으로 유도하는 역할을 하고 있고 주 풍향은 서풍(W)과 서북서풍(WNW)이므로, 서쪽으로부터 이동해 온 대기오염물질과 서울특별시에서 발생한 대기오염물질이 정체되기 쉬운 지형적 특성을 가지고 있다. 따라서 대기오염물질로 인한 환경오염을 더욱 가중시키고 있는 지형구조를 지니고 있다. 이는 이 시기의 계절적 요인과 주위환경과의 상관성을 고려하여 추후에 좀더 구체적으로 조사해야할 항목으로 사료된다.

서울시 VOCs 자연적 배출원으로써 본 연구에서는 인구 10,000,000이상이 사는 거대 도시인 서울을 대상지역으로 했기 때문에 자연적인 배출원인은 미미하다는 전제하해서 자연적인 기초현황 조사로 인구수만을 선정하였다. 이밖에도 기상조건으로 VOCs에 영향을 줄 수 있는 O^3의 발생량을 제시하여야 하였으나 서울시의 자동 측정망 자료가 구별 지역간 자료를 대표할 수 없어 제시할 수 없었다. 다만 1998년 서울시의 O^3의 평균은 0.017 ppm/8시간 기준값을 나타내고 있었다

VOCs의 인위적 배출원은 인간의 활동에 의한 것으로 고정배출원(점오염원, 면오염원)과 이동배출원으로 크게 분류되며 주요 인위적 배출원으로는 용제를 사용하는 도장시설의 산업부문과 대기환경오염배출시설, 이동배출원인 자동차와 주유소 및 주유소의 저장시설과 판매시설, 세탁소, 인쇄소 등이 있다. 따라서 본 연구에서 자동차, 산업, 용도별 면적, 에너지와 도로면적, 주택수를 서울시의 인위적, 인문사회학적인 변수로 사용하였다.

논문에 앞서 본 연구에서 조사되었던 서울시에서 VOCs 오염도와 서울시 지역적 현황 조사와의 상관관계를 알아보면 toluene은 공장수 $r^2=0.2536$ $(p<0.013)$, 역삼각형인 녹지면적 $r^2=0.2354$ $(p<0.015)$에서 어느 정도 영향을 보이고 있어 노출원인을 산업체의 배출원인에서 찾아야할 것 같고, benzene의 경우는 자동차

의 통행량 r^2=0.5969(p<0.0001), 등록대수(p<0.0001), 주차장수(P<0.0494)에서 영향을 나타내 서울시의 benzene은 자동차에 의한 원인이 큰 것으로 생각된다. ethylbenzene은 자동차통행량 r^2=0.7202(p<0.0001), *m,p*-xylene은 대기환경오염배출시설 r^2=0.6194(p<0.0001), 공업지역면적 r^2=0.3803(p<0.001), *o*-xylene은 에너지소비량 r^2=0.5578 (p<0.0001)에서 비교적으로 상관성이 있는 영향을 나타냈다.

대기중의 각 휘발성 유기화합물(VOCs) 오염도와 변수들과의 영향력을 알아보기 위하여 Multiple regression 분석결과 toluene의 경우 공장수(p=0.0019), 녹지면적(p=0.0136)에서 benzene은 자동차통행량(p=0.0044), 녹지면적(p=0.0536)에서 ethylbenzene은 자동차통행량(p=0.0001), 공업지역면적(p=0.0045), 녹지면적(p=0.0471)에서 *m,p*-xylene은 환경오염배출시설(p=0.0001), 녹지면적(p=0.0005)에서 통계적으로 유의한 설명력을 주는 것으로 나타났고, *o*-xylene은 P<0.05의 통계적으로 유의한 설명력을 갖는 변수가 없어 제외시켰다. 위와 같은 결과로 연구대상물질 VOCs의 회귀식을 결정할 수 있었다.

Toluene = $0.0003_{(plant)} - 0.3189_{(Green\ zone)} + 15.322$ (r^2=0.4375 p=0.0018)

Benzene = $3.65*E\text{-}5_{(Vehicle\ flow)} - 1.838930_{(Green\ zone)} + 5.759055$
(r^2=0.6952 p=0.0001)

Ethylbenzene = $1.23*E\text{-}5_{(Vehicle\ flow)} + 0.2016_{(Industrial\ area)} - 0.3682_{(Green\ zone)} + 4.3212$
(r^2=0.8322 p=0.0001)

m,p-xylene = $0.0172_{(Environmental\ Pollution\ Facilities)} - 0.0546_{(Green\ zone)} + 6.9772$
(r^2=0.7837 p=0.0001)

이 연구의 대상 VOCs 그룹의 각 매체별 노출군간의 노출 농도를 비교해 보면 서울시의 발암성 benzene의 총 초과 발암위해도의 누적분포를 보면, 서울의

25개구 전지역에서 발암성 benzene의 초과 발암위해도 분포를 보면 평균 1.3×10^{-4}이고 50 95 Percentile 값의 범위가 1.3×10^{-4} 1.7×10^{-4}의 초과 발암위해도 분포를 보여주고 있는데 연세대학교 환경공해 연구소 대기오염물질의 위해성평가 및 관리기술, 2단계 2차년도 연차보고서에서 1997년 1월(겨울)과 4월(봄)에 12시간씩 2회 시료 채취를 수행한 6개 대도시의 symple sites(대표지점)과 wrost sites(오염지점)의 초과 발암위해도 수준을 비교해 보았을 때(Table 14, 15), 서울지역은 1.98×10^{-5} 2.78×10^{-4}으로 본 연구의 위해도 값이 연세대 환경공해연구소 위해도 값보다 높게 나타나는 경향을 보였다.

Table 14. Excess cancer risk estimates of carcinogenic compounds at symbol site in the cities

Carcinogens \ Cities	Seoul	Inchon	Taejon	Taegu	Kwangju	Pusan
Benzene	1.98×10^{-5}	3.76×10^{-5}	1.98×10^{-5}	1.61×10^{-5}	4.10×10^{-6}	4.33×10^{-6}

Table 15. Excess cancer risk estimates of carcinogenic compounds at worst site in the cities

Carcinogens \ Cities	Seoul	Inchon	Taejon	Taegu	Kwangju	Pusan
Benzene	2.78×10^{-4}	1.93×10^{-5}	8.16×10^{-5}	6.21×10^{-6}	3.78×10^{-6}	1.99×10^{-4}

반면, 서울지역에서 비발암 VOCs의 총 위험값을 보면 toluene에 의한 호흡노출에 의한 위험값은 평균 0.23, ethylbenzene은 3.1×10^{-2}, *m,p*-xylene은 0.01, *o*-xylene은 0.09의 위험값을 보이고 있는데 연세대 환경공해연구소 위험값과 비교해 보았을때 symple sites(대표지점)과 wrost sites(오염지점)에서 toluene 각각 (1.54×10^{-1}, 8.8×10^{-2})으로 본 연구의 위험값이 높게 나왔으며, *o*-xylene(7.85×10^{-2}, 4.34×10^{-2}), ethylbenzene(2.18×10^{-2}, 1.47×10^{-2})으로 본 연구의 위험값이 대표지점과 오염지점보다 높게 나타났다. 반면 *m,p*-xylene은 (1.15×10^{-2}, 7.4×10^{-3})

으로 본 연구의 위험값이 더 낮은 분포를 보였다(Table 16, 17).

Table 16. Hazard quotients of non-carcinogenic compounds at symbol site in the cities

Cities / Compounds	Seoul	Inchon	Taejon	Taegu	Kwangju	Pusan
m,p-Xylene	1.15×10^{-2}	2.79×10^{-3}	6.26×10^{-3}	4.83×10^{-6}	1.86×10^{-4}	4.95×10^{-5}
o-Xylene	7.85×10^{-2}	6.72×10^{-2}	3.80×10^{-2}	4.83×10^{-5}	1.78×10^{-3}	1.52×10^{-0}
ethylbenzene	2.18×10^{-2}	8.98×10^{-3}	1.20×10^{-2}	4.01×10^{-4}	3.60×10^{-4}	9.38×10^{-5}
toluene	1.54×10^{-1}	1.19×10^{-1}	6.21×10^{-2}	7.98×10^{-3}	4.09×10^{-2}	2.00×10^{-2}

Table 17. Hazard quotients of non-carcinogenic compounds at worst site in the cities

Cities / Compounds	Seoul	Inchon	Taejon	Taegu	Kwangju	Pusan
m,p-Xylene	7.40×10^{-3}	1.44×10^{-4}	2.74×10^{-3}	1.24×10^{-5}	1.88×10^{-4}	9.67×10^{-3}
o-Xylene	4.34×10^{-2}	4.83×10^{-5}	1.97×10^{-2}	4.83×10^{-5}	1.08×10^{-3}	6.64×10^{-2}
ethylbenzene	1.47×10^{-2}	1.40×10^{-5}	5.05×10^{-3}	1.40×10^{-5}	5.85×10^{-4}	2.29×10^{-2}
toluene	8.80×10^{-2}	3.12×10^{-2}	1.95×10^{-1}	6.28×10^{-3}	3.49×10^{-2}	1.42×10^{-1}

연세대학교 환경공해 연구소 대기오염물질의 위해성평가 및 관리기술, 2단계 2차년도 연차보고서와 본 연구의 보고서 모두 비발암성 VOCs에 대한 서울시의 위험값이 50 95 percentile 범위에서 '1' 이하로 나타나 위해 영향이 일어날 가능성이 없음을 보여주고 있는 것 같다.

결론적으로 여기서 평가된 연구 결과는 우리나라 미규제 대기오염물질관리 및 주요 환경정책결정에 주요한 근거자료로 이용될 것이며, 이러한 연구는 효율적인 대기오염관리 뿐만 아니라 국민들이 안전한 환경에서 살 권리를 보장하는데 기여할 것이며, 앞으로 휘발성 유기화합물(VOCs)의 환경오염물질에 의한 인체영향을 구체적이고도 과학적으로 평가한다는 측면에서 그 동안 시도되지 않았던 미래 지향적인 연구라 할 수 있다.

Ⅴ. 결 론

이번 연구는 최근 서울지역의 자동차 증가, 산업의 확충, 에너지 사용 등의 증가로 인한 대기질 악화를 고려하여 대기 환경중에서 측정된 휘발성 유기화합물(VOCs)의 노출량을 바탕으로 오염도 mapping과 인체 위해도 mapping을 통한 서울시 구별 오염도, 환경노출수준을 조사하고 서울시의 인체 위해도값을 알아보기 위한 것이었으며 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 서울시의 VOCs 농도를 살펴보면, toluene이 가장 높은 19.555±8.745㎍/㎥로 나타났으며, 다음으로는 benzene 12.923±4,595㎍/㎥, *m,p*-xylene 6.753±1.441㎍/㎥, ethylbenzen 6.246±2.462㎍/㎥, *o*-xylene 5.295±1.227㎍/㎥순으로 나타났다. 측정 연구대상물질을 놓고 고려해 볼 때, 오염도 분포율은 toluene>benzene>*m,p*-xylene>*o*-xylene>ethylbenzene 순으로 toluene 38.5%로 가장 높았으며, 다음은 benzene이 28%로 높게 나타났고, 휘발성 유기화합물(VOCs)에서는 toluene과 benzene이 전체 공정의 66.5%이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다

2. 서울시의 각 구별 발암물질과 비발암물질의 노출평가결과 benzene의 초과발암위해도를 보면 3.26×10^{-5} 1.54×10^{-4}의 범위를 나타내고 있으며, toluene의 위험값은 RFA(도봉구)1.68×10^{-1} BFE(중구)4.27×10^{-1}, ethylbenzene의 위험값은 YFD(서초구)2.64×10^{-2} GFD(구로구)5.99×10^{-2},*m,p*-xylene의 위험값은 RFB(강북구)5.42×10^{-1} GFD(구로구)8.01×10^{-1}, *o*-xylene의 위험값은 RFB(강북구)8.25×10^{-2} GFD(구로구)1.30×10^{-1}의 범위를 나타냈는데 대체적으로 초과 발암위해도와 위험값은 오염도 mapping과 유사한 결과를 보이고 있다.

3. 서울시의 발암성 benzene의 총 초과 발암위해도의 누적분포를 보면, 서울의 25개구 전지역에서 10,000명당 1명 범위의 위해도 분포를 보이고 있으며, 은평구와 종로구만이 평균값이 100,000명당 1명 범위의 낮은 위해도 분포를 보여주고 있다. 특히, 발암성 benzene의 초과 발암위해도 분포를 보면 평균 1.3×10^{-4}이고 50 95 Percentile 값의 범위가 1.3×10^{-4} 1.7×10^{-4}의 초과 발암위해도 분포를 보여주고 있다.

4. 서울지역에서 비발암 VOCs의 총 위험값을 보면 대부분의 비발암물질들이 1이하의 안전한 값을 나타내어 안전한 수준으로 평가되었으나 서울시의 toluene에 의한 호흡노출에 의한 위험값은 평균 0.23으로 ethylbenzene 3.1×10^{-2}, *m,p*-xylene이 0.01, *o*-xylene 0.09에 비해 다소 높은 위험값을 보이고 있다. 특히, 50 95 Percentile의 범위를 보면 toluene 2.3×10^{-1} 3.9×10^{-1}으로 대체로 높았으며, 다음으로 *o*-xylene 9.0×10^{-2} 1.2×10^{-1}, ethylbenzene 3.1×10^{-2} 4.2×10^{-2}, *m,p*-xylene 1.0×10^{-2} 2.0×10^{-2} 순으로 가장 낮은 위험값 분포를 보였다.

5. 비발암 VOCs는 50 percentile 기여율과 95 percentile 기여율이 거의 유사하게 나타나고 있으며, 특히 toluene은 50 percentile의 기여율에서 63%, 95 percentile의 기여율에서 69%의 높은 기여율을 보이고 있으며 다음으로는 *o*-xylene>ethlybenzene>*m,p*-xylene 순으로 위해도 값의 기여율을 나타내고 있다. 전체적으로 비발암성 VOCs에 대한 서울시의 위험값은 50 95 percentile 값의 범위에서 ‘1’ 이하로 나타나 위해 영향이 일어날 가능성이 없음을 보여주고 있다.

참고문헌

건설 교통부, 1997.

기상청, 기상연보, 1986 1998.

김윤신, 신혜수, 허귀석., 실내외 공기중 휘발성 유기화합물질의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(4), pp 310-319, 1993.

김종석, 대기환경 기준설정 배경에 관하여, 한국대기보전학회지, 7권 pp 67-71, 1991.

방신호, 김광종, 염용태., 벤젠노출 근로자의 생물학적 모니터링 지표로서의 뇨중 S-Phenylmercapturic Acid에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 6(2), 1996.

백성옥, 김영민., 도시에서의 실내ㆍ외 주변공기 중 휘발성 유기화합물의 농도 측정에 관한 연구, 18(2), pp181-197, 1996.

연세대학교 환경공해연구소, 여천공단지역의 환경오염으로 인한 건강위해성평가, 1997.

연세대학교 환경공해연구소, 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술 제 2 단계 2 차년도 연차보고서, 1998.

서울시정개발연구원, 서울시 대기오염 특성 연구, 1994.

서울특별시, 서울시 통계연보, 1986 1995.

정 용, 한국에서의 환경오염에 의한 위해성 관리의 종합적 접근방법, 한국환경독성학회지, 4(1-2), pp 55-65, 1989.

한국과학기술연구원, 여천공단 주변마을 환경영향 및 대책에 관한 연구, 1996.

환경부, 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술 9-2-3, 연세대학교 환경공해연구소, 1999.

환경부, **대기오염물질배출량** '94 , 1998.

환경부, **환경백서**, 1989 1998.

환경부, **환경연감**, 1989 1998.

Daisey. JM., Hodgson. AT., Fisk. WJ., et al, Volatile organic compounds in twelve California office buildings, classes, concentrations and sources. Atmospheric environment 28(22), pp 3557-3562, 1994.

Fawell. JK., Hun. S., Environmental Toxicology organic pollutants, John Wiley & Sons, NY 1998.

Girman. JR., Hodgson, AT, and Wind. ML., Considerations in evaluating emissions from consumer products, Atmos Environ, 20, pp 315-320, 1987.

Guerin. MR., Higgins. CE., and Jenkins. RA., Measuring environmental emissions from tobacco combustion, sidestream cigarette smoke literature review, Atmos Environ, 21, pp 291-297, 1987.

Jermini. C., Weber. A., and Grandjean. E., Quantitative determination of various gas-phase components of the sidestream smoke of cigarettes in room air(in German), Arch Occup Environ Health, 36, pp 169-181, 1976.

MØlhave. L., Indoor air pollution due to organic gases and vapours of solvents in building materials, Environ Int, 8, pp 117-127, 1982.

Sigsby. JE., Tejada. S., Ray W., Volatile organic compound emission from 46 in-use passenger cars, Environ Sci Technol, 21, pp 466-475, 1987.

Paul. J., Lioy, Joan. M., Daisey. Toxic air pollutants(A comprehensive study of non-criteria air pollutants), Lewis publishers inc 1987.

Wallace. LA. et al., personal exposure to volatile organic compounds, Environmental Research, 35, pp 293 319.

Wallace. LA., Nelson. CJ., Dunteman. G., Workplace characteristics associated with health and comfort concerns in three office buildings in Washington, DC. In IAQ '91 Healthy Buildings. Proceedings of a conference in Washington, DC, September American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc Atlanta, GA 1991.

Wallace. LA., and O'Neil. IK., Personal air and biological monitoring of individuals for exposure to environmental to tobacco smoke. In Environmental Carcingenesis, Selected Methods of Analysis: Passive smoking. International Agency for Research on Cancer(IARC), Lyon, France, 9(7), 1987.

Zweidinger. RB., Sigsby. JE., Tejada. SB., et al, Detailed hydrocarbon and aldehyde mobile source emissions from roadway studies, Environ Sci Technol, 22, pp 956-962, 1988.

부　록

▣ Sites and Character of VOCs map position in Seoul(159 sites)

라벨	X	Y	주 소	시설명	용도지역	시작(1997.11.6)	마침(1997.11.8)	측정시간(일)	비 고
BF01	192.7	459.1	은평구 진관내동	진관내동사무소	자연녹지지역	3:44 PM	1:16 PM	1.897	
BF02	191.6	456.7	고양시덕양구용두동	에덴파크빌라	공원지역	3:14 PM	12:50 PM	1.900	
BF03	192.8	456.8	은평구 대조동	대조동사무소	일반주거지역	3:28 PM	1:01 PM	1.898	
BF04	194.0	456.5	은평구 불광1동	국립환경연구원	일반주거지역	4:20 PM	2:16 PM	1.914	voc 2개 설치
BF05	196.8	456.8	종로구 평창동	청련사	유통업무설비	5:39 PM	3:06 PM	1.894	
BF06	191.5	455.0	고양시 덕양구 향동	상신초등학교	공원지역	2:18 PM	12:38 PM	1.931	
BF07	193.5	455.3	은평구 응암1동	서대문등기소	일반주거지역	4:48 PM	2:33 PM	1.906	
BF08	195.2	454.2	서대문구 홍은1동	홍은2동사무소	일반주거지역	5:06 PM	2:51 PM	1.906	
BF09	196.7	454.4	종로구 부암동	부암동사무소	풍치지역	5:52 PM	3:17 PM	1.892	
BF10	189.5	452.8	마포구 상암동	서부면허시험장	자연녹지지역	1:12 PM	11:07 AM	1.913	
BF11	190.9	453.1	은평구 수색동	수색천주교회	일반주거지역	12:58 PM	10:55 AM	1.915	
BF12	193.2	452.8	서대문구 가좌2동	남가좌2동사무소	일반주거지역	2:39 PM	12:26 PM	1.908	voc 2개 설치
BF13	194.3	452.8	서대문구 홍제2동	연희3동사무소	일반주거지역	2:27 PM	12:17 PM	1.910	
BF14	197.2	452.8	종로구 효자동	사직동파출소	일반주거지역	6:06 PM	3:30 PM	1.892	
BF15	198.6	452.7	종로구 삼청동	풍문여고	일반주거지역	6:24 PM	3:50 PM	1.893	
BF16	193.6	458.7	은평구 진관내동	진관유치원	자연녹지지역	4:16 PM	1:46 PM	1.896	
BF17	191.2	450.8	마포구 망원2동	망원2동사무소	일반주거지역	1:25 PM	11:22 AM	1.915	
BF18	193.2	451.4	마포구 연남동	연남동사무소	일반주거지역	1:40 PM	11:33 AM	1.912	
BF19	194.8	451.2	서대문구 대신동	연세동문회관	일반주거지역	2:13 PM	11:50 AM	1.901	
BF20	196.8	450.2	중구 중림동	중림동사무소	일반주거지역	1:30 PM	12:07 PM	1.942	
BF21	199.0	451.0	중구 명동/필동	대한극장앞	상업지역	2:30 PM	12:39 PM	1.923	주유소 30-40m 앞
BF22	201.2	450.9	중구 신당1동	신당6파출소	일반주거지역	3:00 PM	1:00 PM	1.917	
BF23	193.2	449.2	마포구 상수동	상수동사무소	일반주거지역	12:28 PM	10:03 AM	1.899	
BF24	195.2	448.8	마포구 대흥동	진주아파트	일반주거지역	12:12 PM	10:10 AM	1.915	
BF25	197.0	449.0	용산구 청파2동	신광초등학교	일반주거지역	2:07 PM	11:53 AM	1.907	
BF26	198.5	450.0	용산구 이태원2동	보성여중고	일반주거지역	1:05 PM	12:28 PM	1.974	
BF27	197.1	447.1	용산구 한강로3동	중대용산병원	일반주거지역	12:45 PM	11:41 AM	1.956	
BF28	199.1	446.4	용산구 서빙고동	서빙고초등학교	자연녹지지역	12:35 PM	11:33 AM	1.957	
BF29	195.2	459.5	은평구 진관외동	진관사	공원지역	4:04 PM	1:34 PM	1.896	

(Continued)

라벨	X	Y	주 소	시설명	용도지역	시작 (1997.11.6)	마침 (1997.11.8)	측정시간(일)	비 고
GF01	183.2	453.2	강서구 방화3동	개화농로	개발제한구역	10:52 AM	10:12 AM	1.972	
GF02	185.0	453.0	강서구 가양1동	가양하수처리장	개발제한구역	11:15 AM	10:25 AM	1.965	
GF03	182.8	451.2	강서구 공항동	농협건물	생산녹지지역	1:36 PM	1:08 PM	1.981	
GF04	185.4	451.2	강서구 가양1동	LG산전앞	생산녹지지역	11:35 AM	10:40 AM	1.962	
GF05	187.0	451.0	강서구 등촌3동	유석초등학교	준공업지역	11:45 AM	10:52 AM	1.963	
GF06	182.9	449.9	강서구 공항동	오정농협	개발제한구역	1:14 PM	12:48 PM	1.982	
GF07	185.3	449.1	강서구 화곡3동	화곡3동사무소	일반주거지역	12:45 PM	11:55 AM	1.965	20m지점에 세탁소, voc 2개 설치
GF08	187.8	448.8	강서구 화곡본동	등촌2동사무소	공원지역	12:10 PM	11:10 AM	1.958	맞은편에 주유소
GF09	188.9	449.0	양천구 목2동	목2동 사무소	공원지역	11:58 AM	11:18 AM	1.972	
GF10	191.2	448.1	영등포구 당산2동	당산2동파출소	준공업지역	7:00 PM	4:30 PM	1.896	50m 지점에 고무화학공장
GF11	185.2	446.6	양천구 신월3동	신월7동사무소	일반주거지역	2:53 PM	3:00 PM	2.005	
GF12	187.2	447.1	양천구 신정3동	신정5동사무소	일반주거지역	4:54 PM	2:47 PM	1.912	50m 부근에세탁소
GF13	189.0	447.0	양천구 목1동	현대 APT	일반주거지역	5:13 PM	2:28 PM	1.885	
GF14	190.2	446.1	영등포구 당산1동	문래2동사무소	준공업지역	5:45 PM	2:18 PM	1.856	voc 2개 설치, 주변에 공장들
GF15	193.0	447.3	영등포구 여의도동	여의도 대유증권	상업지역	11:28 AM	9:13 AM	1.906	
GF16	184.7	444.8	구로구 수궁동	서울정보산업고	개발제한구역				
GF17	187.3	445.0	구로구 고척2동	고척2동사무소	일반주거지역	7:27 AM	1:25 PM	2.249	
GF18	189.4	445.0	구로구 신도림동	신도림동사무소	준공업지역	5:28 PM	4:07 PM	1.944	
GF19	190.8	445.3	영등포구 도림2동	도림2동사무소	준공업지역	4:05 PM	12:42 PM	1.859	
GF20	192.7	445.8	영등포구 신길1동	신길1동사무소	일반주거지역	11:21 AM	8:57 AM	1.900	
GF21	195.0	445.4	동작구 노량진1동	노량진파출소	일반주거지역	11:09 AM	8:49 AM	1.903	
GF22	196.7	445.4	동작구 흑석2동	흑석동아파트	일반주거지역	11:03 AM	8:43 AM	1.903	
GF23	185.1	443.5	구로구 오류2동	궁동독서실	풍치지역	3:38 PM	3:20 PM	1.988	voc 2개 설치
GF24	187.3	443.2	구로구 개봉3동	개봉2동사무소	일반주거지역	6:09 PM	3:52 PM	1.905	
GF25	189.0	443.0	구로구 구로1동	칠성APT	준공업지역	7:15 AM	6:50 AM	1.983	
GF26	191.2	442.8	영등포구 대림2동	영림초등학교	일반주거지역	3:47 PM	12:27 PM	1.861	
GF27	193.0	443.5	관악구 신림5동	보라매공원	일반주거지역	11:54 AM	9:26 AM	1.897	
GF28	194.8	442.8	관악구 봉천9동	봉천9동사무소	일반주거지역	12:12 PM	9:40 AM	1.894	
GF29	197.0	443.0	동작구 사당3동	사당5파출소	일반주거지역	12:25 PM	9:53 AM	1.894	
GF30	189.0	440.9	광명시	칠산여중	일반주거지역	3:11 PM	11:34 AM	1.849	
GF31	190.2	441.7	금천구 독산4동	구로정수장	일반주거지역	3:28 PM	12:14 PM	1.865	voc 2개 설치
GF32	193.2	441.0	관악구 신림3동	남강중학교	일반주거지역	2:04 PM	10:49 AM	1.865	
GF33	195.0	441.0	관악구 신림2동	신림중학교	일반주거지역	1:43 PM	10:34 AM	1.869	
GF34	197.0	441.3	관악구 봉천11동	봉천11동사무소	일반주거지역	12:42 PM	10:04 AM	1.890	
GF35	190.9	439.1	금천구 시흥1동	시흥1동사무소	준공업지역	2:43 PM	11:20 AM	1.859	
GF36	192.6	438.9	금천구 시흥2동	동일여상고	일반주거지역	2:28 PM	11:07 AM	1.860	
GF37	195.5	439.7	관악구 신림9동	서울대 학군단	개발제한구역	1:28 PM	10:15 AM	1.866	voc 2개 설치
GF38	181.2	449.0	강서구 오쇠동	대장국교	개발제한구역	2:23 PM	12:32 PM	1.923	

(Continued)

라벨	X	Y	주 소	시설명	용도지역	시작(1997.11.6)	마침(1997.11.8)	측정시간(일)	비 고
RF01	203.0	464.9	도봉구 도봉1동	도봉산입구	공원지역	11:20 AM	12:55 PM	2.066	
RF02	204.8	464.6	노원구 상계1동	수락산 유원지	유원지	11:35 AM	1:10 PM	2.066	
RF03	200.5	463.3	강북구 수유4동	북한산입구	유원지	10:30 AM	12:40 PM	2.090	voc 2개 설치
RF04	203.0	462.9	도봉구 방학2동	방학2동사무소	일반주거지역	11:07 AM	12:50 PM	2.072	
RF05	205.6	462.4	노원구 상계9동	상계9동사무소	일반주거지역	11:47 AM	1:15 PM	2.061	
RF06	207.3	463.3	노원구 상계4동	상계4동사무소	일반주거지역	12:00 PM	1:25 PM	2.059	
RF07	199.0	461.4	강북구 수유4동	도선사입구	공원지역	10:17 AM	12:10 PM	2.078	
RF08	201.0	460.7	강북구 수유4동	수유4동사무소	일반주거지역	9:50 AM	11:55 AM	2.087	
RF09	203.5	461.0	도봉구 쌍문2동	쌍문2동사무소	일반주거지역	10:55 AM	12:25 PM	2.063	voc 2개 설치
RF10	205.0	461.2	노원구 상계6동	상계6동사무소	일반주거지역	12:20 PM	2:25 PM	2.087	
RF11	206.7	461.1	노원구 중계본동	중계1동사무소	일반주거지역	12:35 PM	2:35 PM	2.083	
RF12	200.8	459.7	강북구 수유1동	국립재활원	일반주거지역	9:58 AM	11:45 AM	2.074	
RF13	203.2	458.9	강북구 번2동	번2동사무소	자연녹지지역	2:42 PM	4:03 PM	2.056	
RF14	204.8	458.5	노원구 월계4동	월계2동사무소	자연녹지지역	1:20 PM	3:47 PM	2.102	
RF15	206.2	459.7	노원구 공릉2동	하계1동사무소	일반주거지역	12:50 PM	2:42 PM	2.078	
RF16	209.2	459.5	노원구 태릉	국제스케이트장	개발제한구역	1:00 PM	3:07 PM	2.088	
RF17	199.3	456.7	성북구 정릉3동	국민대학교	상업지역	3:30 PM	10:52 AM	1.807	
RF18	201.3	457.4	성북구 정릉4동	미아7동사무소	일반주거지역	2:55 PM	11:30 AM	1.858	
RF19	203.1	456.8	강북구 미아4동	창문여중고	일반주거지역	2:30 PM	4:10 PM	2.069	
RF20	204.9	457.0	성북구 장위3동	장위3동사무소	일반주거지역	1:35 PM	3:40 PM	2.087	
RF21	206.8	456.7	중랑구 묵1동	묵1동사무소	일반주거지역	12:05 PM	12:09 PM	2.003	50m지점에 주유소
RF22	208.5	456.5	중랑구 신내1동	동성아파트2동	일반주거지역	9:25 AM	9:24 AM	1.999	
RF23	199.0	454.6	성북구 성북2동	명수학교	풍치지역	3:58 PM	10:35 AM	1.776	
RF24	201.0	455.0	성북구 돈암2동	정덕초등학교	일반주거지역	3:45 PM	11:00 AM	1.802	
RF25	202.9	454.6	성북구 종암2동	숭례초등학교	일반주거지역	4:15 PM	4:20 PM	2.003	
RF26	205.1	454.8	동대문구 이문2동	외국어대학교	일반주거지역	6:40 PM	11:35 AM	1.705	
RF27	206.9	455.4	중랑구 중화1동	중화1동사무소	일반주거지역	12:31 PM	12:37 PM	2.004	50m지점에 주유소
RF28	209.3	455.4	중랑구 망우1동	망우1동사무소	일반주거지역	10:10 AM	9:50 AM	1.986	
RF29	202.1	452.2	동대문구 제기2동	숭인여중	일반주거지역	3:25 PM	1:20 PM	1.913	voc 2개 설치
RF30	205.2	453.4	동대문구 전농3동	서울시립대학교	상업지역	12:20 PM	11:40 AM	1.972	
RF31	206.5	454.1	중랑구 면목2동	중랑초등학교	일반주거지역	9:50 AM	9:37 AM	1.991	voc 2개 설치
RF32	208.4	453.1	중랑구 면목3동	한신아파트	일반주거지역	10:40 AM	10:01 AM	1.973	
RF33	203.1	450.7	성동구 행당1동	성동구민회관	상업지역	12:05 PM	11:15 AM	1.965	
RF34	205.3	451.2	성동구 용답동	군자초등학교	일반주거지역	10:20 AM	9:35 AM	1.969	
RF35	207.0	451.0	광진구 중곡1동	중곡1동사무소	일반주거지역	8:40 AM	7:20 AM	1.944	
RF36	201.3	448.8	성동구 옥수2동	옥정초등학교	일반주거지역				
RF37	203.2	449.3	성동구 성수1동	삼표레미콘	일반주거지역	10:15 PM	11:15 PM	2.042	주변벽체 공사중,
RF38	204.8	449.5	성동구 성수3동	성수2가동사무소	준공업지역	12:10 PM	11:05 AM	1.955	voc 2개 설치
RF39	206.8	448.8	광진구 화양동	건국대학교수실	일반주거지역	11:15 AM	10:16 AM	1.959	
RF40	208.6	449.6	광진구 광장동	구의정수장 옥상	공원지역	11:25 AM	10:25 AM	1.958	voc 2개 설치
RF41	207.4	447.7	광진구 자양2동	자양2동사무소	일반주거지역	11:50 AM	10:36 AM	1.949	
RF42	202.2	456.0	성북구 길음3동	길음3동사무소	일반주거지역	3:10 PM	11:20 AM	1.840	voc 2개 설치

(Continued)

라벨	X	Y	주 소	시설명	용도지역	시작 (1997.11.6)	마침 (1997.11.8)	측정시간(일)	비 고
YF01	211.8	451.3	강동구 암사2동	나래어린이집	유원지	4:51 PM	1:50 PM	1.874	
YF02	212.9	450.6	강동구 덕제 1동	명덕초등학교	일반주거지역	9:35 AM	8:45 AM	1.965	
YF03	214.7	451.0	강동구 하일동	고덕초등학교	일반주거지역	5:32 PM	2:03 PM	1.855	
YF04	211.2	449.3	강동구 천호4동	천일중학교	일반주거지역	4:32 PM	1:40 PM	1.881	카센타 많음
YF05	213.2	448.8	강동구 길2동	신명초등학교	일반주거지역	4:05 PM	1:20 PM	1.885	
YF06	215.2	449.4	강동구 상일동	상일초등학교	일반주거지역	5:50 PM	2:13 PM	1.849	
YF07	203.0	446.7	강남구 압구정2동	도산공원	공원지역	11:20 AM	10:40 AM	1.972	
YF08	204.3	446.9	강남구 청담1동	청담1동사무소	일반주거지역	9:00 AM	9:00 AM	2.000	
YF09	209.3	446.7	송파구 풍납2동	잠실고등학교	아파트지구	3:30 PM	12:35 PM	1.878	
YF10	210.8	446.7	송파구 방이동	몽촌토성	공원지역	3:02 PM	12:55 PM	1.912	voc 2개 설치
YF11	212.6	447.3	강동구 둔촌1동	한산초등학교	일반주거지역				
YF12	199.3	444.7	서초구 반포본동	반포2동사무소	아파트지구	10:00 AM	2:33 PM	2.190	voc 2개 설치
YF13	201.0	445.3	서초구 반포1동	한신아파트	아파트지구	9:45 AM	7:30 AM	1.906	
YF14	203.0	444.5	강남구 역삼1동	역삼1동사무소	상업지역	11:05 AM	10:25 AM	1.972	
YF15	204.9	445.1	강남구 삼성1동	도심공항터미날	상업지역	10:45 AM	10:10 AM	1.976	
YF16	207.3	444.8	송파구 잠실본동	잠실본동사무소	아파트지구	10:30 AM	9:50 AM	1.972	voc 2개 설치
YF17	209.2	444.6	송파구 석촌동	석촌동사무소	일반주거지역	9:25 AM	9:35 AM	2.007	
YF18	210.7	445.3	송파구 오금동	방산초등학교	일반주거지역	1:50 PM	12:22 PM	1.939	
YF20	199.1	443.0	서초구 방배4동	방배4동사무소	일반주거지역	7:00 PM	4:30 PM	1.896	
YF21	201.1	442.4	서초구 서초3동	서초3동사무소	일반주거지역	10:20 AM	10:06 AM	1.990	
YF22	203.2	442.8	강남구 도곡1동	은광여중고	일반주거지역	10:43 AM	9:57 AM	1.968	
YF23	205.0	443.5	강남구 대치1동	대치1동사무소	일반주거지역	12:22 PM	9:36 AM	1.885	voc 2개 설치
YF24	206.7	443.1	강남구 일원2동	일원초등학교	일반주거지역	12:44 PM	11:09 AM	1.934	
YF25	208.7	442.8	강남구 수서동	신동아아파트	상업지역	12:56 PM	11:20 AM	1.933	
YF26	211.3	442.9	송파구 문정1동	문정초등학교	일반주거지역	1:20 PM	12:02 PM	1.946	
YF27	212.5	443.3	송파구 거여2동	송파공고	일반주거지역	1:34 PM	12:11 PM	1.942	
YF28	199.0	441.6	서초구 방배3동	방현초등학교	일반주거지역	10:37 AM	8:20 AM	1.905	
YF29	202.7	441.3	서초구 양재2동	양재초등학교	일반주거지역	11:06 AM	10:27 AM	1.973	경부고속도로 인접
YF30	204.4	441.5	강남구 개포4동	개포4동국악예고	일반주거지역	12:02 PM	10:50 AM	1.950	
YF31	211.2	441.1	송파구 문정2동	복정역	상업지역	1:09 PM	10:50 AM	1.903	주유소옆
YF32	215.0	452.7	강동구 고덕2동	미사리과적초소	개발제한구역	6:10 PM	2:50 PM	1.861	중부고속도로 입구
YF33	209.6	440.4	강남구 세곡동	세곡동사무소	개발제한구역	11:41 AM	11:33 AM	1.994	
YF34	206.0	439.3	서초구 내곡동	시립아동병원	개발제한구역	11:25 AM	10:37 AM	1.967	

▣ ECR and HQs by inhalation(159 sites)

지 역	장 소	X	Y	초과발암위해도 benzene	위험값 toluene	위험값 ethlybenzene	위험값 m,p-xylyene	위험값 o-xylene
도봉구	RF01	203.0	464.9	1.42E-04	1.45E-01	2.73E-02	5.39E-01	8.10E-02
노원구	RF02	204.8	464.6	1.28E-04	1.27E-01	2.64E-02	5.32E-01	8.04E-02
강북구	RF03-1	200.5	463.3	1.29E-04	1.72E-01	2.60E-02	5.24E-01	7.89E-02
강북구	RF03-2			1.29E-04	1.57E-01	2.61E-02	5.25E-01	7.94E-02
도봉구	RF04	203.0	462.9	8.61E-05	1.62E-01	2.72E-02	5.42E-01	8.24E-02
노원구	RF05	205.6	462.4	1.34E-04	1.83E-01	2.81E-02	5.52E-01	8.42E-02
노원구	RF06	207.3	463.3	1.33E-04	1.99E-01	2.77E-02	5.46E-01	8.29E-02
강북구	RF07	199.0	461.4	1.32E-04	1.50E-01	2.63E-02	5.27E-01	7.95E-02
강북구	RF08	201.0	460.7	4.57E-05	1.68E-01	2.70E-02	5.38E-01	8.17E-02
도봉구	RF09-1	203.5	461.0	1.41E-04	1.71E-01	2.82E-02	5.52E-01	8.40E-02
도봉구	RF09-2			1.40E-04	1.95E-01	2.87E-02	5.58E-01	8.54E-02
노원구	RF10	205.0	461.2	1.41E-04	1.77E-01	2.86E-02	5.55E-01	8.48E-02
노원구	RF11	206.7	461.1	1.37E-04	1.81E-01	2.83E-02	5.49E-01	8.38E-02
강북구	RF12	200.8	459.7	1.31E-04	1.82E-01	2.71E-02	5.37E-01	8.15E-02
강북구	RF13	203.2	458.9	1.45E-04	2.51E-01	3.08E-02	5.81E-01	9.00E-02
노원구	RF14	204.8	458.5	5.65E-05	7.52E-01	3.77E-02	6.56E-01	1.05E-01
노원구	RF15	206.2	459.7	1.32E-04	2.03E-01	3.13E-02	5.64E-01	8.66E-02
노원구	RF16	209.2	459.5	1.36E-04	1.65E-01	2.85E-02	5.42E-01	8.24E-02
성북구	RF17	199.3	456.7	6.44E-05	1.89E-01	3.21E-02	6.28E-01	9.58E-02
성북구	RF18	201.3	457.4	1.53E-04	2.62E-01	3.22E-02	6.25E-01	9.58E-02
강북구	RF19	203.1	456.8	1.43E-04	2.23E-01	2.98E-02	5.64E-01	8.67E-02
성북구	RF20	204.9	457.0	1.38E-04	2.63E-01	2.97E-02	5.64E-01	8.63E-02
중랑구	RF21	206.8	456.7	1.45E-04	1.94E-01	2.95E-02	5.70E-01	8.62E-02
중랑구	RF22	208.5	456.5	1.40E-04	1.53E-01	2.93E-02	5.68E-01	8.54E-02
성북구	RF23	199.0	454.6	1.49E-04	1.87E-01	3.17E-02	6.25E-01	9.41E-02
성북구	RF24	201.0	455.0	1.52E-04	1.89E-01	3.19E-02	6.25E-01	9.41E-02
성북구	RF25	202.9	454.6	1.45E-04	1.93E-01	3.06E-02	5.82E-01	8.87E-02
동대문구	RF26	205.1	454.8	1.84E-04	2.56E-01	3.75E-02	6.41E-01	1.07E-01
중랑구	RF27	206.9	455.4	1.45E-04	3.39E-01	3.21E-02	6.02E-01	9.15E-02
중랑구	RF28	209.3	455.4	1.45E-04	2.50E-01	3.26E-02	6.02E-01	9.25E-02
동대문구	RF29-1	202.1	452.2	1.46E-04	4.46E-01	3.25E-02	6.15E-01	9.39E-02
동대문구	RF29-2			1.46E-04	2.30E-01	3.16E-02	6.04E-01	9.21E-02
동대문구	RF30	205.2	453.4	1.41E-04	1.82E-01	3.05E-02	5.80E-01	8.71E-02
중랑구	RF31-1	206.5	454.1	1.40E-04	2.36E-01	3.44E-02	6.29E-01	9.49E-02
중랑구	RF31-2			1.38E-04	2.10E-01	3.43E-02	6.22E-01	9.36E-02
중랑구	RF32	208.4	453.1	1.38E-04	1.71E-01	2.96E-02	5.71E-01	8.58E-02
성동구	RF33	203.1	450.7	1.43E-04	2.32E-01	3.19E-02	6.08E-01	9.31E-02
성동구	RF34	205.3	451.2	1.45E-04	2.76E-01	3.91E-02	6.51E-01	1.01E-01
광진구	RF35	207.0	451.0	1.37E-04	3.72E-01	3.22E-02	6.09E-01	9.28E-02
성동구	RF36	201.3	448.8	1.44E-04	2.05E-01	2.97E-02	5.71E-01	8.72E-02
성동구	RF37	203.2	449.3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
성동구	RF38-1	204.8	449.5	1.42E-04	4.82E-01	3.39E-02	6.24E-01	9.52E-02
성동구	RF38-2			1.42E-04	3.54E-01	3.25E-02	6.07E-01	9.24E-02
광진구	RF39	206.8	448.8	1.48E-04	4.35E-01	3.38E-02	6.33E-01	9.65E-02
광진구	RF40-1	208.6	449.6	1.38E-04	2.12E-01	3.12E-02	5.97E-01	9.06E-02
광진구	RF40-2			1.35E-04	1.68E-01	3.04E-02	5.91E-01	8.95E-02
광진구	RF41	207.4	447.7	1.41E-04	2.02E-01	3.21E-02	6.17E-01	9.49E-02
성북구	RF42-1	202.2	456.0	1.51E-04	2.04E-01	3.32E-02	6.29E-01	9.58E-02
성북구	RF42-2			1.56E-04	2.46E-01	3.33E-02	6.32E-01	9.60E-02

(Continued)

지 역	장 소	X	Y	초과발암위해도 benzene	위험값 toluene	위험값 ethlybenzene	위험값 m,p-xylyene	위험값 o-xylene
강서구	GF01	183.2	453.2	1.44E-04	3.59E-01	3.25E-02	5.91E-01	8.78E-02
강서구	GF02	185.0	453.0	1.31E-04	1.82E-01	3.21E-02	5.90E-01	8.81E-02
강서구	GF03	182.8	451.2	1.42E-04	2.28E-01	3.13E-02	6.06E-01	9.42E-02
강서구	GF04	185.4	451.2	1.36E-04	2.11E-01	3.00E-02	5.82E-01	8.88E-02
강서구	GF05	187.0	451.0	1.31E-04	2.32E-01	2.96E-02	5.84E-01	8.92E-02
강서구	GF06	182.9	449.9	1.43E-04	2.43E-01	3.14E-02	6.09E-01	9.55E-02
강서구	GF07-1	185.3	449.1	1.36E-04	2.15E-01	3.01E-02	5.90E-01	9.13E-02
강서구	GF07-2			1.39E-04	3.24E-01	3.13E-02	6.03E-01	9.36E-02
강서구	GF08	187.8	448.8	1.38E-04	2.44E-01	3.12E-02	6.02E-01	9.29E-02
양천구	GF09	188.9	449.0	1.35E-04	2.62E-01	3.00E-02	5.86E-01	9.00E-02
영등포구	GF10	191.2	448.1	1.49E-04	2.55E-01	3.29E-02	6.38E-01	9.94E-02
양천구	GF11	185.2	446.6	1.63E-04	2.67E-01	3.43E-02	6.50E-01	1.02E-01
양천구	GF12	187.2	447.1	1.61E-04	4.41E-01	3.37E-02	6.47E-01	9.95E-02
양천구	GF13	189.0	447.0	1.53E-04	3.41E-01	3.27E-02	6.30E-01	9.65E-02
영등포구	GF14-1	190.2	446.1	1.57E-04	3.09E-01	3.55E-02	6.66E-01	1.02E-01
영등포구	GF14-2			1.59E-04	2.72E-01	3.49E-02	6.58E-01	1.00E-01
영등포구	GF15	193.0	447.3	1.45E-04	2.19E-01	3.11E-02	6.07E-01	9.21E-02
구로구	GF16	184.7	444.8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
구로구	GF17	187.3	445.0	1.31E-04	2.95E-01	3.09E-02	5.75E-01	8.82E-02
구로구	GF18	189.4	445.0	1.46E-04	2.67E-01	1.55E-01	1.04E+00	1.57E-01
영등포구	GF19	190.8	445.3	1.37E-04	4.76E-01	3.46E-02	6.56E-01	1.01E-01
영등포구	GF20	192.7	445.8	1.39E-04	2.50E-01	3.14E-02	6.17E-01	9.51E-02
동작구	GF21	195.0	445.4	1.43E-04	2.95E-01	3.16E-02	6.13E-01	9.42E-02
동작구	GF22	196.7	445.4	1.37E-04	2.47E-01	3.10E-02	6.07E-01	9.30E-02
구로구	GF23-1	185.1	443.5	1.39E-04	2.12E-01	3.16E-02	6.07E-01	9.24E-02
구로구	GF23-2			1.39E-04	3.38E-01	3.18E-02	6.09E-01	9.30E-02
구로구	GF24	187.3	443.2	6.38E-05	2.60E-01	4.23E-02	7.13E-01	1.14E-01
구로구	GF25	189.0	443.0	1.53E-04	3.30E-01	6.75E-02	1.26E+00	2.33E-01
영등포구	GF26	191.2	442.8	1.07E-04	4.23E-01	3.54E-02	6.70E-01	1.04E-01
관악구	GF27	193.0	443.5	1.57E-04	1.97E-01	3.16E-02	6.16E-01	9.51E-02
관악구	GF28	194.8	442.8	1.53E-04	3.45E-01	3.23E-02	6.25E-01	9.64E-02
동작구	GF29	197.0	443.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
금천구	GF30	189.0	440.9	1.57E-04	2.69E-01	3.39E-02	6.55E-01	1.02E-01
금천구	GF31-1	190.2	441.7	1.63E-04	3.80E-01	3.55E-02	6.72E-01	1.05E-01
금천구	GF31-2			1.31E-04	3.84E-01	3.54E-02	6.68E-01	1.04E-01
관악구	GF32	193.2	441.0	1.62E-04	4.27E-01	3.32E-02	6.33E-01	9.73E-02
관악구	GF33	195.0	441.0	1.42E-04	2.02E-01	3.08E-02	6.06E-01	9.18E-02
관악구	GF34	197.0	441.3	1.43E-04	1.92E-01	3.11E-02	6.02E-01	9.02E-02
금천구	GF35	190.9	439.1	5.89E-05	2.94E-01	3.71E-02	6.88E-01	1.03E-01
금천구	GF36	192.6	438.9	1.44E-04	2.50E-01	3.38E-02	6.41E-01	9.66E-02
관악구	GF37-1	195.5	439.7	1.47E-04	2.02E-01	3.07E-02	6.00E-01	9.00E-02
관악구	GF37-2			1.47E-04	1.57E-01	3.03E-02	5.94E-01	8.89E-02
강서구	GF38	181.2	449.0	1.43E-04	1.78E-01	3.10E-02	5.97E-01	8.99E-02

(Continued)

지 역	장 소	X	Y	초과발암위해도 benzene	위험값 toluene	위험값 ethlybenzene	위험값 m,p-xylyene	위험값 o-xylene
은평구	BF01	192.7	459.1	4.15E-05	2.73E-01	3.47E-02	6.37E-01	9.54E-02
은평구	BF02	191.6	456.7	3.28E-05	2.14E-01	3.23E-02	6.07E-01	9.09E-02
은평구	BF03	192.8	456.8	3.50E-05	1.67E-01	3.14E-02	6.07E-01	9.14E-02
은평구	BF04	194.0	456.5	9.95E-05	1.96E-01	3.08E-02	5.91E-01	8.89E-02
종로구	BF05	196.8	456.8	3.57E-05	1.83E-01	3.08E-02	5.99E-01	9.09E-02
종로구	BF05_1			1.83E-05	1.43E-01	3.05E-02	5.96E-01	9.02E-02
은평구	BF06	191.5	455.0	1.30E-04	2.10E-01	2.97E-02	5.92E-01	9.20E-02
은평구	BF07	193.5	455.3	1.30E-04	2.27E-01	3.25E-02	6.15E-01	9.67E-02
서대문구	BF08	195.2	454.2	3.83E-05	2.05E-01	3.30E-02	6.21E-01	9.43E-02
종로구	BF09	196.7	454.4	3.27E-05	1.84E-01	3.14E-02	6.03E-01	9.12E-02
마포구	BF10	189.5	452.8	3.66E-05	2.12E-01	3.23E-02	6.14E-01	9.34E-02
은평구	BF11	190.9	453.1	1.44E-04	6.70E-01	5.24E-02	7.57E-01	1.19E-01
서대문구	BF12	193.2	452.8	1.36E-04	2.03E-01	3.04E-02	6.04E-01	9.42E-02
서대문구	BF13	194.3	452.8	1.25E-04	2.00E-01	2.95E-02	5.91E-01	9.17E-02
종로구	BF14	197.2	452.8	3.68E-05	1.86E-01	3.19E-02	6.10E-01	9.22E-02
종로구	BF15_1	198.6	452.7	3.76E-05	1.71E-01	3.16E-02	6.08E-01	9.26E-02
종로구	BF15_2			3.43E-05	1.74E-01	3.11E-02	5.99E-01	9.04E-02
은평구	BF16	193.6	458.7	2.08E-05	1.67E-01	1.98E-02	3.98E-01	6.00E-02
마포구	BF17	191.2	450.8	1.35E-04	2.61E-01	3.31E-02	6.32E-01	9.97E-02
마포구	BF18	193.2	451.4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
서대문구	BF19	194.8	451.2	1.32E-04	2.72E-01	3.06E-02	6.08E-01	9.46E-02
중구	BF20	196.8	450.2	1.36E-04	2.10E-01	2.85E-02	5.78E-01	8.95E-02
중구	BF21	199.0	451.0	1.48E-04	7.37E-01	3.07E-02	6.08E-01	9.52E-02
중구	BF22	201.2	450.9	1.48E-04	3.35E-01	3.14E-02	6.17E-01	9.69E-02
마포구	BF23	193.2	449.2	3.62E-05	2.32E-01	3.26E-02	6.18E-01	9.37E-02
마포구	BF24	195.2	448.8	1.37E-04	2.77E-01	3.08E-02	6.06E-01	9.52E-02
용산구	BF25	197.0	449.0	1.51E-04	3.91E-01	3.13E-02	6.14E-01	9.59E-02
용산구	BF26	198.5	450.0	1.42E-04	2.24E-01	2.93E-02	5.86E-01	9.07E-02
용산구	BF27	197.1	447.1	1.53E-04	2.29E-01	2.96E-02	5.90E-01	9.18E-02
용산구	BF28	199.1	446.4	1.41E-04	2.00E-01	2.89E-02	5.80E-01	9.01E-02
은평구	BF2P	195.2	459.5	1.25E-04	2.30E-01	2.87E-02	5.83E-01	8.99E-02

(Continued)

지 역	장 소	X	Y	초과발암위해도 benzene	위험값 toluene	위험값 ethlybenzene	위험값 m,p-xylyene	위험값 o-xylene
강동구	YF01	211.8	451.3	1.48E-04	2.54E-01	2.99E-02	6.03E-01	9.33E-02
강동구	YF02	212.9	450.6	1.37E-04	1.58E-01	2.85E-02	5.75E-01	8.85E-02
강동구	YF03	214.7	451.0	1.51E-04	1.92E-01	3.25E-02	6.46E-01	1.01E-01
강동구	YF04	211.2	449.3	1.53E-04	2.27E-01	3.05E-02	6.08E-01	9.43E-02
강동구	YF05	213.2	448.8	1.48E-04	2.32E-01	3.03E-02	6.03E-01	9.34E-02
강동구	YF06	215.2	449.4	1.52E-04	2.94E-01	3.36E-02	6.45E-01	1.01E-01
강남구	YF07	203.0	446.7	1.44E-04	2.18E-01	2.97E-02	5.89E-01	9.20E-02
강남구	YF08	204.3	446.9	1.33E-04	2.32E-01	2.91E-02	5.82E-01	9.08E-02
송파구	YF09	209.3	446.7	1.47E-04	2.30E-01	3.03E-02	6.06E-01	9.35E-02
송파구	YF10_1	210.8	446.7	1.54E-04	2.62E-01	3.15E-02	6.22E-01	9.74E-02
송파구	YF10_2			1.43E-04	2.74E-01	3.05E-02	6.08E-01	9.49E-02
강동구	YF11	212.6	447.3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
서초구	YF12_1	199.3	444.7	1.34E-04	2.16E-01	2.85E-02	5.51E-01	8.71E-02
서초구	YF12_2			1.52E-04	3.63E-01	3.51E-02	6.29E-01	1.02E-01
서초구	YF13	201.0	445.3	1.53E-04	3.89E-01	3.14E-02	6.14E-01	9.54E-02
강남구	YF14	203.0	444.5	1.42E-04	2.54E-01	2.97E-02	5.91E-01	9.19E-02
강남구	YF15	204.9	445.1	5.93E-05	2.33E-01	3.05E-02	5.98E-01	9.40E-02
송파구	YF16	207.3	444.8	9.25E-05	3.29E-01	3.11E-02	6.05E-01	9.56E-02
송파구	YF17	209.2	444.6	1.43E-04	2.06E-01	2.99E-02	5.82E-01	8.93E-02
송파구	YF18	210.7	445.3	1.48E-04	2.18E-01	3.07E-02	5.96E-01	9.11E-02
서초구	YF20	199.1	443.0	1.54E-04	2.56E-01	3.47E-02	6.69E-01	1.04E-01
서초구	YF21	201.1	442.4	1.57E-04	2.43E-01	3.14E-02	6.06E-01	9.45E-02
강남구	YF22	203.2	442.8	1.53E-04	2.58E-01	3.12E-02	6.03E-01	9.29E-02
강남구	YF23_1	205.0	443.5	1.61E-04	2.90E-01	3.22E-02	6.23E-01	9.61E-02
강남구	YF23_2			1.51E-04	2.40E-01	3.11E-02	6.09E-01	9.35E-02
강남구	YF24	206.7	443.1	1.49E-04	2.36E-01	3.11E-02	6.05E-01	9.33E-02
강남구	YF25	208.7	442.8	1.74E-04	3.23E-01	3.31E-02	6.30E-01	9.87E-02
송파구	YF26	211.3	442.9	1.28E-04	2.15E-01	3.04E-02	6.02E-01	9.47E-02
송파구	YF27	212.5	443.3	1.67E-04	4.51E-01	3.40E-02	6.43E-01	1.01E-01
서초구	YF28	199.0	441.6	1.56E-04	2.37E-01	3.47E-02	6.24E-01	9.33E-02
서초구	YF29	202.7	441.3	4.86E-06	2.71E-02	7.54E-03	#VALUE!	#VALUE!
강남구	YF30	204.4	441.5	1.45E-06	2.69E-02	7.63E-03	1.65E-01	2.47E-02
송파구	YF31	211.2	441.1	1.37E-04	2.04E-01	3.02E-02	6.05E-01	9.46E-02
강동구	YF32	215.0	452.7	1.46E-04	1.99E-01	3.00E-02	6.03E-01	9.30E-02
강남구	YF33	209.6	440.4	1.44E-04	2.47E-01	3.12E-02	5.98E-01	9.36E-02
서초구	YF34	206.0	439.3	1.43E-06	2.69E-02	7.56E-03	#VALUE!	#VALUE!

영문초록

<Abstract>

Multi-sector Analysis of Volatile Organic Compounds(VOCs) in Seoul

Yung-Dae Yu

Department of Environmental Health

Graduated School of Health Scienece and Management

Yonsei University

(Directed by Professor Yong Chung, Ph. D)

The area of Seoul as of the end of 1997 is 605.52㎢ with the 25 autonomous district. Seoul has a population of 10,321,449 and one of the highest population densities in the world(17,157 persons/㎢ in 1998).

By increasing automobile and prevailing west wind with temperatures dropping lower than other regions on the same latitude, Seoul will cause to increase VOCs in ambient air ,influenced by O3 emission rate. Under these conditions, Recently, there has been considerable attention forced on the potential exposure of irregulation VOCs(volatile organic compounds) in the environment due to increasing population and expansion of automobile, industry, energy in Seoul.

This study was designed to explain VOCs(5germs) Excess cancer risk(ECR) and hazard quotients(HQs) estimation using unit risk, Reference concentration of non-carcinogenic chemicals to apply dose-response assessment for non-regulatory air pollutants in Seoul

This study subjected benzene, toluene, ethylbenzene, *m*+*p*-xylene, *o*-xylene (5germs). On october 6 8, 1997(159sites), OVM 3520 passive samplers were placed at intervals 2㎞×2㎞ over all areas of Seoul at the same time and sample was collected for 24hours. And then VOCs samples were analyzed by GC-MSD.

By applying Surface Mapping System Method(Golden software Inc. USA, version5.01), Airborne VOCs(5germs) concentration map in Seoul was obtained. and then All local concentrations of VOCs(5germs) were compared with map of ECR and HQs using the same mapping method about the 25 autonomous district in Seoul

By using Monte-carlo simulation(Crystal Ball 4.0), ECR and HQs were estimated by Monte-carlo simulation with 10,000 random

The amount of VOCs formed to benzene(12.9, 16.5㎍/㎥), toluene(19.5, 14.6 ㎍/㎥), ethylbenzene(6.24, 5.44㎍/㎥), *m*,*p*-xylene(6.75, 6.25㎍/㎥), *o*-xylene(5.3, 4.83㎍/㎥). That is to say, Contribution of benzene and toluene was appeared to be more than 66% in seoul.

Excess cancer risk distribution of carcinogenic benzene showed mean(1.3×10^{-4}), 50 95Percentile(1.3×10^{-4} 1.7×10^{-4}) and appeared the lowest 10^{-5} in Unpyong-Gu and Jongro-Gu Hazard quotients(HQs) distribution of non-carcinogenic compounds showed toluene mean(0.23), ethylbenzene mean(0.031), *m,p*-xylene mean(0.01), and *o*-xylene mean(0.09) in seoul. Especially risk range characterization of 50 95 Percentile appeared to be toluene(0.23 0.39), *o*-xylene(0.09 0.12), ethylbenzene(0.031 0.042), *m,p*-xylene(0.01 0.02).

This result explained that toluene occupied 63% in contribution of 50 percentile and 69% in contribution of 95 percentile.

Hazard quotients(HQs) of all estimated non-carcinogenic VOCs showed (risk characterization < 1) in 50 95 percentile range so not recently existed any risk damage yet.

Through this study, Undertaking a study of the extent of irregulate VOCs(5germs) contamination in the region surrounding the 25 autonomous district through air sampling is first step in addressing further issues of air quality impact assessment, human health risks, and ultimately, the risk management implications of Toxicant in Seoul.