

대기중 휘발성 유기화합물 측정을 통한 군포시 대기 오염 특성 규명

박현미 · 김지현 · 박일용 · 김영만 · 이강봉*

한국과학기술연구원 특성분석센터
(2002. 9. 18 접수)

Characterization on Air Pollution of Gunpo City by Measurement of VOCs in Air

Hyun-Mee Park, Jee-Hyun Kim, Il-Yong Park, Young-Man Kim and Kang-Bong Lee*

Advanced Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology, P. O. Box 131, Seoul 130-650, Korea
(Received Sept. 18, 2002)

요 약 : 군포시는 인구 27만여 명의 분지 형 중소도시로서 당정동 일대에 600여개의 공장이 소재하는 공단지역을 포함하고 있다. 이러한 지형적 그리고 환경적 요인으로 인해 공단지역 시민들로부터 오랫동안 대기오염에 대한 민원이 자주 제기되어오던 지역이다. 본 연구에서는 군포시 지역별로 휘발성 유기화합물의 농도를 측정하고 서울의 특정 지역과의 비교를 통해서 휘발성 유기화합물의 오염원을 규명하며, 이들에 대한 효율적 관리를 위해 대기 중 유기화합물의 측정 분석연구를 수행하였다. 약취성분들에 대한 관능시험과 휘발성 유기화합물에 대한 분석측정이 2001년 06월 12일에 11곳의 동사무소 옥상 및 군포 역에서 시료가 채취되었고 그들 시료에 대한 분석이 수행되었다. 이들 시료에 대한 분석결과 공단지역에 근접한 군포 1동, 군포역, 금정동지역의 오염도가 심한 것으로 확인되었으며, 약취 및 대기오염의 오염원이 자동차 배출가스보다는 공단지역임을 확인할 수 있었다.

Abstract : Gunpo city, a medium sized city formed with a basin is populated with a little more than 270,000 peoples and includes the industrial area with about 600 factories. It has been recognized for a long time that peoples living nearby industrial area have complained on serious air contamination due to the geographical and environmental factors. This study was performed on measurement of volatile organic compounds (VOCs) and malodor for the air sampled in various places of Gunpo city, and made comparison with VOCs levels in specific area of Seoul. This work would play important role for the efficient management of air contamination of Gunpo city. Samplings were done in the rooftop of eleven village office buildings including Gunpo station in June 12th, 2001. Analytical results indicate that VOCs levels of Gunpo-1-dong, Gunpo station and Kumjungdong regions neighboring industrial area were much higher than the rest of areas, and this fact shows that the origin for air contamination of Gunpo would be industrial area than car exhaustion gases.

★ Corresponding author
Phone : +82+(0)2-958-5957 Fax : +82+(0)2-958-5969
E-mail : leeeekb@kist.re.kr

Key words : Air pollution, Gumpo city, VOCs, Malodor

1. 서 론

국내에서 대기오염 문제가 대두되기 시작한 것은 1975년대 중반부터이며, 1980년대 이후에 있어서는 경제의 고도성장에 따라 다른 공해처럼 전국적으로 확대되었다. 이러한 상황에서 대기오염의 규제나 대책에 대한 관심도 높아져, 이에 대한 민원도 환경부나 각 지방자치단체의 민원 창구에 많이 접수되고 있는 실정이다.¹ 특히 군포지역은 지난 20년 사이에 약 4만 명의 인구가 27만여 명으로 급증하고, 당정동지역에 600여개의 공장이 밀집되면서 대기오염에 대한 많은 민원이 최근 수년 사이에 급증하고 있다.² 특히, 군포시 지역은 분지형태로 형성되어 있어서 대기 순환이 빠르지 못하여 주민들이 느끼는 대기 오염의 정도를 훨씬 심각하게 느끼리라 예상되는 곳이다.³

대기오염 물질 중 악취성분은 일반적으로 여러 화합물들의 혼합물로 구성되며, 인간에게 정신적인 스트레스를 유발시켜 메스꺼움, 두통, 식욕감퇴, 호흡곤란 및 알레르기 현상 등으로 인체의 자각반응을 나타낸다. 국내의 대기환경보전법상의 악취물질은 암모니아, 메틸메르캅탄, 황화수소, 황화 메틸, 이황화 메틸, 트리메틸아민, 아세트알데히드, 스티렌의 8가지를 지정하고 있으며, 이들 악취물질들에 대해서 규제를 하고 있는 실정이다.⁴

또 다른 오염물질인 휘발성 유기화합물(VOCs)은 인체에 유해할 뿐만 아니라 광화학 스모그의 주원인 물질이며, 대기 중 오존 농도를 증가 시킨다.⁵ 이는 태양빛의 자외선과 공기 중의 NO₂와 만나면 NO₂는 NO와 O로 분해되고, O는 공기 중의 O₂와 반응하여 오존을 생성하게 된다. 이때 발생한 오존은 다시 NO와 반응하여 NO₂와 산소로 분리되게 되는데 이때 공기 중에 휘발성 유기화합물이 존재할 경우 NO와 산소가 반응하지 못하고 VOCs가 NO와 반응하여, 오존이 분해되지 못하고 공기 중에 그대로 남아있게 만드는 작용을 하게 된다. 또한 VOCs는 지구온난화, 성층권의 오존층 파괴 등의 여러 환경 문제를 일으키는 물질로 관심의 대상이 되어왔다. 또한 휘발성 유기화합물은 몇 가지 화합물의 독성에서 확인된 것처럼, 조절기능 장애, 간 및 신장독성, 발암성, 심장병유발, 청력 및

생식기능장애 등 무수히 많은 건강장애를 유발하고 있는 것으로 알려지고 있다.⁶

이들이 인체와 환경에 미치는 영향과 대기 질을 평가하기 위해서는 이들 성분들의 농도에 대한 정확한 정보가 필요하며, 이는 정확한 측정과 분석에 의해서만 이루어질 수 있다. 휘발성유기화합물의 측정 및 분석은 대기 중의 휘발성 유기화합물의 종류가 다양하고 그 농도 범위가 일반적으로 매우 낮기 때문에 쉽지 않다.⁷⁻¹⁰

군포시 지역에서 대기환경오염의 주요한 원인 제공자로 예상하고 있는 당정동일대의 공단지역에는 600여개의 업체 공장이 입주해 있으며, 이중 100여개 업체가 공해관련 관리대상 업체로 지정되어 시의 지속적인 관리를 받아오던 곳들이다. 따라서, 이러한 대기환경 오염 가능성이 있는 업체들이 밀집해 있는 곳에서 시간 및 장소별로 시료를 채취하여, 이를 분석 평가하고 오염 발생원을 밝혀내며, 이에 대한 철저한 규제와 관리를 하는 것이 필요하고도 절실한 실정이다. 그러나, 냄새성분의 경우 사람의 코로는 악취를 맡을 수 있으나, 악취의 농도가 낮아 GC-MS등과 같은 분석 장비로는 분석이 불가능한 경우에는 관능 법으로 악취의 강도를 측정하게 되며, 악취의 강도를 0-5의 6단계(악취강도 0: 무취, 악취강도 1: 감지취기, 악취강도 2: 보통취기, 악취강도 3: 강한 취기, 악취강도 4: 극심한 취기, 악취강도 5: 참기 어려운 취기)로 분류하여 악취의 강도를 측정하게 된다,

이번 연구에서는 군포시 지역의 대기 중 악취 및 휘발성 유기화합물의 성분과 농도를 측정분석 평가함으로써, 대기 오염원을 밝히고 이에 대한 대책수립의 자료로 삼고자 하였다.

2. 실험 및 방법

2.1 시료 채취일자 및 장소

시료채취는 2000년 6월 12일 오후시간대에 이루어졌으며, 장소는 주민밀집지역의 동사무소를 중심으로 12지역 [산본1동(SB1), 산본2동(SB2), 궁내동(GN), 오금동(OG), 광정동(GJ), 재궁동(JG), 군포1동(GP1), 군포2동(GP2), 군포역(GPS), 금정동(KJ), 대야동(DY),

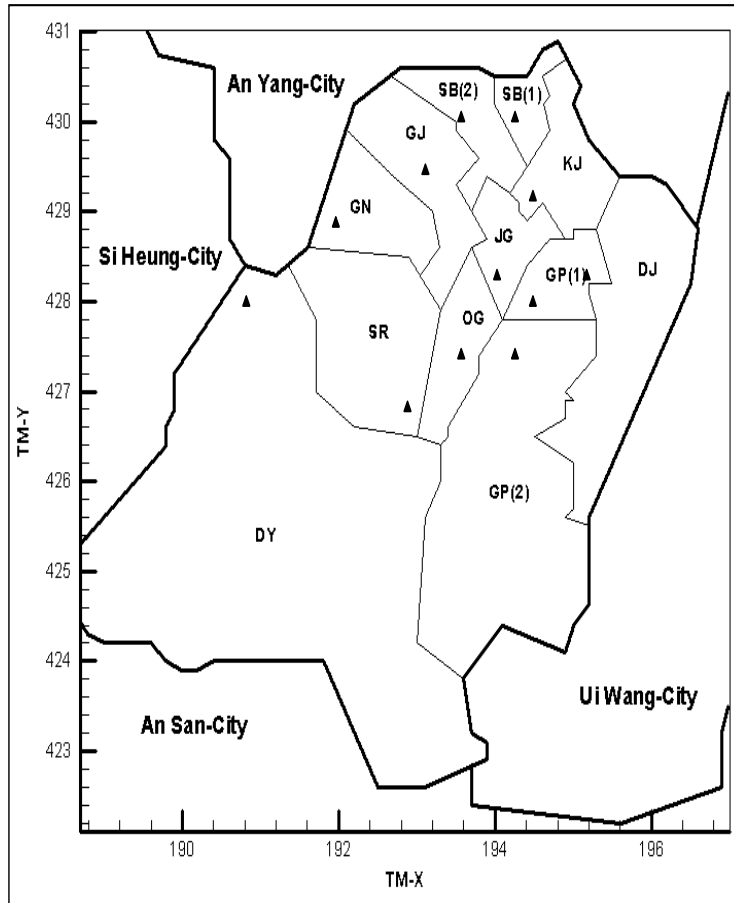


Fig. 1. Air sampling sites in Gunpo city (▲) [SB (Sanbon Dong), GJ (Gwangjung Dong), GN (Gungne Dong), KJ (Kumjung Dong), JG (Jaegung Dong), SR (Suri Dong), OG (Ogum Dong), GP (Gunpo Dong), DJ (Dangjung Dong), DY (Daeya Dong)]

수리동 (SR)]에서 시료가 채취되었다. 시료 채취장소는 Fig. 1의 지도에 표시되어 있다.

2.2 대기 시료 채취 방법

대기시료의 채취는 50 L 부피의 Tedlar bag에 자체 제작된 대기채취시료장치를 이용하여 분당 2 L의 속도로 시료 당 25 분간에 걸쳐 대기시료가 채취되었다.

2.3 대기 시료에 대한 관능시험방법

대기 시료에 대한 관능 시험은 악취의 6단계 분류법에 따라서 군포시 전 지역 및 공단지역의 대기를 Tedlar bag에 채취하여 실시하였다. 관능시험 결과는 장비를 이용한 분석과 병행하여 기술되었다.

2.4 대기 오염에 관한 설문조사

본 연구팀은 대기오염이 가장 심한 시간대, 가장 심

한 계절, 가장 심한 위치, 주기 및 냄새의 형태, 강도, 지속 시간 등 10 여개 항목에 대한 설문을 300명 정도의 군포 거주 시민들에게 설문지 조사를 하여, 시료채취 장소 및 시간대를 결정하기 위한 자료로 삼았다.

2.5 GC-MS에 의한 대기 시료 분석

표준 휘발성 유기화합물은 Supelco (Bellefonte, PA, USA)에서 제조한 1 ppm의 농도로 83종류의 휘발성 유기화합물이 혼합된 표준 가스를 가스 회석기를 이용하여 10배에서 10,000배로 희석하여 사용하였으며, 분석 장비는 cold trap을 장착한 Varian Saturn-2000 (Varian Associates, Palo Alto, CA, USA)의 대기분석용 고농축

GC-MS를 사용하여 분석하였다 (Fig. 2). GC-MS의 측정 조건은 다음과 같다. 휘발성 유기화합물의 분리에 사용한 컬럼은 DB-5MS (5% phenylmethyl-silicone)로서 컬럼 온도는 -50 °C (5 min) 유지하고, 5 °C/min의 속도로 140 °C까지 승온시켜 2 분간 유지시켰다. 시료의 주입은 -150 °C의 trap에 하였으며, sampling시간은 5분으로 200 mL를 주입하였다. Carrier gas 는 He으로 1 mL/min의 유속으로 흘러주었다. MS의 이온화는 EI법이었으며, 이온화 온도 및 이온화 전압은 각각 170 °C와 70 eV를 사용하였다. 표준 휘발성 유기화합물 83종에 대한 GC-MS 스펙트럼이 Fig. 2에 보여 졌다.

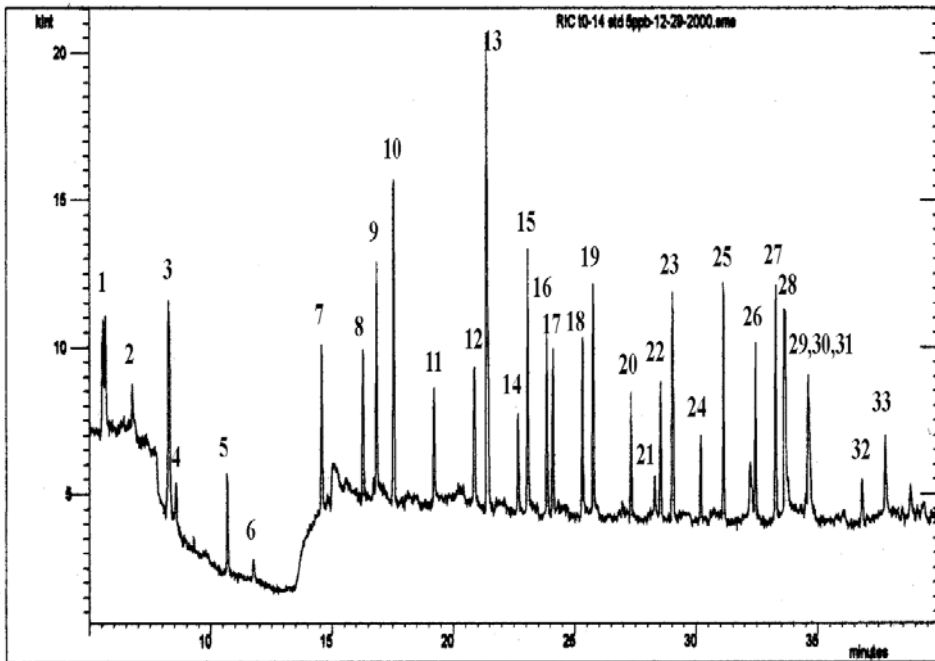


Fig. 2A. Typical GC-MS chromatogram of TO-14 standard VOCs.

- 1: dichlorodifluoromethane, 2: chloromethane, 3: dichlorotetrafluoroethane 4: vinyl chloride,
- 5: bromomethane, 6: chloroethane, 7: trichlorofluoromethane, 8: 1,1-dichloroethene, 9:
- dichloromethane, 10: 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane 15: 1,1,1-trichloroethane, 16: benzene,
- 17: carbontetrachloride, 18: 1,2-dichloropropane, 19: trichloroethylene,
- 20: cis-1,3-dichloropropene, 21: trans-1,3-dichloropropene, 22: 1,1,2-trichloroethane, 23: toluene,
- 24: 1,2-dibromoethane, 25: tetrachloroethylene, 26: chlorobenzene, 27: ethylbenzene,
- 28: m,p-xylene, 29: styrene, 30: 1,1,2,2-tetrachloroethane, 31: o-xylene,
- 32: 1,3,5-trimethylbenzene, 33: 1,2,4-trimethylbenzene

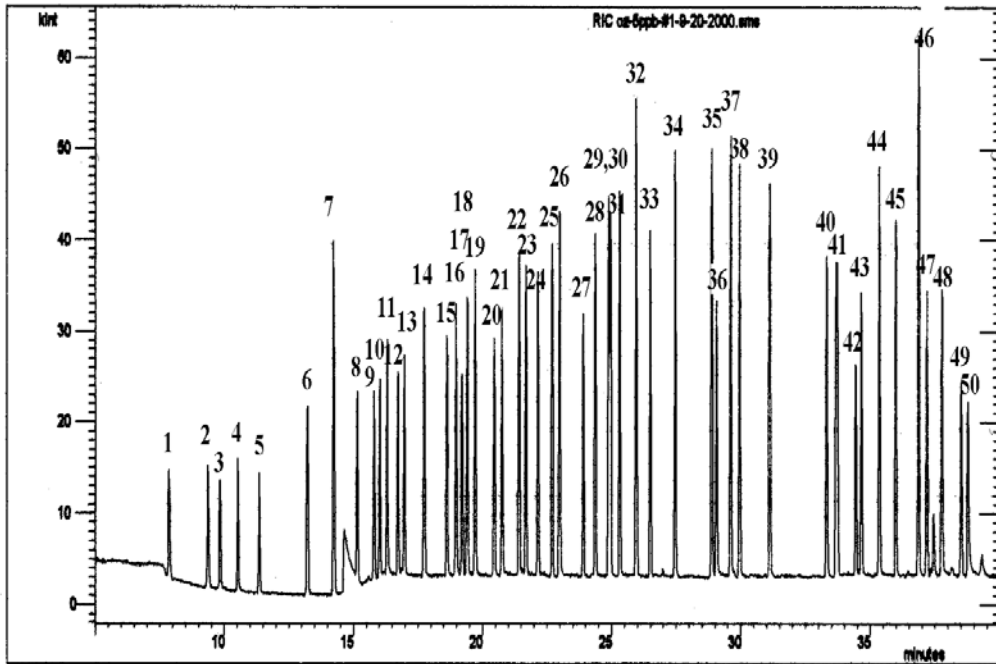


Fig. 2B. Typical GC-MS chromatogram of ozone precursor standard VOCs

1: isobutane, 2: 1-butene, 3: butane, 4: 2-butene(E), 5: 2-butene(Z), 6: 3-methyl-1-butene, 7: isopentane, 8: 1-pentene, 9: pentane, 10: isoprene, 11: trans-2-pentene, 12: cis-2-pentene, 13: 2-methyl-2-butane, 14: 2,2-dimethylbutane, 15: cyclopentene, 16: 4-methyl-1-pentene, 17: cyclopentane, 18: 2-methylpentane, 19: 3-methylpentane, 20: 2,3-dimethylbutane, 21: 2-methyl-1-pentene, 22: hexane, 23: 2-hexene(Z), 24: 2-hexene(E), 25: methylcyclopentane, 26: 2,4-dimethylpentane, 27: benzene, 28: cyclohexane, 29: 2-methylhexane, 30: 3-methylhexane, 31: 2,3-dimethylpentane, 32: 2,2,4-trimethylpentane, 33: heptane, 34: methylcyclohexane, 35: 2,3,4-trimethylpentane, 36: toluene, 37: 2-methylheptane, 38: 3-methylheptane, 39: octane, 40: ethylbenzene, 41: m,p-xylenes, 42: styrene, 43: o-xylene, 44: nonane, 45: isopropylbenzene, 46: α -pinene, 47: propylbenzene, 48: 1,3,5-trimethylbenzene, 49: β -pinene, 50: 1,2,4-trimethyl benzene

3. 결과 및 고찰

3.1 군포지역의 지형 및 기상 특성

Fig. 3은 100 m × 100 m 격자좌표를 이용하여 그린 군포시의 지형 및 행정 구역도를 나타낸 것이다. 그림에서 약자들은 SB(산본동), GJ(광정동), GN(궁내동), KJ(금정동), JG(재궁동), SR(수리동), OG(오금동), GP(군포동), DJ(당정동), DY(대야동)을 나타낸다. 그림에서 숫자는 그 지역의 고도를 미터 단위로

나타낸 것이다. 군포시의 면적은 총 36 km² 이며, 평균고도는 120 m 정도이고 높은 고도지역은 북서쪽에 위치한 안양시와 시흥시에 인접한 수리산으로 440 m 정도이고 낮은 지역은 40 m 정도이다. 공단지역이 위치하여, 많은 오염 배출원을 가지고 있는 당정동 및 군포동 일대는 낮은 고도를 나타내고 산으로 병풍처럼 둘러져있어, 대기의 순환이 느리게 되어 일단 대기오염이 발생하면 그 일대에 오랫동안 머무를 가능성이 아주 많다고 할 수 있다.

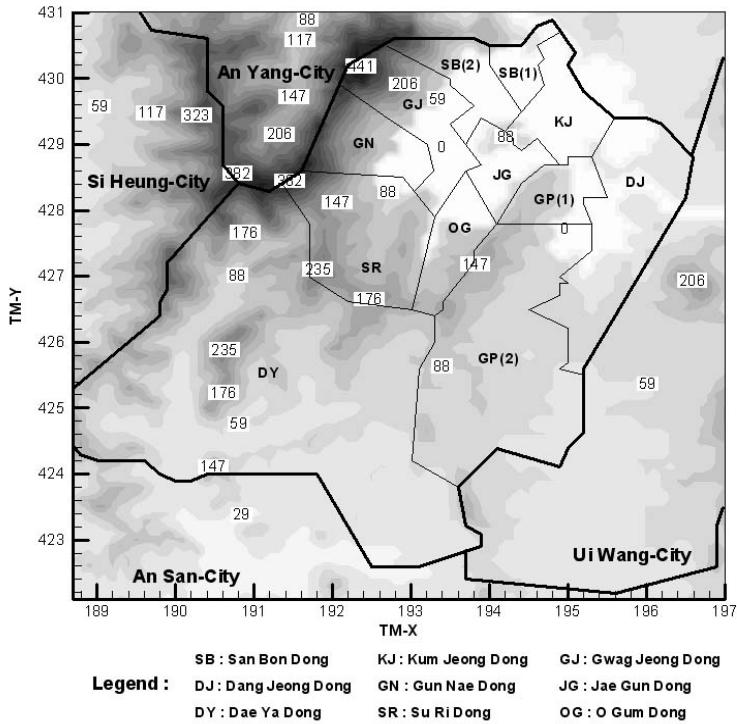


Fig. 3. The topography and administrative districts of Gunpo city[SB(Sanbon Dong), GJ(Gwangjung Dong), GN(Gungnae Dong), KJ(Kumjung Dong), JG(Jaegung Dong), SR(Suri Dong), OG(OGum Dong), GP(Gunpo Dong), DJ(Dangjung Dong), DY(Daeya Dong)]

3.2 시민들에 대한 대기오염 민원 조사

군포시민들에 대한 민원조사 결과에 따르면, 냄새 및 대기 오염이 가장 심한 시간대는 오후 6시 이후의 시간대로, 오후 6시부터 밤 10시까지의 시간대가 가장 심한 것으로 나타났다. 그러나, 당정동 주변에서 거주하는 주민들에 따르면, 특히 새벽 시간대에 아주 심한 것으로 일부 조사되었다. 냄새가 가장 심한 계절은 누구나 예상할 수 있듯이 주로 여름철인 것으로 조사되었다. 이는 기온이 높을수록 공단지역에서 발생하여, 공기 중으로 퍼져나가는 악취 및 휘발성 유기화합물의 농도가 높아지기 때문이다. 그러나, 새벽 시간대에 악취 및 대기오염을 심하게 느끼는 것은 낮 시간대에 대기 오염 물질이 축적되어 오다가 오후 늦은 시간대에 공기의 흐름이 적고 온도가 낮아져서 오염물질이 공기 중으로 퍼져나가지 못하고 지표와 가까운 곳에

머무르는 시간이 많아지기 때문인 것으로 사료된다. 악취를 포함하는 대기오염의 발생 주기는 매일이라는 것과 부정기적이라는 조사가 가장 많이 나왔다. 이는 주변에서 발생하는 악취 및 휘발성 유기화합물의 농도와 상관하지만 주로 그 날의 날씨와 기압과도 관련이 있는 것으로 추정된다. 잘 알려진 바와 같이 군포시의 공단지역은 평균 고도가 40 m 내외의 저지대에 위치하며, 공단 주변은 400 m 높이의 수리 산을 포함하는 산으로 둘러싸여 있는 전형적인 분지 형태이다. 따라서, 공단지역에서 발생한 악취 및 VOCs는 대기 중으로 잘 퍼져나가지 못하고, 분지형태의 지형 특성상 공단근처의 대기 중에 장시간 머물러 있음으로 해서 이에 대한 많은 민원이 발생하는 것으로 추정되고 있다. 냄새의 종류는 사람마다 느끼는 정도가 다르기 때문에 한가지로 표현되어지기는 어렵지만 본 연구팀

이 설문조사에서 제시한 여러 가지 냄새들(배설물 냄새, 썩은 물고기 냄새, 썩은 양파 같은 냄새, 양배추 썩은 냄새, 수박 썩은 냄새, 도시 가스 냄새, 석유 냄새, 계란 썩은 냄새, 기타)중에서 배설물 냄새, 썩은 물고기나 양파냄새 또는 석유냄새가 가장 심한 것으로 조사되었다. 이는 질소나 황이 포함되어 있는 화합물이나, 휘발성 유기화합물이 복합적으로 발생하는 것으로 추정되었다. 냄새의 강도는 약한 느낌, 보통과 강한 느낌이 비슷하게 조사되었으며, 이는 주민들이 사는 지역과 연관되어지는 것으로 보여 지는데, 군포 1동이나, 금정동 및 당정동 지역주민은 악취의 강도가 비교적 강한 것으로 조사되었으며, 주민 밀집지역인 산본동, 광정동, 궁내동, 재궁동, 수리동, 오금동, 대야동 주민은 거의 악취를 느끼지 못하는 것으로 조사되었다. 냄새의 지속시간은 일시적이라는 조사가 가장 많았는데, 이는 공단지역에서 나오는 악취 및 휘발성 유기화합물의 농도가 수시로 바뀐다기보다는 그 날의 풍향이나 온도 또는 기압상태에 따라서 느끼는 정도가 다른 것으로 추정된다.

3.3 군포시 시민 밀집주거지역에서 채취된 휘발성 유기화합물 분석

대기 시료의 채취는 군포시의 주민 밀집지역에 대한 악취 및 휘발성 유기화합물의 전반적인 농도를 측정하고 대기의 질을 타 지역의 농도와 군포시의 결과와 비교하기 위해 수행되었다. 채취일시는 2001년 06월 12일 군포시 소재의 11개 동(산본1동, 산본2동, 궁내동, 광정동, 궁내동, 재궁동, 군포1동, 군포2동, 금정동, 대야동, 수리동) 및 군포 역에서 오전 11시부터 오후 3시 사이에 동사무소의 경우는 각 동사무소의 옥상에서 채취하였으며, 군포 역은 군포 역 주차장에서 시료를 채취하였다. 시료채취 장소들의 평균 기온은 약 23 °C 였으며, 풍향은 장소 및 시간에 따라 시시각각 변화하여 측정하지 못하였다. 각각의 시료를 Air GC-MS로 분석하기에 앞서 채취된 시료는 관능법을 이용하여 취기 강도를 측정하였다. 대기 시료에 대한 분석 결과는 동별로 분류하여 Table 1에 나타내었다. 이번 연구에서 측정된 유기화합물의 측정한계농도는 0.1 ppbv 였으며, 그 이하의 농도는 ND로 표기하였다. Fig. 4는 군포시 대기시료에 대한 전형적인 GC-MS스펙트럼을 보여준다. Table 1의 하단에는 대기 시료에서 휘발성 유기화합물의 총 농도를 나타낸다. 이러한

군포시 유기화합물의 총 농도를 Fig. 5에서 보여 준 서울시 특정지역의 6월중 평균 휘발성유기화합물의 농도와 아래에 비교되었다. 대야동, 수리동, 산본 1동, 군포 2동, 오금동, 궁내동 및 재궁동 지역처럼 공단지역과 비교적 먼 거리에 위치한 주민 거주 지역의 휘발성 유기화합물의 총 농도는 100 ppbv이하이거나 170 ppbv 이하로서 비교적 낮은 농도를 보이나, 산본 2동, 군포1동, 군포역 부근 그리고 금정동 지역은 비교적 높은 농도를 보여줌으로서, 군포시 주민 밀집지역의 악취 및 휘발성 유기화합물의 총 농도는 공단지역과의 거리에 관계하는 것으로 보이며, 군포시 대기 오염의 주 요인은 공단지역에서 발생하고 있다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 특이할만한 결과는 공단지역과 비교적 많이 떨어져있는 광정동 지역 대기시료의 악취 및 휘발성 유기화합물의 농도가 비교적 높게 나타났는데, 이는 시료채취지점이 광정동 동사무소로 두 개의 대로가 만나는 지점으로 차량의 왕래가 상당히 빈번한 지역으로서 공단지역에서의 오염이라기 보다는 주로 자동차 배출가스에 의한 오염이 많은 것으로 추정되고 있다. 따라서, 군포시 대기의 주 오염원이라고 할 수 있는 공단지역을 차후에는 주로 측정함으로써, 오염원을 확인하고자 예정하고 있다. 이러한 유기화합물의 농도를 탄화 수소류, 할로겐 탄화 수소류, 방향족류로 분류 하였을 때, 비교적 대기 휘발성 유기화합물의 농도가 높은 군포1동 및 군포역, 금정동의 경우를 살펴보면 군포1동 지역은 총 휘발성 유기화합물의 농도 중 할로겐 탄화수소의 농도(990.8 ppbv)가 압도적으로 높게 나타났으며, 군포역과 금정동지역은 탄화수소류의 농도가 각각 513.8 ppbv, 558.8 ppbv로서 압도적으로 높은 것으로 나타났다. Fig. 5는 총 VOCs의 총 농도를 나타내는 것으로 2001년 5월 28일부터 2001년 6월 28일까지 한 달간 KIST의 벤처 빌딩에서 VOCs와 입자를 측정하여 이들의 변화를 비교 분석한 자료이다.¹¹ 이는 비록 서울시의 평균 농도를 대표한다고 볼 수는 없을지라도 군포시에서의 주민 밀집주거지역의 총 VOCs 농도와 비교분석함으로써 배출원의 기여도를 상호 비교하기 위한 모델이 될 수 있다. 두 지역의 총 VOCs농도의 비교분석결과 대체적으로 군포시의 공단지역과 멀리 떨어져있는 곳은 서울의 대기보다도 오히려 덜 오염되었다고 할 수 있다. 이는 군포시가 서울보다는 자동차배기가스에 의한 오염이 적기 때문으로 판단된다.

Table 1. Analytical results of air sampled in densely populated district of Gunpo city[DY(Daeya Dong), SR(Suri Dong), SB1(Sanbon-1-Dong), SB2(Sanbon-2-Dong), GN(Gungne Dong), JG(Jaegung Dong), GP1(Gunpo-1-Dong), GP2(Gunpo-2-Dong), GPS(Gunpo station), OG(Ogum Dong), GJ(Gwangjung Dong), KJ(Kumjung Dong)].

| VOCs/Districts/ Concentration(ppbv) | | DY | SR | SB1 | SB2 | GN | JG | GP1 | GP2 | GPS | OG | GJ | KJ |
|--|--|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | acetylene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0.1 | ND | ND | ND |
| 2 | benzene | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 1.5 | 1.3 | 0.8 | 2.3 | 0.7 | 1.8 | 0.5 | 3.8 | 1.8 |
| 3 | butane | 3.0 | 1.2 | 3.3 | 3.3 | 3.7 | 3.2 | 5.2 | 4.0 | 4.4 | 1.5 | 5.7 | 4.4 |
| 4 | 1-butene | 1.1 | 1.6 | 0.1 | 1.0 | 3.1 | 2.4 | 1.4 | 9.1 | 1.6 | 3.2 | 0.9 | 1.6 |
| 5 | trans-2-butene | 0.3 | ND | ND | ND | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.8 | 0.4 | ND | 0.2 | 0.4 |
| 6 | cis-2-butene | ND | ND | ND | ND | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.8 | ND | ND | ND | ND |
| 7 | carbon tetrachloride | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 1.1 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | ND | 0.3 | 0.2 | 0.5 | 0.3 |
| 8 | chloroform | 1.3 | 1.4 | 3.6 | 23.5 | 3.2 | 2.3 | 35.5 | 1.3 | 49.1 | 2.1 | 26.6 | 49.1 |
| 9 | cyclohexane | 0.6 | 0.6 | 0.3 | 1.5 | 0.8 | 1.0 | 1.7 | 0.9 | 2.8 | 1.1 | 2.7 | 2.8 |
| 10 | 1,2-dichloroethane | 0.6 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 11 | ethylene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 12 | n-hexane | 4.6 | 5.5 | 7.5 | 69.0 | 12.5 | 8.1 | 90.7 | 20.6 | 158. | 8.4 | 89.5 | 158. |
| 13 | propylene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 14 | 1,1,1-trichloroethane | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 5.8 | 0.4 | 0.1 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.4 |
| 15 | trichloroethylene | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | ND | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 16 | ethylbenzene | 1.7 | 2.1 | 0.7 | 2.0 | 2.1 | 2.4 | 1.4 | 1.0 | 0.1 | 0.7 | 2.0 | 1.3 |
| 17 | toluene | 12.3 | 7.9 | 6.8 | 11.5 | 15.3 | 19.6 | 11.0 | 9.3 | 1.3 | 16.0 | 23.9 | 11.5 |
| 18 | tetrachloroethylene | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.6 | ND | ND | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 0.1 |
| 19 | m,p-xylene | 3.8 | ND | 3.0 | 4.8 | 3.6 | 4.6 | 3.9 | 3.2 | 2.9 | 3.0 | 15.9 | 2.9 |
| 20 | o-xylene | 1.8 | 0.6 | 1.4 | 2.1 | 1.9 | 3.1 | 1.8 | 0.7 | 0.5 | 1.3 | ND | 0.5 |
| 21 | styrene | 0.9 | ND | 1.5 | 0.7 | ND | 1.8 | 0.6 | 0.9 | ND | 0.6 | 0.7 | ND |
| 22 | dichlorodifluoromethane | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 1.0 | 0.8 | 1.3 | 1.0 |
| 23 | chloromethane | ND | ND | 0.7 | 0.9 | ND | ND | 0.8 | ND | 0.4 | 0.7 | 1.1 | 0.4 |
| 24 | 1, 2 - d i c h l o r o - 1 , 1 , 2 , 2 , | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 25 | vinyl chloride | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 26 | bromomethane | ND | ND | ND | 0.1 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 27 | chloroethane | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 28 | trichlorofluoro | 0.4 | ND | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.8 | 0.6 |
| 29 | 1,1-dichloroethylene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 30 | dichloromethane | 5.7 | ND | ND | ND | 60.7 | 33.7 | 951. | 14.5 | ND | 30.4 | 85.8 | ND |
| 31 | 1,1,2-trifluoroethane | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 32 | 1,1,-dichloroethane | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 33 | cis-1,2-dichloroethane | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 34 | 1,2-dichloropropane | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 35 | cis-1,3-dichloropropene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 36 | trans-1,3-dichloropropene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 37 | 1,1,2-trichloroethane | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 38 | 1,2-dibromoethane | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 39 | 1,3,5-trimethylbenzene | 3.3 | 0.9 | ND | 1.2 | ND | 16.6 | 1.1 | 1.8 | ND | ND | 7.5 | ND |

- continued -

| VOCs/Districts/ Concentration(ppbv) | | DY | SR | SB1 | SB2 | GN | JG | GP1 | GP2 | GPS | OG | GJ | KJ |
|--|-------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| 40 | 1,2,4-trimethylbenzene | 2.6 | 0.9 | 1.2 | 1.3 | 1.1 | 5.1 | 1.0 | 1.0 | 0.7 | ND | 7.0 | 0.7 |
| 41 | m-dichlorobenzene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 42 | p-dichlorobenzene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 43 | 3-methyl-1-butene | ND | ND | ND | ND | 0.2 | ND | ND | 0.1 | 0.1 | ND | ND | 0.1 |
| 44 | isopentane | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 1.4 | 1.6 | 1.1 | 1.3 | 3.4 | 0.6 | 0.6 | 1.5 | 0.6 |
| 45 | 1-pentene | 0.3 | ND | 0.1 | ND | ND | 0.2 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 46 | pentane | 2.8 | 2.2 | 2.8 | 2.6 | 4.9 | 3.8 | 3.7 | 5.3 | 2.6 | 3.2 | 3.6 | 2.6 |
| 47 | isoprene | 0.7 | ND | 0.7 | 0.9 | 1.6 | 1.5 | 1.1 | 0.7 | 0.8 | 2.3 | 2.0 | 0.8 |
| 48 | trans-2-pentene | ND | ND | ND | ND | 0.5 | 0.2 | ND | 0.6 | ND | ND | 0.2 | ND |
| 49 | cis-2-pentene | ND | ND | 0.1 | ND | 0.4 | 0.1 | ND | 0.7 | ND | ND | 0.1 | ND |
| 50 | 2-methyl-2-butane | 0.1 | ND | ND | ND | 0.2 | ND | ND | 0.5 | 0.2 | ND | ND | 0.2 |
| 51 | 2,2-dimethylbutane | ND | ND | ND | 0.2 | 0.2 | 0.1 | ND | 0.1 | ND | ND | ND | ND |
| 52 | cyclopentene | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 53 | 4-methyl-1-pentene | ND | ND | ND | ND | 0.1 | ND | ND | 0.2 | ND | ND | ND | ND |
| 54 | cyclopentane | ND | ND | ND | 0.1 | 0.3 | 0.1 | ND | 0.4 | 0.1 | ND | 0.6 | 0.1 |
| 55 | 2-methyl-pentane | 0.1 | ND | ND | 0.3 | 0.3 | 0.2 | ND | 0.6 | 0.6 | ND | 0.5 | 0.6 |
| 56 | 3-methyl-pentane | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 2.5 | 1.6 | 0.9 | 2.9 | 3.2 | 4.6 | 0.8 | 3.9 | 4.6 |
| 57 | 2,3-dimethylbutane | 0.5 | ND | 1.0 | 2.9 | 1.4 | 0.8 | 2.8 | 2.1 | 9.7 | 0.8 | 4.5 | 9.7 |
| 58 | 2-methyl-1-pentene | 0.1 | ND | ND | 3.3 | ND | 0.1 | 3.2 | 0.3 | ND | 1.0 | ND | ND |
| 59 | cis-2-hexene | 1.2 | ND | ND | 101.8 | 13.4 | 8.2 | 149.5 | 21.2 | 309.0 | ND | 137.9 | 309.0 |
| 60 | trans-2-hexene | 0.6 | ND | 0.1 | ND | 1.7 | 0.8 | 1.2 | 0.3 | 9.2 | 0.2 | 0.6 | 9.2 |
| 61 | methyl cyclopentane | 0.5 | 0.2 | 0.4 | 3.0 | 1.3 | 0.8 | 3.3 | 1.7 | 8.5 | 0.7 | 5.8 | 8.5 |
| 62 | 2,4-dimethylpentane | ND | ND | 0.2 | ND | 0.3 | 0.3 | ND | ND | 0.2 | ND | 0.1 | 0.2 |
| 63 | 2-methyl-hexane | 0.1 | ND | ND | 0.1 | ND | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | ND | 0.4 | 0.1 |
| 64 | 3-methyl-hexane | 0.1 | ND | ND | ND | ND | 0.2 | ND | ND | ND | ND | 0.1 | ND |
| 65 | 2,3-dimethylpentane | 0.3 | ND | ND | ND | ND | 0.5 | ND | ND | ND | ND | 0.9 | 0.5 |
| 66 | 2,2,4-trimethyl pentane | ND | ND | ND | ND | 0.4 | ND | ND | ND | ND | ND | 0.1 | ND |
| 67 | heptane | 0.5 | ND | 0.5 | 2.2 | 0.8 | 0.7 | 1.2 | 1.0 | ND | 0.6 | 4.6 | 43.5 |
| 68 | methyl cyclohexane | 0.3 | ND | ND | ND | 0.3 | 0.4 | 0.4 | ND | ND | 0.2 | 1.3 | ND |
| 69 | 2,3,4-trimethyl pentane | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0.1 | ND |
| 70 | 2-methylheptane | 0.1 | ND | ND | ND | 0.3 | ND | ND | ND | ND | ND | 0.6 | 0.3 |
| 71 | 3-methylheptane | 0.1 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0.4 | ND |
| 72 | octane | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.9 | 0.2 | 0.3 | ND | 0.3 | 1.1 | 0.2 |
| 73 | nonane | 1.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 23.3 | 0.8 | 0.9 | ND | 0.7 | 7.5 | 0.5 |
| 74 | isopropylbenzene | 0.2 | 0.1 | ND | 0.1 | ND | 0.7 | 0.1 | ND | ND | ND | 0.5 | ND |
| 75 | α -pinene | 0.1 | 0.1 | ND | 0.1 | ND | ND | 0.2 | ND | ND | ND | 0.2 | ND |
| 76 | n-propylbenzene | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1.6 | 0.2 | ND | ND | ND | 1.1 | 0.1 |
| 77 | 1,3,5-trimethyl benzene | 0.9 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 2.5 | 0.3 | 0.5 | ND | 0.2 | 1.9 | 0.1 |
| 78 | β -pinene | 0.1 | 2.5 | ND | 0.2 | ND | ND | 0.4 | ND | ND | ND | ND | ND |
| 79 | 1,2,4-trimethyl benzene | 2.4 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.0 | 4.7 | 0.9 | 1.0 | ND | 0.7 | 6.4 | 0.6 |
| Total VOCs Conc. | | 59.8 | 33.8 | 42.7 | 252.6 | 147.9 | 168.7 | 1287.6 | 117.5 | 573.4 | 84.6 | 465.9 | 630.5 |
| Malodor intensity | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

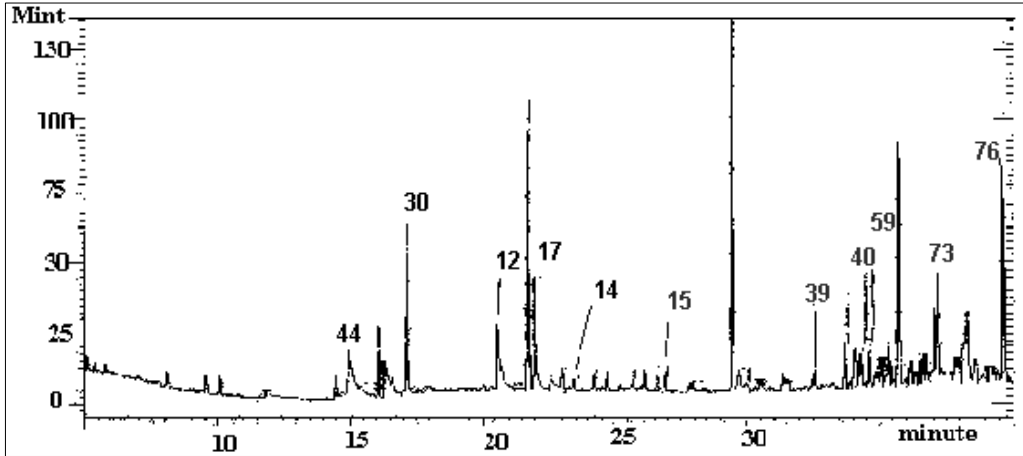


Fig. 4. Typical GC-MS spectrum for air sampled in Jaegung Dong (44. isopentane, 30. dichloromethane, 12. n-hexane, 17. toluene, 14. 1,1,1-trichloroethane, 15. trichloroethylene, 39. 1,3,5-trimethylbenzene, 40. 1,2,4-trimethylbenzene, 59. cis-2-hexene, 73. nonane, 76. n-propylbenzene)

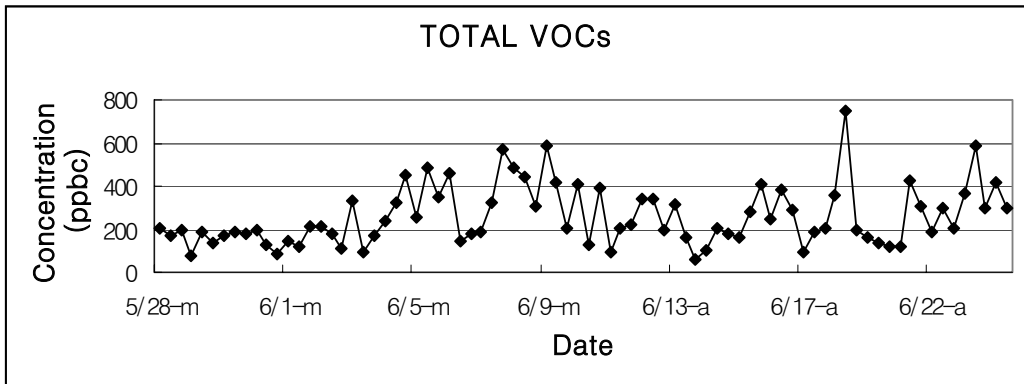


Fig. 5. Total VOCs concentration for air sampled in Seoul area(Seongbuk Ku, Seoul) at May 2001- June 2001¹¹

3.4 악취 분석을 위한 관능시험

군포시에서 채취된 대기 시료들에 대한 관능시험은 휘발성 유기화합물의 GC-MS 분석에 앞서 수행되었다. 각각의 대기 시료에 대한 관능시험의 결과는 악취강도 분류법에 따른 1-5단계의 분류법에 따랐다. 그 결과는 Table 1의 하단에 보여주었다. 주민밀집지역에서는 어떠한 악취도 느낄 수 없었으며, 공단지역과 근접한 군포1동, 군포역 및 금정동에서 채취한 대기 시료에서는 약간 느낄 수 있는 냄새(최소 감지농도)를 감지할 수 있었으며, 어떤 냄새인지 확인 할 수는 없으나 냄새를 느낄 수 있는 있었다. 이러한 정도의 감지농도는 악취

강도 1로 관측되었다. 이러한 냄새는 주로 공단지역에서 발생하는 휘발성 유기화합물에 기인하는 것으로 추정된다.

4. 결 론

600 여개의 업체 중 100 여개의 공해배출업소가 밀집해있는 군포시의 시민 밀집지역을 중심으로 대기 오염정도를 확인하기 위한 연구가 수행되었으며, 이를 위해 대기오염 설문 조사, 악취에 대한 관능시험 및 휘발성 유기화합물에 대한 분석 평가사업이 이루어졌

다. 군포시 전역에서 채취된 대기 시료의 분석 평가결과 공단지역근처에 위치한 지역(군포 1동, 군포역 및 금정동)에서의 대기 오염이 심각한 것으로 평가되었으며, 약취도 확인할 수 있었다. 비록 일회의 시료채취 및 분석 평가로 완벽한 결론을 내릴 수는 없다하더라도 군포시의 대기 오염원이 자동차 배출가스라기 보다는 공단지역에서의 공해배출업소가 군포시 대기 오염의 근원임이 밝혀졌다. 공단지역 내에서의 대기 시료 분석 및 평가 결과는 계속 연구 중에 있다.

참고 문헌

1. 제11회 통계연보, 군포시, 2000.
2. 1999 경기도 대기오염 현황, 경기도보건환경연구원, 2000.
3. 신영철, ISC3 모형을 이용한 수원지역 대기 질 예측에 관한 연구, 석사학위 논문, 1999.
4. 대기오염·소음·진동 공정시험방법, 동화기술, 2001.
5. Atkinson, R. *Atmos. Environ.* **24A**, 1(1990).
6. Altshuller, A. P. *Atmos. Environ.* **II**, 2131(1983).
7. US EPA, "Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds In Ambient Air, Method TO-14", Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, US EPA, Cincinnati, OH, 1989.
8. US EPA. "Compendium of Methods for Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Method TO-17", Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, US EPA, Cincinnati, OH, 1997.
9. Clements, J. B.; Lewis, R. G., "Principles of Environmental Sampling", American Chemical Society, Washington D. C., U. S. A., p 285, 1988.
10. 대전대 환경공학과, "한솔제지 악취배출원의 주변 영향도 조사 및 저감방안연구", 2000.
11. 나광삼, 박사학위논문, 연세대, 2000.