

GIS 기법을 활용한 대기오염관리에 관한 연구(I) - 서울시 VOCs 오염도를 중심으로 -

박기학[†] · 조성준* · 유영대*
서울대학교 대기과학과 대기환경실험실
* 연세대학교 환경공해연구소

A Study on the Air Pollution Management Using GIS Method(I) - Focus on VOCs concentration of Seoul -

Ki Hark Park[†], Seong Joon Jo* and Yung Dae Yu*

Lab. of Atmospheric Environment, Dept. of Atmospheric Science, Seoul National University

* Institute of Environmental Pollution., Yonsei University

(Received 2 April 2001 ; Accepted 21 May 2001)

ABSTRACT

On the planning for the systematic management and control of the air pollution display methods were used to evaluate the spatial pollutant concentration status.

This study were conducted to investigate the practical using of Geographic Information System(GIS) technology on the air pollution control and management which were computer-based systems that were used to store and manipulate geographic information in the macro city. In this study 137 samples were corrected by passive samplers and analysed by GC/MSD for 16 VOCs in Seoul (25 distincts) distributed by TM-coordinate(2 km × 2 km), and finally displayed by Arcview program(version 3.2, ESRI Inc, U.S.A) for windows. The concentration of benzene and toluene showed high level distribution in whole area of Seoul and distribution of butylbenzen, trichloroethylene, styrene showed high level in whole area of Seoul except a few distincts and the distribution of isopropylbenzene, 1,2-dichloroethane showed higher level in core area than that of Kangnam and Kangbuk area. In conclusion, products of this study of using GIS technology apply on the spatial distribution of VOCs concentration was very effective than that of other methods(e.g., contouring concentration method, pie or column chart, graduated symbols), especially in mapping and symbolization of pollution status evaluation.

Keywords : GIS, VOCs, Air pollution, TM-coordinate

I. 서 론

현재 환경기준법상의 규제대상으로 분류되고 있는 대기오염물질인 SO₂, NO₂, CO, O₃, PM₁₀ 및 Pb뿐만 아니라 휘발성유기물질(volatile organic compounds, VOCs)과 같은 비규제성 대기오염물질의 경우에는 시간·공간적으로 불규칙하고 연속적으로 배출되는 특성으로 인해 현실적인 오염관리에 많은 어려움을 갖고 있다.¹⁾

이와 같은 대기오염물질을 체계적으로 관리하기 위해서는 제품생산라인에서 사용되는 원료 또는 연

료사용에 따른 오염물질의 배출을 근본적으로 제어 및 차단하는 방지대책뿐만 아니라 오염물질의 배출 후 주변 환경으로의 확산특성과 함께 공간분포에 대한 효율적인 관리가 가능할 수 있도록 하는 현황관리 또한 중요한 분야라고 할 수 있다.

이와 같이 오염농도의 공간적인 분포 상황을 파악하는데 주로 이용되고 있는 도식화 방법으로는 등(等)농도선(concentration contouring)을 사용하고 있으며, 최근 들어 위성탐사 또는 항공관측을 통한 각종 지리정보를 체계화시킨 Geographic Information System(GIS) 기법을 활용하는 연구에 대한 관심이 높아지고 있다.^{2,3)}

GIS 즉, 지리정보체계란 산업화와 도시화로 인하여 지상, 지표, 지하의 모든 현실세계에서 복잡하게 발생하는 지리현상에 관한 방대한 지리정보를 컴퓨터

[†]Corresponding author : Lab. of Atmospheric Environment, Dept. of Atmospheric Science, Seoul National University.
Tel : 031-214-3704, Fax : 031-214-3704
E-mail : pkh020@hanmail.net

터를 이용하여 정보시스템을 구축함으로써 각종 공간적인 문제를 체계적으로 이해·관리 및 해결하기 위해 고안된 기술이라고 할 수 있으며, 지형도, 토양도, 지적도, 시설물도(전기, 전화, 상하수도 등의 배선·배관도), 식생도, 기타 여러 분야의 관련정보들을 부호화하여 사용하고 있다.⁴⁾

완벽한 지리 정보가 되기 위해서는 각종 지리현상의 위치, 형태, 공간상의 상대적 위치 등이 규정되어 저장할 뿐만 아니라, 높은 실측 의존도와 이에 따른 큰 가변성(可變性), 복잡한 갱신(更新)단계, 특히 고도의 위성기술과 판독 기술이 요구되는 등 공간상의 특성을 명확하게 설명해 줄 수 있는 정보가 지원되어야 하기 때문에 초기 정보구축에 많은 시간이 필요하다는 문제점을 안고 있다. 또한 막대한 양의 자료를 처리해야 하기 때문에 컴퓨터의 용량 및 전산처리성능 등의 문제로 인하여 사용 분야가 다소 특정분야로 제한적이었다.

그러나 최근 들어 이러한 GIS의 활용은 개인용 컴퓨터의 성능향상, 인터넷과 인트라넷을 포함한 통신 Network의 보급으로 급속도로 확대·보급되고 있으며, 우리나라에서도 1995년도에 확정된 국가지리정보체계(NGIS)에 의거하여 서울시, 울산광역시 등 대도시의 GIS기본도 구축을 위한 데이터베이스계획이 지속적으로 추진되고 있다. 이러한 계획은 도시계획 및 토목, 조경분야 등에서 매우 유용하게 활용되고 있으며^{5,6)}, 이미 하천오염이나 해양오염과 관련된 환경분야에서는 이와 같은 GIS기법을 활용한 오염관리에 관한 연구들이 진행되고 있다.⁷⁻⁹⁾

이에 본 연구는 GIS 기법을 대기오염관리체계구축에 접목시키기 위한 기초단계로서 대기오염물질의 공간분포 파악에 활용하는 방법을 모색하고자 하였으며, 이를 위해 미국 ESRI사에서 개발한 대표적인 소프트웨어인 ArcView(version 3.2, ESRI Inc, U.S.A)를 사용하여 서울시 전지역을 대상으로 최근 들어 급속도로 증가하고 있는 자동차 사용량 등으로 인하여 대기 중 오염도가 증가하고 있는 비규제성 오염물질로써 이미 많은 연구¹⁴⁾에서 발암성 등 인체에 미치는 위해성(危害性)이 확인된 바 있는 VOCs의 오염분포도를 작성하였다.

II. 연구방법

VOCs 시료는 1997년 11월 6일~8일까지 서울시 전(全)지역의 25개동을 대상으로 크게 강서남지역(A), 강서북지역(B), 강동북지역(C), 강동남지역(D)

의 4개 구역으로 분할한 후 이들 구역을 다시 횡(橫)메르카토르 투영법을 적용한 평면직각좌표계(transverse mercator, TM 좌표)에 의거하여 2 km × 2 km 간격의 총 137개 지점으로 세분하였으며, 이들 각각에 대하여 VOCs 채취용 passive sampler(OVM 3520, 3M Inc, U.S.A)를 부착하여 24시간동안 채취하였다(Table 1).¹¹⁾

이들 시료들은 GC/MSD(HP 6890 series, Hewlett Packard, U.S.A)와 Liquid Auto Sampler(Hewlett Packard, U.S.A)를 사용하여 benzene, bromobenzene, butylbenzen, chrolobenzene, ethylbenzene, n-propylbenzene, isoprophylbenzene, 1,2-dichloroethane, 1,1,1-trichloroethane, 1,1,2-trichloroethane, trichloroethylene, tetrachloroethylene, styrene, toluene, *m,p*-xylene, *o*-xylene의 농도를 분석하였다.

GC의 분석조건은 초기 온도 35°C에서 5분간 머물도록 하고, 100°C까지 분당 5°C씩 승온시켰다. 이 온도 범위에서 대부분의 물질이 분리되었으며, 280°C까지 승온시켜 column을 clean-up하였으며, 주입구의 온도는 150°C로 고정하였고, 99.9% 헬륨을 사용하여 5:1의 split mode에서 1.0 ml/min으로 이동상을 흘려주었다. 또한 고정상은 5% phenylmethylsiloxane(J&W 123-5062)을 사용하였으며, column은 내경 0.32 mm, 길이 60 m로 고정상이

Table 1. Distinct of sampling site

| Boundary | Distinct | Number |
|----------|---|--------|
| A01~A36 | Kangso, Yongdungpo, Yangchon, Tongjak, Kwanak, Kuro, Kumchon | 36 |
| B01~B28 | Unpyong, Jongro, Seodaemun, Chung, Youngsan, Mapo | 28 |
| C01~C41 | Dobong, Dongdaemun, Kangbuk, Songbuk, Chungnang, Nowon, Kwangjin, Songdong | 41 |
| D01~D32 | Kangdong, Kangnam, Songpa, Socho | 32 |



Fig. 1. Sampling site of Seoul.

Table 2. The condition of GC/MSD for VOCs analysis

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

0.33 μm 로 도포 된 것을 사용하였다. MSD의 transfer line은 280°C로 사용하였고, 시료는 2.0 μl 를 주입하였다. MSD는 HP5973을 사용하였으며, Total ion monitoring을 이용하여 물질을 확인하였고, Selective ion monitoring mode로 프로그램 하여 신호/잡음비(S/N ratio)를 향상시켜 각각의 VOCs를 정량하였다(Table 2).¹⁰⁻¹¹⁾

이상에서 분석한 서울시 전(全)지역의 25개동을 대상으로 한 137개 지점에서의 VOCs 농도 분포는 1:25000의 서울시 수치지도로서 GIS 기법을 활용한 Arcview (version 3.2, ESRI Inc, U.S.A)를 사용하여 mapping하였다(Fig. 1).³⁾

III. 연구결과 및 고찰

1. 서울시 대기중 VOCs의 농도

VOCs은 주로 자동차, 산업, 석유관련 산업공장에 의해서 발생된 것이며, 이들은 전체 대기 VOCs오염의 약 20~25%를 기여하고 있는 것으로 알려져 있다.¹²⁾ 특히, 가솔린과 자동차 배출원은 도시 대기오염의 주범이 되고 있으며, 미국의 경우 대기 중 benzene농도의 약 80% 가량이 자동차 배기가스나 가솔린 등에 의한 것으로 보고된 바 있다.¹³⁻¹⁷⁾

호흡기를 통해 주로 인체에 유입되는 VOCs는 만성 노출 시에는 인체 내 기관에 축적되어 폐부종, 신장독성, 혈액암 등의 유해한 영향을 끼치며, 특히 benzene은 국제 암협회(International Agency for Research on Cancer), 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency)등에서 이미 인체에 알려진 대표적인 발암물질로 확인되어 관리되고 있다.¹²⁾

서울시 전(全)지역을 대상으로 한 137개 지점에서

측정한 VOCs의 평균농도는 toluene (20.112 \pm 8.402 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 benzene(13.198 \pm 4.175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 수준이 가장 높은 것으로 나타났으며, tetrachloroethylene(2.501 \pm 0.631 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 1,2-dichloroethane(2.164 \pm 0.406 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 가장 낮은 수준인 것으로 조사되었다(Table 3).

특히 세계 대도시와 서울시의 VOCs 농도수준을 비교한 결과 benzene의 경우는 서울시의 경우 13.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 Hamburg (Germany), Johannesburg (South Africa) 및 St. Louis(U.S.A)와 비슷하였다. toluene은 서울시가 20.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 Houston (U.S.A)과 비슷하였으며, ethylbenzene은 서울시가 6.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 Sydney (Australia)와 비슷하였으며, m,p-xylene은 서울시가 6.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 Oakland (U.S.A)와 비슷하였으며, o-xylene은 서울시가 5.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 Houston(U.S.A)과 비슷한 경향을 보였다(Table 4).¹²⁾ 이상의 결과로 보아 조사 당시 서울시의 VOCs 농도수준은 문헌을 통하여 살펴본 세계 대도시 지역의 VOCs의 농도수준과 비슷한 농도 분포인 것으로 나타났다.

서울시는 북쪽, 남쪽, 및 서쪽에는 지형적 특성상 특별히 높은 산이 없고, 한강이 동에서 서로 관통하여 바람을 서울시의 중앙으로 유도하여 주 풍향을 서풍(W)과 서북서풍(WNW)으로 하고 있다. 또한 서쪽으로부터 이동해 온 대기오염물질과 서울시에서 발생한 대기오염물질이 정체되기 쉬운 지형적 특성을 가지고 있다. 따라서 대기오염물질로 인한 환경오염을

Table 3. The concentration of VOCs in 137 sites of Seoul (Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| VOCs | Detect/ Not detect | Mean | S.D |
|-----------------------|--------------------|--------|-------|
| 1,1,1-trichloroethane | 137/0 | 1.045 | 0.378 |
| 1,2-dichloroethane | 135/3 | 2.164 | 0.406 |
| benzene | 137/0 | 13.197 | 0.416 |
| trichloroethylene | 137/0 | 6.141 | 0.629 |
| toluene | 137/0 | 20.121 | 8.402 |
| 1,1,2-trichloroethane | 135/3 | 4.830 | 0.432 |
| tetrachloroethylene | 135/3 | 2.501 | 0.631 |
| chlorobenzene | 127/11 | 4.453 | 0.661 |
| ethylbenzene | 137/0 | 6.421 | 2.397 |
| m,p-xylene | 136/2 | 6.935 | 0.988 |
| styrene | 135/3 | 6.336 | 1.062 |
| o-xylene | 135/3 | 5.443 | 0.928 |
| isopropylbenzene | 136/2 | 4.479 | 0.924 |
| bromobenzene | 134/4 | 6.669 | 2.153 |
| n-propylbenzene. | 131/7 | 6.956 | 0.310 |
| butylbenzene | 134/4 | 9.896 | 1.654 |

Table 4. Average concentrations of VOCs in ambient in the world cities

| City | (Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|---------|---------------|--------------------|------------------|
| | benzene | toluene | ethyl benzene | <i>m,p</i> -xylene | <i>o</i> -xylene |
| Chicago(U.S.A, 1983) | 11 | 10 | 2.4 | 4.7 | 1.6 |
| Leeds(United Kingdom, 1983) | 9.0 | 22 | 4.3 | 22 | 8.1 |
| Los Angeles(U.S.A, 1983) | 21 | 48 | 11 | 22 | 9.0 |
| Oakland(U.S.A, 1982) | 5.6 | 13 | 2.8 | 7.1 | 3.8 |
| Phoenix(U.S.A, 1989) | 21 | 68 | 11 | 41 | 15 |
| Denvor(U.S.A, 1989) | 9.4 | 28 | 5.7 | 16 | 7.6 |
| Houston(U.S.A, 1989) | 9.4 | 20 | 3.3 | 12 | 5.2 |
| Philadelphia(U.S.A, 1989) | 5.2 | 14 | 2.8 | 9.5 | 7.1 |
| Pittsburgh(U.S.A, 1989) | 9.1 | 8.6 | 1.4 | 3.3 | 1.4 |
| San Jose(U.S.A, 1989) | 8.4 | 18 | 7.1 | 15 | 7.6 |
| Boston(U.S.A, 1989) | 3.5 | 9.5 | 1.4 | 5.7 | 2.4 |
| St. Louis(U.S.A, 1982) | 11 | 8.5 | 6.9 | 16 | 3.3 |
| Sydney(Australia, 1982) | 9.1 | 37 | 6.2 | 8.6 | 7.1 |
| Hamburg(Germany, 1985) | 13 | 38 | 8.8 | 22 | 9.5 |
| London(United Kingdom, 1984) | 31 | 56 | 4.2 | 13 | 5.9 |
| Johannesburg(South Africa, 1984) | 12 | 42 | 8.9 | 21 | 7.7 |
| Martorell(Spain, 1984) | 3.8 | 14 | 3.8 | 11 | 3.6 |

더욱 가중시키고 있는 지형구조를 가지고 있다. 이는 이 시기의 계절적 요인과 주위환경과의 상관성을 고려하여 추후 더 조사되고 연구 되어야 할 과제이다. 이와 더불어 VOCs의 주 발생원인 교통량에 따른 오염도 상관성을 조사하여야 더욱 신뢰성 있는 서울시의 VOCs의 분포를 알 수 있을 것으로 생각된다.

2. GIS를 활용한 서울시 VOCs 농도 mapping

본 연구에서 시도하는 GIS 기법은 위성탐사 자료와 항공관측사진을 통해 실측한 지리적 특성을 TM 좌표로서 정확하게 도식화(display)했을 뿐만 아니라 도로, 건물, 식생 등 다양한 자료들을 한 도면 내에 중첩(overlay)시킴으로써 대기오염과 관련된 모든 자료들, 예를 들면 배출시설물의 정확한 지리적 위치, 확산특성에 따른 주변지역의 물리적 환경, 도로 및 건물의 밀집도 등 오염원의 특성 등을 보다 효과적으로 설명할 수 있는 특성을 장점으로 들 수 있다.

이에 본 연구는 서울시 전(全)지역의 25개동을 대상으로 TM좌표를 이용하여 2 km \times 2 km간격의 137개 지점에서의 채취한 시료로부터 분석한 16개 종류의 VOCs 농도 분포를 GIS 기법을 활용한 ArcView (version 3.2, ESRI Inc, U.S.A)를 사용하여 mapping 하였으며, 16개 종류의 VOCs 각각에 대하여 농도수준 차이를 쉽게 구별할 수 있도록 색(color)의 차이를 부여함으로써 지점별 농도특성을 파악할 수 있게 하였다. Fig. 4~5에서 나타난 바와 같이 발암성이 높은

물질로 알려진 benzene과 toluene의 경우에는 서울시 대부분 지역에서 비교적 높은 농도수준을 보임으로써 이에 따른 오염관리의 심각성을 확인 할 수 있었으며, 또한 iso-propylbenzene과 1,2-dichloroethane의 농도수준도 강남과 강북의 몇몇 외곽 지역을 제외하고는 도심이 월등하게 높은 것을 알 수 있었다. 또한 butylbenzene과 trichloroethylene 그리고 styrene의 경우에도 외곽의 몇몇 지역을 제외하고는 서울시 전역의 농도수준이 상대적으로 높은 분포를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 오염수준이 특정수준을 초과한 경우이거나 또는 상대적으로 높은 경우에는 오염상황의 심각성을 효과적으로 도식화함으로써 오염도에 따른 분포상황을 극대화 할 수 있었다. 여기서 VOCs 농도분포의 상대적인 비교를 위하여 benzene과 toluene를 제외한 나머지 VOCs 농도수준은 10배 높힌 값으로써 도식화하였다.

특히, 농도수준이 주변 배출원에서 배출되는 오염수준과 비슷한 경우 동일 등(等)농도선 상으로 표시되기 때문에 각각의 배출원의 특성파악에 다소 어려움을 겪었던 다른 도식화 기법에 비해 오염물질의 배출 및 확산특성에 따라 위치확인 및 오염현황 파악을 TM좌표로서 정확하고 간편하게 지리적 위치를 표시할 수 있기 때문에 특정 오염물질관리 또는 총량규제(總量規制)와 같은 체계적인 대기오염관리대책수립에 효과적일 것으로 판단된다. 또한 본 연구대상인 서울시의 특성상 VOCs의 주요 배출원이 이동 배출원,

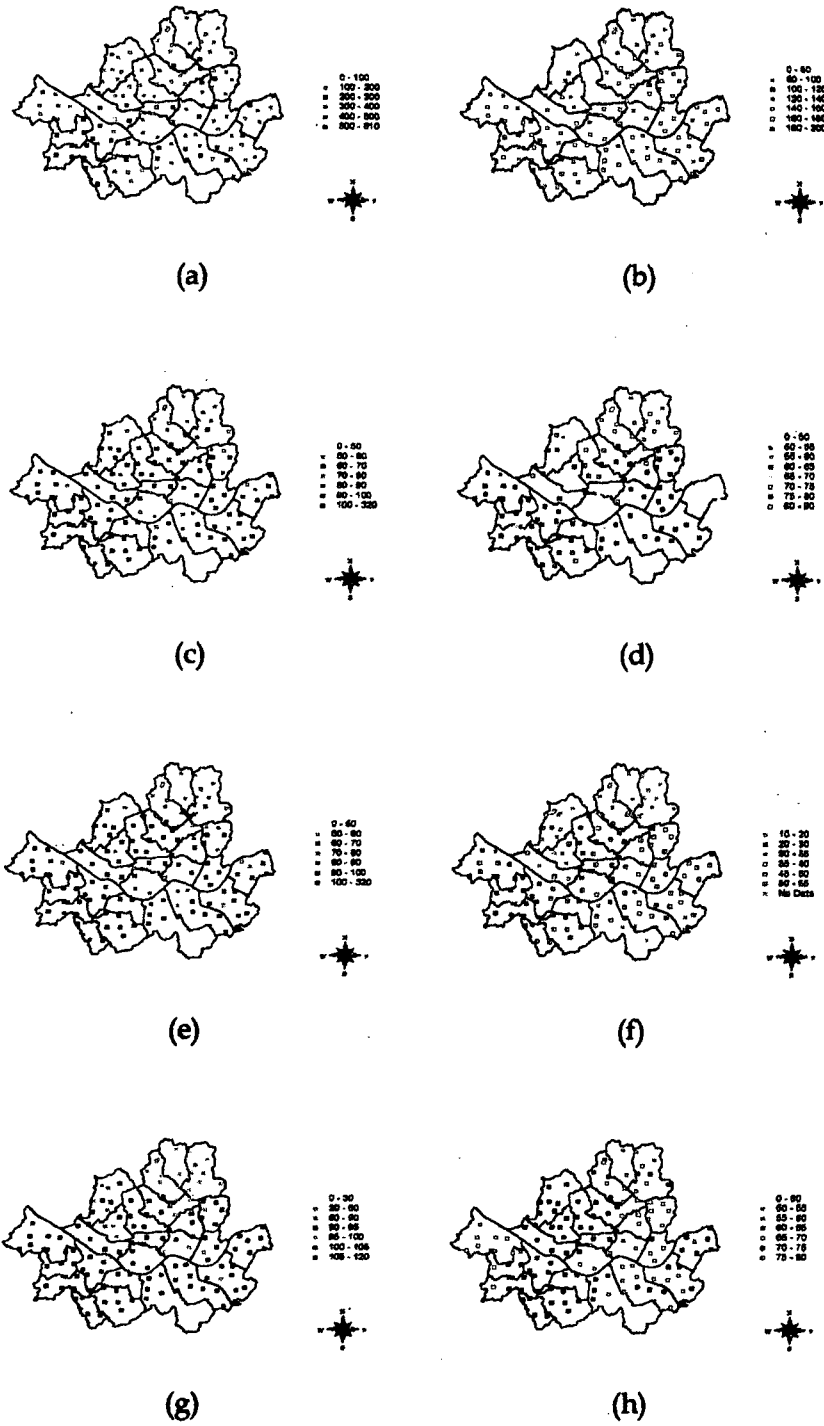


Fig. 4. A VOCs concentration distribution displayed by GIS (a) Toluene (b) Benzene (c) Bromobenzene (d) Chlorobenzene (e) Ethylenbenzene (f) iso-Propylbenzene (g) Butylbenzene (h) n-Propylbenzene.

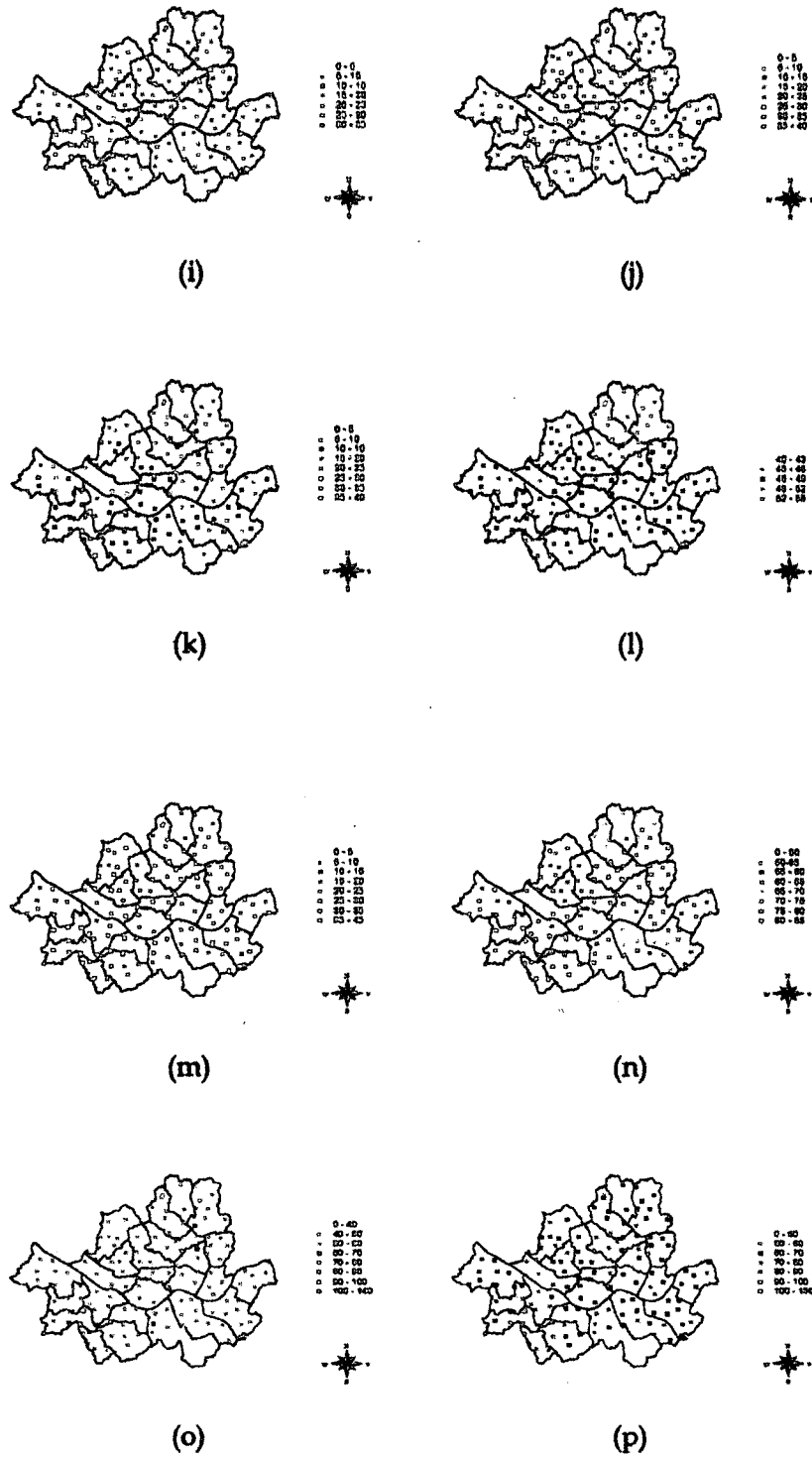


Fig. 5. A VOCs concentration distribution displayed by GIS (i) Trichloroethylene(j) 1,2-Dichloroethane (k) 1,1,1-Trichloroethane (l)1,1,2-Trichloroethane (m) Tetrachloroethylene (n) Styrene (o) o-Xylene (p) m,p-Xylene.

즉 교통 기관이라고 전제할 경우 GIS 기법을 활용하면 Fig. 1에서 제시한 바와 같이 시료채취지점과 주변 지역의 도로점유상황간의 연관성을 한 도면에서 확인 할 수 있기 때문에 배출원 관리에 효율적일 수 있다. 단일 오염물질을 대상으로 할 경우 특정한 기호(character), 상징(symbol)을 설정하여 크기에 따라 농도수준을 달리 나타낼 수 있기 때문에 기본 데이터베이스 구축이 확대된다면 서울시와 같은 특정 대도시뿐만 아니라 보다 소규모 지역까지 지역특성에 따른 오염특성을 고려한 오염도 지도 작성 등 활용성을 넓혀갈 수 있을 것으로 기대된다. 또한 이상의 연구 결과에서 나타난 바와 같이 VOCs의 인위적 배출원인, 인구 천만 이상의 거대 도시인 서울시의 특성상 이동 배출원(교통 기관)이 주 발생원이란 전제하에 이루어진 것으로, 그 밖의 배출원으로는 주유소 및 주유소 저장시설, 세탁소, 인쇄소등 그 밖의 고정 배출원으로부터 발생하는 VOCs도 오염에 상당부분 기여할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

대기오염물질은 시간·공간적으로 불규칙하고 연속적으로 배출되는 특성뿐만 아니라 지역적으로 산재해 있는 방대한 배출원 자료 등으로 인해 오염관리에 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 이들 오염물질의 배출 전·후 오염현황을 보다 체계적으로 관리하기 위해서는 초기 배출원과 배출오염농도의 공간분포 등 오염관련자료를 정확하고 효과적으로 파악하기 위한 데이터베이스구축, 전산모형 및 지리정보체계의 연계를 통한 효과적인 관리가 요구된다. 본 연구는 최근 위성탐사 또는 항공관측을 통한 각종 지리정보를 체계화시킨 지리정보체계 즉, GIS 기법을 대기오염관리체계구축에 접목시키기 위한 기초단계로서 대기오염물질의 공간분포파악에 활용하는 방법을 모색하고자 하였다. 이를 위해 미국 ESRI사에서 개발한 대표적인 소프트웨어로서 편리한 GUI(Graphic User Interface), 공간정보의 다양한 검색 및 분석도구 제공을 특징으로 하고있는 ArcView를 사용하였으며, 연구대상지역은 서울시 25개 동(洞) 전체를 TM좌표에 따라 구분한 총137개 지점을 대상으로 하였다. 조사대상 대기오염물질은 최근 들어 대기 중 오염도가 급속도로 증가하고 있는 toluene을 비롯한 16 종류의 VOCs로써 이들의 각각의 농도수준에 따른 공간분포를 GIS기법을 활용한 Arcview 프로그램을 사용하여 오염도 지도를 작성하였다. 연구 결과 기존의 많은 연

구에서 주로 사용해왔던 도식화방법에 비해 TM좌표에 따른 배출시설의 정확한 지리적 위치와 함께 오염물질의 지역적 분포를 쉽게 구별 할 수 있었다. 따라서 본 연구는 GIS 기법을 활용한 ArcView 프로그램을 간단한 대기오염물질의 공간분포현황에 적용하였지만, 앞으로 웹기반을 주축으로 한 대기오염관리를 위한 통합 시스템의 구축과 같은 관리시스템이 개발된다면 현재 NGIS에서 추진하고있는 GIS기본도 구축을 위한 데이터베이스계획과 함께 대기오염예측평가를 위한 확산 모델링 분야와의 연계프로그램 개발, 특정대기오염물질의 배출관리 Scenario 등 보다 다양하고 체계화된 대기오염관리에 유용할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 환경부 : 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술 9-2-3, 연세대학교 환경공해연구소, 1999.
2. 김재승, 윤창진 : ESRI ArcView 지리정보체계, 655, 대영사, 1999.
3. Environmental System Research Institute(1997) : Introduction to ArcView GIS, Redland, California, U.S.A., 1999.
4. Stan, A. : Geographic Information Systems, A Management Perspective, WDL Pub., 294, Canada, 1995.
5. 서울시정개발연구원 : 서울시 지리 정보시스템 구축에 관한 연구(II), 지리정보시스템 구축지침 및 실험연구, 635, 1994.
6. 서울시정개발연구원 : 서울시 GIS 기본도 구축을 위한 기술지침 연구, 206, 1996.
7. 정경진 : GIS를 활용한 하천자연도 평가에 관한 연구, 경원대학교 석사학위논문, 145, 1997.
8. 서창완, 전성우 : 원격탐사와 GIS기법을 이용한 접경지역 토지 피복연구, 환경영향평가학회, 7(1), 11~22, 1998.
9. 정장표, 이승훈, 이승목 : GIS를 이용한 휘발성유기화합물의 배출특성, 한국대기환경학회 2000춘계학술대회 논문집, 62~64, 2000.
10. 박기학 : 대기오염측정분석학, 형설출판사, 1053, 2000.
11. 조성준 : VOCs의 위해성 평가를 위한 노출분석방법, 한국대기환경학회 2000, 춘계학술대회 논문집, 254~255, 2000.
12. 유영대 : 서울시 휘발성 유기화합물질의 지역별

- 오염도 분석을 통한 위해도 결정, 연세대학교 석사학위논문, 57, 2000.
13. 백성옥, 김영민 : 도시에서의 실내·외 주변공기 중 휘발성 유기화합물의 농도측정에 관한 연구, 18(2), 181~197, 1996.
 14. Wallace, L. A., E. Pellizzari, T. Hartwell, M. Rosenzweg, M. Erickson, C. Sparacino, H. Zelon : Personal exposure to volatile organic compounds, *Environmental Research*, 35, 293~319, 1984.
 15. Daisey, J. M., A. T. Hodgson, W. J. Fisk : Volatile organic compounds in twelve California office buildings, classes, concentrations and sources. *Atmospheric enviro.*, 28(22), 3557~3562, 1994.
 16. Sigsby, J. E., S. Tejada, W. Ray : Volatile organic compound emission from 46 in-use passenger cars, *Environ. Sci. Technol.*, 21, 466~475, 1987.
 17. Zweidinger, R. B., J. E. Sigsby, S. B. Tejada : Detailed hydrocarbon and aldehyde mobile source emissions from roadway studies, *Environ. Sci. Technol.*, 22, 956~962, 1988.