

GIS 기법을 활용한 서울시 VOCs 오염도평가에 관한 연구

박기학 · 정 용* · 조성준*

서울대학교 대기과학과 대기환경실험실, 연세대학교 환경공해연구소*

Assessment of the VOCs Concentration Using GIS Method of Seoul

Park, Ki-Hark · Chung, Yong* · Cho, Sung-Jun*

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

Institute of Environmental Pollution, Yonsei University*

Abstract

This study was conducted to investigate the practical using of Geographic Information System(GIS) technology which are computer-based systems that are used to store and manipulate geographic information on the air pollution control and management in the macro city. For this study 130 samples were corrected by passive sampler in Seoul (25 distincts) distributed by TM-coordinate during November in 1997 to January 1998, and analysed by GC/MSD for 16 VOCs e.g., toluene, benzene and display using Arc/view GIS(version 3.2, ESRI Inc, U.S.A) for windows.

The most VOCs concentration distribution in November, 1997 was higher than that of January, 1998 except benzene and 1,1,2-trichloroethan, bromobenzene. And products of the distribution of VOCs concentration display using GIS technology was effective as well as other display methods(e.g., contouring method, pie or column chart, graduated symbols), especially in mapping and symbolization capabilities for spatial pollutant status evaluation were very effective than other display methods.

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

I. 서론

대기환경 중 유기화합물은 각 물질의 대기 중 존재상태, 휘발성에 따라 크게 휘발성과 반 휘발성, 비휘발성의 3가지로 분류할 수 있다. 일반

적으로 휘발성유기화합물질(volatile organic compounds, 이하 VOCs)은 방향족 탄화수소와 파라핀 계, 올레핀 계의 지방족 탄화수소 그리고 할로겐 원소를 포함하는 알데히드, 케톤 류와 같은 비균질 탄화수소가 해당된다. VOCs는 방향족 탄

화수소와 할로겐탄화수소와 같이 화합물 자체만으로도 환경 및 건강에 직접 유해한 영향을 미치기도 하지만 광화학반응성이 큰 지방족 탄화수소인 올레핀계 탄화수소화합물과 같은 경우에는 대기 중에서의 광화학 반응을 통한 광화학 산화물을 생성함으로써 피해를 초래하는 것으로 알려져 있다^{2),7),8)}. VOCs의 주요 배출원은 자동차, 산업, 석유관련 산업공장 등으로써 전체 대기중 VOCs오염의 약 20~25%를 차지하고 있으며, 특히 benzene의 경우 미국에서는 약 80% 가량이 자동차 배기가스나 가솔린 등으로부터 발생되고 있다고 보고된 바 있으며, 만성 노출 시에는 인체 내 기관에 축적되어 폐부종, 신장독성, 혈액 암 등을 유발하는 등 대표적인 발암물질로 확인되어 관리되고 있다^{14)~15)}.

최근 들어 인구밀집과 교통량의 증가 등으로 인해 대도시가 앉고 있는 대기오염문제 중 특히 차량에서 발생하는 VOCs오염문제가 심각한 사회현실로 대두되고 있는 추세이다. 그러나 현실적으로 이들 VOCs는 대기 중에서의 불완전한 화학적 특성과 함께 불규칙적이며 연속적인 배출특성 등으로 인해 효과적인 오염관리계획수립에 많은 어려움을 갖고있다⁹⁾.

따라서 체계적인 VOCs오염관리를 위해서는 연료사용에 따른 VOCs의 배출을 근본적으로 제어 및 차단하는 방지대책뿐만 아니라 배출 후 주변 환경으로의 확산특성과 함께 공간분포에 대한 효율적인 관리가 가능할 수 있도록 하는 현황관리 또한 중요한 분야라고 할 수 있다. 현재 오염농도의 공간적인 분포 상황을 파악하는데 주로 이용되고 있는 도식화(display) 방법으로서는 지리적 위치를 고려한 등(等)농도선(concentration contouring)을 사용하고 있으며, 최근 들어 배출시설물에 대한 보다 정확한 오염특성을 나타내기 위한 방법으로써 위성탐사 또는 항공관측을 통한 각종 지리정보를 체계화시킨 Geographic Information System(이하 GIS) 기법을

응용하려는 연구들에 대한 관심이 높아지고 있다^{3)~6)}. GIS 즉, 지리정보체계란 산업화와 도시화로 인하여 지상, 지표, 지하의 모든 현실세계에서 복잡하게 발생하는 지리현상에 관한 방대한 지리정보를 컴퓨터를 이용하여 정보시스템을 구축함으로써 각종 공간적인 문제를 체계적으로 이해·관리 및 해결하기 위해 고안된 기술이라고 할 수 있다. 본 연구에서 시도하는 GIS 기법은 위성탐사 자료와 항공관측사진을 통해 실측한 연구대상 지역의 지리적 특성을 TM좌표로서 정확하게 도식화(display)했을 뿐만 아니라 도로, 건물, 식생 등 다양한 자료들을 한 도면 내에 중첩(overlay)시킴으로써 대기오염과 관련된 모든 자료들과 오염원의 특성 등을 보다 효과적으로 설명할 수 있는 특성을 갖고 있다^{1),11),13)}.

이에 본 연구는 서울시 전지역을 대상으로 VOCs의 오염도를 조사하였으며, 특히 체계적인 대기오염규제 및 관리대책을 수립하기 위한 데이터 베이스 구축의 일환으로써 GIS기법을 적용함으로써 GIS 기법의 활용성도 함께 검토하였다.

II. 연구방법

VOCs 시료는 서울시의 전체 25개 동(洞)을 대상으로 크게 강서남 지역(A), 강서북 지역(B), 강동북 지역(C), 강동남 지역(D)의 4개 구역으로 분할한 후 이들 구역을 다시 횡(橫)메르카토르 투영법을 적용한 평면직각좌표계(transverse mercator, TM 좌표)에 의거하여 총 65개 지점으로 세분하였으며, 이들 각각에 대하여 VOCs 채취용 passive sampler(OVM 3520, 3M Inc, U.S.A)를 부착하여 1997년 11월 6일~8일과 1998년 1월 20일~22일의 두 차례에 걸쳐 총 130개의 sample에 대하여 각각 24시간이상 채취하였다(Table 1), (Fig. 1).

VOCs의 추출용매로는 CS₂를 사용하였으며, 초음파 추출 후 가스크로마토그래프(GC/MSD ; HP 6890 series, Hewlett Packard, USA, Liquid

Table 1. Distinction of sampling site

Boundary	Distinct	Number
A01 ~ A22	Kangso, Yongdungpo, Yangchon, Tongjak, Kwanak, Kuro, Kumchon	22
B01 ~ B17	Unpyong, Jongro, Seodaemun, Chung, Youngsan, Mapo	17
C01 ~ C9	Dobong, Dongdaemun, Kangbuk, Songbuk, Chungnang, Nowon, Kwangjin, Songdong	9
D01 ~ D17	Kangdong, Kangnam, Songpa, Socho	17

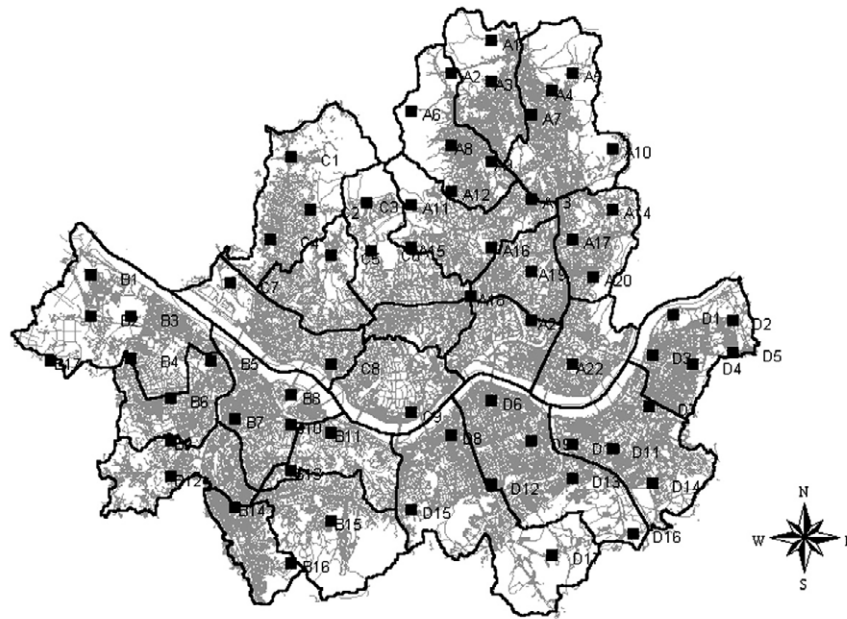


Fig. 1. Sampling site of Seoul

Auto Sampler ; Hewlett Packard, USA)를 사용하여 benzene, bromobenzene, butylbenzen, ethylbenzene, n-propylbenzene, isoprophylbenzene, choroethane, 1,2-dichloroethane, 1,1,1-trichloroethane, 1,1,2-trichloroethane, trichloroethylene, styrene, tetrachloroethylene, 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

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

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

1.0ml/min으로 이동상을 흘려주었다. 또한 고정상은 5% phenylmethylsiloxane (J&W 123-5062)을 사용하였으며, column은 내경 0.32mm, 길이 60m로 고정상이 0.33 μ m로 도포된 것을 사용하였다. MSD는 HP5973을 사용하였으며, transfer line은 280°C로 사용하였고, 시료는 2.0 μ l를 주입하였다⁸⁾(Table 2).

이상에서 분석한 서울시 전(全)지역의 25개 동을 대상으로 한 65개 지점에서의 VOCs 농도 분포는 1: 25000의 서울시 수치지도로서 GIS 기법을 활용한 Arc/view (version 3.2, ESRI Inc, U.S.A)를 사용하여 각각 가을, 겨울로 mapping하여 분포특성을 조사하였다(Fig. 1).

III. 연구결과 및 고찰

1. 서울시 대기중 VOCs의 농도

최근 차량과 관련된 VOCs 노출에 의한 연구에서는 휘발유사용과 관련이 없는 일상생활에 비해, 출퇴근 시 차량 내에서 5내지 24종류의 VOCs

의 상승된 농도에 노출되고있으며, 이에 따른 개인 건강 위해도 증가의 심각성을 보고한 바 있다^{7),14)}. 미국환경청(US, EPA)에서는 Total Exposure Assessment Methodology Study에서 VOCs에 대한 개인 노출은 차량사용과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고한 바 있다. 또한 VOCs는 대기중에서 태양광선에 의해 질소산화물(NOx)과 광화학적 산화반응을 일으켜 지표면의 오존농도를 증가시켜 스모그 현상을 야기시키는 유기화합물질로서도 알려져 있다^{10),15)}.

본 연구 대상인 서울시는 1998년 현재 면적 605.52km², 도로 연장 8082.7km의 도로 포장율 87.6%, 인구 1100만(2001. 2월 현재)으로서 북쪽, 남쪽, 및 서쪽에는 지형적 특성상 특별히 높은 산이 없고, 한강이 동에서 서로 관통하여 바람을 서울시의 중앙으로 유도하여 주(主)풍향을 서풍(W)과 서북서풍(WNW)으로 하고 있으며, 서쪽으로부터 이동해 온 대기오염물질과 서울시에서 발생한 대기오염물질이 정체되기 쉬운 지형적 특성을 가지고 있기 때문에 차량으로부터 발생하는 대기오염가중효과를 고려해야 하는 지형구조를

Table 3. The concentration of VOCs in 65 sites of Seoul (Unit: μ g/m³)

VOCs	Fall			Winter		
	Detect/Not detect	Mean	S.D	Detect/Not detect	Mean	S.D
1,1,1-trichloroethane	65/0	1.027	0.412	65/0	1.981	1.001
1,2-dichloroethane	65/1	2.099	0.457	65/0	2.024	0.237
benzene	65/0	13.149	3.963	65/0	16.873	6.031
trichloroethylene	65/0	1.633	0.608	65/0	1.390	0.471
toluene	65/0	18.913	6.000	65/0	14.715	6.552
1,1,2-trichloroethane	65/1	4.695	0.634	65/0	4.654	0.436
tetrachloroethylene	65/1	2.395	0.459	65/0	2.165	0.555
ethylbenzene	65/0	4.399	0.602	65/0	4.399	0.602
m,p-xylene	65/1	6.731	0.937	65/0	6.314	0.607
styrene	65/1	7.157	1.150	65/0	7.019	0.647
o-xylene	65/1	5.252	0.750	65/0	4.886	0.487
isopropylbenzene	65/1	4.480	0.983	65/0	4.300	1.016
bromobenzene	65/2	6.523	2.381	65/8	7.076	1.575
n-propylbenzene	65/1	6.845	0.912	65/0	6.674	0.825
butylbenzene	65/1	9.963	1.628	65/0	8.715	2.810

가지고 있다. 따라서 서울시와 같은 과밀한 인구 집중과 함께 과다한 교통량을 나타내는 대도시의 경우에는 차량운전 시 배출되는 VOCs로 인한 도로주변에서의 VOCs의 농도분포는 일반대기보다 높아질 것이며, 이에 따른 개인 노출정도 또한 높아질 것이라는 대기오염문제의 심각성을 고려하지 않을 수 없다. 이에 본 연구는 보다 체계적인 VOCs 관리를 위한 연구의 일환으로 서울시 전(全)지역을 대상으로 한 65개 지점에서 측정된 VOCs의 농도 분포를 조사하였다. 특히 VOCs는 대기 안정도, 풍속, 풍향 및 기온에 따라 확산, 희석되는 특징을 가지고 있기 때문에 일부 VOCs의 경우에는 계절적 편차를 보일 수도 있으며, 교통량이나 도로 상황 특성 등이 큰 변이 요인으로 작용하기도 한다. 그러나 본 연구에서는 이러한 VOCs의 농도변이요인보다는 일차적으로 공간분포특성을 display하는 방법론 차원에 초점을 두고 연구를 진행하였다. 조사결과 전체 조사 VOCs 중 benzene, 1,1,2-trichloroethane, bromobenzene을 제외한 toluene, ethylbenzene,

m,p-xylene, *o*-xylene, butylbenzene, styrene, *n*-propylbenzene, isopropylbenzene, chlorobenzene, tetrachloroethylene, 1,2-dichloroethane, 1,1,1-trichloroethane, trichloroethylene의 경우에는 11월에 조사한 농도분포가 1월에 조사한 농도분포보다 높은 것으로 나타났다. 특히 toluene의 경우에는 11월에 $16.913 \pm 6.000(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, benzene은 1월에 $16.873 \pm 6.031(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 로써 각각 가장 높은 것으로 나타났으며, tetrachloroethylene은 11월에 $1.027 \pm 0.412(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, 1,2-dichloroethane은 1월에 $1.390 \pm 0.471(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 로써 각각 전체 조사 VOCs중 가장 낮은 농도수준인 것으로 조사되었다(Table 3).

또한 세계 대도시와 서울시의 VOCs 농도수준을 비교한 결과 benzene의 경우는 서울시의 경우 $16.87 \sim 13.15(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 로서 Hamburg(Germany), Johannesburg(South Africa) 및 St. Louis(USA)와 비슷하였으며, toluene은 서울시가 $14.71 \sim 18.91(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 로서 Houston(USA)과 비슷하였다. ethylbenzene의 경우에는 서울시가 $4.40(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 로서 Sydney(Australia)와 비슷하였으며, *m,p*-xylene

Table 4. Average concentrations of VOCs in ambient in the world cities8) (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

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

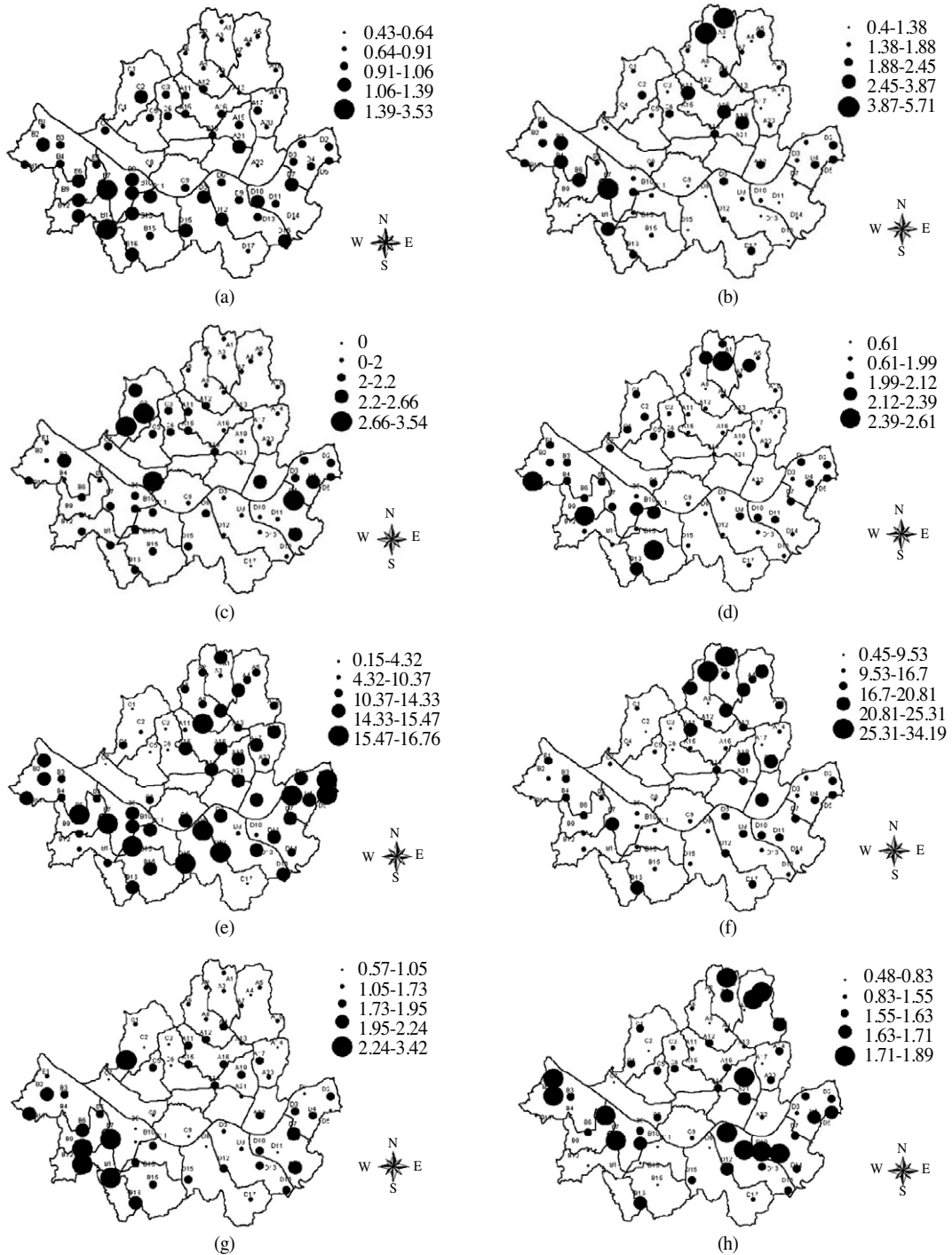


Fig. 2. A VOCs concentration distribution displayed by GIS where

(a) 1,1,2-Trichloroethane(97), (b) 1,1,2-Trichloroethane(98), (c) 1,2-Dichloroethane(97),
 (d) 1,2-Dichloroethane(98), (e) Benzene(97), (f) Benzene(98), (g) Trichloroethylene(97), (h) Trichloroethylene(98)

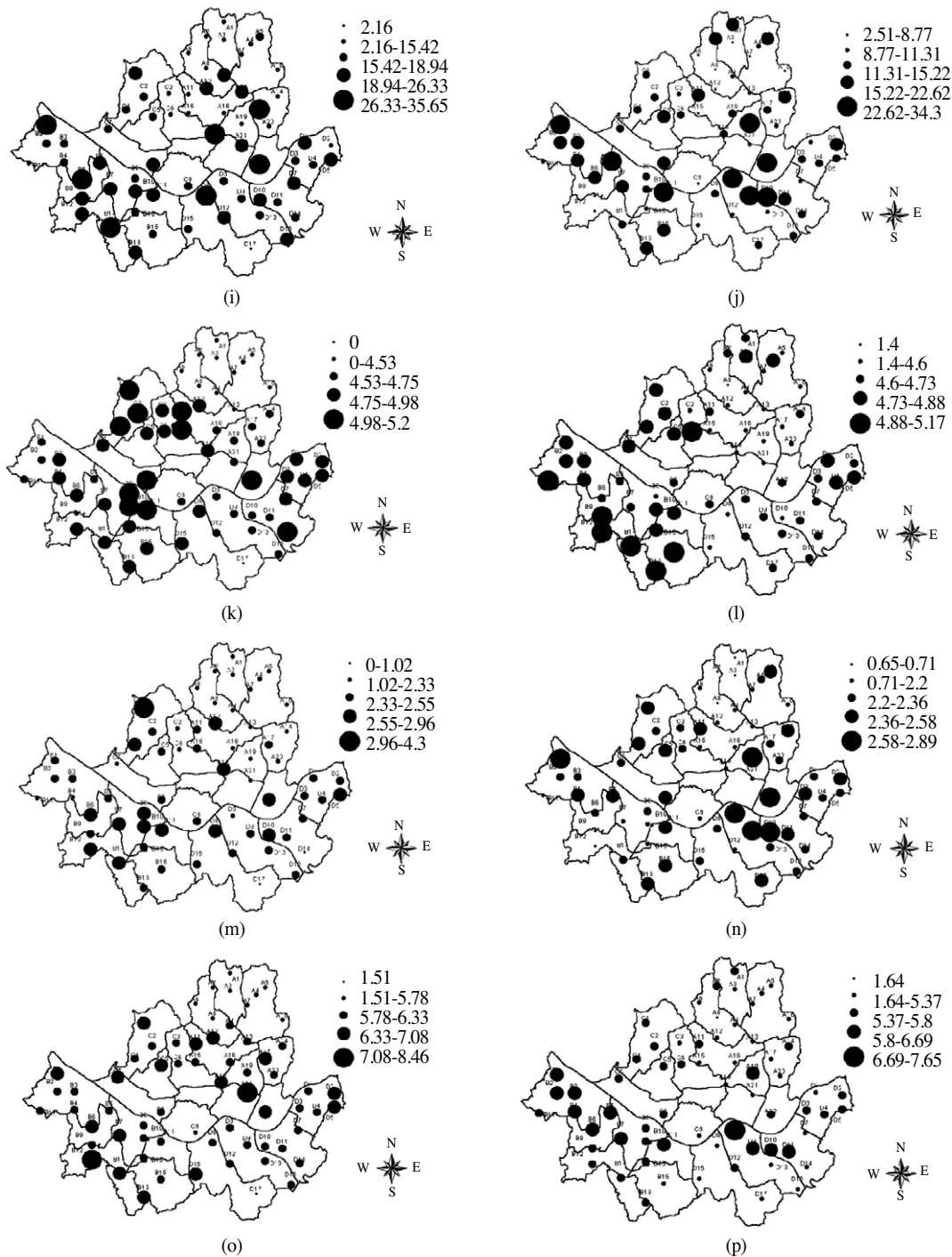


Fig. 3. A VOCs concentration distribution displayed by GIS where

(i) Toluene(97), (j) Toluene(98), (k) 1,1,1-Trichloroethane(97), (l) 1,1,1-Trichloroethane(98),
 (m) Tetrachloroethylene(97), (n) Tetrachloroethylene(98), (o) Ethylenbenzene(97), (p) Ethylenbenzene(98)

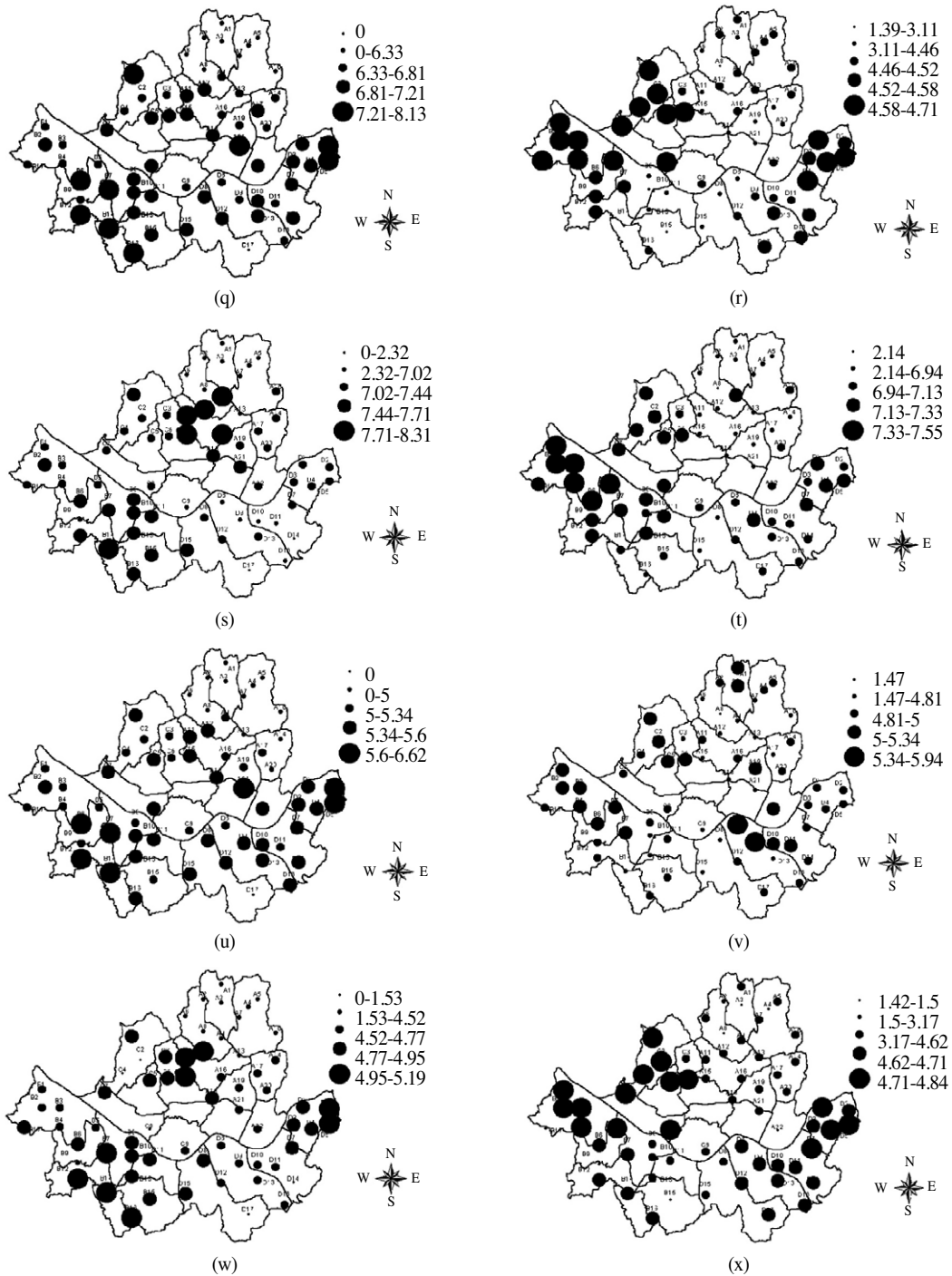


Fig. 4. A VOCs concentration distribution displayed by GIS where

(q) m.p-xylene(97), (r) m.p-xylene(98), (s) Styrene(97), (t) Styrene(98), (u) o-xylene(97),
 (v) o-xylene(98), (w) isopropylbenzen(97), (x) isopropylbenzen(98)

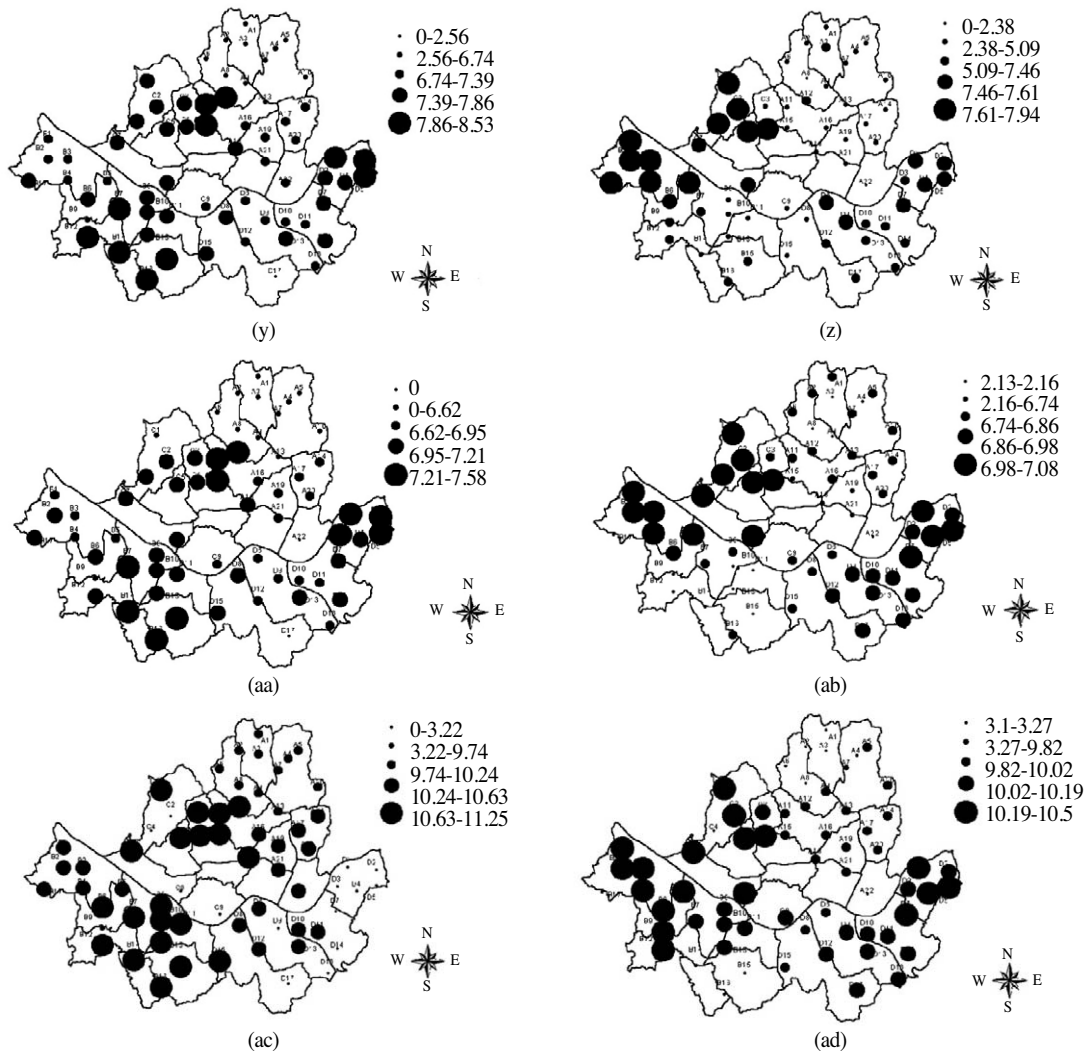


Fig. 5. A VOCs concentration distribution displayed by GIS where (y) Bromobenzen(97), (z) Bromobenzen(98), (aa) n-Propylbenzene(97), (ab) n-Propylbenzene(98), (ac) Butylbenzen(97), (ad) Butylbenzen(98)

은 서울시가 6.31~6.73($\mu\text{g}/\text{m}^3$)로서 Oakland (USA)와 비슷하였으며, o-xylene은 서울시가 4.89~5.25($\mu\text{g}/\text{m}^3$)로서 Houston(USA)과 비슷한 농도 분포수준을 보였다(Table 4).

2. GIS를 활용한 서울시 VOCs 농도mapping

본 연구는 서울시 전(全)지역의 25개동을 대상

으로 TM좌표에 준한 총 65개 지점에서 채취한 130개 시료로부터 분석한 16종류의 VOCs 농도 분포를 GIS 기법을 활용한 Arc/view(version 3.2, ESRI Inc, U.S.A)를 사용하여 mapping하였으며, 16종류의 VOCs 각각에 대하여 농도수준 차이를 쉽게 구별할 수 있도록 농도수준을 가시화 시킴으로써 지점별 농도특성을 파악할 수 있게 하였

다. Fig. 2~5에서 나타난 바와 같이 발암성이 높은 물질로 알려진 benzene의 경우에는 서울시 대부분 지역에서 비교적 높은 농도수준을 보임으로써 이에 따른 오염관리의 심각성을 확인 할 수 있었으며, 특히 benzene과 1,1,2-trichloroethan 그리고 bromobenzene을 제외한 나머지 VOCs의 경우 1998년 1월에 조사한 농도수준보다 1997년 11월에 조사한 VOCs 농도수준이 높은 것으로 나타났다. 전반적으로는 강서지역과 강동지역의 VOCs 농도수준이 강남지역과 강북지역보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 오염수준이 특정수준을 초과한 경우이거나 또는 상대적으로 높은 경우에는 오염상황의 심각성을 효과적으로 도식화함으로써 오염도에 따른 분포상황을 극대화 할 수 있을 것으로 사료되었다. 또한, 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 TM좌표로써 정확하고 간편하게 지리적 위치를 표시할 수 있기 때문에 특정 오염물질관리 또는 총량규제(總量規制)와 같은 체계적인 대기오염관리대책수립에 효과적일 것으로 사료된다. 또한 본 연구대상인 서울시의 특성상 VOCs의 주요 배출원이 이동 배출원, 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 있을 것으로 사료되었다.

IV. 결 론

VOCs는 분자량이 비교적 작고 비등점이 낮아 상온에서 휘발성이 강하기 때문에 배출 후 확산 특성 현황을 보다 체계적으로 관리하기 위해서는

공간분포를 정확하고 효과적으로 파악할 수 있는 도식화기법이 필요하다.

본 연구에서는 서울시 25개 동(洞) 전체를 TM 좌표에 따라 구분한 총65개 지점을 대상으로 하여 1997년 11월 6일~8일, 1998년 1월 20일~22일의 두 차례에 걸쳐 각각 24시간이상 채취한 총 130개의 공기시료를 대상으로 BTX(benzene, toluene, xylene)을 비롯한 16 종류의 VOCs의 농도수준을 조사하였다. 특히 VOCs의 농도수준에 대한 공간분포를 효과적으로 도식화할 수 있는 방법을 모색하기 위하여 GIS기법을 활용한 Arc/view 프로그램을 사용하여 가솔과 겨울로서 mapping하여 농도분포특성을 조사하였다. 서울시의 VOCs 농도수준은 두차례 모두 대체적으로 강서지역과 강동지역이 강남지역과 강북지역보다 높은 것으로 나타났다. 또한 benzene과 1,1,2-trichloroethan 그리고 bromobenzene을 제외한 나머지 VOCs의 경우 1998년 1월에 조사한 농도수준보다 1997년 11월에 조사한 VOCs 농도수준이 높은 것으로 나타났다. 특히 GIS 기법의 활용 측면에서는 기존의 많은 연구에서 주로 사용해왔던 도식화방법에 비해 비교대상의 대기오염수준을 TM좌표에 의해 분류한 시료채취지점과 주변 지역의 도로점유상황간의 연관성을 한 도면에서 효과적으로 비교·확인 할 수 있었기 때문에 효율적이었다. 또한 경우에 따라서는 단일 오염물질을 대상으로 할 경우 특정한 기호(character), 상징(symbol)을 설정하여 크기에 따라 농도수준의 변화에 대한 도식화가 가능하다는 특성을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 시도한 대기오염관리를 위한 GIS 기법의 활용은 서울시와 같은 특정 대도시뿐만 아니라 보다 소규모 지역까지 기본 데이터베이스 구축이 확대된다면 지역특성에 따른 오염특성을 고려한 오염도 지도 작성 등 활용성의 극대화를 통한 효과적인 대기질 관리에 기여 할 수 있을 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. 김재승, 윤창진. 1999. ESRI ArcView 지리정보 체계, 655, 대영사.
2. 백성욱, 김영민. 1996. 도시에서의 실내·외 주변공기 중 휘발성 유기화합물의 농도측정에 관한 연구, 18(2), 181-197.
3. 서울시정개발연구원. 1994. 서울시 지리 정보 시스템 구축에 관한 연구(Ⅱ): 지리정보시스템 구축지침 및 실험연구, 635.
4. 서창완, 전성우. 1998. 원격탐사와 GIS기법을 이용한 접경지역 토지 피복연구, 환경영향평가학회, 7(1), 11~22.
5. 장영희 외. 1996. 서울시 GIS 기본도 구축을 위한 기술지침 연구, 서울시정개발연구원, 206
6. 정장표, 이승훈, 이승묵. 2000. GIS를 이용한 휘발성유기화합물의 배출특성, 한국대기환경학회 2000춘계 학술대회 논문집, 62~64
7. 조완근. 1996. 휘발성유기물질에 대한 차량 탑승시 노출, 한국대기보전학회지, 제12권, 제2호, 1511~157.
8. 유영대. 2000. 서울시 휘발성 유기화합물질의 지역별 오염도 분석을 통한 위해도 결정, 연세대학교 석사학위논문, 57.
9. 환경부. 1999. 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술 9-2-3, 연세대학교 환경공해연구소.
10. Daisey. J. M., A. T. Hodgson, W. J. Fisk. 1994. Volatile organic compounds in twelve California office buildings, classes, concentrations and sources. *Atmospheric enviro.* 28(22), 3557~3562.
11. Environmental System Research Institute. 1997. Introduction to ArcView GIS, Redland, California.
12. Sigsby. J. E., S. Tejada, W. Ray. 1987. Volatile organic compound emission from 46 in-use passenger cars, *Environ Sci Technol*, 21, 466~475.
13. Stan A., 1995, Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Pub., 294.
14. Wallace. L. A. et al. 1991. Personal exposure to volatile organic compounds, *Environmental Research*, 35, 293~319.
15. Zweidinger. R. B., J. E. Sigsby, S. B. Tejada. 1988. Detailed hydrocarbon and aldehyde mobile source emissions from roadway studies, *Environ Sci Technol*, 22, 956~962.