

연구논문

# GIS를 이용한 TMS측정망 분포의 적정성 분석 The Allocation Analysis of TMS Using GIS

나영우\* · 김종식\*\* · 최병길\*\*\*

Na, Young Woo · Kim, Joong Sik · Choi, Byoung Gil

### 要 旨

본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 TMS측정망의 적정성을 분석하는데 있다. 대기오염자료를 이용하여 TMS 분포의 적정성을 분석한 결과 TMS 주위의 토지이용상태가 변화했음을 알 수 있었다. 토지이용상태에 따른 분포의 적정성을 분석한 결과 현재 대부분의 측정소가 주거지역에 설치되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 TMS의 재배치 및 추가적인 설치가 필요함을 알 수 있었다. 기존의 TMS를 적절한 위치에 이전하고 인구밀도에 따른 차등배분방법을 사용할 경우 추가적으로 설치해야 할 측정소의 수를 최소화 할 수 있음을 알 수 있었다.

**핵심용어** : 대기오염, GIS, 대기오염자동측정망, 대기오염자료, 분포의 적정성 분석

### Abstract

This paper is aimed at allocation analysis of TMS networks using GIS. Allocation analysis by TMS air pollution data in Incheon Metropolitan City shows that the land usage patterns of the TMS surrounding area have been changed. And land usage patterns shows that the most TMS was established in residential area. Therefore, it needs to relocation and additional establishment of TMS. If the existing TMSs would move into appropriate positions and proportional distribution method by means of population would be used, additional establishment of TMS could be minimized.

**Keywords** : Air pollution, GIS, TMS, Air pollution data, Allocation analysis

## 1. 서 론

본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 대기오염측정망의 적정성을 분석하는데 있다. 대기오염측정망은 일정한 지역 내의 기본 자료의 확보와 대기질의 파악, 발생원의 감시 등의 여러 가지 목적에 의하여 우리나라를 비롯하여 선진 각국에서 실시되고 있으며 그 측정망의 수는 날로 증가하고 있다. 특히 일본의 경우는 전국적으로 8,000개 이상의 측정소가 배치되어 있는 것으로 보고되고 있다. 많은 측정지점으로 구성되어 있는 대기오염측정망의 경우 각 측정지점들이 측정소의 목적에 합당하게 위치가 선정되었는지의 여부와 측정망이 전체적으로 경제적인 측면에서 효과적으로 혹은 기술적인 측면에서 적정배치되었는가를 하는 문제는 신중히 고려되어야 한다. 따라서 측정지점의 지역대표성과 적정배치의 방법론에 관한 연구와 논의가 근래에 활발하게 이루어지고 있다. 우리나라에서도 대기 오염현황을 정확히 파악하고 보다 효율적

으로 관리하기 위하여 대기오염측정망의 확충이 요구되고 있는 실정이므로 기존 측정망에 대한 검토와 함께 새로이 신설될 측정소의 적정배치를 위하여 이에 대한 연구가 적실히 요구된다(김용국, 2001). 즉, 많은 인력과 예산이 소요되는 대기오염 측정망의 효율성을 증대하고 또한 측정소에 따른 설치목적의 구분으로 측정망 측정 자료의 올바른 평가와 적절한 활용을 도모하도록 하여야 할 것이다. 따라서 GIS를 이용하여 대기오염측정의 이력을 분석하고 측정지점의 대표성을 분석함으로써 대기오염측정망 분포의 적정성을 분석하고자 한다.

## 2. 대기오염 자동측정망

### 2.1 대기오염 측정망의 배치방법

측정망의 설치 대상지역에서 설치목적에 만족시키기 위하여 측정소의 형태와 이에 따른 측정소의 수, 위치, 측정대상항목, 측정일정, 측정기의 종류, 측정소의 설비 및

2005년 3월 18일 접수, 2005년 3월 23일 채택

\* 주저자, 정희원, 인천대학교 일반대학원 토목환경시스템공학과 박사과정 (survey@incheon.ac.kr)

\*\* 정희원, 인천대학교 일반대학원 토목환경시스템공학과 박사과정 (mail@asiagis.co.kr)

\*\*\* 정희원, 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수 (bgchoi@incheon.ac.kr)

관리체제를 결정하며 아울러 측정망의 합리적인 설계를 위하여 대상지역의 기상조건, 인구분포, 교통량, 지역의 지리·지형적 특성, 발생원자료를 고려해야 될 것이다.

이와 같이 검토되어야 할 여러 가지 상황들 중에서 측정망의 측정소 수의 결정과 위치선정의 일반적인 방법은 결정하려고 하는 대상지역의 인구분포 및 인구밀도를 고려하여 인구밀도가 5,000명/km<sup>2</sup> 이상일 때 그래프에 적용하여 측정지점의 수를 결정하는 WHO권장 그래프에 의한 인구비례에 의한 차등배분방법, 결정하고자 하는 대상지역의 오염농도에 따라서 공식을 이용하여 측정지점의 수를 결정하는 오염농도에 따라 결정하는 방법, 축척 1:25,000 이상의 지도에 일정한 간격(2~3Km)의 바둑판 모양으로 구획을 만들고 그 구획 마다 측정지점을 선정하는 균등배분방법, 측정하려고 하는 대상지역을 대표할 수 있다고 생각되는 지점을 하나 선정하고 지도위에 그 지점을 중심으로 0.3~2Km 간격으로 동심원을 그리고 중심점에서 각 방향(8방향 이상)으로 직선을 그어 동심원과 만나는 점을 측정점으로 선정하는 중심점에 의한 동심원을 이용하는 방법 등이 있다.

## 2.2 대기오염 자동측정망 설치현황

대기오염의 실태를 파악하고 대기질 개선대책 수립에 필요한 기초자료를 확보하기 위해서 환경부를 비롯한 각 지방자치단체에서는 대기오염측정망을 설치 운영하고 있다. 우리나라의 대기오염측정망은 전국 63개 시·군에 총 311개소로 설치목적에 따라 일반측정망과 특수측정망, 운영주체에 따라 국가측정망과 지역측정망으로 구분하고 있으며 일반측정망에는 지역대기, 지역배경, 국가배경, 도로변으로 나뉘고, 특수측정망에는 유해물질, 중금속, 광화학평가, 산성강하물, 시정장애, 지구대기로 나뉘며 2005년까지 총 457개소의 측정소를 설치할 예정이다.

본 연구의 대상지역인 인천광역시에는 대기환경기준 5개 항목(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, PM<sub>10</sub>)과 기상자료 등 총 11개 항목에 대해 대기오염측정소 10개소, 도로변자동차측정소 2개소, 시정거리측정소 2개소를 설치 운영하고 있으며 올해에 대기오염측정소 1개소를 증설할 예정이다. 또한 영종도 신공항과 영종도에 각각 3개소의 대기오염측정망을 설치하여 대기오염현황을 신속하게 파악할 수 있는 시스템을 운영하고 있다.

대기오염자동측정망은 대기오염측정 10개소, 대기굴뚝오염도측정 11개업소 33개소, 하천수질측정 1개소, 폐수배출측정 27개업소 28개소, 하수처리장 3개소로 구성되어 있으며 대기중의 먼지 및 아황산가스 등 대기환경기준 5개항목과 기상자료 등 총 11개 항목의 자료를 대기오염측정소에서 연속적으로 자동 측정하고 있다.

다음 그림 1은 인천지역의 대기오염측정망의 위치를 나타내고 있다.

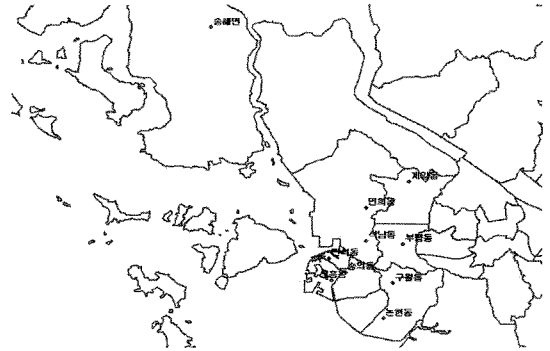


그림 1. 인천지역의 대기오염자동측정망

인천지역의 대기오염측정망의 경우 총 10개소로 그림 1과 같이 분포 되어 있으나 본 연구에서는 측정소간의 거리가 멀고 측정소의 특성 또한 농림지역으로 분류되어 있는 송해면 측정소는 연구 대상에서 제외하였다.

## 3. 측정소 분포의 적정성 분석

### 3.1 대기오염상태에 따른 적정성 분석

대기오염자동측정망의 경우 2002년 12월 증설된 검단 측정소를 제외하고 총 10개 TMS측정망에 대한 이력을 분석하였으며 측정소의 설치 위치에 따라 공업지역, 주거지역, 상업지역, 비오염원지역으로 분류하였다. 다음 표 1은 측정소에 대한 이력을 나타내고 있다.

전체지역의 평균적인 대기질을 측정해야 하는 인근지역규모 측정소는 평균 3Km 이내로 근접해 있으면 비슷한 측정결과가 나올 수 있으며, 이럴 경우 설치기간이 짧은 측정소를 다른 곳으로 이전하는 것을 고려해볼 수 있다(전미경, 1998). 측정소별 상관관계분석에는 2001년도 월평균 대기오염도를 사용하였으며 가스상 물질인 CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>와 입자상 물질인 PM<sub>10</sub>에 대한 오염물질별 상관계수를 산정하였다.

표 2는 측정소간 거리가 3km 이내인 만석동, 송의동, 신흥동 측정소에 대한 오염물질별 상관계수를 나타내고 있다.

만석동, 신흥동, 송의동 측정소는 거리가 약 3Km 이내로 오염물질에 대해 상관도가 다른 측정소에 비해 높게 나타나 유사한 대기오염특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

상관계수의 절대값이 클수록 이들의 비례선형관계가 강하고 통계적으로 밀접하게 관련되어 있음을 나타낸다.

표 1. 측정소 이력

측정소명		설치년도	측정소 이력
만석동	공업지역	'91. 7	인근 공업지역에 산재된 크고 작은 배출원의 영향을 받음
논현동		'96. 7	전용공단내에 산재된 작은 배출원의 영향을 받음
연희동	주거지역	'92. 9	주변이 상업지역으로 소규모의 다수오염원(주택, 상가)이 균일하게 분포
신흥동		'95. 7	인천항내의 곡물 및 고철하역장과 도로운행차량의 영향을 받음 주변배출원 및 도로(40,000대/일)의 영향권
부평동		'99.12	주변이 비교적 균일한 오염원(주택, 상가)이 있고, 북측 2Km 지점에 공단이 위치
구월동		'95. 8	북측으로 대규모의 아파트(구월주공)단지가 산재해 있고, 오염원이 균질
석남동	상업지역	'97. 2	주거지역내에 설치되어 있으나 주변에 목재공장지역에 영향을 받음
계양동		'92. 9	주거지역내에 설치되어 소규모의 균일한 오염원(주택, 상가)의 영향을 받음
송의동		'97.12	측정소주변이 대부분 주거밀집지역으로 다수의 배출원이 균일하게 배치
송해면	비오염지역	'97. 2	강화군의 대기오염현황을 나타냄

표 2. 측정소간의 상관계수

월평균	CO	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
만석동-송의동	0.929428	0.639448	0.294938	0.866792	0.954468
만석동-신흥동	0.885625	0.611856	0.967038	0.830297	0.925467
신흥동-송의동	0.799522	0.874330	0.564807	0.746321	0.974802

즉, 측정소간 대기오염도의 변화 형태가 비례한다는 것을 의미하므로 이 상관계수의 분석으로부터 대기오염도 변화를 결정할 배출원, 배출량, 기상인자, 토지이용 등이 유사할 가능성이 높다고 간주할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 각 측정소에 대해 오염물질간의 상관관계를 분석하고 이를 이용하여 측정소별 상관관계를 분석하였다. 오염물질간의 상관관계 분석에는 대기오염측정 항목 중 주변대기오염 현황에 따라 특성값이 변화하는 가스상 물질들을 사용하였다. 표 3은 측정소별 오염물질간의 상관관계를 나타내고 있다.

표 4는 이러한 오염물질간의 상관관계를 이용하여 구

한 측정소간의 상관계수를 나타내고 있다.

측정소간의 상관계수를 이용하여 각 측정소의 대기오염 특성을 분석한 결과 다음 그림 2와 같이 주거 및 상업지역, 공업지역, 비오염지역으로 그 특성을 분류 할 수 있다.

그림 2에서 원래 공업지역으로 분류되었던 논현동 측정소의 경우 주거 및 상업지역의 측정소와 유사한 특성을 나타냈으며 원래 주거지역과 상업지역으로 분류되었던 송의동과 신흥동 측정소의 경우 공업지역과 유사한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다(표 1 참고). 즉 설치당 시와는 달리 주변지역의 토지이용상태의 변화가 있음을 보여주고 있다.

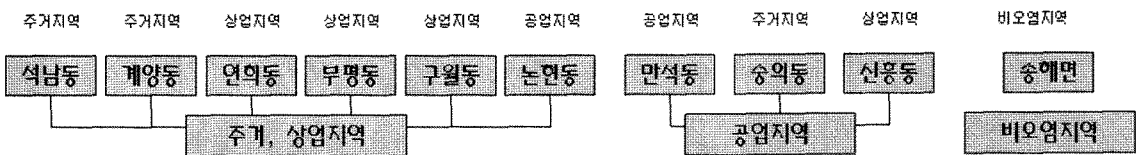


그림 2. 측정소간의 상관관계

표 3. 측정소별 오염물질간의 상관계수

	만석동	연희동	계양동	신흥동	논현동	석남동	부평동	구월동	승의동	송해면
CO-SO <sub>2</sub>	0.38935	0.166673	0.515731	0.834198	0.709481	0.373834	0.155043	0.317999	0.764806	0.720577
CO-O <sub>3</sub>	-0.75201	-0.69887	-0.80045	-0.57047	-0.83264	-0.56855	-0.62617	-0.49375	-0.11384	-0.39408
CO-NO <sub>2</sub>	0.737874	0.598605	0.384158	0.476971	0.741515	0.701736	0.206043	0.694117	0.339558	0.453921
SO <sub>2</sub> -O <sub>3</sub>	-0.16761	-0.05501	-0.09149	-0.47104	-0.47698	-0.00659	0.059744	-0.37814	0.253235	-0.38732
SO <sub>2</sub> -NO <sub>2</sub>	0.126056	0.441315	0.277673	0.421525	0.753121	0.478757	0.739173	0.809339	0.368938	0.537873
O <sub>3</sub> -NO <sub>2</sub>	-0.26167	-0.28135	-0.03071	0.365598	-0.41752	-0.24356	-0.08306	-0.54436	-0.07883	-0.36188

표 4. 오염물질간의 상관관계를 이용한 측정소간의 상관계수

	만석동	연희동	계양동	신흥동	논현동	석남동	부평동	구월동	승의동	송해면
만석동	1									
연희동	0.931301	1								
계양동	0.916453	0.882334	1							
신흥동	0.762978	0.66691	0.874359	1						
논현동	0.901149	0.916858	0.898365	0.834957	1					
석남동	0.959119	0.990162	0.899685	0.705392	0.947775	1				
부평동	0.674245	0.867413	0.800979	0.60603	0.808789	0.824098	1			
구월동	0.812543	0.904725	0.741558	0.648231	0.948754	0.919762	0.800896	1		
승의동	0.752232	0.691192	0.819314	0.656272	0.805427	0.76268	0.610044	0.677623	1	
송해면	0.817658	0.799232	0.822393	0.816471	0.96776	0.858884	0.694952	0.90944	0.854474	1

3.2 토지이용상태에 따른 적정성 분석

각 측정소를 중심으로 주변의 토지이용상태를 분석함으로써 측정소 분포의 적정성을 분석하였다. 토지이용상태의 기초자료로는 환경부의 토지피복도를 기준으로 하여 대기환경의 영향에 따라 주거지역, 상업지역, 공업지역, 교통지역, 비오염지역으로 재분류하였다(최병길, 2004). 그림 3과 그림 4는 측정소의 버퍼링분석과 토지이용상태와의 버퍼링 분석을 나타내고 있다.

그림 3에서와 같이 측정소를 중심으로 버퍼링 분석을 한 결과 논현동 측정소와 계양동 측정소의 경우 주변 측정소와의 거리가 멀어 주변지역을 대표하기에 부족하다. 다음 그림 5와 표 5는 버퍼 범위에 포함된 토지이용상태에 따른 측정소 주위의 면적을 나타낸 것이다.

표 6은 측정소 3Km 및 5Km이내 분포하고 있는 토지이용상태별 면적 비율을 나타내고 있다.

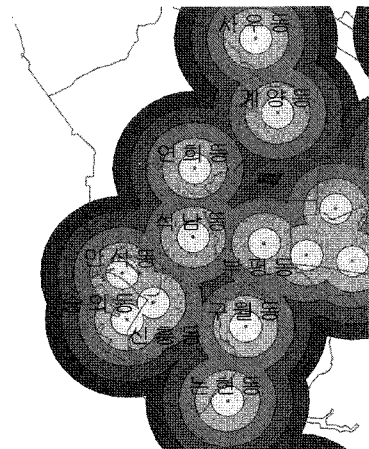


그림 3. 측정소 버퍼링 분석

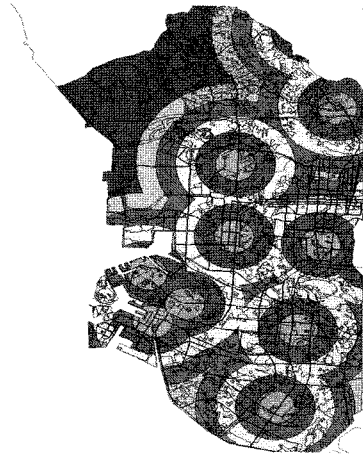


그림 4. 토지이용상태와의 버퍼링 분석

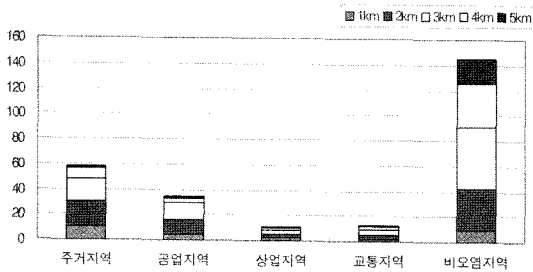


그림 5. 토지이용상태에 따른 측정소 주위의 면적

표 5. 토지이용상태에 따른 측정소 주위의 면적

(단위 : Km<sup>2</sup>)

분류항목	1km	2km	3km	4km	5km
비오염지역	5.5921	21.9341	33.5249	23.8475	11.4837
주거지역	10.3888	19.7927	17.5848	8.7636	1.7568
공업지역	4.1149	11.9299	13.8038	3.2695	1.0689
상업지역	2.5736	2.3605	3.1348	1.6966	0.7920
교통지역	1.7946	3.5105	4.2633	2.5249	0.4436

표 6. 토지이용상태별 면적비율

	비오염지역	주거지역	공업지역	상업지역	교통지역
전체면적대비	37.02%	22.39%	13.13%	4.06%	4.82%
3Km 이내	63.34%	81.95%	87.31%	76.43%	76.32%
5Km 이내	45.47%	27.50%	16.13%	4.98%	5.92%

버퍼링 분석 결과 3Km 이내에 포함된 지역은 전체의 약 60~70%를 차지하고 있으며 5Km 이외의 지역은 전체의 약 10%로 대부분의 지역을 포함하고 있다. 이는 TMS가 대부분 주거지역에 설치되어 있음을 알 수 있다.

### 3.3 인구비례 방법에 의한 적정성 분석

본 연구에서는 측정소 설치 방법 중에서 균등배분방법과 차등배분방법을 이용하여 대상지역에 측정소를 재배치하여 기존 TMS의 설치위치와 비교 분석하여 그 분포의 적정성을 분석하였다. 균등배분방법은 대상지역을 일정한 격자로 나누어 중앙에 측정소를 배치하는 방법이다. 그림 6은 균등배분방법을 이용하여 대상지역을 3×3Km 격자로 나누었을 경우를 나타내고 있다.

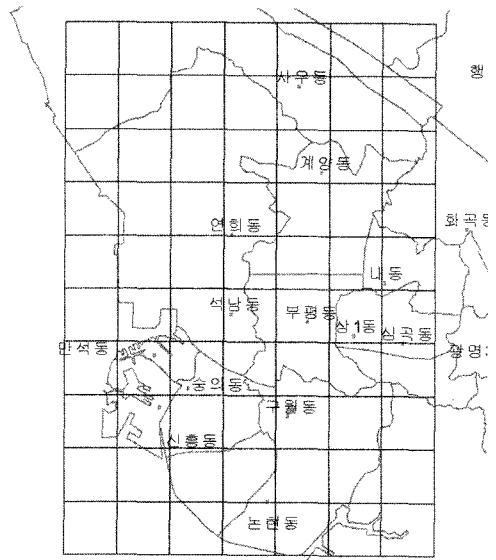


그림 6. 균등배분방법에 의한 측정소 배치

그림 6에서와 같이 대상지역을 3×3Km으로 나누었을 경우 대상지역은 총 36개의 측정소가 배치되어야 하나 실제로는 10개소의 측정소가 설치 운영중에 있다. 측정소의 설치에 소요되는 경비뿐만 아니라 설치에 필요한 기술적인 문제 등의 설치의 문제와 통신망을 이용한 데이터의 전송 및 유지관리의 운영적인 문제들 때문에 이러한 방식보다는 설치 용이성을 우선적으로 감안하여 동사무소나 보건소등 관공서 옥상에 배치하는 것이 관례였으므로, 공업, 상업, 주거지역의 특성이 불분명한 지역이 많아서 측정목적과 측정대상의 현상규모를 설정하기가 어렵다. 따라서 대기오염 측정소별 측정목적과 측정대상 현상 규모가 명확히 설정되어 있지 않아 측정 결과를 대기보전정책에 효율적으로 활용하기에는 한계점을 가지고 있다(전미경, 1998).

차등배분방법으로는 일정지역에 얼마나 많은 측정소를 설치해야 할 것인가를 결정하기 위해서는 인구비례에 의한 방법과 대상지역의 오염정도에 따라 공식을 이용하

는 방법을 사용하는데 인구비례에 의한 방법은 대상지역의 인구분포와 면적에 따라 다음 식을 이용하여 개수를 결정할 수 있다.

$$\text{측정지점수} = \frac{\text{해당지역의거주지면적}}{25\text{km}^2} \times \frac{\text{해당지역의인구밀도}}{\text{전체평균인구밀도}}$$

표 7은 위 식으로부터 계산된 대상지역의 측정소의 개수를 나타내고 있다.

그림 7은 대상지역의 구별 인구밀도를 나타내고 있다.

그림 8에서와 같이 면적과 인구수에 따른 측정소의 개수를 기존에 설치되어 있는 측정소의 개수와 비교하여 보면 연수구, 계양구에 1개소씩, 남구, 부평구에는 2개소씩 추가적으로 설치가 필요함을 알 수 있다. 이는 인구비례에 의한 차등배분방법을 사용할 경우 단순한 거리에

의한 균등배분방법보다 추가적으로 설치해야 할 측정소의 개수가 현저히 줄어들을 알 수 있다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 GIS를 이용한 TMS망의 적정성을 분석하였다. 인천지역의 월평균TMS자료를 이용하여 대기오염현황도를 작성하고, 토지피복도를 이용하여 대기환경의 영향에 따라 주거지역, 상업지역, 공업지역, 교통지역, 비오염지역으로 토지이용상태를 재분류 한 다음 TMS 망의 적정성을 분석하였다. 대기오염자료에 의한 따른 측정소의 적정성 분석에서는 설치당시와는 다른 대기오염특성을 나타내어 TMS 주위의 토지이용상태가 변화했음을 알 수 있었다. 토지이용상태에 따른 분포의 적정성을 분

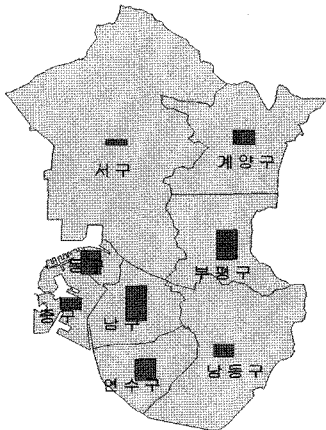


그림 7. 대상지역의 구별 인구밀도

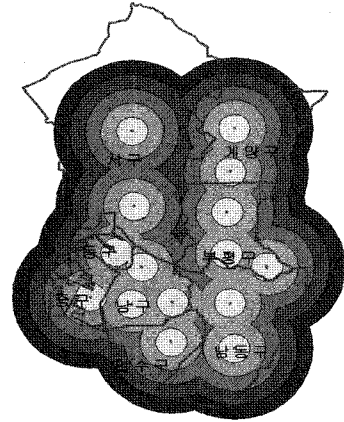


그림 8. 측정소 재배치 후 버퍼링분석

표 7. 대상지역의 측정소수

행정구역	면적(km <sup>2</sup> )	2004년도 인구수(명)	인구밀도(명/km <sup>2</sup> )	측정소수	설치개수
서구	130.09	358,861	2758.6	1.9	2
계양구	44.61	342,097	7668.5	1.8	1
부평구	32.99	556,354	16863.7	2.9	1
동구	6.19	82,811	13378.5	0.4	1
중구	13.72	90,319	6581.0	0.5	1
남구	22.32	437,652	19605.3	2.3	2
남동구	57.86	399,581	6905.4	2.1	2
연수구	21.13	258,044	12210.3	1.3	-
전체	328.93	2,525,719	7678.7	13.2	9

석한 결과 현재 대부분의 측정소가 주거지역에 설치되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 일부 TMS에 대한 적절한 재배치 및 추가적인 설치가 필요함을 알 수 있었다. 기존의 TMS를 적절한 위치에 이전하고 단순한 거리에 의한 균등배분방법보다는 인구비례에 의한 차등배분방법 등을 사용할 경우 추가적인 측정소의 설치를 최소화하여 적은 수의 측정소를 적절히 배치할 수 있음을 알 수 있었다. 향후 대기오염 모델링 기술 등을 활용하여 대기오염현황을 명확히 파악할 경우 TMS 설치 시 합리적이고 과학적인 기초자료로 활용 될 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 인천환경기술개발센터 연구개발사업(과제번호 003-2-4-42)의 지원으로 수행되었던 성과의 일부로 연구비를 지원해주신 인천환경기술개발센터에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 김용국(2001), *Air Quality Management Air Pollutin Modeling*, 한국환경기술진흥원.
2. 전미경, 임동순, 권용식, 박진훈(1998), *경기도 대기오염 측정망의 적정성과 개선방안 연구*, 경기개발연구원.
3. 최병길, 나영우(2004), GIS에 의한 대기오염과 토지용상태와의 상관성분석에 관한 연구, 한국측량학회 2004총계 학술대회.
4. Arturo, T. V. and Ellis, J. H.(1991), Multiobjective air pollution monitoring network design, *Atmospheric Environment* Vol. 25A, No. 2, pp. 469~479.
5. Boubel, R. W. and Stern, A. C.(1994), *Fundamentals of air pollution*, San Diego Academic Press.
6. Choi, B. G., Lee, H. K., Ra, Y. W.(2002), Spatial Analysis of Ambient Air Quality Using GIS, *Korea Journal of Geomatics*.
7. Cressie, N. A. C.(1991), *Statistics for Spatial Data*, John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 900.
8. Liu, D. H., Liptak and Bela, G.(2000), *Air Pollution*, Lewis.
9. Puliafito, E., Guevara, M. and Puliafito, C.(2002), Characterization of urban air quality using GIS as a management system, *Elsevier Envpol*.