

GIS를 이용한 토지이용상태와 대기오염의 상관성 분석

Correlation Analysis of Land Used Pattern and Air Pollution Using GIS

최병길¹⁾ · 김기범²⁾

Choi, Byoung Gil · Kim, Ki Bum

Abstract

This study analyzes the interrelationship with air pollution quality and land used patterns, and analyzes the history and optimal allocation of TMS using GIS. Seasonal air pollution map are made of TMS data in study area, and land used patterns based on Land Cover Classification Map are reclassified as residential area, commercial area, industrial area, traffic concentrated area, and non-polluted area. Pollution sources can be identified through analyzing the correlation of air pollution and land used patterns by GIS spatial overlaying technique. Hence, the result shows that it coincides with the characteristics of conventional air pollution. Air pollution quality measured by TMS shows similar to that of its near stations or the same land used patterns, through the history and allocation analysis of TMS. Therefore, it is need to consider these characteristics in setting TMS positions in the future.

Keywords : GIS, Land use, Land Cover Classification Map, Correlation Analysis

요 지

본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 토지이용상태에 따른 대기오염현황을 분석하고 대기오염측정소 이력 및 분포의 적정성을 분석하는데 있다. 대상지역 TMS자료의 계절별 오염농도로부터 대기오염분포도를 작성하였으며 토지피복지도를 기본으로 하여 토지이용상태를 대기오염특성이 잘 나타나는 주거, 상업, 공업, 교통, 비오염 지역으로 분류하였다. GIS의 중첩분석을 통하여 토지이용상태에 따른 대기오염현황을 분석함으로써 주 오염원을 파악할 수 있었으며 이는 일반적인 대기오염의 특성과 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 측정소 이력 및 분포의 적정성 분석에서는 측정소가 서로 인접하거나 주변 토지이용상태가 유사할 경우 대기오염측정값이 유사하게 나타나며 향후 측정소의 위치선정시 이러한 특성을 고려할 필요가 있음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 지형정보시스템, 토지이용, 토지피복지도, 상관성분석

1. 서 론

본 연구의 목적은 GIS를 활용하여 대기오염과 토지이용 상태와의 상관성을 분석하고 대기오염측정소 이력 및 분포의 적정성을 분석하는데 있다. 우리나라는 1970년대 이후 급격한 산업화에 따른 각종 화학물질의 사용 증가로 인한 대기오염의 심각성이 확대되고 있으며 그 피해가 동식물 뿐 아니라 인간에게도 심각한 영향을 미치고 있다. 이러한 대기오염에 대한 피해를 줄이기 위해 환경부와 지

방자치단체에서는 환경자동감시정보시스템(Telemetry Monitoring System ; TMS)를 설치하여 대기오염도에 대한 측정을 활발히 하고 있으나 자료의 다양한 활용은 아직 미흡한 상태이다. 대기오염은 지역적으로 설치해놓은 고정측정지점과 일시적으로 조사나 연구를 목적으로 설치된 임시측정지점에서 측정되는 대기오염물질의 오염 농도 값을 사용하여 분석하게 된다. 이러한 오염농도 측정값만을 가지고는 수치적 통계분석만이 가능하다. 즉, 대부분의 대기오염측정자료는 공간적으로 독립된 위치와 속성을 가지

1) 연결저자 · 인천대학교 공과대학 토목공학환경시스템공학과 교수(E-mail: bgchoi@incheon.ac.kr)
2) 경인지방 환경관리청 환경관리과(E-mail: kkk009@me.go.kr)

고 있기 때문에 이를 변수로 하여 전지역에 대한 대기오염현황 분석이나 기상인자와 같이 위치에 따라 속성이 연속적으로 변하는 자료를 추정하는 데에는 많은 어려움이 있다(김용국, 2001). 대기오염은 주변지역의 토지이용상태에 따라 각기 다른 오염형태를 보이게 된다. 예를 들어 공업지역의 경우는 연료의 사용으로 인한 SO₂와 CO의 양이 높게 나타나게 된다. 또한 대기오염측정망은 측정목적, 대상, 현상규모를 설정하지 않았기 때문에 이러한 측정소의 측정결과는 대기오염현황을 분석하는데 어려움이 있으며 설치장소 또한 대기오염의 특성을 잘 파악하기 위한 곳이 아닌 관공서의 옥상에 설치되어 있는 경우가 대부분이다(전미경, 1998).

GIS는 위치정보와 속성정보를 동시에 가질 수 있으며 광범위하고 방대한 양의 공간자료를 신속하고 정확하게 분석할 수 있다(최진무, 1998). 또한 공간정보에 대한 수정과 갱신이 용이하고 다양한 시각화가 가능하다. 따라서 대기환경분야에서 주기적으로 생성되는 자료를 보다 효율적이고 합리적으로 관리하기 위해서는 GIS를 이용한 대기오염의 공간분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 TMS로부터 수집된 대기오염 정보를 가지고 토지피복도와 같은 토지이용을 나타내는 정보와의 상관성을 분석하고 측정소 이력 및 분포의 적정성을 분석하는데 그 목적이 있다.

2. 대기오염과 토지이용상태와의 상관성 분석 방법

2.1 토지이용상태 분류

토지이용상태를 나타내는 공간자료로는 환경부에서 제작된 토지특성지도(대분류(1:50,000), 중분류(1:25,000), 세분류(1:5,000)), 건교부에서 제작된 토지이용현황도(1:25,000)와 토지특성도(1:1,000, 1:5000) 등이 있다.

토지피복지도(Land Cover Classification Map, LCCM)는 환경부에서 Landsat TM, IRS-1C영상을 이용하여 크게 3개의 대분류, 중분류, 세분류의 토지피복지도로 나뉜다. 대분류 체계는 1:50,000 축척으로 80년대 말과 90년대 말의 남북한 전역에 대해 구축되어 있다. 중분류 체계는 1:25,000 축척으로 수도권(서울, 인천, 경기)지역에 대해 구축되어 있다. 세분류 체계는 항공사진을 이용하여 1:5,000 축척의 지도로서 6개 시범지역에 대해 구축되어 있다.

토지이용현황도는 1999년 정보화근로사업의 일환으로 건설교통부에서 제작한 지도이며, 토지이용관리법에 의하

여 토지의 피복상태와 이용상태를 분류하여 1:25,000 축척으로 제작된 지도이다. 이러한 토지이용현황도는 중앙정부 및 지자체의 정책수립 및 환경, 수문해석, 오염해석의 연구자료로 활용이 가능하다. 토지이용현황도는 4개의 대분류, 14개의 중분류, 36개의 세분류로 구분되며 제작시 사용된 자료로는 1:5,000 수치지형도, 1:37,500의 항공사진과 1:25,000 임상도이다. 기존의 토지이용현황도는 지도의 문제점으로 인해 토지이용현황도 보다는 토지피복지도가 환경분야에서는 좀더 적합하다(최병길, 2004). 그러나 토지피복지도 또한 12개의 중분류 항목이 있어 대기오염과의 상관성분석에는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 토지피복지도를 기준으로 하여 분류체계를 대기환경에 미치는 영향에 따라 주거지역, 공업지역, 상업지역, 교통지역, 비오염지역으로 재분류하였다. 다음 표 1과 그림 1은 본 연구에서 재분류한 토지이용상태를 나타내고 있다.

표 1. 토지이용상태 분류

토지피복분류(대분류)	토지피복분류(중분류)	재분류
시가화/건조지역	주거지역	주거지역
	공업지역	공업지역
	상업지역	상업지역
	교통지역	교통지역
	위락시설지역 공공시설지역	비오염지역
농업지역	농업지역	
산림지역	산림지역	
초지	초지	
습지	습지	
나지	나지	
수역	수역	



그림 1. 토지이용상태 분류

2.2 토지이용상태와의 상관성분석방법

수집된 공간정보를 대기환경과의 상관성에 따라 면오염원과 선오염원으로 재분류하고 각 분류 항목에 대해 GIS의 그리드 연산, 버퍼링 분석, 중첩 등의 다양한 기법을 통하여 대기오염과의 상관성을 분석할 수 있다. 다음 그림 2는 대기오염현황과 토지이용상태와의 상관성분석 방법을 나타내고 있다.

다음 그림 3은 대기오염상태와 토지이용상태와의 상관

분석의 개념도를 나타내고 있다.

3. 적용 및 분석

3.1 대기오염분포도 작성

본 연구에서는 인천광역시 및 수도권지역의 62개 TMS 측정소에 대한 시간별 대기오염농도 측정값을 수집하고

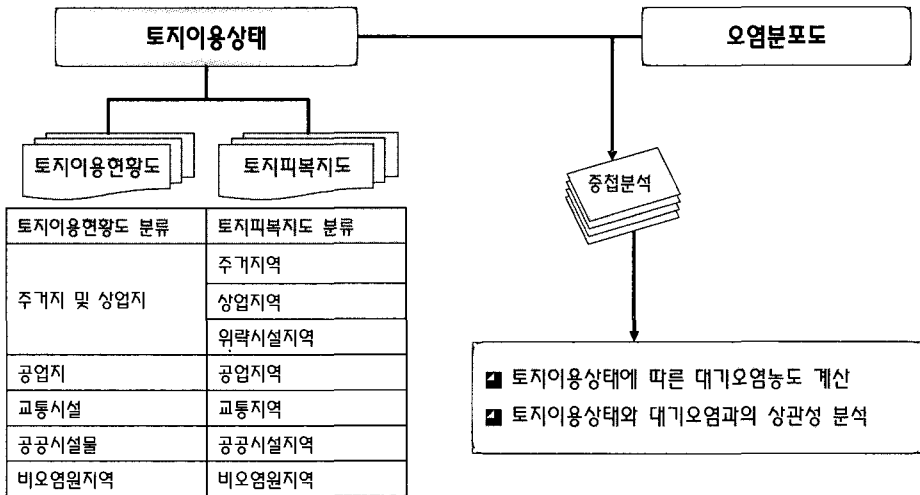


그림 2. 토지이용상태와의 상관성 분석 방법

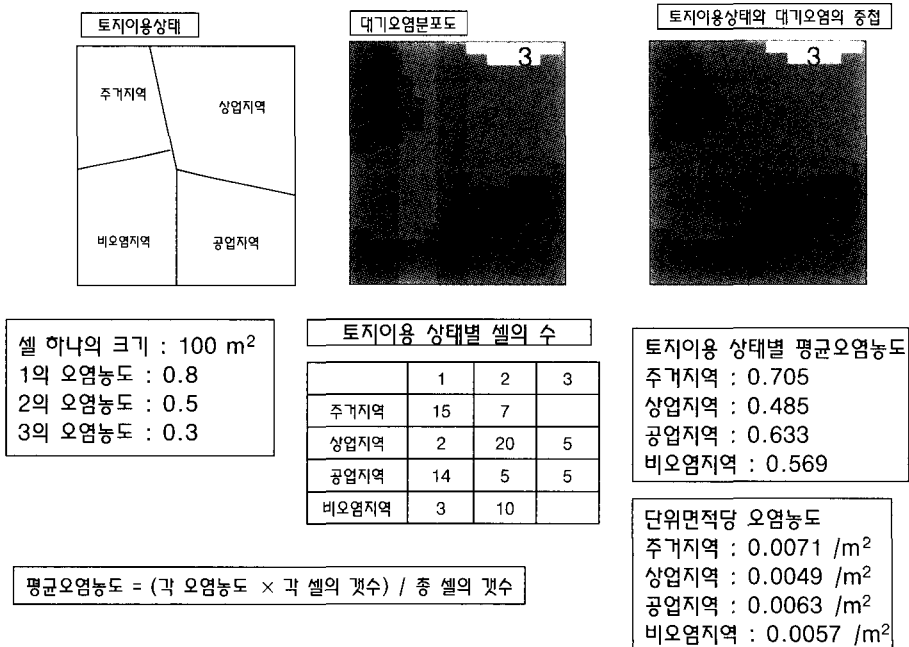


그림 3. 토지이용현황과의 상관분석 개념도

통계학적 처리과정을 거쳐 신뢰성을 확보하였다. 신뢰성이 확보된 자료는 공간데이터베이스로 구축하고 GIS기법을 활용하여 대기오염분포도를 작성하였다.

공간데이터베이스는 공간정보와 속성정보로 구분되는데 공간정보에는 기본도와 측정소 위치정보가 있으며 기본도는 국립지리원에서 발행하는 1/25,000 수치지도에서 구·군경계도를 추출하였다. 측정소 위치정보는 환경부에서 제공하는 TM좌표값을 이용하여 테이블형태로 저장하였다. 속성정보에는 대기오염측정소의 이력과 오염농도가 있으며 측정소별 테이블형태로 저장하였다. 공간정보와 속성정보는 위치와 형상에 관한 관계구조를 부여한 후에 몇 가지 수평과정을 거쳐 분석을 위한 공간데이터베이스로 구축하였다. 다음 그림 4와 그림 5는 대상지역의 대기오염자동측정소의 위치와 측정소별 오염측정자료를 나타내고 있다.

현재 서울과 경인지역에는 총 67개소의 대기오염자동측정망이 설치 운영되고 있다. 본 연구는 서울지역의 26개소,

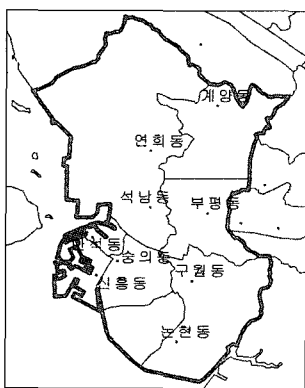


그림 4. 대상지역의 자동오염측정소 위치

구분	측정소명	위도	경도	오염물질	측정값
구분	1	37.515	127.045	PM10	0.15
	2	37.525	127.055	PM10	0.22
	3	37.535	127.065	PM10	0.18
	4	37.545	127.075	PM10	0.25
	5	37.555	127.085	PM10	0.20
	6	37.565	127.095	PM10	0.28
	7	37.575	127.105	PM10	0.15
	8	37.585	127.115	PM10	0.22
	9	37.595	127.125	PM10	0.18
	10	37.605	127.135	PM10	0.25
	11	37.615	127.145	PM10	0.20
	12	37.625	127.155	PM10	0.28
	13	37.635	127.165	PM10	0.15
	14	37.645	127.175	PM10	0.22
	15	37.655	127.185	PM10	0.18
	16	37.665	127.195	PM10	0.25
	17	37.675	127.205	PM10	0.20
	18	37.685	127.215	PM10	0.28
	19	37.695	127.225	PM10	0.15
	20	37.705	127.235	PM10	0.22
	21	37.715	127.245	PM10	0.18
	22	37.725	127.255	PM10	0.25
	23	37.735	127.265	PM10	0.20
	24	37.745	127.275	PM10	0.28
	25	37.755	127.285	PM10	0.15
	26	37.765	127.295	PM10	0.22

그림 5. 측정소별 오염측정자료 입력

인천지역 10개소, 경기지역에 26개소등 전체 62개 측정소의 2001년도의 CO, NO₂, SO₂, O₃, PM₁₀에 대한 시간평균 자료를 기본 자료로 사용하여 통계학적 처리과정을 거친 계절평균값을 사용하여 분석하였다. 평택시 신평동 측정소를 포함한 5개소의 측정데이터는 주변 측정소와의 거리가 멀어 공간추정시 대상지역에서 제외하였다.

3.2 대기오염현황과 토지이용과의 상관성 분석

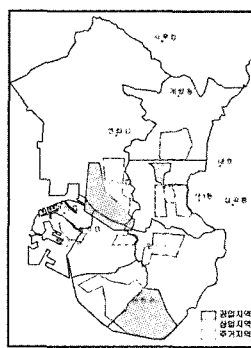
본 연구에서는 토지이용상태를 토지피복지도를 기본으로 하여 2.1절에서 설명한 바와 같이 대기질에 영향을 미치는 영향에 따라 주거지역, 상업지역, 공업지역, 교통지역과 비오염지역으로 분류하였다.

토지피복지도를 기준으로 하여 토지이용상태를 분류하였을 경우 부분적으로 소규모 군락을 이루는 지역이 많아 토지이용특성을 나타내는데 적합하지 않다. 따라서 인천지역의 토지이용상태에 따른 오염특성이 뚜렷하며 규모가 큰 주거지역, 상업지역, 공업지역을 면오염원으로 분류하고 교통량이 많으며 도로의 선형이 뚜렷한 교통지역을 선오염원으로 분류하였다. 비오염지역은 대기환경에 미치는 영향이 적으므로 대상지역에서 제외하였다.

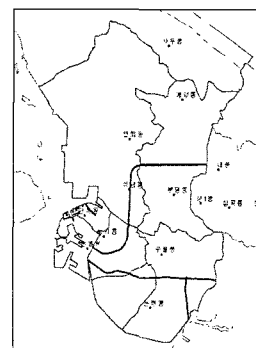
다음 표 2는 토지이용상태에 따른 대상지역의 면적 및

표 2. 연구대상지역의 토지이용상태 분류

구 분	면적 및 길이
주거지역	31.33 Km ²
상업지역	61.18 Km ²
공업지역	28.81 Km ²
교통지역	35.86 Km

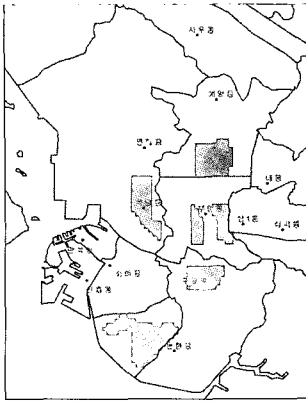


(a) 면오염원

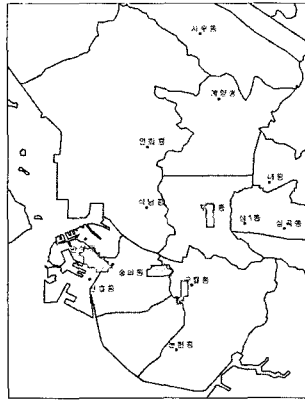


(b) 선오염원

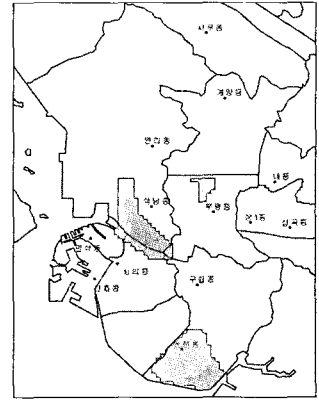
그림 6. 연구대상지역의 토지이용상태 분류



(a) 주거지역

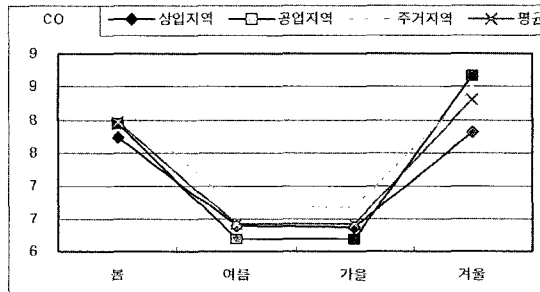


(b) 상업지역

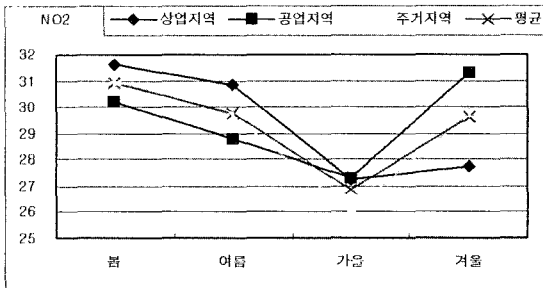


(c) 공업지역

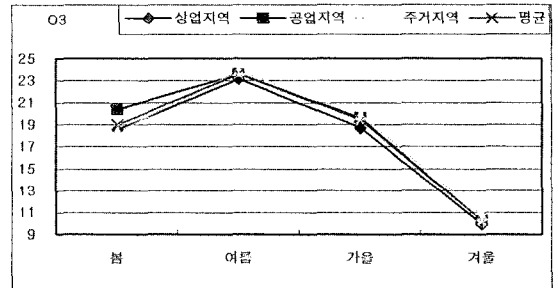
그림 7. 봄철 대기오염분포도(CO)



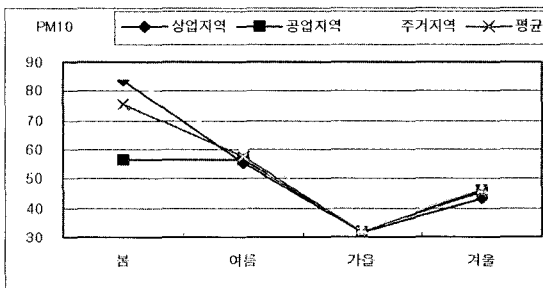
(a) CO



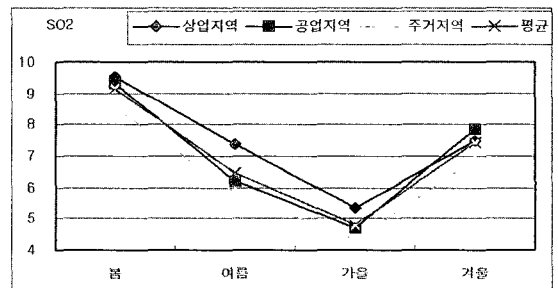
(b) NO₂



(c) O₃



(d) PM₁₀



(e) SO₂

그림 8. 토지이용상태에 따른 계절평균오염도

길이를 나타내고 있다. 그림 6의 (a)와 (b)는 먼오염원과 선오염원에 대한 토지이용상태의 분류를 나타내고 있다.

그림 7은 토지이용상태에 따른 대기오염의 영향이 비교적 적은 비오염지역을 제외한 봄철의 CO의 대기오염분포도를 나타내고 있다.

그림 8은 토지이용상태에 따른 오염물질별 계절평균오염도를 나타내고 있다.

계절별 평균 오염농도와 토지이용상태별 평균오염농도를 비교하였을 때 O₃와 PM₁₀의 경우는 토지이용상태보다는 계절별 영향이 크며 CO, NO₂, SO₂의 경우는 계절별 영향도 있지만 토지이용상태에 따른 변화가 크음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 일반대기오염측정망의 측정자료를 사용하여 대기오염현황을 분석한 것으로 측정 자료로부터 보간된 교통지역의 대기오염도는 그 의미가 미미하다. 따라서 교통지역과 대기오염의 상관관계는 분석하지 않았다.

3.3 측정소 이력 및 분포의 적정성 분석

3.3.1 측정소 이력분석

측정소 이력과 분포의 적정성 분석을 통해 대기오염측정자료와 토지이용상태의 상관관계를 분석하였다. 대상지역 대기오염자동측정망의 경우 2002년 12월 증설된 검단 측정소를 제외하고 총 10개 측정망에 대한 이력분석을 실시하였으며 측정소의 설치 위치에 따라 공업지역, 주거지역, 상업지역, 비오염지역으로 분류하였다. 다음 표 3은 측정소에 대한 이력분석을 나타내고 있다.

대상지역의 대기오염측정소의 이력을 분석한 결과 공업지역, 주거지역, 상업지역, 비오염지역으로 나타났으며 측정소가 주요오염지역에 따라 설치되었다는 것을 알 수 있다. 비오염지역의 경우에는 설치하지 않는 것이 보통이나 대상지역의 지역적 특성이 중국과 인접해 있어 주로 황사현상을 파악하기 위한 설치로 분석할 수 있다.

2001년 월평균 오염자료중 가스상 물질인 CO, NO₂, SO₂, O₃에 대한 오염물질에 따른 상관계수를 계산하고 이

표 3. 측정소 이력

측정소명		설치 년도	측정소 이력
만석동	공업 지역	'91. 7	인근 공업지역에 산재된 크고 작은 배출원의 영향을 받음
논현동		'96. 7	전용공단내에 산재된 작은 배출원의 영향을 받음
연희동	주거 지역	'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	상업 지역	'97. 2	주거지역내에 설치되어 있으나 주변에 목재공장지역에 영향을 받음
계양동		'92. 9	주거지역내에 설치되어 소규모의 균일한 오염원(주택, 상가)의 영향을 받음
승의동		'97.12	측정소주변이 대부분 주거밀집지역으로 다수의 배출원이 균일하게 배치
송해면	비오염 지역	'97. 2	강화군의 대기오염현황을 나타냄

표 4. 오염물질별 상관계수

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

를 오염물질의 상관계수를 이용한 측정소간의 상관계수를 계산하여 측정소의 특성을 분석하였다. 표 4는 오염물질에 따른 각 측정소의 오염물질별 상관계수를 나타내고 있다.

표 5는 오염물질별 상관계수에 의한 측정소간의 상관계수를 나타내고 있다.

표 6은 측정소간 오염물질에 따른 측정소간의 상관계수 중 측정소간의 거리가 인접한 측정소간의 상관계수를 나타내고 있다.

만석동, 신흥동, 승의동 측정소는 오염물질에 대한 상관도가 다른 측정소에 비해 높게 나타나므로 오염도 변화형태가 유사함을 알 수 있다. 또한 측정소간의 상관계수를 이용하여 각 측정소의 특성을 분석한 결과 그림 9와 같이 주거 및 상업지역, 공업지역, 비오염지역으로 그 특성을 분류 할 수 있었다.

그림 9와 같이 공업지역으로 분류된 논현동측정소의 경우 주거 및 상업지역의 측정소와 유사한 특성을 나타냈으며 승의동과 신흥동 측정소의 경우 공업지역과 유사한 특

성을 보이고 있다. 이는 설치당시와는 달리 주변지역의 토지이용상태에 변화가 있음을 보여주고 있다.

3.3.2 측정소 분포의 적정성 분석

각 측정소를 중심으로 한 토지이용상태를 분석함으로써 측정소 분포의 적정성을 분석하였다. 그림 10과 그림 11는 측정소의 위치를 중심으로 한 버퍼링분석과 토지이용상태와의 중첩분석을 나타내고 있다.

그림 12와 표 7은 버퍼 범위에 포함된 토지이용상태에 대한 면적을 나타낸 것이다.

다음 표 8은 범위에 따른 토지이용상태의 면적 비율을 나타내고 있다.

측정소를 중심으로 하여 대상지역내 토지이용상태를 살펴보면 주거지역이 전체지역의 약 49%를 차지하고 있으며 3Km 이내의 지역에서는 50%이상을 차지하는 것으로 나타났는데 이는 대기오염측정소의 위치가 대부분 주거지역에 설치되어 있음을 보여준다.

· 표 5. 오염물질에 따른 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

표 6. 측정소간 상관계수

월평균	CO	SO ₂	O ₃	NO ₂	PM ₁₀
만석동승의동	0.929428	0.639448	0.294938	0.866792	0.954468
만석동신흥동	0.885625	0.611856	0.967038	0.830297	0.925467
신흥동승의동	0.799522	0.87433	0.564807	0.746321	0.974802

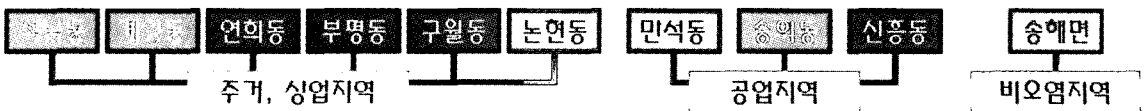


그림 9. 측정소간 상관관계

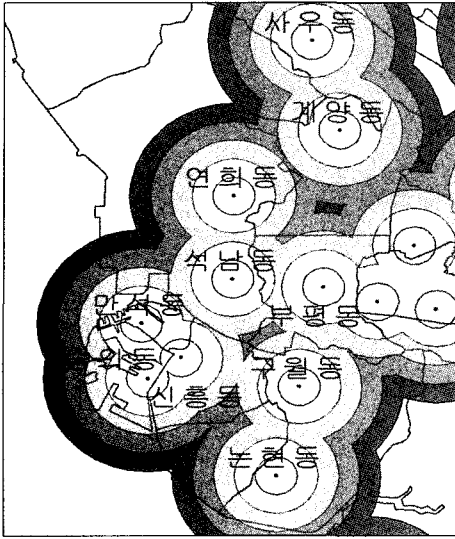


그림 10. 측정소 버퍼링 분석

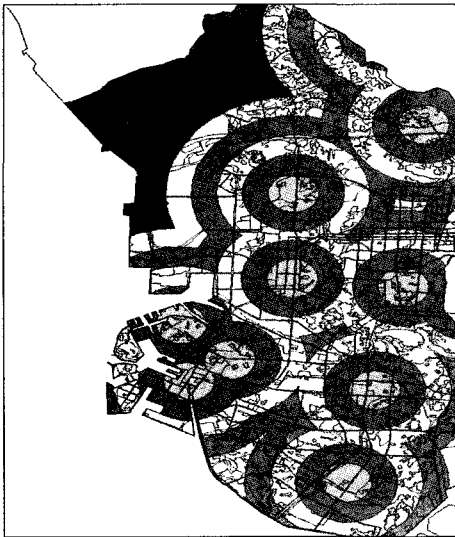


그림 11. 토지이용상태와의 버퍼링 분석

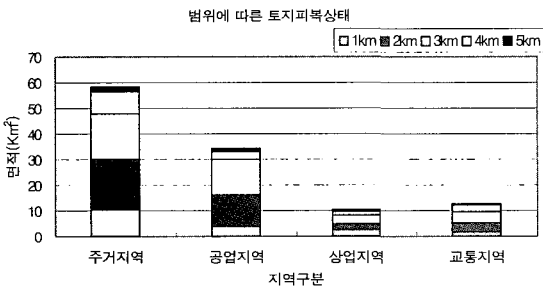


그림 12. 범위에 따른 토지이용상태의 면적

표 7. 범위에 따른 토지이용상태의 면적 (단위 : Km²)

분류항목	1km	2km	3km	4km	5km
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 8. 범위에 따른 토지이용상태의 면적비율 (단위 : %)

	주거지역	공업지역	상업지역	교통지역
전체면적대비	49.07	31.47	8.81	10.65
3Km 이내	50.15	31.34	8.47	10.05

5. 결 론

본 연구에서는 대상지역의 TMS자료로부터 계절별 대기오염분포도를 작성하였으며 토지피복지도를 기본으로 하여 토지이용상태를 대기오염 발생 특성이 잘 나타나는 주거, 상업, 공업, 교통, 비오염 지역으로 분류하였다. 이와 같이 분류된 토지이용도와 대기오염분포도의 GIS 중첩분석을 통하여 토지이용상태와 대기오염의 순수한 상관관계를 분석하였다. 분석결과 토지이용상태에 따른 대기오염의 주 오염원을 파악할 수 있었으며 이는 일반적인 대기오염의 발생 특성과 일치함을 알 수 있었다. 토지이용상태와의 상관분석을 통해 오염원에 대한 정확한 파악과 향후 오염물질의 이동경로의 정확한 추적에 대한 연구가 이루어질 경우 도시계획사업수립 등에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다. 또한 측정소의 이력 및 주위 토지이용상태의 분포현황에 대한 분석을 통하여 측정소가 서로 인접하거나 토지이용상태가 유사할 경우 측정값의 변화추이가 유사하게 나타나며 현재 인천지역의 경우 대부분의 측정소가 주거지역에 설치되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 향후 새로운 측정소의 위치를 결정할 때에는 이러한 점을 감안하여 적절한 배치가 이루어질 수 있도록 할 필요가 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 인천환경기술개발센터 연구개발사업(과제번호 2003-2-4-42)의 지원으로 수행되었던 성과의 일부로 연구비를 지원해주신 인천환경기술개발센터에 감사드립니다.

참고문헌

- 김용국 (2001), Air Quality Management Air Pollutin Modeling, 한국환경기술진흥원.
- 이규성 (1996), 점 관측 기후인자의 공간자료 변환과 응용, The 6th 96 GIS Workshop 캐드랜드.
- 전미경, 임동순, 권용식, 박진훈 (1998), 경기도 대기오염 측정망의 적정성과 개선방안 연구, 경기개발연구원.
- 최병길, 라영우 (2004), GIS에 의한 대기오염과 토지용상태와의 상관성분석에 관한 연구, 한국측량학회 2004춘계 학술대회.
- 최진무 (1998), GIS를 이용한 대기오염 배출량 분포도의 정확도 향상에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- Bouhel, R. W. and Stern, A. C. (1994), *Fundamentals of air pollution*, San Diego Academic Press.
- Choi, B. G., Lee, H. K., Ra, Y. W. (2002), Spatial Analysis of Ambient Air Quality Using GIS, *Korea Journal of Geomatics*.
- Cressie, N. A. C. (1991), *Statistics for Spatial Data*. John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 900.
- Puliafito, E., Guevara, M. and Puliafito, C. (2002), *Characterization of urban air quality using GIS as a management system*, Elsevier Envpol.
-
- (접수일 2004. 9. 10, 심사일 2004. 9. 17, 심사완료일 2004. 9. 24)