

GIS를 이용한 대기오염측정망의 적정성 분석

The Allocation Analysis of Air Pollution Monitoring Stations Using GIS

최병길* · 김종식** · 라영우*** · 이철준****

Choi, Byoung Gil · Kim, Joong Sik · Ra, Young Woo · Lee, Cheol Joon

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

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

*** 인천대학교 일반대학원 토목환경시스템공학과 박사과정(survey@incheon.ac.kr)

**** 인천대학교 일반대학원 토목환경시스템공학과 박사과정(leecj56@hanmail.net)

요 지

본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 대기오염측정망의 적정성을 분석하는데 있다. 측정소 이력, 분포의 적정성, 주위의 토지이용상태의 분포현황 분석을 통하여 인접지역이거나 주변 토지이용상태가 유사할 경우 측정값의 변화추이가 유사하게 나타남을 알 수 있었으며 현재 대부분의 측정소가 주거지역에 설치되어 있음을 알 수 있었다. 또한 대기오염측정소 배치방법에 의한 측정소의 개수를 산정한 결과가 현재 설치되어 있는 측정소의 이전과 추가적인 설치가 필요한 것으로 나타났다. 토지이용상태와의 상관분석을 통해 오염원에 대한 정확한 파악과 오염물질의 이동경로에 대한 추적을 통하여 도시계획사업수립 등에 활용될 수 있을 것이다.

1. 서론

본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 대기오염측정망의 적정성을 분석하는데 있다. 대기오염측정망은 일정한 지역 내의 기본자료의 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 적정배치 되었는가 하는 문제는 신중히 고려되어야 한다. 따라서 측정지점의 지역

대표성과 적정배치의 방법론에 관한 연구와 논의가 근래에 활발하게 이루어지고 있다. 우리나라에서도 환경대기질을 정확히 파악하고 보다 효율적으로 관리하기 위하여 대기오염측정망의 확충이 요구되고 있는 실정이므로 현재 하고 있는 측정망의 검토와 함께 새로이 신설된 측정소의 적정배치를 위하여 이에 대한 연구가 적실히 요구된다. 많은 인력과 예산이 소요되는 대기오염 측정망의 효용성을 증대하고 또한 측정소에 따른 설치목적의 구분으로 측정망 측정자료의 올바른 평가와 적절한 활용을 도모하도록 하여야 할 것이다. 따라서 GIS를 이용하여 대기오염측정의 이력을 분석하고 측정지점의 대표성을 분석함으로써 대기오염측정망의 적정성을 분석하고자 한다.

2. 대기오염 자동측정망

2.1 대기오염 측정망의 배치방법

측정망의 설치는 대상지역에서 설치목적 을 만족시키기 위하여 측정소의 형태와 이 에 따른 측정소의 수, 위치, 측정대상 항목, 측정일정, 측정기의 종류, 측정소의 설비 및 관리체제를 결정하며 아울러 측정망의 합리 적인 설계를 위하여 대상지역의 기상조건, 인구분포, 교통량, 지역의 지리·지형적 특성, 발생원자료를 고려해야 될 것이다. 이와 같 이 검토되어야 할 여러 가지 상황들 중에서 측정망의 측정소 수의 결정과 위치선정의 일반적인 방법은 결정하려고 하는 대상지역 의 인구분포 및 인구밀도를 고려하여 인구 밀도가 5,000 명/km² 이상일 때 그래프에 적용하여 측정지점의 수를 결정하는 WHO 권장 그래프에 의한 방법, 결정하고자 하는 대상지역의 오염농도에 따라서 공식을 이용 하여 측정지점의 수를 결정하는 오염농도에 따라 결정하는 방법, 축척 1:25,000 이상의 지도에 TM 좌표에 따라 2~3Km 간격의 바둑판 모양으로 구획을 만들고 그 구획 마 다 측정점을 선정하는 TM 좌표에 의한 방 법, 측정하려고 하는 대상지역을 대표할 수 있다고 생각되는 지점을 하나 선정하고 지 도위에 그 지점을 중심으로 0.3~2Km 간격 으로 동심원을 그리고 중심점에서 각 방향 (8방향 이상)으로 직선을 그어 동심원과 만 나는 점을 측정점으로 선정하는 중심점에 의한 동심원을 이용하는 방법 등이 있다.

2.2 대기오염 자동측정망 설치현황

대기오염의 실태를 파악하고 대기질 개선 대책 수립에 필요한 기초자료를 확보하기 위해서 환경부를 비롯한 각 지방자치단체에 서는 대기오염측정망을 설치 운영하고 있 다. 우리나라의 대기오염측정망은 전국 63 개 시·군에 총 311개소로 설치목적에 따라 일반측정망과 특수측정망, 운영주체에 따라 국가측정망과 지역측정망으로 구분하고 있으며 일반측정망에는 지역대기, 지역배경, 국가배경, 도로변으로 나뉘고, 특수측정망에

는 유해물질, 중금속, 광화학평가, 산성강하 물, 시정장애, 지구대기로 나뉘며 2005년까 지 총 457개소의 측정소를 설치할 예정이 다.

인천광역시에는 대기환경기준 5개 항목 (SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀)과 기상자료 등 총 11개 항목에 대해 대기오염측정소 10개 소, 도로변자동차측정소 2개소, 시정거리측 정소 2개소를 설치 운영하고 있으며 올해에 대기오염측정소 1개소를 증설할 예정에 있 다. 또한 영종도 신공항과 영흥도에 각각 3 개소의 대기오염측정망을 설치하여 대기오 염현황을 신속하게 파악할 수 있는 시스템 을 운영하고 있다.

대기오염자동측정망은 대기오염측정 10개 소, 대기굴뚝 오염도측정 11개업소 33개소, 하천수질측정 1개소, 폐수배출측정 27개업 소 28개소, 하수처리장 3개소로 구성되어 있으며 대기중의 먼지 및 아황산가스 등 대 기환경기준 5개항목과 기상자료 등 총 11개 항목의 자료를 대기오염측정소에서 연속적 으로 자동 측정되고 있다. 다음 표 1은 대 기오염 자동측정소의 설치 현황을 나타내고 있다.

표 1. 대기오염 자동측정소 설치 현황

측정소 명	위 치	설치 년도	구 분
만석동	동구 만석동 동구보건소 옥상	'91. 7	준공업지 역
연회동	서구 연회동 서구청 옥상	'92. 9	상업지역
계양동	계양구 계양1동사무소 옥상	'92. 9	주거지역
신흥동	중구 신흥동 조달청 옥상	'95. 3	상업지역
논현동	남동구 논현동 남동공단 2호 공원 사무소 옥상	'96. 3	공업지역
석남동	서구 석남2동 사무소 옥상	'97. 10	주거지역
송해면	강화군 송해면사무소 옥상	'97. 10	농림지역
송의동	남구 송의동 중구보건소 옥상	'83. 8	주거지역
부평동	부평구 (구)부평구청 옥상	'83. 8	상업지역
구월동	남동구 구월1동 사무소 옥상	'87. 7	상업지역

다음 그림 1은 대상지역의 대기오염측정망 의 위치를 나타내고 있다.

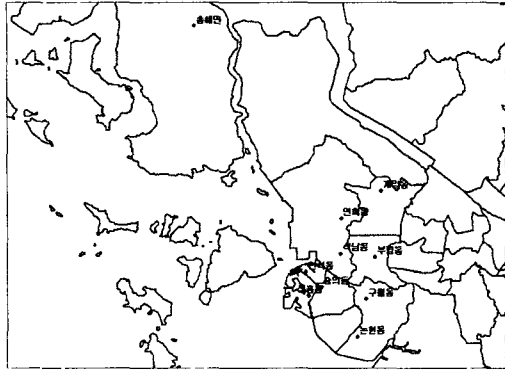


그림 1. 대기오염측정망

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

3. 측정소 이력 및 분포의 적정성 분석

3.1 측정소 이력 분석

대기오염자동측정망의 경우 2002년 12월 증설된 김단측정소를 제외하고 총 10개 측정망에 대한 이력분석을 실시하였으며 측정소의 설치 위치에 따라 공업지역, 주거지역, 상업지역, 비오염원지역으로 분류하였다. 다음 표 2는 측정소에 대한 이력을 나타내고 있다.

표 2. 측정소 이력

측정소명	설치 지역	설치 연도	측정소 이력
만석동	공업 지역	'91. 7	인근 공업지역에 산재된 크고 작은 배출원의 영향을 받음
논현동		'96. 7	전용공단내에 산재된 작은 배출원의 영향을 받음
연화동	주거 지역	'92. 9	주변이 상업지역으로 소규모의 다수오염원(주택, 상가)이 균일하게 분포
신흥동		'95. 7	인천항내의 곡물 및 고철하역장과 도로운행 차량의 영향을 받음
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		'97. 2	주거지역내에 설치되어 있으나 주변에 목재 공장지역에 영향을 받음
계양동	상업 지역	'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

전체지역의 평균적인 대기질을 측정해야 하는 인근지역규모 측정소는 평균 3Km 이내로 근접해 있으면 비슷한 측정결과가 나올 수 있으며, 이럴 경우 설치기간이 짧은 측정소를 다른곳으로 이전하는 것을 고려해 볼 수 있다.(전미경, 1998) 측정소별 상관관계분석 2001년 월평균값 사용, CO, NO₂, SO₂, O₃ 에 대한 오염물질에 따른 상관계수를 계산하고 이를 오염물질의 상관계수를 이용한 측정소간의 상관계수를 계산하여 측정소의 특성을 분석한 결과 표 3과 같이 측정소간의 거리가 3km 이내인 경우로 만석동, 승의동, 신흥동의 측정값들이 유사한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 다음 표 3은 오염물질에 따른 각 측정소의 오염물질별 상관계수를 나타내고 있다.

표 3. 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	-0.82264	-0.56855	-0.62617	-0.49375	-0.11284	-0.39408
CO-NO ₂	0.37874	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	-0.00950	0.059744	-0.37814	0.253235	-0.38732
SO ₂ -NO ₂	0.126066	0.441315	0.277673	0.421525	0.753121	0.478757	0.739173	0.809339	0.368838	0.537873
O ₃ -NO ₂	-0.25157	-0.28135	-0.03071	0.365598	-0.41752	-0.24356	-0.04306	-0.54436	-0.07883	-0.36188

다음 표 4는 오염물질별 상관계수에 의한

측정소간의 상관계수를 나타내고 있다.

표 4. 오염물질에 따른 측정소간의 상관계수

	만석동	연희동	계양동	신흥동	논현동	석남동	부평동	구월동	송의동	송배면
만석동	1									
연희동	0.931301	1								
계양동	0.916453	0.882334	1							
신흥동	0.762978	0.66691	0.874350	1						
논현동	0.901149	0.916858	0.898365	0.834957	1					
석남동	0.959119	0.950162	0.899685	0.705392	0.947775	1				
부평동	0.674245	0.867113	0.800979	0.60603	0.806789	0.824058	1			
구월동	0.812543	0.904725	0.741558	0.648231	0.948754	0.919782	0.900896	1		
송의동	0.752232	0.691192	0.819314	0.656272	0.805427	0.78268	0.610044	0.677623	1	
송배면	0.817658	0.799232	0.822393	0.816471	0.96776	0.858884	0.694932	0.90944	0.854474	1

상관계수의 절대값이 클수록 이들의 비례 선형관계가 강하고 통계적으로 밀접하게 관련되어 있음을 나타낸다. 즉, 측정소간 대기 오염도의 변화 형태가 비례한다는 것을 의미하므로 이 상관계수의 분석으로부터 대기 오염도 변화를 결정할 배출원, 배출량, 기상인자, 토지이용등이 유사할 가능성이 높다고 간주할 수 있다.

표 5. 측정소간 상관계수

월평균	CO	SO ₂	o ₃	no ₂	pm ₁₀
만석동송의동	0.929428	0.639448	0.294938	0.866792	0.954468
만석동신흥동	0.885625	0.611856	0.967038	0.830297	0.925467
신흥동송의동	0.799522	0.87433	0.564807	0.746321	0.974802

위의 표 5에서와 같이 만석동, 신흥동, 송의동 측정소는 거리가 약 3Km로 오염물질에 대해 상관도가 다른 측정소에 비해 높게 나타나므로 오염도 변화형태가 유사함을 알 수 있다. 또한 측정소간의 상관계수를 이용하여 각 측정소의 특성을 분석한 결과 그림 2와 같이 주거 및 상업지역, 공업지역, 비오염지역으로 그 특성을 분류할 수 있었다.



그림 2. 측정소간 상관관계

위의 그림 2와 같이 공업지역으로 분류된 논현동측정소의 경우 주거 및 상업지역의 측정소와 유사한 특성을 나타냈으며 송의동과 신흥동 측정소의 경우 공업지역과 유사한 특성을 보이고 있다. 이는 표 2에서의

설치당시와는 달리 주변지역의 토지이용상태의 변화가 있음을 보여주고 있다.

3.2 측정소 분포의 적정성 분석

3.2.1 기존 측정소 분포의 적정성 분석

각 측정소를 중심으로한 토지이용상태를 분석함으로써 측정소 분포의 적정성을 분석하였다. 다음 그림 3과 그림 4는 측정소의 버퍼링분석과 토지이용상태와의 버퍼링 분석을 나타내고 있다.

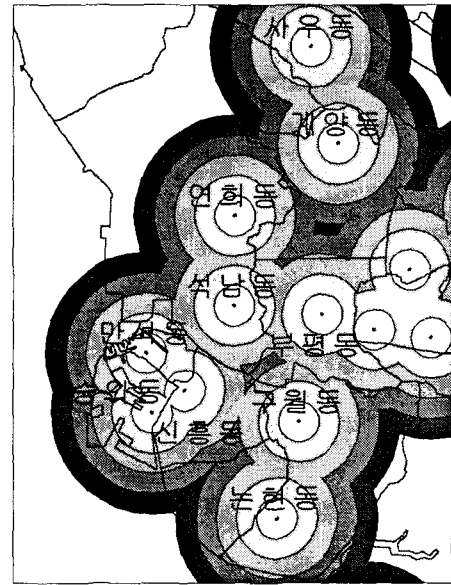


그림 3. 측정소 버퍼링 분석

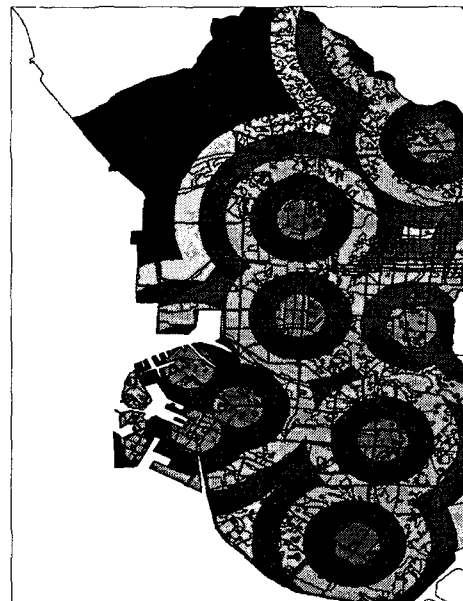


그림 4. 토지이용상태와의 버퍼링 분석

위의 그림 3에서와 같이 측정소를 중심으로 버퍼링 분석한 결과 논현동 측정소와 계양동 측정소의 경우 주변 측정소와의 거리가 멀어 주변지역을 대표하기에 부족하다. 다음 그림 5와 표 6은 버퍼 범위에 포함된 토지이용상태에 대한 면적을 나타낸 것이다.

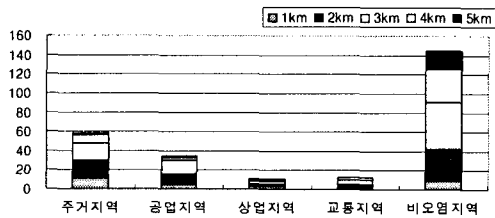


그림 5. 범위에 따른 토지이용상태의 면적

표 6. 범위에 따른 토지이용상태의 면적

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

다음 표 7은 범위에 따른 토지이용상태의 면적 비율을 나타내고 있다.

표 7. 범위에 따른 토지이용상태의 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%

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.

3.2.2 측정소 배치방법에 의한 적정성 분석

본 연구에서는 측정소 배치방법중 TM좌표에 의한 방법으로 대상지역의 측정소를 배치하였을 경우에 대하여 분석하였다. 다음 그림 6은 대상지역을 3×3 Km 격자로

나누었을 경우를 나타내고 있다.

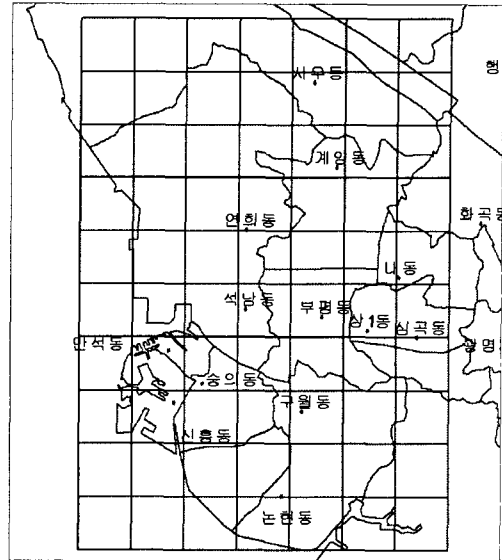


그림 6. TM 좌표에 의한 측정소 배치

위의 그림 6에서와 같이 대상지역을 3×3 Km으로 나누었을 경우 대상지역은 총 36개의 측정소가 배치되어야 하나 실제로는 10개소의 측정소가 설치 운영중에 있다. 측정소의 설치에 소요되는 경비뿐만 아니라 설치에 필요한 기술적인 문제등의 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.

일정지역에 얼마나 많은 측정소를 설치해야 할 것인가를 결정하기 위해서는 인구비례에 의한 방법과 대상지역의 오염도에 따라 공식을 이용하는 방법을 사용하는데 인구비례에 의한 방법은 대상지역의 인구분포와 면적에 따라 다음 식을 이용하여 개수를 결정할 수 있다.

다음 표 8은 아래 식으로부터 계산된 대상

지역의 측정소의 개수를 나타내고 있다.

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

표 8. 대상지역의 측정소수

행정구역	면적 (km ²)	2004년도 인구수 (명)	인구밀도 (명/km ²)	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	1
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

위의 표 8에서와 같이 면적과 인구수에 따른 측정소의 개수를 기존의 설치되어 있는 측정소의 개수와 비교하여보면 남구, 연수구, 계양구에 1개소씩, 부평구에는 2개소를 추가적인 설치가 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 GIS를 이용한 대기오염측정망의 적정성을 분석하였다. 측정소 이력, 분포의 적정성, 주위의 토지이용상태의 분포현황 분석을 통하여 인접지역이거나 주변 토지이용상태가 유사할 경우 측정값의 변화 추이가 유사하게 나타남을 알 수 있었으며 대기오염측정소의 측정범위를 3Km로 볼 때 현재 대부분의 측정소가 주거지역에 설치되어 있음을 알 수 있었다. 또한 TM좌표에 의한 방법에서는 기존 측정소에 2~3배의 추가적인 설치가 요구되며, 면적과 인구수에 의한 방법에서는 4~5개 정도의 추가가 필요한 것으로 나타났다. 토지이용상태와의 상관분석을 통해 오염원에 대한 정확한 파악과 오염물질의 이동경로에 대한 추적을 통하여 도시계획사업수립 등에 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 인천환경기술개발센터 연구개발사업(과제번호2003-2-4-42)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. 김용운(1999), GIS 환경에서 Kriging 보간법을 이용한 이동 오염원 배출량 산정에 관한 연구, 전북대학교 환경대학원 석사학위논문.
4. 이규성(1996), 점 관측 기후인자의 공간자료 변환과 응용, The 6th 96 GIS Workshop 캐드랜드.
5. 윤성원(1997), GIS와 Interpolation기법의 대기환경분야 적용에 관한 연구, 한양대학교 환경대학원 석사학위 논문.

6. Choi, B. G., Lee, H. K., Ra, Y. W.(2002), Spatial Analysis of Ambient Air Quality Using GIS, Korea Journal of Geomatics.
7. 최병길, 라영우(2004), GIS에 의한 대기 오염과 토지용상태와의 상관성분석에 관한 연구, 한국측량학회 2004춘계 학술대회
8. 최진무(1998), GIS를 이용한 대기오염 배출량 분포도의 정확도 향상에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문
9. Boubel, R. W. and Stern, A. C.(1994), Fundamentals of air pollution, San Diego Academic Press.
10. Cressie, N. A. C.(1991), Statistics for Spatial Data. John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 900.
11. Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M.(1989), An Introduction to Applied Geostatistics. Cambridge University Press, Cambridge, p. 409.
12. Liu, D. H., Liptak and Bela, G.(2000), Air Pollution, Lewis.
13. Puliafito, E., Guevara, M. and Puliafito, C.(2002), Characterization of urban air quality using GIS as a management system, Elsevier Environ.
14. Stull, R. B.(1992), Meteorology for Scientists and Engineers, Brooks/Cole, pp. 205-218