한국측지학회지, 제 17 권 제 3 호, pp. 273~282(1999년 9월 30일)

GSIS환경에서 Kriging보간법을 이용한 이동오염원 배출량산정에 관한 연구

A Study on the Estimation of Mobile Source Emission by Kriging Interpolation in the GSIS Environment

성동권* · 김태승** · 정일록*** · 김태근**** · 조기성*****

Sung, Dong-Gwon · Kim, Tae-Seung · Kim, Il-Rok · Jung, Tae-Keun · Cho, Gi-Sung

要 旨

대기환경분야에 GSIS를 활용하기 위해서는 우선적으로 이러한 연속면적 성질을 지닌 대기오염이나 기후인자를 비롯한 연속면(continuous surface)의 특성을 가진 환경인자의 공간분포를 도면화 할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 몇몇의 한정된 지점에서 측정된 점관측(point observation)자료에 의존하여 전 지역의 분포를 추정해야 한다. 본 연구에서는 자동차에 의한 대기오염물질 발생현황을 실질적으로 파악하기 위한 조사·연구의 일환으로 서울시 전지역을 대상으로 실시한 서울시 교통센서스의 자동차 통행량 자료, 오염물질별 배출계수 및 GIS-T용 수치지도등의 자료들을 이용하여 오염물질 배출특성을 지역별, 항목별, 시간별로 가시화 할 수 있는 GSIS기법의 적용성을 검토하고자 하였다.

ABSTRACT

For appling the GSIS on a air environment division, first of all,spatial-distribution of environmental factor which has distinction of continuous surface such as air-pollutant and a factor of weather must be able to be drawn. So we should estimate a distribution of whole area with point observation value which is observed on several restricted point. On this study, we investigate and study the application of GSIS technique which can be visible emission characteristic by regions, items, and time using data such as traffic quantity data, digital map for GIS-T and emission factor of each pollutant of vehicles about whole area of Seoul surveyed by traffic sensus of Seoul to air environmnet division.

1. 서 론

대기환경분야에 GSIS(Geo-Spatial Information System)를 활용하기 위해서는 공간자료를 획득하여야 한다. 그러나, 대기오염도나 기상인자와 같이 그 속성이 위치에 따라 연속적으로 변하는 자료의 경우에는 기존의 방법에 의하여 수치지도로 변환하기에는 여러 가지 제한이 있다. 물론 원격탐측 기술의 발달에 따라 이러한 연속형 자료의 실제 공간분포를 파악할 수 있는 가능성은 증가하고 있으나 실무적인 적용에 이르기까지는 아직 많은 어려움이 있어 전체 대상지역의 위치에 따른 속성을 정확히 실측한다는 것은 거의 불가능한 일이다. 대기환경분야에 GSIS를 활용하기 위해서는 우선적으로 이러한 연속면적 성질을 지닌 대기오염이나 기호인자를 비롯한 연속면(continuous surface)의 특성을 가진 환경인자의 공간분포를 가시화 할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 몇몇의 한정된 지점에서 측정된 점관측(point observation)자료에 의존하여 전 지역의 분포를 추정해야 한다.[1,2]

본 연구에서는 자동차에 의한 대기오염물질 발생현황을 실질적으로 파악하기 위한 조사·연구의 일환으로, 서울시 전지역을 대상으로 실시한 서울시교통센서스의 자동차 통행량 자료, 오염물질별 배출계수 및 GIS-T용 수치지도등의 자료들을 이용하여 오염물질 배출특성을 지역별, 항목별, 시간별로 가시화할 수 있는 GSIS기법의

*전북대학교 대학원 박사과정
**국립환경연구원 자동차공해 연구소 연구관
***국립환경연구원 폐기물연구부 부장
****국립환경연구원 금강수질검사소 연구원
*****전북대학교 공과대학 토목환경공학부 부교수,
전북대학교 공업기술연구소 연구원

적용성을 검토하고자 하였다. 또한 차종별, 오염물질별 배출특성을 이용하여 경유차량과 비경유차량의 지역별 배출분포 특성을 분석하고 현재 서울시 대기오염측정망(20개소 지정)의 각 지점에 대한 오염도를 비교·분석하여 서울시 대기오염과 자동차에 의한 오염물질 배출량과의 상관관계를 분석 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 선오염원에 의한 대기오염물질 배출량 산정 방법 고찰

2.1.1 대기오염물질 배출량 산정방법

대기오염물질 배출원의 분류에 따라 대기오염물질 배출량을 산정하는 방법에는 연료 및 시설별로 단위당 오염물질 배출량을 실측 및 이론계산을 이용하여 산출한 배출계수를 이용하는 방법과 실측을 통한 농도를 이용하는 방법이 있다.

대기중으로 배출되는 오염물질의 양을 정확히 파악하기 위해서는 각각의 배출량에 대하여 실제로 측정하는 것이 가장 정확할 것이다. 그러나 현실적으로 불가능한 일임으로 활동의 종류 및 내용에 따라 대표적이고, 평균적인 값으로 단위화 함으로써 대기중으로 배출되는 오염물질의 양을 쉽게 추정할 수 있게된다.[3,4]

대기오염물질 배출계수란 제품의 생산 또는 연료의 소비등과 같은 일련의 활동과 그 결과적 산물인 배출량 사이의 인과적 기대치로서, 단위 생산량 또는 단위 소비량에 대하여 배출되는 평균적인 대기오염물질의 양을 의미한다. 일반적으로 대상지역으로부터 배출되는 오염물질의 양은 그 지역에 분포되어 있는 오염원의 종류와 규모를 파악하고 배출계수를 이용하여 산정한다.[5]

배출량 산정에는 요구되는 정확도와 정보의 수준에 따라 총량조사(Gross Estimation Inventory), 긴급조사(Rapid Survey), 종합적 조사(Comprensive Inventory)로 나눌 수 있다. 총량조사는 일반적으로 광범위한 지역 단위에서 연료소비, 소각, 산업공정과 같은 자료를 이용하여 년평균배출량을 산정하는 방법이다. 그리고 긴급조사는 면오염원의 자료를 이용하여 다수의 배출원이 존재하는 지역에서 실시되며 지리적 단위는 동일한 연료사용, 토지이용, 지형, 인구밀도로 구분되며 고려시간단위는 년, 계절 평균이다.

종합적 조사는 대기확산 모형의 사용에 적합한 배출원 자료형태로 개발된 것이며, 대상지역의 모든 지역을 격자체계로 구분하여야 하며 배출량이 일정량 이상인 모든 점오염원을 고려해야 한다. 또한 시간단위는 필요에 따라 매시간 단위까지 고려한다. 특히 대기모델링, 교통계획, 토지이용계획 등과 같은 작업을 수행하기 위해서는 매시간별(hourly) 배출원 자료의 수집이 필요하다. 즉, 각 배출원 조사는 수행하고자 하는 연구의 필요성과 경제적 측면, 그리고 현실적 조건 등을 고려하여 진행하여야 한다.

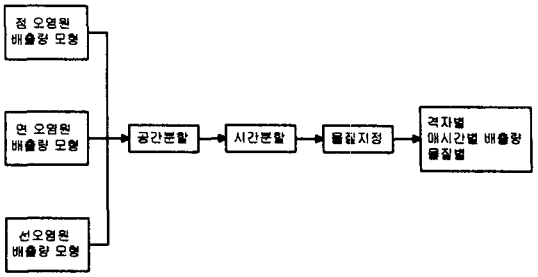

그림 1. 대기오염배출량 산정 모형 흐름도[6]

Ronald와 Dickson(1991)[5]은 지역단위의 대기 모델링을 위해서는 종합적인 배출량산정 모형의 필요성을 제시한 바 있으며, 이는 대기오염물질별 매시간별 격자산정(Gridded, Hourly, Speciated Emission Estimates) 체계로 구축되어야 한다고 주장하였다. 이들이 제시한 배출량산정 모형을 도식화하면 그림 1과 같다.

2.1.2 선 오염원에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법

선 오염원은 자동차, 기차, 비행기, 선박 등을 포함하지만 대부분의 지역에서 문제가 되는 것은 자동차로부터 배출되는 오염물질이다. 자동차로부터 배출되는 오염물질의 양을 알기 위해서는 자동차의 종류, 사용연료 및 도로조건 뿐만 아니라 자동차의 주행상태 등을 고려한 주행패턴을 측정 분석하여 오염물질 배출량을 산정하여야 한다. 따라서 이러한 자동차 배출오염배출오염물질에 영향을 줄 수 있는 여러 인자들을 고려한 배출계수의 개발이 선행되어야 한다.

1) 선 오염원의 배출계수

선 오염원의 배출계수는 운행되는 자동차의 종류가 자주 변하고 배출가스 방지기술이 개선되기 때문에 연구대상지점에 적합한 배출계수를 사용하여야 하므로, 세계 여러 나라들은 각 나라의 자동차 주행상황에 적합한 선 오염원 배출계수를 개발하여 이용하고 있다.

외국의 선 오염원 배출계수로는 자동차의 주행상태에 따라 일본의 10모드, 11모드와 유럽경제공동체에서 사용하는 ECC-15모드와 같이 단순화한 모드가 있으며, 미국 LA-4모드와 같이 주행상태를 그대로 나타내는 Transient 모드가 있다. 우리나라에서는 조강래 등(1989, 1990, 1991)[7]이 서울과 광주지역에서 실제 도로상황의 주행상태를 실험자동차의 평균시속, 4모드시간비율(아이들링, 가속, 정속, 감속), 평균가속률, 평균감속률, 평균회전속도, 평균연료소비량을 측정한 다음, 이를 10단계의 대표주행모드로 선정하여 배기가스를 측정함으로써 자동차배출계수를 산정한 바 있다.

2) 선 오염원 배출량 산정방법 검토

선 오염원의 배출량을 산정하는 방법으로 일반적으로 VKT(Vehicle Kilometer Travelled)를 이용하는 방법, 연료판매량 자료를 이용하는 방법, 각 도로구간의 교통량을 추정하여 산정하는 방법을 들 수 있다.[4]

선 오염원의 배출량 산정시에는 가능한 많은 도로의 교통량과 차량의 주행속도 등의 자료를 확보하여야 하는데, 위의 3가지 방법중에서 VKT방법과 연료판매량 자료를 이용하여 산정하는 방법은 도시지역에 산재해 있는 도로구간의 교통량에 대한 정보를 정확히 반영하기 어렵고 또한 각 도로구간의 주행속도를 고려하기가 어렵다. 따라서 이 두 방법은 해당지역의 실제 도로에서 발생하는 대기오염물질 배출량을 정확하게 산정하기 어려우며, 대기오염모델링 등에 반드시 필요한 대기오염물질 배출량의 공간적 분포를 파악할 수 없다. 하지만, 이 두 방법은 도시 전체지역의 배출량 산정시에는 매우 경제적이며, 간편한 방법이다.

이에 비해서, 각 도로구간의 교통량을 추정하여 배출량을 산정하는 방법은 매우 방대한 작업이지만 각 도로구간의 교통량과 주행속도를 도출해 낼 수 있기 때문에 합리적이고 비교적 정확한 산정방법이다. 또한 하루 중 교통량의 변화를 고려할 수 있다는 장점이 있다. 그리고, 각 도로구간의 교통량과 주행속도를 고려함으로 인하여 오염물질 배출량의 공간적 분포를 파악할 수 있기 때문에 대기오염모델링의 적용이 가능하며 대기오염관리, 교통계획, 토지이용계획 등의 기초자료로 이용할 수 있다. 이 방법을 채택할 경우 일반적으로 도시지역에 산재하는 도로구간의 교통량을 모두 실측할 수 없다는 점에서 비추어 볼 때 교통수요모형의 정확도는 선오염원 배출원 산정의 정확도를 크게 좌우한다. 따라서 선 오염원 배출량을 정확히 산정하기 위해서는 교통량과 주행속도를 산출하는 교통수요모형의 합리적인 적용이 선행되어야 한다.

2.2 보간법

기후인자를 비롯한 연속면의 특성을 가진 환경인자의 공간 분포를 가시화하기 위해서는 몇몇의 한정된 지점에서 측정된 점관측 자료에 의존하여 전 지역의 분포를 추정하게 된다. 특히 대기오염에 관한 자료는 전형적으로 점 측정치의 형태이며, 대기오염의 경우 영구적으로 설치된 일련의 측정소나 특정 연구를 위해 설치된 일시적 측정소에서 자료가 얻어진다.

즉 GSIS에서 가능한 노출평가의 또다른 형태인 오염도 작성(Pollution Mapping)은 본질적으로 미측정지점의 오염도 수준을 추정하기 위한 공간보간의 일종이다. 대부분의 GSIS는 지도제작의 기본으로 사용되어질 수 있는 일련의 보간기법을 제공하며, 이 공간보간기법은 유해성 도식화 차원에서 GSIS를 강력한 도구로 만들 수 있다.

다양한 공간보간기법의 수행 중 최적의 방법은 현재 많은 비교연구에서도 명확하게 제시되지 않았으며 단지 표본밀도와 분포를 고려하여 현상내의 잠재적인 공간변수의 성질을 포함하는 인자의 수에 기인한다. 그리고 최소의 인자수를 결정하는 문제 역시 아직까지는 간단히 정의내릴 수 없는 부분으로 남아있다.[1]

여러가지 보간법중에는 Bilinear 보간법, Cubic convolution 기법, IDW(Inverse distance weighting)법, 그리고, 크리징 보간법등이 있으며, 이중 대기환경분야에서 일반적으로 사용되는 기법인 IDW법과 크리징보간법에 대해 중점적으로 나타내면 다음과 같다.

2.2.1 IDW 법의 일반

가장 일반적인 보간법 중 하나인 IDW법은 인접한 기지점들과 미지점까지의 거리에 따라 비선형적인 가중치를 계산하여 사용하는 것으로 이 방법의 기본 가정은 서로 다른 기지점이 한 미지점에 미치는 영향은 미지점으로부터 기지점까지의 거리에 따라 감소한다는 것으로 측정값은 아래와 같은 식(1)로 표현할 수 있다.

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} Z(x_i) d_i^{-m}}{\sum_{i=1}^{n} d_i^{-m}} \qquad (1)$$

여기서, x는 미지점, 즉 추정하고자 하는 점, d_i는 미

지점에서 주변의 관측소(기지점)i까지의 거리, x_i는 기지점에서의 값들, m은 가중치를 나타낸다. 또한 이식은 다음의 식(2)와 같이 다시 나타낼 수 있는데, 선택값인 가중치 m과 인접 점들의 영향력간에는 연관성이 있음을 알 수 있다. 이 식에서 가중치 m의 값이 커질수록, 더 멀리 있는 포인트들의 영향은 작아지는 것을 알 수 있다.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^{n} Z(x_i)\lambda_i \qquad (2)$$

$$(\text{단 : 경중률}(\lambda_i) = \frac{d_i^{-m}}{\sum_{i=1}^{n} d_i^{-m}},\ m = \text{가중치})$$

IDW법은 2차원적으로 분포하고 있는 점관측자료에 의존하여 결정되는데, 추정하고자 하는 미지점의 오염농도는 관측점으로 부터의 거리에 반비례하여 추정되어진다. 결국 추정값은 미지점에서 가까이 위치한 관측소(기지점)의 자료값에 크게 영향을 받고, 멀리 떨어져 있는 관측지점의 자료값에는 상대적으로 영향을 덜 받게 된다.

IDW법의 경우 비교적 간단한 계산절차에 의하여 미지점의 추정치가 결정되나, 이 방법의 적용에 있어서 입력변수 값의 선정에 다소의 객관성이 결여되어 있다. 즉 주변의 관측값에 의하여 미지점에서의 추정값이 결정되지만, 몇 개의 주변 관측값을 사용해야 할지 또는 미지점에서 얼마만큼 떨어져 있는 경우를 주변이라고 정의해야 할지 모호한 경우가 있다.[2)]

2.2.2 Kriging 보간법의 일반

크리징 보간법은 IDW법과 마찬가지로 주변관측값을 이용하여 미지점의 값을 추정하는 방법이지만, 위의 식(1)에서 경중률 λ_i를 선택하는데 있어 이론적으로 보다 설득력이 있는 과정을 통해 계산된다. 다시 말해서 미지점의 값을 추정하기 위해 IDW법과 같이 단순한 거리에 관한 함수, 즉 기하학적 의미에서의 거리의 개념보다는 통계학적인 의미의 거리로부터 유도된 semivariance를 계산하고, 경중률 λ_i를 계산하기에 앞서 점관측자료들의 공간적 구조와 상호관련성을 검증하는 그림 2와 같은 semivariogram모형을 개발하고 이로부터 적절한 수학적 함수모델을 선택하고 이용하여 추정에 필요한 주변값들을 결정하는 최적화기법을 적용하기 때문에 크리징 보간법은 최적의 선형추정방법(Vest Linear Unbiased Estimator)이라 불린다.[8,9)]

1) Semivariogram

대부분의 경우에 표준편차(또는 평균제곱근오차)는 크기만을 갖는 스칼라값으로 식(3)과 같이 정의되어지는데, 크기뿐만 아니라 방향의 의미를 갖는 벡터값으로서의 semivariance는 표준편차(또는 평균제곱근오차)의 1/2인 식(4)와 같이 정의되어진다.[10,11)]

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{N-1}} \qquad (3)$$

s : 표준편차(평균제곱근 오차)

N : 관측횟수

x_i : i지점에서의 관측값

x : 관측값들의 최확값

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\sum\{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2}{N}} \qquad (4)$$

$\gamma(h)$: semivariance 값

$z(x_i)$: x_i 지점에서의 관측값

$z(x_i + h)$: x_i 지점에서 거리 h 만큼 떨어진 지점에서의 관측값

N : 거리 h에 의해 나누어진 관측값들 쌍의 갯수

여기서, semivariance $\gamma(h)$는 lag라고 정의되어지는 모든 기지점들간의 각각의 거리 h로부터 계산되어진 것으로 기지점들간의 근원적인 상호관계를 나타내는데 semivariance $\gamma(h)$에서 고려되는 거리 h, 다시말해서 i와 j점간의 거리 h_{ij}와 방향만 다른 h_{ji}는 semivariance $\gamma(h)$가 벡터값이므로 각각 서로 다른 것으로 고려되어진다. 이런 상호관계들은 spherical 모델, circular 모델, exponential 모델, linear 모델등의 semivariance를 묘사하는데 사용하는 몇가지 수학적인 모델로 나타낼 수 있다.

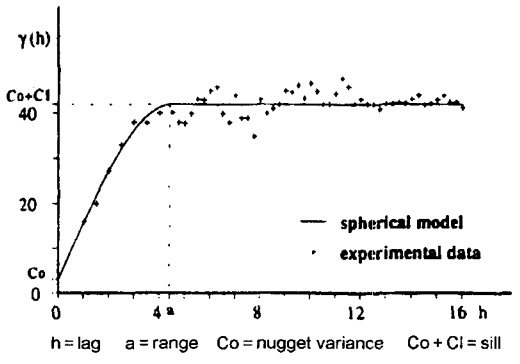

그림 2. Semivariogram

semivariogram의 특징들을 몇가지 수학적 모델중에서 비교적 semivariogram의 특징이 확실하게 표현되어지는 Spherical 모델을 이용하여 나타내면 그림 2와 같다.

그림 2에서 a와 $c_0 + c_1$, c_0는 semivariance의 특성을 나타내는 3가지 요소로서 a는 모든 점들간의 각각의 거리 h가 증가함에 따라 계속증가하는 semivariance $\gamma(h)$가 어느 거리 h에 도달하여 일정해질 때, 그때의 거리 h로 정의되는 것으로 range라고 하고, $c_0 + c_1$는 거리 h가 range에 도달했을때의 semivariance $\gamma(h)$값을 의미한다. 다시말해서 모든 기지점들간의 거리중에서 상대적으로 짧은 거리 h내에서의 semivariance $\gamma(h)$는 거리에 따라 계속 증가하지만 range라 불리는 어느 일정한 거리(a)를 넘어서면 sill($c_0 + c_1$)이라는 상대적인 상수값으로 표현된다. 또한 c_0는 식(4)에서 $h=0$인 경우에 대한 semivariance값 $\gamma(h)$는 당연히 0이 되어야 하지만 샘플링에서의 오류나 기지점들 간의 가장 짧은거리보다 작은 거리안에서의 변동사항등의 몇가지 원인들에 의해 0보다 큰 값을 형성하게 되는데 이것을 나타내는 것으로 nugget effect라고 한다.[11]

그러나, LINEAR 모델과 같이 sill과 range가 존재하지 않고 계속 증가하는 경우에는 sill과 range, nugget effect 대신에 기울기와 절편이 그 특성을 대신한다.

이렇게 semivariogram은 sill의 유무에 따라 Bounded Model과 Unbounded Model으로 나뉘어지며,[11] 적절한 수학적 모델을 선택하는 것은 크리징을 이용한 추정에 큰 영향을 줄 수 있기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다.

2) 크리징 보간법

크리징 보간법에서 보간에 사용되는 경중률은 분포된 전체 기지점의 상호관계 즉, 상호간의 거리에 따른 기지점들의 semivariance에 따라, 기지점 분포구조의 함수에 따라 좌우된다. 기지점의 자료를 이용하여 실제 계산에 의해 구해진 semivariance에 의해 semivariogram을 그리고, 그려진 semivariogram을 이용하여 여러 가지 수학적 함수모델중의 하나를 선택하고 sill과 range, nugget effect의 유무를 판단한 후, 선택된 수학적 모델을 이용하여 보간하고자 하는 미지점과 대상지역안의 모든 다른 기지점들간의 공간적인 상호관계 즉 semivariance를 구한다.

다만, semivariogram을 작성하고, 작성된 semivariogram을 이용하여 여러 가지 수학적 함수모델중의 하나를 선택하거나 조합하는데 있어서 어떤 기준이나 방법이 존재하지 않기 때문에, 가장 적합하다고 생각되는 것을 선택하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

2.2.1 절에서 언급한 바와 같이 IDW법은 미지점에서 값을 보간할 때 고려되는 기지점의 갯수나 영향을 받는 반경의 크기를 선택하는데 있어서 그 기준이 모호하다. 즉, IDW법을 사용할 때 사용자는 분석상의 어떠한 기준없이 가장 가까운 기지점이나 영향반경에 대한 임의의 값을 선택하여야 한다.

그러나, 크리징 보간법은 각 기지점들간의 거리 h_{ij}를 이용하여 식(4)에 의하여 직접 semivariance를 구한다. 이와같이 계산된 semivariance $\gamma(h)$값을 이용하여 각 기지점의 미지점에 대한 경중률 w_i를 산정하며 식(5)를 이용하여 미지점의 값을 추정하게 되어 사용자는 이 값에 대한 보다 명확한 값을 얻을 수 있으므로 보간과정을 좀 더 유용하게 제어할 수 있다.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^{n} Z(x_i) w_i \qquad (5)$$

(단: w_i = 경중률)

크리징 보간법은 공간통계학(Spatial statistics 또는 Geostatistics) 이론에 기반을 둔 공간 추정법으로 위의 IDW법에서 제기되었던 객관성 결여의 문제를 해결한 우수한 공간추정법으로 인정되고 있으므로[1] 본 연구에서는 이 방법을 적용하였다.

3. 적용 및 고찰

3.1 연구 대상지역

연구의 대상지역인 서울시의 개략적인 경위도는 위도 37° 40'~37° 68', 경도 126° 70'~127° 25'에 해당한다. 그림 3은 LANDSAT TM영상을 GIS-T용 수치지도와 중첩하여 작성한 서울시의 영상이다.

3.2 기본자료 입력

3.2.1 도형 자료

도형자료 입력은 표 1과 같이 서울시 행정구역도와 주요간선도로망도, 통행량조사지점도를 선택적으로 입력할 수 있도록 하였다.

3.2.2 자동차 통행량 자료

자동차 통행량 자료는 1997년 12월에 서울시에서 실시한 교통센서스의 총 123개 지점의 코든 · 스크린라인

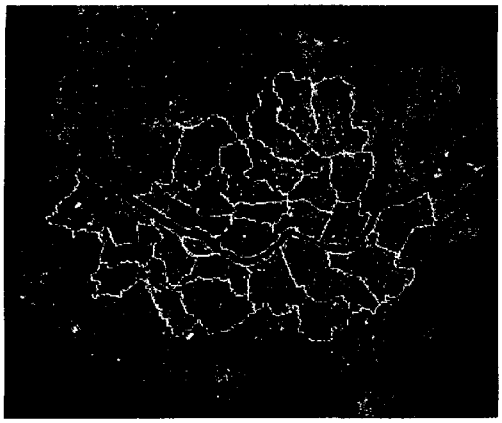

그림 3. 연구대상지역 영상

교통량조사의 결과를 사용하였다. 통행량 자료는 지점별 자동차의 유입, 유출대수로 1시간 간격으로 24시간동안 측정된 자료이며 차종은 승용차, 택시, 승합차, 버스, 화물차(소), 화물차(대), 기타 등 총 7가지 종류로 구분되어 있다. 그러나 본 연구에서는 기타부분의 이륜자동차는 제외하였으며, 화물차(대)를 서울시 화물차 등록대수를 기

표 1. 도형자료 현황

주제도	축척	형 태
행정구역도	1:1000	Polygon
간선도로망도	1:1000	Line
통행량조사지점도	1:1000	Point

표 2. 속도에 따른 배출계수 산정식

구 분		오염물질	계수				배출계수식 (Q:배출계수V:속도)
			a	b	c	d	
승용차	비활성차	CO	15.98530	-0.41328			$Q=aV^b$
		HC	15.60650	-1.04228			$Q=aV^b$
		NOX	-7.137E-05	0.0063548	-0.173834	2.16327	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
	활성차	CO	4.63973	-0.45535			$Q=aV^b$
		HC	1.89441	-0.86393			$Q=aV^b$
		NOX	-4.76E-05	0.0043217	-0.120921	1.26126	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
택시	비활성차	CO	213.02000	-1.02352			$Q=aV^b$
		HC	23.14490	-0.99166			$Q=aV^b$
		NOX	-7.938E-05	0.00685	-0.1804	2.74908	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
	활성차	CO	29.66840	-0.85931			$Q=aV^b$
		HC	3.82000	-0.86513			$Q=aV^b$
		NOX	-4.340E-05	0.00374265	-0.104076	1.46272	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
승합차 (버스소)		CO	4.49487	-0.38195			$Q=aV^b$
		HC	0.54636	-0.47332			$Q=aV^b$
		NOX	-5.266E-05	0.0056	-0.20242	3.5378	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
		PM	0.93170	-0.32943			$Q=aV^b$
버스 (일반버스)		CO	43.67841	-0.38195			$Q=aV^b$
		HC	9.03595	-0.47332			$Q=aV^b$
		NOX	-6.055E-04	0.0644	-2.324565	40.6847	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
		PM	6.40897	-0.32945			$Q=aV^b$
트럭	소형트럭	CO	12.61450	-0.69157			$Q=aV^b$
		HC	1.17083	-0.66245			$Q=aV^b$
		NOX	-4.004E-05	0.004705	-0.1866	3.51259	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
		PM	1.23525	-0.40714			$Q=aV^b$
	중형트럭	CO	19.21806	-0.69157			$Q=aV^b$
		HC	7.96164	-0.66245			$Q=aV^b$
		NOX	-5.689E-05	0.006684	-0.26509	4.99011	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
		PM	2.61167	-0.40714			$Q=aV^b$
	대형트럭	CO	138.42086	-0.69157			$Q=aV^b$
		HC	17.95273	-0.66245			$Q=aV^b$
		NOX	-4.704E-04	0.05527	-2.19181	41.2590	$Q=aV^3+bV^2+cV+d$
		PM	8.29382	-0.40714			$Q=aV^b$

초로하여 화물차(중) : 화물차(대) = 41 : 59의 비율로 구분하여 이용하였다.

3.4 오염물질 배출량의 표현

본 연구에서 고려한 오염물질은 차종별로 비경유차량은 CO, HC, NOx의 3종류로, 경유차량은 CO, HC, NOx, PM 등 4종류를 고려하였다. 자동차로부터 배출되는 오염물질의 양은 자동차의 종류, 사용연료, 주행속도, 누적주행거리 등에 따라 크게 좌우되며, 또한 차종이 같다고 하더라도 주행조건 및 차량의 운행년수 등에 따라 배출계수는 변화한다.

본 연구에서 얻어진 오염물질 배출분포는 시각화를 위하여 상대적인 배출량으로 표현하였으며 배출량을 구하기 위하여 다음 식을 사용하였다.

배출량(톤/년) = 통행량(대수/시간) × 1/차량속도(시간/km)×총 도로길이×일일주행거리(km/일)×배출계수(g/km · 대수)×10^{-6}(톤/g)×365(일/년)

변수로서 차량통행량을 차속으로 나누어 차량밀도를 구하고 여기에 속도별 배출계수식으로부터 얻어진 차속을 곱하여 나타내었다. 이때 차속에 따른 배출계수를 적용하기 위한 배출계수식 및 차량구성비는 「도시지역 대기질 개선에 관한 연구(III)」 (국립환경연구원, 1991)의 자료를 사용하였으며 관련 자료에서 제공되지 않은 대형차량에 대한 배출계수식은 제시된 대형차량 배출계수에 소형경유차의 속도별 배출계수값의 기울기만을 적용하여 배출계수식으로 사용하였다. 본 연구에서 사용한 배출계수식은 표 2와 같다. 또한 차량속도는 (주)LG교통정보에서 제공한 서울시 5000여 지점에서 측정된 1998년 11월 차량속도자료를 기초로하여 서울시 교통 센서스(1997. 12)의 측정지점과 일치하는점을 선택하여 사용하였다.

3.5 오염도 작성

본 연구에서 사용한 소프트웨어는 PC ArcView3.1과 Excel을 사용하였다. Excel은 속도별 배출계수의 산정 및 배출량 계산에 사용하였으며 계산된 결과는 차종별로 *.dbf형식으로 저장하였고 PC ArcView3.1에서 "조사지점도" theme의 속성테이블과 PC ArcView의 Link기능을 이용하여 사용하였다. PC ArcView3.1은 Extension인 Spatial Analysis1.1과 Dialog Designer3.0a를 추가 사용하여 대상지역 전체의 배출량 보간 및 맵핑에 사용하였으며 크리징기법으로 발생오염물질을 보간하였다.

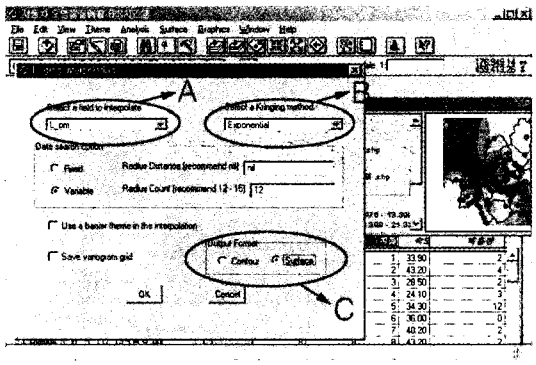

그림 4. Kiging Interpolation 메뉴

표 3. 시간대 분류

시간대구분	총시간	비고
19:00~07:00	12	야간시간대
07:00~09:00	2	출근시간대
09:00~17:00	8	오후시간대
17:00~19:00	2	퇴근시간대

그러나, 본 연구에서 사용한 PC ArcView3.1에서는 크리징 보간법을 지원하지 않기 때문에 본 프로그램의 객체지향 스크립트 언어인 Avenue를 사용하여 작성된 Kriging Interpolation Extension을 사용하였으며 그림 4는 크리징 보간법을 실행 시켰을 때의 화면이다.

그림 4의 A의 콤보박스에서는 theme의 속성 테이블중에서 보간되어질 속성값을 선택하는 항목이고, B의 콤보박스는 semivariogram의 수학적 모델을 선택하는 항목이며, C의 레디오 박스는 보간된 결과의 표현 방식을 설정하는 항목으로 보간 결과는 등농도곡선이나 그리드 형식으로 표현할 수 있도록 하였다.

각 차종별, 오염물질별로 보간하여 각 항목별로 theme을 작성하였으며 동일한 Analysis Properties상에서 Cell 연산기능을 이용하여 각 항목을 합하여 차종별 오염물질의 총합을 구하였다. 그리고 CO, HC, NOx, PM의 오염물질별 총량을 구하였고 이것을 다시 경유차량과 비경유차량으로 구분하였다. 또한 표 3과 같이 시간대를 구분하여 시간대별 단위시간당 오염물질 발생총량을 상대적인 양으로 구하였다.

그림 5는 전 차종 및 모든 오염물질의 총량을 표현한 것으로서 오염물질의 발생은 도심부인 중구에서 가장 많았으며, 도심부를 제외한 지역에서는 영등포구의 올림픽

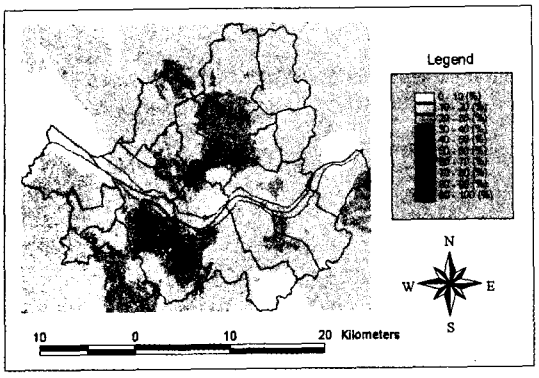

그림 5. 전 차종별 모든 오염원의 총량

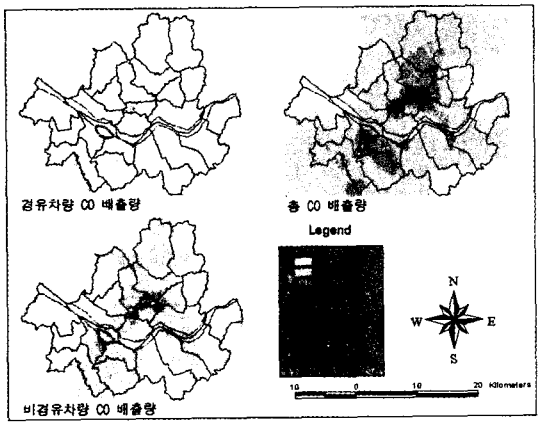

그림 6. 총 CO 배출량

대로변과 관악구의 남부순환도로변 부분이 높게 나타나고 있다. 도심부에서 오염물질 배출량이 많은 것은 외곽도로에서보다 통행량이 적은 반면에 차량속도가 대부분 30 km/h이하를 나타내고 있어 높은 차량 밀도를 갖기 때문인 것으로 보이며, 올림픽대로변과 남부순환도로변의 높은 발생량은 차속에 비해 상대적으로 통행량의 기여도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

그림 6 및 그림 7은 CO 배출량과 HC 배출량을 나타낸 그림으로서 두 경우 모두 그림 5의 총오염물질량과 유사한 형태를 나타내었으며, 경유차량과 비경유차량의 기여도에서는 비경유차량의 기여도가 두 경우 모두 높게 나타남을 보여 주고 있다. 반면에 그림 8은 NOx배출량 분포도로서 분포형태는 CO 및 HC의 경우와 유사하지만 경유차량과 비경유차량의 총배출량의 기여도는 CO 및 HC와는 반대로 경유차량의 기여도가 현저히 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

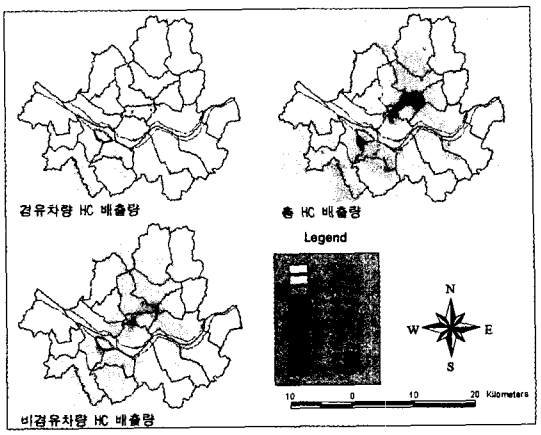

그림 7. 총 HC 배출량

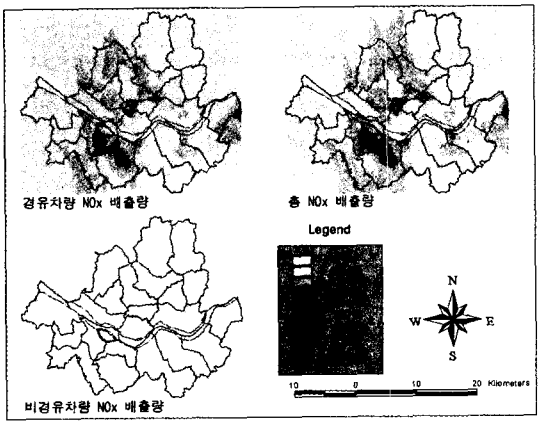

그림 8. 총 NOx 배출량

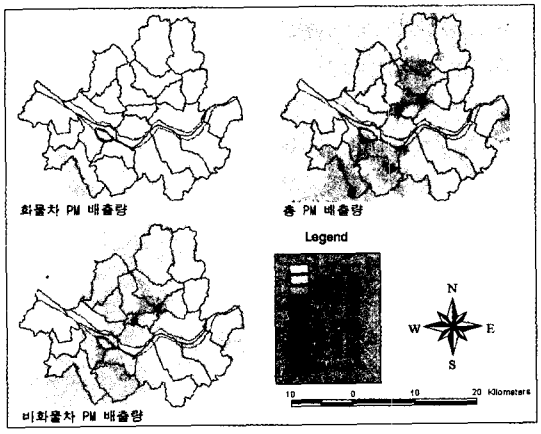

그림 9. 총 PM 배출량

그림 9는 PM 배출분포도로서 화물차의 경우보다 비화물차인 경우, 즉 버스의 기여도가 훨씬 큰 것으로 나

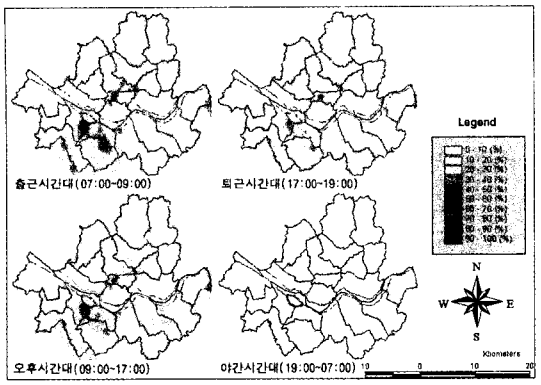

그림 10. 시간대별 총 배출량

타나고 있다. 이는 도심지의 트럭에 대한 통행제한 때문으로 교통제한에 의한 오염물질 배출량 저감방안을 수집하는데 이러한 자료가 활용될 수 있을 것이다.

또한 그림 10은 표 3에서와 같이 시간대를 구분하였을 때 단위 시간당 각 시간대의 총오염물질 배출량을 나타낸 경우이다.

모든 시간대에서 그림 5와 유사한 배출 분포형태를 보이고, 4개의 시간대 중에서는 출근시간대에 오염물질 배출량이 가장 많은 것을 알 수 있으며, 야간에는 다른 시간대에 비하여 거의 배출량이 없는 것으로 나타나고 있다. 이러한 이유는 출근시간대에는 자동차 통행량이 짧은 시간동안(2시간) 집중되기 때문으로 보이며, 퇴근시간대에 오염물질 배출량이 적은 이유는 출근시간대에 비하여 통행량의 집중되지 않기 때문으로 판단된다. 오후시간대에는 출·퇴근시간대에 비교하여 통행량이 많음에도 불구하고 오염물질 배출량이 적은 이유는 오후시간대, 즉 8시간동안 통행량이 분산되고 있기 때문으로 판단된다. 따라서 그림 10에서와 같이 출근시간대에 오염물질 배출량이 집중되고 있어 배출물질 중 NOx, HC등이 낮시간 동안 오존 및 광화학스모그 발생의 원인을 제공하고 있어 출근시간대에 통행량 저감이나 분산 등의 강도 높은 대책이 시급한 것으로 판단된다.

3.6 대기측정망 데이터와 비교분석

서울시 대기측정망에서 관측된 자료와 본 연구에서 각종 교통량으로부터 산출한 오염량을 비교하기 위해 서울시 대기측정지점은 총 20개 지점 중에서 본 연구에서의 통행량 조사지점과 직선거리로 약 1.5 km이상 비교적 멀리 떨어져 있어 상관성 분석에 매우 부적합하다고 판단

표 4. CO데이터(측정값 및 보간값)

측정소명	TM 좌표		CO 보간값 (ton/year)	CO측정값 (ppm)
	가 로	세 로		
시청앞	197.87	451.60	30618	2.3
길음동	202.18	455.92	33732	1.2
마 포	194.80	499.40	14627	1.1
신설동	202.10	452.19	40689	1.5
대치동	204.85	443.65	19584	1.1
신림동	195.90	439.20	48114	1.9
잠실동	207.45	444.80	17541	0.7
한남동	200.49	448.78	15437	1.0
구의동	208.15	449.28	11346	0.7
성수동	204.87	449.81	18641	1.0
쌍문동	203.11	461.83	32385	0.8
구로동	190.88	442.20	22529	0.6
오류동	185.31	443.50	14450	0.6
반포동	199.53	444.79	45742	1.0
화곡동	185.34	449.62	17127	0.8
방이동	211.15	446.35	15928	0.6
남가좌동	192.32	452.40	10532	0.8

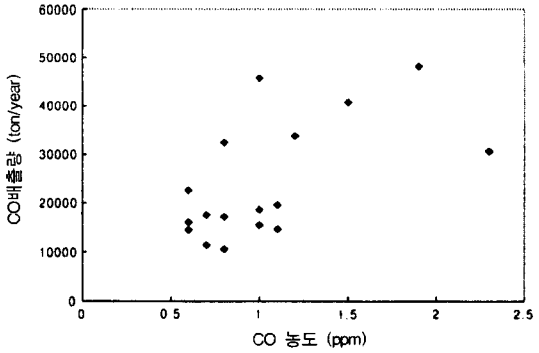

그림 11. 측정량과 보간값과의 관계(CO)

되는 3개 지점(불광동, 문래동, 면목동)을 제외한 총 17개 지점의 데이터를 고려하였으며, 측정값은 1998년도의 월 평균데이터를 이용하였다. 본 연구의 데이터 비교·분석에서 고려한 항목은 CO를 제외한 기타의 오염원은 엄밀히 말하면 동일 오염원이 아니므로 직접적으로 비교하는 것은 문제가 있으므로 본 연구에서는 동일 오염원인 CO만을 고려하였다. CO의 값은 대기측정망과 가장 가까운 통행량 조사지점을 선정하여 각 지점에서 보간된 배출량을 이용하여 비교하였으며, 오염물질 배출량의 보간값은 표 4와 같다.

그림 11은 측정망 자료와 GSIS 환경에서 보간한 값으

로부터 얻은 CO의 관계를 나타내는 그래프이다. CO항목에 대하여 상관분석을 실시한 결과 상관계수는 0.602 정도로 나타났다. 이러한 상관계수는 서울시 대기측정지점이 주요간선도로와는 어느 정도 간격을 두고 위치하고 있어 이동오염원, 즉 자동차로부터 배출되는 오염물질이 확산 및 희석된 후 측정이 된다는 점을 고려할 때 매우 높은 상관계수라고 볼 수 있다.

시간에 따른 농도변화가 작은 CO의 경우 두 값 사이의 상관관계는 대기오염도와 자동차 배출량의 기여도를 평가할 수 있는 요소가 될 수 있을 것이다. 이러한 관점에서 서울시의 대기오염이 자동차의 오염물질 배출량에 상당히 영향을 받고 있음을 확인할 수 있다.

또한, 추후에 보다 정확한 자료를 통하여 자동차 배출량과 대기오염과의 관계를 규명하는 것은 대기오염을 예측하고 관리하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

본 연구결과를 토대로 이동오염원에 대한 GSIS기법을 적용하기 위해 개선되어야 할 점은 지점별로 구체적인 차량통행자료를 확보하는 것이 급선무이며, 지역환경을 고려한 도로별 교통밀도를 얻기 위하여 교통모델을 적용시키고 또한 차량속도에 대해 정확한 배출계수식이 적용되어야 한다. 이러한 기초자료의 확보를 통하여 사용하므로서 각 지점 및 지역에 대한 오염물질 배출량을 정량화할 수 있을 것이다. 또한 이를 토대로 대기오염도와 연계하여 대기질의 개선을 위한 배출저감대책 및 저감량을 산정하는데 활용될 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구는 이동오염원의 오염물질배출량 관리에 있어서 지형공간정보체계의 활용 방안에 관한 연구로서 기존의 공간보간법을 지형공간정보체계 환경하에서 구현하여 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 데스크탑환경하에서 크리징보간법을 객체지향형 스크립트 언어인 Avenue를 이용하여 구현하므로서 GSIS 패키지와 통합운영이 가능하게 하였으며 이동오염원의 오염물질배출량을 표현하기 위하여 크리징보간법을 사용하므로서 기존의 IDW 보간법을 사용하였을 경우 보다 보간법의 객관성을 높일 수 있었다.

둘째, CO 항목에 대하여 GSIS 환경하에서 보간값과 상시관측소의 측정값에 대하여 상관분석을 실시한 결과 상관계수는 0.602으로 나타나 서울시 대기오염 중 CO의 경우는 대기오염이 자동차의 오염물질 배출량에 상당히 영향을 주고 있음을 증명할 수 있었다.

셋째, GSIS를 이용하여 자동차 오염물질 배출특성을 지역별, 항목별, 시간별로 가시화를 가능하게 함으로써 이를 토대로 대기오염도와 연계하여 대기질의 개선을 위한 배출저감대책 및 저감량 산정의 중요한 의사결정 수단으로 활용될 수 있도록 하였다.

끝으로 이동오염원에 대한 GSIS적용을 보다 효율적으로 하기 위해서는 지점별로 구체적인 차량통행자료를 확보하고, 차량속도에 대해 정확한 배출계수식 산정 및 지역환경을 고려한 도로별 교통밀도 산출을 위하여 교통모델과 GSIS와의 연계에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있으며 이러한 토대 위에서 차후 각 지점 및 지역에 대한 오염물질 배출량을 정량화할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 윤성원, 「GIS와 Interpolation기법의 대기환경분야 적용에 관한 연구」, 한양대학교 환경대학원 석사학위논문, 1997.
2. 이규성, 「점 관측 기후인자의 공간자료 변환과 응용」, The 6th 96 GIS Workshop 캐드랜드, 1996.
3. 조억수, 「선오염원에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구-서울지역을 대상으로」, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 1993.
4. 박준대, 「지역정보를 이용한 면오염원 배출량 산정방법의 개발에 관한 연구」, 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문, 1990.
5. Stern, A.C., et al, Ibid, pp. 96-97, 1984.
6. Ronald J. Dickson, William R. Oliver, Emission Models For Regional Air Quality Studies, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 25, No. 9, pp. 1533-1535, 1991.
7. 조강래 등, 「도시지역 대기질 개선에 관한 연구[I(1989), II(1990), III(1991)]-이동배출원의 오염물질 배출부하량 산정을 중심으로」, 1989-1991.
8. Cressie, N. A. C., Statistics for Spatial Data. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 900, 1991.
9. Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M., An Introduction to Applies Geostatics. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 409, 1989.
10. David Glover, Objective Mapping and Kriging, http://kopernik.whoi.edu/12.747/notes/lect05/l05s02.html ~ 105s05.html
11. Phillip Ingram, An Introduction to Geostatistics, http://felix.geog.mcgill.ca/courses/geo506/geostat2/vario.html