

## GIS에 기반한 환경보건감시체계

인하대 사회의학교실 임 중 한

### 1. 서론

#### 1) 지리정보체계(GIS)란?

역학연구에 있어 폭로 평가에 지리적인 접근은 새로운 것은 아니다. 이러한 접근은 19세기 중반 런던의 콜레라의 고전적인 연구로 거슬러 올라 간다 (Snow 1855). 오염의 패턴을 나타내기 위하여 전통적인 지도 테크닉이 비교적 단순한 방법으로 이용되었는데, 보다 정밀한 방법으로 이들 자료를 분석하는 것이 필요하였으며, 최근 들어서야, 지리정보체계(Geographic Information System, GIS)이라는 형태가 이용가능하게 되었다.

컴퓨터화된 지도체계라고 할 수 있는 GIS는 역학연구에서 단순한 지도 자료 이상의 역할을 한다. 그들은 역시 공간적인 형태로 자료를 통합하고, 지리적으로 자료를 분석한다. GIS가 노출 평가와 관련하여 특별한 힘을 부여하게 하는 것이 바로 이러한 능력 때문이다. 자료를 통합하는 능력이란 환경, 인구, 건강에 대한 자료를 가져와서, 서로 다른 공간적인 형태로 모아질지라도 (가령, 다른 스케일의 점, 선, 면 형태와 같이), 이들을 공통적인 지리 자료로 전환시킴을 의미한다. 이들은 이들 자료들을 서로 연결시키고, 결합시키고, 비교함을 뜻한다. GIS에서 가능한 분석능력은 이들 자료가 검색되고, 여러 다른 방법으로 다루어지도록 한다. 예를 들면, 다른 형태의 특성(예를 들면, 사람, 오염원, 오염 측정소)사이의 공간적인 연관성을 조사하게 하고, 이들이 공간적으로 얼마나 가깝게 연계되어 있는지를 결정할 수 있게 한다. 이것들은 같은 특성을 지닌 것들의 공간적인 배열을 확인하게 하고, 모델을 구성하여 그 공간적인 배열을 설명해준다.

#### 2) 지리자료와 GIS

노출평가에 지리적인 접근을 수행하는데 필요한 자료들을 얻는 데는 몇가지 문제들이 있다. 이들 기술들을 사용하는데, 다른 이슈들이 부각되기도 한다: 사용되는 모든 자료들은 지리적인 기준이 잡혀있어야 한다. 이것은 모든 데이터 포인트나 관찰이 2 차원의 공간에 (높이가 중요한 것은 3차원의 좌표에) 정의되어, 동일한 지리적인 시스템으로 연계를 짓는 것이 가능하다는 의미이다. 좌표 설정 (georeferencing)은 여러 가지 다른 방법으로 행해질 수 있다. 때때로 이것은 직접적으로 행해진다: 예를 들면, 측정소 혹은 거주지역은 경도와위도, 혹은 x,y 좌표( 특정지점으로부터의 미터거리)로 위치가 표시될 수 있다. 다른 사례에서는 이들 위치 표시가 간접적일 수 있다. 인구에 대한 정보는 특정 구역, 전체 도시, 지역에 대해서만이 알 수 있어, 그들의 공간적인 연계는 오직 면적으로 정해진다.

자료의 좌표 선정은 여러 가지 핵심적인 기능을 가진다. 첫째, 이것은 모든 사물들의 공간적인 위치를 선정할 수 있게 하고, 지도를 그릴 수 있게 한다. 둘째, 이것은 사물들을 지리적으로 연결시키고, 이러한 방법으로 공통적인 지리적인 기반을 가지게 한다. 셋째, 이것은 사물의 위상(位相)에 대한

정보를 제공한다. 예를 들면, 서로에 인접한 행정구역을 언급할 수 있고, 두 개의 도로가 교차하는 지, 혹은 전선이 어떻게 놓여있는 지에 알 수 있다. 이것은 지도화에 놓인 사물들의 상호 관계를 보다 강력하게 추론할 수 있게 하고, 있을 수 있는 노출의 경로와 과정을 파악할 수 있게 한다.

특히 우리가 생각하는 사물은 우리가 사용하는 분석의 스케일에 의하여 좌우된다. 매립지에 같은 사물은 어느 스케일에서는 면적으로 나타낼 수 있지만, 다른 스케일에서는 점으로 나타내기도 한다. 우리가 어떻게 인식하느냐에 따라, GIS에서 사물의 좌표 설정은 상황과 필요에 따라 달라질 수 있다.

## 2. 폭로 평가에 도구로서의 지리정보체계(GIS)

### 1) 내삽법(Interpolation methods)

Tobler의 지리학의 첫 번째 법칙은 사물에 있어 지리적인 거리가 그 지리적인 성격을 결정하는데 핵심이라는 것을 의미한다. 이것이 사실인 한, 서로 가까이 사는 두 사람은 멀리 사는 두 사람보다는 보다 유사한 노출을 가지는 것으로 보인다. 여러 오염자료가 측정된 자료로부터 얻어질 수 있고, 이것을 근거로 공간의 내삽법은 오염 분포 모델을 구축하는데 사용될 수 있고, 측정된 자료와의 상대적인 근접도를 근거로 하여, 측정되지 않은 위치의 오염정도를 평가할 수 있다. 인구 분포에 대한 지도를 결부시킴으로써, 노출 평가가 될 수 있다. 명시적으로 혹은 암묵적으로, 이러한 원칙은 여러 분야에 노출 평가에 쓰여진다.

내삽법을 시행하는 가장 단순한 방법은 다각형속의 점(point-in polygon) 기술이다. 다각형속의 점 기술의 가장 단순한 형태는 대기오염과 만성적인 건강영향에서 사용되었다. 예를 들면 1993년 Dockey등에 의해 수행된 6개 도시 연구(Six Cities Study)는 각 모니터링사이트에서 얻어진 장기 대기측정자료를 평균하여 각 도시를 분류함으로써, 6개 도시의 오염정도에 따라 사망률을 포함하여, 호흡기질환 발생률을 비교하였다. 특별히 미세분진 (PM<sub>10</sub>)과 SO<sub>2</sub>가 여러 건강결과에 관련하여 강한 연관성을 보였으며, 이 연구의 결과는 세계적으로 채택된 대기 질 지침의 기초가 되었다. 이러한 접근은 대기오염 노출에 있어 한 도시 안에 공간적인 변이를 고려하지 않은 것이다. 만약 한 지역내에 공간적인 변이가 존재한다면, 대기측정소와 지역을 연계하는 근접도를 가지고 시행하는 가장 단순한 GIS방법이 Thiessen 모자이크이다. 이것은 대기측정소 주위에 다각형을 형성하여 도시내 모든 지역이 가장 가까운 대기측정소에 할당되도록 한다.

내삽법을 적용하는 또 하나의 방법이 거리의 역수 가중치 설정법 (Inverse distance weighting)이다. 사용자가 적용할 기능 형태를 정하면, 소프트웨어는 측정소로부터의 거리를 계산하여 그 위치에서의 환경오염 수치를 산출해낸다. 이러한 접근은 가장 가까운 측정소가 다른 측정정보보다도 그 지역의 오염 수치를 잘 반영한다는 Tobler의 법칙을 그대로 적용한 것이다. 어떤 경우에는 거리의 단순 선형 기능(1/d)이 사용되지만, 거리의 영향은 거리에 비례해서 보다는 보다 많이 감소한다는 원칙에 근거하여, 가장 많이 사용되는 것은 거리 자승의 역수(1/d<sup>2</sup>)이다.

노출 모델링의 통계적인 방법론(geostatistics)을 사용하는 것이 내삽법을 적용하는 가장 합리적인 방법으로 받아들여지고 있으며, 이러한 지리통계적인 방법은 여러 방법들이 있는데, 그중 kriging이 가장 알려져 있다. kriging의 여러 방식은 ArcGIS를 포함한 여러 GIS의 표준 기능을 활용해 사용할 수 있다.

## 2) 소스에 근거한 모델링

환경오염물질의 농도나 노출 측정자료가 부족한 것은 많은 경우, 노출 평가에 이들 측정자료에 의존할 수 없음을 나타낸다. 대신, 우리는 오염원, 환경으로의 확산 경로에 대한 자료로부터 노출자료를 만들어 낼 수 있다. 이러한 것은 오염원으로서의 거리와 같은 단순한 프록시(proxy)에 환경으로의 오염물질의 확산과 진행 과정이라는 보다 복잡한 모델에 이르기까지 다양하다.

### (1) 거리와 접근 수단

오염원과의 거리는 유용한 그리고 쉽게 적용할 수 있는 노출 측정수단이 된다. 대기오염분야에서는 가장 널리 쓰여지는 접근방법이기도 하다. 예를 들면, 교통과 관련된 많은 연구는 가장 가까운 도로의 거리와 주변지역에서의 교통량, 교통밀도에 따라서 노출을 분류하고 있다. 근접도는 산업 오염원으로부터의 노출을 분류할 때에도 동일하게 사용되어왔다. 대기오염과 폐암과의 연관성을 연구함에 Barbone 등 (1995)은 사람들이 사는 지역을 토지이용에 근거하여 (시골지역, 주거지역, 혼합지역, 공단지역, 도심지역) 5개의 노출 지역으로 분류하였다. 이 연구에서는 시골지역은 도시 주거지역에 비해 폐암 발생이 낮았고, 공단 및 도심지역은 주거지역에 비해 폐암 발생이 약간 증가되었다. 이러한 접근의 또 다른 사례는 영국 매립지 주변의 저체중아와 선천성기형연구이다 (Elliot 등, 2001). 매립지로부터의 오염물질, 노출경로에 대한 정보가 부족하여 정밀한 확산모델을 적용하기 어려운 상황에서, 이 연구에서는 매립지 반경 2Km 반경내에 거주하는 집단을 노출군으로, 그렇지 않은 군은 비노출군으로 분류를 하였다. 이 연구는 매립지인근 노출군에서 복벽 결손 및 신경관 결손의 선천성기형이 약간 증가된 것으로 보고하였다.

### (2) 확산 모델

우리가 환경 시스템에 대해 보다 많은 것을 알게 되었을 때, 환경오염물질의 환경내 확산과 전달 경로 및 과정을 시뮬레이션하는 보다 복잡한 모델을 적용할 수 있으며, 이로써 보다 현실적이고, 역동적인 노출 평가를 시행할 수 있게 된다. 이렇게 하는 방법중의 하나가 확산모델을 사용하는 것이다. 대기확산 모델은 오염물질의 환경내 발생, 전달, 확산, 운명에 관련하여 수학적인 묘사로 구성되어 있다. 확산모델링은 다른 분야보다는 대기질 분야에서 가장 잘 확립되어있다.

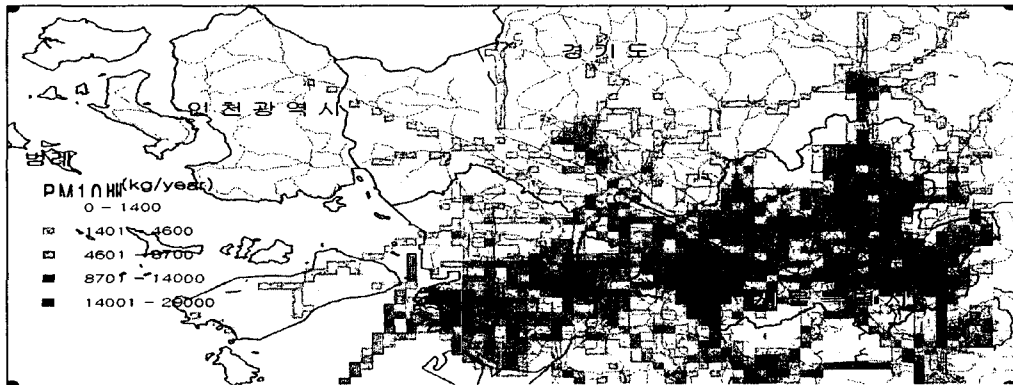
대기확산모델이란 오염물질의 확산 방정식을 이용하여 수용지점에서의 오염물질 농도를 계산하는 방법으로 채택하는 확산 방정식에 따라 대기 오염 확산 평가의 정확도 및 특성이 정해지게 된다. 따라서 대기확산모델의 대상지역의 규모 및 특성, 대상물질 조건에 맞는 확산 방정식을 이용한 대기 확산 모델을 선택하는 것이 중요하다.

현재 국내에서는 고층 및 지표기상 자료를 입력하여 단시간에 대기오염물질의 확산농도를 정상상태로 가정하여 수치 모의하는 ISCST3 모델을 주로 사용하고 있다. 그러나 정상상태를 가정한 Gaussian plume 확산 방정식을 사용하기 때문에 시간별 풍향에 따른 오염물질의 확산을 정확히 고려할 수 없다는 단점이 있다.

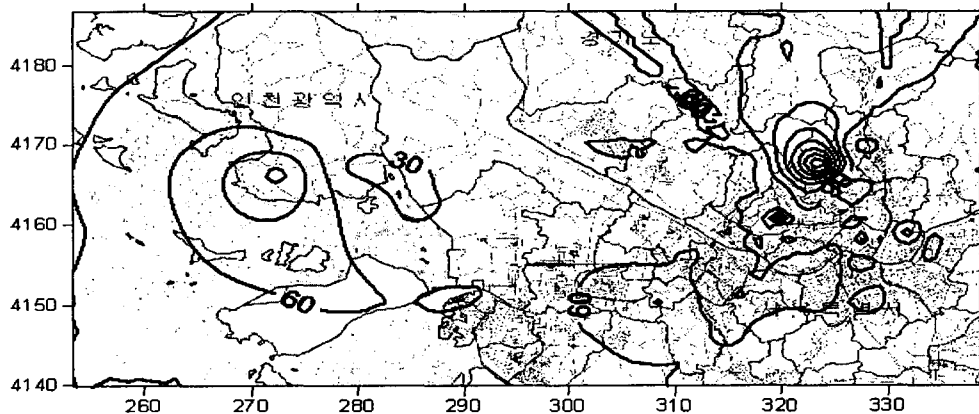
반면, CALPUFF(California Puff) 모델은 비정상상태 모델로서 오염물질이 작은 덩어리인 puff의 형태로 배출된다고 가정하는 Gaussian puff 확산방정식을 사용한 모델이다. CALPUFF 모델은 복잡한 지형에서 장거리 오염물질의 이동시 시간을 고려하여 계산할 수 있는 MESOPUFF II(Mesoscale

Puff model)를 단거리 오염물질 이동도 계산이 가능하도록 개선한 모델로서 지형이 오염물질의 확산에 미치는 영향을 정확히 계산할 수 있는 모델로서, U.S. EPA(2000)가 환경영향 평가에 추천하고 있는 모델이다.

2000년부터 2002년사이 CALPUFF모델을 이용하여 서울, 인천지역의 대기오염도를 예측해보면(임종한, 2005), 계산된 모델링 농도는 CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>는 광화학 반응으로 소멸되는 양을 고려하지 않아 측정소 농도보다 높게 나타났으며, 자연적으로 발생하는 비율이 큰 미세먼지농도는 측정소 농도보다 낮게 나타난다. 서울, 인천지역 전체를 볼 때 바람장, 지형, 오염물질 배출량을 종합해볼 때 서울지역이 높은 CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM10 농도를 보여주고 있다. 인구 1000만명이 넘는 대도시에 대기오염에 취약하다고 알려진 태아, 영유아, 어린이, 65세이상 고령인구, 심혈관 및 호흡기질환의 고위험군 등이 많아 이로 인한 피해 역시 심각할 것으로 파악되고 있다.



<그림 39> 2002년 PM10 선오염원 배출량(kg/yr)



<그림 40> PM10 2002년 연평균 등농도 곡선

### 3. GIS와 건강결과 감시

물리적 그리고 화학적 요인들은 여러 가지 다른 종류의 부정적인 건강 및 환경 영향을 가져올 수 있다. 첫째, 암은 비생식세포에 작용하는 독성 기전에 대한 영향이다. 태아의 사망과 같은 발달상의 영향; 출생시에 관찰되는 구개열(cleft palate)와 같은 구조적인 이상; 중추신경계, 호흡계, 소화계의 생후 기능적인 장애도 비생식세포의 독성 기전으로 나타난다. 생식세포에 DNA 작용 기전이 나타

날 땀, 유전적인 영향이 나타난다. 마지막으로 간, 신장, 폐 및 신경조직과 같은 기관 및 조직 효과는 비생식세포에 작용하는 비유전독성 기전으로 인해 발생한다. 다음은 GIS가 이들 여러 건강결과를 조사하기 위해 어떻게 쓰이는지를 나타내기 위해 사용된다.

### 1) 압

전력으로부터의 가정 전기장을 모델링하기 위해 개발된 GIS는 환자군과 대조군의 침실에서 측정된 자기장의 24시간 측정과 전기선에 근거한 폭로 평가를 시행한 후에 로스엔젤로스에서 소아 백혈병과 유의한 상관관계를 발견하였다(Bowman, 2000). 전기 송전과 배전시스템과 관련된 자기장에 대한 와이어 코드 모델을 개발하기 위하여, 자기장의 노출은 와이어 배열에 따른 비선회귀방정식(nonlinear regression)으로 평가되어졌다(Bowman, Thomas, Jiang, Jiang & Peters, 1999). 또한 288명의 가정에서 24시간 침실에서 노출이 직접 측정되었다. 로스엔젤로스에서의 소아 백혈병에 대한 환자-대조군연구가 관찰된 자기장과 예측된 자기장과 소아 백혈병 사이에 연관성이 분석되어졌다(Thomas, Bowman, Jiang, Jiang & Peters, 1999). 비록 측정된 자기장이 소아 백혈병과 연관이 없었지만, 1.25 미리가우스 이상의 예측된 자기장에서는 그 위해도가 유의하게 높았으며, 유의한 용량-반응관계가 관찰되었다. GIS를 이용하여 전선 위치에 따른 자기장의 공간적인 분포를 파악하는 것이 24시간 측정보다는 소아의 장기적인 자기장 노출을 더 적절히 평가하는 것으로 보인다. GIS는 직접 측정을 하는 것이 아니기에 보다 많은 대상자와 이전의 주거환경도 고려하여 자기장 노출평가를 가능하게 한다. 이것은 분석의 파워를 높인다. 24시간 EMF 측정은 단기 변동에 의해 영향을 많이 받는데, 이는 장기 노출에 대한 신뢰할 만한 자료를 제공해 주지 못한다. GIS 모델은 단지 전선이 위치와 거주자의 위치에 대한 정보만을 요구하기에 자기장 노출에 대한 후향적인 연구 도구로 적합하다. 또한 이 모델은 EMF와 유방암과 같은 다른 암과의 가능한 연관성을 조사하는데도 쓰일 수 있다.

### 2) 출산시의 건강결과

출산시의 건강결과는 다른 환경영향에 가장 민감한 것으로 평가된다(Stallones, Nuckols & Berry, 1992). 중앙 텍사스에 한 지역사회에서 시행된 병원 기반의 사산에 대한 한 환자-대조군연구는 저농도 비소에 만성적인 흡입에 대한 영향을 조사하였다(Ihrig, Shalat, & Baynes, 1998). 비소를 사용하여 살충제를 제조하는 지역의 한 공장은 60년이상이나 가동되었다. 비소 노출 수준이 대기배출량 평가로부터 GIS에 연결된 대기확산모델을 통해 평가되어졌다. 노출은 출산시에 산모의 거주지 주소에 의하여 평가되어졌다. 노출은 이분변수로서 조건부 로지스틱 회귀 모델의 변수로 포함되었다. 노출과 인종/민족성에 대한 상호작용 변수도 인구집단 내 특정 집단이 특정거주지역에 집중되어있다는 것을 반영하도록 포함되었다. 사산의 유병률은 고노출지역에 멕시코계열에서 유의하게 높게 나타난다.

### 3) 혈중 납 농도의 증가

암이나 선천성기형과 같은 건강 자료는 암 등록소(registry)나 생정통계등록기관에서 얻을 수 있

다. 혈중 납농도의 증가와 같은 다른 건강결과는 스크린 프로그램의 일부로 수집될 수 있다. 스크리닝은 “대개 저렴하고 빠르게 적용될 수 있는 테스트나 조사, 혹은 다른 과정을 통해 인식하지 못했던 질환이나 결함을 인식하게 됨”으로 정의된다( Eylenbosch & Noah, 1988, p 279). 비교적 완전한 암 등록이나 생정통계자료와는 다르게, 스크리닝 데이터베이스는 특별히 스크리닝이 강제적이지 않다면, 건강문제의 지리적인 분포를 나타냄에 크게 편향될 수 있다. 납중독과 같은 어떤 건강문제는 독성물질과의 연계가 이미 확립되어있다. 그리고 환경위험요인은 이들 독성물질의 분포와 사람들의 일상생활에서 어떻게 접촉되는나에 의해 이해된다. 이러한 문제에서 GIS 분석은 공중보건 개입 전략을 지지하기 위해 알려진 위험요인들과 건강문제들을 지도에 표현하기위하여 사용된다.

뉴저지에서는 납중독에 관련된 여러 알려진 위험인자에 대한 자료를 지도에 표시하였다. 납을 배출하는 공단지역에서의 TRI와 유해폐기물 사이트 위치에 대한 자료가 얻어졌다. 뉴저지 교통부처로부터 교통량이 많은 도로의 위치를 파악하기 위하여 교통량평가 자료가 이용되었다. 자동차에서 배출되는 납 배출을 평가하기위하여 EPA 납 배출 계수가 적용되었다. 덧붙여서, 1940년이전에 건축된 건축물 수와 5세미만 어린이 수가 일정 기준을 상회하는 지역 정보가 거주지역에서의 납 페인트 노출을 나타내기 위해 수집되었다. 높은 혈중 납농도를 가진 어린이들의 분포와 관련하여 GIS는 이들 자료를 통합하여 납중독의 위험요인들을 표시해준다.

전체적으로, 이러한 분석 결과는 납 오염원들, 민감한 인구집단, 건강결과사이에 공간적인 연계가 있음을 밝히고 있다. 수많은 납오염원과 높은 혈중 납농도가 관찰되는 지역을 파악하는 외에, 분석하다보면, 예상보다 혈중 납농도가 높은 혹은 낮은 지역을 파악할 수 있게 된다. 이러한 결과는 스크리닝 자료와 납 오염원 데이터베이스의 제한점을 시사하는 것이다. 관찰된 공간적인 패턴은 뉴저지 보건당국으로 하여금 납 노출을 예방하기위하여 토양 샘플링과 납 노출연구를 시행하도록 돕고 있다.

국내에서도 시화공단등 일부 공단지역에서 납농도가 환경기준 ( $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 근접해있지만, 납 오염원들, 민감한 인구집단, 납중독으로 인한 건강결과등을 체계적으로 분석하여 납중독으로 건강피해를 예방하려는 시도는 없었다. GIS의 접근은 납중독으로 건강 피해의 대상층과 범위, 오염원의 특성을 용이하게 파악하여 납 중독으로 인한 피해를 예방하도록 하는 효율적인 수단이 될 수 있다.

#### 4. 결론

GIS는 환경유해물질(hazard), 민감집단, 노출, 그리고 건강영향에의 지리적인 분포를 모델링하는데 잘 지원을 함으로써, 위험도 평가(risk assessment)에 기여할 수 있다. GIS는 정해진 유해물질의 규제와 관리 전략의 선택과 실행에 관여하는 사회 및 정치적인 과정인 “환경위해도 평가 (environmental risk assessment)” 에 독특한 역할을 한다. 특정 유해의 규제와 관리를 위해 우선 순위가 정해지면, GIS는 예방적 개입을 위해 독성물질이 배출되는 위치를 파악하는데 사용된다. 또한 GIS는 단지 환경보건문제를 지도화하는데 역할을 할 뿐만 아니라, 시민들이 알 권리가 있는 공간 정보가 포함된 환경정보 데이터베이스를 시민들에게 접근하도록 만드는데 큰 일조를 하고 있다.

GIS를 활용하면, 대기오염의 노출 특성, 인구특성을 고려하여, 일정 지역에 대기오염으로 인한 위험 인구 파악이 가능하다. 어느 지역에 대기오염과 관련된 질환이 발생할 수 있는 인구 집단의 특성을 자세히 파악할 수 있다. 이제 이러한 기술의 잠재적인 역량이 환경오염과 질환사이에 연관성에

대한 연구에 국한된 것은 아니다. 지리적인 노출 평가는 동일하게 이제 확립된 용량-반응 방정식 (Dose-Response Functions)을 건강 위험(Health Risk)으로 전환하는 방법을 제공한다 - 이것이 바로 건강영향 평가 (Health Impact Assessment). 인구집단에 대한 노출을 평가함으로써, 특정오염 물질 혹은 원인제공 활동에 기인한 기여 위험도 (Attributable Health Risk), 혹은 전체 질병 부담 (Burden of Disease)을 평가할 수 있다. 이것을 통해 대기오염으로 인한 건강영향(저체중아, 천식, 암등) 발생의 규모 파악이 가능해지며, 예방가능한 이들 질환의 규모를 추정할 수 있고, 위험지역에서 이들 질환을 예방하기위한 중요한 정보도 얻을 수 있다. 이것은 국민의 건강을 보호하기위한 정책 수립 및 집행에 있어 아주 중요하다.

물론 GIS 접근 자체가 항상 옳은 결론을 이끌어내는 것은 아니기에, GIS가 가설 검증, 개입이나 정책 수립의 한 과정으로 사용되려면, GIS에서 파악된 건강위해성이 항상 환경적으로나 생물학적으로 개연성이 있는 지 유의하며 사용해야 한다. 지리학(Geography)은 환경오염의 건강영향이 어떠한지, 또 무엇을 해야 하는 지에 질문에 답해갈 때, 필요한 과학의 하나이다.

#### <참고문헌>

1. 임중환, GIS에 기반한 환경보건감시체계 (노출평가에 위한 위해요인 감시를 중심으로). 환경보건감시체계 기반기술 개발: 대기오염 중심으로(환경부 용역보고서) 2005.
2. 환경부, 대기환경연보(2002), 2003
3. 환경부, 대기환경연보(2001), 2002
4. 환경부, 대기환경연보(2000), 2001
5. Barbone F, Boveni M, Cavallieri F, Stanta G. (1995). Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy. American Journal of Epidemiology, 141, 1161-9.
6. Dockery DW, Pope CA III, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, Speizer FE. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. New England Journal of Medicine, 329, 1753-9.
7. Ellen K. Cromley, Sara L. McLafferty. (2002) GIS and Public Health. Guilford press. 158-187.
8. Elliot P, Briggs DJ, Morris S, de Hoogh C, hurt C, Kold Jensen T, Maitland I, Richardson S, Wakefield J, Jarup L. (2001). Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites. British Medical Journal, 323, 363-8.
9. Joseph S. Scire and David G. Strimaitis and Robert J. Yamartino, A User's Guide for CALPUFF Dispersion Model, Earth Tech, Inc., 2000
- Joseph S. Scire and Francoise R. Robe and Mark E. Femau and Robert J. Yamartino, A User's Guide for The CALMET Meteorological Model, Earth Tech, Inc., 2000
10. Mark J. Nieuwenhuijsen (2003). exposure assessment in occupational and environmental epidemiology. Oxford university press. 55-70.
11. Nyberg F, Gustavsson P, Järup L, Bellander T, Berglund N, Jakobsson R, Pershagen G. (2000). Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. Epidemiology, 11, 487-95.
12. Oosterlee A, Drijver M, Lebret E, Brunekreef B. (1996). Chronic respiratory symptoms in

children and adults living along streets with high traffic density. Occupational and Environmental Medicine, 53, 241-7.

13.Snow JM. (1855). On the mode of communication of cholera (2nd Eds). Churchill Livingstone London.

14.Tobler WR. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. Economic Geographer, 46, 234-40.