

環境情報管理体系(EIMS)를 이용한 대기오염 피해분석방법에 관한 연구

A Study on the Air Pollution Impact Analysis Using the
Environmental Information Management System

朴 鍾 和* 張 榮 基*

Chong-Hwa Pack, Young-Kee Jang

Abstract

The degree of air pollution is usually presented in terms of concentration. But, in evaluating the environmental impacts or air pollution control policies, the concentration values need to be interpreted in terms of damage effects on property and human health.

The damage effect varies with the types of pollution, subjects and land use pattern of an affected area. Therefore, this study is aimed at developing a method of analyzing effects of various types of air pollutants on surrounding environmental setting with the EIMS (Environmental Information Management System) developed for land suitability analysis.

Using the method formulated in this study, the long-term effects of such pollutants as SO₂ and HF on types of vegetation and residents, and potential, short-term effects of HCl leak accidents from manufacturing facilities in Ulsan and Onsan Industrial complex are analyzed.

The presentation of the damage effects of air pollution rather than the concentration of pollutants will be useful for the preparation of environmental impact statements, the formulation of environmental policies, and the development of land use plans in heavily industrialized areas.

1. 서 론

어느 지역에 있어서 大氣汚染의 피해정도는 확산분포된 여러 大氣汚染物質이 그 지역의 각종 환경요소 및 주민에 대하여 어떠한 영향을 주느냐에 따라 나타나게 된다.

동일 농도의 특정 대기오염물질은 그 피해대상에 따라서 상이한 피해를 초래할 수 있으며, 특정 대상물이 받는 대기오염의 피해는 각종 오염물질의 복합적 영향을 받게 된다. 따라서 환경에 영

향을 미치는 개발사업에 대한 환경영향평가를 실시하거나 대기오염의 영향을 고려하는 환경계획을 수립할 경우, 다양한 오염물질의 다양한 피해대상에 대한 여러 영향은 동시에 고려되어야 한다. 즉, 피해영향이란 피해물질과 피해대상과의 상호작용이므로 어느 지역에 있어서 대기오염의 피해영향은 대기오염농도의 분포상황 뿐만 아니라 그 지역의 人口 및 植生分布, 土地利用현황 등 環境情報와의 관계에서 分析되어야 한다.

* 서울대학교 환경대학원
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University.

이와같이 대기오염도와 그 지역의 環境情報를 분석하여 특정 지역의 대기오염으로 인한 환경영향의 지리적 범위와 정도를 圖面으로 분석·제시함으로써 어떤 대기오염 배출원이 그 지역의 土地利用 및 生態의 特性에 미칠 영향을 예측하고 이를 바탕으로 다양한 규제대안을 비교분석하고 합리적인 토지이용계획을 수립할 수 있을 것이다.

최근에 개발된 각종의 地理情報體系(geographic information system) 중에는 사회, 경제 및 환경정보들을 분석하여 특정 토지이용에 대한 적합도를 판정하거나 특정 용도의 개발에 의한 환경파괴를 예측하는 패키지들이 있다.¹⁾ 그러나 IMGRID, MAP 등의 패키지는 주로 값비싼 대형컴퓨터를 이용하기 때문에 우리나라에서는 널리 활용되지 못하고 있다.²⁾

本 연구에서는 이러한 전산기법의 하나인 環境情報管理體系(EIMS: Environmental Information Management System)를 사용하여 人口, 植生, 土地利用 등을 고려한 대기오염의 피해영향을 분석하기 위한 체계적 방법을 모색하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 環境情報管理體系(EIMS)

環境情報管理體系(EIMS)는 가격이 저렴하고 사용이 간편한 마이크로컴퓨터를 사용하여 환경정보를 분석할 수 있도록 설계되었다.³⁾ 분석기법은 MacHarg의 도면중첩기법⁴⁾에 입각하며, 환경인자의 중요도와 환경영향의 크기를 정확히 반영시킬 수 있다.

EIMS는 사용자가 쉽게 이용할 수 있도록 화면에 제시된 메뉴에서 필요한 작업을 선정하여 문답식(interactive processing)으로 진행하도록 설계되어 있다.

EIMS는 주요모듈인 EIMS와 이를 보조하는 7개의 서브모듈(submodule)로 구성되어 있으며 주요 서브모듈의 기능은 다음과 같다.³⁾

INPUT: 새로운 data file의 작성 및 입력(FILE CREATION, BLOCK&CELL INPUT) 입력자료의 점검(PREVIEW)

PREPROCESSING: 입력자료의 형태와 빈도확인(CHECK DATA), 입력자료의 새로운

값으로의 변환(RECODE), 원하는 구간으로 등급화(CLASSIFY)

MANIPULATION: 두 요소의 합산 및 곱셈(ADD, MULTIPLY), 가중치 부여(WEIGHT), 특정지점으로부터의 유치권설치(SEARCH), 두 요소의 조합(COMBINE), 여러 요소 중에서 최대값 및 최소값의 산출(MAXIMIZE, MINIMIZE)

DISPLAY: CRT를 통한 OutPut 확인(CRT-DISPLAY), 15개 부호로 나타내지는 명암도의 인쇄(GRAY SCALE MAP)

2.2 연구방법

1) 환경정보의 수집

기존자료⁵⁾의 이용이 가능한 울산, 온산 지역을 本 연구사례지역으로 선정하였으며, 자료 획득 및 입력의 편의를 위해 울산시와 울주군 온산면 행정구역내를 1:25,000 지형도상에서 약 1,000개의 500m×500m의 격자망을 구성하여 환경정보를 코딩하고 입력시켰다.

2) 대기오염도 산출

연구대상 오염물질은 농도와 그 피해영향과의 관계가 비교적 뚜렷하고 자료획득이 용이한 SO₂, HF, HCl로 하였다. 이들 오염물질의 농도분포를 산출하기 위하여 울산, 온산지역의 대기오염 배출원 조사자료와 기상자료를 이용하였다.

이 중 SO₂와 HF는 대기확산모델 TCM2⁶⁾를 이용하여 연평균 지상농도를 단위격자별로 산출하여 장기적 영향을 고려하였고, HCl은 생산업체의 위치와 생산량 자료로 누출사고시 피해 가능 범위 및 정도를 산출하여 단기적 영향을 고려하였다.

3) 환경정보의 입력

연구대상지역의 환경정보 항목은 대기오염의 직접적 영향을 받는 人口分布와 森林, 농작물, 과수의 植生分布로 하였다.

人口는 기존연구자료⁷⁾를 이용하여 단위격자의 인구밀도를 구하였고, 植生分布는 土地利用 현황과 1/25,000 지형도를 이용하여 밭, 논, 임야, 과수원, 주택지, 공업지 등으로 분류하였다. 이상의 자료들을 EIMS의 INPUT 모듈을 이용하여 각각 자료화일(file)로 작성하였다.

SO₂ 와 HF는 PPb 단위 수치로, 人口는 단위 격자당 인구수를 100명 단위로, 植生分布는 식생의 종류별 부호를 입력하였다. 그림 1은 이와같이 하여 작성된 토지이용현황을 EIMS의 DISPLAY 모듈을 이용하여 작성한 것이다.

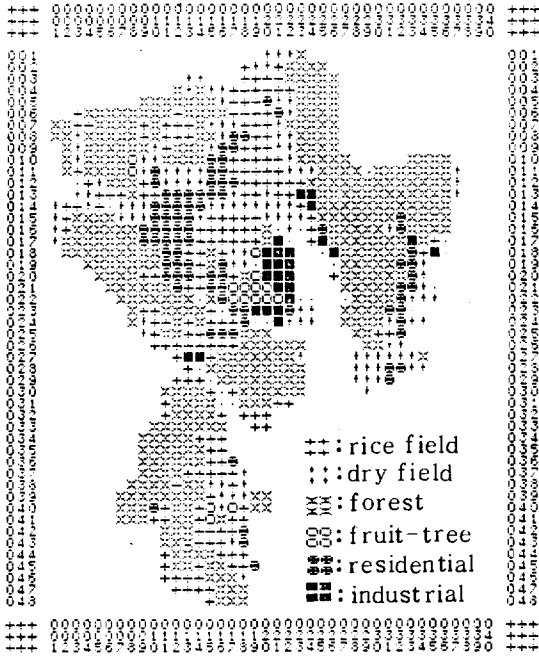


Fig.1 Land use pattern

4) 대기오염 피해영향의 분석

여러 대기오염물질의 다양한 대상에 대한 피해영향을 종합적으로 분석하기 위하여 다음과 같은 3가지 분석방법을 채택하였다. 첫째, 여러 오염물질에 의한 피해영향을 동시에 고려하는 복합오염도를 예측한다. 둘째, 한 오염물질에 의하여 다양한 대상이 받게 되는 피해영향을 종합적으로 분석·표현한다. 셋째, EIMS의 기능을 활용하여 대기오염농도와 인구밀도를 곱하여 대기오염 노출피해인구와 유독가스 누출사고시의 피해가능 범위를 분석한다.

3. 결 과

3.1 복합오염 분석

대기오염의 농도분포도는 보통 단일 오염물질

에 의한 지상농도의 等濃度曲線으로 표현된다. 그러나 실제의 대기오염피해는 여러 오염물질에 의해 동시에 일어나는 현상이므로 각 오염물질의 농도분포를 중첩시켜 환경영향을 동시에 고려할 필요가 있다.

그러나 농도분포를 중첩시키기 위해 농도의 범위가 크게 차이가 나는 여러 오염물질의 농도를 단순히 더하는 것은 불합리하다. 따라서 먼저 환경기준이나 농도와 피해영향과의 관계를 설명하는 準據植에 의해 농도범위를 동일척도로 표준화시켜야 한다. 이 동일척도로 바꾸어 주기 위한 계수를 標準化係數 K_i라 하면 표준화된 농도값은 다음 식에 의해 구하여 진다.

$$S_i = C_i \times K_i$$

S_i : i 오염물질의 표준화된 농도값(score)

C_i : i 오염물질의 농도

K_i : i 오염물질의 표준화계수

그리고 한 오염물질이 다른 오염물질에 비해 危害度에 차이가 난다면 이 차이에 따라 가중치(W_i)를 부여하고, 그 다음 각 단위격자별 오염도 값을 가산함으로써 여러 오염물질에 의한 오염도를 결합시킬 수 있다. 이때 여러 오염물질간의 상호작용 및 주변 환경조건에 따라 그 피해영향이 상승되거나 감소될 경우에는 그 영향정도가 고려되어야 할 것이다. 이 오염물질 상호작용에 따른 영향을 고려하기 위한 계수를 複合汚染被害係數 f라 하면 복합오염도는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$D = f \times (S_1 \times W_1 + S_2 \times W_2 + \dots + S_i \times W_i)$$

D : 복합오염도

S_i : i 오염물질의 표준화된 농도값

W_i : i 오염물질의 危害도가중치

f : 복합오염 피해계수

本 연구에서는 대기오염에 민감한 소나무, 독일가문비 등의 침엽수류가 손상을 입게되는 농도인 SO₂ 30ppb, HF 0.5μg/m³ 8)를 같은 기준으로 하여 SO₂에 0.33, HF에 20의 표준화계수를 적용하였다. 이에 따라 EIMS의 P-REPROCESSING 모듈의 CLASSIFY의 기

능을 이용하여 표준화된 농도값 10을 중심으로 각각 9단계로 등급화하여 그림 2 그림 3과 같이



Fig.2 Gray scale map of SO₂ conc.

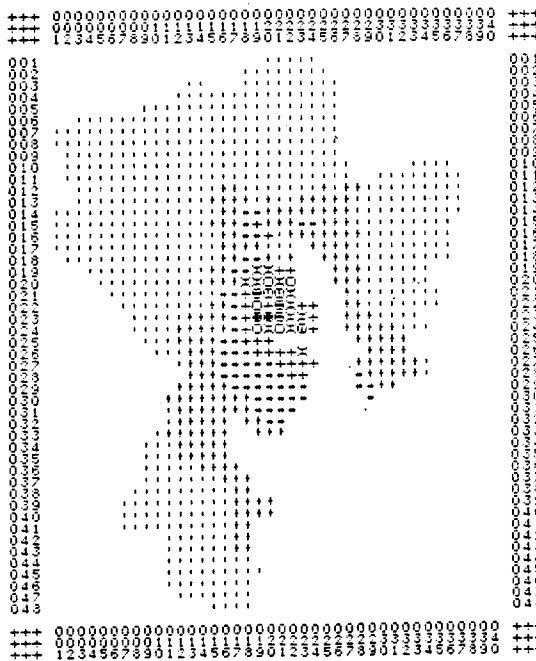


Fig.3 Gray scale map of HF conc.

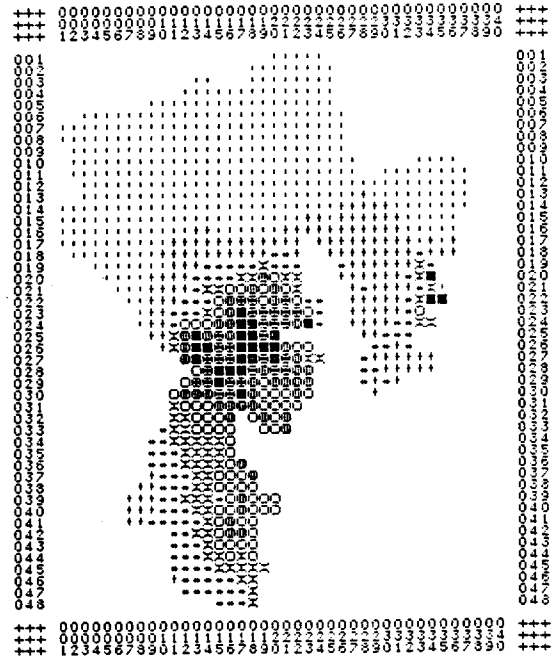


Fig.4 Gray scale map of SO₂ and HF conc. overlay

농도가 높을수록 진한 부호로 표시하는 농도분포도를 작성하였다.

다음, SO₂에 2, HF에 1의 危害度 가중치를 가정하고, SO₂와 HF의 상호작용에 의한 영향은 없다고 가정 (복합오염피해계수 $f = 1$) 하여 EIMS의 MANIPULATION 모듈의 WEIGHT기능을 이용하여 각 단위격자에서 (표준화된 SO₂ 농도값) $\times 2 +$ (표준화된 HF 농도값)으로 계산하여 그림 4와 같은 SO₂와 HF의 복합오염도를 산출하였다.

3.2 植生分布에 따른 오염피해분석

대기오염으로 인한 피해는 같은 오염물질이라도 그 피해대상에 따라 상이하게 나타내게 된다. 대기오염으로 인한 피해란 대기오염물질과 피해대상의 상호작용으로서 한 지역의 잠재적인 피해가능성을 나타내는데 불과하다. 따라서 그 지역의 대기오염피해는 土地利用에 따른 人口와 植生分布를 고려하여 분석되어야 한다. 같은 오염농도 지역이라도 그 지역이 논, 밭, 혹은 과수원으로 이용될 경우에 식생의 종류에 따른 오

염물질에 대한 저항성의 차이로 인해 피해영향이 상이하기 때문이다.

이러한 오염물질과 식생별 환경오염물질에 대한 저항성의 차이는 피해영향분석 뿐만 아니라 공업단지 주위에 완충녹지대를 설치하거나 저항성 농작물을 선택, 재배할 때 신중히 고려되어야 할 것이다.

대기오염피해 대상에 따라 다르게 나타나는 피해를 동시에 고려하기 위하여 다음과 같이 분석하였다.

첫째, 어떠한 피해대상이 어떤 대기오염물질의 어느정도 농도에서 어떠한 피해를 받는가 하는 상관관계를 파악한다. 농도에 대한 피해의 상관관계는 농도가 X일때 피해영향 Y를 $Y=ax+b$ 와 같이 피해함수 (damage function)로 나타내는 경우와 강, 중, 약으로 3~5 단계로 나타내는 경우 등이 있다. (87, 89)

둘째, 피해함수로 나타내지는 경우 피해정도는 감수율, 증량, 연반율 등으로, 농도는 실험방법에 따라 농도단위가 다양하게 표현되는데 이 피해정도와 농도단위를 일정한 尺度로 재해석하여야 한다.

셋째, 이와같이 하여 동일척도로 재해석된 농도와 피해와의 상관관계는 MANIPULATION 모듈의 COMBINE 기능을 이용하여 그림 5와 같이 피해대상별로 농도에 따른 피해크기를 산출한다.

예를 들면 식생과 농도를 조합시킴으로써 농도 등급이 7인 경우 식물 A는 7, 식물 B는 9의 피해를 입게 됨을 나타낼 수 있게 된다.

SO₂로 인한 피해영향이 주거지 < 논, 밭, 임야 > 과수원 순으로 증가하고 공업지는 영향이 없

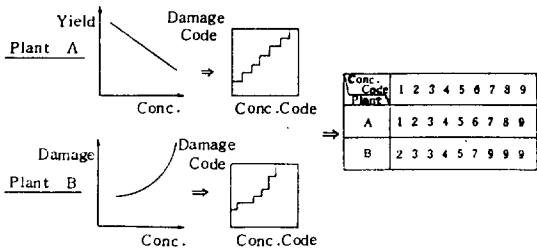


Fig.5 Combination of plant species and damage function with EIMS' COMBINE submodule

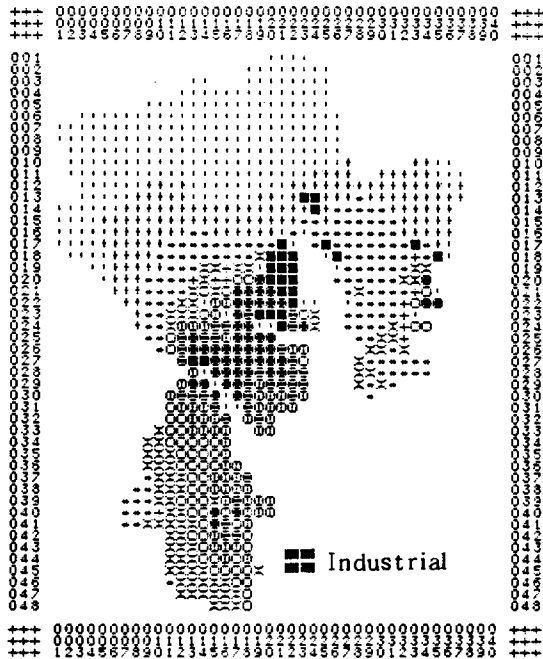


Fig.6 SO₂ damage distribution

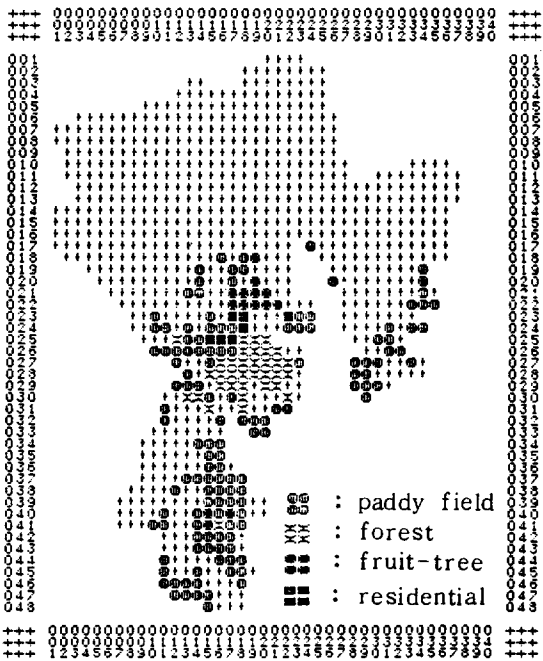


Fig.7 SO₂ damage region by land use pattern.

는 것으로 가정하여 COMBINE 기능을 이용하

여 그림 6 과 같은 植生分布를 고려한 SO₂ 의 피해분포도를 산출하였다. 이러한 방법으로 피해가 크게 예상되는 지역을 쉽게 판별해 볼 수 있을 것이다. 또한 이 방법을 이용하여 植生分布別로 일정기준농도 이상의 피해예상지역을 나타낼 수도 있다.

SO₂ 의 경우, 美國의 인체피해를 고려한 1차 환경기준인 년평균농도 30ppb와 농작물 피해를 고려한 2차 환경기준 20ppb를 적용하여 논, 밭, 과수원은 20ppb 이상인 지역을, 주거지, 임야는 30ppb 이상인 지역을 피해예상지역으로 하여 각각 다른 값을 부여함으로써 그림 7 과 같은 植生分布別 피해예상지역을 나타내었다.

이와 같은 방법으로 대기오염이 증가되었을 때 예상되는 용도별 不適格地를 판정할 수 있다.

3.3 대기오염 피해인구분석

대기오염으로 인한 人體被害를 오염도와 인구를 곱하여 얼마나 많은 사람들이 어느 정도의 오염도에 노출되어 있는가 하는 노출피해의 크기로 나타낼 수 있다.

이를 위하여 년평균 SO₂ 농도 20ppb 이하를 저농도, 20~30ppb를 중농도, 30ppb 이상을 고농도로 분류하고, 인구는 인구밀도 2,000명/km² 이하를 저밀도, 2,000~12,000명/km²를 중밀도, 12,000명/km² 이상을 고밀도로 분류하였다. 다음, 인구와 농도등급을 組合하여 농도가 높고 노출인구가 많은 組合에 높은 피해크기 값을 표 1과 같이 부여하였다.

Table 1. SO₂-Population combine matrix

SO ₂ / Pop. density	0~20ppb	20~30ppb	30~ppb
Low	I	I	II
Medium	I	II	III
High	I	III	III

그림 8은 표 1의 피해크기 값을 EIMS의 C-OMBINE 기능을 이용하여 산출한 노출피해 인 구분포이다.

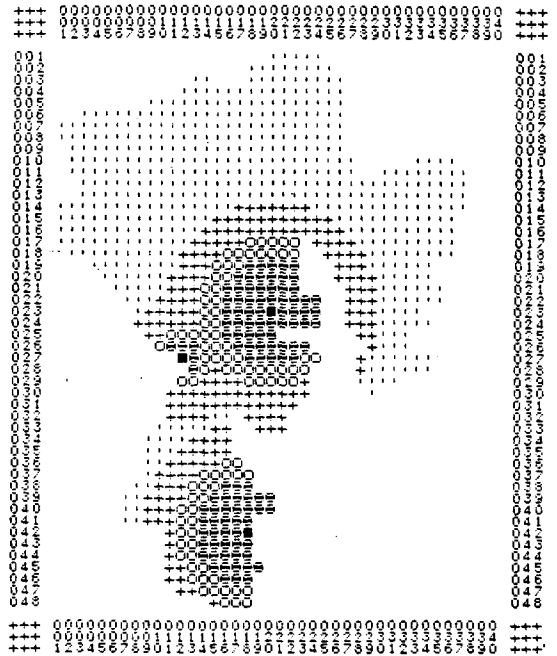


Fig.8 Damage of SO₂ on human health based on population density.

3.4 누출사고시의 피해범위 분석

앞의 경우에는 대기오염의 장기적인 영향에 대해 고려하였으나 대기오염배출업소에 따라서는 황산, 암모니아, 염산 등의 독구성물질 누출사고의 위험성을 갖고 있다.

대기오염의 단기적 피해로서 이러한 누출사고는 불의의 사고 등으로 인하여 주위환경에 심각한 危害를 줄 수 있다. 따라서 이러한 잠재적 피해가능성도 환경계획에 신중히 고려되어야 한다.

유독가스 누출사고에 대한 기존의 연구결과¹⁰⁾에 의하면 HCl의 경우, 대기안정도 A, B에서

Table 2. Spillover impact range of HCl industry

Industry	Production Capacity (kg/day)	Damage Range(km)		
		I	II	III
A	1468	0.5	1	2.5
B	4110	2	3	5
C	4148	2	3	5

SO₂와 HF의 농도분포를 EIMS의 CLASS-IFY 기능을 이용하여 동일척도로 재분류하고 WEIGT 기능을 이용하여 SO₂와 HF농도가 중첩된 복합오염도로 나타내었다. 植生分布에 따른 SO₂의 피해영향을 EIMS의 COMBINE 기능을 이용하여 논, 밭, 임야, 과수재배지역, 주거지, 공업지로 구분하여 전체적인 피해분포도와 용도별 피해지역으로 나타내었다. SO₂농도와 인구밀도를 고려한 노출피해인구의 분포를 EIMS의 COMBINE 기능으로 분석하였다. 유독가스 누

출사고시의 예상피해범위를 배출원 위치와 누출량을 자료로 하여 EIMS의 SEARCH와 MAXIMIZE 기능을 이용하여 분석하였다.

이와같이 EIMS를 이용하여 사례지역인 울산 온산지역의 피해영향과 잠재적 피해가능성을 분석함으로써 특정 지역의 환경 및 토지이용현황을 고려한 적합한 대기오염규제방안을 비교 분석하고, 생태적 특성을 고려하여 합리적인 토지이용계획을 수립할 수 있다. (原稿接受 '86.10.15)

참 고 문 헌

1. 양윤재, 우리나라에 있어서 조경계획의 전산 화기법 적용에 관한 연구, 서울대 환경대학원, 1985.
2. 박종화, "퍼스컴을 이용한 환경계획 및 설계", 환경과 조경 10, 1985. pp.100-103.
3. Park, Chong-Hwa, Development of a Micro-Computer-based Environmental Information Management System for Less Developed Countries: A Case Study of Korea. Ph. D. Dissertation, The State Univ. of New York, 1985.
4. McHarg, I.A., Design with Nature, Garden City: Natural History Press, 1969.
5. 권태준, 김정욱외 다수, 울산, 온산공단 공해피해주민 이주대책을 위한 조사연구, 환경청, 1984.
6. Texas Air Control Board, User's Guide to the Texas Climatological Model, EPA/DF-81/001b, 1980.
7. 김태형, 대기오염측정망 배치기법에 관한 연구, 서울대 환경대학원 석사학위논문, 1986.
8. Guderian, R., Air Pollution - Phytotoxicity of Acidic Gases and Its Significance in Air Pollution Control, 1977.
9. KAIST, 울산공업단지 지역의 대기오염에 따른 농작물 영향조사 및 기여도 산출에 관한 연구, 1985.
10. 오동규, 유독가스 누출사고 발생시 피해범위 및 대책에 관한 연구, 서울대 환경대학원 석사학위논문, 1986.
11. Ortolano, Leonard, Environmental Planning and Decision Making, New York: John Wiley, 1984.