

## 도시시설의 도로기능별 적정입지분석을 통한 대기오염 저감방안에 관한 연구( I )

권우택 · 김형철\* · 김기범\*

서울보건대학 환경시스템과 · 경원대학교 도시계획학과\*

## The Improvement Method for Air Pollution Level through Optimal Allocation of Urban Facilities( I )

Woo-Taeg Kwon · Hyung-Chul Kim\* · Ki-Bum Kim\*

*Dept. of Environmental Engineering, Seoul Health College, Sunnam, Korea*

*Dept. of Urban Planning, KyungWon University, Sunnam, Korea\**

### Abstract

There are two ways of reducing air pollution. One is the approach of the pollutant source control and the other one is the traffic demand decreasing approach.

This study is focusing on the approach of land use planning and optimal location of urban facilities because those are the basic cause to generate transportation demands.

So, the purpose of this study would be to analyze the changes of NO<sub>x</sub> and CO distribution on environmental air by functional hierarchy of urban roads and to make evaluation model of "Transportation-Land Use-Air Pollution".

It will contribute to improve the air pollution level at same actual traffic generation according to different location.

Key Words : NO<sub>x</sub> and CO, Functional Hierarchy of Urban Roads,  
Traffic Volume, Vehicle Type, Optimal Allocation, Air Pollution

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

산업혁명 이후의 자동차 보급은 도시활동의 연계수단으로 필수적인 요소이지만, 현재 도시 대기오염문제의 주요 원인이 되고 있다. 특히, 도시의 규모가 커짐에 따라 교통활동은 광역적, 에너지 소비적으로 이루어져 이로 인한 대기오염물질의 증가는 도시민의 생활환경을 악화시키게 되며, 주요

대기오염원은 교통부문 중에서도 특히 도로교통에 의해 발생되고 있는 것으로 조사되었다.<sup>1,2)</sup>

한편, 대기오염 저감방안은 무공해 에너지 공급이라는 과학기술적인 측면에서의 접근과 교통수요를 저감시키는 교통측면에서의 접근이 있는데, 본 연구는 교통수요를 감소시킴으로써 대기오염을 저감시키려는 접근보다는 자동차 교통을 유발시키는 근본적인 원인이 토지이용 및 도시시설의 입지라는 점에 초점을 맞추고 있다.

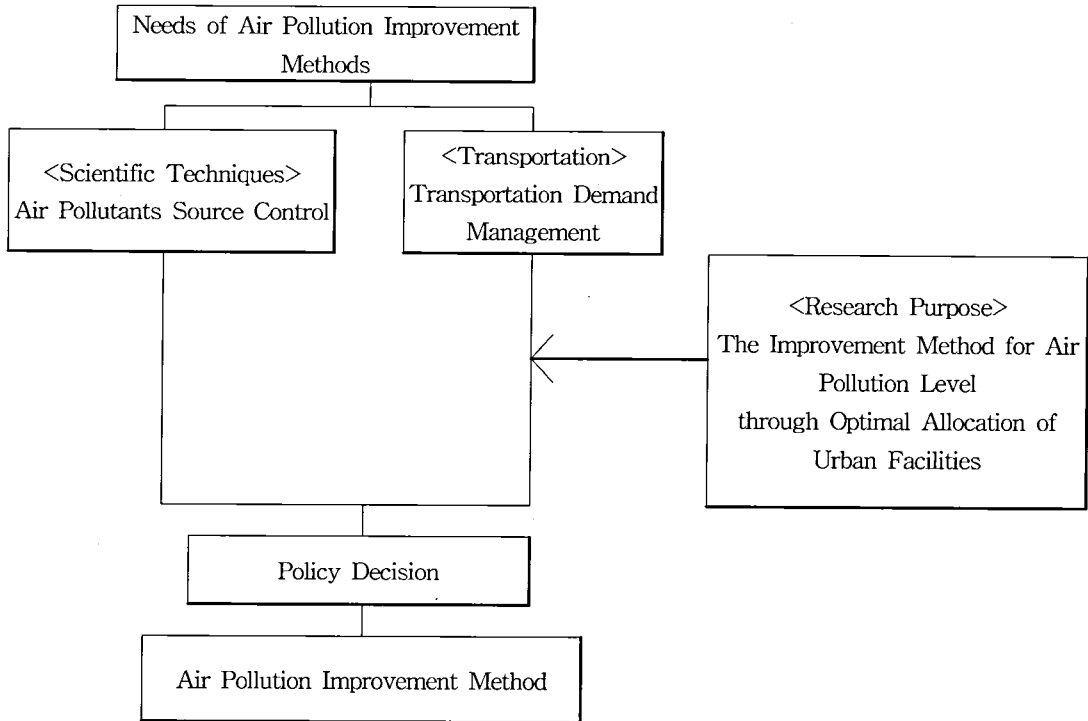


Fig.1. Research Background and Purpose

대기오염은 국지적인 해결책뿐만 아니라 시 전체적인 측면에서 관리해야 할 필요성이 있으며, 이러한 의미에서 토지이용입지 측면에서 접근하는 대기오염 저감방안은 가장 근본적인 해결책이라 할 수 있다.

특히, 시흥시는 42번 수인산업도로, 39번 국도, 제2경인고속국도, 서울외곽순환고속국도등의 이동성과 위계가 높은 도로와 안산, 부천 등 주변지역을 연계하는 주간선도로 등이 통과하고 있으며, 지역산업의 특성상 대형차량 혼잡률이 높기 때문에, 토지이용의 부적절한 입지로 인한 도로의 기능저하가 대기오염 및 생활환경의 질을 더욱 저하시키는 요소로 작용할 수 있다.

따라서 본 연구는 시흥시를 대상으로 실태를 분석하고, 「교통-토지이용-환경(대기오염)」을 통합할 수 있는 평가모형을 개발함으로써, 향후 개발시 대기오염을 예측·저감할 수 있는 방안을 토지이용입지 측면에서 제시하고자 한다.

시흥시는 향후 개발 가능성이 높은 곳으로 사전에 환경의 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 마련해야 할 필요성이 있고, 따라서 본 연구를 통하여

대기오염 배출량을 사전에 관리할 수 있도록 하는 정책결정의 근거를 마련하고자 하는 것이 이 연구의 최종 목표라 할 수 있다.

## 2. 연구의 범위 및 내용

### 2.1. 연구의 범위

Table 1. 참고

### 2.2. 연구 내용

본 연구는 무분별한 토지이용의 입지로 인한 교통량의 증가와 대기오염물질 발생량과의 관계모형을 도로의 기능 및 위계별로 구축하여, 도시시설입지의 평가기준을 제시하고자 한다. 따라서, 시흥 시내 간선도로, 보조간선도로, 국지도로로 도로기능을 구분하고, 이를 대상으로 공간구조를 분석·시뮬레이션 하여 평가하며, 그 결과로써 토지이용의 입지 선정시 대기오염의 발생까지 고려한 계획이 될 수 있도록 평가지표를 마련하고자 한다.

본 연구는 내용적인 측면에서 분석을 위한 기본

Table 1. The Range of Research

Range	Contents
Space Range	- Throughout ShiHeung City (Including Old Town and New Town) - 9 Points by Functional Hierarchy of Urban Roads
Time Range	- Statistical Data : 2002 - Survey : 09. 2003
Substance	- Urban Transportation and Air Pollution Generation Survey in ShiHeung City - Air Pollution Generation Model - Spatial Analysis for Air Pollution Distribution - Space Syntax Analysis - Simulation and Impact Analysis

데이터 조사단계, 대기오염 예측모형 구축단계, 교통량 특성의 영향에 따른 시흥시 대기오염 현황지도의 작성 및 분석단계, 도시시설 입지에 의한 영향분석단계로 나누어진다.

대기오염 현황지도의 작성 및 분석을 위한 이론적 측면에서는 도시의 대기오염 분포에 영향을 미치는 요소와 이들의 상관관계에 대한 문헌연구를

통해 도로의 배치, 기상 및 대기오염분포간의 관계를 고찰한다.

실제적인 대기오염 분포도를 파악하기 위해 시흥시의 교통자료, 대기자료의 기초자료와 GIS 기법을 적용하여 시흥시 대기오염 현황도를 작성·분석한다.

공간적 분포의 특성을 파악하기 위해 GIS 응용

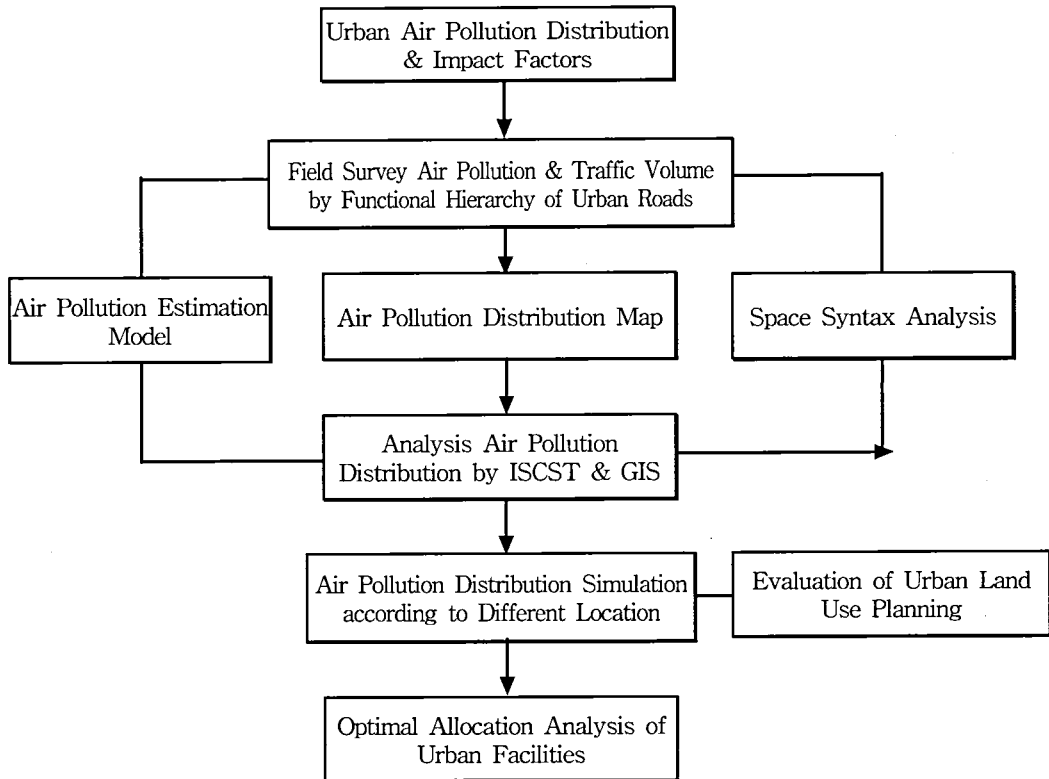


Fig. 2. Research Flow Chart

Table 2. Overview of the Survey

Overview	Contents
Substance	Traffic Volume, Air Pollution(CO, NOx) Traffic Volume Survey : 9 points Air Pollution : Old Town - 3 Points New Town - Use Stationary Survey
Survey Location	Major Street : 3 Points, Minor Street : 3 Points, Local Street : 3 Points ⇒ Old Town : 3 Points New Town : Shi-Wha New Town 3 Points + Shi-Wha Industrial Complex 3 Points = Total 6 points

프로그램인 ArcView 3.1과 Spatial Analyst, Polyshape 등의 프로그램을 이용한다.

선오염원에 의한 대기오염물질 배출량의 산정은 시흥시를 500m×500m의 일정한 단위 격자로 분할하여 단위격자당 통과도로길이와 통과 단위길이당 교통량을 추정하고 여기에 오염물질별 배출계수를 적용하여 산출한다.

오염물질들의 기상적 요인에 의한 확산의 영향을 검토하기 위해 Gaussian 모형을 변형시킨 ISC 모형을 적용하고, 선오염원의 지역적 범위가 큰 경우 사용하는 단기 예측모형인 ISCST3 프로그램을 이용한다.

대기오염의 확산 및 분포양상은 대기오염물질 배출량과 도면자료를 구축하여 GIS로 표현하고, 토지이용 및 도시시설입지에 의한 대기오염물질 배출 및 분포를 예측함으로써 향후 교통정책의 수립 등에 시사점을 도출하도록 한다.

### 2.3. 연구 수행방법 및 과정

연구 흐름은 다음과 같다.

## II. 연구 방법

본 연구는 교통량 및 대기오염 조사, 대기오염분

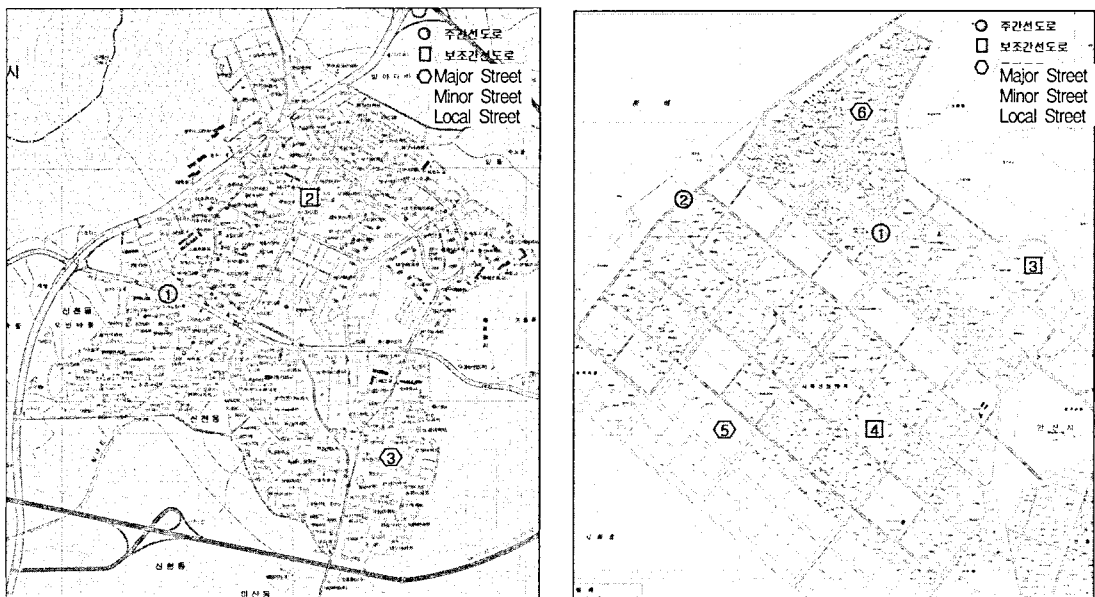


Fig. 3. Survey Location

Traffic Volume	Time	Motor Bike	Car		Bus		Commercial Vehicle	
			Passenger Car	Taxi	Under 25 Person	Over 25 Person	1 ton	Over 1 ton
Point 1	07:00 ~ 09:00 (15minutes)							
	15:00 ~ 17:00 (15minutes)							

Fig. 4. Transportation Survey(Vehicle Type and Time of Day)

석 및 공간분포 분석, Space Syntax를 활용한 통합도 분석, 시뮬레이션의 크게 4가지 주요 내용으로 구성되어 있으며, 구체적인 연구방법은 다음과 같다.

### 1. 교통량 및 대기오염 조사

#### 1.1. 조사지점의 선정

조사지점은 교통량을 고려해 시흥 전체 공간을 대표할수 있도록 선정하였으며, 구체적인 조사지점은 다음과 같다.

#### 1.2. 교통량 조사

교통량 조사는 차종별, 시간대별, 요일별 교통량을 조사하며, 차종구분은 이륜차, 소형차(자가용, 택시), 버스(소형, 대형), 화물차(소형, 대형)으로 구분한다.

#### 1.3. 대기오염 조사

대기오염 조사방법은 환경오염공정시험법에 의해 진행하며, 본 연구에서는 비분산 적외선 분석법<sup>3)</sup>을 이용하여 대기중의 일산화탄소와 질소산화물을 분석하고자 한다. 이 방법은 선택성 검출기를 이용하

여 시료중에 특정성분에 의한 적외선의 흡수량 변화를 측정하여 그 특정성분의 농도를 구하게 되며, 대기 및 굴뚝 배출가스중의 오염물질을 연속적으로 측정하는 비분산 정필터형 적외선 가스분석계에 대하여 적용하는 방법이다. 기기는 NDIR TYPE INFRARED GAS ANALYZER를 사용한다.

측정은 교통량 측정과 동시에 한다.

### 2. 대기오염 분석방법

대기오염 분석방법은 기존연구<sup>4)</sup> 방식을 참고하였으며,그 내용은 다음과 같다.

#### 2.1. 대기확산 모형의 선정

대기오염물질의 확산을 예측하기 위한 대기오염 확산 예측모형은 모델링에 의한 최종적인 분포가 지형요인, 기간(장·단기), 지리적 범위 등에 따라 다양한 결과로 나타나기 때문에 모형을 적용하기 전에 시간, 지형, 지리적 범위, 모형의 특성 등을 고려하여 적용모형을 선정하여야 한다.

모형에는 가우시안플룸모형, 퍼프모형, 상자모형, EPA 권장모형(ISCST, MPTEP, CRSTER) 등이 있으나, 그 특성을 비교분석하고 본 연구 대상 배출원의 특성과 지형, 지리적 범위 등을 고려하였을

Air Pollution	Time	CO	NO <sub>2</sub>	Remarks
Point 1				

Fig. 5. Air Pollution Survey Table

때 ISCST 모형이 도시지역의 선오염원을 50km 범위 내에서 적용하기에 가장 적합한 것임을 알 수 있다.

이에 본 연구에서는 가우시안 모형으로부터 발전한 ISCST 모형을 적용하고자 한다.

### 2.2. ISC 모형의 개요

ISC(Industrial Source Complex) 모형은 다양한 종류의 오염원으로부터 배출되는 오염물질을 모사하여 오염원 주변지역에 대한 그 영향을 예측하기 위해 U.S. EPA에서 개발 보급한 규제(Regulatory) 모형으로서, 주로 비반응성 물질의 모사에 이용되고 있으며, ISC 모형은 크게 ISCLT(ISC Long-Term)와 ISCST(ISC Short-Term) 모형으로 구분된다.

ISCLT의 경우 주거지역 및 공업단지 조성 등 새로운 오염원 증가에 따른 영향을 예측하는데 이용될 수 있으며 에너지 대체, 규제에 따른 대기오염물질의 배출 증감 등 에너지원과 배출변화에 따른 주변환경의 변화 등 장기적인 대기질 영향을 예측할 수 있다. 반면 ISCST 모형은 수 시간~수 일 등 단기간 중 기상변화 등에 따른 대기질 예측에 이용될 수 있으며, 인체 유해 및 대기오염물질 배출사고 등에 의한 단시간 내의 대기질 변화도 모사할 수 있다.

ISCLT와 ISCST의 가장 구별되는 차이점은 기

상요소의 입력형식으로 볼 수 있는데, 본 연구의 수행에는 ISC-3 모형을 사용하여 풍향, 풍속 등 기상변화에 따른 영향의 분석에 적용하고자 한다.

## 3. GIS를 이용한 오염도 작성

### 3.1. 오염지도 구축의 개요

이상의 과정에서 모형을 통해 산출된 대기오염물질은 각 좌표별로 고유값들을 갖게 되고 이러한 값들과 GIS를 이용을 통하여 지도정보의 구축, 그리드(Grid)를 이용한 셀 값의 중첩등을 통하여 오염물질 확산지도를 구축하게 된다.

### 3.2. 오염지도 구축의 과정

지도정보는 시흥시의 분석대상 가로망에 대한 라인(Line)과, 동별데이터인 폴리곤(Polygon)으로 구성된 도형정보를 구축하고, 지도의 구축시 기준의 여러 가지 도형 정보 중 필요한 정보만을 추출하여 사용하게 된다.

실제좌표를 TM좌표로 변환하여 모형에 입력하게 되는데 이 때 구축된 셀의 기준점을 설정하고 그 셀에서부터 500m 단위씩 값을 증가시켜 나가는 방법을 사용한다.

모형을 통해 산출된 대기오염농도 자료를 하나의 속성값을 갖는 셀과 일치시키기 위한 작업으로 시흥시 전체를 적당한 크기의 셀로 구성하게된다.

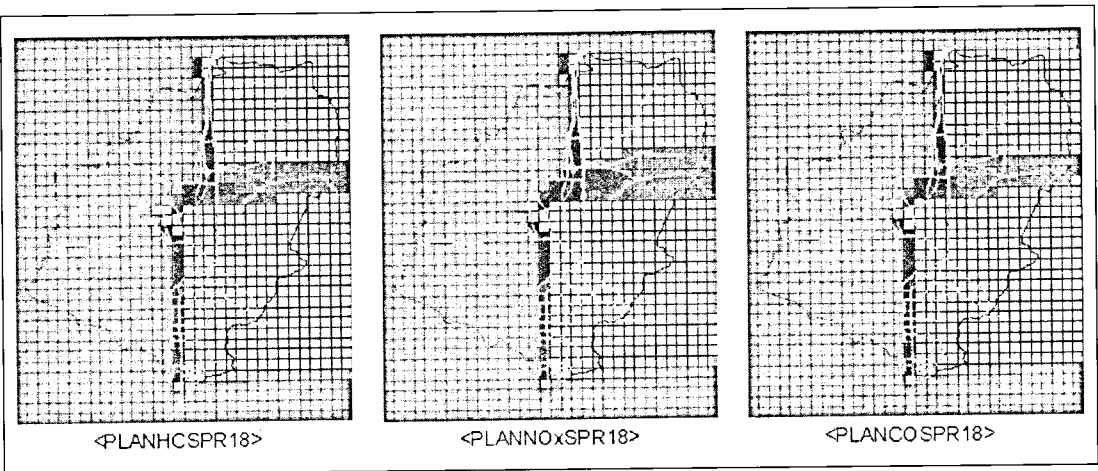
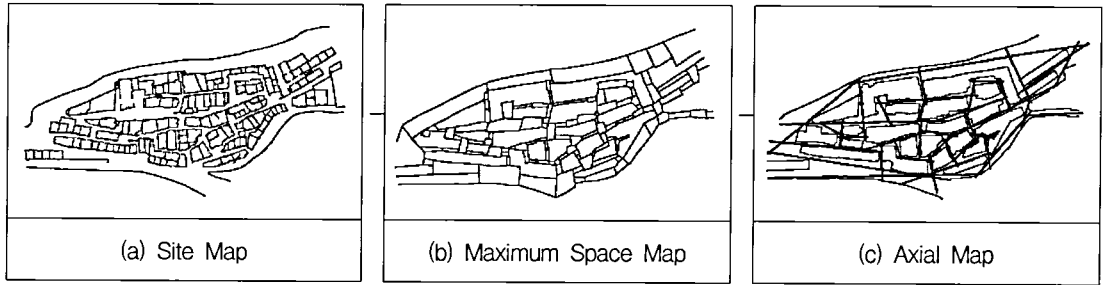


Fig. 6. Air Pollution Distribution Map(Sungnam City)



자료 : Hillier, Space is the Machine, 1996

Fig. 7. Formation Process of Axial Map

이 때 셀을 구성하는 방법은 먼저 오토캐드(Auto-Cad)프로그램을 이용하여 지도의 축척에 맞게 셀을 구성하고 다음에는 이를 아크뷰(Arc-View)프로그램에서 불러들여 폴리곤형태로 변환해 준 다음, 아크뷰의 익스텐션(Extention)인 Polyshape 프로그램을 이용하여 ISCST모형에서 산출된 속성자료와 도형자료를 일치시키면 된다.

셀의 속성정보가 다 구성되면 아크뷰 프로그램의 테이블 조인 기능을 이용하여 테이블을 불러들이고, 오염지도 구축시 동일한 레전드(legend) 값을 갖도록 주의하면서 지도로 생성하면 각각의 필드에 해당하는 오염지도를 구축할 수 있게 된다<sup>5)</sup>.

#### 4. Space Syntax 방법론

##### 4.1. Space Syntax의 개념

Space Syntax는 1980~90년대에 걸쳐 영국의 런던대학교의 Hillier 교수 연구팀이 개발한 방법론<sup>6),7),8)</sup>으로 공간구조 자체의 속성을 정량적으로 분석하는 방법이며, 분석 대상지역내의 모든 공간이 기점이자 종점이 된다는 가정아래 각 공간의 접근성을 분석하는 방법이다.

이 접근성을 Space syntax에서는 전체 공간을 통합해주는 통합성 혹은 공간구조상의 위계성을 의미하는 'Integration'이라 정의하고, Space Syntax 분석결과에 의한 Integration이 큰 공간은 다른 모든 공간으로부터의 접근성이 양호하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 Space Syntax의 분석결과를 대기오염의 공간분포와 함께 분석함으로써 접근성이

높고 토지이용이 활발히 일어나는 공간과 그렇지 않은 공간에 대해 대기오염도를 살펴봄으로써 대기오염 평가의 기초자료를 구축하고자 한다.

##### 4.2. 모델 구축방법

공간구조를 분석하기 위해서는 분석대상 공간의 오픈스페이스 체계를 바탕으로 자료를 입력하게 되는데 이를 축선도라 하며 구축방법은 다음과 같다. 첫째, 분석대상 도시 혹은 건물을 컨벡스공간(Convex space)으로 분절한다

둘째, 축선도를 그린다.

셋째, 축선도가 완성되면 공간구조 특성을 Space Syntax 패키지를 활용하여 계산한다.

##### 4.3. 기본용어

가. Global Integration(전체통합도)<sup>10),11)</sup>

분석대상 범위내의 축선도에 표현된 모든 축선(공간)들을 기점과 종점으로 가정했을 때, 즉 특정한 축선에서 다른 모든 축선으로의 depth를 기준으로 계산한 통합도임. 따라서, 특정 공간의 전체 통합도가 크다는 것은 다른 모든 공간으로의 접근성이 크다는 것을 의미한다.

나. Local Integration(국부통합도)

국부적인 공간특성을 나타내는 것으로 각 공간으로부터 몇 개의 depth까지만 고려하여 통합도를 계산한다. 국부통합도는 해당 분석공간을 중심으로 몇 개의 공간들만을 고려한 국부적인 공간구조 특성을 보여준다.

다. Connectivity(연결도) 및 control(통제도)<sup>12),13)</sup>

연결도는 한 축선에서 직접 연결되는 축선의 수

를 나타내는 것으로 공간의 연결정도를 나타내며, 통제도는 한 공간에 인접된 주변 공간들에 대한 그 공간의 통제정도를 말하는데, 즉 한 공간이 n개의 공간과 직접 연결되어 있으면 각 공간에 대한 통제도는 1/n이다.

라. Intelligibility(공간구조명료도)

공간구조의 전체적인 속성에서 계산되는 전체통합도와 국부적인 공간의 속성을 나타내는 연결도 혹은 국부 통합도와의 상호관련성이라 정의하며, 두 인자간의 상호관련성이 크면 공간구조명료도가 크다고 정의한다. 기존의 연구결과에 의하면 공간구조명료도가 큰 지역일수록 그 지역 전체에 대한 공간인지도가 높고 공간구조 및 공간이용패턴이 체계적이며 동시에 예측률이 높음을 알 수 있다.

4.4 연구진행방법

가. 시흥시 공간구조 Space Syntax Map 구축  
시흥시의 도로망네트워크를 1:5000 축적을 기준

으로 Space Syntax의 속성인 통합도를 계산하고 아래의 Map을 구축한다.

- 전체통합도(Global integration) Space Syntax Map 구축
- 국부통합도(Local integration) Space Syntax Map 구축

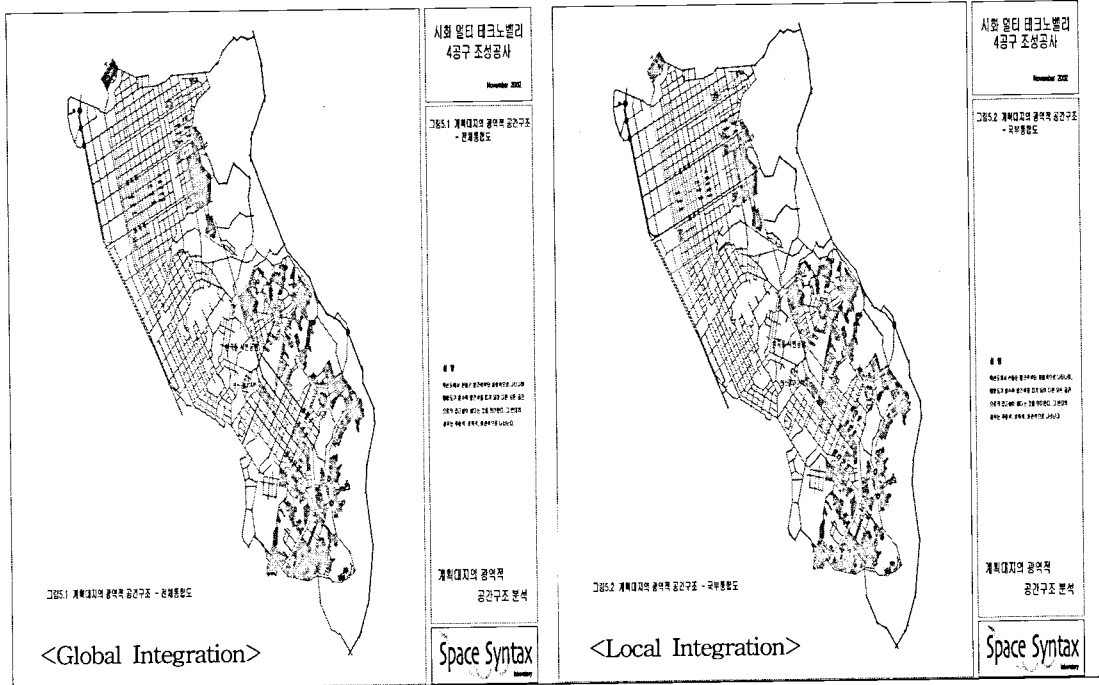
나. Space Syntax Map 분석을 통한 시흥시 공간구조 해석

전 단계에서 구축한 공간구조를 분석한 Space Syntax Map과 통계적 기법을 활용하여 시흥시의 공간구조와 도로별 접근성을 분석하며, 이를 열거하면 아래와 같다.

- 시흥시 전체의 공간구조 해석
- 주요 지역별 공간구조 및 도로별 위계성 분석
- 주요 도로의 통합성 분석

다. 토지이용현황, 공간구조 및 대기오염도의 관련성 분석

시흥시의 토지이용현황, 대기오염현황, Space



※ Results of Space Syntax Analysis show up from Red color to Blue color. If Integration is high, it is red color and means easy to access. If the color is green and blue, it means that level of integration and urban activity are low.

Fig. 8. Space Syntax Analysis for Shi-Wha Industrial Complex<sup>9)</sup>



Syntax 분석을 통한 공간구조인자와의 상관성을 분석하고 이를 해석하는 모형을 개발한다.

라. 통합도와 대기오염도의 비교분석 및 평가

Space Syntax의 분석결과와 대기오염도를 비교하여, 공간구조를 파악하고 평가한다.

### Ⅲ. 연구의 기대성과

국도변에 물류센터, 음식점, 판매시설 등의 토지이용이 무분별하게 입지하고 있는데, 이는 개발업자 입장에서는 개발비용이 적게 소요될 수 있으나, 사회적으로는 경관·교통환경·토지이용에 악영향을 초래하게 된다. 특히, 도로기능 저하에 따른 교통환경 악화는 대기오염물질 배출량 증가를 가져오며, 이는 생활환경을 악화시키게 된다.

본 연구는 토지이용의 불합리한 입지와 도로교통의 대기오염에 따른 생활환경 악화에 따른 문제점을 근본적으로 해결하기 위한 기초연구로써 의미를 가질 수 있다.

또한 토지이용의 입지와 교통류의 특성으로 인한 대기오염의 영향을 알아보고, 토지이용 입지를 결정할 때 정책적 판단의 근거를 제시할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

또한 Space Syntax 방법론을 활용하여 토지이용의 활용도(접근도, 통합도에 따라 판단)는 시흥시 전체를 공간적으로 분석하고, 이와 연관된 공간적 대기오염 현황을 살펴봄으로써 도시활동과 대기오염분포를 분석하여 대기질관리 수준을 평가할 수 있다.

이에 따라 추가 도시시설 입지시 대기오염관리에 유리한 적정입지 정보제공의 기초자료로 제공하고자 한다.

### Ⅳ. 연구의 활용방안

본 연구는 토지이용 입지를 결정할 때, 하나의 평가지표가 될 수 있는 환경오염 중에서도 특히 차량에 의해 발생하는 대기오염도를 구축할 수 있는 방안을 모색하고자 하는 기초연구이다.

본 연구 결과는 토지이용 및 도로 특성에 따른 대기오염 평가와 도로의 기능 및 위계에 맞는 토

지이용입지를 제시하는 근거로써 활용이 가능하다. 또한 토지이용변경의 허가기준으로 사용가능하고, 사전환경성 검토 또는 환경영향평가지시 범용적 평가기준으로도 활용이 가능하다.

또한, 본 연구는 교통환경 관리체계구축으로 교통에너지 소비감소와 통행시간의 단축, 대기오염물질 감소 등 교통환경 관리체계 구축에 기초자료로 활용될 수 있다. 이러한 연구 결과는 기존의 교통환경을 고려하지 않고 계획되어지는 도시기본계획, 재정비계획 및 토지이용과 교통시설 계획분야에 주요한 활용자료가 될 것이다.

특히, 시흥시는 향후 개발압력이 높을 것으로 예상되는바, 본 연구를 통해 토지이용 입지로 인한 대기오염 문제를 사전에 예측하고 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 환경부 : 환경백서, 119~120, 1996.
2. 환경부 : 환경통계연감, 509~510, 1995.
3. 환경교육연구회 : 환경오염공정시험법(대기분야), 대학서림, 1458~150, 345~349, 2001.
4. 5. 권우택 : 주간선도로의 입지가 대기오염물질의 분포에 미치는 영향에 관한 연구, 경원대학교 박사학위논문, 10~37, 122~125, 2000. 6.
6. 국토연구원 : Space Syntax를 활용한 개성공단 개발의 공간적 파급효과, 31~41, 2002. 12.
7. 임현식, 김영옥 : 도시공간구조와 지가의 상호관련성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 18권 7호 133~140, 2002. 7.
8. 이우형, 김영옥 : 서울의 도시공간구조와 기능의 변천에 관한 연구: Space Syntax를 이용한 공간구조분석을 중심으로, 한국도시계획학회 논문집 3권 1호 41~57, 2001. 6.
9. 한국스페이스신택스연구소 : 시화멀티테크노벨리 4공구 조성공사, 2002. 11.
10. The Effects of street grid configuration on pedestrian exposure to vehicular pollution, London University, Ben Croxford, 1994-96.
11. Camden Pollution Modelling Study, Space Syntax, London, 1998.

12. Penn, A., Configurational Modelling of Urban Movement Networks, Environment and Planning B: Planning and Design, 1998.
13. Jake Desyllas, Relationships Between Urban Street Configuration and Office Rent Patterns in Berlin, University of London, 2000.