

## GIS와 RS를 이용한 도시확산 포텐셜 평가기법의 개발

김대식 · 정하우\*

충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 · 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

## Development of a potential evaluation method for urban expansion using GIS and RS technologies

Kim, Dae-Sik · Chung, Ha-Woo\*

Dept. of Agri. Engineering, College of Agri. &amp; Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ.

\*Dept. of Agri. Engineering, College of Agri. &amp; Life Sciences, Seoul Nat'l Univ.

**ABSTRACT** : This study aims to develop a potential evaluation method for urban spatial expansion using remote sensing (RS) and geographic information system (GIS). A multi-criteria evaluation method with several criteria and their weighting values was introduced to evaluate the score and quantification of the potential surface around the existing cities. The six criteria with one geographic factor, slope, and five accessibility factors, time distance from center of the city, national road, interchange of expressway, a big city, and station, were defined for the potential. RS techniques were applied for classification of the actual urban expansion maps between two periods, and GIS functions were used for score of accessibility criteria with a distance decay function from geographic, road and several point maps, which was developed in this study. The new methodology was applied to a test area, Suwon, between 1986 and 1996. In order to optimize the six weighting values, this study made new findings to search the optimal combination of the weighting values from new methodology, weighted scenario method for intensity order (WSM), combined with intensity order and AHP method, including a trial and error method for sensitivity analysis to make the intensity order. The optimal combination of the weighting values by the new method generated the optimal potential surface, considering spatial trend of urban expansion in the test area.

**Key words** : GIS, Land-use planning, Potential evaluation, RS, Urban expansion

## 1. 서론

도시화에 의한 도시적 토지이용면적의 증가는 인구 증가 및 외부 인구의 유입에 의한 최소한의 수요에 따른 것과 시간에 따라 증가하는 인구 1인당 필요한 도시적 토지이용면적의 증가에 따른 것에 의해 날로 가속화되고 있다. 도시내부에서는 도시적 토지이용면적이 포화되었기 때문에 날로 증가되는 도시적 토지이용의 수요는 그 주변 농촌지역으로 확산될 수밖에 없다. 체계적이지 못하고 무질서한 형태의 확산을 유발하여 시군의 외곽지역에 있는 농경지나 산림을 잠식하는 스프롤(Sprawl) 현상을 초래하며 나아가 가까운 도시 간에

는 농촌이 분리되지 않는 연담화(Conurbation) 현상을 보인다. 스프롤 현상은 궁극적으로 도시 및 농촌지역의 비효율적인 토지 낭비를 초래하며, 도시주변 농촌지역에서는 인구증가에 비해 난개발에 의한 현상으로 그 지역의 인구의 수요에 의한 도시적 토지이용면적보다 과대한 도시화 현상을 보이기도 한다. 이러한 도시확산의 추세로부터 농촌지역의 농경지를 보호하고 토지이용의 효율을 기하기 위해서는 방어적 측면에서 도시확산에 관한 연구를 수행할 필요가 있으며, 공간적인 입지에 있어서 도시화의 잠재적 가능성, 즉 도시화 포텐셜의 평가에 관한 연구가 필요하다.

도시성장을 재현하는 연구는 다양한 분야에서 이루어져 왔으며, 일반적 공간 생성 모형에는 CA(cellular automata), 집성모델(aggregate model), 형상법칙(shape grammars)과 같은 생물학 및 진화 이론에 근거를 두고

Corresponding author : Kim, Dae-Sik

Tel : 042-821-5795

E-mail : drkds19@cuvic.cnu.ac.kr

있는데, Erickson과 Lloyd-Jones(1997)은 이러한 모형을 첫째, 도로공간과 건물공간사이의 관계를 모델링 하는 국부 집성 모형(local aggregative model), 둘째, 공간을 이동공간과 두 종류의 개방공간으로 나타내고 여기에 거리와 도로를 구분하여 5가지로 구성하는 도로-절점 생성 모형(path node generator model), 셋째, 도로-절점 생성 모형과 같으나 건물의 형태를 고려하는 거리-건물 사용 모형(street and building use model), 넷째, 규칙적이고 복잡한 규칙을 적용하는 세부부분 생성 모형(subdivision generator) 등 네 가지로 구분하고 있다(김대식과 정하우, 2002a, Erickson과 Lloyd-Jones, 1997). 또한 CA를 이용한 도시성장 모의에 관한 연구로서 정재준 등(2002)는 도시성장의 형태를 기존 도시 셀 주변이 점차 도시화 되는 외연적 성장(spillover expansion), 기존 도시 셀에 연속적이지 않으면서 주변 비도시 셀들이 난수 발생적으로 도시화되는 비지적 성장 (leapfrogging expansion), 도로를 따라 주변이 점차 도시화 되는 방사형 성장 (radial expansion)의 세 가지로 분류한 바 있다. 확산 형태 측면에서 외연적 성장으로 분류될 수 있는 것으로서 김대식과 정하우(2002b)는 소규모 마을의 성장을 CA를 이용하여 모의한 바 있다. CA를 이용한 도시 또는 마을 성장을 모의하는 연구에서는 대부분 변화 규칙(Transition rule)을 사용하게 되며, 이 규칙은 확률 또는 포텐셜 개념으로 정량화되어 최종적으로 컴퓨터 모델링에 사용된다. 따라서 도시성장 모의에 관한 연구에서 모의의 정도를 결정하는 가장 중요한 요소는 변화 규칙의 설정과 관련된 포텐셜의 계량화라 할 수 있다.

도시 주변에 있는 비도시 지역이 도시화로 변할 확률을 결정할 수 있는 도시화 포텐셜은 다양한 인자들에 의해 결정될 수 있으며, 지형, 토양 및 접근성 인자 등을 연구목적에 따라 포괄적으로 사용하는 경우와 한 두 가지 인자만을 단순 적용하는 경우 등 다양한 사례를 볼 수 있으나, 실제 확산된 도시의 공간적 자료를 근간으로 상관성이 높은 평가인자들의 선정과 평가인자들의 중요도를 최적화하는 방법을 현실적으로 구체화한 연구는 희박하다. 따라서 본 연구에서는 도시의 확산 포텐셜을 계량화하기 위하여 평가인자들과 관련 중요도를 최적화하여 향후 도시확산 모델링의 기초자료 및 방법론을 제공하고자 한다.

## II. 포텐셜 평가기법의 개발

### 1. 이론 전개

#### 가. 포텐셜 평가

도시확산 포텐셜(Potential)은 장래에 도시 지역으로

변환 잠재력이 높은 정도를 수치화하여 나타내는 것으로서, 토지적성분석과 같은 결과에 의한 적성치가 유사한 의미로 사용될 수 있다. 도시확산 모델러들이 많이 사용하는 포텐셜 개념은 적성치를 분석하여 사용한 연구사례를 많이 볼 수 있는데 포텐셜의 경우에는 최대값이 1이 되는 상대적 값의 분포를 공간상에 나타내는 것이 일반적인 형태이다. 기존의 일반적인 토지적성분석(Land suitability analysis)은 그 토지가 가지는 자연적 특성을 위주로 어떤 형태의 용도로 사용했을 때 가장 효율적인가를 점수화하고 다른 용도와 이 점수를 비교한 후 서로 경합이 있을 경우에는 그 지역의 토지이용 정책방향을 고려한 뒤 최종적으로 토지이용 형태를 구상하는 기초 단계로서 활용된다. 여기에 어떤 시설 또는 지역으로부터 접근성과 같은 사회적 인자를 고려하면 어떤 시설의 입지를 선정하는데도 적성분석법이 활용될 수 있다. 포텐셜 평가는 토지의 용도를 결정하기보다는 어떤 용도의 토지가 될 잠재적 가능성으로 확률적 개념을 가진 공간상에 연속적인 값의 분포 곡면으로 설명될 수 있으며, 이 포텐셜 값은 토지 자체가 가지는 토양, 경사 등의 자연적 인자(그 토지의 절대적 확률)를 기본으로 주변 다른 지역에서 그 토지에 영향을 주는 사회적 인자(다른 지역에서 받는 상대적 확률)를 고려하여 계량화할 수 있다. 이 때의 포텐셜 값은 확률과 같이 최대값 1을 가지는 것으로서 다음 식 (1)과 같이 평가인자들과 각 인자들의 가중치의 곱의 합으로 표현되는 다기준평가법으로 정의될 수 있다(김대식과 정하우, 2002b).

$$V_k = \left( \sum_{h=1}^n w_{kh} x_{kh} \right), \quad \forall k \quad (1)$$

여기서  $k$ 는 평가 대상격자,  $h$ 는 평가기준,  $c$ 은 평가기준 개수,  $V_k$ 는  $k$ 격자의 적지 평가치 (포텐셜)이며,  $x_{kh}$ 는  $k$ 격자의  $h$ 번째 평가기준을 나타내고  $w_{kh}$ 는  $k$ 격자의  $h$ 번째 평가기준의 가중치를 나타낸다.

#### 나. 평가인자 설정

식 (1)에서 필요로 하는 평가인자들은 자연적 인자, 사회적 인자 등 다양하게 사용될 수 있으나, 도시 또는 개발지(built-up)의 확산 모델링에 관한 연구들에서는 접근성 인자로서 도시 중심에서의 거리, 산업지역에서의 거리, 기차역에서의 거리, 도로에서의 거리, 이웃 응집력 등을, 자연적 인자로서 토성과 경사 등을 사용한 예들을 볼 수 있으며, 주거지 적지 분석에서도 경사, 토양배수, 경사방향, 도로에서의 거리, 하천에서의 거리, 경작지에서의 거리 등을, 마을 확산 모의를 위해서 토지 자체가 가지는 절대적 평가기준으로 정의되는 토성,

경사, 토양 등과 어느 지점에서 상대적 평가기준으로 정의되는 중심지에서의 거리, 도로에서의 거리, 하천에서의 거리 등을 사용한 연구사례들(김대식과 정하우, 2002a, 정하우 등, 1995, White와 Engelen, 1993, Wu, 1998, Wu와 Webster, 1998, Yeh와 Li, 1998)을 참조할 수 있다. 본 연구에서는 도시의 형태가 밀집된 군집의 형태로 점차 확산되는 일반적인 현상을 고려하여, 여기에 기여할 수 있는 인자들을 자연적 인자(절대적 평가인자)와 사회적 인자(상대적 평가인자)들을 고려하였다. 절대적 인자는 셀 그 자체가 가진 것으로서 도시화와 관련되어서는 경사도, 고도 등의 지형자료와 토성, 유효토심 등의 토성에 관한 자료가 대표적이다. 상대적 인자는 다른 곳으로부터 영향을 받는 것으로서 접근성이 대표적인 인자인데, 도시 중심에서 거리, 대도시에서 거리, 서비스 시설에서 거리, 기차역에서 거리, 상업지역에서 거리 등을 예로 들 수 있다. 이러한 많은 인자들중에서 실제로 도시확산에 영향을 많이 주는 것으로 알려져 기존 연구자들이 많이 사용한 사례가 있는 인자들과 실제로 자료의 획득이 가능한 인자들을 중심으로 본 연구에서는 표 1과 같은 대표적인 인자들을 선정하였다.

표 1과 같이 절대적 평가인자인 경사, 상대적 평가인자로서 그 도시 중심에서 거리, 주변 대도시에서 거리, 고속도로 톨게이트에서 거리, 기차역에서 거리, 및 국도에서 거리 등 5개의 접근성을 포함하여 전체 6개의 평가인자들을 구성하였다. 도시가 주변으로 서서히 팽창하는 기본원리를 감안하여 토양의 배수정도, 경사방향 등의 인자들은 도시의 건조환경에 영향을 적게 주는 것으로 판단하여 최소한의 지형인자인 경사만을 고려한 것이며, 도시확산에 가장 영향을 많이 주는 접근성 인자들은 다양하게 도입하였다.

표 1. Evaluation criteria of urbanization potential area

criteria	grade & score	1	2	3	4	5	weighting value
		1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	
Slope(%) (SL)		< 2	< 7	< 15	< 30	30 ≤	w <sub>1</sub>
Time distance (D)	from city center (CI)	Score = 1/D <sup>a</sup> , If TD = 0, Score = 1					w <sub>2</sub>
	from national road (NA)	Score = 1/D <sup>a</sup> , If TD = 0, Score = 1					w <sub>3</sub>
	from big city (BI)	Score = 1/D <sup>a</sup> , If TD = 0, Score = 1					w <sub>4</sub>
	from station (ST)	Score = 1/D <sup>a</sup> , If TD = 0, Score = 1					w <sub>5</sub>
	from tollgate (TO)	Score = 1/D <sup>a</sup> , If TD = 0, Score = 1					w <sub>6</sub>

\* a : a parameter in a distance decay function

한편, 표 1에서 보는 바와 같이 각 인자들은 평가등급과 평가점수로 계량화될 수 있는데, 경사의 경우는 기존의 연구에서 주거지 적성 평가에서 사용했던 등급구분<sup>3,6)</sup>을 적용하였으며, 접근성 인자들에 대해서는 직선거리, 도로거리, 시간거리 중에서 도시화에 가장 상관성이 높은 시간거리(Kim, D. S. 등, 2002)를 택하여 시간거리가 가까울수록 높은 점수를 가지는, 즉 시간거리에 반비례하는 것으로서 그림 1과 같이 거리감쇄곡선의 연속된 곡면을 가지는 중력모형(gravity model) 형태의 접근성 측정법으로 연속점수법(Continuous score method)을 도입하였다. 이것은 평가인자들의 점수화에 관한 많은 연구들이 보여주는 등급별 계단형태(그림 1에서 Discrete 5 Step score)의 점수화 기법이 본 연구에서 추구하는 연속된 도시 확산 포텐셜 곡면을 재현하는데 어려움이 있을 것으로 판단하였기 때문이며, 가까운 곳에서 매우 높은 점수를 가지며 어느 거리 이상 멀어지면 비슷한 정도의 낮은 값을 가지도록 하여 기존 도시에 가까운 곳이 먼저 도시화되는 일반적 도시 확산의 현상을 합리적으로 구현하기 위한 것이다. 그림 1에서 접근성 인자들에 대한 거리감쇄곡선 형태의 점수화 공식은 다음 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$S_i = \frac{1}{D^a} \forall i \tag{2}$$

여기서, S는 점수, i는 접근성 인자들의 종류, D는 시간거리, a는 지수로서 0과 1사이의 값을 가지며 그림 1에는 1과 0.5의 경우에 대하여 나타내고 있다.

또한 각 평가인자들은 그 중요한 정도의 차이를 나타내는 가중치 (Weighting value, w)를 가지는데, 전체 합이 1이며 보정매개변수의 형태로서 순위법, AHP법 등 다양한 기법에 의하여 계량화 될 수 있는데, 본 연구에서는 순위법과 AHP법을 함께 적용하는 새로운 방안을 모색한다.

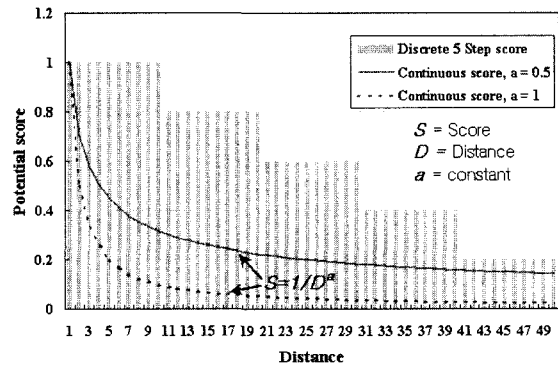


그림 1. Concept of continuous score surface with distance decay functions.

## 2. 평가기법의 구성도

최종 결과를 비교해볼 수 있는 실측치가 없을 경우에는 정의된 평가인자들의 가중치를 AHP법 등을 이용하여 의사결정자의 주관에 따라 결정될 수도 있으며 전문가 집단을 구성하여 구하는 것도 가능하다(최수명과 황한철, 1997) 그러나 본 연구에서는 비교대상 실측치가 있을 경우에 보다 최적화된 가중치를 객관적으로 구하기 위하여 보정매개변수로 설정하여 최적화하는 방안을 도입하였다. 최적화 방법은 여섯 개의 변수를 합이 1이 되는 무수히 많은 조합들에 대하여 각각 포텐셜을 계산한 후, 이들 중에서 실제 확산된 도시 셀들의 포텐셜의 합이 최대인 조합을 탐색하는 시행착오법이 가장 일반적인 하나의 방법이 될 수 있으며, 앞에서 설명한 AHP법을 포함하여 간접적으로 중요도를 결정하는 방법으로 전문가 집단 등을 구성하여 다수의 주관적인 의견을 구하여 통계적으로 객관화한 가중치를 정의하는 것이 또 하나의 방법이 될 수 있다. 전자의 경우는 무수히 많은 조합으로 인하여 계산시간이 너무 많이 소요되므로 이러한 연구에서 사용할 수 있는 일반적으로 효율적인 방법이라 하기 어려우며, 후자의 경우는 신속하게 결정될 수는 있으나 전문가 집단의 구성 및 전문가들의 성향에 따라 그 결과가 달라질 수 있는 여러가지 문제점이 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이들이 단점을 보완하면서 실제 도시확산 경향에 대한 특성을 반영할 수 있도록 새로운 방안을 강구하였는데, 그림 2에 나타나 있는 바와 같이, 첫째, 시행착오법의 매개변수 조합 결정, 둘째, 순위법의 순위 결정, 셋째, AHP법에 의한 가중치 결정 등의 3단계를 따르는 중요도 순위 결정을 위한 가중된 시나리오법(Weighted Scenario Method, WSM)이 그것이다.

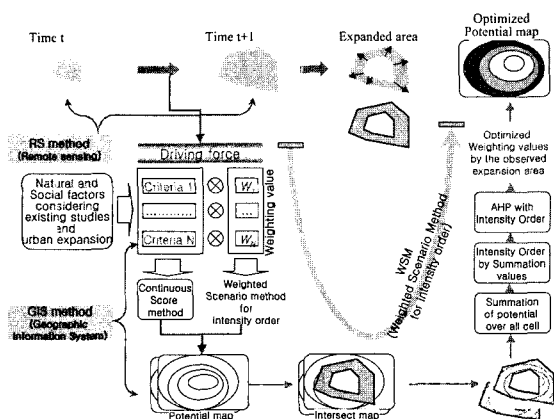


그림 2. Flow diagram of potential evaluation method for urban expansion.

본 연구에서 시도하는 포텐셜 평가기법인 그림 2의 분석 절차는, 첫째, RS를 이용하여 분석에 필요한 도시확산 자료에 발생된 도시확산 자료를 구축하고, 둘째, 도시확산에 기여한 영향인자들을 다양하게 정의한 후 GIS를 이용한 평가인자자료를 확보하며, 셋째, 연속점수화법 등으로 평가인자들을 점수화하고, 각 가중치들에 대하여 민감도분석 시나리오를 결정한 후에, 넷째, 각 시나리오별 포텐셜 지도를 생성하여 도시확산 도시가 확산된 셀들의 시나리오별 포텐셜 값들을 추출하여 통계분석을 실시하고, 다섯째, 시나리오별 통계분석 결과로부터 각 인자들의 중요도 순위를 결정한 후에, 중요도 순위를 고려하여 AHP법에 의한 최적화된 가중치를 결정하며, 마지막으로 최적화된 가중치를 적용하여 포텐셜 지도를 생성하는 것으로 구성된다. 이러한 방법은 기존의 몇몇 평가자들에 의하여 단순히 AHP 매트릭스를 작성한 후 가중치를 결정하던 방법에서는 고려하기 힘든 실제 도시의 확산 자료를 바탕으로 인자들의 중요도를 최적화함으로써 도시 확산 경향 등을 고려할 수 있는 장점이 있을 것으로 판단된다.

## III. 평가기법의 적용

### 1. 대상 지역

본 연구에서는 대도시인 서울에서 어느 정도 거리를 두고 있으면서 수도권에 위치하여 서울의 영향 등 주변의 영향으로 급속히 팽창하고 있는 수원시를 대상지역으로 선정하였다. 수원시의 인구는 1965년 12만명, 1985년 43만명, 1995년 75만명으로 급속히 증가해 왔다. 특히 1990년대를 기점으로 수도권의 교통망의 확충 등으로 도시의 팽창은 가속화되었다. 따라서 본 연구에서는 분석 시기를 1980년대 중반에서 1990년대 중반사

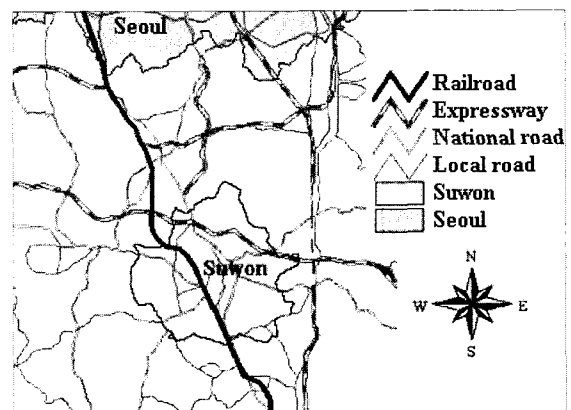


그림 3. Location of study area, Suwon city.

이의 10년 동안을 택하였으며, 이 기간동안 도시확산 자료와 선정된 평가인자들의 자료를 구축하여 사용하였다.

2. 자료 구축 및 가공

가. 자료구축 설계

제안된 평가기법에 필요한 자료들은 대부분 지도자료로서 RS 및 GIS 기법으로 구축할 수 있다. 표 1과 그림 2에서 정의된 지도 레이어를 포함하여 원시자료 및 최종적인 결과를 유도하는 과정에 요구되는 자료들을 나타내면 표 2와 같이 정의할 수 있다.

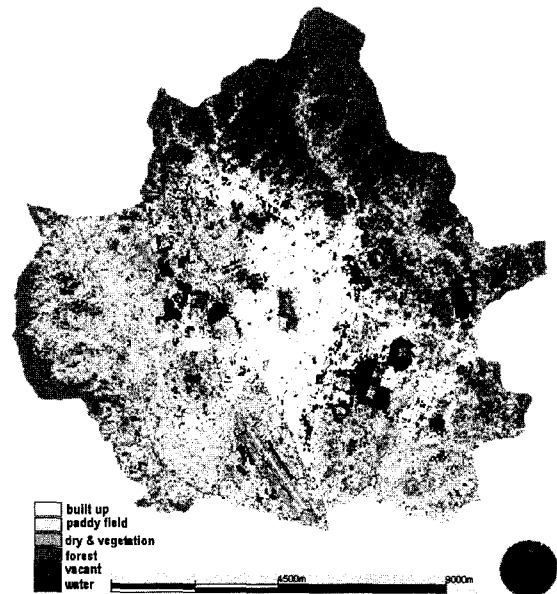
경사도는 등고선도로부터 DEM을 생성한 후에 만들어지며, 접근성 인자들인 시간거리도는 출발점에 해당되는 점(point) 또는 선(line)을 기본으로 도로의 자동차 설계속도를 고려한 도로망을 따라 각 셀에서 그 셀이

가지는 시간거리를 가진다. 이때 도로망, 톨게이트 위치 등 모든 자료들은 본 연구의 시간적 범위를 고려하여 1980년대 중반과 1990년대 중반의 가운데 시기인 1990년도 전후의 시점에서 구축하였다. 그린벨트 및 진흥지역을 나타내는 Zoning map은 도시확산 포텐셜은 높으나 실제로 도시화 금지지역이므로 도시화는 진행되지 않았던 결과를 보이기 위하여 구축하였으며, 마지막으로 도시확산 지도는 1986년과 1996년도의 인공위성 영상인 Landsat TM을 사용하여 분류하여 사용하였다.

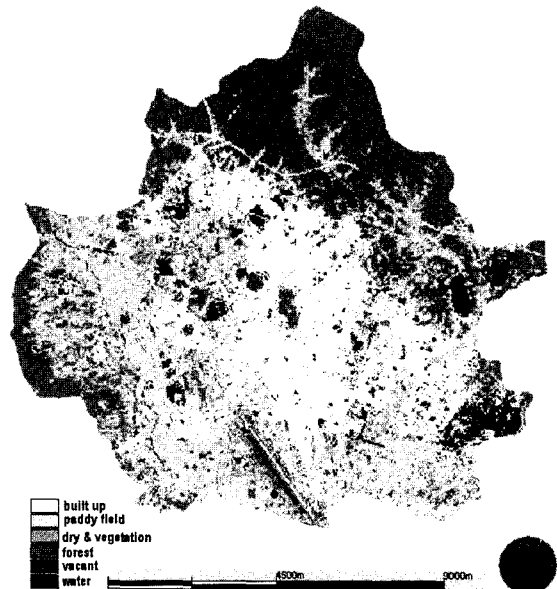
표 2. GIS layer design sheet for potential evaluation of urban expansion

layer name		source	2nd processed	remark
landuse map	landuse1986	Landsat TM	classification	observed land-use map
	landuse1996	Landsat TM	classification	
zoning map	greenbelt	1:50,000		no-change area
	Agricultural Promotion Area	1:25,000		
basic map	road	1:50,000		for time distance
	contour	1:50,000	slope DEM	criteria for land-use change probability
point map	seoul center	1:50,000		source points for accessibility calculation
	city center	1:50,000		
	IC	1:50,000		
	station	1:50,000		
accessibility map	from city	cost distance <sup>1)</sup>	time distance	criteria for land-use change probability
	from IC	cost distance	time distance	
	from station	cost distance	time distance	
	from Seoul	cost distance	time distance	
	from road	cost distance	time distance	

\* 1) cost distance: a function for calculation of weighted time distance in ARC/INFO



(a) land-use map of 1986



(b) land-use map of 1996

그림 4. Classified land-use map.

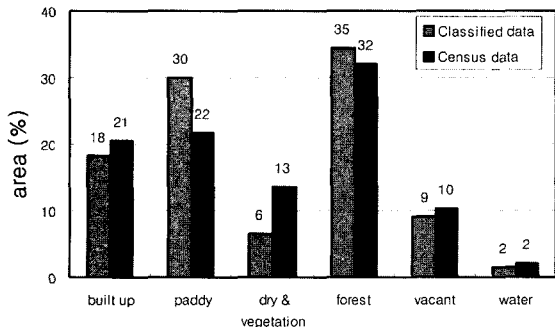
**나. RS에 의한 도시확산 자료의 구축**

본 연구에서는 LANDSAT 5 위성의 궤도 116-34(path-row)에 해당하는 1986년 4월 15일과 1996년 4월 10일의 영상, 28개와 27개의 GCP에 대하여 RMS 0.41과 0.42로 기하보정 하고, Tasseled Cap 변환, 지수변화, 그리고 주 성분 분석에 의한 변환으로 재구성된 10개의 밴드들에 대하여 감독분류를 실시하여 그림 4와 같이 도시화 건조지역, 논, 밭-초지, 임야, 나지, 그리고 수역 등 6개의 토지이용/피복을 분류한 결과, 검증지역(verification samples)에 대한 정확도 평가 결과가 두 영상에 각각 90%, 86%로 양호하게 나타났으며(김대식, 2002), 수원시의 시군통계자료로부터 재분류한 토지이용분포와 비교한 결과 그림 5와 같이 면적비율의 오차가 가장 높은 1986년 Paddy의 경우 8%, 1996년의 경우 9%로 나타났으며(Kim, D. S. 등, 2003a), 나머지는 비교적 잘 일치하였다.

**다. GIS에 의한 평가인자 자료의 구축**

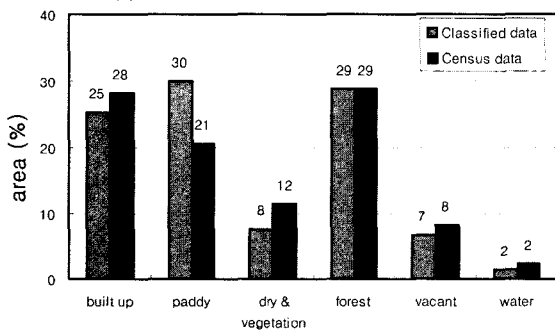
본 연구에서 정의한 6가지의 인자들 중에서 경사도는 1:50,000 등고선도로부터 구한 셀크기 30m의 DEM 으로부터 가공되어 경사도를 %단위로 나타내었다. 나머지 5개 인자는 1990년도의 도로망과 역, 톨게이트 등

각각의 포인트 지도를 구축하여 실제 교통상황에 따른 교통체증과 교통신호등 등에 관한 변수들은 고려하지 않고 도로망이 가지는 도로 종류별 설계속도를 기저로 하는 비용거리(Cost distance)를 도입하여 공간상의 시간 거리(Kim, D. S. 등, 2003b)를 구하여 30m의 격자 지도로 나타내었다. 그림 6의 (b)~(f)는 이들 5가지 인자들에 대하여 “분” 단위로 환산하여 나타낸 것이다. 각 인자들의 지도에서 보는 바와 같이 흰색 부분은 시간거리가 적은 부분, 짙은색 부분은 시간거리가 많이 소요 되는 것을 의미한다. 이들 각 인자들이 가지는 통계분석을 위하여 1986년과 1996년 사이에 도시화된 셀들을 추출하고 이 셀들에 상응하는 각 인자들의 값들을 추출한 결과 표 3과 같이 나타났다. 연구대상 공간적 범위에 대하여, 도시중심에서 시간거리는 평균 5.2분, 국도에서는 1.47분, 서울에서는 30.79분, 역에서는 4.71분, 톨게이트에서는 6.48분 등으로 나타났다.



land-use type

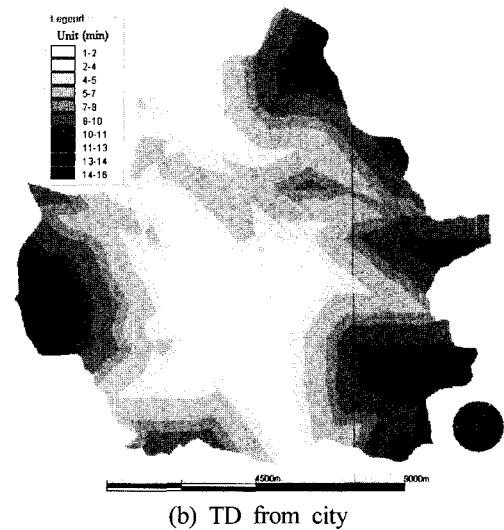
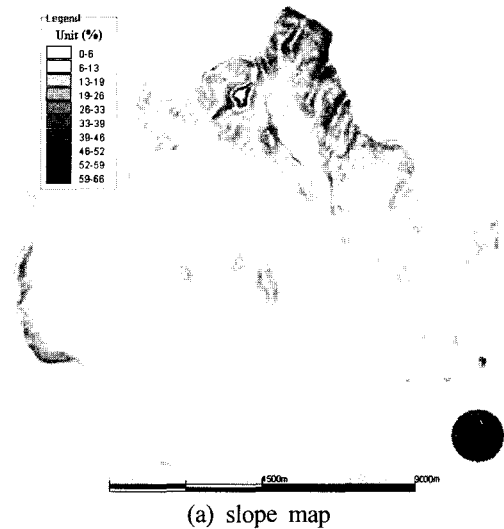
(a) with the census data at 1986

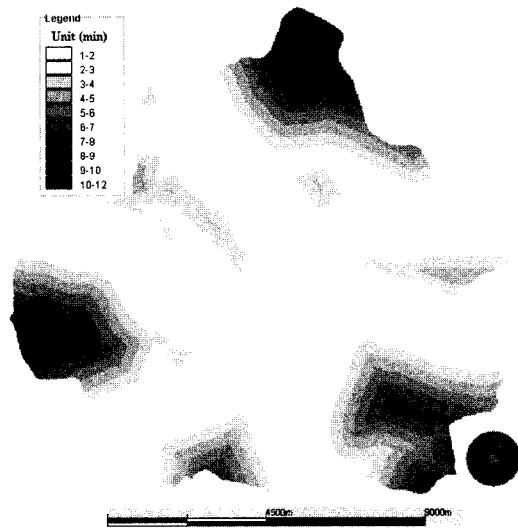


land-use type

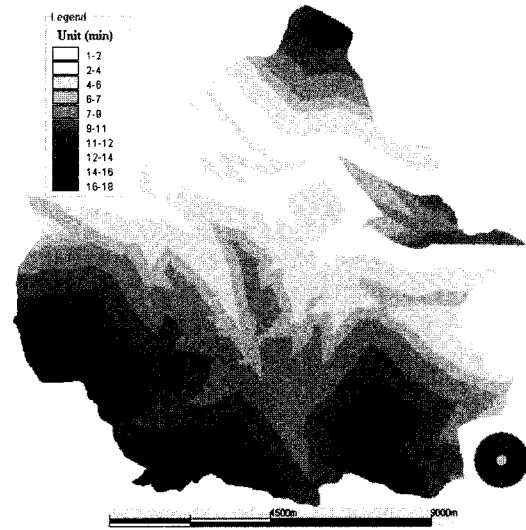
(b) with the census data at 1996

그림 5. Verification results for classification with census data for land-use of Suwon city



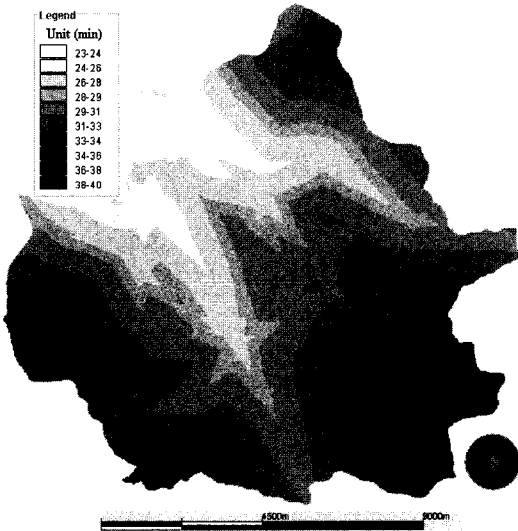


(c) TD from national road

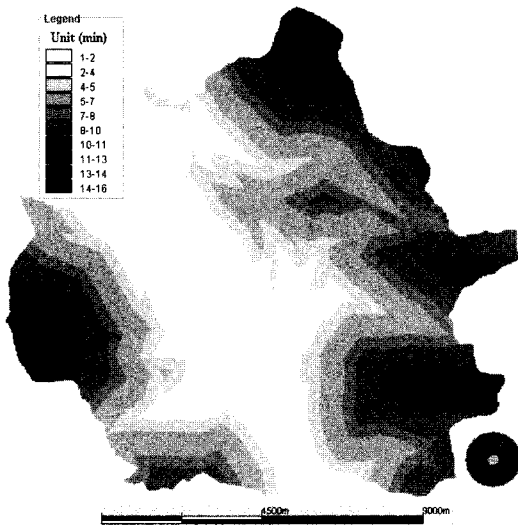


(f) TD from interchange

그림 6. Slope map and time distance(TD) maps.



(d) TD from Seoul



(e) TD from station

표 3. Statistical analysis of criteria for the urbanized area between 1986 and 1996

criteria statistic	city (min)	national (min)	seoul (min)	station (min)	toll (min)	slope (%)
mean	5.20	1.47	30.79	4.71	6.48	2.17
std	2.48	1.69	3.60	2.62	2.98	3.60
max	14.00	9.00	39.00	12.00	15.00	32.06
min	0.00	0.00	23.00	0.00	0.00	0.00
meadian	5.00	1.00	31.00	5.00	7.00	0.03

### 3. WSM에 의한 가중치의 최적화

#### 가. 가중치의 중요도 순위 결정

WSM에 의한 첫번째 과정은 순위결정을 위한 전단계로서 최소한의 매개변수 조합 시나리오를 결정하기 위하여, 표 4와 같이 6개 변수에 대하여 6가지 시행착오범 형태의 변수조합을 설정하였는데, 이것은 어느 변수가 전체 포텐셜 값에 어느 정도 영향을 주는가를 평가하여 그 우선 순위들을 정하는 개념으로서 매개변수의 민감도 분석과 유사한 과정이다. 즉, 어떤 변수가 기존의 도시화에 영향을 많이 주었는지에 대한 민감도를 알아보기 위하여 각 변수들을 하나씩 차례대로 0.5씩 가중시키고 나머지는 0.1씩 대입한 각각의 시나리오에 대한 도시확산 포텐셜의 값들을 비교해봄으로써 어느 변수가 가장 큰 영향을 주는 지를 상대적으로 파악할 수 있다. 이러한 개념으로 표 4는 각 조합 시나리오들이 하나씩 차례로 0.5씩 가중되고 나머지는 0.1의 낮은 값을 동일하게 가지도록 설계된 것이다. 표 4에 있는 일곱번째 시나리오 S7은 모든 변수가 1/6의 같

표 4. Scenarios for the weighting values with a weighted factor (one 0.5, others 0.1)

weighting value weighted factor	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	Scenario
$W_1$ (slope)	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	S1
$W_2$ (TD from city)	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	S2
$W_3$ (TD from nat'l road)	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	S3
$W_4$ (TD from Seoul)	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	S4
$W_5$ (TD from station)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	S5
$W_6$ (TD from toll)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	S6
No weighted factor	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	S7

표 5. Statistical analysis for potential score value of each grid to seven scenarios

Statistic	Scenario	Score value (total score 1,000 for each grid)						
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Mean (1)		627	371	570	341	395	360	444
Max		900	875	900	900	875	900	833
Min		178	125	158	116	128	136	152
Std		106	146	189	134	174	142	132
Weighted factor		W1	W2	W3	W4	W5	W6	-
Intensity order by (1)		1	4	2	6	3	5	-

은 값을 가지도록 설계된 것으로 전체 7개의 시나리오 (S1~S7)들을 각각 평가인자들의 값에 적용하여 포텐셜을 계산한 후, 그림 4의 실제 도시확산된 셀들을 추출하고 각 시나리오별로 포텐셜 값들을 통계분석한 결과는 표 5와 같이 나타났다. 여기서 포텐셜 값은 계산의 편의를 위하여 1000을 곱하여 1000점 만점으로 표현하였다. 표 5에서 보는 바와 같이 10년동안 확산된 셀들에 대한 각 시나리오별 포텐셜 값들은 각각 다른 값을 나타내었는데, 포텐셜이 높은 곳에서 먼저 도시화가 되었다는 상식적인 가정하에서 포텐셜이 높은 시나리오에서 가중된 변수가 높은 중요도 순위를 가지므로 표 5와 같이 중요도 순위 (Intensity order)를 결정하였다. 여기서 모든 변수가 같은 값을 가지는 시나리오 S7은 순위에서는 3위에 해당되는 값을 보였다.

나. AHP법에 의한 가중치 결정

AHP법으로 가중치를 결정하기 위하여 표 5에서 설정된 우선순위를 고려하여 AHP법의 중요도 매트릭스를 작성하였다. 그 과정에서 우선순위와 중요도와의 관계는 표 6에서 정의하였다. 표 6에서 보는 바와 같이 순위 차이가 1일 경우 (예, 1과 2 또는 4와 5 등)에는 순위가 높은 것에 "2", 낮은 것에 "1/2"를, 순위차가 2,

표 6. The AHP scale for paired comparisons and definition of intensity order

Intensity of importance	Definition	In this study
1	Equal importance	No same intensity order
3	Weak importance of one over another	3 for 2 step difference (ex, order 1 and 3)
5	Essential or strong importance	5 for 3 step difference (ex, order 1 and 4)
7	Very strong or demonstrated importance	7 for 4 step difference (ex, order 1 and 5)
9	Absolute importance	9 for 5 step difference (ex, order 1 and 6)
2,4,6,8	Intermediate values between adjacent scale values	2 for adjacent order (ex, order 1 and 2)

표 7. AHP matrix for optimal weighting value using the intensity order

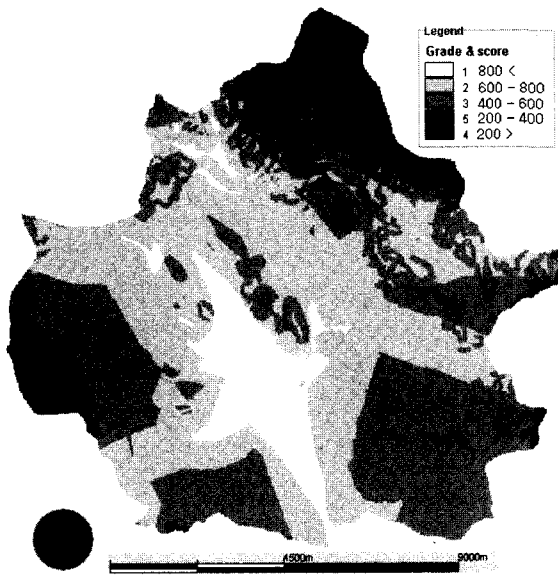
Weighting factor (Intensity order)	$W_1$ (1)	$W_2$ (4)	$W_3$ (2)	$W_4$ (6)	$W_5$ (3)	$W_6$ (5)
$W_1$	1	5	2	9	3	7
$W_2$	0.2	1	0.333	3	0.5	2
$W_3$	0.5	3	1	7	2	5
$W_4$	0.111	0.333	0.143	1	0.2	0.5
$W_5$	0.333	2	0.5	5	1	3
$W_6$	0.143	0.5	0.2	2	0.333	1
Calculated weighting value	0.415	0.090	0.255	0.034	0.153	0.054

3, 4, 5일 경우에는 높은 곳에 각각 3, 5, 7, 9를, 낮은 곳에 그 역수들을 설정하여 표 7과 같은 AHP 매트릭스를 작성하고 고유벡터를 구하여 최종적으로 가중치를 계산하였다. 그 결과  $w_1$ (경사),  $w_3$ (국도에서 시간거리),  $w_5$ (기차역에서 시간거리),  $w_2$ (도시중심에서 시간거리),  $w_6$ (톨게이트에서 시간거리),  $w_4$ (서울에서 시간거리)의 순으로 각각 0.415, 0.255, 0.153, 0.090, 0.054, 0.034의 값을 보였다. 이 결과는 연구의 시간 범위동안 경사가 완만한 평지를 위주로 경사도의 점수가 높은 곳에서 도시화가 진행되었음을 의미하며, 기존의 국도 주변, 기차역에서 가까운 곳, 그리고 도시중심에 가까운 곳에서 도시화가 진행된 것을 뜻하며, 서울에서는 어느정도 거리를 두고 있으므로 연구지역내부에 부분적으로 차이를 두는 영향을 주지 않은 것으로 해석될 수 있다.

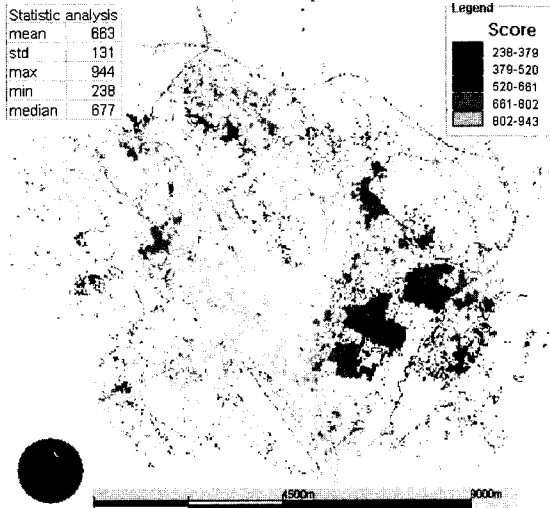
4. 적용결과

최적화된 가중치를 적용하여 도시확산 포텐셜을 계산한 결과 그림 7과 같이 나타났다. 그림 7(a)는 포텐셜





(a) 5 grade potential map

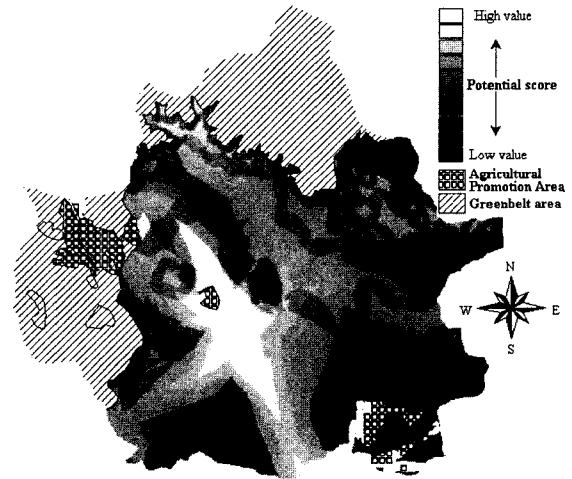


(b) potential in expanded area at 1986-1996

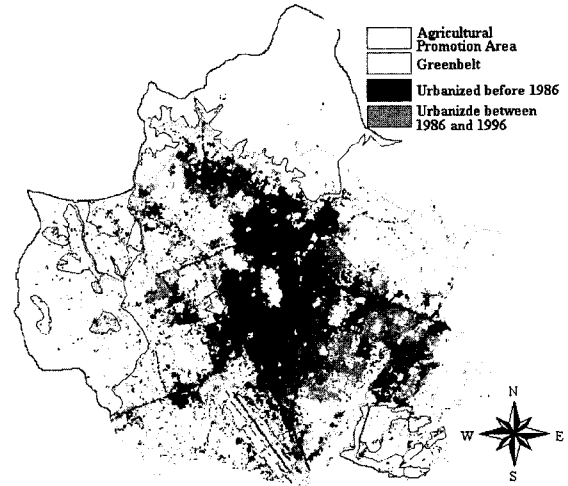
그림 7. Optimized potential surface map.

값을 5등급으로 분류하여 나타낸 것이며, 실제 포텐셜 값을 1986년에서 1996년 사이에 확산된 셀들에 대하여 나타내고 통계분석한 결과는 그림 7(b)와 같다. 그림 7(b)에서와 같이 확산된 지역에서는 최대 944점에서 최소 238점까지 분포를 보이며, 평균 663점으로 나타났고, 표 5의 7개 시나리오 중에서 최대 값을 보인 S1의 627 점보다 높은 값을 보여 본 연구에서 개발한 최적화과정이 합리적 결과를 보여준 것으로 판단되었다.

그림 8은 포텐셜 값의 분포와 그린벨트 및 농업진흥지역을 함께 나타낸 것으로서 그림 8(a)는 최적화된 실제 포텐셜 값의 분포를 (b)는 실제 두시간 확산된 결과를 나타낸다. 결과에서 보는 바와 같이 그린벨트와



(a) potential map



(b) expanded area at 1986-1996

그림 8. Optimized potential surface map with zoning areas.

농업진흥지역 내부에서는 포텐셜 값의 분포와 관계없이 도시화가 거의 이루어지지 않은 것으로 파악되었다. 그러나 나머지 지역에서는 포텐셜이 높은 지역은 거의 도시화가 이미 진행되었으며, 향후 도시확산도 이러한 포텐셜 값의 분포에 따를 것으로 추정된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 도시확산의 공간적 포텐셜을 평가하기 위하여 새로운 기법을 개발하였다. 보다 더 다양한 인자들을 고려할 수 있으나 방법론의 개발에 주안점을 두고 본 연구를 수행한 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 도시확산 포텐셜은 잠재적으로 도시화가 진행될

가능성이 높은 확률의 개념을 가진 연속된 값의 분포로 정의하였으며, 계량화를 위하여 다기준 평가법의 형태로 다수의 평가인자와 각각의 가중치를 보정매개변수로 설정하였는데, 지형인자로서 경사도와 접근성 인자로서 대도시, 도시중심, 톨게이트, 기차역, 그리고 국도에서 시간거리 등 5개를 정의하였다. 각 인자들의 점수화를 위하여 접근성 인자의 경우에 기존의 몇단계의 분할된 등급이 아니라 연속된 점수 분포를 가지도록 하기 위해서 중력모형 형태의 거리감쇄곡선을 점수계산에 도입하였다.

2) 각 인자들의 가중치는 보정매개변수로서 최적화할 수 있는 방안을 강구하였는데, 시행착오법에서 사용하는 매개변수 조합을 최소화 하는 시나리오를 설정하고 실제 확산된 지역의 포텐셜을 추출하여 이 값의 크기에 따라 시나리오의 중요도 순위를 설정하며, 이 순위를 AHP법의 중요도 매트릭스 작성의 기준으로 정의하여 최종적으로 AHP법에 의한 최적화 가중치를 계산하도록 하였는데, 이를 가중시나리오법 (WSM, weighted scenario method for intensity order)이라 정의하였다.

3) 개발된 점수화 방안과 가중치의 최적화 방법을 구현하기 위하여 원격탐사와 지리정보시스템 기법을 도입한 전체적인 방법론을 구체화하였으며, 실제 대상지역으로 선정된 수원시의 1986년과 1996년 사이에 변화된 도시화의 결과에 대하여 새로운 방법론을 적용하였다. 그 결과 본 연구에서 시도한 포텐셜 평가기법이 실제 확산된 도시화 지역에 대하여 높은 값을 보여 줌으로서 실제 확산 경향을 고려한 도시 확산 포텐셜의 공간적 추정이 가능하였으며, 지금까지 진행된 도시현상의 해석뿐만 아니라 향후 전개될 도시화의 경향의 추정에도 응용이 가능할 것으로 보였다.

본 연구의 결론으로서, 이러한 도시화의 포텐셜을 공간적으로 추정할 수 있는 기법을 개발하므로써 기존 연구의 도시확산 포텐셜 값을 계산하는 방법들은 그 결과에 대해서 실측치에 대해 검증할 수 있는 방안을 강구하지 못한 어려운 문제를 해결할 수 있는 하나의 방법론을 제시하였다. 이로부터 공간적 확산의 모의를 위해 셀별로 그 값들을 재현하는 복잡한 시공간 모델들에 대해서 새로운 결과의 검증 방안을 가지고 도시의 확산을 미리 예측하는데 활용할 수 있으며, 접경지역에서 상충되는 주변 농촌공간의 토지전용 등 농지손실의 공간적 포텐셜의 추정에도 응용이 가능할 것으로 생각된다. 나아가 농지의 효율적 보호정책 등 주변 농촌지역의 토지이용계획에도 활용이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김대식, 2002, RS를 이용한 도시주변 농촌지역의 토지이용변화 특성 분석, 한국농업정보과학회 '02년도 학술논문발표회 및 정보기술이용세미나 : 12-16
2. 김대식, 정하우, 2002a, 농촌마을개발의 시설배치 및 시각적 평가 지원을 위한 공간계획 모형, 한국농공학회지 44(6) : 71-82
3. 김대식, 정하우, 2002b, 농촌마을 개발계획 지원을 위한 토지이용계획 모형(I)-GIS, CA 및 MCE 법을 이용한 개발-, 한국농공학회지 44(4) : 85-98
4. 대한민국토·도시계획학회, 2002, 토지이용계획론, 보성각 : 57-79
5. 정재준, 이창무, 김용일, 2002, 도시성장 분석 및 예측을 위한 셀룰라 오토마타 모델 개발, 대한민국토도시계획학회 37(1) : 27-44
6. 정하우, 박병태, 이정재, 최진용, 1995, 농촌지역 토지이용계획기법 연구 (II) -GIS의 공간분석기법 이용-, 농촌계획 1(2) : 43-51
7. 최수명, 황한철 1997, 농촌계획지원용 지역자원평가 시스템 구축 (II)-AHP기법에 의한 자원요소의 중요도 평가-, 농촌계획 3(2) : 50-61
8. Erickson, B. and T. Lloyd-Jones, 1997, Experiments with settlement aggregation models. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24 : 903-928
9. Kim, D. S., K. Mizuno, and S. Kobayashi, 2002, Modeling urbanization by population potential considering greenbelt effect and various accessibility measurement methods, *Journal of Rural Planning Association* 20(4) : 253-264
10. Kim, D. S., K. Mizuno, and S. Kobayashi, 2003a, Analysis of urbanization characteristics causing farmland loss in rapid growth area using GIS and RS, *Journal of the International Society of Paddy and Water Environment Engineering* 1(4) : 189-199
11. Kim, D. S., K. Mizuno, and S. Kobayashi, 2003b, Modeling urbanization by accessibility in rapid growth areas. *ASCE, Journal of Urban Planning and Development* 129(1) : 45-63
12. White, R. and G. Engelen, 1993, Cellular automata and fractal urban form: A cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns, *Environment and Planning A* 25 : 1175-1199
13. Wu, F., 1998, SimLand: A prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with

- AHP-derived transition rules, *International Journal of Geographical Information Science* 12(1) : 63-82
14. Wu, F. and C. J. Webster, 1998, Simulation of land development through the intergration of cellular automata and multicriteria evaluation, *Environment and Planning B: Planning and Design* 25 : 103-126
15. Yeh, Anthony Gar-on and Xia Li, 1998, Sustainable land development model for rapid growth areas using GIS, *International Journal of Geographical Information Science* 12(2) : 169-189