

## CA기법과 WSM-AHP 간편법을 이용한 도시확산의 결정론적 최적 모의

김대식

충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

### Deterministic Optimal Simulation of Spatial Growth Form for Urbanized Area Using CA Model and Simplified WSM-AHP Techniques

Kim, Dae-Sik

*Dept. of Rural Engineering, College of Agri. & Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ.*

**ABSTRACT** : This study aims to analyze the sensitivity of WSM(weighted scenario method)-AHP method according to variation of nonlinear exponent for accessibility criteria, which are used to make urbanization potential maps with the optimal weighting value for multiple criteria in grid-based GIS technique. Besides this study tried to develop WSM-AHP2 which is simplified by using rank of the potential value for each scenario. The two methods were applied to the test area, Suwon city located south area of Seoul, with time series land-use maps of 1986 and 1996. The evaluation system of urbanization potential have 7 criteria including 6 accessibility criteria. The results of WSM-AHP2, the optimal weighting values and their corresponding potential maps, have almost similar with those of WSM-AHP. In the application of CA(cellular automata) model for expansion of urbanized area using the three potential maps by WSM-AHP, WSM-AHP2, and specialists's AHP evaluation, it also showed that the accuracy of simulation for actual urban area is the highest in the potential map of WSM-AHP, followed by WSM-AHP2 and specialists's AHP evaluation. From the results of this study, WSM-AHP and simplified WSM-AHP2 will be used to generate the optimal potential maps for land-use planning in urban fringe area.

**Key words** : Land-use planning, Land-use change, GIS, CA, urban sprawl, WSM-AHP

## 1. 서 론

인간의 활동에 의해 일어나는 토지이용변화는 과학적으로 모델링을 시도하려는 도시성장모델러들의 주요 관심대상이 되어 왔다. 일정한 면적에서 도시가 외연을 확대한다는 것은 주변 농촌지역이 잠식되는 결과를 반드시 수반하게 되므로, 도시화 지역의 확산은 스프롤 현상과 도시간에 연담화 현상 등을 발생시켜 난개발의 주원인이 되어 왔으며, 이러한 문제를 해결하려는 합리적인 토지이용계획의 핵심적인 이슈로 자리매김 하였다. 도시지역의 2차원 확산 모의는 토지이용 변화 모델링의 영역으로서 토지이용 변화에 관한 천이 규칙을 따라 격자자동변

환기법(cellular automata, CA)에 의해 변화 현상을 재현할 수 있다.<sup>11)12)13)</sup> 2차원 공간에서 확산의 현상을 재현하려는 연구는 여러 야에서 시도되어 왔는데, 산불 확산, 토지이용 변화, 기후 변화, 촌락 주거지 확산 및 식생 변화 등 다양한 모델링 분야에 이용되어 왔다. 또한 도시발달의 역사적 과정을 해석한 연구, 도시 성장의 형태를 모의한 연구, 주거지 개발을 모의한 연구, 다양한 토지이용 형태들의 공간분포를 모의한 경우 등 많은 사례들을 볼 수 있다.<sup>1)~7),15~20)</sup> 나아가 도시성장 형태별 모의를 한 경우와 소규모 농촌마을의 성장을 재현하는데 등 다양한 분야에서 응용되어 왔다.<sup>7)13)</sup> 이와 같은 확산 모의는 마치 물이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흘러가는 것처럼, 도시확산을 위한 물리적 값을 기존 도시화 주변에서 포텐셜로 나타내고, 이 포텐셜을 기반으로 도시확산을 모의하고 예측하는 2단계로 구분된다.<sup>14)</sup>

Corresponding author : Kim, Dae-Sik

Tel. : 042-821-5795

E-mail : drkds19@cnu.ac.kr

포텐셜을 공간적으로 나타내기 위해서는 다기준 평가 시스템의 형태로 여러개의 평가기준으로 구성하고, 각 평가기준은 격자기반의 GIS 지도로 구현될 수 있다. 이때 각 평가기준이 가져야 하는 가중치는 적절하게 최적화되어야 한다. 그러나 포텐셜을 최적화하는 단계에 있어서 가중치의 최적화는 용이하지 않다. 지금까지 모델들은 단순히 의사결정자가 각 레이어별 가중치를 입력하는 형태, 또는 AHP법을 도입하여 항목간 중요도를 비교하는 방식으로 가중치를 2차 생산하여 입력하는 방법 등 비결정론적인 방법을 시도하여 왔다. 결정론적 모델링 기법으로 가중치를 최적화할 수 있는 방안이 있다면 기존의 도시지역 확산 모의는 보다 합리적인 결과를 도출할 수 있다. 결정론적 방법으로 최적화하기 위해서는 모형의 보정단계(Calibration stage)와 이로부터 검증하는 단계(Verification stage)가 필요하다. 보정단계를 위해서는 반드시 모형의 시뮬레이션 결과와 비교할 수 있는 실측 자료가 개발되어야 하며, 이 정답을 기준으로 설정된 목적함수를 기준으로 최적화를 도모할 수 있다. 이러한 관점에서 기존의 연구에서 평가기준 가중치를 최적화하는 방법으로 평가기준의 가중치를 다양한 조합으로 구성하여 민감도 분석 시나리오를 설정하고 각 시나리오별 정답지역의 평균 포텐셜을 구한 후, 평균 포텐셜의 변화율을 표준화하고, 이 값을 AHP법에 적용하여 2차적인 가중치를 도출한 WSM-AHP법을 정식화하여 제시한 바 있다.<sup>14)</sup> 그러나 WSM-AHP법을 적용함에 있어서 평가기준의 점수화 방법이 변화할 경우 WSM-AHP법의 결과에 어떠한 영향을 미치는 지 심층 분석이 필요하였다. 또한 WSM-AHP법을 적용하기 위해서는 수십 개에서 수백 개의 포텐셜 지도를 생성하는 시간적 소모를 단축시킬 수 있는 간편법의 도입이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 WSM-AHP법을 적용함에 있어서 시간적 소모를 단축시킬 수 있는 간편법의 정식화를 시도하였으며, 시험지역에 적용하여 포텐셜 지도의 재현과 더불어 CA모형을 이용한 도시확산의 정확도 평가를 통하여 본 연구에서 개발한 새로운 방법에 대한 결과의 합리성을 검토하고자 하였다.

## II. WSM-AHP 간편법의 전개

### 1. 이론적 배경

도시화 포텐셜 값은 확률과 같이 최대값 1을 가지는 것으로서 다음 식 (1)과 같이 평가인자들과 각 인자들의 가중치의 곱의 합으로 표현되는 다기준평가법으로 정의

될 수 있다.

$$V_k = \left( \sum_{j=1}^c w_j x_{kj} \right), \quad \forall k \quad (1)$$

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

식 (1)에서 평가기준과 가중치를 도출하는 방법인 WSM-AHP법은 Kim and Chung(2004)의 연구와 Kim(2008)의 연구에서 이론적으로 정리되고 실증적으로 적용성이 있는 것으로 보고된 바 있다. 동 방법은 다기준평가기준을 사용하는 격자기반의 분산형 모델에서 각 평가기준의 레이어가 가지는 가중치를 결정론적으로 빠른 시간에 최적화할 수 있는 것으로서, 기존에 확산된 도시지역에 대하여 평가인자들의 최적 조합으로 도출되는 포텐셜 값을 최적화하는 가중치의 쌍을 찾아내는 결정론적 도구이다. 이 방법은 각 평가인자의 가중치를 임의 값으로 계속 가중시켜서 각 평가인자들이 최종 포텐셜 값에 반영하는 정도를 변화율로 환산하여 그 기여도를 도출하는 것으로서 빠른 시간안에 가중치를 합리적으로 최적화 할 수 있다. 동 기법에 의하면 각 가중된 가중치 조합별로 수십 개에 이르는 포텐셜 지도를 생성하는데 많은 시간이 소요될 수 있는 단점이 있는 것으로 분석되었다.<sup>11)12)14)</sup>

WSM-AHP에서 특정한 값으로 가중시킨 가중치의 조합에 의하여 포텐셜 지도를 생성하는 이론적 방법은 다음 식 (2)와 같이 정식화로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_{k1}^i \\ \vdots \\ V_{kj}^i \\ \vdots \\ V_{kn}^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i \cdots Y_i \cdots Y_i \\ \vdots \\ Y_i \cdots X_i \cdots Y_i \\ \vdots \\ Y_i \cdots Y_i \cdots X_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{k1} \\ \vdots \\ x_{kj} \\ \vdots \\ x_{kn} \end{bmatrix}, \quad \forall i, k \quad (2)$$

여기서,  $V$ 는 포텐셜 값을,  $X$ 는 민감도 분석을 위하여 더욱 가중시키는 평가인자의 가중치,  $Y$ 는 나머지  $(n-1)$ 개의 평가인자 가중치를 나타내며,  $k$ 는 평가 대상격자,  $j$ 는 평가항목을 각각 나타낸다.

본 연구에서는 식 (2)에 의하여 구해진 포텐셜 값의 변화율을 고려하는 기존의 WSM-AHP법의 시간 소모 문제를 해결하기 위하여, 포텐셜 값의 순위를 고려하여 각 평가기준의 가중치를 최적화하는 WSM-AHP 간편법의 정식화를 시도하였다(이후, WSM-AHP2법).  $n$ 개의 평가기준들에 대하여 점수화한 후, 각각의 가중치는 WSM법의

절차에 따라 전체  $n$ 개의 시나리오를 설정하고, 각 평가 기준을 순서대로  $X_i$ 의 값으로 가중시키고 나머지는  $Y_i$ 의 낮은 값을 대입한 후, 식 (2)에 의하여 각 시나리오별 포텐셜 값을 구한다. 이와 같이 구한 보정지역에 대한 평균 포텐셜 값의 순위를 설정하는 공식은 다음과 같다.

$$O_j = \text{sort}(\overline{V_j^i}) \text{ by ascending order} \quad (3)$$

여기서,  $O_j$ 는  $\overline{V_j^i}$  값을 오름차순(높은 순위가 높은 숫자를 가지게 함)으로 정렬한 순위 값을 의미하며,  $\text{sort}$ 는  $\overline{V_j^i}$  값의  $j$ 에 따라 오름차순으로 정렬한 순위를 리턴하는 함수이다.

식 (3)에 의하여 각 시나리오의 순위 값  $O_j$ 가 정해지면,  $O_j$ 를 AHP 중요도 매트릭스에 서로 비교하여 중요한 정도로 나타내고, 그 중요도 차이를 표준화하는 방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$dO_{rs} = O_r - O_s \quad (4)$$

여기서,  $dO_{rs}$ 는 중요도를 비교하는  $r$ 과  $s$ 항목의 평가

기준의 순위 값의 차이를 나타낸다. 이와 같이 구해진 항목간 상대적인 중요도를 표준화하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{rs} = \frac{dO_{rs}}{\max |dO_{rs}|} \max |L_{AHP}|, \text{ if } dO_{rs} > 0 \quad (5)$$

$$Q_{rs} = \frac{1}{\frac{dO_{rs}}{\max |dO_{rs}|} \max |L_{AHP}|}, \text{ if } dO_{rs} < 0 \quad (6)$$

여기서,  $Q_{rs}$ 는 AHP 중요도 매트릭스의 상호비교에 의해 표준화된 중요도 성분을 나타낸다.

식 (5)와 (6)에 의하여 정의된 항목간 비교하여 도출한 중요도는 Table 1과 같이 정의할 수 있으며, 이를 매트릭스로 표현하면 Table 2와 같이 나타낼 수 있다.

### III. 기법의 적용

#### 1. 시험지역 및 자료

본 연구에서는 기존의 연구<sup>14)</sup>에서 WSM-AHP법으로

Table 1 AHP scale for WSM-AHP2 method

Intensity of importance	Definition of AHP method	Definition of WSM-AHP2
1	Equal importance	No same intensity order
3	Weak importance of one over another	$Q_{rs} = \frac{dO_{rs}}{\max  dO_{rs} } \max  L_{AHP} , \text{ if } dO_{rs} > 0$ $Q_{rs} = \frac{1}{\frac{dO_{rs}}{\max  dO_{rs} } \max  L_{AHP} }, \text{ if } dO_{rs} < 0$
5	Essential or strong importance	
7	Very strong or demonstrated importance	
9*	Absolute importance	
2,4,6,8	Intermediate values between adjacent scale values	

note) \* max  $L_{AHP}$ =9 and max  $dO_{rs}$ =6 in case of 7 criteria

Table 2 WSM-AHP2 intensity matrix by standard value,  $Q_{rs}$ , of intensity order

Item	$S_1$	.	.	$S_j$	.	.	$S_n$
$S_1$	1.00	.	.	$Q_{1j}$	.	.	$Q_{1n}$
.	.	1.00	.	.	.	.	.
.	.	.	1.00	.	.	.	.
$S_j$	$1/Q_{1j}$	.	.	1.00	.	.	$Q_{jn}$
.	.	.	.	.	1.00	.	.
.	.	.	.	.	.	1.00	.
$S_n$	$1/Q_{1n}$	.	.	$1/Q_{jn}$	.	.	1.00

도시화 포텐셜을 구한 바 있는 Fig. 1의 대상지역에 대하여 WSM-AHP2기법의 적용성을 검증하고자 하였다. 동 대상지역인 수원시는 대도시인 서울에서 어느 정도 거리를 두고 있으면서 수도권에 위치하여 서울의 영향 등 주변의 영향으로 급속히 팽창하고 있는데, 동 지역은 인구가 1985년 43만 명에서 1995년 75만 명으로 급속히 증가해 왔다. 따라서 가중치 최적화를 위한 분석 시기를 1980년대 중반에서 1990년대 중반사이의 10년 동안을 택하였으며, 이 기간 동안 GIS 격자지도로서(30m×30m) 도시 확산 자료와 선정된 평가인자들의 자료를 활용하였다. Fig. 2는 동 대상지역에 대하여 1986년, 1996년 및 2000년의 인공위성 영상자료로부터 분석한 도시화 지역 ((a), (b)) 및 두 기간 동안 증가한 지역(c), 그리고 2000년의 도시화 지역(d)을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 연구대상지역을 포함하는 LANDSAT 5 위성의 궤도 116-34(path-row)에 해당하는 1986년 4월 15일, 1996년 4월 10일, 그리고 2000년 5월 7일의 영상들에 대하여 28개, 27개, 27개 포인트의 각각 GCP를 설정하고 RMS 값을 0.5이하로 기하보정을 한 후, Tasseled Cap 변환, 지수

변화, 그리고 주성분 분석에 의한 변환으로 재구성된 10개의 밴드들에 대하여 감독분류를 실시하여 Fig. 3과 같이 도시화 건조지역, 논, 밭-초지, 임야, 나지, 그리고 수역 등 6개의 토지이용/피복을 분류한 결과, 검증지역 (verification samples)에 대한 정확도 평가 결과가 1986년, 1996년 그리고 2000년 영상에 대하여 90, 86, 그리고 95%의 정확도를 보였다<sup>12)</sup>.

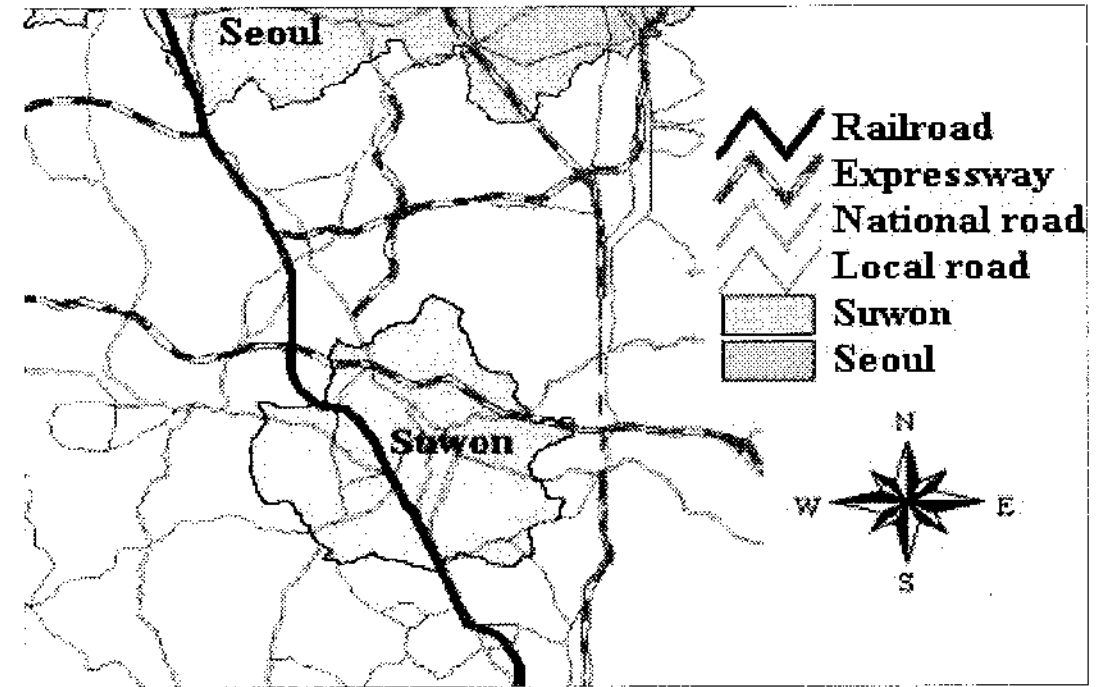


Figure 1 Location of test area, Suwon city.

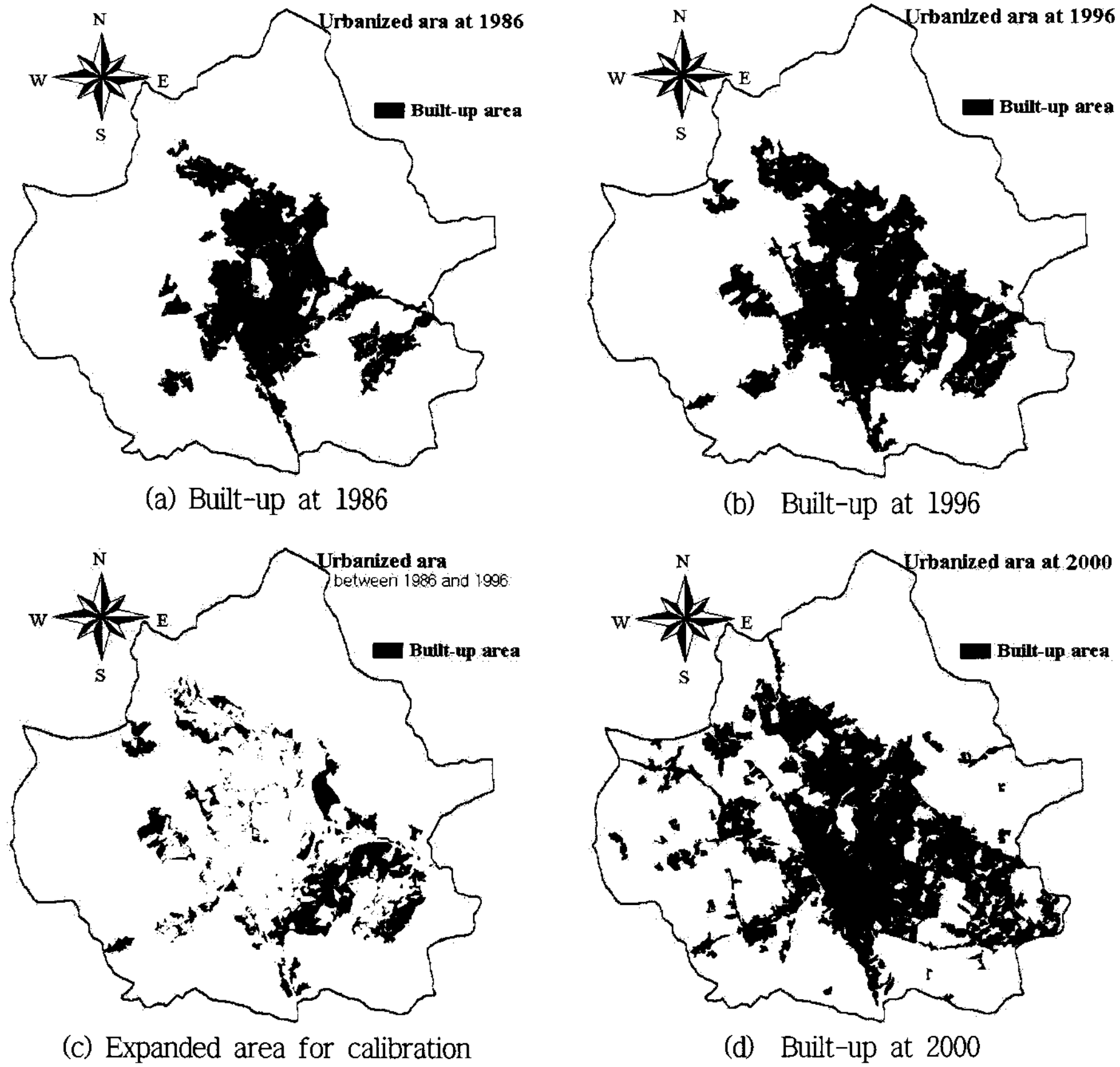


Figure 2 Built-up area of the study area.<sup>12)14)</sup>

## 2. 도시화 포텐셜 평가기준

도시화 포텐셜을 위한 평가기준은 기존의 연구에서 이미 사용한 바 있는 틀을 유지하면서 그 가중치의 최적화 방법의 우수성을 상대적으로 비교하는 가늠자로 사용하고 하였다. 기존의 평가기준 틀에서는 지형인자로서 경사와 접근성 인자로서 시간거리를 나타내는 도심에서 거리, 국도에서 거리, 대도시에서 거리, 기차역에서 거리, 톨게이트에서 거리, 도시화지역 경계에서 거리의 여섯 가지 인자를 포함하여 전체 일곱 가지의 평가인자로 구성되었으며, 순서대로  $w_1$ 에서  $w_7$ 까지 가중치를 가진다. 접근성 평가기준에 대한 점수화는 포텐셜 모델의 형태로서, 평가기준 점수 =  $1/D^a$ 의 거리에 대한 비선형 지수함수의 형태를 가지고 있다.<sup>11)12)14)</sup>

## 3. WSM-AHP의 적용결과

본 연구에서는 WSM-AHP와 WSM-AHP2에 의한 가중치 최적화의 효율성과 적합성을 비교분석하였으며, 이를 위하여 선행연구에서 제시한 전문가 평가 가중치 자료를 이용하였다. 포텐셜의 변화율을 고려하는 WSM-AHP법의 적용 결과 선행 연구<sup>14)</sup>에서 WSM-AHP법이 전문가에 의한 AHP법 평가에 의한 가중치를 적용한 경우보다 합리적인 가중치를 도출하였으며, 포텐셜 지도의 생성에 있어서도 정답지역에 훨씬 높은 포텐셜을 유도한 결과를 보여 주었다. 적용 결과는 Table 3과 같이, 최적화된 가중치는

$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7$ 에 대하여 각각 0.191, 0.037, 0.304, 0.010, 0.037, 0.015, 0.406로 나타났으며, 이를 적용한 포텐셜 지도는 Fig. 4의 (a)와 같이 나타났다.

### 가. WSM-AHP2법의 적용 결과

앞서 WSM-AHP의 분석 결과에 의한 Table 3에서 보는 것처럼 각 평가기준의 평균 포텐셜 값의 크기에 따른 순위는 다음 Table 4와 같이 정리할 수 있다. 따라서 WSM-AHP2법에서는 다음 Table 4의 오름차순 순위 값을 적용하여 가중치를 구하였다. 이로부터 구한 순위 값의 차이  $dO_{rs}$ 와 이로부터 구한  $Q_{rs}$  표준화된 WSM-AHP2 매트릭스는 각각 Table 5와 6과 같이 나타났다. 순위의 최대 값은 7(순위가 제일 높음), 최소 값은 1(순위가 제일 낮음)로서 이들로 부터 구한 순위차  $dQ_{rs}$ 는 Table 5에서 보는 바와 같이 최대 6에서 최소 -6을 가지게 된다. Table 5의 순위차 매트릭스로부터 WSM-AHP2 매트릭스를 구하면 Table 6과 같이 순위차 표준화 값( $Q_{rs}$ )을 나타낼 수 있다. Table 6의 매트릭스를 AHP 프로그램을 이용하여 고유벡터를 구하고 가중치를 구하면 Table 6의 하단과 같이  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7$ 에 대하여 각각 0.16, 0.06, 0.25, 0.03, 0.10, 0.04, 0.36의 값을 보였다. 이 값의 분포는 WSM-AHP법에 의하여 구한 가중치와 비슷한 패턴을 보인 것으로 평가된다. 이의 결과를 적용하여 최적화된 가중치에 의해 포텐셜을 구한 결과는 Fig. 4 (b)와 같이 나타났으며, 정답지역에 대한 포텐셜 통계분석 값은 Table 7과 같이 나타났다.

Table 3 Intensity value of WSM-AHP matrix and the optimized weighting value by eigenvector with maximum eigenvalue

Item	Component of WSM-AHP matrix						
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$
$S_1$	1.00	10.00	0.33	16.00	10.00	14.00	0.25
$S_2$	0.10	1.00	0.08	7.00	1.00	5.00	0.08
$S_3$	3.00	12.00	1.00	18.00	12.00	16.00	0.50
$S_4$	0.06	0.14	0.06	1.00	0.14	0.33	0.05
$S_5$	0.10	1.00	0.08	7.00	1.00	5.00	0.08
$S_6$	0.07	0.20	0.06	3.00	0.20	1.00	0.06
$S_7$	4.00	13.00	2.00	19.00	13.00	17.00	1.00
Weighting value	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$
	0.191	0.037	0.304	0.010	0.037	0.015	0.406

Table 4 Intensity order( $O_j$ ) for WSM-AHP2 intensity matrix

Item	Intensity order( $O_j$ )						
	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$	$O_6$	$O_7$
$\alpha = 1.0$	5	3	6	1	4	2	7



Table 5 Difference matrix of intensity order( $dQ_{rs}$ ) for WSM-AHP2

Item	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$	$O_6$	$O_7$
$O_1$	1.00	2.00	-1.00	4.00	1.00	3.00	-2.00
$O_2$	-2.00	1.00	-3.00	2.00	-1.00	1.00	-4.00
$O_3$	1.00	3.00	1.00	5.00	2.00	4.00	-1.00
$O_4$	-4.00	-2.00	-5.00	1.00	-3.00	-1.00	-6.00
$O_5$	-1.00	1.00	-2.00	3.00	1.00	2.00	-3.00
$O_6$	-3.00	-1.00	-4.00	1.00	-2.00	1.00	-5.00
$O_7$	2.00	4.00	1.00	6.00	3.00	5.00	1.00

Table 6 WSM-AHP2 intensity matrix by standardization( $Q_{rs}$ ) and the optimized weighting value

Item	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$	$O_6$	$O_7$
$O_1$	1.00	3.00	0.67	6.00	1.50	4.50	0.33
$O_2$	0.33	1.00	0.22	3.00	0.67	1.50	0.17
$O_3$	1.50	4.50	1.00	7.50	3.00	6.00	0.67
$O_4$	0.17	0.33	0.13	1.00	0.22	0.67	0.11
$O_5$	0.67	1.50	0.33	4.50	1.00	3.00	0.22
$O_6$	0.22	0.67	0.17	1.50	0.33	1.00	0.13
$O_7$	3.00	6.00	1.50	9.00	4.50	7.50	1.00
Variable	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$
Weighting value	0.16	0.06	0.25	0.03	0.10	0.04	0.36

나. 포텐셜 모의 결과 및 고찰

Table 7에서 보는 바와 같이 전문가 조사를 통한 AHP법의 가중치로 구한 포텐셜 값보다 WSM-AHP2법에 의한 가중치로부터 구한 기존 확산지역의 평균 포텐셜 값이 훨씬 높게 나타났다. 가중치의 분포는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 WSM-AHP2는 약간의 차이를 보이나 WSM-AHP의 값과 비슷한 분포를 보였으나, AHP 전문가 조사에 의한 가중치와는  $w_4$ 와  $w_7$ 에서 서로 상반된 결과를 보였다. 이 결과는 기존의 연구 결과<sup>14)</sup>에서 WSM-AHP으로 도출된 결과와 유사한 것으로서, 대도시에서 거리( $w_4$ )의 가중치는 일반적으로 평가자가 가장 높을 것으로 가중치를 부여한 것에 비하여, 본 연구에서 결정론적으로 가중치를 보정한 결과에서는 오히려 대도시의 영향력은 낮은 반면 대상 도시의 경계에서 거리( $w_7$ )가 가장 높게 영향을 준 것으로 도출되었다. 평균 포텐셜 값은 WSM-AHP2법에 의한 결과가 WSM-AHP법에 의한 결과보다 다소 낮게 나타났으나, 기법 적용의 시간 소모는 포텐셜을 변화율을 고려하는 WSM-AHP법(최소 2 Step의 포텐셜 지도들을 생성하는 것이 필요함<sup>14)</sup>)보다 포텐셜

값의 순위를 고려하는 WSM-AHP2법(1 Step의 포텐셜 지도로 가능)이 절반정도 소요되었다. 따라서 기존의 연구 결과에서 WSM-AHP법이 결정론적 방법으로서 주관적 판단에 의한 AHP법 보다 합리적인 결과를 도출하는 것으로 밝힌 바를 고려하면, WSM-AHP2법은 WSM-AHP법에 준하는 합리적인 결과를 도출함과 더불어 적용 시간을 단축할 수 있는 장점이 있는 것으로 판단되었다.

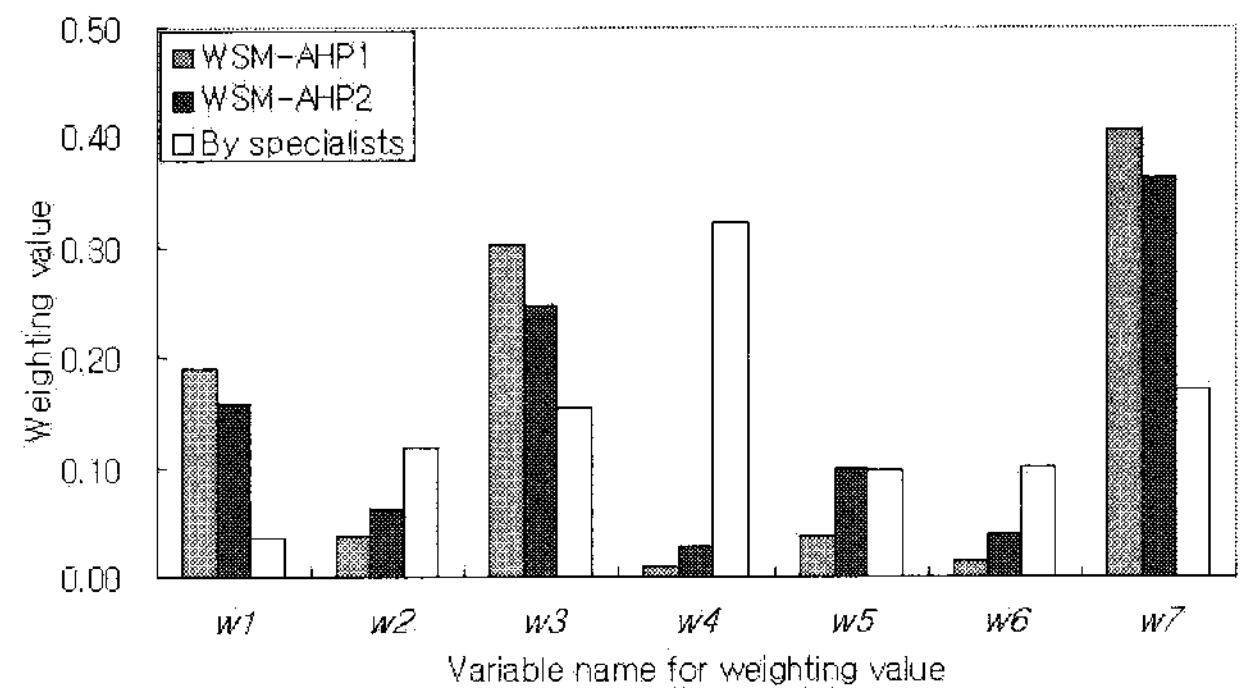


Figure 3 Weighting values by WSM-AHP and AHP evaluation by specialists.

Table 7 The potential value with optimal weighting value of each method

statistic	WSM-AHP <sup>14)</sup>	WSM-AHP2	AHP <sup>14)</sup> by specialists
Average	637	573	317
Maximum	949	889	509
Minimum	130	121	81
Standard deviation	248	221	121

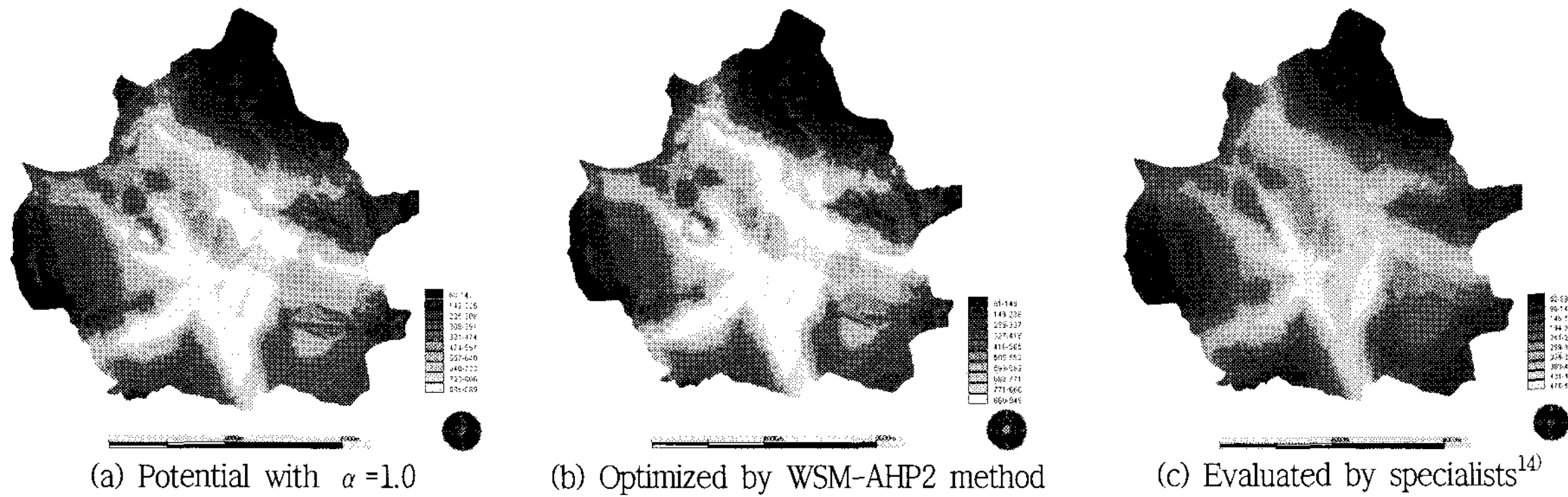


Figure 4 The optimal potential maps by WSM-AHP2 and specialists' AHP evaluation.

다. 도시확산 모의 결과 및 고찰

지금까지 도출된 가중치를 고려한 포텐셜 지도를 이용하여 도시확산 모의를 시도하였다. 도시확산 모의는 김 등(2004)에 의해 개발된 CA 모델을 이용하여 실시하였다. 모의의 초기조건은 Table 8에 나타난 바와 같이, Fig.2에 있는 1986, 1996년의 도시화 지역을 각각 선택하였으며, 확산 면적은 동 지역에서 1986년에서 1996년 사이에 804ha(8,917 격자), 1996년에서 2000년 사이에 633ha(7,024 격자)가 확산된 것을 감안하여 이를 확산 면적으로 설정하였다. 모의 결과의 검정은 각각 1996년도와 2000년의 도시화 면적을 사용하였다. 1986년도의 초기 도시화 지역에서 모의를 시작하여 1996년도의 도시화 지역과 동일 위치의 격자를 비교한 결과와 1996년도의 도시화 지역에서 모의를 시작하여 2000년도의 도시화 지역과 비교한 결과를 각각 Table 8에 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 1986년도에서 모의하여 1996년도의 실제 도시화 지역(30,900 격자)과 같은 위치의 격자별로 토지이용형태를 비교한 결과, WSM-AHP에 의한 포텐셜을 이용할 경우 24,251(78%), WSM-AHP2에 의한 포텐셜에서 23,945격자(77%), 전문가 AHP평가에 의한 포텐셜에서 23,165격자(75%) 순으로 실제 값을 모의하는 것으로 나타났으며, 1996년도에서 시작하여 2000년도 (37,924격자)와 비교한 결과에서도 WSM-AHP,

WSM-AHP2, 전문가 AHP평가에 의한 포텐셜을 이용한 경우에 대하여 각각 32,265격자(85%), 32,095격자(85%), 31,235격자(82%)의 순으로 실제 도시화 지역을 모의하는 것으로 나타났다. 각각에 대하여 모의한 결과는 Fig. 5-6과 같이 공간적으로 재현되었는데, 결과에서 보는 바와 같이 WSM-AHP2의 확산 형태는 WSM-AHP에 의한 확산 형태와 거의 유사한 반면, 전문가 평가에 의한 확산 형태는 도시의 중심부 일원에 확산부분이 치우치고 동남쪽 등 외곽지역에서는 확산이 거의 일어나지 않는 결과를 보였다. 이로부터 포텐셜 분석에서 고찰한 바와 같이 실제 확산지역에서 높은 포텐셜을 보이는 순서대로 실제 확산 모의에서도 WSM-AHP, WSM-AHP2, 전문가 AHP평가에 의한 순서대로 높은 모의의 정확도를 보여주었다. 따라서 본 연구에서 개발한 WSM-AHP2법도 WSM-AHP의 결과와 비슷한 수준에서 실전적이며 효율적임을 알 수 있었다. 이어서, Fig. 7은 2000년도의 도시화 지역 경계를 중심으로 3000ha의 도시지역이 확산되었을 때의 도시의 형태를 모의한 것이다. 결과에서처럼 WSM-AHP2와 WSM-AHP에 의한 도시확산 형태는 비슷한 형태를, 전문가 평가에 의한 확산형태는 중심부에 편중된 형태를 나타내었다. 이로부터 본 연구에서 개발한 결정론적 최적화 평가기준의 가중치를 활용하므로써 도시의 형태를 합리적으로 예측할 수 있는 가능성을 발견하였다.

Table 8 The simulation results of 3,000ha by CA model with the optimized potential surface

Condition of Comparison	Start year of simulation	Observed area1)	Simulated area1) on the observed area		
			WSM-AHP	WSM-AHP2	Specialists'
Number of cells in urbanized area	1986	21,983	-	-	-
	1986→1996	8,917	-	-	-
	1996	30,900	24,251 (78%2))	23,945 (77%)	23,165 (75%)
	1996→2000	7,024	-	-	-
	2000	37,924	32,265 (85%)	32,095 (85%)	31,235 (82%)

1) Number of cells with 30m×30m, (33,333cells=3,000ha)

2) Percent of the simulated area to the observed area

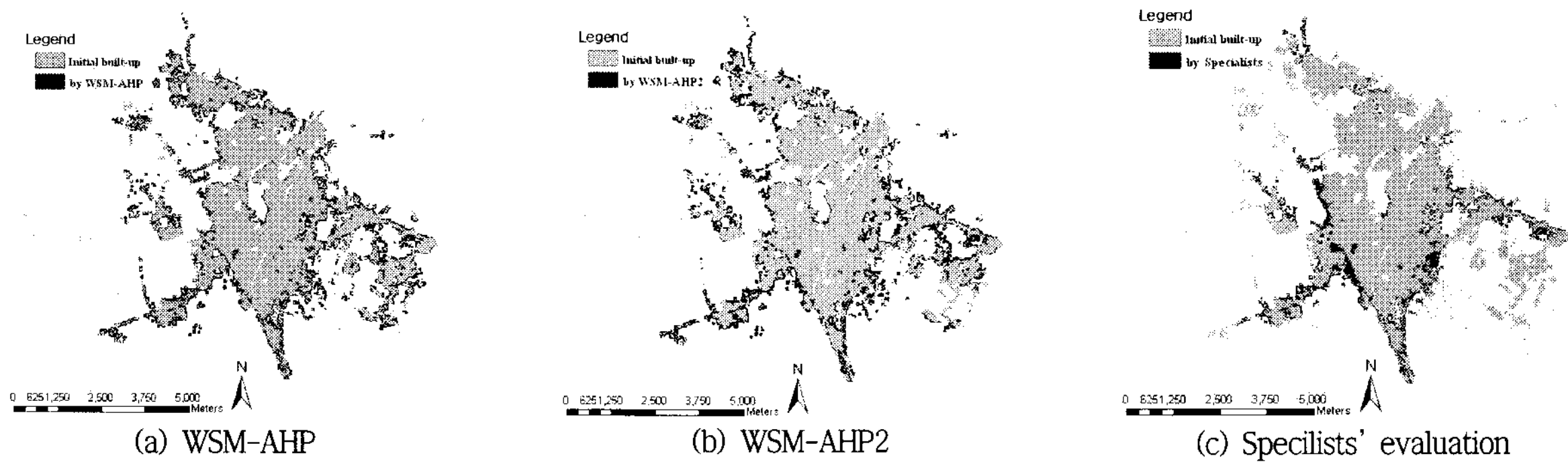


Figure 5 Simulation of spatial urban growth from 1986, the expanded area 804ha.

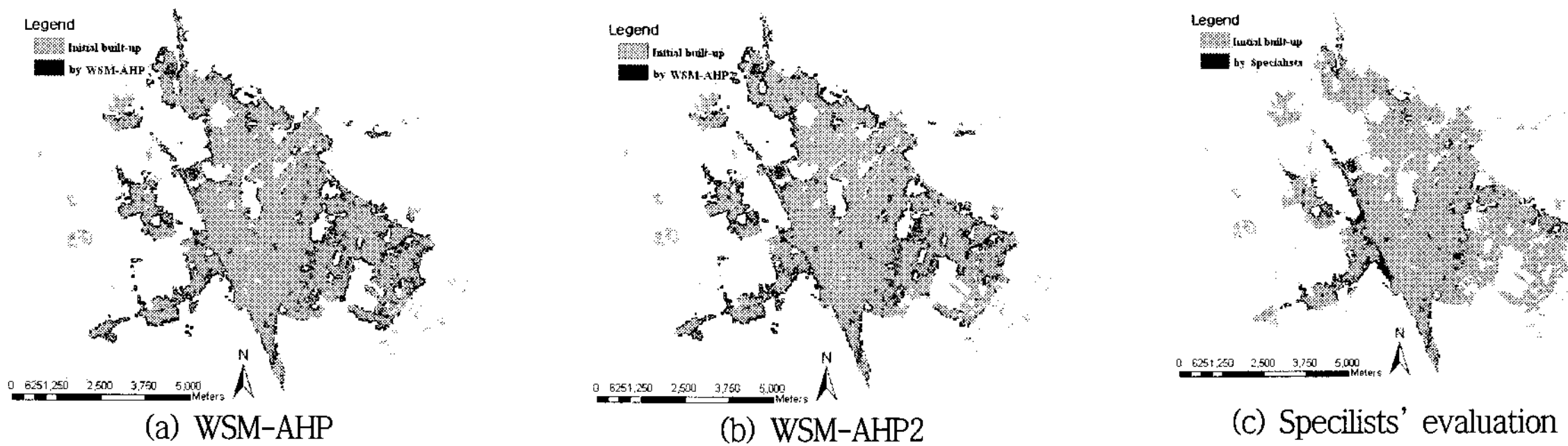


Figure 6 Simulation of spatial urban growth from 1996, the expanded area 633ha.

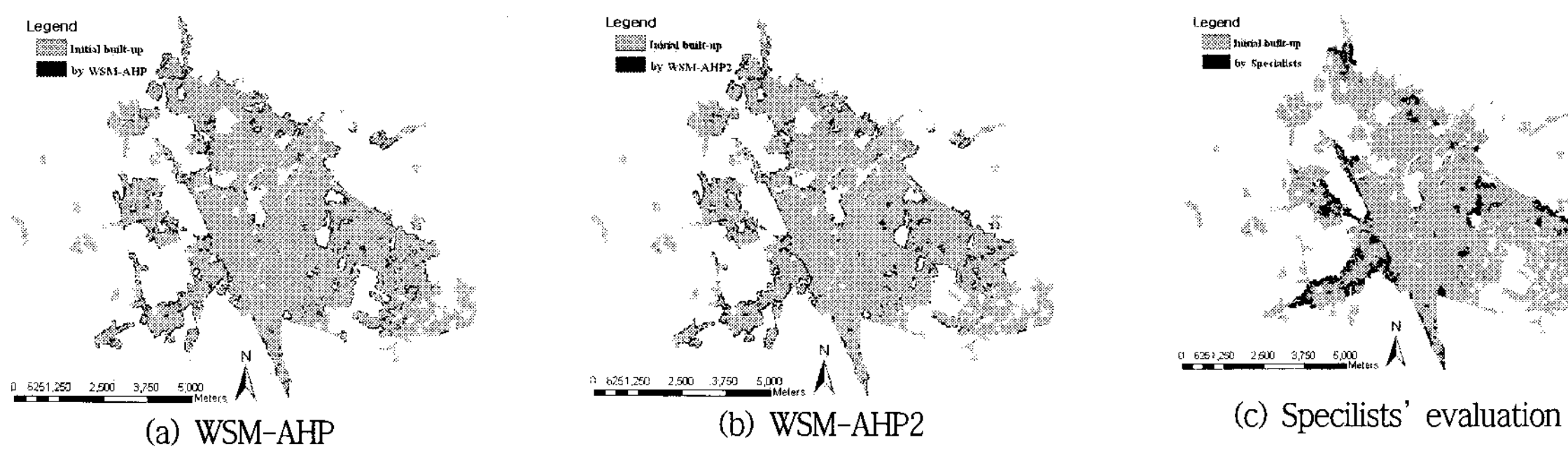


Figure 7 Simulation of spatial urban growth from 2000, the expanded area 3,000ha.



#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 도시화 확산의 잠재력이 높은 포텐셜 지도를 최적화하는 WSM-AHP법에 대하여 보다 간편한 방법을 제시하기 위하여 평균 포텐셜 값의 순위를 표준화하는 WSM-AHP2의 전개를 시도하였다. 이를 실제 시험지역에 적용하여 그 결과의 우수성을 입증하였다. 다 기준 평가법을 적용함에 있어서 그 결과를 정답과 비교하는 것이 원천적으로 난해하였으나, 본 연구에서는 결정론적 모델링의 개념으로 접근하여 이와 같은 원천적인 문제를 가지고 있는 가중치의 최적화에 대한 새로운 방안을 개발하여 제시하였다. 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. WSM-AHP법은 모든 평가인자들을 차례대로 높은 가중치로 가중시킨 후, 그 결과에 의하 도출되는 최종 포텐셜 값이 정답지역에 높게 나타나는 정도를 평가하여 AHP법에 적용하여 가중치를 최적화하는 방법으로서, 포텐셜 값의 변화율을 구하기 위하여 수 많은 조합으로 구성된 가중치를 적용하여 포텐셜 지도를 생성하는 시간 소모를 동반하므로, 간편법으로 평균 포텐셜 값의 크기 순위를 표준화하여 AHP 매트릭스화하는 WSM-AHP2법을 개발하였다. 이렇게 개발된 WSM-AHP2법을 수원시의 1986년에서 1996년 사이 도시화 확산 자료를 활용하여 적용하였으며, 그 결과 WSM-AHP법에 의한 결과와 거의 일치하는 결과는 보였으며, AHP법 전문가 조사에 의해 도출된 결과 보다 현실적으로 매우 합리적임을 입증하였다.

2. WSM-AHP법을 적용함에 있어서, 가중된 시나리오별 포텐셜 값이 Step이 증가함에 따라 선형적으로 변화하므로, Step 간 평균 포텐셜을 구함에 있어서 Step 1과 Step 2에 대한 포텐셜 지도만을 생성하여 WSM-AHP법을 적용할 수 있을 것으로 판단되었으며, Step 2의 결과만으로 WSM-AHP2의 적용도 가능하므로 이에 소요되는 시간도 획기적으로 단축될 수 있음을 알 수 있었다.

3. 1986년도에서 모의하여 1996년도의 실제 도시화 지역(30,900 격자)과 같은 위치의 격자별로 토지이용형태를 비교한 결과, WSM-AHP에 의한 포텐셜을 이용할 경우 24,251(78%), WSM-AHP2에 의한 포텐셜에서 23,945격자(77%), 전문가 AHP평가에 의한 포텐셜에서 23,165격자(75%) 순으로 실제 값을 모의하는 것으로 나타났으며, 1996년도에서 시작하여 2000년도(37,924격자)와 비교한 결과에서도 WSM-AHP, WSM-AHP2, 전문가 AHP평가에

의한 포텐셜을 이용한 경우에 대하여 각각 32,265격자(85%), 32,095격자(85%), 31,235격자(82%)의 순으로 실제 도시화 지역을 모의하는 것으로 나타났다. 이로부터 실제 확산지역에서 높은 포텐셜을 보이는 순서대로 실제 확산 모의에서도 WSM-AHP, WSM-AHP2, 전문가 AHP평가에 의한 순서대로 높은 모의의 정확도를 보여주었다. 따라서 본 연구에서 개발한 WSM-AHP과 WSM-AHP2법에 의한 가중치 최적화 방법이 보다 실전적이며 효율적임을 알 수 있었다.

이와 같은 연구 결과, WSM-AHP법과 WSM-AHP2법을 일반화하여 실제 도시확산 지역에 대하여 가중치를 최적화함으로써, 도시 주변지역에서 도시화의 2차원 모의에 보다 합리적인 결과를 기대할 수 있다. 또한 기존에 동 분야에서 비결정론적 접근방법을 탈피하여 결정론적 모델링이 가능한 것으로 입증한 연구 결과의 기여도가 높을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Batty, M. and P. A. Longley, 1986, The fractal simulation of urban structure, *Environment and Planning A*, vol. 18 : 1143-1179.
2. Batty, M. and P. A. Longley, 1987, Fractal-based description of urban form, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 14 : 123-134.
3. Batty, M., P. Longley, and S. Fotheringham, 1989, Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 21 : 1447-1472.
4. Batty, M. and Y. Xie, 1994, From cells to cities, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 21 : s31-s48.
5. Brown, F. E. and J. H. Johnson, 1985, An interactive computer model of urban development: The rules governing the morphology of mediaeval London, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 12 : 377-400.
6. Deadman, P., R. D. Brown and H. R. Gimblet, 1993, Modeling rural residential settlement patterns with cellular automata, *J. of Environmental Management*, 37 : 147-160.
7. Erickson, B. and T. Lloyd-Jones, 1997, Experiments with settlement aggregation models, *Environment and*

- Planning B: Planning and Design, vol. 24 : 903-928.
8. Himiyama, Y., 1999, Land Use/Cover Change in North-East China, In: K. Otsubo (Editor), Land Use for Global Environmental Conservation (LU/GEC), Center for Global Environmental Research, pp. 92-98.
  9. Jeong, J. J., C.M. Lee and Y. I. Kim, 2002, Developments of cellular automata model for the urban growth, Journal of Korea Planners Association, 37(1) : 27-44.
  10. Kim, D. S., 2003, Analysis of land conversion characteristics in process of farmland loss and urbanization by distance from center of city using detailed digital land use - With representative big cities and their fringe areas in Japan -, Journal of Korean Society of Rural Planning, 9(1) : 65-75.
  11. Kim, D. S. and H. W. Chung, 2004, Development of a potential evaluation method for urban expansion using GIS and RS technologies, Journal of Korean Society of Rural Planning, 10(3) : 41-51.
  12. Kim, D. S. and H. W. Chung, 2004, Spatial simulation of urban expansion area using GIS and CA technologies, Journal of Korean Society of Rural Planning, 10(4) : 9-18.
  13. Kim, D. S. and H. W. Chung, 2005, Spatial Diffusion Modeling of New Residential Area for Land-Use Planning of Rural Villages, ASCE, J. of Urban Planning and Development, 131(3) : 181-194.
  14. Kim, D. S., 2008, Estimating optimal potential surface for spatial expansion of built-up area by formulating WSM-AHP method, Journal of Korean Society of Agricultural Engineers, 50(3) : 115-138.
  15. Wang, F. and Y. Zhou, 1999, Modelling urban population densities in Beijing 1982-1990: Suburbanization and its causes, Urban studies, 36(2) : 271-287.
  16. 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, vol. 25 : 1175-1199.
  17. 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.
  18. 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, vol. 25 : 103-126.
  19. Xu, J. and R. G. Lathrop, 1995, Improving simulation accuracy of spread phenomena in a raster-based geographic information system, International Journal of Geographical Information Systems, 9(2) : 153-168.
  20. Yeh, A. G. and X. Li, 1998, Sustainable land development model for rapid growth areas using GIS, International Journal of Geographical Information Science, 12(2) : 169-189.
- 
- \* 접수일 : 2008년 4월 29일  
 ■ 3인 익명 심사필