

## WSM-AHP법의 정식화를 통한 주거지 확산 지역의 최적 잠재력 표면의 추정

### Estimating Optimal Potential Surface for Spatial Expansion of Built-up Area by Formulating WSM-AHP Method

김대식<sup>\*†</sup>

Kim, Dae-Sik<sup>\*†</sup>

#### Abstract

This study developed the WSM (weighted scenario method)-AHP method that can optimize the weighting value for multi-criteria to make GIS grid-based potential surface. The potential surface has been used to simulate urban expansion using distributed cellular automata model and to generate land-use planning as basic data. This study formulated the WSM-AHP method in mathematically and applied to test region, Suwon city, which located on south area from Seoul. WSM-AHP method generates potential map for each pair of weighting value for all criteria, which one criterion is weighted with high weighting value and the others use low weighting value, considering that the summation for all criteria weighting values should be "1". The potential change rate to the step of weighted scenario for weighting value of criteria is standardized like AHP intensity matrix in this study. From the standard potential change rate, WSM-AHP intensity matrix is completed, and then the optimal weighting value is calculated from the maximum eigenvector of the WSM-AHP matrix, according to the new WSM-AHP method developed in this study. The applied results of new method showed that the optimal weighting value from WSM-AHP is more reasonable than the general AHP specialists' evaluation for weighting value. The another new finding of this study is to suggest the deterministic approach to optimize the weighting value for the distributed CA model, which is used to find new city area and to generate rational land-use planning.

**Keywords :** Land-use planning, Land-use change, GIS, CA, Urban sprawl, WSM, AHP

## I. 서 론

도시화 지역의 확산은 인구증가 및 1인당 수요면적의 증가로 빠른 속도로 주변 농촌지역으로 전개되고 있는데, 이 과정에서 나타나는 공간적인 현상은 농촌 지역의 농경지나 산림을 무질서한 형태로 잠식하는 스프롤(Sprawl) 현상과 도시와 도시간에 도시화 지역으로 연결되어 농촌이 분리되지 않는 연담화(Co-

\* 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

† Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5795

Fax: +82-42-821-8943

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

2008년 3월 20일 투고

2008년 5월 15일 심사완료

2008년 5월 15일 게재확정

nurbation) 현상 등이 대표적으로 거론될 수 있다<sup>10)</sup>. 공간적인 도시지역의 확산은 도시형태를 연구하는 분야와 토지이용변화 모델링 분야에서 주로 다루어져 왔으며, 토지이용 변화 모델링은 시간에 따른 토지 이용 변화 상태를 모의하는 것으로서, 미래의 토지이용계획의 기초자료로 활용될 수 있도록 합리적인 예측을 시도하는 것인데, 공간적인 분포를 고려하는 경우에는 토지이용 변화에 관한 천이 규칙을 따라 격자자동변환기법(cellular automata, CA)에 의해 변화 현상을 재현할 수 있다<sup>11-13)</sup>. 도시화 지역의 확산 예측은 주변 지역의 합리적인 토지이용계획을 위한 기초 단계로서 중요하므로 확산 포텐셜을 예측하고 이를 기반으로 CA기법을 도입한 확산 시뮬레이션을 시도하는 2단계 접근에 대한 연구 사례를 많이 볼 수 있다. CA기법은 산불 확산, 토지이용 변화, 기후 변화, 촌락 주거지 확산, 도시 성장 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), 14-19)</sup>. 나아가 도시성장 형태별 모의를 한 경우와 소규모 농촌마을의 성장을 재현하는데 등 CA 기법은 그 응용 범위를 넓혀왔다<sup>7, 13)</sup>.

격자 기반의 CA모델은 분산형 모형(Distributed system model)의 형태로서 다수의 평가기준에 해당되는 레이어들을 변수로 설정하고 각 레이어들의 최적화된 가중치를 바탕으로 최종적인 포텐셜을 도출한 후, 이로부터 확산모의를 시도한다. 여기서 포텐셜을 최적화하는 단계에 있어서 가중치의 도출은 용이하지 않다. 기존의 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 모형으로 CA모델의 가중치를 최적화할 수 있는 방안이 있다면 기존의 도시지역 확산 모의는 보다 합리적인 결과를 도출할 수 있는 새로운 방안을 갖게 되는 것이다. 분산형 CA모델을 결정론적 방법으로 최적화하기 위해서는 모형의 보정단계(Calibration stage)와 이로

부터 검정하는 단계(Verification stage)가 필요하다. 보정단계를 위해서는 반드시 모형의 시뮬레이션 결과와 비교할 수 있는 정답을 설정하는 방법이 개발되어야 하며, 이 정답을 기준으로 설정된 목적함수를 기준으로 최적화를 도모할 수 있다. 이러한 과정은 수많은 변수의 조합을 이룬 후, 각 조합에 대하여 모형의 계산 시간 단계별, 각 레이어의 격자별로 계산이 완료되면 다음 시간단계로 계산이 이어지고 모든 계산 단계가 완료되면, 이로부터 나온 결과들을 각 변수의 수많은 조합별로 비교하여 정답에 가장 근사적인 조합을 최적화된 가중치로 선정하는 초기 단계의 시행착오법을 적용할 수 있다. 그러나 이와 같은 접근은 가중치의 조합에 대한 범위가 무한정이며, 조합별로 모형의 모의 과정 및 GIS 지도자료의 재생산에 소요되는 시간이 너무 많이 소요된다. 따라서 보다 신속하고 합리적인 방법으로 분산형 CA모델의 최적화를 도모할 수 있는 방법이 필요하다.

분산형 CA모델의 평가기준 가중치를 최적화하는 방법으로 기존의 연구에서 WSM 법이 발표된 바 있다. 이 방법은 각 평가기준의 가중치를 임의의 가중값을 적용한 민감도 분석 시나리오를 설정하고 이로부터 도출된 포텐셜 값의 분포로부터 중요도 순위를 도출한 다음, 이 중요도를 AHP법에 적용하여 2차적인 가중치를 도출하였다<sup>11)</sup>. 그러나 이 방법의 경우 민감도 시나리오를 만드는 과정에 있어서 임의의 값으로 가중하는 것에 대한 이론적인 근거가 매우 미약하였으며, AHP법을 적용함에 있어서 순위를 적용하는 방법 등에 대한 보완이 필요하였다. 따라서 본 연구에서는 WSM-AHP법을 이론적으로 정식화하여 분산형 CA모델을 적용함에 있어서 가중치의 선정시에 범용적으로 활용할 수 있는 방법을 제시하는 데 그 목적을 두었다.

## II. WSM-AHP법 전개

### 1. 기본이론

도시화 지역의 잠재적 포텐셜은 자연적, 사회적, 경제적 등 다양한 요인에 의하여 미래에 도시 지역으

로 변화할 잠재력이 높은 정도를 공간상에 수치화하여 나타내는 것이 일반적인 형태이다. 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<sup>11,12)</sup>. 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.

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

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)과 같은 포텐셜 평가치는 공간상에 GIS 격자지도로 표현이 가능한데, 다양한 평가인자들로부터 합리적인 포텐셜을 도출하기 위해서는 상관성이 높은 평가인자의 선정과 더불어 각 평가인자의 가중치를 설정하는 것이 대단히 중요하다. 그러나 분산형 CA모델의 경우 가중치를 적절하게 최적화하는 것은 매우 어려웠는데, 그 첫 번째 이유는 최적화하기 위해서는 비교할 수 있는 정답의 도출이 어려웠으며, 두 번째 이유는 수개의 레이어들이 각각 수많은 격자로 구성된 지도로 구성되어 있는데 이들을 위한 가중치를 최적화할 수 있는 결정론적 접근 자체가 어려웠다. 그리하여 김 등(2004)<sup>11)</sup>의 연구에서 최적의 해에 가까운 가중치를 도출하기 위하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 WSM 기법을 창안하여 보다 합리적인 가중치를 설정한 바 있었다. 가중치를 최적화하기 위해서는 전체 평가기준의 가중치들의 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 방법이다. 또한 AHP법을 포함하여 간접적으로 중요도를 결정하는 방법으로 의사

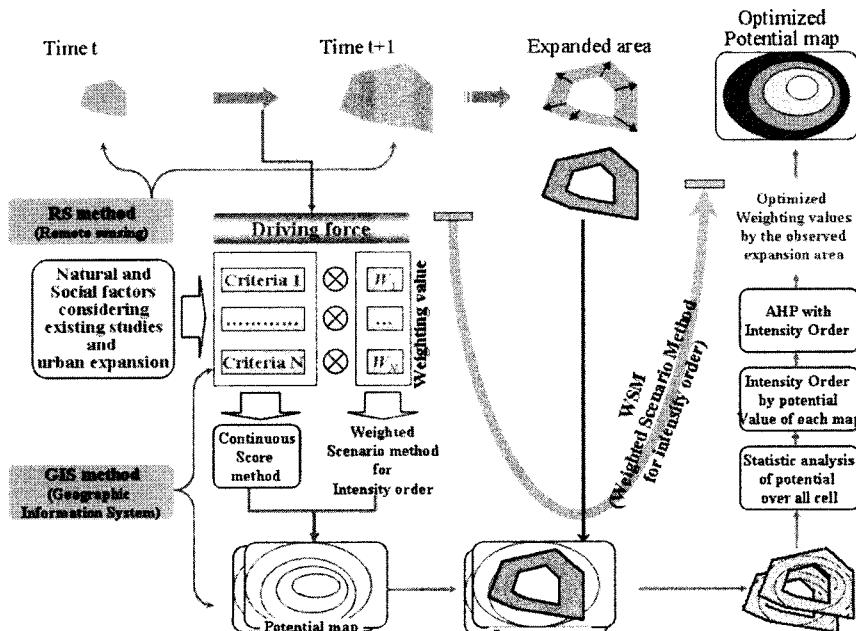


Fig. 1 Flow diagram of WSM-AHP method<sup>11)</sup>

결정자나 전문가 집단을 구성하여 다수의 주관적인 의견을 구하여 통계적으로 객관화한 가중치를 정의하는 것이 또 하나의 방법이 될 수 있다.

모형의 결과가 실제의 정답에 근사한 값을 도출하고자 한다면 모형을 보정하고 검정하는 단계를 거치는 결정론적 모형의 보정과정을 거쳐야 하며, 그렇지 않고 주요 의사결정자나 전문가 집단의 의견을 반영한 결과를 도출하고자 한다면 비교할 정답이 필요 없이 의사의 반영할 수 있으면 충분하리라 사료된다. 보다 과학적인 접근과 합리적인 의사결정을 지원하기 위해서는 전자의 경우와 같은 결정론적 모형의 접근이 반드시 필요하다. 그런데 이 경우에는 무수히 많은 조합으로 인하여 계산시간이 너무 많이 소요되므로 이러한 연구에서 사용할 수 있는 효율적인 방법이라 하기 어렵다. 후자의 경우는 가중치를 신속하게 결정할 수는 있으나 적절한 전문가 집단의 구성이 어렵고 또한 전문가들의 성향에 따라 최종 결과가 달라지는 등 여러 가지 문제점이 있을 수 있다. 따라서 보다 과학적 접근을 통하여 분산형 CA모델의 합리적인 가중치를 구하기 위하여 보정단계를 위한 정답을 정의하였으며, 가중치를 보정함에 있어서 무수히 많은 조합으로 인한 시간 소요를 획기적으로 단축시키고자 각 평가인자를 가중시킨 WSM 기법이 Fig. 1과 같이 개발되었다. 그런데 기존 연구에서는 가중치의 조합을 구성함에 있어서 임의의 값으로 가중된 시나리오를 설정하고 각 시나리오별 평균 포텐셜 값의 순위를 적용하였다. 본 연구에서는 가중치 조합의 구성에 대한 일반화된 이론과 AHP 법의 적용에 대한 타당한 논리를 전개한다.

## 2. WSM-AHP법의 정식화

식 (1)과 같은 일반적인 다기준 평가에 있어서 가중치를 설정하는 데는 순위법, 비율법, AHP법 등 다양한 방법이 있다. 그러나 주거지 또는 도시가 확산되는 지역의 포텐셜을 공간적 격자단위로 평가함에 있어서는 가중치를 합리적으로 최적화하는 것이 어려운 과제이다. 일반적으로 다변량 해석에서 변수간 상관성 분석 또는 종속변수와 독립변수간의 상관성 분석 등을 통하여 상관성이 높은 변수를 추출하고

최적모델을 도출하는 것과 같은 방법으로 격자단위의 적성치 평가 또는 포텐셜 평가를 시도할 수 있으나, 분석대상지역에 수백에서 수만개에 이르는 많은 격자를 대상으로 그러한 분석을 시도하는 것이 어려우며, 더욱기 확산현상에 대하여 변화 유무를 따져 0 또는 1의 값을 가지는 도시 확산지역의 종속변수 값에 어느 인자가 실제 많이 기여하였는가를 분석하기는 어렵다.

따라서 본 연구에서는 포텐셜이 높은 지역에서 우선적으로 도시화가 이루어진다는 것을 가설을 설정하였다. 이러한 전제를 바탕으로 이미 확산된 지역의 격자들을 도출하고 이 확산된 지역에 해당되는 각 격자들이 여러가지 평가인자로부터 계산된 포텐셜이 높다는 것을 전제로 하였으며, 평가인자들의 가중치를 변화시켜 어떤 가중치의 조합이 변화 지역에 가장 높은 포텐셜의 분포를 보이는가를 분석하여 그 조합을 최적화의 결과로 설정하도록 하였다. 이러한 절차를 수학적 모델로 도출하기 위하여 다음과 같은 WSM-AHP법의 정식화를 도모하였다.

가중치들의 다양한 조합을 만들어 포텐셜 값의 분포를 분석함에 있어서, 초기 단계를 모든 가중치의 값이 동일한, 즉, 가중치가 없는 경우를 초기조건으로 하였으며, 이 경우에는 모든 평가인자가 같은 가중치를 가지므로, 특별히 어느 평가인자를 높은 값으로 가중시키는 가중치 X값과 나머지 가중치 Y값이 동일하게 된다. 이를 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$X_0 = Y_0 = 1/n \quad (2)$$

여기서,  $X_0$ 와  $Y_0$ 는 Step 0에서 각 평가인자의 가중치,  $X$ 는 민감도 분석을 위하여 더욱 가중시키는 평가인자의 가중치,  $Y$ 는 나머지  $(n-1)$ 개의 평가인자 가중치를 나타내며,  $n$ 은 평가인자의 개수를 나타낸다. Table 1에서 Step 0는 모든 평가인자의 가중치가 동일한 것으로서 가중치가 없는 것과 같다. 이어서 Step 1, Step  $i$ , 그리고 Step  $n$ 의 경우에 대하여 일반식으로 나타내면 다음과 같다.

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X \quad (3)$$

$$Y_i = (1 - X_i) / (n - 1) \quad (4)$$

$$X_i + (n - 1) Y_i = 1 \quad (5)$$

여기서,  $i$ 는 Step의 숫자를,  $\Delta X$ 는 다음 스텝에서 증가시키는 가중치를 나타낸다. 이것은  $i$ 값이 증가할 수록 가중시키는 평가인자의 가중치  $X$ 는  $\Delta X$  만큼 계속 증가하고, 나머지 평가인자들의 가중치는 식 (4)와 같이 1에서  $X_i$  값을 제외한 값을 균등하게 나누어 가지는  $Y_i$  값은 계속 감소하는 시나리오를 만들어 준다. 식 (5)는 모든 가중치의 합은 “1”이 됨을 의미한다.  $X_i$  값을  $\Delta X$  만큼 계속 증가시키는 이유는 가중시키는 값이 얼마일 경우에 가장 합리적인 민감도를 분석할 수 있는 지에 대한 기준이 없기 때문에 모든 가능한  $X_i$  값에 대하여 민감도를 분석하기 위하여 상기와 같은 일반화된 이론을 제시하였다.

이와 같이 정식화된 이론을 구체화된 예로서 나타내면, Table 1과 같이 표현할 수 있다. Table 1은 7개 평가인자를 가진 경우에 대하여 일반적인 형태로 나타낸 것이다.

Table 1에서 보는 바와 같이 가중치의 시나리오를 각 Step 별로 설정하고, 이를 적용하여 평가기준 격자지도의 연산을 통하여 정답지역에서(실제 도시화 확산지역) 도출한 포텐셜 값을 통계분석하여 각 시나리오별 평균 포텐셜 값을 도출한다. 이어서, 평균 포텐셜 값을 기준으로 가중치 조합에 대한 Step별 증감률에 대한 민감도를 분석하여 이로부터 가중치를 도출하는 방법을 개발하였다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$dP_j = (\text{mean } P_{i,j} - \text{mean } P_{i-1,j}) / (i - (i-1)) \quad (6)$$

Table 1 Scenarios for the weighting values with a weighted factor (in case of 7 criteria)

weighting value weighting factor		$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	Scenario	Remark
Step 0	No weighting factor	$X_0$	$S_{08}$	ast0s8						
Step 1	$W_1$	$X_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$S_{11}$	ast1s1
	$W_2$	$Y_1$	$X_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$S_{12}$	ast1s2
	$W_3$	$Y_1$	$Y_1$	$X_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$S_{13}$	ast1s3
	$W_4$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$X_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$S_{14}$	ast1s4
	$W_5$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$X_1$	$Y_1$	$Y_1$	$S_{15}$	ast1s5
	$W_6$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$X_1$	$Y_1$	$S_{16}$	ast1s6
	$W_7$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$Y_1$	$X_1$	$S_{17}$	ast1s7
Step i	$W_1$	$X_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$S_i1$	astis1
	$W_2$	$Y_i$	$X_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$S_i2$	astis2
	$W_3$	$Y_i$	$Y_i$	$X_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$S_i3$	astis3
	$W_4$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$X_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$S_i4$	astis4
	$W_5$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$X_i$	$Y_i$	$Y_i$	$S_i5$	astis5
	$W_6$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$X_i$	$Y_i$	$S_i6$	astis6
	$W_7$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$Y_i$	$X_i$	$S_i7$	astis7
Step n	$W_1$	$X_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$S_{n1}$	astns1
	$W_2$	$Y_n$	$X_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$S_{n2}$	astns2
	$W_3$	$Y_n$	$Y_n$	$X_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$S_{n3}$	astns3
	$W_4$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$X_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$S_{n4}$	astns4
	$W_5$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$X_n$	$Y_n$	$Y_n$	$S_{n5}$	astns5
	$W_6$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$X_n$	$Y_n$	$S_{n6}$	astns6
	$W_7$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$Y_n$	$X_n$	$S_{n7}$	astns7

Table 2 WSM-AHP intensity matrix by standard value,  $I_{ij}$ , of potential value change rate

Item	$S_i$	.	.	$S_j$	.	.	$S_n$
$S_i$	1.00	.	.	$I_i - I_j + 1$	.	.	$I_i - I_n + 1$
.	.	1.00	.	.	.	.	.
.	.	.	1.00	.	.	.	.
$S_j$	$I/(I_i - I_j + 1)$	.	.	1.00	.	.	$I_j - I_n + 1$
.	.	.	.	.	1.00	.	.
.	.	.	.	.	.	1.00	.
$S_n$	$I/(I_i - I_n + 1)$	.	.	$I/(I_j - I_n + 1)$	.	.	1.00

Note) If  $I_i = I_j$ , the matrix component should be “1”, so that the value “1” should be added.

Table 3 Evaluation criteria of urbanization potential area<sup>11)</sup>

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 ≤	$w_I$
Time distance (TD)	from city center	Score = $1/D^a$ , If TD = 0, Score = 1					$w_2$
	from national road	Score = $1/D^a$ , If TD = 0, Score = 1					$w_3$
	from big city	Score = $1/D^a$ , If TD = 0, Score = 1					$w_4$
	from station	Score = $1/D^a$ , If TD = 0, Score = 1					$w_5$
	from tollgate	Score = $1/D^a$ , If TD = 0, Score = 1					$w_6$
	from built-up boundary	Score = $1/D^a$ , If TD = 0, Score = 1					$w_7$

a: a parameter in a distance decay function

여기서,  $dP_i$ 는 정답 지역의 평균 포텐셜 값의 변화,  $mean P_{i,j}$ 는  $i$  Step의  $j$  평가인자의 가중 시나리오에서 추출한 포텐셜 값의 평균치를 나타낸다.

식 (6)에 의해 계산된 변화율을 기준으로 각 평가인자의 민감도(가중치의 증가에 따른 포텐셜 값의 변화량)를 추출하고 이로부터 각 평가인자가  $\Delta X$  만큼 증가하는데 따른 정답 지역의 평균 포텐셜의 변화를  $dP_i$ 로 계산하여, 이 중에서 최대값을 보이는  $\max dP_i$ 에 대하여 모든  $dP_i$ 를 AHP법에 적용하기 위하여 표준화 하면 다음과 같다.

$$I_j = \frac{dP_{i,j}}{\max |dP_{i,j}|} \max |LAHP| \quad (7)$$

여기서,  $I_j$ 는 AHP 매트릭스의 중요도 최대값에 대하여 표준화된 포텐셜 증감율이며,  $LAHP$ 는 AHP 매트릭스의 중요도 값을 나타낸다.

이와 같이 어느 평가인자의 가중치를  $\Delta X$  만큼 증가시킴으로서 증감되는 포텐셜의 값을 구하여, 이 값

을 근거로 가중치를 구함에 있어서 단순히 그 값의 크기 순위에 의하지 않고 증감율의 크기를 AHP법의 중요도 매트릭스에 반영하고자 식 (7)과 같은 방법을 고안하였다.  $LAHP$  값의 최대값을 의미하는  $\max LAHP$  값은 일반적으로 “9”를 사용한다<sup>11)</sup>. 식 (7)에서 표준화된 값인  $I_j$ 로부터, 그 값의 차이를 감안하여 AHP 중요도를 설정하므로서 AHP법에 의하여 가중치를 도출하는 방법은 다음 매트릭스와 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 AHP 중요도 매트릭스를 작성함에 있어서 항목간 비교를 통하여 중요도가 동일 할 경우 “1”, 중요의 정도에 따라서 “3”, “5”, “7”, “9”的 값과 반대의 경우 그 역수를 구하여 매트릭스 작성하는 기존의 AHP 방법을 응용하여, 본 연구에서 도출한 표준화된 포텐셜 증감율의 차이를 그 중요도의 차이로 직접 사용하는 방법을 택하였다. 이를 Table 2와 같이 WSM-AHP 중요도 매트릭스로 나타낼 수 있다. 이와 같은 방법에 의하여 Table 2의 AHP 중요도 매트릭스가 채워지면, 기존의 AHP 법에 의하여 가중치를 구하는 개념인 매트릭스의 고유

벡터를 구하여 가중치를 구할 수 있다.

### 3 도시 확산 포텐셜 평가인자와 가중치

본 연구에서는 기존에 WSM법으로 도시확산 모델링에 적용된 바 있는 평가인자를 사용하여 WSM-AHP법의 정식화를 시도하였다. 도시화 포텐셜을 위한 평가기준은 Table 3에서 보는 바와 같이 지형인자로서 경사(slope)와 접근성 인자로서 시간거리(time distance, TD)를 나타내는 도심에서 거리(TD from city), 국도에서 거리(TD from nat'l road), 대도시에서 거리(TD from big city), 기차역에서 거리(TD from station), 톨게이트에서 거리(TD from toll), 도시화지역 경계에서 거리(TD from built boundary)의 여섯 가지 인자를 포함하여 전체 일곱 가지의 평가인자를 설정하고 순서대로  $w_1$ 에서  $w_7$ 까지 가중치를 설정하였다. 이들의 지형인자와 접근성 인자들에 대한 점수화 방법은 김 등(2004)에 의해 사용된 퍼지개념의 연속 점수화 방법을 사용한 바 있다. 기존 연구에서는 7개의 평가기준들에 대하여 점수화한 후, 각각의 가중치는 WSM-AHP법의 일반 이론을 따라 각 평가기준을 순서대로  $X_i$ 의 값으로 가중시키고 나머지는  $Y$ 의 값을 대입하여 정답 지역의 포텐셜 값을 구하여 최적 가중치의 도출을 도모하였다.

## III. WSM-AHP의 적용

### 1. 시험지역 및 자료

본 연구에서는 가중치를 합리적으로 최적화하기 위

한 WSM-AHP의 정식화와 이를 검정하기 위한 연구 목적을 달성하기 위하여 기존에 발표된<sup>[1][2]</sup> 바 있는 Fig. 2의 대상지역에 대하여 기법의 당위성을 검정하고자 하였다. 동 대상지역은 대도시인 서울에서 어느 정도 거리를 두고 있으면서 수도권에 위치하여 서울의 영향 등 주변의 영향으로 급속히 팽창하고 있는 수원시를 대상지역으로 선정하였는데, 동 지역은 인구가 1985년 43만명에서 1995년 75만명으로 급속히 증가해 왔다. WSM-AHP법의 검정을 위하여 정답 자료가 있고 기존에 연구된 바 있는 자료들을 활용함이 바람직하다는 판단하에, 분석 시기를 1980년대 중반에서 1990년대 중반사이의 10년 동안을 택하였으며, 이 기간동안 GIS 격자지도로서(30m×30m) 도시확산 자료와 선정된 평가인자들의 자료를 활용하였다. Fig. 3은 동 대상지역에 대하여 인공위성 영

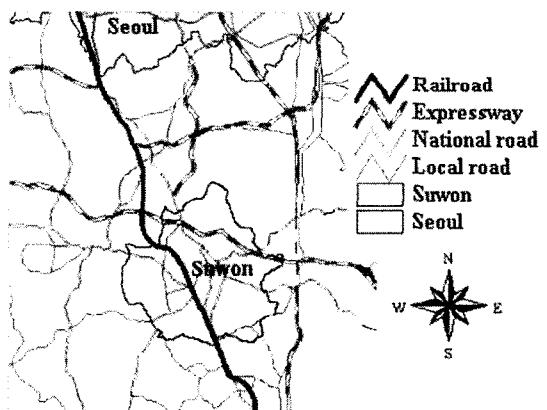
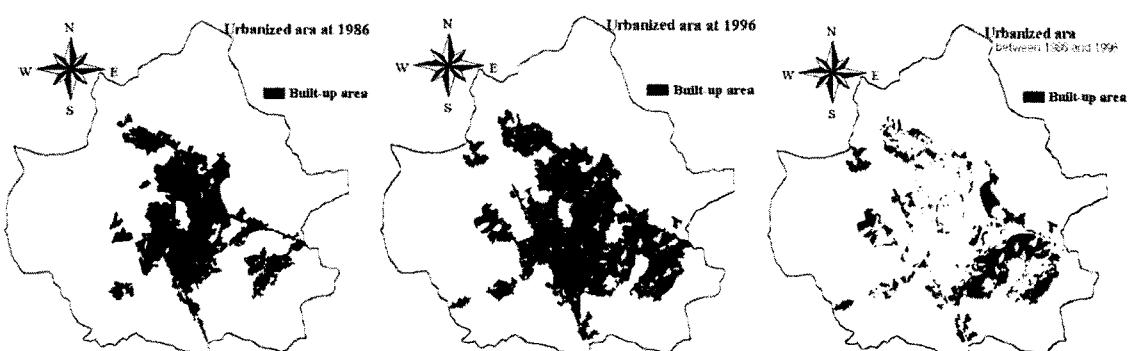


Fig. 2 Location of test area, Suwon city



(a) Built-up at 1986

(b) Built-up at 1996

(c) Expanded area

Fig. 3 Built-up areas of 1986 and 1996, and expanded area between 1986 and 1996

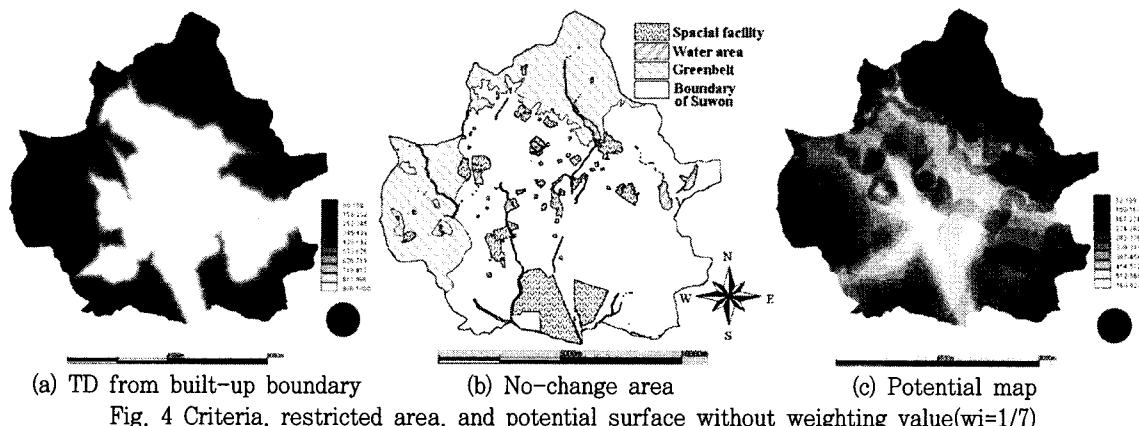
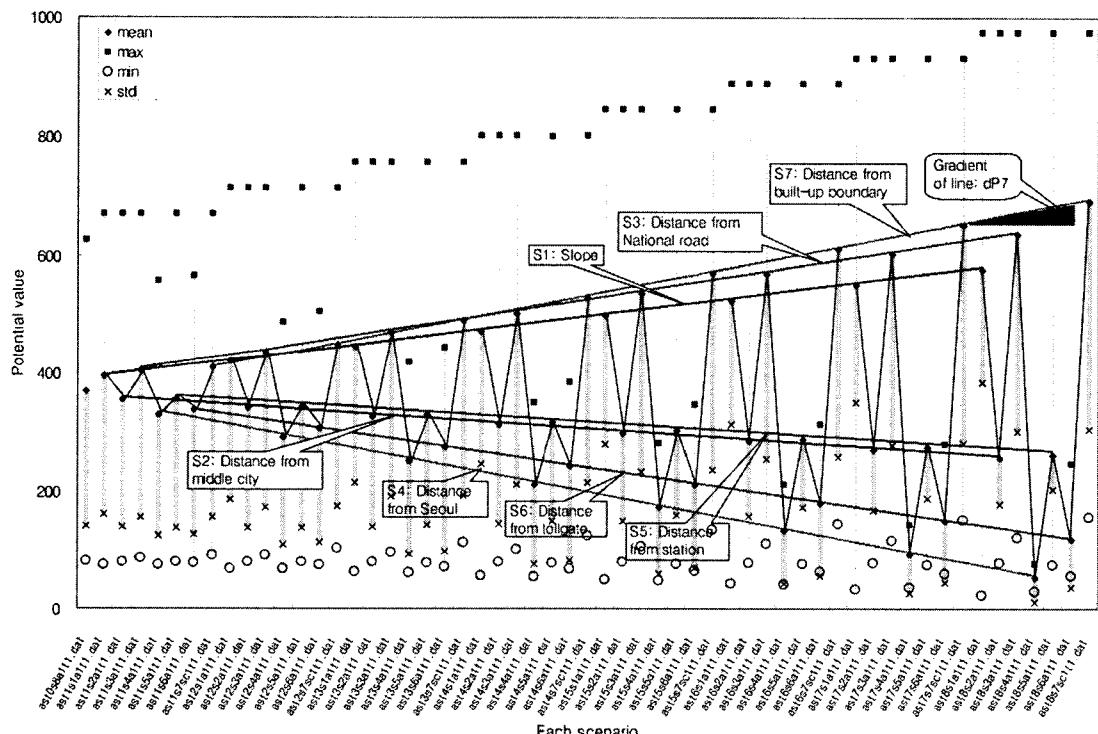
Fig. 4 Criteria, restricted area, and potential surface without weighting value( $w_i=1/7$ )

Fig. 5 Potential value variation of each sensitivity scenario by WSM

상자료로부터 분석한 도시화 지역을 1986년과 1996년에 대하여 각각 나타내고, 두 기간동안 증가한 지역에 대하여 별도로 나타낸 것이며, Fig. 4는 1986년도의 도시화 지역 경계로부터 시간거리를 새롭게 나타내고, 그린벨트 및 토지이용 변화 제한 지역, 그리고 7가지 평가인자가 가중치를 가지지 않을 경우에 나타낸 포텐셜 지도를 각각 나타낸다.

## 2. WSM-AHP법의 적용 결과

식 (2)에서 식 (7)까지, 그리고 Table 2와 같이 WSM-AHP 법의 정식화된 이론에 따라 대상지역에 적용한 결과는 Fig. 5와 Table 4-6과 같이 나타났다. 결과에서처럼, 7개 평가인자에 동일한 가중치(가중치가 없음)를 적용한 결과 Fig. 3 (c)의 정답

Table 4 Mean potential value and rank of each scenario in each step within expanded area between 1986 and 1996

Step	Mean potential value for each scenario							$\Delta X=0.1$		
	$S_1$ : Slope	$S_2$ : Distance from middle city	$S_3$ : Distance from national road	$S_4$ : Distance from Seoul	$S_5$ : Distance from station	$S_6$ : Distance from tollgate	$S_7$ : Distance from built-up boundary	$X_i$	$Y_i$	
Step 0		371							$1/7=0.143$	0.143
Step 1	396	356	404	331	357	339	411	$1/7+0.1=0.243$	0.126	
Step 2	422	342	437	291	344	307	451	$1/7+0.2=0.343$	0.110	
Step 3	448	328	470	252	330	276	490	$1/7+0.3=0.443$	0.093	
Step 4	473	314	503	212	317	244	530	$1/7+0.4=0.543$	0.076	
Step 5	499	300	537	173	303	213	570	$1/7+0.5=0.643$	0.060	
Step 6	525	285	570	133	290	181	610	$1/7+0.6=0.743$	0.043	
Step 7	550	271	603	94	276	149	650	$1/7+0.7=0.843$	0.026	
Step 8	576	257	636	54	263	118	690	$1/7+0.8=0.943$	0.010	
Rank	3	6	2	7	4	5	1	-	-	
$\Delta P$	26	-14	33	-40	-13	-32	40	-	-	

Note)  $\Delta P$  = mean change rate of potential value between two steps

Table 5 Change rate of potential value and standardization for WSM-AHP intensity matrix

Item	Change rate of potential between steps						
	$dP_1$	$dP_2$	$dP_3$	$dP_4$	$dP_5$	$dP_6$	$dP_7$
Increment	26	-14	33	-40	-13	-32	40
Standardization for WSM-AHP intensity matrix							
Item	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$
Intensity value	6	-3	8	-9	-3	-7	9

Note)  $\max I_{AHP} = 9$  in Eq. (7)

Table 6 Intensity value of WSM-AHP matrix and the optimized weighting value

Item	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$
$S_1$	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
Item	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$
Weighting value	0.191	0.037	0.304	0.010	0.037	0.015	0.406

지역에 대한 평균 포텐셜 값이 371로 나타났다. 이어서  $\Delta X=0.1$ 를 적용하여 Step을 증가시켜 각 시나리오별 가중된 결과에 의한 포텐셜 값의 변화는, Fig.

5에 보는 바와 같이 모두 선형적으로 증가와 감소를 보이는 것을 알 수 있었다. 결과에서 보는 바와 같이  $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_7$  인자는 Step이 증가함에 따라 점점

선형적으로 증가되는 결과를, 나머지 인자들은 감소하는 결과를 보였다. 이 결과들로 부터 각 평가 인자들의 가중치가 최종 포텐셜 값의 도출에 기여하는 정도를 분석할 수 있다. 이와 같이 기여하는 정도를 포텐셜 값의 각 Step별 변화율로 환산하여  $dP$ 를 도출하였다. 그 결과는 Table 5의 상단에 제시된 바와 같이 최대  $40(dP_7)$ , 최소  $-40(dP_4)$ 의 결과를 보였다. 이로부터  $\max \lambda_{AHP}=9$ 에 대한 표준화 결과  $I_j$  값은 Table 5의 하단에 제시된 바와 같이 최대 9에서 최소 -9의 값을 각각 보였다. 표준화된 값으로부터 그 차이를 고려하여 Table 2에서 제시한 이론에 따라 WSM-AHP 중요도 매트릭스를 작성하면, Table 6과 같으며, 이로부터 매트릭스의 고유벡터에 의한 가중치는 Table 6의 하단과 같이  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7$ 에 대하여 각각 0.191, 0.037, 0.304, 0.010, 0.037, 0.015, 0.406로 나타났다. 결과에서 보는 바와 같이 도시화 지역 경계에서 시간거리( $w_7$ )의 가중치가 가장 높게, 그리고 대도시(서울)에서 시간거리( $w_7$ )의 가중치가 가장 낮게 나타났다. 이렇게 최적화된 가중치를 적용하여 구한 포텐셜 지도는 Fig. 7의 (a)와 같이 나타났다.

### 3. AHP법에 의한 가중치 선정

본 연구에서는 새롭게 정식화한 WSM-AHP법의 타당성을 검증하기 위하여 기존의 AHP법에 의한 전문가 조사를 실시하여 7개 평가기준에 대한 가중치를 도출하였다. 전문가 조사는 정확한 가중치의 도출보다는 어느 정도 합리성의 파악과 더불어 전문가 개개인이 매우 다양한 의견을 가지고 있어서 전문가 조사에 의해서는 본 연구에서 제시한 정답 지역을 기준으로 최적화된 가중치의 도출이 난해함을 입증하기 위한 수단으로 활용하고자 하였다. 전문가 조사는 농촌계획, 농촌수자원시스템, 도시공학, 건축공학, 농업시설공학, 지역정보공학, 녹지자원계획, 농업경제학 등 8개 분야에 대하여 협직 전공 교수들을 중심으로 실시하였으며, 평가자의 정합성을 평가하기 위하여 정합지수를 계산하였다. 중요도 평가자가 평가 행렬을 완전한 정합성(consistency)을 가지고 작성할 경우에는 최대고유치( $\lambda_{\max}$ )는 평가 항목수( $n$ )과 같으며, 일반적으로 완전한 정합성을 이루기 어려우므로  $\lambda_{\max}$ 는  $n$ 보다 크다. 이에 대하여 Saaty는 정합성을 평가하기 위한 정합도 지수(consistency index, CI)를 다음과 같이 정의하였다<sup>[11]</sup>.

Table 7 Random consistency index,  $R^I$ <sup>[11]</sup>

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Table 8 Weighting value of AHP method by specialists' evaluation

Evaluator	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$	Mean (total)	Mean (consistency 0.13)
Weighting value of criteria	$w_1$	0.032	0.022	0.027	0.055	0.039	0.029	0.022	0.051	0.035
	$w_2$	0.067	0.098	0.105	0.177	0.152	0.140	0.031	0.177	0.118
	$w_3$	0.254	0.059	0.04	0.167	0.085	0.071	<u>0.488</u>	0.078	0.155
	$w_4$	<u>0.401</u>	<u>0.357</u>	0.214	0.155	<u>0.377</u>	<u>0.498</u>	0.150	<u>0.420</u>	<u>0.322</u>
	$w_5$	0.116	0.241	0.057	0.027	0.091	0.040	0.136	0.065	0.097
	$w_6$	0.023	0.164	0.105	0.037	0.122	0.191	0.114	0.052	0.101
	$w_7$	0.106	0.061	<u>0.451</u>	<u>0.381</u>	0.134	0.031	0.059	0.157	0.173
$\lambda_{\max}$	7.70	7.87	7.71	9.27	7.45	8.06	9.37	7.99	8.18	
RI	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	
CI	0.12	0.15	0.12	0.38	0.07	0.18	0.39	0.17	0.20	
CI/RI	<u>0.09</u>	<u>0.11</u>	<u>0.09</u>	0.29	<u>0.06</u>	<u>0.13</u>	0.30	<u>0.13</u>	0.15	

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (8)$$

이 값을 일반적인 경우에 합리적으로 평가하기 위하여 각 차원( $n$ )의 역수행렬(reciprocal matrix)을 무작위로 각 500회 발생시켜 구한 무작위 정합지수(random consistency index, RI)를 Table 7과 같이 제시하였다. 이때 RI에 대한 CI의 비를 CR로 정의하고, 이 CR이 0.1이하이면 좋은 정합성(good consistency)을 가진다<sup>11)</sup>.

이와 같이 최대고유치, RI, CI, 그리고 CI/RI 값을 계산하여 나타내면 Table 8과 같이 계산되었다. 정합지수와 정합지수의 RI에 대한 비를 살펴보면, 8명의 평가자 중에서 6명은 0.13 이하의 매우 양호한 결과를 보이나, 나머지 2명은 0.3 정도의 값을 보였다. 본 연구에서는 0.3 이하의 경우에도 어느 정도 양호한 것으로 보고, 전체 평가자의 의견을 반영하기 위하여 8명의 평가치를 산술 평균하여 사용하였다.

결과에서 보는 바와 같이 대도시(서울)에서 시간거리( $w_7$ )의 가중치를 가장 높게 평가한 평가자가 5인에 달했으며, 도시화 지역 경계에서 시간거리( $w_7$ )의 가중치를 가장 높게 평가한 평가자는 2인, 그리고 국도에서 시간거리( $w_3$ )를 가장 높게 평가한 전문가가 1인으로 나타났다. 전체 7가지 평가기준에 대한 평가 결과는 8인의 전문가 모두가 다르게 평가하였으며, 평균 값을 구한 결과 순위는 Table 8에서 보는 바

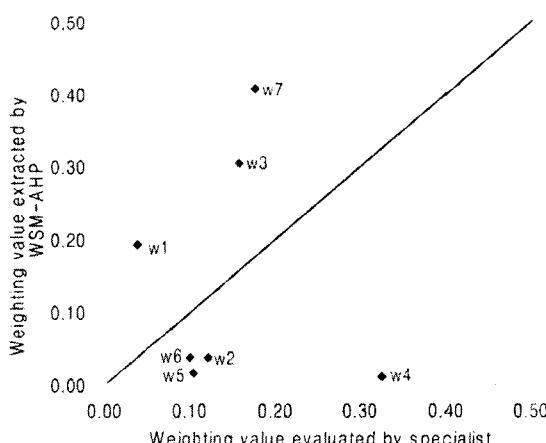


Fig. 6 Scatter diagram of weighting values by WSM-AHP and specialists' AHP evaluation

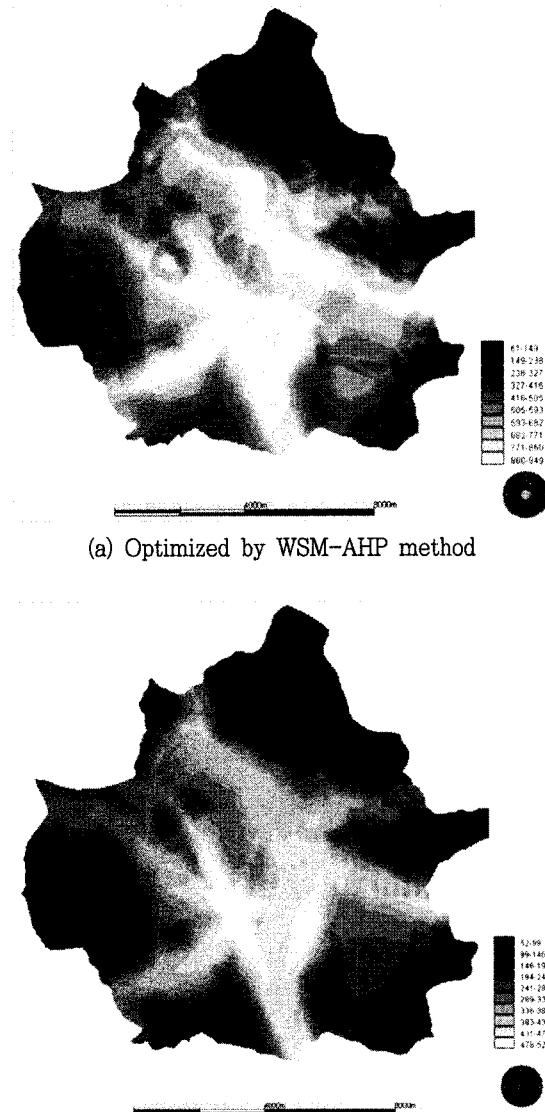


Fig. 7 The optimal potential map by WSM-AHP and specialists' AHP evaluation

Table 9 The potential value of each scenario by optimal weighting value

Item	Statistic value of potential	
	WSM-AHP	AHP
Mean value	637	317
Maximum value	949	509
Minimum value	130	81
Standard deviation	248	121

와 같이 대도시(서울)에서 시간거리( $w_4$ )의 가중치가 1위, 도시화 지역 경계에서 시간거리( $w_7$ )의 가중치가 2위, 국도에서 시간거리( $w_3$ )가 3위, 그리고 경사도( $w_1$ )가 가장 낮은 것으로 평가 되었다. 이로부터 구한 평균 가중치에 의하여 도출된 포텐셜 지도는 Fig. 7의 (b)와 같이 나타났으며, 통계분석결과는 Table 9와 같이 나타났다.

#### 4. 결과 및 고찰

Table 9에서 보는 바와 같이 일반 AHP법에 의한 가중치 설정보다 WSM-AHP법에 의한 가중치로부터 구한 기존 확산지역의 포텐셜 값이 훨씬 높게 나타나, 본 연구의 기본 전제조건을 만족하였다. 이 결과는 WSM-AHP법이 보다 효율적이며 합리적인 가중치를 도출하는 것을 의미하는 것으로서, 분산형 CA 모델에 의하여 포텐셜이 높은 지역을 탐색하여 도시 확산을 모의한다면 WSM-AHP법에 의해 도출된 포텐셜 지도를 사용할 경우 실제 확산된 과거 정답 지역에 훨씬 유사한 모의 결과를 도출할 수 있는 것을 뜻한다. 반면 기존의 AHP법의 전문가 조사에 의해 도출된 가중치에 의한 포텐셜 지도를 바탕으로 도시 확산을 모의할 경우에는 WSM-AHP법에 비하여 정답 지역의 모의가 상대적으로 매우 어려움을 의미한다.

가중치의 순위에 매우 많은 차이를 보이는 대도시(서울)에서 시간거리( $w_4$ )의 가중치는 WSM-AHP법에서는 가장 낮은 값을 보인 반면, 기존의 AHP법의 전문가 조사에서는 가장 높게 나타났다. 이 결과는, 예를 들면, 일반 AHP법에서 높게 나타난 서울에서 거리의 가중치가 WSM-AHP법에서는 그렇게 높게 나타나지 않아 실제 동 대상지역의 경우 그 영향이 미약했음을 반영한 결과로 해석되었다. 그러나 AHP 법에서 높게 나타난 이유는 평가자가 대상지역의 입지적 특성 등 다양한 실체를 고려하기 어려우며 일반적으로 대도시에서 가까우면 가중치가 높을 것이라는 상식적 이론에 따라 높게 평가한 것으로 사료되었다. 그러나 이 결과가 대도시 주변에 거리에 따라 입지특성이 다른 모든 지역에 실제로 동일하게

적용될 수는 없기 때문에 AHP법 전문가 조사에 의한 가중치 설정에는 한계점이 따른다고 판단되었다. 그러나 WSM-AHP법은 그 지역의 입지적 특성을 반영하고 이미 확산된 지역을 정답으로 보정된 최적화를 도모하므로 실제에 가까운 가중치를 도출할 수 있는 실용적인 방법인 것으로 평가되었다. 실제로 수원시의 경우 서울의 위성도시이기는 하지만 수원시의 도시확산은 멀리서 영향을 주는 서울에서 시간거리보다는 수원시 도시화 경계, 그리고 기존 도로망에서 거리 등이 많은 영향을 준 것으로 판단되었다. 따라서 Fig. 7에서 비교하여 나타낸 WSM-AHP법과 AHP법 전문가 조사에 의한 가중치의 도출 결과는 지금까지 설명한 바와 같이 합리적으로 타당한 현상을 반영한 결과라고 보여진다.

WSM-AHP법을 적용함에 있어서 결과적으로 해석하면, 가중된 시나리오별 포텐셜 값이 Step이 증가함에 따라 선형적으로 변화하므로,  $dP_i$ 를 구함에 있어서 Step 1과 Step 2에 대한 포텐셜 지도만을 생성하여 WSM-AHP법을 적용할 수 있으며, 이에 소요되는 시간도 획기적으로 단축될 수 있음을 알 수 있었다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 분산형 CA모델과 같은 도시확산을 모의하는 경우, 그리고 토지이용계획을 수립함에 있어서 매우 중요한 기초 자료가 될 수 있는 도시화 확산의 잠재력이 높은 포텐셜 지도를 최적화하는 방법의 개발을 시도하여 WSM-AHP법의 일반 모델을 정식화하였으며, 이를 실제 시험지역에 적용하여 그 결과의 우수성을 입증하였다. 다기준 평가법을 적용함에 있어서 그 결과를 정답과 비교하는 것이 원천적으로 난해한 것처럼 지금까지는 이와 같이 포텐셜 지도를 추정함에 있어서 그 가중치를 설정하기 위하여 결정론적 모델링의 개념으로 접근이 어려웠다. 본 연구에서는 이와 같은 원천적인 문제를 가지고 있는 가중치의 최적화에 대한 새로운 방안을 개발하여 제시하였다. 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. WSM-AHP법은 모든 평가인자들을 차례대로 높

은 가중치로 가중시킨 후, 그 결과에 의하 도출되는 최종 포텐셜 값이 정답지역에 높게 나타나는 정도를 평가하여 AHP법에 적용하여 가중치를 최적화하는 방법이다. 이를 위하여 각 평가인자를 높은 값으로 가중시키는 일반 정식화를 구현하였으며, 이로부터 도출된 정답지역의 포텐셜 값이 점차 단계별로 높아지는 가중치에 대한 변화율을 고려하여, 이 변화율을 표준화하고, 이를 AHP 중요도 매트릭스화 하는 표준화 방안을 개발하였다. 이렇게 개발된 WSM-AHP법을 수원시의 1986년에서 1996년 사이 도시화 확산 자료를 활용하여 적용하였으며, 그 결과 AHP법 전문가 조사에 의해 도출된 가중치 보다 현실적으로 매우 합리적임을 입증하였다.

2. 적용결과에서, 일반 AHP법 전문가 조사에 의한 가중치 설정보다 WSM-AHP법에 의한 가중치로부터 구한 기존 확산지역의 포텐셜 값이 훨씬 높게 나타나, WSM-AHP법이 보다 효율적이며 합리적인 가중치를 도출할 수 있으며, 분산형 CA모델에 의하여 포텐셜이 높은 지역을 탐색하여 도시확산을 모의한다면 WSM-AHP법에 의해 도출된 포텐셜 지도를 사용할 경우 실제 확산된 과거 정답 지역에 훨씬 유사한 모의 결과를 도출할 수 있는 가능성을 보였다.

3. 가중치의 순위에 매우 많은 차이를 보이는 대도시(서울)에서 시간거리의 가중치는 WSM-AHP법에서는 가장 낮은 값을 보인 반면, 기존의 AHP법의 전문가 조사에서는 가장 높게 나타났는데, 이와 같이 전문가 조사에서 높게 나타난 이유는 평가자가 대상지역의 입지적 특성 등 다양한 실체를 고려하기 어렵고, 일반적으로 대도시에서 가까우면 가중치가 높을 것이라는 상식적 이론에 따라 높게 평가한 것으로 사료되었다. 그러나 이러한 이론의 결과가 대도시 주변에 거리에 따라 입지특성이 다른 모든 지역에 실제로 동일하게 적용될 수는 없기 때문에 AHP법 전문가 조사에 의한 가중치는 실제 그 지역의 특성을 반영하는 데는 한계점이 따른다고 판단되었다. 그러나 WSM-AHP법은 그 지역의 입지적 특성을 반영하고 이미 확산된 지역을 정답으로 보정된 최적화를 도모하므로 실제에 가까운 가중치를 도출할 수 있는 실용적인 방법인 것으로 평가되었다.

이와 같은 연구 결과, WSM-AHP법에 의해 실제 도시확산 지역에 대하여 가중치를 최적화함으로서(Calibration stage), 이 결과를 토대로 미래의 도시화 확산지역의 모의에 보다 합리적인 결과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었으며, 합리적인 포텐셜 지도 그 자체로도 토지이용계획 등 타 용도로 활용이 가능함을 알 수 있었다.

## References

1. Batty, M. and P. A. Longley, 1986, The fractal simulation of urban structure, Environment and Planning A, vol. 18, pp. 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, pp. 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, pp. 1447-1472.
4. Batty, M. and Y. Xie, 1994, From cells to cities, Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 21, pp. 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, pp. 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, pp. 147-160.
7. Erickson, B. and T. Lloyd-Jones, 1997, Experiments with settlement aggregation models, Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 24, pp. 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), pp. 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), pp. 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), pp. 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), pp. 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), pp. 181-194.
14. Wang, F. and Y. Zhou, 1999, Modelling urban population densities in Beijing 1982-1990: Suburbanization and its causes, *Urban studies*, 36(2), pp. 271-287.
15. 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, pp. 1175-1199.
16. 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*, vol. 12, no. 1, pp. 63-82.
17. 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, pp. 103-126.
18. 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), pp. 153-168.
19. 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), pp. 169-189.