한국측지학회지, 제 17 권 제 2 호, pp. 177~187(1999년 6월 30일)

GSIS를 이용한 입지선정에 있어 퍼지공간중첩기법의 적용에 관한 연구
The application of fuzzy spatial overlay method to the site selection using GSIS

임승현* · 조기성**
Lim, Seoung-Hyeon · Cho, Gi-Sung

要 支

현재까지 GSIS를 이용하는 많은 응용분야에서 각종 공간자료의 추출 및 분석을 위해 벡터형 공간중첩(spatial overay)이나 격자형 공간연산(spatial algebra)기능이 주로 사용되었다. 하지만 이런 방법에 내재하고 있는 개념은 전통적인 보통집합이론에 근거하고 있기 때문에 많은 종류의 공간자료들이 구간설정에 있어서 예리한 경계로 분할되는 것으로 다루어지고 있다. 이것은 현실 세계에 존재하는 실제 자료들의 공간분포패턴과 일치하지 않는다. 즉, 공간상에 일정영역이나 실체들이 오직 한가지 속성으로 한정되는(one-entity-one-value) 오류를 그대로 포함하고 있다. 본 연구는 이러한 보통집합의 개념하에서 공간자료를 다루어 왔던 종래의 방식을 개선하기 위해서 공간자료가 지니는 모호함 내지 경계의 애매성을 잘 표현할 수 있는 퍼지집합의 개념을 두 가지 방법을 통해 공간중첩과정에 도입하였다. 첫 번째 방법은 공간적으로 연속성을 갖는 자료에 대해서 퍼지부분집합에 의한 퍼지구간분할법이며, 두 번째 방법은 범주형 자료에 대해서 적용한 퍼지경계집합법이다. 사례연구로서 신시가지 개발입지선정을 위한 적지분석을 수행을 함으로서 기존의 부울분석방법과 퍼지 공간중첩법의 결과를 비교하였으며 그 결과, 퍼지공간중첩법에 의한 적합도면이 신시가지 개발입지에 대한 보다 타당성 있는 정보를 제공하며, 더불어 정보표현측면에서도 더욱 적절한 형태임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Up to date, in many application fields of GSIS, we usually have used vector-based spatial overlay or grid-based spatial algebra for extraction and analysis of spatial data. But, because these methods are based on traditional crisp set, concept which is used these methods, shows that many kinds of spatial data are partitioned with sharp boundary. That is not agree with spatial distribution pattern of data in the real world. Therefore, it has a error that a region or object is restricted within only one attribution (One-Entity-one-value). In this study, for improving previous methods that deal with spatial data based on crisp set, we are suggested to apply into spatial overlay process the concept of fuzzy set which is good for expressing the boundary vagueness or ambiguity of spatial data. two methods be given. First method is a fuzzy interval partition by fuzzy subsets in case of spatially continuous data, and second method is fuzzy boundary set applied on categorical data. with a case study to get a land suitability map for the development site selection of new town, we compared results between Boolean analysis method and fuzzy spatial overlay method. And as a result, we could find out that suitability map using fuzzy spatial overlay method provide more reasonable information about development site of new town, and is more adequate type in the aspect of presentation.

1. 서 론

정보화사회를 지향하는 세계적인 추세에 맞추어 국가나 민간부문에서 정보관련기술의 개발과 활용에 막대한 자본과 인력을 투입하고 있다. 이에 따라 사회 각 분야에서 다양한 목적의 정보시스템이 급속하게 출현되었으며, 국가나 사회조직 뿐만 아니라 개인 업무조차도 상당한 부분에서 이런 정보시스템을 적극 보급 · 활용해야만 하는 시대에 접어들게 되었다. 그러나 정보시스템의 양적인 발전에 비해서 질적인 측면 즉, 원시자료의 정확성(accuracy of source data)증대 및 자료분석방법의 개선 등에 따른 제공정보의 신뢰성과 객관성 확보방안에 대한

*전북대학교 공과대학 토목 환경공학부 시간강사
**전북대학교 공과대학 토목 환경공학부 부교수 ·
전북대학교 공업기술연구소 연구원

연구는 다소 미흡한 측면이 있으며 이런 상황은 쓸모 없는 정보(useless information)를 생산함으로서 인력 및 비용의 낭비를 초래할 가능성이 크다.

마찬가지로 지형공간정보시스템(GSIS : Geo-Spatial Information System)이 많은 관련분야에서 적극적으로 활용되고 있지만 자료의 분류(classification of data) 및 공간분석을 수행할 경우에 기존의 부울논리(또는 이진논리 :boolean logic or binary logic), 즉 집합의 소속을 단순히 {0, 1}의 값으로 결정짓는 보통집합의 개념을 벗어나지 못하고 있다. 따라서 공간분석과정에서 원시자료에 대한 무리한 경계설정으로 정보의 손실이 상당하게 발생하거나 주관적인 지식의 개입 소지가 크기 때문에 생성되는 정보의 품질(quality of information)에 대한 문제가 자주 지적되고 있다.

이런 문제들을 해결하기 위한 대체적인 개념으로 퍼지이론[1]을 도입하여 공간자료의 수집, 표현, 검색, 도시 및 분석을 위한 활용 가능성을 찾고자하는 노력이 공간자료를 다루는 여러 분야에서 활발히 진행되고 있다. 먼저 퍼지정보의 표현과 처리를 위한 퍼지관계형데이터모델[2,3]은 GSIS의 데이터베이스 설계에 새로운 기술을 제시하였다. 공간모델링에서 퍼지집합이론의 유용성을 제시한 연구[4-6]와 퍼지소속함수(fuzzy membership function)를 정의하고 소속등급(membership degree)들간에 일정한 규칙, 즉 if-then 규칙을 설정하여 이에 따라 퍼지추론(fuzzy inference)을 수행하는 연구[7,8]들이 있다. 또한 벡터 중첩에서 각각의 요소도면(factor map)내에 개개의 실체(each of entity)들 간의 지리적 경계에 대한 퍼지표현을 통해 퍼지경계의 소속정도를 결정하여 실체간의 경계를 삭제하는 합병을 실시할 때 기준값으로 사용하고자 하였던 연구가 있다.[9] 최근에는 언어적인 정도의 용어(linguistic degree terms)를 설정하고 각각의 소속함수에 따른 소속정도를 사용하여 공간중첩을 실시하는 퍼지중첩모델(Fuzzy overlay analysis)을 제안한 연구가 발표되었다.[10]

그러나 이상의 논문은 소속정도에 대한 Minmax 연산을 적지분석의 레이어 중첩에 적용하고 있다. 이것은 퍼지이론의 Sugeno 적분 원리를 그대로 적용한 것이다.[11] 그렇지만, 분석요소의 적합점수를 누적하여 누적적합도를 작성하는 일반적인 적지분석개념과는 많은 차이가 있다. 본 연구는 Jiang, B.의 연구에서 제시한 퍼지중첩모델을 기초로 하여 기존의 공간중첩방식에 퍼지이론을 조합한 퍼지공간중첩법(FSOM : FuzzySpatial Overlay Method)을 제시하였으며 전주시 및 그 주변을 대상으로 신시가지 개발입지선정을 위해 적용하였다. 또한, 분석자료를 공간적으로 연속성을 지닌 자료와 범주형 자료로 분류하고 각각 퍼지부분집합에 의한 퍼지분할법(fuzzy partition method)과 퍼지경계집합(fuzzy boundary set)개념 그리고 일반적으로 사용되는 3가지의 소속함수들을 응용하여 소속정도를 산출하고 적합도면(suitability map)을 작성하였다. 또한 부울논리에 의한 공간중첩방식을 사용하여 작성된 적합도면과 비교분석을 실시하였다.

2. GSIS에서 퍼지집합

2.1 퍼지집합(fuzzy set)

보통집합(crisp set)에서 임의 원소들이 x로 표시되는 전체집합 X를 $x=\{x\}$로 나타낸다. 이 때 X의 부분집합 A에 대해서 만약 $y \in A$인 경우에만 $\mu_A(x)=1$이고, $x \notin A$인 경우에는 $\mu_A(x)=0$인 값을 갖으며 이 값은 X의 임의 원소가 X의 부분집합 A에 완전한 소속(membership) 또는 무소속(non-membership)의 2진 소속관계(binary member- ship relation)를 나타낸다. 이와 달리 퍼지집합은 소속과 무소속의 2진 관계에 소속정도(degree of membership)의 개념을 적용하여 1과 0사이의 실수로서 표현되는 수많은 소속관계로 확장시킬 수 있다. 이러한퍼지집합이론은 1965년 Zadeh에 의해 처음 제시된 후 여러 분야에서 응용발전되고 있다. Zadeh에 의하면 퍼지집합은 다음식에 의해 더욱 구체적으로 나타낼 수 있다.

$$A_i = X,\ \mu_{Ai}(x) = \int_{\mu}\mu_{Ai}(x)/x \qquad (1)$$

여기서 $i = 1, 2, \ldots N$이고, A_i는 연속적인 전체집합 X에 대한 임의의 퍼지부분집합(fuzzy subset)을 말하며, 이들은 순서쌍(ordered pairs)으로 이루어진 집합, 즉, A_i는 전체집합의 모든 원소들과 그 원소의 A_i에 대한 소속정도로서 이루어진 퍼지부분집합이다.

2.2 공간정보의 퍼지표현

공간적으로 묘사되는 지형공간정보는 전통적으로 주제도로 표현된다. 이런 주제도내의 공간실체들 즉, 점, 선, 면과 비공간적인 속성들간의 연결관계는 부울집합논리에 근거하고 있다. 이런 관계는 'one-entity 대 one-value법'이라 할 수 있으며 이에 따라 한 실체는 완전히 한 속

성을 띠거나 아니면 전혀 그 속성을 지니고 있지 않는 것처럼 묘사된다. 이러한 표현방법은 제3의 가능성을 배제함으로서 혼합 및 중간 조건과 같은 복잡한 지리공간적 현상을 보다 정교하게 전달할 수 없다. 퍼지집합이론은 이러한 측면을 보완할 수 있는 좋은 개념을 지니고 있다. 지리공간정보의 퍼지표현에서는 임의 주제도에 포함되는 속성의 부류(class)들이 퍼지집합으로 개개의 공간실체들이 이 집합의 원소로 정의될 수 있으며 개개의 공간실체가 속성 부류에 소속되는 정도를 다음과 같이 표현한다.

$$P_i = [u_1(x),\ u_2(x),\ .\ ,\ u_j(x),\ .\ ,\ u_N(x)] \qquad (2)$$

여기서 $u_j(x)$는 j번째 속성 부류에 대한 임의의 공간실체 P_i의 소속정도를 나타내며, 이 소속정도의 합은 1보다 클 수 있다. 즉, $u_1 + u_2 + . + u_j\ .\ . + u_n \geq 1$이며 이것은 소속함수에 대한 소속정도가 확률이론(probability theory)이 아닌 가능성 이론(possibility theory)에 근거하기 때문이다.

2.3 공간자료에 대한 소속함수

소속함수는 원소 x의 집합 A에 대한 소속정도가 어떻게 결정되는가를 정의한다. 보통집합(crisp set)의 경우에 소속함수는 다음과 같다.

$\mu_A(x) = 0$, $x < a_1$인 경우
$\mu_A(x) = 1$, $a_1 \geq x \geq a_2$인 경우
$\mu_A(x) = 0$, $x > a_2$인 경우 (3)

여기서 a_1, a_2는 집합의 정확한 하한과 상한을 정의한다. 예를 들면 '적당한 표고'에 대한 하한(lower limit)과 상한(upper limit)으로 각각 a_1= 25 m, a_2 = 100 m로 설정된다면, 식(3)에 의해 정의된 함수는 보통집합 '적당한 표고'를 표현한다. 이와 달리 퍼지집합의 경우에는 임계값 a_1과 a_2는 집합에 대한 중심(central concept)을 정의한다.

일반적으로 퍼지집합의 소속함수는 자료의 특성에 따라 여러 가지 모양의 함수가 사용된다. 지금까지 제시된 소속함수의 모양은 선형, 지수형, 쌍곡선형, 역쌍곡선형 및 이중선형함수들이 있지만 공간자료에 적용되는 대표적인 소속함수는 삼각형, 사다리꼴 및종형이 있으며, 각각 삼각퍼지숫자(triangular fuzzy number; T.F.N)와 사다리꼴 퍼지숫자(trapezoidal fuzzy number; Tr.F.N) 및 종형

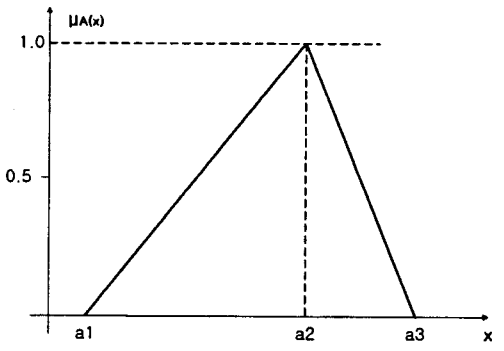

그림 1. 삼각퍼지숫자

퍼지숫자(bell-shaped fuzzy number; B.F.N)라고 불린다.

2.3.1 삼각퍼지숫자(T.F.N)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \dfrac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \qquad (4)$$

영역(domain)에 있는 각각의 값들이 퍼지집합에 대한 소속을 가장 단순하게 정의하는 소속함수로서 그림 1과 같은 세쌍(a_1, a_2, a_3)의 임계값으로 정의되는 삼각퍼지숫자가 있다. 여기서, a_2는 임의 퍼지집합의 중심으로 단일값(single value)으로 표현되며, a_1과 a_3은 그 집합의 양끝점(end points)으로서 $\mu_A(x) = 0$인 경계점을 나타낸다. 따라서 소속함수는 (4)식으로 정의된다. 이런 형은 이격거리에 따른 인접성을 평가하는 공간분석에서 비교적 적용이 쉬운 소속함수로서 자주 사용된다.[12]

2.3.2 사다리꼴 퍼지숫자(Tr.F.N)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 < x < a_3 \\ \dfrac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \qquad (5)$$

(5)

삼각퍼지숫자와 거의 비슷하지만 그림 2와 같이 네 쌍(a_1, a_2, a_3, a_4)의 임계값으로 정의된다. 사다리꼴 퍼지숫자는 임의 집합의 중심(central concept)이 단일값이 아닌

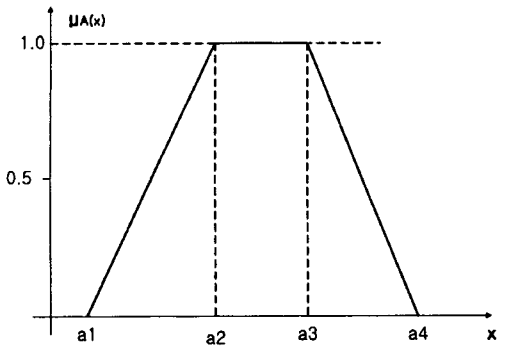

그림 2. 사다리꼴 퍼지숫자

범위값 즉, (a_2, a_3)의 구간값이라는 주장에 근거한다. 이에 대한 소속함수는 다음 식(5)와 같고 대체로 삼각퍼지숫자와 조합하여 어느 자료영역에 대한 선형소속함수를 정의한다.

2.3.3 종형퍼지숫자(B.F.N)

이상의 퍼지숫자는 0에서 1사이의 변이구역(transition zone)을 자연스럽게 묘사하지 못하므로 융통성 있는 소속함수를 정의하기 위해서 집합의 경계형태 혹은 산포의 정도(degree of dispersion) 및 중심(central concept)과 관련지어 적당한 함수들을 선택해야 하는데 이에 상응하는 함수가 S형 또는 종형퍼지숫자이다. 이 함수는 퍼지집합이론에서 일반적으로 사용되며 특히, 토양 및 경관지형자료에 적합하다. 다음 (6), (7)식은 대칭형 종형퍼지숫자의 일반식이다.

$$\mu_A(x) = \frac{1}{[1+\{(a-b)/d\}^2]},$$

$L_l \le x \le L_u$인 경우 (6)

$$\mu_A(x) = \frac{1}{[1+\{b(x-d)\}^2]},$$

$L_l \le x \le L_u$인 경우 (7)

위 두식에서 매개변수 b는 집합의 중심이며, 표준지수(standard index)로 된 자료의 속성값(attribute value)이다. 이들 소속함수의 형태와 교차점(crossover points)들의 위치는 분산지수(dispersion index) d값에 따라 쉽게 변경된다. 식(6)에서 매개변수 d값은 교차점에서 종형 곡선의 중심까지의 폭을 제시하고 집합의 중심과 동일한 단위로 집합의 중심코어(central core)근처의 변이구역을 정의하지만, 식(7)에서는 중심좌우의 교차점간의 폭을 나타내며 0보다 작은 소수값을 갖는다. 여기서 교차점이라 함은 소속정도가 $\mu_A(x) = 0.5$ 일 때의 속성값을 말한다.

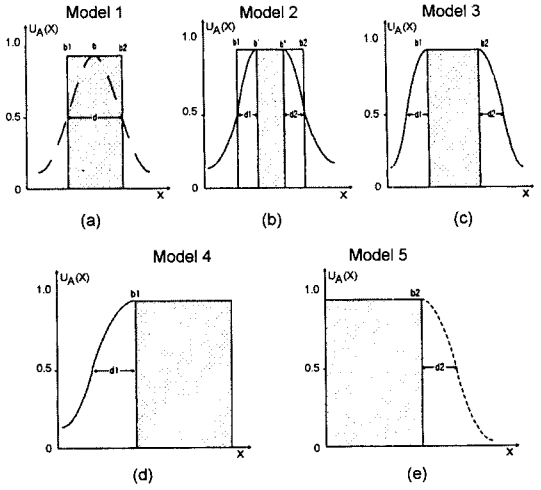

그림 3. 종형퍼지숫자

상기한 대칭형 종형퍼지숫자는 사다리꼴 퍼지숫자와 마찬가지로 중심이 범위값(b_1, b_2)을 갖는 모델(그림 3b와 3c)과 왼쪽 및 오른쪽 비대칭형 종형퍼지숫자(그림 3d와 3e)로 확장될 수 있다. 따라서 상이한 폭의 하한(L_l: lower limit)과 상한(L_u: upper limit)의 변이구역을 갖고 있는 많은 변형들이 있을 수 있으며 이들을 조정함으로서 여러 종류의 공간자료에 대한 퍼지소속함수를 정의할 수 있다.

3. 퍼지공간중첩법의 개발

3.1 개 요

종래의 부울중첩방식의 한계를 극복하기 위해서 퍼지화 및 퍼지연산자 그리고 퍼지경중평균법(fuzzy Weighted average method) 등을 적용하는 분석방법들이 Jiang B. 등에 의해 소개되었다. 그리고 Sugeno의 퍼지적분법을 이용하여 평가인자에 대한 소속정도 및 경중률에 대한 Minmax 연산을 통해 임의 공간객체나 지역의 적합여부를 평가하기도 한다. 퍼지공간중첩법 역시 퍼지이론을 공간중첩에 도입하여 공간분석을 시도한다는 데에서 이와 비슷한 개념을 갖는다. 그러나 퍼지공간중첩법이 기존의 방법과 다른 점은 종래의 부울중첩기법중에서 선형조합기법(수치중첩법)과 퍼지이론을 결합한 퍼지적합분석을 수행한다는 점이다.

3.2 수학적 모델 설정

퍼지공간중첩법에 의한 퍼지적합분석은다음 (8)식에 의해 개별 분석인자에 대한 결합퍼지적합점수(Joint Fuzzy suitable Score)가 계산된다.

$$JFS = \lambda_s MF_s + \lambda_m MF_m + \lambda_n MF_n \quad (8)$$

여기서, $MF_s + MF_m + MF_n \geq 1$이며, 범주형 자료에서는 적합과 부적합이 하나의 경계로 분할되어 있을 때, 임의 위치에서 $MF_s + MF_n \geq 1$이 되며 $MF_n = 1 - MF_s$이고, $MF_m = 0$이다. 또한 λ_s, λ_m, λ_n는 등급별 부과점수이다.

또한 결합퍼지적합점수는 다음 (9)식을 사용하여 총퍼지적합점수(TFS : Total Fuzzy suitable Score: $\sum_{i=1}^{n} \gamma_i JMS_i$)를 산정하고 이를 정규화시켜 최종적으로 표준퍼지적합점수(Standard Fuzzy suitable Score)를 산출한다.

$$SFS_{cell} = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i JMS_i / TFS_{max} \quad (9)$$

여기서, SFS_{cell}와 TFS_{max}는 각각 임의 셀이 갖는 표준퍼지적합점수 및 최대 총퍼지적합점수를 표시하며 γ_i는 인자간의 경중률이다.

3.3 소속함수의 추출 및 퍼지화

이산적(discrete) 또는 연속적인(continuous)인 거동을 하는 공간자료가 개발 적합도에 미치는 영향을 특정한 함수식으로 정의하고 단위공간이 임의의 퍼지부분집합에 소속하는 정도를 정의된 소속함수를 사용하여 [0, 1]사이의 실수값으로 산정하는 과정이 퍼지화(fuzzyfication)이다.

따라서 개개의 분석인자에 대한 소속함수를 추출하는 것은 정확한 분석을 위해 가장 중요한 일이다. 하지만 이런 작업은 관련 자료의 공간적인 분포특성 및 거동에 대한 포괄적이며 면밀한 해석을 바탕으로 수행되어야 하기 때문에 상당한 전문 지식이 요구된다. 따라서 이와 같은 어려움에 기인하여 보다 용이한 방법으로 소속함수를 추출하고자 한 기법들이 소개되고 있으며, 최근에 전문가로부터 전문지식을 수집하고 이를 근거로 소속함수를 결정하기 위해 그래픽 사용자 인터페이스(GUI: graphic user interface)를 이용하는 방법이 제시된 바 있다.[7]

3.3.1 소속함수의 유형 및 매개변수 결정

본 연구에서는 선행연구[13,14]의 고찰 및 문헌을 참고하여 분석요소들에 대한 전문지식을 끌어냈다. 수집된 전문지식은 개발 가능성과 각각의 분석자료간의 관계를 도출하는 데 핵심이 된다. 따라서 이런 과정을 거쳐 2장에 제시된 3가지 유형의 퍼지숫자를 사용하여 분석인자에 대한 소속함수의 유형 및 매개변수를 추출하였다. 표 1

표 1. 분석인자별 퍼지부분집합에 대한 소속함수 유형 및 매개변수

인자(F)	매개변수 (P)	퍼지등급(F.C)		
		적합(S)	보통(M)	부적합(N)
표고(m)	b1	40	-	200
	b2	80	10	-
	d1	20	-	80
	d2	40	10	
	shape	S2	S5	S4
경사(%)	b1	-	15	55
	b2	7.5	25	-
	d1	-	5	20
	d2	2.5	10	-
	shape	S5	S2	S4
도로 인접성(m)	b1	-	600	2000
	b2	300	800	-
	d1	-	200	800
	d2	100	400	-
	shape	S5	S2	S4
주요하천 (m)	b1	-	800	2700
	b2	350	900	-
	d1	-	300	1200
	d2	150	600	-
	shape	S5	S2	S4
혐오시설 거리(m)	b1	2500	1000	-
	b2	-	1000	500
	d1	500	500	-
	d2		1000	500
	shape	S4	S1	S5
개발축 방향(°)	a1	315	90	180
	a2	45	180	270
	a3	90	270	315
	a4	180	-	45
	shape	Tr.F.N	T.F.N	Tr.F.N
토지이용	b1		150	
	b2		-	
	d1		150	
	d2		-	
	shape		S4	
토양배수	b1		200	
	b2		-	
	d1		200	
	d2		-	
	shape		S4	

은 각각의 분석인자에 대한 소속함수의 유형과 매개변수를 보여주고 있으며, 구체적인 소속함수 식들이 이것을 사용하여 구해진다.

3.3.2 퍼지부분집합의 소속함수 추출

앞절에서 결정된 소속함수 유형과 매개변수들을 사용하여 분석인자의 퍼지부분집합들에 대한 소속함수를 추출하게 된다. 본 연구에서는 표고, 경사, 도로인접성, 주요하천인접성, 혐오시설이격거리, 도시개발축 등의 6가지 분석인자에 대한 각각 적합(Suitable), 보통(Moderate), 부적합(Non-suitable) 등의 퍼지부분집합을 정의하고 각각의 집합에 대한 소속함수 식을 추출하였다. 대표적으로 표고에 대해 정의된 3개의 퍼지부분집합에 대한 소속함수를 표 2에 제시하였으며, 그림 4는 그래프로 표현한 것이다.

3.3.3 퍼지경계집합의 소속함수 추출

표 2. 표고의 퍼지구간별 소속함수

퍼지등급 Fuzzyclass	소속 함수 membership function	임계값 Thresholds
적합 Suitable	$\mu_s(x) = \frac{1}{[1+\{(x-40)/20\}^2]}$	$x \le 40$
	$\mu_s(x) = 1$	$40<x<80$
	$\mu_s(x) = \frac{1}{[1+\{(x-80)/40\}^2]}$	$x \ge 80$
보통 Moderate	$\mu_M(x) = 1$	$x<10$
	$\mu_M(x) = \frac{1}{[1+\{(x-10)/10\}^2]}$	$x \ge 10$
부적합 Non-suitable	$\mu_N(x) = \frac{1}{[1+\{(x-200)/80\}^2]}$	$x \le 200$
	$\mu_N(x) = 1$	$x>200$

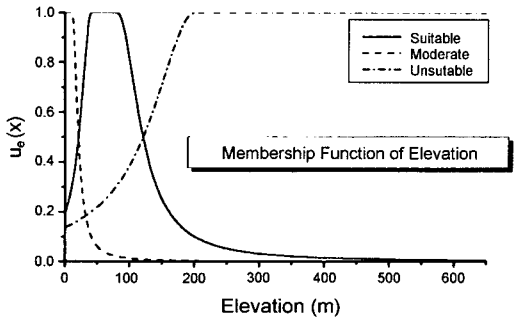

그림 4. 표고에 대한 소속함수 그래프

전술한 내용은 범주화되어 있지 않은 연속적인 공간자료들에 대한 소속함수를 결정하는 문제를 다루었다. 하지만 자료가 이산적이거나 소수의 부류(class)만으로 구분된 범주형 자료에 대한 소속함수를 정의하는 작업은 큰 의미가 없다. 그 이유는 정의된 소속함수를 사용하여 소속정도를 산출한다 하더라도 그 값이 [0, 1]사이의 다양한 실수값으로 소속정도를 표현할 수 없기 때문이다. 따라서 이러한 유형의 공간자료는 자료 자체에 퍼지부분집합을 정의하는 것보다 공간상에서 부류사이를 가르고 있는 지리적 경계선으로부터 거리 및 속성에 의해 공간상의 임의 지역이 인접하는 부류들에 대한 소속하는 정도를 표현하는 퍼지경계집합을 정의하는 것이 더욱 적당하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 토지이용과 토양배수인자를 이러한 유형의 공간자료로 분류하고 경계로부터 거리를 기준으로 하여 이에 대한 소속함수를 표 3과 같이 정의하였다.

4. 적용 및 고찰

4.1 대상지역

연구대상지역은 전북 전주시 및 그 주변의 개발제한구역을 포함한 완주군, 김제군의 일부지역으로서 총 면적은 약 314.2 km²이며 이중 개발제한구역이 전체의 약 69%인 216.4 km²이다. 현재 전주시는 기존 도심부에 도시기능이 과밀하게 집중되어 있어 시가지내 공공용지가 절대적으로 부족하다. 또한 기존 시가지의 산발적인 개발사업으로 인한 토지이용의 효율성이 저조되고 있으며, 무질서한 시가지 확산에 따른 도시기반시설의 부족 및 정비가 불량한 상황이다. 따라서 도시 주변지역으로 개

표 3. 범주형자료에 대한 퍼지경계

분석인자	소속 함수 (membership function)	임계값 (T.h.d.)
토지이용 유형	$\mu_L(x) = \frac{1}{[1+\{(x-150)/150\}^2]}$	$x \le 150$
	$\mu_L(x) = 1$	$x > 150$
토양배수 등급	$\mu_D(x) = \frac{1}{[1+\{(x-200)/200\}^2]}$	$x \le 200$
	$\mu_D(x) = 1$	$x>200$

발압력이 가중되고 있고, 최근 들어 개발제한구역의 제도개선에 따른 개발제한구역의 전면 해제 또는 부분해제 가능성이 점쳐지고 있는 시점에서 기존 시가화 지역을 제외한 비시가화 구역 및 현재의 개발제한구역에 대한 효과적인 토지이용 관리가 필요한 실정이다. 그림 5는 대상지역의 현황도이다.

4.2 자료기반 구축

신시가지 개발입지에 대한 적지 분석의 자료기반구축을 위해 1: 25,000 지형도를 기본도로 사용하였고, 전주시 도시계획 총괄도(1:25,000), 개략토양도(1:50,000), 전주시 행정지도(1:400,000)등의 주제도를 입력하여 분석인자를 추출하였다. 스캐너 및 디지타이저를 이용하여 도형자료를 입력하였고, USGS 위성 DEM자료와 1:3,000 전주시 수치지도 및 Landset TM영상을 입수하여 분석에

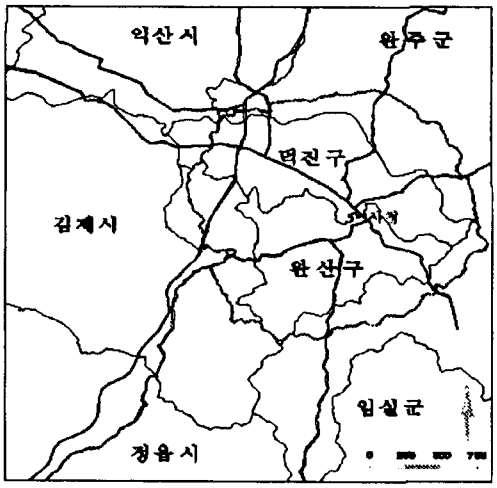

그림 5. 대상지역 현황도

표 4. 구축자료층 및 자료원 현황

자료층	자 료 원	축척 및 해상도
표고	USGS의 위성 DEM지형도	100m×100m 1:25,000
도로망도	전주시도시계획총괄도	1994년
수계망도	전주시 수치지도	1: 3,000
주요시설 위치도	전주시 도시계획총괄도 및 지형도	1: 25,000
토지이용도	Landset TM Image	30m×30m
토양도	개략토양도	1: 50,000
기타	전주시 도로안내도, 행정지도	1: 40,000 1:400,000

필요한 주제도를 구축하였다. 특히, 토지이용도는 ENVI image processing 소프트웨어에 의해 토지피복도를 분류하여 사용하였다. 각각의 분석 자료층에 대한 자료원은 표 4와 같다. 또한 분석자료층으로부터 분석에 필요한 인자도면(factor map)을 추출하여 퍼지화를 위한 입력자료로 사용하였다.

4.3 퍼지입력자료 추출

본 연구에서는 신시가지 개발 적지선정을 위한 분석인자로 표고, 경사등 8가지를 선택하였다. 대상지역의 크기와 위성자료의 해상도를 기준으로 하여 분석의 공간단위는 30 m×30 m으로 결정하였다. 또한 각각의 분석인자에 대한 퍼지입력값들은 연속성을 가진 수치자료이어야 하므로 이를 생성하기 위해서 인자별로 다음과 같은 과정을 거쳐 퍼지입력값을 추출하였으며 각각의 퍼지입력값에 대한 내용은 표 5에 나타냈다. 그림 6, 7은 추출된 퍼지입력값에 대한 대표적인 실례이며 전자는 연속성있는 자료인 표고에 대한 퍼지입력값이고, 후자는 범주형 자료인 토양배수에 대한 퍼지입력값이다.

4.3.1 표고 · 경사

표고는 ARC/INFO Tin 모듈을 사용하여 100 m×100 m의 DEM으로 TIN 지형표면을 생성하였고 이것을 다시 Kriging 보간법에 의해 30 m×30 m의 격자표고자료를 추출하였다. 경사는 표고와 마찬가지로 생성된 TIN 지형표면으로부터 30 m×30 m의 경사도(%)값을 지닌 격자를 생성하였다.

4.3.2 도로인접성 · 주요하천 · 혐오시설

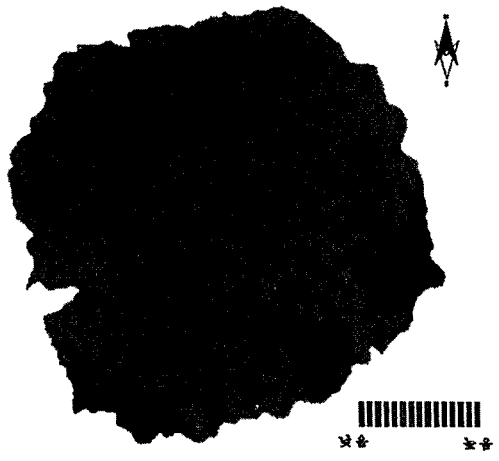

그림 6. 표고자료의 퍼지 입력값

표 5 . 부울중첩분석의 인자별 자료등급 및 퍼지입력값의 비교

인자	퍼지 압력값의 범위				부울분석의 등급구분			비고
	최소	최고	평균	표준편차	적합	보통	부적합	
표고	0.8	649.8	78.9	90.1	20초과 -100m이하	20m이하	100초과	*전주,삼천천합류점의 제방고(약 22m) 및 CBD의 평균표고 (약 40m 내외)
					10	15	5	
경사	0	164.5	13	16.9	10%이하	30%이하	30%초과	*개발한계경사(20내지 30%)
					15	10	5	
도로 인접성	0	4770	835.0	875.7	400m이하	1200m이하	1200m초과	*도보권 및 공급시설설치용이성 참고
					15	10	5	
주요하천	0	4677.7	1081.7	858.7	500m이하	1500m이하	1500m초과	*경관요소 및 우수 및 하수배제 고려
					15	10	5	
혐오시설	0	10783	3989	2354.6	2000m초과	2000m이하	500m이하	*소음, 악취, 화재, 지하수 오염권 참고
					15	10	5	
개발축	1	360	202.6	1103.3	남서, 서남, 서북	북서, 북동	동북, 동남, 남동	*전주시 개발축 참고 *정남쪽방향을 기준으로 시계방향각
					135이하	225이하	225 초과	
					15	10	5	
토지이용	0	2471.0	351.2	345.2	물 임야	시가지	논 밭	*지장물 및 지가수준고려
					5 15	5	10 15	
토양배수	0	2086.5	230.9	259.6	양호	보통	불량	*개략토양도의 배수특성 고려
					15	10	5	

그림 7. 배수등급 경계로부터의 유클리드 거리

전주시 도시계획 총괄도를 이용하여 기존 시가지 지역에서는 대로이상의 도로와 그 밖의 지역에서는 주요국도와 지방도를 추출하여 작성한 도로망도를 이용하여 도로인접성을 평가하였다. 도로인접성은 ARC/INFO GRID 분석모듈의 유클리드거리함수를 이용하여 도로로부터 이격거리를 산정하여 추출하였으며 주요하천 및 혐오시설과의 거리도 동일한 방법에 의해 연속적인 수치값(continuous numerical value)으로 생성하였다.

4.3.3 도시개발축

도시개발축 방향은 대상지역의 CBD인 전주시청을 원점으로 정남향을 기준으로 0°~360° 방향각을 GRID 분석모듈의 Direction 함수를 이용하여 산출하였다. 전주시 도시기본계획상에 나타난 토지이용 기본구상을 참고하여 도시개발축 방향을 (신)발전축으로 남서, 서남, 서북방향을 (구)발전축을 북서, 북동으로 결정하였다.[18]

4.3.4 토지이용 · 토양배수

토지이용은 Landset TM 영상에서 추출한 토지피복분류에 의해 물, 임야, 시가지, 논, 밭으로 구분하였다. 또한 토양배수는 입력된 개략토양도에서 개개의 토양부호가 지니는 배수특성을 양호, 보통, 불량으로 분류하여 작성하였다. 또한 이들 두 가지 분석인자를 범주형 자료로 분류하여 퍼지경계집합에 의한 특정 부류(class)의 퍼지 소속정도를 산출하고자 하므로 이들에 대한 퍼지 입력값은 부류간의 지리적 경계로부터의 유클리드거리를 계산한 값이 된다.

4.4 부울논리에 의한 적지분석

보통집합이론을 바탕으로 한 부울논리에 의한 적지분

석은 표 5에 제시된 분석모형을 기준으로 GRID 공간연산기능을 사용하여 적합분석을 수행하였다. 이것은 자료등급간에 부과점수를 차등으로 하여 적합, 보통, 부적합 지역에 부여하는 방식으로 진행되었으며 현재 상용 GSIS 소프트웨어에서 쉽게 수행할 수 있으므로 분석에는 별로 큰 어려움이 없다. 그림 10은 부울논리에 의한 적지분석 결과를 보여준다.

4.5 퍼지공간중첩법에 의한 적지분석

4.5.1 퍼지구간별 퍼지화

연속적 혹은 점진적인 변이를 갖는 분석인자들의 퍼지 입력값을 3.3절에서 제시한 소속함수를 사용하여 퍼지부분집합으로 정의되는 적합, 보통, 부적합의 3가지 퍼지부분집합에 대해 퍼지화를 수행하여 각각에 대한 소속정도를 산정하였다.

그림 8는 대상지역내의 표고 그리드가 전체집합 X라 할 때, 여기에 정의된 퍼지부분집합 S 즉, '신시가지 개발에 적합함'에 대한 소속정도 $\mu_S(x)$를 산정한 것이다.

4.5.2 퍼지경계집합의 퍼지화

공간상에서 자료부류(data class)사이가 예리한 지리적 경계로 분할되는 범주형 자료는 경계로부터 유클리드 거리를 퍼지 입력값을 입력받아 3.3.3절에 제시된 소속함수를 사용하여 단위격자의 임의 부류에 대한 소속정도를 산정하였다. 그림 9은 토양배수에 대한 두 가지 자료부류, 예를 들면, 배수양호와 배수불량의 퍼지부분집합의 소속정도를 산정한 것이다. 예를 들면, 그림에서 S지역이 토양배수가 양호한 지역이며 N지역이 불량한 지역으로 두 지역간의 변이지역(transition zone)에 있는 단위격자 P_s 및 P_n이 갖는 인접 부류에 대한 소속정도는 각각 $\mu_S(P_s)$ = 0.832, $\mu_N(P_s) = 1 - \mu_S(P_s) = 0.168$ 및 $\mu_N(P_n)$ = 0.726, $\mu_S(P_n) = 1 - \mu_N(P_n) = 0.274$가 된다.

4.6 비교 및 고찰

부울논리에 바탕을 둔 기존의 공간중첩법과 퍼지공간중첩법을 적용한 신시가지 개발적지분석 결과를 그림 10과 그림 11에 나타냈다. 이 두 도면을 검토해 보면, 그림 10에서의 적합지역은 대상지역 전체에 걸쳐 산만하게 분포하고 기존시가지의 경계와 인접하고 있음을 볼 수 있다. 또한 적합정도의 변화가 전체적으로 불연속적인 상태를 보이고 있어 일정구역을 단위로 적합정도가 급격한 변화를 나타내고 있다. 이러한 현상은 유연성이 없고 예리한 보통집합의 부울논리가 적합분석에 그대로 영향을 주고 있음을 말해 준다. 그러나 본 연구에서 제시한 퍼

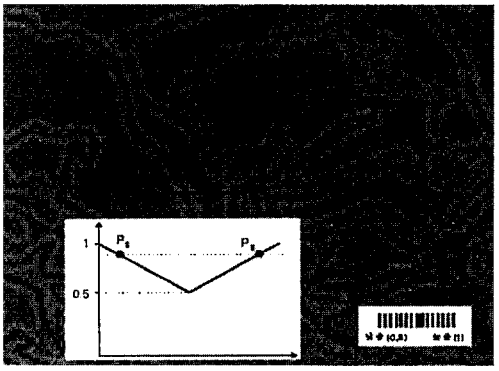

그림 9. 토양배수의 퍼지경계집합에 대한 소속정도

그림 8. 퍼지부분집합 '적합S'의 소속정도(표고)

그림 10. 부울중첩분석에 의한 적합도면

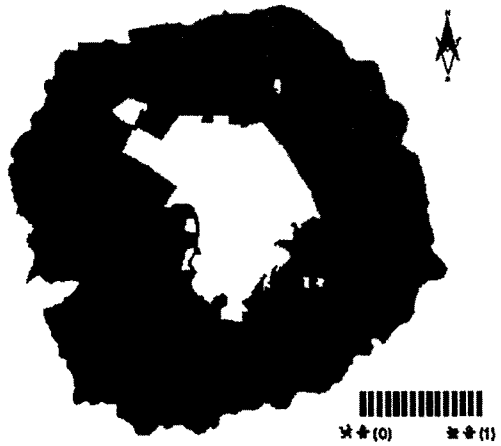

그림 11. 퍼지공간중첩분석에 의한 적합도면

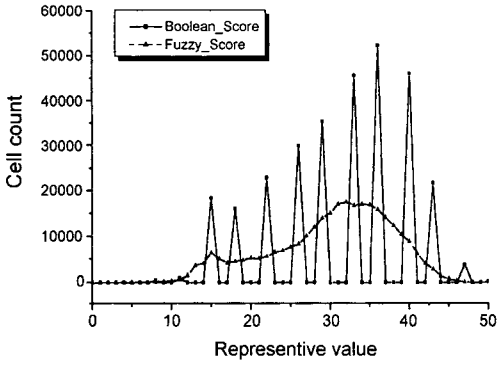

그림 12. 구간대표값과 셀수에 따른 분석결과의 비교

지공간중첩법의 결과로 나타난 그림 11에서는, 적합지역이 대상지역의 서쪽에 집중적으로 분포하고 있고 적합정도가 전체적으로 연속적이며 점진적인 변화를 띠고 있어 지역간에 급격한 단절현상이 거의 발생하지 않고 있다. 이러한 시각적인 분석은 다음 그림 12의 그래프를 통해 검증될 수 있다. 그래프는 0.364~1사이의 범위를 갖는 두 결과의 적합점수를 0.127간격으로 1~50까지의 값으로 재분류하여 나타낸 것이다. 부울분석결과는 구간대표값에 따라 셀 수에 있어 큰 진폭을 보이지만, 퍼지분석결과는 모든 구간대표값에 대한 셀 수가 연속적이며 정규분포에 가까운 형태를 띠고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

공간분석분야의 GSIS응용에 필수적으로 사용되는 중첩분석에 퍼지집합이론을 도입하여 공간분석을 시도하고자 퍼지공간중첩기법을 전주시에 적용하여 신시가지 개발입지를 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 분석에 사용되는 공간자료에 적절한 소속함수를 정의하기 위해 분석목적에 부합되는 자료값들을 설정하고 이에 따라 적합한 소속함수들을 결정할 수 있었다.

둘째, 분석목적에 따라 약간의 차이가 있으나 연속적이고 점진적인 공간자료의 변동을 집합의 중심(central concept), 분산지수(dispersion index)와 같은 매개변수를 사용하여 적절하게 표현할 수 있는 S형 또는 종형 소속함수가 공간자료에 적합함을 알 수 있었다.

셋째, 전통적인 보통집합이론의 전체집합과 부분집합의 개념을 퍼지부분집합으로 확장하여 공간자료에 적용해 봄으로써 기존의 자료구분에 내재해 있던 부정확성으로 인한 오류의 발생 및 정보의 손실을 줄일 수 있었다.

넷째, 점진적이며 연속성을 띤 공간자료를 예리한 지리적 경계로 구분하여 일정 부류로 범주화시킨 도면자료가 지니고 있는 경계부정확 문제를 퍼지경계집합으로 취급함으로서 왜곡된 정보로 인한 영향을 최소화시킬 수 있었다.

마지막으로, 종래의 중첩분석에 퍼지집합의 개념을 적용한 퍼지공간중첩법에 대한 응용사례를 통해서 퍼지공간중첩법의 적정성을 평가한 결과 적합지역의 분포 및 정보의 표현측면에서 보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있었으며 이와 유사한 분석에 활용성을 제시할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 '97 공모과제 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Zadeh. L. A. Fuzzy sets, Information and Control, 8, 1965, 338-353.
2. Wang. F. G, Hall G. B., *et al.*, Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application, INT. j. Geographical Information Systems, Vol. 4, No. 3, 1990, 261-283.
3. Kollias, V. j., Voliotis, A., Fuzzy reasoning in the development of geographical information systems FRSIS: a prototype soil information system with fuzzy

retrieval capabilities, INT. j. Geographical Information Systems, Vol. 5, No. 2, 1991, 209-223.
4. Sui D. Z., A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evaluation, Comput., Environ. and Urban Systems, Vol. 16, 1992, 101-115.
5. Huajun, T., Devaveye, J. *et al.,* Land suitability classification based on fuzzy set theory, PEDOLOGIE, XLI-3, 277-290, 3tab., 3fig., Ghent, 1991.
6. Hall, G. B., Wang. F., *et al.*, Comparison of Boolean and fuzzy classification methods in land suitablility analysis by using geographical information systems, Environment and Planning A, Vol. 24, 1992, 497-516.
7. Zhu A-Xing, Soil pattern inference using GIS under fuzzy logic, University of Toronto, PhD, 1994,
8. Yan, W. L., Shimizu, E. H., *et al.*, A Knowledge Based computer system for zoning, Comput., Environ. and Urban Systems, Vol. 15, 1991, 125-1405.
9. Wang, F. J., Hall, G. B., Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS, INT. j. Geographical Information Systems, Vol. 10, No. 5, 1996, 573-590.
10. Jiang, B., Kainz, W., Fuzzy overlay analysis with linguistic degree terms, Advances in GIS research II, session 5B, Data Quality, 1996.
11. 이광형, 오길록, 퍼지이론 및 응용 I, II, 홍릉과학출판사, 1991.
12. Altman, D. Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision in spatial analysis, INT. j. Geographical Information Systems, Vol. 8, No. 3, 1994, 271-289.
13. 김영균, 최승복, 박성미, 입지선정을 위한 GIS 활용방안 연구, 국토개발연구원, 1997.
14. 박은관, 최승남, 김대종, 토지이용계획을 위한 GIS 활용방안 연구, 국토개발연구원, 1998.
15. 유복모, 지형공간정보론, 동명사, 1996.
16. 토지개발공사, 택지개발사업 후보지조사・선정 업무지침, 1992.
17. 토지개발공사, 택지개발 계획기준, 1995.
18. 전주시, 2001년 전주시 도시기본계획, 1994.