한국지리정보학회지 6권 4호 : 16~23(2003)

지리정보체계(GIS)와 계층분석과정(AHP)을 이용한 토지자원평가에 관한 연구*

황국웅[1※]

A Study on the Application of Land Resource Evaluation using GIS and Analytic Hierarchy Process*

Kook-Woong HWANG[1※]

요 약

다수의 지표요소에 의한 적지분석 또는 토지자원평가를 위하여 지리정보체계(GIS)를 사용한 도면중첩기법에 의하여 다양한 요인의 중요도를 고려하는 과정에 있어서 계층분석과정(AHP)을 적용하는 방법상의 절차에 대하여 두 가지 방법이 있음을 제시하고, 이들 방법에 따라 결과가 다르게 나타난다는 것을 전제로 하여 이 두 가지의 적용방법으로 연구대상지에 사례 적용하고 그 결과를 비교하였다. 봉화군을 연구대상지로 하여 '환경친화적 자원평가 지표체계'의 지표 요소별 중요도를 적용하는 과정에 대하여 각 지표별로 계산된 종합 중요도를 한번만 적용하는 방법(제1방법)과 단계별로 중요도 적용과 표준화 작업을 반복하는 방법(제2방법)을 적용하여 비교한 결과 그 결과가 다르게 나타난다는 것을 확인하였으며, 제2방법이 보다 합리적인 방법으로 제안하였다.

주요어: 토지자원평가, 계층분석과정, 가중치적용, 지리정보체계

ABSTRACT

In this study, for the application of land resource evaluation using GIS map overlay method, I have considered about the process that can draw out right results from the problems involving multiple hierarchical indicators and weights. The assumption of this research is that there are two processes in the application of analytic hierarchy process(AHP) and the different results will appear. The two processes are as follows; (1) calculate directly the comprehensive weights to the indicators and overlay

2003년 9월 2일 접수 Recieved on September 2, 2003 / 2003년 12월 5일 심사완료 Accepted on December 5, 2003
* 이 연구는 대구가톨릭대학교 일반연구비 지원으로 수행되었음
1 대구가톨릭대학교 환경정보학부 Faculty of Informatin and Environmental Science, Catholic University of Daegu
※ 연락저자 E-mail: kwhwang@cu.ac.kr

the layers(Method Ⅰ) and (2) repeat the process of map overlay and standardization(Method Ⅱ). The two precesses are applied on the study site based on the envirosystem in Bong-Hwa, and then some differences were found in the results and it was suggested that the Method Ⅱ is more reasonable.

KEYWORDS: Land Resource Evaluation, AHP, Weighting, GIS

서 론

토지자원평가는 특정의 보존 또는 개발계획을 위하여 토지가 가진 자원의 적합성 정도를 비교하기 위하여 또는 특정의 목적을 가진 용도로서 가장 적합한 토지의 위치를 찾아내기 위하여 토지와 관련된 다양한 요소들에 대하여 분석하고 종합하는 과정을 말한다. 이는 적지분석 또는 토지자원평가라고도 할 수 있으며, 이를 수행하는 방법으로는 다양한 요소를 합리적으로 고려할 수 있는 도면 중첩에 의한 분석방법이 가장 널리 사용되어 지고 있다. 이러한 도면중첩방법은 Ian McHarg가 생태적 조경계획의 방법으로 제시한 이래, 지리정보체계(GIS)를 사용함으로써 더욱 발전하여 토지이용계획과 자연재해의 영향분석, 환경영향평가 등 다양한 분야에서 폭넓게 응용되어 오고 있다.

이러한 GIS를 이용한 적지분석기법은 보다 합리적인 의사결정의 도구로서 발전되어 오는 과정에서 여러 가지 문제점과 해결책에 대하여 Hopkins(1977), Janssen과 Rietveld(1990), Carver(1991), 배민기와 장병문(1998), 이인성(1998), 구자훈과 성금영(2001), 황국웅과 이규완(2000) 등의 다양한 연구가 제시되어 있다. 특히, 지표요소(indicator)의 구간화에 의한 자료손실의 문제와 지표요소간의 중요도를 반영하는 방법에 대하여, 다요소의사결정법(MCE, multi-criteria evaluation), 퍼지이론(fuzzy sets theory), 계층분석과정(AHP, analytic hierarchy process) 등을 이용하는 방법이 소개되고 있다(Janssen과 Rietveld, 1990; Carver, 1991; 구자훈과 성금영, 2001; 황국웅과 이규완, 2000, 김재익과 정현욱 2001 등). 그러나, GIS의 도면중첩기법에 의한 적지분석에 계층분석과정(AHP)을 적용함에 있어서도 그 적용과정에 따라서 결과가 달라진다는 문제점을 제시한 연구는 아직 없다.

본 연구에서는 다수의 지표요소에 의한 적지분석 또는 토지자원평가를 위하여 GIS를 사용한 도면중첩기법에 의하여 다양한 요인의 중요도를 고려하는 과정에 있어서 AHP를 적용하는 방법상의 절차에 대하여 두 가지 방법이 있음을 제시하고, 이들 방법에 따라 결과가 다르게 나타난다는 것을 전제로 하여 이 두 가지의 적용방법으로 연구대상지에 사례 적용하고 그 결과를 비교하였다.

연구방법

1. 연구대상지와 평가지표체계

본 연구에서는 경상북도 봉화군에 대하여 환경친화적 자원평가를 수행하기 위하여 고려해야 할 지표요소와 중요도로서 표 1과 같은 지표체계(황국웅과 엄붕훈, 2003)를 사용하였으며, 이들 각 요소에 대하여 GIS 데이터베이스를 구축하고, 요소별 평가를 실시한 다음, AHP에 의한 중요도를 반영하여 환경친화적 토지자원평가를 실시하였다. 이 때, 소프트웨어는 ArcView GIS 3.3과 Spatial Analyst 1.0을 사용하였으며, 픽셀크기 30m×30m의 래스터구조 GIS자료를 사용하였다.

2. 지표요소 중요도를 반영하는 평가방법

본 연구에서 사용한 표 1의 자원평가 지표체계는 3단계의 중요도를 가지고 있으며, 각

단계별로 상대적인 중요도를 가지고 있다. 이러한 지표체계에 의하여 토지자원평가를 실시함에 있어서 지표요소의 중요도를 반영하는 과정에 대하여 다음과 같은 두 가지 방법을 사용하였다.

TABLE 1. Resource evaluation indicator system and weights

대분류 요소와 중요도	중분류 요소와 중요도	소분류 요소와 중요도		종합 중요도
자연생태 자원 0.3719	자연자원 0.5153	지형조건	0.2550	0.0489
		미기상	0.1609	0.0308
		토양조건	0.1728	0.0331
		토지자원	0.1761	0.0337
		수자원 조건	0.2352	0.0451
	생태자원 0.4848	동물자원	0.3341	0.0602
		식물자원	0.3248	0.0586
		생태환경자원	0.3412	0.0615
문화경관 자원 0.3264	문화자원 0.4934	유형문화자원	0.3578	0.0576
		무형문화자원	0.3118	0.0502
		문화시설자원	0.3304	0.0532
	경관자원 0.5067	자연경관자원	0.4363	0.0722
		반자연경관자원	0.3006	0.0497
		인공경관자원	0.2631	0.0435
사회경제 자원 0.3017	사회자원 0.4748	인적자원	0.2217	0.0318
		사회조직자원	0.1673	0.0239
		기반시설자원	0.2199	0.0315
		사회복지시설자원	0.2091	0.0299
		(사회교육자원)*	0.1821	0.0261
	경제자원 0.5253	관광소득자원	0.4796	0.0760
		(농산소득자원)*	0.5205	0.0825

자료 : 황국웅과 엄붕훈(2003)

* 구체적인 자료를 구할 수 없어 연구대상지에 동일한 값을 적용

1) 각 지표별로 계산된 종합 중요도를 한번만 적용하는 방법

각 지표별로 계산된 종합 중요도를 한번만 적용하는 방법(Method Ⅰ)은 다음과 같은 과정으로 시행하였다.

요소별 평가점수 표준화 → 종합 중요도 계산
→ 종합 중요도가 반영된 도면중첩계산 → 표준화

먼저, 모든 소분류 요소에 대하여 요소별로 평가하여 그 점수를 셀별로 표시한 레이어를 만들고, 이를 표준화하여 표준화 레이어를 만든 다음, 소분류 요소에 대하여 종합 중요도 계산하고, 종합 중요도를 반영한 도면중첩을 GIS 프로그램을 사용하여 시행한 다음, 그 결과 레이어에 대하여 표준화를 시행하였다.

이 때, 각 평가요소의 자료표현의 단위가 서로 다를 뿐만 아니라, 요소별로 최대값과 최소값이 다르고, 또, 정성적 자료와 정량적 자료는 표현되는 자료척도가 다르기 때문에 이러한 요소들을 일정한 기준에 의하여 서로 비교할 수 있도록 하기 위하여 각 요소의 점수를 표준화(standardization)하여야 한다.

자료표준화의 방법에는 여러가지가 있으나 본 연구에서는 선형변환(linear scale transformation) 방법을 사용하였으며, 자료값이 클수록 선호도가 높은 이윤요소와, 자료값이 작을수록 선호도가 높은 비용요소의 두가지로 구분되며, 그 식은 다음과 같다(Carver, 1991).

(i) 비용요소의 자료표준화 :

$$e_i = \frac{\max S - S_i}{\max S - \min S}$$

(ii) 이윤요소의 자료표준화 :

$$e_i = \frac{S_i - \min S}{\max S - \min S}$$

여기에서 e_i는 각 요소의 표준화된 점수(standardized score)를, S_i는 각 요소의 원래 점수(row score)를 의미하며, $\max S$, $\min S$는
요소별 원래 점수의 최대, 최소값을 의미한다.

다음으로, 요소별 종합 중요도 계산은 다음

과 같이 시행하였다.
종합 중요도=대분류 요소의 중요도×중분류 요소의 중요도×소분류 요소의 중요도

또, 종합 중요도가 반영된 도면중첩계산은 다음과 같은 선형적 조합에 의하여 구하였다.

$$S = \sum_{i=1}^{n} V_i W_i$$

여기서,

S = 각 셀의 요소별 중요도가 반영된 평가점수(0~1)
n = 평가 요소의 수
V = 각 셀의 평가요소별 표준화 점수(0~1)
W = 평가 요소의 중요도($\sum W = 1$)

이렇게 계산된 결과 레이어의 모든 픽셀 값은 0에서 1사이의 값을 가지게 되지만, 실제로 계산된 결과에 나타난 최대/최소값은 0과 1이 아니므로, 이를 다시 표준화 하였다.

2) 단계별로 중요도 적용과 표준화 작업을 반복하는 방법

단계별로 중요도 적용과 표준화 작업을 반복하는 방법(Method Ⅱ)은 다음과 같은 과정으로 시행하였다.

- 소분류 요소별 평가점수 표준화 → 소분류 요소의 중요도가 반영된 도면중첩계산
- 중분류 요소의 평가점수 표준화 → 중분류 요소의 중요도가 반영된 도면중첩계산
- 대분류 요소의 평가점수 표준화 → 대분류 요소의 중요도가 반영된 도면중첩계산
- 종합 평가 결과 표준화

즉, 모든 소분류 요소에 대하여 요소별로 평가하여 그 점수를 셀별로 표시한 레이어를 만들고, 이를 표준화 하여 표준화 레이어를 만든 다음, 소분류 요소의 중요도를 반영한 도면중첩계산을 시행하였다. 이 작업의 결과는 중분류 요소의 평가점수가 되며, 이 것을 표준화하여 중분류 요소의 중요도가 반영된 도면 중첩계산을 시행하고, 이 것은 또, 대분류 요소의 평가점수가 된다. 그리고, 이 것을 다시 표준화 한 다음, 대분류 요소의 중요도가 반영된 도면중첩계산을 시행하고 그 결과를 표준화하여 최종 평가점수로 사용하였다. 여기에서 사용한 표준화와 도면중첩계산의 식은 위에서 제시한 바와 같다.

이러한 두 가지 방법으로 대상지에 대한 토지자원평가를 시행한 다음 그 결과를 서로 비교하였다. 이 두 가지 방법의 결과가 동일하지 않고 차이가 발생한다면, 이와 유사한 과제에 대하여 올바른 적용방법을 선택하여야 한다는 문제가 발생하게 된다.

결과 및 고찰

본 연구의 연구대상지에 대한 자료를 사용하여 위의 연구방법에서 제시한 두 가지 방법으로 토지자원평가를 실시하고, 그 결과를 비교하였다. 이 두 가지 방법에 의한 평가결과에서 나타난 각 픽셀 값들의 구간별 구성을 구

TABLE 2. The percentages of pixel values in the evaluation result

Evaluation methods	Pixel values									
	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1.0
Method Ⅰ	1.57	15.01	16.89	19.36	27.66	16.27	2.80	0.22	0.04	0.18
Method Ⅱ	1.43	16.09	15.68	13.63	25.15	18.58	8.73	0.44	0.06	0.20
Ⅰ-Ⅱ	0.14	-1.08	1.21	5.73	2.51	-2.31	-5.97	-0.22	-0.02	-0.02

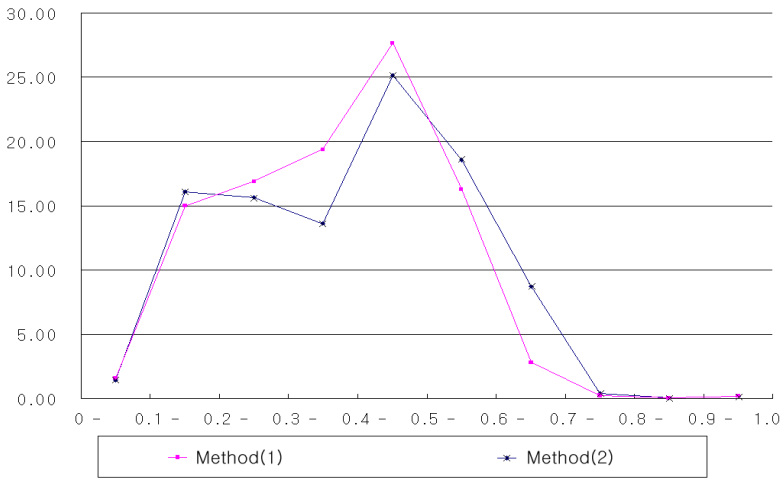

FIGURE 1. The distribution curves that represent percentages of pixel values

성비(%)로 표현하면 표 2, 그림 1과 같다.

표 2와 그림 1에서 보는 바와 같이 픽셀 값의 전체적인 분포는 그 모양이 대체로 비슷하게 나타나지만, 픽셀 값 0.3~0.4의 구간과 0.6~0.7의 구간에서 상대적으로 큰 차이가 발생하였다.

면별로 각 셀값의 분포를 비교하면 표 3과 같다. 표 3에서 보면, 면별 평균값을 가지고 면별로 순서를 매기면 Method Ⅰ과 Method Ⅱ의 방법이 동일하게 나타나지만, 평균값에서는 약간의 차이가 발생하였다. 평가결과 최대값 1.0의 점수를 얻은 픽셀이 존재하는 곳은 봉화읍으로 Method Ⅰ과 Method Ⅱ에서 동일하게 나타나지만, 최소값 0이 존재하는 곳은 Method Ⅰ의 방법에서는 재산면에 있는 것으로 나타났고, Method Ⅱ의 방법에서는 상운면에 있는 것으로 나타났다.

이러한 평가결과에서 각 픽셀의 점수를 구분하여 1등급(0.7 이상의 점수를 받은 픽셀), 2등급(0.6~0.7의 점수를 얻은 픽셀) 등으로 구

TABLE 3. The distribution of pixel values in the evaluation result.

No.	Name	Method Ⅰ			Method Ⅱ			Order of means
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	
1	Bonghwa-up	0.1302	**1.0000**	0.5885	0.1286	**1.0000**	0.6384	1
2	Moolya-myun	0.2485	0.7361	0.4068	0.2506	0.7785	0.4010	4
3	Bongsung-myun	0.1083	0.6347	0.3178	0.1064	0.6817	0.2775	6
4	Bubjeon-myun	0.0037	0.5749	0.2452	0.0318	0.5345	0.2368	8
5	Choonyang-myun	0.1864	0.7099	0.4659	0.1877	0.7308	0.5018	3
6	Sochun-nyun	0.0223	0.6341	0.4795	0.0468	0.6753	0.5366	2
7	Suckpo-myun	0.1436	0.7028	0.3545	0.2097	0.6765	0.3982	5
8	Jaesan-myun	**0.0000**	0.4959	0.1658	0.0284	0.5540	0.1753	9
9	Myungho-myun	0.0488	0.4480	0.2589	0.0455	0.4199	0.2387	7
10	Sangwoon-myun	0.0010	0.7630	0.1383	**0.0000**	0.7998	0.1284	10

TABLE 4. The number of pixels that got higher evaluation scores

No.	Name	Method Ⅰ		Method Ⅱ	
		x ≥ 0.7	0.6~0.7	x ≥ 0.7	0.6~0.7
1	Bonghwa-up	5,850	19,849	9,096	50,809
2	Moolya-myun	0	604	0	28
3	Bongsung-myun	0	6	0	15
4	Bubjeon-myun	0	0	0	0
5	Choonyang-myun	5	11,947	201	17,392
6	Sochun-nyun	0	2,225	0	47,429
7	Suckpo-myun	1	2,772	0	1,044
8	Jaesan-myun	0	0	0	0
9	Myungho-myun	0	0	0	0
10	Sangwoon-myun	4	4	4	7

분하여 면별로 해당하는 픽셀수를 분석하면 표 4와 같다.

표 4에서 보면, 1등급에 해당하는 픽셀이 존재하는 지역은 Method Ⅰ과 Method Ⅱ에서 공통적으로 봉화읍에 위치하고 있으며, 춘양면에서 아주 소수로 존재하는 것으로 나타나며, 그 수에서는 다소 차이가 발생하였다. 2등급에 해당하는 픽셀이 존재하는 지역은 봉화읍과 춘양면, 소천면, 석포면으로 나타나지만, 그 수량에서는 많은 차이가 발생함을 알 수 있다. 이러한 결과에서 볼 때, Method Ⅱ의 방법으로 평가한 결과가 높은 점수부분에서 차이를 더 잘 드러내준다고 할 수 있다.

이러한 결과의 차이를 위치별로 검토하기 위하여 Method Ⅱ의 결과에서 Method Ⅰ의 결과를 레이어간 빼기(-) 연산으로 계산하여 그 차이를 나타내는 값의 분포위치를 그림으로 표시하면 그림 2과 같다. 그림 2에서 보면, 노란색으로 표시된 부분은 Method Ⅰ과 Method Ⅱ에서 거의 동일한 값을 가진 셀들을 표현하며, 빨간색 부분은 Method Ⅱ의 결과 - Method Ⅰ의 결과에서 0보다 작은 값으로 나타난 부분 즉, 소천면, 석포면, 법전면, 봉성면, 물야면 등에서는 Method Ⅰ에 의한 결과점수가 Method Ⅱ에 의한 점수보다 높게 나타났으며, 색상이 진하게 표현된 부분은 그 차이가 크다는 것을 표현하고 있다.

또, 초록색 부분은 Method Ⅱ의 결과 - Method Ⅰ의 결과에서 0보다 큰 값으로 나타난 부분 즉, 춘양면, 명호면, 재산면, 상운면, 봉화읍 등에서는 Method Ⅱ에 의한 점수가 Method Ⅰ에 의한 점수보다 높게 평가되었음을 의미한다. 다시 말해서, Method Ⅰ에서는 소천면, 석포면, 법전면, 봉성면, 물야면 등에서 상대적으로 높은 점수를 얻었으며, Method Ⅱ에서는 춘양면, 명호면, 재산면, 상운면, 봉화읍 등에서 상대적으로 높은 점수를 받았음을 알 수 있다.

이상과 같은 결과를 종합해 볼 때, 다양한 평가지표를 포함한 위계구조의 중요도를 사용하여 토지의 자원평가 또는 적지분석을 실행함에 있어서, 일반적으로 지표요소별 중요도를 반영하는 방법으로서 Method Ⅰ을 사용하고 있으며(배민기와 장병문, 1998; 구자훈과 성금영, 2001; 김재익과 정현욱 2001), Method Ⅰ은 위계구조가 아닌 평가체계에서는 합리적인 방법이라고 생각된다. 그러나, 위계구조의 중요도를 가진 평가체계에서는 Method Ⅱ를 사

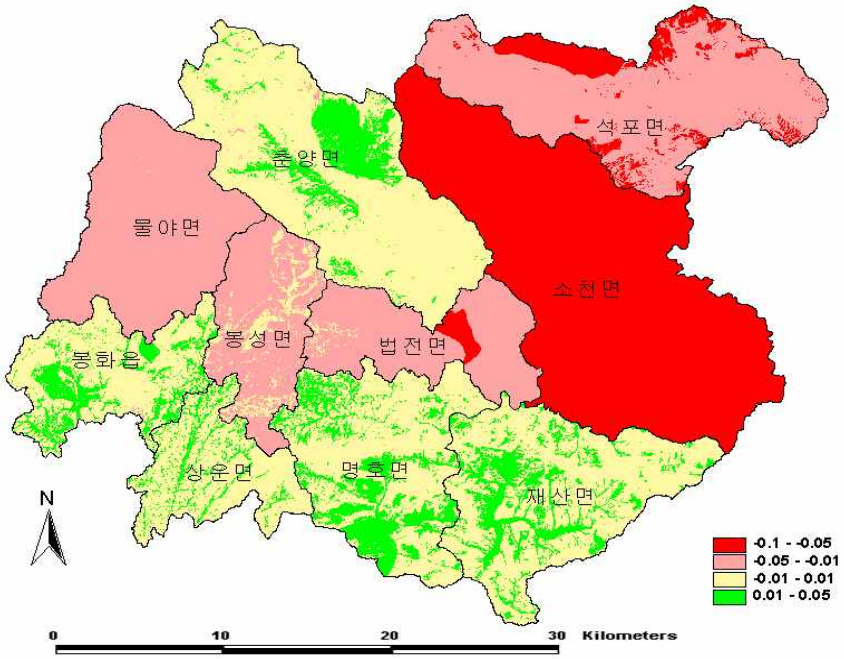

FIGURE 2. The map that represent the differences appeared in the result of two methods

용하는 것이 더욱 합리적인 방법이라 생각된다(황국웅과 엄붕훈, 2003). 왜냐하면, Method Ⅱ의 방법은 아랫단계의 평가를 종합하여 윗단계로 올라갈 때, 아랫단계의 평가결과를 표준화하는 과정을 거치므로, 아랫단계의 평가결과에 대한 상대적인 차이가 더욱 강조되며, 위계구조의 평가체계에 충실한 평가가 이루어지게 되기 때문이다.

위에서 제시한 두 가지 방법 즉, 각 지표별로 계산된 종합 중요도를 한번만 적용하는 방법(Method Ⅰ)과 단계별로 중요도 적용과 표준화 작업을 반복하는 방법(Method Ⅱ) 등은 그 결과가 다르게 나타나며, GIS를 사용한 도면중첩계산에 의하여 토지자원 또는 적성을 평가하는 과제에서는 대부분이 Method Ⅰ의 방법을 사용하고 있다. 그러나, 이는 논리적 오류를 포함할 가능성이 있으며, Method Ⅱ의 방법으로 시행하는 것이 보다 객관적인 방법이라고 판단된다.

결 론

GIS를 사용한 도면중첩방법에 의하여 토지자원평가 또는 적성평가를 수행함에 있어서, 계층구조의 중요도를 합리적으로 반영하기 위한 방법을 모색하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 봉화군을 연구대상지로 하여 '환경친화적 자원평가 지표체계'(황국웅과 엄붕훈, 2002)의 지표 요소별 중요도를 적용하는 과정에 대하여 두가지 방법으로 평가를 수행하고, 그 결과를 비교·고찰하였다.

지리적 위치의 문제를 포함한 토지자원을 평가하기 위하여, 다수의 요소와 그 중요도를 합리적으로 반영하는 방법으로서 GIS와 MCE 기법이 사용되었으며, 지표요소와 중요도의 구성이 더욱 복잡하고 다양해짐에 따라 계층구조의 중요도 평가기법(AHP)를 사용하여 왔다.

그러나, AHP에 의한 평가를 적용함에 있어서, 계층구조를 중요도 점수의 산출에만 사용한 기존의 평가방법과 계층구조의 과정을 따라가며 중요도 점수를 반영한 평가방법은 그 결과가 다르게 나타난다는 것을 본 연구에서 확인하였다.

또, 계층구조의 표준화 방법으로 선형변환(linear scale transformation)방법을 사용하였지만, 다른 방법을 사용하면 또 다른 결과가 나올 수 있을 것이다. 본 연구에서 제안한 방법이 보다 합리적이고 타당하다는 결론을 내리기 위하여는 보다 많은 실험적인 연구가 수행되어야 할 것이며, 그 원인에 대하여도 보다 정밀한 연구가 필요할 것이다. KAGIS

참고문헌

구자훈, 성금영. 2001. 토지이용계획의 용도별 적지분석에 있어서 퍼지이룬 및 계층분석과정(AHP)의 활용. 한국지리정보학회지 4(1):34-46.

김재익, 정현욱. 2001. 도시공공시설 적지선정을 위한 GIS 활용방안에 관한 연구. 한국지리정보학회지 4(4):8-20.

배민기, 장병문. 1998. 지리정보체계를 이용한 일반폐기물 매립후보지의 입지선정에 관한 연구. 한국지리정보학회지 1(2):14-25.

황국웅, 이규완. 2000. GIS와 다요소의사결정방법(MCE)에 의한 김해 대청공원 집단시설지구 적지분석. 한국지리정보학회지 3(3):45-53.

황국웅, 엄붕훈. 2003. 환경친화적 지역개발을 위한 봉화군의 자원평가. 한국지리정보학회지 6(2):10-21.

Carver, S.J. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. International Journal of Geographical Information Systems 5(3):321-339.

Hopkins, L.D. 1977. Methods for generation land suitability maps: A comparative evaluation, Journal of the American Institute of Planners 43(4):386-400.

Jassen, R. and P. Rietveld. 1990. Multicriteria analysis and geographical information systems: An application to agricultural land use in the Netherlands. In: H.H. Scholten and J.C.H. Stillwell(eds). Geographical Information Systems for Urban and Reginal Planning. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. pp.129-139. KAGIS