

연구논문

삼각퍼지수를 활용한 지역환경 평가지표 순위 결정

- 생태계를 중심으로 -

유주한* · 정성관** · 박경훈*** · 김경태**

창원대학교 산업기술연구원*, 경북대학교 조경학과**, 창원대학교 환경공학과***

(2006년 8월 4일 접수, 2006년 11월 8일 승인)

Rank Decision on Regional Environment Assessment Indicators Using Triangular Fuzzy Number

- Focused on Ecosystem -

Ju-Han, You* · Sung-Gwan, Jung** · Kyung-Hun, Park*** · Kyung-Tae, Kim**

Institute of Industrial Technology, Changwon National University*

Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University**

Dept. of Environment Engineering, Changwon National University***

(Manuscript received 4 August 2006; accepted 8 November 2006)

Abstract

This study was carried out to offer the systematical and scientific method of regional environment conservation by deciding the rank using fuzzy theory, and try to find the methodology to accurately accomplished the regional environment assessment for sound land conservation. The results were as follows.

To transform the Likert's scale granted to assessment indicators into the type of triangular fuzzy number (a, b, c), there was conversion to each minimum (a), median (b), and maximum (c) in applying membership function. We used the center of gravity and eigenvalue leading to the rank.

In the sequential analysis of rank-based test of assessment indicators by triangular fuzzy number, the result proclaimed that ranking of the indicators was, in the biotic field, in the order of 'dominance', 'sociality', 'coverage' and in the abiotic one, 'soil pH', 'T-N', 'soil property', and in the qualitative one, 'impact rating class', 'hemeroby degree', 'land use pattern', and in the functional one, 'protection of water resource', 'offer of recreation', 'protection of soil erosion'.

Therefore, there was a difference between subjective rank from human and the rank from triangular fuzzy number. In other words, the scientific rank decision would be not so much

being subjective and biased as dealing with human thoughts mathematically by triangular fuzzy number.

Key words : Fuzzy theory, Converted value, Ecosystem, Regional environment

1. 서론

생태계는 복잡한 중 구성을 가질 뿐만 아니라 각각의 개체, 생물종 또는 다양한 물리적 환경요인들과 상호작용을 하며, 생물, 무생 및 주변환경의 총체적 유기체로서 기권, 생물권, 지권으로 구성되어 있다(Klijn *et al.*, 1994). 따라서 생태계는 각 구성요소들 간 상호작용과 함께 변화가 발생되기 때문에 복잡성, 상호의존성, 상호작용성 등의 특성을 가지고 있고 불확실성과 예측불가능성이 포함되어 있으므로 생태계의 특성 파악을 위해서는 과학적 및 객관적 정보가 사용되어야 한다(Malone, 2000). 즉, 생태계는 예측 불가능한 시스템이기 때문에 예측모델은 다양한 추측에 기초한 접근이라고 할 수 있다. 이는 최적의 예측모델은 존재할 수 없으나 적절한 평가를 위해서는 생물, 무생물 및 기타 환경변수를 종합적으로 고려한 지표 선정이나 의사결정 모델을 개발하는 것이 지역환경 보전을 위한 실천적 방법이라고 할 수 있다. 따라서 생태계를 평가하기 위해서는 불확실성을 극복해야 하는데 그 방법 중 하나가 퍼지이론(fuzzy theory)이다. 퍼지이론은 불분명한 수량적 정보와 인간의 사고 및 판단의 부정확성과 애매한 현상을 수학적으로 표현하기 위해 제안된 이론으로써 기존의 논리 체계인 '0' 과 '1' 또는 '예' 와 '아니오' 로 구성되는 일반집합과 달리 하나의 대상이 하나의 값으로 표현되는 것이 아니라 0과 1사이 에 무한히 많은 값으로 표현되는 것을 의미한다(Zadeh, 1973). 즉, 불확실한 인간의 판단이나 주관적인 사고과정에 대해 적용성이 높으며, 인간이 행하는 추론이나 사고과정을 객관화시킬 수 있는 방법론이라고 할 수 있다. 퍼지이론에 대한 연구동향을 살펴보면, 국내의 경우 삼각퍼지수를 도입한 수질관리 대안선정(이용운 등, 2000), 사면의 건전도 평가(김상규 등, 2000), 건설공사 리스크 관리(김창학

등, 2002), 서비스 품질 측정(이석훈·윤덕균, 2004), 문화관광정보시스템 평가(노정철, 2005), 부영양화 등급판정(이용운·권병택, 2006) 등 환경공학, 토목공학, 경영학, 관광학과 같은 다양한 분야에서 응용되고 있었으며, 최근 산양식치 모형(최태영·박종화, 2004), 내셔널 트러스트 지표 순위(유주한 등, 2005a) 등 생태계에 대한 적용이 시도되고 있으나 아직 미흡한 실정에 있다. 그러나 국외의 경우 식생 영상 모델링(Foody, 1996), 경관평가(Steinhardt, 1998), 환경영향평가 연구(Enea and Salemi, 2001), 생태적 지위분석(Wang *et al.*, 2003), 생태계 상관성 규명(Svoray *et al.*, 2004) 등 생태계와 퍼지이론을 접목시킨 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 연구는 퍼지이론의 도입을 통해 언어적 불확실성을 극복함으로써 합리적인 생태계 평가 지표 순위를 결정하여 객관적이고 과학적인 평가 지표 선정에 목적이 있다. 또한 평가지표를 이용한 환경보전계획, 생태복원방안 등 환경친화적 지역환경 보전을 위한 기초자료를 제공하기 위함이다.

II. 연구방법

1. 지표추출 및 선정

경관생태학, 조경학 등 환경보전과 관련된 국내외 문헌 검색을 통해 평가지표를 수집하였으며, 1차 설문은 국내 문헌 지표에 대해 2003년 10월 산림 관련 연구직 10명을 대상으로 직접 면담조사를 수행하였다. 또한 2차 설문은 국외 문헌 지표들에 대해 2004년 9월 조경학과 및 산림 관련학과 교수, 연구직 및 대학원생 등 30명을 대상으로 우편 및 E-mail을 이용하여 자료를 획득하였다. 설문조사에서 획득된 평가지표 점수 중 평균 3점 이상 즉, 보통 이상의 중요도를 갖는 지표만을 추출하는 단계를 거쳤

고 연구자 판단에 의해 일부 지표를 추가하였다. 추출 과정을 거친 지표들은 생물, 무생물, 질적 및 기능적 부문으로 분리하였다.

생물적 부문은 BF1(밀도), BF2(피도), BF3(빈도), BF4(상대우점치), BF5(개체수), BF6(중수), BF7(홍고직경), BF8(수고), BF9(수관폭), BF10(층위구조) BF11(종다양성지수), BF12(중풍부도), BF13(최대종다양성지수), BF14(군도), BF15(우점도), BF16(관속식물), BF17(특산식물), BF18(귀화식물), BF19(희귀 및 멸종위기식물), BF20(특정식물의 군락지), 무생물적 부문의 AF1(총 질소량), AF2(총 인량), AF3(토양산도), AF4(토양경도), AF5(토성), AF6(유기물층), AF7(경사각), AF8(해발), AF9(방위), AF10(지형), 질적 부문의 경우 QF1(헤메로비등급), QF2(환경피해도), QF3(녹지자연도), QF4(토지이용형태), QF5(현존식생), QF6(임령), QF7(산림면적), QF8(식생피복율), QF9(경관파편화), QF10(귀화율), QF11(자연파괴도), QF12(연결성), QF13(식생형태), QF14(복원력), QF15(천이단계), QF16(경관의 다양성), 기능적 부문은 FF1(재화생산), FF2(대기질향상), FF3(산사태 방지), FF4(토양침식 방지), FF5(방풍효과), FF6(생태계 보전),

FF7(생물종다양성 유지), FF8(서식처 제공), FF9(수자원보호), FF10(휴양과 휴식제공)을 선정하였다(유주한 등, 2005b).

선정된 평가지표는 2004년 12월부터 2005년 1월까지 조경학, 생태학 등을 전공한 교육직 및 연구직 등의 전문가 75명을 대상으로 E-mail 조사를 수행하였고 75부 중 49부가 회수되었으나 응답이 불성실한 11부를 제외한 38부를 이용하였다. 지표 선정의 신뢰성을 검증한 결과, 신뢰계수는 0.6이상으로 나타나 이상이 없었으며, 이를 토대로 퍼지이론에 적용하여 분석하였다.

2. 분석과정

Figure 2는 삼각퍼지수를 이용한 순위결정 과정을 나타낸 것이다. 우선 리커트 5점 척도로 표현된 평가지표들의 단순 중요도를 소속함수식에 의해 (a, b, c) 형태의 삼각퍼지수로 분해한 후 지표들의 최종 삼각퍼지수를 구하기 위해 개별 삼각퍼지수를 합산하였다. 합산된 삼각퍼지수는 지표 간 일대일 비교가 불가능하기 때문에 비퍼지화기법을 적용하여 무게중심값을 산출하였으며, 이는 비교 가능한 수치로 가공하는 과정을 의미한다. 그 다음, 요인분석에서 산출된 고유값을 가중치로 설정하였으며, 가중치 × 무게중심값의 과정을 통해 평가치를 구한 후 이를 단순 중요도 순위 및 단순 중요도 × 가중치의 표준화 값과 비교 · 고찰하였다.

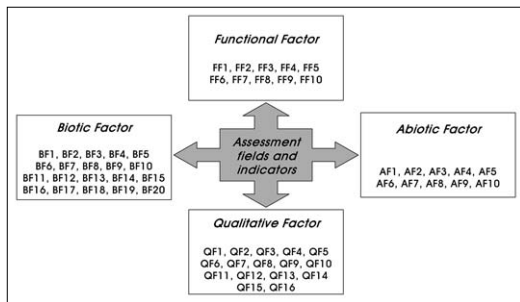


Figure 1. The selection of assessment indicators (Source: You et al., 2005b)

III. 방법론 고찰

1. 삼각퍼지수

퍼지수에는 여러 가지가 있을 수 있으나 대부분

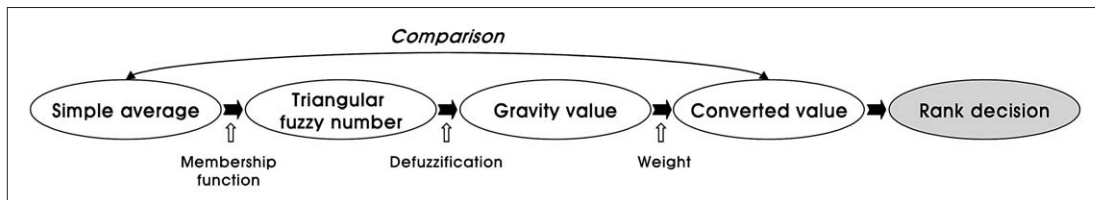


Figure 2. The process of rank decision by applying triangular fuzzy number

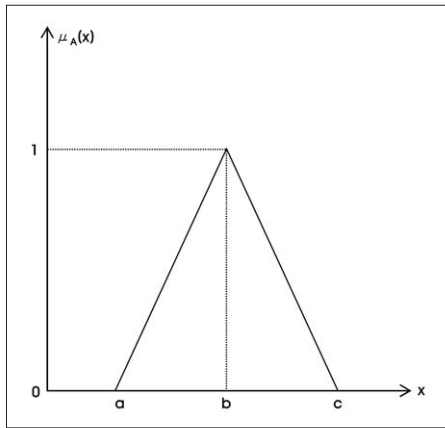


Figure 3. The shape of triangular fuzzy number

삼각퍼지수(triangular fuzzy number)와 사다리꼴 퍼지수(trapezoidal fuzzy number)가 가장 많이 사용되며, 삼각퍼지수는 세 개의 점으로 표현되기 때문에 사용이 간편하고 수학적 분석이 용이하기 때문에 많이 사용되어지는 특징을 가지고 있다(Liu and Samal, 2002). 삼각퍼지수 A를 A=(a, b, c)로 지정할 때 a는 하한값, b는 중간값, c는 상한값으로 나타나며, 이들의 면적이 삼각퍼지수의 크기를 의미한다. 삼각퍼지수는 Figure 3과 같이 나타낼 수 있고 a, b, c 세 개의 점으로 형성된 삼각형으로 표현될 수 있으며, a와 c 사이의 b는 소속도가 1이다.

2. 소속함수

소속함수(membership function)는 가능성이라고 할 수 있으며, 정보의 정도 차이를 반영할 수 있는 함수에 근거하여 표현하고자 하는 정보를 0과 1 사이의 무한한 실수로 대체시켜 표현하는 것이다. 삼각퍼지수의 소속함수 A는 A: $\mu_x \rightarrow [0, 1]$ 이고 함수식은 식 1과 같이 표현할 수 있다.

$$A = \frac{(x-a)}{(b-a)} (a \leq x \leq b), \frac{(c-x)}{(c-b)} (b \leq x \leq c) \quad (식 1)$$

이것을 다르게 표현하면 $a < b < c$ 즉, (a, b, c)로 표현할 수 있다. 따라서 삼각퍼지수는 실수 a, b, c의 세 부분에 의해 특성화되어지는 것으로써 매개변수 b는 소속함수 $\mu_A(x)$ 의 최대등급이고 a, c는 평가 가능한 영역의 하한 및 상한값을 의미한다.

Table 1. Membership function for changing the scales

Scale	Fuzzy number	Membership function
5 (very important)	(0.8, 1, 1)	$5x-4 (0.8 \leq x \leq 1)$
4	(0.6, 0.8, 1)	$5x-3 (0.6 \leq x \leq 0.8)$ $5-5x(0.8 \leq x \leq 1)$
3 (medium)	(0.3, 0.5, 0.7)	$5x-1.5 (0.3 \leq x \leq 0.5)$ $3.5-5x (0.5 \leq x \leq 0.7)$
2	(0, 0.2, 0.4)	$5x (0 \leq x \leq 0.2)$ $2-5x (0.2 \leq x \leq 0.4)$
1 (not important)	(0, 0, 0.2)	$1-5x (0 \leq x \leq 0.2)$

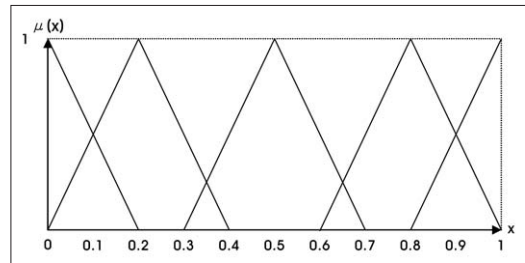


Figure 4. The transformation of fuzzy number of membership function

5점의 어의척도를 삼각퍼지수로 변형시키면 5점은 (0.8, 1, 1), 4점은 (0.6, 0.8, 1), 3점은 (0.3, 0.5, 0.7), 2점은 (0, 0.2, 0.4), 1점은 (0, 0, 0.2)로 생성시킬 수 있다. 이러한 삼각퍼지수의 선형 소속함수를 구하기 위해서는 앞서 제시한 식에 의거하여 구할 수 있으며, 소속함수에 의해 변형시키면 Table 1과 같이 나타낼 수 있다.

소속함수의 생성과정을 설명해 보면, 3점은 (0.3, 0.5, 0.7)의 삼각퍼지수 형태로 변환시킬 수 있으며, 하단값은 0.3, 중간값은 0.5, 상단값은 0.7이다. 소속함수식은 $0.3 \leq x \leq 0.5$ 의 경우 $\frac{(x-0.3)}{(0.5-0.3)}$ 이 되어 최종 $5x-1.5$ 가 생성되며, $0.5 \leq x \leq 0.7$ 은 $\frac{(0.7-x)}{(0.7-0.5)}$ 의 형태로 변환되어 $3.5-5x$ 라는 소속함수식을 구할 수 있다. 이들을 삼각퍼지수의 형태로 표현하면, Figure 4와 같이 변형시킬 수 있다.

3. 무게중심값

일반집합이나 자연현상을 퍼지집합 A로 변환하는 과정을 퍼지화(fuzzification)라고 하며, n개의

삼각퍼지수로 구성된 퍼지화값은 식 2와 같다.

$$A = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i, \sum_{i=1}^n b_i, \sum_{i=1}^n c_i \right)}{n} = (a, b, c) \quad (\text{식 2})$$

또한 생성된 퍼지집합을 명확한 실수로 표현하는 과정을 비퍼지화(defuzzification)라고 한다. 이것은 각 평가지표들이 삼각퍼지수로 표현되어 있기 때문에 이들 상호 간 직접 비교는 불가능하다. 따라서 이들의 크기 비교를 위해 비퍼지화 방법들이 있으나 가장 간단한 무게중심법을 활용하였고 산정 공식은 식 3과 같다.

$$g = c - \sqrt{\frac{[(c-a)(c-b)]}{2}} \quad \text{또는} \quad (\text{식 3})$$

$$g = a + \sqrt{\frac{[(c-a)(b-a)]}{2}}$$

여기서 g는 무게중심값을 나타내고 a, b, c는 삼각퍼지수 (a, b, c)로 표현된 값이다. 따라서 이러한 무게중심값의 산출을 통해 각 평가지표들의 삼각퍼지수 특성값을 구할 수 있다.

4. 가중치 부여

가중치는 지표 간의 상대적 중요도에 따라 부여되는 값으로써 가중치 부여는 AHP나 델파이기법 등과 같이 평가자들의 판단에 따라 부여되는 주관적 방법과 회귀분석, 요인분석, 상관관계분석 등의 통계적 기법에 따른 수리적 방법이 있다(유주한 등, 2005a). 이러한 가중치 부여에는 모순점들이 많이 있는데 주관적 방법의 경우 평가자가 주관적으로 가중치를 부여함으로써 언어변수에 대한 가중치가 객관적으로 산정되지 못한다는 단점이 있으나 수리적 방법의 경우 평가지표 간 상관관계를 이용하기 때문에 객관적 자료 도출 시 필요한 방법이라고 사료된다. 따라서 가중치 설정에 있어서 요인분석 중 직각회전법을 적용한 고유값을 사용하였으며, 개별 변인의 전체에 대한 공헌도 혹은 기여도 즉, 가중치로 간주하여 사용하고자하며, 이는 생태계 평가의 객관성을 유지하는데 목적이 있다.

IV. 결과 및 고찰

1. 생물적 부문의 순위결정

생물적 부문의 평가지표에 대한 순위로써 단순 중요도, 변환값 A(단순 중요도 가중치의 표준화값) 및 변환값 B(무게중심값 가중치)를 요약한 것이다 (Table 2). 요인분석에서 산출된 가중치를 부여하면, 수고(BF8), 빈도(BF3), 수관폭(BF9), 우점도(BF15), 흉고직경(BF7), 피도(BF2) 및 군도(BF14)는 0.999, 최대종다양성지수(BF13), 종풍부도(BF12), 상대우점치(BF4) 및 종다양성지수(BF11)는

Table 2. Rank comparison on the indicators of biotic field

Indicators	Weight	Simple average (Rank)	Converted value A ^a (Rank)	Converted value B ^b (Rank)
BF1	0.232	3.211 (14)	0.218 (13)	0.129 (16)
BF2	0.999	3.368 (12)	0.986 (2)	0.582 (3)
BF3	0.999	3.000 (16)	0.878 (5)	0.485 (7)
BF4	0.322	3.816 (7)	0.360 (9)	0.227 (11)
BF5	0.198	3.579 (9)	0.208 (14)	0.129 (16)
BF6	0.232	4.158 (6)	0.283 (12)	0.184 (14)
BF7	0.999	2.974 (17)	0.870 (6)	0.487 (6)
BF8	0.999	2.974 (17)	0.870 (6)	0.490 (5)
BF9	0.999	3.105 (15)	0.908 (4)	0.527 (4)
BF10	0.232	4.184 (5)	0.284 (11)	0.186 (13)
BF11	0.322	4.421 (2)	0.417 (7)	0.276 (8)
BF12	0.322	4.290 (4)	0.405 (8)	0.269 (9)
BF13	0.322	3.763 (8)	0.355 (10)	0.230 (10)
BF14	0.999	3.316 (13)	0.970 (3)	0.585 (2)
BF15	0.999	3.421 (10)	1.001 (1)	0.614 (1)
BF16	0.156	3.421 (10)	0.157 (17)	0.096 (18)
BF17	0.156	4.184 (5)	0.191 (16)	0.125 (17)
BF18	0.156	3.395 (11)	0.155 (18)	0.095 (19)
BF19	0.198	4.868 (1)	0.283 (12)	0.187 (12)
BF20	0.156	4.395 (3)	0.201 (15)	0.130 (15)

^a: Standardization of (simple average × weight);

^b: Center of gravity weight

BF1: Density; BF2: Coverage; BF3: Frequency; BF4: Important value; BF5: No. of individuals; BF6: No. of species; BF7: DBH; BF8: Plant height; BF9: Plant width; BF10: Stratum layer; BF11: Species diversity index; BF12: Species abundance; BF13: Max. diversity index; BF14: Sociality; BF15: Dominance; BF16: Vascular plant; BF17: Endemic plant; BF18: Naturalized plant; BF19: Rare and endangered plant; BF20: Community of specific plant

0.322, 종수(BF6), 층위구조(BF10) 및 밀도(BF1)는 0.232, 개체수(BF5)와 희귀 및 멸종위기식물(BF19)은 0.198, 귀화식물(BF18), 관속식물(BF16), 특산식물(BF17) 및 특정식물 군락지(BF20)는 0.156으로 나타났다.

변환값 A에서 우점도의 경우 단순 중요도(3.421) × 가중치(7.564) = 25.877로 산출되며, 각 지표들의 값을 합산하여 표준화하면 1.001을 획득할 수 있다. 변환값 B에서는 우점도의 경우 삼각퍼지수로 산출하면 (0.42, 0.62, 0.8)이 된다. 그러나 이들 값은 삼각형의 하한, 중간, 상한값을 나타내기 때문에 일대일 비교가 불가능하므로 비퍼지화기법인 무게중심값을 사용해야 하면 0.615로 나타나며, 최종적으로 가중치(0.999) × 무게중심값(0.615) = 0.614이 성립된다. 지표 순위를 살펴보면, 단순 중요도의 경우 희귀 및 멸종위기식물(BF19)이 1순위, 종다양성지수(BF11)는 2순위, 특정식물 군락지(BF20)는 3순위의 순으로 나타났다. 변환값 A에 있어서는 우점도(BF15)가 1순위, 피도(BF2)가 2순위, 군도(BF14)가 3순위로 관찰되었으며, 변환값 B에서는 1순위는 우점도로 동일하나 군도가 2순위, 피도가 3순위로 순위 변동이 발생하였다.

변환값 A와 변환값 B의 순위 변화를 살펴보면 흉고직경(BF7), 수관폭(BF9), 최대종다양성지수(BF13), 우점도(BF15), 희귀 및 멸종위기식물(BF19), 특정식물 군락지(BF20)를 제외한 지표들의 순위가 변화되었음을 감지할 수 있었다. 이는 가중치는 동일하게 적용되었으나 단순 중요도와 무게중심값의 차이에 의해 발생된 것으로 사료된다.

즉, 변환값 A에서 피도의 단순 중요도는 3.368로 군도의 3.316보다 크나 변환값 B에서 피도의 무게중심값은 0.583로 군도의 0.585보다 작게 나타났다. 즉, 피도의 삼각퍼지수가 (0.39, 0.59, 0.76)으로 나타난 반면, 군도의 삼각퍼지수는 (0.39, 0.59, 0.77)로 하한값 a와 중간값 b의 크기는 동일하나 상한값 c가 0.01 차이를 보이고 있기 때문에 발생된 결과라고 사료된다. 이는 하한값과 중간값의 분포가 비슷하여 동일한 수치를 나타내었으나 상한값의 차

이를 살펴보면 2점 척도일 때 군도가 0.4점, 3점 척도일 때는 피도가 2.1점, 4점 척도일 때는 군도가 5점, 5점 척도일 때는 피도가 3점 더 많았다. 따라서 상한값을 합산해보면, 피도는 5.1점, 군도는 5.4점이 되기 때문에 위와 같은 무게중심값의 변화가 발생되었다고 할 수 있다. 즉 상한값의 상승을 크게 작용시키는 1은 4점 (0.6, 0.8, 1), 5점 (0.8, 1, 1)에 포함되어 있는데 여기서는 4점이 군도에 더 많이 분포되어 있기 때문이라고 생각된다.

단순 중요도나 변환값 A에서는 순위가 동일하였으나 무게중심값을 적용한 변환값 B에서는 순위가 변화되었다는 것이 감지되었다. 흉고직경(BF7)과 수고(BF8)는 단순 중요도나 변환값 A에서 동일한 순위를 보였으나 무게중심값을 적용할 시 흉고직경과 수고의 순위가 역전되었음을 확인하였다. 이는 퍼지이론이 인간의 사고나 감정에 의존하는 언어 변수의 불확실성을 해결할 수 있다는 것을 의미한다. 만약 리커트 척도 5점과 2점, 3점과 4점은 단순 중요도는 평균 3.5점으로 동일한 값을 나타내나 삼각퍼지수로 변환하면 5점 (0.8, 1, 1)과 2점 (0, 0.2, 0.4)이고 3점 (0.3, 0.5, 0.7)과 4점 (0.6, 0.8, 1)으로 표현될 수 있다. 이들에 대해 퍼지화하면 각각 (0.4, 0.6, 0.7)과 (0.45, 0.65, 0.85)로 나타나며, 이들의 무게중심값은 구하면 각각 0.578, 0.650으로 산출된다. 따라서 평균값이 같다고 하여 그 중요도가 같다는 가설은 성립되지 않으며, 중요도에 따라 무게중심값이 동일하게 변하지 않음을 알 수 있어 퍼지이론은 단순 산술평균값보다 정확성이 뛰어나다고 판단된다.

2. 무생물적 부문의 순위결정

무생물적 부문의 평가지표에 대한 순위는 Table 3과 같다. 가중치의 경우 총 질소량(AF1), 총 인량(AF2), 토양산도(AF3), 토양경도(AF4) 및 토성(AF5)은 1.642, 유기물층(AF6), 경사각(AF7), 해발(AF8), 방위(AF9) 및 지형(AF10)은 0.358로 나타났다.

지표들의 순위를 확인해보면, 단순 중요도에서는

Table 3. Rank comparison on the indicators of abiotic field

Indicators	Weight	Simple average (Rank)	Converted value A ^a (Rank)	Converted value B ^b (Rank)
AF1	1.642	3.263 (6)	1.649 (2)	0.932 (2)
AF2	1.642	3.079 (8)	1.555 (4)	0.854 (4)
AF3	1.642	3.500 (3)	1.768 (1)	1.039 (1)
AF4	1.642	3.000 (9)	1.516 (5)	0.801 (5)
AF5	1.642	3.184 (7)	1.609 (3)	0.895 (3)
AF6	0.358	4.026 (1)	0.443 (6)	0.275 (6)
AF7	0.358	2.842 (10)	0.313 (10)	0.157 (10)
AF8	0.358	3.421 (4)	0.377 (8)	0.216 (8)
AF9	0.358	3.368 (5)	0.371 (9)	0.213 (9)
AF10	0.358	3.632 (2)	0.400 (7)	0.236 (7)

^a: Standardization of (simple average weight);

^b: Center of gravity weight

AF1: Total nitrogen; AF2: Total phosphorus; AF3: Soil pH; AF4: Soil hardness; AF5: Soil property; AF6: Organic matter; AF7: Slope angle; AF8: Altitude; AF9: Aspect; AF10: Topography

유기물층(AF6)이 1순위, 지형(AF10)이 2순위, 토양 산도(AF3)가 3순위로 조사되었으며, 변환값 A와 B에서는 토양산도(AF3)가 1순위, 총 질소량(AF1)이 2순위, 토성(AF5)이 3순위로 동일하게 나타났다. 또한 변환값 A와 B에서의 순위 변동을 살펴보면, 생물적 부문과 달리 지표들의 순위 변동은 감지되지 않았다. 이는 리커트 척도를 삼각퍼지수로 분해하여 퍼지화 및 비퍼지화를 한 것과 전문가들이 주관적으로 판단한 것이 일치하다는 것을 의미한다. 즉, 동일한 가중치를 부여하였을 때 주관적 자료인 단순 중요도와 객관적 자료인 무계중심값의 차이는 없다는 것으로 해석할 수 있음을 확인할 수 있었다.

3. 질적 부문의 순위결정

질적 부문의 평가지표에 대한 순위를 요약한 것으로서 가중치의 경우 헤메로비등급(QF1), 환경피해도(QF2), 녹지자연도(QF3) 및 토지이용형태(QF4)는 1.163, 식생피복(QF8), 귀화율(QF10) 및 자연파괴도(QF11)는 0.678, 면적(QF7), 식생형태(QF13), 천이단계(QF15) 및 경관의 다양성(QF16)은 0.413, 경관파편화(QF9), 연결성(QF12) 및 복원력(QF14)은 0.356, 현존식생(QF5) 및 임령(QF6)은

Table 4. Rank comparison on the indicators of qualitative field

Indicators	Weight	Simple average (Rank)	Converted value A ^a (Rank)	Converted value B ^b (Rank)
QF1	1.163	3.605 (8)	1.172 (2)	0.774 (2)
QF2	1.163	3.711 (6)	1.206 (1)	0.817 (1)
QF3	1.163	3.184 (11)	1.035 (4)	0.657 (4)
QF4	1.163	3.474 (9)	1.129 (3)	0.742 (3)
QF5	0.295	3.737 (5)	0.308 (15)	0.208 (14)
QF6	0.295	3.684 (7)	0.304 (16)	0.202 (15)
QF7	0.413	3.605 (8)	0.417 (11)	0.275 (11)
QF8	0.678	3.684 (7)	0.698 (5)	0.461 (5)
QF9	0.356	3.790 (4)	0.377 (13)	0.249 (13)
QF10	0.678	3.158 (12)	0.598 (7)	0.366 (7)
QF11	0.678	3.368 (10)	0.638 (6)	0.405 (6)
QF12	0.356	3.868 (3)	0.384 (12)	0.256 (12)
QF13	0.413	3.737 (5)	0.432 (10)	0.286 (10)
QF14	0.356	3.737 (5)	0.372 (14)	0.249 (13)
QF15	0.413	3.921 (2)	0.453 (9)	0.309 (9)
QF16	0.413	4.132 (1)	0.477 (8)	0.323 (8)

^a: Standardization of (simple average weight);

^b: Center of gravity weight

QF1: Hemeroby degree; QF2: Impact rating class; QF3: Degree of green naturality; QF4: Land use pattern; QF5: Actual vegetation; QF6: Stand age; QF7: Forest size; QF8: Vegetation covering; QF9: Landscape fragmentation; QF10: Naturalized index; QF11: Urbanized index; QF12: Connectivity; QF13: Vegetation type; QF14: Restoration; QF15: Succession; QF16: Landscape diversity

0.295로 나타났다(Table 4).

지표의 순위 변동을 살펴보면, 단순 중요도의 경우 경관의 다양성(QF16)이 1순위, 천이단계(QF15)가 2순위, 연결성(QF12)이 3순위로 기록되었으나 가중치를 적용할 때는 각각 8순위, 9순위, 12순위로 하락하였음을 확인할 수 있었다. 단순 중요도에서는 6순위, 8순위, 9순위를 보인 환경피해도(QF2), 헤메로비등급(QF1) 및 토지이용형태(QF4)가 변환값에서는 1순위, 2순위, 3순위로 상승하였다. 변환값 A와 B에서의 순위 변동은 현존식생(QF5), 임령(QF6) 및 복원력(QF14)을 제외하고 경관 파편화(QF9) 등 다른 지표들의 순위는 변하지 않았다.

경관 파편화와 복원력의 순위를 비교해보면, 단순 중요도와 변환값 A에서는 경관 파편화가 복원력보다 1순위 더 높았으며, 산출된 값도 더 많은 것으로

조사되었다. 그러나 변환값 B에서 순위와 값이 동일하게 나타났는데 이는 평균값과 무게중심값의 개념이 다르다는 것을 의미한다. 리커트 척도값을 합산하면 경관 파편화는 144점, 복원력은 142점으로 경관 파편화가 2점 더 많기 때문에 단순 중요도와 변환값 A에서 복원력보다 높은 순위를 부여받았다.

그러나 삼각퍼지수로 퍼지화하면 (0.51, 0.71, 0.87)으로 동일하게 변화되며, 무게중심값도 $0.87 - \frac{\sqrt{[(0.87 - 0.51)(0.87 - 0.71)]}}{2} = 0.700$ 으로 나타나 같은 값을 나타내었다. 따라서 전문가들이 부여한 리커트 척도 분포가 다르고 그에 따른 평균값이 차이를 보인다 해도 퍼지이론을 적용할 때는 동일한 결과를 나타냄으로써 단순 중요도에 의존하는 순위보다는 객관적일 것으로 사료된다.

4. 기능적 부문의 순위결정

기능적 부문의 평가지표에 대한 순위는 Table 5와 같이 요약하였다. 가중치의 경우 재화생산(FF1), 대기질향상(FF2), 산사태 방지(FF3), 토양침식 방지(FF4), 방풍효과(FF5), 수자원 보호(FF9) 및 휴양

과 휴식제공(FF10)은 1.193, 생태계 보전(FF6), 생물종다양성 유지(FF7) 및 서식처 제공(FF8)은 0.550으로 나타났다.

지표의 순위 비교 결과, 단순 중요도의 경우 생태계 보전(FF6), 생물종다양성 유지(FF7) 및 서식처 제공(FF8)이 각각 1순위, 2순위, 3순위로 나타났으며, 변환값 A와 B에서는 수자원 보호(FF9), 휴양과 휴식제공(FF10) 및 토양침식방지(FF4)가 각각 1순위, 2순위, 3순위로 확인되었다. 단순 중요도에서 생태계 보전 등을 가중치 적용 순위와 비교해보면, 생태계 보전, 생물종다양성 유지 및 서식처 제공은 변환값 A에서 8순위, 9순위, 10순위였고 변환값 B에서는 6순위, 7순위, 8순위로 다시 상승하였다.

변환값 A와 변환값 B에서 순위 변화를 살펴보면, 방풍효과(FF5)와 재화생산(FF1)의 경우 변환값 A에서는 6순위와 7순위였으나 변환값 B에서는 9순위와 10순위로 변하였다. 또한 생태계 보전, 생물종다양성 유지, 서식처 제공은 변환값 A에서는 8~10순위였으나 변환값 B에서는 6~8순위로 2단계 상승한 것으로 조사되었다. 이를 세밀하게 살펴보면, 가중치에 있어서 재화생산과 방풍효과의 가중치는 1.193, 생태계 보전 등의 가중치는 0.550으로, 재화생산 등이 약 2.17배 높으며, 변환값 A와 B에서 동일하게 작용하기 때문에 가중치 변화는 아닌 단순 중요도와 무게중심값의 차이에 의해서 발생된다고 할 수 있다. 단순 중요도의 경우 재화생산과 방풍효과는 평균값이 2,500, 2,579이고 생태계 보전, 생물종다양성 유지 및 서식처 제공은 4,684, 4,632 및 4,526이다. 그러므로 재화생산은 위의 지표들과 비교할 때 약 1.87배, 1.85배 및 1.81배, 방풍효과는 약 1.81배, 1.79배, 1.75배의 차이를 보였다.

또한 무게중심값에서는 재화생산이 0.360, 방풍효과가 0.373으로 나타났고 생태계 보전 등은 각각 0.912, 0.892 및 0.874로 조사되었다. 즉, 재화생산은 생태계 보전 등의 지표들과 약 2.53배, 2.47배, 2.42배, 방풍효과는 약 2.44배, 2.39배, 2.34배의 차이를 보이는 것으로 관찰되었다. 단순 중요도에서 가중치를 적용할 때 위에서 언급한 바와 같이 재화

Table 5. Rank comparison on the indicators of functional field

Indicators	Weight	Simple average (Rank)	Converted value A ^a (Rank)	Converted value B ^b (Rank)
FF1	1.193	2.500 (10)	0.888 (7)	0.429 (10)
FF2	1.193	3.158 (7)	1.122 (4)	0.638 (4)
FF3	1.193	3.079 (8)	1.094 (5)	0.614 (5)
FF4	1.193	3.316 (6)	1.178 (3)	0.686 (3)
FF5	1.193	2.579 (9)	0.916 (6)	0.444 (9)
FF6	0.550	4.684 (1)	0.768 (8)	0.502 (6)
FF7	0.550	4.632 (2)	0.759 (9)	0.491 (7)
FF8	0.550	4.526 (3)	0.742 (10)	0.481 (8)
FF9	1.193	3.658 (4)	1.299 (1)	0.799 (1)
FF10	1.193	3.474 (5)	1.234 (2)	0.748 (2)

a: Standardization of (simple average weight);

b: Center of gravity weight

FF1: Goods production; FF2: Improvement of air quality; FF3: Protection of landslide; FF4: Protection of soil erosion; FF5: Protection against wind; FF6: Conservation of ecosystem; FF7: Maintenance of biodiversity; FF8: Offer of habitat; FF9: Protection of water resource; FF10: Offer of recreation

생산과 방풍효과는 생태계 보전보다 가중치가 약 2.17배 높기 때문에 재화생산 등은 가중치 2.17, 생태계 보전은 1로 가중치를 적용시킬 수 있다. 만약 재화생산의 단순 중요도를 1로 고정한다면 생태계 보전은 1.87, 생물종다양성 유지는 1.85, 서식처 제공은 1.81이 된다. 이를 변환값 A로 구해보면, 재화생산은 $2.17(\text{가중치}) \times 1(\text{단순 중요도}) = 2.17$ 이 되고 생태계 보전은 $1 \times 1.87 = 1.87$, 생물종다양성 유지는 $1 \times 1.85 = 1.85$, 서식처 제공은 $1 \times 1.81 = 1.81$ 이 된다. 따라서 변환값 A에서는 재화생산 > 생태계 보전 > 생물종다양성 유지 > 서식처 제공 순이 되며, 방풍효과도 동일하게 적용된다. 그러나 변환값 B에서는 변환값 A에서 같이 동일한 가중치를 부여할 때 재화생산의 무계중심값을 1로 두면, 생태계 보전은 2.53, 생물종다양성 유지는 2.47, 서식처 제공은 2.42가 된다. 즉, 재화생산은 $2.17(\text{가중치}) \times 1(\text{무계중심값}) = 2.17$ 이 되는 반면, 생태계 보전은 $1 \times 2.53 = 2.53$, 생물종다양성 유지는 $1 \times 2.47 = 2.47$, 서식처 제공은 $1 \times 2.42 = 2.42$ 가 되어 결과적으로 생태계 보전 > 생물종다양성 유지 > 서식처 제공 > 재화생산의 순으로 분석되어진다. 이는 방풍효과에서도 동일한 결과가 생성된다.

5. 순위변화 해석

삼각퍼지수를 이용하여 지역환경 평가지표들의 합리적인 순위 결정을 시도한 결과, 단순 산술평균값에 의한 순위 체계와 삼각퍼지수의 순위가 다르게 나타났다. 이러한 지표들의 순위가 변화된 이유는 평가부문 X에서 지표 x_i 를 직접 평가할 때 항목 X 내에서 중요도를 주관적으로 측정하는데 있다. 이는 부문 X 내 다른 지표들과의 관계성을 고려하지 않고 독립적 개념으로 인식하여 점수를 부여하기 때문에 전문가들의 주관에 의존하는 경향이 상당히 높다고 할 수 있다. 그러나 요인분석에 의한 가중치 적용은 지표 x_1 에서 x_n 까지의 통계량을 상관성이 높은 것끼리 유형화를 시킴으로써 지표 간 상호 작용을 규명하는 과정이라고 할 수 있다. 즉, 지표 상호 간에 관련성이 많고 설명력이 높을수록 고유값도 높기

때문에 가중치 또한 타 지표군에 비해 높다. 이것은 평가지표 $x_1 \sim x_n$ 들이 평가부문 X의 순수한 측정지표로 사용되며 단일 차원의 개념이라는 가정 하에서 가중치를 추출하였기 때문에 이론적으로 타당하다(김태일, 1999).

또한 단순 산술평균값은 평가지표에 단일 점수가 부여된 평균값을 이용하기 때문에 불확실한 언어변수를 사용하는 설문 관련 연구에서는 객관적이지 못하다고 할 수 있다. 이는 매우 중요함이라는 것은 5점으로 측정되는 것에 비해 4점과 5점사이의 값들은 4.3점 혹은 4.8점 등으로 측정될 수 없어 언어변수를 객관적으로 표현할 수 없다. 이것을 삼각퍼지수로 적용한다면 (0.8, 1, 1)이라는 삼각형이 형성되고 도형을 표현하는 선형함수식 즉, 소속함수가 생성된다. 따라서 함수의 기울기 선상에 포함된 값들은 4.3점 혹은 4.8점으로 인식되어 보다 정확한 분석이 이루어질 수 있다고 할 수 있다. 기존 연구와 관련지어 살펴보면, 비오톱 가치평가(나정화 등, 2001), 농촌자원 중요도 평가(박창석 등, 2002), 자연환경 평가모형(정성관·유주한, 2003), 국책사업 평가항목 중요도(구자건·이무춘, 2004), 5점 척도의 간격이 작아 7점 척도를 사용한 도시공원 중요도 연구(심준영·김유일, 2006) 등 많은 연구들이 리커트 척도를 사용하여 중요도를 분석했으나 리커트척도는 연속적 자료로서 단일 평가에만 적용할 수밖에 없는 한계를 가지고 있기 때문에 삼각퍼지수는 불확실성과 단일성을 극복할 수 있어 객관적 의사결정을 할 수 있다(변우희·변성희, 2001).

평가지표들의 집합체인 평가부문을 단일 개념으로 인지하여 생태계라는 복합체를 평가한다는 것은 이론 상 모순이 될 수 있으며, 주관적 감정이나 지식에 의존하여 단순한 평균값으로 순위를 결정한다는 것은 복잡한 이해관계나 지표들의 상호 작용을 감안해야 하는 의사결정을 할 때 합리적이지 못한 결과를 도출할 수 있다. 따라서 단순 산술평균값을 이용한 순위결정보다는 주관성을 여과시킬 수 있는 퍼지 이론의 도입을 통해 정확한 순위를 결정하는 것이 범위, 규모 및 형상이 일정치 않은 생태계와 같은 지

역환경을 평가하는데 적합할 것으로 생각된다. 이러한 퍼지이론은 환경영향평가, 생태복원, 환경계획, 경관평가 등 인간, 생물 그리고 환경을 종합적으로 고려하는 학문에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 퍼지이론을 도입한 순위 결정을 통해 체계적이고 과학적인 생태계 보전방법을 제공함과 아울러 지속가능한 지역환경 보전을 위해 생태계의 평가를 정확하고 합리적으로 수행하기 위한 기초자료 제공 및 새로운 평가방법론 모색을 위해 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

생물적 부문에서의 순위 분석 결과, 단순 중요도에서는 희귀 및 멸종위기식물(BF19)이 1순위, 종다양성지수(BF11)가 2순위, 특정식물 군락지(BF20)는 3순위였고 변환값 A의 경우 우점도(BF15)가 1순위, 피도(BF2)는 2순위, 군도(BF14)는 3순위로 나타난 반면, 변환값 B에서는 우점도 1순위, 군도 2순위, 피도 3순위로 변화되었다. 변환값 A와 변환값 B의 순위 변화를 살펴보면 흉고직경(BF7), 수관폭(BF9), 최대종다양성지수(BF13), 우점도(BF15), 희귀 및 멸종위기식물(BF19), 특정식물 군락지(BF20)를 제외한 지표들의 순위가 변화되었음을 감지할 수 있었다.

무생물적 부문의 순위 분석 결과, 단순 중요도에서는 유기물층(AF6)이 1순위, 지형(AF10)이 2순위, 토양산도(AF3)가 3순위였으며, 변환값 A와 B에서는 토양산도(AF3)가 1순위, 총 질소량(AF1)이 2순위, 토성(AF5)이 3순위로 동일하게 나타났다. 또한 변환값 A와 B에서의 순위 변동을 살펴보면, 생물적 부문과 달리 지표들의 순위 변동은 감지되지 않았다.

질적 부문의 순위 비교에 있어서는 단순 중요도의 경우 경관의 다양성(QF16)이 1순위, 천이단계(QF15)가 2순위, 연결성(QF12)이 3순위로 기록되었으나 가중치를 적용할 때는 각각 8순위, 9순위, 12순위로 하락하였음을 확인할 수 있었다. 단순 중요도에서는 6순위, 8순위, 9순위를 보인 환경피해

도(QF2), 헤메로비등급(QF1) 및 토지이용형태(QF4)가 변환값에서는 1순위, 2순위, 3순위로 상승하였다. 변환값 A와 B에서의 순위 변동은 현존식생(QF5), 임령(QF6) 및 복원력(QF14)을 제외하고 경관 파편화(QF9) 등 다른 지표들의 순위는 변하지 않았다.

기능적 부문의 순위 분석에 있어서는 단순 중요도의 경우 생태계 보전(FF6), 생물종다양성 유지(FF7) 및 서식처 제공(FF8)이 각각 1순위, 2순위, 3순위로 나타났으며, 변환값 A와 B에서는 수자원 보호(FF9), 휴양과 휴식제공(FF10) 및 토양침식방지(FF4)가 각각 1순위, 2순위, 3순위로 확인되었다. 단순 중요도에서 생태계 보전 등을 가중치 적용 순위와 비교해보면, 생태계 보전, 생물종다양성 유지 및 서식처 제공은 변환값 A에서 8순위, 9순위, 10순위였고 변환값 B에서는 6순위, 7순위, 8순위로 다시 상승하였다.

대체적으로 삼각퍼지수 적용에 있어서는 산술평균을 이용한 순위와의 변화가 있음을 확인할 수 있었다. 삼각퍼지수에서 순위가 변화된 이유는 가중치의 적용과 무계중심값에 의한 것으로 가중치 적용은 이들 지표가 하나의 부문에 대해 어떠한 영향력과 작용을 하는지에 대한 수리적 표현이라고 할 수 있다. 즉, 지역환경을 평가하는데 있어 각 부문에 대해 중요한 영향력을 미치는 지표들이 높은 가중치를 부여받았기 때문이다.

그리고 무계중심값에 있어서 리커트 척도의 개별 점수는 하나의 숫자로 형성되어 있어 그 내면적 속성을 표현하는데 한계가 있다. 그러나 삼각퍼지수는 리커트 척도를 세 개의 숫자로 분해하여 삼각형을 형성한 후 삼각형의 무계중심값을 산출하기 때문에 인간의 사고나 감정을 효율적으로 대처할 수 있는 새로운 방법론이라고 할 수 있다. 단순 산술평균에서의 순위와 삼각퍼지수로 변환했을 때 순위가 변동되는 것은 인간의 사고를 단순한 수리적 조합이 아닌 삼각형이라는 수학적 표현으로 해석했기 때문으로 사료된다. 따라서 삼각퍼지수를 차후 평가지표와 같은 미세한 부문의 순위 결정에 활용하는 것이 합

리적이라 판단된다.

이러한 삼각퍼지수는 생태계 평가지표 뿐만 아니라 환경계획 지표 순위, 토지적성평가 지표 등에 활용이 기대되며, GIS와 연계하여 불분명한 환경특성을 해석하는데 필수적인 방법론이 될 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 환경영향평가를 위한 의사결정에 있어서 보다 과학적인 결론을 도출할 수 있을 것이며, 환경만족도 등을 삼각퍼지수의 도형적 특성을 활용하여 사전 만족도와 사후 만족도로 구분함으로써 삼각형의 교차점, 면적 등을 통해 수리적으로 해석할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 구자건, 이무춘, 2004, 국책사업 예비타당성조사 평가항목별 중요도 분석 -담 개발사업을 중심으로-, 환경영향평가, 13(6), 307-314.
- 김상규, 류지협, 윤수호, 2000, 퍼지집합을 이용한 사면의 위험도 평가, 대한토목학회논문집, 20(3-C), 179-193.
- 김창학, 강인석, 박서영, 2002, 대형건설공사 위험인자의 중요도 판정을 위한 퍼지 평가모형 적용성 연구, 대한토목학회논문집, 22(5-D), 923-933.
- 김태일, 1999, 수리적 기법에 의한 평가모형체계의 가중치 부여방식에 관한 논의, 한국행정학보, 33(4), 243-258.
- 나정화, 류연수, 사공정희, 2001, 평가지표에 의한 도시 비오톱의 가치평가 -생물종과 서식처 보전을 중심으로-, 한국조경학회지, 29(1), 100-112.
- 노정철, 2005, 인바운드 활성화를 위한 문화관광정보시스템 가치평가: 퍼지수 적용, 관광연구, 19(1), 55-73.
- 박창석, 전영옥, 조영구, 2002, 농촌어메니티에 기초한 농촌자원 중요도 평가 및 순위적 관계 분석, 국토계획, 37(6), 21-55.
- 변우희, 변성희, 2001, 삼각퍼지수를 적용한 관광자원 가치성 평가, 관광학연구, 25(3), 27-42.
- 심준영, 김유일, 2006, 도시 자연공원의 중요도 평가, 한국조경학회지, 33(6), 12-21.
- 유주한, 정성관, 박경훈, 오정학, 2005a, 퍼지이론을 이용한 자연자원 보전지역의 평가지표 순위 결정 -내셔널 트러스트 후보지 선정을 중심으로-, 한국조경학회지, 33(4), 97-107.
- 유주한, 박경훈, 정성관, 2005b, 환경친화적 국토보전을 위한 자연생태계 평가요인 및 평가지표의 중요도에 관한 연구, 환경영향평가, 14(4), 165-177.
- 이석훈, 윤덕균, 2004, 삼각퍼지수와 어의척도를 이용한 서비스품질측정, 품질경영학회지, 32(3), 182-197.
- 이용운, 황운애, 이성우, 이병희, 최정욱, 2000, 퍼지 의사결정법에 의한 주암호 수질관리 전략 평가, 대한환경공학학회지, 22(4), 699-712.
- 이용운, 권병택, 2006, 퍼지이론을 이용한 호소의 부영양화 등급 판정방법 개발, 환경영향평가, 15(1), 35-43.
- 정성관, 유주한, 2003, 자연환경 보전을 위한 통합 평가모형 -내셔널 트러스트 후보지 선정을 중심으로-, 환경영향평가, 12(2), 87-98.
- 최태영, 박종화, 2004, 설악산국립공원내 산양 (*Nemorhaedus Caudatus raddeanus*)의 잠재 서식지 적합성 모형: 다기준평가기법 (MCE)과 퍼지집합(Fuzzy set)의 도입을 통하여, 한국조경학회지, 32(4), 28-38.
- Enea, M. and G. Salemi, 2001, Fuzzy approach to the environmental impact evaluation, Ecological Modelling, 135, 131-147.
- Foody, G. M., 1996, Fuzzy modelling of vegetation from remotely sensed imagery, Ecological Modelling, 85, 3-12.
- Klijn, K., A. Helias, and U. Haes., 1994, A hierarchical approach to ecosystem and its implications for ecological land classification, Landscape Ecology, 9(2),

- 89-104.
- Liu, M. and A. Samal, 2002, A fuzzy clustering approach to delineate agroecozones, *Ecological Modelling*, 149, 215-228.
- Malone, C. R., 2000, Ecosystem management policies in state government of the USA, *Landscape and Urban Planning*, 48, 57-64.
- Steinhardt, U., 1998, Applying the fuzzy set theory for medium and small scale landscape assessment, *Landscape and Urban Planning*, 41, 203-208.
- Svoray, T., S. B-Y. Gancharski, Z. Henkin, and M. Gutman, 2004, Assessment of herbaceous plant habitats in water-constrained environments: predicting indirect effects with fuzzy logic, *Ecological Modelling*, 180, 537-556.
- Wang, W-X., Y-M. Li, Z-Z. Li, and F. Yang, 2003, A fuzzy description on some ecological concept. *Ecological Modelling*, 169, 361-366.
- Zadeh, L. A., 1973, Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, *IEEE Trans, Systems, Mans, and Cybernetics*, 3(1), 28-44.

최종원고채택 06. 11. 20