

퍼지적분을 도입한 생태환경평가부문의 순위결정

유주한* · 정성관** · 최원영*** · 이우성***

*창원대학교 산업기술연구원 · **경북대학교 조경학과 · ***경북대학교 대학원 조경학과

Rank Decision of Ecological Environment Assessment Field Introducing Fuzzy Integral

You, Ju-Han* · Jung, Sung-Gwan** · Choi, Won-Young*** · Lee, Woo-Sung***

*Institute of Industrial Technology, Changwon National University

**Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

***Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of Kyungpook National University

ABSTRACT

This study was carried out to provide guidance to environmental policy makers when deciding which assessment fields (biotic, abiotic, qualitative, functional) should have priority for ecological preservation and to develop an objective and scientific methodology by introducing the engineering concept of the fuzzy integral. The grant of weights was used the eigenvalues calculated by factor analysis, and the converted values of indicators were obtained in multiplying the arithmetic values and eigenvalues.

The results of the appropriateness and reliability of assessment fields were examined over 0.6, and the results showed that the design of questionnaire presented no great problems. When the fuzzy integral was calculated to determine the rankings at $\lambda = 1, 2, 3, 4, 5$, respectively, they were 0.646, 0.630, 0.943, 1.423, and 1.167 for the biotic field, 1.298, 1.400, 0.901, 0.580, and 1.456 for the abiotic field, 0.714, 0.674, 0.346, 0.674, and 1.610 in the qualitative field and 1.000, 0.973, 0.943, 1.024, and 1.008 in the functional field. The sensitivity to λ value showed that $\lambda = 4$ was the most suitable. In comparison with $\lambda = 0$ (the arithmetic mean), the range of change was narrow. Because the range for $\lambda = 4$ was narrower than any other values, $\lambda = 4$ was sure to be available in ranking-decision. The fuzzy integral is expected to be a method for analyzing and filtering human thoughts. In the future, in order to overcome linguistic uncertainty and subjectivity, other fuzzy integral models including Sugeno's method, AHP, and so forth should be used.

Key Words: Choquet's Integral, Weight, Fuzzy Measure, Equation of Higher Degree

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 세계는 지속 가능한 개발이란 새로운 패러다임 하에서 생태계 및 환경보전 정책을 결정하거나 수행하고 있다. 지속 가능한 개발이란 브룬트란트(Brundtland) 보고서에서 유래된 것으로써 현 세대가 미래세대의 능력을 손상시키지 않는 범위 내에서 현재 수요를 만족시켜 개발하는 것이며, 자연과 경관자원의 기능을 미래세대를 위해 보전하는 것을 의미한다.

그러나 지속 가능한 개발은 하나의 이론적 개념으로만 인식된 채 지구는 각종 환경오염과 난개발로 심각한 위기에 처해 있는 것이 극명한 사실이다. 우리나라는 1960년대 경제개발정책, 국토종합계획과 더불어 사회간접자본 확충 등으로 현재 삶의 질 향상과 경제적 풍요로움을 누리고 있으나, 생물종의 소멸, 서식처의 변형이나 파괴 등과 같이 생태환경은 최대의 위기를 맞고 있으며, 20년 이내로 모든 종의 25%가 소멸됨으로 인해 생물종 다양성 손실 규모는 예측하기가 불가능할 정도이다. 최근 고속철도, 간척사업 등의 대규모 국책사업이 환경보전이라는 문제에 봉착하여 사회구성원간 갈등을 유발시킨 것도 궁극적인 원인은 지속 가능한 개발에 대한 것이다. 따라서 영속적이고 지속 가능한 생태환경 보전을 위해서는 이를 객관적으로 평가할 수 있는 지표 개발이나 순위결정법에 대한 논의가 필요한 시점이라고 할 수 있다. 이와 관련된 연구를 살펴보면, 환경지속성 지표(박원규와 안건용, 1998), 환경평가 지표가중치(이관규와 양병이, 2001), 농촌자원 중요도(박창석 등, 2002), 환경친화 계획요소(류지원 등, 2003), 환경지표 중요도(조덕호 등, 2004), 녹지잠재권역 설정(사공정희와 나정화, 2005) 등이 수행되어 왔으나 대부분이 기존 통계방법이나 단순 합산의 사용으로 인해 언어적 불확실성을 극복하지 못한 채 결론에 도달하여 분석의 한계성이 내재하고 있다. 이러한 언어적 불확실성을 극복할 수 있는 방법 중 하나가 퍼지 이론이라고 할 수 있다. 퍼지 이론은 불확실한 인간의 판단이나 주관적인 사고과정을 정량화시킬 수 있는 방법으로 '예' 또는 '아니오', '0' 또는 '1'과 같은 양자 선택이 아닌 0과 1사이에

무한한 값으로 인간의 사고를 표현하는 것을 말한다. 즉, 물체가 '크다' 또는 '작다'가 아닌 '약간 크다'를 수량화함으로써 정밀한 평가를 도모하는 공학적 이론이라고 할 수 있다. 퍼지 이론은 삼각퍼지수, 퍼지적분, 퍼지논리, 퍼지추론, 퍼지회귀분석 등 다양한 방법이 있고 그 중 퍼지적분은 인간의 사고를 수리적으로 해석할 수 있고 종합적 순위결정에 이용된다. 이러한 퍼지적분은 도시철도 노선대안(원제무와 손기복, 1996), 관능 평가시스템(이진춘, 1999), 국토 순위결정(이철규 등, 2002) 등에서 이용되고 있어 생태환경 보전 분야의 도입이 필요한 시점이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 지속 가능하고 환경 친화적으로 생태환경이 보전될 수 있도록 평가 부문의 우선순위결정을 통해 환경 정책의 수립과 입안 시 기본 방향을 제시하고자 한다. 아울러 공학적 개념인 퍼지적분을 도입함으로써 언어적 불확실성을 극복하여 보다 과학적이고 객관적인 생태환경평가방법론 제공에 그 목적이 있다.

2. 연구 방법

1) 평가 지표 선정

경관생태학, 조경학 등 생태계와 관련된 국내외 문헌을 중심으로 지표를 추출하였으며, 1차 및 2차 예비조사를 통해 4개 평가 부문과 56개 평가 지표를 선정하였다(Table 1).

생물적 부문에 있어서 식생구조 평가의 경우 밀도(BF1), 피도(BF2), 빈도(BF3), 상대우점치(BF4), 흉고직경(BF7), 수고(BF8), 수관폭(BF9), 층위구조(BF10), 군도(BF14), 우점도(BF15)가 이용된다는 것에서 착안하였으며(Bebi *et al.*, 2001; 박인협과 최윤호, 2003; van Andel, 2003; 한봉호 등, 2004), 식물다양성 평가에 있어서는 개체수(BF5), 종수(BF6), 종다양성지수(BF11), 종풍부도(BF12), 최대종다양성지수(BF-13)를 채택하였다(나정화, 1999; Martin and Cornelis, 2000; 유주한과 정성관, 2002; Waldhart *et al.*, 2004). 또한 식물자원 평가의 경우 관속식물(BF16), 특산식물(BF17), 귀화식물(BF18), 희귀 및 멸종위기식물(BF19), 특정식물 군락지(BF20)를 선택하였다(Miller *et al.*, 1997; Kapfer and Franklin, 2000; Grevilliot and Muller,

Table 1. The selection of assessment indicators

Fields	Criteria	Indicators
Biotic	Structure	Density(BF1), Coverage(BF2), Frequency(BF3), Importance value(BF4), DBH(BF7), Plant height (BF8), Plant width(BF9), Stratum layer(BF10), Sociality(BF14), Dominance(BF15)
	Diversity	No. of individuals(BF5), No. of species(BF6), Species diversity index(BF11), Species abundance(BF12), Max. diversity index(BF13)
	Resource	Vascular plant(BF16), Endemic plant(BF17), Naturalized plant(BF18), Rare and endangered plant (BF19), Community of specific plant(BF20)
Abiotic	Soil components	T-N(AF1), T-P(AF2), Soil pH(AF3), Soil hardness(AF4), Soil property(AF5), Organic matter(AF6)
	Physical condition	Slope angle(AF7), Altitude(AF8), Aspect(AF9), Topography(AF10)
Qualitative	Disturbance	Hemeroby degree(QF1), Impact rating class(QF2), Degree of green naturality(QF3), Land use pattern (QF4), Naturalized index(QF10), Urbanized index(QF11)
	Stability and state	Actual vegetation(QF5), Stand age(QF6), Forest size(QF7), Vegetation covering(QF8), Landscape fragmentation(QF9), Connectivity(QF12), Vegetation type(QF13), Restoration(QF14), Succession(QF15), Landscape diversity(QF16)
Functional	Control	Protection of landslide(FF3), Protection of soil erosion(FF4), Protection against wind(FF5), Conser- vation of ecosystem(FF6), Maintenance of biodiversity(FF7), Offer of habitat(FF8)
	Acceptance	Offer of recreation(FF10)
	Productivity	Goods production(FF1), Improvement of air quality(FF2), Protection of water resource(FF9)

2002; 유주한 등, 2003). 밀도, 빈도, 피도는 식물종이 분포하는 형태를 표현하는 것으로써 상대우점치 산출의 기초자료가 되며, 상대우점치는 생태적 지위나 우점종 규명에 필요하다. 우점도와 군도는 식물종의 피복 형태나 면적 등을 토대로 등급화한 단위이며, 식물군집 해석에 이용된다. 개체수와 종수는 종다양성지수나 종풍부도 등을 산출할 수 있는 근거가 되며, 이러한 지표들은 환경교란에 따른 변화 예측에 필요한 것이라 할 수 있다. 식물자원 정보는 지역 내 식물종의 수적 및 양적 해석을 할 수 있어 생태계 평가의 기본이 된다고 할 수 있어 채택하였다.

무생물적 부분의 경우, 토양구성요소 분석을 위한 총 질소량(AF1), 총 인량(AF2), 토양산도(AF3), 토양경도(AF4), 토성(AF5), 유기물층(AF6) 및 물리적 환경파악을 위한 경사각(AF7), 해발(AF8), 방위(AF9), 지형(AF10) 등이 필요하다고 판단되어 선정하였다(이호준 등, 1998; Kessler, 2001; Johnston and Crossley Jr, 2002; 안영희 등, 2003). 총 질소량과 총 인량은 식물과 식생의 성장과 변화에 영향을 미치며, 유기물함량과 연관성이 있고 교란되지 않은 토양에서 이러한 성분

들이 높기 때문에 토양환경과 식생간의 관계성을 규명하는데 필요하다. 토양산도는 산성화 진행 정도에 따른 환경변화 등을 감지할 수 있으며, 토양경도는 인간간섭에 의한 고결화로 인해 발생하는 환경피해를 파악할 수 있어 선정하였다. 경사각, 해발, 방위, 지형은 식생 및 식물종 분포 예측에 필요하며, 특히 생태계 변화 예측의 경우, 해발이나 지형에 의해 식생 형태나 종조성이 변화될 수 있기 때문에 이를 선정하였다.

질적 부문에 있어서는 자연성 유지 및 간섭 정도 파악을 위해 헤메로비 등급(QF1), 환경 피해도(QF2), 녹지 자연도(QF3), 토지 이용 형태(QF4), 귀화율(QF10), 자연 파괴도(QF11)를 선정하였고(이유미 등, 2002; Gauthier and Wiken, 2003; Sukopp, 2004), 상태 및 안정성 분석을 위해 현존 식생(QF5), 임령(QF6), 면적(QF7), 식생 피복율(QF8), 경관 파편화(QF9), 연결성(QF12), 식생형태(QF13), 복원력(QF14), 천이단계(QF15), 경관의 다양성(QF16)을 선택하였다(Noss, 1990; Livingston et al., 2003; 이동근 등, 2005). 헤메로비등급과 환경피해도는 인간 간섭에 따른 자연성 훼손 여부를 판단할 수 있으며, 귀화율과 자연파괴도는 생태계 내로 침

입하는 귀화식물을 바탕으로 질적 변화를 예측할 수 있다. 녹지자연도는 토지이용을 바탕으로 생태계를 해석할 수 있다고 생각되어 선정하였다. 연결성은 경관형태를 결정지을 수 있고 경관 파편화는 생태적 변화과정을 규명할 수 있다. 또한 복원력은 생태계의 균형을 유지할 수 있으며, 훼손된 생태계는 천이단계에 의해 회복되기 때문에 질적 변화를 이해할 수 있어 선택하였다.

기능적 부문의 경우, 조절 기능은 산사태 방지(FF3), 토양침식 방지(FF4), 방풍 효과(FF5), 생태계 보전(FF 6), 생물종 다양성 유지(FF7) 및 서식처 제공(FF8)이고, 수용기능은 휴양과 휴식 제공(FF10), 생산기능은 재화생산(FF1), 대기질 향상(FF2) 및 수자원 보호(FF9)를 선정하였다(Cole and Cordray, 1991; Sidle, 1992; Nowak, 1993; Skole and Tucker, 1993). 식생이 풍부한 지역은 산사태 및 토양 침식을 방지할 수 있는 기능이 있으며, 수자원을 보전하고 휴양기능을 제공할 수 있다. 그리고 생태계는 각종 동식물의 서식처 역할을 할 뿐만 아니라 생물종 다양성 유지 역할도 한다고 사료되어 선정되었다.

2) 전문가 설문 조사

1차 예비 설문은 2003년 10월 산림 관련 연구기관의 연구직 10명을 대상으로 직접 면담조사를 실시하였으며, 2차 예비 설문은 2004년 9월 조경학과 및 산림 관련 학과 교수, 연구직 및 대학원생 등 30명을 대상으로 우편 및 전자우편(E-mail)을 이용하여 조사하였다. 1차 설문의 회수율은 100%였고 2차 설문의 회수율은 83.3%로 나타났다. 그러나 수집된 모든 지표를 생태계 평가에 사용한다는 것은 객관성을 저하시킬 뿐만 아니라 중복된 지표 사용으로 인해 경제적 손실이 있다고 판단되어 설문 조사에서 획득된 점수 중 평균 3점 이상 즉, 보통 이상의 중요도를 갖는 지표만을 대상으로 전문가 설문 조사를 실시하였다. 전문가 집단의 선정은 조경학, 임학, 생태학 등을 전공한 교육직 및 연구직 75명을 대상으로 전자우편설문을 실시하였고 설문기간은 2004년 12월부터 2005년 1월까지로 하였다. 회송된 49부 중 결측치가 있거나 응답이 불성실한 11부를 제외한 38부를 이용하였고, 회수율은 약 50.7%를 나타내었다. 설문 내용의 점수는 리커트 5점 척도를 사용하였다. 설문

지는 생물·무생물·질·기능적 부문 등 4개 평가 부문과 그에 따른 세부 항목은 생물적 부문 20개, 무생물적 부문 10개, 질적 부문 16개, 기능적 부문 10개 등 총 56개 항목으로 구성하였다.

전문가 집단의 속성을 살펴보면, 성별의 경우, 남자 33명(86.8%), 여자 5명(13.2%), 전공별로는 조경학 12명(31.6%), 임학 및 산림학 13명(34.2%), 생태학 9명(23.7%), 원예학 및 식물학 4명(10.2%)로 조사되었고, 직업별로는 교육직 21명(55.3%), 연구직 17명(44.7%)이었다.

3) 자료 분석

평가 부문의 순위결정은 퍼지적분값을 통해 산출하였으며, 과정은 Figure 1과 같다. 각 지표들의 산술평균 값 즉, 중요도를 구하기 위해 리커트 5점 척도를 활용하였으며, 가중치는 요인 분석의 고유치를 이용하였다. 최종 변환값 산정은 요인별 고유치와 지표의 산술평균 값을 곱하여 획득하였다. 대체로 가중치는 AHP(analytic hierarchy process)를 통해 구할 수 있으나 수리적 방법 즉, 회귀계수, 고유치를 통해 가중치를 부여한 연구가 있다(김태일, 1999; 이관규와 양병이, 2001). AHP는 의사 결정의 계층 구조를 구성하고 있는 요소 간의 쌍대비교에 의한 판단을 이용하나 주관적 감정이 개입되어 언어변수를 정확하게 측정할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서 이용된 가중치는 AHP가 아닌 수리적 방법인 요인 분석을 이용하였다. 퍼지 측도값($g_{\lambda}(A)$)은 각 지표들의 변환값을 크기 순으로 나열하여 단조집합열로 만든 후 c 에 대한 고차방정식을 이용하여 퍼지 측도값을 산출하였다. 여기서 c 는 $g_{\lambda}(A)=1$ 이 되도록 하는 임의의 상수를 의미한다. 퍼지적분값은 퍼지 측도값과 지표 간 변환값 차이를 곱한 후 각 집합에서 생성된 값들을 합산하여 도출하였다. 또한 최적 순위결정을 위한 민감도 분석에 있어서는 λ 값을 1~5까지 고정한 후 c 값을 산출하여 최종 순위를 비교·검토하였다. λ 값 범위에 있어서 $\lambda > 5$ 일 경우, 고차방정식의 수치가 증가하여 소수점 등에 의해 가감되는 수치량이 증가하기 때문에 산출 결과의 오류 발생 가능성이 있으며, 순위가 계속 변화하기 때문에 합리적인 순위결정이 불가능하다고 판단되어 $\lambda \leq 5$ 로 제한하였다.

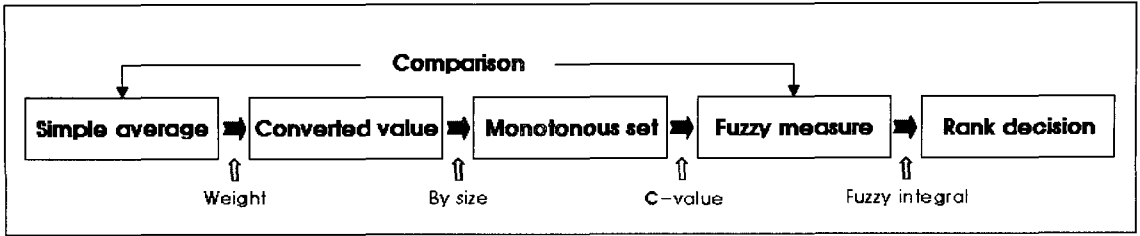


Figure 1. The process of rank decision

설문지 설계 검증 및 요인 분석의 고유치는 SPSS Ver. 10.0(SPSS Inc., 2000)을 이용하였고, 퍼지 측도값과 적분값은 MATLAB 6.5(The MathWorks Inc., 2002)를 활용하였다.

II. 방법론적 고찰

1. 퍼지 측도

퍼지 측도(fuzzy measure)는 불확실한 대상을 정량화하는 척도로써 전체집합 X의 임의의 부분 집합 A, B를 구간 [0, 1]의 실수치에 대응시키는 집합함수 g가 Table 2의 조건을 만족하면 g를 퍼지 측도라고 정의한다. 그러나 퍼지 측도는 가법성이 성립되지 않기 때문에 각 원소의 측도를 알아도 부분 집합에 대한 측도는 확인할 수 없다. 또한 Table 2에서 제시된 $g(\emptyset)=0$, $g(X)=1$ 을 제외한 2^n-2 개 즉, 멱집합을 통해 알아야 하는 단점이 있기 때문에 이를 해결하기 위해 λ -퍼지 측도가 고안되었다.

정의는 식 1과 같고 매개변수 λ 를 도입한 형태를 가지고 있으며, $\lambda > 0$ 이면, $g_\lambda(A \cup B) > g_\lambda(A) + g_\lambda(B)$ 하므로 우가법적이고 $\lambda = 0$ 이면, $g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B)$ 는 가법적이다. 또한 $\lambda < 0$ 이면, $g_\lambda(A \cup B) < g_\lambda(A) + g_\lambda(B)$ 하므로 열가법적이 된다.

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A) g_\lambda(B) \quad (\text{식 1})$$

따라서 서로 소인 집합열 A_1, A_2, \dots, A_n 에 대한 λ -퍼지 측도는 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$g_\lambda\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \frac{1}{\lambda} \left[\prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_\lambda(A_i)) - 1 \right] \quad (\text{식 2})$$

$$(A_i \cap A_j = \emptyset)$$

λ 를 특정값으로 고정시키고 집합 A의 부분 집합 $g_\lambda(A_i)$ 의 퍼지 측도 값을 $cg_\lambda^{(i)}$ 라고 하면 전체 부분 집합에 대한 퍼지 측도는 식 2로부터 식 3을 유도할 수 있으며, c에 대한 고차방정식으로 계산하면 모든 부분 집합에 해당하는 퍼지 측도값을 구할 수 있다.

$$g_\lambda(\emptyset) = 0$$

$$g_\lambda(A_1) = cg_\lambda^{(1)}$$

$$g_\lambda(A_{12}) = \frac{1}{\lambda} [(1 + \lambda g_\lambda(A_1))(1 + \lambda g_\lambda(A_2)) - 1]$$

$$= \frac{1}{\lambda} [(1 + \lambda g_\lambda^{(1)})(1 + \lambda g_\lambda^{(2)}) - 1]$$

$$g_\lambda(A_{123}) = \frac{1}{\lambda} [(1 + \lambda g_\lambda(A_{12}))(1 + \lambda g_\lambda(A_3)) - 1]$$

$$\vdots$$

$$g_\lambda(A) = 1 \quad (\text{식 3})$$

여기서 c값을 구하기 위해서 λ 값을 임의로 고정시켜야 하는데(Bandemer and Gottwald, 1995) 매개변수

Table 2. The conditions and characteristics of fuzzy measure

Types	Contents	Characteristics
Condition I	$g(\emptyset) = 0, g(X) = 1$	Boundary condition
Condition II	If $A \subset B$, then $g(A) \leq g(B)$	Monotonicity
Condition III	If $A_1 \subset A_2 \dots$ or $A_1 \supset A_2 \dots$, then $\lim_{n \rightarrow \infty} g(A_n) = g(\lim_{n \rightarrow \infty} A_n)$	Continuity

λ 의 범위는 $-1 < \lambda < \infty$ 에 있으며, λ 는 퍼지 측도를 구할 수 있는 상수의 개념이라고 할 수 있다. 음(-)의 λ 는 대담하거나 모험적인 평가에 사용되고 양(+) λ 는 신중하고 보수적인 평가에 이용된다. 본 연구에서는 주관적 평가에 의한 의사 결정문제인 동시에 신중한 평가 성격이 있기 때문에 양의 λ 를 사용하였고 계산의 편의상 1로 고정시켰다(이철규 등, 2002). 이러한 퍼지 측도는 평가 지표 상호 간에 내재하는 관련성의 측정이 가능하도록 해주는 매개체로써 생태환경 평가 지표들 간의 연결고리 역할을 하며, 지표간의 연결성을 객관적인 수치화를 통해 정량적 평가를 지원해준다.

2. 퍼지적분

퍼지적분(fuzzy integral)은 몇 가지 속성을 가진 평가대상을 퍼지 측도를 통해 종합적으로 평가하기 위한 방법으로써 평가대상에 대한 종합치를 산출하는 방법이다. 그리고 각 평가대상의 가중치와 이의 조합을 퍼지 측도로 산출하고 이를 적분에 의해 종합평가하는 방법이다. 또한 주관적인 판단이 개입되는 평가문제에 유용하게 사용되어진다. 퍼지 측도는 가법적 측도가 아니고 가측함수(measurable function)에 관한 것이기 때문에 기존의 르베그 적분(Lebesgue's integral)을 그대로 적용시킬 수 없는 특징이 있다(권순학, 1996).

퍼지적분은 스게노 적분(Sugeno's integral), 쇼케 적분(Choquet's integral), t -seminorm, t -semiconorm 등이 있는데, 본 연구에서는 평가치의 합산을 통해 산출되는 쇼케 적분을 사용하였다. 퍼지 측도를 $g_\lambda(H_n)$ 로 표현하고 함수 h 에 대해 $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n)$ 로 가정하면 쇼케 적분은 식 4, Figure 2와 같이 정의된다.

$$(C) \int h dg = h(x_n) \cdot g(H_n) + [h(x_{n-1}) - h(x_n)] \cdot g(H_{n-1}) + \dots + [h(x_1) - h(x_2)] \cdot g(H_1) \quad (\text{식 4})$$

즉, 퍼지적분은 평가 지표의 단독개념을 적용하여 단순 총합 또는 주관적인 판단에 의존하는 기존 방법이 아닌 평가 지표들의 상호작용을 규명하여 시스템화 한 공학적 순위결정론이라 할 수 있다. 이는 생태환경이 종합적 유기체라는 점을 감안해볼 때 단독 지표만을 통해 해석 및 평가하기에는 논리적인 모순이 발생할 수

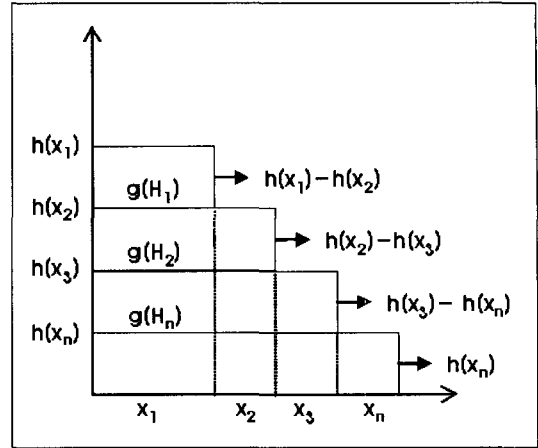


Figure 2. Concept of Choquet's integral

있으므로 평가 지표간의 연결성을 바탕으로 종합적인 평가를 도출할 수 있는 방법이라고 사료된다.

III. 결과 및 고찰

1. 설문지 설계 검증

설문지 설계에 대한 신뢰성과 타당성을 분석한 결과, Cronbach α 계수가 생물적 부문 0.8044, 무생물적 부문 0.7640, 질적 부문 0.7697, 기능적 부문이 0.7352로 나타나 사회과학의 일반 기준인 0.6 이상이기 때문에 문제가 없었다. 또한 평가 부문에 대한 이해도와 인식의 차이와 같은 타당성을 Wilks의 램다값과 Roy의 최대근을 통해 확인해 본 결과, Wilks의 램다값의 경우, 생물적 부문 $p=0.355$, 무생물적 부문 $p=0.197$, 질적 부문 $p=0.146$, 기능적 부문 $p=0.981$ 로 나타났고, Roy의 최대근은 생물적 부문 $p=0.205$, 무생물적 부문 $p=0.054$, 질적 부문 $p=0.068$, 기능적 부문 $p=0.807$ 로 조사되었다. 이는 유의확률 0.05보다 크기 때문에 직업별 및 분야별로 설문지 이해의 차이가 없어 설문지 설계는 타당한 것으로 판단된다.

2. 퍼지적분값 산출

Table 3은 $\lambda=1 \sim 5$ 일 때 생물적 부문에 대한 퍼지

Table 3. Fuzzy integral of biotic field

Indicator*	Weight	Converted value	Gap	Fuzzy measure					Fuzzy integral				
				$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$	$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$
BF15	7.564	1.001	0.015	0.071	0.059	0.103	0.045	0.069	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
BF2	7.564	0.986	0.016	0.146	0.124	0.212	0.097	0.161	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003
BF14	7.564	0.970	0.062	0.225	0.196	0.338	0.158	0.281	0.014	0.012	0.021	0.010	0.017
BF9	7.564	0.908	0.030	0.304	0.270	0.474	0.225	0.432	0.009	0.008	0.014	0.007	0.013
BF3	7.564	0.878	0.008	0.385	0.350	0.539	0.300	0.623	0.003	0.003	0.004	0.002	0.005
BF7	7.564	0.870	0.000	0.471	0.437	0.793	1.424	0.870	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BF8	7.564	0.870	0.453	0.562	0.533	0.986	1.702	1.159	0.255	0.241	0.477	0.771	0.525
BF11	2.440	0.417	0.012	0.608	0.584	1.041	1.876	1.323	0.007	0.007	0.012	0.023	0.016
BF12	2.440	0.405	0.045	0.654	0.636	1.089	1.922	1.507	0.029	0.029	0.049	0.086	0.068
BF4	2.440	0.360	0.005	0.696	0.686	1.132	2.049	1.260	0.003	0.003	0.006	0.010	0.006
BF13	2.440	0.355	0.071	0.739	0.733	1.175	2.388	1.416	0.052	0.052	0.083	0.170	0.101
BF10	1.757	0.284	0.001	0.774	0.775	1.176	2.503	1.558	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002
BF19	1.501	0.283	0.000	0.808	0.819	1.188	2.623	2.067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BF6	1.757	0.283	0.065	0.846	0.870	1.198	1.677	2.242	0.055	0.057	0.078	0.109	0.146
BF1	1.757	0.218	0.010	0.875	0.893	1.090	1.749	2.406	0.009	0.009	0.011	0.017	0.024
BF5	1.501	0.208	0.007	0.903	0.916	1.061	1.822	1.484	0.006	0.006	0.007	0.013	0.010
BF20	1.183	0.201	0.010	0.930	0.935	1.060	0.950	1.587	0.009	0.009	0.011	0.010	0.016
BF17	1.183	0.191	0.034	0.956	0.955	1.057	0.980	1.692	0.033	0.032	0.036	0.003	0.058
BF16	1.183	0.157	0.002	0.978	0.973	1.014	1.008	0.969	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
BF18	1.183	0.155	0.155	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155
Sum of (converted value gap × fuzzy measure)									0.646	0.630	0.943	1.423	1.167

*: 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

적분을 나타낸 것으로써 지표들의 변환값이 가장 높은 우점도(BF15)에서부터 가장 낮은 귀화식물(BF18)까지 나열하였으며, 각 지표들을 누적 형태로 집합열을 생성하였다. 이러한 변환값 산출에 있어서 우점도의 경우 가중치 7.564, 산술평균값 3.421을 곱하면 25.877이 얻어지며, 나머지 지표들도 동일한 방법으로 변환값을 산정한 후 표준화시켜 계산에 이용하였다.

퍼지 측도값을 구하기 위해서는 c 값을 산출해야 하는데, c 값을 구하는 과정은 누적 집합열의 형태별 곱차 방정식에 의해 구할 수 있으며, $\lambda=1$ 일 경우 $g_{\lambda}(BF15)=1.001c$, $g_{\lambda}(BF15, BF2)=0.987c^2+1.987c$, ..., $g_{\lambda}(BF15, BF2, BF14, BF9, BF3, BF7, BF8, BF11, BF12,$

$BF4, BF13, BF10, BF19, BF6, BF1, BF5, BF20, BF17, BF16, BF18)=0.004c^{16}+0.041c^{15}+0.282c^{14}+1.531c^{13}+6.584c^{12}+22.731c^{11}+63.287c^{10}+142.258c^9+257.610c^8+373.674c^7+429.876c^6+386.165c^5+264.575c^4+133.283c^3+46.464c^2+10.000c$ 의 16차 방정식이 도출된다. 여기서 c 에 대한 16차 방정식의 값을 1로 두고 인수분해하면 c 값은 0.071의 실수값과 복소수의 형태를 가진 값이 산출되나 적분을 위해서는 실수값이 요구되기 때문에 0.071을 수용하였다. 따라서, $c=0.071$ 을 각 집합열 방정식에 대입하면 각각의 퍼지 측도값이 산출되며, $g_{\lambda}(BF15)=1.001 \times 0.071=0.071$, $g_{\lambda}(BF15, BF2)=0.987 \times (0.071)^2+1.987 \times (0.071)=0.146$ 등으로 나타난다. 퍼지적분값은

지표의 변환값 차이와 퍼지 측도값을 곱하여 총합하면 0.646이 산출되었다. 이러한 과정을 통해 $\lambda=2, 3, 4, 5$ 일 때의 퍼지적분값을 구하면, 각각 0.630, 0.943, 1.423, 1.167이 산출된다.

Table 4는 무생물적 부문에 대한 퍼지적분값의 변화를 나타낸 것으로 변환값의 크기에 따라 토양산도(AF3)에서부터 경사각(AF7)까지의 누적 집합열이 생성되었다. $\lambda=1$ 일 때 c 값을 구하기 위해서 $g_\lambda(AF3) = 1.768c$, $g_\lambda(AF3, AF1) = 2.915c^2 + 3.417c$, ..., $g_\lambda(AF3, AF1, AF5, AF2, AF4, AF6, AF10, AF8, AF9, AF7) = 0.091c^{10} + 1.479c^9 + 10.346c^8 + 40.690c^7 + 99.049c^6 + 155.283c^5 + 158.674c^4 + 104.790c^3 + 43.067c^2 + 10.001c$ 와 같은 c 에 대한 10차 방정식이 산출되며, 이 방정식을 인수분해하면 $c=0.073$ 이 된다. 따라서 퍼지 측도값은 생물적 부문에서 설명한 것과 같이 구할 수 있으며, 최종 퍼지적분값은 1.298이 되었다. $\lambda=2, 3, 4, 5$ 일 때 퍼지적분값은 각각 1.400, 0.901, 0.580, 1.456으로 산출되었다.

Table 5는 질적 부문의 퍼지적분값을 나타낸 것으로써 변환값이 1.206으로 가장 큰 환경피해도(QF2)에서부터 가장 작은 0.304를 가진 임령(QF6)까지 누적 집합열로 나열하였다. $\lambda=1$ 일 때 c 값의 산출은 $g_\lambda(QF2) = 1.206c$, $g_\lambda(QF2, QF1) = 1.413c^2 + 2.378c$, ..., $g_\lambda(QF2, QF1, QF4, QF3, QF8, QF11, QF10, QF16, QF15,$

$QF13, QF7, QF12, QF9, QF14, QF5, QF6) = 0.002c^{15} + 0.040c^{14} + 0.365c^{13} + 2.262c^{12} + 10.266c^{11} + 35.132c^{10} + 92.444c^9 + 188.934c^8 + 300.757c^7 + 371.474c^6 + 352.082c^5 + 250.915c^4 + 129.925c^3 + 46.083c^2 + 10.000c$ 로서 c 의 15차 방정식이 되며, c 에 대해서 인수분해하면 $c=0.071$ 이 된다. 따라서 c 를 이용한 퍼지 측도값과 변환값의 차를 곱하여 합산하면 0.714라는 퍼지적분값이 도출되었다. $\lambda=2, 3, 4, 5$ 일 때 퍼지적분값은 0.674, 0.346, 0.674, 1.610으로 분석되었다.

Table 6은 기능적 부문의 퍼지적분값을 나타낸 것으로써 변환값이 가장 큰 수자원 보호(FF9)에서부터 가장 작은 서식처 제공(FF8)까지 누적 집합열이 생성되었다. $\lambda=1$ 일 때 c 값을 산출하면, $g_\lambda(FF9) = 1.299c$, $g_\lambda(FF9, FF10) = 1.603c^2 + 2.533c$, ..., $g_\lambda(FF9, FF10, FF4, FF2, FF3, FF5, FF1, FF6, FF7, FF8) = 0.815c^{10} + 8.494c^9 + 39.649c^8 + 109.165c^7 + 196.321c^6 + 240.974c^5 + 204.459c^4 + 118.413c^3 + 44.801c^2 + 10.000c$ 로 나타나며, c 는 0.072가 된다. 따라서, 지표의 평가치와 c 값을 곱셈하면, $g_\lambda(FF9) = 1.299 \times 0.072 = 0.093$, $g_\lambda(FF9, FF10) = 1.603 \times (0.072)^2 + 2.533 \times (0.072) = 0.190$ 등으로 구할 수 있고 최종 퍼지적분값은 1.000으로 나타났다. $\lambda=2, 3, 4, 5$ 일 때 퍼지적분값은 각각 0.973, 0.943, 1.024, 1.008이다.

Table 4. Fuzzy integral of abiotic field

Indicator*	Weight	Converted value	Gap	Fuzzy measure					Fuzzy integral				
				$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$	$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$
AF3	5.519	1.768	0.119	0.129	0.062	0.080	0.028	0.088	0.015	0.007	0.010	0.003	0.010
AF1	5.519	1.649	0.040	0.264	0.127	0.154	0.058	0.207	0.011	0.005	0.006	0.002	0.008
AF5	5.519	1.609	0.054	0.412	0.587	0.234	0.089	0.371	0.022	0.032	0.013	0.005	0.020
AF2	5.519	1.555	0.039	0.571	0.705	0.318	0.123	0.593	0.022	0.027	0.012	0.005	0.023
AF4	5.519	1.516	1.073	0.745	0.833	0.406	0.158	0.889	0.799	0.894	0.436	0.170	0.954
AF6	1.203	0.443	0.043	0.801	0.875	0.404	0.170	0.988	0.834	0.038	0.017	0.007	0.042
AF10	1.203	0.400	0.023	0.853	0.911	1.160	0.714	1.087	0.020	0.021	0.027	0.016	0.025
AF8	1.203	0.377	0.006	0.904	0.950	1.128	0.081	1.189	0.005	0.006	0.007	0.000	0.007
AF9	1.203	0.371	0.058	0.955	0.985	1.043	0.993	0.913	0.055	0.057	0.060	0.058	0.053
AF7	1.203	0.313	0.313	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.313	0.313	0.313	0.313	0.313
Sum of (converted value gap × fuzzy measure)									1.298	1.400	0.901	0.580	1.456

*: 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

Table 5. Fuzzy integral of qualitative field

Indicator*	Weight	Converted value	Gap	Fuzzy measure					Fuzzy integral				
				$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$	$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$
QF2	4.493	1.206	0.034	0.086	0.070	0.012	0.070	0.060	0.003	0.002	0.000	0.002	0.002
QF1	4.493	1.172	0.043	0.177	0.147	0.022	0.147	0.683	0.008	0.006	0.000	0.006	0.029
QF4	4.493	1.129	0.094	0.271	0.232	0.030	0.232	0.932	0.025	0.022	0.003	0.022	0.088
QF3	4.493	1.035	0.337	0.365	0.320	0.038	0.320	1.227	0.123	0.108	0.013	0.108	0.413
QF8	2.618	0.698	0.060	0.433	0.387	0.041	0.387	1.476	0.026	0.023	0.002	0.023	0.089
QF11	2.618	0.638	0.040	0.498	0.452	0.043	0.452	1.721	0.020	0.018	0.002	0.018	0.069
QF10	2.618	0.598	0.121	0.561	0.518	0.045	0.518	2.026	0.068	0.063	0.005	0.063	0.245
QF16	1.597	0.477	0.024	0.614	0.575	0.045	0.575	2.268	0.015	0.014	0.001	0.014	0.054
QF15	1.597	0.453	0.021	0.667	0.631	0.046	0.631	2.714	0.014	0.013	0.001	0.013	0.057
QF13	1.597	0.432	0.015	0.718	0.662	0.131	0.662	2.999	0.011	0.010	0.002	0.010	0.045
QF7	1.597	0.417	0.033	0.769	0.694	0.122	0.694	2.153	0.025	0.023	0.004	0.023	0.071
QF12	1.376	0.384	0.007	0.817	0.749	0.102	0.749	2.364	0.006	0.005	0.001	0.005	0.017
QF9	1.376	0.377	0.005	0.866	0.792	0.102	0.792	1.647	0.004	0.004	0.001	0.004	0.008
QF14	1.376	0.372	0.064	0.915	0.856	0.101	0.856	1.795	0.059	0.055	0.006	0.055	0.115
QF5	1.141	0.308	0.004	0.957	0.915	0.101	0.915	0.931	0.004	0.004	0.000	0.004	0.004
QF6	1.141	0.304	0.304	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.304	0.304	0.304	0.304	0.304
Sum of (converted value gap × fuzzy measure)									0.714	0.674	0.346	0.674	1.610

*: 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

Table 6. Fuzzy integral of functional field

Indicator*	Weight	Converted value	Gap	Fuzzy measure					Fuzzy integral				
				$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$	$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$
FF9	4.570	1.299	0.065	0.093	0.071	0.079	0.069	0.062	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004
FF10	4.570	1.234	0.056	0.190	0.153	0.155	0.152	0.140	0.011	0.009	0.009	0.009	0.008
FF4	4.570	1.178	0.056	0.291	0.242	0.234	0.253	0.236	0.016	0.014	0.013	0.014	0.013
FF2	4.570	1.122	0.028	0.395	0.339	0.316	0.372	0.354	0.011	0.009	0.009	0.010	0.010
FF3	4.570	1.094	0.178	0.505	0.445	0.401	0.517	0.498	0.090	0.079	0.071	0.092	0.089
FF5	4.570	0.916	0.028	0.604	0.546	0.472	0.658	0.650	0.017	0.015	0.013	0.018	0.018
FF1	4.570	0.888	0.120	0.707	0.653	0.542	0.852	0.848	0.085	0.078	0.065	0.102	0.102
FF6	2.109	0.768	0.009	0.801	0.754	0.605	1.098	1.003	0.007	0.007	0.005	0.010	0.009
FF7	2.109	0.759	0.017	0.899	0.867	0.626	1.280	0.782	0.015	0.015	0.011	0.022	0.013
FF8	2.109	0.742	0.742	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.742	0.742	0.742	0.742	0.742
Sum of (converted value gap × fuzzy measure)									1.000	0.973	0.943	1.024	1.008

*: 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

3. 민감도 분석

퍼지 측도값을 구하기 위한 c값 산출과정에서 λ 값의 크기 변화는 매우 중요하게 작용하기 때문에 변화에 따른 순위의 민감도를 분석하였다(Table 7). 이러한 λ 의 범위는 $-1 < \lambda < \infty$ 인데 음(-)은 대담하고 모험적인 평가에서 적용되기 때문에 생태환경을 신중하게 평가하기 위해 양(+)의 λ 값을 사용하였고 $\lambda=0, 1, 2, 3, 4, 5$ 를 단계별로 적용하였다.

$\lambda=0$ 일 때는 가법모델인 확률측도와 동일하게 되어 산술평균에 의한 순위결정과 동일한 결과가 산출된다. 이는 퍼지적분이 가중치와 평가치에 의해 평균값을 이용한 순위결정의 확장임을 확인할 수 있기 때문에(이철규 등, 2002) 퍼지적분에 의한 순위결정은 타당성이 있다는 결론을 내릴 수 있다.

$\lambda=1$ 의 경우, 생물적 부문(BF)의 퍼지적분값은 0.646, 무생물적 부문(AF)은 1.298, 질적 부문(QF)은 0.714, 기능적 부문(FF)은 1.000으로 나타났으며, 각각 4순위, 1순위, 3순위, 2순위로 기록되었다. $\lambda=2$ 의 경우, 생물적 부문의 퍼지적분값은 0.630, 무생물적 부문은 1.400, 질적 부문은 0.674, 기능적 부문은 0.973이며, 순위는 $\lambda=1$ 일 때와 동일하였다. 그러나 $\lambda=3$ 일 때는 순위가 변화되는데 퍼지적분값을 살펴보면, 생물적 부문은 0.943, 무생물적 부문은 0.901, 질적 부문은 0.346, 기능적 부문은 0.943이 되었고 순위는 생물적 부문과 기능적 부문이 공동 1순위, 무생물적 부문이 2순위, 질적 부문이 3순위 등으로 관찰되었다. $\lambda=4$ 일 때 생물적 부문은 1.423, 무생물적 부문은 0.580, 질적 부문은 0.674, 기능적 부문은 1.024였고 각각 1순위, 4순위, 3순

위, 2순위로 결정되어 $\lambda=0$ 과 비교할 때 질적 부문과 기능적 부문의 순위만 역전된 것을 확인할 수 있었다. $\lambda=5$ 의 경우, 생물적 부문은 1.167, 무생물적 부문은 1.456, 질적 부문은 1.610, 기능적 부문은 1.008이며, 순위는 3순위, 2순위, 1순위, 4순위로 순위가 급격히 변동하기 시작하여 순위를 결정할 때는 이용될 수 없다고 판단되었다.

즉, $\lambda=4$ 가 순위결정에 적합한 값으로 사료되는데 이철규 등(2002)은 $\lambda \geq 2$ 가 적합하다고 하였고, 원제무와 손기복(1996)은 λ 값이 -1에 가까울수록 퍼지적분값은 증가하고 0에 가까울수록 감소한다고 보고하였다. 이는 λ 값의 변화에 따라 각 평가 지표들 간 상승 및 상쇄작용을 발생시켜 퍼지적분값과 순위가 변화되는 것을 의미하는 것으로 자연스러운 현상이다. 따라서 평가 부문의 순위결정에 있어 $\lambda=4$ 가 적당한 것으로 판단되며, 생태환경 평가 부문 선정에 적용 가능할 것으로 사료된다. 그러나 λ 값의 선정과정이 산술평균값과 유사한 순위 체계를 탐색하는 것이 아니라 인간의 주관적 사고를 수리적으로 객관화시킴으로써 과학적인 결과를 도출하는 과정이라고 할 수 있다. 즉, 기존의 합산 방법에 의한 종합순위결정과 달리 퍼지적분은 평가 지표들의 상호 연결성을 확인하고 이를 수리적으로 분해·합산하여 순위를 산출하기 때문에 기존의 방법과 달리 과학적이고 객관적인 순위결정법이라고 할 수 있다. 특히 생태계는 다양한 요인들의 복합체이기 때문에 개별 요인들의 점수나 판단을 합산하여 특성을 해석한다는 것은 무리가 있을 수 있기 때문에 요인들의 연결고리들을 과학적으로 해석하고 계산할 수 있는 종합적인 합산법인 퍼지적분이 유리할 것으로 사료된다.

Table 7. Change of fuzzy integrals and ranks by λ -value

Field	Change of λ -value					
	$\lambda=0$	$\lambda=1$	$\lambda=2$	$\lambda=3$	$\lambda=4$	$\lambda=5$
Biotic	253,340 (1)	0.646 (4)	0.630 (4)	0.943 (1)	1.423 (1)	1.167 (3)
Abiotic	109,240 (4)	1.298 (1)	1.400 (1)	0.901 (2)	0.580 (4)	1.456 (2)
Qualitative	138,239 (2)	0.714 (3)	0.674 (3)	0.346 (3)	0.674 (3)	1.610 (1)
Functional	128,650 (3)	1.000 (2)	0.973 (2)	0.943 (1)	1.024 (2)	1.008 (4)

(): Rank

λ 값은 사용목적에 부합되도록 적합한 값을 가정하여 사용하거나 특정 평가기준이 포함된 단조집합열에 대하여 평가자로부터 직접 조사하여 사용하며(Bandemer and Gottwald, 1995), 평가요소 간 상호작용 여부를 설문 조사하여 이용하기도 한다(김중수와 장운재, 2003). 그러나 상호작용 여부를 설문 조사하는 것도 주관적 감정이 개입되었다고 볼 수 있기 때문에 바람직한 방법은 아니라고 사료된다. 따라서 수리적인 상호 작용을 파악하여 λ 값을 구하는 방법이 보다 객관적일 것으로 판단된다. 즉, 생태환경 평가를 신중하고 정량적으로 평가하기 위해서는 수리적인 방법으로 산출된 $\lambda=4$ 가 적합한 것으로 사료되나 정확한 λ 값을 선정하는 것은 어렵다. 이는 λ 값의 변화범위가 ∞ 라는 점이며, 양의 정수뿐만 아니라 소수도 포함되어 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서와 같이 적절한 λ 값을 탐색하는 것이 바람직하다고 사료되며, 차후 적정 λ 값에 대한 연구가 병행되어야 할 것이다.

자연과 인간을 다루는 조경학이나 경관생태학에 있어 퍼지 이론의 도입은 필요하다고 할 수 있다. 특히 생태계와 같은 생태환경은 무형적이고 불확실한 특성을 가졌으며, 영속적으로 변화하는 유기체인 점을 감안한다면 퍼지 이론의 도입은 합당한 것이나, 보다 향후 객관성을 부여하기 위해서는 최대값과 최소값을 이용하는 스게노 적분 순위와의 비교 및 AHP법 등을 함께 고려하여 신중하게 검토할 필요성이 있다고 판단된다. 또한 현재 퍼지적분을 도입한 조경학 및 경관생태학 관련 연구가 미비한 상태이기 때문에 이에 대한 활용성 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 예를 들어 다양한 환경인자들이 고려된 생태자연도 등급, 녹지자연도, 토지적성평가 등과 같은 환경 관련 분야와 더불어 인간의 사고를 바탕으로 한 도시공원, 시설물, 경관 등의 만족도 평가 등에서의 활용성이 기대되나 과학적 논리 검정을 위해서는 다양한 환경에 대한 사례연구도 반드시 병행되어야 할 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 생태환경을 환경 친화적으로 보전할 수 있는 평가 부문의 우선순위결정을 통해 환경 정책의 방

향 제시와 아울러 공학적 개념인 퍼지적분을 도입함으로써 객관적이고 과학적인 의사 결정 방법론 개발에 있다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

평가 부문별 지표 선정의 경우, 생물적 부문은 '밀도', '종다양성지수', '희귀 및 멸종위기식물' 등 20개, 무생물적 부문은 '총 질소량', '토양산도', '지형' 등 10개, 질적 부문은 '헤메로비등급', '토지이용형태', '경관의 다양성' 등 16개, 기능적 부문은 '재화생산', '산사태 방지', '생물종 다양성 유지' 등 10개이며, 총 56개의 평가 지표가 선정되었다.

설문지 설계의 신뢰성과 타당성을 검증한 결과, 평가 부문의 신뢰성은 일반적 기준인 0.6 이상으로 나타났으며, 분야 및 직업에 따른 설문지 이해도는 집단 간 차이가 없어 설문지 설계의 이상 유무는 없는 것으로 확인되었다.

평가 부문 순위결정을 위해 $\lambda=1, 2, 3, 4, 5$ 일 때의 퍼지적분값을 산출한 결과, '생물적 부문'의 경우, 0.646, 0.630, 0.943, 1.423, 1.167로 관찰되었으며, '무생물적 부문'에서는 1.298, 1.400, 0.901, 0.580, 1.456으로 조사되었다. '질적 부문'의 퍼지적분값은 0.714, 0.674, 0.346, 0.674, 1.610이었으며, '기능적 부문'은 1.000, 0.973, 0.943, 1.024, 1.008로 나타났다.

λ 값에 따른 민감도 분석 결과, $\lambda=4$ 가 적합한 값으로 나타났는데 산술평균값과 동일한 $\lambda=0$ 과 비교할 때 '질적 부문'과 '기능적 부문'의 순위만 역전된 것을 확인할 수 있어 변동의 폭이 작았다. 따라서 $\lambda=4$ 가 다른 조건보다 상대적으로 변동의 폭이 적기 때문에 생태계 평가 부문 순위결정에 적합할 것으로 사료된다. 퍼지적분에 의한 순위결정은 인간 사고를 수리적인 방법으로 해석하고 여과시키는 과학적인 방법이기 때문에 종합적인 평가에서 그 활용성이 기대된다.

퍼지적분은 평가 부문과 같이 지표들의 종합성을 표현할 수 있는 거시적인 부분에 적합할 것이다. 이는 퍼지 측도를 구하기 위한 c 값이 각 지표들의 연결성을 나타내는 매개변수라 할 수 있으며, 이를 토대로 퍼지적분값을 산출하여 점수를 종합화시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 λ 값의 변화에 따라 퍼지적분값의 순위가 달라지며, λ 값의 범위가 ∞ 라는 단점도 있다. 하지만 주관적 판단에 근거한 단순 산술평균 순위나 지표들의

합산을 통해 산출한 순위보다는 과학적 이론에 기초한 것이라고 사료된다.

이는 지표들의 상호 연결성을 고려하지 않은 채 거시적인 부문에 대해 대표성을 부여하여 지표들과의 합리성을 언급하는 것이 아니라 각 지표들의 연결성을 토대로 순위를 결정하였기 때문에 퍼지적분의 사용은 순위결정론에 있어서 그 의의가 크다고 생각된다.

향후 퍼지적분의 순위결정은 스계노 적분 등의 다양한 방법과 비교·검토하여 최적 순위에 대한 논의가 필요할 것이며, λ 값의 명확한 범위를 설정할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 생태환경 평가나 보전 등 자연환경과 접목한 퍼지 이론에 대한 연구가 미비하기 때문에 퍼지 이론과 연계된 응용 연구가 활성화된다면 퍼지 이론의 합리성과 과학성이 증명될 수 있을 것으로 사료된다.

인용문헌

- 권순학(1996) 퍼지 측도 및 퍼지적분. 한국퍼지 및 지능시스템 학회 '96 추계 학술대회 학술발표논문집, pp. 35-41.
- 김중수, 장운재(2003) 조선자의 조선부담감을 고려한 연안 해역의 항행 안전성 평가에 관한 연구. 한국해양환경안전학회지 9(1): 65-72.
- 김태일(1999) 수리적 기법에 의한 평가모형체계의 가중치 부여 방식에 관한 논의. 한국행정학보 33(4): 243-258.
- 나정화(1999) 대곡수목원조성에 따른 비오뎀구조분석. 한국정원학회지 17(4): 167-172.
- 류지원, 김정환, 정영호(2003) 계층분석법을 이용한 환경친화 계획요소의 중요도분석. 한국환경과학회지 12(9): 897-903.
- 박원규, 안건용(1998) 주거단지의 환경지속성 평가 지표 개발을 위한 중요 평가항목 선정에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3): 225-236.
- 박인협, 최윤호(2003) 지리산국립공원 상부은 계곡부의 해발고와 사면부위에 따른 산림구조. 한국환경생태학회지 16(4): 457-464.
- 박창석, 전영옥, 조영국(2002) 농촌어메니티에 기초한 농촌자원 중요도 평가 및 순위적 관계 분석. 국토계획 37(6): 21-35.
- 사공정희, 나정화(2005) 녹지 잠재 영향권역 설정을 통한 녹지 단절구역 분류 및 우선순위 선정. 한국조경학회지 33(2): 1-15.
- 안영희, 김봉찬, 강기호, 조동광, 이철호(2003) 두만강 접경지역 일대의 관속식물상. 한국환경생태학회지 17(3): 187-200.
- 원제무, 손기복(1996) 퍼지 이론을 이용한 도시철도 노선평가에 관한 연구. 국토계획 31(5): 241-252.
- 유주한, 정성관(2002) 자연자원 보전지역의 평가모형 -내셔널 트러스트 후보지 선정을 중심으로-. 한국조경학회지 30(2): 39-49.
- 유주한, 진연희, 장혜원, 이동우, 윤희빈, 이귀용, 이철희(2003) 충청북도 백운산 일대의 식물상. 한국환경생태학회지 17(3): 210-223.
- 이관규, 양병이(2001) 환경평가를 위한 지표의 가중치 산정 방법 결정 모형. 환경영향평가 10(1): 59-71.
- 이동근, 윤소원, 김은영, 전성우, 최재용(2005) 보전가치평가를 위한 경관생태학적 지표의 활용 및 적용. 한국조경학회지 32(6): 14-22.
- 이유미, 김성식, 조동광, 정승선(2002) 경기도 축령산과 서리산 일대의 식물상. 한국환경생태학회지 16(1): 104-123.
- 이진춘(1999) 퍼지적분을 이용한 관능 검사치의 정량화. 경일대학교 논문집 16: 1-11.
- 이철규, 오주삼, 조윤호(2002) 퍼지적분에 의한 국토에서의 ITS 구축우선순위결정방안. 대한토목학회논문집 22(3-D): 471-481.
- 이호준, 전영문, 김창호(1998) 월악산 신갈나무(*Quercus mongolica*)림의 종조성과 토양환경. 환경생물 16(2): 169-180.
- 조덕호, 배민기, 엄홍석(2004) 환경 정책 우선순위결정을 위한 환경지표의 중요도 평가. 한국행정논집 16(4): 713-734.
- 한봉호, 김종업, 조현서(2004) 함양 상림의 환경생태적 구조 분석 및 생태적 관리방안. 한국환경생태학회지 17(4): 324-336.
- Bandemer, H. and S. Gottwald(1995) Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Method with Application. London: John Wiley & Sons.
- Bebi, P., F. Kienast, and W. Schönenberger(2001) Assessing structure in mountain forests as a basis for investigation of the forest's dynamics and protective function. Forest Ecology and Management 145: 3-14.
- Cole, R. P. and S. V. Cordray(1991) What should forests sustain? eight answers. Journal of Forestry 89: 31-36.
- Gauthier, D. A. and E. B. Wiken(2003) Monitoring the conservation of grassland habitats, prairie ecozone, Canada. Environmental Monitoring and Assessment 88: 343-364.
- Grevilliot, F. and S. Muller(2002) Grassland ecotopes of the upper Meuse as references for habitats and biodiversity restoration: a synthesis. Landscape Ecology 17(Suppl.): 19-33.
- Johnston, J. M. and D. A. Crossley Jr(2002) Forest ecosystem recovery in the southeast US: soil ecology as an essential component of ecosystem management. Forest Ecology and Management 155: 187-203.
- Kapfer, J. A. and S. B. Franklin(2000) Evaluation of an ecological land type classification system Natchez Trace State Forest, western Tennessee, USA. Landscape and Urban Planning 49: 179-190.
- Kessler, M.(2001) Patterns of diversity and range size of selected plant groups along an elevational transect in the Bolivian Andes. Biodiversity and Conservation 10: 1897-1921.
- Livingston, M., W. W. Shaw, and L. K. Harris(2003) A model for assessing wildlife in urban landscapes of eastern Pima County, Arizona(USA). Landscape and Urban Planning 64: 131-144.
- Martin, H. and J. Cornelis(2000) Towards a monitoring method and a number of multifaceted and hierarchical biodiversity indicators for urban and suburban parks. Land-

- scape and Urban planning 49: 149-162.
32. Miller, J. N., R. P. Brooks, and M. J. Croonquist(1997) Effects of landscape patterns on biotic communities. *Landscape Ecology* 12: 137-153.
 33. Noss, R. F.(1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4(4): 355-364.
 34. Nowak, D. J.(1993) Atmospheric carbon reduction by urban trees. *Journal of Environmental Management* 37: 207-217.
 35. Sidle, R. C.(1992) A theoretical model of the effects of timber harvesting on slope stability. *Water Resources Research* 28(7): 1898-1910.
 36. Skole, D. and C. Tucker(1993) Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science* 260: 1905-1910.
 37. Sukopp, H.(2004) Human-caused impact on preserved vegetation. *Landscape and Urban Planning* 68: 347-355.
 38. van Andel, T. R.(2003) Floristic composition and diversity of three swamp forests in northwest Guyana. *Plant Ecology* 167: 293-317.
 39. Waldhart, R., D. Simmering, and A. Otte(2004) Estimation and prediction of plant species richness in a mosaic landscape. *Landscape Ecology* 19: 211-226.

원 고 접 수: 2006년 10월 24일
최종수정본 접수: 2006년 12월 14일
3 인 의 명 심 사 필