

연구논문

## 환경친화적 국토보전을 위한 자연생태계 평가요인 및 평가지표의 중요도에 관한 연구

유주한\* · 박경훈\*\* · 정성관\*\*\*

충청북도수목·산야초연구센터\*, 창원대학교 환경공학과\*\*, 경북대학교 조경학과\*\*\*

(2005년 6월 7일 접수, 2005년 7월 27일 승인)

## A Study on Importance of Assessment Factors and Indicators of Natural Ecosystem for Environmentally Friendly Land Conservation

Ju-Han You\* · Kyung-Hun Park\*\* · Sung-Gwan Jung\*\*\*

Chungcheongbuk-do Research Center for Wild Plants\*,

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

Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University\*\*\*

(Manuscript received 7 June 2005; accepted 27 July 2005)

### Abstract

This study was carried out to offer the basic methodology of the system and model to objectively assess the natural ecosystem for environmentally friendly land conservation and present the alternative plan on establishing the environmental policy. The results of this study were as follows.

We selected four assessment factors associated with biotic, abiotic, qualitative, and functional factors. Also, there were extracted fifty-six indicators including density, total nitrogen, hemeroby degree, and goods production. The assessment factor showed that biotic one was very important. The importance of indicators were analyzed that rare and endangered plant was important in biotic factor, in case of abiotic, qualitative, and functional factors, organic matter, landscape diversity, and conservation of ecosystem were greatly important. The results of factor analysis on the characteristics of indicators, classified biotic factor into six factors including a structural one, abiotic factor as a soil and physical one, qualitative factor as five ones including hierarchical one, and functional factor as public and conservational one. In the results of analysis

on assessment model, R-square of biotic factor was 51.7%, those of abiotic, qualitative, and functional one were each 58.4%, 44.2%, and 39.3%, and statistical problem was no existence. In future, to develop the assessment model and methodology of sustainable natural ecosystem, we will have to achieve the integrated model and grouping by assessment factor.

Key words : Assessment, Conservation, Ecosystem, Biodiversity

## I. 서론

우리나라는 대륙과 해양을 연결하는 반도의 형태를 하고 있으며, 사계절이 뚜렷한 기후대를 가지고 있어 다양한 생물자원이 서식하고 있었으나 1950년대의 한국동란과 1960년대 시작된 경제개발로 인해 과도한 환경적 부하가 국토의 황폐화를 가속화시켰다. 또한 인구의 고밀화로 인해 도시는 거대화되었고 최근 광역도시화 계획의 수립, 신도시 개발, 그린벨트 해제 등으로 인한 피해는 예측하기가 불가능할 정도로 심각한 실정에 이르렀다. 그리고 급속한 산업화로 인한 환경오염과 같은 교란으로 인해 생물 서식처의 변형과 파편화가 초래되었고 그 결과 생물종다양성은 급격히 감소하는 추세에 있다. 현재, 대규모 국책사업인 고속철도, 간척사업과 같은 정부시책에 문제가 제기된 것도 환경친화적 국토개발과 그에 따른 생태계의 정확한 평가나 진단이 이루어지지 않았기 때문이라고 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 생태계를 평가할 수 있는 지표나 모형개발이 요구되어진다. 상기 관련 연구경향을 살펴보면, 무등산 도립공원의 평가기준(김상오·오광인, 1998), 산지개발 환경기준(윤여창 등, 1999), 도시비오톱 평가지표(나정화 등, 2001), 자연환경 통합모형(정성관·유주한, 2003), 토지환경성평가의 기준(이동근 등, 2004), 경관생태학적 지표활용(이동근 등, 2005) 등이 수행되었다. 그러나 각각의 연구는 제한된 대상지에 적용할 시 유용할 수 있으나 자연생태계는 광범위하고 거시적이기 때문에 세분화된 평가기준과 지표가 미비하여 효율성과 활용성이 떨어진다고 생각된다.

따라서 자연생태계의 가치를 정량화시키는 실천적 연구가 필요한 시점에서 본 연구는 환경친화적인

국토보전을 위해 그 속에 형성되어 있는 자연생태계를 체계적이고 객관적으로 평가할 수 있는 평가요인과 평가지표의 중요도 및 평가모형을 제시함으로써 건전한 국토개발과 이용의 기초방법론 제공과 더불어 환경영향평가 및 사전환경성 검토와 같은 환경평가의 전략수립과 대안제시를 위해 수행되었다.

## II. 연구방법

### 1. 전문가 설문조사

전문가 집단의 선정은 조경학, 임학 및 산림학, 생태학, 원예학 및 식물학을 전공한 교육직 및 연구직 75명을 대상으로 전자우편설문을 실시하였는데 정확한 평가를 위하여 생태계 관련 전공자에 한정하였다. 설문기간은 2004년 12월부터 2005년 1월까지이며, 회송된 49부 중 결측치가 있거나 응답이 불성실한 11부를 제외한 38부를 이용하였고 회수율은 약 50.7%를 나타내었다. 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%)으로 확인되었다.

### 2. 지표의 선정

생태계는 생물, 무생물 및 주변 환경의 총체적 유기체를 의미하는 것으로서 기권(atmosphere), 생물권(biosphere) 및 지권(geosphere)으로 구성되어 있다(Klijin *et al.*, 1994).

그러나 이러한 광역적인 생태계의 구성요소들을

세부적으로 평가하고 진단하는 것은 불가능할뿐만 아니라 생태계의 특성 중 불확실성과 예측불가능성이 존재하기 때문에 평가의 오류를 범할 수 있다. 따라서 생태계 평가 시 가장 중요하게 고려될 수 있는 식생, 경관, 토양 및 기능성으로 한정하였다.

평가요인은 크게 생물적 요인, 무생물적 요인, 질적 요인, 기능적 요인으로 세분화하였고 생물적 요인의 경우 생태계 내 생육하고 있는 식물종과 식생에 대한 구조 및 다양성을 표현할 수 있는 지표라고 판단되어 선정하였으며, 무생물적 요인의 경우 식물종과 식생의 분포나 형태가 물리적 환경에 의해 결정된다(Webster, 1961; Daubenmire, 1966)는 가설에 의거하여 분류하였다. 또한 질적 요인은 식생, 경관 및 토지형태에 따른 생태계의 질을 경관생태학적으로 접근하기 위한 것이고 기능적 요인은 생태계가 자연과 인간에 주는 기능성을 확인하여 적절한 평가나 보전대책을 수립하고자 선정하였다.

생물적 요인 평가 중 구조적 특성 파악을 위해 BF1(밀도), BF2(피도), BF3(빈도), BF4(상대우점치), BF14(군도), BF15(우점도)를 이용하였고 구조의 내부속성 분석을 위해 BF7(흉고직경), BF8(수고), BF9(수관폭), BF10(층위구조)을 추출하였다(Bebi *et al.*, 2001; van Andel, 2003). 종구성의 다양한 상태와 그에 대한 관리를 위해 BF5(개체수), BF6(종수), BF11(종다양성지수), BF12(종풍부도), BF13(최대종

다양성지수)가 이용된다는 점에 착안하여 선정하였다(Martin and Cornelis, 2000; Mendoza and Prabhu, 2003; Onaindia *et al.*, 2004). 또한 종분포에 대한 정보획득과 기초자료 확보를 위해 BF16(관속식물), BF17(특산식물), BF18(귀화식물), BF19(희귀 및 멸종위기식물), BF20(특정식물의 군락지)를 지표군으로 체계화하였다(Miller *et al.*, 1997; Kafer and Franklin, 2000)

무생물적 요인의 경우 식생과 관련된 토양 특성을 나타내는 AF1(총 질소량), AF2(총 인량), AF3(토양 산도), AF4(토양경도), AF5(토성), AF6(유기물층) 및 주변 환경을 표현할 수 있는 AF7(경사각), AF8(해발), AF9(방위), AF10(지형)을 선택하였다(Kessler, 2001; Johnston and Crossley Jr, 2002; Louw and Scholes, 2002).

질적 요인 평가에 있어서는 인위적 간섭이나 교란에 따른 생태계의 질 규명을 위해 QF1(헤메로비등급), QF2(환경피해도), QF4(토지이용형태), QF10(귀화율), QF11(자연파괴도)를 이용하였고(Sukopp, 1980; Frissel, 1977) 경관과 생태계를 복합한 체계 평가를 위해 QF3(녹지자연도), QF5(현존식생), QF6(임령), QF7(산림면적), QF8(식생피복율), QF9(경관파편화), QF12(연결성), QF13(식생형태), QF14(복원력), QF15(천이단계), QF16(경관의 다양성)을 도출하였다(Noss, 1990; Folke *et al.*

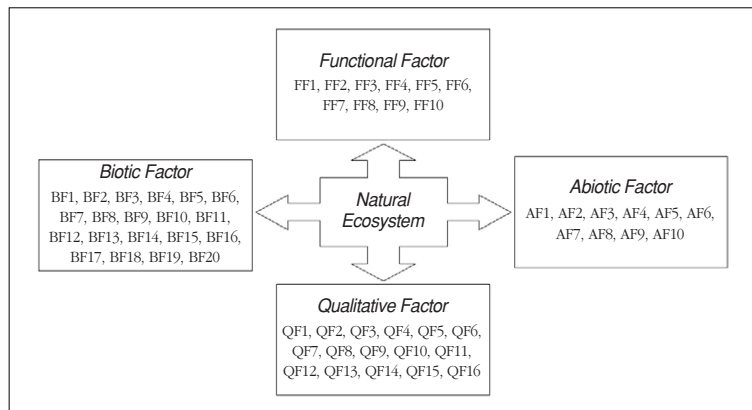


Figure 1. The composition on system of assessment indicators

1996: Tompson *et al.*, 2001).

기능적 요인의 경우 공익적 기능에 있어서는 FF1(재화생산), FF2(대기질향상), FF3(산사태 방지), FF4(토양침식 방지), FF5(방풍효과), FF9(수자원보호), FF10(휴양과 휴식제공)을 선정하였고(Sidle, 1992; Glück, 2000) 생태계를 위해서는 FF6(생태계보전), FF7(생물종다양성 유지), FF8(서식처 제공)이 필요하다고 판단된다(Cole and Cordray, 1991).

Figure 1은 자연생태계 평가를 위한 지표체계의 구성을 나타낸 것이다.

### 3. 자료분석

평가지표의 중요도와 순위를 측정하기 위해서 기술통계분석을 사용하였고 평가요인 내 지표의 유형화 구축과 그에 따른 속성 해석을 위해 Varimax의 직각회전법을 적용한 요인분석을 수행하였다.

요인분석에 의해 산출되는 적재치를 이용한 다중회귀분석을 실시하여 평가모형 구축과 상호영향력을 예측하였다. 상기 자료는 Excel 2000으로 집계 및 정리하였고 통계분석은 SPSS 10.0(SPSS Inc., 2000)을 이용하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

### 1. 중요도 및 순위 측정

Table 1은 평가지표들에 대한 중요도를 측정한 것으로서 1순위와 2순위를 대상으로 분석하였다.

생물적 요인에서 1순위는 평균 4.87인 희귀 및 멸종위기식물이고 2순위는 종다양성지수로서 평균 4.42로 측정되었다. 최하위는 흉고직경과 수고로서 평균 2.97을 나타내었다.

희귀 및 멸종위기식물은 인간의 간섭이나 영향이 비교적 적은 지역에서 출현하는 식물로서 과학적 및 생태학적으로 중요한 역할을 하기 때문에 생물적 요인에서 가장 높은 평가를 받은 것으로 생각된다. 또한 종다양성지수는 생태계, 종 그리고 유전자에 대한

Table 1. Importance degree and rank of assessment indicators

Factor	Indicator	Mean	Rank
BF	BF19	4.87	1
	BF11	4.42	2
AF	AF6	4.03	1
	AF10	3.63	2
QF	QF16	4.13	1
	QF15	3.92	2
FF	FF6	4.68	1
	FF7	4.63	2

연구에 있어 중요한 지표로서 경관파괴나 토지이용 변화로 야기되는 종소멸에 대한 주요 원인구명에 이용되고 평가속성으로써 활용되기 때문에(Zebisch *et al.*, 2004) 자연생태계 평가를 위해서는 필수적 지표라고 생각된다.

무생물적 요인에 대한 중요도와 순위를 측정해 본 결과, 유기물층이 평균 4.03으로 가장 높은 1순위로 선정되었고 2순위는 지형으로 평균 3.63을 나타내었다. 최하위는 경사각으로써 평균 2.84로 조사되었다.

산림토양에 있어서 유기물은 각종 생물 서식과 분포에 중요한 영향을 미치는 지표로서 유기물이 많은 토양에서는 교란된 토양에 비해 다양한 자생식물들이 출현하며(Sukopp, 2004), 또한 유기물이 많을수록 이를 분해하기 위한 미생물들의 활동이 왕성해짐으로써 원활한 에너지 흐름으로 인해 건전한 생태계를 유지한다고 할 수 있어 높은 순위를 받은 것으로 생각된다. 또한 능선, 계곡, 암반 등이 포함된 지형은 식물종 분포지로서 기능뿐만 아니라(Kessler, 2001) 이들 지역에서는 그 지형에 맞는 식물상들이 형성되어 있어 중요 지표로 선정되었다고 판단된다.

질적 요인의 경우 1순위는 경관의 다양성으로 평균 4.13이었고 2순위는 천이단계로 나타났다. 최하위는 귀화율로서 평균 3.16으로 측정되었다.

경관의 다양성은 종풍부도, 희귀 및 멸종위기종에 대한 평가에서 중요한 역할을 하며(Tompson *et al.*, 2001), 다층의 식생구조로 형성되는 산림경관은 시각적 또는 생태적 질을 나타낼 수 있기 때문에 높은

순위를 받은 것으로 생각된다. 또한 천이단계는 교란이나 간섭에 의해 피해 받은 생태계를 회복하는데 매우 중요한 역할을 함과 아울러 식생군의 동태를 파악하는데 중요한 지표이기 때문에 2순위로 선정되었다고 할 수 있다.

기능적 요인에서는 생태계보전이 평균 4.68로 1순위로 선정되었고 생물종다양성유지가 2순위로 분석되었다. 최하위는 재화생산으로써 평균 2.50을 나타내었다.

생태계는 다양한 생물종과 각종 환경간 에너지 흐름, 먹이사슬 등이 형성되어 있어 하나의 유기체를 이루고 있는 지역이라고 할 수 있으며, 이들 생물종간의 복잡한 상호작용으로 생태계를 보전하고 유지하기 때문에 생태계의 기능적 평가에서 가장 높은 순위로 선정되었다고 판단된다. 또한 생물종다양성을

유지하는 기능도 가지고 있는데(Cole and Cordray, 1991) 천이와 이로 인해 형성된 층위구조 내에는 다양한 생물종들이 생육함으로써 생태계의 기능과 구조를 유지한다고 할 수 있다.

## 2. 평가지표의 유형화

### 1) 생물적 요인

생물적 요인을 유형화한 결과, 각 요인에 대한 설명력은 5.91~37.82%이고 전체 설명력은 약 72.23%를 나타내었다(Table 2).

#### (1) 요인 I: 구조적 요인

요인 I로 유형화된 지표는 수고, 수관폭, 흉고직경, 우점도, 빈도, 피도, 군도로 분석되었다. 수고, 수관폭, 흉고직경은 식생구조를 분석하기 위해 이용되는데 이들은 전반적인 산림의 군집구조와 관련성이

Table 2. Factor analysis on indicators of biotic factor

Indicator	Factor I	Factor II	Factor III	Factor IV	Factor V
BF8	0.861	0.087	-0.050	0.087	0.135
BF3	0.843	0.002	0.307	0.164	0.078
BF9	0.778	0.005	0.007	0.280	0.148
BF15	0.773	0.173	0.166	-0.028	0.274
BF7	0.743	0.328	0.160	0.053	0.087
BF2	0.620	-0.030	0.608	0.007	0.100
BF14	0.606	0.331	0.356	0.040	0.331
BF13	0.174	0.773	-0.235	-0.086	0.221
BF12	0.069	0.744	0.257	0.373	-0.042
BF4	0.440	0.689	0.068	0.074	-0.110
BF11	-0.090	0.666	0.463	0.190	0.120
BF6	0.057	0.012	0.783	0.188	0.163
BF10	0.175	0.221	0.692	-0.064	0.029
BF1	0.478	-0.209	0.557	0.376	0.108
BF5	0.341	0.032	0.230	0.785	-0.040
BF19	-0.112	0.432	-0.107	0.637	0.152
BF18	0.191	0.016	0.131	-0.089	0.894
BF16	0.210	0.135	0.249	0.504	0.593
BF17	0.237	0.402	0.145	0.510	0.519
BF20	0.370	0.017	0.007	0.372	0.513
Eigenvalue	7.564	2.440	1.757	1.501	1.183
Variance(%)	37.822	12.201	8.787	7.504	5.915
Cumulative(%)	37.822	50.023	58.810	66.314	72.229

있다. 또한 우점도, 빈도, 피도, 군도는 식물 종구성을 평면적 구조로 해석하기 때문에 이들을 구조적 요인으로 명명한다.

#### (2) 요인 II: 상대적 요인

최대종다양성지수, 종풍부도, 상대우점치, 종다양성지수가 유형화되었는데 최대종다양성지수는 종수를 이용하여 군집 내 종구성을 표현하는 것이고 종다양성지수와 종풍부도는 개체수 및 종수를 이용하여 군집의 상태를 나타낸다. 또한 상대우점치는 중간 상대적 우세와 세력권을 파악하여 군집 또는 층위별 상태를 표현한다. 따라서 이들은 산림의 식생구조나 군집의 상태를 파악할 때 사용될 수 있다고 판단되어 이를 상대적 요인으로 명명한다.

#### (3) 요인 III: 분포적 요인

종수, 층위구조, 밀도로 유형화되었는데 이들은 산림 내 식물종의 분포를 해석하는데 필요한 지표들이다. 종수는 산림 내 분포하는 식물종을 파악하여 다양성 등을 해석하는데 필수지표이다. 또한 층위구조는 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층 등 식생구조에 대해 수직적 종분포 개념으로 파악할 수 있고 밀도는 개체수에 의해 산출되는 지표로서 식물종들의 공간적 분포나 부피를 표현할 수 있다. 따라서 이들은 산림 내 식물종 분포를 해석하는데 필요하기 때문에 분포적 요인으로 명명한다.

#### (4) 요인 IV: 희소적 요인

요인 IV는 희귀 및 멸종위기식물과 개체수가 유형화되었는데 희귀 및 멸종위기식물은 개체수가 적고 분포지역이 특정지역에 한정된 종들이 많아 보전적 가치가 높고 멸종위기에 처해 있기 때문에 이를 희소적 요인으로 명명한다. 희귀 및 멸종위기식물은 다른 평가지표들과의 상관성은 있지만 이들의 출현유무는 개발 또는 보전에 민감하게 작용하기 때문에 독자적인 고려도 필요할 것으로 생각된다.

#### (5) 요인 V: 자원적 요인

귀화식물, 관속식물, 특산식물, 특정식물 군락지

가 유형화되었다. 귀화식물은 자연군집에 광범위하게 침입하여 생태적으로 심각한 결과를 초래하는 식물자원이고 특산식물은 생물지리적 지역이 제한되어 있으며, 생물종다양성 보전에 이용되는 식물자원이다(Cowling and Samways, 1995). 또한 관속식물은 선대류를 제외하고 생태계 내 생육하는 전체 식물상이기 때문에 생태계 평가 시 중요하다고 할 수 있다. 그리고 특정식물 군락지는 희귀식물 또는 특산식물들이 대규모 군락을 이루고 있어 지역적 유전형질과 특성을 구명하는데 매우 유용한 평가지표라고 할 수 있다. 따라서 이들은 자연생태계의 식물자원을 평가하는데 사용될 수 있다고 판단되어 이를 자원적 요인이라고 명명한다.

### 2) 무생물적 요인

유형화를 실시한 결과, 2개의 요인으로 유형화되었고 각 요인별 설명력은 각각 55.19%, 12.03%로 분석되었다(Table 3).

#### (1) 요인 I: 토양적 요인

총 질소량, 총 인량, 토양경도, 토성, 토양산도로 유형화되었다. 식물종다양성과 풍부도는 총 질소량, 총 인량 등과 관련성이 높으며, 토양산도와 토성과 같은 이화학적 성질은 식물생장에 중요한 요인으로 작용한

Table 3. Factor analysis on indicators of abiotic factor

Indicator	Factor I	Factor II
AF1	0.884	-0.015
AF2	0.763	0.224
AF4	0.719	0.329
AF5	0.718	0.474
AF3	0.544	0.513
AF8	0.155	0.802
AF6	0.049	0.781
AF10	0.410	0.758
AF9	0.543	0.702
AF7	0.523	0.548
Eigenvalue	5.519	1.203
Variance(%)	55.190	12.029
Cumulative(%)	55.190	67.219

다. 또한 토양경도는 각종 교란으로 인해 토성이 불량해지는 것으로 고결화발생 등이 높으면 생태계에게도 악영향을 준다고 할 수 있다. 따라서 상기 결과를 바탕으로 자연생태계의 토양에 대한 상태를 평가할 수 있다고 판단되어 이를 토양적 인자로 명명한다.

(2) 요인 II: 물리적 요인

해발, 유기물층, 지형, 방위, 경사각이 유형화되었는데 유기물층이 많은 토양에서 생육하는 식물은 동일한 기후대에 있는 식물보다 생육이 우수하고 해발은 식물종수나 분포와 관련성이 있는 물리적 인자라고 할 수 있다(Zimmerman *et al.*, 1999). 생태계 내 식생이나 식물상은 지형, 방위, 경사각에 따라 구성이나 구조가 다르기 때문에 평가 시 필수인자라고 할 수 있다. 따라서 이들을 물리적 요인으로 명명한다.

3) 질적 요인

질적 요인을 유형화한 결과, 계급적 요인, 비율적 요인, 안정적 요인, 회복적 요인, 건전적 요인 등 5개로 형성되었고 전체 설명력은 약 70.15%로 나타났다

(Table 4).

(1) 요인 I: 계급적 요인

녹지자연도, 토지이용형태, 헤메로비등급, 환경피해도가 유형화되었는데 토지이용형태나 개발 등의 환경압을 바탕으로 한 헤메로비등급을 이용하여 자연생태계의 비오톱분류를 수행함과 아울러 수령 등을 바탕으로 한 녹지자연도와 인간의 간섭이나 이용에 따른 환경피해도를 이용하여 생태계의 질적 요인을 계급화시켜 평가하기 위한 것이다. 따라서 이를 계급적 요인으로 명명한다.

(2) 요인 II: 비율적 요인

자연파괴도, 귀화율, 식생피복율로 유형화되었다. 이들을 해석해보면, 귀화율과 자연파괴도는 귀화식물의 침입이나 세력권 확장으로 생태계 내 생육하는 식물상의 교란현황을 수치로 나타내며, 식생피복율은 식물에 의해 피복되어진 토지의 비율로 풍부한 식생은 식생피복율이 높기 때문에 이들을 비율적 요인으로 명명한다.

Table 4. Factor analysis on indicators of qualitative factor

Indicator	Factor I	Factor II	Factor III	Factor IV	Factor V
QF3	0.848	0.026	0.091	0.109	0.016
QF4	0.798	0.213	0.016	-0.295	-0.002
QF1	0.764	0.078	-0.130	0.226	0.116
QF2	0.662	-0.144	0.181	0.269	0.054
QF11	0.234	0.851	-0.048	0.029	0.058
QF10	-0.102	0.840	0.245	0.120	0.053
QF8	0.474	0.503	0.257	0.043	-0.155
QF15	-0.234	0.138	0.734	0.410	0.200
QF7	0.150	0.095	0.693	0.140	0.060
QF16	0.368	0.020	0.680	-0.362	0.136
QF13	-0.123	0.476	0.534	0.302	0.133
QF9	0.107	-0.025	0.197	0.692	0.068
QF12	0.164	0.380	-0.093	0.679	0.345
QF14	0.409	0.292	0.348	0.543	-0.086
QF5	0.144	-0.148	0.168	0.121	0.853
QF6	-0.075	0.478	0.150	0.088	0.736
Eigenvalue	4.493	2.618	1.597	1.376	1.141
Variance(%)	28.080	16.362	9.979	8.599	7.131
Cumulative(%)	28.080	44.442	54.421	63.020	70.150

## (3) 요인 III: 안정적 요인

천이단계, 면적, 경관의 다양성, 식생형태가 유형화되었는데 침엽수림, 활엽수림의 성상별, 종구성 및 식물종별에 따른 다양한 식생형태는 경관의 다양성을 제공하며, 면적이 넓고 해발이 높은 산악지역에서는 대체적으로 식물종수도 다양하고 극상에 가까운 천이단계가 진행되고 있어 건전하고 안정된 생태계를 유지한다(Odum, 1969). 따라서 다양한 식생형태와 경관 그리고 천이에 의한 안정성을 평가할 수 있어 이를 안정적 요인으로 명명한다.

## (4) 요인 IV: 회복적 요인

경관파편화, 연결성, 복원력이 유형화되었다. 식생의 단절은 시각적 및 생태적 경관의 파편화를 발생시키는데 특히 도로, 임도, 송전탑 건설 등의 개발행위가 식생의 연결성에 많은 영향을 준다. 그러나 생태계는 교란과 간섭에 대한 복원력을 가지고 있기 때문에 경관파편화로 식생의 연결성이 불량한 것에 대해 복원력이 작용한다고 판단된다. 따라서 이들을 회복적 인자로 명명한다.

## (5) 요인 V: 건전적 요인

현존식생 및 임령의 유형화를 살펴보면, 임령이 높은 산림은 다양한 층위구조와 식물종들이 있기 때문에 현존식생이 다양하게 형성하는 반면, 임령이 낮은 조림지와 같은 지역은 간벌 등의 교란 등에 의해 빈약한 생태계가 이루어진 지역이 많다. 따라서 이들은 산림의 건전성을 평가할 수 있다고 판단하기 때문에 건전적 요인이라고 명명한다.

## 4) 기능적 요인

요인 I과 요인 II의 설명력은 각각 45.70%, 21.09%를 나타내고 있었다(Table 5).

## (1) 요인 I: 공익적 요인

요인 I은 토양침식 방지, 산사태 방지, 방풍효과, 수자원 보호, 대기질 향상, 재화생산, 휴양 및 휴식제공이 유형화되었다.

다양한 층위로 형성된 산림은 나지나 산불지역에

Table 5. Factor analysis on indicators of functional factor

Indicator	Factor I	Factor II
FF4	0.885	0.091
FF3	0.801	0.283
FF5	0.801	0.019
FF9	0.792	0.228
FF2	0.768	0.135
FF1	0.693	-0.067
FF10	0.500	0.429
FF7	0.029	0.902
FF8	0.068	0.899
FF6	0.175	0.813
Eigenvalue	4.570	2.109
Variance(%)	45.698	21.092
Cumulative(%)	45.698	66.790

비해 토양침식이 적게 발생되기 때문에 산사태 방지의 효과가 있으며, 산림토양층을 통과한 계류수는 1급수의 수질을 유지함으로써 수자원의 보호 기능도 있다. 또한 산림은 인간생활에 필요한 목재 등 각종 임산물을 생산하고 신체적 및 정신적 스트레스를 완화해주는 효과가 있다. 따라서 인간생활에 다양한 이익을 주기 때문에 이를 공익적 인자로 명명한다.

## (2) 요인 II : 보전적 요인

생물종다양성 유지, 서식처 제공 및 생태계 보전이 유형화되었다. 산림은 하나의 큰 생태계를 형성하고 있어 이들 내 생육하는 동·식물들의 서식처나 분포지를 제공함과 아울러 인간의 간섭이나 교란에 대한 완충지 역할을 하기 때문에 생태계 보전의 핵심지역이라고 할 수 있다. 또한 다양한 층위와 관속식물들이 생육함과 아울러 이들은 먹이사슬이 형성된 하나의 유기체이기 때문에 생물종다양성을 유지하는데 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 상기 요인을 보전적 인자로 명명한다.

## 3. 평가모형

생물적 요인의 경우 F-검정 결과  $F=6.840(p=0.000)$ , 무생물적 요인  $F=24.614(p=0.000)$ , 질적 요인  $F=5.067(0.002)$ , 기능적 요인  $F=11.352(p=$



Table 6. Assessment model on BF, AF, QF, and FF

Dependent variable	R <sup>2</sup>	F-value (Prob.)	Equation
BF	0.517	6.840 (0.000)	0.093*Factor I+0.300*Factor II+0.231*Factor III+0.240*Factor IV+0.170*Factor V+4.935
AF	0.584	24.614 (0.000)	0.427*Factor I+0.394*Factor II+3.553
QF	0.442	0.355 (0.002)	0.083*Factor I+0.349*Factor II+0.062*Factor III+0.021*Factor IV+0.214*Factor V+4.026
FF	0.393	11.352 (0.000)	0.463*Factor I+0.086*Factor II+3.763

0.000)로 나타났다. 따라서 추정회귀식의 기울기  $\beta=0$ 이라는 귀무가설을 기각하기 때문에 통계적 문제는 없는 것으로 생각된다. 전체 변동에 대한 설명력을 살펴보면, 생물적 요인은 51.7%, 무생물적 요인은 58.4%, 질적 요인은 44.2%, 기능적 요인은 39.3%로 관찰되었다(Table 6).

### 1) 생물적 요인

독립변수의 비표준화 회귀계수가 모두 양의 부호를 가지고 있기 때문에 독립변수와 종속변수간 인과관계는 비례적이라고 할 수 있다. 즉, 독립변수의 중요도가 높아질수록 종속변수인 생물적 요인의 중요도도 함께 증가한다는 것을 의미한다. 종속변수에 대해 가장 많은 영향을 미치는 것은 Factor II(상태적 요인)로써 비표준화 회귀계수 0.300을 나타내어 생물적 요인에서 가장 중요한 예측변수라고 할 수 있으며, t-검정 시 유의확률이 0.001로 나타나 통계적으로 유의하였다. 즉 최대종다양성지수, 종풍부도, 상대우점치, 종다양성지수가 생물적 요인 평가모형에서 큰 기여를 하는 지표로 간주되었는데 종풍부도, 최대종다양성지수, 종다양성지수가 높다는 것은 단위면적 당 개체수와 종수가 많다는 것으로써 식생이 안정되고 다양한 상태에 있다는 것을 의미하며, 상대우점치는 생태적 지위(niche)를 분석하여 종간 경쟁력과 세력권을 파악함으로써 종구성과 군락의 상태를 수치적으로 표현하기 때문에 이들은 식생의 안정성 및 다양성과 세력권의 양적 상태를 추정할 수 있

는 중요한 지표이다. 그 다음으로 높은 영향력을 가지는 것은 FactorIV(희소적 요인)로써 t-검정 시  $t=2.876(p=0.009<0.05)$ 로 나타나 통계적으로 유의한 독립변수로 판단된다. 상기 요인의 경우 개체수가 비교적 적은 희귀 및 멸종위기식물은 희소성이 높기 때문에 환경부 및 산림청에서 법적으로 지정·고시하여 보호하고 있다. 이들은 간섭이나 교란이 적은 건전한 자연생태계에서 출현하는 경우가 많기 때문에 보전등급 설정 시 직·간접적 영향을 주는 중요한 지표라고 사료된다. 따라서 생태계 평가 시 상태적 요인과 희소적 요인이 핵심적 역할을 할 것으로 기대되나 기타 요인들도 이들을 산출하기 위한 기초자료나 방법이 되기 때문에 평가대상이나 범위에 따라 탄력적으로 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

### 2) 무생물적 요인

독립변수와 종속변수의 인과관계에 있어서는 독립변수가 모두 양의 부호를 가지고 있기 때문에 비례관계에 있으며, 크기는 다른 조건이 불변할 때 Factor I(토양적 요인)이 1단위 증가하면 무생물적 요인은 0.427만큼 중요한 것으로 사료된다. 또한 종속변수에 대해 영향력을 많이 미치는 변수는 토양적 요인으로써 비표준화 회귀계수가 0.427이었고 그 다음이 Factor II(환경적 요인)로 0.394로 조사되었으며, t-검정 시 유의확률이 모두 0.000으로 나타나 통계적으로 유의하였다.

토양적 요인은 토양의 산성화 유무를 통한 산성비

등의 대기오염과의 관련성을 해석할 수 있고 총 인량과 총 질소량에 의한 토양산도는 식물의 활력에 영향을 주기 때문에 토양 평가 시 중요한 지표이다. 또한 토성은 식생형태, 종구성 등과 더불어 산사태나 토양 침식과 같은 산립 내 발생하는 자연재해와도 연관되기 때문에 생물과 무생물적 요인간 연결지표라고 할 수 있다. 따라서 이들은 무생물적 요인뿐만 아니라 생물적 요인과의 연계되기 때문에 차후 이들을 통합·해석한 모형개발이 요구되어진다.

### 3) 질적 요인

독립변수와 종속변수간 인과관계는 독립변수가 모두 양의 부호를 가지고 있어 이들 증가할수록 질적 요인의 중요도도 증가한다고 할 수 있다. 독립변수에 대한 t-검정에 있어서는 Factor II(비율적 요인)와 Factor V(건전적 요인)의 유의확률이 각각 0.000, 0.016으로 나타나 통계적으로 유의하다고 판단되었다.

종속변수에 대한 영향력이 가장 큰 예측변수는 비율적 요인으로써 비표준화 회귀계수가 0.349이며, 자연파괴도, 귀화율, 식생피복율이 여기에 속한다. 귀화식물로 추정되는 자연파괴도와 귀화율을 생태계의 자연성 유지와 같은 질을 평가하는데 유용한 지표로써 자연식생 군락 내 귀화식물의 침입 또는 이입을 수치적으로 해석할 수 있으며, 식생이 풍부한 지역은 식생피복율이 높기 때문에 생태학적 질이 양호하다는 것을 파악할 수 있다. 또한 이들의 정확한 해석을 위해서는 귀화식물과 같은 교란요소를 헤메로비등급 및 환경피해도와 접목시킴과 아울러 식생피복율은 토지이용형태와 관계를 확인함으로써 객관적이고 합리적인 평가결과를 도출시켜야 할 것이다.

그 다음으로 높은 영향력을 가지는 것이 건전적 요인으로써 현존식생과 임령을 통해 현재 형성되어 있는 식생대를 토지이용형태와 함께 평면적으로 구분함과 아울러 임령과 같은 시간적 매개변수를 적용시킴으로써 생태계의 질을 3차원적으로 해석하는데 유용한 모형이 될 것으로 사료된다.

### 4) 기능적 요인

독립변수의 비표준화 회귀계수가 모두 양의 부호를 가지고 있기 때문에 종속변수와 비례적 인과관계가 형성되었다. Factor I(공익적 요인)의 비표준화 회귀계수가 0.463으로 기능적 요인 평가에 높은 영향력을 보여 가장 중요한 예측변수임을 확인할 수 있었고 t-검정에서도 유의확률이 0.000으로 나타나 통계적으로 유의하였다.

공익적 요인의 경우 토양침식 방지, 산사태 방지, 방풍효과, 수자원 보호, 대기질 향상, 재화생산, 휴양 및 휴식제공 지표가 포함된다. 이들은 생태계가 인간 생활에 주는 유익한 기능으로써 인간이 생태계와 더불어 공생할 수 있는 개념이 적용된다고 할 수 있다. 즉, 생태계를 보전하고 평가하는 것은 생태계에 대한 원리와 개념을 해석하여 원래 상태를 유지하는 것뿐만 아니라 인간생활에 생태계를 이용하는데도 목적이 있다고 할 수 있다. 따라서 인간과 자연과의 공생 원리에 입각한 모형이라고 판단된다.

## IV. 결론

본 연구는 환경친화적인 국토보전을 위해 그 속에 형성되어 있는 자연생태계를 체계적이고 객관적으로 평가할 수 있는 중요도, 체계 및 모형을 제시함으로써 건전한 국토개발과 이용의 기초방법론 제공과 환경정책 수립에 대한 대안제시를 위해 수행되었다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

생물적 요인, 무생물적 요인, 질적 요인, 기능적 요인 등 4개의 평가항목을 선정하였고 생물적 요인에서는 밀도 등 총 20개, 무생물적 요인은 총 질소량 등 10개, 질적 요인은 헤메로비등급 등 총 16개, 기능적 요인은 재화생산 등 10개의 평가지표를 추출하였다.

전문가들이 중요하다고 판단한 평가항목은 생물적 요인이었고 평가지표에서는 생물적 요인의 경우 희귀 및 멸종위기식물, 무생물적 요인의 경우 유기물층, 질적 요인의 경우 경관의 다양성, 기능적 요인의

경우 생태계보전이 중요하다고 분석되었다.

평가지표의 특성에 따른 유형화 결과, 생물적 요인은 구조적 요인 등 6개 요인, 무생물적 요인은 토양적 요인과 환경적 요인, 질적 요인은 계급적 요인 등 5개 요인, 기능적 요인은 공익적 요인과 보전적 요인으로 체계화되었다.

생물적 요인의 경우 구조적 요인은 수고, 수관폭, 흉고직경, 우점도, 빈도, 피도, 군도를 이용한 평면적 식생구조 파악을 통해 정확한 구조 해석을 하기 위한 것이며, 식생의 내부 상태를 분석하기 위해서는 종풍부도, 최대종다양성지수, 종다양성지수, 상대우점치 등을 통해 식생의 구조 또는 구성의 상태를 확인하기 위한 것이다.

이는 평면적으로 산재되어 있는 식물종과 층위별 종 분포를 확인함으로써 구조나 상태 분석의 객관성을 향상시킬 수 있는 도구로 활용될 수 있으며, 희소적 요인은 간섭이나 교란이 적은 건전한 자연생태계에서 출현하는 경우가 많기 때문에 보전등급 설정 시 직·간접적 영향을 주는 중요한 지표군이라고 할 수 있다. 또한 자원적 요인은 자연생태계 내 분포하는 식물종들을 자원적 측면에서 해석함으로써 보전등급, 관리방안 등을 수립할 수 있을 것이다.

무생물적 요인은 식생형태, 구성, 활력과 같은 생물적 특성뿐만 아니라 산사태 등의 자연재해와도 연결되기 때문에 다각적 측면에서 중첩 해석을 하면 정확한 평가가 이루어질 것으로 사료된다.

질적 요인의 경우 계급적 평가에서 있어서는 환경 및 생태적 질을 계급화를 통해 세분화된 평가를 해야 할 것이며, 비율적 요인은 계급적 요인을 바탕으로 한 중첩 평가가 이루어진다면 보다 정밀한 평가가 될 것으로 사료된다. 또한 경관의 다양성, 식생형태 등을 거시적으로 분석함과 아울러 생물적 요인을 고려한 평가가 필요하며, 생태계를 악화시키는 영향에 대한 사전 감지나 사후 관리를 위해서는 회복적 요인에 대한 파악도 중요하다.

현존식생과 같은 평면적 구분과 임령의 시간적 구분을 중첩함으로써 3차원의 입체적 질을 파악하는

것으로 중요할 것으로 사료된다.

기능적 요인의 경우 공익적 요인은 토양침식 방지, 산사태 방지와 같은 인간생활에 유익한 기능이 유형화되었고 보전적 요인은 생물종다양성 유지와 같이 자연생태계를 유지하는 기능성 지표가 체계화되었다. 이는 보전 및 개발에 대한 정책적 틀을 제공함과 아울러 인간과 자연이 공생할 수 있는 개념을 확립시킬 수 있다고 판단된다.

생물적 요인 모형에 있어서는 상태적 요인이 가장 큰 영향력을 가지는 것으로 나타났는데 식생의 안정성 및 다양성과 세력권의 양적 상태를 추정할 수 있는 중요한 요인으로써 식생종 구성이나 구조를 해석할 수 있는 모형이라고 생각된다.

무생물적 요인 모형의 경우 토양적 요인이 가장 중요한 예측변수로 조사되었는데 생물과 무생물적 요인간 연결지표로써 식생과 토양이 연계되어 작용하기 때문에 통합·해석한 모형개발이 필요하다.

질적 요인 모형의 경우 비율적 요인이 가장 큰 영향력을 보이는 데 귀화식물의 침입에 따른 생태계의 자연성 및 식생피복율을 통한 생태학적 질을 파악함과 더불어 헤메로비등급, 환경피해도 및 토지이용형태를 접목시킴으로써 객관적인 모형개발이 요구되어진다.

기능적 요인 모형에 있어서는 공익적 요인이 가장 중요한 예측변수로써 인간이 자연생태계와 더불어 공생할 수 있는 개념이 적용되며, 자연생태계에 대한 원리와 개념을 인간생활과 연결시켜 이해하고자하는 것이다.

따라서 본 연구는 건전한 자연생태계를 유지, 관리 및 평가를 위한 기초자료 제공을 할 수 있다고 생각되며, 다각적인 생태계 보전방법에 이바지할 수 있을 거라고 생각된다. 또한 현실적인 적용을 위해서는 이들 중요도, 체계 및 모형을 기초로 하여 조경학, 경관생태학, 임학, 생물학 등 학제 간 연계가 필요할 것이며, 정확한 실측자료에 대한 데이터베이스를 구축함과 아울러 이를 중첩할 수 있는 시스템 즉, 생물자원 정보시스템(BRIS: Biological Resource

Information System), 생물환경도면(BEM: Biological Environment Map) 및 종합식생도면(IVM: Integrated Vegetation Map) 등의 통합적 방법론 개발이 중요할 것이다.

차후, 지속가능한 자연생태계 평가모형과 방법 개발을 위해서는 평가항목별 통합모형과 유형화가 이루어져야 할 것이고 지표의 가중치 적용, 언어변수의 불확실성을 극복하기 위한 퍼지이론 등의 도입을 통해 보다 객관적이고 실용적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- 김상오, 오광인, 1998, 무등산 도립공원의 사회·생태적 평가기준에 의한 현 운영상태의 평가와 관리방안, 한국조경학회지, 25(4), 107-122.
- 나정화, 류연수, 사공정희, 2001, 평가지표에 의한 도시 비오톱의 가치평가, 한국조경학회지, 29(1), 100-112.
- 윤여창, 김상윤, 권태호, 이창석, 1999, 지속가능한 산지개발을 위한 환경기준 설정에 관한 연구, 환경영향평가, 8(2), 53-63.
- 이동근, 전성우, 이상문, 2004, 토지환경성평가의 이론 및 기준·지도작성에 관한 연구, 한국환경복원녹화기술학회지, 7(1), 116-127.
- 이동근, 윤소원, 김은영, 전성우, 최재용, 2005, 보전가치평가를 위한 경관생태학적 지표의 활용 및 적용, 한국조경학회지, 32(6), 14-22.
- 정성관, 유주한, 2003, 자연환경 보전을 위한 통합 평가모형 -내셔널 트러스트 후보지 선정을 중심으로-, 환경영향평가, 12(2), 87-98.
- Bebi, P., F. Kienast, and W. Schönenberger, 2001, Assessing structures in mountain forests as a basis for investigation 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.
- Cowling, R.M., and M.J. Samways, 1995, Predicting global patterns of endemic plant species richness, Biodiversity Letters, 2, 127-131.
- Daubenmire, R., 1966, Vegetation: identification of typical communities, Science, 151, 291-298.
- Folke, C., C.S. Holling, and C. Perings, 1996, Biological diversity, ecosystem, and the human scale, Ecological Applications, 6(4), 1018-1024.
- Frissel, S.S., 1977, Judging recreation impacts on wildness campsite, Journal of Forestry, 76, 481-483.
- Glück, P., 2000, Policy means for ensuring the full value of forests to society, Land Use Policy, 17, 177-185.
- 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.

- 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.
- Louw, J.H., and M.S. Scholes, 2002, Forest site classification and evaluation: a South African perspective, *Forest Ecology and Management*, 171, 153-168.
- Martin, H., and J. Cornelis, 2000, Towards a monitoring method and a number of multifaceted and hierarchical biodiversity indicators for urban and suburban parks, *Landscape and Urban Planning*, 49, 149-162.
- Mendoza, G.A., and R. Prabhu, 2003, Qualitative multi-criteria approaches to assessing indicators of sustainable forest resource management, *Forest Ecology and Management*, 174, 329-343.
- Miller, J.N., R.P. Brooks, and M.J. Croonquist, 1997, Effects of landscape patterns on biotic communities, *Landscape Ecology*, 12, 137-153.
- Noss, R.F., 1990, Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach, *Conservation Biology*, 4(4), 355-364.
- Odum, E.P., 1969, The strategy of ecosystem development, *Science*, 164, 262-270.
- Onaindia, M., I. Dominguez, I. Albizu, C. Garbisu, and I. Amezaga, 2004, Vegetation diversity and vertical structure as indicators of forest disturbance, *Forest Ecology and Management*, 195, 341-354.
- Sidle, R.C., 1992, A theoretical model of the effects of timber harvesting on slope stability, *Water Resources Research*, 28(7), 1898-1910.
- Sukopp, H., 1980, Biotopkartierung in besiederten Bereich von Berlin, *Garten und Landschaft*, 80(7), 560-568.
- Sukopp, H., 2004, Human-caused impact on preserved vegetation, *Landscape and Urban Planning*, 68, 347-355.
- Thompson, S., K. McElwee, and J.T. Lee, 2001, Using landscape characteristics for targeting habitat conservation and restoration: a case study of ancient semi-natural woodland in the Chiltern Hills area of outstanding natural beauty, UK, *Landscape Research*, 26(3), 203-223.
- van Andel, T.R., 2003, Floristic composition and diversity of three swamp forests in northwest Guyana, *Plant Ecology*, 167, 293-317.
- Webster, G.L., 1961, The altitudinal limits of vascular plants, *Ecology*, 42(3), 587-590.
- Zebisch, M., F. Wechsung, and H. Kenneweg, 2004, Landscape response functions for biodiversity-assessing the impact of land-use changes at the county level, *Landscape and Urban Planning*, 67, 157-172.
- Zimmerman, J.C., L.E. DeWald, and P.G. Rowlands, 1999, Vegetation diversity in an interconnected ephemeral riparian system of north-central Arizona, USA, *Biological Conservation*, 90, 217-228.