

훼손지 유형에 따른 생태복원 평가방법 개발*

최재용¹⁾ · 이상혁²⁾ · 이솔애¹⁾ · 지승용¹⁾ · 이상훈²⁾

¹⁾ 충남대학교 산림환경자원학과 · ²⁾ 충남대학교 농업과학연구소

Evaluation Method Development for Ecological Restorations by Damaged Types*

Jaeyong Choi¹⁾ · Sanghyuk Lee²⁾ · Sol Ae Lee¹⁾ · Seung Yong Ji¹⁾ and Peter Sang-Hoon Lee²⁾

¹⁾ Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University,

²⁾ Institute of Agricultural Science, Chungnam National University.

ABSTRACT

It was required to evaluate ecological restorations in a comprehensive way in order to systematically manage conservation areas such as DMZ and national parks in South Korea. In this research we developed a new approach to evaluating ecological restorations with more various indexes than vegetation covering-related indexes. By analyzing damaged areas in the vicinity of DMZ, major damaged types were identified as six classes: landform modification, surface loss, soil pollution, soil physio-chemical modification, vegetation decline and vegetation damaged. From literature review, 39 indexes were selected and were grouped into four divisions: soil property, vegetation growth & structure, habitat property and landscape structure & functions. By conducting a survey with the selected indexes targeting relevant experts, data on relative importance among the divisions and indexes by damaged type were collected. As a result, it was found that the orders and values of weighted values of the divisions were different by damaged type: for example, soil property (0.402), vegetation growth & structure (0.209), habitat property (0.225), landscape structure & function (0.163) for “landform modification”; but soil property (0.171), vegetation growth & structure (0.401), habitat property (0.270),

* 본 연구는 환경부의 환경산업선진화기술개발사업에서 지원받았음.

First author : Jaeyong Choi, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University,
Tel : +82-42-821-5750, E-mail : jaychoi@cnu.ac.kr

Corresponding author : Peter Sang-Hoon Lee, Institute of Agricultural Science, Chungnam National University,
Tel : +82-42-821-7835, E-mail : shsnu337@cnu.ac.kr

Received : 11 January, 2016. **Revised** : 26 January, 2016. **Accepted** : 22 January, 2016.

landscape structure & function (0.158) for “vegetation decline”. Similarly, evaluation indexes showed different orders and values of relative importance, easiness in field measurement and representativeness for the division by damaged type, and the values were used for calculating importance factor for each index. In the evaluation table, score1 and score2 were made by the importance factors of indexes multiplied by distribution values which present grades and by the weighted values of divisions. In conclusion, while dealing with the damaged type was considered significant for evaluating and managing restorations, further tests on this table with a range of cases were needed to improve its quality.

Key Words : *Evaluation index, Ecological restoration, Landscape analysis, Sustainable monitoring, Restoration management.*

I. 서 론

우리나라는 국토의 60% 이상이 산림지역으로 구분되기 때문에(KFS, 2015), 생태복원의 대상지도 산림을 대상으로 하는 경우가 많다(Kim & Cho, 2004). 산림지역에서 발생하는 복원사업은 비탈면 복원, 식생 복원, 백두대간 생태축 연결사업 등 다양한 범위에 걸쳐서 시행되고 있고, 사업의 결과 또한 다양하였다. 단기적으로는 훌륭하게 완수된 사업 중에 장기적인 측면에서 지속성이 결여된 사업들도 있었으며, 너무 단순하게 조성이 되거나 주변과의 연계성이 고려되지 않아 생태적인 안정성 문제가 제기된 사업도 있었다(Moon et al., 2000; Kim et al., 2007). 복원사업의 질을 저하시키는 주요 원인으로서는 개별적인 복원 사업의 시행이나 주변으로부터의 지속적인 훼손 및 오염과 같은 사업 설계에서의 한계점과 더불어, 생태계 유형간 상호 연계성이나 산림과편화, 서식처의 기능과 다양성 등에 대한 고려의 부재로 파악되었다(You et al., 2009; Kim et al., 2009; Ki & Kim, 2012). 또한 친환경적 재료, 자재 및 공법에 대한 기준이 명확하지 않아 발생하는 점들은 온전한 생태복원을 정착시키기 위해 앞으로 해결해 나가야 할 문제로 인식되고 있다.

생태복원의 목적은 생물종의 재도입과 함께 훼손된 서식지도 교란 이전의 상태로 되돌려 생태계 전반의 건강성을 복원시키는 것으로(Bradshaw & Chadwick, 1980; Bradshaw, 1984; SER, 2004) 교란 이전 상태로 돌아가기 위해서는 적지 않은 시간과 비용이 투자되어야 한다. 따라서 완료된 사업이 장기적으로 효과를 유지하게 하는 것이 생태적인 측면뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 유익할 것으로 판단된다. 현재 국내와 국외에서 사용되고 있는 복원평가의 기준은 주로 사용되는 공법의 완성도나 서식지 수준의 평가에 초점을 맞추고 있다. 예를 들면, 현재 국내에서 개발되어 사용하고 있는 비탈면 녹화공법 평가지표는 국토해양부에서 2009년 개발된 지표로 현장 시험시공을 통하여 그 현장에 적합한 공법을 선정하기 위해 개발되었다(MLTMA, 2009). 그러나 여기서 사용되는 지표들은 도로 비탈면 녹화에 한정되어 사용되는 것으로 평가대상이 식생과 토양에만 한정되어 있고, 평가에 대한 기준이 과학적인 연구를 바탕으로 설정되지 않았기 때문에, 생태복원의 가치를 객관적으로 평가하기에는 미흡하다고 할 수 있다. 미국, 캐나다, 영국, 일본 등에서 생태복원사업 평가에 보편적으로 사용되는 서식지평가절차(Habitat Evaluation Procedure, HEP) (Schamberger & Krohn, 1982)는

생태복원을 서식지 중심으로 평가하기 때문에 인근 지역 개발가능성이나 경관의 연결성 등을 포함한 포괄적인 생태복원의 평가에는 적합하지 않은 것으로 판단되었다(Ro, 2010). 특히, 보전을 우선으로 하는 생물학적, 생태학적인 가치가 높은 것으로 평가되는 지역을 지속적으로 관리하기 위해서는 기존 평가체계에서 고려되지 않았던 요소들을 평가지표로 선별하는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 북한지역과 접하고 있는 DMZ (Demilitarized Zone) 및 인근 지역, 생태·경관 보전지역 및 산림보전지역 등 생태복원이 필수적으로 적용되어야 할 보전우선지역의 생태복원을 종합적인 관점에서 평가하고 장기적으로 유지·관리할 수 있는 방안을 도출해 내는 것을 목표로 하였다. 이를 위해서는 보전우선지역의 다양한 특성을 종합적이고 객관적으로 평가할 수 있고, 복원지의 생태적 건강성을 지속적으로 평가할 수 있는 평가지표를 개발이 필수적이었다. 또한 친환경적인 시공재료와 생태적인 복원 기술의 사용을 유도하는 평가기준의 뒷받침이 요구되었다. 따라서 본 연구에서는 Lee et al. (2015)의 연구방법과 결과에 이어서, 생태복원 사업지의 토양, 식생, 생육지 및 경관을 객관적으로 평가할 수 있으며, 실무자가 현장에서 손쉽게 평가할 수 있는 평가지표를 개발하고, 장기적인 모니터링에 유용한 평가체계를 제안하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 훼손지유형 분류

본 연구의 연구대상지를 정의하기 위하여 Lee et al. (2015)의 연구대상지인 DMZ 인근에서 얻어진 훼손 유형에 대한 정보를 분석하여 대표적인 훼손지유형을 추출하였다. 훼손지유형은 원지형훼손, 표층부유실, 토양오염, 토양이화학성변화, 식생쇠퇴, 식생훼손의 6가지로 구

분하였다. 본 연구에서 ‘원지형훼손’은 자연 재해 및 개발행위로 인해 기존의 지형이 깊이 50cm 이상 변형 또는 훼손된 경우, ‘표층부유실’은 자연 재해 및 개발행위로 인해 기존의 지형이 깊이 50cm 미만으로 변형 또는 훼손된 경우, ‘토양오염’은 유류 및 중금속 등에 의해 토양이 오염된 경우, ‘토양이화학성변화’는 농업 활동으로 토양이 변하거나 인간활동에 의해 토양 답압이 발생한 경우, ‘식생쇠퇴’는 자연적 또는 인위적인 행위 등에 의해 원 식생이 대부분 소멸한 경우, 그리고 ‘식생훼손’은 자연적 또는 인위적인 행위 등에 의해 원 식생의 구조가 변형된 경우로 정의하였다.

2. 1차 전문가 자문

토양, 식생, 경관분야의 전문가 각 2명을 대상으로 Lee et al.(2015)의 연구결과로부터 본 연구를 위해서 선정된 생태복원 평가지표들의 검토와, 본 연구에서 분류한 훼손지유형 별로 복원 사업을 평가하는데 적합한 지표들로 구성이 되었는지에 대한 전문가 자문을 실시하였다.

3. 설문조사 방법

전문가 자문 이후 확정된 생태복원 평가지표에 대한 전문가 의견을 수집하기 위해 2차 설문 조사를 실시하였다. 설문조사는 토양, 식생 및 경관 분야에 관련된 산림자원학, 조경학, 복원 사업 전문가 및 환경관련분야 전문가 총 83명을 해당하는 전문가들을 대상으로 한정하였으며, 설문에 대한 답안은 2015년 8월 12일부터 9월 15일까지 약 한 달에 걸쳐 수집되었다. 설문문항은 전체 전문가집단을 대상으로 하는 공통항목과 각 전문분야별 질문으로 나누어 구성하였다. 평가시기를 복원 직후부터 3년차까지의 복원 초기와 3년차 이후의 복원 후기로 크게 나누어 평가하는 시점에 따라 평가지표의 구성을 달리 하고자 하였다. 동일한 문항들에 대해 위에서 언급한 6가지 훼손지 유형별로 반복하여 답

변하도록 구성하였다. 평가지표들은 4개의 평가분야(토양환경, 식생 성장 및 구조, 생육환경, 경관 구조 및 기능)로 구분되었다.

설문문항에는 평가분야 사이의 상대적인 중요도, 각 전문분야(토양, 식생, 경관)별 평가지표의 상대적인 중요도, 평가지표별 현장측정 용이성과 평가분야에 대한 평가지표별 대표성에 대한 질문을 포함하고, 적절한 수치로 답을 하도록 구성하였다. 평가지표의 대표성은 각각의 평가지표 하나만 가지고 평가한다고 가정할 시 소속 평가분야를 어느 정도 대표할 수 있는지를 묻는 문항이었다. 상대적인 중요도는 양방향 5점 척도(총 9점 척도)로 구성하여 각 지표를 1:1로 비교평가 하였으며, 평가지표의 현장측정용이성과 대표성은 5단계 리커트척도(측정용이성: 1~5점, 대표성: 0~4점)로 평가하도록 구성하였다.

4. 설문조사 결과분석

설문조사 결과를 분석하여 평가분야의 가중치, 평가지표의 가중치, 평가지표의 현장측정용이성 및 대표성 그리고 평가지표의 중요도를 산출하였다. 평가분야와 평가지표의 가중치를 얻기 위해, Excel spreadsheet(Microsoft® Excel® 2013)를 이용한 계층분석(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 실시하였다. 설문에 대한 응답의 논리적인 일관성 유지를 위하여 일관성비율(Consistency Rate, CR)을 기준으로 하였다. 본 연구에서는 AHP분석을 위해 응답자 답변의 CR 값이 0.1 미만인 결과만을 분석대상으로 간주하였다(Lee, 2000). 각 지표의 현장측정용이성 및 대표성은 응답 결과의 전문가 분야별 평균값으로 산출되었다. 분석된 결과를 바탕으로 4개의 평가분야 및 각 분야에 속한 평가지표들로 이루어진 평가표를 구성하였다. 평가지표의 중요도는 평가점수를 산출할 때 훼손지유형별, 평가시기별로 중요한 평가 대상이 상이할 것으로 판단하여 적용하는 일종의 가중치로 평가지표의 대표성 값을 반올림하여 산출하였다. 약식 평가를

위한 평가지표들은 현장측정용이성과 대표성을 종합한 기준을 적용하여 도출하였다. 평가지표별로 평가배점을 명시하고, 평가결과에 대한 채점 방식을 제안하였다.

5. 2차 전문가 자문

설문조사의 결과와 결과를 바탕으로 개발된 평가표에 대해 토양, 식생 및 경관 분야의 전문가 6명을 대상으로 2차 전문가 자문을 실시하여 평가표에 포함될 최종 평가지표들을 확정하고, 평가표 구성방안 및 약식평가지표 도출 방안과 평가 방식에 대해 최종적으로 점검하였다.

III. 연구결과

1. 평가지표 선정

Lee et al. (2015)의 연구결과로 도출된 40개의 지표에 대해 전문가 자문을 실시하여 해당 지표들을 대상으로 재검토 후 유효한 지표들을 재선정하였다. 기존 연구결과에서 도출된 평가지표들 중 토양의 탄소함량, 탄소 교환능, 투수성, 생태통로 및 시계열분석 등은 생태복원의 적정성을 판단하는 지표로서의 필요성 및 평가의 용이성이 낮다는 평가에 따라 본 연구에서는 제외시켰다. 반면 가장자리 밀도지수, 가장자리 대비지수, 경관형태지수, 교목/아교목/관목/초본 층위개수를 추가하였다. 각 평가분야를 심도 있게 평가할 수 있도록 재구성하여 총 39개의 평가지표가 4개의 평가분야(Division)와 21개 평가세부분야(Sub-division)에 걸쳐 선택되었으며, 그 결과는 아래의 Table 1과 같이 정리되었다.

평가세부분야는 평가분야를 세분화하여 측정할 대상을 나타낸 것으로 평가지표와 직접적으로 연결되는 내용을 표기한 것이다. 평가지표 특성상 토양환경은 토양물리성과 토양화학성의 두 개의 평가세부분야로, 경관구조 및 기능은 경관연속성, 경관패치, 경계부-주변부의 세 개의 분야로 구분되었다.

Table 1. Collection of selected evaluation indexes from literature review and the resulting weighted values of the indexes by damaged type analyzed from expert survey (top indexes within a sub-division by damaged type in shade).

Division	Sub-division	Indexes	Damaged type*					
			A	B	C	D	E	F
Soil property	Physical property	Soil porosity (m ³ / m ³)	0.133	0.116	0.153	0.175	0.153	0.137
		Soil hardness	0.104	0.098	0.070	0.098	0.103	0.100
		Stability(No. of break / collapse points)	0.210	0.191	0.091	0.097	0.115	0.103
		Soil texture	0.085	0.080	0.197	0.119	0.096	0.103
		Soil depth	0.128	0.123	0.141	0.131	0.156	0.157
		Degree of slope	0.129	0.137	0.089	0.069	0.103	0.114
		Litter depth	0.086	0.140	0.084	0.152	0.119	0.109
	Chemical property	Stoniness content	0.049	0.050	0.089	0.063	0.053	0.064
		Soil moisture	0.076	0.064	0.086	0.095	0.101	0.113
		C.E.C	0.270	0.242	0.245	0.204	0.254	0.239
		Organic content	0.264	0.274	0.175	0.235	0.230	0.244
		Nitrogen	0.184	0.188	0.166	0.143	0.171	0.181
		Phosphorous content	0.142	0.135	0.150	0.145	0.155	0.156
		pH	0.139	0.161	0.265	0.273	0.190	0.179
Vegetation growth & structure	Target species management	No. and status of target species	0.157	0.149	0.151	0.144	0.160	0.155
	Species diversity	Shannon's species diversity	0.133	0.172	0.179	0.182	0.171	0.168
	Vegetation importance factor	Sum of density / Frequency / Coverage by species	0.128	0.142	0.147	0.151	0.149	0.167
	No. of species	No. of species	0.135	0.122	0.106	0.127	0.122	0.125
	Vegetation succession	Retgressive succession	0.150	0.139	0.128	0.103	0.138	0.141
	No. of species by layer	Dominance value by vegetation layer	0.120	0.080	0.106	0.097	0.105	0.086
	D.B.H	Mean D.B.H	0.042	0.039	0.042	0.045	0.034	0.035
	Height	Mean height	0.033	0.041	0.040	0.046	0.033	0.035
	Crown size	Mean crown size (including longest / shortest axes)	0.053	0.048	0.042	0.044	0.036	0.033
	Layering structure	No. of layer (Tall tree / short tree / shrub / grass)	0.048	0.069	0.060	0.063	0.052	0.056
Habitat property	Area	Restoration area	0.236	0.200	0.164	0.209	0.147	0.138
	Environmental similarity	Types and frequency of vegetation community	0.221	0.235	0.259	0.228	0.307	0.257
	Diversity	No. of topographical convex & concave	0.128	0.121	0.076	0.098	0.058	0.069
	Special condition	No. of cliff and wetland	0.137	0.099	0.110	0.106	0.072	0.079
	Disturbance	Area of physical damage	0.161	0.207	0.208	0.196	0.211	0.267
	Disease and pest	Presence of disease and pest	0.117	0.137	0.184	0.163	0.205	0.191
Landscape structure & function	Continuity	Connectivity index	0.477	0.447	0.414	0.389	0.415	0.358
		Landscape shape index	0.248	0.235	0.328	0.312	0.273	0.338
		Apparent landscape harmony	0.276	0.318	0.258	0.299	0.312	0.304
	Landscape patch	Patch size	0.443	0.353	0.335	0.270	0.326	0.276
		Shannon's landscape diversity	0.162	0.165	0.209	0.184	0.274	0.270
		No. of patch	0.249	0.264	0.211	0.247	0.186	0.194
	Boundary-edge	Landscape similarity index	0.146	0.218	0.245	0.299	0.214	0.260
		Edge density	0.575	0.585	0.452	0.498	0.543	0.654
	Edge contrast index	0.425	0.415	0.548	0.502	0.457	0.346	

* A: Landform modification; B: Surface loss; C: Soil pollution; D: Soil physio-chemical modification; E: Vegetation decline; F: Vegetation damaged

2. 설문결과 분석

개발된 평가분야와 분야별 평가지표들에 대해 토양, 식생 및 경관 분야로 구분된 총 83명의 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여, 66개 (80%)의 설문지를 회수하였고, 회수된 설문응답 결과를 분석하였다.

1) 평가분야 가중치

설문조사의 평가분야에 대한 상대적인 중요도 평가를 AHP 분석을 통해 각각의 평가분야에 대한 가중치를 산출한 결과는 Table 2와 같았다. 평가분야의 가중치는 훼손지유형별로 차이를 나타내었다(Table 2). 토양의 훼손이 직접적으로 발생하게 되는 원지형변형, 표층부유질, 토양오염 및 토양이화학성변화의 훼손지유형에서는 토양환경이 가장 중요한 평가분야로 분석된 반면, 토양의 훼손이 상대적으로 적거나 없고 지상에 존재하는 식생이 복원의 주요 대상인 식생쇠퇴와 식생훼손에 의한 훼손지유형에서는 식생 성장 및 구조에 대한 중요성이 다른 평가분야에 비해 월등히 높게 나타났다. 따라서 훼손지를 평가할 때 훼손의 원인과 상태를 파악하여 차별화된 평가를 실시하는 것이 생태복원의 근본적인 취지에 더 적합한 것으로 판단되었다.

2) 평가지표 중요도

평가분야의 가중치를 산출한 것과 같은 방식

으로 평가지표의 상대적 중요도를 산출한 결과를 바탕으로 각 평가분야별 평가지표의 유효성을 결정하여 최종 선정하였다(Table 2). 훼손지유형에 따라 토양물리성 세부분야에서는 지반 물리적 안정성, 토성, 토심 및 토양공극률이 중요도가 높은 평가지표로 나타나, 전체 아홉 개의 물리성 평가지표 중 네 개의 지표가 주요한 역할을 한 것으로 분석되었다. 토양화학성에서는 양이온치환용량, 유기물함량 및 pH가 중요한 평가지표로 인식되었다. 식생 성장 및 구조에서는 목표종 개체수 및 상태와 종다양성지수(Shannon's index)가 중요한 것으로 나타났고, 생물환경에서는 복원지 면적, 군락종류 및 빈도와 식해, 물리적 상해 면적이 중요한 것으로 평가되었다. 경관 연속성에서는 모든 훼손지유형에서 연결성 지수가 중요한 것으로 판단되었으며, 경관패치에서는 패치크기와 경관유사도지수의 중요성이 높게 나타났고, 경계부-주변부에서는 토양훼손과 관련된 유형을 제외하고는 가장자리밀도지수가 중요한 것으로 판단되었다. 전체적으로 보면 각 훼손지유형에 따라 평가분야별로 중요한 지표로 인식되고 있는 평가지표가 같지 않게 나타나, 훼손의 원인과 상태를 고려한 평가지표의 선정이 필요한 것으로 판단되었다.

3) 평가지표 평가용이성

각 평가지표에 대한 평가지표의 현장측정 용

Table 2. The resulting weighted values of each division by damaged type analyzed from expert survey (top divisions within a sub-division by damaged type in shade).

Division	Damaged type*					
	A	B	C	D	E	F
Soil property	0.402	0.445	0.532	0.472	0.171	0.157
Vegetation growth & structure	0.209	0.208	0.156	0.203	0.401	0.401
Habitat property	0.225	0.244	0.226	0.231	0.270	0.279
Landscape structure & function	0.163	0.103	0.085	0.094	0.158	0.163

* A: Landform modification; B: Surface loss; C: Soil pollution; D: Soil physio-chemical modification; E: Vegetation decline; F: Vegetation damaged

이성에 대한 전문가의 응답 결과는 Table 3에 정리되었다.

현장측정 용이성에 대해서 응답자들은 1에서 5점 사이에 점수를 부여하였기 때문에, 본 연구에서는 평균점수가 3점 이상인 경우를 측정하기 용이한 평가지표라고 해석하였다. 분석결과(Table 3)에 따르면, 토양환경 평가분야 중 토양 물리성에 속한 평가지표 대부분이 평가하기 쉬운 편으로 나타난 반면, 토양화학성의 경우, 전체적으로 현장에서의 평가는 간단하지 않은 것으로 드러났다. 식생생장 및 구조의 경우, 목표종 개체수 및 상태, 퇴행천이 여부 및 수종별 평균 수관폭과 같은 현장측정이 용이하지 않은 평가지표와 상대적으로 쉽게 측정 가능한 평가지표들이 혼재되어 있는 것으로 나타났다. 생육환경에 있어서는 복원지면적, 지형요철개수 및 절벽, 습지 등의 개소수가 측정하기 쉬운 평가지표로 나타났다. 경관구조 및 기능의 경우에는 주변경관과의 어울림 정도와 경관다양성지수가 현장측정이 용이한 것으로 나타났으나, 토양이 훼손된 경우에는 지상부에 드러난 현상들에 의존하여 분석을 해야 하는 경관구조 및 기능 평가분야의 특성상 현장에서의 평가는 전반적으로 용이하지 않은 것으로 분석되었다.

4) 평가지표 대표성

평가지표의 평가분야에 대한 대표성은 복원사업 후 모니터링 초기와 중장기로 구분되어 전문가의 응답을 요구하였고, 이를 분석한 결과는 위의 Table 3에 나타내었다. 응답 척도가 0에서 4점 사이였고, 점수대별 평가지표의 개수를 감안하여 상위 40%에 해당하는 평가지표를 대표 후보군에 포함시키고자 하였으나, 응답 결과의 최고값이 3.41(Types and frequency of vegetation community(군락 종류 및 빈도); Table 3)로 4.0에 많이 못 미치는 점을 고려하여 최종적으로 1.9점 이상을 획득한 지표들을 대표성이 있는 평가지표로 규정하였다. 토양환경 관련 평

가지표들의 대표성은 훼손지유형별로 다르게 나타났으나, 초기/중장기별로 비교하였을 때는 큰 차이를 보이지 않았다. 식생 생장 및 구조에서는 식생의 상태가 복원과 직접적으로 연관이 있는 훼손지유형과 그렇지 않은 유형 간에 대표성을 나타내는 평가지표 그룹이 차이를 나타내었다(Table 3). 내용적인 측면을 보면, 식생의 복원을 다루는 경우는 수고와 수관폭 및 층위구조도 중요한 의미를 갖는 반면, 생육기반이 훼손된 경우에는 식생의 생장보다는 생존율에 관계된 지표만으로도 식생에 대한 평가가 충분한 것으로 나타났다. 생육환경의 경우, 특수지형 및 서식환경의 복원은 원지형이 훼손된 경우에 중요한 평가지표로 분석되었으나, 병해충과 같은 2차적인 평가지표는 생육기반이 심하게 훼손되지 않은 유형의 평가 시에 의미가 있는 것으로 나타났다. 경관구조 및 기능에 있어서는 평가분야의 가중치를 나타낸 결과(Table 2)와 마찬가지로 토양훼손의 경우에는 지형훼손지나 식생훼손지의 복원보다 역할이 작은 것으로 나타났다(Table 3).

3. 평가표 구성

설문조사 결과를 분석하여 산출된 평가분야 가중치와 평가지표의 가중치, 현장측정용이성 및 대표성을 종합하여 훼손지복원 평가표를 구성한 결과 중 원지형훼손 복원사업에 대한 평가표는 다음의 Figure 1과 같다.

평가표는 크게 평가분야, 평가세분야, 평가지표, 평가배점과 평가결과관으로 구성하였고, 평가분야에 대한 가중치와 평가지표에 대한 중요도를 삽입하였다(Figure 1). 평가분야는 토양환경, 식생생장 및 구조, 생육환경, 경관구조 및 기능의 4개 분야로 구분하고, 각 평가분야에 대해 AHP 분석 결과로 얻어진 가중치를 훼손지유형별로 표기하였다. 각 평가지표에 대한 중요도는 훼손지유형별, 평가시기별 평가지표의 대표성을 근거로 산출하였다. 평가배점은 기존의 평가지

Table 3. 'Easiness in field measurement' and 'representativeness for the division' of the selected evaluation indexes by six damaged types.

Division	Index	Easi-ness	Damaged type*											
			A		B		C		D		E		F	
			a**	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Soil property	Soil porosity (m ³ /m ³)	1.67	3.00	3.00	3.07	3.20	1.87	2.33	2.47	2.87	2.53	2.47	2.13	2.33
	Soil hardness	4.53	2.93	3.00	2.93	2.87	1.67	1.87	2.07	2.33	2.40	2.27	1.80	2.13
	Stability(No. of break / collapse points)	2.13	2.87	2.47	2.60	2.53	1.40	1.57	1.33	1.60	1.73	1.87	1.60	1.73
	Soil texture	2.73	2.67	2.53	2.60	2.53	2.13	2.40	2.07	2.53	2.47	2.20	2.07	2.27
	Soil depth	3.87	2.53	2.53	2.67	2.87	1.87	2.20	1.80	2.40	2.20	2.47	2.00	2.60
	Degree of slope	4.40	2.47	2.27	2.47	2.40	1.20	1.40	1.40	1.47	1.73	1.60	1.40	1.67
	Litter depth	4.13	1.93	2.27	2.47	2.47	1.47	1.67	2.27	2.40	2.33	2.40	2.07	2.20
	Stoniness content	3.40	1.87	1.67	2.00	2.00	1.13	1.40	1.20	1.60	1.33	1.20	1.13	1.20
	Soil moisture	3.27	1.80	1.93	2.07	2.07	1.40	1.87	1.67	2.33	2.33	2.27	2.00	2.27
	C.E.C	1.60	2.47	2.47	2.53	2.80	2.67	2.67	3.07	3.00	3.07	2.87	2.93	2.80
	Organic content	2.20	2.47	2.80	3.07	3.20	2.67	2.53	3.13	3.13	3.33	3.20	3.07	3.13
	Nitrogen	1.87	2.47	2.47	2.33	2.40	2.87	2.73	2.87	2.93	2.87	2.73	2.73	2.80
	Phosphorous content	1.73	2.33	2.33	2.13	2.40	2.60	2.60	2.80	2.80	2.67	2.60	2.60	2.47
	pH	2.80	2.27	2.33	2.47	2.47	3.00	2.93	3.07	3.00	2.80	2.93	2.80	2.67
Vegetation growth & structure	No. and status of target species	2.88	2.71	3.12	2.71	2.88	2.47	2.88	2.59	3.06	3.18	3.18	2.94	3.29
	Shannon's species diversity	3.12	2.35	3.00	2.35	3.06	2.24	2.71	2.24	2.88	3.29	3.35	3.12	3.24
	Sum of density / Frequency / Coverage by species	3.29	2.35	2.94	2.41	2.88	2.18	2.65	2.47	2.76	3.12	3.29	3.00	3.18
	No. of species	3.53	2.24	2.88	2.24	2.76	2.06	2.41	2.18	2.88	3.12	2.88	2.82	3.12
	Retrogressive succession	2.24	2.18	2.71	2.35	2.65	2.29	2.59	2.12	2.76	3.18	3.18	2.94	2.82
	Dominance value by vegetation layer	3.24	2.12	2.53	2.24	2.76	2.06	2.41	2.06	2.47	3.12	2.88	2.82	2.76
	Mean D.B.H	4.35	1.76	2.29	1.88	2.24	1.47	1.94	1.94	2.24	2.65	2.82	2.24	2.65
	Mean height	3.53	1.59	1.94	1.65	1.88	1.35	1.65	1.76	2.12	2.53	2.59	2.12	2.47
	Mean crown size (including longest / shortest axes)	2.53	1.53	1.82	1.71	1.88	1.41	1.76	1.65	1.88	2.18	2.47	2.29	2.41
	No. of layer (Tall tree / short tree / shrub / grass)	3.35	1.41	2.12	1.65	1.88	1.35	1.59	1.47	1.94	2.41	2.35	2.24	2.47
Habitat property	Restoration area	3.65	2.65	2.47	2.71	2.53	2.18	2.12	2.12	2.06	2.53	2.65	2.65	2.47
	Types and frequency of vegetation community	2.94	2.59	2.71	2.59	2.59	2.59	2.53	2.65	2.88	3.41	3.41	3.29	3.35
	No. of topographical convex & concave	3.24	2.59	2.59	2.18	2.47	0.88	1.12	1.12	1.47	1.65	1.65	1.35	1.35
	No. of cliff and wetland	3.65	2.47	2.29	2.24	2.24	1.53	1.53	1.82	1.88	2.00	2.06	1.88	1.88
	Area of physical damage	2.76	2.35	2.47	2.18	2.82	2.00	2.41	2.29	2.59	2.76	2.94	2.88	2.88
	Presence of disease and pest	2.82	1.18	1.47	1.53	1.59	1.88	2.18	2.18	2.18	2.47	2.53	2.35	2.59
	Connectivity index	2.40	3.00	3.00	2.20	2.20	1.60	1.40	1.70	1.60	2.50	2.50	2.80	3.00
Landscape structure & function	Landscape shape index	2.70	2.80	2.80	1.60	1.70	1.10	1.20	1.70	1.50	1.90	2.30	2.30	2.50
	Apparent landscape harmony	3.40	2.70	2.70	2.00	2.00	1.20	1.40	1.60	1.60	2.50	2.30	2.70	2.20
	Patch size	2.80	2.90	3.20	2.30	2.40	1.30	1.70	1.30	1.60	2.60	3.00	2.70	2.90
	Shannon's landscape diversity	3.40	2.60	2.60	1.70	2.20	1.60	1.80	1.30	1.70	2.70	2.80	2.40	3.00
	No. of patch	2.90	2.50	2.80	2.00	1.90	1.20	1.70	1.20	1.50	2.10	2.60	2.50	2.50
	Landscape similarity index	2.70	2.20	2.50	1.70	2.20	1.50	1.80	1.40	1.80	2.40	2.20	2.40	2.40
	Edge density	2.70	2.90	2.60	2.30	2.30	1.90	1.70	1.50	1.60	2.80	2.80	2.60	2.90
Edge contrast index	2.30	2.90	2.60	2.30	2.30	2.10	1.70	1.70	1.60	2.30	2.60	2.30	2.80	

* A: Landform modification; B: Surface loss; C: Soil pollution; D: Soil physio-chemical modification; E: Vegetation decline; F: Vegetation damaged

** Evaluation period: a - within 3 years after restoration, b - more than 3 years after restoration

Info		Development title			Score1							Score2	
		Plot no.			(I.F. x distribution)							(Score1 x Weight)	
Division	Weight	Sub-division	Index	I.F.	Distribution	-3	-2	-1	0	1	2		3
Soil property	0.402	Physical property	Stability (No. of break/collapse spots)	3	Compared to the last Less than 30%(1) 30~80(0) over 80(-1)								
			Soil porosity (m ³ /m ³)	3	Over 0.5(1) 0.4~0.5(0) less than 0.4(-1)								
			Degree of slope	2	Less than 30 degree(1) 30~60(0) over 60(-1)								
			Soil depth	3	Over 100 cm(1) 50~100(0) less than 50(-1)								
			Soil hardness	3	11~23mm(1) 23~27(0) less than 11/over 27(-1)								
			Litter depth	2	Compared to surrounding natural forest over 80%(1) 80~30(0) less than 30(-1)								
			Soil texture	3	Sandy/silt loam(1) others(0) Sand/clay(-1)								
			Soil moisture	2	0.5~5%(1) 5~8(0) less than 0.5/over 8(-1)								
		Chemical property	Stoniness content	2	10~20%(1) 5~10/20~50(0) less than 5/over 50(-1)								
			C.E.C	2	Over 20Cmol/kg(1) 6~20(0) less than 6(-1)								
			Organic content	2	Over 5%(1) 3~5(0) less than 3(-1)								
			Nitrogen	2	Over 0.12%(1) 0.06~0.12(0) less than 0.06(-1)								
			Phosphorous content	2	Over 200mg/kg(1) 100~200(0) less than 100(-1)								
		pH	2	5.5~7(1) 7~8(0) less than 5.5/over 8(-1)									
Vegetation growth & structure	0.209	Target species management	No. and status of target species	3	Compared to the target over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
		Vegetation succession	Retregressive succession	2	Compared to the last evaluation good(1) no difference(0) bad(-1)								
		No. of species	No. of species	2	Compared to the target native sp.: over 80%(1) 60~80(0) less than 60(-1) invasive sp.: less than 1(1) 1~2(0) over 3(-1) protected sp.: over 80%(1) 60~80(0) less than 60(-1)								
		Species diversity	Shannon's species diversity	2	Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 70~90(0) less than 70(-1)								
		Vegetation importance factor	Sum of density/Frequency/coverage by species	2	Compared to surrounding natural forest over 80%(1) 80~30(0) less than 30(-1)								
		No. of species by layer	Dominance value by vegetation layer	2	Compared to the target over 80%(1) 60~80(0) less than 60(-1)								
		Crown size	Mean crown size (including longest/shortest axes)	2	Compared to the last evaluation over 120%(1) 80~120(0) less than 80(-1)								
		Layering structure	No. of layer (Tall tree/short tree/shrub/grass)	1	Over 4(1) 2~3(0) less than 1(-1)								
		D.B.H	Mean D.B.H	2	Compared to the last evaluation over 120%(1) 80~120(0) less than 80(-1)								
		Height	Mean height	2	Compared to the last evaluation over 120%(1) 80~120(0) less than 80(-1)								
Habitat property	0.225	Area	Restoration area	3	Compared to restoration area over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
		Environmental similarity	Types and frequency of vegetation community	3	Compared to surrounding natural forest over 80%(1) 60~80(0) less than 60(-1)								
		Disturbance	Area of physical damage	2	Of restoration area less than 10%(1) 10~30(0) over 30(-1)								
		Special condition	No. of cliff and wetland	2	Compared to the target over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
		Diversity	No. of topographical convex & concave	3	Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
		Disease & pest	Presence of disease and pest	1	Less than 1(1) 1~2(0) over 3(-1)								
Landscape structure & function	0.163	Continuity	Connectivity index	3	Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
			Landscape aesthetic	3	Compared to surrounding natural forest good(1) no distinction(0) bad(-1)								
			Landscape shape index	3	Compared to the last evaluation over 100%(1) 80~100(0) less than 80(-1)								
		Patch	Patch size	3	Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
			No. of patch	3	Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
			Shannon's landscape diversity	3	Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 70~90(0) less than 70(-1)								
			Landscape similarity index	2	Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
		Boundary-edge	Edge density	3	Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)								
Edge contrast index	3		Compared to surrounding natural forest over 90%(1) 80~90(0) less than 80(-1)										

Type: Landform modification

Figure 1. An example of the evaluation table for the restoration of "Landform modification", one of the six damaged types.

Table 4. Importance factors of evaluation indexes for ecological restorations by damaged type. The weighted values of each division are available in Table 2.

Division	Weight	Index	Damaged type*					
			A	B	C	D	E	F
Soil property	(See Table 2)	Stability (No. of break / collapse spots)	3	3	3	3	3	3
		Soil porosity (m ³ / m ³)	3	3	3	3	3	3
		Degree of slope	2	2	2	2	2	2
		Soil depth	3	3	3	3	3	3
		Soil hardness	3	3	3	3	3	3
		Litter depth	2	2	2	2	2	2
		Soil texture	3	3	3	3	3	3
		Soil moisture	2	2	2	2	2	2
		Stoniness content	2	2	2	2	2	2
		C.E.C	2	3	3	3	3	3
		Organic content	2	3	3	3	3	3
		Nitrogen	2	2	2	2	2	2
		Phosphorous content	2	2	2	2	2	2
		pH	2	2	2	2	2	2
		Vegetation growth & structure	(See Table 2)	No. and status of target species	3	3	3	3
Retrogressive succession	2			2	2	2	2	2
No. of species	2			2	2	2	2	2
Shannon's species diversity	2			2	2	2	2	2
Sum of density / Frequency / coverage by species	2			2	2	2	2	2
Dominance value by vegetation layer	2			2	2	2	2	2
Mean crown size (including longest / shortest axes)	2			2	2	2	2	2
No. of layer (Tall tree / short tree / shrub / grass)	1			2	2	2	2	2
Mean D.B.H	2			2	2	2	2	2
Mean height	2			2	2	2	2	2
Habitat property	(See Table 2)	Restoration area	3	3	3	3	3	3
		Types and frequency of vegetation community	3	3	3	3	3	3
		Area of physical damage	2	2	2	2	2	2
		No. of cliff and wetland	2	2	2	2	2	2
		No. of topographical convex & concave	3	2	2	2	2	2
Landscape structure & function	(See Table 2)	Presence of disease and pest	1	2	2	2	2	2
		Connectivity index	3	2	2	2	2	2
		Landscape aesthetic	3	2	2	2	2	2
		Landscape shape index	3	2	2	2	2	2
		Patch size	3	2	2	2	2	2
		No. of patch	3	2	2	2	2	2
		Shannon's landscape diversity	3	2	2	2	2	2
		Landscape similarity index	2	2	2	2	2	2
		Edge density	3	2	2	2	2	2
		Edge contrast index	3	2	2	2	2	2

* A: Landform modification, B: Surface loss, C: Soil pollution, D: Soil physio-chemical modification, E: Vegetation decline, F: Vegetation damaged

침서(Kim & Cho, 2004; MLTMA, 2009; Ro, 2010)를 참고하여 구성하였다. 평가점수를 산출하는 방식은 각 평가지표의 평가배점에서 가장 적합한 수준을 -1, 0, 1 중에서 선택하고 이것을 해당 지표의 중요도 값과 곱하여 1차 평가점수(평가점수 1)를 산출하도록 하였다(Figure 1). 그리고 필요에 따라서 관련 평가분야의 가중치를 곱하여 2차 평가점수(평가점수 2)를 산출함으로써, 전체 평가지표의 경중을 판단하는데 도움을 줄 수 있도록 구성하였다. 평가점수 1의 경우, 최고 중요도(3)와 곱해진 값을 -3점부터 3점 사이에 해당하는 칸에 표기하도록 함으로써, 0점을 기준으로 +점수와 -점수로 나뉘어 개선해야 할 항목이 시각적으로 인지되도록 처리하였다. 평가점수 1과 평가점수 2는 낮을수록 우선적으로 고려해야 할 사항임을 정량적으로 나타내는 것으로, 추후 장기적인 모니터링 시 동일 평가지표의 변동사항을 용이하게 추적하고 개선 정도를 파악하는데 유용할 것으로 판단되었다.

평가지표의 현장측정용이성과 대표성의 점수 분포를 고려하여, 현장측정용이성이 3점 이상인 면서 대표성이 2점 이상인 평가지표들을 간이 평가 시에 사용될 약식평가지표로 최종 선발하였고, 해당 지표들은 Figure 1에 음영으로 표시하였다. 설문조사 분석 결과, 약식평가지표의 적합성은 평가시기에 따른 차이가 거의 없어 어느 한 시기라도 평가에 필요한 것으로 나타난 지표들을 모두 포함하여 시기 구분 없이 약식평가지표를 표기하였다. 실제로 현장에서 간이 평가를 실시할 경우에는 약식 평가지표들로만 구성된 평가표를 이용할 수 있도록 고안하였으나, 결과에는 따로 구분하지 않았다. 각 훼손지 유형별 평가표는 기본적으로 같은 평가지표들에 대해 가중치를 달리하여 평가하는 것으로 평가방법 상에 차이가 없어 나머지 훼손지 유형에 대한 평가표는 설명을 생략하였다. 본 연구에서 수집된 평가지표들(Figure 1)을 대상으로 Table 4에 정리된 각 훼손지유형별 중요도(I.F.)를 대

입하면 훼손지유형별 평가표를 구성할 수 있다.

평가표 구성에 대한 최종결과(Figure 1)는 2차 전문가 자문을 통하여 최종적으로 검토하였으며, 다양한 현장에의 시험적용을 통하여 추가적인 수정 보완 사항에 대한 고찰이 필요하다는 의견을 받았다. 본 연구에서 개발된 평가표를 몇 개소의 복원사업지에 시험적용 해 본 결과, 각 평가지표에 따라 평가를 하고 평가점수를 산출하는 것에 있어서는 문제점이 발견되지 않았다. 하지만, 평가결과의 정성적인 판단에 있어서는 선행 평가결과의 부재로 한계가 있어 추가적인 시험적용과 비교평가가 필요한 것으로 판단되었다.

IV. 결 론

현재 복원사업의 평가에 사용되고 있는 평가표는 유관 기관에서 자체적으로 개발하여 사용하고 있는데, 평가지표가 토양과 식생에만 한정되어 있어 생태복원에 대한 세밀한 평가가 부족하고 주변 경관과의 연계성이 고려되지 못하고 있다. 본 연구의 목적은 보전을 우선시하는 지역에서 실시된 생태복원사업을 대상으로 훼손 발생의 원인에 따라 구분하여 차별화된 평가가 가능하고, 기존에 사용되지 않던 평가지표들 중 경관평가 부분에 유익한 지표들을 추가하여 종합적인 평가가 가능하며, 지속적인 모니터링 수행에도 이용이 가능한 평가표를 개발하는 것이었다. 훼손지유형을 원지형훼손, 표층부유실, 토양오염, 토양이화학성변화, 식생쇠퇴 및 식생훼손의 6가지로 구분하였고, 평가지표들은 토양환경, 식생생장 및 구조, 생육환경 및 경관구조 및 기능의 4개 평가분야로 구분하여, 각 분야의 전문가를 대상으로 평가분야와 평가지표에 대한 전문가 의견을 수집하였다. 전문가 의견을 바탕으로 총 39개의 평가지표를 확정하였고, 수집된 결과를 분석하여 평가분야와 평가지표에 대한 가중치, 평가지표의 현장측정용이성 및 대표성

에 대한 값을 산출하였다. 간이평가에 유용한 평가지표를 선별하여 약식평가지표를 도출해 내었다. 평가지표의 중요도와 평가분야의 가중치를 고려하여 최종적인 평가점수를 산출하도록 평가표를 구성하였다.

본 연구는 훼손지유형별로 평가분야의 가중치와 평가지표의 중요도를 차별화하여 적용함으로써, 복원지의 상황에 따른 능동적인 맞춤형 평가가 가능한 평가방안을 마련하였다는데 의의가 있다. 훼손지유형에 따라 평가지표에 대한 가중치가 다르게 측정됨으로써, 복원사업 시에 훼손유형에 대한 고려가 상당히 의미 있는 것으로 판단되었다. 또한 종합적인 평가가 가능하도록 평가지표가 구성되었기 때문에, 장기적인 모니터링에도 유용하여 동일한 평가시스템 상에서 복원사업평가와 후속 모니터링작업이 자연스럽게 연계되어 복원지 관리에 도움이 될 것으로 평가되었다. 하지만, 복원사업 직후와 복원작업이 어느 정도 안정되었을 것으로 예상되는 3년 이후의 시기에 유의한 평가지표들은 큰 차이가 없어 평가시기에 따라 평가표를 다르게 구성하지는 않는 것으로 결정하였다. 본 연구에서 개발된 훼손지유형별 평가표의 적용을 위해서는 평가표를 다양한 종류의 훼손지에 시험 적용함으로써 수정·보완이 필요한 것으로 판단되었다. 또한 복원사업 목표와 계획을 정밀하고 타당하게 수립하기 위해 복합적인 훼손 유형이 나타나는 지역의 유형판별 기준도 추가적인 연구를 통하여 마련되어야 할 것으로 판단되었다.

References

- Bradshaw A. D. & J. Chadwick. 1980. The restoration of land. Oxford: Blackwell.
- Bradshaw A. D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice. Landscape Planning, 11: 35-48.
- KFS. 2015. Statistical Yearbook of Forestry Vol. 45. Korea Forest Service, Daejeon, Korea.
- Ki K and Kim J. 2012. Monitoring of plant community structure change for four years (2007~2010) after riparian ecological restoration, Nakdonggang(river). Korean Journal of Environment and Ecology, 26(5): 707-718. (in Korean)
- Kim GG and Cho DK. 2004. The principles of natural environment & ecological restoration. Seoul: Academybook. pp. 63. (in Korean)
- Kim IH · Ahn DM · Lee JY · Kim CK and Kim SJ. 2009. Development and application of a community involvement program for ecological restoration of Baekdudaegan - pilot project of alpine vegetable garden in Anbandaegi, Gangneung. Proceeding of symposium of the Korean Society for Environmental Education, p. 39-45. (in Korean)
- Kim N · Song H · Park G · Jeon G · Lee S and Lee B. 2007. An analytical study on the revegetation methods for highway slopes. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 10(2): 1-15. (in Korean)
- Lee CH. 2000. Group decision making. Sejong Books. Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee PS · Lee S · Lee SA and Choi J. 2015. Development of Evaluation Indices for Ecological Restoration of Degraded Environments near DMZ in the Republic of Korea. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 18(1): 1-17. (in Korean)
- MLTMA. 2009. Engineering guide to the greening system for road-slope. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

- Sejong, Korea. (in Korean)
- Moon SK · Koo BH and Nam SJ. 2000. View and Subjects on the Settling the Area of Ecological Restoration in Korea. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 4(1): 67-79. (in Korean)
- Ro BH. 2010. How to evaluate the success of ecological restoration? - Focussing on goal setting and habitat evaluation, Environment Forum, 14(10): 1-8. (in Korean)
- Schamberger M. & W. B. Krohn. 1982. Status of the habitat evaluation procedures. US Fish & Wildlife Servicem, US Fish & Wildlife Publications, University of Nebraska-Lincoln.
- SER. 2004. Science and Policy Working Group, Society for Ecological Restoration(SER). Restoration & Management Notes, 16: 46-50.
- You B · Jeon G · Shim J and Jang H. 2009. Application on environment-friendly vegetation countermeasures in expressway. Korean Geo-Environmental Conference 2009, p. 58-69. (in Korean)