

생태복원용 식물종 선정을 위한 지표의 중요도·우선순위^{1a}

성정원² · 신현탁³ · 유승봉⁴ · 박석곤^{5*}

Importance and Priority of Indicators for Selection of Plant Species for Ecological Restoration^{1a}

Jung-Won Sung², Hyun-Tak Shin³, Seung-Bong Yu⁴, Seok-Gon Park^{5*}

요약

생태복원은 생태계의 건강성과 지속성에 있어 생물다양성의 손실을 막을 수 있는 좋은 수단으로 인식되어 있으나 식물종 선정에 관한 환경, 생리·생태요인, 복원목표 설정 등 종합적이고 객관적인 기준점이 없어 실행에 옮기는데 애로사항이 있다. 이에 전문가 그룹의 의견을 종합하는 델파이 기법을 활용하여 생태복원용 식물종을 선정하는데 필요한 평가지표를 개발하였다. 생태복원 등의 전문가를 대상으로 2회에 걸쳐 38부의 설문조사를 시행하여, 복원 대상지를 내륙과 도서 지역으로 나눠 평가지표의 중요도와 우선순위를 분석했다. 중요도 분석 결과, ‘자생식물’이라는 평가지표가 내륙과 도서 지역에서 모두 평균 4.9로 가장 높았다. 다음 ‘종자확보’, ‘증식’, ‘활착률’ 순으로 높았다. 내륙의 지표 우선순위는 ‘자생식물’, ‘출현빈도’, ‘활착율’, ‘분포범위’, ‘종자확보’로 도서 지역은 ‘자생식물’, ‘활착율’, ‘출현빈도’, ‘분포범위’, ‘내성’ 순으로 나타났다. 중요도와 우선순위 분석을 수행한 결과 ‘내륙의 중요도 평균값은 4.1, 우선순위 2.9로 도서지역은 중요도 평균값은 4.2, 우선순위 2.9로 기준을 설정하였다. 생태복원용 식물종 선정의 중요도와 우선순위는 ‘자생식물’이 중요도와 우선순위가 가장 높은 것으로 나타났다. 다음은 ‘종자확보’, ‘활착율’, ‘지형’, ‘증식’, ‘내성’, ‘토양조건’, ‘생육특성’, ‘천이초기’, ‘분포범위’, ‘출현빈도’, ‘발아율’이 중요도와 우선순위가 낮은 하위 그룹으로 분류되었다. 가장 낮은 지표는 ‘천이 최종단계’, ‘천이장기’, ‘천이중기’, ‘뿌리’, ‘번식’, ‘토양’, ‘성상’, ‘기술’, ‘경관’, ‘기후’, ‘발아율’로 구분되었다. 이에, 생태복원용 식물종 선정을 위해 객관적 검증을 통한 생태복원용 자생식물 종 선정을 위한 평가지표로 복원사업에 활용되기를 기대한다.

주요어: 분포범위, 자생식물, 종자확보, 출현빈도, 활착율

ABSTRACT

Ecological restoration is considered a good means to prevent biodiversity loss in terms of the ecosystem's health and sustainability. However, there are difficulties in putting it into practice as there is no comprehensive and objective standard for the selection of plant species, such as environmental, ecological factors, and

1 접수 2022년 2월 28일, 수정 (1차: 2022년 5월 4일), 게재확정 2022년 5월 16일
Received 28 February 2022; Revised (1st: 4 May 2022); Accepted 16 May 2022

2 국립한국농수산대학교 조경학과 조교수 Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Republic of Korea (onsulove2036@korea.kr)

3 국립수목원 연구기획팀 National Arboretum, Pocheon 11186, Republic of Korea

4 수원시 화랑조경공사 Hwarang Landscape Company, Suwon 16630, Republic of Korea

5 국립순천대학교 산림자원·조경학부 교수 Suncheon National University, Suncheon 57922, Republic of Korea

a 본 논문은 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2020206A00-2022-BA01)의 지원으로 이루어졌음

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-61-750-3876, Fax: +82-61-753-3205, E-mail: sgpark@scun.ac.kr

restoration goal setting. Therefore, this study developed an evaluation index necessary for selecting plant species for restoration using the Delphi method that synthesizes the opinions of the expert group. A survey with 38 questionnaires was conducted twice for experts in ecological restoration, etc., and the importance and priority of evaluation indicators were analyzed by dividing the restoration targets into inland and island regions. The result of the importance analysis showed that “native plants” had the highest average of 4.9 among the evaluation indices in both inland and island regions, followed by “seed security”, “propagation”, and “root growth rate”. In the inland region, the index priority was analyzed in the order of “native plants”, “appearance frequency”, “root growth rate”, “distribution range”, and “seed security” in the island region, it was analyzed in the order of “native plants”, “root growth rate”, “appearance frequency”, “distribution range”, and “tolerance”, showing slight differences between the two indicators. As a result of the importance and priority indicator analysis, we set the mean importance and priority of 4.1 and 2.9, respectively, in the inland region and 4.2 and 2.9, respectively, in the island region. As for the criteria of selecting plant species for ecological restoration, the “native plants” had the highest importance and priority. “Seed securing”, ‘viability’, “topography”, “proliferation”, “tolerance”, “soil conditions”, “growth characteristics”, “early succession”, “distribution range”, “appearance frequency”, and “germination rate” were classified into subgroups of low importance and priority. The lowest indicators were “final stage of succession”, “transition period”, ‘transition stage’, “root”, “reproduction”, “soil”, “appearance”, “technology”, “landscape”, “climate”, and “germination rate”. We expected that the findings through objective verification in this study would be used as evaluation indicators for selecting native plant species for ecological restoration..

KEY WORDS: DISTRIBUTION RANGE, NATIVE PLANTS, SEED SECURING, FREQUENCY, SURVIVAL RATE

서론

생태복원은 생태계의 건강성과 지속성에 있어 이것을 회복하거나 촉진하려는 행위이며(Society for Ecological Restoration, 2004), 생물다양성 손실을 막을 뿐만 아니라 생태계 서비스 제공을 늘리는 유효한 전략으로 인식되고 있다. 또한, 훼손된 지역의 정상적인 천이를 촉진함으로써 다양한 식물종이 출현하고 구성되는 본래의 생태계와 유사한 기능을 갖추게 된다(Stuart, 2012).

우리나라 생태복원과 관련된 법률은 산림보호법 등 총 12개로 행정기관으로 국토교통부, 환경부, 산림청 등 여러 기관이 있다. 특히, 생태복원에 대한 신속하고 효율적인 대응은 물론 행정기관마다 생태복원의 목표와 방향성에 차이가 있다. 이를 개선하기 위해서는 식물종 선정에 관한 기본 원칙을 반드시 설정하고 종합적인 계획 수립이 필요하다. 이와 함께 훼손지 발생의 원인 및 유형별 주변 여건과 생육 특성을 면밀히 분석하여 생태복원용 소재 선정이 선결되어야 한다. 그 다음 식물종에 대한 환경요인과 생리·생태요인 및 복원목표에 대한 종합적 분석이 진행된다면 복원의 시간

단축과 함께 사업의 완성도를 높여주는 중요한 수단이 될 수 있다.

생태복원의 효율성과 객관적인 근거를 마련하기 위해 학계에서는 생태복원과 관련한 지속적 연구를 수행 중이다. 그 결과 생물종다양성을 지표로 동·식물의 종 다양성의 개체 수, 서식처의 크기 및 동태분석 등 종의 구성 변화(Waltz *et al.*, 2004; Siddig *et al.*, 2016)와 식생 구조를 지표로 수목 밀도, 수관폭, 수고 등 측정(Matthews *et al.*, 2009; Piqueray *et al.*, 2011) 그리고 생태학적 측면의 지표로 토양 경도, pH 등 비생물학적 요소(Andres *et al.*, 2006; Velasquez *et al.*, 2007; Cui, 2009; Ruiz-Jaen *et al.*, 2005)의 연구가 수행되었다.

생태계가 중요시되는 남·동해 도서 지역에서는 관속식물상과 식생을 조사하여 상록활엽수인 붉가시나무, 참가시나무, 후박나무, 구실갯밤나무 등이 복원사업에 활용이 가능한 식물 종으로 제시하였다(Kim and Oh, 1997). 또한, 이를 바탕으로 생물다양성 보전을 고려한 생태학적 군락식재(Miyawaki, 1999, Oh and Kim, 2009)와 해안방풍림 식재(Kim, 2011) 등 훼손지의 잠재자연식생을 조사 및 식재, 관리방법을 제시되었으나 현재까지 훼손지 특성에 따라 생

태복원용 식물종 선정에 관한 식물의 환경, 생리·생태특성을 고려한 지표개발 연구는 보고된 바 없다.

본 연구에서는 다수의 전문가 의견을 반영하여 객관성과 신뢰성을 높이는 델파이 기법을 적용하여 생태복원용 식물종을 선정하는데 필요한 지표를 개발하였다. 델파이 기법의 장점은 전문적인 판단을 모으는데 합리적인 방법이며, 피드백과 익명성이 핵심적인 특징으로 잘 알려져 있다(Noh, 2006). 또한, 개인보다 다수 전문가의 의견을 수렴한 예측이 더 객관적인 장점이 있어 특정 주제의 체계적으로 합의와 의사결정에 유용하게 활용된다(Park, 2013). 또한, 객관화된 평가지표 연구를 통해 우리나라 행정기관별 생태복원사업의 분산된 방향성과 목표 설정의 기준점을 제시하는데 의미가 있다.

따라서 본 연구에서는 전문가 그룹의 의견을 종합하여 델파이기법을 이용한 생태복원용 식물종을 선정하는데 필요한 평가지표를 개발하여 효율적인 생태복원사업이 수행될 수 있는 자료를 제공하는데 목적이 있다.

연구방법

1. 설문 대상자 선정 및 설문 절차

통상 델파이기법의 설문은 연구 주제에 관한 풍부한 전문성을 가진 자나 연구 분야의 저술이나 논문에 뛰어난 업적이 있는 자로 대개 10년 이상의 해당 분야 경력이 있어야 한다(Global Futures Studies Association, 2014). 설문 대상은 연구 및 교육 경력이 최소 8년 이상으로 전문성이 있는 국내 식물·생태·복원 분야의 교수나 연구자로 한정하였다. 생태복원업계 종사자 등 대상을 광범위하게 선정하면 해당 특정 실무 분야의 전문적 견해의 깊이가 더해질 수 있는 장점이 있다. 그러나 이익을 추구하는 집단의 특성이 개입될 우려가 있어 본 연구에서는 거시적인 관점에서 생태복원용 식물종 선정에 예측하고자 학계 연구자를 선정하였다. 이 조건에 만족하는 대상자를 편의표본추출법(Convenience sampling)에 의해 대상자를 골라 설문지를 배포하였다(Table 1).

1차 설문에서 브레인스토밍과 의견수렴으로 설문의 토대가 되는 다양한 핵심 주제들을 도출하게 되는데 이 단계를

Table 1. Overview of participants in the delphi survey

No	Sex	Career (yr)	Affiliation and Status	Majors and Research field
1	M	30	Professor, Kongju national univ.	Plant taxonomy, Forest ecology, Ecological restoration
2	F	15	Professor, Mokpo national univ.	Forest ecology Vegetation structure
3	M	23	General manager, National baekdudaegan arboretum	Plant management, Forest ecology
4	M	18	Professor, Kangwon national univ.	Ecological engineering, Forest ecology
5	F	8	Researcher, National arboretum	Plant taxonomy, Forest ecology
6	M	15	Professor, Konkuk univ.	Environmental ecology, Forest ecology
7	M	15	General manager, National sejong arboretum	Plant taxonomy, Plnat growth
8	M	10	Researcher, National arboretum	Plant conservation, Forest ecology
9	M	11	Researcher, National arboretum	Vegetation structure, Forest ecology
10	M	20	General manager, National sejong arboretum	Plant management, Forest ecology
11	M	13	Researcher, National arboretum	Forest ecology Vegetation structure, Plnat growth
12	M	12	Researcher, Daegu arboretum	Forest ecology Vegetation structure
13	M	12	Construction company of restore, Ecology	Forest ecology
14	M	20	Professor, Gyeongsang national univ.	Forest ecology
15	M	18	General manager, National baekdudaegan arboretum	Plant taxonomy, Plnat growth
16	M	22	Manager, Korea forest conservation association	Forest restoration, Forest ecology
17	M	9	Researcher, Korea forest conservation association	Forest ecology, Ecological restoration
18	M	10	Researcher, National arboretum	Plant taxonomy, Forest ecology
19	M	30	Professor, Busan national univ.	Environmental ecology, Forest ecology

생략하고 본 연구자의 생태복원 관련 문헌 검토를 통해 제시된 생태복원용 식물종 선정 지표를 활용하였다. 본 설문 조사는 3차에 걸쳐 이루어졌는데 2021년 7월 12일에 예비 설문을 했고, 1차 설문은 2021년 9월 1~15일, 2차는 2021년 9월 17~30일에 실시하였다. 예비설문에서는 설문 항목 및 체계 등 설문지를 수정·보완했고, 이것을 가지고 1차 설

문조사(19부)를 실시했다. 이 결과를 취합한 결과(문항별 평균치)를 토대로 다시 2차 설문조사(19부)를 실시해, 같은 설문 문항에 수정할 기회를 제공하여 응답자 의견을 최종 수렴하였다.

본 연구에 응답자로 참여한 전문가는 총 19명이었는데 연령구조를 보면, 30대가 11%(2명), 40대가 42%(8명), 50

Table 2. Index Factors for Selection of Plant Species for Ecological Restoration

Divisions	Sub-class	Contents	References				
			①	②	③	④	⑤
Environmental factors	Native plants	Whether the plant species for restoration is a native plant or an exotic plant		○		○	○
	Distribution range	Is it a local or nationally distributed species in terms of the reference ecosystem?		○			
	Frequency	Should the distribution range within the target site be considered?	○				
	Climate	Are plants adaptable to climate change?				○	
	Topography	Should topography be considered, such as water bodies, ridges, and summits?	○			○	○
Physiological and Ecological factors	Growth characteristics	Should full-sun, partial-shade, and full-shade plants be considered?				○	
	Survival Rate	Does the plant settle well after restoration?					○
	Tolerance	Is there any ability to adapt to the environment after planting?				○	
	Soil conditions	Can plant grows in any soil condition?	○	○		○	○
	Root	Should root development be considered, such as deep rooting type or shallow rooting type?					○
	Breeding	Should reproductive methods such as sexual or asexual reproduction be considered?					○
Germination Rate	Is it necessary to consider germination characteristics?					○	
Restoration goal factors	Morphology	Forms canopy or canopy layers early?					○
	Early stages of primary succession	Is the vegetation coverage high in the primary succession?	○				○
	Middle stages of succession	Is it a dominant species in the vegetation structure of the middle stage succession?	○				○
	Latterly stages of succession	Is it a species that forms a stable vegetation structure for each layer in the long-term succession?	○				○
	Climax stages of succession	Is it a climax tree in the final stage of succession?	○				○
	Soil	How much soil loss can be reduced?	○	○		○	○
External factors	Seed securing	Is it easy to collect native plant seeds?			○	○	○
	landscape	Is it harmonious with the surrounding landscape of the restoration site?		○		○	○
	Proliferation	Is it easy to propagate for restoration?			○		
	Skill	Is there a mass propagation technology?			○	○	

References: ① Sohn *et al.*, 2019, ② Lee *et al.*, 2015 ③ Crouzeilles *et al.*, 2017, ④ Clewell *et al.*, 2005, ⑤ Lim, 2017

대가 47%(9명)으로 평균 43세이었다. 응답자는 약 8년 이상에서 30년 정도의 평균 16.4년의 연구 및 현장 경력을 가지고 있었으며, 8년 이상 10년 미만의 경력이 10.5%, 10년 이상 15년 미만이 36.8%, 15년 이상 20년 미만이 26.3%, 20년 이상 30년 미만이 26.3%로 나타났다.

2. 측정항목

생태계를 원래 상태로 되돌리는 것이 ‘생태복원’이라고 정의하지만, 실제 복원사업에서 과거 시점으로 생태계를 복원하는 것은 불가능하다. 생태복원의 목표를 설정해야 식물종 평가지표를 개발할 수 있다고 본다. 따라서 본 연구에서의 ‘생태복원’은 복원사업의 달성 목표를 뜻한다. 초기의 목표는 복원사업으로 식재된 식물종이 활착하여 우점하고, 중장기적으로는 수관 층위가 만들어지면서 종다양성이 늘어나서 군락 구조가 갖춰진 자연식생 또는 잠재식생을 복원사업의 목표로 설정하였다(Sohn *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2015; Crouzeilles *et al.*, 2017; Clewell *et al.*, 2005; Lim, 2017).

생태복원과 관련된 문헌을 토대로 환경요인은 식물종이 기후와 분포범위에 복원 소재로 적합한가를 묻는 지표로 식물종, 분포범위, 출현빈도, 기후, 지형 등 5개 지표가 선정되었다. 생리·생태요인은 식물종이 훼손지 특성과 지형·지세 조건에서 활착과 적응력이 가능한지를 묻는 지표로 생육 특성, 활착율, 내성, 뿌리, 번식, 발아율 등 7개 지표가 선정되었다. 복원목표는 일정 기간 수관이 만들어져서 층위를 형성하고 토양유실을 저감시킬 수 있는가를 묻는 지표로 성상, 천이단계, 토양 등 6개 지표가 선정되었다. 기타 항목은 현실적으로 생태복원사업의 효율적 수행을 위해 종자확보, 경관, 증식기술 등이 적절히 고려되어 있는가를 묻는 지표로 총 4개 영역과 22개 세부지표를 도출했다. 또한, 우리나라 자생식물은 다양한 지형·지세와 기후조건에 따라 분포역과 생육조건에 차이가 있어 체계적인 생태복원 목표 달성을 위한 지역별 차이를 보고자 내륙과 도서지역으로 구분하여 전문가들의 의견을 반영하였다(Table 2).

3. 자료 분석

설문응답 자료분석은 SPSS 23을 활용하여 기술통계분석을 하였으며, 각 항목에 대해 평균치와 표준편차값을 함께 기술하였다. 또한 생태, 식물, 복원 등 각 분야의 전문가들이 생각하는 영역별 지표들의 수준 차이를 분석하기 위해 중요도와 우선순위 분석을 수행했다. 중요도·우선순위 분석은 생태복원의 계획, 설계, 시공, 관리의 선순환 과정에서 다양한 자원이나 가치의 중요도를 평가하고 향후 효율적인 방법

과 정책적 틀을 제공한다(Kim and Lee, 2017; Kim and Lee, 2014). 중요도·우선순위의 평가 결과에 따라 각 지표의 순위를 매트릭스 내에 도식화하였다.

결과 및 고찰

1. 지표별 중요도 분석

생태복원과 관련 문헌을 토대로 예비문항을 환경, 생리·생태, 복원목표, 기타 등의 4개 영역과 16개 세부지표를 도출하여 1차 조사설문을 실시하였다. 또한, 본 연구자가 작성한 내용과 항목 등에 대해 삭제, 수정, 보완을 전문가들에게 자유롭게 기술하도록 하였다. 2차 조사의 설문지는 1차의 응답 결과를 요약하였으며, 전문가들의 응답을 제시하여 의견을 참고할 수 있도록 구성하였다. 2차 조사에서의 세부 지표는 천이과정의 세분화, 증식, 경관, 대량번식 기술 등이 추가 반영되어 4개의 영역에서 총 22개로 조정되었다.

지표별 중요도는 ‘자생식물’이 내륙과 도서 지역 모두 4.9의 평균치를 보여 생태복원용 식물종 선정에 가장 중요도가 높았다(Table 3). ‘자생식물’은 식생복원에서 생태적 기반환경에 적합한 식물 종을 선정하고 주변 산림생태와 조화될 수 있도록 생물다양성을 확보하는 것이 중요하다(Waller *et al.*, 2015). 생태복원에 이용되는 식물 종 선정 방법은 자생종 또는 인접 지역종이다(Clewell and Aronson, 2013). 이러한 접근방법은 생태복원사업 현장에서는 침입성 외래종 도입에 따른 보호와 기후환경 특성을 고려하여 최적의 식물종을 선정하는데 이용된다(Cho, 2021). 최근에는 식물종의 지역 적응 연구(Local Adaptation Research; LAR) 결과를 생태복원 현장에 적용하는 추세이다(Gibson *et al.*, 2016). 이렇듯 자연식생 또는 잠재식생 등의 참조생태계는 생태복원의 본보기가 되므로 ‘자생식물’이 평가지표에서 가장 높게 나타난 것으로 보인다.

‘종자확보’의 지표별 중요도는 내륙 4.6, 도서지역 4.5으로 나타났다. 종자를 이용한 생태복원 방법은 종자 발아에 오랜 시간이 필요하다(Crouzeilles *et al.*, 2017). 또한, 복원 초기 나지 상태에 따른 민원 발생과 피복 효과가 없을 때 침식 발생에 따른 지형 변형의 문제점을 지니고 있다(Cho, 2021). 하지만 생태복원방법 중에서 잠재식생의 종자를 이용한 복원이 가장 경제적이고 효율적인 것으로 학계에서는 보고된 바 있다(Waller *et al.*, 2015; Crouzeilles *et al.*, 2017). 효율적인 생태복원사업을 수행하기 위해서는 종자 수집과 발아연구, 생산기술 개발 및 보급 등 일원화된 시스템 구축이 필요하다. 이렇듯 시스템 구축을 위한 ‘종자확보’는 필요충분조건이므로 높은 평가지표 값을 보였을 것이다.

Table 3. Importance of evaluation index for selection of plant species for restoration by region

Division		Inland Area		Island Area	
		Ave	Std.	Ave	Std.
Environmental factors	Native plants	4.9	0.266	4.9	0.266
	Distribution range	4.1	0.615	4.3	0.722
	Frequency	3.7	0.991	4.2	1.099
	Climate	3.8	0.799	3.8	0.863
	Topography	4.5	0.634	4.2	0.799
Physiological and Ecological factors	Growth characteristics	4.2	0.863	4.4	0.836
	Survival Rate	4.4	0.625	4.5	0.746
	Tolerance	4.2	0.863	4.4	0.836
	Soil conditions	4.2	0.863	4.3	0.910
	Root	3.5	1.082	3.5	1.009
	Breeding	3.7	1.202	3.7	1.202
	Germination Rate	3.8	1.026	3.8	0.863
Restoration goal factors	Morphology	4.2	0.863	3.9	0.917
	Early stages of primary succession	4.1	0.997	4.2	0.890
	Middle stages of succession	4.1	0.997	4.1	0.997
	Latterly stages of succession	3.8	0.769	3.8	0.662
	Climax stages of succession	3.5	0.843	3.6	0.738
	Soil	3.6	0.836	3.9	1.141
External factors	Seed securing	4.6	0.487	4.5	0.634
	landscape	4.1	0.917	4.0	0.877
	Proliferation	4.5	0.746	4.4	0.738
	Skill	4.1	0.997	4.1	0.917

‘토양조건’은 훼손된 지역의 다양한 토양조건에서 뿌리 발달과 활착률이 용이한가에 대한 내용으로 중요도는 내륙 4.2, 도서지역 4.3으로 나타났다. 일반적으로 답압과 같은 토양의 훼손은 식물의 뿌리 호흡과 건조 및 배수불량 등으로 식물의 생육을 억제하고 활착률을 떨어뜨리는데 주요 원인이 된다(Jung, 2001). 또한, 표토 경화지의 자연적 토양 연화는 6~20년 오랜 시간이 소요된다(Velasquez, 2007). 결론적으로 ‘토양조건’은 생태복원의 효과와 시기에 영향을 미치는 중요한 지표로 인식된 것으로 보인다.

‘지형’은 수계, 능선부 및 정상부 등 지형별 특성에 따라 식물종 생육환경의 차이를 고려해야 하는가에 대한 내용으로 지표별 중요도는 내륙 4.5, 도서지역 4.2으로 나타났다. 현재 우리나라 정부 부처의 생태복원사업은 목적과 유형에 따라 관련법과 평가 기준이 상이하고(Kang, 2014), 대부분 자연재해 복구와 인간 삶의 영위에 초점이 맞춰져 있다(Lim, 2017). 이러한 접근방식은 원래의 자연상태로 되돌리려는 생태복원의 한계점을 보여주고 있다. 이렇듯 생태복원

이 효과적이고 신속하게 진행되려면 훼손지의 지형 정보를 사전에 파악하고 해당 식물종 선정이 중요한 평가지표로 인식된 것으로 보인다.

‘천이’는 시간의 흐름에 따라 생물상의 종 구성 변화(Clements, 1916; Gibson, *et al*, 2016)를 볼 수 있는 지표로 천이초기, 중기, 후기, 극상단계로 세분화하여 평가지표로 선정하였다. 지표별 중요도는 천이 초기 내륙 4.1, 도서지역 4.2, 천이 중기 내륙과 도서지역 모두 4.1, 천이 후기 3.8 마지막 극상단계에서는 내륙 3.5, 도서지역 3.6으로 나타났다. 특히, 천이 후기와 극상단계보다는 천이 초기와 중기단계에서의 중요도가 최대최소 0.3~0.6의 차이를 보였다. 이는 천이 초기 유기물질 축적과 토양분해자 구축 등으로 척박한 물리적 조건을 개선해 준다(Andre and James, 2015). 그리고 자연 생태계의 생태적 균형된 모습이 변모하는 과정(Pimm, 1991)으로 천이는 생태복원 과정에서 후기, 극상 단계보다는 천이 초기와 중기에 식물 종의 조기 활착과 적응이 중요한 지표로 인식된 것으로 보인다.

반면, 지표 중에서 비교적 낮게 평가된 지표는 ‘뿌리’가 내륙과 도서지역 모두 3.5로 ‘천이극상단계’는 내륙 3.5, 도서지역 3.6으로 가장 낮은 중요도를 보였다. ‘뿌리’는 최빈치 2, 최대치를 5로 내륙과 도서지역 각각 표준편차가 1,082, 1,009로 나타나 전문가별 다소 의견의 차이를 보였다.

2. 지표별 우선순위

지표별 우선순위는 내륙과 도서지역을 모두 포함한 우리나라 전체지역과 내륙, 도서지역으로 각각 구분하였다. 응답 결과 ‘자생식물’이 전체, 내륙과 도서지역 모두 5.0으로 가장 높은 평균치를 보였다(Table 4). 이는 참조생태계 관점에서 재배품종과 외래종보다는 훼손지 주변 식생에 대한 분포범위와 생육특성 및 경관 등을 고려할 때 자생식물이 생태복원에 가장 중요한 지표로 해석될 수 있다. 이는 식물종 선정과 식생의 안정화는 복원의 속도와 생물다양성의

증진을 위한 중요한 기법이다(Brown and Amacher, 1999; Clewell and Aronson, 2013; Waller *et al.*, 2015). 이 연구에서도 식물종 선정 시 기후대 권역별 분포범위와 참조생태계를 고려한 우선순위가 중요한 것으로 나타났다.

다음으로는 ‘종자확보’가 전체 3.6, 내륙 3.5, 도서지역 3.3 순으로 지역별 다소 차이를 보였다. 도서 지역은 지리적으로 특수한 환경에 속하며, 파편화(Oh and Kim, 1996), 퇴행천이 식생(Park *et al.*, 2018), 인위적인 교란(Yun *et al.*, 2011) 등으로 피해 속도가 빨라지는 실정이다. 이런 까닭으로 ‘종자확보’에 대한 지역별 우선순위가 도서 지역이 높게 나타난 것으로 추정된다. 하지만 도서 지역의 자연적 훼손보다는 내륙의 인위적인 훼손 규모가 크고 훼손에 따른 복구 민원 등 행정적 절차에 따른 필요성이 강조되는 것으로 해석된다. 한편, 영역별 상위 5위 안에 해당하는 지표는 환경요인에서 3개, 생리·생태요인 1개, 외부요인 1개로 나타났다. 향후 생태복원용 식물종 선정에서 정책 반영 또는 평가가 진행될 경우 환경요인의 우선순위 지표를 받

Table 4. Priority of evaluation index for selection of plant species for restoration by region

Division		Total		Inland Area		Island Area	
		Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std
Environmental factors	Native plants	5.0	0.1	5.0	0.1	5.0	0.1
	Distribution range	3.6	1.0	3.6	0.9	3.6	1.0
	Frequency of appearance	3.7	1.1	3.7	1.1	3.7	1.2
	Climate	3.2	1.2	3.1	1.3	3.2	1.2
	Topography	3.3	1.2	3.2	1.4	3.1	1.2
Physiological and Ecological factors	Growth characteristics	3.3	1.0	3.3	1.1	3.4	1.0
	Survival Rate	3.7	0.6	3.7	0.6	3.7	0.6
	Tolerance	3.4	0.6	3.4	0.6	3.5	0.7
	Soil conditions	3.1	0.8	3.0	0.9	3.0	0.8
	Root	1.9	1.0	2.0	1.0	2.0	1.1
	Breeding	2.5	1.1	2.5	1.1	2.3	1.0
Germination Rate	3.1	0.7	3.1	0.7	3.0	0.7	
Restoration goal factors	Morphology	2.6	1.0	2.4	1.1	2.3	1.1
	Early stages of primary succession	2.8	0.8	2.8	0.8	2.9	0.8
	Middle stages of succession	2.4	0.9	2.5	1.1	2.3	0.9
	Latterly stages of succession	2.0	0.7	2.1	0.6	2.0	0.6
	Climax stages of succession	1.6	0.7	1.7	0.7	1.6	0.7
	Soil	2.0	0.9	1.9	0.9	2.3	1.1
External factors	Seed securing	3.6	1.3	3.5	1.3	3.3	1.4
	landscape	2.2	1.2	2.3	1.2	2.2	1.2
	Proliferation	3.2	1.4	3.2	1.4	3.0	1.4
	Skill	2.2	1.4	2.2	1.4	2.1	1.4

영하는 것이 중요하다고 본다. 반면, 지표 중에서 가장 낮게 평가된 ‘천이극상’은 전체 1.6, 내륙 1.7, 도서지역 1.6으로 나타났다. 이 연구에서는 식물종 선정에 눈점이 맞춰져 있어 10년 이후의 생태복원의 안정화된 모습보다는 초기 단계의 방향 설정과 실행계획에 대한 우선순위가 반영된 것으로 해석된다.

3. 생태복원용 식물종 선정의 중요도와 우선순위

생태복원용 식물종 선정은 내륙과 도서지역으로 구분하여 중요도와 우선순위 분석을 했다. 전문가별 생태복원용 식물종 선정을 위한 중요도·우선순위 분석 결과 내륙은 중요도 4.1, 우선순위 2.9로 도서 지역은 중요도 4.2, 우선순위 2.9로 기준을 설정하였다(Figure 1). 우측상단의 불연속적으로 떨어진 지표는 ‘자생식물’이라서 원래의 자연생태계 모습으로 되돌리기 위한 생태복원의 최우선적으로 고려사항일 것이다. 지형(5), 활착율(7), 종자확보(19), 증식(21)이 내륙과 도서지역에서 모두 중요도와 우선순위가 높았다. 산림청에서는 종묘사업실시요령(Korea Ministry of Government Legislation, 2015)을 통해 식물 90종에 대한 노지양묘 사업의 기준을 마련하였다. 이는 우리나라 자생식물 3,738종(Korea National Arboretum, 2021) 대비 2.4%의 수준으로 자생식물의 ‘종자확보’와 ‘증식’에 대한 지속적인 연구개발이 중요한 것으로 인식되었다.

마지막으로 지표의 중요도와 우선순위가 가장 지표는 뿌

리발달(10), 번식(11), 발아율(12), 천이초기(14), 천이중기(15), 천이후기(16), 천이극상(17), 토양유실(18), 경관(20), 기술(22)이 내륙과 도서 지역 모두 낮게 나타났다. 이는 생태복원 사업 진행을 위해 일반적으로 식물종 선정 이후 다음 단계에 고려되어야 하는 지표로 우선순위에 벗어난 것으로 해석될 수 있다. 특히, 토양유실(18)과 경관(20)은 훼손지 유형에 맞도록 적절한 식물종을 선택하였다면 토양유실에 따른 침식방지와 경관 복원은 자연스럽게 해결될 것으로 해석된다. 한편, 중요도가 낮은 반면에 우선순위가 높은 지표로는 환경요인 전반에 해당하는 분포범위(2), 출현빈도(3), 기후(4)로 내륙과 도서지역 모두 해당되었다. 이는 거시적인 측면에서 환경요인에 대한 식물종 선정이 우선할 때 고려되어야 하며, 훼손지 유형과 조건은 세부적으로 분석하여 중요도를 적용하는 것이 합리적인 방법으로 해석된다.

4. 종합고찰

생태복원용 식물종 선정을 위한 지표별 중요도는 ‘자생식물’이 내륙과 도서 지역 모두 4.9의 평균치를 보여 복원용 식물종 선정에 가장 중요도가 높았다. Clewell and Aronson (2013)는 생태복원에 이용되는 식물 종 선정 방법으로 자생종 또는 인접 지역종 그리고 참조생태계를 이용하는 것이 효과적으로 보고된 바 있다. 또한, 최근에는 식물종의 지역적용 연구 결과를 생태복원 현장에 적용하고 있는 추세이다 (Gibson *et al.*, 2016). 이렇듯 ‘자생식물’의 지표는 생태복

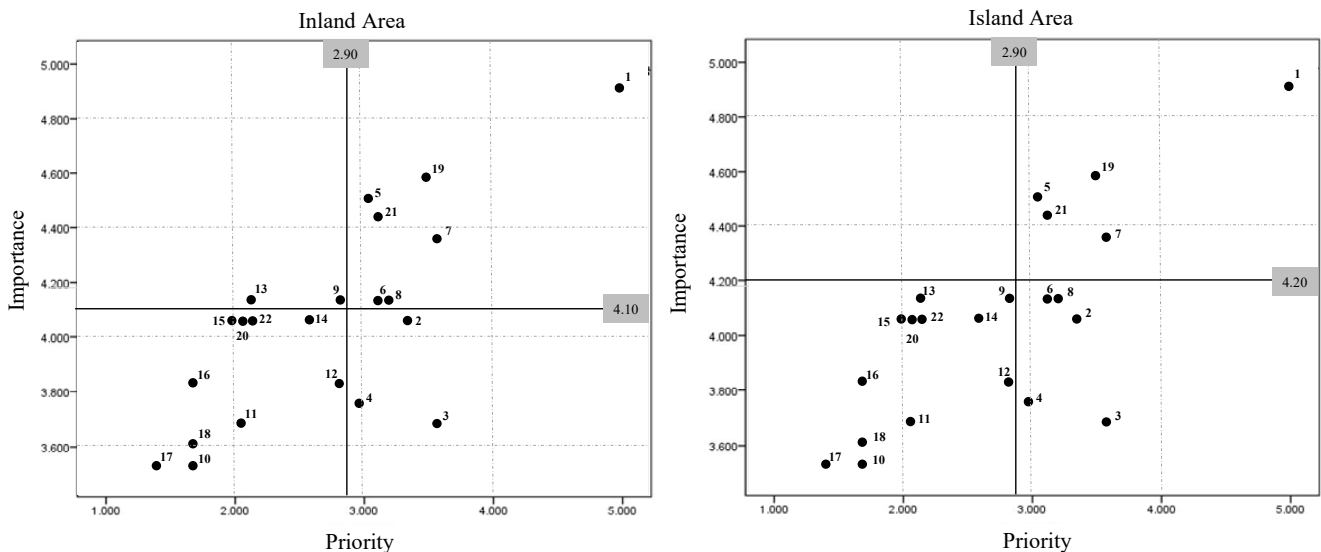


Figure 1. Analysis of importance and priority of indicators for selection of plant species for ecological restoration. 1: Native plants, 2: Distribution range, 3: Frequency of appearance, 4: Climate, 5: Topography, 6: Growth characteristics, 7: Survival Rate, 8: Tolerance, 9. Soil conditions, 10: Root, 11: Breeding, 12: Germination Rate, 13: Morphology, 14: Early stages succession, 15: Middle stages succession, 16: Latterly stages succession, 17: Climax stages succession, 18: Soil, 19: Seed securing, 20: landscape, 21: Proliferation, 22: Skill

원사업 진행에 반드시 반영되어야 한다. 다음으로 중요한 지표는 ‘증자확보’로써 Waller *et al.*(2015)가 제시한 생태복원방법 중에서 잠재식생의 종자를 이용한 복원이 가장 경제적이고 효율적인 것으로 학계에서는 보고된 바 있다. 효율적인 생태복원사업을 수행하기 위해서는 종자수집 절차와 일원화된 시스템 구축이 필요하다. ‘천이’는 시간의 흐름에 따라 생물상의 종 구성 변화(Clements, 1916; Gibson, *et al.*, 2016)를 볼 수 있는 지표로 천이초기, 중기, 후기, 극상단계로 세분화하여 평가지표로 선정하였다. 천이 초기에는 유기물질 축적과 토양분해자 구축 등으로 척박한 물리적 조건 (Andre and James, 2015)과 자연 생태계의 균형된 모습 (Andre and James, 2015)을 보여준다. 이렇듯 천이는 생태복원 과정에서 후기, 극상 단계보다는 천이 초기에 식물 종의 조기 활착과 적응이 생태복원에서 중요한 지표로 인식된 것으로 보인다.

지표별 우선순위는 내륙과 도서지역을 모두 포함한 우리나라 전체지역과 내륙, 도서지역으로 구분하였다. 응답 결과 ‘자생식물’이 전체, 내륙과 도서지역 모두 가장 높았다. Clewell and Aronson(2013)는 식물종 선정은 복원의 속도와 생물다양성의 증진에 도움을 준다. 이 연구에서도 식물종 선정에서 기후대 권역별 분포범위와 참조생태계를 고려한 우선순위가 중요한 것으로 인식되었다. 이 연구에서는 식물종 선정에 논점이 맞춰져 있어 10년 이후의 생태복원의 안정화된 모습보다는 초기 단계의 방향설정과 실행계획에 대한 우선순위가 반영된 것으로 해석된다.

National Institute of Forest Science(2017)에서는 일반적으로 복원용 식물이 지방산림청 양묘사업소에서 2년생 묘목(온실 2년 양묘)을 생산·공급한다. 이러한 방식으로 번식, 발아율 그리고 기술의 지표는 식물종 선정 이후 해당되는 것으로 중요도와 우선순위에 반영되지 않는다. 또한, 토양 유실과 경관은 훼손지 유형에 맞도록 적절한 식물종을 선택하였다면 토양유실에 따른 침식방지와 경관의 아름다움은 자연스럽게 해결될 것이다.

생태복원 사업에서 올바른 식물종의 선정과 식생의 정착은 생태복원의 성공과 생물다양성의 증진을 위한 중요한 기법이다(Brown and Amacher, 1999; Clewell and Aronson, 2013; Waller *et al.*, 2015). 우리나라는 산림을 생태적으로 복원하거나 서식처를 새롭게 조성하고자 할 때 목적과 목표에 따라 조성 기법을 적용하지만 생물 종의 선정과 서식 환경에 대한 구체적인 목표는 설정하지 못하고 있다(Cho, 2021). 이는 복원이 자연생태계를 대상으로 복원목표와 방법에 대한 구체적으로 제시한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 본 연구의 복원용 식물종 선정을 위해 객관적 검증을 통한 생태복원용 자생식물 종 선정을 위한 평가지표를 개발한 연구는 이런 까닭에서 의미가 크다고 본다. 다만,

전문가를 활용한 델파이 기법은 생태복원 지표선정 과정에서 다양한 분야의 전문가 선정과 통제된 반복 조사가 현실적으로 적용되었는가 또한, 각 행정기관의 복원목표 정책과 예산 등 생태복원용 식물종 선정 지표가 현장에서 적용하였을 때 문제점은 없는가에 대한 검증은 본 연구의 한계점으로 판단된다.

REFERENCES

- Allison, S.K.(2012) Ecological restoration and environmental change. Routledge, pp.21-22.
- Andres, P. and E. Mateos(2006) Soil mesofaunal responses to post-mining restoration treatments. *Applied Soil Ecology* 33(1): 67-78.
- Bae, Y.J.(2016) A study on the future clothing trend in Korea: Based on the future research by 2040. *Journal of the Korean Society of Fashion Design* 16(4): 151-162. (in Korean with English abstract)
- Brown, R.W. and M.C. Amacher(1999) Selecting Plant Species for Ecological Restoration: A Perspective for Land Managers. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-8*: 1-16.
- Cho, D.G.(2017) Ecological Restoration Planning Design Volume 2, Ecological Restoration Process Techniques and Practices. Nexus Environmental Design Research Institute Press, 578pp. (in Korean with English abstract)
- Cho, D.G.(2021) A Study on the Current Status of Ecological Restoration Plant Species Use- Focusing on the Ecosystem Conservation Cooperation Fund Return Projects-. *Korean J. Environ. Ecol.* 35(5): 525-547. (in Korean with English abstract)
- Clements, F.E.(1916) Plant succession: An analysis of the Development of Vegetation. *Garnegie Inst. Washington Pub.* 242. Washington D.C., 512pp.
- Clewell, A., J. Rieger and J. Munro(2005) Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects. www.ser.org and Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Clewell, A.F. and J. Aronson(2013) Ecological restoration: Principles, values, and structure of an emerging profession (2nd ed.). Island Press, 303pp.
- Clewell, A.F. and J. Aronson(2015) Ecological Restoration- Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession. *SER*, pp.27, 128-129.
- Crouzeilles, R., M.S. Ferreira, R.L. Chazdon, D.B. Lindenmayer, J.B.B. Sansevero, L. Monteiro, A. Iribarrem, A.E. Latawiec and B.B.N. Strassburg(2017) Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in

- tropical forests. *Sci. Adv.* 3: e1701345.
- Cui, B.S., Q.C. Yang, Z.F. Yang and K.J. Zhang(2009) Evaluating the ecological performance of wetland restoration in the Yellow River Delta, China. *Ecological Engineering* 35(7): 1090-1103. (in Korean with English abstract)
- Gibson, A.L., E.K. Espeland, V. Wagner and C.R. Nelson(2016) Can local adaptation research in plants inform selection of native plant materials An analysis of experimental methodologies. *Evolutionary Applications* 9(10): 1219-1228.
- Global Futures Studies Association(2014) The strategic methodology for futures studies. Seoul: Dunam, 560pp.
- Jung, W.O.(2001) Effects of environmental factors on the stability and vegetation survival in cutting slope of forest roads. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 4(2): 74-83. (in Korean with English abstract)
- Kang, H.M.(2014) A Study for Restoration Effects Through Monitoring of Forest Ecosystem Restoration Types. Department of Landscape Architecture The Graduate School Pusan National University, 321pp. (in Korean with English abstract)
- Kim D.G.(2011) The Development of Ecological Planting Model for the Make Up of Coastal Windbreak Forest on Suncheon Bay in Suncheon-si, Korea. *J. Korean Env. Res. Tech.* 14(1): 89-104. (in Korean with English abstract)
- Kim Y.S. and G.G. Oh(1997) Restoration Model of Evergreen Broad-leaved forests in Warm Temperate Region(V)-Restoration Strategies of the Case Study Areas-. *Korean Society of Environment & Ecology* 11(1): 61-83. (in Korean with English abstract)
- Kim, B.M. and D.K. Lee(2017) Comparison between traditional IPA and revised IPA: The Suncheon bay wetland reserve. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 45(2): 40-50. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.R. and J. Lee(2014) A study on the attraction factors of eco-city using importance-satisfaction analysis: The case of Suncheon city. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 42(2): 52-64. (in Korean with English abstract)
- Korea Ministry of Government Legislation(2015) Instructions for carrying out the seedling business. Korea Forest Service, 77pp.
- Korea National Arboretum(2021) Checklist of Vascular Plants in Korea Native Plants. 1024pp.
- Lee, P.S.H., S. Lee, S. Lee and J. Choi(2015) Development of evaluation indices for ecological restoration of degraded environments near DMZ in the Republic of Korea. *J. Korean Env. Res. Tech.* 18(1): 135-151. (in Korean with English abstract)
- Lim, C.Y.(2017) Evaluating the Vegetation Characteristics and Restoration Performance of Restored Deciduous Broad-Leaved Forests-Focusing on the Temperate Central Region of South Korea-. Department of Biological and Environmental Science Graduate School of Dongguk University, 142pp. (in Korean with English abstract)
- Martilla, J.A. and J.C. James(1977) Importance-performance analyses. *Journal of Marketing* 41: 77-79.
- Matthews, J.W., G. Spyreas and A.G. Endress(2009) Trajectories of vegetation-based indicators used to assess wetland restoration progress. *Ecological Applications* 19(8): 2093-2107.
- Miyawaki, A.(1999) Creative ecology restoration of native forestry native trees. *Plant Biotechnology* 16: 15-25.
- National Institute of Forest Science(2017) The Container Tree Nursery Manual-Harvesting, Storage, Handling and Shipping. 112pp.
- Noh, S.Y.(2006) Delphi technique: Forecasting Futures with Professional Insight. *Planing and Policy*, 299: 53-62. (in Korean with English abstract)
- Oh, K.K. and Y.S. Kim(1996) Restoration model of evergreen broad-leaved forests in warm temperate region(I)-Vegetational structure-. *Korean J. Environ. Ecol.* 10(1): 87-102. (in Korean with English abstract)
- Oh, K.K. and Y.S. Kim(2009) Ecological revegetation engineering. Gwangil Munhwasa, 370pp.
- Park, S.C.(2013) Understanding of futurology. Seoul: Chongmok Publisher, 248pp.
- Park, S.G., S.H. Choi and S.C. Lee(2018) A review of vegetation succession in warm-temperate evergreen broad-leaved forests.- Focusing on *Actinodaphne lancifolia* community-. *Korean J. Environ. Ecol.* 32: 77-96. (in Korean with English abstract)
- Pimm, S.(1991) The Balance of Nature? Ecological Issues in the Conservation of Species and Communities. Chicago: University of Chicago Press, 448pp.
- Piqueray, J.B., G. Delescaille, L.M. Bisteau, E. Colinet and G. Mahy(2011) Rapid restoration of a species-rich ecosystem assessed from soil and vegetation indicators: The case of calcareous grasslands restored from forest stands. *Ecological Indicators* 11(2): 724-733.
- Ruiz-Jaen, M.C. and T. Mitchell Aide(2005) Restoration Success: How Is It Being Measured? *Restoration Ecology* 13(3): 569-577.
- Siddig, A.A.H., A.M. Ellison, A. Ochs, C. Villar-Leeman and M.K. Lau (2016) How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in *Ecological Indicators*. *Ecological Indicators* 60: 223-230.
- Society for Ecological Restoration(2004) The SER Primer on Ecological Restoration. <http://www.ser.org/>
- Sohn, H.J. ·, D.H. Kim, N.Y. Kim, J.P. Hong and Y.K. Song(2019) Evaluation indicators for the restoration of degraded urban

- ecosystems and the analysis of restoration performance. *J. Korean Env. Res. Tech.* 22(6): 97-114. (in Korean with English abstract)
- Suganuma, M.S. and G. Durigan(2015) Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. *Restoration Ecology* 23(3): 238-251.
- Velasquez, E., P. Lavelle and M. Andrade(2007) GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology & Biochemistry* 39(12): 3066-3080.
- Waller, P.A., P.M. Anderson, P.M. Holmes and R.J. Newton(2015) Developing a species selection index for seed-based ecological restoration in Peninsula Shale Renosterveld, Cape Town. *South African Journal of Botany* 99: 62-68.
- Waltz, A.E.M. and W.W. Covington(2004) Ecological restoration treatments increase butterfly richness and abundance: Mechanisms of response. *Restoration Ecology* 12(1): 85-96.
- Yun, J.H., J.H. Kim, K.H. Oh and B.Y. Lee(2011) Distributional change and climate condition of warm-temperate evergreen broad-leaved trees in Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 25: 47-56. (in Korean with English abstract)