

소나무림 매토종자 최소생존가능개체군에 관한 연구^{1a}

이명훈^{2*}

Study on Minimum Viable Population of Seed Bank in Pine Forest^{1a}

Myung-Hoon Yi^{2*}

요약

본 연구는 매토종자를 활용한 소나무림 생태복원 시 적정 매토종자 최소생존가능개체군의 크기를 확인하기 위해 2010년 8월부터 2011년 11월까지 매토종자 발아실험을 실시하였다. 상관관계분석 결과, 면적과 초본 종수가 0.686으로 가장 높게 나타났다. 도서생물지리학의 이론에 따라 최소생존가능개체군에 적용하여 면적과 유의성이 있는 네 변수에 대해 회귀분석을 한 결과 목본 종수, 목본 개체수, 초본 종수 및 초본 개체수 모두 5% 이내에서 유의하며, 회귀함수의 설명력은 58.3%였다. 종수와 개체수간의 정준상관분석 결과 한 개의 함수가 유의하였으며 함수의 설명력은 82.4%이고, 유의수준 1% 이내에서 정준함수의 정준근 모두 유의한 것으로 판단된다. 연구 결과, 소나무림 매토종자 최소생존가능개체군의 크기는 면적 64m²이상, 종수 21종 이상, 개체수 120개체 이상을 권장하며 초본 종수의 영향에 따라 매토종자 군집의 크기가 결정되는 것으로 나타났다. 따라서, 매토종자를 활용한 소나무림 생태복원의 적용 시 초본 종에 대한 고려가 필요하다.

주요어: 표토, 생태복원, 종수, 개체수, 도서생물지리학

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the proper minimum viable population of a seed bank for the ecological restoration of pine forest using a seed bank. It examined the germinated soil seed bank from August 2010 to November 2011. The results of the correlation analysis showed that the area and the number of herbaceous species were the highest at 0.686. The results of the regression analysis of four variables including the number of woody species, the number of woody individuals, the number of herbaceous species, and the number of herbaceous individuals using the theory of island biogeography to the minimum viable population in studied plots showed that all four variables were significant with area at the level of 0.05, and R square was 0.583. One function was selected between the number of species and the number of individuals from the canonical correlation analysis, and the function square was 0.824. Both canonical function and squared canonical correlation showed significant at the level of 0.01. The result of study recommended the area size of the minimum viable population in pine forest applied by seed bank to be larger than 64m², the number of species to be over 21, and the number of population to be over 120. It also found that the number of herbaceous species

1 접수 2018년 7월 28일, 수정 (1차: 2018년 9월 5일), 게재확정 2018년 9월 27일
Received 28 July 2018; Revised (1st: 5 September 2018); Accepted 27 September 2018

2 대구수목원 Daegu Arboretum, Dalseogu, Daegu 42829, Korea (sorbus@korea.kr)

a 이 논문은 한국연구재단 기초연구사업의 지원에 의하여 연구되었음(2010-0010215).

* 교신저자 Corresponding author: sorbus@korea.kr

determined the cluster size of the seed bank. Therefore, it is necessary to consider herbaceous species that appear in the seed bank.

KEY WORDS : TOP SOIL, ECOLOGICAL RESTORATION, NUMBER OF SPECIES, NUMBER OF INDIVIDUALS, THEORY OF ISLAND BIOGEOGRAPHY

서론

최근 국제생태복원학회(Society for Ecological Restoration, SER)에서는 생태복원을 생태적 과정을 원상태로 되돌리는 생태적 관점, 생물다양성을 복구시키는 보전의 관점, 인간에게 이익을 가져다주는 생태계서비스의 복구로 보는 사회경제적 관점, 공통의 목표 추구를 통한 우리의 공동체와 제도·대인관계의 강화의 의미를 두는 문화적 관점, 생태복원을 통한 자연과의 만남과 인간성 회복에 의미를 두는 개인적 관점 등 다양한 관점에서 그 의미를 새겨보고 있다. 이는 훼손된 환경·서식처·생물 종을 되돌려 생태계의 순환이 이루어지는 토대 위에 사회·경제·문화를 넘어 인간 스스로의 가치관까지 접근하고 있는 것으로 볼 수 있다.

생태복원의 대상은 주로 서식처를 대상으로 하지만, 생물종 보전·복원의 대상은 주로 멸종위기종 혹은 희귀식물을 중심으로 이루어지며 대부분 보전생태학, 보전생물학의 이론을 많이 접목하고 있다(Jo, 2011). 생물종은 일반적으로 불규칙적인 교란활동으로 인해 개체군의 규모가 작아지게 되고 더 나아가 쉽게 멸종에 이르게 되는데, 이러한 생물종수에 관한 이론은 면적이 클수록 많은 종을 보유한다는 종-면적 관계, 대륙과 가까울수록 많은 종을 보유한다는 격리효과 및 한 섬에서 종이 멸종될 때 다른 종으로 대체된다는 대체효과를 주 내용으로 하는 도서생물지리학(MacArthur and Wilson, 1967)이 중심에 있다. 이는 도심 내 패치 형태로 남아있는 산림이나 녹지 등의 적용을 통해 도심 내 생물종수를 조절할 수 있다. 생물종 중 동일종의 집단을 개체군이라 할 때, 개체군의 성장형을 토대로 환경이 수용할 수 있는 개체군의 최대크기를 환경수용능력(k)이라 하여 적정 개체군의 크기로 보며, 개체군이 지속적으로 유지되기 위해 최소한으로 확보해야만 하는 개체군의 크기를 최소생존가능개체군(Minimum Viable Population, MVP)이라 한다. 최소생존가능개체군이란 어떤 종이 장기간 생존에 필요한 개체들의 수를 말하는데, 이는 격리된 작은 규모의 집단이 어떠한 서식처에서 최소 100년 동안 주변으로부터 가해될 수 있는 집단구조, 성공적인 자손의 번식, 환경적(포식자, 경쟁 및 병해충)·유전적·자연적(가뭄, 홍수, 지진 등) 요인 등으로부터 99%이상 살아남을 수 있는 집단의 규모로 정의한 바 있다(Shaffer, 1981). 이처럼 개체수면적 곡선은 개체

군의 성장이 어느 일정 면적에 이르게 되면 안정된 수용용량을 이룰 수 있는 크기를 결정할 수 있다(McCullough, 1979).

생태복원에 있어 원식생의 회복은 대상지의 인문·사회·자연환경 및 식생을 분석하여 잠재 자연식생을 예측하고 복원의 유형을 결정하여 복원 목표식생을 결정하게 된다. 이를 위해 목표식생에 맞는 다양한 생태적 식재기법을 도입하는데, 대부분 현존식생의 분석을 토대로 다층림 및 이령림의 식재, 원형을 활용한 생태적 식재, 복사이식, 모델 식재 및 종자를 이용한 복원 방법을 제시하고 있다(Korea Forest Service, 2015). 이 중 본 연구는 복원방법 중 표토를 활용한 복원방법으로 표토 속 매토종자 발아실험을 통해 매토종자에 포함된 개체군의 크기를 알아보려 한다.

매토종자는 지상개체군인 식물체에서 비산된 종자 중 토양 유기물층 혹은 표토층 내 묻혀있으면서 발아능력을 가진 종자(Yi, 2010)로서 생육가능하나 발아되지 못한 채 남아 있는 예비 종자를 말하며, 최근에 형성된 새로운 종자뿐만 아니라 몇 년간 토양 내 쌓이면서 형성된 오래된 종자까지 포함한다(Zobel *et al.*, 2007). 매토종자는 토양 내 수많은 세대를 거치면서 형성되는 서로 다른 유전형의 축적으로 유전다양성을 지니고 있다(Templeton and Levin, 1979). 잠재 자연식생이라 할 수 있는 매토종자는 식생 복원에 관한 연구가 필요함에도 불구하고, 현재까지 국내의 연구는 매토종자와 현존식생과의 관계를 중심으로 이루어져 왔다. 복원에 있어 표토를 이용한 매토종자공법은 표토에 함유된 잠재종자의 발아에 있어 유전자 교란의 문제가 없고(Koh, 2007), 상대적으로 비용이 저렴하며, 원식생의 식물이 발현할 가능성이 높고 식물종이 다양한 장점이 있다. 특히 단일 종으로 우리나라에서 가장 넓은 분포역을 지닌 소나무림의 복원에 관한 연구는 식생구조분석을 통한 천이 단계를 파악하고, 이를 생태계 복원·복구·대체 등의 적합한 생태복원 단계를 설정하여 이에 맞는 배식설계, 천이모형 등을 제시하는 연구가 진행되었으나, 표토를 재활용하여 지상개체군 뿐만 아니라 토양 동물 및 토양 생태계를 적극 도입하여 토양에서부터의 복원을 제시한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구는 소나무림을 대상으로 매토종자 식물군집의 크기와 종, 개체간의 상호관계를 파악하고, 개체군의 크기를 함께 고려하여 면적에 따른 종수 및 개체수의 크기

도 알아보고자 한다. 이를 통해 소나무림 생태복원에 있어 매토종자의 최소생존가능개체군의 크기를 알아보고 표토를 활용한 생태복원 방법의 기초자료를 제시하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구는 소나무림 매토종자의 최소생존가능개체군의 크기를 확인하기 위해 생태형 구분에 의한 우리나라 소나무림 6곳을 대상으로 하였다. 수년간 고착화된 형태적 특성을 갖추고 있어 환경의 대표성을 띄며 서식처의 임상이 뚜렷이 나타나는 6곳의 소나무 숲림(Uyeki, 1928)을 대상으로 하였다(Figure 1).

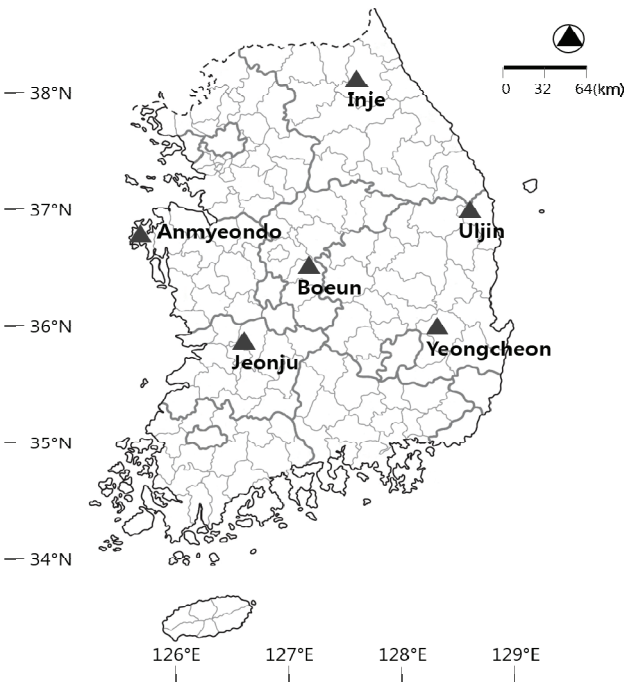


Figure 1. Distribution of studied plots

2. 조사방법

연구대상지의 입지특성을 파악하기 위해 GPS(Oregon300, Garmin Inc.)를 이용하여 위·경도, 해발고도(m), 방위 및 경사(°) 등을 파악하고, 암반율을 확인하였다. 수관개방율(Canopy openness)은 어안렌즈(4.5mm F2.8 EX DC, Sigma Inc.)를 이용하여 촬영하였으며, 화상자료는 Gap Light Analyzer Version 2.0을 이용하여 흑색(차폐물)과 백색(하

늘)으로 이원화된 영상을 통해 수관개방율을 산출하였다. 또한 연구대상지에서 채취한 표토(600g)를 운반한 후 경북 농업기술센터에 의뢰하여 토양산도(pH)와 유기물함량(O.M)을 측정하였다.

매토종자의 발아실험을 위해 2010년 8월 2일부터 8월 7일 까지 소나무림의 6개 형질 별로 연구대상지 내 1m²(1m×1m), 4m²(2m×2m), 16m²(4m×4m), 64m²(8m×8m), 256m²(16m×16m), 1,024m²(32m×32m) 크기의 방형구에서 각각 임의의 4곳을 선정하여 60cm×70cm 크기의 비닐 주머니에 표토를 채취하였다(Figure 2). 이를 온실로 운반하여 스티로폼상자(50cm×33cm×12cm)에 옮겨 3반복으로 포설하였다. 따라서 1m² 모니터링 수 12개, 4m² 모니터링 수 24개 (1m² 모니터링 수 12개 포함), 16m² 모니터링 수 36개(4m² 모니터링 수 24개 포함), 64m² 모니터링 수 48개(16m² 모니터링 수 36개 포함), 256m² 모니터링 수 60개(64m² 모니터링 수 48개 포함), 1,024m² 모니터링 수 72개(246m² 모니터링 수 60개 포함)를 스티로폼상자에서 발아 모니터링 실시하였다(Figure 2). 스티로폼상자에는 미리 배수 및 양분공급을 위한 자갈, 굵은 모래, 모래, 배합토를 혼합한 인공경량토를 5cm두께로 포설한 후 채취한 표토를 포설하였다. 포설한 후에는 관수(6~9월=1회/1일, 10~5월=1회/2일의 빈도로 실시)를 하며, 외부 종이 유입되지 않도록 온실에서 온도 관리, 병충해방제 등의 유지관리를 실시하였다. 또한 6~9월 동안 온실 내 온도 30℃ 이상의 고온이 유지될 경우 전기냉난방기(KPE-400R, Kiturami Inc.)를 이용하여 실내온도를 25℃로 조절하였다. 2010년 8월부터 2011년 11월까지 15개월간의 발아실험을 통하여 매주 모니터링(48회, 12~2월 미실시)을 실시하였고, 발아가 시작되어 생육함에 따라 종동정 후 출현종 및 개체수를 기록하는 유도출현법을 적용하였으며, 디지털카메라(Nikon D80, Nikon Inc.)를 이용하여 촬영하였다.

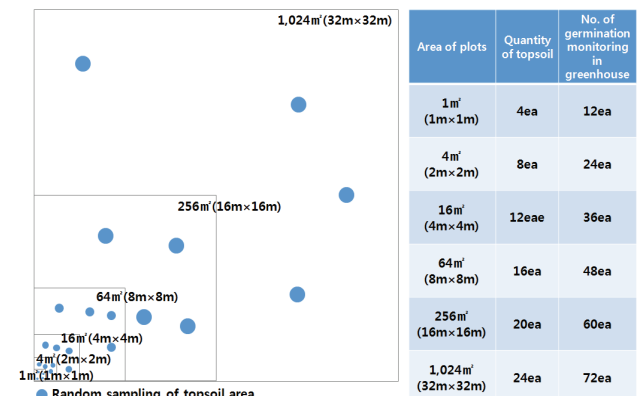


Figure 2. The status of topsoil sampled for minimum viable population

3. 분석방법

1) 매토종자의 발아 현황

각 조사구에서 채취한 표토의 매토종자 발아 실험을 통해 출현한 식물 종을 동정한 후 전체 종수와 개체수를 확인하였다.

2) 통계분석

소나무림 매토종자 최소생존가능개체군의 크기를 알아보기 위해 연구대상지에서 확인한 변수를 중심으로 SPSS 18.0 프로그램을 이용하였다. 최소생존가능개체군의 크기(면적)에 미치는 변수를 확인한 분산분석, *t*-검정 및 상관분석을 통해 통계적 검정을 실시하였고, 면적과 상호관계를 보이는 변수를 중심으로 회귀분석을 실시하였다. 정준상관분석은 두 개 이상의 기준변수와 두 개 이상의 설명변수간의 상호관계를 알아보는 통계분석으로, 변수들 간의 상관관계를 알아보기 위해 실시하였다. 이를 토대로 도서생물지리학의 중-면적곡선에 의한 모형을 매토종자에 투영하여 매토종자 종수와 개체수간의 관계 유무 및 그 정도를 분석하고, 각 변수 간의 표준화된 값을 토대로 각 변수가 소속 변수군을 설명하는데 얼마나 기여하는지와 비소속군을 설명하는데 얼마나 기여하는지를 알아보며, 그 기여도를 비교하고자 하였다.

3) 매토종자 최소생존가능개체군의 크기

통계분석을 통해 소나무림 매토종자의 최소생존가능개체군의 크기에 영향을 미치는 변수를 중심으로 소나무림 매토종자 개체군의 분포 그래프를 도출하여 식물군집의 크기를 산출하였다. 이를 면적과 종수와의 관계를 밝힌 도서생물지리학의

이론을 매토종자에 적용하여 소나무림의 생태복원 시 적정 면적의 크기와 매토종자의 종수, 개체수를 파악하였다.

결과 및 고찰

1. 매토종자의 발아 현황

소나무림 6곳의 면적별 매토종자 발아 현황을 확인한 결과, 인제의 경우 1m²에서 7종 32개체, 4m²에서 11종 55개체, 16m²에서 13종 86개체, 64m²에서 15종 105개체, 256m²에서 22종 157개체, 1,024m²에서 27종 185개체를 확인하였다(Table 1). 울진의 경우 1m²에서 13종 48개체, 4m²에서 15종 90개체, 16m²에서 18종 120개체, 64m²에서 23종 151개체, 256m²에서 25종 176개체, 1,024m²에서 27종 205개체를 확인하였다(Table 1). 안면도의 경우 1m²에서 6종 24개체, 4m²에서 8종 60개체, 16m²에서 10종 79개체, 64m²에서 15종 115개체, 256m²에서 23종 146개체, 1,024m²에서 25종 168개체를 확인하였다(Table 1). 전주의 경우 1m²에서 12종 49개체, 4m²에서 20종 88개체, 16m²에서 29종 129개체, 64m²에서 37종 186개체, 256m²에서 42종 230개체, 1,024m²에서 47종 269개체를 확인하였다(Table 1). 영천의 경우 1m²에서 5종 23개체, 4m²에서 8종 41개체, 16m²에서 10종 49개체, 64m²에서 13종 66개체, 256m²에서 14종 80개체, 1,024m²에서 14종 96개체를 확인하였다(Table 1). 보은의 경우 1m²에서 13종 26개체, 4m²에서 18종 45개체, 16m²에서 23종 71개체, 64m²에서 27종 107개체, 256m²에서 34종 140개체, 1,024m²에서 35종 161개체를 확인하였다(Table 1).

Table 1. Germination seed bank of area on 6 pine forest types

Type		1m ² (1×1m)	4m ² (2×2m)	16m ² (4×4m)	64m ² (8×8m)	256m ² (16×16m)	1,024m ² (32×32m)
Inje	No. of species	7	11	13	15	22	27
	No. of individual	32	55	86	105	157	185
Uljin	No. of species	13	15	18	23	25	27
	No. of individual	48	90	120	151	176	205
Anmyeondo	No. of species	6	8	10	15	23	25
	No. of individual	24	60	79	115	146	168
Jeonju	No. of species	12	20	29	37	42	47
	No. of individual	49	88	129	186	230	269
Yeongchun	No. of species	5	8	10	13	14	14
	No. of individual	23	41	49	66	80	96
Boeun	No. of species	13	18	23	27	34	35
	No. of individual	26	45	71	107	140	161

2. 통계분석

1) 변수의 특성

각 변수들의 평균은 면적 227.5m², 해발고도 324.08m, 방위 205.83, 경사 15.56°, 암반율 11.28, pH 5.19, 유기물함량 89.36, 수관개방율 42.11로 나타났다. 목본은 5.67종, 26.67개체, 초본은 13.89종, 80.50개체를 확인하였다(Table 2). 면적, 해발고도, 유기물함량, 초본 개체수 분산이 큰 이유는 양적자료로 인해 최대값과 최소값의 차가 크기 때문이다. 왜도(Skewness) 분석 결과 모든 변수가 양(+)^{의 값을 지니므로 오른쪽으로 꼬리가 늘어진 분포형태를 가진다. 첨도(Kurtosis) 분석 결과 면적, 초본 종수와 초본 개체수에서 정규분포보다 더 뾰족한 모습을 보인다.}

2) 각 변수에 대한 통계적 검정

12가지 변수 중 질적 자료는 분산분석을, 양적자료는 t-검정을 통해 변수간의 관계를 확인하였으며, 각 변수들 간의

상관관계를 분석하여 매토종자 최소생존가능개체군에 적합한 변수를 도출하였다. 12가지 변수 중 질적으로 측정된 자료인 해발고도, 방위, 경사, 암반율, pH, 유기물함량 및 수관개방율 변수간의 평균을 비교하고자 분산분석을 사용한 결과 모두 유의성이 없었다(Table 3). 이는 질적변수들이 각 연구대상지 내에서 해발고도, 방위, 경사, 암반율, pH, 유기물함량 및 수관개방율의 값이 거의 유사하기 때문이며, 또한 본 연구는 면적과 종수, 개체수와 관계의 관계를 알아보기 위한 것으로 연구대상지내 질적변수들과의 유의성이 없는 것은 도서생물지리학의 이론과 유사함을 확인하였다(Shin and Kim, 1998)

12가지 변수 중 양적으로 측정된 자료인 목본 종수, 목본 개체수, 초본 종수 및 초본 개체수는 평균의 차이 유무를 판단하는 t-검정을 이용하여 분석하였다. 분석 결과 목본 종수($p<.01$), 목본 개체수($p<.01$), 초본 종수($p<.01$) 및 초본 개체수($p<.01$) 모두 유의성이 있었다(Table 4).

매토종자 최소생존가능개체군에 적합한 변수를 도출하고자 12가지 변수들 간의 상관분석을 실시한 결과, 면적은

Table 2. Statistical summary of single parameter

	Average	Min.	Max.	Std.	variance	Skewness	Kurtosis
Area(m ²)	227.5	1	1,024	372.16	138504.6	1.65	1.08
Altitude(m)	324.08	47	583	189.8	36025.8	-0.22	-1.3
Aspect	205.83	105	330	67.74	4589.29	0.51	0.03
Slope(°)	15.56	5	35	9.69	93.97	0.73	-0.98
Rock	11.28	1	30	10.59	112.21	0.71	-1.4
pH	5.19	4.8	5.6	0.28	0.08	0.28	-1.35
O.M.	89.36	26.85	189.56	52.85	2792.71	0.84	-0.15
Canopy openness	42.11	32.14	59.33	10.83	117.28	0.68	-1.36
No. of Woody Species	5.67	1	14	3.56	12.69	0.77	-0.45
No. of Woody Individuals	26.67	1	67	18.02	324.57	0.33	-1.11
No. of Herbaceous Species	13.89	4	36	7.3	53.36	1.08	1.49
No. of Herbaceous Individuals	80.50	11	223	51.8	2683.4	0.92	0.46

Table 3. Anova variable area with qualitative variables

	Altitude	Aspect	Slop	Rock	pH	O.M.	Canopy openness
Sig.	1.000	1.000	.999	1.000	.995	1.000	1.000

Table 4. T-test for area with quantitative variables

	No. of Woody Species	No. of Woody individuals	No. of Herbaceous Species	No. of Herbaceous Individuals
Sig.	.000*	.003*	.000*	.000*

* $p<.01$

초본 종수와 0.686으로 가장 높았으며 초본 개체수, 목본 개체수 및 목본 종수의 순으로 나타났다(Table 5). 즉 면적이 넓어질수록 매토종자 초본 종수, 초본 개체수, 목본 개체수 및 목본 종수는 많아진다. 이는 도서의 면적이 넓을수록 종수가 많아진다는 도서생물지리학의 이론과 유사한 경향을 보이며(MacArthur and Wilson, 1967), 또한 식물 군집의 면적과 상관관계가 높은 변수를 목본 종수, 목본 개체수, 초본 개체수 및 초본 종수로 확인한 내륙의 서식처 분획화 지역과도 유사한 경향을 보였다(Shin and Kim, 1998).

3) 회귀분석

앞서 고찰한 두 변수간의 상관관계에 대한 분석결과를 토대로 종속변수인 면적에 영향을 미치는 목본 종수, 목본 개체수, 초본 종수 및 초본 개체수를 독립변수로 설정하여 다중회귀분석을 실시하였다. 그 결과 결정계수 R²은 .583으로

높은 편이며 F값 23.392(P<0.01)은 통계적으로 유의하였다 (Table 6). Durbin-Watson 통계량 값은 1.593로 다소 2에 가까워 잔차항들 간의 독립성이 유지되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 자기상관이 존재하지 않는다고 판단할 수 있다.

회귀분석 결과, 4개의 변수 모두 유의미한 영향을 미치고 있었다. 이 중 초본 종수(B=23.283)가 가장 높았고, 초본 개체수(B=0.096), 목본 개체수(B=0.080), 목본 종수(B=-18.228)의 순서로 나타났으며, 도출된 모형의 추정회귀식은 아래와 같다(Table 7).

$$\begin{aligned} \text{Area} = & -35.763 \\ & + (-18.228 * \text{목본 종수}) \\ & + (0.080 * \text{목본 개체수}) \\ & + (23.283 * \text{초본 종수}) \\ & + (0.096 * \text{초본 개체수}) \end{aligned}$$

Table 5. Correlation analysis with environmental factors, soil characteristics and vegetation

	Area	Altitude	Aspect	Slop	Rock	pH	O.M.	Canopy openness	No. of woody species	No. of woody individuals	No. of herbaceous species
Altitude	.000										
Aspect	.000	-.181									
Slop	-.036	.212	.715**								
Rock	.030	.031	.789**	.931**							
pH	.090	-.402**	-.208	-.571**	-.383**						
O.M.	.032	.877**	-.292*	.117	-.071	-.552**					
Canopy openness	.000	-.830**	-.216	-.510**	-.457**	.219	-.591**				
No. of woody species	.496**	.140	.036	.068	.105	.048	.067	-.185			
No. of woody individuals	.545**	-.075	-.095	-.144	-.099	.143	.030	.102	.644**		
No. of herbaceous species	.686**	.190	.074	.081	.154	.108	.071	-.289*	.830**	.575**	
No. of herbaceous individuals	.584**	.110	-.011	.047	.056	-.053	.123	-.063	.814**	.695**	.711**

*p<0.05, **p<0.01

Table 6. Multiple regression model summary of the studied area(dependent variable: area)

Model	Variables	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of The Estimate	Durbin-Watson
	Entered					
1	No. of Woody Species No. of Woody Individuals No. of Herbaceous Species No. of Herbaceous Individuals	.763a	.583	.558	245.727	1.593

변수의 중요도를 나타내는 Beta값은 각각 -0.604, 0.233, 0.817, 0.333으로 네 변수 중 초본 종수가 가장 중요한 변수로 작용하고 있으며 목본 종수를 제외한 나머지 변수는 모두 양의 값을, 목본 종수는 음의 값을 가진다(Table 7). 따라서 초본 종수의 영향 정도에 따라 매토종자 군집의 크기가 결정된다고 추정할 수 있다.

4) 정준상관분석

도서생물지리학의 종-면적곡선에 의한 모형을 매토종자에 투영하고자 매토종자 종수와 개체수간의 관계 유무 및 그 정도를 분석하고, 각 변수 간의 표준화된 값을 토대로 각 변수가 소속 변수군을 설명하는데 얼마나 기여하는지와 비소속군을 설명하는 데 얼마나 기여하는지를 알아보며, 그

기여도를 비교하고자 정준상관분석을 실시하였다. 본 연구에서 기준변수는 종수 변수군으로 예측변수는 개체수 변수군으로 하였다.

매토종자의 종수와 개체수간의 정준상관분석 결과 2개의 정준함수가 도출되었으며, 첫 번째 함수에서 유의적인 결과를 보였다($P < 0.01$). 첫 번째 정준함수 분석 결과, 정준상관계수는 .824(wilk's $\lambda = .320, x^2 = 78.065, df = 4.000, p < .001$)로 나타나 매토종자 종수 정준변량이 매토종자 개체수 정준변량과 통계적으로 유의미한 상관관계가 있는 것으로 판단된다(Table 8).

표준화된 정준계수로 예측변수군을 요약하는 정준변량은 다음과 같은 선형결합 형태를 가지게 된다(Table 9).

Table 7. Multiple regression coefficients of the studied area(dependent variable: area)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-35.763	52.502		-.681	.498
1 No. of Woody Species	-18.228	5.242	-.604	-3.478	.001
No. of Woody Individuals	.080	.039	.233	2.083	.041
No. of Herbaceous Species	23.283	4.066	.817	5.726	.000
No. of Herbaceous Individuals	.096	.043	.333	2.252	.028

Table 8. Results of canonical correlation analysis

	Canonical correlations	Wilk's Lambda	Chi-SQ	DF	Sig.
Set 1	0.824	.320	78.065	4.000	.000
Set 2	0.031	.999	.064	1.000	.800

Table 9. Canonical correlation analysis between no. of species and no. of individuals of seed bank

	Standardized canonical coefficients	Canonical loadings	Cross loadings
	Set 1	Set 1	Set 1
Variable of species			
No. of woody species	-.874	-.997	-.822
No. of herbaceous species	-.147	-.873	-.720
Redundancy index	.878		
Variable of individuals			
No. of woody individuals	-.189	-.786	-.648
No. of herbaceous individuals	-.860	-.991	-.817
Redundancy index	.800		

$$W1(\text{제1 정준함수에 의한 준거정준변량}) \\ = -0.874 * (\text{목본종수}) - 0.147 * (\text{초본종수})$$

또한 준거변수군의 측정방법을 요약하는 정준변량은 다음과 같은 선형결합 형태를 가지게 된다(Table 9).

$$W1(\text{제1 정준함수에 의한 예측정준변량}) \\ = -0.189 * (\text{목본개체수}) - 0.860 * (\text{초본개체수})$$

정준함수 1의 중복지수는 매토종자 개체수 변량 80.0%의 분산이 매토종자 종수 정준변량에 의해서 설명되고 전체적으로는 87.8%가 설명되었다. 구체적으로 매토종자의 목본 종수와 초본 종수 순으로 매토종자의 초본 개체수, 목본 개체수에 영향관계를 보이는 것으로 나타났다.

종합해보면, 매토종자의 종수군과 개체수군에는 유의한 상관관계가 있으며, 이는 종수군을 87.8% 정도 설명하고 있다. 이러한 결과로 볼 때, 매토종자의 개체수를 높이기 위해서는 매토종자의 종수가 필요하다. 구체적으로 목본 종수, 초본 종수가 필요하며, 이러한 종들은 초본 개체수를 높이는데 중요한 요인이 된다.

3. 매토종자 최소생존가능개체군의 크기

지금까지 분석한 통계검정과정(Table 2~Table 9)에서 밝혀졌듯이 면적과 종수와의 관계는 도서생물지리학의 이론과 유사한 경향을 보이며(MacArthur and Wilson, 1967; Shin and Kim, 1998), 본 연구에서 새로 적용한 매토종자의 개체수 변수 또한 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과로 볼 때 매토종자와 면적과의 관계는 도서생물지리학 이론의 종-면적 곡선과 유사한 양상을 보이므로 도서생물지리학 이론의 적용은 가능할 것으로 보인다.

조사지역 전체에 대한 종수-면적 곡선은 64m²까지 증가하다가, 64m²이상부터는 기울기가 완만해지는 경향을 보인다. 64m²에서의 종수는 21종 정도로 판단된다. 또한 종수의 증가가 256m²에서 26종, 1,024m²에서 29종으로 점점 완만해짐을 알 수 있었다(Figure 3). 도서생물지리학 이론의 종-면적곡선의 경우 식물군집의 크기는 64m²이상부터 종수의 증가가 거의 없으며, 이때의 종수는 약 27종이다. 매토종자는 도서생물지리학 이론과 비교해 볼 때 식물군집의 크기와 출현 종수에서 유사한 경향을 보인다(MacArthur and Wilson, 1967). 개체수-면적 곡선의 경우 또한 64m²까지 증가하다가, 64m²이상부터는 기울기가 완만해지는 경향을 보인다(Figure 4). 64m²에서의 개체수는 120여 개체, 256m²에서 개체수 170여 개체, 1,024m²에서 개체수 180여 개체

정도로 판단된다.

이상의 결과를 종합해볼 때 종수-면적 곡선과 개체수-면적 곡선을 비교하여 판단해보면 매토종자 군집의 크기는 64m²까지 증가하다가 256m²이상부터 종수와 개체수의 증가가 둔화되며 이때의 종수는 26~27종, 개체수 약 170여 개체로 판단된다. 하지만 종수, 개체수 모두 1,024m²이상에서도 지속적인 증가를 보이고 있어 추후 1,024m²이상을 대상으로 한 연구의 수행이 필요할 것으로 판단된다.

정준상관분석의 결과에서 종수군과 개체수군의 유의성이 있는 바, 종수-개체수 곡선을 이용하여 매토종자의 종수, 개체수 변화 경향을 파악하였다. 목본 종수-목본 개체수 곡선의 경우 8종 66개체 이상까지 기울기의 증가를 보인다(Figure 5). 이는 분획화된 현존식생의 군집의 경우 목본 종수-목본 개체수는 10종 500개체까지 급격한 증가를 보인다는 기존의 연구 결과와 종수는 유사하다(Shin and Kim, 1998). 초본 종수-초본 개체수 곡선에서도 20종 160개체까지 증가를 보이고 있는데(Figure 6), 초본 종수-초본 개체수는 17종 1,000개체까지 급격한 증가를 보인다 20종 4,000개체에서 증가가 없다는 연구의 결과와도 종수는 유사한 것으로 나타났다(Shin and Kim, 1998). 종수-개체수 곡선의 경우 27종 160개체까지 증가를 보이는데 30종 5,000개체부터 종수와 개체수의 증가가 거의 없다는 기존 연구(Shin and Kim, 1998)와도 종수에서 유사한 경향을 보인다(Figure 7). 본 연구에서도 종수의 경우 기존 연구와의 출현 경향이 유사하나 개체수에서 다소 차이를 보이고 있다.

지금까지 종수-개체수 곡선에 의한 매토종자 군집의 종수 개체수를 알아본 결과 목본의 경우 종수 8종 이상, 개체수 66개체 이상, 초본인 경우 종수 20종 이상, 개체수 160개체까지 증가를 보인다. 매토종자는 64m²이상, 21종까지 급격히 증가하여 256m²이상, 26~27종, 160여 개체 이후부터 증가가 거의 없다. 식물군집 64m²이상, 27종부터 종수의 증가가 거의 없는 도서생물지리학 이론의 종-면적곡선(MacArthur and Wilson, 1967)과 비교해볼 때 종수는 유사하며, 식물군집 400m²이상, 30종, 4,000개체부터 종수의 증가가 거의 없는 서식처분획화에 따른 식물군집의 크기(Shin and Kim, 1998) 연구와 비교해볼 때 면적과 개체수에서 다소 차이를 보인다.

기존의 도서생물지리학과 서식처분획화에 따른 식물군집의 크기에 관한 연구의 경우 모두 현존식생을 대상으로 데이터화한 것이다. 식물사회를 구성하는 경쟁 전략은 일반적으로 종자 생산을 통해 개체를 존속시키는 침투전략 외에 절간이나 뿌리 줄기에서 발달하여 영양 성장하는 인해전술 혹은 게릴라전략으로 나뉘는데(Kim and Lee, 2006), 매토종자의 경우 인해전술 혹은 게릴라전략을 통해 식물사회를 구성하는 지상개체군의 출현을 기대할 수 없다. 따라서 매

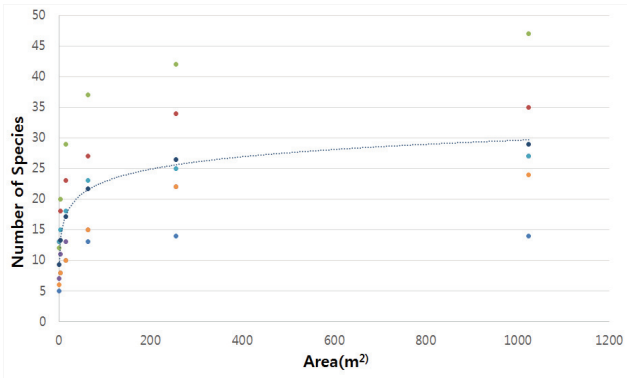


Figure 3. Curve of species-area in studied plots

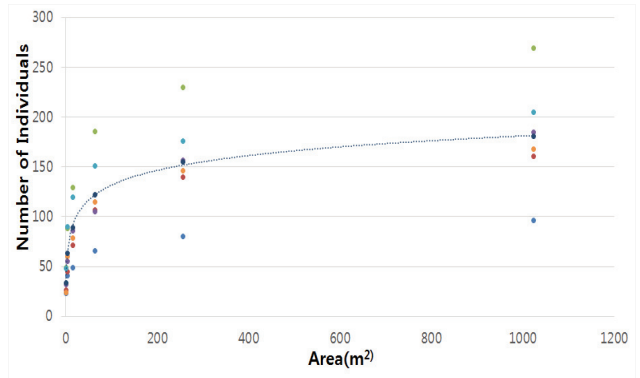


Figure 4. Curve of individuals-area in studied plots

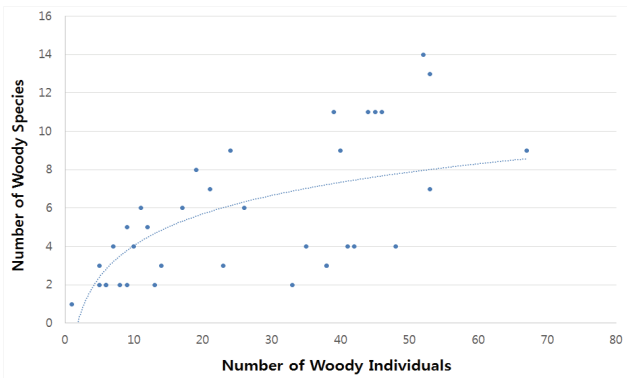


Figure 5. Curve of no. of woody species-no. of woody individuals-area in studied plots

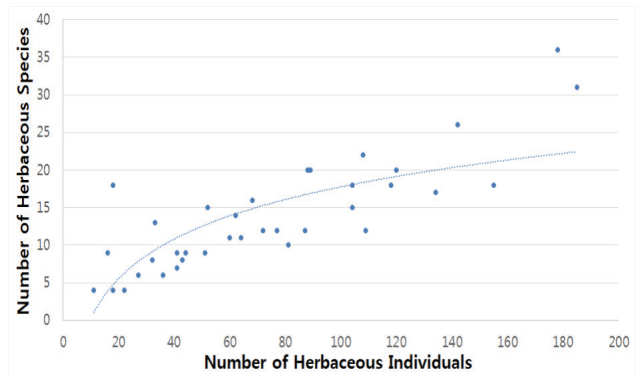


Figure 6. Curve of no. of herbaceous species-no. of herbaceous individuals-area in studied plots

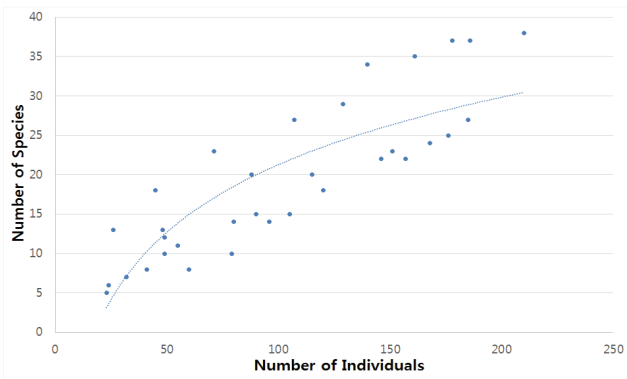


Figure 7. No. of species-no. of individuals in studied plots

토종자를 활용한 방법에는 인해전술과 게릴라전략을 구사하는 종들까지 출현하는 현존식생을 대상으로 한 연구와는 다소 차이가 있다. 또한, 종의 확산은 다양한 전략을 통해 출현하는 현존식생의 수관층의 형태 및 유무에 따라 달라지며 이는 출현종을 구분할 수 있는 요인이 된다(Pugnaire and Lázaro, 2000). 매토종자의 경우 천이 초기 종이 많이 분포하고(Matus *et al.*, 2005), 종자의 포식과 같은 외부 방해요인이 없는 적정 발아환경으로 인해 현존식생 식물군집의

크기보다는 작은 면적에서 유사한 종수를 보이는 것으로 판단된다. 즉, 현존식생의 군집은 식생 안정화가 이루어진 후 나타난 현황을 데이터화 한 것이며, 매토종자는 발아 후 현존식생에서 군집 내 식생과의 경쟁을 통해 추후 군집의 구성원으로 자라게 될 것이다. 따라서 매토종자에서 발아한 개체는 일부 현존식생에 포함되지 않기 때문인 것으로 판단된다.

4. 종합고찰

6곳의 소나무 순림을 대상으로 면적에 따른 매토종자의 발아 현황과 관계를 알아본 결과 매토종자 최소생존가능개체군에 적합한 변수는 초본 종수, 초본 개체수, 목본개체수 및 목본 종수로 나타났다. 이들 변수를 중심으로 회귀분석한 결과 초본 종수의 영향이 가장 크며, 정준상관분석 결과 매토종자의 개체수를 높이기 위해서는 종수가 필요함을 확인하였다. 이를 토대로 도서생물지리학 이론을 적용한 매토종자 식물군집의 크기는 64m²이상, 21종, 120개체까지 급격히 증가하여 256m²이상, 26~27종, 160여 개체 이후부터는 증가가 거의 없는 것으로 판단된다. 따라서, 소나무림 매토종자 최소생존가능개체군의 크기는 면적 64m²이상, 종수 21종 이상, 개체수 120개체 이상을 권장하며 초본 종수의 영향에 따라 매토종자 군집의 크기가 결정되는 것으로 판단된다.

이를 토대로 본 연구에서 다음과 같은 결론을 유추할 수 있다. 첫째, 생태복원의 방법 중 매토종자를 활용할 경우 64m²이상, 종수 21종 이상, 개체수 120개체 이상을 권장한다. 따라서 향후 매토종자의 채집 시 기초자료로 활용가능하다. 둘째, 매토종자 군집의 크기는 종수에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 현존식생의 종수가 다양할수록 매토종자에서 출현하는 종수 및 개체수가 늘어날 것으로 판단되므로 현존식생의 종 다양성이 높은 식생일수록 다양한 매토종자가 출현할 것으로 판단된다. 셋째, 본 연구는 매토종자만을 대상으로 하였다. 식물사회는 종자생산을 통한 전략 외에 다양한 전략을 통해 군집을 이루고 있다. 따라서 다양한 전략에 의한 식물사회의 구성원에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2016년도 영남대학교 박사 학위논문의 일부이며, 한국연구재단 기초연구사업(2010-0010215)의 지원에 의해 연구되었습니다.

REFERENCES

- Jo, D.G.(2011) Theory of planning and design of ecological restoration. Nexus Environment Design Press, Uiwang, 741pp. (in Korean)
- Kim, J.W. and Y.K. Lee(2006) Classification and assessment of plant communities. World Science, Seoul, 240pp. (in Korean)
- Koh, J.H.(2007) A study on the potential contribution of soil seed bank to the revegetation. Journal of Korean Environment Restoration and Revegetation Technology 10(6): 99-109. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Service(2015) 2015 Forest ecological restoration project plan. Korean Forest Service Press, Daejeon, 130pp. (in Korean)
- MacArthur, R.H. and E.O. Wilson(1967) The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, 203pp.
- McCullough, D.R.(1979) The geroge reserve Deer Herd. In: Population ecology of a k-selected species, University of Michigan Press, Ann Arbor, 271pp.
- Matus, G., M. Papp and B. Tóthmérész(2005) Impact of management on vegetation dynamics and seed bank formation of inland dune grassland in Hungary. Flora 200(3): 296-306.
- Pugnaire, F.I. and R. Lázaro(2000) Seed bank and understorey species composition in a semi-arid environment: The effect of shrub age and rainfall. Annals of Botany 86(4): 807-813.
- Shaffer, M.L.(1981) Minimum Viable Population sizes for Species conservation. BioScience 31(2): 131-134.
- Shin, H.T. and Y.S. Kim(1998) Study on the size of plant community in fragmented habitats. Korean Journal of Environment and Ecology 12(2): 147-155. (in Korean with English abstract)
- Templeton, A.R. and D.A. Levin(1979) Evolutionary consequences of seed pools. The American Naturalist 114(2): 232-249.
- Uyeki, H.(1928) On the physiognomy of *Pinus densiflora* growing in Korea and silvicultural treatment for its improvement. Bulletin of the Agricultural and Forestry College Suigen (Suwon) Korea 3: 263.
- Yi, M.H.(2010) The relation between soil seed bank and actual vegetation. M.S. Thesis. Univ. of Yeungnam, Gyeongsan, 62pp. (in Korean with English abstract)
- Zobe, M., R. Kalamees, K. Püssa, E. Roosaluuste and M. Moora(2007) Soil seed bank and vegetation in mixed coniferous forest stands with different disturbance regimes. Forest Ecology and management 250(1): 71-76.