

난온대 기후대의 상록활엽수림 복원 모니터링(Ⅲ)^{1a}

강현미² · 강지우³ · 김지해³ · 성찬용⁴ · 박석곤^{5*}

Monitoring the Restoration of Evergreen Broad-Leaved Forests in the Warm-Temperate Region(Ⅲ)^{1a}

Hyun-Mi Kang², Ji-Woo Kang³, Ji-Hae Kim³, Chan-Yong Sung⁴, Seok-Gon Park^{5*}

요약

난온대 상록활엽수림의 변화과정을 장기 모니터링하기 위해 1996년 완도수목원에 설치된 16개 고정조사구(시험구, 대조구)를 대상으로 식생구조 변화를 분석했다. 특히 1996년도 복원기법으로 도입한 시험처리(숙아베기, 식물도입)가 식생 발달에 미친 영향을 심도 있게 논의했다. 교목층에 붉가시나무가 우점한 군락(고정조사구 1~3)에서는 이 종의 평균상대우점치(MIP)가 줄고, 외부에서 들어온 상록활엽수종의 MIP가 늘어나 장래 식생구조 변화가 예상된다. 붉가시나무-낙엽활엽수림(고정조사구 5, 7), 소나무림(고정조사구 9, 10)에서도 상록활엽수종의 세력 확장이 확인됐다. 숙아베기를 시행했던 시험구에서 조류 피식 산포형인 생달나무, 참식나무, 후박나무 등의 종 유입과 상록활엽수종의 세력 확장이 두드러져, 난온대림 식생 발달을 촉진하는데 유효했다고 본다. 시험구에 상록활엽수종을 심어 식생구조 변화를 꾀했지만, 식재 수량이 적어 식생구조 변화에 끼친 영향이 미약했던 것으로 보인다. 다른 식생유형보다 소나무림은 소나무, 곰솔의 쇠퇴에 따른 상록활엽수림으로의 식생구조 변화가 뚜렷했다.

주요어: 붉가시나무, 숙아베기, 종자 산포, 복원사업

ABSTRACT

This study analyzed changes in the vegetation structure of 16 permanent plots (experimental and control) installed in Wando Arboretum in 1996 to monitor the long-term change process of evergreen broad-leaved forests in warm temperate. Especially, this study discusses the effects of trial treatment (selection cutting and plant introduction), introduced as a restoration technique in 1996, on vegetation development. In communities

1 접수 2021년 11월 23일, 수정 (1차: 2021년 12월 13일, 2차: 2021년 12월 16일), 게재확정 2021년 12월 20일

Received 23 November 2021; Revised (1st: 13 December 2021, 2nd: 16 December 2021); Accepted 20 December 2021

2 국립목포대학교 조경학과 조교수 Dept. of Landscape Architecture, Mokpo National Univ., Muan 58554, Korea (kang@mokpo.ac.kr)

3 국립목포대학교 대학원 조경학과 석사과정 Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Mokpo National Univ., Muan 58554, Korea (wo902@naver.com, saqazqaz@naver.com)

4 한밭대학교 도시공학과 부교수 Dept. of Urban Engineering, Hanbat National Univ., 125 Dongseo-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 34158, Korea (cysung@hanbat.ac.kr)

5 국립순천대학교 산림자원·조경학부 교수 Division of Forest Resources and Landscape Architecture, Suncheon National Univ., Sunchoen 57922, Korea (sgpark@scnu.ac.kr)

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

* 교신저자 Corresponding author: sgpark@scnu.ac.kr

dominated by *Quercus acuta* in the canopy (permanent plots 1 through 3), this species's mean important percentage (MIP) decreased, and the evergreen broad-leaved species was introduced from outside increased, likely to change the vegetation structure in the future. The expansion of the evergreen broad-leaved species group was also confirmed in *Q. acuta*-deciduous broad-leaved forests (permanent plots 5 and 7) and *Pinus densiflora* forests (permanent plots 9 and 10). In the experimental plots where thinning was carried out, the zoochory (the dispersal of seeds by birds), *Cinnamomum yabunikkei*, *Neolitsea sericea*, *Machilus thunbergii*, etc., and the expansion of the influence of evergreen broad-leaved species were remarkable, so it is considered to have effectively promoted the vegetation development in warm temperate forests. Although evergreen broad-leaved species were planted in the experimental plot to change vegetation structure, it seems the effect on the change was weak due to the small amount of planting. Compared to other vegetation types, the change in the vegetative structure of the pine forest to an evergreen broad-leaved forest was clear due to the decline of *P. densiflora* and *P. thunbergii*.

KEY WORDS: *Quercus acuta*, **SELECTIVE CUTTING**, **SEED DISPERSAL**, **RESTORATION PROJECT**

서론

상록활엽수림은 우리나라 난온대 기후대 지역의 향토경관 복원, 국가차원의 생물유전자 및 종다양성 보전전략상 귀중한 생물자원(Oh and Kim, 1998)으로 낙엽활엽수림과 달리 독특한 경관을 연출하며 환경오염 등에 대한 내성이 강하여 난온대 지역의 풍치림, 환경림 조성 등 그 활용성이 크다(Oh and Cho, 1996). 하지만, 우리나라 난온대 상록활엽수림은 주로 남부지방과 도서에 일부 분포해 분포면적이 협소하게 남아있다(Park et al., 2018). 이 또한, 과거 벌채, 연료 채취, 유용식물 채취 등으로 대부분 파괴(Lee et al., 2020)되어 곰솔, 낙엽성 참나무류가 우점해 있는 퇴행천이 상태이거나 일부 남아있는 파편화(Oh and Cho, 1996; Park et al., 2018)된 형태로 분포해 있다. 이런 까닭으로 난온대 수종의 확산, 퇴행천이의 식생 변화 등 상록활엽수림대에 대한 장기적인 모니터링 연구가 필요하지만, 그 연구가 부족한 실정이다(Lee et al., 2020).

한국 난온대 상록활엽수림의 식생구조, 식생천이계열 및 식생복원에 관한 연구(e.g. Oh and Choi, 1993; Oh and Kim, 1996; Park and Oh, 2002, Park et al., 2018; Kang, 2019; Lee et al., 2019)는 1990년대부터 계속해서 이루어졌다. Oh and Kim(1997), Kamijo et al.(2002), Tang(2010) 등 한국, 일본, 중국 문헌을 방대하게 종합하여 난온대 기후대의 천이계열을 Park et al.(2018)은 논의했다. 그 결과 난온대림의 천이계열은 곰솔·소나무·줄참나무 등(초기단계)→후박나무·생달나무·참식나무·육박나무 등(중간단계)→구실잣밤나무·붉가시나무·참가시나무 등(극상단계)의 순으로 2차천이가 진행되는 것으로 봤다. 강한 조풍의 영향을

받는 입지 조건이나 구실잣밤나무·가시나무류의 종자 공급원이 인접하지 않는 곳에서는 후박나무림이 토지극상이라는 것이다. 또 지구온난화로 난온대 상록활엽수림대의 상승이 예상되는데 구실잣밤나무림·가시나무류림보다 후박나무림 유형(후박나무·생달나무·참식나무 등)이 빠르게 이동해 정착할 것으로 예상했다.

이런 난온대 상록활엽수림의 천이계열과 변화과정을 가장 확실하게 검증할 수 있는 것은 장기간에 걸친 모니터링 연구이다. Oh and Kim(1998)은 이런 목적으로 1996년 완도수목원 지역에 고정조사구를 설치하여, 상록활엽수림의 변화과정을 장기 추적조사를 통해 천이계열 및 복원과정을 규명하고자 했다. 이후 2004년에 이곳의 식생구조 변화를 Oh et al.(2004)가 발표했으나 2004년 이후 15년 이상의 시간이 지나는 동안 관련 연구가 없어 결과의 변화를 파악할 수 없었다. 이에 본 연구는 이 모니터링 연구의 연장으로 최초 고정조사구 설치 이후 25년이 지난 2021년에 그 변화를 조사하여, 1996년도 시험처리(숙아베기, 식물도입)가 시험구와 대조구에 미치는 영향과 장기적 식생구조 변화를 파악하려고 했다.

조사구 설정 및 연구방법

1. 고정조사구 설치 및 시험처리

고정조사구(permanent plot)는 1996년에 완도수목원에 상록활엽수림의 변화과정을 모니터링하여 식생천이 및 복원과정을 규명하기 위해서 설치했다. 고정조사구는 시험구

(experimental plot; E)와 대조구(control plot; C)로 구성되었는데 시험구는 적극적인 복원기법으로 식생천이를 촉진하는 처리구이며, 이의 효과를 비교하기 위해 근처에 대조구를 설치했다. 10지점에 10개의 고정조사구(시험구 10개, 대조구 10개)를 인위적 영향을 최소화하기 위해 수목원 내의 임도에서 숲 방향으로 20~30m 정도 들어가 만들었다. 고정조사구는 상록활엽수림 천이계열과 타 수종간의 경쟁관계를 알아보기 위해, 붉가시나무가 우점하는 지역(고정조사구 1~4번), 붉가시나무와 개서어나무, 졸참나무 등의 낙엽활엽수가 경쟁하는 지역(고정조사구 5~8번), 소나무가 교목층을 우점하고 하층에 상록활엽수종이 발달하는 지역(고정조사구 9~10번)으로 구분해 설치했다. 시험구 1개소의 면적은 15m×20m(300m²)로 했으며, 관목층 조사를 위해 5m×5m(25m²) 크기의 중첩방형구를 좌, 우상단부에 2개소를 설치했으며, 대조구도 같게 만들어 식생 발달을 상호 비교할 수 있도록 했다(Oh and Kim, 1998; Oh *et al.*, 2004).

1996년 1차 조사를 시작으로 1997년(2차), 1998년(3차), 1999년(4차), 2001년(5차), 2003(6차) 조사까지 7년에 걸쳐 꾸준하게 조사가 이루어졌고, Oh and Kim(1998), Oh *et al.*(2004)은 그 결과를 보고했다. 그 후에는 조사가 이루어지지 않고 관리도로 확장, 숲가꾸기, 붉가시나무의 종자 생산량 시험처리구 설치 등으로 인해 기존에 설치하였던 고정조사구 일부가 영향을 받았다. 특히 2001년 관리도로 확장공사로 인해 고정조사구 4, 8번이 훼손되어, 이것을 제외한 8개의 고정조사구를 2021년 5월에 조사했다. 고정조사구 6번은 강도 높은 입목밀도 조절, 하층제거 등의 숲가꾸기가 2~3년 전에 이루어져, 장기간의 상록활엽수림의 변화과정 고정조사구로서 의미가 사라져 분석에서 제외했다.

1996년 10월에 시험구(experimental plot)에서 상록활엽수림으로의 식생 발달을 적극적으로 촉진하기 위해 숲아베

기(택벌)와 식물도입(식재)의 복원기법을 적용했다. 숲아베기는 860~900주/ha 수준으로 시행했는데 난온대 자생종을 남겨두고 교목층 수목을 베어냈다. 상록활엽수종의 식물도입이 식생구조 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 1997년 8월에 붉가시나무·구실잣밤나무·종가시나무(수고 0.6~1.2m), 동백나무(수고 0.4~0.8m) 등 묘목 총 135주를 고정조사구별로 9~20주씩 심었다. 1998년 5월에 평균 80.7%(109주)가 활착하여 생존했다(Oh and Kim, 1998; Table 3 참조).

2021년도 고정조사구의 일반적 개황을 보면, 고정조사구는 해발 113~404m, 경사도 5~35°에 위치했다. 전체 출현종수는 14~29종으로 확인됐으며, 교목층의 식피율은 60~80%로 조사되었다. 전체적으로 시험구와 대조구의 층위별 수고, 평균흉고직경, 식피율 등의 차이는 크게 확인되지 않았다(Table 1).

2. 조사 및 분석 방법

1) 식생 및 환경요인 조사

1996년도 식생조사에서는 수고 0.5m 미만의 수목을 지피층, 0.5~2m 사이의 수목을 관목층, 그 외 수목을 교목층으로 층위를 나눠 매목조사를 실시했다(Oh and Kim, 1998). 첫 조사인 1996년의 원 자료(조사야장)를 분실하여, 1999년에 조사한 데이터(조사야장)와 비교해 식생 변화를 분석했다. 22년이 지난 2021년 조사에서는 수목의 생장을 고려하여 상층 수관을 이루는 수목을 교목층, 2m 미만의 수목을 관목층, 그 사이에 출현 수목을 아교목층으로 층위를 구분했다. 1999년 조사의 관목층과 지피층은 이번 조사에선 관목층으로 조사되어 1999년 지피층으로 조사되었던 부분이 분석자료에서 제외되면서 관목층은 지표면을 피복하고 있

Table 1. General description of the physical and vegetation of the surveyed plots

Plot number	Permanent plot 1		Permanent plot 2		Permanent plot 3		Permanent plot 5		Permanent plot 7		Permanent plot 9		Permanent plot 10	
	E [†]	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
Altitude(m)	251	254	279	278	338	336	391	404	384	383	113	113	118	118
Aspect(°)	240	240	240	240	330	330	290	390	290	290	45	45	45	45
Slope(%)	7	7	5	5	20	20	35	35	32	35	32	30	20	22
Number of species	17	15	14	16	12	15	29	29	27	28	25	17	19	19
Height(m)	26	26	26	26	24	24	21	21	25	25	20	20	24	24
Canopy Mean DBH(cm)	23.4	18.0	26.8	25.7	24.9	20.1	25.7	25.6	23.2	23.2	18.8	22.9	25.9	22.8
Coverage(%)	80	80	80	80	70	70	80	80	80	80	60	80	70	70
Height(m)	13	13	13	13	9	9	4	7	9	9	10	10	15	15
Understory Mean DBH(cm)	3.4	5.1	4.4	4.7	3.6	3.3	5.5	7.8	3.3	3.4	4.6	4.1	4.2	4.8
Coverage(%)	40	40	40	40	70	70	5	20	50	50	80	50	70	70
Height(m)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5
Shrub Coverage(%)	30	30	30	30	40	40	100	100	20	20	10	20	20	20

[†] E: Experimental plot, C: Control plot

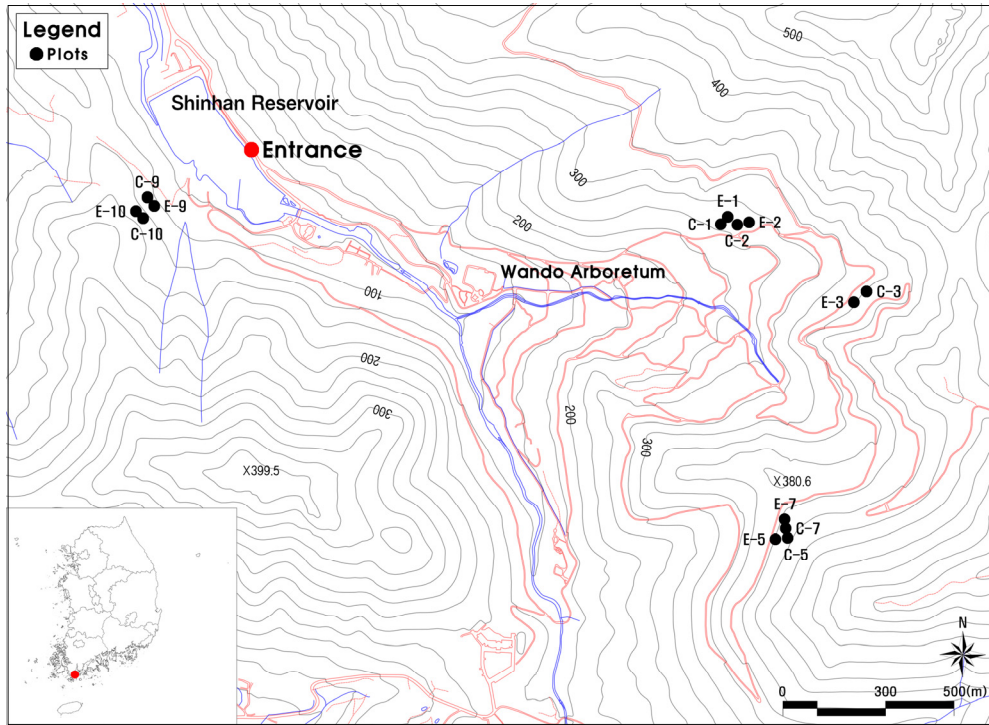


Figure 1. Map of the surveyed plots.(E: experimental plot, C: control plot)

는 덩굴식물에서 약간의 차이를 보였다.

고정조사구(크기 15m×20m)의 교목층·아교목층에 출현하는 목본의 흉고직경을 측정했고, 고정조사구의 좌우측 상단부에 크기 5m×5m(25m²)를 2개소 설치해 관목층에 출현한 목본의 수관폭(장변×단변)을 매목조사했다. 그 외 층위별 평균수고와 평균식피율을 조사했으며, 각 조사지의 환경요인을 파악하기 위해 해발고, 사면방위, 경사도 등을 조사했다.

2) 식물군집구조 분석

1999년과 2021년도에 실시한 식생조사 자료(조사야장)를 분석하여 그 변화를 비교했다. 식생조사 자료에 출현하는 수종의 상대적 우세를 비교하기 위해 Curtis and McIntosh (1951)의 중요치(Importance Value; IV)를 통합하여 백분율로 나타낸 상대우점치(Brower and Zar, 1977)를 수관층위별로 분석했다. 상대우점치(Importance Percentage; IP)는 (상대밀도+상대피도)/2로 계산했으며, 개체들의 크기를 고려하여 수관층위별로 가중치를 부여한 (교목층 IP×3+아교목층 IP×2+관목층 IP×1)/6으로 평균상대우점치(Mean Importance Percentage; MIP)를 구했다(Park, 1985). 고정조사구에 교목성 난온대 수종이 유입되어 종자 발아로 식생구조에 미치는 영향을 알아보기 위해 교목성 상록활엽수종의 교목, 아교목, 관목층의 상대우점치를 따로 정리했다. 교

목성 상록활엽수종은 가시나무류, 잣나무류, 후박나무, 참식나무, 생달나무, 새덕이, 육박나무, 감탕나무, 굴거리나무, 황칠나무 등이다.

조사구별로 종구성의 다양한 정도를 나타내는 종다양도는 Shannon의 수식(Pielou, 1975)을 이용하여 종다양도(Species Diversity, H'), 균재도(Evenness, J'), 우점도(Dominance, D), 최대종다양성지수(H'_{max})를 계산했고, 그 외 흉고단면적과 종수 단위면적당(교목층·아교목층: 300m², 관목층: 50m²) 개체수를 분석했다. 조사구별 난온대 상록활엽수종의 동태를 살피기 위해 난온대 수종과 교목성 상록활엽수종의 종수와 개체수, 흉고단면적 등을 분석했다. 난온대 수종은 예덕나무, 멸구슬나무, 머귀나무 등의 낙엽활엽수종과 붉가시나무, 구실잣밤나무, 후박나무, 참식나무 등의 상록활엽수종을 의미한다.

결과 및 고찰

1. 고정조사구의 상대우점치 분석

Table 2에서 시험구와 대조구의 평균상대우점치(MIP)를 1999년(과거)과 2021년(현재)으로 나눠 그 변화를 비교했다. 고정조사구 1~3번은 과거에 붉가시나무(*Quercus acuta*)

Plant morphology	Species	E-5 [†]		C-5		E-7		C-7		E-9		C-9		E-10		C-10		
		1999	2021	1999	2021	1999	2021	1999	2021	1999	2021	1999	2021	1999	2021	1999	2021	
Shrub	<i>Picrasma quassoides</i>	0.42	-	4.33	-	-	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Magnolia sieboldii</i>	-	-	2.88	-	-	-	1.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Quercus variabilis</i>	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18	-	-	
	<i>Toxicodendron sylvestri</i>	1.50	0.83	-	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17	-	
	<i>Ilex macropoda</i>	-	0.23	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.83	
	<i>Zelkova serrata</i>	2.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.09
	<i>Callicarpa mollis</i>	0.25	-	-	-	0.42	-	0.74	0.20	0.86	1.00	0.14	0.19	2.26	-	4.65	-	
	<i>Pourthiaea villosa</i>	0.19	-	-	-	-	-	-	-	0.27	-	1.55	-	1.21	-	1.07	-	
	<i>Symplocos sawafutagi</i>	0.17	0.21	-	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	0.25	-	-	-	
	<i>Callicarpa japonica</i>	-	0.12	-	-	0.30	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	
	<i>Viburnum wrightii</i>	-	0.04	-	0.07	0.41	-	0.10	-	1.03	-	0.30	-	0.55	-	-	-	
	<i>Lespedeza maximowiczii</i>	-	-	-	0.14	-	-	-	-	0.14	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	-	0.50	-	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Stephanandra incisa</i>	-	0.05	-	-	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Lindera obtusiloba</i>	-	-	-	-	0.16	0.49	0.14	-	-	-	0.14	-	0.48	-	0.95	-	
	<i>Lindera glauca</i>	-	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Weigela subsessilis</i>	-	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Euonymus oxyphyllus</i>	-	-	-	-	0.24	0.06	0.93	0.17	0.82	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Viburnum erosum</i>	-	-	-	-	1.48	1.30	0.81	-	0.75	0.11	0.16	-	0.58	0.27	0.76	-	
	<i>Symplocos tanakana</i>	-	-	-	-	-	0.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.23	-	-	-	-	-	-	
	<i>Corylus heterophylla</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.13	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Vaccinium oldhamii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	-	-	-	
	Vine	<i>Smilax china</i>	-	-	-	-	1.50	-	0.06	-	-	-	-	-	0.22	-	-	
		<i>Vitis coignetiae</i>	-	-	-	-	-	-	3.56	-	-	-	-	-	-	-	-	
		<i>Smilax sieboldii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	-	
	Evergreen conifers	Tree	<i>Torreya nucifera</i>	-	-	-	2.33	2.73	1.01	1.04	0.49	-	-	0.11	-	-	-	-
			<i>Pinus thunbergii</i>	-	-	-	-	-	-	-	50.38	16.22	10.03	4.63	50.00	26.92	15.88	14.29
<i>Pinus densiflora</i>			-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.94	10.17	-	4.84	8.08	5.51	

† E: Experimental plot, C: Control plot

의 MIP가 높은 붉가시나무군락이었다. 현재도 이 수종의 MIP가 높았지만, 과거보다 약간 줄어들었다. 이는 교목성 구실잣밤나무(*Castanopsis sieboldii*), 생달나무(*Cinnamomum yabunikkei*), 참식나무(*Neolitsea sericea*), 후박나무(*Machilus thunbergii*), 새덕이(*Neolitsea aciculata*) 등이 세력을 확장했기 때문이고, 일부 수종은 과거 출현하지 않았는데 외부로부터 고정조사구에 들어와 활착하여 MIP가 높아졌다. 이런 현상은 대조구보다 시험구에서 두드러졌다. 과거 숲아베기로 입목밀도가 낮아져 숲틈(forest gap)이 생겨 조류 등의 야생동물에 의한 종자가 산포되거나 중력 산포로 종자의 활착 기회가 늘어났기 때문이다. 후박나무, 생달나무, 참식나무 등의 후박나무림형(Hattori, 1993)이라고 정의되는 조류 피식 산포형(Zoochory) 종자가 잣밤나무류·가시나무류의 중력산포형(Barochory)보다 확산력이 뛰어나므로 구실잣밤나무보다 피식 산포형 종자들의 MIP가 시험구에서 더 높게 늘어날 것이다. 상록활엽수의 세력이 확장되면서 개서어나무, 때죽나무, 뱃나무류 등의 낙엽활엽수종의 MIP가 확연하게 줄어들었다. 이런 현상은 대조구와 시험구에서 모

두 두드러졌다. 난온대 지역의 천이계열상 상록활엽수종이 우점하여 수관이 닫히기 시작하면 임상으로 들어오는 광량이 확연하게 줄어 낙엽활엽수에게 불리한 생육조건으로 작동해 그 세력이 약해지고, 음수성 상록활엽수종으로 식생천이가 이루어진다고 많은 문헌에서 밝혔다(e.g., Oh and Kim, 1997; Kamijo et al., 2002; Tang, 2010; Park et al., 2018).

고정조사구 5, 7번은 붉가시나무-낙엽활엽수혼효림인데 시험구의 붉가시나무 MIP가 대조구보다 더 높아졌다. 구실잣밤나무와 후박나무림형 수종의 MIP가 과거보다 높아지는 경향을 보였다. 그러나 앞선 고정조사구 1~3번보다는 그 경향이 약한 편이었다. 상록활엽수종의 세력이 약간 높아짐에 따라 과거보다 개서어나무(*Carpinus tschonoskii*) 등의 낙엽활엽수종 MIP가 낮아지거나 사라진 수종이 보였다. 이런 경향은 대조구보다 시험구에서 강하게 보였다. 과거 하층에 상당히 우점한 조릿대와 낙엽활엽수의 세력이 약해져 상록활엽수림으로 수종 갱신이 진행되는 것으로 판단된다.

고정조사구 9, 10번은 소나무가 우점하는 군락이다. 대조

구보다 시험구에서 소나무·곰솔의 MIP가 확연하게 감소하는 대신 붉가시나무와 동백나무의 MIP가 급증했다. 소나무, 곰솔 등의 침엽수 세력이 약해져 붉가시나무의 MIP가 높아져 붉가시나무군락으로 천이가 시험구에서 상당히 진

행됐다.

Table 3은 교목성 상록활엽수종에 대한 층위별 상대우점치(IP)이다. 고정조사구 1~3번의 붉가시나무는 교목층에 우점했고 아교목층과 관목층에서도 출현했다. 과거(1999

Table 3. Changes in importance percentage by evergreen broad-leaved trees in the permanent plot (Unit 300m²)

Permanent plot	Survey year	Layer	Importance percentage (%)											
			<i>Quercus acuta</i>	<i>Quercus glauca</i>	<i>Castanopsis sieboldii</i>	<i>Machilus thunbergii</i>	<i>Neolitsea sericea</i>	<i>Cinnamomum yabunikkei</i>	<i>Machilus japonica</i>	<i>Neolitsea aciculata</i>	<i>Actinodaphne lancifolia</i>	<i>Ilex integra</i>	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	<i>Dendropanax morbiferus</i>
1	1999	C [‡]	79.89	-	12.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	45.64	-	-	-	-	0.68	2.19	2.58	-	0.68	2.15	-
		S	9.92	-	11.04	3.05	2.74	7.23	2.35	6.10	-	-	-	-
		C	79.58	-	16.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	3.76	-	-	3.49	4.61	6.83	1.08	3.46	0.87	2.21	-	10.74
		S	4.61	-	3.11	-	-	26.55	11.35	-	-	-	-	-
	2021	C	62.46	-	2.82	-	-	-	-	-	-	-	4.71	2.63
		U	22.21	-	-	5.73	0.43	2.20	-	2.15	0.29	0.48	0.80	0.58
		S	18.35	-	-	-	5.89	31.39	-	-	9.39	-	-	-
		C	57.86	-	10.63	4.01	-	-	-	-	-	-	4.87	2.34
		U	6.52	-	-	17.28	-	3.35	-	-	-	-	-	7.65
		S	2.19	-	-	9.45	2.12	2.52	15.75	-	-	-	-	-
2	1999	C	89.26	-	7.98	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	12.45	-	2.09	-	2.96	2.09	-	-	1.00	0.54	-	
		S	10.07	-	17.46	-	-	4.59	-	-	2.06	-	-	
		C	63.96	-	16.63	12.35	-	-	-	-	-	-	-	
		U	5.18	-	4.34	3.30	3.94	0.73	0.73	-	2.77	-	-	
		S	-	-	37.88	0.65	4.17	2.98	0.78	-	4.41	-	-	
	2021	C	70.30	-	2.43	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	34.29	-	-	-	4.46	2.71	0.35	1.03	4.97	-	-	
		S	-	-	-	-	6.63	2.97	-	27.38	2.93	-	-	
		C	89.80	-	-	3.59	-	-	-	-	-	-	-	
		U	19.48	-	-	0.85	5.81	-	1.11	-	-	0.77	-	
		S	-	-	24.68	-	6.43	8.19	2.54	-	1.49	-	-	
3	1999	C	98.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	24.28	-	-	-	-	2.04	-	-	0.69	-	2.85	
		S	8.46	-	7.68	-	8.40	14.36	1.69	13.71	3.43	-	0.85	
		C	100.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	-	-	0.54	-	3.58	3.13	1.88	-	2.29	-	4.06	
		S	-	-	21.01	-	0.89	34.66	13.66	-	1.77	-	-	
	2021	C	92.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	59.81	-	-	-	-	1.75	-	0.52	0.52	-	-	
		S	3.25	-	-	-	1.72	7.63	1.75	17.95	-	-	-	
		C	94.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	9.72	-	-	-	2.73	3.18	4.15	1.63	2.26	-	1.74	
		S	-	-	3.33	-	2.65	30.82	-	11.73	-	-	4.34	
5	1999	C	56.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	26.75	-	-	-	2.45	-	-	-	-	-	-	
		S	1.24	1.94	1.86	-	3.05	1.34	-	-	-	-	-	
		C	80.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	17.23	-	16.92	-	-	-	-	-	-	-	-	
		S	8.46	-	1.81	0.26	6.93	2.08	-	-	-	-	-	
	2021	C	31.94	-	-	-	4.54	-	-	-	-	-	-	
		U	0.53	-	-	-	3.29	-	-	-	-	-	-	
		S	1.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		C	40.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		U	-	-	-	-	6.86	-	-	-	-	-	-	
		S	7.75	-	-	-	5.97	4.00	-	-	-	-	0.62	

† Experimental plot, C: Control plot ‡: C: Canopy, U: Understory, S: Shrub

Table 3. (Continued)

Permanent plot	Survey year	Layer	Importance percentage (%)											
			<i>Quercus acuta</i>	<i>Quercus glauca</i>	<i>Castanopsis sieboldii</i>	<i>Machilus thunbergii</i>	<i>Neolitsea sericea</i>	<i>Cinnamomum yabunikkei</i>	<i>Machilus japonica</i>	<i>Neolitsea aciculata</i>	<i>Actinodaphne lancifolia</i>	<i>Ilex integra</i>	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	<i>Dendropanax morbiferus</i>
7	1999	C [‡]	96.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	30.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	6.28	3.93	4.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2021	C	100.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	-	-	6.28	-	14.62	1.44	-	-	-	-	-	-
		S	4.54	-	9.42	-	27.52	0.32	-	-	-	-	0.61	-
C	1999	C	64.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	21.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2021	C	73.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	6.82	-	-	-	15.02	-	-	-	-	-	0.98	-
		S	4.55	-	5.37	-	16.16	-	-	-	-	-	-	-
E	1999	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	18.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	1.17	4.66	1.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2021	C	34.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	15.12	-	-	0.40	-	-	-	-	-	1.44	-	-
		S	16.96	-	1.28	-	0.64	-	-	-	2.46	-	-	-
9	1999	C	17.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	32.37	-	3.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2021	C	59.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	32.44	-	3.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	7.02	-	0.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	1999	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	29.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	1.11	4.64	5.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2021	C	26.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	9.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	23.33	-	6.97	-	1.29	-	-	-	-	-	-	-
10	1999	C	13.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	12.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	-	-	-	-	-	2.84	-	-	-	-	-	-
	2021	C	17.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		U	5.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S	7.41	-	-	-	-	-	-	-	3.39	-	-	-

† Experimental plot, C: Control plot ‡: C: Canopy, U: Understory, S: Shrub

년)에 비교해 현재(2021년)에는 아교목층과 관목층에서 붉가시나무의 IP가 감소했다. 시험구보다 대조구의 관목층에서 붉가시나무의 IP가 확연히 줄거나 출현하지 않았다. 1996년에 숲아베기로 임상으로의 광량이 늘어나면서 하층에 붉가시나무 개체가 많아졌다가 수관층이 점점 울폐하면서 붉가시나무의 개체가 줄어들었다고 본다. 이런 현상은 숲아베기를 하지 않아 임상이 어두운 대조구에서 더 뚜렷하게 나타났다.

구실잣밤나무는 과거보다 현재 하층에서 IP가 대부분의 조사구에서 늘어났다. 붉가시나무가 관목층에 출현하지 않은 고정조사구 2~3번(시험구, 대조구)에서 구실잣밤나무가 나타났다. 상록활엽수종은 대부분 음수성인데 붉가시나

무보다 구실잣밤나무가 어두운 임상 환경에서 종자발아, 생장 등의 적응력이 우수한 것으로 추정된다. 관목층에서 후박나무·참식나무·생달나무·센달나무·육박나무 등은 과거보다 IP가 높아지는 경향을 보였다. 구실잣밤나무와 함께 이 수종들이 어두운 임상에서 적응력이 뛰어난 것으로 보인다. 이 수종들의 경쟁 관계에서 이긴 수종이 난온대 천이계열상 더 천이후기종일 가능성이 크다. Hiroki(2016)는 실생묘 차광생육실험을 했는데 저광도(0, 40lx)에서 후박나무보다 구실잣밤나무의 암호흡량이 낮아 종자의 양분소비량이 최소화되어 생존율이 높다고 보고했다. Rahman *et al.*(2013)은 저광도에서 난온대 수종의 가지, 잎 등의 형태적 반응을 조사해, 난온대 수종의 적응력에 대한 흥미로운 결과를 내놓

았다. 저광도에서 구실잣밤나무의 가지·잎(shoot)은 수평으로 자라나 자기피음(自己避陰)을 줄이고 수광(受光) 효율을 높였다. 반면 후박나무·생달나무·참식나무는 수직으로 성장해 햇가지와 잎이 수관 상부에 주로 분포했다. 이 결과에서 유추 가능한 점은 붉가시나무 등의 울폐된 하층에서 후박나무 등보다 구실잣밤나무가 어두운 광 조건에서 견디어 자라나 교목층까지 도달해 수종 갱신이 일어날 수 있다는 것이다. 많은 난온대 천이계열 문헌(e.g., Kamijo *et al.*, 2002; Tang, 2010; Park *et al.*, 2018)에서는 후박나무·생달나무·참식나무 등의 후박나무림→구실잣밤나무림 또는 가시나무림으로 천이가 진행될 것으로 추정했다. 저광도 적응력이 우수한 구실잣밤나무가 붉가시나무보다 천이 후기종으로 보이며, 구실잣밤나무 종자가 충분히 공급된다면, 고정조사구 2~3번의 붉가시나무림은 향후 구실잣밤나무림으로 천이될 가능성 있어 보인다.

고정조사구 5, 7번은 붉가시나무-낙엽활엽수혼효림으로서 붉가시나무, 종가시나무, 구실잣밤나무, 참식나무, 생달나무 등이 관목층에 출현했다. 앞선 고정조사구(1~3번)와 달리, 붉가시나무의 IP가 관목층에서 증가하는 경향을 보였고, 특히 참식나무의 우점도가 관목층에서 높았다. 그러나 이 조사구는 고정조사구 1~3번보다 다양한 상록활엽수종이 출현하지 않았다. 이는 상대적으로 임상이 밝아 Table 2에서 보듯이 낙엽활엽수가 다양하게 출현해 상록활엽수가 경쟁에서 밀리기 때문인 것 같다. 시험구가 대조구보다 다양한 상록활엽수가 우점했다. 1996년에 낙엽활엽수 위주로 자른 숲아베기가 숲틈을 만들었는데 이 기회를 살려 상록활엽수종 유입이 촉진되고, 교목층에 붉가시나무의 우점도가 높아짐에 따라 임상층은 음수성 상록활엽수 생육에 더 유리해져 상록활엽수종의 세력이 더 커질 것이다.

고정조사구 9~10번은 소나무군락으로 과거보다 붉가시나무의 세력이 커졌고, 특히 대조구보다 시험구의 관목층에서 붉가시나무의 IP가 훨씬 높았다. 하층에 상록활엽수 발달이 앞서 언급한 고정조사구보다 저조한 편이었지만, 대조구보다 시험구가 더 높았다. 1996년에 숲아베기가 상록활엽수종의 세력을 확장하는 데 효과가 있었고, 이 기법이 퇴행천이된 식생을 난온대림으로 천이를 촉진하는 유효한 기법으로 볼 수 있다. 한편 완도수목원에 종가시나무군락이 출현하지 않았는데(Oh and Kim, 1997) 고정조사구의 시험구 5, 6, 7, 9, 10번 관목층에 종가시나무가 조사됐다. 이 수종은 1997년에 시험구에 심은 것이며, 이것으로 미뤄보아 과거에 심은 상록활엽수종(붉가시나무, 종가시나무, 구실잣밤나무, 동백나무)이 살아남아 있는 것으로 보인다. 하지만, 시험구별(면적 300m²)로 9~20주씩(30~66주/ha) 심어, 식재 수량이 적어 22년이 지나도 식생구조 변화에 끼친 영향이 미약했고, 이보다 숲아베기가 더 강하게 영향을 주

었을 거라 추정된다.

2. 고정조사구의 종수 및 종다양도 분석

과거(1999년)와 현재(2021년)의 종수와 종다양성을 고정조사구의 시험구와 대조구로 나눠 그 변화상을 수치와 기호(↑: 증가, →: 변화 없음, ↓: 감소)로 정리했다(Table 4). 붉가시나무군락인 고정조사구 1~2번의 전체종수는 시험구와 대조구 모두 감소하는 경향을 보였다. 또 교목성 상록활엽수종은 늘어나거나 변화가 없었고, Shannon의 종다양성지수(H')는 감소했다. 고정조사구 3번의 시험구는 전체종수가 감소했고, 교목성 상록활엽수는 앞선 고정조사구와 달리 2종이 줄어들었다. 각 고정조사구에서 과거와 현재의 종수와 종다양성의 변화를 일관성 있게 읽기 쉽지 않았는데 이는 고정조사구별로 숲가꾸기, 붉가시나무의 종자생산량 시험 등에 의한 간섭이 있거나 낙엽활엽수 감소와 상록활엽수의 증가 등 식생구조 변화의 역동성이 남아있기 때문이라고 생각된다. 따라서 붉가시나무군락인 고정조사구 1~3번의 평균값으로 그 변화를 살펴봤다. 시험구의 전체종수는 줄어들었고, 난온대 수종과 교목성 상록활엽수종은 과거보다 늘었다. 또한, H'와 우점도(D), 최대종다양성지수(H'_{max})는 감소하고, 균재도(J')는 상승했다. 숲아베기를 시행한 직후에 시험구(1~3번)의 H'는 0.947('96년)→2.162('99년)→2.127('03년)→1.948('21년)로 늘어나고 감소하는 패턴을 그렸다(Oh and Kim, 1998; Oh *et al.*, 2004 참조). 대조구의 경우는 0.833('96년)→2.034('99년)→2.063('03년)→2.034('21년)로 같은 패턴이었으나, 시험구보다 더 낮은 수치로 변동했다. 이처럼 숲아베기 등의 인위적 교란으로 인해 일시적으로 종수와 H'가 높아져 식생구조가 안정될수록 낮아지는 현상은 흔히 보이는 패턴이다. 이 결과로 보아 이 고정조사구는 많은 낙엽활엽수종이 상당히 쇠퇴하고, 난온대 수종 위주의 안정된 식생구조 단계에 들어선 것으로 보인다. 대조구에서 교목성 상록활엽수의 종수는 과거보다 적어졌고, 시험구보다도 적었다. 이 고정조사구는 과거에 순림에 가까운 붉가시나무군락이었는데 숲아베기로 인해 교목성 상록활엽수종 유입이 늘어나, 난온대 상록활엽수의 다양성을 늘리는 원동력으로서 긍정적인 효과가 있었다.

붉가시나무와 낙엽활엽수가 혼효된 고정조사구 5, 7번의 시험구는 과거보다 전체종수는 감소했으나, 난온대 수종과 교목성 상록활엽수종은 모두 많아졌다. 전체종수가 감소하여 H'와 H'_{max}는 낮아졌는데 이것은 앞서 기술한 것처럼 식생이 발달할수록 일시적 증가 후에 낮아질 수 있다. 그러나 D가 상기 고정조사구와 달리 상승하고 J'가 낮아졌다. 이는 붉가시나무의 교목층 상대우점치(IP)가 높게 상승했

Table 4. Changes in the number and diversity of species in the permanent plot of Wando Arboretum (Unit 300m²)

Permanent plot	Survey year	Number of species	Warm temperate species		H'(Shannon)	J'(evenness)	D(dominance)	H'max	
			No. of species	No. of evergreen broad-leaved tree					
1	Experimental plot	1999	25	12	9	2.3917	0.7430	0.2570	3.2189
		2021	17	15	10	1.9840	0.7002	0.2998	2.8332
	Control plot	1999	30	15	12	2.5244	0.7422	0.2578	3.4012
		2021	15	13	8	2.0425	0.7542	0.2458	2.7081
2	Experimental plot	1999	20	10	5	1.9556	0.6528	0.3472	2.9957
		2021	14	11	7	1.7492	0.6628	0.3372	2.6391
	Control plot	1999	19	10	7	2.1411	0.7272	0.2728	2.9444
		2021	16	13	7	1.9400	0.6997	0.3003	2.7726
3	Experimental plot	1999	15	13	9	2.1377	0.7894	0.2106	2.7081
		2021	12	12	7	2.1110	0.8495	0.1505	2.4849
	Control plot	1999	13	10	8	1.6317	0.6361	0.3639	2.5649
		2021	15	13	8	2.1203	0.7830	0.2170	2.7081
Mean	Experimental plot	1999	20.0	11.7	7.7	2.1617	0.7284	0.2716	2.9742
		2021	14.3 ↓†	12.7 ↑	8.0 ↑	1.9481 ↓	0.7375 ↑	0.2625 ↓	2.6524 ↓
	Control plot	1999	20.7	11.7	9.0	2.0991	0.7018	0.2982	2.9702
		2021	15.3 ↓	13.0 ↑	7.7 ↓	2.0343 ↓	0.7456 ↑	0.2544 ↓	2.7296 ↓
5	Experimental plot	1999	28	9	5	1.8598	0.5581	0.4419	3.3322
		2021	29	12	5	1.9670	0.5842	0.4158	3.3673
	Control plot	1999	24	4	3	2.2067	0.6944	0.3056	3.1781
		2021	29	10	4	2.2781	0.6765	0.3235	3.3673
7	Experimental plot	1999	32	8	4	2.7271	0.7869	0.2131	3.4657
		2021	27	12	6	2.4385	0.7399	0.2601	3.2958
	Control plot	1999	31	5	2	2.4811	0.7225	0.2775	3.4340
		2021	28	13	6	2.2994	0.6900	0.3100	3.3322
Mean	Experimental plot	1999	30.0	8.5	4.5	2.2935	0.6725	0.3275	3.3990
		2021	28.0 ↓	12.0 ↑	5.5 ↑	2.2028 ↓	0.6621 ↓	0.3380 ↑	3.3316 ↓
	Control plot	1999	27.5	4.5	2.5	2.3439	0.7085	0.2916	3.3061
		2021	28.5 ↑	11.5 ↑	5.0 ↑	2.2888 ↓	0.6833 ↓	0.3168 ↑	3.3498 ↓
9	Experimental plot	1999	28	8	4	2.3150	0.6947	0.3053	3.3322
		2021	25	13	6	2.2868	0.7104	0.2896	3.2189
	Control plot	1999	21	7	3	2.5010	0.8215	0.1785	3.0445
		2021	17	8	3	1.7467	0.6165	0.3835	2.8332
10	Experimental plot	1999	26	7	3	2.5483	0.7822	0.2178	3.2581
		2021	19	9	3	1.9711	0.6694	0.3306	2.9444
	Control plot	1999	22	6	2	2.4667	0.7980	0.2020	3.0910
		2021	19	7	2	2.1078	0.7159	0.2841	2.9444
Mean	Experimental plot	1999	27.0	7.5	3.5	2.4317	0.7385	0.2616	3.2952
		2021	22.0 ↓	11.0 ↑	4.5 ↑	2.1290 ↓	0.6899 ↓	0.3101 ↑	3.0817 ↓
	Control plot	1999	21.5	6.5	2.5	2.4839	0.8098	0.1903	3.0678
		2021	18.0 ↓	7.5 ↑	2.5 →	1.9273 ↓	0.6662 ↓	0.3338 ↑	2.8888 ↓

† ↑: increase, →: no change, ↓: decrease

기 때문이며, 향후 외부에서 유입된 교목성 상록활엽수종의 IP가 높아지면 D는 낮아지는 패턴을 보일 것이다. 소나무와 곰솔이 우점한 고정조사구 9, 10번의 시험구는 5, 7번과 같은 패턴을 보였다. 슈아베기 및 식물도입을 하지 않은 대조구는 시험구보다 난온대 수종과 교목성 상록활엽수종이 적었다. 또 22년이 지나도 이 수종의 증가는 미약했다. 불가시나무-낙엽활엽수혼효림(5, 7번), 소나무군락(9, 10번)의 H'가 불가시나무군락(1~3번)보다 낮아, 난온대림으로 식생

천이에 따라 H'는 더 낮아질 것이다.

3. 고정조사구의 개체수 및 흉고단면적 분석

불가시나무군락(고정조사구 1~3번)에서 시험구의 전체 출현 개체수는 과거보다 늘었는데 이것은 관목층의 변화였다. 교목층과 아교목은 그 변화가 미비했다. 이에 비해 대조구는 전 층위의 개체수가 상당히 줄어들었다(Table 5). 완도

수목원의 대부분 붉가시나무림은 과거 연료 채취, 벌목 이후에 형성된 이차림 또는 맹아림이라서 입목밀도가 높은 편이었다. 대조구는 이처럼 입목밀도가 높아 지속해서 개체 간 경쟁으로 도태가 일어난 반면, 시험구는 1996년에 속아베기로 860~900주/ha 수준으로 시행하여 그 감소가 미비

했다. 시험구의 입목밀도는 ha당 754주(교목층+아교목층)로 속아베기 이후로도 줄어들었다. 난온대 극상림으로 알려진 완도 주도의 입목밀도는 667주/ha, 고흥 애도(쑥섬)는 671주/ha(Park, 2002)이며, 이 균락 또한 식생 발달에 따라 더 줄어들 것이다. 대조구는 입목밀도가 지나치게 높아 입

Table 5. Changes in the number of individuals and basal area in the permanent plot of Wando Arboretum (Unit 300m²)

Permanent plot	Survey year	Individuals								Basal area (m ²)						Covered area of shrub (m ²)		
		Whole tree				Warm-temperate tree species				Whole tree			Warm-temperate tree species			Whole tree	Warm-temperate tree species	
		C [†]	U	S	Sum	C	U	S	Sum	C	U	Sum	C	U	Sum			
1	E [‡]	1999	21	75	53	149	19	64	47	130	0.611	0.236	0.847	0.576	0.199	0.774	213.600	185.400
		2021	26	71	50	147	25	70	50	145	1.272	0.094	1.366	1.223	0.092	1.315	43.020	43.020
	C	1999	47	295	19	361	33	222	19	274	0.723	0.795	1.518	0.543	0.574	1.116	38.040	38.040
		2021	41	67	26	134	31	66	26	123	1.201	0.195	1.396	1.007	0.188	1.195	22.425	22.425
2	E	1999	23	118	35	176	22	106	33	161	0.970	0.130	1.100	0.958	0.121	1.079	117.780	114.120
		2021	23	75	94	192	21	75	91	187	1.462	0.149	1.611	1.383	0.149	1.532	98.910	98.865
	C	1999	45	165	40	250	29	144	40	213	1.103	0.320	1.423	0.894	0.247	1.141	114.600	114.600
		2021	24	110	104	238	22	106	104	232	1.322	0.249	1.571	1.257	0.224	1.481	91.800	91.800
3	E	1999	35	76	68	179	34	70	68	172	0.855	0.109	0.964	0.845	0.102	0.947	250.710	250.710
		2021	29	116	65	210	29	116	65	210	1.531	0.143	1.674	1.531	0.143	1.674	156.594	156.594
	C	1999	55	106	35	196	51	93	35	179	0.908	0.354	1.262	0.866	0.291	1.157	92.100	92.100
		2021	50	120	48	218	46	120	48	214	1.735	0.136	1.871	1.671	0.136	1.807	89.190	89.190
Mean	E	1999	19.8	269.0	156.0	504.0	75.0	240.0	148.0	463.0	2.435	0.476	2.911	2.379	0.421	2.800	582.090	550.230
		2021	19.5	262.0	209.0	549.0	75.0	261.0	206.0	542.0	4.265	0.386	4.651	4.136	0.384	4.520	298.524	298.479
	C	1999	36.8	566.0	94.0	807.0	113.0	459.0	94.0	666.0	2.735	1.468	4.203	2.302	1.112	3.414	244.740	244.740
		2021	28.8	297.0	178.0	590.0	99.0	292.0	178.0	569.0	4.258	0.579	4.837	3.935	0.548	4.482	203.415	203.415
5	E	1999	13	45	175	233	6	8	22	36	0.300	0.104	0.403	0.199	0.045	0.243	350.160	90.660
		2021	9	3	258	270	7	2	84	93	0.505	0.016	0.520	0.421	-	0.421	375.750	113.910
	C	1999	19	137	135	291	6	16	2	24	0.451	0.395	0.845	0.235	0.036	0.271	203.460	1.500
		2021	10	12	194	216	3	1	82	86	0.580	0.071	0.651	0.291	0.004	0.295	298.485	112.950
7	E	1999	21	71	96	188	20	20	25	65	0.455	0.132	0.587	0.448	0.062	0.510	400.140	90.960
		2021	22	57	162	241	22	36	139	197	1.007	0.063	1.069	1.007	0.037	1.044	159.555	78.720
	C	1999	39	92	94	225	25	23	9	57	0.882	0.265	1.147	0.574	0.074	0.648	142.020	11.940
		2021	28	58	161	247	22	40	73	135	1.261	0.076	1.338	1.078	0.036	1.114	185.160	59.310
Mean	E	1999	17.0	58.0	135.5	210.5	13.0	14.0	23.5	50.5	0.378	0.118	0.495	0.323	0.053	0.376	375.150	90.810
		2021	15.5	30.0	210.0	255.5	14.5	19.0	111.5	145.0	0.756	0.039	0.795	0.714	0.019	0.733	267.653	96.315
	C	1999	29.0	114.5	114.5	258.0	15.5	19.5	5.5	40.5	0.667	0.330	0.996	0.404	0.055	0.460	172.740	6.720
		2021	19.0	35.0	177.5	231.5	12.5	20.5	77.5	110.5	0.921	0.074	0.994	0.685	0.020	0.705	241.823	86.130
9	E	1999	13	173	49	235	-	132	42	174	0.509	0.291	0.800	-	0.233	0.233	186.420	172.560
		2021	31	163	80	274	12	133	77	222	1.104	0.398	1.502	0.339	0.268	0.607	114.600	114.480
	C	1999	9	119	15	143	2	69	15	86	0.479	0.327	0.806	0.058	0.229	0.287	60.060	60.060
		2021	32	98	87	217	21	93	87	201	1.628	0.193	1.821	0.884	0.179	1.063	52.950	52.950
10	E	1999	6	122	57	185	-	91	42	133	0.299	0.277	0.575	0.000	0.233	0.233	209.400	134.760
		2021	17	164	83	264	5	153	79	237	1.130	0.309	1.439	0.261	0.274	0.535	37.980	37.620
	C	1999	11	108	25	144	1	57	24	82	0.391	0.259	0.650	0.070	0.100	0.170	90.060	83.460
		2021	17	155	37	209	4	122	35	161	0.818	0.385	1.202	0.089	0.235	0.324	20.565	20.025
Mean	E	1999	9.5	147.5	53.0	210.0	-	111.5	42.0	153.5	0.404	0.284	0.688	-	0.233	0.233	197.910	153.660
		2021	24.0	163.5	81.5	269.0	8.5	143.0	78.0	229.5	1.117	0.354	1.471	0.300	0.271	0.571	76.290	76.050
	C	1999	10.0	113.5	20.0	143.5	1.5	63.0	19.5	84.0	0.435	0.293	0.728	0.064	0.164	0.229	75.060	71.760
		2021	24.5	126.5	62.0	213.0	12.5	107.5	61.0	181.0	1.223	0.289	1.512	0.487	0.207	0.694	36.758	36.488

† C: Canopy, U: Understory, S: Shrub, ‡: Experimental plot, C: Control plot, ↑: increase, →: no change, ↓: decrease

상의 입사광이 차단되어 관목층의 개체수가 시험구보다 꽤 줄어든 것으로 추정된다. 난온대 수종은 교목층에선 변동이 없고 아교목층 특히 관목층에서 늘었는데 이는 앞서 언급했듯이 외부에서 유입된 후박나무림형 수종이 증가했기 때문이다. 반면 대조구의 난온대 수종 개체수는 전체적으로 감소했는데 교목층·아교목층의 개체수는 대폭 줄어들었고, 관목층의 동백나무, 마삭줄, 송악처럼 저광도에서 적응력이 강한 수종이 늘어났다.

교목층과 아교목층의 흉고단면적 변동을 보면, 고정조사구 1~3번(붉가시나무림)의 시험구와 대조구 모두 과거보다 늘어났다. 그 변동폭이 시험구는 1.6배(2.911→4.651m²)였지만, 대조구는 1.2배(4.203→4.837m²)였다. 이런 경향은 난온대 수종에서도 비슷했다. 관목층의 피복면적은 과거보다 감소했고 그 변동폭은 시험구에서 더 컸다. 이는 숲아베기 이후에 점차 수관이 닫히기 시작하면서 임상의 광량이 줄어들므로 그 면적이 감소하고, 변동폭이 커졌을 것이다. 고정조사구 5, 7번의 시험구는 과거보다 모두 흉고단면적이 늘어났다(전체 수종 1.6배, 난온대 수종 1.9배 증가). 시험구의 전체수종은 거의 변동이 없었는데 교목층이 늘어났지만 아교목층의 흉고단면적은 급감했다. 이런 경향은 난온대 수종에서도 비슷하게 나타났다. 과거에 숲아베기를 시행하지 않아 교목층의 울폐도가 가속화됨에 따라 층위구조의 단순화가 진행됐다. 고정조사구 9, 10번은 시험구와 대조구 모두 전체수종과 난온대 수종이 과거보다 늘어났다. 소나무림이 우점했던 고정조사구의 시험구는 전체수종의 흉고단면적은 2.1배, 난온대 수종은 2.4배로 앞서 언급한 고정조사구보다 변동폭이 컸다. 이 사실에서 추정해 보면, 소나무·곰솔

등의 침엽수림에 상록활엽수종이 침입하여 수관층에 자리를 잡기 시작하면 침엽수의 쇠퇴가 낙엽활엽수림보다 더 빠르게 이루어진 것으로 보인다.

4. 종합고찰

식생유형에 따라 숲아베기, 식물도입의 복원기법을 도입하여 22년(1999년~2021년) 지난 시점에 그 효과와 식생구조 변화를 정리하니 Table 6과 같았다. 시험구와 대조구 모두 전체수종은 과거보다 감소했고, 식생 발달에 따라 H'는 낮아졌다. 붉가시나무-낙엽활엽수림에서 늘어난(+) 것처럼 보이나 실제 1종이 늘어 그 경향에 크게 벗어나지 않았다. 난온대 수종의 평균상대우점치(MIP)는 시험구와 대조구 모두 늘어났다. 특히 붉가시나무-낙엽활엽수림의 시험구는 대조구보다 더 증가했다. 난온대 수종의 종수와 개체수, 흉고단면적 또한 시험구가 대조구보다 더 늘어났다. 이런 결과에서 보면 22년 전의 복원기법 처리는 난온대림으로의 식생 발달에 유효했으며, 또한 붉가시나무림보다 붉가시나무-낙엽활엽수림, 소나무-붉가시나무림의 혼효림에서 그 효과가 빠른 것으로 판단된다. 숲아베기로 인해 수관층이 개방됨에 따라 낙엽층의 유기물 분해가 촉진되어 무기양분의 유효성이 늘어남(Lindh *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2013)에 따라 식생 발달을 촉진하고, 또 임상으로 난온대 수종 유입의 기회가 늘어나 식생 변화의 계기가 되기 때문일 것이다. 1996년에 고정조사구별(면적 300m²)로 9~20주씩(30~66주/ha)을 붉가시나무, 종가시나무, 구실잣밤나무, 동백나무 등을 식재하여, 이 식물이 식생 발달에 미치는 효과를 검증

Table 6. The comparison of relative vegetation change by the plant communities

		<i>Quercus acuta</i> forest		<i>Quercus acuta</i> -deciduous broad-leaved forest		<i>Pinus densiflora</i> forest	
		Experimental plot	Control plot	Experimental plot	Control plot	Experimental plot	Control plot
Whole tree	Number of species	-	-	+	-	-	-
	H'(Shannon)	-	-	-	-	-	-
	J'(evenness)	+	+	-	-	-	-
	Individuals	+	-	+	-	+	+
	Basal area	++	+	+	0	+	+
	Covered area of shrub	-	0	-	+	--	-
Warm-temperate tree species	Mean importance percentage	+	+	++	+	+	+
	Number of species	+	-	+	+	+	0
	Individuals	+	-	+	+	++	++
	Basal area	++	+	++	+	++	++
	Covered area of shrub	-	0	+	++	-	-

++: significantly increased, +: increased, 0: no change, -: decreased, --: significantly decreased

하고자 했다. 일부 종가시나무의 생존이 확인됐지만 평균상대우점치가 그리 높지 않아 식생구조 변화에 끼친 영향이 미약한 것으로 보이고, 이 효과보다 속아베기가 더 강하게 영향을 주었을 거라 추정된다.

붉가시나무림(고정조사구 1~3번)의 하층에서 붉가시나무보다 구실잣밤나무, 생달나무, 참식나무, 후박나무, 새덕이 등이 세력을 확장했다. 이 수종은 난온대 음수성 수종이라서 울폐된 임상의 저광도 조건에 적응력이 뛰어난 종으로 알려졌다. Hiroki(2016)와 Rahman *et al.*(2013)의 보고처럼 구실잣밤나무가 저광도에서 적응력이 더 우수하다면 이 붉가시나무림은 장래 구실잣밤나무림으로 천이될 것이다. 후박나무, 생달나무, 참식나무 등의 후박나무림 유형은 조류섭식에 의해 종자 확산력이 뛰어난 고정조사구의 하층에 흔히 출현했다(Hattori, 1993). 이것에 비교해 가시나무류와 구실잣밤나무의 종자(도토리)는 전분이 많아 동물 섭식이 빈번하고 중력 산포형이라서 확산력이 약하다. 이런 종자산포 특성을 고려해 복원사업에 응용 가능한데 가시나무류와 구실잣밤나무는 복원사업지에 묘목을 수확식재하는 기법을 적극적으로 고려해야 한다. 반면 후박나무림 유형은 속아베기로 수관층에 숲틈이 생기면 비교적 빠르게 유입되므로 소극적으로 도입해도 무방할 것이다.

붉가시나무-낙엽활엽수림보다 소나무-붉가시나무림이 난온대 수종의 흉고단면적 증가 폭이 컸다. 이는 곰솔 등의 침엽수림에 상록활엽수종이 침입하여 수관층에 자리를 잡기 시작하면 침엽수가 빠르게 쇠퇴하기 때문일 것이다. 도서지역에 넓게 분포한 곰솔 등의 침엽수림을 우선해서 난온대림 복원사업을 추진하는 것이 목표 달성에 유리할 것으로 본다.

REFERENCES

- Brower, J.E. and J.H. Zar(1977) Field and Laboratory Methods for General Ecology. Wm. C. Brown Company, 194pp.
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh(1951) An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
- Hattori, T.(1993) Synecological study of *Persea thunbergii*-type forest: II. Geographical distribution and habitat conditions. *Japanese Journal of Ecology* 43(2): 99-109. (in Japanese with English abstract)
- Hiroki, F.(2016) Survival term differences of seedlings between *Castanopsis sieboldii* and *Machilus thunbergii* under low light conditions. *Annals of the College of General Education, Aichi Univ.* 51: 1-6. (in Japanese)
- Kamijo, T., Y. Kitayama, A. Sugawara, S. Urushimichi and K. Sasai(2002) Primary succession of the warm-temperate broad-leaved forest on a volcanic island, Miyake-jima, Japan. *Folia Geobotanica* 37: 71-91.
- Kang, H.M.(2019) Vegetation Characteristics of Evergreen Broad-Leaved Forest in the Duryunsan Provincial Park - Focusing on the Daheungsa(Temple) Area-. *Korean J. Environ. Ecol.* 33(5): 552-564. (in Korean with English abstract)
- Lee, G.G., S.D. Lee, J.S. Kim and B.G. Cho(2019) Plant community structure characteristic of the evergreen forest, Cheonjangsan (Mt.) at Geojae. *Korean J. Environ. Ecol.* 33(6): 708-721. (in Korean with English abstract)
- Lindh, B. and P. Muir(2004) Understory vegetation in young Douglas-fir forest: Does thinning help restore old-growth composition. *For. Eco. Man.* 192(2004): 285-296.
- Oh, K.K. and B.H. Kim(1998) Monitoring restoration of evergreen broad-leaved forest in warm temperate region(I). *Korean J. Environ. Ecol.* 12(3): 279-289. (in Korean with English abstract)
- Oh, K.K. and S.H. Choi(1993) Vegetation structure and successional sere of warm temperate evergreen forest region, Korea. *Korean J. Ecol.* 16(4): 459-476. (in Korean with English abstract)
- Oh, K.K. and W. Cho(1996) Vegetation structure of warm temperate evergreen forest at Chomchalsan, Chindo, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 10(1): 66-75. (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(1997) Restoration model of evergreen broad-leaved forests in warm temperate region(IV)-Vegetation structure of the case study areas-. *Korean J. Environ. Ecol.* 11(3): 334-351. (in Korean with English abstract)
- Oh, K.K., S.H. Choi, K.T. Na and S.H. Kim(2004) Monitoring for the restoration of evergreen broad-leaved forest in warm temperate region(II). *Korean J. Environ. Ecol.* 17(4): 316-323. (in Korean with English abstract)
- Park J.H., S.K. Kim, S.T. Lee, K.S. Lee and H.H. Kim(2013) Thinning effect on vegetation structure and stand characteristics of Oak stands. *J. Agr. Life Sci.* 47(6): 81-89. (in Korean with English abstract)
- Park, I.H.(1985) A Study on Forest Structure and Biomass in Baegwoonsan Natural Ecosystem. Ph.D. dissertation, Seoul National Univ. Graduate School, 42pp. (in Korean with English abstract)
- Park, S.G. and K.K. Oh(2002) Conservation status and restoration

- of the evergreen broad-leaved forests in the warm temperate region, Korea(1)-Distribution of the evergreen broad-leaved forests and category of degraded levels-. Korean J. Environ. Ecol. 16(3): 309-320. (in Korean with English abstract)
- Park, S.G.(2002) Studies for Restoration of Evergreen Broad leaved Forests in Warm Temperate Region, Korea. Master's thesis, Honam Univ., 73pp.
- 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(1): 77-96. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1975) Mathematical ecology. John Wiley & Sons, N.Y., 385pp.
- Rahman, L., K. Umeki and T. Honjo(2013) Architectural differences among shaded saplings of four evergreen broad-leaved tree species in Japan. Papers on Environmental Information Science 27: 5-10.
- Tang, C.Q.(2010) Subtropical montane evergreen broad-leaved forests of Yunnan, China: Diversity, succession dynamics, human influence. Front. Earth Sci. China 4(1): 22-32.