

난대상록활엽수종 조림지 활착률과 영향인자

박준형¹ · 정수영^{2*} · 이광수² · 이호상²

¹국립산림과학원 산림바이오소재연구소, ²국립산림과학원 난대아열대산림연구소

The Characteristics and Survival Rates of Evergreen Broad-Leaved Tree Plantations in Korea

Joon-Hyung Park¹, Su-Young Jung^{2*}, Kwang-Soo Lee² and Ho-Sang Lee²

¹Forest Biomaterials Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea

²Warm-Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea

요약: 본 연구는 전국 난대상록활엽수종의 조림지에 대한 생육환경 및 입지환경 특성과 활착률간의 관계특성으로부터 조림적지 의사결정 기초자료를 제공하고자 하였다. 1997년부터 후박나무(*Machilus thunbergii*), 구실잣밤나무(*Castanopsis sieboldii*) 등 난대상록활엽수 10종의 신규 조림지 180ha의 148개 조사구에 대한 활착률을 모니터링 한 결과 평균 활착률은 67.0±26.9%이었다. 활착률 편차가 크게 나타난 원인은 조림 적지에 관한 실증적 현지 검증이 부족한 상황에서 다양한 입지를 대상으로 시험 조림이 이루어진 결과로 판단된다. 각 조사구별 11개 생육환경 및 입지환경 특성, 조림전후 강수 등의 정성적 설명요인과 활착률의 정량적 요인 간의 관계특성으로부터 수량화 이론 I에 따른 활착률에 대한 기여도를 분석한 결과, 조림지 상층임분 울폐도, 풍노출도, 조림 전 누적 강수량, 경사도 등의 순으로 높게 나타났다.

Abstract: With rapid climate change and increasing global warming, the distribution of evergreen broad-leaved trees (EBLTs) is gradually expanding to the inland regions of Korea. The aim of the present study was to analyze the survival rate of 148 EBLT plantations measuring 180 ha and to determine the optimal plantation size that would help in coping with climate change in the warm, temperate climate zone of the Korean peninsula. For enhancing the reliability of our estimated survival model, we selected a set of 11 control variables that may have also influenced the survival rates of the EBLTs in the 148 plantations. The results of partial correlation analysis showed that the survival rate of 67.0±26.9 of the EBLTs in the initial plantation year was primarily correlated with plantation type by the crown closure of the upper story of the forest, wind exposure, and precipitation. For predicting the probability of survival by quantification theory, 148 plots were surveyed and analyzed with 11 environmental site factors. Survival rate was in the order of plantation type by the crown closure of upper story of the forest, wind exposure, total cumulative precipitation for two weeks prior to planting, and slope stiffness in the descending order of score range in the estimated survival model for the EBLTs with the fact that survival rate increased with shade rate of upper story to some extent.

Key words: evergreen broad-leaved tree, survival rate, quantification theory type I, Site environmental characteristics, site suitability, seedling survival data

서론

우리나라 난대상록활엽수림은 제주도와 남서해안 권역 및 도서에 주로 분포하고 있으며, 난대상록활엽수림의

분포 면적은 약 1만 ha 정도로 추정되고 있으며 앞으로 그 면적은 확대될 것으로 예측하고 있다(Korea Forest Service, 2002; National Institute of Forest Science, 2014). 실제로 난온대 상록활엽수종 57종의 공간적 분포 위치 정보와 기후변수와의 관계특성을 분석한 결과 현재 기후에서 잠재 생육지(Potential habitats)가 28,230 km² 규모이며, 잠재 생육지 분포 특성이 비록 파편화 형태이긴 하지만 기후변화의 영향을 받아 점차 그 권역이 확대되어 북

* Corresponding author

E-mail: suyong.jung@korea.kr

ORCID

Su-Young Jung  https://orcid.org/0000-0002-4372-0417

상하는 것으로 보고하였다(Yun et al., 2011). 이러한 상황에서 1990년대 후반부터 이러한 점을 주목하여 난대상록활엽수의 조림이 남부지역을 중심으로 시행되었지만, 생리적 특성, 생육환경 특성 등 적지적수에 대한 실증적 모니터링 없이 시행된 조림지에서 활착률이 저조하여 이를 활용한 성공조림지 초기 조성에 다수의 애로상황이 발생하고 있다(Korea Forest Service, 2018). 따라서 충분한 연구를 수행을 통해 앞으로 기후변화에 대응하여 난대상록활엽수를 활용한 선제적 숲 조성 기술 개발이 필요한 시점이다.

한반도 남서해에 인접한 중국 Ningbo 지역에서도 단순 일제림으로 조성된 낙엽송림의 잦은 태풍 피해 대책으로 난대상록활엽수종 중 비교적 내한성이 강한 가시나무류를 수하식재하는 등 상록활엽수종을 활용한 기후변화에 대응한 탄력적 임분조성 시험연구가 최근 진행되어 오고 있다(Wang et al., 2007). 또한 과거 자생하는 상록활엽수림을 벌채한 지역에 마미송(*Pinus massoniana*)으로 단순 인공조림지를 조성했었던 중국 동부지역 Tiantong National Forest Park Reserve와 Dongqian Lake near Ningbo에서 최근 소나무재선충병 피해가 문제점으로 대두됨에 따라, 자생수종인 난대성 상록활엽수종을 활용한 기후변화 대응 숲 조성연구가 수행된 바 있으며(Wang et al., 2007), 일본 상록침엽수림의 상록활엽수림으로 임분전환으로 동계 수분 손실을 줄일 수 있어 산림의 저수기능 증대 등 관련 기후변화 대응 난대상록활엽수림 조성이 필요하다는 연구결과가 보고된 바 있다(Komatsu et al., 2008).

현재까지 국내 난대상록활엽수종과 관련된 연구는 식생구조(Park et al., 2016), 분포권역(Yoo et al., 2016) 등 난대상록활엽수 기후(Park et al., 2016), 양묘(Song et al., 2014), 재적 추정(Chung et al., 2010), 바이오매스 추정(Seo et al., 2017) 등이 일부 수행되었다. 하지만 난대상록활엽수종 분포권역의 다양한 입지의 조림지를 대상으로 관측된 활착률로부터 난대상록활엽수 조림 후 활착률 구명 및 적지 판정에 의한 기초 연구는 부족한 실정이다. 난대상록활엽수 조림에 의한 갱신대상지로서의 성공조림지 조성에 여전히 어려움이 있다. 이는 조림묘의 생산 유형에 따른 묘목특성, 조림 예정지에 대한 생육환경 조성, 조림 후 관리, 입지환경 특성 등에 기인한 조림 후보지 적지 판정에 대한 고찰 및 조림 실행 등 다양한 요인에 의하여 영향을 받는데 난대상록활엽수의 성공조림지 초기 조성 여부는 활착률에 가장 큰 영향을 받는다. 하지만 난대상록활엽수의 다양한 입지환경 및 생육환경 특성과 조림묘의 활착률에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 조림사례지의 생육환경 요인 특성과 활착률간의 관계특성을 파악하고자 실시

하였다. 특히 조림지 활착률 모니터링을 통한 기후변화에 따른 남부지역을 중심으로 난대상록활엽수의 조림 시험 규모가 점차 확대되고 있는 시점에서 본 연구에서는 과거 조림사례지에 대한 활착률과 조림지 생육환경 특성간의 관계로부터 성공조림지 조성을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 난대상록활엽수종 주요 조림지의 다양한 입지 생육환경특성 등과 활착률간의 관계특성으로부터 난대 상록활엽수종의 활착률 추정함으로써 난대상록활엽수의 성공조림지 조성을 위한 대상지 선정에 있어 초기 의사결정 기초자료를 제시하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구 대상지는 우리나라 남부지역 난대상록활엽수종 조림지로서 서부지방산림청 등의 관할 국유지가 대부분이며, 전체 시험대상 조림지는 148개소로 진도군, 해남군, 영암군 등 8개 지역에 속해 있으며, 1997년에서 2016년 동안 국립산림과학원과 지방산림청을 중심으로 조성되었다. 조사대상지 대부분은 한반도 난대상록활엽수림대가 존재하고 있는 주로 남서해안 및 해안 인접 내륙 지역으로 다양한 입지를 대상으로 시험조림이 이루어졌으며, 입지환경 등 시험대상 조림지 특성은 Table 1과 같다. 난대상록활엽수 시험 조림은 대부분 진도, 해남 지역을 중심으로 실시되었으며 일부 지역은 해안 인접 내륙에도 위치해 있다. 이때 각 조림지의 면적 규모는 최소 0.1ha에서 최대 6.0 ha 범위이며, 식재밀도는 최소 3,000본/ha에서 최대 5,000본/ha 규모이다(Table 1).

조림지에 식재된 평균 묘고는 0.2 m에서부터 1.4 m 범위이며, 조림지 고도는 약 30 m에서 300 m까지 위치해 있으며, 사면 경사는 완경사지에서 급경사지까지 다양한 입지를 대상으로 시험조림이 실시된 곳이다. 조림 전후 2주간 평균 누적 강수량은 50 mm 정도이다(Table 1). 조림지 평균 고도는 111.3 m, 평균 경사도는 30.7 m로서 조림 대상지의 입지환경 특성 차이가 크게 나타났는데 이러한 차이는 남부지역 해안 인접 지역에서 잦은 태풍, 병해충 피해 등에 의한 임분교란이 지속적으로 발생한 곳을 대상으로 난대상록활엽수 갱신이 이루어져서 해당 입지의 편차가 발생하였기 때문이다.

후박나무, 구실잣밤나무 등 난대상록활엽수 10종의 식재묘 평균 묘고는 0.9 m이었으며 해당 입지의 임분 피해 및 교란 정도에 따라 조림예정지 정리 단계에서 개별 혹은 공간적으로 상층임분 울폐도 조절을 실시함으로써 노지 조림 및 수하식재 된 곳으로 구분되어 있다. 난대상록

Table 1. The environmental site characteristics of evergreen broad-leaved trees plantations by region.

Region	Number of plots	Survival rate (%)		Seedling height (m)	Altitude (m)	Slope degree (°)	TPBP (mm)	TPAP (mm)
		Mean	S.D.					
Boseong	2	14.5	1.5	0.4	122.0	59.5	107.0	68.3
Soonchang	2	86.0	0.0	0.5	316.5	50.0	21.0	40.0
Youngam	4	9.0	0.0	0.2	21.8	14.8	0.0	17.5
Jangsung	2	94.0	0.0	0.7	189.5	46.0	19.0	20.0
Jangheung	8	70.5	13.9	0.5	195.9	30.8	69.7	52.3
Jungeup	3	34.3	41.7	0.5	249.7	39.7	10.2	41.7
Jindo	83	62.8	24.1	1.4	137.6	36.5	42.0	70.7
Haenam	44	83.8	17.4	0.4	31.5	17.8	61.0	10.4
Mean	-	67.5	26.8	0.9	111.3	30.7	47.7	48.6
Total	148	-	-	-	-	-	-	-

Note) TPBP, TPAP: Total cumulative precipitation for two weeks before and after planting, respectively.

Table 2. The site characteristics of evergreen broad-leaved trees plantations for each tree species.

Species (Korean name)	Number of plots	Plantations (ha)	Seedling height (m)	Altitude (m)	Slope degree (°)	TPBP (mm)	TPAP (mm)
<i>Quercus myrsinifolia</i> Blume (가시나무)	1	0.1	0.6	34.0	21.0	28.0	7.5
<i>Castanopsis sieboldii</i> (Makino) Hatus. (구실잣밤나무)	10	16.2	1.5	146.1	33.1	101.1	61.5
<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J. Presl (녹나무)	3	1.3	0.5	184.7	37.7	24.2	31.5
<i>Camellia japonica</i> L. (동백나무)	11	5.8	0.5	70.3	23.0	59.1	36.5
<i>Quercus acuta</i> Thunb. (붉가시나무)	9	8.4	0.4	132.8	25.7	50.7	12.6
<i>Q. salicina</i> Blume (참가시나무)	17	15.6	0.4	144.1	32.1	51.0	30.5
<i>Cinnamomum yabunikkei</i> H.Ohba (생달나무)	2	2.2	0.5	233.0	43.5	22.3	43.5
<i>Q. gilva</i> Blume (종가시나무)	3	1.9	0.4	157.0	39.7	24.2	31.5
<i>Neolitsea sericea</i> (Blume) Koidz. (참식나무)	3	1.9	0.7	155.0	29.7	20.7	97.0
<i>Dendropanax morbiferus</i> H.Lév. (황칠나무)	37	35.3	1.2	94.8	29.4	57.6	68.8
<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc. (후박나무)	52	97.2	1.1	97.8	32.1	31.9	46.7
Mean	-	-	0.9	111.3	30.7	47.7	48.6
Total	148	185.9	-	-	-	-	-

Note) TPBP, TPAP: Total cumulative precipitation for two weeks before and after planting, respectively.

활엽수는 유시에 반음수이므로 이러한 조림지 생육환경에 따른 활착률 차이가 발생할 것으로 기대되어 시험대상지는 다양한 상층 임분특성을 갖도록 선정되었다(Table 2).

2. 난대상록활엽수 조림지 활착률

1997년부터 2006년까지 조성된 전국 난대상록활엽수 신규 조림지 148개 조사구를 대상으로 조림묘의 활착률

(%)을 측정하였다. 조사 시기는 식재 당해 연도의 동계 비생육기를 거친 후 다음 해 생육기이며, 각 조림지의 시험구별 조림묘의 생존율을 측정하였다. 난대상록활엽수 10종의 신규 조림지 180 ha의 총 148개 조사구의 식재묘령은 1-3년생이었으며, 1생육기 이후 활착률을 모니터링 하였다(Table 3). 조림지 입지환경특성 등의 영향요소와 활착률간의 관계특성을 구명하고자 각 조림지별 개별

Table 3. The survival rates, seedling, and site environmental characteristics of evergreen broad-leaved trees plantations.

Sample plots (n)	Survival rate (%)		Seedling height (m)	Altitude (m)	Slope degree (°)	TPBP (mm)	TPAP (mm)
	Mean	S.D.					
148	67.5	26.8	0.9	111.3	30.7	47.7	48.6

Note) TPBP, TPAP: Total cumulative precipitation for two weeks before and after planting, respectively.

고정조사구를 설정하였다. 이때 개별 조사구의 단위 규모는 최소 0.04 ha에서 최대 0.50 ha의 범위이며 조사구 내 식재묘에 대하여 전수조사를 실시하였다.

3. 기상 및 입지환경 등 영향요인

난대상록활엽수종은 대체로 유시에 반음수로서 조림묘의 활착률은 조림묘의 특성, 조림시기, 조림지의 상층울폐도 등의 생육환경 등 기상, 입지환경요인에 의해 복합적으로 반응하는데, 본 연구에서는 활착률에 주된 영향을 미칠 것으로 예상되는 조림지의 표고, 경사도, 국소지형, 풍노출도, 토양 특성 등의 입지환경 평가인자에 대하여 산림환경입지조사요령에 따라 조림지별 표본점 현지 조사를 실시하였다(Korea Forest Service, 1989). 그리고 조림묘의 특성을 반영하고자 식재묘의 2 생산 유형 즉, 노지 생산묘와 컨테이너 생산묘 식재에 따른 활착률을 각각 조사하였다. 조림시기는 춘기, 하기, 추기조림 3시기로 구분하고, 조림예정지 단계에서 상층임분을 존치시킨 수하식재 환경과 개별지 환경의 2가지 조림지 생육환경에서 각각 조사하였으며, 모든 표본점에 대하여 조림당해연도 조림 전후의 2주간 누적 강수량을 조사하여 시험처리간 활착률의 차이를 분석하였다. 이때 활착률에 직간접적으로 영향을 미칠 것으로 선정되어 현지 조사된 평가 인자는 총 13개이다.

3. 영향요인의 범주화 (Categorization) 및 등급화

난대상록활엽수 조림묘 활착률에 영향을 미칠 것으로 예상하는 조림지의 조림 전후 누적 강수, 경사, 방위, 조림지의 상층임분 울폐도 등 조림지 생육환경 특성 11개 정성적 요인의 평균 score를 계산하고, 이로부터 각 요인별 2~5개의 범주로 급계를 구분한 후 각 급계별 출현된 조사 표본점의 빈도를 이용하여 가중평균치를 구하였다. 정량적 변량인 활착률에 정성적 변량인 조림지 생육환경 특성 요인의 관계를 분석하고자 수량화 이론 I(Quantification theory type I)에 따라 통계적 절차를 수행하였으며, 이때 통계처리 분석은 SAS institute ver. 9.1(2003)을 이용하였다.

4. 통계분석 및 수량화 모델 추정

입지환경요인 등의 정성적 변량을 가진 설명변수와 양

적변량 활착률 종속변수간의 관계 특성을 분석하고 이들이 활착률에 미치는 영향 특성을 분석하고자 하였다. 정성적 변량으로 구성된 입지환경 등 설명요인의 각 요인별 수량화를 거친 후 이들이 정량적 변량으로 구성된 활착률에 미치는 기여도를 추정하고자 수량화 이론 I을 이용하였다. 일련의 통계적 처리과정에서 상관계수, 단순회귀, 편상관계수, 수량화 기법에 따른 활착률 모형 도출 및 해석의 순으로 검정절차를 거쳤으며, 통계분석은 SAS (ver. 9.4)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 조림지 활착률 영향요인 특성

1) 조림지 입지 및 활착률 특성

Table 1에서, 난대상록활엽수종 10 종의 신규 조림지 180 ha에 대한 활착률을 모니터링 한 결과 148개소 조림지의 평균 활착률은 $67.0 \pm 26.9\%$ 이었으며, 조림지의 활착률 편차가 크게 나타난 것은 조림 적지에 관한 실증적 현지 검증이 부족한 상황에서 다양한 입지를 대상으로 조림이 시행되었기 때문으로 판단된다. 그리고 대부분의 난대상록활엽수종 평균 활착률은 구실잣밤나무를 제외하고 대부분의 수종에서 50% 이상으로 나타났다. 가시나무의 평균 활착률이 97%로 가장 높게 나타났으며, 참가시나무, 참식나무, 생달나무, 불가시나무, 종가시나무 등이 대체로 높게 나타났다. 이러한 결과는 수종에 따라 다소 입지환경에 따른 내환경성에 다소 차이가 있는 것으로 사료되며, Jung et al.(2014)의 난대상록활엽수종의 동해 피해 특성을 수종 간 모니터링 한 결과 가시나무, 불가시나무 등 참나무과 가시나무류의 내한성이 여타 난대상록활엽수종보다 상대적으로 약간 높게 나타났다는 연구 결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

2) 조림묘 활착률 영향요인 특성

난대상록활엽수 조림지 조사 표본점의 주요 입지환경 특성 요인과 조림지 표본점의 생존율 간의 단순 상관관계 특성을 분석한 결과는 Figure 1과 같다. 본 연구 대상지 148개소 난대상록활엽수 조림지의 활착률과 조림지의 표고 요인 간에는 상관이 낮은 것으로 나타났다(Figure 1).

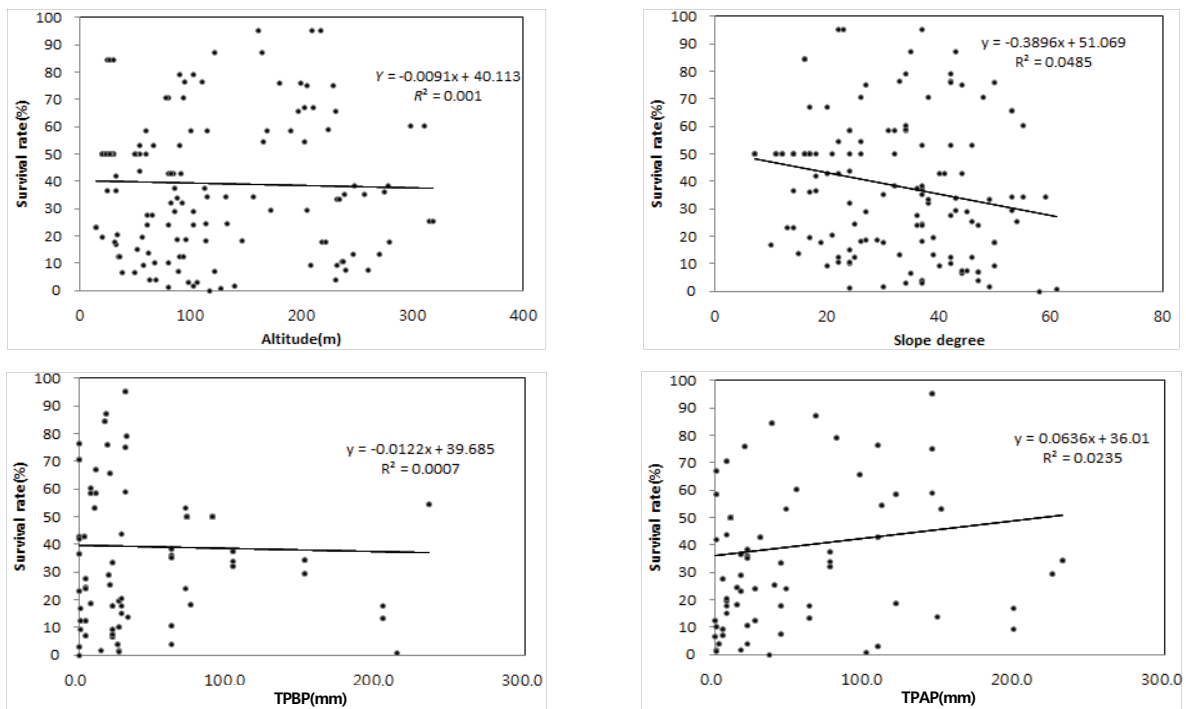


Figure 1. Individual relation between survival and site conditions of evergreen broad-leaved tree plantations. TPBP, TPAP: Total cumulative precipitation for two weeks before and after planting, respectively.

Table 4. Survival rates in plantations of evergreen broad leaved tree species.

Tree Species(Korean name)	Plantations (ha)	Survival rates (%)		
		Mean	Min	Max
<i>Quercus myrsinifolia</i> Blume (가시나무)	0.1	97.0	97.0	97.0
<i>Castanopsis sieboldii</i> (Makino) Hatus. (구실잣밤나무)	16.2	48.1	13.0	84.0
<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J. Presl (녹나무)	1.3	67.3	53.0	96.0
<i>Camellia japonica</i> L. (동백나무)	5.8	65.5	0.0	95.0
<i>Quercus acuta</i> Thunb. (붉가시나무)	8.4	76.2	63.0	98.0
<i>Q. salicina</i> Blume (참가시나무)	15.6	81.5	0.0	94.0
<i>Cinnamomum yabunikkei</i> H.Ohba (생달나무)	2.2	52.0	52.0	52.0
<i>Quercus gilva</i> Blume (종가시나무)	1.9	71.0	57.0	99.0
<i>Neolitsea sericea</i> (Blume) Koidz. (참식나무)	1.9	81.7	73.0	86.0
<i>Dendropanax morbiferus</i> H.Lév. (황칠나무)	35.3	70.6	0.0	95.0
<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc. (후박나무)	97.2	62.6	0.0	96.0

이러한 결과는 시험대상지가 전남 등의 남서해안 및 남부지역의 해안 인접 내륙에 위치해 있으며 대부분의 조림지가 고도 300 m 이하에 집중되어 있어 난대상록활엽수 조림지역간 고도 차이에 따른 생존율의 유의적인 차이가 나타나지 않았던 것으로 판단된다.

반면 조림지의 경사도는 활착률과 유의한 부의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 조림지의 고도와 달리 경사도가 높아짐에 따라 조림목의 생존율이 저조한 결과는 경사도에 따른 조림지 토양수분의 차이에 의한 것으로 판단된다. 경사도가 완만하고 유효토심이 깊은 조림지의

묘목은 뿌리발달이 상대적으로 우수하고 성장에도 유리하여 수분 스트레스에 대한 저항능력이 높은 것으로 보고된 바 있으며(Yang et al., 2014), 난대상록활엽수의 잠재 생육지는 서해, 남부 도서지역과 남부 내륙지역 등에서 낮은 구릉지에 생육 분포역이 예측된 결과(Yun et al., 2011)는 본 연구에서 활착률이 완경사지에서 높게 나타난 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 급경사지보다 완경사지는 토양수분 조건이 양호하고, 유효토심이 높게 나타나 조림목의 활착에 유리한 입지 생육환경조건을 지닌 것으로 판단된다.

조림 후 강수량은 활착률과 정의 상관관계가 있는 것으로 나타났고 강수량이 상대적으로 영향력이 큰 것으로 보인다. 조림목의 초기 활착률은 묘목특성, 조림지의 대기 및 지중 온습도(Wang et al., 2012; Burdett et al., 1984)와 복잡한 관련성이 있는 것으로 알려져 있고, 특히 조림 후 토양 습도, 동계 한건풍해 등은 난대상록활엽수의 생존율과 관련되어 있다는 보고(Jung et al., 2014)와 비교해 볼 때, 조림지 습도와 직접 연관되는 강수량의 중요성을 유추할 수 있다.

Table 5. Partial correlation coefficients between survival rate and site environmental factors.

Item	Par. Corr.	Pr> t
Altitude	0.2682	0.0016**
Slope degree	0.3043	0.0003**
Slope aspect	0.2398	0.0049**
Local topography	0.3567	<.0001**
Soil drainage	0.0093	0.9140
Soil moisture	0.1043	0.2268
Wind exposure	0.4484	<.0001**
Soil texture	0.1272	0.1399
Seedling type	0.0269	0.7558**
Plantation	0.6153	<.0001**
Planting season	0.3263	0.0001**
TPBP	0.3263	<.0001**
TPAP	0.3929	<.0001**

Note) TPBP, TPAP: Total cumulative precipitation (mm) for two weeks before and after planting, respectively.

3) 조림지 활착률에 미치는 영향요인의 편상관

조림지의 활착률과 13개 평가 인자와의 관계특성을 분석하는 데 있어서 각각의 영향 인자 간의 내부상관을 배제한 독립적인 기여도를 파악하고자 편상관(Partial correlation) 관계특성을 분석한 결과 Table 5와 같다. 편상관계수에 의한 난대림 주요 수종의 활착률에 영향을 미치는 것으로 생각하는 유의 인자의 독립적인 기여도를 분석한 결과, 조림지 상층임분 특성(개별지, 수하식재지), 풍노출도, 조림 후 강수(mm/2주), 국소지형, 조림시기와 조림 전 강수(mm/2주), 표고, 사면향 등이 유의적 상관이 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 난대상록활엽수조림지의 상층 울폐도와 관련이 있는 수하식재 혹은 개별지 식재, 그리고 조림지가 한건풍해에 노출 정도와 관련된 풍노출도의 조림지 환경 특성은 각각 활착률에 미치는 독립적 기여도가 여타 인자보다 상대적으로 높게 나타난 결과로 해석된다. 난대상록활엽수의 경우 조림 예정지 조성단계에서 상층 임분 존치와 조림지 주변 수림대 존치 등에 대한

고려가 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다. 각 설명요인의 편상관계수에 의해 분석된 이상의 결과는 활착률 수량화모형에서 조림지 상층임분 특성, 풍노출도, 조림 전 강수 등의 기여도가 높게 나타난 각 설명요인의 범위 특성(Table 6)과도 유사한 경향을 보였다.

입지 및 생육환경 인자를 수량화하여 난대림 활착률 추정모형을 도출한 결과는 Table 4와 같다. 조림지 특성(개별지, 수하식재지), 풍노출도, 조림 전 강수(mm/2주) 등의 생육환경인자가 활착률 추정식에 대한 기여도가 여타 인자보다 상대적으로 높게 나타났다(Table 4). 조림지 특성, 풍노출도는 99% 유의수준에서 신뢰성이 인정되었으며, 조림 전 강수 인자는 95% 유의수준에서 신뢰성이 인정되었다.

2. 난대상록활엽수 조림 적지 평가

1) 조림 및 생육환경 인자에 의한 활착률 모형 추정

입지 및 생육환경 인자를 수량화하여 난대림 활착률 추정한 결과는 Table 4와 같다. 수량화모형에 의해 추정된 활착률 추정식은 $y = -7.6540\delta(1,1) + 7.4912\delta(1,2) + \dots + 5.7000\delta(13,5) + 79.0283$ 로 도출되었으며, 이때 식에 대한 설명력(R^2)은 56.1%로 나타났다(F 값 5.37, $p < 0.01$).

$$\begin{aligned} \text{Survival rate} = & -7.6540\delta(1,1) + 7.4912\delta(1,2) + 7.5931\delta(1,3) \\ & + 0.4700\delta(1,4) - 4.3022\delta(1,5) + 3.7875\delta(2,1) - 2.4256\delta \\ & (2,2) \dots + 9.1592\delta(12,5) - 5.0288\delta(13,1) - 11.4205\delta \\ & (13,2) + 9.6925\delta(13,3) + 13.9220\delta(13,4) + 5.7000\delta \\ & (13,5) + 79.0283 \end{aligned} \quad (1)$$

R^2 of the model is 56.1% (F value: 5.37, $p < 0.01$).

2) 활착률에 의한 조림적지 평가

추정된 활착률 모형에서 활착률에 주된 영향을 미치는 인자는 각 인자의 범위로서 그 기여도를 판단할 수 있는데, 수관 울폐도에 따른 조림지 특성(개별지, 수하식재지), 풍노출도, 조림 2주 전 강수(mm) 등의 생육환경 인자가 여타 인자보다 상대적으로 영향 정도가 높게 나타났다(Table 6). 조림지 특성, 풍노출도는 99% 유의수준에서 신뢰성이 인정되었으며, 조림 전강수 인자는 95% 유의수준에서 신뢰성이 인정되었다. Altman et al.(2013)은 한반도에서 위도 차이를 두고 모집된 개체목 220본의 목편으로부터 1904년 이후 약 100년간의 생장률을 분석해 본 결과 풍해(최대 풍속)는 임분 교란의 주된 영향요인이라고 하였으며, 한반도의 중부와 남부지역에서 임분 교란율이 더욱 높게 나타났으며, 이러한 추세는 과거보다 최근에 더욱 뚜렷한 것으로 분석하였다. 이러한 연구결과 는 난대상록활엽수 생육분포대가 주로 한반도 남서해안

Table 6. Score estimations by quantification of site environmental factors in relation to survival rate of EBLT plantations.

Item	Category	Obs.	Mean score	Score	Range	Pr>F
Altitude (m)	<50	43	4.3022	-7.6540	11.8953	0.2353
	51-100	43		7.4912		
	101-150	19		7.5931		
	151-200	10		0.4700		
	201<	33		-4.3022		
Slope stiffness (°)	<10	6	-12.0025	3.7875	19.9107	0.0609
	11-20	37		-2.4256		
	21-30	30		-7.9082		
	31-45	51		0.3178		
	46<	24		12.0025		
Slope direction	NE(N)	53	12.0133	1.2310	15.1285	0.1919
	NW(W)	53		3.1153		
	SE	24		-0.5881		
	SW(S)	18		-12.0133		
Local topography	Foot of mountain	17	1.3476	7.5186	17.0465	0.0049
	Hillside	85		3.2365		
	Hilltop	20		-18.3941		
	Hillyzone	26		-1.3476		
Soil drainage	Moderate or imperfect	6	0.0340	0.8058	0.8399	0.9356
	Well-drained	142		-0.0340		
Soil moisture	Slightly drier	122	-5.9415	-0.5859	6.9165	0.6492
	Slightly moisture	12		-0.9750		
	Moderate	14		5.9415		
Wind exposure	Open	74	16.4786	12.4204	28.8990	0.0004
	Moderate	53		-10.8125		
	Protective	21		-16.4786		
Soil property	Silty loam, Sand	6	-3.1525	-6.5215	9.6739	0.4433
	Sandy loam	98		-1.0161		
	Loam, Silty clay loam	44		3.1525		
Seedling type	Barren root seedling	94	-0.8504	-0.4885	1.3389	0.8390
	Containerized seedling	54		0.8504		
Plantation type by crown closure of upper story	Clear cutting area	74	-18.8933	-18.8933	37.7867	<.0001
	Under planting	74		18.8933		
Planting season	Spring	106	10.0427	4.8320	14.8747	0.0141
	Summer	10		-19.0826		
	Autumn	32		-10.0427		
TPBP (mm/14days)	<10	39	-9.1592	-13.3426	22.5019	0.0126
	11-20	18		4.3039		
	21-50	33		3.6361		
	51-80	27		1.4432		
	81<	31		9.1592		
TPAP (mm/14days)	<10	30	-5.7000	-5.0288	17.1206	0.0258
	11-20	43		-11.4205		
	21-50	29		9.6925		
	51-80	12		13.9220		
	81<	34		5.7000		

Note) In the survival estimation model the range of site factors ranged between 0.8399 of soil drainage factor and 37.7867 of crown closure factor by upper story stands.

지역의 해안 및 인접내륙에 위치해 있어 풍노출도가 높은 조림지는 저조한 활착률에 유의적인 영향을 미치고 있는 것으로 나타난 본 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있다. 또한 겨울철의 차고 건조한 바람에 의한 피해, 즉 한건풍해의 영향에 따른 난대상록활엽수 식재묘의 비생육기 피해 또한 보고된 바 있어(Jung et al., 2014) 풍노출도는 난대상록활엽수종 조림지의 적지선정 및 생육환경 조성 단계에서 반드시 고려되어야 할 요인으로 사료된다.

결론

본 연구는 난대상록활엽수의 성공조림지 조성을 위하여 조림 초기 활착률과 묘목특성, 기상, 입지생육환경 특성 등의 관계특성을 분석하여 해당수종의 조림기술 개발 및 조림적지에 관한 기초자료를 제시하고자 수행되었다. 난대상록활엽수의 조림시험지를 대상으로 난대상록활엽수 10종의 신규 조림지 180 ha에 대한 활착률을 모니터링 한 결과 148개 조사구의 평균 활착률은 67.0±26.9%이었다. 그리고 조사구별 11개 생육환경 및 입지환경 특성, 조림 전후 강수 등의 설명요인과 활착률 간의 관계특성으로부터 수량화 이론 I의 통계적 절차를 수행한 결과, 난대상록활엽수종의 조림지 활착률에 주된 영향을 주는 요인은 조림지 상층임분 특성(개별지, 수하식재지), 풍노출도, 조림 전 2주 동안의 누적 강수량, 경사도 등의 순으로 높게 나타났다. 이러한 결과로부터 조림예정지 조성을 위한 상층임분 별채 단계에서 유시에 반음수인 난대상록활엽수의 생육환경 조성을 위하여 개별 보다는 상층임분의 임상, 직경급, 흉고단면적, ha당 잔존본수, 수고, 임령(생육단계), 임분구조 등을 고려하여 평균 흉고단면적을 기준으로 한 상층임분밀도 조정이 필요할 것으로 판단된다. 또한 조림지 주변 수림대를 존치시켜 조림지 식재묘가 활착되기 전 동계 차고 건조한 바람, 특히 동계한건풍해로부터 보호되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 제시된 난대상록활엽수종의 조림지 활착률을 증진에 관한 연구결과는 향후 우리나라 남서해안 및 인접내륙에서 불량임분 및 피해 임지에서 기후변화에 대응한 다층 혼효림 구조의 탄력적 임분을 조성하는데 있어 기초자료로서 그 활용가치가 기대된다.

References

Altman, J., Dolezal, J., Cerny, T. and Song, J.S. 2013. Forest response to increasing typhoon activity on the Korean peninsula: evidence from oak tree-rings. *Global Change Biology* 19: 498-504.

Burdett, A.N., Herring, L.J. and Thompson, C.F. 1984. Early growth of planted spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 14(5): 644-651.

Chung, Y.G., Kim, D.H. and Kim, C.M. 2010. Development of stem profile and taper equation for *Quercus acuta* in Jeju experiment forests. *Journal of Korean Forest Society* 99(1): 57-61.

Jung, S.Y., Lee, K.S., Yoo, B.O., Park, Y.B., Ju, N.G., Kim, H.H. and Park, J.H. 2014. Freezing injury characteristics of evergreen broad-leaved trees in southern urban area. Korea. *Journal of Korean Forest Society* 103(4): 528-536.

Korea Forest Service (KFS). 1989. Forest site survey manual. pp. 58.

Korea Forest Service (KFS). 2002. Restoration and development for bio-technology in warm temperate forest; Industry, academy, and government cooperative study IV. Korea. Korea Forest Service, Korea. pp. 164.

Korea Forest Service (KFS). 2018. Annual Action Plan of Forest Resources. Korea Forest Service, Korea. pp. 338.

Komatsu, H., Kume, T. and Otsuki, K. 2008. The effect of converting a native broad-leaved forest to a coniferous plantation forest on annual water yield: A paired catchment study in northern Japan. *Forest Ecology and Management* 255(3-4):880-886.

National Institute of Forest Science (NIFoS). 2014. Resource evaluation and distribution of warm forest species in southern Korea. Korea. Korea Forest Service, Korea. pp. 23.

Park, J.H., Ju, N.G., Yoo, B.O., Lee, K.S., Yoo, S.B. and Jung, S.Y. 2016. Development of vegetation structure by thinning intensity of *Quercus acuta* stands in Wando region. Korea. *Journal of Korean Forest Society* 50(1): 73-81.

Park, N.C., Lee, K.S. and Jung, S.Y. 2009. Estimation of site productivity of *Pinus densiflora* by the soil physico-chemical properties. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 42(3): 160-166.

Park, S.U., Koo, K.A. and Kong, W.S. 2016. Potential Impact of Climate Change on Distribution of Warm Temperate Evergreen Broad-leaved Trees in the Korean Peninsula. *Journal of the Korean Geographical Society* 51(2): 201-217.

SAS Institute Inc. 2003. SAS/STAT Statistical software, Version 9.1. SAS publishing Cary, NC.

Seo, U.K., Baek, G., Jo, C., Yoo, B.O., Lee, K.S. Jeong, J. and Kim, C. 2017. Allometric equations for biomass estimation and biomass expansion factors in a *Machilus thunbergii* plantation. *Journal of Agriculture and Life Science* 51(2): 17-27.

Song, K.S., Jeon, K.S., Choi, K.S. Choi, J.Y., Sung, H.I. and Kim J.J. 2014. Growth characteristics of *Daphniphyllum*

- macropodum* seedlings of Warm-temperate landscape tree by shading and fertilization treatment: Research on seedling production of *D. macropodum* by container nursery for meteorological disasters. *Journal of Climate Research* 9(1):65-76.
- Wang, X.H., Kent M. and Fang X.F. 2007. Evergreen broad-leaved forest in Eastern China: Its ecology and conservation and the importance of resprouting in forest restoration. *Forest Ecology and Management* 245(2007): 76-87.
- Wang, S., Fu, B.J., Yao, X.L. and Zhou, J. 2012. Soil moisture and evapotranspiration of different land cover types in the Loess Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences* 16: 2883-2892.
- Yoo, B.O., Park, J.H., Park, Y.B., Jung, S.Y. and Lee, K.S. 2016. Assessment of the distributional probability for evergreen broad-leaved forests (EBLFs) using a Logistic Regression model. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 19(1): 94-105.
- Yun, J.H., Nakao K., Park, C.H., Lee, B.Y. and Oh, K.H. 2011. Change Prediction for Potential Habitats of Warm-temperate Evergreen Broad-leaved Trees in Korea by Climate Change 25(4): 590-600.
- Yang, A.R., Hwang, J.H., and Cho, M.S. 2014. Regional early growth performances of planted *Chamaecyparis obtusa* seedlings in relation to site properties. *Korea. Journal of Korean Forest Society* 103(3): 375-382.

Manuscript Received : September 30, 2019

First Revision : November 6, 2019

Accepted : November 12, 2019