


## 토양 물리·화학적 성질 및 기상인자에 따른 국내 6개 지역의 루브라참나무 초기 생장 특성

황환수 · 김태림 · 오창영 · 임혜민 · 이일환 

국립산림과학원 임목자원연구과

### Early Growth Characteristics of *Quercus rubra* Associated with Soil Physicochemical Properties and Meteorological Factors in Six Regions of South Korea

Hwan Su Hwang, Tae Lim Kim, Changyoung Oh, Hyemin Lim and Il Hwan Lee\*

Forest Bioresources Department, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

**요약:** 본 연구는 미국의 미시간주 산지로부터 도입한 종자를 이용하여 국내 6개 지역에서의 토양 물리·화학적 성질 및 기상인자에 따른 루브라참나무 초기 생장 특성을 분석하고자 수행되었다. 조사지는 화성, 양평, 평창, 삼척, 충주, 김제이며 2014년에 루브라참나무 묘목(1-0묘)은 3,000본 ha<sup>-1</sup> 밀도로 식재되었다. 2021년도에 조사된 6개 지역 8년생 루브라참나무의 평균 수고, 근원경 및 재적생장은 각각 3.52 m, 3.84 cm, 0.0023 m<sup>3</sup>로 나타났다. 조사된 국내 6개 지역 중에서 경기도 화성시에 식재된 루브라참나무의 생장이 가장 우수하며 강원도 평창군의 생장이 가장 저조하였다. 토양특성 조사에서 조립지 토양 내 모래의 비율은 21.4~64.1%, 미사는 24.9~61.1%, 점토는 9.7~21.2%로 확인되었으며, pH는 전체적으로 4.15~4.80의 범위로 약산성을 나타내었다. 지역별로는 화성이 4.15로 가장 낮았고 삼척 지역이 4.80으로 가장 높았다. 조립지 토양의 물리·화학적 특성 및 기상인자와 생장 특성과의 상관분석을 진행한 결과, 토양인자들 중 pH는 근원경과 부의 상관관계를 나타냈으며 다른 토양인자들은 생장특성과 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 반면, 일 최고기온과 3~10월의 평균온도 등의 기상인자는 생장특성과 강한 정의 상관관계를 나타냈으며, 해발고와 지형, 3~10월의 강우 일수는 부의 상관관계를 보였다. 특히 화성지역은 가장 높은 일 최고기온과 3~10월의 평균온도, 낮은 고도와 산록에 가까운 지형으로 인해 가장 우수한 초기생장을 보이는 것으로 나타났다. 생장이 가장 저조했던 평창의 경우 높은 고도와 낮은 일 최저기온 등으로 인한 겨울철 동해 피해와 야생동물에 의한 수목 피해가 생장에 부정적인 영향을 주었던 것으로 분석되었다. 주성분 분석에서는 제 3 주성분까지 84.7%의 설명력을 나타냈으며, 생장특성인 근원경 및 재적과 생장이 가장 우수했던 화성지역이 강한 상관관계를 보였다. 종합적으로 국내 6개 지역 중에서 화성 지역의 루브라참나무 초기 생장이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 조립지 토양의 물리·화학적 특성보다는 온도나 고도와 같은 기상과 관련된 인자가 생장특성과 상관관계가 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 루브라참나무 국내 조림 적지 선정 및 환경 특성에 따른 초기생장 특성 예측에 필요한 유용한 정보로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract:** We investigated the early growth characteristics of *Quercus rubra* planted in six regions (Hwaseong, Yangpyeong, Pyeongchang, Samcheok, Chungju, and Gimje) in South Korea in relation to soil physicochemical properties and meteorological factors. *Q. rubra* (1-0) were planted at a density of 3,000 trees ha<sup>-1</sup>. The average height, root collar diameter (RCD), and volume of 8-year-old *Q. rubra* planted in 2014 were 3.52 m, 3.84 cm, and 0.0023 m<sup>3</sup>, respectively. The growth parameters of *Q. rubra* were the highest and lowest in Hwaseong and Pyeongchang, respectively. Correlation analysis among the soil physicochemical properties, meteorological factors, and plantation growth characteristics found that pH was the only soil factor negatively correlated with RCD, and the other soil factors were not significantly correlated with the growth characteristics. However, growth characteristics were positively correlated to average temperature from March to October and daily maximum temperature; and they were

\* Corresponding author

E-mail: lih0618@korea.kr

ORCID

Il Hwan Lee  <https://orcid.org/0000-0001-9548-9846>

negatively correlated to altitude, topology, and the number of rainy days from March to October. In particular, the trees planted in Hwaseong area showed the best early growth characteristics because this area had the highest daily maximum temperature, the x average temperature from March to October, the low altitude, and it is located close to the foot of a mountain. In Pyeongchang, the early growth characteristics were negatively affected by winter cold damage because of the high altitude, low daily minimum temperature, and damage by wild animals. In Hwaseong, meteorological factors such as temperature and altitude were more highly correlated to growth characteristics of *Q. rubra* than the physicochemical soil properties. These results will provide useful information for determining suitable sites for *Q. rubra* plantations and for predicting early growth characteristics in response to environmental factors.

**Key words:** northern red oak, soil properties, correlation analysis, PCA

## 서 론

해외수종의 도입은 원산지 국가 또는 다른 나라로부터 육성된 품종을 들여와 우리나라 환경에 맞는 품종을 선발하는 것으로 육종 기간의 단축 및 비용과 노력의 감소, 그리고 새로운 유전자원을 얻는다는 이점을 바탕으로 지속적으로 이루어지고 있다(Zobel et al., 1987). 우리나라에는 용재적 가치가 있으며 적응성이 우수한 약 6가지의 도입수종이 조림수종으로 유망시되고 있으며, 국내에서의 적응성 검정 또한 지속적으로 이루어지고 있다(National Institute of Forest Science, 2018). 그 중, 루브라참나무 (*Quercus rubra* L.)는 Northern red oak로 불리며 해발고 1,700 m 이상의 미국 동북부와 캐나다 동남부에 분포하고 주로 애팔레치아 산맥을 중심으로 자생하는 수종이다(Godfrey, 1988). 수간이 통직하고 대경재로 성장하며 강한 내한성을 지녀 -40°C 이하에서도 생장이 가능해 북미에서는 마루판재 및 건축재로 활용된다(Sander, 1990). 루브라참나무는 가뭄이나 서리와 같은 스트레스에 저항력이 있으며(Kiselev, 1950; Straigytė and Žalkauskas, 2012), 건조한 사토부터 습윤한 미사질양토까지 다양한 범위의 토양에서 자생하며 두꺼운 낙엽층을 형성하는 수종이기 때문에 루브라참나무의 성장에는 토성과 토양 A층의 깊이 같은 토양 특성이 중요하다고 알려져 있다(Sander, 1990; Dobrylovská, 2001; Horodecki and Jagodziński, 2017). 루브라참나무는 1926년 국내에 최초로 도입되었으나 한국전쟁으로 자료가 소실되었고, 1972년에 미국, 독일, 그리고 프랑스에서 들여온 종자로 적응성 검정을 실시하여, 루브라참나무의 적응력과 생장이 우수함을 확인하였다(Han et al., 1986). 우수 산지의 종자를 선발하기 위해 1991년에 미국과 캐나다에서 23개의 산지 종자를 도입하여 성장특성 및 수간 통직성을 비교한 결과, New York산 종자의 생장이 가장 우수한 것으로 나타났다(Kim et al., 2021). 특히, 루브라참나무는 국내에 자생하고 있는 참나무류와 비교하여 목재의 질이나 통직성이 좋으며, 재적생장에서도 두 배 이상 높은 생장을 보이는 것으로 나타났다

(Ryu et al., 2004). 조림목의 생장은 임분의 환경특성에 의해 큰 영향을 받으므로, 경제성이 있는 산림을 구성하기 위해서는 임분의 환경특성을 고려하여 수목을 식재하고, 그에 대한 관리 계획을 수립하는 것이 필요하다(Chung et al., 1980; Chung, 1981; Kim et al., 2013; National Institute of Forest Science, 2015). 특히 기온과 강수량은 지역적 편차가 크며 인위적으로 조절할 수 없다는 점에서 적지적수를 위해 고려해야 할 중요한 기후인자로 여겨진다(Woodward and Rochefort, 1991; Son and Chung, 1994; Shin et al., 2001). 유럽에서는 루브라참나무 조림 적지 연구를 통해 토양이 깊고 석회암이 적은 적합한 산성의 토양이 조림 적지라고 보고되었다(Nicolescu et al., 2018). 현재까지 루브라참나무에 대한 국내 적응성 검정 및 산지시험은 경기도 화성시에 조성된 국립산림과학원의 어천시험림에 국한되어 수행되어 왔으며, 국내 조림적지에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 국내 적응성이 우수한 루브라참나무를 육성하고 조림적지를 판정하기 위해서는 우리나라 여러 지역에 조성된 루브라참나무 지역적응성 검정림을 활용한 국내 적응성 검정이 필요하다. 본 연구의 목적은 국내 6개 지역에 조성된 루브라참나무 지역적응성 검정림의 루브라참나무 초기(8년생) 생육 특성(수고, 근원경, 재적) 및 환경인자(기상 및 토양인자)를 조사하고, 이들에 대한 상관관계 분석 및 주성분 분석을 통해 루브라참나무의 초기 생장에 영향을 미치는 주요 인자를 구명하고 조림적지를 판정하는데 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지

본 연구는 우리나라의 전국 6개 지역에 2014년도에 조성된 지역별 적응성 검정 시험림을 대상으로 수행되었다(Figure 1). 행정구역상으로는 경기 2개 지역(양평 및 화성), 강원 2개 지역(삼척 및 평창), 충북(충주)과 전북(김제)에 1개 지역이며, 산림기후대별로 온대북부지역 1곳, 온대중부지역 2곳, 온대남부지역 2곳, 난대지역 1곳으로

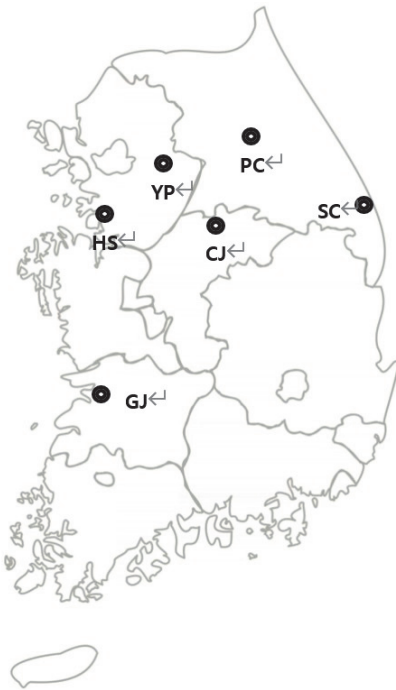


Figure 1. Location of the study sites. Abbreviation of regions are referred in Table 1.

설정되었다. 시험림 조성에 사용된 묘목은 2012년에 미국 미시간주에서 도입된 루브라참나무 종자로부터 양묘된 1-0묘를 활용하였고, 조림은 3,000본 ha<sup>-1</sup>기준으로 2~3열씩 혼식하였다. 무작작업은 2014년부터 2018년까지 풀베기사업을 진행하였으며, 지역별 입지환경을 조사하기 위하여 각 조림지의 위도, 경도, 해발고, 방위, 경사, 지형 및 평균기온 등을 조사하였다. 지형의 경우 산록부터 산정까지를 1부터 10까지 총 10개 구역으로 나누어 표기하였다. 조사지역의 기상정보는 식재년도인 2014년부터 조사직전 년도인 2020년까지의 값을 평균을 내어 활용하였으며, 각각 가장 가까운 측후소의 자료를 해발고도에 따라 보정하여(-0.55°C/100 m) 기온을 계산하였다.

## 2. 성장특성 조사

성장특성 조사는 국내 6개 지역에 식재된 8년생 루브라참나무의 수고 및 근원경(Root collar diameter, RCD)을 측고기(Suunto heightmeter, Japan)와 전자식 캘리퍼스를 이용하여 2021년 5월~6월에 걸쳐 조사하였다. 조사임분의 지형에 따라 산록, 산복, 산정에 초기 식재밀도가 유지된 20 × 20 m의 조사구역을 각각 하나씩 설정하였으며 그 구역을 대표할 수 있는 20본에 대해서 수고와 근원경을 측정하였다. 개체의 재적은 조사된 수고와 근원경을 기반으로  $V = \Pi \times RCD^2 \times H / 6$  공식에 따라 계산되었다(Pinto et al., 2011; Noh et al., 2020).

## 3. 토양특성 조사

토양 분석을 위한 시료 채취는 각 조림지별 3곳(산록, 산복, 산정의 조사구역)에서 성장특성 조사를 수행한 시기와 동시점에 동일한 장소의 토양을 하나씩 채취하였으며, 유기물 층을 걷어내고 토심 30 cm 깊이까지의 토양을 원통형의 토양채취기를 이용하여 수집 후 지퍼 백에 밀봉하여 실험실로 운반하였다. 채취된 토양 시료를 그늘에서 2주일 이상 완전히 건조시킨 후 2 mm체로 선별한 뒤, GARES(2008) 방법을 이용하여 토성, 전질소농도, pH, 유효인산, 유기물, 치환성 양이온, 그리고 CEC를 분석하였다. 간략히, 토성은 하이드로미터 방법을 사용하여 측정하였고, 전질소농도는 Kjeldahl법을 이용하였다. pH는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 희석하여 pH meter를 이용하여 측정하였다. 유효인산과 유기물 농도의 측정은 각각 Lancaster와 Tyurin 방법에 의해 측정되었다. 치환성 양이온(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>)과 CEC는 일정량의 토양을 1N-NH<sub>4</sub>OAc용액(침출액)으로 추출하여 분석하였다(Jones Jr, 1999; Rural Development Administration, 2020).

## 4. 통계분석

루브라참나무 조림지의 지역별 토양 특성 차이를 검정하기 위하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 유의성이 있다고 판단된 인자들은 Tukey의 다중검정법( $p < 0.05$ )을 이용하여 사후검정하였다. 환경인자와 성장특성(수고, 근원경, 그리고 재적)간에는 상관관계분석(Pearson's correlation analysis)을 수행하였다. 또한 환경인자와 성장특성들의 분산에서 가급적 많은 부분을 설명하는 요인을 추출하기 위해 주성분분석(Principal component analysis; PCA)을 수행하였다. 모든 통계 분석에는 R 소프트웨어(version 4.1.1) 프로그램을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 연구지 개황

본 연구에서 조사된 루브라참나무의 조림지 개황은 Table 1에 나타내었다. 조림지는 평창을 제외하고 해발고도 100~500 m에 위치하고 있으며, 평창의 경우 1,100~1,200 m의 고산지대에 위치해 있었다. 경사도는 18~45°의 범위를 나타내었으며, 충주, 삼척, 화성, 평창 지역은 18~35°범위로 대부분 험준지로 나타났다. 그리고 김제와 양평 지역은 28~45°의 범위로 경사가 급한 절험지였다. 조사지역의 연평균온도는 7.0~13.1°C의 범위를 나타냈으며, 루브라참나무 원산지인 북아메리카의 경우 자생지의 연평균온도는 4~16°C로 보고되었다(Dyderski et al., 2020).

**Table 1. List and description of study sites of *Quercus rubra* plantations.**

Region	Gimje	Chungju	Samcheok	Yangpyeong	Hwaseong	Pyeongchang
Abbreviation	GJ	CJ	SC	YP	HS	PC
Location	N 35° 40'	N 36° 57'	N 37° 09'	N 37° 35'	N 37° 20'	N 37° 27'
	55.49" E	50.92" E	41.36" E	23.72" E	18.82" E	01.97" E
	127° 01'	128° 01'	129° 16'	127° 38'	126° 93'	128° 30'
	37.14"	10.98"	07.96"	05.43"	69.12"	25.05"
Plantation area (ha)	4.0	4.0	1.0	4.0	0.78	2.0
Altitude (m)	200-265	207-301	200-227	440-487	115-129	1130-1170
Azimuth angle (°)	250-360	344-18	205-230	15-75	221-78	70-95
Slope (°)	30-37	18-30	26-30	28-45	20-35	25-30
Topography	4.88±3.12	4.50±3.42	4.33±3.51	5.50±2.52	3.00±1.00	7.00±1.00
Annual temperature (°C)	13.1±0.2	11.6±0.2	12.3±0.1	10.2±0.1	12.7±0.0	7.0±0.1
Average temperature from March to October (°C)	18.3±0.2	17.5±0.2	16.7±0.1	16.2±0.1	18.3±0.0	12.6±0.1
Average temperature from November to February (°C)	2.8±0.2	0.0±0.2	3.7±0.1	-1.5±0.1	1.4±0.0	-4.1±0.1
Daily maximum temperature (°C)	35.2±0.2	35.8±0.2	34.6±0.1	34.4±0.1	36.1±0.0	31.7±0.1
Daily minimum temperature (°C)	-11.8±0.2	-16.3±0.2	-11.1±0.1	-18.3±0.1	-13.8±0.0	-21.3±0.1
Number of rainy days from March to October	78	75	80	72	69	77
Number of rainy days from November to February	34	33	25	28	34	31

3월부터 10월, 11월부터 2월까지의 평균 기온은 평창 지역이 각각 12.6°C와 -4.1°C로 가장 낮게 나타났다. 조림 이후의 최고기온은 36.1°C로 화성 지역이었으며, 최저기온은 -21.3°C로 평창지역이었다. 강우일수는 3월부터 10월은 69~80일의 범위를 나타냈으며 11월부터 2월의 경우 25~34일이었다.

## 2. 루브라참나무 임분의 지역별 토양특성

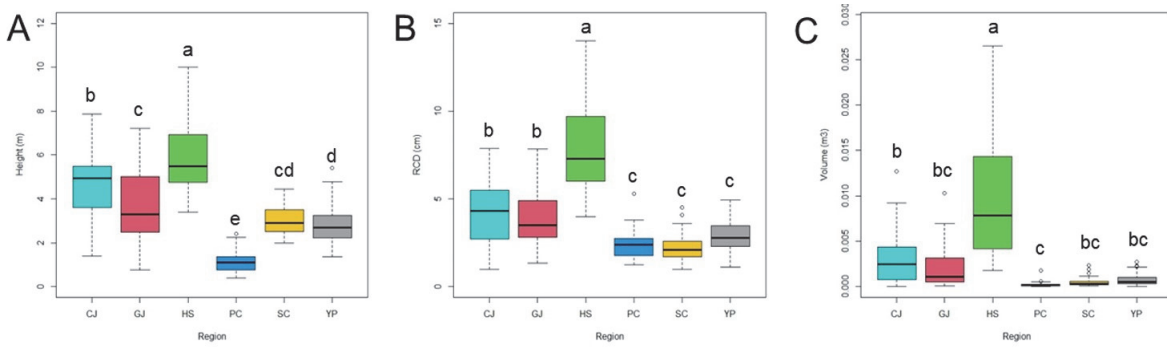
조사 지역별 토양의 물리적 및 화학적 특성은 Table 2에 표시하였다. 2021년 조림지의 토양 내 모래의 비율은 21.4~64.1%, 미사는 24.9~61.1%, 점토는 9.7~21.2%로 확인되었다. 우리나라의 산림토양의 평균 토성은 양토로

알려져 있으며, 그 비율이 모래 37%, 미사 45%, 점토 18%이다(Jeong et al., 2002). 조사대상 지역의 토양 pH는 전체적으로 4.15~4.80의 범위로 약산성을 나타냈으며, 지역별로는 화성이 4.15로 가장 낮았고 삼척 지역이 4.80으로 가장 높았다. 이는 최근의 우리나라 산림토양 평균 pH인 4.30과 비슷하여 산림토양이 산성을 주로 나타낸다는 것을 보여준다(Lee and Koo, 2020). 전질소와 유기물 농도, 그리고 양이온치환능력은 조사지역에 따라 유의적인 차이를 나타냈으며, 평창에서 가장 높았고 그 다음은 양평 지역이었다. 유효 인산 농도와 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 농도는 지역적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

**Table 2. Soil chemical properties for six studied regions.**

Region	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	pH	Organic matter (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CEC (cmol/kg)
Gimje	64.05±10.59a	26.30±8.08c	9.65±2.84b	Sandy loam	4.30±0.05ab	3.04±1.68b	0.10±0.07b	2.98±2.12a	0.15±0.06a	0.45±0.30a	0.12±0.11a	16.41±5.54b
Chungju	23.28±5.49b	55.58±6.99ab	21.15±3.91a	Silty loam	4.17±0.08b	2.19±0.69b	0.09±0.02b	2.28±0.63a	0.13±0.03a	0.25±0.04a	0.04±0.02a	15.24±3.20b
Samcheok	63.07±1.69a	24.90±3.52c	12.03±1.98ab	Sandy loam	4.80±0.41a	2.73±1.34b	0.09±0.04b	2.32±0.31a	0.22±0.05a	1.13±1.35a	0.45±0.27a	17.54±5.27b
Yangpyeong	48.50±11.78a	38.18±9.59bc	13.33±4.99ab	Loam	4.25±0.11b	5.21±3.65ab	0.22±0.16ab	1.42±0.46a	0.21±0.09a	0.59±0.30a	0.11±0.04a	23.71±7.94ab
Hwaseong	57.43±1.39a	31.20±1.76c	11.37±0.81ab	Sandy loam	4.15±0.09b	1.63±0.55b	0.05±0.01b	1.74±0.21a	0.18±0.05a	0.46±0.11a	0.11±0.07a	13.79±2.53b
Pyeongchang	21.37±6.45b	61.10±2.01a	17.53±5.62ab	Silty loam	4.42±0.19ab	9.93±3.38a	0.42±0.14a	1.74±0.71a	0.36±0.21a	1.74±1.53a	0.46±0.47a	38.49±9.52a

T-N: total nitrogen; CEC: cation exchange capacity. Different letters indicate significant differences among regions at  $P < 0.05$ .



**Figure 2. Box plots of the growth factors from *Quercus rubra* in six regions of South Korea.** (A) Height; (B) Root collar diameter; (C) Volume. Different letters above the bars indicate significantly different values ( $p < 0.05$ ), calculated using one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test.

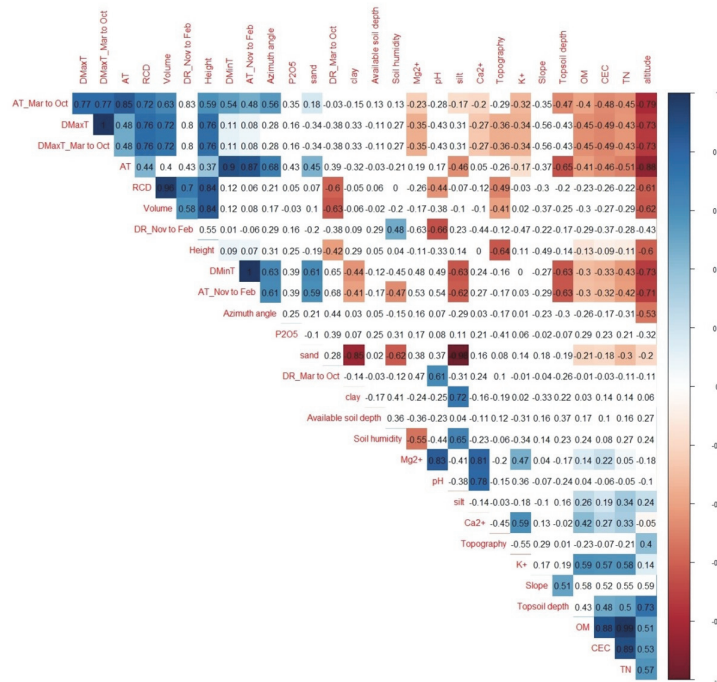
**3. 지역별 루브라참나무의 성장특성**

지역별로 식재된 8년생 루브라참나무의 수고, 근원경, 재적생장은 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 (Figure 2). 수고 및 근원경 생장이 가장 우수한 지역은 화성으로 평균 수고 5.8 m와 평균 근원경 7.9 cm로 조사되었다. 반면, 평창 지역에 식재된 루브라참나무의 수고 및 재적은 가장 저조한 것으로 나타났다(Figure 2). 미국과 캐나다에서 도입한 23개 산지 종자로 1993년 화성시에 조성한 루브라참나무 산지시험림의 경우에는 미국의 Womble 산지가 8년생 때 4.96 m로 가장 우수한 생장을 보였으며, Deerfield 산지의 경우는 2.29 m로 저조한 생장을 보였다

(Ryu et al., 2004). 그 당시에 대조군으로 식재된 8년생 상수리나무의 경우는 수고가 3.82 m로 루브라참나무의 23개 산지의 평균 수고인 3.92 m와 비슷하게 나타났다(Cho et al., 2013). 본 연구에서 조사된 화성지역의 미시간 산지 루브라참나무의 수고는 Womble 산지보다 큰 것으로 나타났다.

**4. 환경인자와 성장특성 간의 상관분석**

토양특성과 기상인자를 포함한 조림지의 25개 환경인자와 루브라참나무의 성장특성 사이의 상관관계를 분석한 결과는 Figure 3과 같다. 기상인자에서 3~10월까지의 평균 온도, 일 최고기온, 3~10월까지의 일 최고기온이 성장특성



**Figure 3. Correlation analysis of growth and environmental factors in planted *Quercus rubra* site.** The colored cells represent statistically significant correlation between the variables ( $p < 0.05$ ).



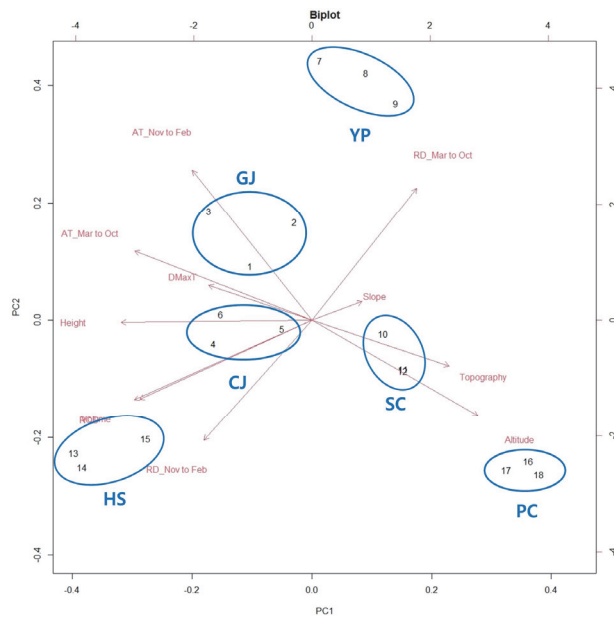


Figure 4. Principal component analysis (PCA) of growth and environmental factors in planted *Quercus rubra* sites.

들과 강한 정의 상관을 나타냈다. 연평균온도는 근원경과 수고에 정의 상관을 나타냈으며 재적과는 유의성이 나타나지 않았다. 같은 참나무과인 상수리나무의 연륜생장과 기후인자와의 관계를 분석한 논문에서도 월 평균기온이 높을수록 연륜생장량이 증가한다는 보고가 있으며(Moon et al., 2015), 봄철의 높은 온도가 수목의 성장기간을 늘려 연륜생장에 긍정적인 영향을 준다는 연구도 있다(Huang et al., 2010). 본 연구에서 11~2월의 강우일수와 근원경 및 재적은 정의 상관을 보였으며, 이는 12월~4월의 많은 강수량이 충분한 수분 공급을 통해 성장기 수목의 연륜생장에 이롭다는 보고와 일치한다(Haston et al., 1988). 반면에, 3~10월의 강우일수, 지형, 위도는 성장특성 모두와 부의 상관을 나타냈으며, pH와 근원경이 상관관계수 -0.44로 부의 상관을 보였다. pH를 제외한 토양의 물리적·화학적 성질은 루브라참나무의 초기 성장과 큰 상관관계가 나타나지 않았다. 루브라참나무는 토양비옥도 감소에 상대적으로 반응이 적은 스트레스 저항성을 지닌 수종이다(Crow, 1988). 토양 영양분(P, K, Mg 그리고 Ca)이 저농도 일 때 루브라참나무의 갱신이 더 적합하며, 특히 토양의 Ca 함량이 루브라참나무의 밀도와 가장 큰 연관이 있다(Major et al., 2013). Timbal and Gelpe(1989)는 토심 30 cm까지의 토양에서 높은 Ca 농도가 루브라참나무 묘목의 성장과 생존에 해롭다고 보고하였으며, 양분이 적은 임분에서는 루브라참나무가 양분 스트레스에 민감한 다른 경쟁수종들과 비교하여 성장과 활력의 감소가 적어 갱신에 유리하다는 선행 연구 결과가 있다(Kolb et al., 1990; Nicolescu et

al., 2018). 하지만 본 연구에서는 지역간의 유효인산을 비롯한 양이온 농도의 유의한 차이가 없었다(Table 2). 이는 지역간의 루브라참나무의 성장차이가 토양특성보다는 다른 환경인자에 의해 영향을 받았다고 판단된다. 유기물 농도와 전질소, 그리고 양이온치환능력(CEC)은 서로 상관계수 0.88~0.99의 정의 상관을 나타냈는데 이는 토양 내 유기물 농도가 높을수록 CEC도 높아 진다는 보고와 일치했다(Jin et al., 1994). 수목의 성장에서 토양 내의 유기물 농도와 전질소는 높을수록 긍정적인 영향을 주는 것으로 알려져 있는데(Son and Chung, 1994; Park et al., 2004), 조사지 중 가장 높은 유기물 농도와 전질소 농도는 나타낸 평창과는 반대되는 결과였다. 이는 고위도 지역의 낮은 온도로 인한 겨울철 동해 피해와 야생동물에 의한 피해가 묘목의 활착과 생육상황에 영향을 준 것으로 보인다.

## 5. 주성분분석

국내 6개 지역에 조립된 루브라참나무 임분의 환경인자와 성장특성 간의 상관관계분석에서 유의성이 높게 나타난 11가지 인자에 대하여 주성분 분석을 실시한 결과, 제 3 주성분까지 84.7%의 설명력을 나타냈다. 제 1 주성분은 전체 분산의 50.94% 설명력이 있으며, 제 2 주성분은 19.81%의 설명력으로 이들의 주성분 값을 2차원 평면상에 배열하여 나타내었다(Figure 4). 화성 지역의 임분은 성장특성인 근원경, 재적과 강한 상관관계를 나타냈으며, 성장특성과 상관이 높았던 11~2월의 강우일수와도 강한 상관관계를 보였다. 반면에 생장이 저조했던 삼척과 평창 지역의 임분은 성장특성과 부의 상관을 보였던 경사, 지형, 고도와 상관성이 높았다. 양평의 경우 3~10월의 강우일수, 김제와 충주 지방은 일 최고기온과의 정의 상관관계를 나타냈다. 한편, 근원경 및 재적과 경사, 일 최고기온 및 3~10월의 평균온도와 고도는 강한 부의 상관이 있었으며, 근원경과 재적, 일 최고기온과 3~10월의 평균온도는 강한 정의 상관을 보였다. 따라서 일 최고기온과 성장기인 3~10월의 평균온도가 높으며 임분의 경사가 평탄하며 산정보다는 산록 지형의 지역이 루브라참나무 조립 적지라 판단된다.

## 결론

본 연구는 유망 해외 도입수종 중에 하나인 루브라참나무의 국내 지역별 초기 성장 특성을 조사하여 조립 적지를 선별하고 성장에 영향을 미치는 환경인자를 구명하기 위해 실시되었다. 국내 6개 지역에 조립된 루브라참나무 중 경기도 화성에 식재된 루브라참나무의 생장이 가장 우수

하였으며, 평창 조림지의 생장이 저조하였다. 상관관계 분석에서 루브라참나무의 수고, 근원경, 재적은 일 최고기온, 3~10월의 평균온도와 강한 정의 상관관계를 나타냈으며, 해발고, 3~10월의 강우일수, 지형과 부의 상관을 나타냈다. 반면에, 조림지 토양의 물리화학적 특성은 루브라참나무의 초기 성장과 큰 상관관계를 나타내지 않았다. 조림지의 환경인자들을 이용한 주성분 분석에서는 화성 지역이 근원경, 재적, 11~2월의 강우일수와 정의 상관관계를 보였다. 화성 지역 루브라참나무의 초기생장이 우수한 이유는 조사된 지역 중 가장 높은 일 최고기온과 3~10월의 평균기온, 낮은 고도와 산록에 가까운 지형에 기인한 것으로 분석되었다. 반면, 평창지역은 가장 낮은 3~10월의 평균온도와 일 최저온도, 그리고 가장 높은 고도와 산정에 가까운 지형으로 동해 피해를 받은 것으로 나타났으며, 야생동물에 의한 피해가 관찰되어 저조한 성장을 보인 것으로 판단된다. 따라서 해발고가 낮고 지형이 평탄하며 일 최고기온이 높고 3~10월의 평균기온이 높은 지역이 루브라참나무의 조림적지라 판단된다. 루브라참나무의 초기 성장에는 토양의 물리화학적 특성보다는 조림지의 입지 환경 및 기상인자들이 더 큰 영향을 끼치는 것으로 보이며, 이전에 조사되었던 산지별 루브라참나무의 성장결과와 함께 지역을 선정하여 조림한다면 최적의 성장을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

## References

- Cho, D.H., Ryu, K.O., Kim, I.S., Lee, J.H. and Park, J.I. 2013. Comparison of growth performance and stem straightness among 23 provenances of *Quercus rubra* Linne. Korean Journal of Breeding Science 45(4): 369-376.
- Chung, I.K. 1981. Analysis on the relation between the morphological physical and chemical properties of forest soils and the growth of the *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc and *Larix leptolepis* Gord by quantification. Journal of Korean Forest Society 53(1): 1-26. (in Korean with English abstract).
- Chung, Y.G., Hong, B.W. and Kim, J.M. 1980. Relation between chemical properties of soil and tree growth. Journal of Korean Forest Society 46(1): 10-20. (in Korean with English abstract).
- Crow, T.R. 1988. Reproductive mode and mechanisms for self-replacement of northern *Q. rubra* (*Quercus rubra*) – a review. Forest Science 34(1): 19-40.
- Dobrylovská, D. 2001. Litter decomposition of red oak, larch and lime tree and its effect on selected soil characteristics. Journal of Forest Science 47(11): 477-485.
- Dyderski, M.K., Chmura, D., Dyderski, L., Horodecki, P., Jagodziński, A.M., Pietras, M., Robakowski, P. and Wozniwoda, B. 2020. Biological Flora of the British Isles: *Quercus rubra*. Journal of Ecology 108(3): 1199-1225.
- GARES. 2008. Methods of soil and compost analysis. Gyeonggido Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong, Korea.
- Godfrey, R.K. 1988. Trees, shrubs, and woody vines of northern Florida and adjacent Georgia and Alabama. The University of Georgia Press. Athens, GA, U.S.A., pp. 734.
- Han, Y.C., Lee, G.Y., Ryu, K.O. and Park, M.S. 1986. Adaptation trial of *Quercus rubra* L. in Korea. The Research Reports of the Forest Genetics Korea 23: 7-9.
- Haston, L., Davis, F.W. and Michaelsen, J. 1988. Climate response functions for bigcone spruce: A Mediterranean climate conifer. Physical Geography 9(1): 81-97.
- Horodecki, P. and Jagodziński, A.M. 2017. Tree species effects on litter decomposition in pure stands on afforested post-mining sites. Forest Ecology and Management 406: 1-11.
- Huang, J., Tardif, J.C., Bergeron, Y., Dennerler, B., Berninger, F. and Giraedins, M.P. 2010. Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the Estern Canadian boreal forest. Global Change Biology 16(2): 711-731.
- Jeong, J.H., Koo, K.S., Lee, C.H. and Kim, C.S. 2002. Physico-chemical properties of Korean forest soils by regions. Journal of Korean Forest Society 91(6): 694-700.
- Jin, H.O., Yi, M.J., Shin, Y.O., Kim, J.J. and Jeon, S.K. 1994. Forest Soil. Hyangmunsa, Seoul, Korea, pp. 325 (in Korean).
- Jones Jr, J.B. 1999. Soil and Plant Analysis Laboratory Registry. 2nd Ed. Soil and Plant Analysis Council. CRC Press LLC. Florida, U.S.A., pp. 209.
- Kim, S., An, J.H., Lim, Y.K., Pee, J.H., Kim, G.S., Lee, H.Y., Cho, Y.C., Bae, K.H. and Lee, C.S. 2013. Ecological changes of the *Larix kaempferi* plantations and the restoration effects confirmed from the results. Korean Journal of Ecology and Environmant 46(2): 241-250.
- Kim, K.W., Lee, K.M., Kwon, S.H., Park, J.M., Kim, Y.G., Kang, H.I., Yum, D.B. and Kang, K.S. 2021. Performance and genetic diversity of 23 provenances of northern red oak (*Quercus rubra* L.) after 25 years of growth in South Korea. Journal of Forestry Research 32(4): 2181-2188.
- Kiselev, M.A. 1950. Issledovanie rosta duba krasnogo v uslovijah Orlovskoi oblasti [A study of the growth of red oak in Orlov Province]. Lesnoe Khozyaistvo 3(8): 75-88.
- Kolb, T.E., Steiner, K.C., McCormick, L.H. and Bowersox,

- T.W. 1990. Growth response of northern red-oak and yellow-poplar seedlings to light, soil moisture and nutrients in relation to ecological strategy. *Forest Ecology and Management* 38(1): 65-78.
- Lee, A.L. and Koo, N. 2020. Comparison of soil physicochemical properties according to the sensitivity of forest soil to acidification in the republic of Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 109(2): 157-168.
- Major, K.C., Nosko, P., Kuehne, C., Campbell, D. and Bauhus, J. 2013. Regeneration dynamics of non-native northern red oak (*Quercus rubra* L.) populations as influenced by environmental factors: A case study in managed hardwood forests of southwestern Germany. *Forest Ecology and Management* 291: 144-153.
- Moon, N.H., Sung, J.H., Lim, J.H., Park, K.E. and Shin, M.Y. 2015. Analysing the relationship between tree-ring growth of *Quercus acutissima* and climatic variables by dendroclimatological method. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 17(2): 93-101.
- Nicolescu, V.N., et al. 2018. Ecology and management of northern red oak (*Quercus rubra* L. syn. *Q. borealis* F. Michx.) in Europe: A review. *Forestry* 93(4): 1-14.
- National Institute of Forest Science. 2015. Development of Silviculture Technology for Species Regeneration in Major Artificial Forest. National Institute of Forest Science, pp. 119. (in Korean).
- National Institute of Forest Science. 2018. Growth performance of exotic trees in Korea II. National Institute of Forest Science, pp. 53. (in Korean).
- Noh, N.J. and Cho, M.S. 2020. Early growth performance of *Zelkova serrata* trees according to seedling age and planting density. *Journal of Korean Forest Society* 109(4): 390-399. (in Korean with English abstract).
- Park, J.H., Oh, K.I., An, K.W. and Kim, C. 2004. Growth characteristics of *Quercus acutissima* seedlings planted in various levels of strip clear-cutting of *Pinus rigida* plantations. *Journal of Korean Forest Society* 93(5): 360-371. (in Korean with English abstract).
- Pinto, J.R., Marshall, J.D., Dumroese, R.K., Davis, A.S. and Cobos, D.R. 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stock type and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management* 261(11): 1876-1884.
- Rural Development Administration. 2000. Soil and Plant Analysis. National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, pp. 202.
- Ryu, K.O., Song, J.H. and Kim, I.S. 2004. Comparison of growth performance and stem straightness among 8 provenances of *Quercus rubra* Linne. *Korean Journal of Breeding Science* 36(5): 309-315.
- Sander, I.L. 1990. *Quercus rubra* L. northern red oak. pp. 727-733. In: Rusell BM, Honkala BH (Ed.) *Silvics of North America*. Volume 2. Hardwoods. Agric. Handbook 654. Washington DC, U.S.A.
- Shin, M.Y., Chung, S.Y. and Lee, D.K. 2001. Estimation of microclimate by site types in natural deciduous forest and relation between periodic annual increment of diameter and the microclimatic estimates -A case study on the national forest in Pyungchung, Kangwon province-. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3(1): 44-54. (in Korean with English abstract).
- Son, Y.M. and Chung, Y.G. 1994. The effects of the topographical, soil and meteorological factors on the tree height growth in the *Pinus thunbergii* stands. *Journal of Korean Forest Society* 83(3): 380-390. (in Korean with English abstract).
- Straigytė, L. and Žalkauskas, R. 2012. Effect of climate variability on *Quercus rubra* phenotype and spread in Lithuanian forests. *Dendrobiology* 67: 79-85.
- Timbal, J. and Gelpe, J. 1989. Croissance juvenile du chene rouge sur des sols carbonates a des profondeurs variables. *Annual Forest Science* 46: 694-696.
- Woodward, F.I. and Rochefort, L. 1991. Sensitivity analysis of vegetation diversity to environmental change. *Global Ecology and Biogeography Letters* 1: 7-23.
- Zobel, B.J., Wyk, G.Van. and Stahl, P. 1987. Growing exotic forests. John Wiley & Sons, New Work.

---

Manuscript Received : June 13, 2022

First Revision : August 3, 2022

Second Revision : September 5, 2022

Accepted : September 8, 2022