

ORIGINAL ARTICLE

여름철 낙엽송(*Larix kaempferi*) 접목묘 활착에 영향을 미치는 식재환경 평가

박재현 · 서한나 · 임효인 · 한진규¹⁾ · 이명훈^{2)*}

국립산림과학원 산림생명정보과, ¹⁾국립산림과학원 산림특용자원연구과, ²⁾한국골프과학기술대학교 골프코스매니지먼트과

Evaluation of Planting Environment Factors Affecting the Summer Survival of Grafted *Larix kaempferi* Seedlings

Jae-Hyun Park, Han-Na Seo, Hyo-In Lim, Jin-Gyu Han¹⁾, Myung-Hun Lee^{2)*}

Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

¹⁾Division of Special Forest Resources, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

²⁾Department of Golf Course Management, Korea Golf University of Science & Technology, Hoengseong 25247, Korea

Abstract

This study analyzed the key environmental factors affecting the summer survival rate of *Larix kaempferi* grafted seedlings to inform seed orchard establishment and management. Based on an 80% survival rate, we selected a superior region (Chuncheon, Gangwon Province) and an inferior region (Cheongju, Chungcheongbuk Province) and measured the environmental factors, including air and soil temperature, humidity, and wind speed, from July to September. Simultaneously, we analyzed the physical and chemical properties of the soil in both regions. Statistical analyses, including t-tests, correlation analyses, and mediation analyses, revealed that soil temperature, wind speed, and soil hardness had significant negative effects on the survival rate of *Larix kaempferi* grafted seedlings. Soil temperature was identified as a direct negative factor, while wind speed and soil hardness were indirect negative factors on the survival rate. The Chuncheon site, characterized by relatively lower temperatures, higher humidity, softer soils, and better nutrient conditions, was more conducive to seedling survival. In contrast, the Cheongju site is characterized by hot and dry conditions, leading to harder soil, which hindered seedling establishment. These findings suggest that lowering soil temperature, effectively mitigating strong winds, and improving soil physical properties are crucial strategies for enhancing the summer survival of *Larix kaempferi* grafted seedlings. Furthermore, a comprehensive consideration of various environmental factors will help develop efficient establishment and management approaches for *Larix kaempferi* seed orchards.

Key words : Climate adaptation, Environmental stress, Soil properties, Seed orchard, Seedling survival

1. 서론

산림의 지속적 경영을 위해서는 체계적인 계획 및 효율적 관리로 후대림의 육성이 필요하기에, 품질 높은 채

종원산 종자를 확보하는 것이 중요하다(Kim et al., 2012). 채종원은 전국에 분포하는 우량한 형질의 개체를 선발하여 증식한 수형목으로 조성된 임분으로써, 유전적으로 개량된 조림용 종자의 안정적인 대량 공급을

Received 26 December, 2024; Revised 22 January, 2025;

Accepted 23 January, 2025

*Corresponding author : Myung-Hun Lee, Department of Golf Course Management, Korea Golf University of Science & Technology, Hoengseong 25247, Korea
Phone : +82-33-810-1080
E-mail : leehun324@kg.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

목적으로 한다(Oh et al., 2007). 안정적인 종자를 대량 생산하기 위해서는 일반적으로 접목묘를 이용한 채종원을 조성하며, 입지는 크게 두 가지로 목표포 선정한다. 첫째, 외부 자연집단에서 유입되는 화분으로 채종원 내 화분오염되는 것을 방지해야 한다. 화분오염은 부정적인 영향을 미쳐서 종자 개량효과를 감소시키기 때문에 채종원 관리에 심각한 문제로 지적된다(Kim et al., 2012). 둘째, 대상 수종에 적절한 생육환경을 찾는다. 수종에 적합한 환경요인을 구명하기 위해서는 그 수종이 자생하는 곳의 여러 가지 환경 인자를 수집함으로써 그 수종이 생육하는데 무리가 없는지 자생지 환경요인들에 대한 정보를 얻고, 정보에 부합되는 지역을 찾아야 한다(Shin, 2006). 하지만, 최근 기후변화로 인한 온도, 강수량, CO² 및 오존 증가 등 변화가 잦아져서 앞으로 채종원 입지 선정에 어려움이 예상된다(Jankar et al., 2020).

낙엽송(*Larix kaempferi*)은 1960년대부터 우리나라 주요 조림 수종 중의 하나로 현재는 소나무, 잣나무 등과 함께 온대 중·북부 지역에서 용재수 생산을 위한 대표 조림수종으로 선정되어 있다(Lee et al., 2004; NIFoS 2012; Yang et al., 2017). 국내 낙엽송 생육 및 환경요인에 관한 연구는 산림 토양의 이화학적 성질과 낙엽송 임분의 지위지수와의 관계 분석 연구(Park et al., 2008), 시비처리 방법에 따른 낙엽송 용기묘 생장 및 생리 연구(Cho et al., 2012), 낙엽송 인공림의 지역 및 임령에 따른 토양 특성 분석 연구(Yang et al., 2013), 낙엽송 벌채지 내 식재된 낙엽송 조림묘의 초기 생장 특성 연구(Yang et al., 2017), 지황 및 토양 인자가 낙엽송 벌채지 내 낙엽송 조림묘의 초기 생장에 미치는 영향 연구(Yang et al., 2018), 실외 실험적 온난화 및 강수 처리에 따른 소나무와 낙엽송 접목묘의 초기 생장 특성 연구를 하였다(Kwon et al., 2020). 대부분 생산 용기묘 및 임분 내 조림묘를 대상으로 연구이며, 우량목 생산 및 채종원 재료로 사용되는 접목묘에 대한 생육 및 식재환경 연구가 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 낙엽송 시험림 내 우량목 생산에 유리한 접목묘를 대상으로 여름철 낙엽송의 활착에 영향을 미치는 주요 요인을 탐색하여 여름철 접목묘 생산에 유리한 환경을 제안하고자 연구를 수행하였다.

2. 방법 및 분석

2.1. 대상지 선정

당해 봄 철에 식재한 낙엽송 접목묘 시험림 두 곳에서 활착률 80%를 기준으로 우수한 지역과 저조한 지역으로 선정하여 각각 표본 60지점씩 조사하였다. 우수한 지역으로 강원도 춘천시 서면 덕두원리에 위치한 낙엽송 시험림(37°23'N, 127°38'E)으로 해발고 300~640 m, 경사 5~30°, 연평균기온 10.7°C, 강수량 1,420 mm으로 최고기온 29.3°C(7~8월), 최저기온 -8.0°C(12~2월)이다. 저조한 지역으로 충청북도 청주시 청원구 오창읍 원리에 위치한 낙엽송 시험림(36°45'N, 127°27'E)으로 100~300 m, 경사 5~40°, 연평균기온 12.5°C, 강수량 1,387 mm으로 최고기온 36.8°C(7~8월), 최저기온 -2.3°C(12~2월)이다.

2.2. 데이터 수집

환경데이터는 HOBO(H21-USB, Onset, USA)를 지면으로부터 1.5 m에 설치하였다. 데이터 수집기간은 초기 식재 후 고온 및 집중호우 피해가 예상되는 여름철로써 7월부터 9월까지의 대기온도, 대기습도, 토양 온도, 토양습도를 수집하였다. 식재환경은 지역별 활착 유무에 따라 60지점씩 풍속, 유효토심, 경도를 현장에서 조사하였다. 또한, 토양 이화학성적특성은 각각 10 지점의 시료를 채취하여 토양의 물리적 및 화학적 특성을 분석하기 위해 다양한 항목에 대한 실험을 수행하였다. 주요 분석 항목으로는 수소이온농도(pH), 유기물 함량, 유효인산, 총질소, 양이온 치환용량(CEC), 전기전도도(EC), 그리고 가밀도가 포함되었다. 먼저, 토양의 pH와 전기전도도는 1:5 H₂O법을 이용하여 측정하였다. 이를 위해 풍건토양 5 g에 증류수 25 ml를 첨가한 뒤 180 rpm에서 30분간 교반하였고, 교반 후 1시간 동안 방치한 시료를 pH meter(iSTEK, CP-500L, Korea)를 사용하여 측정하였다. 유기물 함량은 Walkley-Black법으로 분석하였으며, 풍건토양에 1N K₂Cr₂O₇과 H₂SO₄를 첨가해 산화시킨 후, 잔여 K₂Cr₂O₇의 양을 FeSO₄로 적정하여 계산하였다. 유효인산은 Bray No.1 추출법을 사용하여 분석하였는데, 풍건토양 2.5 g에 Bray 용액(0.03 N NH₄F + 0.025 N HCl) 25 ml를 혼합하여 교반한 뒤, UV-VIS 분광광도계(Thermo Scientific, GENESYS 50, USA)를 이용해 660 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총질소는 Kjeldahl법으로 분석하였다. 풍건토양 시료를 황산

Table 1. Comparative analysis of the location environment and soil characteristics of the study area

Article	Area		<i>P</i> ²	
	Chuncheon	Cheongju		
Atmosphere environment	Atmosphere temperature (°C)	22.61b	26.32a	***
	Atmospheric humidity (%)	61.21a	44.41b	***
	Wind (m/s)	0.76b	1.43a	***
Soil characteristics	Soil temperature (°C)	21.05b	29.14a	***
	Soil humidity (%)	0.33a	0.22b	***
	Depth (cm)	68.14a	66.53a	NS
	Hardness (kg/cm ²)	1.11b	3.24a	***
	pH (1:5)	4.81a	5.01a	NS
	Organic matter (g/kg)	48.43a	7.52b	**
	Available-P (mg/kg)	8.73a	4.00b	***
	Total-N (%)	0.22a	0.03b	**
	CEC (coml+/kg)	21.85a	16.28b	**
	EC (dS/m)	0.33a	0.11b	***
	Bulk density (g/cm ³)	0.93b	1.52a	**

P: *: *p* < 0.05, **: *p* < 0.01, ***: *p* < 0.001 and NS (non-significance)= *p* > 0.05

²: Levene's test is significant (*p* < 0.05), suggesting a violation of the equal variance assumption

(H₂SO₄)과 촉매를 이용해 분해한 뒤 생성된 암모니아를 증류하여 자동 Kjeldahl 분석기(FOSS, Kjeltac 8400, Denmark)로 총질소 함량을 측정하였다. 양이온 치환용량은 1 N NH₄OAc(pH 7.0) 용액을 사용한 침출법으로 분석하였으며, 침출된 NH₄⁺ 이온 농도는 원자흡광광도계(Shimadzu, AA-7000, Japan)를 이용해 측정하였다. 마지막으로, 가밀도는 건조된 토양 시료의 중량을 코어 샘플러를 이용해 확보한 일정 부피로 나누는 방식으로 계산하였다.

조사 및 분석은 산림청 국립산림과학원에서 발간된 산림입지·토양조사 필드 가이드를 활용하여 진행하였다.

2.3. 통계분석

두 시험림의 식재환경 차이를 분석하기 위해 T-검정을 실시하였으며, 접목묘 활착과 식재환경 인자 간의 관계를 알아보기 위해 상관 분석(Correlation analysis)을 수행하였다. 또한, 매개효과 분석을 통해 주요 식재환경 인자 간의 인과관계를 분석하였다. 모든 분석은 Python (Python Software Foundation, USA)을 사용하여 수행하였으며, 모든 테스트에서 통계적 유의 수준은 *p* < 0.05로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 낙엽송 접목묘 활착에 따른 식재환경 비교분석

활착의 차이에 따른 두 시험림 간 식재환경을 비교한 결과는 다음과 같다(Table 1). 유효 토심과 토양 산도를 제외하고 대부분의 항목에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 청주 시험림이 춘천 시험림보다 대기 및 토양 온도가 1.3배 높았으며, 대기 및 토양 습도는 1.5배 낮았다. 또한, 풍속은 청주 시험림이 춘천 시험림보다 약 2배 정도 높았다. 이러한 결과는 춘천 시험림 식재환경이 접목묘가 기존 수목의 수관에 의해 일정 수준으로 덮여 있는 반면, 청주 시험림은 개별로 인해 광노출이 심해 온도 및 습도 차이에 영향을 미친 것으로 보인다.

선행 연구에 따르면, 광노출이 심하면 대기 및 토양 온도가 높아진다고 하였다(Filipescu and Comeau, 2011). 실외 온난화 및 강수 처리 실험에서 온도 상승과 강수 감소에 의한 최대 건조 조건에서는 낙엽송 묘목의 생존율이 가장 낮게 나타났다(Kwon et al., 2020). 또한 대기 온도보다 토양 온도의 차이가 더 크게 나타났는데, 이는 온난화 및 가뭄 조건에서 낙엽송 묘목의 생리적 반응에 대기 온도보다 토양 온도가 더 큰 영향을

Table 2. Correlation analysis between survival and the location environment and soil characteristics

Article	Survival	
	Directionality	Correlation coefficient (r)
Atmosphere temperature (°C)	Negative	B
Atmospheric humidity (%)	Positive	A
Wind (m/s)	Negative	A
Soil temperature (°C)	Negative	A
Soil Humidity (%)	Positive	A
Depth (cm)	Positive	C
Hardness (kg/cm ²)	Negative	A
pH (1:5)	Positive	C
Organic matter (g/kg)	Positive	B
Available-P (mg/kg)	Positive	A
Total-N (%)	Positive	B
CEC (coml+/kg)	Positive	B
EC (dS/m)	Positive	A
Bulk density (g/cm ³)	Negative	B

A: strong linear relationship ($|r| > 0.7$), B: moderate linear relationship ($0.3 < |r| \leq 0.7$), C: weak or no linear relationship ($|r| \leq 0.3$)

미친다는 연구 결과(Brownmang and Brown, 2018)에 따라 토양 온도가 활착률에 더 큰 영향을 미칠 것으로 보인다.

토양 물리적 특성을 살펴보면 청주 시험림이 춘천보다 토양 경도 및 가밀도가 약 2배로 상당히 높게 나타났다. 이는 토양 내 공극이 부족하여 토양 수분 보유력 및 산소 부족으로 뿌리 발달이 저조할 것으로 사료된다(Haling et al., 2014). 또한, 토양 화학성 특성 분석 결과 춘천 시험림이 청주보다 유기물 함량, 유효인산, 총 질소, CEC 등이 약 1.3 ~ 1.7배 높아 영양 상태가 더 좋은 것으로 나타났다.

3.2. 낙엽송 접목묘 활착과 식재환경 인자 간의 상관 분석

활착과 식재환경 인자 간의 관계를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 2). 대부분의 인자들은 낙엽송 활착률과 양의 상관성을 보였지만, 대기온도, 풍속, 토양 온도, 토양 경도, 가밀도는 음의 상관성을 보여 이들 인자가 증가할수록 활착률이 떨어지는 것으로 확인되었다. 특히 바람, 토양 온도, 토양 경도에서 상관계수가 0.7 이상으로 강한 상관성을 나타냈다. 앞선 분석 결과에서 언급된 바와 같이 토양 온도, 바람, 토양 경도는 두 시험림

의 차이를 나타내는 인자로 확인되었다. 따라서 이 세 가지 식재환경 인자는 여름철 두 시험림에서 낙엽송 접목묘 활착에 부정적인 영향을 미치는 주요 인자로 사료된다. 선행 연구에 따르면, 토양 온도의 고온 상승은 식물의 뿌리 발달에 영향을 주며(Edler et al., 2015), 단단한 토양(토양경도)은 뿌리 성장을 억제할 수 있다고 하였다(Passioura et al., 2002). 또한, 풍속(바람)은 광합성 속도, 증산 속도 및 잎 온도에 직접적인 영향을 미치는데, 강한 바람은 식물 성장에 부정적인 영향을 미친다고 하였다(Bang et al., 2010).

3.3. 낙엽송 접목묘 활착에 영향을 미치는 주요 식재환경 인자 간의 인과분석

여름철 낙엽송 접목묘 활착에 영향을 미치는 주요 인자 간의 인과를 규명하기 위한 매개분석 결과는 다음과 같다(Table 3). 토양 온도가 낙엽송 접목묘의 활착에 직접적인 영향을 미치며, 풍속 및 토양 경도가 간접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 결과적으로 여름철 토양 온도의 상승은 낙엽송 접목묘의 활착에 부정적인 영향을 미치며, 강한 바람 및 단단한 토양은 활착율을 더욱 감소시킬 것으로 사료된다. 여름철 높은 토양 온도와 단단한 토양은 수분스트레스를 증가시키며

Table 3. The mediating effects of wind and hardness on the relationship between soil temperature and survival

	Wind		Hardness	
	Effects	Estimate	Effects	Estimate
Direct	Soil temperature → Survival	-0.062***	Soil temperature → Survival	-0.030***
Indirect	Soil temperature → Wind → Survival	-0.169***	Soil temperature → Hardness → Survival	-0.078***
Total	Soil temperature → Survival	-0.231***	Soil temperature → Survival	-0.108***

Delta method standard errors, normal theory confidence intervals, ML estimator
 P: *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ and NS (non-significance) = $p > 0.05$

(Whitmore et al., 2009), 높은 토양 온도와 뜨거운 바람은 초기 식물 성장 및 개화 발달을 저하한다(Bennell et al., 2007). 이는 결과적으로 초기 활착율이 떨어질 것으로 판단된다. 이에 여름철 토양 온도를 저감시키고 강한 바람을 막으며, 부드러운 토양을 유지시키는 것이 봄철 이식한 낙엽송 접목묘가 여름철 환경을 극복할 수 있는 방안으로 제시될 수 있을 것이다.

4. 결론

낙엽송은 우리나라 주요 조림수종 중 하나로, 최근 용재수 생산을 위한 대표 수종으로 주목받고 있다. 다양한 선행연구를 통해 낙엽송의 성장 특성과 조림 가능성이 입증되었으나, 특히 우량목 생산 및 채종원에 사용되는 접목묘와 관련된 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 여름철 낙엽송 접목묘의 활착률에 영향을 미치는 주요 환경 요인을 분석하였다. 연구 결과, 토양 온도, 풍속, 토양 경도가 활착률에 중요한 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 높은 토양 온도와 과도한 풍속, 그리고 단단한 토양은 접목묘의 활착을 저해하는 주요 요인으로 작용하였다. 이러한 결과는 여름철 낙엽송 접목묘의 생존율을 높이기 위해서는 토양 온도를 조절하고, 바람을 효과적으로 차단하며, 토양의 물리적 특성을 개선하는 관리 방안이 필요함을 시사한다. 향후 다양한 환경 요인에 대한 추가 분석을 통해 낙엽송 채종원의 효과적인 관리와 안정적인 조림 방안을 제시하고자 한다.

REFERENCES

Bang, C., Sabo, J. L., Faeth, S. H., 2010, Reduced wind speed improves plant growth in a desert city, PLOS ONE, 5(6).

Bennell, M., Cleugh, H., Leys, J., Hein, D., 2007, The effect of hot dry wind on the pod set of faba bean (*Vicia faba*) cv. Fiord: A Preliminary wind tunnel study, Anim. Prod. Sci., 47, 1468-1475.
 Brownmang, O., Brown, M., 2018, Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth, Adv. Plants Agric. Res., 8(1).
 Cho, M. S., Lee, S. W., Park, B. B., 2012, Effects of fertilization methods on the growth and physiological characteristics of *Larix kaempferi* seedlings in the container nursery system, J. Bio-Environ. Control, 21(1), 57-65.
 Edler, B., Burger, J., Breitsameter, L., Steinmann, H. H., Isselstein, J., 2015, Growth responses to elevated temperature and reduced soil moisture during early establishment of three annual weeds in four soil types, J. Plant Dis. Prot., 122, 39-48.
 Filipescu, C. N., Comeau, P. G., 2011, Influence of *Populus tremuloides* density on air and soil temperature, Scand. J. For. Res., 26(6), 570-580.
 Haling, R. E., Brown, L. K., Bengough, A. G., Valentine, T. A., White, P. J., Young, I. M., George, T. S., 2014, Root hair length and rhizosheath mass depend on soil porosity, strength and water content in barley genotypes, Planta, 239(3), 643-651.
 Jankar, K., Mane, S., Tatte, R., Kose, P. V., 2020, Plant disease management strategies under changing climate scenario, J. Pharmacogn. Phytochem., 9, 950-954.
 Kim, Y. M., Hong, Y. P., Ahn, J., Park, J. I., 2012, Mating system of *Japanese Red Pines* in seed orchard using DNA markers, Korean J. Plant Resour., 25(1), 63-71.
 Kwon, B., Cho, M. S., Yang, A. R., Chang, H., An, J., Son, Y., 2020, The early growth performances of *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi* seedlings under open-field experimental warming and precipitation manipulation, J. Korean Soc. For. Sci., 109(1), 31-40.

- Lee, D. K., Kang, H. S., Park, Y. D., 2004, Natural restoration of deforested woodlots in South Korea, *For. Ecol. Manage.*, 201(1), 23-32.
- National Institute of Forest Science (NIFoS), 2012, Economical tree species No.4 *Larix kaempferi*, NIFoS, Seoul, Korea, 180 (in Korean).
- Oh, C. Y., Kang, K. S., Choi, W. Y., Han, S. U., Kim, C. S., 2007, Seed orchard management considering the correlation between vegetative and reproductive traits in *Pinus koraiensis*, *Korean J. Breed. Sci.*, 39(4), 419-426.
- Park, N. C., Lee, K. S., Park, M. S., Shin, H. C., Jun, K. S., Jung, S. W., 2008, Relation of the physico-chemical properties of forest soil to site indices of *Larix leptolepis* stands, *J. Korean For. Soc.*, 97(6), 589-596.
- Passioura, J. B., 2002, Soil conditions and plant growth, *Plant Cell Environ.*, 25(2), 311-318.
- Shin, C. S., 2006, Deriving suitable place for forestation by ecological environment analysis of multi-use tree species in Chungbuk province, *Korean J. Plant Resour.*, 19(4), 555-561.
- Whitmore, A. P., Whalley, W. R., 2009, Physical effects of soil drying on roots and crop growth, *J. Exp. Bot.*, 60(10), 2845-2857.
- Yang, A. R., Hwang, J. H., Cho, M. S., Song, S. H., 2013, Soil physical and chemical properties with plantation regions and stand age in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations, *J. Korean For. Soc.*, 102(4), 578-586.
- Yang, A. R., Jeong, J., Cho, M. S., 2017, The early growth characteristics of *Larix kaempferi* trees planted in harvested *Larix kaempferi* plantations, *J. Korean For. Soc.*, 106(1), 10-18.
- Yang, A. R., Jeong, J., Cho, M. S., 2018, Site and soil factors affecting early growth of *Larix kaempferi* trees planted in harvested *Larix kaempferi* plantations, *J. Korean Soc. For. Sci.*, 107(1), 35-42.
-
- Post doctor researcher. Jae-Hyun Park
Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science
jh2344@korea.kr
 - Post doctor researcher. Han-Na Seo
Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science
caragana2@korea.kr
 - Senior research officer. Hyo-In Lim
Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science
iistorm@korea.kr
 - Senior research officer. Jin-Gyu Han
Division of Special Forest Resources, National Institute of Forest Science
dunross@korea.kr
 - Professor. Myung-Hun Lee
Department of Golf Course Management, Korea Golf University of Science & Technology
leehun324@kg.ac.kr