

낙엽송 벌채지 내 식재된 낙엽송 조림목의 초기 성장 특성

양아람 · 정재엽 · 조민석*

국립산림과학원 산림생산기술연구소

The Early Growth Characteristics of *Larix kaempferi* Trees Planted in Harvested *Larix kaempferi* Plantations

A-Ram Yang, Jaeyeb Jeong and Min Seok Cho*

Forest Practice Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

요약 본 연구는 낙엽송림 벌채 후 동일 수종인 낙엽송을 재조림하여 지역별 조림목의 성장을 비교 및 분석함으로써 낙엽송 조림목의 초기 성장 특성을 구명하고자 수행되었다. 조사지는 영주, 김천, 춘천, 인제이고, 낙엽송 노지묘(1-1)를 3000 본 ha⁻¹ 밀도로 식재하였다. 2010년과 2013년에 조림지 토양 특성 분석과 2010년부터 2014년까지 낙엽송 조림목의 근원경과 수고를 측정하여 H/D율과 수간 재적을 계산하였다. 낙엽송 식재 후 3년의 시간이 경과한 다음 pH는 유의하게 증가하였고, 유효인산 농도는 유의하게 감소하였다. 낙엽송 조림목이 5~7년생일 때 근원경, 수고 및 수간 재적 모두 매년 춘천 조사지에서 유의하게 가장 높았으며, 영주 조사지에서 가장 낮았다. 이는 영주 조사지 내 토양 전질소, 유효인산, 유기물 농도가 다른 조사지보다 상대적으로 낮았기 때문으로 판단된다. 본 연구 결과로 낙엽송 조림지 내 토양 특성과 조림목의 성장과의 상관관계를 확인할 수 있었으며, 낙엽송 재조림을 위한 토양 양분 수준을 제시할 수 있을 것이다.

Abstract: This study was carried out to suitable plantation site from comparison and analysis of regional early growth characteristics of planted *Larix kaempferi* trees in harvested *L. kaempferi* plantations. Two-year-old bare-root seedlings of *L. kaempferi* were planted with the density of 3000 seedlings ha⁻¹ at four sites (Yeongju, Gimcheon, Chuncheon, and Inje). All sites were established with three plots (400 m² per plot) in 2010. We analyzed soil physical and chemical properties in October 2010 and 2013. We measured root collar diameter (RCD) and height of trees in October from 2010 to 2014, and then calculated H/D ratio and stem volume. Soil pH was significantly increased and available P was significantly decreased 3 years after planting. Annual mean RCD, height, and stem volume of 5- to 7-year-old in the Chuncheon site were significantly higher than those in the other sites, however them in the Yeongju site were the lowest. It is related to the fact that total nitrogen, available phosphorus, and organic matter concentrations in the Yeongju site were relatively lower than those in the other sites. As a results of this study, we could confirm the correlation between soil properties of *L. kaempferi* plantations and growth of *L. kaempferi* trees. We could suggest values of soil properties for reforestation of *L. kaempferi*.

Key words: growth characteristic, Japanese larch, reforestation, seedling, soil properties

서론

낙엽송 [*Larix kaempferi* (Lambert) Carrière]은 1960년대부터 우리나라 주요 조림 수종 중의 하나로 현재는 소나무, 잣나무 등과 함께 온대 중북부 지역에서 용재수 생산을 위한 대표 조림 수종으로 선정되어 있다(Lee, 1986; Lee et al., 2004; NIFoS 2012a). 최근 낙엽송은 목재 생산을 위한 조림 면적 확대, 경제림 육성과 목재 수요 증가에

따른 목목 생산 확대, 소나무 재선충병 피해지 내 복구수종 등의 이유로 관심과 집중을 받고 있다(KFS, 2017).

지금까지 잎갈나무속(*Larix*) 수종에 관한 국내 연구는 유령림(II영급) 이상을 대상으로 한 성장(Chung, 1981; Park et al., 2008), 생태(Keum et al., 2010; Kim et al., 2013), 토양 특성(Ryu et al., 2000; Lee and Son, 2004; Hwang and Son, 2006)이 대부분이며, 식재 후 10년생 미만 조림목의 성장 특성에 관한 연구 결과는 매우 적다. 그러나 최근 벌기령에 도달한 낙엽송림 면적은 증가하고 있는 실정이며, 이들을 벌채 후 낙엽송으로 다시 재조림하는 면적이 계속 증가할 것으로 예상되기 때문에 10년

* Corresponding author
E-mail: mscho1143@korea.kr

생 미만 조림목을 대상으로 생장 특성과 입지 환경과의 관련성에 대한 연구가 필요한 시점이다.

한편 지금까지 토양 특성의 변화와 관련된 연구는 토지 이용 변화(Saikh et al., 1998; Maquere et al., 2008; Risch et al., 2008)와 인간의 간섭(Chen and Li, 2003)과 관련된 것이 주를 이루어 왔다. 또한 식생이 토양 성질에 미치는 영향에 대한 연구는 주로 식생 조성 후 일정 시간이 경과한 다음 토양 성질을 분석하는 연구가 대부분을 차지하고 있으며(Fyles and Côté, 1994; Singh et al., 2000), 식생이 단기간에 토양 성질에 미치는 영향에 관한 연구는 많지 않다. 특히 국내에서 토양 특성이 임목 생장 및 지위지수에 미치는 영향에 대한 연구는 일부 수행되었지만(Park et al., 2008), 토양 특성이 벌채 후 조림목의 활착과 생장에 미치는 영향에 관한 연구는 매우 미흡하다. 그리고 지금까지는 한 번의 윤벌기 동안 식재 수종에 의해 토양 특성이 변화되는 것으로 보고되었으나(Fyles and Côté, 1994), 이것이 수종 혹은 입지 환경과 같은 다른 인자들에 의한 것인지에 대해서는 명확하게 밝혀지지 않고 있다.

조림목의 생장과 조림지의 토양 특성과의 연관성은 산림생태계 내에서 양분 순환뿐만 아니라 토양 특성을 고려한 조림으로 경제성 있는 임분을 조성하는 데 있어 매우 중요하다. 이는 벌채 혹은 갱신되기 전 임분의 토양 특성에 맞는 조림 수종을 미리 선정하고 관리하는 계획을 수립하는 것이 필요하기 때문이다(Chung et al., 1980; Chung,

1981; Jin et al., 1994; Kim et al., 2013; NIFoS, 2015).

조림목의 생장을 판단할 수 있는 지표에는 근원경, 수고, H/D율 등이 있다(Curtis, 1955; Blair and Cech, 1974). 근원경은 뿌리 생장의 잠재적 지표로 사용할 수 있고(Mullin and Christl, 1982), 수고는 조림목의 광합성 및 호흡량을 예측하는데 활용될 수 있으며(Pawsey, 1972), H/D율은 조림목의 건전도를 평가하는데 적용될 수 있다(Hermann, 1964). 이러한 지표들을 이용하여 분석된 조림목의 생장 특성은 조림 후 성공 여부를 판단할 수 있는 기초 자료가 된다.

본 연구는 낙엽송림 벌채 후 동일 수종인 낙엽송을 재조림하여 지역별 조림목의 생장을 비교 및 분석함으로써 낙엽송 조림목의 초기 생장을 구명하고자 수행되었다. 이를 위해 1) 낙엽송 조림지의 토양 특성을 조사하여 조사지별 차이와 시간 경과에 따른 토양 특성 변화를 파악하고, 2) 조사지별 낙엽송 조림목의 근원경과 수고 생장을 측정하여 조림목의 생장 변화를 비교 및 분석하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지 및 조림목 식재

연구 대상지는 낙엽송을 벌채하고 낙엽송을 다시 조림한 식재지로서 강원도(인제, 춘천)와 경상북도(영주, 김천)에 위치한 국유림이며, 임분 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Site characteristics of *Larix kaempferi* plantations.

Region		Yeongju	Gimcheon	Chuncheon	Inje
Elevation (m)		295-320	712-872	420-438	685-705
Slope (°)		18-33	25-28	21-25	19-24
Aspect		S, W	S, NW	N, SE	NE, SE
Available soil depth (cm)		40	≥60	≥60	50
Average air temperature in January (°C)	2010*	-3.9	-2.8	-7.3	-6.4
	2013	-4.2	-3.2	-6.4	-6.8
Average air temperature in August (°C)	2010	26.7	27.5	25.8	25.2
	2013	25.5	26.1	26.4	25.5
Annual precipitation (mm)	2010	1,236	1,491	1,662	1,170
	2013	1,181	1,086	1,734	1,349
Location		36°57'19.9"N, 128°38'15.76"E	35°50'43.16"N, 128°03'05.39"E	37°58'23.81"N, 127°50'25.31"E	37°58'31.49"N, 128°15'38.51"E
Before harvesting	DBH (cm)	16	21	18	15
	Height (m)	18	32	28	22
Age class before harvesting		IV	VIII	VIII	IV
Site index**		18	16	18	16
Harvesting year		2007	2008	2009	2009
Planting year		2008	2009	2010	2010

* 2010 and 2013 were collection period of the soil sampling.

** Site index was calculated by height of trees before harvesting.

영주 조사지는 2008년 3월 말 3 ha, 김천 조사지는 2009년 3월 말 3.5 ha, 인제, 춘천 조사지는 2010년 3월 말 각각 4.5 ha, 9.0 ha에 낙엽송 노지묘(1-1)를 3,000본 ha⁻¹의 식재 밀도로 식재하였으며, 각 조사지에서 20 m×20 m 조사구를 3개씩 설치하였다.

2. 토양 특성

토양 시료는 2010년과 2013년 10월에 직경 5.5 cm 토양 시료 채취기를 이용하여 토심 20 cm까지 채취하였으며, 조사구 당 임의의 5 지점에서 실시하였다(n=15). 채취한 토양 시료는 48시간 이상 충분히 음건한 다음 2 mm체(US standard No. 10)로 쳐서 토양의 물리 및 화학적 특성 분석에 이용하였다.

토성은 2 mm 이하의 토양을 5% sodium hexametaphosphate 용액으로 분산시킨 다음 hydrometer로 측정하였고(Hydrometer법), 토양 산도(pH)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 희석하여 교반한 다음 pH meter(Orion Star A211, Thermo, USA)를 이용하여 측정하였다. 전질소 농도는 Kjeldahl 증류법, 유기물 농도는 Tyurin법, 유효인산 농도는 Lancaster법으로 측정하였다. 치환성 양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) 농도는 Brown No.1법을 이용하여 일정량의 토양을 1N 초산암모늄으로 추출하고 추출액은 이온분석기(ICP-OES, Optima 8300, PerkinElmer, Singapore)를 이용하여 측정하였다(Jones Jr., 1999; RDA, 2000).

3. 생장 특성

낙엽송 조림목의 생장 특성을 조사하기 위하여 각 조사구 내에서 30분씩 총 90분의 조림목을 임의로 선정한 후 2010년부터 2014년까지 매년 9월 말에 디지털 캘리퍼스와 절척을 이용하여 근원경(Root collar diameter, RCD, mm)과 수고(Height, Ht, cm)를 측정하였다. 그리고 측정된 값을 이용하여 H/D율(Ht/RCD)과 수간 재적을 계산하였다. 수간 재적은 아래 식 1로 계산하였다(Pinto et al., 2011).

$$\text{수간 재적(cm}^3\text{)} = \frac{\pi RCD^2 Ht}{6} \quad (1)$$

한편 조림목의 근원경과 수고 생장은 조사지별로 조림 시기가 다르기 때문에 동일한 수령(5~7년생)의 생장 절대값으로 비교 및 분석하였다.

4. 통계 분석

낙엽송 조림지 내 토양 특성의 지역별 차이를 검정하기 위하여 일반선형모형을 사용하였고, 벌채 후 시간 경과에 따른 차이를 검정하기 위해 t-test를 실시하였다. 또한 동일한 수령인 낙엽송 조림목의 근원경과 수고 생장, H/D

율, 수간 재적 등의 지역별 차이는 일반선형모형을 사용하여 검정하였다. 각 자료의 유의성 분석은 Duncan의 다중검정법으로 비교하였고(P<0.05), Bartlett의 검정법으로 분산분석 전 분산의 균일성(P<0.05)을 조사하여(Milliken and Johnson, 2001) 필요한 경우 자연 로그로 변환하여 비균질 분산을 해결하였다. 모든 통계 분석에는 SAS(ver. 9.2) 프로그램을 사용하였다(SAS Institute Inc., 2009).

결과 및 고찰

1. 토양 특성

1) 토성

2010년 토양 내 모래는 63.8~77.8%, 미사는 17.5~28.7%, 점토는 4.7~10.5%로 나타났다(Table 2). 그러나 3년의 시간이 경과한 후 토양 내 모래는 46.4~64.5%, 미사는 21.6~44.6%, 점토는 7.0~13.9%로 조사되었다. 우리나라 산림 토양의 토성은 양토이며, 비율은 모래 37%, 미사 45%, 점토 18%(Jeong et al., 2002)이며, 일반적으로 토양의 물리적 성질은 화학적 성질에 비하여 쉽게 변화하지 않는 것으로 알려져 있다(Jin et al., 1994). 그러나 본 연구에서는 벌채 후 시간 경과에 따라 김천 조사지 토양 내 모래 비율이 감소하였고, 김천, 인제, 원주 조사지 토양 내 미사 비율이 증가하였으며, 원주 조사지 토양 내 점토 비율이 감소하여 시간 경과에 따라 차이를 보였다. 벌채 후 시간 경과에 따라 토양 입자별 구성 비율이 달라진 것은 벌채 및 조림으로 인한 토양 교란 및 함수율 등과 관련이 있는 것으로 판단된다(Burke et al., 1988; Vesterdal et al., 1995).

2) 토양 산도(pH)

2010년 평균 pH는 4.58~5.31의 범위를 보였으며, 영주와 김천 조사지에서 가장 낮은 pH를 보였다(Table 2). 또한 3년의 시간 경과에 따라 pH는 4.96~5.63의 범위로 식재 당시보다 0.40 정도 증가하였으며, 2013년에는 김천 조사지를 제외한 모든 조사지에서 5.20 이상으로 나타났다. 시간 경과에 따른 pH는 춘천과 인제 조사지에서만 유의성을 보였다. Giardina and Rhoades (2001)는 logdgepole pine (*Pinus contorta*) 임분에서 벌채 전과 후의 pH는 비슷한 수준을 유지하였고, Park et al.(2004)은 리기다소나무림의 벌채 1년 후 pH는 변화가 없었으며, Ko et al.(2012)도 낙엽송 간벌 후 1년이 경과한 다음 pH는 변화가 없는 것으로 보고한 바 있다. 춘천과 인제 조사지를 제외한 나머지 조사지에서 시간 경과에 따라 pH 변화가 없는 것은 이들 결과와 유사한 것이다. 한편 춘천

Table 2. Soil properties at 0-20 cm depth in *Larix kaempferi* plantations.

Year	Region	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	pH	Total nitrogen (%)	Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	Organic matter (%)	C.E.C. (cmolc kg ⁻¹)	Exchangeable cations (cmolc kg ⁻¹)			
											Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
2010	Yeongju	66.5b (3.0)	23.0a (2.5)	10.5ab (1.3)	Sandy loam	4.58b (0.07)	0.12d (0.01)	4.05c (0.59)	3.36d (0.22)	15.86d (0.91)	1.32c (0.14)	0.57b (0.05)	0.18bc (0.01)	0.02c (0.00)
	Gimcheon	77.8a* (7.5)	17.5a (7.9)	4.7c (1.3)	Loamy sand	4.58b (0.09)	0.53a (0.02)	32.09a*** (6.38)	15.87a (0.78)	39.15a (0.65)	1.01c (0.13)	0.26c (0.04)	0.13c (0.01)	0.04bc (0.01)
	Chuncheon	63.8b (1.4)	28.7a (2.2)	7.4bc (1.1)	Sandy loam	5.04a** (0.10)	0.38b (0.03)	10.93b*** (0.81)	10.51b (0.64)	33.41b (1.51)	5.56a (0.62)	0.79a (0.10)	0.22ab (0.02)	0.06a (0.01)
	Inje	64.7b (3.5)	24.8a (3.6)	10.5ab (1.5)	Sandy loam	5.31a** (0.08)	0.24c (0.02)	6.91c** (1.10)	7.28c (0.51)	20.83c (0.98)	2.77b (0.34)	0.50b (0.05)	0.26a (0.03)	0.05ab (0.01)
2013	Yeongju	64.5a (2.6)	21.6c (1.5)	13.9ab (1.2)	Sandy loam	5.24c (0.04)	0.11d (0.01)	6.26a (0.29)	3.94d (0.30)	16.65d (0.73)	1.68c (0.20)	0.63a (0.09)	0.21c (0.01)	0.15a (0.00)
	Gimcheon	46.4c (2.3)	44.6a** (2.0)	9.1de (0.5)	Loam	4.96d (0.03)	0.46a (0.03)	6.39a (0.38)	14.14a (0.61)	37.92a (1.99)	0.82d (0.08)	0.21b (0.02)	0.14c (0.01)	0.15a (0.00)
	Chuncheon	50.2bc (2.1)	42.8a (1.9)	7.0e (0.6)	Loam	5.51b (0.02)	0.34b (0.03)	5.84a (0.43)	10.20b (0.53)	31.69b (1.91)	4.47a (0.43)	0.69a (0.08)	0.30a (0.01)	0.11b (0.00)
	Inje	53.5bc (2.2)	35.7b* (1.8)	10.8cd (0.5)	Sandy loam	5.63a (0.03)	0.18c (0.01)	5.74a (0.25)	6.34c (0.43)	20.83c (0.75)	2.58b (0.14)	0.48b (0.03)	0.24b (0.01)	0.11b (0.00)

The values in parentheses are standard errors of mean. Small letters indicate significant differences among regions in the same year ($P<0.05$). Asterisks show significant differences between 2010 and 2013 within the same region (* $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$).

과 인제 조사지에서 pH가 증가한 것은 낙엽송 벌채 후 하층식생에 의한 양이온 감소로 토양 pH가 증가한 것으로 보인다(Hwang and Son, 2006; Binkley and Fisher 2013).

3) 전질소

2010년 평균 전질소 농도(%)는 0.12~0.53의 범위를 보였으며, 영주 조사지에서 0.12로 유의하게 가장 낮고 김천 조사지에서 0.53으로 유의하게 가장 높았다(Table 2). 또한 3년의 시간 경과에 따라 평균 전질소 농도(%)는 0.11~0.46의 범위로 식재 당시보다 감소하였지만 통계적으로는 벌채 전과 후에 차이가 없었다. Chen and Xu (2005)는 slash pine (*Pinus elliotti*) 벌채 후 동일 수종을 재조림하고 6년 시간 경과에 따라 전질소 농도는 벌채에 의한 임상 위 잔존물에 의한 분해로 증가한다고 보고하였다. 그러나 Pennock and van Kessel (1997)은 혼효림 벌채 후 5년 시간 경과에 따라 전질소 농도는 강우 유입에 의한 침출로 감소하였다고 보고하였으며, Hwang and Son (2006)은 낙엽송림 간벌 후 1년 시간 경과에 따라 전질소 농도는 변화가 없었다고 보고한 바 있다.

4) 유효인산

2010년 평균 유효인산 농도(mg kg⁻¹)는 4.05~32.09의 범위 내에서 나타났으며, 영주 조사지에서 유의하게 4.05로 가장 낮고, 김천 조사지에서 32.09로 가장 높았다(Table

2). 또한 3년의 시간 경과에 따라 평균 유효인산 농도(mg kg⁻¹)는 5.74~6.39의 범위로 조사되었고, 김천, 춘천, 인제 조사지의 유효인산 농도는 약 0.8~5배 수준이 유의하게 감소하였다. Pennock and van Kessel (1997)은 혼효림 벌채 후 5년 시간 경과에 따라 유효인산 농도는 변화가 없었다고 보고하였고, Hwang and Son (2006)은 낙엽송림 간벌 후 1년 시간 경과에 따라 유효인산 농도는 증가하였다고 보고한 바 있다. 영주 조사지를 제외한 모든 조사지에서 유효인산 농도가 감소한 것은 식재된 조림목에 흡수된 것과 관련이 있을 것이다. 그러나 김천 조사지와 같이 벌채 후 시간 경과에 따른 유효인산 농도 감소의 폭이 컸던 이유에 대해서는 용탈이나 침전과 같은 원인을 추정할 수 있다. 한편 pH와 유효인산 농도는 비례관계를 가지고 있는 것으로 알려져 있는데(Jin et al., 1994; Binkley and Fisher, 2013), 본 연구에서는 pH가 증가하였지만 유효인산 농도는 감소하는 반대의 경향을 보였다. 이는 벌채 후에 지면에 도달하는 물의 양이 증가하고 임목은 감소하여 토양 내 유효인산이 흡수되는 대신 용탈됨에 따라 유효인산 농도가 낮아진 것과 관련이 있는 것으로 판단된다(Stark, 1979).

5) 유기물

2010년 평균 유기물 농도(%)는 3.36~15.87의 범위 내에서 나타났으며, 영주 조사지에서 3.36으로 유의하게 가장 낮고, 김천 조사지에서 15.87로 가장 높았다(Table 2).

또한 3년의 시간 경과에 따라 평균 유기물 농도(%)는 3.94~14.14의 범위로 식재 당시와 비슷한 수준을 유지하였다. 조림지에서는 벌채에 의해 발생한 잔존물들과 낙엽과 낙지 및 세균의 고사율이 증가함에 따라 유기물 농도가 증가하는 것으로 알려져 있다(Hwang and Son, 2006; Nilsen and Strand, 2008; Kim et al., 2009; Tian et al., 2010). 그러나 본 연구 결과 모든 조사지에서 벌채 후 시간 경과에 따른 유기물 농도 변화는 없었다. Masyagina et al.(2006)은 낙엽송림 간벌 후 1년 시간 경과에 따라 유기물 농도는 변화가 없었다고 보고하였다. 이와 달리 Pennock and van Kessel(1997)은 혼효림에서 벌채 후 5년이 경과한 시점에 토양 유기물 농도가 증가하였다고 보고하였으며, Chen and Xu(2005)도 slash pine (*Pinus elliotti*) 조림지에서 벌채 후 6년의 시간 경과에 따라 유기물 농도가 증가하였다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 벌채 당시 잔존물이 제거되어 유기물 농도에 영향을 주었을 것으로 추정된다.

6) 양이온치환능력(C.E.C.)

2010년 평균 양이온치환용량(cmolc kg⁻¹)은 15.86~39.15의 범위 내에서 나타났으며, 영주 조사지에서 15.86으로 가장 낮고, 김천 조사지에서 39.15로 가장 높았다(Table 2). 또한 3년의 시간 경과에 따라 평균 양이온치환용량(cmolc kg⁻¹)은 16.65~37.92의 범위로 식재 당시와 유사한 수준을 유지하였다. Chen and Xu(2005)는 slash pine (*Pinus elliotti*) 조림지에서 벌채 후 6년의 시간 경과에 따라 양이온치환용량은 강우 유입에 의한 침출로 감소하였다고 보고한 바 있다. 한편 토양 내 유기물 농도가 높을수록 양이온치환용량도 높은 것으로 알려져 있는데(Jin et al., 1994), 본 연구 결과에서도 유기물 농도가 가장 높은 김천 조사지에서 양이온치환용량이 가장 높은 것으로 나타났다.

7) 치환성양이온

2010년 평균 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺ 농도(cmolc kg⁻¹)는 각각 1.01~5.56과 0.26~0.79의 범위 내에서 나타났으며, 3년의 시간 경과에 따라서는 각각 0.82~4.47과 0.21~0.69의 범위로 식재 당시와 유사한 수준을 보였다(Table 2). 또한 치환성 K⁺과 Na⁺ 농도 역시 벌채 후 시간 경과에 따른 차이를 보이지 않았으며, 비슷한 수준을 유지하였다. 한편 일반적으로 산림 토양에서 치환성 양이온은 Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > Na⁺ 순으로 나타나는 것으로 알려져 있는데(Jin et al., 1994; Hwang and Son, 2006), 본 연구 결과도 이와 같은 순으로 나타났다. Hwang and Son(2006)은 낙엽송림 간벌 1년 후 치환성 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 농도 모

두 변화가 없었고, Kim et al.(2015) 또한 참나무림에서 간벌 후 3년이 경과한 다음 치환성 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 농도는 변화가 없는 것으로 보고한 바 있으며, 본 연구 결과와 유사하였다.

2. 조림목 성장 특성

1) 근원경, 수고 및 H/D율

영주, 김천, 춘천, 인제 조사지 내 낙엽송 조림목의 수령별 근원경은 Figure 1, 수고는 Figure 2에 제시하였다. 조림목의 근원경은 5~6년생일 때 김천과 춘천 조사지에서, 7년생일 때는 춘천 조사지에서 가장 높았고, 수고는 5~7년생일 때 매년 춘천 조사지에서 가장 높았다. 우리

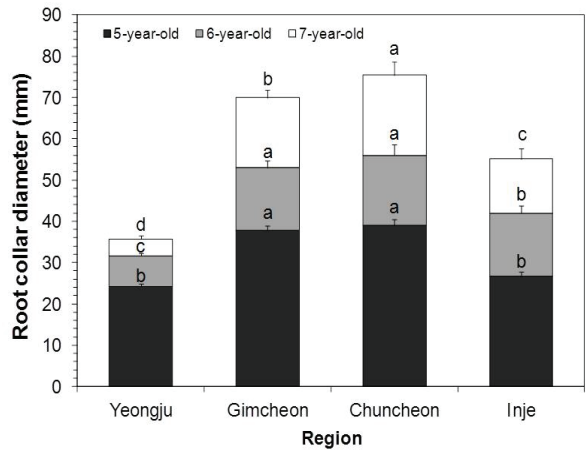


Figure 1. Root collar diameter of *Larix kaempferi* trees with regions. Small letters indicate significant differences among regions within the same age ($P<0.05$). The vertical bars represent standard error of the means.

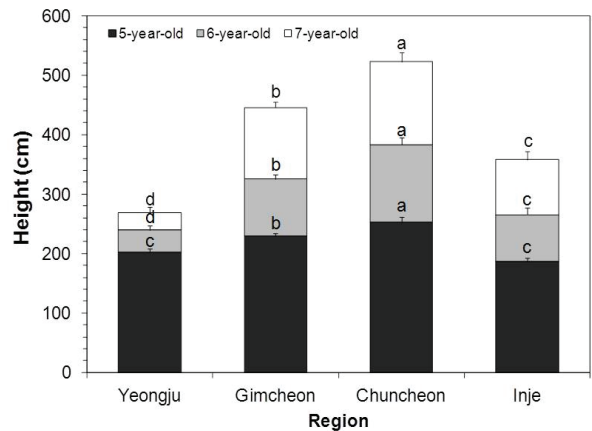


Figure 2. Height of *Larix kaempferi* trees with regions. Small letters indicate significant differences among regions within the same age ($P<0.05$). The vertical bars represent standard error of the means.

Table 3. H/D ratio and stem volume of *Larix kaempferi* trees with regions.

Region	H/D ratio			Stem volume (cm ³ tree ⁻¹)		
	5-year-old	6-year-old	7-year-old	5-year-old	6-year-old	7-year-old
Yeongju	83.4(2.1)a	76.5(1.6)a	74.9(1.5)a	702.6(48.1)b	1317.4(83.9)d	2009.8(159.8)d
Gimcheon	62.3(1.4)c	62.9(1.1)c	65.1(1.2)b	1921.3(144.8)a	5335.7(428.0)b	12148.6(822.9)b
Chuncheon	66.0(1.7)c	71.2(1.6)b	71.3(2.0)a	2272.1(226.3)a	6873.0(679.5)a	17813.0(1681.5)a
Inje	70.6(1.5)b	63.5(1.3)c	66.4(1.3)b	820.8(82.0)b	3069.9(347.2)c	7337.2(889.2)c

The values in parentheses are standard errors of mean. Stem volumes are the average value of the individual tree. Small letters indicate significant differences among regions in the same age ($P < 0.05$).

나라 낙엽송 임목의 임분수확표는 지위지수 16, 그리고 10년생부터 기록되어 있는데(NIFoS, 2012b), 조림목의 생장이 가장 높은 춘천 조사지의 지위지수는 18로 7년생 일 때 수고값은 5.3m였으며, 낙엽송 지위지수가 18일 때 10년생 수고는 7.3m였다. 10년생 미만 조림목의 수고 생장을 측정할 본 연구 결과는 향후 낙엽송 임분수확표 수정 시 참고 자료로 이용될 수 있을 것이다.

영주, 김천, 춘천, 인제 조사지 내 낙엽송 조림목의 평균 H/D율(cm mm⁻¹)은 Table 3에 제시하였다. 시간 경과에 따른 H/D율은 김천과 춘천 조사지에서 증가하는 경향을 보였다. 조림목의 H/D율이 증가한 이유는 김천과 춘천 조사지에서 근원경보다 수고의 생장률이 빠르기 때문이다. 특히 조림목의 근원경과 수고 생장이 가장 저조한 영주와 인제 조사지의 H/D율은 시간 경과에 따라 점차 감소하여 수고보다는 근원경 생장이 빠른 것을 알 수 있다. 이는 부족한 토양 양분에 조림목이 적응하는 성장 반응 기작으로 토양 내 뿌리를 깊게 뻗어 양분을 흡수하고 하층식생과의 경쟁에서 살아남기 위해 수고 성장보다는 근원경 생장에 치중하는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다(Lee, 2011).

2) 수간 재적과 생존율

영주, 김천, 춘천, 인제 조사지 내 낙엽송 조림목의 수령별 수간 재적은 Table 3에 제시하였다. 수간 재적은 5년생일 때 김천과 춘천 조사지에서, 6~7년생일 때는 춘천 조사지에서 가장 높았고, 매년 영주 조사지에서 가장 낮았는데 특히 7년생일 때 영주 조사지(2,009.8 cm³) 내 조림목의 평균 수간 재적은 춘천 조사지(17,813.0 cm³)보다 약 8.8배 낮은 수준을 보였다. 토양 내 높은 전질소와 유기물 농도는 조림목의 생장에 긍정적인 영향을 주는 것(Son and Chung, 1994; Park et al., 2004)으로 알려져 있기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것은 다른 조사지보다 영주 조사지 토양 내 전질소, 유기물 농도 등이 상대적으로 낮았기 때문으로 판단된다(Table 2).

낙엽송 조림목의 생장에는 유효인산 농도가 중요한 것

으로 알려져 있는데(Liu et al., 1998; Byun et al., 2007; Liu et al., 2011), 본 연구 결과에서도 벌채 후 유효인산 농도가 가장 높았던 김천과 춘천 조사지에서 생장이 가장 높았으며, 낙엽송 조림목의 근원경 초기 생장에는 유효인산 농도가 중요한 작용을 하는 것으로 판단된다. 또한 낙엽송은 유효 토심이 깊은 곳에서 양호한 생장을 하는 것으로 알려져 있어(Byun et al., 2007; NIFoS, 2012a; Yang et al., 2013), 유효 토심이 깊은 김천과 춘천 조사지의 근원경과 수고 생장이 영주와 인제 조사지보다 높은 것으로 판단된다. 또한 김천과 춘천 조사지의 벌채 전 낙엽송 임분은 VIII영급으로 IV영급인 영주와 인제보다 상대적으로 토양 내 양분이 높았다. 이는 낙엽송림 토양 내 전질소, 유기물 농도, 및 C.E.C.가 낙엽송 임령이 증가할수록 높아지는 양의 상관관계(Yang et al., 2013)를 보였기 때문에 벌채 전 임분의 임령이 높았던 김천과 춘천 조사지에서 재조림 후에도 토양 내 전질소, 유기물 농도, 및 C.E.C.가 높아 낙엽송 조림목의 근원경과 수고 생장에 긍정적인 영향을 준 것으로 보인다. 따라서 낙엽송을 벌채하고 낙엽송을 재조림할 경우 벌채 전 임분의 영급을 파악할 필요가 있는 것으로 생각된다.

영주, 김천, 춘천, 인제 조사지 내 낙엽송 조림목의 생존율(%)은 5년생 100, 100, 100, 100, 6년생 100, 100, 97.2, 98.0, 7년생은 100, 98.3, 97.2, 96.0 등으로 나타났고, 모든 조사지에서 95% 이상 높은 생존율을 보였다. 한편 조림목은 노지묘를 이용하였기 때문에 식재 초기에는 활착이 불안정할 가능성이 있으나(McDonald, 1991; Landis et al., 2010), 모든 조사지에서 조림 후 5년 이상이 경과되었기 때문에 정상적으로 생존하고 있는 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 낙엽송림 벌채 후 동일 수종인 낙엽송을 재조림하여 지역별 조림목의 초기 생장을 비교 및 분석함으로써 낙엽송 조림목의 초기 생장 특성을 구명하고자

수행되었다. 낙엽송림을 벌채한 후 지역 및 시간 경과에 따른 낙엽송 조림지 내 토양 특성 변화를 비교한 결과, 낙엽송림 벌채 후 3년이 경과함에 따라 pH는 증가하고, 유효인산 농도는 감소하며, 나머지 특성들은 변화가 없었다. 한편 춘천과 김천 조사지 토양 내 전질소, 유효인산, 유기물 농도 등은 다른 조사지보다 유의하게 높았으며, 이는 벌채 전 낙엽송 임분의 영급 차이로 판단된다.

조림목의 생장 특성에서는 5~7년생일 때 근원경, 수고 및 수간 재적 모두 매년 춘천 조사지에서 가장 높았고, 영주 조사지에서 가장 낮았다. 특히 7년생일 때 영주 조사지 내 조림목의 수간 재적은 춘천 조사지보다 약 8.8배 낮은 수준을 보였다. 이는 영주 조사지 토양 내 전질소, 유기물 농도 등이 다른 조사지보다 상대적으로 낮았기 때문으로 판단된다. 또한 김천과 춘천 조사지의 벌채 전 낙엽송 임분은 VIII영급으로 IV영급인 영주와 인제 조사지보다 상대적으로 토양 내 전질소, 유효인산, 유기물 농도 등이 높았으며, 유효토심이 깊어 낙엽송 조림목의 생장에 긍정적인 영향을 준 것으로 보인다.

References

- Baumler, R. and Zech, W. 1998. Soil solution chemistry and impact of forest thinning in mountain forests in the Bavarian alps. *Forest Ecology and Management* 108(3): 231-238.
- Binkley, D. and Fisher, R.F. 2013. *Ecology and Management of Forest Soils*. 4th eds. USA: Willey, pp. 347.
- Blair, R. and Cech, F. 1974. Morphological seedling grades compared after thirteen growing seasons. *Tree Planters' Notes* 25: 5-7.
- Burke, I.C., Yonker, C.M., Parton, W.J., Cole, C.V., Schimel, D.S. and Flach, K. 1988. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. *Soil Science Society of America Journal* 53(3): 800-805.
- Byun, J.K., Kim, Y.S., Yi, M.J., Son, Y., Kim, C., Jeong, J.H., Lee, C.Y. and Jeong, Y.H. 2007. Growth response of *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, *Betula platyphylla* var. *japonica* and *Quercus acutissima* seedlings at various levels of fertilization. *Journal of Korean Forest Society* 96(6): 693-698 (in Korean with English abstract).
- Chen, C.R. and Xu, Z.H. 2005. Soil carbon and nitrogen pools and microbial properties in a 6-year-old slash pine plantation of subtropical Australia: impacts of harvest residue management. *Forest Ecology and Management* 206(1-3): 237-247.
- Chen, X. and Li, B.-L. 2003. Change in soil carbon and nutrient storage after human disturbance of a primary Korean pine forest in Northeast China. *Forest Ecology and Management* 186(1-3): 197-206.
- 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: 1-26 (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: 10-20 (in Korean with English abstract).
- Curtis, R.O. 1955. Use of graded nursery stock for red pine plantations. *Journal of Forestry* 53: 71-173.
- Fyles, J.W. and Côté, B. 1994. Forest floor and soil nutrient status under Norway spruce and red pine in a plantation in southern Quebec. *Canadian Journal of Soil Science* 74(4): 387-392.
- Giardina, C.P. and Rhoades, C.C. 2001. Clear cutting and burning affect nitrogen supply, phosphorus fractions and seedling growth in soils from a Wyoming lodgepole pine forest. *Forest Ecology and Management* 140(1): 19-28.
- Hermann, R.K. 1964. Importance of top-root ratios for survival of Douglas-fir seedlings. *Tree Planters' Notes* 64: 7-11.
- Hwang, J. and Son, Y. 2006. Short-term effects of thinning and liming on forest soils of pitch pine and Japanese larch plantations in central Korea. *Ecological Research* 21(5): 671-680.
- 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 (in Korean with English abstract).
- Jin, H.O., Yi, M.J., Shin, Y.O., Kim, J.J. and Jeon, S.K. 1994. *Forest Soil*. Hyangmunsu, Seoul, Korea. pp. 325 (in Korean).
- Jones Jr, J.B. 1999. *Soil and Plant Analysis Laboratory Registry*. 2nd eds. Soil and Plant Analysis Council. CRC Press LLC. Florida. pp. 209.
- KFS. 2017. Annual Action Plan of Forest Resources. Korea Forest Service p. 69-94 (in Korean).
- Keum, E., Kim, J. and Jung, C. 2010. Comparison of Gamasid Mite Fauna in *Pinus densiflora* and *Larix leptolepis* Forest Standards in Bonghwa, Korea. *Korean Journal of Soil Zoology* 14(1-2): 12-17 (in Korean with English abstract).
- Kim, C., Son, Y., Lee, W.K., Jeong, J. and Noh, N.J. 2009. Influence of forest tending works on carbon distribution and cycling in a *Pinus densiflora* S. et Z. stand in Korea. *Forest Ecology and Management* 257(5): 1420-1426.

- Kim, J.Y. and Kim, D.G. 2012. Soil properties change by forest harvesting in *Pinus koraiensis* stand. Journal of Korean Society Forest Engineering 10(2): 117-126 (in Korean with English abstract).
- Kim, S., An, J.H., Lim, Y.K., Pee, J.H., Kim, G.S., Lee, H.Y., Cho, Y.C., K.H. Bae, 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 Environment 46(2): 241-250 (in Korean with English abstract).
- Kim, S., Yoon, T.K., Han, S., Han, S.H., Lee, J., Kim, C., Lee, S.T., Seo, K.W., A.R. Yang, and Son, Y. 2015. Initial effects of thinning on soil carbon storage and base cations in a naturally regenerated *Quercus* spp. forest in Hongcheon, Korea. Forest Science and Technology 11(3): 172-176.
- Ko, S., Son, Y., Noh, N.J., Yoon, T.K., Kim, C., Bae, S.W., Hwang, J., S.T. Lee, and Kim, H.S. 2012. Influence of thinning on carbon storage in soil, forest floor and coarse woody debris of *Larix kaempferi* stands in Korea. Forest Science and Technology 8(2): 116-121.
- Landis, T.D., R.K. Dumroese, and Haase, D.L. 2010. Seedling Processing, Storage, and Outplanting. The Container Tree Nursery Manual: Agriculture Handbook 674. Vol. 7. USDA. Forest Service. Washington. pp. 199.
- Lee, C.B. 1986. Dendrology. Hyangmunsa, Seoul, Korea. pp. 161 (in Korean).
- Lee, D.K., H.S. Kang, and Park, Y.D. 2004. Natural restoration of deforested woodlots in South Korea. Forest Ecology and Management 201(1): 23-32.
- Lee, K.J. 2011. Tree Physiology. Seoul University, Seoul, Korea. pp. 514 (in Korean).
- Lee, I.K. and Son, Y. 2004. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on soil chemical properties of *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations in Yangpyeong area, Gyonggi province. Journal of Korean Forest Society 93(5): 349-359 (in Korean with English abstract).
- Liu, S., X. Li, and Niu, L. 1998. The degradation of soil fertility in pure larch plantations in the northeastern part of China. Ecological Engineering 10(1): 75-86.
- Liu, X., Lu, Y., Zhou, Y., Lei, X., X. Zhang, and Meng, J. 2011. The influence of soil conditions on regeneration establishment for degraded secondary forest restoration, southern China. Forest Ecology and Management 261(11): 1771-1780.
- Maquere, V., Laclau, J.P., Bernoux, M., Saint-Andre, L., Gonçalves, J.L.M., Cerri, C.C., M.C. Piccolo, and Ranger, J. 2008. Influence of land use (savanna, pasture, Eucalyptus plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. European Journal of Soil Science 59(5): 863-877.
- Masyagina, O.V., Hirano, T., Ji, D.H., Choi, D.S., Qu, L., Fuginuma, Y., Sasa, Y., S.G. Prokushkin, and Koike, T. 2006. Effect of spatial variation of soil respiration rates following disturbance by timber harvesting in a larch plantation in northern Japan. Forest Science and Technology 2(2): 80-91.
- McDonald, P.M. 1991. Container seedlings outperform barefoot stock: Survival and growth after 10 years. New Forests 5(2): 147-156.
- Milliken, G.A. and Johnson, D.E. 2001. Analysis of Messy Data. Vol. III. Chapman and Hall/CRC. New York, USA. pp. 620.
- Mullin, R.E. and Christl, C. 1982. Morphological grading of white pine nursery stock. The Forestry Chronicle 58: 40-43.
- NIFoS. 2012a. Economical Tree Species No.4 *Larix kaempferi*. National Institute of Forest Science pp. 180 (in Korean).
- NIFoS. 2012b. Forest Yield Table of Forest Growing Stock and Biomass. National Institute of Forest Science pp. 271 (in Korean).
- NIFoS. 2015. Development of Silviculture Technology for Species Regeneration in Major Artificial Forest. National Institute of Forest Science pp. 119 (in Korean).
- Nilsen, P. and Strand, L.T. 2008. Thinning intensity effects on carbon and nitrogen stores and fluxes in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand after 33 years. Forest Ecology and Management 256(3): 201-208.
- 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).
- Park, N.C., Lee, G.S., Park, M.S., Shin, H.C., Jun, K.S. and Jung, S.Y. 2008. Relation of the physico-chemical properties of forest soil to site indices of *Larix leptolepis* stands. Journal of Korean Forest Society 97(6): 589-596 (in Korean with English abstract).
- Pawsey, C.K. 1972. Survival and early development of *Pinus radiata* as influenced by size of planting stock. Australian Forestry Research 5: 13-24.
- Pennock, D.J. and van Kessel, C. 1997. Clear-cut forest harvest impacts on soil quality indicators in the mixedwood forest of Saskatchewan, Canada. Geoderma 75(1-2): 13-32.
- 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 stocktype and edaphic conditions. Forest Ecology and Management 261(11): 1876-1884.
- RDA. 2000. Soil and Plant Analysis. National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

- pp. 202 (in Korean).
- Risch, A.C., Jurgensen, M.F., Page-Dumroese, D.S., Wildi, O. and Schutz, M. 2008. Long-term development of above- and below-ground carbon stocks following land-use change in subalpine ecosystems of the Swiss National Park. *Canadian Journal of Forest Research* 38(6): 1590-1602.
- Ryu, S.R., Son, Y., Joo, Y.T., Jin, H.O., Oh, J.M. and Jung, D.Y. 2000. Seasonal variations in soil solution chemistry under *Larix leptolepis*, *Pinus koraiensis*, and *Quercus mongolica* stands. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 19(1): 75-79 (in Korean with English abstract).
- SAS Institute Inc. 2009. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary.
- Saikh, H., Varadachari, C. and Ghosh, K. 1998. Changes in carbon, nitrogen and phosphorus levels due to deforestation and cultivation: A case study in Simlipal National Park, India. *Plant and Soil* 198(2): 137-145.
- Singh, B., Tripathi, K.P., Jain, R.K. and Behl, H.M. 2000. Fine root biomass and tree species effects on potential N mineralization in afforested sodic soils. *Plant and Soil* 219(1): 81-89.
- 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).
- Stark, N.M. 1979. Nutrient losses from timber harvesting in a larch/douglas-fir forest. USDA Forest Service. pp. 52.
- Tian, D.L., Peng, Y.Y., Yan, W.D., Fang, X., Kang, W.X., Wang, G.J. and Chen, X.Y. 2010. Effects of thinning and litter fall removal on fine root production and soil organic carbon content in Masson pine plantations. *Pedosphere* 20(4): 486-493.
- Vesterdal, L., Dalsgaard, M., Felby, C., Raulund-Rasmussen, K. and Jørgensen, B.B. 1995. Effects of thinning and soil properties on accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus in the forest floor of Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 77(1): 1-10.
- Yang, A.R., Hwang, J., Cho, M.S. and Song, S.W. 2013. Soil physical and chemical properties with plantation regions and stand age in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations. *Journal of Korean Forest Society* 102(4): 578-586 (in Korean with English abstract).

(Received: February 15, 2017; Accepted: March 2, 2017)