

리기다소나무와 낙엽송 인공림의 지역 및 임령에 따른 토양 특성

양아람^{1,2} · 황재홍^{1*} · 조민석¹ · 송선화²

¹국립산림과학원 산림생산기술연구소, ²고려대학교 일반대학원 환경생태공학과

Soil Physical and Chemical Properties with Plantation Regions and Stand Age in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* Plantations

A-Ram Yang^{1,2}, Jaehong Hwang^{1*}, Minseok Cho¹ and Sun-Wha Song²

¹Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

²Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

요약: 본 연구는 우리나라 침엽수림 면적의 약 1/3을 차지하는 리기다소나무와 낙엽송 인공림을 대상으로 지역 및 임령에 따른 토양의 물리·화학적 특성을 파악하여, 이들 인공림의 벌채 후 진행되는 조림 사업에 필요한 기초 자료를 얻고자 수행하였다. 두 인공림에 대한 토양 특성은 기존 보고된 문헌자료와 2년(2010, 2011년) 동안 전국 국유림 내에서 조사·분석한 토양 특성 결과를 바탕으로 지역 및 임령별로 나누어 분석하였다. 리기다소나무 인공림 내 전라남도 지역과 낙엽송 인공림 내 경상북도 지역의 토양 특성이 동일 수종의 임분 내 다른 지역보다 양호하였다. 두 인공림의 토성은 대부분 양토 혹은 사질양토였고, 토양 pH 값은 리기다소나무와 낙엽송 인공림에서 각각 4.86, 4.87로 나타났으며, 토양 pH는 임령 증가에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다. 리기다소나무와 낙엽송 인공림의 전질소 농도(%)는 각각 0.21, 0.28이었고, 유효인산 농도(mg·kg⁻¹)는 각각 11.00, 13.32로 나타났다. 낙엽송 인공림 내 전질소, 유효인산, 유기물 농도 및 양이온치환용량은 리기다소나무 인공림보다 높고, 은, 임령이 증가함에 따라 농도가 증가하는 경향을 보였으며, 치환성양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺)은 토양 pH와 정의 상관관계를 나타냈다. 두 인공림에 대한 토양 특성 분석 결과는 리기다소나무 벌채와 낙엽송 주벌 실시 후 요구되는 조림지 관리에 적용할 수 있으며, 토양 양분 특성 등을 고려한 맞춤형 조림 수종 선정과 조림지 관리에 활용하여 지속적인 산지 자원화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract: This study was performed in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations which occupy approximately 60% of artificial forest area in Korea. The objective of this study was to know the differences in soil physical and chemical properties between both plantations. Soil physical and chemical properties from published literature and analyzed soil data in national forest in 2010 and 2011 were analyzed by plantation regions and stand age of 5 years unit. Jeollanam-do in *Pinus rigida* plantations and Gyeongsangbuk-do in *Larix kaempferi* plantations showed higher soil chemical properties than those of other regions. Soil texture in both plantations was almost loam and sandy loam. Mean soil pH in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations were 4.86 and 4.87, respectively and there was no relationship between soil pH and stand age. The mean concentrations of total nitrogen (%) and available phosphorus (mg kg⁻¹) were 0.21 and 11.00 for *Pinus rigida* plantation and 0.28 and 13.32 for *Larix kaempferi* plantation. In *Larix kaempferi* plantation, total nitrogen, available phosphorus and organic matter concentrations and C.E.C. were higher than those in *Pinus rigida* plantation and showed positive relationship with stand age. This positive relationship was also revealed between the exchangeable cations and soil pH. The results of this study provide an informative data in selecting tree species for planting and contribute to the establishing forest management plan for the maintenance of sustainable forests resources.

Key words : Japanese larch, pitch pine, plantation region, soil properties, stand age

서론

리기다소나무(*Pinus rigida*)와 낙엽송(*Larix kaempferi*)은 1960~70년대 우리나라 주요 조림 수종 중 하나로서,

2012년 발간된 임업통계 자료에 의하면 전체 침엽수림 면적의 약 1/3(리기다소나무림 386,991 ha, 낙엽송림 424,668 ha)을 차지하고 있다(KFS, 2012a). 리기다소나무와 낙엽송 인공림의 전국적인 분포를 보면 리기다소나무림은 주로 경기, 충남, 전남·북, 낙엽송림은 주로 강원, 충북, 경북에 분포하고 있다(Figure 1). 리기다소나무는 건조한 곳

*Corresponding author
E-mail: jhwang@forest.go.kr

에서도 잘 자라기 때문에 과거 사방조림에 많이 이용되었으며, 낙엽송 목재는 건축(구조, 내장, 마루판), 토목, 합판, 펄프 등의 원료로 많이 쓰인다. 그러나, 최근 리기다소나무는 벌기령 경과에 따른 성장량 감소와 상대적으로 좋지 않은 목재 재질 등의 이유로 주된 갱신 대상 수종이 되었고 연간 약 20,000 ha 중 6,000 ha 가량이 리기다소나무 벌채지를 대상으로 조림 사업이 시행되고 있다(KFS, 2012b). 낙엽송 역시 벌기령(국유림 60년, 사유림 40년)을 고려하면 향후 주벌 면적이 지속적으로 확대되어, 낙엽송 주벌지를 대상으로 한 조림 사업도 크게 증가할 것으로 예상된다.

산림토양의 이화학적 성질과 임목생장은 밀접한 관련이 있다고 보고(Chung et al., 1980; Chung et al., 1981) 되고 있기 때문에 향후 대규모로 조림이 실시될 이들 두 인공림의 토양 특성을 파악하는 것은 산지의 효율적 관리와 임지 생산성을 고려한 적지적수 등과 관련하여 매우 중요한 사항이다. 또한, 맞춤형 조림 수종 선정과 조림 사업으로 산지 자원화를 촉진하기 위해서는 현 시점에서 조림사업 개시 전 리기다소나무와 낙엽송 인공림의 지역 및 임령별 토양 특성과 관련한 연구 자료 획득이 반드시 선행되어야 한다. 특히 토양 특성을 고려한 조림 수종의 선정과 관련한 부분은 산림생태계 내에서 양분 순환뿐만 아니라 토양 특성을 고려한 조림으로 가치 있는 산림을 조성하는 데 있어서도 매우 의미 있는 분야라고 할 수 있다. 본 연구는 지금까지 리기다소나무와 낙엽송 인공림 내

에서 수행된 토양 특성 분석과 관련된 기존 문헌자료와 국유림 내 이들 두 인공림에서 수행한 조림지 토양 특성 자료를 바탕으로 지역 및 임령별 토양 특성을 파악하여 조림 사업에 필요한 임지 관련 기초자료를 수집하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 기 보고된 문헌자료(8개소)와 전국 국유림 내에서 2010년과 2011년에 직접 조사·분석한 자료(20개소)를 바탕으로 리기다소나무 및 낙엽송 인공림 내 토양 특성을 비교·분석하였다(Table 1). 조사지 내 리기다소나무 및 낙엽송 인공림은 대부분 4~5영급으로 1960년대에 대규모로 조림되었다. 리기다소나무 인공림 내 토양 분석 조사지는 경기도(가평, 양평, 여주, 평택, 포천), 강원도(양구, 원주, 인제, 홍천, 횡성), 전라북도(무주), 전라남도(해남), 경상북도(봉화, 칠곡) 등 총 17개소이다[Figure 1(a)]. 낙엽송 인공림 내 토양 분석 조사지는 경기도(광주, 양평, 포천), 강원도(인제, 춘천), 전라남도(장성), 경상북도(김천, 영주), 경상남도(함양) 등 총 11개소이다[Figure 1(b)].

문헌 자료 내에서 두 인공림의 임령, 토양시료 채취 깊이, 토양의 물리·화학적 특성 등을 조사하였고, 토심이 10 cm 단위로 구분되어 있는 자료는 이들의 평균값을 이용하여 분석에 이용하였다. 국유림 내 리기다소나무와 낙엽송 인공림의 토양은 2010년 10월과 2011년 4월에 직접

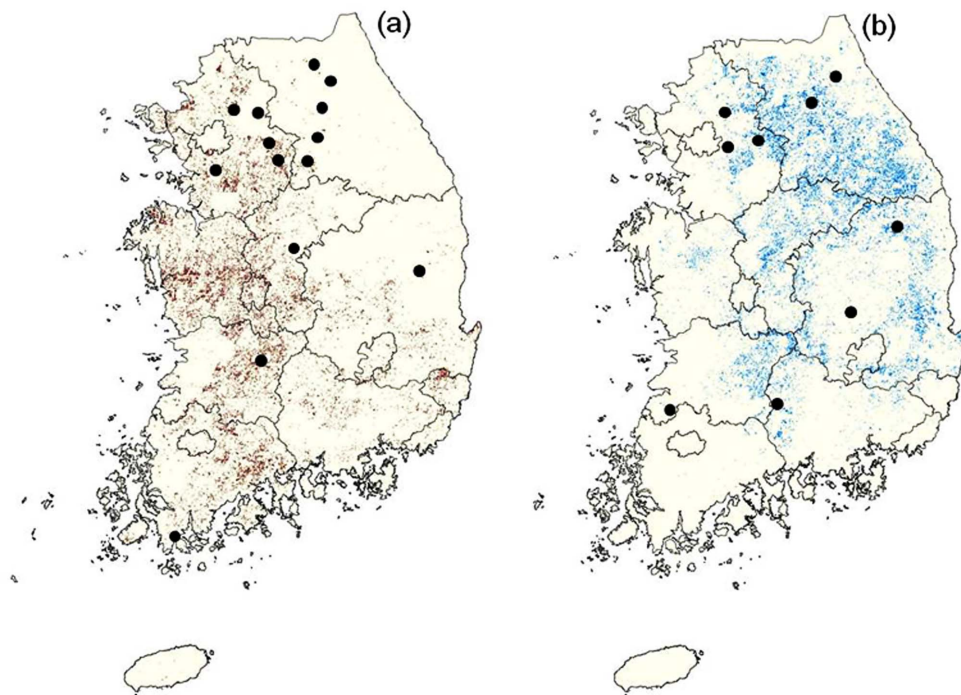


Figure 1. Distribution of *Pinus rigida* (a) and *Larix kaempferi* (b) plantations and research sites(●). (Source: Korea Forest Research Institute).

Table 1. Stand characteristics of *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations.

Plantation species	Location	Stand age	Investigation year	Mean		Parent rock	Reference
				Height (m)	DBH (cm)		
<i>Pinus rigida</i>	Pocheon	31	1997	16	14	Biotite gneiss	Kim, 1999
	Yangpyeong	37	1993	-	24	Migmatitic gneiss	Kim et al., 1996
	Yangpyeong	41	1996	10	24	Migmatitic gneiss	Lee and Son, 2004
	Bonghwa	28	2010	8	14	Biotite gneiss	
	Inje	31	2010	11	16	Two mica granite	
	haenam	32	2011	14	14	Sericite schist	
	Hongcheon	32	2010	11	18	Granitic gneiss	
	Wonju	35	2010	10	16	Biotite schist	
	Chilgok	36	2010	10	16	Granitic gneiss	
	Hoengseong	36	2011	11	14	Biotite granite	This study
	Yangpyeong	39	2010	18	20	Aplite	
	Yeoju	39	2011	11	16	Granite porphyry	
	Pyeongtaek	40	2010	12	19	Granitic gneiss	
	Muju	43	2011	9	12	Biotite gneiss	
	Yanggu	45	2010	16	16	Two mica granite	
	Gapyeong	46	2010	16	17	Banded gneiss	
	Pocheon	50	2011	16	20	Biotite gneiss	
<i>Larix kaempferi</i>	Yangpyeong	37	1993	-	24	Migmatitic gneiss	Kim et al., 1996
	Gwangju	29	1996	15	16	Granitic gneiss	Lee and Kim, 1997
	Pocheon	31	1997	19	17	Biotite gneiss	Kim, 1999
	Yangpyeong	41	1996	11	25	Migmatitic gneiss	Lee and Son, 2004
	Hamyang	42	2002	23	31	Biotite gneiss	Kim and Cho 2004
	Yeongju	31	2010	16	18	Biotite granite	
	Jangseong	33	2011	18	18	Schist	
	Inje	34	2010	15	22	Biotite granite	This study
	Chuncheon	40	2010	18	28	Biotite gneiss	
	Inje	55	2010	16	20	Biotite gneiss	
	Gimcheon	72	2010	21	32	Two mica granite	

Table 2. The mean of soil physical and chemical properties of *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations.

Plantation species	Location	Texture	pH	T.N. (%)	Avail. P. (mg kg ⁻¹)	O.M. (%)	C.E.C. (cmol _c kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
<i>Pinus rigida</i>	Gyeonggi-do	Sandy loam	4.64	0.18	14.36	5.96	16.37	1.06	0.21	0.14	0.08
	Gangwon-do	Sandy loam	5.17	0.24	7.93	6.39	22.67	3.22	0.59	0.25	0.05
	Jeollabuk-do	Loam	5.26	0.15	5.53	3.28	18.45	4.00	1.60	0.26	0.07
	Jeollanam-do	Silty loam	4.56	0.45	12.60	11.72	33.83	0.97	0.28	0.26	0.09
	Gyeongsangbuk-do	Sandy loam	4.92	0.13	7.13	4.19	12.94	1.73	0.47	0.17	0.04
<i>Larix kaempferi</i>	Gyeonggi-do	Loam	4.89	0.25	14.95	5.74	11.11	1.35	0.30	0.15	0.14
	Gangwon-do	Sandy loam	5.19	0.25	10.33	7.55	24.22	3.24	0.50	0.24	0.04
	Jeollanam-do	Loam	4.43	0.26	14.50	6.78	24.71	0.82	0.19	0.20	0.09
	Gyeongsangbuk-do	Sandy loam	4.56	0.33	17.41	9.76	27.51	1.28	0.44	0.18	0.03
	Gyeongsangnam-do	-	-	0.40	8.09	6.35	19.13	0.73	0.37	0.39	-

5 cm의 토양 시료 채취기를 이용하여 토심 20 cm까지 토양 시료를 채취한 후 토양의 물리·화학적 특성을 분석하였다. 토성은 비중계법, 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 교반 후 pH meter(model 550A, Orion, USA)를 이용하여 측정하였다. 전질소 농도는 Kjeldahl법,

유기물 농도는 Tyurin법을 이용하여 분석하였다. 유효인산 농도는 Lancaster법을 이용하여 측정하였으며, 양이온 치환용량은 ammonium acetate법을 이용하여 추출한 후 ICP-OES(Vista-PRO, Varian, Australia)로 치환성양이온 농도를 측정하였다. 문헌 조사와 실제 토양 분석을 통해

도출된 토양 분석 결과는 도 단위 조사 지역 및 5년 단위의 임령별로 그룹을 나누어 상호 비교·분석하였다. 두 인공림의 임령 및 토양 pH와 토양 화학적 특성과의 상관관계는 통계프로그램 SAS(ver.9.2)를 이용하여 분석하였다(SAS Institute Inc., 2009).

결과 및 고찰

1. 토성

리기다소나무 인공림 내 토성을 지역별로 나누어 분석한 결과 경기도 조사지는 사질식양토, 미사질양토, 양토 및 사질양토, 강원도 조사지는 사질양토, 양토 및 미사질양토, 전라북도 조사지는 양토, 전라남도 조사지는 미사질양토, 경상북도 조사지는 사질양토 등으로 다양하게 조사되었다(Table 2).

낙엽송 인공림을 대상으로 한 분석 결과 경기도 조사지는 사질식양토, 미사질양토 및 양토, 강원도 조사지는 사질양토 및 양토, 전라남도 조사지는 양토, 경상북도 조사지는 사질양토 및 양질사토 등으로 나타났다(Table 2). 두 인공림 전체에서 토성은 양토 및 사질 양토가 가장 많았으며, 이러한 결과는 Jeong et al.(2002)이 보고한 우리나라

산림토양의 토성 대부분이 양토로 분류되었다는 결과와 일부 유사하였다.

2. 토양 pH

리기다소나무 인공림 내 조사 지역별 토양 pH 평균값은 경기도 조사지 4.64(4.09~4.97), 강원도 조사지 5.17(4.93~5.34), 전라북도 조사지 5.26, 전라남도 조사지 4.56, 경상북도 조사지 4.92(4.71~5.13)로 나타났다(Table 2). 낙엽송 인공림 내 조사 지역별 토양 pH 평균값은 경기도 조사지 4.89(4.59~5.15), 강원도 조사지 5.19(5.01~5.30), 전라남도 조사지 4.43, 경상북도 조사지 4.56(4.55~4.57)로 나타났다(Table 2). 리기다소나무 인공림 내 토양 pH 평균값은 4.86(4.09~5.34)이고, 낙엽송 인공림 내 토양 pH 평균값은 4.87(4.43~5.30)로 두 인공림의 토양 pH 평균값은 비슷하지만, 리기다소나무 인공림에서 토양 pH 값의 변이가 더 컸다. 이러한 결과는 경기도 평택 조사지의 토양 산도가 4.09의 강산성이었기 때문이며, 이는 인구와 산업 시설이 밀집되어 있는 평택 지역에 내리는 강한 산성우에 의한 결과로 판단된다(Kim and Hwang, 1998). 두 인공림 모두 토양 산성화가 많이 진행되어 있으므로 이들 두 인공림에 새로운 조림 사업이 추진될 때 석회시비 등을 통

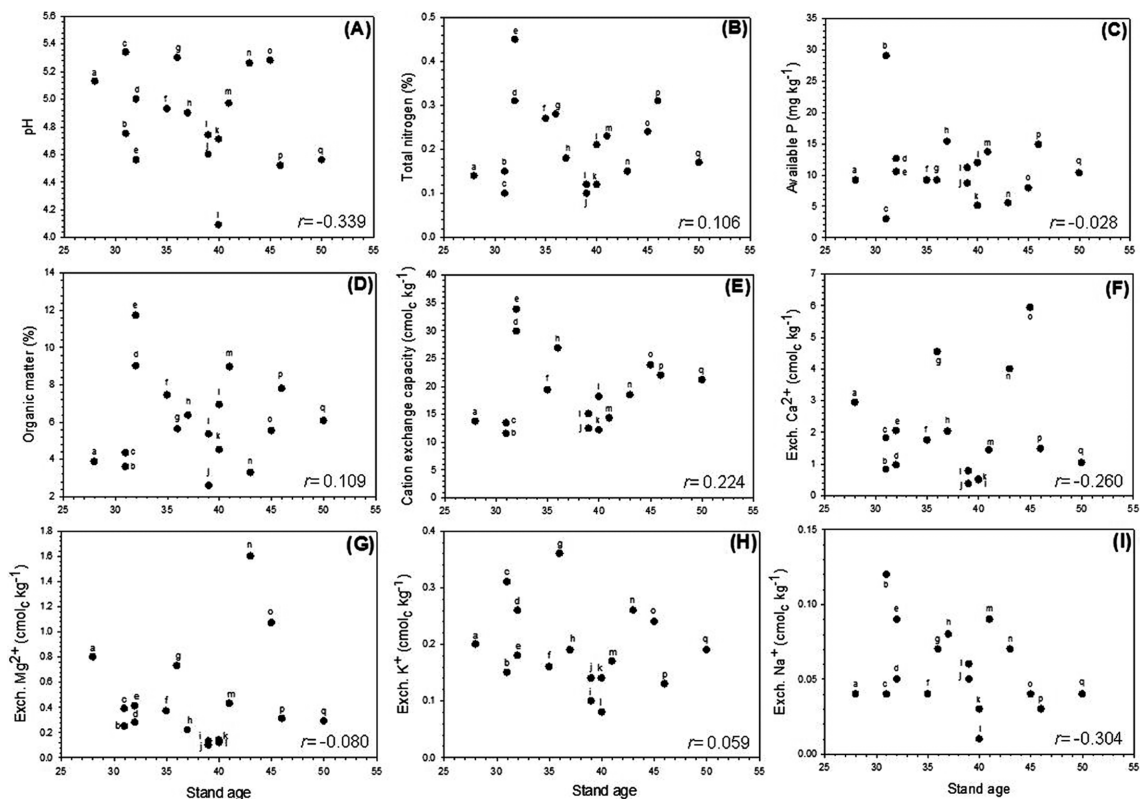


Figure 2. Soil chemical properties in 0-20 cm soil depth in *Pinus rigida* plantation according to plantation ages. *r*: correlation coefficient between soil chemical properties and stand ages. Region; a: Bonghwa, b: Pocheon, c: Inje, d: Hongcheon, e: Haenam, f: Wonju, g: Hoengseong, h: Yangpyeong, i: Yangpyeong, j: Yeouju, k: Chilgok, l: Pyeongtaek, m: Yangpyeong, n: Muju, o: Yanggu, p: Gapyeong, q: Pocheon.

한 토양 pH 교정이 지역에 따라 필요할 것으로 판단된다.

한편, 리기다소나무 인공림을 5년 단위의 임령별로 나누어 토양 pH 평균값을 분석한 결과 26~30년생 조사지는 5.13, 31~35년생 조사지는 4.92(4.56~5.34), 36~40년생 조사지는 4.72(4.09~5.30), 41~45년생 조사지는 5.17(4.97~5.28), 46~50년생 조사지는 4.54(4.52~4.56)로 나타났다(Figure 2A). 낙엽송 인공림의 경우 26~30년생 조사지는 4.58(4.57~4.59), 31~35년생 조사지는 4.96(4.43~5.30), 36~40년생 조사지는 4.96(4.90~5.01), 41~45년생 조사지는 4.92, 55년생 이상 조사지는 4.91(4.55~5.26)로 나타났다(Figure 3A). 리기다소나무와 낙엽송 인공림 모두 임령에 따른 토양 pH 값은 일관된 경향을 보이지 않았는데 이와 같은 결과는 임분의 발달 정도인 임령보다 토양 pH에 직접 영향을 주는 토양 내 양이온 농도, 부식층의 발달 정도, 토양의 질산화를 등과 같은 주요 요인들이 시·공간적으로 변화하기 때문에 직접적인 비교가 어렵고(Jeong et al., 1998; Lee and Park, 2001), 지역 간 토양 pH 값의 차이가 크기 때문으로 판단된다.

3. 전질소

리기다소나무 인공림 조사 지역별 전질소 평균 농도(%)는 경기도 조사지 0.18(0.10~0.31), 강원도 조사지 0.24

(0.10~0.31), 전라북도 조사지 0.15, 전라남도 조사지 0.45, 경상북도 조사지 0.13(0.12~0.14)으로 나타났다(Table 2). 낙엽송 인공림 조사 지역별 전질소 평균 농도(%)는 경기도 조사지 0.25(0.16~0.35), 강원도 조사지 0.25(0.21~0.31), 전라남도 조사지 0.26, 경상북도 조사지 0.33(0.12~0.53), 경상남도 조사지 0.40으로 나타났다(Table 2). 리기다소나무 인공림 조사지 중 전라남도 해남 조사 지역(0.45%)의 토양 내 전질소 농도가 타 지역에 비해 높았고, 낙엽송 인공림에서는 경상북도 김천 조사 지역(0.53%)에서 토양 내 전질소 농도가 가장 높았다. 리기다소나무 인공림 내 전질소 농도(%) 평균값은 0.21(0.10~0.45), 낙엽송 인공림 내 전질소 농도 평균값은 0.28(0.12~0.53)로 분석되었는데, 리기다소나무 인공림 조사지 내 전질소 농도 평균은 Jeong et al.(2002)이 제시한 우리나라 산림토양 A층의 평균 전질소 값인 0.19%와 유사하였다.

리기다소나무 인공림 내 토양 전질소 농도(%)를 5년 단위의 임령별로 나누어 분석한 결과 26~30년생 조사지는 0.14, 31~35년생 조사지는 0.26(0.10~0.45), 36~40년생 조사지는 0.17(0.10~0.28), 41~45년생 조사지는 0.21(0.15~0.24), 46~50년생 조사지는 0.24(0.17~0.31)로 나타났다[Figure 2(B)]. 낙엽송 인공림에서는 26~30년생 조사지 0.17(0.12~0.22), 31~35년생 조사지 0.22(0.24~0.26), 36~40년생 조사지 0.30

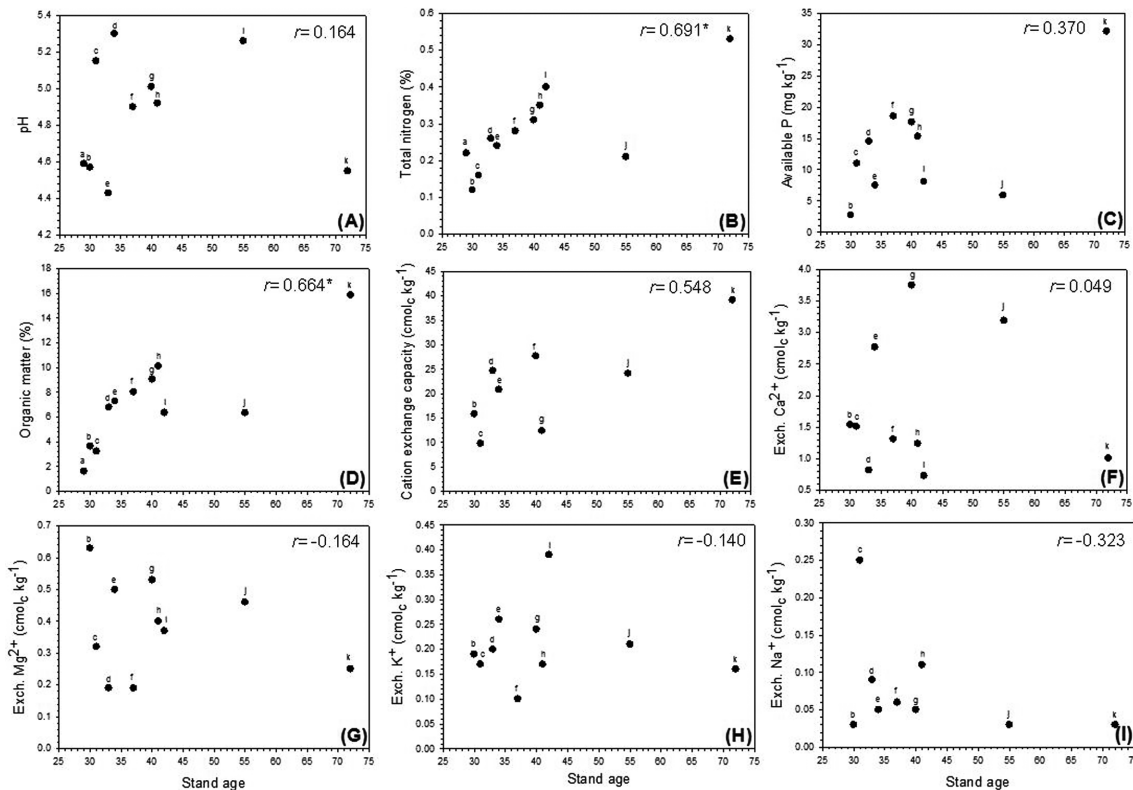


Figure 3. Soil chemical properties in 0-20 cm soil depth in *Larix kaempferi* plantation according to plantation ages. r : correlation coefficient between soil chemical properties and stand ages ($P < 0.05$). Region; a: Gwangju, b: Yeongju, c: Pocheon, d: Jangseong, e: Inje, f: Yangpyeong, g: Chuncheon, h: Yangpyeong, i: Hamyang, j: Inje, k: Gimcheon.

(0.28~0.31), 41~45년생 조사지 0.38(0.35~0.40), 55년생 이상 조사지 0.37(0.21~0.53)로 나타났다[Figure 3(B)]. 리기다소나무 인공림 조사지에서 전질소 농도는 토양 pH와 마찬가지로 임령에 따른 일정한 경향을 나타내지 않았지만, 낙엽송 인공림 조사지에서는 임령이 높아질수록 토양 내 전질소 농도가 증가하는 정의 상관관계($r=0.691$)를 보였다[Figure 3(B)]. 이러한 결과는 임령이 증가하고 임분이 안정화됨에 따라 토양이 가지고 있는 전질소 농도가 높아진다는 기존 연구결과와 일치하는 것이다(Noh et al., 2010). 이와 같이 두 인공림 내에서 상반된 결과가 나타난 것은 토양 내 전질소 농도의 경우 매년 증감이 반복되어 일정한 경향을 보이지 않으며(Lee and Son, 2004), 각 수종마다 낙엽과 낙지의 화학적 구성요소 및 유입량과 세균 고사량(turnover)의 차이와 관련이 있기 때문으로 판단된다(Garten et al., 1994; Hwang and Son, 2006; Son and Lee, 1997).

4. 유효인산

리기다소나무 인공림 조사 지역별 유효인산 평균 농도($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)는 경기도 조사지 14.36(8.67~29.00), 강원도 조사지 7.93(2.95~10.51), 전라북도 조사지 5.53, 전라남도 조사지 12.60, 경상북도 조사지 7.13(5.11~9.15)으로 나타났다(Table 2). 낙엽송 인공림 조사 지역별 유효인산 평균 농도($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)는 경기도 조사지 14.95(11.00~18.54), 강원도 조사지 10.33(5.90~17.59), 전라남도 조사지 14.50, 경상북도 조사지 17.41(2.72~32.09), 경상남도 조사지 8.09로 나타났다(Table 2). 리기다소나무 인공림 내 유효인산 농도($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 평균값은 11.00(2.95~29.00), 낙엽송 인공림 내 유효인산 농도 평균값은 13.32(2.72~32.09)로 나타났다.

토양 내 유효인산의 농도는 토양 pH와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되어 있는데(Hwang and Son, 2006), 토양 pH가 낮을 경우 유효인산의 농도 역시 낮게 나타난다. 그러나, 본 연구 결과에서는 반대로 토양 pH와 유효인산 농도가 약한 부의 상관관계(리기다소나무 인공림: $r=-0.471$, 낙엽송 인공림: $r=-0.400$)를 보였는데(Table 3) 이러한 결과는 유효인산 농도가 동일 지역에서도 변이가 매우 크게 나타나는 것으로 알려져 있기 때문으로 사료된다(Jin et al., 1994; Lee, 1981).

리기다소나무 인공림 내 유효인산 평균 농도($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)를 5년 단위의 임령별로 나누어 분석한 결과 26~30년생 9.15, 31~35년생 12.84(2.95~12.60), 36~40년생 10.22(5.11~15.34), 41~45년생 9.03(7.90~13.67), 46~50년생 12.57(10.30~14.84)로 나타났다[Figure 2(C)]. 낙엽송 인공림에서는 26~30년생 2.72, 31~35년생 11.00(7.51~14.50), 36~40년생 18.07(17.59~18.54), 41~45년생 11.70(8.09~15.30), 55년생 이상 19.00(5.90~32.09)으로 나타났다[Figure

3(C)]. 리기다소나무 인공림 조사지 토양 내 유효인산 농도는 임령의 증가에 따라 일정한 경향을 보이지 않고 대부분 $5\sim 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 의 범위 내에 분포하였다. 반면 낙엽송 인공림에서는 임령이 증가함에 따라 토양 내 유효인산 농도가 증가하는 경향을 보였다($r=0.370$).

5. 유기물

리기다소나무 인공림 조사지 내 지역별 평균 유기물 농도(%)는 경기도 조사지 5.96(2.59~8.96), 강원도 조사지 6.39(4.34~9.01), 전라북도 조사지 3.28, 전라남도 조사지 11.72, 경상북도 조사지 4.19(3.87~4.51)로 나타났다(Table 2). 낙엽송 인공림 조사지 내 지역별 유기물 평균 농도(%)는 경기도 조사지 5.74(1.60~10.10), 강원도 조사지 7.55(6.33~9.05), 전라남도 조사지 6.78, 경상북도 조사지 9.76(3.64~15.87), 경상남도 조사지 6.35로 나타났다(Table 2). 리기다소나무와 낙엽송 인공림 내 유기물 농도(%) 평균값은 각각 6.06(2.59~11.72)과 7.11(1.60~15.87)로 나타났다.

리기다소나무와 낙엽송 인공림 조사 대상지는 우리나라 산림 토양의 A층 평균 유기물 농도 값이 4.49%임(Jeong et al., 2002)을 고려할 때 유기물 농도가 상대적으로 높음을 알 수 있고, 지역별 유기물 농도 값 또한 모두 변이가 상당히 큰 것으로 나타났다. 이러한 지역 간 토양 유기물 농도 값의 큰 변이는 토양 내 유기물 분해 속도가 기상 조건(온도와 강수량) 등에 의해 영향을 받기 때문이다(Burke et al., 1989; Heath and Smith, 2000; Vance, 2003).

리기다소나무림 내 유기물 평균 농도(%)를 5년 단위의 임령별로 나누어 분석한 결과 26~30년생 3.87, 31~35년생 7.22(3.60~11.72), 36~40년생 5.23(2.59~6.93), 41~45년생 5.92(3.28~8.96), 46~50년생 6.94(6.07~7.80)로 나타났다[Figure 2(D)]. 낙엽송림의 경우 26~30년생 2.62(1.60~3.64), 31~35년생 5.76(3.23~7.28), 36~40년생 8.54(8.03~9.05), 41~45년생 8.23(6.35~10.10), 55년생 이상 11.10(6.33~15.87)으로 나타났다[Figure 3(D)]. 낙엽송 인공림에서는 임령이 증가함에 따라 토양 내 유기물 농도가 증가하는 경향($r=0.664$)을 보였는데, 이러한 상관관계는 기존의 연구 결과와도 일치한다(Noh et al., 2010; Peichl and Arain, 2006; Smithwick et al., 2009; Vesterdal et al., 2008).

6. 양이온치환용량

리기다소나무 인공림 조사지 내 지역별 평균 양이온치환용량($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)은 경기도 조사지 16.37(11.50~21.99), 강원도 조사지 22.67(13.40~29.89), 전라북도 조사지는 18.45, 전라남도 조사지 33.83, 경상북도 조사지 12.94(12.16~13.72)로 나타났다(Table 2). 낙엽송 인공림 조사지 내 지역별 평균 양이온치환용량($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)은 경기도 조

Table 3. The correlation coefficient (r) between soil pH and soil chemical properties in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations.

	T.N.	Avail. P.	O.M.	C.E.C.	Exch. cations			
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Soil pH of <i>Pinus rigida</i>	-0.098	-0.471	-0.278	0.007	0.706**	0.788**	0.746**	0.237
Soil pH of <i>Larix kaempferi</i>	-0.236	-0.400	-0.091	-0.357	0.519	0.750*	0.460	0.043

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

사지 11.11(9.80~12.42), 강원도 조사지 24.22(20.83~27.71), 전라남도 조사지 24.71, 경상북도 조사지 27.51(15.86~39.15)로 나타났다(Table 2). 리기다소나무와 낙엽송 인공림 내 양이온치환용량($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) 평균값은 각각 19.13(11.50~33.83), 21.83(9.80~39.15)으로 분석되었다. 한편, 토양 내 양이온치환용량은 토양 pH와 양의 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다(Hwang and Son, 2006; Jeong et al., 2002). 그러나 리기다소나무 인공림에서는 조사지 내 분석 값의 변이가 커서 일정한 상관관계가 나타나지 않았고 낙엽송 인공림 조사지에서는 양이온치환용량과 토양 pH 사이에 약한 부의 상관관계($r = -0.357$)가 나타났다(Table 3).

리기다소나무 인공림 내 평균 양이온치환용량($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)을 5년 단위의 임령별로 나누어 분석한 결과 26~30년생 13.72, 31~35년생 21.59(11.50~33.83), 36~40년생 16.94(12.16~26.88), 41~45년생 18.85(14.30~23.81), 46~50년생 21.58(21.16~21.99)로 나타났다[Figure 2(E)]. 낙엽송인공림의 경우 26~30년생 15.86, 31~35년생 18.45(9.80~24.71), 36~40년생 27.71, 41~45년생 12.42, 55년생 이상 31.64(24.12~39.15)로 분석되었다[Figure 3(E)]. 리기다소나무 인공림 조사지 내 양이온치환용량은 임령이 증가함에 따라 뚜렷한 경향을 보이지 않았지만, 낙엽송 인공림 조사지는 임령 증가에 따라 양이온치환용량도 같이 증가하는 경향을 보였다($r = 0.548$).

7. 치환성양이온

리기다소나무 인공림 조사지 내 지역별 평균 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) 분석 결과 각각 경기도 조사지 1.06(0.38~2.03), 0.21(0.10~0.43), 강원도 조사지 3.22(1.75~5.94), 0.59(0.37~1.07), 전라북도 조사지 4.00, 1.60, 전라남도 조사지 0.97, 0.28, 경상북도 조사지 1.73(0.52~2.94), 0.47(0.14~0.80)로 나타났다(Table 2). 낙엽송 인공림 조사지 내 지역별 평균 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)은 각각 경기도 조사지 1.35(1.24~1.51), 0.30(0.19~0.40), 강원도 조사지 3.24(2.77~3.75), 0.50(0.46~0.53), 전라남도 조사지 0.82, 0.19, 경상북도 조사지 1.28(1.01~1.54), 0.44(0.25~0.63), 경상남도 조사지 0.73, 0.37이다(Table 2). 리기다소나무 인공림 조사지에서는 경기도와 전라남도 조사지의 치환성 Ca²⁺은 낮은 수준이었

고, 치환성 Mg²⁺은 전라북도 조사지에서 가장 높았다. 낙엽송 인공림 조사지에서는 전라남도와 경상남도 내 조사지의 치환성 Ca²⁺ 평균값이 다른 지역에 비하여 낮은 수준이었다. 리기다소나무 인공림 조사지 내 치환성 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺의 평균 값($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)은 각각 1.94(0.38~5.94), 0.44(0.10~1.60), 0.19(0.08~0.36), 0.06(0.01~0.12), 낙엽송 인공림에서는 각각 1.79(0.73~3.75), 0.38(0.19~0.63), 0.21(0.10~0.39), 0.08(0.03~0.25)로 분석되었다.

리기다소나무 인공림 내 평균 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)을 5년 단위의 임령별로 나누어서 분석한 결과 각각 26~30년생 2.94, 0.80, 31~35년생 1.48(0.83~2.05), 0.31(0.12~0.41), 36~40년생 1.46(0.38~4.54), 0.24(0.10~0.73), 41~45년생 3.79(1.44~5.94), 1.03(0.43~1.60), 46~50년생 1.26(1.04~1.48), 0.30(0.29~0.31)로 조사되었다(Figure 2F, G). 낙엽송 인공림에서 평균 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)은 각각 26~30년생 1.54, 0.63, 31~35년생 1.70(0.82~2.77), 0.34(0.19~0.50), 36~40년생 2.53(1.31~3.75), 0.36(0.19~0.53), 41~45년생 0.98(0.73~1.24), 0.38(0.37~0.40), 50년생 이상 2.10(1.01~3.19), 0.36(0.25~0.46)으로 분석되었다[Figure 3(F), (G)]. 리기다소나무 인공림 조사지 내 36~45년생의 Ca²⁺ 농도와 41~45년생 치환성 Mg²⁺ 평균값이 가장 높았으며 임령에 따라 변이가 크게 나타났다. 낙엽송 인공림 조사지 토양 내 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺ 역시 임령 증가에 따라 일관된 경향을 보이지 않았다. 한편, 두 인공림에서 임령에 따른 치환성 K⁺은 일정한 경향을 보이지 않았지만, 치환성 Na⁺은 임령이 증가함에 따라 감소하는 약한 부의 상관관계를 보였다(리기다소나무 $r = -0.304$, 낙엽송 $r = -0.323$)[Figure 2(H), (I), Figure 3(H), (I)].

치환성양이온과 토양 pH와의 상관관계를 분석한 결과 리기다소나무 인공림에서는 강한 정의 상관관계(치환성 Ca²⁺: $r = 0.706$, 치환성 Mg²⁺: $r = 0.788$, 치환성 K⁺: $r = 0.746$)를 보였고, 낙엽송 인공림에서는 약한 정의 상관관계(치환성 Ca²⁺: $r = 0.519$, 치환성 Mg²⁺: $r = 0.750$, 치환성 K⁺: $r = 0.460$)를 나타냈다(Table 3). 본 결과는 토양 내 치환성 양이온은 pH와 비례관계를 갖고 있으며 그 중에서도 토양 산성화가 심하면 치환성 Ca²⁺이 낮게 나타난다는 기존 보고(Hwang and Son, 2006; Jeong et al., 2002)와 일치

하는 것이다. 한편, 일반적으로 산림 토양에서 치환성 양이온은 $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > Na^{+}$ 순으로 나타난다고 알려져 있는데(Jin et al., 1994), 본 연구 결과도 위와 같은 순으로 나타났다.

결론

본 연구는 리기다소나무와 낙엽송 인공림 내에서 지역 및 임령별로 조사된 토양 특성 자료를 분석하여 향후 조림 사업에 필요한 입지 관련 기초 자료를 수집하기 위하여 수행하였다. 리기다소나무 인공림 내 대부분의 토양 특성은 임령에 따라 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 그러나, 낙엽송 인공림 내 전질소 및 유기물 농도는 임령에 따라, 그리고 리기다소나무 인공림 내 치환성양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+})은 토양 pH와 유의하게 증가하는 정적 상관관계를 보였다. 두 인공림에 대한 지역 및 임령별 토양 특성 분석 결과는 리기다소나무와 낙엽송 별채 후 조림목의 생육특성 및 입지환경 구명과 토양 양분 특성 등을 고려한 맞춤형 조림수종 선정에 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 입지 특성이 고려된 식재 시험을 통하여 현지 적용 가능한 조림 기술을 개발하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 국립산림과학원 리서치 펠로우십의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- Burke, I.C., Yonker, C.M., Parton, W.J., Cole, C.V., Flach, K., and Schimel, D.S. 1989. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic content in U.S. grassland soils. *Soil Science Society of America Journal* 53: 800-805.
- 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).
- Garten, C.T. Jr., Huston, M.A., and Thomas, C.A. 1994. Topographic variation of soil nitrogen dynamics at Walker branch watershed, Tennessee. *Forest Science* 40(3): 497-512.
- Heath, L.S. and Smith, J.E. 2000. Soil carbon accounting and assumptions for forestry and forest-related land use change. In: Joyce, L.A., and Birdsey, R. (eds) *The impact of climate change on America's forests. A technical document supporting the 2000 USDA Forest service RPA Assessment. general technical report RMRS-GTR-59. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colo., pp. 89-101.*
- 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).
- Jeong, J.H., An, B.Y., and Kang, Y.H. 1998. Distribution and physico-chemical properties of forest soils in Namsan, Seoul. *Forest Research Institute Journal of Korean Forest Society* 57: 204-212 (in Korean with English abstract).
- Jin, H.O., Yi, M.J., Shin, Y.O., Kim, J.J., and Jeon, S.K. 1994. *Forest Soil*. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 324 (in Korean).
- KFS. 2012a. 42th Statistical Yearbook of Forestry. Korea Forest Service. pp. 491 (in Korean).
- KFS 2012b. Annual Action Plan of Forest Resources. Korea Forest Service. pp. 311 (in Korean).
- Kim, C. 1999. Aboveground nutrient distribution in pitch pine (*Pinus rigida*) and Japanese larch (*Larix leptolepis*) plantations. *Journal of Korean Forestry Society* 88(2): 266-272.
- Kim, C. and Cho, H.S. 2004. Quantitative comparisons of soil carbon and nutrient storage in *Larix leptolepis*, *Pinus densiflora* and *Pinus rigitaeda* plantations. *Korean Journal of Ecology* 27(2): 67-71.
- Kim, D.Y. and Hwang, I.C. 1998. Soil acidification and soil buffer capacity change in urban forests of seoul area. *Journal of Korean Forest Society* 87(2): 188-193 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.S., Son, Y., Lim, J.H., and Kim, Z.S. 1996. Aboveground biomass, N and P distribution, and litterfall in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantations. *Journal of Korean Forest Society* 85(3): 416-425 (in Korean with English abstract).
- Lee, D.K. and Kim, G.T. 1997. Tree form and biomass allocation of *Quercus* species, *Larix leptolepis*(Sieb. et Zucc.) gordon and *Pinus koraiensis* Seib. et Zucc. in Kwangju-Grn, Kyunggi-Do. *Journal of Korean Forest Society* 86(2): 208-213 (in Korean with English abstract).
- 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, Gyeonggi province. *Journal of Korean Forest Society* 93(5): 349-359 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.W. 1981. Studies on forest soils in Korea (II). *Journal of Korean Forest Society* 54: 25-35 (in Korean with English abstract).

- Lee, S.W. and Park, G.S. 2001. Experimental assessment of forest soil sensitivity to acidification (I) -Application of prediction models for acid neutralization responses-. Journal of Korean Forest Society 90(1): 133-138 (in Korean with English abstract).
- Noh, N.J., Son, Y., Lee, S.K., Seo, K.W., Heo, S.J., Yi, M.J., Park, P.S., Kim, R.H., Son, Y.M., and Lee, K.H. 2010. Carbon and nitrogen storage in an age-sequence of *Pinus densiflora* stands in Korea. Science China Life Science 53(7): 822-830.
- Peichl, M. and Arain, M.A. 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. Agricultural and Forest Meteorology 140(1-4): 51-63.
- SAS Institute Inc. 2009. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary.
- Smithwick, E.A.H., Kashian, D.M., Ryan, M.G., and Turner, M.G. 2009. Long-term nitrogen storage and soil nitrogen availability in post-fire lodgepole pine ecosystems. Ecosystems 12: 792-806.
- Son, Y. and Lee, I.K. 1997. Soil nitrogen mineralization in adjacent stands of larch, pine and oak in central Korea. Annals of Forest Science 54(1): 1-8.
- Vance, E.D. 2003. Approaches and technologies for detecting changes in forest soil carbon pools. Soil Science Society of America Journal 67: 1582.
- Vesterdal, L., Schmidt, I.K., Callesen, I., Nilsson, L.O., and Gundersen, P. 2008. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. Forest Ecology and Management 255(1): 35-48.

(2013년 9월 5일 접수; 2013년 11월 21일 채택)