

간벌 후 붉가시나무 임분의 토양 특성 변화

황재홍^{1*} · 이상태¹ · 박남창¹ · 최재채¹ · 신현철¹ · 이경제¹ · 이광수²

¹국립산림과학원 남부산림연구소, ²국립산림과학원 산림생산기술연구소

Changes in Soil Chemical Properties after Thinning in *Quercus acuta* stand

Jaehong Hwang^{1*}, Sang-Tae Lee¹, Nam-Chang Park¹, Jae-Chae Choi¹, Hyun-Cheol Shin¹, Kyung-Jae Lee¹ and Kwang-Soo Lee²

¹Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea
²Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-820, Korea

요약: 본 연구는 전남 완도수목원 내 붉가시나무 임분을 대상으로 간벌이 토양의 화학적 특성 변화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다. 간벌은 흉고 직경급 10 cm일 때의 상수리나무 잔존 본수를 기준으로 실시하였으며, 토양 시료는 간벌 후 7년이 경과한 이후 채취하였다. 간벌 후 토양 pH는 대조구와의 차이가 나타나지 않았으나, 토양 유기물, 전질소 및 유효인산 농도는 간벌 처리구가 대조구에 비해 높았다. 간벌 후 토양 내 양이온치환용량(C.E.C)과 치환성 양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) 농도 역시 증가하였다. 붉가시나무 임분 내 토양의 양분 농도를 조사한 결과 일반 산림 토양에 비해 낮은 것으로 조사되어, 적절한 간벌 등을 통한 난대림 임분 개선과 갱신을 위한 시업방안 개발이 보다 체계적으로 마련되어야 한다고 판단된다.

Abstract: This study was carried out to investigate the changes in soil chemical properties after thinning for a *Quercus acuta* stand in Wan-do Arboretum, Jeollanam-do. The stem density after thinning was determined referring to that of *Quercus acutissima* with 10 cm diameter at breast height and soil samples were collected 7 years after thinning. There was no considerable difference in soil pH values after thinning. However, the concentrations of soil organic matter, total nitrogen and available phosphorus significantly increased after thinning. In addition, thinning significantly increased cation exchange capacity (C.E.C) and the concentrations of exchangeable cations (K⁺, Na⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺). From this study, it was revealed that the nutrient concentrations of this study site were generally lower than those of other forest soils. Therefore, it is needed to improve the warm temperate forests through thinning and to develop forest treatment for regeneration.

Key words : *Quercus acuta*, regeneration, soil chemical properties, thinning, warm temperate forest

서론

토양의 특성은 토양 생성 과정, 기후 및 임목의 생장 등으로 인해 시간적으로 그리고 공간적으로 변화하는 특성을 가지고 있으며(Starr *et al.*, 1995), 지상부에 존재하는 식생에 의해서도 달라진다(Binkley, 1994; Sanborn, 2001; Chen and Li, 2003). 또한, 산림 경영과 기후 조건 등에 따라 우점하는 식생과 낙엽의 분해 등이 변화하게 되면 그 토양 특성과 비옥도가 변하게 되며(Takahashi, 1997), 산림 시업 과정 중에 발생할 수 있는 낙엽층의 교란이나 뿌리 활동의 감소 등도 미세 기후의 변화로 인해 토양 미

생물과 소동물들의 활동에 큰 영향을 줄 수 있다(Prescott, 1997).

지금까지 많은 연구자들에 의해 산림 내에서 이루어지는 다양한 시업이 토양의 화학적 특성에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였지만(Boerner and Sutherland, 1997; Martinez and Perry, 1997; Parker *et al.*, 2001; Frank and Stuanes, 2003), 이들이 수행한 연구의 대부분은 질소 시비에 의한 토양 특성의 변화(Priha and Smolander, 1995; Johnson *et al.*, 1997; Emmett, 1999)와 질소무기화와 관련된 것(Beke *et al.*, 1995; Son *et al.*, 1999; Giardina *et al.*, 2001)이 대부분이었으며, 국내의 경우도 산림 내 석회 시비가 토양 특성의 변화에 미치는 영향에 관한 연구 등이 일부 수행되었지만(박현 등, 1998; 유정환

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

등, 1998), 간벌이 산림 토양의 특성에 미치는 영향에 관한 연구는 부족한 실정이다. 왜냐하면, 현재 다양한 임분을 대상으로 여러 목적으로 간벌을 실시하고 있으나, 간벌이 토양에 미치는 물리적 그리고 화학적 특성 변화에 관한 연구는 장시간의 연구기간이 소요되기 때문이다. 또한, 국내의 경우 인공림인 리기다소나무와 낙엽송 임분을 대상으로 간벌 직후의 토양 특성 변화와 관련한 연구가 수행되었지만(Hwang and Son, 2006), 간벌 실시 후 어느 정도의 시간이 경과한 후 간벌지를 대상으로 진행한 연구와 특히, 난대림을 대상으로 실시된 간벌이 여러 토양 특성에 미치는 연구 결과는 더욱 찾기 어렵다.

붉가시나무(*Quercus acuta* Thunb.)는 우리나라 도서 지방 및 남부지방을 중심으로 분포하며 난대상록활엽수를 대표하는 수종 중 하나로서, 난대림 임분 시업 기술과 훼손이 심각해져가는 이들 임분의 갱신을 위한 시업 방안 개발을 위해서도 연구가 수행되어야 하는 중요한 수종 중 하나이다. 본 연구는 간벌이 붉가시나무 임분 내 토양의 화학적 특성 및 이들의 상관관계에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시행되었다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

전라남도 완도군 완도수목원 내 붉가시나무의 임분 유형은 단순 붉가시나무림, 붉가시나무-동백나무 군락, 붉가시나무-개서어나무 군락, 붉가시나무-졸참나무 군락 등 크게 4개의 군락으로 분류되는데(김상오 등, 2002), 그 중 본 연구 대상지는 붉가시나무가 우점하고 있는 임분으로, 서쪽 사면에 위치하고 있으며, 경사는 20~25°, 토양배수는 양호하고 하층에는 동백나무(*Camellia japonica* L.), 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum* var. *intermedium* N.), 생달나무(*Cinnamomum japonicum* S.), 황칠나무(*Dendropanax moribifera* L.) 및 사스레피나무(*Eurya japonica* T.) 등이 출현하고 있다. 조사대상지의 붉가시나무림은 맹아에 의해 갱신된 이차림으로 구성되어 경급이 낮은 것으로 조사되었으며, 임분의 평균 수령 분포는 20~30년생이 주를 이루고 있다(이상태 등, 2005). 완도 지역의 최근 10년간 평균 1월 최저 온도, 8월 최고 온도, 연평균 온도 및 강수량은 각각 -0.8°C, 29.6°C, 14.1°C, 1,710 mm이었다(기상청, 2006).

2. 간벌처리

1998년 전라남도 완도수목원 내 붉가시나무 임분을 대상으로 20 m×20 m의 대조구 및 간벌 처리구를 3반복으로 조성한 후 흉고 직경과 수고 등을 매목 조사하였다. 간벌 처리구 내 간벌 강도는 흉고 직경급 10 cm일 때의 상

Table 1. The characteristics for *Quercus acuta* stand.

	Mean DBH (cm)		Mean height (m)		Stem density (trees/ha)
	1998	2003	1998	2003	
Control	9.3	10.5	10.7	11.7	2,383
Thinning	9.1	13.7	10.5	11.9	892

수리나무 잔존 본수(880본/ha)를 기준으로 실시하였다. 간벌목은 처리구 밖으로 제거하였으며, 간벌 후 5년이 경과한 2003년에 임분의 변화상을 파악하기 위하여 추가적으로 매목 조사를 실시하였다(Table 1).

3. 양분 분석

토양 양분 분석용 시료는 간벌 처리 후 7년이 경과한 2005년 5월 대조구 및 간벌 처리구 내 임의의 장소 5곳에서 낙엽층을 걷어 낸 후 직경 5 cm 토양 채취기를 이용하여 토심 10 cm까지의 시료를 채취하였으며, 채취한 토양 시료는 충분히 기건 시킨 후 2 mm 체로 친 다음 양분 분석에 이용하였다. 토양 특성 변화는 7년이 경과한 후의 대조구와 간벌 처리구 간의 비교로 판단하였다. 토양 pH는 pH meter(Orion 501)을 이용하여 1:5 증류수법을 이용하였고, 전질소는 Indophenol-blue법, 유효인산은 Lancaster법, 유기탄소는 Tyurin법, 양이온치환용량은 간이법, 치환성 양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)은 ammonium acetate로 침출시킨 후 ICP(optima 4300D, Perkin Elmer)로 각각 측정하였으며(농업기술연구소, 1988), T-test를 실시하여 간벌 실시 후 각 양분별 유의차를 검증하였다(SAS, 1998).

결과 및 고찰

1. 토양 pH

토양 pH는 대조구 5.02, 간벌처리구 5.05로 나타나 간벌에 따른 토양 산도의 변화는 나타나지 않았으며(Table 2), 기 보고된 난대 지역 주요 수종인 구실잣밤나무 임분의 토양 pH 5.22와 황칠나무 임분 5.29보다 토양 산도가 높았다(강진택 등, 2002). 간벌을 실시하면 분해되기 유리한 조건을 형성하여 유기물의 분해가 촉진되고 이로 인해 토양 pH를 상승시키는 것으로 보고되어 있으나(Boerner and Sutherland, 1997), 본 연구에서는 그 차이가 나타나지 않았다. Hwang과 Son(2006)이 리기다소나무와 낙엽송 임분을 대상으로 연구한 결과에서도 50% 강도로 실시한 간벌이 토양 산도에 미치는 영향은 없는 것으로 보고하였으며, *Pinus contorta* 임분을 대상으로 개벌을 실시한 후 토양 산도에 미치는 영향을 연구한 보고에서도 개벌 후 토양 산도의 변화는 없는 것으로 나타났다(Giardina and Rhoades, 2001). 이와 같은 상이한 결과는 토양 시료 채취 깊이와 간벌 실시 후 경과된 시간이 서로 다르기 때문으로 사료

Table 2. Changes in soil chemical characteristics for *Quercus acuta* stand after thinning.

	Control	Thinning
pH	5.02 (0.07)*	5.05 (0.08)
T-N (g/kg)	0.33 (0.05)	1.49 (0.33)
Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	6.26 (0.68)	11.22 (1.76)
O.M. (g/kg)	41.32 (5.55)	62.76 (7.81)
C.E.C.	7.72 (0.40)	11.68 (0.83)
K ⁺	0.16 (0.02)	0.25 (0.02)
Ca ²⁺ (cmol/kg)	0.65 (0.18)	1.11 (0.15)
Mg ²⁺	0.31 (0.06)	0.90 (0.21)
Na ⁺	0.14 (0.01)	0.18 (0.02)

*Values in parenthesis are one standard error of the mean.

되는데, 왜냐하면, Boerner와 Sutherland(1997)은 1960년대에 간벌을 실시한 후 약 30년이 경과한 후에 측정된 토양 산도 결과를 보고했기 때문이다. 따라서, 간벌이 토양 산도에 미치는 영향은 간벌 초기에는 나타나지 않으며, 더욱이 전체 유효 토심까지 토양 산도를 변화시키지 않는다는 보다 많은 시간이 소요되리라 판단된다.

2. 토양 유기물

토양 유기물 함량(g/kg)은 대조구 41.32, 간벌 처리구 62.76으로 나타나, 간벌 처리 후 토양 유기물 함량이 증가하였다(Table 2). 본 결과는 일반적으로 토양 내 유기물 함량은 간벌 후의 광조건, 토양 온, 습도 등 미세 환경 변화와 낙엽 및 낙지량의 감소 등으로 인해 변화한다는 보고와 일치하는 것이다(Vesterdal *et al.*, 1995; Boerner and Sutherland, 1997; Son *et al.*, 1999). 간벌 후 토양 내 유기물 함량이 증가한 것은 유기물 분해 증가와 뿌리의 고사에서 기인한 것이며(Nakane *et al.*, 1986), 이는 곧 간벌 후 토양 호흡량 증가에 의한 토양으로부터의 토양 탄소의 손실보다 더 많은 양의 탄소가 뿌리 등의 고사로 인해 토양 내로 유입되었음을 의미한다. 한편, 산림 내 표토 토양의 유기물 함량은 토양 미생물과 토양 구조 및 양분과 수분의 유효도에 영향을 주기 때문에 임지의 생산성을 결정하는 주요한 인자로 여겨지므로(Lohm *et al.*, 1984), 향후 본 시험지의 지상부 순일차생산량(NPP)의 증가율도 간벌 시험구 내에서 더 클 것으로 예상된다. 한편, 본 연구에서의 결과와 달리, 벌채 후 토양 내 탄소의 변화가 없음을 보고한 연구도 있는데(Edwards and Ross-Todd, 1983; Johnson, 1992; Mattson and Smith, 1993), 이러한 결과

는 간벌 강도, 토양 시료 채취 깊이 및 토양 유기물 분석 방법이 서로 다르기 때문으로 사료된다.

본 붉가시나무 임분 내 대조구의 토양 유기물은 기 보 고된 구실잣밤나무(5.14%)와 황칠나무(7.69%) 임분보다 낮은 것으로 조사되었는데(강진택 등, 2002), 이와 같이 서로 다른 토양 유기물 함량을 나타내는 이유 중 하나는 같은 기후 조건 하에서도 임분 내 임목 밀도가 서로 다르기 때문이다. 왜냐하면 임목 밀도가 낮은 임분의 경우 하층 식생이 상대적으로 발달하여 이들 뿌리의 고사에 의한 토양 내로 유기물의 유입이 증가하며, 임목 밀도가 낮은 임분에서 높은 임목 밀도를 보이는 임분보다 무기 토양이 상대적으로 조립질의 토성을 갖는 경향이 있으므로 유기물이 보다 용이하게 낙엽층에서 무기 토양층으로 이동하여 유기물 함량이 많아지기 때문이다(Olsson *et al.*, 1996).

3. 전질소

전질소(g/kg)는 대조구에서 0.33, 간벌 처리구에서 1.49로 나타나, 간벌 후 토양 내 전질소가 증가하였음을 알 수 있다(Table 2). 이와 같은 결과는 간벌 후 임내로 유입되는 낙엽 및 낙지량과 세균 고사율의 차이 및 간벌 후 증가한 고사된 뿌리에서 비롯된 것으로 판단된다(Garten, Jr. *et al.*, 1994). 또한, Saikh 등(1998)이 토양 내 유기탄소와 질소의 상관관계수가 낙엽수종 임분에서는 0.98, 그리고 상록수 임분에서는 0.86으로 보고한 것과 같이, 본 연구에서도 간벌 후 토양 내 유기물의 증가가 전질소 농도 증가에 영향을 준 것으로 판단된다.

대조구 내 전질소는 우리나라 A층의 평균 함량인 0.19%와 비교 시 상당히 낮은 것으로 조사되었는데(정진현 등, 2002), 이는 본 붉가시나무 임분 조사지의 유기물 함량 역시 우리나라 A층의 평균 유기물 함량인 4.49%보다 낮은 것과 밀접한 관계가 있으며, 우리나라 난대 상록활엽수림의 경우 햇빛이 임내로 들어오기 힘들 정도로 임분 밀도가 높고, 토양 산도 또한 높아 낙엽 및 낙지가 용이하게 분해되지 않아 두꺼운 낙엽층을 형성하기 때문으로 판단된다.

4. 유효인산

유효인산은 간벌 처리구(11.22 ppm)가 대조구(6.26 ppm)보다 높았다(Table 2). 토양 내 유효인산은 토양 pH와 밀접한 관계가 있는데, 두 임분 간 토양 산도의 차이가 없음에도 불구하고 간벌 처리구 내에서 유효인산이 높은 이유는 간벌 후 증가한 토양 내 유기물에 의해 유효인산의 함량이 증가했기 때문으로 판단되며, 이러한 결과는 붉가시나무가 우점하는 본 연구 조사지의 경우 유기물이 주요한 인의 공급원임을 알 수 있다. 본 연구 조사지의 유효인산 역시 우리나라 A층의 평균 유효인산 함량인 25.6 ppm보

Table 3. Correlation coefficients among soil chemical properties in *Quercus acuta* stand.

	pH	O.M.	T-N	Avail. P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	C.E.C.
Control	pH	1.000							
	O.M.	0.1331	1.000						
	T-N	-0.016	-0.418	1.000					
	Avail. P	-0.377	0.216	-0.544	1.000				
	K ⁺	0.552	-0.269	0.189	-0.725*	1.000			
	Na ⁺	0.182	0.268	-0.439	0.138	0.144	1.000		
	Ca ²⁺	0.894**	-0.132	-0.011	-0.457	0.785*	0.364	1.000	
	Mg ²⁺	0.911**	0.156	-0.041	-0.581	0.741*	0.284	0.890**	1.000
	C.E.C.	0.405	-0.178	0.314	-0.733*	0.911**	0.110	0.594	0.672*
Thinning	pH	1.000							
	O.M.	-0.601	1.000						
	T-N	0.043	0.772	1.000					
	Avail. P	-0.683*	0.796	0.514	1.000				
	K ⁺	-0.076	0.363	0.716*	0.447	1.000			
	Na ⁺	0.446	0.338	0.876**	0.097	0.574	1.000		
	Ca ²⁺	0.278	0.224	0.746*	0.203	0.840**	0.759*	1.000	
	Mg ²⁺	0.554	0.283	0.837**	0.052	0.614	0.965**	0.812**	1.000
	C.E.C.	-0.309	0.958**	0.904**	0.790*	0.764*	0.629	0.630	0.601

- Asterisks refer the level of significant at the 0.05 (*) and 0.01 (**), respectively.

다 낮았으나(정진현 등, 2002), 강진택 등(2002)이 보고한 구실잣밤나무 임분의 5.33 ppm과 황칠나무 임분의 5.29 ppm과는 유사한 값을 보이고 있다.

5. 양이온 치환용량 및 치환성 양이온

양이온 치환용량(cmol/kg)은 간벌 처리구(11.68)가 대조구(7.72)보다 높았으나, 우리나라 산림 토양(A층)의 평균인 12.5보다는 낮았다. 치환성 양이온인 칼륨, 나트륨, 칼슘, 및 마그네슘 농도(cmol/kg)는 각각 대조구에서 0.16, 0.14, 0.65, 0.31, 간벌 처리구에서 0.25, 0.18, 1.11, 0.90로 간벌 처리구에서 모두 높았으며(Table 2), 일반적으로 산림토양에서 나타나는 $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > Na^{+}$ 순으로 감소한다는 경향과 일치하였다(정진현 등, 2002). 토양 내 칼륨 농도는 간벌 후 그 농도가 낮아진다고 보고된 바 있으나(Olsson, 1999; Hwang and Son, 2006), 본 연구에서는 반대로 증가하였는데, 간벌 후 유기물층의 분해 촉진으로 이동성이 좋은 칼륨이 토양 내로 대량 유입되었기 때문으로 판단된다. Hwang and Son(2006)도 리기다소나무 임분 내에서 간벌 후 토양 내 나트륨 농도가 증가하였다고 보고하였다. 토양 내 칼슘과 마그네슘 농도가 증가한 것은 칼륨과 같이 간벌 후 임내에서의 온도와 수분 함량의 증가로 인한 유기물층의 분해 촉진 때문으로 판단된다(Boerner and Sutherland, 1997).

6. 상관 분석

토양의 화학적 특성 간 상관 분석을 실시한 결과 대조구와 간벌 처리구 내에서 K⁺와 Ca²⁺(p<0.05), K⁺와

C.E.C.(p<0.05) 그리고 Ca²⁺와 Mg²⁺(p<0.01)은 정의 상관을 나타내었으나, 유효인산과 C.E.C.는 대조구에서 음의 상관(p<0.05), 간벌 처리구에서는 양의 상관(p<0.05)을 보였다(Table 3). 토양 산도와 Ca²⁺ 및 Mg²⁺은 대조구에서 정의 상관(p<0.01)을 나타내었다. 간벌 실시 후 토양 내 전질소와 치환성 양이온(p<0.05) 및 C.E.C.(p<0.01) 그리고 토양 유기물과 C.E.C.(p<0.01)는 대조구와 달리 정의 상관을 보여, 본 연구의 결과와 같이 간벌 후 증가한 토양 내 유기물과 전질소로 인해 상호 연관성이 높아지면서 토양 내 양분 상태가 개선되었음을 알 수 있다.

결론

난대림을 보다 체계적으로 관리하고 보존하기 위한 다양한 시범법 개발이 필요한 시점에서 우리나라 난대림을 대표하는 수종 중 하나인 붉가시나무 임분을 대상으로 간벌이 토양의 화학적 특성 변화에 미치는 영향을 알아보고자 본 연구를 실시하였다. 연구 결과 현 조사지의 경우 높은 임분 밀도로 인해 유기물층의 분해가 제한을 받으며, 이로 인해 임분 내 양분 순환이 효율적으로 이루어지고 있지 못하여 일반 산림 토양에 비해 현저히 낮은 양분 상태를 보이고 있었다. 간벌 실시 후 토양 산도를 제외하고 유기물, 전질소, 유효인산 및 치환성양이온 농도가 증가하는 것으로 나타나, 간벌 실시에 따른 유기물층의 분해 촉진이 단기간에 붉가시나무 임분의 토양 내 양분 함량 개선에 긍정적인 역할을 한 것으로 나타났다. 하지만 간벌 실시 후 7년이 경과한 후에 비로소 우리나라 산림토양 평

균값과 유사한 결과를 나타내었기에, 난대림 임분을 대상으로 한 양분 순환의 해석과 관련한 보완 연구가 필요하다. 또한, 주요 난대 수종들을 대상으로 적정 간벌 강도의 규명과 같은 관련 연구가 진행되어야 할 것이다. 임내 양분 순환과 관련한 부분에 있어 유효 토심까지 간벌의 영향을 파악하기 위해서는 상당히 오랜 연구 기간이 소요되므로, 보다 장기적인 관점에서의 토양의 화학적인 특성뿐만 아니라 물리적인 특성 변화와 관련한 연구도 함께 추진되어야 할 것이다.

인용문헌

- 강진택, 박남창, 정영관. 2002. 토양의 이화학적 성질이 난대지역의 구실잣밤나무와 황칠나무 생장에 미치는 영향. *한국임학회지* 91(6): 679-686.
- 기상청. 2006. 기후정보. http://www.kma.go.kr/kor/weather/climate/climate_03_01.jsp (2006. 5. 3).
- 김상오, 진상철, 오찬진. 2002. 완도난대림수목원 지역 붉가시나무림의 삼림군락구조. *한국임학회지* 91(6): 781-792.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법(토양, 식물체, 토양미생물). 농촌진흥청. 농업기술연구소. pp.450.
- 박 현, 유정환, 이충화, 변재경, 김영걸. 1998. 석회처리와 시비가 산림토양의 화학적 특성, 세균 및 효소 활성에 미치는 영향. *산림과학논문집* 58: 178-183.
- 유정환, 변재경, 김춘식, 이충화, 김영걸, 이원규. 1998. 산성화된 산림토양에 석회, 황산고토 및 복합비료 시비가 토양의 화학적 성질에 미치는 영향. *한국임학회지* 87(3): 341-346.
- 이상태, 손영모, 이경재, 황재홍, 최재채, 신철현, 박남창. 2005. 붉가시나무 간벌강도에 따른 지상부 탄소고정량에 관한 연구. *한국농림기상학회지* 7(4): 282-288.
- 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. *한국임학회지* 91(6): 694-700.
- Beke, G.J., Graham, D.P. and Entz, T. 1995. Nitrate-N, ammonium-N, and organic matter in relation to profile characteristics of Dark Brown Chernozemic soils. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 55-61.
- Binkley, D. 1994. The influence of tree species on forest soils-processes and patterns. In: *Trees and Soil Workshop Proceedings*, Lincoln University, Christchurch, New Zealand, 28 Feb. -2 Mar. 1994
- Boerner, R.E.J. and Sutherland, E.K. 1997. The chemical characteristics of soil in control and experimentally thinned plots in mesic oak forests along a historical deposition gradient. *Applied Soil Ecology* 7: 59-71.
- 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: 97-206.
- Edwards, N.T. and Ross-Todd, B.M. 1983. Soil carbon dynamics in a mixed deciduous forest following clear-cutting with and without residue removal. *Soil Science Society of America Journal* 47: 1014-1021.
- Emmett, B.A. 1999. The impact of nitrogen on forest soils and feedbacks on tree growth. *Water, Air and Soil Pollution* 116: 65-74.
- Frank, J. and Stuanes, A.O. 2003. Short-term effects of liming and vitality fertilization on forest soil and nutrient leaching in a Scots pine ecosystem in Norway. *Forest Ecology and Management* 176: 371-386.
- Garten, Jr. C.T., Huston, M.A. and Thoms, C.A. 1994. Topographic variation of soil nitrogen dynamics at Walker branch watershed, Tennessee. *Forest Science* 40(3): 497-512.
- 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: 19-28.
- Giardina, C.P., Ryan, M.G., Hubbard, R.M. and Binkley, D. 2001. Tree species and soil textural controls on carbon and nitrogen mineralization rates. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1272-1279.
- 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: 671-680.
- Johnson, D.W. 1992. Effects of forest management on soil carbon storage. *Water, Air and Soil Pollution* 64: 83-120.
- Johnson, D.W., Ball, J.T. and Walker, R.F. 1997. Effects of CO₂ and nitrogen fertilization on vegetation and soil nutrient content in juvenile ponderosa pine. *Plant and Soil* 190: 29-40.
- Lohm, U., Larsson, K. and Nommik, H. 1984. Acidification and liming of coniferous forest soil: long-term effects on turnover rates of carbon and nitrogen during an incubation experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 16(4): 343-346.
- Martinez, A.V. and Perry, D.A. 1997. Factors influencing the availability of nitrogen in thinned and unthinned Douglas-fir stands in the central Oregon Cascades. *Forest Ecology and Management* 93: 195-203.
- Mattson, K.G. and Smith, H.C. 1993. Detrital organic matter and soil CO₂ efflux in forests regenerating from cutting in West Virginia. *Soil Biology and Biochemistry* 25(9): 1241-1248.
- Nakane, K., Tsubota, H. and Yamamoto, M. 1986. Cycling of soil carbon in a Japanese red pine forest II. Changes occurring in the first year after a clear-felling. *Ecological Research* 1: 47-58.
- Olsson, B.A. 1999. Effects of biomass removal in thinning and compensatory fertilization on exchangeable base cation pools in acid forest soils. *Forest Ecology and Man-*

- agement 122: 29-39.
27. Olsson, B.A., Staaf, H., Lundkvist, H., Bengtsson, J. and Rosn, K. 1996. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management* 82: 19-32.
 28. Parker, J.L., Fernandez, I.J., Rustad, L.E. and Norton, S.A. 2001. Effects of nitrogen enrichment, wildfire, and harvesting on forest-soil carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1248-1255.
 29. Prescott, C.E. 1997. Effects of clearcutting and alternative silvicultural systems on rates of decomposition and nitrogen mineralization in a coastal montane coniferous forest. *Forest Ecology and Management* 95: 253-260.
 30. Priha, O. and Smolander, A. 1995. Nitrification, denitrification and microbial biomass N in soil from two N-fertilized and limed Norway spruce forests. *Soil Biology and Biochemistry* 27(3): 305-310.
 31. 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: 137-145.
 32. Sanborn, P. 2001. Influence of broadleaf trees on soil chemical properties: A retrospective study in the sub-boreal spruce zone, British Columbia, Canada. *Plant and Soil* 236: 75-82.
 33. SAS. 1988. *SAS/STAT User's Guide*, 6.03 Ed.; SAS Institute, Cary, North Carolina, 1028 pp.
 34. Son, Y., Lee, W.-K., Lee, S.E. and Ryu, S.R. 1999. Effects of thinning on soil nitrogen mineralization in a Japanese larch plantation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30(17&18): 2539-2550.
 35. Starr, J.L., Parkin, T.B. and Meisinger, J.J. 1995. Influence of sample size on chemical and physical soil measurements. *Soil Science Society of America Journal* 59: 713-719.
 36. Takahashi, M. 1997. Comparison of nutrient concentrations in organic layers between broad-leaved and coniferous forest. *Soil Science and Plant Nutrition* 43(3): 541-550.
 37. 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: 1-10.

(2006년 7월 18일 접수; 2006년 11월 28일 채택)