

窒素 施肥와 間伐이 잣나무 當年生 針葉과 小枝의 生長 및 養分에 미치는 影響^{1*}

孫堯丸^{2*} · 黃在禹³ · 李道煥³ · 金鍾成⁴ · 梁受暎²

Effects of Nitrogen Fertilization and Thinning on Growth and Nutrition of Current Needle and Twigs in *Pinus koraiensis*^{1*}

Yowhan Son^{2*}, Jae Woo Hwang³, Do Hyeung Lee³,
Jong Sung Kim⁴ and Soo Young Yang²

요 약

시비와 간벌이 잣나무 당년생 침엽과 소지의 성장 및 양분 상태에 미치는 영향을 연구하기 위하여 용인과 춘천지역에 조성된 잣나무 다수확 품종 클론보존원에서 세 수준의 질소 비료를 2개 임령의 임분에 처리하였고, 양평지역 2개 임령의 임분을 대상으로 세 수준의 간벌을 실시하였다. 질소 시비와 간벌의 효과는 지역과 임령에 따라 큰 차이를 나타내었는데, 질소 시비의 경우는 높은 임령의 소량시비목에서 침엽과 소지의 건량이 증가하였으며, 간벌의 경우는 12년생 임분의 중도 간벌 후 소지의 성장과 소지 내 질소의 농도가 증가하는 현상을 보였다.

ABSTRACT

To investigate the effects of nitrogen fertilization and thinning on growth and nutrition of current - year needle and twigs in *Pinus koraiensis* we treated two clone banks with three levels of nitrogen fertilizer in Yongin and Chuncheon, and also thinned two plantations with three intensities in Yangpyeong. The fertilization and thinning effects greatly varied depending on study sites and stand ages. However, dry weights of needle and twig increased following low nitrogen fertilization in older stands. Moderate thinning increased dry weight and nitrogen concentration of twigs in the 12 - year - old stand.

Key words : growth, needle, nitrogen fertilization, nutrition, *Pinus koraiensis*, thinning, twig

서 론

잣나무 (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)는 한국, 일본, 중국, 러시아 등에 자생하며, 19세기 유럽을 거쳐 현재 전세계에 분포하고 있다 (Mirov,

1967; Vidakovic, 1991). 특히 우리나라에서 잣나무는 주요 조림수종 중의 하나로 그 동안 많은 면적에 식재되었으며, 이에 따라 잣나무와 관련된 많은 연구가 진행되어 왔다 (신준환과 이돈구, 1985; 이경재와 박인협, 1987; 이명종, 1998). 그

¹ 接受 2000年 9月 4日 Received on September 4, 2000.

審査完了 2000年 10月 20日 Accepted on October 20, 2000.

² 고려대학교 산림자원환경학과 Department of Forest Resources and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136 - 701, Korea.

³ 영남대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Yeungnam University, Kyongsan 712 - 749, Korea.

⁴ 고려대학교 자연자원연구소 Institute of Natural Resources, Korea University, Seoul 136 - 701, Korea.

* 본 논문은 농림부 농림기술개발사업에 의해 수행중인 연구과제의 일부 결과임.

* 연락처자 E-mail : yson@korea.ac.kr

러나 지금까지의 잣나무 연구 분야 중 생장과 양분과의 관계나 간벌 등의 산림사업과 양분과의 관련성 등 생리생태 분야의 연구는 상당히 부족한 실정이다. 한편 이전의 여러 연구에서 침엽수에 대한 시비 (Fogal 등, 1999; Heidmann, 1984; Wesoly 등, 1987)와 간벌 (Barnes, 1969; Bilan, 1960; Matthews, 1963; Stenibrenner 등, 1960; Wenger, 1954)이 임목 성장을 증가시키는 것은 물론이고 수체 내 양분 농도를 증가시키며, 개화 및 결실을 촉진하는 것으로 보고된 바 있다. 그러나 아직까지 잣나무에 대하여서는 시비와 간벌의 효과가 침엽과 소지의 생장이나 양분 상태에 미치는 영향이나 나아가서 개화와 결실과의 관련성이 연구된 바가 없다. 따라서 본 연구는 용인, 춘천 및 양평에 조성된 잣나무 5-18년생 임분을 대상으로 질소 시비와 간벌을 실시한 다음 당년생 침엽과 소지에서의 생장 및 양분 상태 변화를 파악하기 위한 목적으로 수행되었다. 연구 결과는 잣나무의 종자 생산을 증대시키기 위한 시비와 간벌의 적절한 사업 체계를 확립하는데 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

재료 및 방법

본 연구에서는 경기도 용인시와 강원도 춘천시에서 식재된 잣나무 다수확 품종 클론보존원에서 질소 시비를 실행하고, 또한 경기도 양평군 잣나무 인공조림지에서 간벌을 실행하였다. 시비처리의 경우 클론보존원 내 임목을 연구 대상으로 하여 임목 생육에 영향을 주는 제반 환경요인을 균일하게 함으로써 처리의 효과를 보다 명확하게 나타내도록 하였다 (Barnes and Bengtson, 1968).

1. 시비 처리

경기도 용인시 기흥읍 고매리 소재 임업연구원 잣나무 다수확 품종 5년생과 17년생 클론보존원에서 질소 시비 처리를 하였다. 17년생 클론보존원은 임목간의 간격이 4m이고, 모든 임목의 생장 상태는 매우 균일하였으며, 임분 내에서 대조목, 소량시비목, 다량시비목으로 각각 10본의 임목을 선정하였다. 2000년 2월 15일 유안 [(NH₄)₂SO₄] 형태의 비료를 소량시비구는 50 kg N/ha, 다량시비구는 200 kg N/ha를 임목 주변 반경 1m 이내에 골고루 살포하였고 대조구는 시비하지 않았다 (Matthews, 1963). 또한 5년생 임분에서도 동

일한 방법으로 대조목, 소량시비목, 다량시비목을 각각 5본씩 선정하고 시비하였다. 17년생 임분의 평균흉고직경과 수고는 14.5cm와 5.8m이었으며, 5년생의 평균수고는 60cm이었다. 한편, 강원도 춘천시 신북읍 천천리 소재 임업연구원 잣나무 다수확 품종 11년생과 17년생 클론보존원에서도 시비실험을 실행하였다. 2개 임분 모두 임목간의 간격은 2m이며, 대조목, 소량시비목, 다량시비목을 17년생 임분에서는 각각 10본씩 그리고 11년생 임분에서는 각각 4본씩 선정하여 전술한 방법으로 시비하였다. 두 임분의 평균흉고직경과 수고는 17년생의 경우 15.4cm와 6.7m, 그리고 11년생은 6.1cm와 3.3m이었다.

2. 간벌 처리

경기도 양평군 양동면 고송리 일대의 잣나무 인공조림지 중에서 방위, 경사 및 고도 등의 입지 환경이 유사한 12년생과 18년생 임분을 선정하였다. 임분의 상태를 감안하여 18년생 임분에는 20m×20m의 방형구를, 그리고 12년생 임분에는 15m×15m 방형구를 각각 3개씩 설치하였다. 방형구 간의 간격은 18년생 임분에서는 최소한 20m, 12년생 임분에서는 15m 이상이 되도록 하였다. 두 임분의 평균수고와 흉고직경은 18년생의 경우 12.8cm와 8.2m, 그리고 12년생 임분은 4.9cm와 4.8m이었다. 2000년 3월 11일에 18년생 임분에서 강도 (1ha 당 550본 잔존, 50% 간벌), 중도 (1ha 당 750본 잔존, 30% 간벌), 그리고 대조 (1ha 당 1100본 잔존) 등 세 종류의 간벌을 실행하였다. 또한 12년생 임분에서도 강도 (1ha 당 840본 잔존, 50% 간벌), 중도 (1ha 당 1290본 잔존, 25% 간벌), 그리고 대조 (1ha 당 1680본 잔존) 등의 간벌을 실행하였다. 이때 간벌 대상목은 임목간의 간격과 생장 상태를 고려하여 선정하였다.

3. 시료 채취 및 분석

시비와 간벌 처리 후 당년생 신초의 생장이 거의 완료된 것으로 보이는 7월 13, 14일 양일간에 걸쳐 질소 시비 처리목 (87본)과 간벌 처리목 (매간벌 강도별로 5본씩 30본) 총 117본의 임목으로부터 시료를 채취하였다. 시료는 잣나무 수관의 가장 높은 위치로부터 아래로 3번째 마디의 남쪽 방향으로 성장한 가지로 하되, 당년생 침엽과 줄기가 완전히 포함되도록 하였다. 채취한 시료는 바로 플라스틱 봉지에 담은 다음 아이스박스에 넣

어 실험실로 운반하였다 (Barnes and Bengtson, 1968). 시료의 당년생 가지 길이와 침엽을 포함한 총길이를 각각 측정하고 소지와 침엽으로 분리하였다. 침엽 가운데 임의로 100개를 골라 엽면적 측정기 (WinNeedle V3.3, Reagent Inc.)로 엽면적을 측정하고 건조시켜 건량을 구한 후 침엽의 건량 당 엽면적인 SLA (specific leaf area, cm^2/g)를 구하였다. 나머지 침엽과 소지도 건조시켜 건량을 구하였다. 침엽과 소지 시료를 분쇄기로 분쇄한 다음 기초과학연구원 서울 분소에서 원소분석기 (Vario EL)로 탄소와 질소의 농도를 측정하였다. 또한 침엽과 소지에서 탄소와 질소 농도 및 이들의 비율을 구하였다. 모든 자료는 SAS (1988)를 이용하여 지역 및 임분의 연령별로 시비와 간벌이 침엽과 소지의 성장 및 양분 농도에 미치는 영향을 통계분석하였고, 처리구간의 차이가 통계적으로 유의한 경우 Duncan's test로 평균값을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 시비 처리의 효과

세 종류의 시비 처리가 침엽에 미치는 영향은 용인의 경우, 5년생 묘목에서 SLA, 탄소의 농도, 질소의 농도, 탄소와 질소의 비 등은 처리 후 변화가 없었으나, 침엽의 건량은 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다 ($p < 0.1$) (Table 1). 17년생 임분의 경우는 SLA, 건량 등에서는 시비 처리 후 차이가 나타났으나, 탄소의 농도, 질소의 농도, 그리고 탄소와 질소의 비 등은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 1). 5년생 묘목에서의 경우와 유사하게 17년생 임분에서도 침엽의 건량은 소량시비목에서 48.52g으로 대조목의 34.19g이나 다량시비목의 29.22g에 비하여 높은 것으로 나타나, 이 지역 잣나무 침엽 성장에는 소량 시비가 가장 효과가 있음을 보이고 있다.

춘천의 11년생 임분의 경우 시비 처리 후 SLA와 침엽의 건량은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았으나 ($p > 0.1$), 침엽 내 탄소와 질소의 농도, 그리고 침엽 내 탄소와 질소의 비 등은 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있다 (Table 1). 특히 질소의 농도는 소량시비목에서 1.27%, 다량시비목에서 1.22%, 대조목에서 1.06%로 소량시비목의 농도가 가장 높게 나타나고 있다. 17년생 임분에서는 시비 후 SLA, 건량, 탄소의 농도

등에서 차이를 나타냈으나, 질소의 농도와 탄소와 질소의 비는 차이를 보이지 않았다 (Table 1). 즉 SLA는 소량시비목에서 $17.32\text{cm}^2/\text{g}$ 로 가장 높고, 다음은 대조목의 $16.75\text{cm}^2/\text{g}$, 다량시비목의 $15.55\text{cm}^2/\text{g}$ 등의 순이었다. 그리고 침엽의 건량은 다량시비목 (39.20g)과 소량시비목 (32.59g) 간에는 차이가 없었으나, 다량시비목은 대조목 (27.71g)에 비하여 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 질소 시비 후 5개월이 경과한 다음 침엽의 성장과 양분의 농도 변화를 측정한 것으로, 결과가 지역과 임령에 따라 차이가 심하여 일반적인 동일한 경향을 보이지 않고 있다. 따라서 시일의 경과에 따른 시비 효과를 분석하기 위해서는 보다 장기간에 걸친 시료 분석이 필요한 것으로 보인다.

연구 결과 나타난 당년생 침엽의 SLA는 14.7 - 18.0 cm^2/g 로써 일반적으로 우리나라의 소나무과 다른 침엽수에서 보고되는 수치에 비하여 낮으며 (Kim 등, 1995; Son 등, 2000), 특히 경기도 양평지역의 3영급 인공조림지에서 측정된 수치인 43 - 52 cm^2/g 에 비하여도 약 절반 수준 이하로 낮게 나타나고 있다 (황재우, 1997 미발표자료). 이는 대부분의 다른 연구에서 SLA 측정을 위한 침엽 채취가 8-9월 중에 이루어지는 것이 보통이나, 본 연구에서는 7월 중순에 침엽을 채취하여 아직까지 당년생 침엽의 생장이 일부 지속되고 있기 때문인 것으로 보인다.

한편, 잣나무를 대상으로 침엽에서의 탄소 농도를 측정한 다른 연구 결과가 없기 때문에 본 연구에서 얻은 탄소 농도 자료를 직접 비교하기는 어렵지만, 잣나무 침엽 내 탄소 농도 수치는 일반적인 산림수종에서 보고되는 농도의 범위 내에 있는 것으로 보인다 (Fisher and Binkley 2000). 또한 침엽에서의 질소 농도 (0.83 - 1.38%)는 시료 채취 시기의 차이가 있기는 하지만, 이명종 (1998)이 보고한 9-66년생 잣나무 전체 침엽의 1.80% 보다는 낮으나, 신준환과 이돈구 (1985)가 보고한 24년생 임목 당년생 침엽의 1.24%와 큰 차이가 없으며, 일반적인 침엽수의 침엽 내 질소 농도와는 유사한 수치를 보이고 있다 (Kimmins 등, 1985). 한편 본 연구에서 사용한 연소에 의한 질소 농도 분석 방법이 기타 연구 결과와의 농도 차이를 가져왔을 가능성도 있는 것으로 보이며, 이는 Johnson과 Todd (1998)의 연구 결과에서도 확인된 바 있다.

질소 시비 후 침엽에서의 건량 또는 질소 농도가 증가한 것이 여러 연구에서 보고된 바 있으나 (Barnes and Bengtson, 1968, Fogal 등, 1999; Pharis 등, 1964; Stephens, 1964), 본 연구에서는 일반적으로 질소 시비 후 침엽 내 질소 농도 변화가 크게 나타나지 않았다. 이는 연구대상 지역의 기존 토양 내 질소 급원의 크기가 크거나 미생물의 흡수로 인한 부동화에 의해 시용한 질소의 영향이 임목에 나타날 수 없었거나 혹은 질산화작용의 결과로 생길 수 있는 것 등 몇 가지 가능성이 있다 (Fogal 등, 1999). 특히 본 연구 대상지는 다수확 품종 클론보존원으로써 일반 임지에 비하여 시비 관리가 철저하여 토양 내 질소 양분 유효도가 시비 처리 이전에 이미 높은 상태를 유지하고 있었을 가능성이 가장 높은 것으로 사료된다.

소지에서는 용인지역 5년생 묘목의 경우 건량,

길이, 탄소의 농도, 질소의 농도, 탄소와 질소의 비 등에서 모두 시비 처리의 효과가 나타나지 않고 있다 ($p>0.1$) (Table 2). 그러나 17년생 임분에서는 건량, 길이, 그리고 탄소의 농도 등에서 시비 처리 후 차이를 나타내고 있다. 특히 건량과 소지의 길이는 소량시비목에서 25.25g과 36.3cm, 대조목에서 17.29g과 30.9cm, 다량시비목에서 13.25g과 27.92cm 등의 순으로 소량시비의 효과가 소지의 생장에 미치는 영향이 큰 것으로 나타나고 있다. 침엽과 소지를 합한 총건량과 총길이는 5년생 묘목에서는 시비 처리의 효과가 나타나지 않고 있으나 ($p>0.1$), 17년생 임분에서는 소량시비목에서 43.51g과 73.77cm로 대조목의 39.02g과 51.49cm나 다량시비목의 37.13g과 42.46cm에 비하여 높은 것으로 나타나 소지에서와 유사하게 소량시비의 효과가 큰 것으로 나타나고 있다.

춘천지역 11년생 임분의 경우 건중량, 길이,

Table 1. Current - year needle SLA (specific leaf area), dry weight, and carbon (C) and nitrogen (N) concentrations of *Pinus koraiensis* stands following fertilization in Suweon and Chuncheon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ($p<0.1$).

Location	Stand age (yr)	Fertilization	SLA (cm ² /g)	Dry weight (g)	C (%)	N (%)	C : N ratio	
Yongin	5	Control	16.33 (2.04)a	11.81 (1.32)ab	49.28 (0.22)a	1.03 (0.06)a	48.72 (2.53)a	
		Low N	16.33 (0.31)a	14.80 (2.20)a	49.71 (0.35)a	1.16 (0.08)a	43.71 (3.25)a	
		High N	18.00 (0.49)a	8.08 (2.09)b	48.84 (0.31)a	1.25 (0.08)a	39.78 (2.67)a	
	17	Control	15.07 (0.58)a	34.19 (3.11)b	48.88 (0.20)a	1.25 (0.04)a	39.40 (1.27)a	
		Low N	14.73 (0.64)a	48.52 (6.02)a	49.41 (0.24)a	1.24 (0.05)a	40.48 (1.68)a	
		High N	16.40 (0.42)a	29.22 (2.23)b	48.92 (0.16)a	1.22 (0.04)a	40.39 (1.28)a	
	Chuncheon	11	Control	16.99 (0.76)a	27.98 (10.33)a	49.43 (0.20)a	1.06 (0.04)b	46.85 (1.85)a
			Low N	15.82 (0.13)a	28.87 (2.85)a	48.61 (0.27)b	1.27 (0.04)a	38.55 (1.26)b
			High N	16.16 (0.37)a	29.19 (5.24)a	49.02 (0.06)ab	1.22 (0.09)ab	41.05 (3.38)ab
17		Control	16.75 (0.86)ab	27.27 (2.25)b	48.86 (0.31)ab	1.30 (0.04)a	37.85 (1.26)a	
		Low N	17.32 (0.19)a	32.59 (1.66)ab	48.46 (0.10)b	1.29 (0.04)a	37.79 (1.21)a	
		High N	15.55 (0.33)b	39.20 (3.74)a	49.52 (0.23)a	1.38 (0.05)a	36.22 (1.28)a	

탄소의 농도, 질소의 농도, 탄소와 질소의 비 등에서 모두 시비 처리 결과가 통계적인 차이를 나타내지 않았다 ($p>0.1$) (Table 2). 그러나 17년생 임분에서는 건량, 길이, 탄소의 농도 등에서 시비 처리 효과가 나타났으며 ($p<0.05$), 질소의 농도와 탄소와 질소의 비에서는 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 17년생 임분의 소지 건량과 길이는 모두 시비처리목에서 대조목 (건량 11.68g, 길이 30.55cm)에 비하여 높게 나타났지만, 다량시비목 (건량 17.55g, 길이 36.38cm)과 소량시비목 (17.89g, 길이 38.90cm) 간에는 차이가 없는 것으로 나타나고 있다. 즉 17년생 임분에서 질소 시비가 소지의 무게와 길이 생장을 촉진시켰지만, 소량과 다량시비에 따른 영향은 없는 것으로 보인다. 한편 침엽과 소지를 합한 총건량과 총길이는 11년생 임분에서 차이를 보이지 않았으나 ($p>0.1$),

17년생 임분에서는 모두 유의한 차이를 나타내었다 ($p<0.05$). 즉 침엽과 소지의 총건량과 총길이가 대조목 (40.09g, 38.95cm)에 비하여 시비처리목 (소량시비목; 48.53g, 50.48cm, 다량시비목; 45.71g, 56.71cm)에서 높게 나타나 시비가 생장을 촉진시킨 것으로 볼 수 있다.

용인과 춘천 2개 지역 모두 17년생 임분에서는 질소 시비가 소지의 생장이나 양분에 영향을 미치고 있으나, 11년생 임분에서는 이러한 시비의 효과가 나타나지 않았다. 이는 임목의 생장에 필요한 토양 질소가 임분 발달 초기에 비교적 충분하여 (Binkley, 1986), 17년생 임분보다는 11년생 임분에서 토양 내 질소 농도가 높은 상태를 보이는데 기인하는 것으로 추정되나, 두 임분간의 토양 내 질소 농도의 차이는 추후 토양 내 전질소는 물론 유효태 질소 농도 측정을 통하여 보다 명확

Table 2. Current - year twig dry weight, length and carbon (C) and nitrogen (N) concentrations of *Pinus koraiensis* stands following fertilization in Suweon and Chuncheon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ($p<0.1$).

Location	Stand age (yr)	Fertilization	Dry weight (g)	Length (cm)	C (%)	N (%)	C : N ratio
Yongin	5	Control	4.18 (0.64)a	17.68 (4.04)a	48.44 (0.07)a	0.65 (0.04)a	76.09 (4.60)a
		Low N	4.30 (0.51)a	14.96 (1.63)a	48.56 (0.18)a	0.62 (0.03)a	79.17 (3.41)a
		High N	3.72 (1.08)a	13.74 (3.48)a	48.54 (0.13)a	0.74 (0.05)a	66.82 (4.42)a
	17	Control	17.29 (1.99)ab	30.90 (1.74)ab	49.12 (0.33)a	0.62 (0.03)a	80.31 (3.62)a
		Low N	25.25 (4.54)a	36.30 (2.61)a	48.40 (0.16)b	0.60 (0.03)a	83.37 (4.25)a
		High N	13.25 (1.20)b	27.92 (1.88)b	48.85 (0.17)ab	0.60 (0.03)a	83.46 (4.09)a
Chuncheon	11	Control	15.10 (5.59)a	34.05 (4.32)a	49.04 (0.21)a	0.68 (0.02)a	72.29 (2.18)a
		Low N	16.60 (1.92)a	36.30 (1.53)a	47.85 (0.57)a	0.66 (0.03)a	72.64 (2.76)a
		High N	17.81 (3.61)a	34.58 (3.61)a	48.49 (0.17)a	0.74 (0.02)a	66.40 (2.03)a
	17	Control	11.68 (1.57)b	30.55 (2.29)b	49.44 (0.17)a	0.60 (0.03)a	84.15 (3.88)a
		Low N	17.89 (1.32)a	38.90 (1.48)a	48.88 (0.13)b	0.59 (0.02)a	82.99 (2.77)a
		High N	17.55 (2.44)a	36.38 (1.94)a	49.24 (0.13)ab	0.62 (0.03)a	81.28 (3.67)a

히 밝혀질 수 있을 것으로 보인다. 한편 소지 내 질소 농도 (0.59 - 0.74%)는 이명종 (1998)이 보고한 잣나무 가지의 0.46%보다는 매우 높은 것이었으며, 이러한 소지에서의 농도 범위는 침엽보다는 낮지만 가지보다는 높은 것이다. 이와 같은 결과는 대부분의 임목 내 양분 분포 연구에서 소지를 굵은 가지와 섞어 분석하였는데 보다 정확히 임목 부위별 양분 농도를 측정하기 위해서는 소지와 굵은 가지를 별도로 분리하여 측정할 필요가 있는 것을 보여주는 것이라 하겠다. 질소 시비 후 침엽수 당년생 소지에서의 질소 농도 증가를 보고한 연구 결과들이 있지만 (Barnes and Bengtson, 1968), 일반적으로 목부는 침엽에 비하여 시비의 효과가 낮게 나타나므로 (Stephens, 1964), 본 연구 결과 질소 시비 후 소지 내 질소 농도가 크게 변화하지 않는 것은 특별한 현상이 아닌 것으로 보인다.

2. 간벌의 효과

간벌 시업 후 12년생과 18년생 임분 모두에서 침엽의 SLA, 건량, 탄소의 농도, 질소의 농도, 그리고 탄소와 질소의 비 등은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 ($p>0.1$) (Table 3). 일반적으로 2개 임령의 임분에서 SLA, 건량, 탄소의 농도, 질소의 농도는 중도의 간벌목에서 가장 높고, 강도의 간벌목, 대조목 등의 순으로 감소하는 경향을 보였으나, 높은 변이 때문에 처리간의 통

계적인 유의성은 없는 것으로 나타났다.

반면에 소지의 경우는 12년생 임분에서 건량, 길이, 질소의 농도, 탄소와 질소의 비 등이 처리구간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.1$). 특히 중도의 간벌목이 대조목에 비하여 건량, 길이, 질소의 농도 등에서 높은 값을 보였으며, 강도의 간벌목과 대조목간에는 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 4). 즉 건량은 중도의 간벌목에서 16.71g으로 대조목의 10.57g에 비하여 높았으나 강도의 간벌목 13.81g과는 차이가 없었다. 또한 소지의 길이는 중도의 간벌목에서 43.76cm로 대조목의 34.58cm보다 길었지만 강도의 간벌목 34.48cm이나 대조목과는 차이가 없었다. 그리고 질소의 농도는 중도의 간벌목에서 0.53%로 대조목의 0.43%나 강도의 간벌목 0.40%보다 높은 것으로 나타났다. 18년생 임분에서는 간벌 후 소지의 건량, 길이, 탄소의 농도, 질소의 농도 등에서는 차이가 나타나지 않았으나 ($p>0.1$), 탄소와 질소의 비에서는 처리구간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 한편 침엽과 소지를 합한 총건량과 총길이에서는 12년생 임분과 18년생 임분 모두 간벌 효과를 나타내지 않았다 ($p>0.1$).

연구 결과 간벌 처리 후 침엽과 소지의 생장이나 양분 상태는 큰 변화가 없는 것으로 보인다. 일반적으로 간벌 후 임분 내 유입되는 광선 및 강수의 증가, 증산의 감소 등으로 토양 내 제반 성

Table 3. Current - year needle SLA (specific leaf area), dry weight, and carbon (C) and nitrogen (N) concentrations of *Pinus koraiensis* stands following thinning in Yangpyeong. One standard error of the mean is in parenthesis.

Stand age (yr)	Thinning intensity	SLA (cm ² /g)	Dry weight (g)	C (%)	N (%)	C : N ratio
12	Control	17.37 (0.83)	20.85 (1.14)	49.06 (0.31)	0.83 (0.03)	59.52 (1.92)
	Moderate	18.42 (0.60)	24.58 (3.28)	48.56 (0.31)	0.92 (0.05)	53.76 (3.04)
	Heavy	17.94 (1.13)	23.49 (4.32)	49.32 (0.33)	0.88 (0.09)	58.26 (5.94)
18	Control	17.28 (0.42)	26.43 (1.76)	48.28 (0.50)	1.13 (0.03)	42.87 (1.21)
	Moderate	17.52 (0.71)	30.21 (2.84)	48.67 (0.21)	1.16 (0.06)	42.24 (2.42)
	Heavy	16.32 (0.61)	25.01 (3.83)	49.07 (0.49)	1.19 (0.04)	41.59 (1.67)

Table 4. Current-year twig dry weight, length and carbon (C) and nitrogen (N) concentrations of *Pinus koraiensis* stands following thinning in Yangpyeong. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ($p < 0.1$).

Stand age (yr)	Thinning intensity	Dry weight (g)	Length (cm)	C (%)	N (%)	C : N ratio
12	Control	10.57 (1.21)b	34.58 (2.69)b	49.20 (0.27)a	0.43 (0.02)b	114.08 (5.94)a
	Moderate	16.71 (1.48)a	43.76 (2.44)a	50.40 (1.35)a	0.53 (0.03)a	95.40 (3.34)b
	Heavy	13.81 (2.60)ab	34.48 (3.22)b	48.41 (0.27)a	0.40 (0.01)b	119.40 (2.52)a
18	Control	11.55 (1.44)a	32.06 (2.63)a	48.61 (0.06)a	0.47 (0.01)a	104.69 (3.34)a
	Moderate	13.73 (2.71)a	34.98 (3.27)a	45.68 (2.61)a	0.55 (0.03)a	84.14 (7.18)b
	Heavy	12.53 (2.66)a	31.12 (4.04)a	48.92 (0.30)a	0.51 (0.03)a	97.49 (6.31)ab

질이 변화되는 데는 상당한 시간의 경과가 필요하나 (Son 등, 1999), 본 연구는 간벌 처리 후 경과한 시간이 짧았기 때문에 토양 내 변화가 나타나지 않아 생장이나 양분에 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다. 한편 이전의 다른 연구에서 간벌로 임목간의 간격을 조절함으로써 임목의 생장과 함께 종자의 결실을 증대시킨 결과가 보고되고 있어 (Barnes, 1969; Bilan, 1960; Matthews, 1963; Stenibrenner 등, 1960; Wenger, 1954), 잣나무에서 종자 생산의 증가를 위한 간벌 시업도 계속 연구할 필요가 있다. 특히 간벌이 종자 생산에 미치는 영향은 시업 후 3-4년이 경과한 다음에 크게 나타난다 (Bilan, 1960; Matthews 1963). 따라서 간벌 처리의 결과를 보다 장기간에 걸쳐 관찰하고 그 효과를 연구할 필요가 있는 것으로 보인다.

인용 문헌

1. 신준환·이돈구. 1985. 경기도 광주지방의 잣나무림에 있어서 전질소의 분포와 무기태 질소의 계절적 변화. 한국임학회지 69 : 56 - 68.
2. 이경재·박인협. 1987. 경기도 광주지방 22년 생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산과 무기영양물 분포. 임산에너지학회지 7 : 11 - 21.
3. 이명중. 1998. 강원도 지방 잣나무 인공림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적. 한국임학회지 87 : 276 - 282.
4. Barnes, B.V. 1969. Effects of thinning and fertilization on production of western white pine seed. USDA Forest Service Research Paper INT - 58.
5. Barnes, R.L. and G.W. Bengtson. 1968. Effects of fertilization, irrigation, and cover cropping on flowering and on nitrogen and soluble sugar composition of slash pine. Forest Science 14 : 172 - 180.
6. Bilan, M.V. 1960. Stimulation of cone and seed production in pole-size loblolly pine. Forest Science 6 : 207 - 220.
7. Binkley, D. 1986. Forest Nutrition Management. Wiley. pp. 290.
8. Fisher, D.F. and D. Binkley. 2000. Ecology and Management of Forest Soils. 3rd Ed. John Wiley and Sons. New York.
9. Fogal, W.H., G.R. Larocque, S.M. Lopushanski, H.O. Schooley, M.L. Anderson, I.K. Edwards, S.J. Coleman, and M.S. Wolynetz. 1999. Nutritional and sexual responses of jack pine to ammonium nitrate and Gibberellins. Forest Science 45 : 136 - 153.
10. Heidmann, L.J. 1984. Fertilization increases cone production in a 55-year-old ponderosa pine stand in central Arizona. Forest Science 30 : 1079 - 1083.
11. Johnson, D.W. and D.E. Todd. 1998. Harvesting effects on long-term changes in nutrient pools of mixed oak forest. Soil

- Science Society of America Journal 62 : 1725 - 1735.
12. Kim, J.S., Y. Son, J.H. Lim, and Z.S. Kim. 1995. Allometry and canopy dynamics of *Pinus rigida*, *Larix leptolepis*, and *Quercus serrata* stands in Yanpyeong area. Journal of Korean Forestry Society 84 : 186 - 197.
 13. Kimmins, J.P., D. Binkley, L. Chatarpaul, and J. de Catanzaro. 1985. Biogeochemistry of temperate forest ecosystems : literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients. Information Report PI - X - 47E/F. Canadian Forestry Service, pp. 227.
 14. Matthews, J.D. 1963. Factors affecting the production of seed by forest trees. Forestry Abstracts 24 : i - xiii.
 15. Mirov, N.T. 1967. The Genus *Pinus*. The Ronald Press Company, New York, pp. 602.
 16. Pharis, R.P., R.L. Barnes, and A.W. Naylor. 1964. Effects on nitrogen level, calcium level and nitrogen source upon the growth and composition of *Pinus taeda* L. Physiologia Plantarum 17 : 560 - 572.
 17. SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide. 6.03 edition. SAS Institute Inc.
 18. Son, Y., W.K. Lee, S.E. Lee, and S.R. Ryu. 1999. Effects of thinning on soil nitrogen mineralization in a Japanese larch plantation. Communicatims in Soil Science and Plant Analysis. 30 : 2539 - 2550.
 19. Son, Y., I.K. Lee, and S.R. Ryu. 2000. Nitrogen and phosphorus dynamics in foliage and twig of pitch pine and Japanese larch plantations in relation to fertilization. Journal of Plant Nutrition 23 : 697 - 710.
 20. Stephens, G.R. 1964. Stimulating of flowering in Eastern white pine. Forest Science 10 : 28 - 34.
 21. Steinbrenner, E.C., J.W. Duffield, and R.K. Campbell. 1960. Increased cone production of young Douglas - fir following nitrogen and phosphorus fertilization. Journal of Forestry 58 : 105 - 110.
 22. Vidakovic, M. 1991. Conifers : Morphology and Variation. Crafickizavod Hrvatske, Croatia. pp. 754.
 23. Wenger, K.F. 1954. The stimulation of loblolly pine seed trees by preharvest release. Journal of Forestry 52 : 115 - 118.
 24. Wesoly, W., K. Urbanski, and W. Barzdajn. 1987. Effect of mineral fertilization on flowering of Scots pine (*Pinus sylvestris*) grafts. Forest Ecology and Management 19 : 191 - 198.