

ARTICLE

간벌강도가 편백림의 낙엽낙지량에 미치는 영향

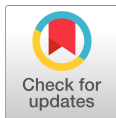
임수빈 · 김현준*

전남대학교 산림자원학과

Effect of Thinning Intensity on Litterfall of *Chamaecyparis obtusa* Stand

Subin Im and Hyun-Jun Kim*

Department of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju, Korea

Received: October 11, 2020
Accepted: November 3, 2020

*Corresponding author :
Hyun-Jun Kim
Department of Forest Resources,
Chonnam National University, Gwangju,
Korea
Tel : +82-62-530-2082
E-mail : hjkim0837@jnu.ac.kr

Copyright © 2020 Institute of Agricultural Science
& Technology, Chonnam National University.
This is an Open Access article distributed
under the terms of the Creative Commons
Attribution Non-Commercial License
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)
which permits unrestricted non-commercial
use, distribution, and reproduction in any
medium, provided the original work is
properly cited.

ORCID

Subin Im
<https://orcid.org/0000-0003-0166-3589>
Hyun-Jun Kim
<https://orcid.org/0000-0002-7373-1643>

Abstract

The study site was established in Mt. Munsu located in Jeollabuk-do, and was conducted to analyze the effect of thinning intensity on litterfall for *Chamaecyparis obtusa* stand. The study site consisted of five treatments: non-thinning (Con), light thinning (LT), normal thinning (NT), heavy thinning (HT), and super heavy thinning (SHT). Three circular littertraps were installed for each 20 m×20 m plot, and litterfall was gathered at 2-month intervals from April 2019 to October 2020. The monthly dynamics of the amount of litterfall according to the intensity of thinning showed significant differences in October, December 2019, February, and October 2020 ($p<0.05$), and the seasonal effect of trees was confirmed. As a result of ANOVA analysis, it was found that the effects of thinning, season, and thinning and season were all affected ($p<0.001$). As a result of observing the total amount of litterfall according to the intensity of thinning, the total amount of deciduous octopus in all treatments and the monthly ratio were significantly decreased ($p<0.05$). Deciduous octopus by treatment group showed the highest leaf ratio in all treatment groups including control, followed by seed and branch. It was confirmed that deciduous octopus decreased as thinning was carried out, and it is thought that the deciduous layer would also decrease. The deciduous layer plays an important role in the soil carbon cycle of the stand, and is thought to have a negative effect on the soil carbon cycle due to thinning.

Keywords

Chamaecyparis obtusa, thinning, litterfall, seasonal influence

서론

광합성을 통해 탄소를 격리하는 산림은 탄소 흡수원으로서 중요한 역할을 한다[1]. 전 지구적으로 중요한 탄소 흡수원인 산림은 임목, 고사목, 낙엽층, 토양에 많은 탄소를 흡수하여 포함하고 있다[2-4]. 낙엽층은 많은 양의 탄소를 저장하고 있으며, 낙엽 생산 속도가 분해 속도를 초과함에 따라 탄소와 양분을 축적하게 된다[5]. 낙엽층은 전체 산림 생태계 탄소저장량의 약 5%를 차지하고 있으며[4], 특히 산림 생태계의 탄소 및 양분 순환을 결정하는 핵심인자이다[6]. 낙엽낙지는 주로 나뭇잎, 나뭇가지, 생식 기관을 포함하며, 낙엽은 총 낙엽낙지의 주요 부분을 차지한다[7].

산림은 시간이 지남에 따라 임분 밀도가 높아지고, 이로 인해 수목 간 경쟁이 심해진다. 이러한 경쟁으로 인해 수목의 생장이 불량해지므로, 적절한 산림관리가 필요하며, 간벌은 이런 산림 관리 방법 중 하나이다. 간벌이란 어린나무 가꾸기나 천연림 보육작업 등의 잡목 솎아베기 작업이 끝난 후부터 최종 수확 때까지 숲을 가꾸는 작업을 말한다. 간벌은 임분밀도를 조절하고, 잔존목의 생장을 촉진시키며, 형질을 개선하여 우량 대경재를 생산할 기회를 제공하고, 숲을 건강하게 만들어

각종 재해로부터 숲을 보호하며, 토양의 성질을 개선한다[8]. 간벌 강도와 토양 특성에 낙엽층은 쉽게 영향을 받는다[9,10]는 대조구에 비해 간벌 시험구에서 낙엽낙지량이 적었으며, 낙엽낙지량 감소는 임목 제거 비율과 같을 것이라고 하였다. 또한 Park et al.[11]은 임분 밀도가 낮은 경우 낙엽유입량이 적었으며, 임목본수나 개체목 수관의 공간점유면적 차이가 낙엽량에 복합적인 영향을 미친다고 하였다.

편백(*Chamaecyparis obtusa*)은 일본에서 들어와 중부 이남에서 재식되고 있으며[12], 상록 교목으로 우리나라 남부지역에 분포하는 주요 수종이다[13]. 편백은 상대적으로 음수이고 생장이 느리며, 토양이 건조하고 척박한 곳에서도 잘 견디고, 내한성과 내염성이 약하나 대기오염에는 다소 저항력을 가지고 있는 것으로 알려져 있다[14-17]. 편백림과 같이 상록침엽성 인공림은 높은 울폐도로 인해 임상으로 들어오는 입사광이 적다. 따라서 산림의 생산성과 안정성이 높은 적정 밀도의 건전한 산림으로 유도하기 위해서는 간벌이 필요하다. 나아가 편백은 2018년 침엽수 중 가장 넓은 면적(5,746 ha)으로 조림되었으므로[18] 이번 연구를 통해 편백림에서의 효과적인 간벌 방법을 파악하는 것은 향후 산림관리를 위해 유용한 방안으로 쓰일 것이다.

낙엽낙지량을 조사하는 것은 산림 내 탄소 유입 및 토양 내 유기탄소 공급원으로서의 기능을 평가할 수 있으므로 중요하다. 나아가 간벌이 낙엽층에 영향을 미치기 때문에 낙엽낙지량과 관련하여 최적의 간벌강도를 연구할 필요성이 있다. 그러나 편백을 대상으로 한 낙엽낙지량과 간벌 강도의 관련성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 또한 국내에서 간벌 및 간벌강도가 산림에 미치는 영향을 조사한 연구는 있으나, 대부분이 소나무과에 대한 연구[19-21]이며, 편백을 대상으로 한 연구는 부족하다. 이에 본 연구는 편백림에서 간벌 강도와 낙엽 낙지량의 상관관계를 확인하기 위해 약도간벌, 적정간벌, 강도간벌, 극강도간벌로 간벌강도를 다르게 하여 진행하였다. 따라서 본 연구를 통해 그 상관관계를 파악해보고, 편백림에서의 효과적인 간벌 방법을 파악하는 것은 향후 산림관리를 위해 유용한 방안으로 쓰일 것으로 생각된다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구 대상지는 전라북도 고창군에 위치한 문수산(623 m) 내 '간벌 실연시험 시험지'에 조성되어 있다(35° 24' 17.64"N, 126° 43' 15.03"E). 해당 시험지는 1976년 해발고도 300 m 높이에 3년생 편백의 묘목을 시험구별로 ha당 3,000본의 밀도로 식재하였다(Fig. 1). 이 시험지를 선정한 목적은 임분의 위치에 따른 가지치기 및 재생에 관한 관리 연구를 증진시키기 위해서이다.

고창군의 평균기온은 14.3℃이고, 연 평균 강수량은 1,003.6 mm이다. 토양은 갈색산림토이고 지형은 능선이다. 기후대는 온대에 속하고, 모암은 변성암이다. 사면은 북동방면이고 경사는 20°-25°이다. 시험지는 주 임도로부터 100 m 이상 떨어져 있다.

시험지에는 무처리구(non-thinning, Con), 약도간벌구(light thinning, LT), 적정간벌구(normal thinning, NT), 강도간벌구(heavy thinning, HT), 극강도간벌구(super heavy thinning, SHT) 다섯 종류의 각기 다른 강도로 간벌한 처리구가 있다. 이 중 무처리구는 20 m×20 m 크기의 구획 두 개로 구성되어 있고, 나머지는 각각 3개의 구획으로 구성되어 있다. 간벌은 임령 27년일 때(2000년) 1회 실시하였다. 대조구(Con)의 재적을 기반으로 LT 30%, NT 40%, HT 50%, SHT 60%를 각 처리구별로 별채하였다. 또한 유령목과 하층식생 정리를 통해서 모든 처리구의 우세목들의 신장을 촉진시켜 주었다. 현재 편백림의 임령은 47년으로, VI영급에 도달해 있다. 시험지의 연평균 강수량은 1,399.5 mm, 연평균 기온은 12.6℃로서 우리나라 연평균 강수량 1,386 mm보다 많고, 연평균 기온 13℃에 비해 낮게 나타났다[22]. 토양의 화학적 특성으로 토양 pH는 Con 4.05, LT 4.25, NT 4.26, HT 4.20, SHT 4.20으로, pH가 모두 4.5

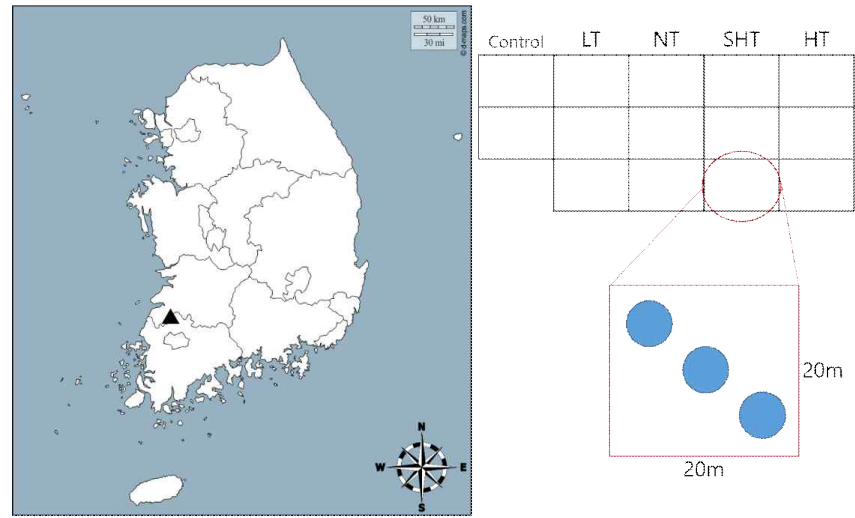


Fig. 1. Location of monitoring sites of *Chamaecyparis obtusa* in Gochang, Jeollabuk-do of Korea and plot layout for the experimental thinning study. Blue circles on the right figure indicate the locations of littertrap.

이하로 나타났다. 이러한 수치는 편백의 낙엽낙지 분해에 의한 부식 형성의 결과이고, 편백이 어느 정도 약산성 토양에서도 생육을 할 수 있으므로 시험지에서의 임목생육에 큰 지장은 없을 것으로 판단된다[23](4).

2. 낙엽낙지량 분석

낙엽낙지량은 각 처리구별 3개의 20 m×20 m 크기의 정방형 조사구(총 14개 처리구) 내에서 각 처리구당 수집면적 0.25 m²의 원형 Littertrap 3개(총 52개)를 지상으로부터 120 cm 높이에 설치하여 2019년 4월부터 2020년 10월까지 2개월 간격으로 낙엽낙지를 수집하였다. 수집된 낙엽낙지는 지퍼백에 넣어 실험실로 운반하였다.

운반된 각 시료는 지퍼백에서 건조봉투로 옮겨 담아 65℃ 건조기에서 72시간 이상 건조하였다. 건조를 마친 건조봉투는 한 장씩 개봉하여 잎, 가지, 종자 등 조직별로 시료를 분류해 각각 무게를 측정하였다. 잎과 가지의 구분은 색과 형태를 통해 구분했고, 수피의 경우 가지로 분류하였다.

수집된 자료는 ANOVA를 이용하여 처리구의 간벌강도에 의한 낙엽낙지 총량 및 조직별 낙엽낙지 발생량의 유의성을 검정하였으며, 각 처리간 차이가 인정될 경우, 보다 일반적인 분석 결과를 도출하기 위하여 5%의 통계적 유의수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하여 평균 간 비교를 실시하였다(SAS Institute, Cary, NC, USA).

결과 및 고찰

1. 간벌 강도에 따른 낙엽낙지량의 월별 동태

월별 낙엽낙지량은 Con에서 2019년 4월(2,069 kg/ha)부터 8월(474 kg/ha)까지 감소한 후, 12월(3,136 kg/ha)까지 증가하였다(Fig. 2). 그리고 12월 이후부터 2020년 10월 (316 kg/ha)까지 다시 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 경향은 모든 처리구에서 동일하게 나타났다. 잎의 개엽과 생장은 기온, 일사량, 토양수분 등 다양한 환경요인에 의해 영향을 받으며, 기온이 올라갈수록 엽생장량이 높아진다[24]. 따라서, 평균기온이 높은 봄~여름에 식물의 엽생장량이 증가하

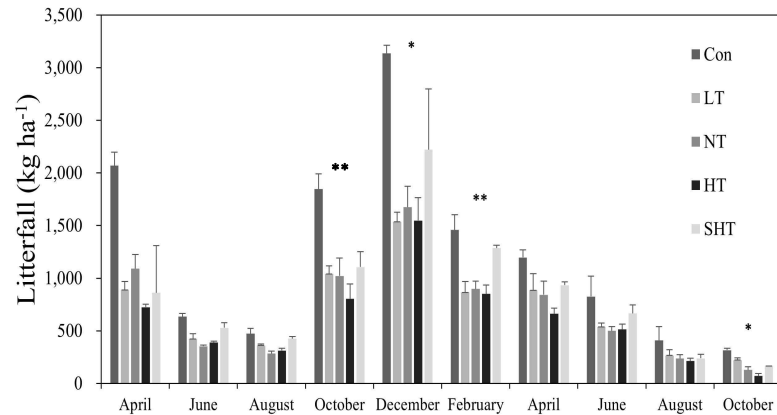


Fig. 2. Monthly litterfall of Control, LT, NT, HT, and SHT in *Chamaecyparis obtusa* stand. Vertical bars indicate standard error. The asterisks indicate significant differences by thinning practices (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

고, 평균 기온이 낮은 가을~겨울에는 엽생장량이 낮아진다. 또한, 식물은 가을~겨울에 저온에 의한 피해를 방지하기 위해 수분이 있는 잎을 떨어뜨리며 휴면을 준비한다. 그래서 낙엽낙지량은 생리적 휴면이 시작되는 가을~겨울에 높고, 생리적 활동이 시작되는 봄~여름에 낮다. 이러한 경향이 모든 처리구에서 나타난 것으로 보아 낙엽낙지량은 계절의 영향을 받는 것으로 사료된다.

한편, 낙엽낙지량은 모든 관측 기간 중 간벌을 하지 않은 Con에서 가장 높게 나타났다(Fig. 2). 또한, 2019년 10월, 12월과 2020년 2월, 10월에는 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 임분 밀도가 줄어들면 임목 본수의 감소로 인해 낙엽낙지량도 줄어든다[20]. 따라서 타 처리구에 비해 높은 임분밀도를 가진 Con이 가장 많은 낙엽낙지량을 나타냈다. 한편, 임분 밀도가 가장 낮아서 낮은 낙엽낙지를 기대했던 SHT는 두 번째로 높은 낙엽낙지량을 보였다. 수관율은 간벌강도에 비례하여 증가한다[25]. 그래서 간벌율이 60%로 가장 높은 SHT에서 수관율이 가장 높게 나타난다. 수관의 발달은 더 많은 잎을 생산하므로 2019년 4월, 2020년 8월, 10월을 제외한 모든 관측 기간에 SHT에서 다른 간벌처리구(NT, LT, HT)보다 낙엽낙지량이 높게 나타났다. 따라서 간벌은 임분밀도의 감소로 낙엽낙지량을 감소시키는 효과가 있지만, 60% 이상으로 강한 간벌을 시행하면 낙엽낙지량은 다시 증가하는 경향을 보인다. 즉, 임분단위의 낙엽낙지량은 간벌의 유무 및 강도에 따라 다양한 경향을 보이는 것으로 판단된다.

간벌강도에 따른 낙엽낙지량을 Two-way ANOVA로 분석한 결과(Table 1), 낙엽낙지량은 간벌의 영향을 받으며($p < 0.001$), 계절의 영향도 받는 것으로 나타났다($p < 0.001$). 또한, 간벌의 강도와 계절은 유의미한 상호작용을 통해 낙엽낙지량에 영향을 끼치는 것으로 나타났다($p < 0.001$). 따라서, 낙엽낙지량은 간벌과 계절의 영향을 모두 받는 것으로 사료된다.

Table 1. The GLM procedure of two-way ANOVA for the *Chamaecyparis obtusa* stand

Source	df	Type 1	Mean square	F-value	Pr > F
Plot	4	3,500.20897	875.05224	38.4	<.001
Month	9	20,568.52652	2,285.39184	100.28	<.001
Plot×Month	36	2,645.31135	72.64754	3.19	<.001

GLM, general linear model.

2. 간벌 강도에 따른 낙엽낙지량의 총량과 부위 및 월별 비율

관찰기간중 총 낙엽낙지량은 Con(12,377 kg/ha), SHT(8,329 kg/ha), NT(7,062 kg/ha), LT(6,996 kg/ha), HT(6,073 kg/ha) 순으로 높게 나타났다(Fig. 3). Con과 비교 시, 모든 처리구의 총 낙엽낙지량은 Con보다 유의미하게 감소했다($p<0.05$). Con대비 LT는 43.3% 감소하였고, NT는 42.90%, HT는 50.90%, SHT는 32.7% 감소하였다. SHT가 극강도간벌임에도 감소량이 타 처리구에 비해 낮게 나타났다. 이는 간벌을 통한 수관폭의 증가와 수목의 생장에 영향을 미친 것으로 사료된다. 낙엽낙지량은 물질대사의 매개체의 역할을 하여 토양의 발달을 돕는다. 낙엽량의 감소는 낙엽층의 감소로 이어져 물질 대사에 부정적인 영향을 끼칠 것으로 사료된다.

각 처리구별 낙엽낙지는 Con을 포함한 모든 처리구에서 잎의 비율이 가장 높았으며, 종자 가지 순으로 나타났다(Fig. 3). 잎은 Con에서는 66.2%, LT에서는 65.5%, NT에서는 69.5%, HT에서는 70.3%, SHT에서는 65.6%를 차지하였다. 반면, 종자의 비율은 18.3%(Con)부터 26.7%(SHT)까지의 범위를 보였다. 가지의 비율은 7.7%(SHT)부터 15.5%(Con)까지의 범위를 나타냈다. 간벌 강도에 따른 낙엽낙지의 총량은 변하더라도 부위별 비율은 모든 처리구에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 과거의 선행 연구[11]에서 잎이 높은 수치를 보이는 결과와 현 연구결과가 일치하는 것으로 나타난다. 임관이 울폐되는 경우, 낙엽으로 환원될 수 있는 엽면적이 최대가 되고, 평형 상태에 도달하기 때문인 것으로 사료된다[11]. 가지의 경우, 나머지 처리구와 달리 Con의 비율이 가장 높게 나타났다. 이는 높은 임분밀도의 자연낙지 촉진 효과 때문인 것으로 판단된다. 종자는 Con에서 가장 낮은 비율을 보였다. 이는 높은 경쟁률로 인한 탄소화합물 생성의 감소 및 수고생장으로 다량의 에너지 분배 때문인 것으로 사료된다.

관찰 기간 중 낙엽량은 12월에 가장 높은 수치를 보였다(Fig. 4). 이는 식물 생육 상태가 휴면에 들어가면서 일어나는 낙엽으로 사료된다. 편백은 낙엽성 수종이므로 10월부터 생장이 저지하고 월동 준비를 한다. 이때 잎의 노화가 진행되기 시작하고, 이후 12월에 탈락하기 때문에 12월부터 4월까지 낙엽량이 높은 것으로 판단된다. 낙지량은 4월에 가장 높은 수치를 보였다. 수고생장을 할 때 분열하기 위한 에너지가 필요하다. 이는 광합성으로부터 얻은 에너지로 시작되는데, 수간하부의 가지는 광이 닿지 않아 광합성이 어려워 식물이 스스로 가지를 떨어뜨린다. 이러한 자연낙지 현상은 식물의 생장이 가장 활발한 봄에 가장 많이 발생한다[26]. 종자량은 4월에 높은 수치를 보이다가 감소하고, 8월에 가장 낮은 수치를 보이며 다시 증가하는 것으로 나타났다. 편백의 종자는 9-10월에 성숙하여 종자의 비산이 시작된다. 이때, 구과 역시 탈락되어 수치가 증가한 것으로 보인다. 그리고 4월에 새로운 생장이 시작되며 자연낙지와 함께 남아있던 구과가 탈락한 것으로 사료된다.

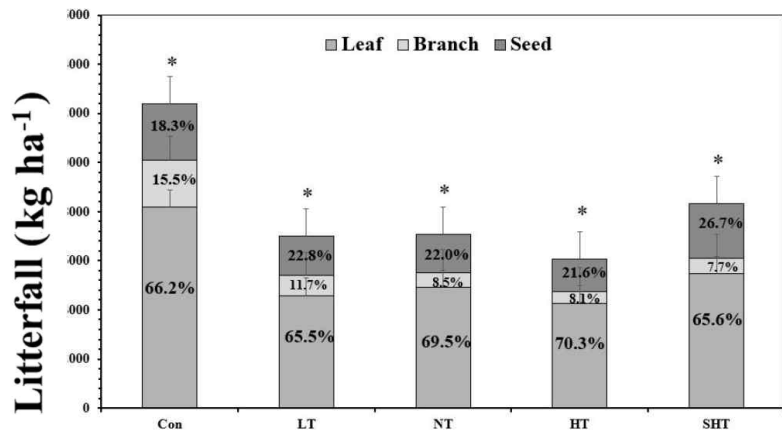


Fig. 3. Total litterfall of Con, LT, NT, HT, and SHT in *Chamaecyparis obtusa* stand ($p<0.05$).

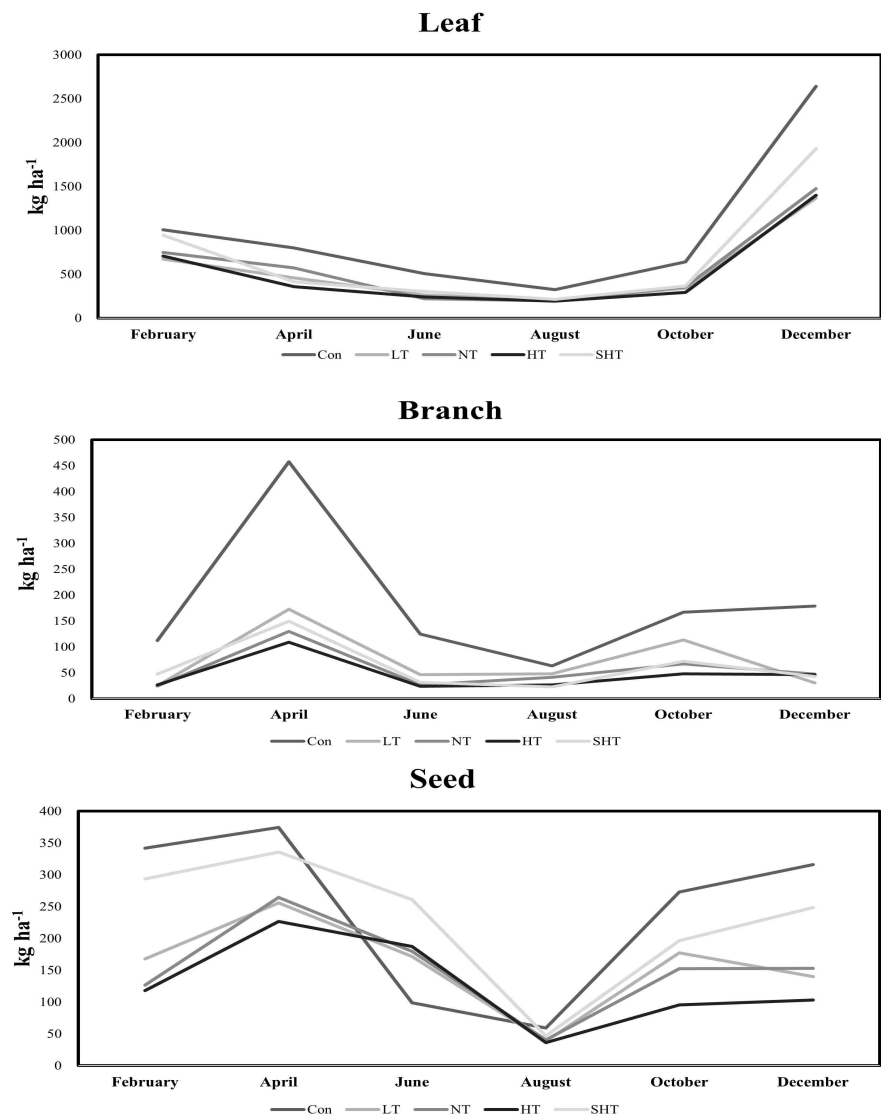


Fig. 4. Seasonal changes of litter components in *Chamaecyparis obtusa* stand.

요약

본 연구 대상지는 전라북도 고창군에 위치한 문수산(623 m) 내 ‘간벌 실연시험 시험지’에 조성되어 편백을 대상으로 한 간벌강도에 따른 낙엽낙지량의 영향에 관한 연구를 실시하였다. 시험지에는 무처리구(Con), 약도간벌구(LT), 적정간벌구(NT), 강도간벌구(HT), 극강도간벌구(SHT)로 다섯 종류의 처리구로 이루어졌다. 각 처리구별 3개의 20 m×20 m 정방형 조사구 내에서 각 처리구당 원형의 Littertrap 3개를 설치하여 2019년 4월부터 2020년 10월까지 2개월 간격으로 낙엽낙지량을 조사하였다. 간벌 강도에 따른 낙엽낙지량의 월별 동태는 2019년 10월, 12월, 2020년 2월, 10월에 유의한 차이를 보였으며($p<0.05$), 수목의 계절적인 영향을 확인할 수 있었다. ANOVA 분석 결과, 간벌의 영향, 계절의 영향, 간벌과 계절의 영향을 모두 받는 것으로 나타났다($p<0.001$). 간벌 강도에 따른 낙엽낙지량의 총량과 부위 및 월별 비율을 관찰한 결과, 모든 처리구의 총 낙엽낙지량은 대조구보다 유의미하게 감소했다($p<0.05$). 처리구별 낙엽낙지는 대조

구를 포함한 모든 처리구에서 잎의 비율이 가장 높게 나타났으며, 종자, 가지 순으로 나타났다. 간벌을 실시함에 따라 낙엽낙지가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 이로 인해 낙엽층 또한 감소할 것으로 사료된다. 낙엽층은 임분의 토양탄소 순환의 중요한 역할을 하며, 간벌로 인한 토양 탄소 순환에 부정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단(NRF-2018RIDIAIB07042483)의 지원을 받아 수행되었습니다.

Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

References

1. Lin JC, Chiu CM, Lin YJ, Liu WY. Thinning effects on biomass and carbon stock for Young Taiwan plantations. *Sci Rep.* 2018;8:3070.
2. Dixon RK, Solomon AM, Brown S, Houghton RA, Trexler MC, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science.* 1994;263:185-190.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies [IGES]; 2003.
4. Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science.* 2011;333:988-993.
5. Ko S, Son Y, Noh NJ, Yoon TK, Kim C, Bae SW. Influence of thinning on carbon storage in soil, forest floor and coarse woody debris of *Larix kaempferi* stands in Korea. *Forest Sci Technol.* 2012;8:116-121.
6. Roig S, del Río M, Cañellas I, Montero G. Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. Stands under different thinning regimes. *Forest Ecol Manage.* 2005;206:179-190.
7. Chun-jiang L, Ilvesniemi H, Berg B, Kutsch W, Yu-sheng Y, et al. Aboveground litterfall in Eurasian forests. *J For Res.* 2003;14:27-34.
8. Lee KJ. Forest science theory. Seoul, Korea: Hyangmunsa; 2014. p. 161.
9. Vesterdal L, Dalsgaard M, Felby C, Raulund-Rasmussen K, Jørgensen BB. Effects of thinning and soil properties on accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus in the forest floor of Norway spruce stands. *For Ecol and Manage.* 1995;77:1-10.
10. Inagaki Y, Kuramoto S, Torii A, Shinomiya Y, Fukata H. Effects of thinning on leaf-fall and leaf-litter nitrogen concentration in hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) plantation stands in Japan. *For Ecol Manage.* 2008;255:1859-1867.
11. Park JY, Kim C, Jeong JY, Byun JK, Son YH, Yi MJ. Effect of fertilization on litterfall amounts in a *Quercus acutissima* stand. *J Korean Soc For Sci.* 2008;97:582-588.
12. Lee CB. Dendrology. Seoul, Korea: Hyangmunsa; 2009. p. 105-106.

13. Lee CB. Dendrology. Seoul, Korea: Hyangmunsa; 1986. p. 161.
14. Korea Forest Service. Illustrated woody plants of Korea. Seoul, Korea: Korea Forest Research Institute; 1992. p. 31.
15. Lee SW, Kim JW, Kim WK, Cho MS. Nursery technology of major silvicultural species. Seoul, Korea: Korea Forest Research Institute; 2009. p. 89.
16. Niinemets Ü, Valladares F. Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. *Ecol Monogr*. 2006;76:521-547.
17. Sumida A, Miyaura T, Torii H. Relationships of tree height and diameter at breast height revisited: analyses of stem growth using 20-year data of an even-aged *Chamaecyparis obtusa* stand. *Tree Physiol*. 2013;33:106-118.
18. Korea Forest Service. Annual report of forestry statistics. Daejeon, Korea: Korea Forest Service; 2019. p. 164-222.
19. Baek IS. Effect of thinning intensity on belowground carbon storage of *Pinus thunbergii* stands [Ph.D. dissertation]. Jinju, Korea: Gyeongnam National University of Science and Technology; 2013.
20. Ko SI, Yoon TK, Kim SJ, Kim CS, Lee ST, Seo KW, et al. Thinning intensity effects on carbon storage of soil, forest floor and coarse woody debris in *Pinus densiflora* stands. *J Korean For Soc*. 2014;103:30-36.
21. Choi JK, Lee BK, Lee DS, Choi IH. Growth monitoring of Korean White Pine (*Pinus koraiensis*) plantation by thinning intensity. *J Korean For Soc*. 2014;103:422-430.
22. Korea Meteorological Administration. Detailed analysis report on climate change in Gochang-gun, Jeollabuk-do in response to the new climate system. Seoul, Korea: Korea Meteorological Administration; 2017. Report No.: 11-1360000-001460-01.
23. Park BJ, Kim JJ, Lee DJ, Joo SH. The analysis of vegetation clustering and stand structure for *Thuja orientalis* forest in Dodong, Daegu, *J Korean For Soc*. 2015;104: 519-526.
24. Lee KM, Kwon WT, Lee SH. A study on the plant phenological phases in South Korea. *Korean Associa Reg Geogr*. 2009;43:339-352.
25. Park JH, Son YM, Lee KS, Park EJ, Jung SY. The adequacy assessment and growth effects by methods of 1st thinning in *Chamaecyparis obtusa* forest. *J Korean For Soc*. 2019;108:349-356.
26. Korea Forest Research Institute. Economic tree species 5. Seoul, Korea: Korea Forest Research Institute; 2012. (Written in Korean language)