Journal of Environmental Science International
23(6); 1075~1083; June 2014

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2014.23.6.1075

ORIGINAL ARTICLE

상수리나무 임분 내에서 벌채 유형에 따른 조림목의 생장 특성

신유승 · 송선화[1] · 양아람[2] · 황재홍[2] · 박용목[*]

청주대학교 생명과학과, [1] 고려대학교 환경생태공학부, [2] 국립산림과학원 산림생산기술연구소

Growth Characteristics of Trees following Different Types of Cutting in *Quercus acutissima* Stand

Yu-Seung Shin, Sun-Hwa Song[1], A-Ram Yang[2], Jaehong Hwang[2], Yong Mok Park[*]

Department of Life Science, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea
[1]Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea
[2]Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-829, Korea

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of cutting types on microclimate and growth characteristics of afforested tree in *Quercus acutissima* stand after different types of cutting. The difference in temperature reaching 5.2℃ was shown in between clear cutting and selective cutting treatments. On July and August days with temperatures more than 35℃ often appeared in clear cutting stand. The values of VPD in July and August were higher than those in other months. Maximum VPD of 3.99 kPa was shown in clear cutting stand on May 23 as a prolonged rainless days appeared. However, VPD in selective cutting stand always stayed under 3.0 kPa throughout growing season. A higher intensity was shown in clear cutting and strip clear cutting stands, reaching to more than 1,600 μmol m^{-2} s^{-1} at midday on early August, while that in selective cutting stand stayed about 1,500. In relative growth rate selective cutting stand showed a significantly higher relative growth rate in plant height than those in other cutting stands ($p<0.05$). The number of leaf in current-year branches significantly increased in selective cutting stand, whereas no increase was shown in clear cutting and strip clear cutting stands ($p<0.05$). In addition, relative elongation rate of current year branch also showed higher values in selective cutting stand compared with that in strip clear cutting stand ($p<0.05$). However, leaf mass per unit area (LMA) was higher in order of strip clear cutting, clear cutting, and selective cutting stands.

From these results it is concluded that environmental conditions in clear cutting and strip clear cutting stands during growing season are more stressful to afforested tree species, resulting in lower relative growth in plant height, elongation of current-year branches, and leaf number per branch compared with those in selective cutting stand. Consequently, more data must be accumulated in the field to find out best cutting type in plantation considering the adaptational characteristic of each tree species varies with species and life span of tree is long.

Key words : Cutting type, Microclimate, Plantation, *Quercus acutissima*, Relative growth rate

Received 17 February, 2014; **Revised** 15 April, 2014;
Accepted 13 May, 2014
[*]**Corresponding author**: Yong Mok Park, Department of Life Science, College of Natural Science and Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea
Phone: +82-43-229-8531
E-mail: ecopark@cju.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

우리나라는 해방 이후 황폐한 산림을 회복시키기 위하여 사방사업과 조림사업을 시작으로 1960년대부터 다양한 정부차원의 정책들을 시행하여 왔다(Lee, 2013). 이 당시의 대표적 사업이 산림녹화 사업으로, 이때에는 척박한 토양에도 잘 자라는 소나무, 리기다소나무, 낙엽송 등을 산지에 조림하였다. 그 결과, 현재 우리나라 인공림의 약 60%가 리기다소나무와 낙엽송이 차지하고 있으며, 목재생산과 산림의 관리를 위하여 다양한 규모의 벌채가 행하여지고 있다(Lee, 2013). 벌채는 산림경영의 중요한 과정으로서 임업의 기초로서 지금까지 대부분의 벌채는 목재생산을 위한 가장 효율적인 벌채 양식인 모두베기로 행하여지고 있다. 그러나 모두베기의 경우, 작업효율과 경제적으로는 유리하지만 벌채 후 급증하는 일사량으로 토양수분의 건조와 강한 직사광으로 인한 생장장해로 조림목의 초기 생육에 크게 영향을 미치고, 급격하게 환경을 변화시킴으로서 생물다양성을 포함한 산림생태계의 큰 변화를 유발시킨다(Park 등, 2010; Shin과 Kim 2006). 최근 들어서는 환경에 대한 관심이 고조되면서 생물다양성 관리와 같은 산림자원의 관리와 이산화탄소 흡수원으로서의 산림기능과 같은 공익적 기능이 강조되어 산림고유의 생물다양성 유지와 회복에 기여하면서 주변의 생태계와 조화를 이루는 새로운 개념의 다양한 벌채양식이 주목받고 있다(Arnott와 Beese, 1997; Drever, 2000; Garrod 등, 1997; Gastaldello 등, 2007; Karlsson과 Nilsson; 2005; Shin과 Chang, 2006). 외국의 경우, 현장에서 다양한 벌채양식이 시도되어 실제로 많은 데이터의 축적이 이루어지고 있다(Noguchi, 2009; Sakuda et al., 2012) 국내에서도 최근 친환경적 생활을 갈구하는 사회적 요구로 친환경 재료인 목재에 대한 관심도가 높아지며 목재 수요가 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 그러나 탄소배출권과 관련하여 목재 수입량이 감소함에 따라 국산목재 공급에 대한 요구가 증가하고 있는 추세이다. 따라서 산림청에서는 목재 수요와 사회적 요구에 부응하기 위하여 최근 산림생태와 경관을 해치지 않는 범위내에서 벌채시 일정한 잔존본수를 남기는 '친환경 벌채제도'를 장려하고 있다(Korea Forest Service, 2010). 특히, 보은국유림관리소는 리기다소나무(*Pinus rigida*) 및 생장상태가 불량한 활엽수 임지 등에 '친환경 벌채제도'를 도입, 확대하여 국산목재를 공급하고자 노력하고 있다. 그러나 조림목에 미치는 다양한 벌채양식의 영향에 관한 연구가 거의 없을 뿐만 아니라 비슷한 환경조건에서 다양한 벌채가 행해진 장소도 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 인근에 위치하면서 다양한 벌채가 행하여진 보은군 장재리 산지의 조림지를 이용하여 벌채유형별 미기상환경 특성을 명확히 하고, 벌채유형별 상수리나무의 생장특성을 평가함으로써 조림목 생장에 유리한 벌채양식 선정과 조림지 환경과 벌채양식에 적합한 조림목 선정기준을 마련하는데 기초를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지 현황

조사는 전(前) 임분이 리기다소나무와 낙엽송이 식재되어 있었으나 다양한 벌채가 행하여진 후 상수리나무가 조림된 장소인 보은군 장안면 장재리 인근 산지에서 실시되었다. 다양한 형태의 벌채가 행해진 이 지역은 조림지가 서로 인접해 있고 해발고도도 비슷하여 벌채유형에 따른 조림목의 생육특성을 연구하기에 최적지로 여겨지는 장소이다. 이 지역은 2006년 전 임분에 식재했던 리기

Table 1. Stand characteristics in *Quercus acutissima* plantations after cutting of formerly afforested species

Cutting treatments	Plantation species	Formerly afforested species	Latitude(N)	Longitude(E)	altitude(m)
Selective cutting	*Q. acutissima*	*Larix kaempferi*	36º29'51.59"	127º46'18.25"	307
Strip clear cutting	*Q. acutissima*	*P. rigida*	36º29'57.28"	127º46'15.52"	320
Clear cutting	*Q. acutissima*	*P. rigida*	36º30'07.63"	127º46'18.13"	340

다소나무와 낙엽송을 단목택벌(selective cutting; SeC), 대상개벌(strip clear cutting; StC), 모두베기(clear cutting; ClC)의 방법으로 벌채한 후 2006년 상수리나무(*Quercus acutissima*)를 조림한 지역이다(Table 1). 본 연구는 이들 벌채지역 중에서 벌채유형에 따른 특성이 잘 나타나는 조림지를 조사지로 선정하여 실시되었다.

2.2. 미기상 변화

벌채유형별로 서식지 미기상 환경 변화를 조사하기 위하여 각 조사지역의 중앙지점의 흉고 높이에 온, 습도 센서(Thermo Recorder, T & D 72)를 설치하여 1시간 단위로 2012년 5월부터 2012년 10월까지 측정하여 각 조사지의 온·습도 변화를 측정하고, 이들 결과로부터 포화수증기압과의 차(Vapor Pressure Deficit; VPD)를 계산하였다. 또한, 생육에 가장 영향을 주는 스트레스 환경을 보다 상세하게 평가하기 위하여 7월 말에서 8월 초에 걸쳐 벌채유형별로 Li-1400(Li-cor, USA)을 이용하여 광량, 기온, 지온의 일변화를 측정하였다.

2.3. 조림수의 생장특성 조사

벌채유형에 따른 상수리나무의 생장특성을 비교하기 위하여 2012년 5월 초순 벌채유형별로 건강한 나무 20본을 임의로 선별하여 생장 조사목으로 사용하였다. 2012년 6월과 9월에 조림수의 수고, 중원경(1.0 m 높이에서의 직경), 근원경(Root Collar Caliper)을 측정하여 조림목의 상대생장율(Relative growth rate; RGR)을 산출하였다. 또, 벌채유형별 상수리나무를 각각 5본씩 선정하여 당년지(current-year branch)의 상대생장율을 계산하였다. 광이 잘 비치는 곳에 생육하고 있는 건강한 잎을 채집하여 상수리나무 잎의 물질분배 특성을 비교하였다. 조림지에서 채집된 잎은 연구실로 운반하여 자동엽면적계(AAA-8, Hayashi Denkoh)를 이용하여 엽면적을 측정하고, 80℃ 건조기에서 48시간 건조시켜 건중량을 결정하여 비엽중(leaf mass per area; LMA)을 산출하였다. 자료분석은 SPSS v12.0 프로그램을 사용, 각 벌채유형별 조림지의 차이를 일원분산분석(One-way ANOVA)과 Duncan의 다중검정을 통하여 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 미기상 환경 특성

Fig. 1은 본 조사지에서 약 5km 떨어진 보은기상관측소의 2012년 강수량 분포를 나타낸 것이 다. 5월과 6월은 전체 강수량도 적었을 뿐만 아니라 강수의 빈도도 낮았다.

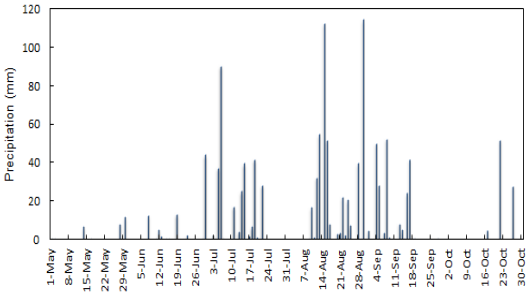

Fig. 1. Variation of daily precipitation observed at Boeun meteorological station, located about 5 km away from research site.

그러나 7월에는 초순과 중순에 집중적인 강수로 300 mm 이상의 강수량을 기록하였다. 이후 7월 하순에서 8월 초순까지는 건조기가 이어졌다. 8월 중순이후 9월 중순까지는 잦은 태풍의 발생으로 많은 비가 내렸다. 특히 8월 중순에서 8월 말까지는 강수의 빈도도 잦았을 뿐만 아니라 강수량도 많아 하루 동안 100 mm가 넘는 강수량을 기록한 날도 2일이나 될 정도로 많은 비가 자주 내렸다. 한반도는 일반적으로 5월과 7월 하순에 강수량이 적어 많은 농작물이 한해를 입는 것으로 알려지고 있다. 본 연구가 실시된 2012년도의 강수패턴도 우리나라의 보편적인 강수 패턴과 유사한 경향을 나타내어 강수량이 적었던 5월과 7월 말부터 8월 초까지 식물에 심한 수분스트레스가 발생되었을 것으로 추정된다. 수분스트레스는 세포의 생장을 저하시키고, 식물의 기공을 닫게 함으로서 광합성 저하를 가져와 식물의 생장을 저해한다(Hsiao, 1973; Kramer, 1983).

식물 생육기의 기온 변화는 식물 생장에 중요한 인자로서 기온이 상승하는 늦은 봄부터 여름까지 식물은 왕성한 생장을 보인다(Chain 등, 1987, Lambers 등, 1998). Fig. 2는 5월에서 9월까지 매월 기온이 높은 대표적 일주

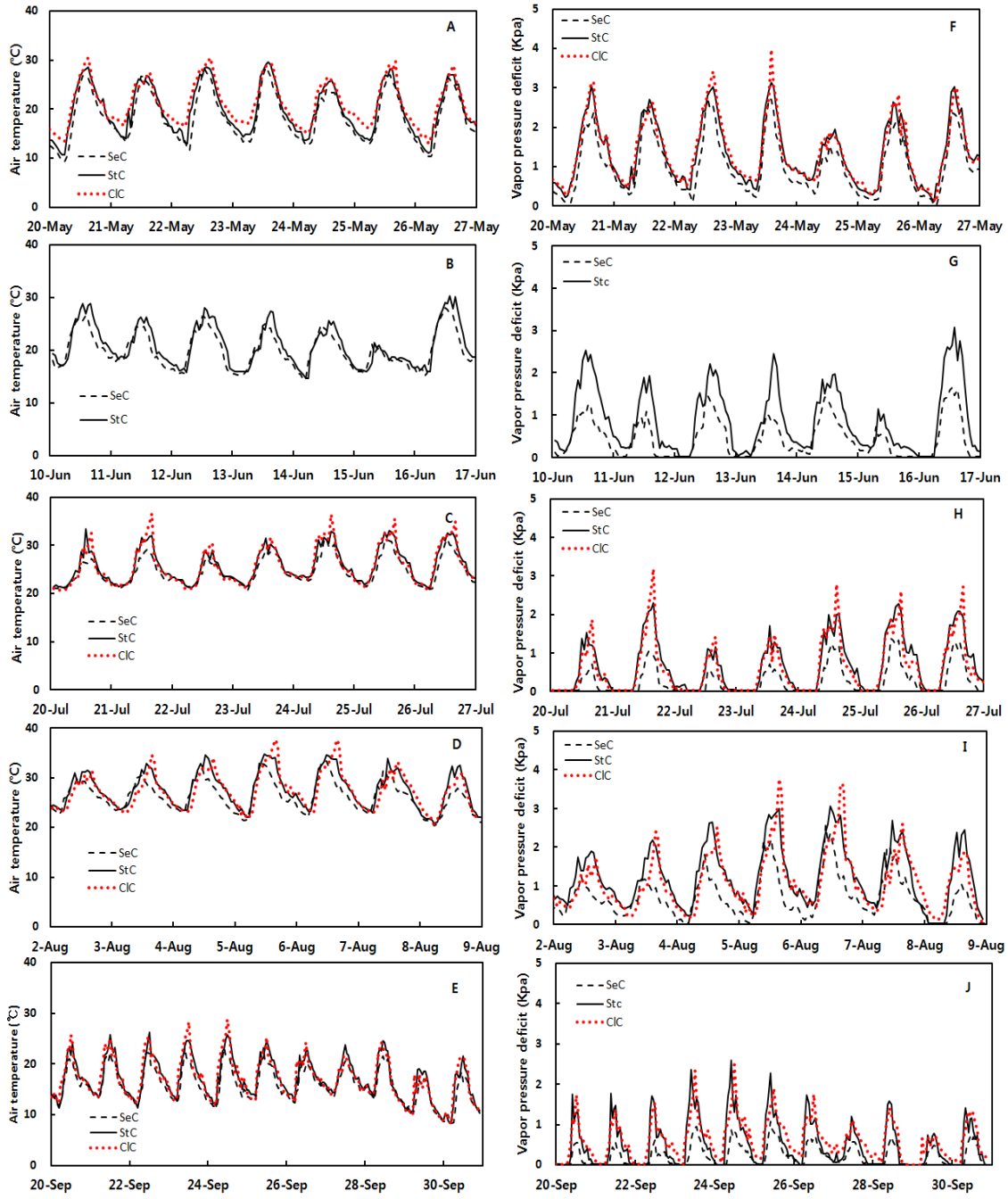

Fig. 2. Changes of air temperature (A-E) and vapor pressure deficit (F-J) in *Q. acutissima* plantations after selective cutting (SeC), strip clear cutting (StC), and clear cutting (ClC). Air temperature and VPD for one representative week each month was indicated on a graph.

일간의 기온과 VPD 변화를 나타낸다(Fig. 2). 이 기간은 식물의 생장이 왕성한 시기로서 벌채 유형에 따라 기온 변화 차이를 나타냈다.

모두베기 지역에서 동물에 의한 손상으로 데이터의 일부 결손이 있었지만 전체적으로는 5월부터 기온이 상승하여 8월까지 높은 기온을 나타내었으며, 특히 비가 오지 않고 높은 기온이 지속되었던 7월 말에서 8월 초순에 가장 높은 기온을 기록하여 8월 7일에는 조사 기간 중 가장 높은 37.6℃까지 상승하였다(Figs. 1, 2). 그러나 가장 높은 VPD 값은 장기간 비가 오지 않고 비교적 높은 기온을 기록한 5월 23일에 나타났으며, 벌채 유형에 따른 변화에서는 모두베기 지소가 전체적으로 높은 기온과 높은 VPD를 기록하였다(Fig. 2). 각 벌채 유형에서 기온의 전체적인 변화 패턴은 유사하였으나, 벌채지에 따라 기온 차는 크게 나타났다. 5월은 최고기온이 30℃를 약간 상회함에도 불구하고 단목택벌 지소와 모두베기 지소 간에 5.2℃의 기온 차를 나타내었으며, 증발산요구도를 나타내는 VPD 값은 장기간의 무강우와 강우빈도 저하로 3.0 이상을 기록하였으며, 특히, 대상벌채 지소와 모두베기 지소에서 높게 나타났다(Fig. 2). 그 결과, 단목택벌지와는 1.4 kPa 정도의 VPD 차이를 나타내었다. 이것은 유사한 입지의 조림지임에도 불구하고 벌채 유형에 따라 식물에 수분스트레스를 야기시킬 수 있는 에너지에 많은 차이가 있다는 것을 나타낸다. 이러한 차이는 데이터의 일부가 결손된 6월에도 나타났으며, 기온이 높았던 7월과 8월은 더욱 뚜렷하였다. 모두베기 지소와 대상벌채 지소에서는 7월에 기온이 35℃를 상회하는 날이 많았으나 단목택벌 지소에서는 35℃ 이상을 기록한 날이 없었다. 뿐만 아니라 VPD도 많은 차이를 나타내어 모두베기 지소에서 3.19 kPa을 나타내었을 때 단목택벌 지소에서는 1.32 kPa을 나타내었다(Fig. 2). 8월에도 이러한 경향은 유사하여 8월 5일에는 벌채 유형에 따라 기온이 4℃ 차이를 보이고, VPD도 1.55 kPa의 차이를 나타내어 기온이 높아질수록 벌채 유형간의 기온 차도 커지는 경향을 나타내었다(Fig. 2). 이들 결과는 비록 기후적으로는 같은 입지이지만 벌채 유형에 따라 미기상 환경이 크게 달라질 수 있고 이것에 따라 조림목의 수분스트레스가 다르게 작용할 가능성이 있다는 것을 보여주고 있다. 따라서 이들 결과를 더욱 상세하게 분석하기 위하여 벌채 유형별 조림지 광환경의 일변화를 측정하였다. Fig. 3은 벌채 유형에 따른 조림지의 광의 일변화를 나타낸다.

전체적으로 7월말에서 8월초에 측정된 한 낮의 광량은 모두베기 지소와 대상벌채 지소가 단목벌채 지소가 보다 높게 나타났으며, 단목택벌지를 제외하면 한 낮의 광량은 1,600 μmol m^{-2} s^{-1} 이상의 높은 광량을 나타내었다(Fig. 3).

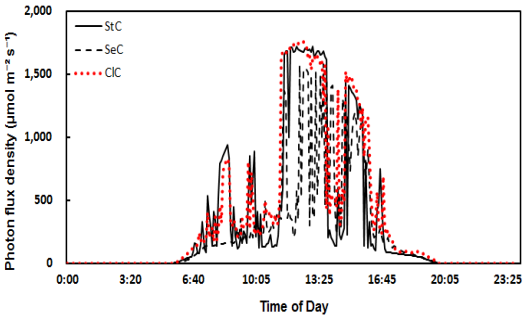

Fig. 3. Diurnal changes of photon flux density in *Q. acutissima* plantations after strip clear cutting (StC), selective cutting (SeC) and clear cutting (ClC).

또한, 지상부 온도와 지온의 일변화에서도 모두베기 지소가 단목택벌 지소보다 기온을 높게 유지하였으며, 그 결과, 높은 VPD를 나타내고 있다. 그러나 지온의 경우에는 일부의 단목택벌 지소와 모두베기 지소가 비슷하게 변화하는 양상을 보여주고 있으며, 밤 12시 이후부터 아침7시경까지는 단목택벌 지소에서 모두베기 지소 보다 높거나 지하 10cm에 이르기 까지 높은 지온을 유지하고 있었다(Fig. 4). 이것은 모두베기 지소에서는 밤사이의 기온저하에 의하여 천공을 향한 복사열로 많은 에너지를 잃는 반면, 단목택벌 지소에서는 주위의 나무들에 의하여 열손실이 차단되기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 대상벌채와 모두베기의 경우, 단목택벌에 비하여 많은 광을 수광함으로써 기온이 높아지고, 높은 VPD로 인하여 조림목에 수분스트레스가 발생할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 특히, 하절기에 장기간 비가 오지 않는 시기에는 수분스트레스에 의해 생장이 제한 받을 것으로 예상된다. 그러므로 이들 벌채 유형에 따른 서식지의 환경요인의 변화에 대한 보다 정밀한 연구와 조림목의 반응에 대한 보다 많은 정보의 축적이 필요할 것으로 판단된다.

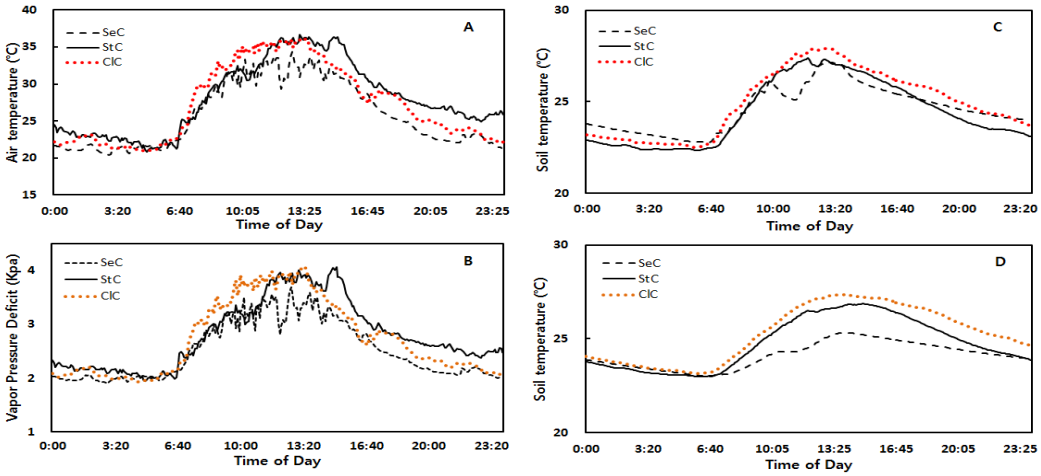

Fig. 4. Daily changes in air temperature (A), Vapor pressure deficit (B), and Soil temperature below 5 cm (C) and 10 cm (D) from the surface of soil in *Q. acutissima* plantations after selective cutting (SeC), strip clear cutting (StC), and clear cutting (ClC).

3.2. 조림목의 생장 특성

벌채유형에 따른 상수리나무의 생장특성 평가에는 수고와 중원경, 근원경, 그리고 가지 특성, 잎 특성 관련 생리적 지표가 사용되었다. 수고생장은 다른 종이나 개체와 광을 확보하기 위한 경쟁에 관한 중요한 지표이다. 벌채유형에 따른 수고생장을 보면, 모두베기 지소와 대상벌채 지소가 단목택벌 지소의 상수리나무보다 생장이 저하되고 있는 것으로 나타났다(Fig 5a) ($p<0.05$).

이것은 단목택벌의 경우, 근처 주위에 큰 잔존목이 많이 존재하므로 광조건에 대한 경쟁으로 인하여 조림목 물질생산의 많은 부분을 높이 생장을 위하여 투자하였기 때문으로 판단된다. 또한, 대상벌채와 모두베기 지소 간에서는 상대생장률의 차이가 나타나지 않았던 것은 대상벌채시 잔존목 간의 거리가 30 m에 이르므로 잔존목의 바로 가까운 곳을 제외하면 모두베기 지소와 거의 같은 광환경을 형성하고 있어, 기온도 높고 VPD도 높아지기 때문으로 판단된다(Figs. 2, 3, 4). 일반적으로 조림한 지 오래된 조림목의 생장을 평가하는데는 수고와 흉고직경이 사용되지만 조림한 지 오래되지 않았을 경우 흉고직경 대신 근원경을 측정하는 것이 일반적이다(Song 등, 2012; Yang 등, 2013). 본 조사지는 조림 후 5년 정도 경과하여 흉고직경을 측정하기에는 어려움이 있어 중간정도 높이(약 1m)에서의 직경을 계산한 중원경과 근원경

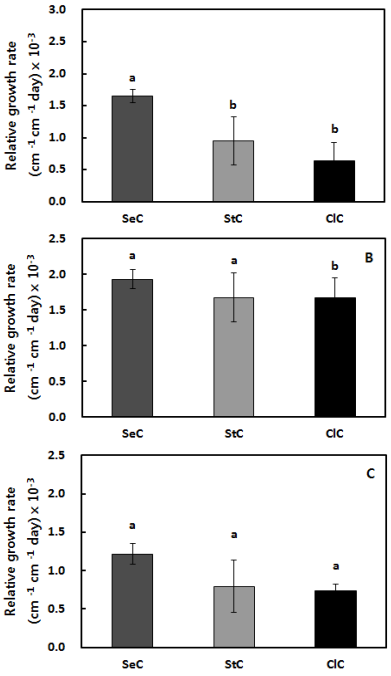

Fig. 5. Relative growth rate in plant height (A), diameter at 1 m high (B), and root collar caliper (C) in *Q. acutissima* plantation after selective cutting (StC), strip clear cutting (SeC), and clear cutting (ClC). Values are mean ± SE of twenty individual plants. Different letters above error bars denote significant differences in the mean at 95% possibility.

으로 생장을 평가하였으며, 그 결과, 벌채유형 간에 중원경과 근원경 생장에는 유의차가 나타나지 않았다(Figs. 5b, 5c).

따라서 모두베기와 대상벌채 지소에서 상수리나무의 수고 생장이 단목택벌지의 생장보다 감소한 것은 조사지 미기상환경에서 확인되었던 수분스트레스 발생이 예상되던 환경과 무관하지 않은 것으로 판단된다(Keenan과 Kimmins, 1993).

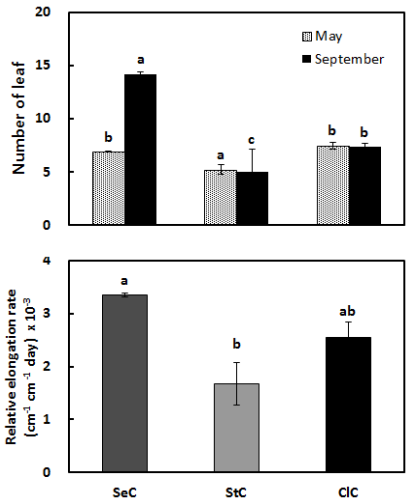

Fig. 6. Number of leaf (top) and relative elongation rate (bottom) of current year shoots in *Q. acutissima* plantation after selective cutting (SeC), strip clear cutting (StC) and clear cutting (ClC). Values are mean ± SE of five individual plants. Different letters above error bars denote significant differences in the mean at 95% possibility.

Fig. 6은 벌채유형에 따른 상수리나무 당년지의 잎의 수와 상대생장률을 나타낸다. 단목택벌의 경우, 식물생장에 원동력이 되는 광합성 기관인 당년지 잎의 수가 5월 1차 조사 시에 비하여 9월 2차 조사에서는 약 2배정도 증가한 반면, 대상벌채 지소와 모두베기 지소에서는 증가가 보이지 않았다(Fig. 6a). 이러한 결과는 벌채유형에 따른 숲의 특성과 종 특성의 복합적인 작용으로 보여진다. 즉, 태풍이 잦았던 2012년의 여름의 경우, 수관 없이 열려있는 대상벌채와 모두베기 지소는 바람에 노출되기 쉬워 태풍과 같은 강한 바람에 의해 잎의 일부가 탈락한 결과일 수도 있다. 그러나 개체 당 당년지의 가지 수는 평균 12개 전후로 벌채유형에 따른 유의차가 없었다는 것을 고려하면 대상벌채와 모두베기 지소에서 잎의 수가 적은 것은 수분스트레스에 의한 것일 가능성이 크다(David et al., 1992). 일반적으로 잎의 생장은 수분조건에 가장 민감하여 수분스트레스에 가장 크게 영향을 받는 것으로 알려지고 있다(Hsiao, 1973; Kramer, 1983; Lambers 등, 1998). 또한, 5월의 조사지역 강수량이 적었을 뿐만 아니라 무강우 기간이 길었던 것도 이러한 가능성을 뒷받침 하고 있다(Fig. 1). 따라서 높은 광에너지에 직접적으로 노출되는 대상벌채 지소와 모두베기 지소의 경우, 무강우 기간이 길어짐에 따라 식물에 심한 수분스트레스로 인하여 잎의 생장이 저하되었을 가능성을 배제할 수 없다. 그러나 대상벌채 지소에서 당년지 당 잎의 수가 적었던 원인에 대해서는 보다 상세한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 한편, 단목택벌에서는 평균생장율이 약 7.0 x 10^{-2} cm/day로 대상벌채 및 모두베기의 0.82와 1.4 x 10^{-2} cm/day 보다 높은 생장율을 나타내었다(Fig. 6b) ($p<0.05$).

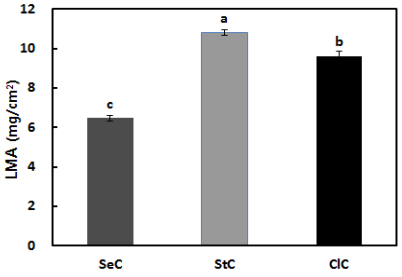

Fig. 7. Leaf mass per unit area in *Q. acutissima* plantation after selective cutting (SeC), strip clear cutting (StC), and clear cutting (ClC). Values are mean ± SE of twenty leaves. Different letters above error bars denote significant differences in the mean at 95% possibility.

그러나 잎의 구조적 에너지 투자를 나타내는 비엽중(LMA)을 비교해보면, 대상벌채와 모두베기에서 단목택벌에 비해 유의하게 높은 값을 나타내었다(Fig. 7) ($p<0.05$). 이것은 대상벌채 지역과 모두베기 지소는 수관부가 열려 있어 조림목 대부분이 강한 직달광에 노출되어 있어 단목택벌 지소에 비하여 보다 효율적인 광이용을 위한 두꺼운 잎을 생성하기 때문으로 판단된다 ($p<0.05$).

4. 결 론

벌채 후 조림에 의해 조림목을 육성하는 경우 벌채유형에 따라 미기상 환경이 달라질 수 있어 효율적인 임목생산을 위해서는 조림수종의 특성에 맞는 벌채유형을 선택할 필요가 있다. 그런 면에서 다양한 벌채유형에 의해 달라질 수 있는 조림지 미기상 환경을 추적, 평가하는 것은 기초정보를 제공하는 중요한 작업이다. 속리산 인근의 조림지에서 환경특성을 조사한 결과, 조림지 미기상은 벌채유형에 따라 크게 다르다는 것이 확인되었다.

모두베기와 대상벌채 지역의 중심부에는 조림목의 생장기간인 여름철에 상대적으로 고온과 높은 VPD로 인하여 조림목에 심한 수분스트레스가 발생할 수 있는 가능성을 확인 할 수 있었다. 또한, 대상벌채지역에서는 기온, 지온 그리고 광량이 잔존목과의 거리에 의해 영향을 받는 거리의존성이 존재하는 것이 확인되었다. 벌채유형에 따라서는 조림지 미기상 환경의 변화를 초래할 수 있고, 이러한 환경의 변화는 조림목에 스트레스 환경으로 작용할 수 있어 건전한 조림목 육성에 영향을 미친다. 실제 본 연구에서도 벌채유형에 따라 특히, 모두베기와 대상벌채 지소에서는 상수리나무의 수고생장에 제약을 가져왔다. 또한, 모두베기 지소와 대상벌채 지소에서는 잎의 생산도 감소하여 전체적인 생육저하를 초래하였다. 따라서 벌채유형이 조림목 생장에 미치는 영향을 정확하게 평가하기 위해서는 보다 많은 장기간의 데이터 축적이 요구된다.

감사의 글

본 논문은 2012년 국립산림과학원 산림생산기술연구소 일반연구사업 '주요 인공림의 수종 갱신을 위한 조림기술 개발'의 위탁과제인 '벌채 유형에 따른 조림목 생육 및 생리특성 구명'의 연구비 지원으로 수행된 연구 결과의 일부이며, 신유승에게 주어진 청주대학교 2012 - 2013년도 장학지원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

Arnott, J. T., Beese, W. J., 1997, Alternatives to clearcutting in BC coastal montane forests, For. Chron., 73, 670-678.

Chapin, E. S., Bloom, A. J., Field, C. B., Waring, R. H., 1987, Plant responses to multiple environmental factors, Bioscience, 37, 49-57.

David, E. Peter, R., 1992, Water relations and gas exchange of *Acer saccharum* seedlings in contrasting natural light and water regimes, Tree Physiol., 10, 1-20.

Drever, R., 2000, A cut above: ecological principles for sustainable forestry on BC's coast. Vancouver, B. C., David Suzuki Foundation, 76.

Garrod, G. D., Willis, K. G., 1997, The Non-use Benefits of Enhancing Forest Biodiversity: A Contingent Ranking Study, Ecol. Eco., 21, 45-61.

Gastaldello, P., Ruel, J. C., Pare', D., 2007, Micro-variations in yellow birch (Betula alleghaniensis) growth conditions after patch scarification, For. Ecol. Manage., 238, 244-248.

Hsiao, T. C., 1973, Plant response to water stress. Ann. Rev. Physiol., 24, 519-570.

Karlsson, M., Nilsson, U., 2005, The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Weden, For. Ecol. Manage., 205, 183-197.

Keenan, R. J., Kimmins, J. P., 1993, The ecological effects of clearcutting, Environ. Rev., 1, 121-144.

Korea Forest Service, 2010, Press release, August 8, 2012.

Kramer, P. J., 1983, Water relation of plants, Academic press, 489.

Lambers, H., ChapinⅢ, R. S., Thijs, L. P., 1998, Plant Physiologacal Ecology, Springer- Verlag, 540.

Lee, J. Y., 2013, Evaluation of the Historical Development of Forest Administration Paradigm Changes, J. Kor. Policy Studies13, 261-279.

Noguchi, K., Hirai, K., Takahashi, M., Aizawa, H., 2007, Effects of thinning on aboveground carbon and nitrogen dynamics at a sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation in northern Kanto region, eastern Japan, Bulletin of FFPRI, 413, 205-214.

Shin, Y. K., Chang, C. S., 2006, A Study of Compensation Structure on Forestry Sector as a Public Good, Korea Rural Economic Institute, 105.

Shin, C. S., Kim, H. E., 2006, Natural regeneration of tree species after clear-cutting in a coniferous plantation, J. Kor. For. Soc., 95, 501-506.

Sakuta, K., Tani, S., Inoue, A., Mizoue, S., 2012, Effects of Strip-cutting on Stand Floor Micro Climate and Tree-species Diversity in a Japanese Cypress Plantation, J. Jap. For. Soc., 91, 86-93.

Park, S. K., Oh, G. K., Shin, H. T., 2010, The effect of light condition change in plantation on vegetation recovery, Proceedings of Annual Meeting of Ecological Society of Korea, 20, 122-126.

Song, S. W., Hwang, J., Yang, A-. R., 2012, Growth characteristics of *Quercus acutissima* seedlings by regeneration systems of *Pinus rigida* plantation. Annual co-meeting of Forest Science, 528-529.

Yang, A-. R., Hwang, J., Song, S. W., Cho, M., 2013, The comparison of soil properties and early growth of *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi* seedlings in harvested *L. kaempferi* and *P. rigida* stands, J. Kor. For. Soc., 102, 455-462.