

중부지방 낙엽송 조림지의 간벌 시기 추정¹

이종희² · 김홍은² · 권기철³ · 정택상⁴

Estimation of thinning period of *Larix kaemferi* Carr. plantation in the central part of Korea¹

Jong-Hee Lee² · Hong-Eun Kim² · Ki-Cheol Kwon³ · Taek-Sang Jeong⁴

요 약

중부지방 낙엽송 조림지에 대하여 식재후 적정한 1차 간벌 시기를 추정하기 위하여 충북대학교 부속 연습림(월악산)을 대상으로 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 충북대학교 부속 연습림내에 조림된 낙엽송의 수고곡선식은 $H=4.25783+0.80024D$ (H =수고, D =흉고직경) 이었다.

(2) 본 연구대상지의 재적식을 구하기 위해 최소제곱법으로 회귀분석을 한 결과, 수고와 흉고 직경을 모두 독립변수로 하는 경우 재적식은 $V=0.001474-0.002095D-0.000211H+0.000150D \cdot H+0.000744D^2+0.000008H^2$ (V =재적(m^3), H =수고(m), D =흉고직경(cm)) 이었다. 한편, 재적에 대하여 흉고직경만을 독립변수로 한 경우는 $V=0.000079-0.000512D+0.000826D^2$ 이었다.

(3) 간벌시기 추정을 위한 기준으로는 수고 MAI의 극대점을 이루는 연령과 고사목에서 총 흉고직경 성장량의 평균치 이하로 떨어지는 시점의 연령이 적절한 것으로 판단된다.

(4) 수고 MAI의 극대점에 도달하는 연령은 임분밀도와 유의성 있는 상관을 보이지 않아 정확한 간벌시기의 판단기준으로 삼을 수 없었다.

(5) 간벌시기를 결정하는 추정식은 고사목의 흉고직경성장량의 경년변화를 토대로 계산하였으며, 그 결과식은 $Y=0.2825+0.01752X$ 이었다.

(6) 관행적인 $1.8m \times 1.8m$ 의 식재밀도가 적용된 낙엽송 조림지에서 간벌 개시 임령은 12~14년이 적당한 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Larix kaemferi Carr. is one of main timber species in Korea that could be found in plantations and growing stands on all over the country. The proper practice of thinning is

1. 접수 2001년 12월 5일 Received on December 5, 2001

2. 충북대학교 산림과학부 School of Forest Resources, Chungbuk Natl. Univ., Cheongju, Korea. 360-763

3. 서울대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Seoul Natl. Univ., Suwon, Korea. 441-744.

4. 한국교원대학교 교원연수부

one of very important techniques in silviculture, which greatly affects the quality and size of timber produced. Proper thinning period is considered to be important for maintaining stand growth before competition initiated. To investigate suitable thinning period, this study investigates the volume and radial growths of *Larix kaemferi* plantation in Mt. Worak located in the central part of Korea.

The main findings and conclusions obtained from this study were as follow ;

(1) The tree height curve equation for *Larix kaemferi* in Mt. Worak was calculated $H=4.25783+0.80024D$ (H =Tree height, D =DBH).

(2) To estimate tree volume for *Larix kaemferi* by DBH and tree height or only by DBH, regression equations were calculated as $V=0.00147-0.002095D-0.000211H+0.00015D \cdot H+0.000744D^2+0.0000076H^2$ (V =Volume(m^3), H =Tree height(m), D =DBH(cm)), $V=0.0000794-0.000512D+0.000826D^2$.

(3) The criteria of estimating thinning time of *Larix kaemferi* are the age when maximum tree height-MAI(mean annual increment) obtained and the age when annual DBH increments of dead trees decrease to below average.

(4) The age of maximum tree height MAI was not significantly correlated with stocking. Therefore, it can not be used as a criterion for estimating thinning time of *Larix kaemferi*.

(5) The estimated thinning time equation of *Larix kaemferi* was obtained by regression analysis of the disk section collected from dead trees. The obtained equation is $Y=0.2825+0.01752X$ (Y =Desirable thinning age, X =the sum total of nearest 4-trees interval(cm)).

(6) General estimated thinning age of *Larix kaemferi*, which planted 3,086 stocks/ha, is concluded as 12 to 14 year.

Keywords : *Larix kaemferi*, thinning, thinning period, volume

1. 서 론

낙엽송(*Larix kaemferi* Carr.)은 생장이 빠르고 재질이 우수하여 지난 40여년간 20억본 이상이 식재된 우리나라의 대표적인 주요 조림수종이다. 이렇게 조림된 임분의 상당수는 오늘날 20~30년생 이상의 임분이 되었으며, 임분밀도가 극히 높아짐에 따라 간벌을 해야 할 상태에 이르렀다.

그동안 우리나라에서는 간벌의 시기와 적정 간벌 강도를 위한 지침으로써 낙엽송 임분밀도 관리도가 마(1977)와 이 등(1987)에 의해 제시된 바 있다. 그러나 임분밀도관리도는 임목의 직경과 수고의 측정을 통해 작성된 것으로 임

목 개체의 경년생장이 고려되지 않으며, 간벌 시기를 추정하기 위해서는 상층수고나 임분밀도를 측정 후 임분밀도관리도에 대입시켜 간접적으로 결정해야 하므로 실제 적용에 까다롭다는 단점이 있다. 낙엽송의 간벌에는 수고나 DBH보다도 임령에 의한 지표가 실제 간벌작업을 시행하는데 있어서 편의성을 제공하지만(심 등, 1986), 아직까지 간벌시기는 외형적으로 나타난 임목의 수고와 DBH에 따라 직관적인 간벌시기가 제안되고 있다(심 등, 1986; 양 등, 1991).

간벌이 시행되지 않은 임분에서 개체목간 우열의 차는 더욱 현저하게 나타나며, 임목 상호간 경쟁을 통하여 고사목들이 대량 발생한다.

무간벌 임분내 임목의 생육상태를 매년 형성된 연륜을 이용하여 연구한다면 이를 토대로 간벌 시기를 추정할 수 있다. 이러한 점을 고려하여, 본 연구는 우리나라의 중부지방 산림지역인 충북대학교 부속 연습림(월악산)에 인공 조림된 후 간벌작업이 시행된 바 없는 20~30년생의 낙엽송 임분을 대상으로 연륜연대학적 기법을 사용하여 낙엽송 조림지의 간벌시기를 추정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지 특성

본 연구는 충청북도 제천시 월악산에 위치한 충북대학교 연습림 9임분(북위 36° 51', 동경 128° 03')내 20~30년생 낙엽송 조림지를 대상으로 수행되었다. 조사 대상지는 해발 550m~680m에 있고, 조림 당시 1.8m×1.8m의 정방형 식재방식으로서 3,086본/ha의 식재밀도가 적용되었다. 현재 이 임분은 식재 후 전연 간벌작업이 이루어지지 않았기 때문에 주종인 낙엽송 사이에서 경쟁이 일어나 피압고사목이 많이 발생했고 생입목이라 할지라도 우열의 차가 심하여 앞으로 계속 고사목이 나타날 것이 예상되므로 간벌에 관한 연구로는 적합한 임분이라 생각된다.

표준지는 방형구법으로 10m×10m 크기의 10곳을 선정하였으며, 잔존목의 밀도가 密한 지역에서부터 疎한 지역에 이르기까지 고르게 분포하도록 인근 조림지를 대표할 수 있는 지역으로 선정하였다. 그림 1은 본 조사가 수행된 지역을 표시한 지도이다.

2.2 조사 내용 및 방법

10m×10m 크기의 표준지 10곳에서 매목조사를 실시하고 표준지내 생목과 고사목을 포함한 모든 개체목들의 흉고직경과 좌표를 기록하

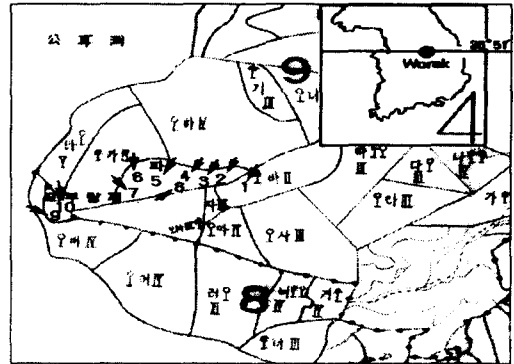


Fig. 1. The map of sampling plots in Mt. Worak (Experimental Forest of College of Agriculture, Chungbuk National University).

여 임목위치도를 작성하였다. 표본목 35본으로부터 흉고부위(지상 1.2m 부위)의 단판(斷板)을 채취하였으며, 수간석해를 위하여 채취한 표본목은 총 19본(생목 14본, 고사목 5본)으로써 조제간격은 지상부 20cm에서 시작하여 1.2m, 3.2m, 5.2m,…… 단위로 하였다. 채취한 각 단판에는 두자리 숫자씩 차례로 표준지 번호, 임목위치도에 기록된 각 개체목의 번호, 밑에서부터 01, 02, 03, ……과 같이 순차적으로 붙인 단판 번호로 총 6자리의 숫자를 기입했다. 흉고단판만 채취한 경우에는 마지막 두자리 숫자 대신 'S'자를 붙였으며, 최종적으로 각 고유번호의 뒤에 생목은 'L', 고사목은 'D'를 기입하여 구별하였다.

채취한 195개의 단판들을 실험실로 운반하여 쌍안 실물현미경과 Velmex 연륜폭측정기를 이용하여 0.01mm 단위로 각 연륜폭을 측정하였다. 각 단판의 연륜폭은 等角法으로 4방향 반복 측정하였으며, 형상이 부정형으로 일그러진 단판은 圓周等分法으로 4방향 측정하였다.

별목된 표준목들의 각 인자(수고, 직경, 흉고 단면적, 재적)별 총평균성장량(MAI) 및 연년성장량(CAI), 연년성장률 등은 수간석해로써 계산하였다.

경쟁단계에 도달한 임분에서 임목의 생장은 전체 임분밀도보다는 인근 임목에 의한 국소밀

도에 더 큰 영향을 받게 된다(장과 권, 1982; 장, 1985). 국소밀도를 위한 조사를 위해 주위 임목과 대상목의 거리를 합산하여 각 임목 생장량과의 상관관계를 분석하였다. 임목간 거리는 임목위치도를 이용하여 구하였다. 임목간 거리의 합계는 주변목 4본으로 하였는데, 그 이유는 조립 당시 1.8m×1.8m의 정방형으로 식재하였기 때문이다. 또한 Spurr의 각도합계법을 이용한 장(1985)의 연구에서도 국소밀도의 계산에는 주위목 4본이 가장 적절한 것으로 평가되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 조사지 환경

이 지역의 기상조건을 보면 평균기온 10~11℃, 연중 최저기온 -10℃~-20℃, 연간강수량 1,100~1,800mm, 연중 평균습도 75%로써 온난습윤한 온대중부의 전형적인 기후를 보이고 있다.

표 1에서 연구대상지의 토성은 일반적으로 양토~사질양토이며, 토양산성도는 평균 pH 6.0정도의 약산성을 나타내고 있어 임목의 생육에 적합한 것(진 등, 1994)으로 나타났다. 전반적으로 표준지별로 환경조건의 차이를 많이 보이지는 않고 있으나, 표준지 6, 9, 10이 다소 가파른 경사면에 위치한 반면 표준지 8은 완경사지로서 비교적 유리한 환경에 있다.

3.2 수고곡선

수고곡선은 한 임분내에 있는 각 임목들의 흉고직경에 대한 평균수고를 나타내는 관계곡선이다(이, 1995). 본 조사지의 수고곡선식은 10개의 표준지에서 별목한 28본으로부터 직접 수고를 측정하여 얻었다.

일반적으로 많이 사용되고 있는 수고곡선식들(김과 정, 1988; 이, 1995)과 선형회귀직선식 $H=a+bD$ (H; 수고(m), D; 흉고직경(cm))에 대입하여 회귀분석한 결과를 표 3에 요약하였다. 본 조사대상 임분에서는 $H=a+bD$ 식이 0.817로 가장 높은 결정계수를 나타내고 있었으며, t-검정 결과도 10.776으로 0.1%수준에서 유의성이 인정되었다. 식 (1)은 본 조사지에서 산출된 수고곡선식이다.

$$H=4.25783+0.80024D \dots\dots\dots (1)$$

(H=수고(m), D=흉고직경(cm))

3.3 재적식

임분재적밀도를 구하기 위하여 각 개체목의 재적을 모두 더하였으며, 각 개체목의 재적은 표본목을 수간석해하여 재적을 구한 다음 이를 바탕으로 이차곡선의 회귀식을 유도하여 모든 개체목들에 적용하였다. 유도된 재적식은 수고와 흉고직경을 모두 독립변수로 한 것과 흉고

Table 2. The coefficient of determination(R^2), t-value, and p-value for the regression equations for estimating the height of *Larix kaemferi* with DBH.

Equation ¹⁾	R^2	t-value	p-value
$H = a D^b$	0.772	9.399***	0.0000
$H = a + b / D^c$	0.634	-6.710***	0.0000
$H = D^c / (a + b D)^d$	0.728	8.343***	0.0000
$H = a + b \log D$	0.795	10.057***	0.0000
$H = a + b D + c D^d$	0.795	10.056***	0.0000
$H = a + b D$	0.817	10.776***	0.0000

¹⁾ H=Tree height(m), D=DBH(cm)
 * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Table 3. The summary of environmental factors in sampling plot.

Classification \ Plot no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Topography	L	L	M	M	L	M	M	L	U	U
Slope(°)	20	20	18	23	15	25	22	8	27	25
Soil texture	L	L	L	L	SL	SL	L	L	L	L
Soil pH	6.0	6.0	6.0	5.7	6.0	5.7	5.7	6.0	6.0	6.0

* Topography : L ; Lower slope, M ; Middle slope, U ; Upper slope
 Soil texture : L ; Loam, SL ; Sandy loam

직경만을 독립변수로 한 것이 있다. 결정계수는 전자가 더 높으나 실제 현장에서는 수고를 측정하기 어려우므로 흉고직경만으로 재적을 추정할 수 있도록 하였으며, 이 경우 결정계수는 0.983으로써 높은 예상적중률을 보였다.

식 (2)와 (3)은 고사목을 포함한 19본의 표본목으로부터 계산된 재적식이나, 일반적으로 생목에서는 과소치를, 고사목에서는 과대치를 나타내는 경향이 있다. 식 (4)와 (5)는 이를 보완하기 위해 생목 14본만 따로 계산한 식이며, 본 연구에서 임분재적밀도를 구하기 위해 사용한 것은 식 (5)이다.

$$VT = 0.008957 - 0.005158D - 0.001051H + 0.000303D \cdot H + 0.000743D^2 + 0.000031H^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$VT = 0.003422 - 0.00368D + 0.000992D^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$VL = 0.001474 - 0.002095D - 0.000211H + 0.00015D \cdot H + 0.000744D^2 + 0.0000076H^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$VL = 0.000079 - 0.000512D + 0.000826D^2 \dots\dots\dots (5)$$

V=재적(m³), H=수고(m), D=흉고직경(cm)

표 4는 위의 4식 각각에 대한 결정계수와 유의성 검정 결과이다. 결정계수는 4식이 모두 대단히 높게 나타나 현장에서 사용할 수 있는 것으로 판단되며, 회귀식에 대한 t-검정 결과도 4개가 모두 0.1%에서 고도의 유의성을 보이고 있었다.

3.4 연년 성장량 변화

3.4.1 개체목별 연륜폭 비교

4방향으로 측정된 전체 표본목 단판중 흉고 단판을 선별하여 연년별 연륜폭을 평균한 값을 그림 2에 나타내었다. 그림 3는 고사목의 고사 연령 분포를 나타낸 것이다. 18, 21년생 고사목은 표준지들 중 가장 먼저 조립된 지역인 임령 30년의 표준지 9, 10에서 채취된 것으로 다소 이질적인 자료로 판단된다. 이를 제외하면 대부분의 열세목들은 흉고연령 10~15년(수령 15~20년)에 고사한다. 수간석해 결과 이 지역의 낙엽송이 흉고(지상 1.2m)에 이르기까지 생목은 평균 4년, 고사목은 평균 5년의 시간이 소요되었다.

Table 4. The coefficient of determination(R²), t-value, and p-value for the regression equations estimating the volume of *Larix kaemferi* with DBH and/or tree height(HG).

Equation	R ²	t-value (DBH)	t-value (HG)
(2)	0.991	15.984***	2.781*
(3)	0.986	34.875***	
(4)	0.984	15.711***	1.077
(5)	0.983	26.133***	

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

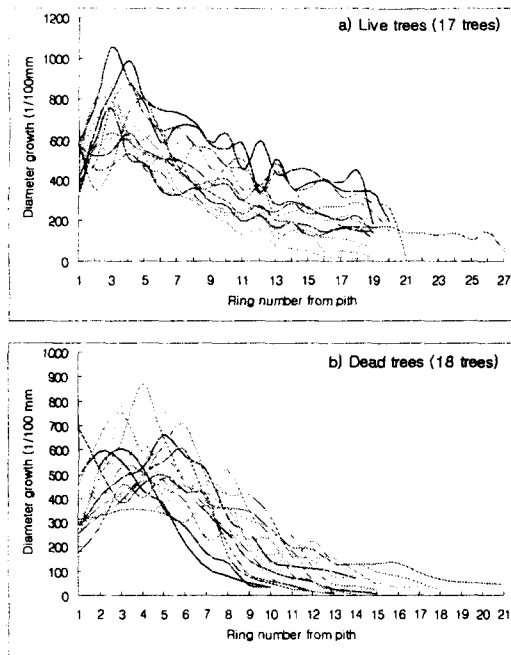


Fig. 2. Annual increments at breast height (18 dead trees).

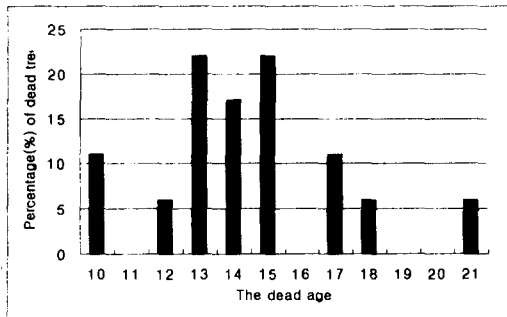


Fig. 3. The percentage of dead trees by the dead age.

3.4.2 총평균성장량(MAI) 계산

총평균성장량(MAI, Mean Annual Increment)이란 각 성장인자의 총성장량을 현재의 총연수로 나눈 것을 말한다. 이(1995)에 의하면 수고 MAI의 최고점에서 간벌, 재적

MAI의 최고점에서 벌기를 결정하는 것이 적절한 것으로 권장되고 있어, 각 표준목에 대하여 수고와 흉고직경에 대하여 연년별 총평균성장량을 계산하였다. 그림 4는 그 결과이며, 수고와 흉고직경의 총평균성장량이 최고점에 도달하는 연령은 각각 11~15년, 7~10년 사이로 나타났다

이(1995)는 성장인자별 총평균성장량의 최고점은 수고, 직경, 단면적, 재적의 순으로 나타난다고 했으나, 본 연구에서는 흉고직경의 총평균성장량이 수고의 총평균성장량보다 먼저 최고점에 도달하였다. 이러한 결과가 나온 것은 이 지역의 지위가 높아 수고생장이 다른 연구대상지보다 훨씬 왕성하면서도 조밀한 임분 밀도로 인하여 직경생장이 억압받았기 때문이라 생각된다.

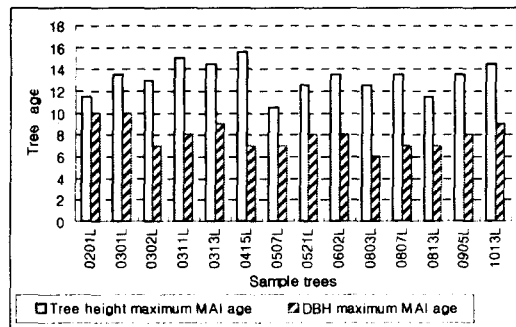


Fig. 4. The age of maximum MAI of tree height and DBH in live trees.

3.4.3 고사목 연륜폭의 평균점 계산

임목의 직경 성장량이 경쟁으로 인하여 현저하게 줄어드는 시점을 간벌시기의 판정기준으로 하고자, 각 고사목이 고사하기까지의 흉고부위의 연륜폭을 합산하여 생존년도로 나누어 평균을 낸 다음 그 평균치 이하로 연년별 직경성장량이 감소한 연령을 찾아내었다.

그림 5를 보면 고사목에서 총 흉고직경 성장량의 평균값 이하로 직경생장이 떨어지는 연령

은 11~16년 사이이며, 이 중 이질적인 자료라 판단되는 표준지 9와 10을 제외하면 직경 성장량 평균치 이하로 떨어지는 연령이 11~14년으로서 수고 MAI가 극대점을 이루는 시기와 유사하게 된다. 표준지 9, 10의 고사목이 다른 표준지의 고사목과 상이한 연년별 성장량을 보이는 이유는 이 지역이 다른 표준지보다 경사가 급하여 전반적인 임분생장이 다른 표준지에 비해 떨어지면서 낮은 임분밀도로 경쟁이 급격히 일어나지 않고 오랜 시간에 걸쳐 완만하게 일어났기 때문이라 생각된다.

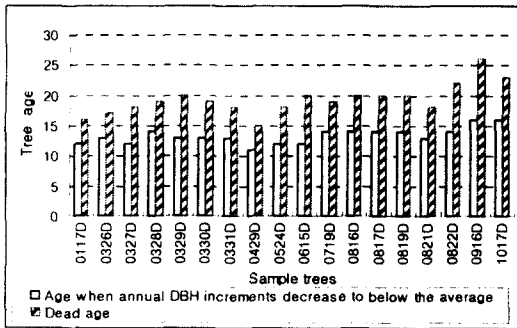


Fig. 5. The age when annual DBH increments decrease to below the average and the dead age in dead trees.

3.5 간벌시기 추정

3.5.1 간벌시기 결정 기준

간벌시기의 추정을 위하여 흉고직경 MAI의 극대점, 수고 MAI의 극대점, 고사목의 총 흉고 직경 성장량의 평균치를 추정 기준 인자로 하여 계산하였다. 그림 4, 5와 표 4에 의하면 흉고 직경 MAI의 극대점은 대부분 수령 7~10년에서 나타나고 있으며, 수고 MAI의 극대점은 수령 11~15년 사이에 나타나고 있다. 흉고 직경 MAI의 극대점을 간벌시점으로 삼는다면 임관이 소개됨과 동시에 만경류와 활잡목들의 침입을 허용하여 이들과의 경쟁에 의해 생장이 계속 불량해질 위험이 있다. 따라서 흉고 직경 MAI의 극대점보다는 수고 MAI의 극대점을 간벌시기 결정인자로 하는 것이 더 바람직하다고 판단된다.

한편, 고사목의 연년 흉고 직경 성장량이 평균치 이하로 감소되기 시작한 수령은 수고 MAI의 극대점에 도달하는 시기와 거의 일치하고 있었다. 간벌의 필요성은 임목의 직경생장을 계속 왕성하게 유지시키는데 있으므로, 고사목의 연년 흉고 직경 성장량 평균점을 기준으로 간벌시기를 정하는 것도 의미있을 듯 하다.

Table 4. The stocking, gross volume of live stocks, average age of maximum treeheight MAI(live trees), and average age decreasing below average DBH increment(dead trees).

Plot no.	Stand age	No. living trees	No. dead trees	Gross volume (m ³ /0.01ha)	Average age for max. tree height MAI	age decreasing below mean DBH increment
1	20	17	9	2.62	13.5	12.0
2	23	24	5	4.47	11.5	12.0
3	23	25	6	3.93	13.9	13.0
4	23	26	6	3.89	12.5	11.0
5	23	21	8	4.52	11.5	12.0
6	24	12	6	3.02	12.3	12.0
7	24	18	6	3.44	12.5	14.0
8	23	16	7	4.49	12.5	13.8
9	30	16*	2	4.27	13.5	16.0
10	30	15	4	4.76	13.0	16.0

* including 1 *Cornus controversa* Hemsl.(0.0289m³)

특히 이 방법은 임분밀도에 따라 정확한 간벌시기를 추정하고자 할 때, 수고 MAI의 극대점에 도달하는 시기보다 더 믿을 수 있는 간벌시기를 제시할 수 있다. 이는 수고생장, 특히 상층목의 수고생장은 임분밀도에 비교적 영향을 적게 받기 때문이며(마, 1974a, b; 마, 1977), 본 연구에서도 수고생장이 임분밀도에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(그림 4, 표 4 참조).

3.5.2 임목간 거리에 따른 간벌시기 추정

경쟁단계에 있는 각 임목의 생장은 전체 임분밀도보다는 국소밀도에 더 영향을 받으므로(장, 1985), 점상한법(4분법 ; point-quarter method)을 응용하여 각 표본목과 주변목 4본과의 거리 합계와 간벌추정시기와의 상관관계를 분석하였다. 간벌시기는 생목의 경우 수고 MAI가 최대치를 보이는 시기로, 고사목의 경우는 흉고직경 성장량의 평균점 이하로 떨어지는 시기로 하였다.

생목에서 주변 임목간 거리 합계와 수고 MAI가 최대치를 보이는 연령과의 상관계수는 0.078로 나타나 거의 상관성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 고사목의 경우 흉고직경 생장이 평균성장량 이하로 감소되는 시기와 주변목과의 거리합은 상당히 높은 상관성을 가지고 있는 것으로 나타났다(그림 6, 7). 표 5에서 표준지 8에 속하는 표본목들은 비슷한 수준의 임목간 거리를 가진 다른 표준지의 표본목들과 비교하여 간벌추정 시기가 1년 가량 늦게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과가 나온 것은 표준지 8의 경사도가 타 지역에 비하여 완만하여 생육조건이 유리하기 때문이라 생각된다.

표 5는 주변목과의 거리 합계와 각 기준령과의 상관관계를 분석한 결과이다. 고사목에서 주변 임목간 거리 합계와 평균 이하로 생장이 저하되는 연령과의 상관계수는 0.739(p<0.01)이었다. 입지조건이 비교적 유리한 표준지 8의 표본목을 제외한 경우 상관계수는 0.91로 높아지며, t-검정 결과 역시 1%에서 유의성이 나타

났다. 식 (6)은 표준지 8의 자료를 제외하고 얻어진 임목간 거리와 간벌추정시기에 대해 계산된 회귀식이다.

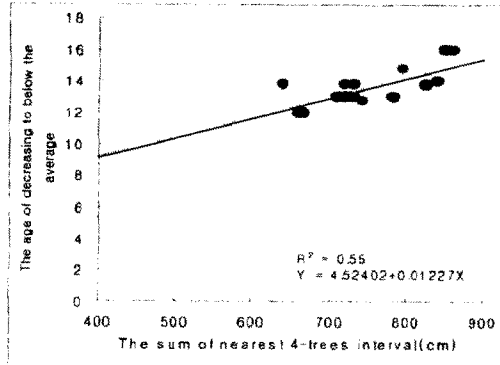


Fig. 6. The estimation of thinning time by total distance to nearest 4 trees.

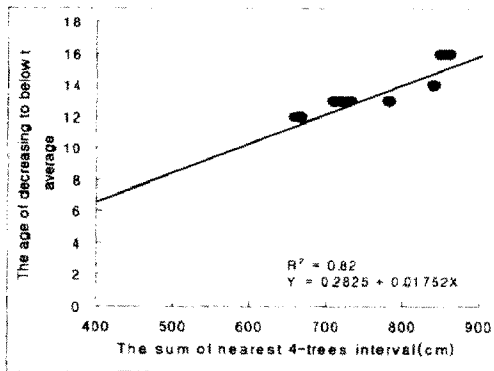


Fig. 7. The revised estimation of thinning time by total distance to nearest 4 trees (except plot 8).

$$Y = 1.90411 + 0.883562 X \dots\dots\dots (6)$$

Y = 추천 간벌령,

X = 주변목 4본과의 거리 합계(cm)

式 (6)에서 누락시킨 표준지 8의 흉고직경 성장량의 평균 이하로 떨어지는 연령에 1년을 더하여 회귀분석을 한 결과 상관계수가 0.921로 높아졌다(표 6). 따라서 주변목과의 거리를

Table 5. Estimated thinning age of *Larix kaemferi* and gross interval among the nearest 4-trees.

no.	age decreasing below mean increment	Gross interval(cm)	no.	Maximum MAI age	Gross interval(cm)
0326D	13	730	0301L	13.5	930
0327D	12	660	0302L	13.0	960
0329D	13	782	0311L	15.0	725
0330D	13	720	0313L	14.5	803
0331D	13	710	0803L	12.5	965
0615D	12	665	0807L	13.5	885
0719D	14	840	0813L	11.5	740
0816D	14	815	0905L	13.5	982
0817D	14	645	1013L	14.5	965
0819D	14	730			
0821D	13	690			
0822D	14	710			
0916D	16	860			
1017D	16	850			

Table 6. The estimated equation of regression, correlation coefficient(r), determination coefficient(R²), t-value, and p-value.

	r	R ²	t-value for slope	regression equation
All plots	0.739	0.546	3.797***	Y=4.52403 +0.01227X
Excepting plot 8	0.908	0.825	5.742***	Y=0.2825 +0.01752X
Plus 1 year to estimated thinning age of plot 8	0.921	0.847	8.164***	Y=1.90411 +0.88356X
Treeheight max. MAI age of live stocks	0.0782	—	-0.2075	—

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

이용한 간벌시기 추정식은 중경사 이상의 조림지에서는 고사목에서 보정된 회귀식 (1)을 쓰는 것이 적절할 것으로 판단되며, 환경사지의 경우에는 추정연령에 1년을 더하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

3.5.3 임분밀도에 따른 간벌시기 추정

표 7에서 3,086본/ha의 식재밀도가 적용된 낙엽송 조림지의 간벌시기는 임령 12~14년이 가장 적절한 것으로 판단된다. 표 5는 임분밀도에 따른 간벌시기의 차이를 알아보기 위해 표준지 3과 표준지 8내에 있는 모든 고사목들을 측정된 결과이다. 표준지 3과 8은 각각

체목수가 많은 곳과 적은 곳을 대표하는 것으로 판단되는 지역으로서 선정하였다.

표준지 3과 표준지 8에서 고사목의 흉고직경 총 성장량의 평균치 이하로 직경생장이 떨어지는 연령을 비교해 보면 각각 평균 13년과 13.8년으로 나타났다. 표준지 8의 임분밀도가 낮은 이유로는 식재 당시 만경류의 침입 등 여러 원인으로 인하여 조림 초기년도에 상당수의 치수가 고사하였거나 또는 식재 당시 疎하게 심겨졌기 때문으로 생각된다.

표준지 8의 임목들은 비교적 소한 임분밀도에서 자란 데에다가 환경조건이 다른 표준지에 비해 유리하여 매우 빠른 성장을 보여주었다. 표준지 8에서 임분밀도가 높은 표준지 3보다

Table 7. The comparison of estimated thinning age with high stocking(plot 3) and low stocking(plot 8).

Plot*	plot 3	plot 8
No. of live trees	25	16
No. of dead trees	6	7
Stock volume(m ³)	3.93228	4.49045
Age to down average increment of dead trees	13	14
	12	14
	14	14
	13	13
	13	14
Average age (Estimated thinning age)	13.0	13.8

* size of 1 plot = 10m × 10m (0.01ha)

** 2 dead trees' cross section were not able to measure with heavy decay

더 많은 고사목이 발생한 것도 여기에 기인한 것이라 판단되며, 임분밀도가 상당한 차이를 보이고 있음에도 간벌추정연령이 불과 1년 정도밖에 차이가 나지 않은 이유가 되었다고 추정된다. 실제 표준지내의 재적은 표준지 8이 높은데도 추정된 간벌 연령은 표준지 3이 더 앞서 있음으로부터 임분재적 외에 개체목의 본수 역시 간벌시기에 중요한 영향을 미친다고 판단되며, 이 사실은 표 2와 3에서도 간접적으로 확인할 수 있다. 이에 따라 지금까지의 간벌작업은 임분밀도관리도에 의하여 임분재적밀도를 기준으로 고려되어졌으나, 앞으로 일정면적당 입목본수를 요인으로 고려한 많은 연구가 이루어져야 할 필요가 있다고 생각된다.

4. 결론

중부지방 낙엽송 조림지의 간벌시기 추정을 위해 충북대학교 부속 연습림(월악산)을 대상으로 연구한 결과를 다음과 같이 결론지었다.

1. 충북대학교 부속 연습림내에 조립된 낙엽송의 수고곡선식은 $H=4.25783+0.80024D$ (H=수고, D=흉고직경)으로 나타났다.

- 본 연구대상지의 재적식을 구하기 위해 최소제곱법으로 회귀분석을 한 결과, 수고와 흉고직경을 모두 독립변수로 하는 경우 재적식은 $V=0.001474-0.002095D-0.000211H+0.000150D \cdot H+0.000744D^2+0.000008H^2$ (V=재적(m³), H=수고(m), D=흉고직경(cm))으로 계산되었다. 한편, 재적에 대하여 흉고직경만을 독립변수로 한 경우는 $V=0.000079-0.000512D+0.000826D^2$ 인 것으로 나타났다. 앞의 식으로 잔차도를 구하여 분석해보면 고사목에서는 과대치를 내고 있어 고사목의 초살도가 생목보다 크다는 것을 알 수 있다.
- 간벌시기 추정을 위한 기준으로는 수고 MAI의 극대점을 이루는 연령과 고사목에서 총 흉고직경 성장량의 평균치 이하로 떨어지는 시점의 연령이 적절한 것으로 판단된다.
- 수고 MAI의 극대점에 도달하는 연령은 임분밀도와 유의성 있는 상관을 보이지 않아 정확한 간벌시기의 판단기준으로 삼을 수 없었다.
- 고사목에서 총 흉고직경 성장량의 평균치 이하로 떨어지는 연령과 주변목 4본의 거리 합계와의 회귀식은 $Y=4.52403+0.01227X$ (Y=추정간벌령, X=입목간 거리의 합(cm))으로 나타났다.

6. 위의 식을 보정하여 입지조건이 다른 표준지에 비하여 좋은 표준지 8의 자료를 제외하고 회귀분석한 결과 $Y=0.2825+0.01752X$ 으로 나타났으며, 이 식을 간벌시기의 추정식으로 하였다. 표준지 8과 같이 경사가 매우 완만한 지역에서는 이 식으로 추정된 간벌연령에 1년을 더하여 간벌을 시행하는 것이 적절하다고 생각된다.
7. 관행적인 1.8m×1.8m의 식재밀도가 적용된 낙엽송 조림지에서 간벌 개시 연령은 12~14년이 적당한 것으로 나타났다.

인용문헌

1. 강명욱, 김영일, 안철환, 이용구. 1996. 회귀분석 -모형개발과 진단. 울곡출판사.
2. 金甲德, 鄭聖鶴. 1988. 中部地方 落葉松林分の材積式 및 樹高式에 關한 研究. 韓國林學會誌 77(1) : 23~31.
3. 金東春. 1967. 日本잎갈나무林分の收穫과 生長에 關한 研究. 林業試驗場研究報告 13 : 1~62.
4. 金東春, 馬相圭. 1974. 리기다 소나무 幼齡林分の 密度 效果. 林業試驗場研究報告 21 : 151~156.
5. 金俊鎬, 宣順和, 李錫求, 金鼎錫. 1977. 은수원사시나무 造林地의 生産構造와 生産性. 韓國林學會誌 35 : 9~14.
6. 馬相圭. 1974a. 環境因子の 數量化에 依한 잣나무林 收穫量推定과 林木生長에 關한 研究. 林業試驗場研究報告 21 : 41~115.
7. 馬相圭. 1974b. 잣나무 2-1묘와 방크스소나무 1-1묘의 生長에 미치는 密度效果. 韓國林學會誌 32 : 1~8.
8. 馬相圭. 1977. 日本잎갈나무 林分の 生産力과 密度管理에 關한 研究. 韓國林學會誌 34 : 21~30.
9. 백영균. 1993. 통계분석을 위한 SPSSpc + 활용. 학지사.
10. 산림청. 1972—1991. 임업통계요람.
11. 산림청. 1992—1995. 임업통계연보. 제 22—25호.
12. 孫膺龍, 朴炳勳, 車鍾煥, 安始榮. 1991. 農·生物統計學. 先進文化社.
13. 沈東燮, 朴贊雨, 李興均, 金思日. 1986. 落葉松 林分密度管理圖 調製에 關한 研究. 林業試驗場研究報告 33 : 1~12.
14. 이경준. 1995. 수목생리학. 서울대학교출판부.
15. 李敦求, 李慶學, 曹貞眞. 1987. 京畿道 廣州地方 日本잎갈나무의 間伐程度에 따른 生長效果. 서울대학교 農科大學 演習林報告 23 : 75~78.
16. 李麗夏. 1995. 測樹學. 機電研究社.
17. 任慶彬, 金甲德, 李景宰, 金用植, 朴仁協, 金甲泰, 李承鎬, 朴孝燮. 1981. 15年生 落葉松林分の 成長 및 生産構造. 韓國林産에너지誌 1(1) : 4~12.
18. 任慶彬, 金甲德, 李景宰, 權台鎬. 1981. 落葉松造林地의 生産構造에 關한 研究. 서울대학교 農科大學 演習林報告 17 : 31~37.
19. 任慶彬 外 23人. 1985. 新稿 造林學原論. 鄉文社.
20. 任慶彬 外 23人. 1991. 造林學本論. 鄉文社.
21. 張哲洙, 權五福. 1982. 落葉松林의 密度管理에 關한 研究. 江原대학교 林科大學 演習林研究報告 2 : 5~12.
22. 張哲洙. 1985. 落葉松林의 單木生長과 周邊密度와의 關係. 韓國林學會誌 71 : 27~32.
23. 鄭印九. 1981. 數量化에 依한 우리나라 森林土壤의 形態學的 및 理化學的 性質과 잣나무 및 落葉松의 生長 相關分析. 韓國林學會誌 53 : 1~26.
24. 鄭印九. 1982. 森林土壤의 理化學的 性質과 곰솔 外 3樹種에 對한 適地特性에 關한 研究. 林業試驗場研究報告 29 : 263~315.
25. 제천시. 1990—1994. 제천시통계연보. 제 10—14호.

26. 陳鉉五, 李明鐘, 申榮五, 金鼎濟, 全尙根. 1994. 森林土壤學. 鄉文社.
27. 충북대학교 농과대학. 1992. 충북대학교 제천 국유림 영림구 제2차기 산림관리계획서.
28. Bella, I. E. 1971. A new competition model for individual trees. For. Sci. 17 : 364-372.
29. Chatterjee, S. and B. Price. 1977. Regression Analysis by Example. John Wiley & Sons.
30. Husch, B., C. I. Miller, and T. W. Beers. 1982. Forest Mensuration - Third Edition. John Wiley & Sons.