

## 天然潤葉樹林내 신갈나무와 굴참나무의 直徑生長 特性

崔晶棋<sup>1\*</sup> · 柳炳吾<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 산림과학대학 산림경영 · 조경학부, <sup>2</sup>국립산림과학원

## Diameter Growth Characteristics of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* in Natural Deciduous Forests

Jung-Keel Choi<sup>1\*</sup> and Byoung-Oh Yoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Management · Landscape Architecture, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>2</sup>Korea Forest Research Institute, Seoul 130-172, Korea

**요 약:** 본 연구는 우리나라 천연활엽수림의 대표적 수종인 신갈·굴참나무를 대상으로 흉고직경 성장량 패턴을 알아보고, 14개의 임목 측정인자와 직경성장량과의 관계를 규명하기 위하여 실시하였다. 본 성장량 자료는 강원도 천연활엽수림지역에서 별도 된 83본의 신갈 및 굴참나무에 대하여 수간석해를 통하여 분석하였다. 두 수종 모두 우세목의 경우 평균적으로 15~20년까지 흉고직경성장률이 높게 나타나다가 그 이후부터는 일정한 성장량을 갖고, 매년 0.09~0.83 cm/yr의 흉고직경생장을 하는 것으로 나타났다. 최근 5년간의 연년직경성장량은 신갈나무가 평균 0.28 cm/yr로 굴참나무 평균 0.27 cm/yr 자라는 것으로 실측되었으며, 두 수종 모두 우세목, 준우세목, 중간목, 피압목 순으로 생장이 좋은 것으로 확인되었다. 특히, 신갈나무의 경우는 수관급간에 직경성장량이 매우 유의적인 차이(p<0.0001)가 있는 것으로 나타났다. 또한, 14개의 임목 측정인자와 조제변수를 이용하여 최근 5년간의 연년직경성장량과 Pearson 상관분석을 실시한 결과, 신갈나무의 경우 상대직경(r=0.64), 상대수고(r=0.61), 노출된 수관투영면적(r=0.58), 전체 수관투영면적(r=0.56)순으로 상관관계가 높게 나타났으며, 굴참나무는 흉고직경(r=0.57), 수관폭(r=0.55), 연령(r=0.39), 경쟁지수(r=-0.39), 수고(r=0.35)순으로 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

**Abstract:** This study was conducted to assess the diameter growth patterns of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* dominant species in natural deciduous forests in Korea. The diameter growth data were collected from 83 destructively sample trees for stem analysis in Gangwon-Do region. The relationship between diameter growth and 14 tree measurements was also analyzed. The average diameter growth rate of dominant trees for both species increased until ages of 15-20 years, and exhibited generally constant trend for subsequent ages. The diameter growth rate of both species ranged from 0.09-0.83 cm/yr across the all ages. Average annual diameter growth for last 5 measurement years was 0.28 cm/yr for *Quercus mongolica* and 0.27cm/yr for *Quercus variabilis*. The observed growth rate decreased with decreasing crown class. The difference between diameter growth rates for different crown classes was only statistically significant (p<0.0001) for *Quercus mongolica*. Pearson correlation coefficient between the diameter growth rate decreased with relative diameter (r=0.64), relative height (r=0.61), exposed crown area (r=0.58) and total crown area (r=0.56) for *Quercus mongolica*. For *Quercus variabilis*, Pearson correlation coefficient decreased with dbh (r=0.57), crown width (r=0.55), age (r=0.39), competition index (r=-0.39), and height (r=0.35).

**Key words :** Natural deciduous forest, Diameter growth rate, Tree measurements, Correlation coefficient, *Quercus mongolica*, *Quercus variabilis*

\*Corresponding author

E-mail: jungkee@kangwon.ac.kr

본 연구는 한국과학재단 지역대학 우수과학자 지원연구(R05-2001-000-01435-0)에 의해서 수행된 결과의 일부임.

## 서 론

우리나라 천연활엽수림은 과거 오랫동안 '활잡목'으로 취급되어 별다른 주목을 받지 못하고 방치되어 오다가, 최근 산림의 환경적, 경제적 가치의 재평가를 통하여 그 중요성이 부각되고 있는 실정이다. 따라서 현재 우리나라 전체 산림면적의 약 26%를 차지하고 있는 활엽수림과 29%를 차지하는 혼효림은 향후 지속적인 천연활엽수림 경영을 위해서 철저한 관리체계가 수립되어야 할 것으로 판단된다(산림청, 2004). 이런 맥락에서, 정부에서는 최근 산림시책으로 침엽수와 활엽수의 균형을 유지하는 조림정책과 숲다운 숲 가꾸기 실행, 나아가 참나무 육성권역을 선정하는 등 천연활엽수림에 대한 각종 노력이 뒤따르고 있다(산림청, 2005).

그러나 아직까지 우리나라는 천연활엽수림 시업에 대한 풍부한 경험, 지식, 기술이 축적되지 못한 실정이고, 더욱이 우리나라 천연활엽수림은 인공 침엽수림에 비하여 다양한 수종구성과 생태적으로 복잡한 특성을 가지고 있어, 그 시업체계를 확립하는데 어려움을 가지고 있다. 그러나 임업 선진국에서는 이미 천연활엽수림에 대해서 경제적 기능뿐만 아니라 다양한 생태계유지, 야생동물의 서식처 제공, 경관적 가치 등 친환경적 산림관리를 해오고 있는 실정으로 이들의 선행 연구를 검토하여 우리나라 실정에 맞게 적용시킬 필요가 있다고 판단된다(Rominske and Busch, 1991; Choi, 1998; Solomon and Gove, 1999). 특히, 우리나라는 복잡한 천연활엽수림의 시업관리에 있어서 가장 기본이 되는 임목 및 임분 성장상태 규명이 우선적으로 요구되며, 이를 기초로 해서 보다 과학적인 임분구조진단 및 시업방법을 개발하는 것이 필요하다.

따라서 우리나라 천연활엽수림의 임분구조와 성장분석을 정확히 파악하기 위해서는 단지 몇 개의 측정 인자만으로 해당 임분을 진단하기 보다는 천연활엽수 임분의 생물학적 특성과 환경적 특성을 고려한 다양한 측정인자를 이용해서 그 성장상태를 정확하게 진단하는 것이 필요하다(Belcher *et al.*, 1982; Cole and Lorimer, 1994; Choi *et al.*, 2001). 본 연구에서는 우리나라 천연활엽수림의 대표수종인 신갈나무와 굴참나무를 대상으로 연령에 대한 흉고직경성장량 변화를 파악하고, 다양한 양적·질적 측정인자를 이용하여 천연활엽수림의 임분구조 진단과 이들 측정인자와 흉고직경성장과의 상관관계를 규명하고자 실시하였다.

## 자료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구대상지는 우리나라 대표적인 천연활엽수림이라 판단되는 강원도 춘천시 동산면과 홍천군 북방면 일원에

위치한 강원대학교 학술림과 강원도 양양군 현남면, 현북면에 위치한 양양생태관찰원으로 선정하였다. 강원대학교 학술림의 평균기온은 동계가  $-4^{\circ}\text{C}$ , 하계가  $21^{\circ}\text{C}$ 이며, 연평균강우량은 1,200 mm이며, 표고는 230~899 m 범위에 위치하고 있으며, 토양은 대부분 양토 또는 사질양토를 이루고 있다. 총 산림면적은 3,146 ha로 이 중 천연활엽수림이 73%로 대부분을 차지하고 있으며, 신갈나무가 우점수종(전체수종의 50%)이고, 기타수종으로는 굴참나무, 박달나무, 떡갈나무, 쪽동백나무, 개웃나무, 고로쇠나무, 느릅나무, 살구나무, 층층나무, 산벚나무 등이 생육하는 것으로 나타났다(강원대학교 학술림, 2000).

강원도 양양군에 있는 양양생태관찰원의 평균기온은 동계가  $0^{\circ}\text{C}$ , 하계는  $24^{\circ}\text{C}$ 이며, 연평균강우량은 1,300 mm이며, 표고는 220~650 m 범위에 위치하고 있으며, 토양은 주로 사질양토와 점토질 토양을 이루고 있다. 총 산림면적은 483 ha로 이 중 천연활엽수림이 약 70%를 차지하고 있으며, 수종 구성은 굴참나무가 우점수종(전체수종의 64%)이며, 기타수종으로는 신갈나무, 졸참나무, 떡갈나무, 피나무, 쪽동백나무 등이 생육하고 있는 것으로 나타났다(동부지방산림관리청, 2001).

### 2. 영구표준지 설계 및 임목측정

본 연구에서의 천연활엽수림 영구표준지는 임분구조가 다양한 신갈과 굴참나무가 우점하는 임지를 선발하였다(강원대 학술림: 8개, 양양생태관찰원: 7개). 그리고 천연활엽수림의 경쟁과 성장을 효과적으로 진단하고 공간적인 자기상관의 문제를 해결하기 위하여 주표준지와 보조표준지를 이용한 원형표준지를 설계하였다(Figure 1). 이 원형표준지의 크기는 조사할 영구표준지 지역에서 10개의 상층목인 우세목, 준우세목, 중간목의 수관반경을 측정하여 이를 평균한 수관반경의 3.5배에 해당하는 길이를 표준지 반경으로 하는 주 원형표준지(main plot)를 설치하였고, 주 원형표준지 반경의 0.6배에 해당하는 반경 크기로 주 원형표준지내에 보조원형표준지(subplot)를 설정하였다(Lorimer, 1983; Ganzlin and Lorimer 1983).

임목측정은 주 원형표준지내의 흉고직경 5 cm 이상의 살아있는 모든 임목에 대하여 표준지 중심에서 각 임목까지의 거리와 방위각을 측정하였고, 각 수종의 수관급을 우세목, 준우세목, 중간목, 피암목으로 구분하고(Smith *et al.*, 1997), 흉고직경(DBH), 총수고(HT), 수관폭이 가장 넓은 지점까지의 수고(HW), 지하고(HB), 전체 수관반경(TCR), 노출된 수관반경(ECR)을 측정하였다(Figure 2). 흉고직경은 하가르프 윤척을 이용하여 사면방향으로 지상 1.2 m되는 임목의 직경을 측정하였으며, 수고는 Sunnto clinometer를 이용하여 측정하였다. 전체 수관반경은 전체 수관의 수관반경을 줄자를 이용하여 수관중심에서 각각 4방위(N,

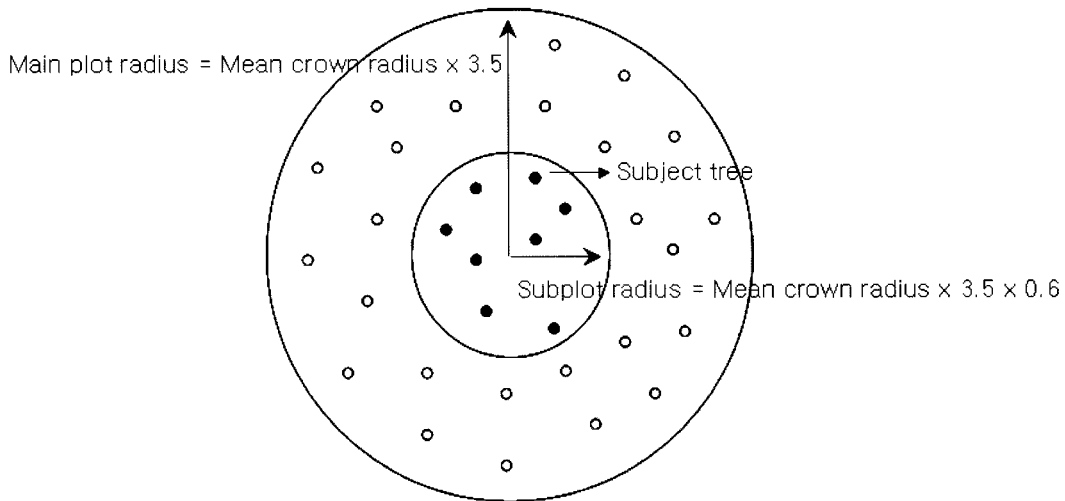


Figure 1. Permanent plot diagram for natural deciduous forests.

E, S, W)의 수관반경(a, b, c, d)을 측정하였으며, 노출된 수관반경은 측정임목이 인접 임목의 수관으로부터 겹치지 않은 부분 즉, 노출된 수관부분에 대하여 4방위의 수관 반경(a', b', c', d')을 측정하였다.

변수들을 조제하였다. 수관장비율(LCR)은 총수고에 대한 수관장 비율로 (총수고-지하고)/총수고로 산출하였고, 전체 수관투영면적(TCA)과 노출된 수관투영면적(ECA)은 각각 임목의 4방위(N, E, S, W)의 수관반경을 이용하여 타원공식으로 산출하였으며, 노출된 수관투영면적비율(%ECA)은 노출된 수관투영면적 대 전체 수관투영면적의 퍼센트 비율로 산정하였다.

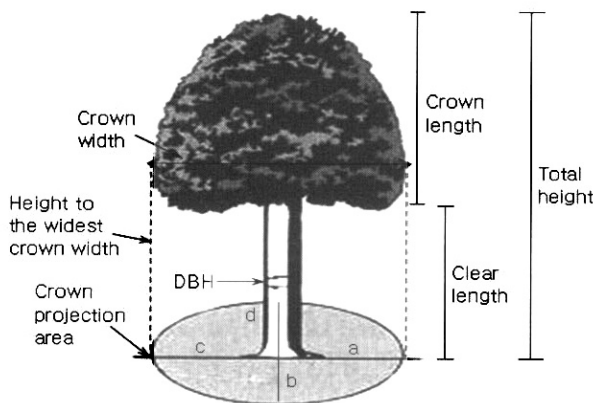


Figure 2. Tree measurements made on standing tree.

상대직경(RD)과 상대수고(RH)는 각 영구표준지별로 임목의 흉고직경 및 수고를 해당 표준지의 우세목과 준우세목의 평균흉고직경 및 평균수고의 비로 산출하였다. 또한 경쟁지수(CI)는 거리독립경쟁지수를 이용하여 경쟁목은 중심목보다 크거나 같은 수관급의 임목을 선정하여 흉고 직경에 대한 경쟁목들의 흉고직경의 합으로 각 중심목의 경쟁지수를 산출하였다(Choi, 1998). 이상의 임목측정인자를 통하여 추가된 조제변수들에 대한 산출방법을 정리하면 Table 1과 같다.

또한, 보조원형표준지내의 흉고직경 5 cm 이상의 임목을 중심목(subject tree)으로 정하고 임목측정 후 모두 벌도하여 신갈과 굴참나무에 한하여 수간식해를 실시하였으며, 본 연구에서는 지상 1.2 m에 해당하는 원판에 대하여 4방위(N, E, S, W)에 해당하는 연륜폭을 DTRS-2000 디지털 연륜측정기를 이용하여 1/100 mm 단위까지 5년 간격으로 연륜폭을 측정하여 이를 평균으로 하는 연년 흉고직경생장량과 연령을 산출하였다.

Table 1. Tree variables used in the study and their formulas.

Tree variable	Formula
Live crown ratio (LCR)	$(HT-HB)/HT$
Total crown area (TCA)	$\pi/4(ab+bc+cd+da)$
Exposed crown area (ECA)	$\pi/4(a'b'+b'c'+c'd'+d'a')$
Percent exposed crown area (%ECA)	$(ECA/TCA) \times 100$
Relative diameter (RD)	$D/\bar{D}$
Relative height (RH)	$HT/\bar{H}$
Competition index (CI)	$\left( \sum_{j=1}^n D_j \right) / D_i$

HT: Total height(m), HB: Clear length(m), a,b,c,d: Total crown radius to cardinal direction(m), a',b',c',d': Exposed crown radius to cardinal direction(m), ECA: Exposed crown area(m<sup>2</sup>), TCA: Total crown area(m<sup>2</sup>), D: Dbh(cm),  $\bar{D}$ : Average Dbh of dominant and co-dominant trees on main plot(cm),  $\bar{H}$ : average total height of dominant and co-dominant trees on main plot(m),  $D_i$ : Dbh of subject tree(cm),  $D_j$ : Dbhs of competitors(cm).

### 3. 추가 측정인자 조제 방법

본 영구표준지에서 조사된 임목측정인자를 이용하여 보조 표준지내의 신갈나무와 굴참나무에 대하여 수관장비율, 수관투영면적, 상대직경, 상대수고, 경쟁지수 등 추가

## 결과 및 고찰

### 1. 천연활엽수림의 임분구조분석

본 연구조사지의 임분구조 파악에 있어서 우선 지형적인 면을 살펴보면, 사면방향의 경우 북서사면이 8개 지역으로 가장 많고, 다음으로는 남동사면이 5개로 많은 것으로 나타났다. 이는 신갈나무림이 주로 북서사면에 위치하고, 굴참나무림이 남동사면에 위치하기 때문에 이와 같은 경향이 나타났다. 경사에 있어서는 전체적으로 평균 18°이고, 5~28°의 분포를 보이며, 해발고는 평균 470 m로 305~640 m의 범위인 것으로 나타났다(Table 2). 본 표준지내에서 조사된 수종양상을 살펴보면, 강원대학교 학술림의 표준지는 대부분 신갈나무가 우점수종으로, 기타수종으로는 굴참나무, 박달나무, 떡갈나무, 쪽동백나무, 개울나무, 고로쇠나무, 느릅나무, 살구나무, 층층나무, 산벚나무, 소나무, 밤나무, 다릅나무, 잣나무가 생육하는 것으로 나타났다. 양양생태관찰원내 표준지에서는 대부분 굴참나무가 우점수종으로 상층을 점유하고 있으며, 기타수종으로는 신갈나무, 졸참나무, 떡갈나무, 피나무, 쪽동백나무, 서어나무가 생육하는 것으로 나타났다. 강원대학교 조사지역이 양양지역의 조사지 보다 많은 수종들이 분포하고 있는 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 표준지 크기가 조사지역의 상층목의 수관반경 크기에 따라 차이가 되도록 고안되었기 때문에, 지역별로 표준지 크기가 다양하게 나타났다(Table 2). 전체 지역의 평균 표준지 반경은 9.3 m이며, 5.0~16.0 m의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 특히, 신갈나무가 우점하는 표준지의 반경(평균 10.0 m)이 굴참나무가 우점하는 표

준지 반경(평균 8.2 m)보다 크게 나타났는데, 이는 조사 지역의 신갈나무 상층목 수관반경이 굴참나무에 비해 크다는 것을 의미한다. 각 표준지 지역은 대부분 신갈나무 아니면 굴참나무가 평균 70%정도 우점하고 있는 것으로 나타났으며, 그 우점율 범위는 39~97%를 보이고 있다. 특히, 신갈나무 보다는 굴참나무의 점유율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 또한, 전체조사지의 상층을 점유하는 임목의 평균흉고직경은 18 cm이고, 최소 6 cm에서 최대 50 cm에 이르며, ha당 흉고단면적은 평균 19 m<sup>2</sup>로, 6~38 m<sup>2</sup>의 범위로, 양양생태관찰원지역이 강원대학교 학술림보다 흉고단면적이 다소 높은 것으로 나타났다. 이들 표준지 각각은 모두 2차림으로 구성된 우리나라 전형적인 천연활엽수의 임분구조를 갖고 있는 것으로 파악되었다(Table 2).

또한, 본 연구에서는 보조표준지내에서 별도의 신갈나무(n=43)와 굴참나무(n=40)의 세부적인 임목특성을 살펴보면, 연령의 경우 신갈나무가 평균 37년생으로 21~53년생의 분포를 보이며, 굴참나무는 평균 40년생으로 15~70년생의 분포로 굴참나무가 다소 넓은 연령분포를 갖는 것으로 나타났다. 흉고직경은 신갈나무가 평균 13.2 cm이고 그 직경범위가 5.8~24.6 cm이며, 굴참나무는 평균 16.0 cm, 직경범위가 6.6~34.8 cm로 파악되어 굴참나무가 다소 큰 것으로 나타났다. 총수고(HT), 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고(HW), 지하고(HB), 수관장(CL), 수관폭(CW)은 두 수종 모두 평균적으로 비슷한 크기를 갖고 있는 것으로 나타났다(Table 3).

각 측정인자에 대해 두 수종의 변동계수(CV)를 비교한 결과, 신갈나무의 경우 수관장이 굴참나무는 수관폭이 각

Table 2. Site and stand structural characteristics for study areas.

Plot Number <sup>1</sup>	Topography			Stand			
	Aspect	Slope	Elevation (m)	Plot radius (m)	Dominant species <sup>2</sup> (%)	Canopy Dbh <sup>3</sup> (cm)	Basal area (m <sup>2</sup> /ha)
A-1	NW	18	485	8.6	m (68)	13 (9-22)	10
A-2	NW	22	490	7.2	m (53)	13 (8-21)	13
A-3	NW	10	520	8.8	m (80)	13 (6-26)	14
A-4	NW	32	390	10.7	v (39)	19 (15-26)	10
A-5	NW	5	385	16.0	m (55)	25 (13-37)	6
A-6	NW	21	410	15.2	m (72)	33 (15-50)	18
A-7	SW	28	390	9.9	m (81)	20 (14-27)	13
A-8	NW	20	450	11.2	m (97)	20 (16-31)	22
B-1	SE	23	415	8.4	v (52)	16 (9-26)	20
B-2	NE	15	640	8.5	m (34)	13 (7-29)	29
B-3	SE	17	610	11.0	v (97)	23 (10-40)	38
B-4	SE	15	515	8.0	v (92)	22 (14-30)	22
B-5	SE	10	605	5.2	v (88)	14 (9-19)	27
B-6	SE	25	440	6.0	v (90)	18 (14-22)	23
B-7	NW	9	305	5.0	m (59)	11 (7-16)	22

<sup>1</sup>A: Research forest in Kangwon National University, B: Forest eco-observation area in Yangyang.

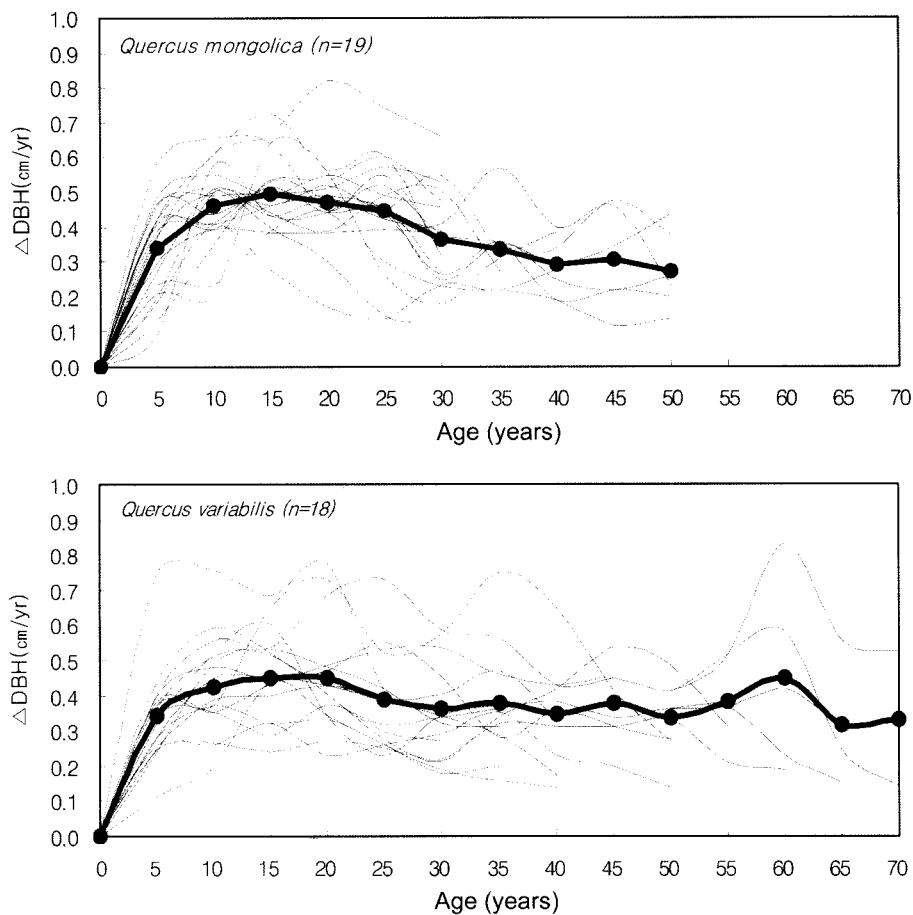
<sup>2</sup>m: *Quercus mongolica*, v: *Quercus variabilis*.

<sup>3</sup>Dbh for intermediate, codominant and dominant trees.

**Table 3. Attributes of subject trees in subplots.**

Species	No. of trees	Statistics	AGE	DBH	HT	HW	HB	CL	CW
<i>Quercus mongolica</i>	43	Min	21	5.8	5.0	2.8	1.4	0.8	1.1
		Mean	37	13.2	12.2	10.2	7.4	4.8	3.2
		Max	53	24.6	19.2	15.8	13.1	9.9	5.8
		CV(%)	30	36	31	34	38	46	41
<i>Quercus variabilis</i>	40	Min	15	6.6	6.1	2.2	2.0	0.7	0.6
		Mean	40	16.0	12.1	9.8	7.2	4.9	3.4
		Max	70	34.8	17.0	15.7	13.1	8.9	8.0
		CV(%)	36	42	24	30	37	36	44

AGE: Tree age, DBH: Diameter at breast height(cm), HT: Total height(m), HW: Height to widest crown width(m), HB: Clear length(m), CL: Crown length(m), CW: Crown width(m), CV(%): Coefficient of Variance.



**Figure 3. Diameter growth trend over age for dominant trees.**

각 46%와 44%로 가장 변이가 심한 것으로 나타났다. 이는 천연활엽수림 내에 이 두 수종의 수관관련 변수의 변이가 상대적으로 크다는 것을 의미하며, 그 외에도 신갈나무의 경우는 수관폭, 지하고, 흉고직경 순으로 굴참나무의 경우는 흉고직경, 지하고, 수관장 순으로 변이가 높은 것으로 나타났다(Table 3).

**2. 신갈 · 굴참나무의 직경생장량 패턴**

본 연구에서는 신갈나무와 굴참나무의 흉고직경생장량

패턴을 파악하기 위해서 벌도목의 지상 1.2 m 원관을 이용하여 5년 간격으로 직경생장량을 조사하였다. 일단, 두 수종의 우세목만을 선발하여 연령에 대해 흉고직경생장량 변화를 도기한 결과, 두 수종 모두 연령에 따라 생장변화가 다소 심한 것으로 나타났다(Figure 3). 이는 우세목이라 하더라도 주위환경과 임목크기에 따라 다양한 생장 차이가 있음을 의미한다. 본 연구결과에서는 신갈 · 굴참나무 모두 평균적으로 15~20년생에서 최대 흉고직경생장하는 것으로 나타났다(Figure 3. 굵은선 참조).

**Table 4. Annual diameter increment for the last 5 measurement years by crown class for each species.**

Crown class <sup>1</sup>	<i>Quercus mongolica</i>			<i>Quercus variabilis</i>		
	No. of trees	ΔDBH (cm/yr)	P-value <sup>2</sup>	No. of trees	ΔDBH (cm/yr)	P-value <sup>2</sup>
D	19	0.40 <sup>a</sup> ± 0.17	< 0.0001	18	0.31 <sup>a</sup> ± 0.12	0.1706
CD	5	0.25 <sup>b</sup> ± 0.13		11	0.27 <sup>a</sup> ± 0.19	
I	10	0.22 <sup>b</sup> ± 0.08		5	0.24 <sup>a</sup> ± 0.12	
S	9	0.12 <sup>b</sup> ± 0.07		6	0.17 <sup>a</sup> ± 0.08	
Total	43	0.28 ± 0.17		40	0.27 ± 0.14	

<sup>1</sup>D: Dominant tree, CD: Co-dominant tree, I: Intermediate tree, S: Suppressed tree.

<sup>2</sup>P-value is for ANOVA. Letter a and b are used to designate statistically significant differences among crown class; tested using Duncan comparison( $\alpha=0.05$ ).

신갈나무의 경우 15~20년까지 급격히 성장을 한 후, 그 이후부터는 임목간에 다양한 성장을 하며 대체로 성장량이 줄어드는 경향으로 흉고직경성장량은 0.09~0.83 cm/yr의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 이 결과는 김성덕 등(1995)이 신갈나무의 직경성장율은 초기 50년간 빠르며, 그 이후부터는 점차 성장이 둔화하는 경향이 있다고 언급한 것과는 다소 성장량 차이가 있는 것으로 나타났다.

굴참나무의 경우도 신갈나무와 일반적으로 비슷한 경향의 성장패턴을 보이고 있으나, 성장변이는 신갈나무에 비해 다소 심한 것으로 나타났다. Lee, W. K *et al.* (2004)은 굴참나무 190본에 대해서 연령에 대해 최근 직경성장량을 조사한 결과, 0.08~1.0 cm/yr의 성장을 하고, 20년생에서 최대 직경성장을 하는 결과는 본 연구와 매우 유사한 것으로 나타났다. 그리고 박인협 등(1996)이 언급한 참나무는 일반적으로 35년까지 흉고직경 및 수고 성장이 대체로 직선적으로 증가하는 경향을 가지고 있다는 연구결과도 다소 본 연구결과와 유사한 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서는 수관급별로 최근 5년간 직경성장량을 이용하여 연년직경성장량을 파악한 결과, 앞에 언급한 연령에 따른 직경성장량의 결과와 마찬가지로 두 수종 모두 우세목, 준우세목, 중간목, 피압목 순으로 성장이 좋은 것으로 나타났으며, 신갈나무는 우세목이 가장 뚜렷한 성장을 보였으며, 굴참나무는 우세목과 준우세목 성장차이가 크지 않은 것으로 나타났다(Table 4). 중간목과 피압목은 두 수종 모두 우세목과 준우세목에 비해 성장량 차이가 있는 것으로 나타났다.

통계적으로 수관급간의 직경성장량의 유의적인 차이가 있는지를 파악하기 위해서, ANOVA를 통하여 분석한 결과, 신갈나무의 경우 수관급간에 매우 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났으며( $p<0.0001$ ), 굴참나무는 수관급간에 유의적인 직경성장량의 차이가 없는 것으로 판정되었다( $p=0.1706$ ). 그러나 신갈나무의 경우 우세목만이 다른 수관급에 대해 차이를 보인 반면 준우세목, 중간목, 피압목 간에는 차이가 없는 것( $\alpha=0.05$ )으로 Duncan 다중비교를 통해 나타났다(Table 4). 이상의 결과는 본 연구의 제한된

자료의 분석이기는 하나 향후 신갈나무의 경우 우세목과 기타 수관급을 독립변수로 활용한 성장모델 개발에 활용 가능성이 있을 것으로 사료된다(Webster and Lorimer, 2002; Zhao *et al.*, 2004).

두 수종의 최근 연년직경성장량에 대하여 구체적으로 살펴보면, 신갈나무는 평균 0.28 cm/yr(0.12~0.40 cm/yr) 직경성장을 하고, 굴참나무는 평균 0.27 cm/yr(0.17~0.31 cm/yr) 성장을 하는 것으로 나타났다(Table 4). 이 직경성장량을 다른 연구결과들과 비교하기 위해서, 본 연구의 신갈나무 평균크기(평균연령 37년생, 평균직경 13.2 cm, 평균수고 12.2 m)와 유사한 크기의 직경성장량에 대한 연구를 검토한 결과, 박인협 등(1996)의 경기도 광주군의 신갈나무 평균연령 34년생, 평균직경 15 cm, 평균수고 11.6 m의 연령-흉고직경 그래프를 통하여 최근 5년간의 평균 연년직경성장량을 추정한 결과 0.64 cm/yr로 나타나 본 연구보다는 다소 높게 나타났다. 송철영 등(1996)은 충청북도 충주지역에 39년생 신갈나무의 흉고직경 10 cm, 수고 7 m를 조사한바, 총 평균성장량(MAI: Mean Annual Increment)이 0.26 cm/yr인 것으로 나타나 이 임목의 연년성장량(PAI: Periodic Annual Increment)은 이 보다는 다소 높을 것으로 예상되어(Avery and Burkhart, 2002), 본 연구와 유사한 성장량을 갖는 것으로 나타났다.

굴참나무의 경우도 마찬가지로 본 연구의 굴참나무 평균크기(평균연령 40년생, 평균직경 16.0 cm, 평균수고 12.1 m)와 유사한 기존의 연구결과를 비교해 보았을 때, 정동준 등(1999)의 경우 충주지역의 남동사면에 있는 굴참나무 평균연령 44년생, 평균흉고직경 20.7 cm, 수고 11.7 m의 임목의 경우, 최근 10년간 직경성장량이 0.39 cm/yr로 나타났으며, 최근 5년간의 성장량은 파악되지 않았으나 다소 성장량이 줄어들 것으로 예상하여(신만용 등(1992)), 본 연구와 유사한 결과를 가질 것으로 예상된다. 그 외에도 Lee, D. K *et al.*(2004), Lee, W. K *et al.*(2004), 박인협 등(1996)과 송철영 등(1996)의 연구를 점검해 본 결과, 30~40년생의 굴참나무 최근 5년간 평균 연년 직경성장량은 대략 0.26~0.56 cm/yr의 범위를 갖는 것으로 나타

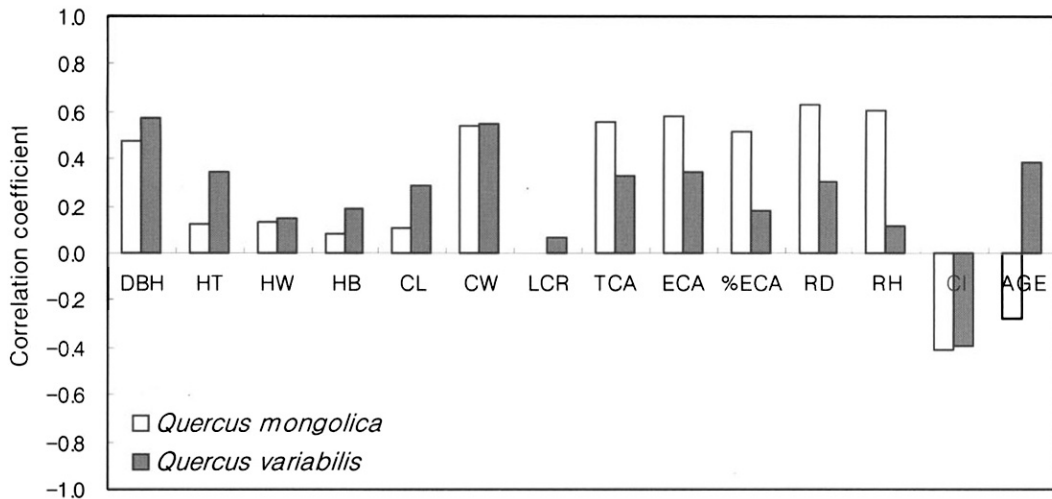


Figure 4. Pearson correlation coefficients between annual diameter growth for last 5 measurement years and 14 measured variables.

났다.

천연활엽수림에 있어서 그 임분구조적 복잡한 특성으로 인하여, 연령에 따른 직경성장량을 규명하기에는 상당히 어려운 문제이다. 따라서 신갈나무와 굴참나무의 연령과 직경성장규명은 향후 세부적인 천연활엽수림의 수종별 특성을 고려하여 다양한 임분에서 많은 자료를 확보하여 후속 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

### 3. 최근 직경성장량과 측정인자간의 상관관계

본 연구에서는 신갈나무와 굴참나무의 최근 5년간의 직경성장량을 이용하여 연년직경성장량과 임목측정인자 및 조제된 변수와의 Pearson 상관관계를 분석하였다(Figure 4). 여기서 이들 변수들은 측정시점의 크기인자를 이용하여 산출하였다.

수종별 최근 직경성장량과 14개 측정변수에 대한 상관관계를 점검한 결과, 전체적으로 신갈나무의 상관계수가 굴참나무에 비해 높은 것으로 나타났다(Figure 4). 신갈나무의 경우 상대직경( $r=0.64$ ), 상대수고( $r=0.61$ ), 노출된 수관투영면적( $r=0.58$ ), 전체 수관투영면적( $r=0.56$ ), 수관폭( $r=0.54$ ), 노출된 수관투영면적비율( $r=0.52$ ) 순으로 상관관계가 높게 나타났으며, 굴참나무는 흉고직경( $r=0.57$ ), 수관폭( $r=0.55$ ), 연령( $r=0.39$ ), 경쟁지수( $r=-0.39$ ), 수고( $r=0.35$ ), 노출된 수관투영면적( $r=0.35$ ), 전체 수관투영면적( $r=0.33$ ) 순으로 나타났다. 흉고직경, 수관폭, 경쟁지수는 두 수종 모두 유사한 상관계수를 갖는 경향이 있으며, 상대직경과 상대수고에 있어서는 신갈나무가 굴참나무 보다 월등히 높은 것으로 나타났다.

수관면적변수인 TCA, ECA, %ECA에 있어서도 신갈나무의 상관계수가 높게 나타났는데, 이는 김희채(2002) 연구에서 신갈나무 천연림을 대상으로 수관면적과 직경생

장의 관계에 대해 상관관계가 매우 밀접하여 향후 수관면적을 이용한 임목밀도 산정에 활용 가치가 있는 다는 결과를 입증한다. 나아가 이들 수관면적관련 변수들은 천연활엽수림의 성장과 매우 밀접한 변수로 앞으로 우리나라 천연활엽수림 성장모델 개발 시에 적용이 가능할 것으로 사료된다(Cole and Lorimer, 1994; Yoshida and Kamitani, 1997; Choi, 1998; Choi, *et al.*, 2001). 반면에 수관장 비율은 두 수종 모두 직경생장과 상관관계(신갈:  $r=-0.002$ , 굴참  $r=0.067$ )가 매우 낮은 것으로 나타났다.

경쟁지수는 두 수종 직경성장량과 음의 상관( $r=-0.39$ ,  $-0.41$ )을 갖는 것으로 나타났는데, 이 결과는 경쟁이 심하면 심할수록 저조한 직경생장을 보이며 상관계수가 -1에 가까울수록 임분 내에서 임목의 경쟁이 매우 심한 것을 설명되는 변수로, 이 경쟁지수는 단목 성장모델 개발 시 임목의 상호경쟁을 인지할 수 있는 인자로 간벌을 위한 시뮬레이션 도구로서 활용가치가 높은 변수이기도 하다(Choi *et al.*, 2001; 신만용 등, 2002; 유병오, 2004, Lee, W. K *et al.*, 2004).

연령에 대한 변수와 최근 직경성장량 관계는 신갈과 굴참나무 천연활엽수림에서 상반되는 결과가 나타났다. 이는 현 제한된 자료로 인하여 아직 두 수종간의 정확한 연령과 직경성장간의 상관관계를 파악하기에는 어려움이 있기 때문이다. 다만, 일반적으로 임목은 연령이 증가함에 따라 초기에 직경성장량이 급격히 증가하다가 서서히 감소하는 경향이 있으나(Avery and Burkhart 2002), 천연활엽수림의 경우 수종특성이나 임분구조에 따라 달라질 수 있기에 앞으로 우리나라 천연림 활엽수종의 광범위한 자료를 확보하여 연령에 따른 성장관계에 대한 규명이 필요할 것으로 사료된다.

또한, 본 연구의 제한된 자료임에도 불구하고 우리나라

천연활엽수림 흉고직경생장량과 다양한 조제변수간의 상관관계는 미국의 천연활엽수림을 대상으로 한 상관관계의 연구결과와 유사한 패턴이 있는 것으로 나타났다(Cole and Lorimer, 1994; Choi, 1998). 따라서 이들 신갈나무와 굴참나무의 다양한 입목측정인자와 최근 직경생장량 관계는 기 연구된 외국 결과를 참조하여 우리나라의 복잡한 천연활엽수림의 입분구조진단과 산림동태분석을 규명하고, 나아가 장기 생장예측을 위한 개체목 성장모델구축 시에도 활용가치가 있을 것으로 판단된다.

## 인용문헌

1. 강원대학교 학술림. 2000. 학술림 개요.
2. 金聖德, 金允東. 1995. 點鳳山 신갈나무(*Quercus mongolica* Fisher)林的 更新 科程에 關한 研究. 韓國林學會誌 84(4): 447-455.
3. 김희채, 배상원, 김석권. 2002. 활엽수림의 수관면적과 직경생장과의 관계에 관한 고찰. 한국산림측정학회지 4(2): 34-39.
4. 朴仁協, 李敦求, 李景俊, 文琬宣. 1996. 참나무류의 成長 및 物質生産에 關한 研究(I). 韓國林學會誌 85(1): 76-83.
5. 동부지방산림관리청. 2001. 양양생태관찰원의 효율적인 운영방안. pp. 147.
6. 산림청. 2004. 입엽통계연보 제34호. pp. 433.
7. 산림청. 2005. 주요업무추진계획. pp. 35.
8. 宋七永, 李壽煜. 1996. 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질 생산성에 관한 연구. 韓國林學會誌 85(3): 443-452.
9. 申萬鏞, 林佳勳, 全瑛宇, 高永宙. 1992. 신갈나무-천나무 天然 混淆林分의 更新 및 撫育 方法(II. 生長率을 利用한 未來 林分構造의 豫測). 韓國林學會誌 81(2): 146-155.
10. 申萬鏞, 任鍾洙, 李敦求. 2002. 天然 濶葉樹林의 立地類型別 林分構造와 競爭指數를 利用한 親環境의 山林管理 方案. 韓國林學會誌 91(6): 722-732.
11. 유병오. 2004. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 산림시업모델 개발. 강원대학교 산림경영학과 대학원 석사학위논문. pp. 103.
12. 정동준, 전상근, 이종락. 1999. 소나무-참나무 천연 혼효 입분의 공간적 구조에 관한 연구. 한국산림측정학회지 2(1): 31-39.
13. Avery, T.E. and Burkhart, H.E. 2002. Forest Measurements. 5th. ed. McGraw-Hill. New York. pp. 456.
14. Belcher, D.W., Holdaway, M.R., and Brand, G.J. 1982. A description of STEMS-the stand and tree evaluation and modeling system. Gen. Tech. Rep. NC-79, USDA Forest Service, St. Paul, MN. pp. 18.
15. Choi, J. 1998. Simulation of the development and restoration of old-growth northern hardwood forest. Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison, WI, USA.
16. Choi, J., Lorimer, C.G., Vanderwerker, J., Cole, W.G., and Martin, G.L. 2001. A crown model for simulating long-term stand and gap dynamics in northern hardwood forest. Forest Ecology and Management 152: 235-258.
17. Cole, W.G. and Lorimer C.G. 1994. Predicting tree growth from crown variables in managed northern hardwood stands. Forest Ecology and Management 67: 159-175.
18. Ganzlin, W.K. and Lorimer, C.G. 1983. Test of a rapid field method for evaluating competition around individual trees. Res. Note 253, Department of Forestry, University of Wisconsin-Madison.
19. Lee, D.K., Kang, S.K., and Park, Y.D. 2004. Natural restoration of deforested wood lots in South Korea. Forest Ecology and Management 201: 23-32.
20. Lee, W.K., Gadow, K.V., Chung, D.J., Lee, J.K., and Shin, M.Y. 2004. DBH growth model for *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* mixed forests in central Korea. Ecological Modelling 176: 187-200.
21. Lorimer, C.G. 1983. Test of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. Forest Ecology and Management 6: 343-360.
22. Rominske, R. and Busch, P. 1991. Management of a northern hardwood stand to provide for characteristics resembling old-growth (abstract). In Management of old-growth ecosystems conference, 13-15 Aug. 1991, Ottawa National Forest, Ironwood, Michigan 39-41.
23. Smith, D.M. Larson, B.C., Kelty, M.J., and Ashton, P.M.S. 1997. The practice of silviculture. 9th ed. Wiley & Sons, New York. pp. 560.
24. Solomon, D.S. and Gove, J.H. 1999. Effects of uneven-aged management intensity on structural diversity in two major forest in New England. Forest Ecology and Management 114: 265-274.
25. Webster, C.R. and Lorimer, C.G. 2002. Single-tree versus group selection in hemlock-hardwood forest: are smaller openings less productive? Canadian Journal of Forest Research 32(4): 591-604.
26. Yoshida, T. and Kamitani, T. 1997. The stand dynamics of a mixed coppice forest of shade-tolerant and intermediate species. Forest Ecology and Management 95: 35-43.
27. Zhao, D., Borders, B.E., and Wilson, M.D. 2004. Individual-tree diameter growth and mortality model for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. Forest Ecology and Management 199: 307-322.