

## 중부지방 굴참나무림의 입지환경에 따른 생장 및 수분생리 특성에 관한 연구\*

정동준<sup>1</sup> · 신만용<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 산업대학 생태시스템공학 전공, <sup>2</sup>국민대학교 산림자원학과  
(2003년 9월 16일 접수; 2003년 11월 28일 수락)

## Growth Properties and Characteristics of Water Relation Parameters for a Forest of *Quercus variabilis* by Enviromental Factors\*

Dong-Jun Chung<sup>1</sup> and Man Yong Shin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Ecosystem Engineering, Kyunghee University, Suwon 449-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul, Korea.

(Received September 16, 2003; Accepted November 28, 2003)

### ABSTRACT

This study was conducted to provide a rational forest management method for a natural oak (*Quercus variabilis*) forest stand in the central part of South Korea based on characteristics of growth and water relation parameters. Average volume per hectare was 175.1 m<sup>3</sup> in the study site of oak stands. Basal area and volume of each direction appeared to increase as the slope direction moves from north to south, but annual mean increment and periodic annual increment of DBH for 10 years showed the lowest value at the southern aspect. Maximum water potentials measured between 12 and 14 o'clock were analyzed by direction and elevation in the oak stands. Water potential of oak decreased as the slope changed from the north to the south aspect, and water potential increased at lower elevations. Soil water content for the oak stands tended to decrease as the aspect shifted from north to south. Water potential and soil moisture content were highly correlated. It appears that oaks have a higher moisture requirement at the southern aspect, because of stand density related to intraspecific competition.

**Key words** : water potential, growth, environmental factors, pressure chamber, *Quercus variabilis*

### I. 서 론

임목 생장에 필요한 여러 가지 물질 가운데 가장 많은 양이 요구되는 것은 수분이며, 임분내 개체목 생장에 영향을 주는 여러 가지 환경요인 중 수분은 가장 부족하기 쉬운 요인이다. 또한 임목이 성장할 수 있는 적절한 온도와 토양내 영양물질이 갖추어진 입지 조건이라도, 강우량과 그 분포가 적절하지 못하면 우량한 임분을 형성할 수 없다. 수분부족은 임목의 생장

에 관여하는 모든 생리적 현상에 영향을 주기 때문에, 수분공급은 지리적인 수종의 생육분포와 밀접한 관계를 가지고 있다(Otto, 1994). 우리나라와 같이 봄철은 비교적 건조하고 여름철에는 집중강우가 발생하며 경사가 심한 입지환경에서는 토양침식의 발생으로 토심이 낮고 유기물의 함량이 적은 특징을 보인다. 이러한 입지 조건에 생육하고 있는 대부분의 수목은 생육기간 동안 자주 수분부족에 따른 수분경쟁을 하게 되며 이에 따른 개체목간 생장의 차이를 나타낸다.

Corresponding Author : Dong-Jun Chung(cdj3663@khu.ac.kr)

\*한국학술진흥재단 박사 후 연구 과정 연구지원 과제(1988-G00577)에 의해 수행된 연구결과임.

굴참나무는 산림생태학적 그리고 경영적 측면에서 다른 어떠한 고유 수종보다 중요한 수종이나 그동안 관심의 부족으로 유령의 소경목 상태가 대부분이며 목재공급 측면에서도 매우 취약한 상태에 있다. 국내에서 참나무류에 대한 연구는 일부 종합적인 연구가 진행되기도 하였으며(임업연구원, 1988, 1989, 1990), 우리나라 참나무류의 생태 및 임분구조에 대한 연구는 비교적 활발하게 진행되어 왔다(신만용 등, 1992; 송호경 등, 1995; 임경빈 등, 1995). 참나무류의 생육 환경에 대한 생리실험도 부분적으로 이루어져 왔으나(김지문 등, 1984), 여전히 참나무류의 경영체계를 수립하는 연구는 미진한 상태이다. 따라서 참나무류에 대한 중요성을 고려할 때 앞으로 효율적인 관리에 필요한 종합적인 생태적 특성과 경영정보의 구명이 시급한 과제이다.

본 연구는 경제성과 환경적인 가치가 큰 천연 굴참나무 장령림을 대상으로 입지환경별 생장과 수분생리 특성을 구명하여 다양한 산림의 기능과 생태적으로 안정되며 지속적으로 생산이 가능한 산림 경영체계의 구축에 필요한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 연구재료

본 연구의 조사지는 공주영림서 충주관리소 관내에서 비교적 생장 상태가 양호한 참나무림을 대상으로 수행하였다. 조사지의 해발고도는 200~600 m의 범위에 속하고 경사는 25~30°로 비교적 심하며, 능선의 방향은 북, 남 그리고 서향으로 구분되어져 있다. 능선으로부터 하부까지 고르게 굴참나무가 분포하며 특히 남사면 하부에는 굴참나무 단순림 형태로 구성되어 있다.

조사지의 굴참나무림을 대상으로 남사면, 북사면 그리고 서사면에 대한 입지와 생육분포를 고려하여 표본점을 설정하였다. 표본점의 형태는 원형으로 하였으며, 표본점내에 평균 30~40본이 포함되도록 표본점의 크기를 0.05 ha(반경 12.62 m)로 설정하였다. 표본점의 수는 사면 및 고도별로 9개씩을 설치하였다. 설치된 각 표본점별로 표본점의 중심점과 개체목간의 방위와 수평거리를 측정하여 개체목들의 위치를 파악하였으며, 각 개체목에 대해 흉고직경, 수고, 지하고, 수관폭(4방향)을 측정하였다. 또한 직경의 연년생장량을 측정하기 위해서 성장추를 이용하여 각 표본점마다 10 cm 간격의 흉고직경급에 따라 목편을 채취하였고, 채취된

목편의 연륜폭은 정밀 연륜측정기를 이용하여 수피부에서 안쪽 방향으로 1/100 mm 단위로 측정함으로써 수령과 흉고직경의 연년생장 자료를 분석하였다.

### 2.2. 입지환경별 토양 분석과 수분포텐셜 측정

굴참나무의 수분특성을 알기 위하여 수분결차에 따른 생세포군의 팽압, 침투압, 원형질분리점의 침투압과 상대습수율 등의 수분특성을 Tyree and Hammel(1972)의 P-V곡선법에 의해 측정하였다.

굴참나무 가지 중에서 충분히 광을 받고 있는 가지를 약 60 cm 정도로 절취하여 10시간 이상 포수시킨 후, 다시 약 3~5 cm 정도로 물 속에서 재 절단하여 입력통(pressure chamber)의 시료로 사용하였다. 입력통의 각 압력단계에 있어서 엽으로부터 침출되는 침출수량을 측정하기 위하여 흡습지를 vinyl tube(내경 15 mm, 길이 5 cm)속에 넣어 이것을 시료의 절단면에 접착시켜 흡수시킨 후, 그 무게의 증감을 침출이 끝날 때까지 매 10분 간격으로 측정하였다. 입력통내의 압력은 O<sub>2</sub> gas를 사용했으며 침출량의 측정은 최초 2bar에서 시작하여 3bar씩 증압하면서 38bar까지 각각의 압력단계별로 측정했다. 시료는 입목에서 절취 후 24시간 이상의 것을 사용했고 측정후 80°C로 48시간 건조한 후 건물중을 측정하였다. 엽의 세포내의 팽압, 침투압, 원형질분리점의 침투압과 세포의 내건성에 관계되는 수분특성인자의 측정은 Tyree and Hammel(1972)의 P-V곡선이론을 적용시켜 구했으며, 실험방법은 Cheung et al.(1975)과 한과 심(1992)의 방법에 따라 측정하였으며 이상과 같은 방법에 의하여 신출한 굴참나무 수분특성인자는 그림 1과 같다.

그림 1은 입력통의 평형압 P의 역수인  $\frac{1}{P}$  과 각각의 평형압단계에서 침출된 침출수량 V<sub>e</sub>의 관계를 나타낸 그림으로 이들 관계를 식으로 표현하면 다음 식과 같다.

$$\frac{1}{P} = \frac{V}{RTN_s - F(v)}$$

여기서  $V = V_0 - V_e$ ,  $V_0$  = 최대포수시의 전세포내의 침투수분양,  $V_e$  = 입력통으로 어떤 압력을 가했을 때 팽압에서 엽세포로부터 침출된 수분양,  $N_s$  = Osmole 수,  $F(v)/v$  = 세포의 팽압,  $R$  = 가스 정수(0.08207),  $T$  = 절대온도이다.

또한 굴참나무에 대한 입지환경별 최대 및 최소 수분포텐셜 측정을 위해, 항상 일정한 높이의 남쪽으로

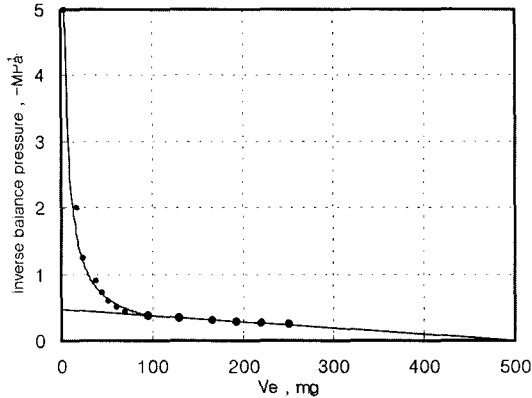


Fig. 1. Pressure-Volume curve on *Quercus variabilis*.

향한 측지의 일부분을 고지 전정 가위로 절단·채취하고, 동시에 임분내 온도를 측정하였으며, 채취된 잎을 Scholander 등(1965)이 고안한 압력통 방법을 통하여 해뜨기 전과 정오경 12~14시 사이에 “pre-dawn”법에 의해 같은 개체목에서 5 반복으로 총 86개의 굴참나무의 수분포텐셜, 생중량과 건중량을 측정하였다. 또한 수분포텐셜을 측정한 각 굴참나무로부터 1 m 떨어진 부위의 토심 30 cm 내에서 토양을 채취하여 물리적 성질, 화학적 성질, 그리고 토양수분 함량을 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 입지별 굴참나무의 성장 비교

전체 조사지 내에서 측정된 굴참나무에 대한 평균 ha당 본수, 단면적, 단면적 평균직경, 단면적 평균수고, 재적, 흉고직경 평균 성장량, 흉고직경 정기평균 성장량 그리고 수령에 대한 조사 자료는 표 1에 요약하였다.

굴참나무의 수균 연령은 44년이었으며, ha당 평균 본수는 793본이었다. 재적은 ha당 175.1 m<sup>3</sup>이고 단면적 평균직경이 23.1 cm로서 양호한 생육본수와 성장을

나타내고 있다. 방위별 재적은 남사면이 188.9 m<sup>3</sup>/ha로 가장 높은데, 이는 임목 본수가 평균 1040본으로 가장 많고 모든 사면의 단면적 평균직경이 21.2~25.6 cm 내외이며 수고가 11.7~12.5 m로 비슷한 크기를 갖기 때문이다. 그러나 남사면의 연년생장량과 최근 10년간의 정기평균 성장량은 높은 임분밀도로 인한 종내경쟁에 의하여 가장 적은 값을 보이고 있다(표 1).

#### 3.2. 입지별 굴참나무의 수분포텐셜 비교

수목의 성장에 필요한 여러 가지 물질 가운데 가장 많은 양이 필요한 것이 수분이다. 따라서 산림생태계에서 식물 생육에 적합한 온도가 갖춰진 지역에서 수목이 자랄 수 있는 가능성은 수분에 의해 결정된다. 수목에 있어서 수분 이동과 생리 연구를 위한 중요한 에너지량은 수분포텐셜(water potential)이다. Scholander 등(1965)은 수분포텐셜을 직접 측정하기 위하여 압력통을 제작하여 통속에 방금 자른 나뭇가지를 꽂고, 질소가스를 투입하면서 끊어진 가지 표면에 물방울이 다시 나타나는 때의 압력을 측정하여 나뭇가지의 수분포텐셜을 추정하였다. 본 연구에서는 Scholander 등에 의해 고안된 압력통을 이용하여, 오후 12~14시 사이에 측정된 최대 수분포텐셜( $\Psi_w$ )을 각 방위 및 고도별로 구분 측정하였다(표 2).

북사면에서의 굴참나무 수분포텐셜은 맑은 한낮의 정오시간에 최대값이 -2.9로 다른 사면 보다 높은 값을 보인 반면 남사면에서 가장 낮은 -3.3 값을 나타냈다. 한밤의 최소값도 최대값과 같이 북사면에서 서사면을 지나 남사면으로 가면서 감소하는 경향을 나타내고 있다. 해발고도별로 살펴보면, 상부 능선에서의 최대값이 -3.4로 가장 낮았으며 하부로 내려가면서 증가하였는데 최소값도 동일한 경향을 보이고 있다(표 2).

그림 2는 엽의 수분함량(%)과 최대 및 최소의 수분포텐셜과의 관계를 나타낸 것으로, 회귀분석  $\Psi_w =$

Table 1. Summary of stand attributes by aspects in study area.

Aspect	N/ha	BA(m <sup>2</sup> /ha)	dg(cm)	hg(m)	V(m <sup>3</sup> /ha)	MAI(mm/yr)	PAI(mm/yr)	Age
N	540	28.9	25.6	12.5	158.2	5.71	3.96	44
W	800	32.3	22.6	11.7	178.2	4.53	3.69	44
S	1040	36.8	21.2	11.9	188.9	4.39	3.69	44
average	793	32.7	23.1	12.0	175.1	4.88	3.78	44

N:Stems per hectare, BA:Basal Area (m<sup>2</sup>/ha), dg:Quadratic mean DBH (cm), V:Volume(m<sup>3</sup>/ha), hg:Quadratic mean Height (m), MAI:Mean annual increment of DBH(mm/yr), PAI: Periodic annual increment of DBH in 10 years (mm/yr)

**Table 2.** Estimates of water potential by aspects and altitude in study area.

Aspect	n	Max(MPa)	Min(MPa)	Altitude	n	Max(MPa)	Min(MPa)
N	26	-2.9 ± 0.6	-1.4 ± 0.5	upper	16	-3.4 ± 0.4	-1.5 ± 0.4
W	30	-3.1 ± 0.6	-2.1 ± 0.3	middle	24	-3.0 ± 0.5	-1.9 ± 0.4
S	30	-3.3 ± 0.1	-2.2 ± 0.3	lower	23	-2.9 ± 0.7	-2.0 ± 0.6

(0.72+542 / 엽의 수분함량)<sup>2</sup>의 함수식으로 분석되었으며 결정계수 R<sup>2</sup>= 0.97, S<sub>xy</sub> = ±1.3으로 고도의 유의성을 나타내고 있다.

굴참나무 잎의 수분포텐셜과 토양내의 수분함량과의 관계를 입지별(방위별)로 살펴보기 위해 수분포텐셜을 측정된 각 굴참나무로부터 1 m 떨어진 부위의 토심 30 cm 내에서 토양을 채취하여 물리적 성질, 화학적 성질, 그리고 토양수분 함량을 분석한 결과는 표 3과 같다. 각 방위별 pH값은 모두 강산성의 사질양토를 띄고 있으며, 양이온 치환성용량(Exchangeable cations : cmolc/kg)과 염기포화도(C.E.C : cmolc/kg)는 북사면에서 각각 108.3과 148.9로 가장 양호하였고 남사면으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 토양내의 수분함량(%)은 남사면에서 9.0%로 북사면의 15.6% 보다 약 1.5배 낮은 것으로 분석되었다.

그림 3은 토양 수분함량에 따른 굴참나무의 수분포텐셜의 관계를 회귀분석한 것으로 고도의 음의 상관관계를 나타냈다. 여기서 굴참나무는  $\Psi_w = 48.1 - 2.139 \times$  토양 수분함량(%)으로서 결정관계수 R<sup>2</sup>= 0.71, S<sub>xy</sub>= 3.9로 분석되었다. 이것은 토양 수분조건이 열악할수록 잎의 수분포텐셜은 낮은 값을 나타내 뿌리에서 수분을 빨아 드리려는 흡수력이 커지는 것으로 해석할 수 있다.

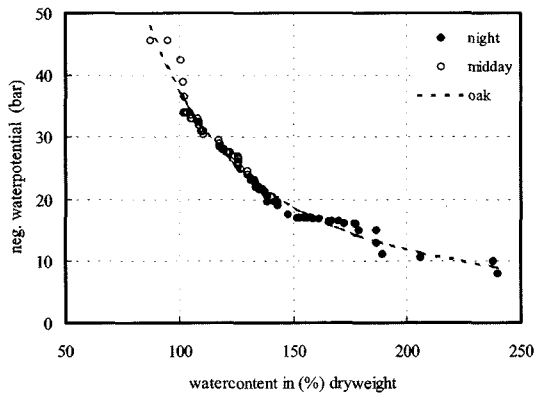
결론적으로 굴참나무는 남사면의 생육 본수가 다른 사면 보다 매우 많은 것으로 나타났으며, 또한 토양내

수분함량이 매우 낮아 이에 따른 굴참나무의 수분포텐셜은 열악한 입지환경 조건과 심한 종내경쟁에 의하여 매우 낮은 값을 보였다. 따라서 굴참나무의 연평균 및 최근 10년 간 직경생장량은 북사면에서 남사면으로 가면서 낮은 값을 나타내 남사면은 시급히 간벌이 시행되어야 할 것으로 판단된다.

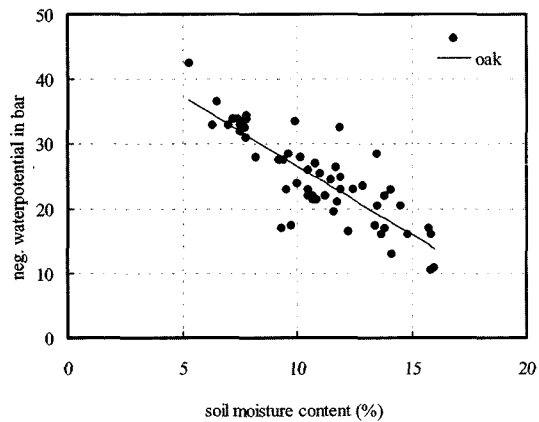
#### IV. 적 요

본 연구는 우리나라 중부지방의 굴참나무 천연 임분을 대상으로 입지환경별 생장 및 수분생리 특성을 파악하여 합리적인 경영방안을 제시하기 위하여 수행되었다. 연구 대상지의 굴참나무림은 평균 206.5 m<sup>3</sup>/ha를 나타냈으며, 각 방위별로 본수, 단면적, 재적 등의 임분 통계량을 보면 북사면에서 남사면으로 갈수록 증가하는 경향을 보이고 있지만 연년생장량과 10년간의 정기평균 생장량은 반대로 남사면에서 가장 낮은 값을 나타내고 있다.

오후 12~14시 사이에 측정된 최대 수분포텐셜( $\Psi_w$ )을 각 방위 및 고도별로 구분하여 분석한 결과 굴참나무는 북사면에서 남사면으로 가면서 수분포텐셜이 낮아지는 경향을 보였으며, 고도별 수분포텐셜은 상부에서 하부로 가면서 증가하였다. 각 방위별 토양 수분



**Fig. 2.** Relation between water content in % dry weight and water potential( $\Psi_w$ ) of oak(*Quercus variabilis*).



**Fig. 3.** Water potential of oak(*Quercus variabilis*) by soil moisture content.

**Table 3.** Physiological and chemical properties of soil by aspects in study area.

	N	(%)	W	(%)	S	(%)
H	1.53 ± 1.12	(1.03)	2.01 ± 2.29	(1.68)	2.57 ± 2.06	(2.38)
Na	1.19 ± 0.36	(0.80)	0.97 ± 0.26	(0.81)	0.71 ± 0.17	(0.66)
K	1.29 ± 0.72	(0.87)	1.22 ± 0.39	(1.02)	1.58 ± 0.37	(1.46)
Ca	79.42 ± 73.05	(53.35)	48.64 ± 45.41	(40.71)	26.62 ± 11.20	(24.68)
Mg	27.55 ± 22.65	(18.50)	18.93 ± 11.48	(15.84)	17.61 ± 8.67	(16.32)
Fe	0.31 ± 0.35	(0.21)	0.21 ± 0.24	(0.17)	1.39 ± 3.26	(1.29)
Mn	1.25 ± 0.94	(0.84)	1.58 ± 0.86	(1.32)	1.53 ± 0.42	(1.42)
Al	36.35 ± 32.56	(34.21)	45.92 ± 40.38	(38.44)	55.87 ± 30.91	(51.79)
C.E.C (cmolc/kg)	148.9 ± 70.2	(100)	119.5 ± 39.0	(100)	107.9 ± 38.3	(100)
pH(H <sub>2</sub> O)	4.39 ± 0.50	-	4.23 ± 0.44	-	4.16 ± 0.38	-
pH(KCl)	3.71 ± 0.44	-	3.66 ± 0.42	-	3.51 ± 0.35	-
Exchangeable cations (cmolc/kg)	108.3 ± 93.6	-	68.8 ± 56.5	-	45.8 ± 17.6	-
Sand	11.8 ± 4.1	-	11.3 ± 2.3	-	11.9 ± 2.0	-
Silt	71.6 ± 3.5	-	73.7 ± 4.0	-	73.1 ± 5.3	-
Clay	16.6 ± 4.2	-	15.0 ± 4.2	-	15.0 ± 3.4	-
W.C.(%)	15.6 ± 2.4	-	10.1 ± 8.2	-	9.0 ± 3.1	-

함량은 북사면에서 남사면으로 가면서 감소하는 경향을 나타냈고, 토양 수분함량에 따른 굴참나무의 수분 포텐셜은 고도의 음의 상관관계를 나타냈다. 따라서 연구 대상지의 굴참나무는 남사면에서 수분 요구도가 높는데, 이는 다른 사면 보다 생육 본수가 많아 종내 경쟁이 심한 결과로 판단된다.

**인용문헌**

김지분, 권기원, 문홍규, 박홍준, 1984: 수분 및 시비처리에 따른 참나무 실생묘의 생육반응. 충남대학교 농업과학연구회 연구보고 11(2), 207-217.  
 송호경, 장규관, 김성덕, 1995: TWINSpan과 DCCA에 의한 신갈나무 군집과 환경의 상관관계 분석. 한국임학회지 84(3), 299-305.  
 신만용, 임주훈, 전영우, 고영주, 1992: 신갈나무-갯나무 천연 혼효림분의 갯신 및 무육방법. 한국임학회지 81(1), 21-29.  
 이경준, 1995: 수목생리학. 서울대학교출판부, 514pp.  
 임경빈, 민영택, 김영모, 한상석, 권혁민, 1995: 참나무. 임목육종연구소, 187pp.

임업연구원, 1988: 참나무자원의 종합이용에 관한 연구(I). 과학기술처, 226pp.  
 임업연구원, 1989: 참나무자원의 종합이용에 관한 연구(II). 과학기술처, 307pp.  
 임업연구원, 1990: 참나무자원의 종합이용에 관한 연구(III). 과학기술처, 449pp.  
 한상섭, 심주석, 1992: P-V 곡선법에 의한 갯나무엽의 수분 특성에 관한 연구. 한국생태학회지, 15(1), 47-58.  
 Cheung, Y.N.S., M. T. Tyree, and J. Dainty, 1975: Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. Can. J. Bot. 53, 1342-1346.  
 Otto, H.-J., 1994: Waldökologie. Ulmer Verlag, Stuttgart, 391pp.  
 Scholander, P.E., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D. and Hemmingsen, E.A., 1965: Sap pressure in vascular plants. Science, 148, 339-346.  
 Tyree, M. T. and H. T. Hammel, 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. Journal of Experimental Botany, 23, 267-282.