

신갈나무와 굴참나무 天然林 生態系의 現存量 및 物質 生産性에 관한 연구¹

宋七永² · 李壽煜²

Biomass and Net Primary Productivity in Natural Forests of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis*¹

Cheel Young Song² and Soo Wook Lee²

要 約

충청북도 충주지역에서 평균수령 67, 62년생 신갈나무와 굴참나무 천연림을 대상으로 표준지를 선정하고 각 표준지에서 각각 10본의 표본목을 선정, 별채하여 지상부의 현존량과 물질 생산성을 조사 분석하였다. 충주지역의 현존량 및 물질 생산성의 추정에 상대생장식을 사용하여 추정하였는데, 추정 방정식 모형으로는 $Wt=aD^bH^c$ 가 $Wt=a(D^2H)^b$, $Wt=aD^b$ 보다 적합하였고, 두 수종 모두 성분별 단목 현존량의 표본값과 추정치를 T-검정하여 본 결과 유의차는 없었다.

임분의 현존량은 신갈나무 임분의 지상부 총량이 130.6 t/ha였고, 굴참나무 임분이 137.4 t/ha였다. 부위별로는 신갈나무 임분의 경우, 엽 5.1 t/ha(3.9%), 죽은가지 3.5 t/ha(2.7%), 생지부 29.7 t/ha(23.0%), 수피 16.2 t/ha(12.5%), 그리고 수간목부 74.9 t/ha(58.0%)였다. 굴참나무 임분은 엽 3.8 t/ha(2.9%), 죽은가지 2.9 t/ha(2.2%), 생지부 24.3 t/ha(18.4%), 수피 20.4 t/ha(15.5%), 그리고 수간목부 80.4 t/ha(61.0%)였다.

두 임분의 1년간 생산할 수 있는 지상부 총량은 각각 신갈나무 임분이 10.0 t/ha/yr, 굴참나무 임분이 8.6 t/ha/yr였다. 본 참나무 천연림은 장령림이지만 온대 활엽수림의 순생산량(5~10 t/ha/yr)과 거의 유사한 양을 보였다.

ABSTRACT

A study has been made to estimate biomass and NPP based on equation form of $Wt=aD^bH^c$ for *Quercus variabilis* and *Quercus mongolica* natural stands(Mean age; 67, 62yrs old) in Chungju. Equation form of $Wt=aD^bH^c$ was more adequate than $Wt=a(D^2H)^b$ and $Wt=aD^b$ for the estimation of the biomass and NPP. Individual biomass was compared using a paired t-test by tree component which showed no significant differences. Total aboveground biomass of *Quercus mongolica* was 130.6 t/ha and that of *Quercus variabilis* was 137.4 t/ha. Biomass of *Q. mongolica* was composed of foliage 5.1 t/ha(3.9%), dead branch 3.5 t/ha(2.7%), live branch 29.7 t/ha(23.0%), bole bark 16.2 t/ha(12.5%), and bole wood 74.9 t/ha(58.0%), and that of *Q. variabilis* was composed of foliage 3.8 t/ha(2.9%), dead branch 2.9 t/ha(2.2%), live branch 24.3 t/ha(18.4%), bole bark 20.4 t/ha(15.5%), and bole wood 80.4 t/ha(61.0%).

Net primary production was 10.0 t/ha/yr in the *Q. mongolica* stand and 8.6 t/ha/yr in the *Q. variabilis* stand, respectively. Net primary production of *Quercus* forest in Chungju was very close to the mean NPP of the broadleaved forest of temperate zone.

¹ 接受 1996年 3月 27日 Received on March 27, 1996

² 忠南大學校 農科大學 山林資源學科 Department of Forest Resources, College of Agriculture, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea.

Key words : Biomass and Net Primary Production, *Quercus mongolica*, *Quercus variabilis*, Temperate Zone

緒 論

삼림생태계의 현존량과 물질생산성에 관한 연구들은 삼림의 생산효율을 파악하여 생산성 유지, 목재수요의 급증에 따른 이용극대화를 통한 수급 대처방안제시, 오일쇼크 이후 대체 에너지 개발과 벌채에 의한 양묘손실을 보충하고 수종, 임분 및 입지조건에 따른 양묘분포와 순환량 파악등 현실적인 요구에 의해서 실행되어 왔다.

한국의 천연림 생태계는 상록 침엽수림에서 낙엽 활엽수림으로 천이되어 가는 과정에 있으며 (임경빈 등, 1980), 신갈나무와 굴참나무는 낙엽 활엽수 천연림의 중요한 수종이라 할 수 있다. 현재까지 우리 나라의 주요수종들인 침엽수의 소나무류와 활엽수의 참나무류를 중심으로 생산성 연구가 수행되어 왔다. 특히 활엽수종들은 유령림을 대상으로 연구가 실시 되어 왔기 때문에 장령림에 대한 생산성 연구가 빈약하다.

따라서, 본 연구는 한국의 참나무 장령림의 현존량과 물질 생산성을 파악하기 위하여 충주시역

신갈나무림과 굴참나무림을 대상으로 매목조사하여 현존량과 물질 생산성을 상대생장식을 사용하여 추정하였다.

材料 및 方法

1. 立地條件

본 연구대상지는 동경 128° 03' 21"~128° 05' 57" 사이와 북위 37° 02' 26"~37° 04' 52" 사이에 위치하고 있는 행정구역상 충청북도 충주시 산척면 명서리 방대마을에 인접한 참나무천연림이다. 이 삼림은 해발고 300~780m에 분포하며, 신갈나무 임분은 북동~북서사면에, 굴참나무 임분은 남동~남서사면에 자생하고 있었다. 임령은 신갈나무 임분이 28년~100년, 굴참나무 임분이 26~87년으로 평균임령이 각각 67, 62년이었다 (Table 1).

1995년 6월 8일부터 6월 17일까지 현지조사 및 시료채취가 이루어 졌으며, 본 조사지의 임분구조는 Table 2와 같다.

신갈나무 임분과 굴참나무 임분은 흉고직경이 6

Table 1. Topography and composition of natural stands of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis*.

<i>Quercus mongolica</i>						<i>Quercus variabilis</i>					
DBH (cm)	Height (m)	No. of sample tree	Trees/ha	Age of sample tree	Remark	DBH (cm)	Height (m)	No. of sample tree	Trees/ha	Age of sample tree	Remark
6	6.0	1	3	28	Sample area :	6	7.0	1	13	26	Sample area :
8			18			8			32		
10	7.0	1	37	39	20m	10	9.0	1	41	30	20m
12			42		×	12			45		×
14	10.0	1	70	59	20m	14	9.0	1	55	50	20m
16			127		×	16			73		×
18	11.0	1	145	62	10(plot No.) =0.4ha	18	10.0	1	71	65	14(plot No.) =0.56ha
20			135			20			93		
22	11.3	1	105	58	(Total 231ha)	22	12.3	1	87	68	(Total 253ha)
24			73			24			104		
26	14.0	1	60	74		26	13.0	1	70	65	
28			15			28			68		
30	15.0	1	18	73		30	13.1	1	48	70	
32			3		Aspect: NE ~ NW	32			32		Aspect: SE ~ SW
34	14.8	1	3	87		34	14.0	1	18	78	
36			10			36			13		
38	15.0	1	3	83		38	15.0	1	7	80	
40			3		Slope (%): ~ 100	40			9		Slope (%): ~ 100
42	17.0	1	5	100		42	16.0	1	4	87	
Total		10	875		60	Total		10	883		60
Mean	24	11.8		66.6	~ 100	Mean	24	11.8		61.9	~ 100

Table 2. Stand structure of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis*.

<i>Quercus mongolica</i>					<i>Quercus variabilis</i>				
DBH (cm)	Average height (m)	Single tree volume (m ³)	No. of tree	Volume per ha (m ³ /ha)	DBH (cm)	Average height (m)	Single tree volume (m ³)	No. of tree	Volume per ha (m ³ /ha)
6	6.0	0.0087	3	0.03	6	7.0	0.0101	13	0.13
8	6.6	0.0160	18	0.29	8	7.5	0.0183	32	0.59
10	7.0	0.0255	37	0.94	10	7.9	0.0288	41	1.18
12	7.9	0.0395	42	1.66	12	8.4	0.0422	45	1.90
14	8.6	0.0568	70	3.98	14	8.9	0.0589	55	3.24
16	9.3	0.0781	127	9.92	16	9.5	0.0799	73	5.83
18	10.0	0.1039	145	15.07	18	10.2	0.1061	71	7.53
20	11.0	0.1384	135	18.68	20	11.0	0.1385	93	12.88
22	12.0	0.1785	105	18.74	22	12.2	0.1815	87	15.79
24	12.9	0.2251	73	16.43	24	13.1	0.2286	104	23.77
26	13.9	0.2809	60	16.85	26	13.6	0.2748	70	19.24
28	14.5	0.3356	15	5.03	28	14.0	0.3239	68	22.03
30	15.0	0.3939	18	7.09	30	14.2	0.3727	48	17.89
32	15.3	0.4368	3	1.31	32	14.4	0.4062	32	13.00
34	15.6	0.4989	3	1.50	34	14.6	0.4609	18	8.30
36	15.8	0.5618	10	5.62	36	14.7	0.5154	13	6.70
38	15.9	0.6243	3	1.87	38	14.8	0.5730	7	4.01
40	16.0	0.6902	3	2.07	40	14.9	0.6339	9	5.71
42	16.1	0.7596	5	3.80	42	15.0	0.6980	4	2.80
Total			875	130.88	Total			883	172.50
Mean	12.1				Mean	11.8			

cm에서 42cm, 수고는 6m에서 16m에 걸쳐 분포하며 직경급별 임목본수를 보면 대체적으로 정규분포를 이루고 있으며, 본 조사지의 참나무천연림은 경급이 다양하고 영급도 넓게 분포하였다.

본 조사지의 기상조건은 연 평균기온 11.4℃, 최고평균기온 17.7℃, 최저평균기온 6.3℃였으며 연 강수량은 1261.2mm였다. 그리고 ha당 임목재적은 신갈나무 임분이 130.9m³, 굴참나무 임분이 172.5m³으로 굴참나무림이 신갈나무림보다 높게 나타났다. 임지내 생육하고 있는 하층식생은 다음과 같다. 신갈나무 임분의 하층식생은 철쭉, 당단풍, 노린재, 싸리, 생강나무, 쪽동백, 국수나무, 개울 등이 분포하였으며, 굴참나무 임분의 경우, 소나무, 뽕나무, 쪽동백, 싸리, 개울, 물푸레, 쇠물푸레, 개암나무, 산초나무 등이 서식하였다.

2. 標本採取 및 分析方法

2.1. 조사구 및 표준목의 선정

조사구는 지형의 차이가 거의 없고 임분구성이 유사한 대표적인 임지를 선정하였으며, 조사구의 크기는 20m×20m로 하였다. 표준목으로는 정상적 수형을 갖는 상층임목을 선정하여 DBH에 따라

임목의 중량을 예측하는데 사용된 표준목의 본수를 10개로 하였다.

2.2. 표본목의 측정 및 표본채취

표본목은 중량을 추정할 조사구내에 모든 임목을 확인하고 별도하였으며, 대상임지는 넓은 지역에 적용할 수 있는 추정공식을 고려할 수 있도록 선정되었다.

선정된 10본의 임목은 지상부 20cm의 위치에서 별도하였으며 수간부는 2m 간격으로 절단하고 용수철 저울을 사용하여 각 통나무의 생중량을 측정하였다. 건중량의 추정을 위하여 각 통나무에서 두께 10cm 정도의 원판표본을 현지에서 분리 측정하였다. 수령은 별도목 근주부의 나이를 조사 추정하였다. 각 임목별로 수간부에 붙어 있는 모든 가지를 잘라 그 생중량을 측정하였고, 그 중량 크기에 따라 골고루 5개의 가지를 표본으로 선정한 후, 표본의 생중량을 측정하였다(Whittaker and Mark, 1975; Whittaker and woodwell, 1969). 가지표본의 추출율은 5~10% 정도였으며 수간부 표본인 원판과 함께 포장하여 건조를 위하여 실험실로 운반하였다. 뿌리표본은 채취하지 않았으며, 각 임목별로 죽은 가지도 현지에서 측정한 후, 10~20% 정도의 표본을 채취

Table 3. Soil characteristics of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* stands.

Soil horizon		O	A1	B1	B2	R
Depth (cm)		5 - 0	0 - 20	20 - 50	50 - 80	80 -
Texture (U.S.D.A.)	I		SiL	L	L	
	II		SiL	SiL	SiL	
pH	I		4.83	4.69	4.67	
	II		4.80	4.96	4.89	
Ttotal-N (%)	I		0.62	0.38	0.28	
	II		0.54	0.19	0.03	
O.M (%)	I		1.50	1.45	1.11	
	II		1.46	1.40	0.99	
P ₂ O ₅ (ppm)	I		1.78	1.69	1.59	
	II		1.45	1.43	1.36	
CEC (me/100g)	I		9.50	9.00	9.00	
	II		9.70	9.00	8.80	
Exchangeable cation (me/100g)	K ⁻	I	0.70	0.80	0.50	
		II	0.70	0.50	0.60	
	Ca ²⁺	I	1.28	1.88	1.46	
		II	0.82	2.48	1.66	
	Mg ²⁺	I	1.30	1.20	3.90	
		II	1.20	6.20	2.50	

I is *Quercus mongolica*, II is *Quercus variabilis*.

하여 운반하였다.

2.3. 입목 중량의 추정

조사구를 선정하고, 조사구내에 모든 입목에 대한 매목조사를 하였다. 위 조사구의 경우, 표준목을 선정하여, 단위면적 당 입목의 중량을 추정할 수 있도록 표준목의 측정값을 나머지 입목에 적용하였다.

2.4. 토양조사 및 시료채취

조사지의 가장 대표적인 입지를 선정하여 시향을 1m 깊이로 파고 토양부위별로 단면조사를 한 후, 1kg 정도의 토층별 분석용 시료를 채취하여 시험실로 운반, 건조 후, 분석하였고 그 결과는 Table 3과 같다.

2.5. 부위별 건중량

입목별로 채취한 표본들 중 원판은 수피부를 수간목부에서 분리시키고 생지부에서 엽과 1년생 소지, 죽은 가지를 분리하여 채취하였다. 모든 표본을 따로 포장운반하여 dry oven에서 75~80℃로 향량에 도달될 때까지 건조시킨 후 건중량을 측정하였다.

2.6. 순생산량 추정

순생산량을 추정하기 위하여 잎은 전량으로 측정하였고 생지부는 단목별로 채취된 5개의 가지 밀둥년령을 측정된 후 Whittaker 공식(이수옥, 1985; Whittaker, 1975)을 이용하여 얻은 값에 1

년생 소지의 양을 합하여 추정하였다.

<Whittaker formula>

$$W=Bw / A \dots\dots\dots(1)$$

W ; 생지의 1년간 생장량
 w ; 가지의 목질부와 수피의 건중량 (kg)
 A ; 가지년령 (branch age)
 B ; 가지년령에 대한 가지 건중량의 대수 회귀방정식에서 얻은 상수 (slope constant).

수간목부의 순생산량은 최근 5년간의 재적생장량을 Smalian공식을 사용하여 구하고 이를 다시 5로 나누어 1년간의 평균재적생장량을 구한 다음 전체 재적에 대한 비율을 이용하여 건중량을 계산하였고, 수피부에 대한 순생산량은 수간목부의 연간 생장율을 적용 산정되었다.

2.7. 추정방정식

10본의 표본목에서 부위별로 분리 측정된 건중량에 공식 (2)와 같은 모형의 회귀식을 이용하여 현존량과 순생산량 방정식을 유도하였다.

$$Wt=aD^bH^c \dots\dots\dots(2)$$

Wt : 건중량 (kg), D : DBH (cm)
 H : Height (m), a : 상수, b, c : 지수

이상과 같은 모형의 공식에 매목조사에서 얻어진 Table 2의 DBH와 수고 및 직경급별 임목본수를 대입하여 임분의 현존량 및 순생산량을 추정하였다.

2.8. 하층식생의 현존량

하층식생에 대한 물질생산량은 부위별로 구분하지 않고 총량을 추정하였는데 방법은 2m×2m 정방형구를 표준이 되는 곳에 설정하고 모든 식생의 지상부 생중량만을 완전히 절취 칭량하였고, 약 10%의 표본을 채취 운반하였다. 실험실에서 임목표본과 같은 방법으로 건조시켜 칭량한 후 ha당 물질생산량을 추정하였다.

結果 및 考察

1. 단목 현존량 추정방정식

단위면적당 물질생산량을 추정하는 방법으로 이전에는 매목 조사한 후, 평균목 3~5본을 표본으로 사용하여 단목별, 부위별 건중량을 ha당 물질 생산량으로 환산하였다. 그러나, 이방법은 표준목의 건중량이 전 임분을 대표한다고 하기에 불합리한 것으로 여러 학자들에 의해 지적되었다. 따라서, 최근에 회귀분석을 이용한 추정법으로 상대생장식에 의한 추정이 널리 이용되고 있으며, 현재 사용되고 있는 방정식 모형은 공식 (3), (4), (5) 등이다.

$$Wt = aD^bH^c \dots\dots\dots(3)$$

$$Wt = a(D^2H)^b \dots\dots\dots(4)$$

$$Wt = aD^b \dots\dots\dots(5)$$

Wt : 건중량 (kg), D : DBH (cm)

H : Height (m), a : 상수, b, c : 지수

본 연구에서 현존량과 순생산성을 추정하는데 적합한 공식을 선정하기 위하여 Table 4와 5에서 나타난 바와 같이 공식 (3), (4)와 (5)의 R²값과 추정오차(Syx)를 비교하였다.

R²값과 추정의 정확도(Syx/ \bar{Y}) 분석에서 공식 (3)이 모두 높게 나타났다. 지상부 총량의 R²값은 공식 (3)이 0.98로 공식 (4), (5)에서의 0.90, 0.91보다 훨씬 높았다. 그리고 중상관계수(R)값도 0.98이상으로 매우 높은 상관관계를 보였으며 굴참나무 임분이 신갈나무 임분보다 높았다. 각 부위별 추정방정식의 상관정도를 비교하면 신갈나무 임분의 경우, 수피의 방정식이 가장 높은 상관을 보였으며, 다음이 지상부총량, 죽은가지, 엽, 수간목부 순이었고 생지부가 가장 낮은 상관을 갖는 것으로 나타났다. 그리고, 굴참나무 임분의 경우, 죽은가지의 추정식이 가장 높은 상관을 보였고, 다음이 수피, 엽, 생지, 지상부총량 순이었으며, 수간목부가 가장 낮은 상관을 갖고 있음을 알 수 있었다. 지상부 총량 추정의 정확도 역시 공식 (3)이 두 수종 모두 0.13으로 공식 (4)의 0.14와 공식 (5)의 0.33, 0.31보다 정확한 것으로 나타났다. 그리고 공식 (3)을 이용한 추정값과 표본의 측정값의 유의차가 있는지 T-검정을 실시하여 본 결과(Table 6, 7) 유의차가 없는 것으로 판명되었다. 이것은 Bockheim과 이수옥(1985)의 미국 중부 간벌지의 25~50년생 소나무의 간벌효과에 대한 현존량 추정 연구와 이수옥(1985)의 강원도의 33~42년생 소나무의 현존량 및 순생산량에 관한 연구에서 정확한 추정을 위하여 a(D²H)^b 형 방정식과 비교 분석한 결과와 같다. 따라서 본 연구에서는 단목 현존량의 추정을 위하여 보다 적합한 것으로 판단되는 공식 (3)을 이용하였다.

Table 4. Individual tree biomass equation of *Quercus mongolica*.

Comparison of R² and Syx/ \bar{Y} between different equation forms : Wt=aD^bH^c, Wt=a(D²H)^b, and Wt=aD^b, where Wt is weight in kg, D is DBH in cm, and H is total tree height in m,

Tree Component	R ²			Syx*			\bar{Y} (ΣWt/n)			Syx/ \bar{Y}		
	aD ^b H ^c	a(D ² H) ^b	aD ^b	aD ^b H ^c	a(D ² H) ^b	aD ^b	aD ^b H ^c	a(D ² H) ^b	aD ^b	aD ^b H ^c	a(D ² H) ^b	aD ^b
Foliage	0.98	0.76	0.96	1.44	0.16	0.18	9.91	5.44	5.51	0.14	0.02	0.03
Dead branch	0.98	0.76	0.95	0.95	0.06	0.08	6.57	3.68	3.69	0.14	0.01	0.02
Live branch	0.97	0.83	0.99	12.98	3.39	1.67	69.72	32.74	40.30	0.18	0.10	0.04
Bolebark	0.99	0.81	0.99	2.45	1.50	0.22	29.61	18.62	20.85	0.08	0.08	0.01
Bolewood	0.98	0.87	0.94	25.42	12.27	30.16	169.77	89.40	145.01	0.14	0.13	0.20
Total above ground	0.98	0.90	0.90	40.72	24.461	114.30	293.05	165.26	337.14	0.13	0.14	0.33

* standard error of the estimate

Table 8. Individual tree biomass equation of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* stands.

Equation form : $Wt = aD^bH^c$, where Wt is weight in kg, D is DBH in cm, and H is total tree height in m.

Species	<i>Quercus mongolica</i>			<i>Quercus variabilis</i>		
	a	b	c	a	b	c
Foliage	1.0029	5.2585	-5.8208	1.0014	3.6877	-4.0183
Dead branch	1.0037	5.3483	-6.0920	1.0007	2.6422	-2.8070
Live branch	1.0032	5.3425	-5.2016	1.0005	3.4781	-3.0204
Bolebark	1.0022	3.7551	-3.4607	0.9999	2.8506	-2.2960
Bolewood	1.0022	4.3677	-3.6016	1.0005	3.4449	-2.5077
Total above ground	1.0017	3.8656	-2.7459	1.0003	2.9251	-1.6380

* Standard error of the estimate.

Table 9. Stand biomass of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* stands.

Tree Component	<i>Q. mongolica.</i>		<i>Q. variabilis.</i>	
	t/ha	%	t/ha	%
Foliage	5.06	3.92	3.81	2.89
Dead branch	3.45	2.66	2.92	2.21
Live branch	29.67	22.96	24.29	18.44
Bolebark	16.16	12.51	20.37	15.46
Bolewood	74.86	57.95	80.37	61.00
Total above ground	130.58	100.00	137.38	100.00
Ground vegetation	15.75		25.08	
Total biomass	146.33		162.46	

2. 임분 현존량

임분 현존량을 추정하기 위하여, 단목의 현존량 추정공식을 임분 전체에 적용하였다. 표본의 측정값을 회귀분석하여 공식 (3)의 상수 및 지수값 (Table 8)을 구하였다. 이러한 단목 현존량 추정식에 Table 1, 2의 흉고직경, 수고를 적용하여 각 경급별 ha당 임목 분수를 곱하여 임분 현존량을 추정하였고, 그 결과는 Table 9와 같았다. 직경이 증가함에 따라 현존량도 증가하였고, 직경 18cm와 22cm, 수령 62년과 65년(Table 1 참고)을 전후하여서 급격한 증가를 보였다. 경제성 변동과 관계없이 실용성과 공공성을 동시에 고려하여 1987년에 정한 우리나라 참나무 수종의 표준별기령은 25~45년이다. 이를 고려할 경우 본 연구대상림은 이 별기령을 훨씬 초과하였다. 그러나 최근에, 산업이 고도화됨에 따라 공익적 수요가 증가하고 있음을 고려한 자원보존과 함께 실질적인 자원화를 위하여 표준별기령을 조정할 필요성이 있음을 시사해 주고 있다.

Table 9에서, 지상부 총 현존량은 신갈나무림이 130.6 t/ha, 굴참나무림이 137.4 t/ha로 굴참나무림이 높은 것으로 나타났다. 본 연구의 신갈

나무림의 현존량은 유고의 47년생 *Quercus robur* 인공림의 128.3 t/ha, 39년생 *Fagus sylvatica* 임분의 133.3 t/ha, 스웨덴의 52년생 *Picea abies* 림의 132.2 t/ha, 미국의 *Fagus grandifolia* 천연림의 130.0 t/ha(Art and Marks, 1971)와 유사한 값을 보였다. 또한 굴참나무림의 지상부 총 현존량은 최영철과 박인협(1993)이 보고한 평균 수령 26~29년생 전남 순천의 모후산 주요 참나무 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 연구에서 상수리나무림의 164.0 t/ha, 굴참나무림의 158.9 t/ha, 31년생 *Pinus nigra* 인공림의 163.4 t/ha(이경재 등, 1985), 일본의 39년생 *Larix leptolepis* 인공림의 164.4 t/ha(Satoo, 1969; Satoo and Madgwick, 1982), 평균 온대참나무림의 174.6 t/ha(Art and Marks, 1971) 보다 훨씬 낮았다. 그러나, 이경재 등(1985)이 보고한 광주지방의 22년생 리기테다소나무 인공림의 142.2 t/ha 등과 유사하였다. 또한, 유고의 47년생 *Picea abies* 임분의 139.8 t/ha, 미국의 온대지역 *Quercus borealis* 천연림의 137.0 t/ha(Art and Marks, 1971)와 캐나다 Brunswick의 *Abies balsam*, *Betula papyrifera*와 *Picea spp.*의 삼림

이 137.0 t/ha(Tritton and Hornbeck, 1982)로 유사하였다.

약 130~140 t/ha에 이르는 생태계의 엽량과 그 비율은 수간목부가 지상부 총 현존량의 58.0%, 61.0%을 차지하였고, 다음으로 수피가 15.0%, 16.0% 순으로 나타났다. 한상섭 등(1992)이 보고한 35~50년생 신갈나무림 목부의 70.0%, 84.0%보다 낮았지만, 박인협과 문광선(1994)이 보고한 신갈나무림 60.0%, 굴참나무림 60.0%와 유사한 값을 보였다. 생지부는 24.0%, 30.0%로 11.0%(한상섭 등, 1992), 25.0%(박인협과 문광선, 1994) 보다 다소 높았다. 엽량은 4.0 t/ha, 5.0 t/ha로 3.0%, 4.0%를 차지하였다. 우리나라의 삼림생태계에 있어서 엽량과 그 빈도 분포에 관한 선행연구에 따르면, 활엽수의 경우 1.0~12.0 t/ha의 범위에 있으며, 최고 빈도는 2.0~4.0 t/ha로 동남아시아 지역의 낙엽 활엽수림

(3.0~4.0 t/ha)과 유사하다고 하였다(김시경과 정좌용, 1985; 이경제 등, 1985).

본 연구대상 임분의 엽량도 이와 비슷하였다. 그리고 지피식생이 15.8 t/ha와 25.1 t/ha를 차지하고 전체 생태계의 현존량이 146.3 t/ha와 162.5 t/ha정도 되기 때문에 조사지역의 생산력은 나쁘지 않은 것으로 나타났다.

3. Net Primary Production (NPP)

표본목의 단목 순생산량을 측정된 후, 그 측정값을 회귀분석하여 공식 (3)의 상수 및 지수값을 각각 구한 결과는 Table 10, 11과 같다. Table 10, 11의 결정계수 R^2 값을 보면, 신갈나무와 굴참나무 수피부의 0.91를 제외하고 모두 0.97이상으로 상관관계가 대단히 높았으며, 지상부 총량의 순생산량 추정식이 가장 높았다. 수간목부, 생지부, 엽, 일년생 소지의 순생산량 추정 방정

Table 10. Individual tree NPP equation of *Quercus mongolica* stand.

Equation form : $Wt = aD^bH^c$, where Wt is weight in kg, D is DBH in cm, and H is total tree height in m.

Tree Component	a	b	c	R^2	Syx	\bar{Y}	Syx/\bar{Y}
Foliage	1.0029	5.2585	-5.8208	0.9831	1.4492	9.9108	0.1462
Current twig	1.0039	5.2818	-6.7044	0.9796	0.1400	1.0391	0.1347
Branch	1.0040	5.2319	-6.1738	0.9837	0.4707	3.5460	0.1327
Bolebark	1.0028	2.8074	-3.8061	0.9171	0.0661	0.5120	0.1291
Bolewood	1.0035	2.9657	-3.3742	0.9863	0.1937	2.5903	0.0748
Total above ground	1.0024	3.8937	-3.8209	0.9927	1.4982	18.3915	0.0814

Table 11. Individual tree NPP equation of *Quercus variabilis* stand.

Equation form : $Wt = aD^bH^c$, where Wt is weight in kg, D is DBH in cm, and H is total tree height in m.

Tree Component	a	b	c	R^2	Syx	\bar{Y}	Syx/\bar{Y}
Foliage	1.0014	3.6877	-4.0183	0.9895	0.6592	6.3750	0.1034
Current twig	1.0016	4.1104	-5.3658	0.9889	0.0828	0.8083	0.1025
Branch	1.0005	3.3926	-3.9832	0.9938	0.1790	2.5386	0.0705
Bolebark	1.0007	1.0830	-1.5223	0.9167	0.0526	0.6698	0.0786
Bolewood	1.0013	1.8639	-1.9587	0.9939	0.1259	2.7763	0.0453
Total above ground	1.0009	2.3614	-1.9921	0.9978	0.5016	13.4503	0.0373

Table 12. NPP of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* stands.

Tree Component	<i>Q. mongolica.</i>		<i>Q. variabilis.</i>	
	t/ha/yr	%	t/ha/yr	%
Foliage	5.06	50.80	3.81	44.17
Current Twig	0.65	6.53	0.49	5.73
Branch	1.99	19.98	1.63	18.92
Bolebark	0.41	4.12	0.57	6.56
Bolewood	1.85	18.57	2.13	24.62
Total above ground	9.96	100.00	8.64	100.00

식의 상관정도는 비슷하였고, 가장 상관정도가 낮은 것은 수피의 추정식이였다. Table 10, 11의 추정식을 적용하여 두 임분의 순생산량을 환산하였으며 그 결과는 Table 12와 같았다. Table 12에서 지상부 연간 생산량은 신갈나무 임분이 10.0 t/ha/yr, 굴참나무 임분이 8.6 t/ha/yr이었다. 이것은 지상부 총량의 7.6%와 6.3%를 각각 차지 하는 양이다.

본 조사지의 신갈나무 임분은 캐나다의 40~50년생 *Abies balsamea* 임분의 9.45~9.4 t/ha/yr (Art and Marks, 1971)와 유사한 값을 보였다. 그리고 굴참나무 임분의 순생산량은 김시경과 정좌용(1985)의 19~20년생 굴참나무 임분의 9.0 t/ha/yr, 미국의 *Quercus borealis* 임분의 8.3 t/ha/yr(Art and Marks, 1971)과 비슷하였다.

순생산량을 조사한 자료에 따르면 온대의 활엽수림은 5.0~10.0 t/ha/yr이고, 김시경과 정좌용(1985), 이경재 등(1985)이 보고한 자료에 의하면 우리나라의 활엽수는 1.0~15.0 t/ha/yr 범위에 분포하며, 가장 많이 나타나는 범주가 5.0~10.0 t/ha/yr인 것으로 알려졌는데, 본 연구도 이 범위내에 속하였다.

부위별 비율을 보면 엽의 순생산량은 신갈나무가 50.8%, 굴참나무가 44.2%로 선행 연구결과와 비교하여 대단히 높았으나 지상부 총 현존량의 3.9%, 2.9% 밖에 되지 않았다. 이것은 연간 엽생산량이 대단히 많다는 것을 의미하며, 생태계 양료순환의 상당부분을 엽이 차지하고 있음을 반영해 주는 것이다. 수간목부는 18.6%, 24.6% 정도로 지상부 총 현존량의 58.0%, 61.0%와는 매우 대조적인 것이다. 수피는 굴참나무 임분(0.6 t/ha/yr)이 신갈나무 임분(0.4 t/ha/yr) 보다 높았는데, 이것은 굴참나무가 수피의 코르크층이 발달하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 신갈나무 임분의 생지부가 약 20.0%로 수간목부의 18.6% 보다 높게 나타났다. 이것은 천연림의 보육관리가 부재하기 때문인 것으로 사료되며, 따라서 두 임분 모두 지타작업과 같은 적절한 보육관리가 요구된다고 하겠다.

結 論

충청북도 충주지역의 평균수령 67, 62년생 신갈나무와 굴참나무 천연림을 대상으로 현존량과

생산성을 파악하기 위하여 각각 10분의 표본목을 선발하여 벌채하였다. 상대생장식을 사용하여 추정 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 충주지역의 현존량 및 순생산량을 추정하는 방정식 모형으로 $Wt=aD^bH^c$ 가 $Wt=a(D^2H)^b$, $Wt=aD^b$ 보다 적합하였다.
2. 임분의 현존량 추정결과, 지상부 총량은 신갈나무 임분이 130.6 t/ha이었고, 굴참나무 임분이 137.4 t/ha였다.
3. 두 임분의 1년간 생산할 수 있는 지상부 총량은 각각 신갈나무 임분이 10.0 t/ha/yr, 굴참나무 임분의 지상부 총량이 8.6 t/ha/yr였다. 본 참나무 천연림은 장령림이지만 순생산량은 온대 활엽수림의 평균 순생산량과 비교하여 결코 떨어지지 않았다.

引用 文 獻

1. 김시경·정좌용. 1985. 굴참나무천연림의 생산구조 및 물질생산력에 관한 연구. 한국임학회지. 70:91-102.
2. 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청. 450pp.
3. 박봉규·이인숙·김옥경. 생태학 실험. 동성출판사. 117pp.
4. 박인협·문광선. 1994. 주요 참나무 천연림의 물질생산 및 현존량추정식에 관한 연구. 한국임학회지. 83(2):246-253.
5. 이수옥. 1985. 강원도산 소나무천연림생태계의 Biomass 및 Primary Production에 관한 연구. 한국임학회지. 71:74-81.
6. 이경재·김갑덕, 김재생과 박인협. 1985. 광주지방의 리기다소나무 및 리기다소나무 조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임학회지. 69:28-35.
7. 임경빈·박인협·이경재. 1980. 경기도지방 적송림의 사회식물학적 연구. 한국임학회지. 50:56-71.
8. 임업연구원. 1992. 임업연구를 위한 기초통계학. 197pp.
9. 최영철·박인협. 1993. 전남 모후산지역 굴참나무천연림과 현사시나무인공림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지. 82(2):188-194.

10. 한상섭 · 김도영 · 심주석. 1992. 신갈나무 장령 임분의 물질생산 구조에 관한 연구. 한국임학회지. 81(1):1-10.
11. Art, H.W. and P.L. Marks. 1971. A summary table of biomass and net annual primary production in forest ecosystems of the world. Pages 3-34 in H.E. Young, ed. Forest Biomass Studies. Univ. of Main Orono, Me.
12. Bockheim, J.G. and S.W. Lee. 1984. Biomass and net primary production equations for thinned red pine plantations. For. Res. No. Univ. W-M. Dept. For. 256:1-6.
13. Lieth, H. 1975. Historical survey of primary productivity research. Pages 7-16 in H. Lieth and R.H. Whittaker, ed. Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag N.Y. Inc.
14. Satoo, T. 1969. Primary productions of coniferous forests in Japan. Pages 191-205 in proceeding of international Brussels Symp., ed. Productivity of forest ecosystems(ecology and conservation,4.).
15. Satoo, T. and H.A.I. Madgwick. 1982. Methods of estimating forest biomass in Forest biomass. 152pp.
16. Tritton, L.M. and J.W. Hornbeck. 1982. Biomass equations for major tree species of the northeast. U.S.D.A. For. Ser. N.E. For. Ex. St. Gen. Tech. Rep. NE-69. 42pp.
17. Westerman, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis(3rd ed.), Soil Sci. Soc of Am. inc. Madison, Wisconsin, U.S.A. 784pp.
18. Whittaker, R.H. and P.L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. Pages 55-118 in H. Lieth and R.H. Whittaker, ed. Primary productivity of the biosphere. Springer-Verlag. New York, Inc.
19. Whittaker, R.H. and G.M. Woodwell. 1969. Methods of net primary production of forests. Pages 159-175 in proceeding of international Brussels Symp., ed. Productivity of forest ecosystems(ecology and conservation,4.)