

## 독일가문비나무(*Picea abies* [L.] Karst)의 地上部와 地下部 생체량에 關한 研究 : 胸高直徑에 의한 뿌리생체량 推定<sup>1</sup>

李 道 炯<sup>2\*</sup>

## Relationship Between Above-and Below-Ground Biomass for Norway Spruce (*Picea abies*) : Estimating Root System Biomass from Breast Height Diameter<sup>1</sup>

Do-Hyung Lee<sup>2\*</sup>

### 要 約

본 연구는 독일가문비나무의 지하부인 뿌리구조와 지상부인 수관과의 상호관계를 밝혀, 어렵게 뿌리를 굴취하거나 침엽 생체량을 측정하지 않고도 수고와 흉고직경에 의한 상대적인 뿌리와 침엽 생체량 추정을 위한 회귀식을 구하기 위하여 실시하였다. 독일 중부 Harz 지방의 Barbis 임분에서 30~40년생의 우세목 5본과 준우세목 3본을 선발한 후 조사목의 지상부에 대하여 수고, 흉고직경, 지하고, 침엽량, 가지량, 횡단면, 변재면 등을 조사하였다. 그리고 5본에 대해서는 지하부의 뿌리길이, 뿌리수, 뿌리무게, 뿌리횡단면 등을 수평과 수직뿌리로 구분하여 조사하였다. 조사된 임분에서 독일가문비나무의 지상부(수고, 흉고직경, 침엽량, 가지량 등)와 지하부(뿌리길이, 무게, 수, 횡단면 등) 생체량 사이에는 서로 밀접한 상관관계를 나타내었다. 측정이 용이한 흉고직경에 대한 지하부 뿌리생체량은  $Y = 3.56X - 45.94$ 의 관계식으로 결정계수가 0.96으로 매우 높은 상관관계를 나타내었다. 가지량, 침엽량과 수고에 있어서도 지하부 생체량과 높은 상관관계를 나타내었다. 본 연구에서 얻어진 회귀식은 30~40년생 독일가문비나무 임분에서 흉고직경을 이용하여 지하부의 상대적인 뿌리 생체량을 추정하는데 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

### ABSTRACT

This study was conducted to elucidate the relationship between the root structure and the crown structure of Norway spruce(*Picea abies* [L.] Karst), and thereafter to obtain the regression equation for the estimation of relative root and needle biomass using the tree height and diameter at breast height(DBH) without measurement of root and needle biomass. The study site was Barbis stands of Harz region located in central part of Germany. Five dominant and three co-dominant trees of 30 to 40 year-old Norway spruce were selected and tree height, diameter at breast height, clear bole length, weight of total needle and branch, cross section and sapwood area at breast height for biomass of above ground part and also the length of root, the number of root, the weight of root, the cross section area of root etc. by dividing the horizontal and vertical roots for below ground part of tree were measured. The significantly correlation was shown between the biomass of most of variables of above ground parts and those of below ground parts. For the diameter of breast height

<sup>1</sup> 接受 2001年 3月 21日 Received on March 21, 2001.

審査完了 2001年 4月 16日 Accepted on April 16, 2001.

<sup>2</sup> 영남대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea.

\* 연락처자 E-mail : dhlee@yu.ac.kr

to the weight of total root, regression equation was  $Y = 3.56X - 45.94$  and decision coefficient was 0.96 showing highly correlation. The weight of total branches and needles, and the tree height etc. of above ground parts showed highly positive relationship with below ground biomass. The results obtained from this study can be used to the estimating of biomass of below ground using variables of above ground such as DBH in the 30 to 40 year-old Norway spruce stands.

*Key Word* : regression equation, decision coefficient, root and needle biomass, sapwood area, diameter of breast height(DBH)

### 緒 論

수목의 구조는 내부의 유전적 특성과 외부 환경인자의 영향에 의해 결정되며, 그 영향으로 인하여 수목 외부의 형태적 차이점이 나타난다. 환경에 따른 수관에서의 변화와 부하는 수분이동 조직과 뿌리구조에 영향을 미치며, 또한 뿌리부분에서의 변화와 부하 역시 수분이동조직과 수관에 영향을 미치는데, 이들 지상부와 지하부의 구조 사이에는 서로 밀접한 상관 관계가 있다. 한 수종의 개개 구성요소들 사이에는 유전적으로 고정된 높은 상관 관계가 성립하며, 그것은 환경에 따라 변화될 수 있기 때문에 상호간의 조화 원칙은 매우 중요하다(Gruber, 1994). 환경요인은 식물의 생장기간 동안 뿌리와 가지의 관계에 영향을 미친다(Fayle, 1974; Iwasa와 Roughgarden, 1984; Reynoldas와 Bloomberg, 1982; Röhrig, 1966; Wilson, 1964). 외부 환경인자에 의한 영향은 일정하지 않으며, 토양 수분에 대해서는 뿌리보다 가지가 더 민감하게 반응하며(Ledig 등, 1970), 외부 환경인자의 변화에 따른 생체량의 증감뿐만 아니라, 형태와 구조의 적용도 다르게 나타난다(Ford 등, 1990; Gruber, 1992; Roloff, 1986). 해가림을 통한 뿌리무게가 감소한 경우(Röhrig, 1966)와 그렇지 않은 경우(Ledig 등, 1970)가 보고되었으며, *Abies balsamea* 수종에 대하여 인위적인 침엽 제거를 통한 변재면의 감소와 더불어 생장의 감소도 보고된 바 있다(Margolis 등, 1988).

일찍이 레오나르도 다빈치는 수관에서의 목재횡단면은 일정한 값을 나타낸다는 것을 언급하였으며, 침엽과 변재면 사이의 상관관계에 대한 기본적인 접근은 Shinozaki 등(1964)의 파이프로모델이론에서 시작되었다. 이 이론은 단위 면적의 합계로서 각각의 나무를 설명할 수 있고, 각 단위면적은 잎의 생체량으로 나타난다고 하였다. 또한 이들의 관계는 어떤 특정 임분에 한정되지 않으며, 측정 부위에 따라서 수관부인 지하고의 변재면이 줄기

의 아랫부분 보다 더 높은 상관관계를 나타내고, 그 단위 파이프는 항상 일정하다는 것이다. 독일가문비나무와 몇몇 침엽수종에 대하여 파이프 이론을 적용한 결과 변재면과 침엽량, 침엽면적 사이에는 밀접한 상관관계가 성립한다고 보고하였으며(Horntvedt, 1993; Ryan, 1989), 3~9년생의 구조소나무의 어린 뿌리구조에서도 파이프이론이 적합하다는 것을 증명하였다(Carlson과 Harrington, 1987).

산림생태계에서 뿌리구조를 포함한 생체량 분포의 추정에는 임분생장, 산림경영, 목재수확 산정에 매우 중요하다(Kurz 등, 1996). 수령이 증가함에 따라 줄기와 가지 그리고 굵은 뿌리량은 일정하게 증가하지만, 잎의 양과 가는 뿌리는 수종과 환경에 따라 다양하게 나타난다(Santantonio, 1990). 어떤 특정 수종의 가는 뿌리량을 정확히 산정하는 것은 어렵지만 대략 그 수종의 전체 생체량 중에서 5% 내외이며, 전체 뿌리생체량은 임분과 수령에 따라 차이가 있지만 전체 생체량의 15~25%이다. 일반적으로 지상부와 지하부 생체량 비는 생장함에 따라 감소한다(Röhrig, 1966; Santantonio 등, 1977). 한 수종의 뿌리 생체량 추정은 큰 나무일수록 조사에 어려움이 있기 때문에 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. 또한 흉고직경과 수고에 대한 상대적 뿌리의 생체량 추정에 관한 연구는 지상부의 생체량 연구에 비하여 많지 않으며, 대부분 침엽수종을 대상으로 하였다(Carlson과 Harrington, 1987; Coutts, 1987; Hari 등, 1986; Kapeluck과 Van Lear, 1995; Thies와 Cunningham, 1996).

본 연구에서는 30~40년생 독일가문비나무의 지상부와 지하부의 생체량 비교를 통하여, 측정이 용이한 흉고직경과 수고에 대한 뿌리와 침엽의 생체량과의 관계를 밝히고자 하였다. 또한 어렵게 뿌리를 굴취하지 않고 지하부의 생체량을 추정할 수 있는 관계식을 이용함으로써, 수목의 생장과 수확 그리고 합리적 산림경영을 위한 기초 자료를

제공하고자 하였다.

材料 및 方法

1. 조사목의 특성조사 및 자료분석

30~40년된 독일가문비나무 순림인 독일의 Harz 지방의 Barbis 임분에서 우세목 5본과 준우세목 3본을 선발하였으며, 임분의 경쟁 밀도를 조사하기 위하여 조사목을 중심으로 10m×10m의 조사구내 주위목을 추가로 조사하였다. 지하부인 뿌리는 5본에 대하여 수평 50cm 단위별 그리고 수직 20cm 단위별로 층위를 구분하여 그 층위에서 직경 0.5cm 이상 되는 뿌리의 길이, 수, 굵기, 무게, 횡단면 등을 조사하였다. 지상부의 생체량 조사를 위하여 줄기의 근주단면적, 흉고단면적, 지하고단면적, 수관단면적을 조사하였으며, 수고에 대하여 연년 성장과 절간에서의 가지수, 전체절간수, 동아 등의 형태적 특징과 침엽량과 가지량을 층위별 및 가지별로 측정하였다(Figure 1). 뿌리와 침엽은 실온에서 기건 건조한 후, 건조기에 48시간동안 105℃로 건조한 전건 무게를 측정하였다. 측정이 용이한

수고, 흉고직경, 지하고를 중심으로 분석을 실시하였다. 수집된 자료는 SAS(1989)를 이용하여 상관분석을 실시하였으며, 회귀식을 나타내었다. 조사목의 지상부인 흉고직경(cm), 흉고변재면(cm<sup>2</sup>), 흉고단면적(CSA; cm<sup>2</sup>), 수고(cm), 침엽량(kg)과 가지량(kg)을 독립변수(X)로 사용하고 조사목의 지하부인 뿌리무게(kg), 뿌리횡단면(cm<sup>2</sup>), 뿌리수(n), 뿌리길이(m) 등을 종속변수(Y)로 하여 다음의 회귀식을 사용하였다.  $Y = \beta_1 X + \beta_0$  (선형 회귀), 여기에서  $\beta_0$ 는 Y축의 절편이고  $\beta_1$ 은 기울기이다.

結果

1. 조사목의 일반적인 특성

지상부의 수관에 대하여 수고, 흉고직경, 지하고, 침엽량 등을 조사하였으며(Table 1), 지하부인 뿌리에 대하여 뿌리길이, 무게, 수, 횡단면 등을 조사하였다(Table 2). 조사목의 수고는 최저 19m, 최고 24m(평균 21.64m)이었다. 흉고직경이 최저 13.77cm와 최고 26.88cm 그리고 지하고 직경은 최저 9.64cm와 최고 18.02cm로 그 폭이 다소 크게 나타났는데, 이는 임분내의 수목상호간의 경쟁에 따른 수고 성장 차이에 의한 결과로 생각된다. 조사목의 지하고는 평균 11m이었으며 절간수는 14개로 거의 유사한 값을 보였는데, 이는 인공 조림으로 인하여 주위목과 서로 경쟁한 결과, 서로 비슷한 수고 성장을 보인 것으로 사료된다. 침엽량과 가지량은 평균 16.89kg과 15.70kg으로 비슷한 값을 나타내었으며, 각 조사목간에는 약간의 차이를 보였다. 그리고 흉고직경과 지하고에서의 횡단면과 변재면을 조사하였는데, 실제 한 나무의 활력은 흉고와 지하고에서의 횡단면보다는 변재면이 더욱더 잘 대변할 수 있는 인자이며, 가지와 침엽량이 수분의 이동경로인 변재면의 크기와 밀접한 관계를 이루고 있다.

조사목의 수평뿌리 길이는 평균 46m이고, 수직뿌리 길이는 23m였다. 전체뿌리수는 평균 86개로 수평뿌리(평균 21개)에 비하여 수직뿌리(평균 58개)가 더 많이 관찰되었다. 뿌리무게는 평균 27.4kg으로 수직뿌리가 평균 4.5kg인데 비하여 수평뿌리가 12.2kg이었는데, 이는 수평 뿌리의 수가 적은 것에 비하여 매우 높은 값을 나타내었다. 수평과 수직뿌리를 제외한 뿌리 그루터기 무게는 최저 5.4kg, 최고 19.6kg(평균 10.7kg)을 나타내었다.

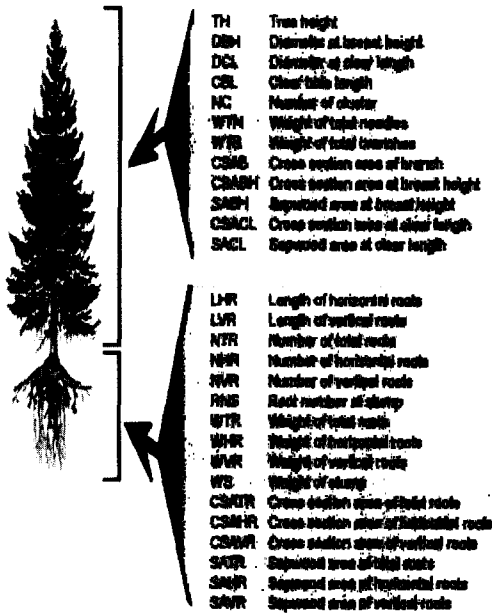


Figure 1. Schematic presentation of measured parameters of the above- and below-ground biomass of 30 to 40-year old Norway spruce(*Picea abies*[L.] Karst) in the Barbis stand.

**Table 1.** General description of measured parameters of the above-ground biomass for 30 to 40-year old Norway spruce(*Picea abies*[L.] Karst) in the Barbis stand.

Sample tree No.	TH (m)	DBH (cm)	DCL (cm)	CBL (m)	NC (n)	WTN (kg)	WTB (kg)
1	23.7	26.88	18.02	13.0	14	31.26	29.82
2	21.0	15.42	12.37	9.0	15	11.96	10.33
3	21.6	21.36	17.75	9.2	17	21.77	17.34
4	22.4	18.00	12.09	13.7	14	11.99	10.95
5	22.4	21.29	14.34	12.6	15	18.00	20.41
6	21.1	14.18	10.55	12.5	12	8.67	8.52
7	19.8	13.77	9.64	11.5	13	5.98	5.34
8	21.1	22.56	16.36	11.0	15	25.47	22.01
mean	21.64	19.18	13.89	11.56	14.38	16.89	15.70
S.D.	±1.11	±4.33	±3.02	±1.62	±1.41	±8.22	±7.80

Sample tree No.	CSAB (cm <sup>2</sup> )	CSABH (cm <sup>2</sup> )	SABH (cm <sup>2</sup> )	CSACL (cm <sup>2</sup> )	SACL (cm <sup>2</sup> )
1	132.25	567.30	529.06	255.05	222.41
2	63.15	186.80	172.92	120.26	105.60
3	84.58	358.26	239.7	247.31	167.50
4	60.21	254.47	177.62	114.86	92.89
5	79.94	356.10	232.11	161.57	143.67
6	31.87	158.01	119.18	87.45	83.24
7	34.08	149.00	96.73	73.03	60.43
8	73.90	399.78	339.97	210.24	178.59
mean	70.00	303.72	238.41	158.72	131.79
S.D.	±29.77	±134.95	±130.91	±66.72	±51.80

**Table 2.** General description of measured parameters of the below-ground biomass for 30 to 40-year old Norway spruce in the Barbis stand.

Sample tree No.	LHR (m)	LVR (m)	NTR (n)	NHR (n)	NVR (n)	RNS (n)	WTR (kg)	WHR (kg)
1	60.51	32.85	90	17	64	9	52.08	25.69
2	41.08	13.4	68	23	35	10	12.99	6.10
3	38.86	18.81	47	7	38	2	28.29	9.51
4	32.46	21.52	83	25	50	8	14.90	5.92
5	58.75	27.82	140	31	103	6	28.79	13.56
mean	46.33	22.88	85.60	20.60	58.00	7	27.41	12.16
S.D.	±11.23	±6.81	±30.94	±8.14	±24.71	±2.83	±13.97	±7.32

Sample tree No.	WVR (kg)	WS (kg)	CSATR (cm <sup>3</sup> )	CSAHR (cm <sup>3</sup> )	CSAVR (cm <sup>3</sup> )	SATR (cm <sup>3</sup> )	SAHR (cm <sup>3</sup> )	SAVR (cm <sup>3</sup> )
1	6.81	19.59	459.99	290.07	169.92	388.36	260.36	128.10
2	1.52	5.36	41.00	9.73	31.27	33.32	7.37	25.95
3	7.17	11.61	296.27	61.49	234.78	163.60	59.98	103.62
4	2.14	6.84	62.39	15.49	46.90	47.60	12.76	34.84
5	4.99	10.23	250.97	74.27	176.7	175.38	50.46	124.92
mean	4.53	10.73	222.12	90.21	131.91	161.65	78.19	83.49
S.D.	±2.33	±4.97	±155.71	±103.04	±79.23	±127.33	±93.36	±44.25

**2. 흉고직경과 수고 그리고 지하고에 대한 지상부와 지하부 생체량의 상관관계**

조사목의 지상부와 지하부 생체량의 상관관계를 Table 3에 나타내었다. 측정이 쉬운 수고와 흉고 직경 그리고 지하고를 기준으로 상대 지상부와 지하부의 상관관계를 나타내었는데, 지하고를 제외하고 모두 높은 정의 상관을 나타내었다. 수고에 대한 지상부(흉고직경, 침엽무게, 가지무게, 가지 횡단면, 흉고면, 흉고변재면, 지하고횡단면, 지하고변재면)는 모두 높은 정의 상관을 나타내었으며, 지하부(수직뿌리길이, 전체뿌리무게, 수평뿌리무게, 뿌리그루터기무게, 전체뿌리횡단면, 수평과 수직뿌리횡단면) 또한 대부분 높은 정의 상관을 나타내었다. 흉고직경에 대하여 지하고를 제외한 모든 지상과 지하부의 조사 항목간에 높은 정의 상관이 나타났으며, 이러한 본 연구의 결과는 쉽게 측정할 수 있는 흉고직경과 수고의 측정으로 상대적인 뿌리의 생체량을 추정할 수 있다는 것을 의미한다. 지하고는 수고와 수직뿌리길이를 제외하고는 매우 낮은 값을 나타내었으며, 지상부의 침엽량과 가지량은 지하부의 뿌리량과 높은 정의 상관을 나타내었다.

측정이 용이한 흉고직경을 중심으로 지상부와 지하부의 상호관계를 알아본 결과(Figure 2), 뿌리건조중량과는 그 회귀식이  $Y = 3.56X - 45.94$ 이며 그 결정계수(0.96)가 매우 높은 상관을 나타내었다. 침엽건조중량 또한 그 회귀식이  $Y = 1.85X - 18.63$ 이며 그 결정계수가 0.95로 매우 높은 정의 상관을 나타내었다. 흉고에서의 변재면은 뿌리건조중량과  $Y = 0.10X - 0.01$ ( $r^2=0.92$ )의 관계를 나타내고, 침엽건조중량과는  $Y = 0.06X - 2.64$ ( $r^2=0.91$ )의 관계를 나타내었다. 일반적으로 변재면은 실질적으로 수분이 이동되므로, 생육에 밀접한 영향을 끼치기 때문에 횡단면보다 더욱 높은 상관관계를 나타내지만, 본 연구에서는 다소 낮은 값을 나타내었다. 이는 적은 수의 조사목에 대한 측정오차로 생각되며, 향후 조사를 통하여 검증되어야 할 것이다.

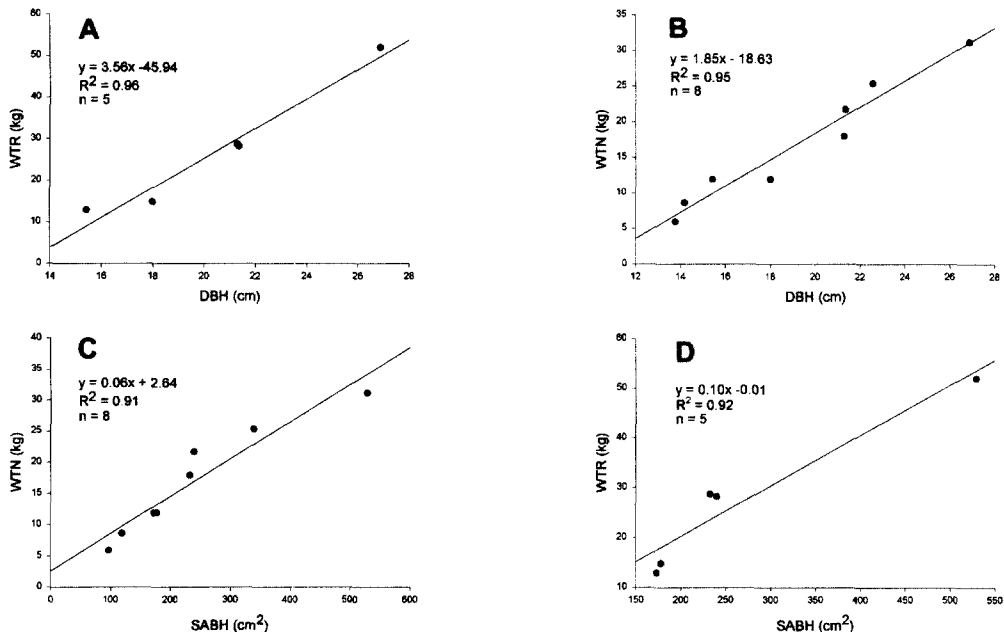
**考 索**

본 연구에서는 독일 중부 Barbis지역의 독일가문비나무 임분에서 지상부와 지하부 구성성분 사이의 상호관계와 흉고직경에 대한 뿌리의 생체량을 추정하고자 하였으며, 흉고직경과 수고는 뿌리

**Table 3.** Correlation coefficients among above- and below-ground biomass for 30 to 40-year old Norway Spruce in the Barbis stand.

	Tree height	DBH	Clear length	Needle weight	Twig weight
<i>Above-ground biomass</i>					
Tree height		0.92**	0.90**	0.84**	0.90**
Diameter at breast height(DBH)	0.92**		0.64*	0.97**	0.98**
Clear bole length	0.90**	0.64		0.42	0.60*
Weight of total needles	0.84**	0.97**	0.42		0.97**
Weight of total twigs	0.90**	0.98**	0.60*	0.97**	
Cross section area of twigs	0.88**	0.97**	0.50	0.98**	0.97**
Cross section area at breast height	0.92**	0.99**	0.63*	0.98**	0.98**
Sapwood area at breast height	0.91**	0.95**	0.59	0.96**	0.96**
Cross section area of in clear length	0.81**	0.96**	0.31	0.99**	0.97**
Sapwood area in clear length	0.91**	0.97**	0.64*	0.95**	0.99**
<i>Below-ground biomass</i>					
Length of horizontal roots	0.78*	0.84**	0.55	0.82**	0.92**
Length of vertical roots	0.97**	0.93**	0.86**	0.86**	0.93**
Weight of total roots	0.90**	0.98**	0.56	0.98**	0.99**
Weight of horizontal roots	0.92**	0.96**	0.63*	0.96**	0.98**
Weight of vertical roots	0.69*	0.92**	0.10	0.93**	0.89**
Weight of stock roots	0.90**	0.98**	0.55	0.99**	0.98**
Cross section area of total roots	0.84**	0.98**	0.45	0.98**	0.97**
Sapwood area of total roots	0.90**	0.98**	0.61*	0.98**	0.99**
Sapwood area of horizontal roots	0.91**	0.95**	0.58	0.97**	0.96**
Sapwood area of vertical roots	0.78**	0.93**	0.47	0.90**	0.94**

\*P ≤ 0.1; \*\*P ≤ 0.05



**Figure 2.** Relationships between above- and below-ground biomass from 30 to 40-year old Norway spruce in the Barbis stand.

- A : Between diameter at breast height(DBH) and weight of total roots(WTR)
- B : Between diameter at breast height(DBH) and weight of total needles(WTN)
- C : Between sapwood area at breast height(SABH) and weight of total needles(WTN)
- D : Between sapwood area at breast height(SABH) and weight of total roots(WTR)

의 생체량과 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 측정이 용이한 지상부의 생체량으로 지하부의 생체량을 예측할 수 있음을 나타내며, 파이프 모델 이론이 적합하다는 것을 보여준다. 뿌리와 수관과의 상호 관계는 CO<sub>2</sub>, 수분, 영양분, 호르몬, 탄소 흐름의 균형을 통하여 규정될 수 있으며(Klepper, 1991), 산림분야에서 매우 중요한 의미를 갖는다.

통계적 방법을 이용한 상대추정방정식은 이러한 뿌리 생체량을 산정하기 위하여 간접적으로 이용되며(Santantonio, 1990), 임분과 수종에 따라 일정하게 나타난다. 흉고직경과 수고는 지하부 생체량을 추정함에 있어서 쉽게 구할 수 있는 공급변수로서 실제 현장에서 간단하게 적용될 수 있다. 한 나무의 뿌리와 줄기, 잎은 공간적으로 균형을 이루며, 무게에 대한 나무의 부피와도 관련이 있고(Santantonio, 1990), 그 생체량 또한 상대 방정식으로 표현될 수 있다. 상대 생장 추정식 산정은 간접적으로 수목의 다른 성분을 추정하는데 그 목적이 있다. 흉고직경과 뿌리구조 생체량과의 관계를 나타내는 비선형 회귀곡선은 다양한 굵기의 직경과 몇몇의 침엽수종(Gruber, 1992; Kapeluck과 Van Lear, 1995; Kuiper와 Coutts, 1992; Santantonio 등, 1977; Thies와 Cunningham, 1996; Watson과 O'loughlin, 1990)과 활엽수종(Canadell과 Roda, 1991; Pellinen, 1986)에 대하여 보고되었는데, Kuiper와 Coutts(1992)의 태평양 북서부에 있는 미송 천연집단에서 얻어진 뿌리생체량과 흉고직경의 관계는 본 연구의 결과와 일치한다. 최근 발표된 서부 오레곤 지역의 미송 뿌리생체량과 흉고직경의 결과(Thies와 Cunningham, 1996)는 대부분 나무의 흉고직경 값이 크고, 회귀곡선의 시작점이 본 연구의 마지막 부분이 되기 때문에, 본 독일가문비나무의 연구 결과와 직접 비교하기는 어렵다. 그러나 흉고직경 20~27cm에서 측정된 굵은 뿌리 생체량은 본 연구와 동일한 범위에 속하며 회귀식 또한 비슷하였다. 본 연구에서 사용된 회귀식은 독일가문비나무의 흉고직경에 대한 뿌리구조 생체량의 적절한 평가를 위하여 사용되었으며, 흉고직경에 대한 지하부 생체량은 모두 높은 정의 상관을 나타내었다. 그러나 지하고에 대한 지상부와 지하부 생체량 관계는 조사 임분이 인공조립된 동령림으로 임목 서로간의 치열한 경쟁으로 인하여 지하고가 매우 높았으며, 또한 서로 낮은 상관관계를 나타내었는데, 이러한 결과는 수고나 흉고직경에

비하여 지하고는 지하부 생체량을 추정하기 위한 변수로는 적합하지 않음을 의미한다.

변재면의 면적은 수분을 수관으로 보내는데 있어서 대단히 중요하며(Knigge 등, 1984), 수관에서의 침엽량, 가지량 등은 뿌리에서의 상대적 생체량에 영향을 미친다. 다소 적은 수의 조사목으로 인하여 흉고직경과 변재면에서의 뚜렷한 차이는 나타나지 않았지만, 이들 모두 지상부와 지하부의 생체량과 밀접한 상관관계가 성립하는 것으로 확인되었다. 줄기 부근의 굵은 뿌리는 수분 통도면이나 변재면과 아주 밀접한 관계가 있으며(Köstler 등, 1968), 활동적인 파이프의 총체로서 간주할 수 있을 것이다(Valentine, 1990). 이들 부분에서 매우 두꺼워진 부분은 형성층 활동의 자극으로 기계적인 힘에 의한 나무의 흔들림에 의해 생겨나며, 목재의 증가되는 힘과 일치한다(Stokes와 Mattheck, 1996). 이것은 줄기에 가까운 뿌리횡단면이 수관면적이 증가함에 따라 줄기의 직경이 더 많이 증가하는가를 설명할 수 있는 근거가 된다.

본 연구에서는 30~40년생 독일가문비나무 임분에서 흉고직경에 대한 지하부 생체량을 추정하였는데, 좁은 조사지역과 적은 수의 조사목에 따른 결과이기 때문에 본 조사지역 이외의 수목에 직접 적용하기 위해서는 신중히 검토할 필요가 있으며, 유령목과 노령목에 대해서도 추가적으로 연구되어야 할 것이다. 그러나 서로 다른 환경조건에서 자라는 침엽수와 활엽수의 뿌리 생체량을 간략하게 산출하기 위한 변수로서 흉고직경과 수고를 사용할 수 있으며, 어렵게 뿌리구조를 굴취하여 실측하지 않아도 회귀식에 의하여 생체량을 간접적으로 개략 추정할 수 있을 것이다.

### 引用文獻

1. Canadell, J. and F. Roda. 1991. Root biomass of *Quercus ilex* in a montane Mediterranean forest. Canadian Journal of Forest Research 21 : 1771-1778.
2. Carlson, W. C. and C. A. Harrington. 1987. Cross-sectional area relationships in root systems of loblolly and short-leaf pine. Canadian Journal of Forest Research 17 : 556-558.
3. Coutts, M. P. 1987. Developmental processes in tree root systems. Canadian Journal of Forest Research 17 : 761-767.

4. Fayle, D. C. F. 1974. Extension and longitudinal growth during the development of Red pine root systems Canadian Journal of Forest Research 5 : 608-625.
5. Ford, E. D., Avery, A. and R. Ford. 1990. Simulation of branch growth in the Pinaceae : interactions of morphology, foliage productivity, and the requirement for structural, on the export of carbon. Journal of Theoretical Biology 146 : 15-36.
6. Gruber, F. 1992. Dynamik und Regeneration der Gehölze. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Göttingen, Series A, Vol. 86 I, pp. 420.
7. Gruber, F. 1994. Morphology of coniferous trees : possible effects of soil acidification on the morphology of Norway spruce and Silver fir. In Godbold, D and Hüttermann, A. (editors). Effects of Acid Rain on forest Processes, Wilwy-Liss, New York pp. 256-324.
8. Hari, P., Kaipainen, L., Heikenneimo, P., Mäkelä, A., Korpilakti, E and J. Samela. 1986. Trees as a water transport system, Silva Fennica 203 : 205-210.
9. Horntvedt, R. 1993. Crown density of spruce trees related to needle biomass. Forestry Ecology and Management 59 : 225-235.
10. Iwasa, Y. and J. Roughgarden. 1984. Shoot /root balance of plants : optimal growth of a system with many vegetative organs. Theoretical Population Biology 25 : 78-105.
11. Kapeluck, P. R. and D. H. Van Lear. 1995. A technique for estimating below-stump biomass of mature loblolly pine plantations. Canadian Journal of Forest Research 25 : 355-360.
12. Klepper, B. 1991. Root-Shoot Relationships. Plant Roots-The Hidden Half, Eds. Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkafi. New York. 265-286.
13. Knigge, W., Asmutat, H. und W. F. Weiss. 1984. Untersuchungen der Holzeigenschaften von Fichten aus immissionsexponierten Beständen im Hils. Berichte des Forschz. Waldökosysteme /Waldsterben der Universität Göttingen, Band 2 : 129-150.
14. Köstler, J. N., Brückner, E. and E. Bibelriether. 1968. Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, hamburg, Germany, pp. 284.
15. Kuiper, L. C. and M. P. Coutts, 1992. 1992. Spatial disposition and extension of the structural root system of Douglas-fir. Forestry Ecology Management 47 : 111-125.
16. Kurz W. A., Beukema, S. J. and M. J. Apps. 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian Forest sector. Canadian Journal of Forest Research 26 : 1973-1979.
17. Ledig, F. T., Borman, F. H. and K. F. Wenger. 1970. The distribution of dry matter growth between shoot and roots in Loblolly Pine. Botanical Gazette 131(4) : 349-359.
18. Margolis, H. A., Gagnon, R. R., Pothier, D. and M. Pineau. 1988. The adjustment of growth, sapwood area, heartwood area, and sapwood saturated permeability of balsam fir after different intensities of pruning. Canadian Journal of Forest Research 18 : 723-727.
19. Pellinen, P. 1986. Biomasseuntersuchungen Im Kalkbuchenwald. Dissertation Forstwissenschaftlicher Fachbereich, Universität Göttingen, pp. 145.
20. Reynoldas, K. M. and W. J. Bloomberg. 1982. Estimating probability of inter tree root contact in second growth Douglas fir. Canadian Journal of Forest Research 12 : 493-498.
21. Roloff, A. 1986. Morphologie der Kronenentwicklung von *Fagus sylvatica* L. (Rotbuche) unter besonderer Berücksichtigung möglicherweise neuartiger Veränderungen. Berichte des Forschz. Waldökosysteme/Waldsterben der Universität Göttingen, Band 18 : 1-177.
22. Röhrig, E. 1966. Die Wurzelentwicklung der Waldbäume in Abhängigkeit von den Ökologischen Verhältnissen. Forstarchiv 34 : 217-229, 237-249.
23. Ryan, M. G. 1989. Sapwood volume for three subalpine conifers : predictive equations and ecological implications. Canadian Journal of Forest Research 19 : 1397-1401.
24. Santantonio, D., Hermann, R. K. and W. S. Overton. 1977. Root biomass studies in forest ecosystems. Pedobiologia 15 : 1-31.
25. Santantonio, D. 1990. Modeling growth and

- production of tree roots. In Dixon, R. K., Meldah, R. S., Ruark G. A. and W. G. Warren. (editors). *Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress*, Timber Press, Portland. pp. 124-141.
26. SAS Institute Inc.. 1989. *SAS/STAT User's Guide*, version 6, 4th edition, volume 2. SAS Institute Inc., USA. pp. 846.
27. Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K. and T. Kira. 1964. A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory. I. Basic analysis. *Japanese Journal of Ecology* 143 : 97-105.
28. Stokes, A. and C. Mattheck. 1996. Variation of wood strength in tree roots. *Journal of Experimental Botany* 47 : 693-699.
29. Thies, W. G. and P. G. Cunningham. 1996. Estimating large-root biomass from stump and breast-height diameters for Douglas-fir in western Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* 26 : 237-243.
30. Valentine, H. T. 1990. A carbon-balance model of tree growth with a pipe-model framework. In Dixon, R. K., Meldah, R. S., Ruark G. A. and W. G. Warren. (editors). *Process Modeling of Forest Growth Responses to environmental Stress*, pp. 33-40.
31. Watson, A. and C. O'Loughlin. 1990. Structural root morphology and biomass of tree age-classes of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 20 : 97-110.
32. Wilson, B. F. 1964. Structure and growth of woody roots of *Acer rubrum* L. *Havard Forest Paper* 11 : 1-14.