

土壤 酸性化 程度에 따른 독일가문비나무(*Picea abies* [L.] Karst.) 뿌리構造의 特性에 關한 研究¹

李 道 炯²

Root Morphology of Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in the Differently Acidified Forest Soils¹

Do-Hyung Lee²

要 約

본 연구는 토양 특성이 다른 30-40년생 독일가문비나무(*Picea abies* [L.] KARST) 임분에서 토양 깊이
에 따른 뿌리구조 분석을 통하여 뿌리 발달의 차이점과 토양 상태의 상호관계 및 외부 형태적 특징
그리고 기계적·물리적 안정성에 대한 적응범위를 밝히고자 실시하였다.

조사된 3개 임분에 있어서 독일가문비나무의 뿌리구조는 다양한 형태로 관찰되었는데, Ebergötzen
임분은 뿌리수가 많고 가늘며 토양 깊이까지 발달한 뿌리구조를 보였으며, Barbis 임분은 Ebergötzen
임분에 비하여 그 수가 적으나 굵고 깊이까지 자라는 뿌리구조를 나타내었다. 그리고 Weidenbrunnen
임분은 반 수직 뿌리와 편평/접시형 뿌리구조를 나타내었다. 뿌리의 수는 Ebergötzen 임분이 74개
로 가장 많은 뿌리 수를 보여주었으며, Barbis 임분은 33개, Weidenbrunnen 임분은 57개이었다.
Ebergötzen 임분은 수직뿌리에서 평균 57개로 Barbis 임분이 21개이고, Weidenbrunnen 임분 36개에
비하여 월등히 많은 뿌리의 수를 나타내었다. 뿌리의 길이는 Weidenbrunnen 임분이 전체 뿌리길이가
다른 두 임분에 비하여 길게 나타났으며, 수평뿌리의 길이는 수직뿌리에 비하여 그 값이 107m로 매우
큰 값을 나타내었다. 수직뿌리에 대한 수평뿌리의 비는 Ebergötzen 임분이 다른 두 임분(0.5)에 비하여
그 값이 1.2로 높게 나타났다. 전체 뿌리무게는 다른 두 임분에 비하여 Weidenbrunnen 임분이 매우 높
은 값을 보여 주었으며, 수평뿌리에 대한 수직뿌리의 비는 0.16으로 다른 두 임분(0.40)에 비해 매우
낮은 값을 나타내었다.

본 연구의 독일가문비나무 임분에서 나타난 뿌리 발달의 현저한 차이점은 토양의 기계적·물리적 요인
보다는 토양 산성화와 같은 화학적인 요인으로 인하여 정상적인 뿌리의 발달이 장애를 받아 수직뿌리
생장이 저하되고 수분과 영양분의 스트레스로 인하여 상대적으로 수평뿌리가 발달된 결과로 사료된다.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the relationship of development of root and soil
condition and also to elucidate the difference between stands for mechanical and physical stability
according to distribution of roots in the Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands of 30 to
40 year of ages with different soil condition. In the root structure, remarkably different root
pattern was shown among the three stands; Ebergötzen stand showed large number of roots with
much fine roots which deeply in vertical direction while Barbis stands had thicker root and small
number of root than Ebergötzen stand. The Weidenbrunnen stand showed differently half-vertical
and plate root structure and the root developed not to be deeply compared to the other two
stands. In the total number of root, Ebergötzen stand had the most number of 74 and Barbis

¹ 接受 2000年 10月 16日 Received October 16, 2000.

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

stand 33, Weidenbrunnen stand 57 respectively. Ebergötzen stand had much more number of vertical root with 57 than the other two stand; Barbis 21 and Weidenbrunnen 36. In the total length of root, Weidenbrunnen stand showed to be longer than the other two stands and the length of horizontal root also showed longer. Regarding to the rates of horizontal root against vertical root, Ebergötzen stand showed comparatively higher value as 1,2 than other two stands(0,5). In the total weight of root, Weidenbrunnen stand showed very high value compared with the other stands and ratio of vertical root against horizontal root was 0,16 which is very lower than the other two stands(0,4).

The remarkable differences of root pattern of Norway spruce stands appeared in this study are through to be caused more by chemical property of soil such as acidity den the mechanical or physical factor of soil conditions.

Key words : root system, root structure, soil condition, physical and mechanical stability, horizontal and vertical root, Norway spruce

緒 論

산림생태계에서 토양의 산성화가 심화됨에 따라, 숲 피해에 관한 연구가 활발해지고 있다. 특히, 토양의 산성화는 수목의 뿌리구조에 많은 변화를 유도하였다(Ulrich, 1984). 환경오염의 급·만성적인 영향으로 인한 토양 성질의 변화는 장기간에 걸쳐 가는 뿌리의 고사량이 증가하여 편평한 뿌리구조를 유도하며, 뿌리 부분의 이러한 변화는 도관의 감소와 수관을 약화시킬 뿐만 아니라 수관에서의 변화 역시 뿌리에 영향을 끼친다(Gruber, 1992a,b; Puhe, 1994). 목질화된 뿌리구조의 이러한 변화는 환경의 변화에 따른 뿌리분석을 통하여 정확히 진단할 수 있도록 조사되어야 한다.

환경오염으로 인한 수목의 피해에 대한 연구는 지금까지 수많은 연구가 이루어져 왔으며, 숲 생태계에서 뿌리생장과 기후, 물, 영양분 등의 영향에 관한 연구(Murach, 1984), 시비실험 혹은 가스실험을 통한 뿌리생장의 변화에 대한 연구(Murach와 Schuenmann, 1985), 등 환경조건의 시험적 변화를 통한 수목의 반응 연구가 임학분야에서 활발히 행해지고 있다(Krause 등, 1985; Hüttl와 Zöttl, 1986). 또한 새로운 산림피해와 관련하여 숲 생태계에서 잎과 뿌리의 피해가 동시에 일어남이 확인되었으며(Ulrich 등, 1984; Puhe 등, 1986), 지상부의 피해현상에 대한 지하부 뿌리구조의 피해 상태에 관한 많은 연구가 행해지고 있다(Ulrich 등, 1984; Gehrman 등, 1984). 또한 토양 산성화로 인한 뿌리의 양이온 흡수 악화로 인

한 수목의 피해(Guderian 등, 1989), 중부 유럽 고원지역의 SO₂에 의한 수목 고사현상에 대한 연구(Kander, 1994; Ellenberg, 1996) 외에도 수많은 연구가 보고되고 있다.

독일가문비나무(*Picea abies* (L.) Karst.)의 뿌리에 관한 연구는 수관과 가지의 분지구조에 대한 연구에 비하여 비교적 미비하지만, 그에 관한 많은 형태학적인 연구가 이루어져 왔다. 생장이론에 따라 뿌리 형태를 평형, 수직형, 말뚝형, 심장형으로 구분할 수 있는데, 중심뿌리가 많고 중심생장이 강한 뿌리의 Gayer 모델(예; *Abies alba* MILL., *Pinus sylvestris* L.), 비교적 활력이 적은 중심 뿌리를 갖는 Hilf 모델(예; *Picea abies* (L.) KARST.)과 중심뿌리와 주변뿌리가 경사방향으로 성장하는 Köstler 모델(예; *Alnus glutinosa* (L.) GAERTN.)로 분류된다. 독일가문비나무의 뿌리에 대하여 Köstler 등(1968)은 수직뿌리의 개념으로 보았지만, Gruber(1992a)는 적응 형태에 따른 현상으로 보고 이것을 Hilf 모델로 분류하였다. 이상적인 토양 조건하에서 독일가문비나무는 수평뿌리와 수직뿌리 발달이 모두 왕성한 뿌리구조를 나타내지만 뿌리의 생육환경이 변화함에 따라 수직뿌리의 발달이 저조한 접시형 뿌리로 발달한다(Gruber, 1994).

본 연구에서는 토양의 산성화가 서로 다른 30-40 년생의 독일가문비나무 임분에서 뿌리구조 분석을 통하여 뿌리구조의 발달과 토양상태와의 상호관계 및 외부 형태적 특징에 대한 수목의 물리적, 기계적 안정성에 대한 활력 매체를 밝히고자 하였다. 또한 조사한 세 임분에서 토양 깊이별로

수평과 수직뿌리의 뿌리의 생체량 분포를 밝히며, 환경 변화에 따른 독일가문비나무 뿌리의 적응력의 편차를 기술함으로써 한 수종이 갖는 환경에 대한 다양한 적응성의 범위를 밝히고자 하였다.

材料 및 方法

1. 조사지의 개황

뿌리 조사를 위하여 토양의 물리적, 화학적 상태와 중요 임분자료를 비교 분석하여 비교적 생육이 양호한 독일 니더작센주의 Ebergötzen, Barbis 임분과 바이에른주의 Weiden brunnen 임분을 선

발하였으며, 각 임분과 토양의 주요 현황은 표 1과 같다. 선발한 세 임분 중 Ebergötzen과 Barbis 임분은 비슷한 해발고(270, 210m)에 속하며 활엽 혼효림대에 속하고, Weidenbrunnen 임분은 해발 780m의 가문비나무 천연림대에 속하며 해발고 높기 때문에 다른 임분에 비해 평균기온이 현저히 낮았다. 조사임분은 34년에서 40년생의 인공조림 지이며 잡목이 없는 일제림이다. 하층식생은 초본류와 이끼류로 구성되며, Weidenbrunnen 임분은 *Vaccinium myrtillus*도 가끔 나타났다. 조사지의 ha당 임목본수는 Barbis 임분이 1280 본으로 가장 높고, Weidenbrunnen 임분이 800 본으

Table 1. General description and soil properties of the three studied stands.

Stand and soil component	Ebergötzen	Barbis	Weidenbrunnen
Altitude	210	270	780
Mean annual precipitation[mm]	730	780	1070
Mean annual air temperature[°C]	7.8	8.0	5.5
Mean summer temperature(May-Sep.)[°C]	14.5	14.6	9.9
Tree age(1996)[yr]	35	40	41
Tree height[m]	21	22	18
DBH[cm]	23	25	22
Stand density[number of trees ha ⁻¹]	1040	1280	800
Thickness of humus layer[cm]	1	2	7
Soil density[Mg m ⁻³]			
20-40cm	1.7	1.6	1.0
Subsoil	1.7	1.5	1.5
Soil clay content(%)[per cent dry matter in fine soil]			
20-40cm	8-17	8-12	12
Subsoil	17-30	17-30	9
Coarse fragments in soil(%)[per cent of total soil volume]			
20-40cm	<0.1	25	20
Subsoil	<0.1	25-50	30
Base saturation(%)			
0-10cm	23	12	5
20-40cm	73	29	4
Subsoil	89	51	14
pH			
0-10cm	3.7	3.3	2.7
10-50cm	4.4	3.6	3.7
50-100cm	4.6	3.7	3.9
Average concentration of mineral elements in soil solution(40cm)			
Al[μM]	30	550	170
Ca[μM]	670	900	25
Mg[μM]	150	370	25
Ca/Al[mol mol ⁻¹]	22	1.6	0.1

로 가장 낮았다. Weidenbrunnen 임분에서는 침엽황화(약 50%), 침엽탈락(30%)과 같은 눈에 띄는 피해가 나타났다.

토양의 산성화 정도는 Ebergötzen, Barbis, Weidenbrunnen 임분 순으로 나타났다. Ebergötzen 임분의 토양은 낙엽부식층의 발달이 저조(1cm) 하였으며, 염기치환도가 23~89%로 높았다. Barbis 임분의 토양은 낙엽층이 평균 2cm 발달하였으며, 사질토양의 풍화에 의해 형성된 이성 갈색 토양으로 염기도가 12~51%로 Ebergötzen 임분에 비하여 낮았다. Weidenbrunnen 임분의 토양은 부식화되지 않은 낙엽층이 두껍게(7cm)나타났으며, 토양 아래층은 포도졸화에 따른 알리미늄 집적을 보였고, 토양 아래층까지 염기치환도가 4~14%로 현저히 낮았으며 Ca/Al 또한 Weidenbrunnen 임분이 0.1로 낮은 값을 나타내었다.

2. 조사목 선정 및 뿌리 특성조사

각 임분에서 임분 안쪽의 비교적 균일한 밀도로 입목한 우세목과 준우세목을 대상으로 5 본씩 선발하였으며, 조사목을 중심으로 10m × 10m의 조사구 내 주위목의 흉고직경 등을 조사하였다. 본 조사에 앞서 5본의 뿌리를 예비로 발굴하여 뿌리의 발달 상황을 조사하였으며, 조사 대상목을 중심으로 둘레 1.3m 범위에서 깊이 1m의 토양을 뿌리가 상하지 않게 파고, 트랙터를 이용하여 나무를 쓰러뜨린 후 바깥쪽의 잔여 뿌리는 수평과 수직 뿌리를 구별하여 별도로 수집하였다. 그리고 쓰러진 조사 대상목에서 뿌리가 상하지 않게 흙을 제거하고 전체 뿌리를 굴취하였다.

각 뿌리는 수평 50cm 단위별, 수직 20cm 단위

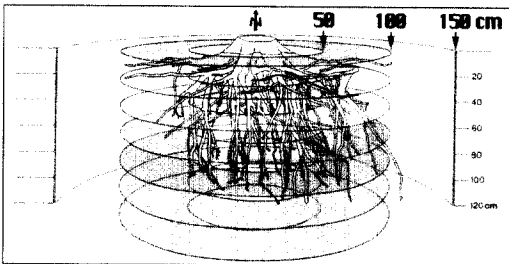


Fig. 1. Schematic presentation of horizontal and vertical root system in layer theory. The root system was divided into horizontal zones by 50cm and vertical zones by 20cm, respectively.

로 토양 깊이별로 구분하였으며(Fig. 1), 그 토양 깊이에서 직경 0.5cm 이상 되는 뿌리의 길이, 수, 굵기, 무게 등을 조사하였다. 또한 그 직경이 0.5 cm 이하 되는 것은 가는 뿌리의 양을 위해 별도로 수집하였다. 뿌리의 무게는 48시간동안 105°C에서 건조한 후 측정하였다.

結果 및 考察

1. 조사임분의 뿌리구조

조사된 세 임분은 서로 다른 형태의 뿌리구조를 나타내었다(Fig. 2). Ebergötzen 임분의 뿌리구조(A)는 수가 많고, 가늘며, 토양 깊이 발달한 뿌리구조를 보였고, Barbis 임분의 뿌리구조(B)는 Ebergötzen 임분의 뿌리구조에 비하여 현저히

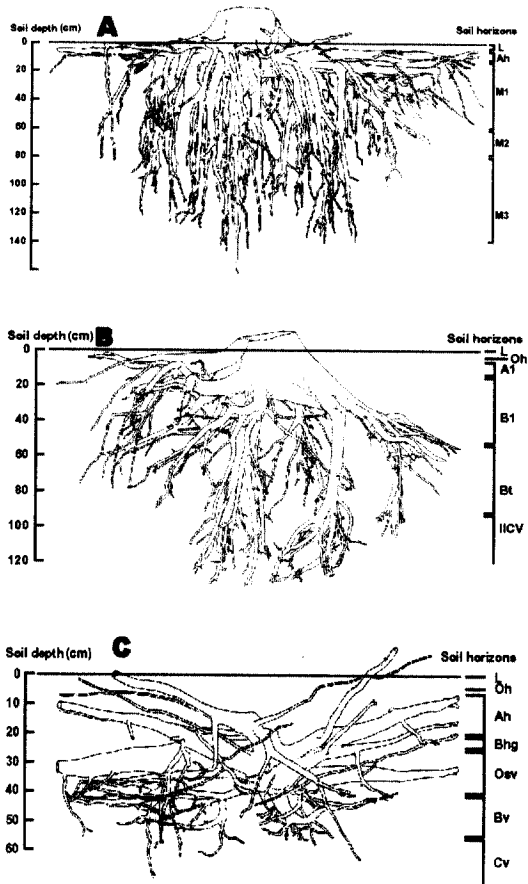


Fig. 2. Representative root system of the three studied stands (A; Ebergötzen B; Barbis C; Weidenbrunnen).

게 그 수가 적고, 굵기가 굵으며 또한 비교적 토양 깊이까지 자라는 뿌리구조를 나타내었다. Weidenbrunnen 임분의 뿌리구조(C)는 다른 두 임분에 비하여 토양밀도가 낮으며 토양 공극이 많음에도 불구하고 수직뿌리의 발달이 현저히 줄어들고, 매년 생장이 저조하였다. 이는 토양의 기계적·물리적 요인보다는 토양 산성화로 인하여 정상적인 뿌리의 발달이 장애를 받아 수직뿌리 생장이 저하되고, 수평뿌리가 발달된 것으로 사료된다.

독일가문비나무는 산소가 부족하고 습하며 지하수위가 높은 견고한 토양에서는 편평한 뿌리구조를 나타내고, 사질토양과 같은 비교적 좋은 토양조건에서는 깊이 자라며, 수직뿌리가 약간 경사지게 자라는 뿌리형태를 나타내었다고 보고하였다(Köstler 등, 1968; Schmidt-Vogt, 1977; Puhe, 1994). 이상적인 환경에서 독일가문비나무는 수평뿌리와 수직뿌리 발달이 모두 왕성한 뿌리 구조를 나타내며(HILF 모델), 뿌리의 생육환경이 변화함에 따라 그 적응 형태가 수직뿌리형태에서 접시형 뿌리로 발달한다고 보고하였다(Gruber, 1994).

본 연구에서는 토양의 물리, 화학적 상태에 따라 독일가문비나무의 뿌리구조는 다양한 형태로 나타났으며, 토양의 생육 환경이 나빠짐에 따라 그 뿌리구조가 수직뿌리에서 수평 뿌리로 발달함이 관찰되었다.

2. 뿌리의 수

조사임분간의 수평과 수직뿌리의 수를 Fig 3에 나타내었다. 전체뿌리 수는 Ebergötzen 임분에서 74개로 가장 많았으며, Barbis 임분에서 33개, Weidenbrunnen 임분에서는 57개였다. 수직뿌리 수는 Ebergötzen 임분에서 평균 57개로 다른 두 임분에 비하여 월등히 높은 뿌리의 수를 나타내었으며, Barbis 임분에서 21개로 가장 낮게 나타났다.

수평뿌리의 수는 Weidenbrunnen 임분이 21개로 가장 많은데 비하여 Barbis 임분이 가장 적은 12개의 뿌리수를 나타내었다. 수평뿌리수에 대한 수직뿌리수의 비는 Ebergötzen 임분이 3.4로 가장 높게 나타났으며, Barbis 와 Weidenbrunnen 임분이 각각 1.7과 1.8로 낮게 나타났다. 토양 깊이는 곳까지 비교적 낮은 pH 값을 나타낸 Barbis 임분은 Weidenbrunnen 임분에 비하여 비교적 높은 염기치환값을 보여 주었다. 이러한 이유로 인하여 Barbis 임분의 뿌리구조는 Ebergötzen 임분

에 비해 토양깊이까지 자라는 굵은 수직 뿌리를 적게 갖게된 것으로 사료된다. 독일가문비나무는 건조하고 척박한 토양에서보다 영양분과 수분이 많은 토양에서 더 많은 뿌리가 발달하는데(Köstler 등, 1968), 이것은 전체 뿌리의 2/3 가량이 토양 위층 10cm 내에 자람에 따라 건조기간이 지난 후 충분한 수분 및 영양분의 공급과 토양의 기계적 저항이 적어지기 때문이다.

Fig. 3. Number of horizontal and vertical roots of 40-year old Norway spruce at the three studied stands.

본 연구에서 Ebergötzen 임분이 전체 뿌리의 수가 가장 많았으며, Barbis 임분이 가장 적은 것으로 나타났는데, 이는 Ebergötzen 임분이 다른 임분에 비하여 높은 염기치환도와 산도뿐만 아니라 Ca/Al 비가 뿌리가 발달에 영향을 미쳤을 것으로 사료되며, 다른 두 임분에 비하여 수평뿌리수에 대한 수직뿌리수의 비의 값이 3.4로 수직뿌리의 발달이 매우 두드러짐을 알 수 있다.

3. 뿌리의 길이

전체 뿌리길이는 Weidenbrunnen 임분이 다른 두 임분에 비하여 길게 나타났으며, 수평뿌리 길이는 수직뿌리에 비하여 그 값이 107m로 가장 큰 값을 나타내었고, Barbis 임분이 69m로 가장 작은 값을 나타내었다(Fig. 4). 수직뿌리의 길이는 Ebergötzen 임분이 47m로 가장 길게 발달한데 비하여 Barbis 임분이 23m로 가장 낮은 수치를 나타내었다. 수평뿌리길이에 대한 수직뿌리길이

의 비는 Ebergötzen 임분이 1.17로 가장 높은 값을 나타내었으며, 다른 두 임분이 0.5로 비슷한 수치를 나타내었다. Weidenbrunnen 임분의 뿌리 구조는 수직보다는 수평으로 발달한 뿌리구조를 나타내었는데, 이는 토양 아래층에 알루미늄이 집적되고 염기치환도의 값이 낮은 것과 밀접한 관계가 있으며 수분과 영양분에 대한 스트레스로 인하여 수평뿌리가 많이 발달함으로써 뿌리부분에 많은 에너지를 투여하게 된 결과로 생각된다.

독일가문비나무 뿌리의 성장을 방해할 수 있는 중요한 요인으로는 고인 물, 토양의 견고성과 기계적 저항, 유기물이 풍부한 토양층을 선호하는 뿌리의 성질 등을 들 수 있다. 그리고 토양의 물리, 화학적 작용에 의해 뿌리가 편평뿌리 구조로 자라게 되며(Bernbeck, 1914; Matthes, 1911), 이로 인하여 바람과 한발에 의한 피해를 쉽게 받을 수 있다고(Schmidt-Vogt, 1977; Matzner 등, 1985) 보고되었다. 그러나 독일가문비나무 뿌리구조를 유전적으로 편평한 뿌리구조라고 단정지을 수 없으며, 환경의 영향에 따라 경사형 뿌리(Melzer, 1964) 혹은 말뚝형 뿌리 성장(Wagg, 1967)으로 표현되지만, 이상적인 토양조건에서는 Köstler 모델에 해당하는 수직뿌리가 많은 말뚝형 뿌리구조를 갖게 된다.

Scheffold(1971)는 독일가문비나무의 수직뿌리는 수평뿌리로부터 20년 후, 경우에 따라서는 50년 후에 경사뿌리가 발달하며 수평뿌리와 수직뿌리의 나이테 차이는 크게 19년까지 난다고 보고하였다. 이러한 수직 뿌리의 발달은 오랜 시간적인 차이를 두고 발달할 수 있으며, Gruber(1994, 1995)는 뿌리의 토양공간의 효율적인 이용과 피해 뿌리에 대한 재생이라는 측면에서 수직뿌리의 발달을 형상반복(Reiteration)이라 표현하였다. 독일가문비나무 뿌리발달의 장해요인으로서 산소부족과 토양의 기계적 저항이 결정적인 요인일 수 있으며(Hauck, 1971), 또한 토양 산성화도 한 요인이 될 수 있다(Köstler 등, 1968; Mohr, 1980). 독일가문비나무의 뿌리는 심하게 산성화된 토양층에서 산성 독성 물질의 작용으로 가는 뿌리가 고사될 뿐만 아니라 뿌리발달 초기에 끊임없이 피해를 받으며 토양 단면을 따라 편평뿌리 생성이 야기될 수 있다고 보고하였다(Ulrich 등, 1993; Hüttermann, 1983).

Ebergötzen 임분의 뿌리는 가는 수직뿌리가 많이 발달하는 구조를 나타내는데 이는 토양에 있는

수분과 영양분을 흡수하는데 유리하기 때문이며 이로 인하여 성장의 차이가 나타난 것으로 생각된다. 토양조건으로 인하여 Weidenbrunnen 임분은 수평 뿌리가 많이 발달하게 된 뿌리구조를 나타내었다.

Fig. 4. Length of horizontal and vertical roots of 40-year old Norway spruce at the three studied stands.

4. 뿌리의 무게

전체 뿌리무게는 Weidenbrunnen 임분이 다른 두 임분(16Kg과 17 Kg)에 비하여 37 Kg으로 매우 높은 값을 보여주었으나, 수평뿌리에 대한 수직뿌리의 무게비는 오히려 낮은 값을 나타내었다(Fig. 5). 이는 Weidenbrunnen 임분의 뿌리구조는 수평뿌리가 매우 발달하고 수직뿌리는 미비하게 발달하였음을 나타낸다. 수평뿌리는 Weidenbrunnen 임분이 32 Kg으로 다른 두 임분의 12 Kg에 비하여 매우 높게 나타났으며, 수직뿌리는 다른 두 임분이 5 Kg에 비해 6 Kg으로 약간 높은 값을 나타내었다. Weidenbrunnen 임분에서의 수직 뿌리율은 Ebergötzen 과 Barbis 임분이 28% 인데 비하여 15%로 낮게 나타났었다. Drexhage(1994)의 연구에서 Harz의 Lange Brenke 지역 독일가문비나무 수직뿌리의 건조중량은 북사면 12%, 남사면 13%, 평지 18%를 나타내었는데, Weidenbrunnen 임분은 이 범주에 속하였다. Ebergötzen 과 Barbis 임분에서는 수직뿌리의 비율이 거의 두 배로 높게 나타났었다. 그루터기를 제외한 굵은 뿌리 건조중량은 임분당 Weidenbrunnen 임분이 29.9 ton/ha, Barbis 임분이 21.4 ton/ha, 그리고 Ebergötzen 임분이 16.9 ton/ha로 나타났었다. 본 조사에서는 굵은 뿌리의 건조 중량을 14-15 ton/ha로 보고한

Drexhage(1994)의 결과와 비교하여 그 값이 매우 높은 값으로 나타났다. Kodrik(1992)과 Holstener-Jørgensen(1959)은 90년과 40년생 독일가문비나무 뿌리양은 각각 50 ton/ha와 32 ton/ha이라고 보고하였다. 또한 Weidenbrunnen 임분 뿌리의 무게가 많은 것은 수분과 양분의 흡수를 위하여 작은 뿌리보다는 지주 역할을 하는 수평 굵은 뿌리가 많이 발달한 것으로 생각된다.

수직뿌리에 대한 수평뿌리의 비는 Ebergötzen 임분이 다른 두 임분에 비하여 높게 나타났다. 전체 뿌리무게는 다른 두 임분에 비하여 Weidenbrunnen 임분이 매우 높은 값을 보여 주었으며, 수평뿌리에 대한 수직뿌리의 비는 다른 두 임분에 비해 매우 낮은 값을 나타내었다.

이상을 종합하면 독일가문비나무는 이상적인 토양 생육 조건에서는 수직뿌리가 많이 발달하는 뿌리구조를 나타낸다. 환경오염으로 인한 토양 생육환경의 악화는 나무의 수직뿌리 발달을 저하시키고 수평뿌리 발달을 촉진시키기 때문에 건조와 바람에 대한 저항력이 떨어져 생육기간 동안 나무의 생장에 큰 영향을 줄 수 있다.

Fig. 5. Weight of horizontal and vertical roots of 40-year old Norway spruce at the three studied stands.

結 論

토양 산성화 정도에 따른 독일가문비나무의 뿌리구조는 조사임분간에 큰 차이를 나타내었으며, Ebergötzen 임분의 뿌리구조는 그 수가 많고 또한 가늘며 토양 깊이 발달한 뿌리구조를 보였고, Barbis 임분의 뿌리구조는 수가 작으며 굵고 깊이 까지 자라는 뿌리구조를 나타내었다. Weidenbrunnen 임분의 뿌리구조는 토양 산성화로 인하여 정상적인 뿌리의 발달에 장애를 받아 수직뿌리의 발달이 현저히 줄어들고 수평뿌리가 상대적으로 발달된 편평 혹은 경사뿌리를 나타내었다. 이는 토양 아래층에 알루미늄이 집적되고 염기치환도의 값이 낮은 것과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 뿌리의 수는 수평과 수직 뿌리에서 Ebergötzen 임분이 가장 많은 뿌리 수를 보여주었으며 Weidenbrunnen 임분 그리고 Barbis 임분 순 이었다. 뿌리의 길이는 Weidenbrunnen 임분이 전체 뿌리길이가 다른 두 임분에 비하여 길게 나타났으며, 수평뿌리의 길이는 수직뿌리에 비하여 매우 큰 값을 나타내었

引 用 文 獻

1. Bernbeck, O. 1914. Beiträge zur Physiologie des Bodens. Forstwissenschaftliches Zentralblatt. 26pp.
2. Drexhage, M. 1994. Die Wurzelentwicklung 40-jähriger Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) in der Langen Bramke (Harz) Ber. FZW. Göttingen, Reihe A Bd. 111 : 1-165.
3. Ellenberg, H. 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Ulmer Verlag Stuttgart, 1095S.
4. Gehrman, J., M. Gerriets und B. Ulrich 1984. Untersuchungen an Boden, Wurzeln, Nadeln und erste Ergebnisse von depositionsmessungen im Hils. Göttingen. Ber. Forschztr. Waldökosysteme/Waldsterben 2 : 169-206.
5. Gruber, F. 1992a. Dynamik und Regeneration der Gehölze. Ber. Forschz. Waldökos., Reihe A, Bd. 86/Teil I, 1-420.
6. Gruber, F. 1992b. Dynamik und Regeneration der Gehölze. Ber. Forschz. Waldökos., Reihe A, Bd. 86/Teil II, 1-176.
7. Gruber, F. 1994. Morphology of coniferous Trees : possible effects of soil acidification on the morphology of Norway spruce and Silver fir. In effects of Acid Rain an Forest Processes 265-324.
8. Gruber, F. 1995. Morphologie der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) II. Wurzelverzweigung, Architekturmodell und Kronenanalysen. Flora, 190 : 135-153.

9. Guderian, K., Klumpp, A., and Klumpp, G. 1989. Reaktionen von Baumarten auf Luftschadstoffe unter kontrollierten Bedingungen. Int. Kongr. Waldschadens forschung Vorträge. Kernforschungszentrum Karlsruhe. Bd. I : 445-478.
10. Hauck, U. 1971. Untersuchungen auf Tonböden im Staatswald Pforzheim, Wurzeluntersuchungen an Waldbäumen in Baden-Württemberg, Schriftenreihe der LFV B.-W. Band 33.
11. Holstener-Jørgensen, H. 1959. Investigation of root systems of oak, beech and Norway spruce on groundwater-effected moraine soils with a contribution to elucidation of evapotranspiration of stands. in Det forstl. Forsgsvaesen 25 : 227-289.
12. Hüllt, R.F. und H.W. Zöllt. 1986. Diagnostische Düngungsversuche in geschädigten Nadelbaumbeständen Südwestdeutschlands. IMA-Querschnittsseminar "Restabilisierungsmassnahmen (Düngung)" in Karlsruhe, 16-17.
13. Hüttermann, A. 1983. Auswirkungen säurer Deposition auf die Physiologie des Wurzelraumes von Waldökosystemen AFZ, 663-664.
14. Kandler, O. 1994. Vierzehn Jahre Waldschadensdiskussion. Naturwiss. Rundschau 47 : 419-430.
15. Kodrik, M. 1992. Root biomass distribution of Norway spruce of older forest ecosystem. In Root Ecology and its Practical Application, 3. ISRR Symp., 1991, Wien. 703-706.
16. Köstler, J.N., Brückner E. und H. Bibelriether. 1968. Die Wurzel der Waldbäume, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin. 1-55.
17. Krause, W.H.M. und E. Matzner. 1985. Forest Decline in Europe : possible cause and etiology. Paper presented at the Internat. Symp. on Acid Precipitation, Muskoka Conference '85, Canada.
18. Matthes. 1911. Mitteilung über Bau und Leben der Fichtenwurzeln und Untersuchung über die Beeinflussung des Wurzelwachstums durch wirtschaftliche Einwirkung. Allg. Forst. und. Jagdztg. 1-6.
19. Matzner, E., B. Ulrich, D. Murach und K. Rost-Siebert, 1985. Zur Beteiligung des Bodens am Waldsterben, Forst und Holz 40 : 303-309.
20. Melzer, E.W. 1964. Vergleiche der Wurzelbildung zwischen meliorierten und nicht meliorierten Standorten der Oberförsterei Adorf/Vogtland. Archiv für Forstwesen, Band 13, Heft 6 : 615-635.
21. Mohr, H.D. 1980. Einfluß der Bodeneigenschaften auf das Wurzelwachstum, Kalibriefe 15(5) : 305-316.
22. Murach, D. 1984. Die Reaktion der Feinwurzeln von Fichten(*Picea abies* Karst.) auf zunehmende Bodenversauerung. Dissertation Goettingen.
23. Murach, D. und E. Schuenemann 1985. Reaktion der Fichten (*Picea abies* Karst.) auf Kalkungsmassnahmen. Allg. Forstzeitschr. 41 : 1152-1154.
24. Puhe, J. und A. Aronsson 1986. Wurzelwachstum und Wurzelschäden in skandinavischen Nadelwäldern. Allg. Forst. Zeitschr. 20 : 488-492.
25. Puhe, J. 1994. Die Wurzelentwicklung der Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) bei unterschiedlichen chemischen Bodenbedingungen. Ber. FZW. Göttingen, Reihe A, Bd 108 : 1-128.
26. Scheffold, K. 1971. Wurzelprofile im Altmoränengebiet des südwestdeutschen Alpenvorlandes, Wurzeluntersuchungen an Waldbäumen in Bad.-Württ., Schriftenreihe der LFV B.-W., Bad 33 : 47-86.
27. Schmidt-Vogt, H. 1977. Die Fichte. Bd. 1 : Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaften; Parey Verlag Berlin, Hamburg, 647pp.
28. Ulrich, B., D. Murach and D. Pirouzpanah. 1984. Beziehungen zwischen Bodenversauerung und Wurzelentwicklung von Fichten mit unterschiedlich starken Schadsymptomen. Forstarchiv 55 : 127-134.
29. Ulrich B. und J. Puhe. 1993. Auswirkungen zwischen der zukünftigen Klimaveränderung auf mitteleuropäische Waldökosysteme und deren Rückkopplungen auf den Treibhauseffekt. FZW. Universität Göttingen. 202pp.
30. Wagg, J.W.B. 1967. Origin and development of white spruce root-forms. Can. Dep. Fich. For. Publ. No.1192 : 1-4.