

# 토양의 입도조성이 토양의 물리성 및 목본식물의 생장에 미치는 영향

이소정\* · 김민수\*\*

\* 대구효성가톨릭대학교 대학원 환경과학과

\*\* 대구효성가톨릭대학교 조경학과

## The Effects of Soil Particle Composition on Soil Physical Properties and the Growth of Woody Plants

Lee, So-Jung\* · Kim, Min-Soo\*\*

\*Dept. of Environmental Science, Graduate School of Catholic University of Taegu-Hyosung

\*\*Dept. of Landscape Architecture, Catholic University of Taegu-Hyosung

### ABSTRACT

This study has conducted to analyze the relationship among soil properties and to investigate how they affect soil physical characteristics and plant growth.

The experiment of woody plant growth was conducted as follows :

Type I was the original soil. Type II, the soil particles smaller than  $20\mu\text{m}$  was removed from the original soil. Type III, the soil particles is smaller than  $75\mu\text{m}$  was removed from original soil.

*Wisteria floribunda* A.P.DC and *Celtis sinensis* Pers. were used for plant growth measurement.

1. Soil type II, the closest to Fuller's curved line, showed high dry bulk density and low in soil pores and saturated hydraulic conductivities. This created poor soil aeration and limited space for the root to grow. When the root did not have sufficient space to grow, there was a lot of physical stress, which hindered the root growth.

2. Soil type III was high saturated hydraulic conductivity and a lot of soil pores larger than  $10\mu\text{m}$ . As a result, there were more available spaces for root to spread. It was considered that there was less physical stress for root growth. Therefore, soil type III showed significantly greater root growth.

3. Because soil typeⅢ has less small particles and saturated hydraulic conductivity was high, and water infiltrates rapidly into the underground when there was rainfall or irrigation. The soil typeⅢ becomes much stronger soil mechanically due to the less small particles. Therefore, soil typeⅢ was a suitable material for applying on planting sites where soil compaction is expected.

## I. 서론

조경수목은 사람들의 이용밀도가 높은 장소에 식재되어 있는 경우가 많아 답압에 의해 뿌리생육이 불량하게 된다. 토양은 자연 상태에서도 시간이 경과함에 따라 그 밀도가 증가하게 되는데 이는 강우시 빗물이 토양속으로 침투하여 갈 때 미세한 입자들이 물과 함께 이동하여 토양의 공극을 메워가기 때문이다. 또한 토양은 토양수분의 증감에 따라 습윤팽창과 건조수축을 반복하게 되는데, 한번 건조수축된 토양은 수분이 증가하여도 수축된 양보다 적게 팽창하게 되는 경우가 많으므로 토양의 밀도가 점점 증가하는 추세를 보이게 된다. 토양내부의 공극량이 줄어들게 되면 강우시 빗물이 토양속으로 스며들기 어려울 뿐만 아니라 대부분의 빗물이 표면에서 유출되게 되고, 토양이 보유할 수 있는 물의 양도 줄어들어 건조한 날이 계속되면 수목은 수분부족으로 인한 건조피해를 받기 쉽게 된다. 또한 토양 공극의 부족은 수목의 뿌리가 뻗을 공간이 줄어들음을 의미함과 동시에 토양 공기의 유통도 원활하지 못하게 되므로 수목의 뿌리에서 호흡의 결과 생성된 탄산가스의 배출과 토양속으로의 산소공급이 신속히 이루어지지 않아 뿌리의 생육이 억제되게 된다.

한편, 보도나 광장 주변에 식재된 조경수목은 포장면 아래쪽의 토양으로 뿌리를 뻗으므로 이러한 곳의 토양은 토질역학적으로 포장면을 지지하면서도 수목의 뿌리생장에 지장을 초래하지 않는 특성을 갖출 필요가 있다.

본 연구에서는 토양에서 미립자를 상당부분 제거하는 것이 토양의 지지력을 향상시키며, 답압에 의한 고결화를 방지할 수 있고 토양공

극의 감소를 예방할 수 있다는 것에 착안하여, 이러한 토양의 입도조정이 수목의 생육에 미치는 영향에 대하여 검토하여 보고자 하였다.

따라서 본 연구는 토양의 입도조성에 따른 토양물리성의 변화를 측정, 분석하고 이러한 토양의 물리성이 식물의 생육에 미친 영향을 분석하여 바람직한 조경수목용 토양의 입도조정에 대한 방향을 제시하는 것을 그 목적으로 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시토양

본 연구의 실험에 사용된 토양재료는 대구효성가톨릭대학교 기숙사 부지내의 표토로 하였다. 원토를 공시토양 I (Type I), 수침법에 의하여 20 $\mu$ m 이하의 미립자를 대부분 제거한 토양을 공시토양 II (Type II), 그리고 체가름이 가능한 75 $\mu$ m 이하의 미립자를 대부분 제거한 토양을 공시토양 III (Type III) 으로 하였다. 미립자의 제거에 사용된 수침법은 Stokes의 법칙에 의하여 입자의 크기별로 침강하는 속도를 계산하여 입자를 분리제거하였다.

한편, 공시토양의 물리성을 조사하기 위하여 입도(KS F2302), 수분보유특성(토질공학회, 1983·Scheffer et al, 1979), 투수계수(KS F2322), 증발특성 등을 측정하였다.

### 2. 공시식물

#### (1) 공시식물재료

등나무(*Wisteria floribunda* A.P.DC)와 팽나무(*Celtis sinensis* Pers.)를 공시식물재료로 선정하였다. 실험에 사용된 등나무의 종자는 1995년 11월 8일에 채취하여 젖은 모래와 혼합하여 저온저장한 뒤, 이듬해 실온에서 발아시켜 1996년 4월 26일에 내경 200mm, 깊이 250mm의 원통형 P.V.C pot에 하나씩 파종하였다. 팽나무의 종자는 1995년 12월 23일에 채취하여 등나무와 동일한 방법으로 저온저장하여 이듬해 지베레린 500ppm에 일주일간 처리한 후 파종하여 발아시킨 뒤, 1996년 6월 4일에 이식하였다.

**(2) 종자무게와 식물건물중량의 상관분석**

파종시 종자의 무게가 실험의 결과에 미친 영향을 검토하기 위하여 등나무의 경우 파종시의 종자무게와 실험종료 후의 식물체 총건물중량과의 상관성 분석을 실시한 결과, 등나무의 종자무게와 총건물중량과의 사이에는 상관성 ( $r=0.2359$ )이 낮은 것으로 나타나, 본 실험에서는 종자무게가 공시식물의 성장량에 영향을 그다지 미치지 않은 것으로 사료되어 통계분석시 종자의 무게가 실험결과에 미친 영향은 고려하지 않았다.

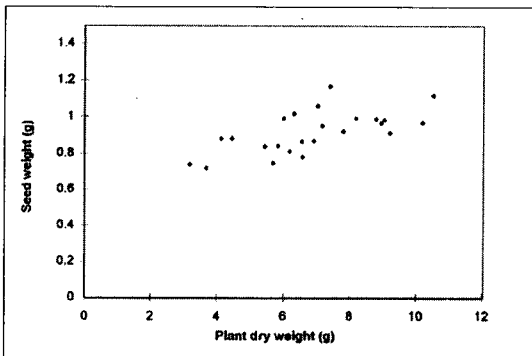


Fig. 1 Correlations between seed weight and plant dry weight in the *Wisteria floribunda* A.P.DC

**(3) 식물성장 실험방법**

본 실험은 1996년 4월부터 9월까지 대구효성가톨릭대학교 온실내에서 pot실험으로 실시

하였다. 시험구의 배치는 일정간격의 랜덤배치를 하였으며 8반복으로 실시하였다. 식물생육실험 종료시 식물체의 지상부와 지하부의 건물중량을 측정하였으며, 측정된 data는 SAS package를 이용하여 통계 처리를 실시하였다.

**(4) 토양수분의 측정 및 관수**

관수는 수분센서로 사용된 Porous ceramic cup을 pot 중앙부에 설치하고 수은기둥의 높이 차에 의하여 토양수분의 포텐셜을 측정 하였으며 pF2.5 수준을 관수시기로 결정하여 저면관수를 실시하였다.

**III. 결과 및 고찰**

**1. 공시토양의 물리적 성질**

**(1) 입도**

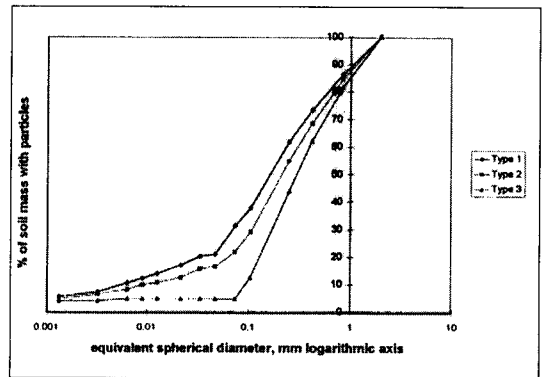


Fig. 2 Cumulative curves displaying particle - size distribution

공시토양의 입경가적곡선을 (Fig. 2)에 나타내었다. 공시토양Ⅱ와 Ⅲ은 원토에서 20 $\mu$ m 이하와 75 $\mu$ m 이하의 미립자를 제거한 것이지만, 그림에서와 같이 미립자가 존재 하는 것은 공시토양의 시료조제시 분산제를 쓰지 않았기 때문이다.

(2) 수분보유특성

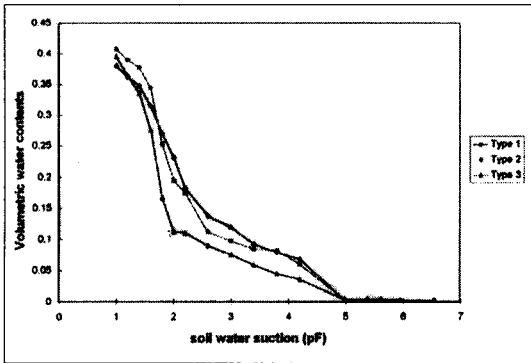


Fig. 3 Water release characteristics

공시토양의 수분보유특성은 <Fig. 3>에 나타내었다. pF1.0에서 pF2.0 사이와 pF4.2 이상에서 수분함량이 급격히 떨어지는 것으로 보아 사질토의 수분보유특성을 나타내주고 있다.

(3) 건조밀도 및 포화투수계수

Table 1. Dry bulk densities and Saturated hydraulic conductivities

Type in Soil properties	Dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Saturated hydraulic conductivity(15℃)
Type I	1.269	0.0012
Type II	1.326	0.0002
Type III	1.271	0.0076

<Table 1>에서는 공시토양의 종류별 건조 밀도와 포화투수계수를 나타내었다. 공시토양의 포화투수계수는 밀도가 가장 높은 공시토양 II에서 가장 낮게 나타나고, 비교적 크기가 큰 공극이 많이 함유되어 있는 공시토양 III에서 가장 크게 나타났다.

2. 공시토양의 종류에 따른 공시식물의 성장특성

(1) 성장량 측정치간의 상관분석

공시토양의 종류에 따른 성장인자간에 상관 분석을 실시하였다.

Table 2. Correlation Analysis for the growth factors in *Wisteria floribunda* A.P.DC

Growth factor	H	R	TW	Above	Under
H <sup>z)</sup>	1.0000				
R	0.3293	1.0000			
TW	0.6022	0.6185	1.0000		
Above	0.6698	0.6424	0.9658	1.0000	
Under	0.4704	0.5364	0.9527	0.8412	1.0000

z) H:Height R:Diameter at root collar  
 TW:Total weight Above:Above-ground part  
 Under:Underground part

그 결과, 등나무의 경우 수고와 근원직경 사이에는 상관성이 낮았을뿐 그외의 성장인자간에는 각각 正의 상관관계를 나타내었다 (Table 2).

Table 3. Correlation Analysis for the growth factors in *Celtis sinensis* Pers.

Growth factor	H	R	TW	Above	Under
H <sup>z)</sup>	1.0000				
R	0.5711	1.0000			
TW	0.7875	0.8200	1.0000		
Above	0.7608	0.7721	0.9379	1.0000	
Under	0.7479	0.7930	0.9697	0.8249	1.0000

z) See Table 2.

팽나무의 경우 성장인자간에 각각 높은 正의 상관관계를 나타내었다(Table 3).

이상으로 공시수목의 성장인자간에 상관 분석을 실시한 결과, 지상부와 지하부의 건물중량 사이에 등나무의 경우 r=0.8412, 팽나무의 경우 r=0.8249로 높은 상관성이 인정되었다. 이것은 식물호르몬 중의 하나인 cytokinin이 뿌리의 신장부위에서 생성되어 목부조직을 통하여 지상부로 이동하여 지상부의 성장을 촉진시키고, 신초부위에서는 auxin이 생성되어 지하부의 뿌리를 신장시키는 역할을 하는 호르몬의 상호작용에 의해 뿌리의 생장이 억제되면

신초의 생장이 억제되고 신초부위의 생장이 억제되면 새 뿌리가 나는 것이 억제되었기 때문이라고 사료된다(이경준, 1993).

(2) 공시토양의 종류에 따른 공시수목의 수고성장 특성

공시토양의 입도조성에 따른 식물성장량을 비교분석하기 위한 실험진행과정 중에 공시수목의 수고를 측정하여 공시토양의 종류에 따라 그림으로 나타내었다.

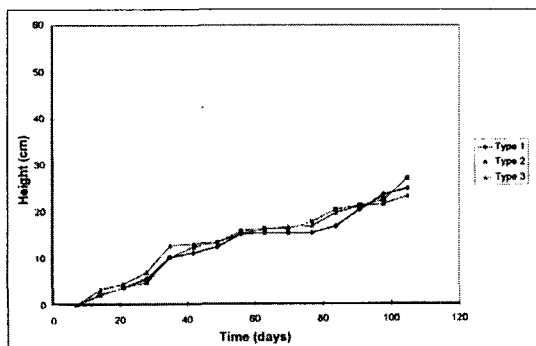


Fig. 4 Changes in height of *Wisteria floribunda* A.P.DC in 3 soil types

등나무의 경우, 공시토양별 수고차가 뚜렷하게 나타나지 않았는데, 이러한 결과는 등나무가 콩과식물일 뿐만 아니라 뿌리의 주근이 발달하여 토양의 밀도변화 등 토양의 물리성 변화에 민감하게 작용하지 않은 것으로 사료되어 진다(Fig. 4).

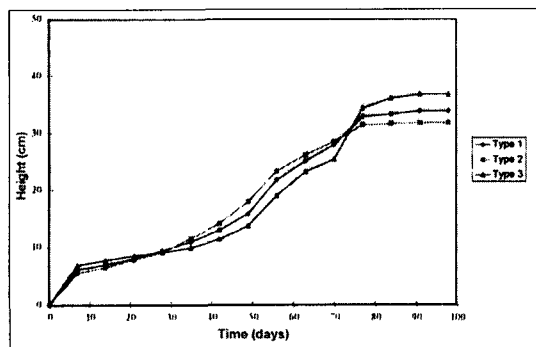


Fig. 5 Changes in height of *Celtis sinensis* Pers. in 3 soil types

팽나무의 경우는 실험후 60일까지는 3종류의 공시토양에서 별다른 차이를 보이지 않다가 70일이 지나면서부터 수고성장량이 가장 작았던 공시토양Ⅲ에서 뚜렷한 수고의 증가가 보이기 시작하고, 공시토양Ⅱ에서는 오히려 수고생장이 둔화하는 경향을 보이고 있다(Fig. 5). 이러한 현상은 공시토양Ⅱ가 공극량이 적기 때문에 뿌리가 생장하는데 필요한 공간의 확보가 어렵고 뿌리가 생장할수록 물리적인 압박을 받게되어 점점 생장이 둔화된 것으로 판단되어진다. 공시토양Ⅲ은 공시토양Ⅰ과 공극량은 비슷하지만 비교적 큰 공극이 많이 존재하여 뿌리가 생장할 수 있는 공간이 많고 뿌리의 생장에 따른 토양의 물리적인 압박이 다른 공시토양에 비해 적으므로 시간의 경과에 따른 수고성장량이 커진 것으로 판단된다.

(3) 공시토양의 종류에 따른 식물성장량의 비교분석

Table 4. Duncan's Multiple Range Test for variable of growth factors in the *Wisteria floribunda* A.P.DC

Type in Soil properties	Weight (g)			Height (cm)	Diameter at root collar (mm)
	Above-ground part	Underground part	Total weight		
Type I	3.571 <sup>a</sup>	3.288 <sup>ab</sup>	6.289 <sup>a</sup>	24.600 <sup>a</sup>	5.719 <sup>a</sup>
Type II	3.545 <sup>a</sup>	2.744 <sup>b</sup>	6.867 <sup>a</sup>	26.812 <sup>a</sup>	5.469 <sup>a</sup>
Type III	3.887 <sup>a</sup>	3.723 <sup>a</sup>	7.610 <sup>a</sup>	22.875 <sup>a</sup>	5.087 <sup>a</sup>
Pr > F	0.8041	0.1128	0.4247	0.7674	0.2225

\*Mean separation in columns by Duncan's multiple range test 5% level

Table 5. Duncan's Multiple Range Test for variable of growth factors in the *Celtis sinensis* Pers.

Type in Soil properties	Weight (g)			Height (cm)	Diameter at root collar (mm)
	Above-ground part	Underground part	Total weight		
Type I	2.732 <sup>b</sup>	4.164 <sup>a</sup>	6.896 <sup>b</sup>	34.000 <sup>ab</sup>	6.181 <sup>b</sup>
Type II	2.483 <sup>b</sup>	2.434 <sup>b</sup>	4.917 <sup>b</sup>	30.375 <sup>b</sup>	4.981 <sup>c</sup>
Type III	3.970 <sup>a</sup>	5.024 <sup>a</sup>	8.994 <sup>a</sup>	36.983 <sup>a</sup>	7.312 <sup>a</sup>
Pr > F	0.0034 <sup>**</sup>	0.0001 <sup>**</sup>	0.0005 <sup>**</sup>	0.0407 <sup>**</sup>	0.0001 <sup>**</sup>

\*Mean separation in columns by Duncan's multiple range test 5% level

\*\*Mean separation in columns by Duncan's multiple range test 1% level

토양의 입도조성에 따른 공시수목의 성장량을 비교분석하기 위하여 Duncan test에 의한 다중검정을 실시한 결과, 등나무의 경우 공시토양Ⅲ에서 식물체건물중량의 평균치가 다소 높게 나타났으나 전체적으로 볼 때 공시토양의 종류에 따른 유의차는 인정되지 않았다(Table 4). 이러한 결과는 등나무의 경우 콩과식물이기 때문에 열악한 환경에 대한 적응성이 뛰어나 본 실험에서의 토양조건변화가 생장에 커다란 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

팽나무의 경우는 공시토양Ⅲ에서 식물체 건물중량의 평균치가 높게 나타났으며, 전체적으로 볼 때 0.01 수준에서 고도의 유의성이 인정되었다(Table 5). 이러한 결과는 팽나무의 경우 뿌리가 가늘어 수분환경 및 토양환경에 대단히 민감한 반응을 나타내는 식물로서 토양의 입도조성에 따른 공극량, 투수성 등이 팽나무의 생장에 많은 영향을 미친 것으로 사료된다.

이상에서 전체적인 내용을 종합해 볼 때, 공시토양Ⅲ에서의 식물성장량의 평균치가 높은 것으로 보아 공시토양Ⅲ의 토양환경이 식물생육에 유리했던 것으로 판단된다.

### 3. 공시토양의 물리적 성질이 수목 생장에 미치는 영향

#### (1) 토양의 입도조성이 토양의 밀도에 미친 영향

(Fig. 6)는 Fuller의 공식에 의해 최대건조 밀도곡선을 구하여 공시토양의 입경가적 곡선과 비교해서 나타낸 것이다.

최대건조밀도곡선에 가까울수록 토양의 밀도가 높게 나타나는 것으로, 그림에서 볼 때 공시토양Ⅱ의 경우가 공시토양Ⅰ과 Ⅲ에 비해 최대건조밀도곡선에 가장 근접해 있고 건조밀도 또한 가장 높게 나타났다. 공시토양Ⅱ에서는 식물의 생육이 가장 나쁜 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 건조밀도가 높게 나타나면 포화투수계수가 낮게 나타나고 통기성이 떨어지며 식물의 뿌리가 뻗을 공간이 줄어들게 되고 뿌리가 뻗을때 많은 물리적인 압박을 받게

되어 식물의 생육이 나빠지는 것으로 사료되어진다.

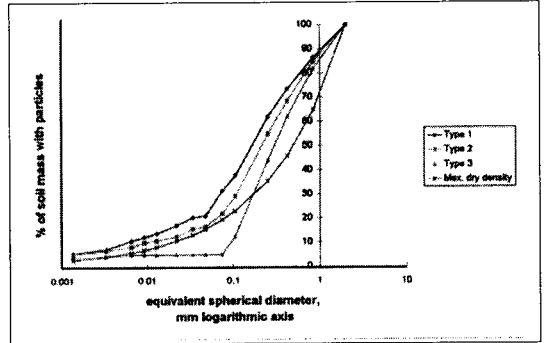


Fig. 6 Cumulative curves displaying particle-size distribution and Fuller's curve

따라서 건전한 수목생육을 위한 토양의 입도조정에 있어서는 최대건조밀도가 높게 나타나지 않도록 입도조정을 할 필요가 있다.

#### (2) 공극량과 포화투수계수에 따른 수목 성장량의 차이

Table 6. Soil porosity and Saturated hydraulic conductivities

Type in Soil properties	Soil pores	Saturated hydraulic conductivity (15°C)
Type I	0.521	0.0012
Type II	0.499	0.0002
Type III	0.520	0.0076

공시토양의 공극량과 포화투수계수에 따른 공시수목의 성장량을 살펴보면, 식물의 생장이 가장 좋았던 공시토양Ⅲ으로 공극량은 공시토양Ⅰ과 거의 비슷하지만 포화투수 계수가 높은 것으로 나타났다(Table 6). 따라서 건전한 수목생육을 위해서는 공극량의 확보와 함께 투수계수가 높은 쪽으로 토양 입도를 조정하여 주는것이 바람직하다고 사료된다.

#### (3) 유효수분에 따른 수목성장량의 차이

공시토양에 있어서 pF1.8에서 pF3.0까지를 생육유효수분량, pF1.8에서 pF4.2까지를 생존

유효수분량으로 볼 때, 각각의 유효수분량을 <Table 7>에 나타내었다. 수목생육이 좋았던 공시토양Ⅲ의 유효수분량이 가장 적은 것으로 보아 본 실험에서는 유효수분량의 차이가 식물 생육에 별다른 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 이것은 공극량이 많아지면 토양의 통기성을 증대시켜 식물의 생육에 유리하게 작용하지만, 크기가 큰 공극의 양이 많아지면 유효수분량이 적어진다는 것을 나타내주고 있다.

Table 7. Comparison of available water content to plant

Type in Soil properties	pF1.8-pF3.0	pF1.8-pF4.2
Type I	0.1515	0.2026
Type II	0.1561	0.1934
Type III	0.0907	0.1310

#### (4) 토양공극의 분포가 공시수목의 생장에 미친 영향

수분보유특성으로부터 공극의 크기분포를 살펴보면(Fig. 7), 영역A는 공극의 크기가 50  $\mu\text{m}$  이상인 곳에 존재하고 있는 토양수분으로 중력에 의해 쉽게 배수되는 성질을 가지고 있다. 영역B는 공극의 크기가 50 $\mu\text{m}$ 에서 10 $\mu\text{m}$  사이에 존재하고 있는 토양수분으로 식물이 쉽게 이용할 수 있는 수분영역으로, 뿌리털의 크기가 10  $\mu\text{m}$ (Scheffer, 1979) 정도이므로 식물의 뿌리털이 직접 수분을 흡수할 수 있는 영역이다.

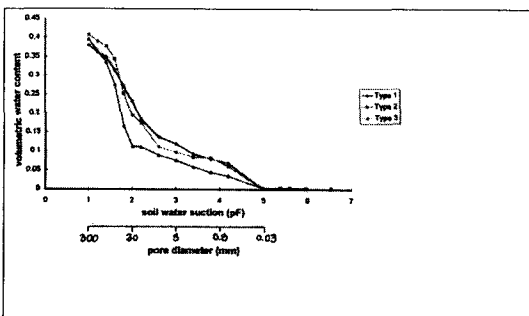


Fig. 7 The relationship between water release characteristics and pore size distribution

영역C는 식물이 이용할 수는 있으나 수분이 식물의 뿌리털이 있는 곳까지 이동하는 데 시간이 걸리므로 식물이 수분스트레스를 받기 쉬워진다. 영역D는 식물이 이용할 수 없는 토양수분이다.

따라서 공시토양 I 과Ⅲ은 공극량은 비슷하지만 공시토양 I의 경우 뿌리가 뺨을 수 없는 작은 공극이 많이 분포되어 있고 공시토양Ⅲ은 뿌리가 뺨기쉬운 큰 공극이 많이 분포되어 있어, 공시토양Ⅲ이 공시토양 I보다 식물의 생장에 유리했던 것으로 판단된다.

## IV. 결론

본 연구는 토양의 입도조성이 토양의 물리성에 미치는 영향을 분석하고, 이러한 물리성의 변화가 목본식물의 생육에 미치는 영향을 분석하기 위하여 20 $\mu\text{m}$  이하의 미립자를 대부분 제거한 토양을 공시토양Ⅱ, 75  $\mu\text{m}$  이하의 미립자를 대부분 제거한 토양을 공시토양Ⅲ, 원토를 공시토양 I로 하고 등나무와 팽나무를 공시식물체료로 선정하여 식물생육실험을 하였다. 그 결과, 공시토양의 물리성과 공시식물의 성장량을 조사·분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 공시수목의 성장량을 측정하여 분석한 결과, 등나무의 경우 공시토양의 종류에 따른 성장량의 유의차가 인정되지 않았지만 팽나무의 경우 성장량의 유의차가 인정되었다. 이러한 결과에서 볼때 토양의 종류에 따른 성장량 차이의 유무는 수종에 따라서 차이가 있다고 사료되어 진다.

2. 공시토양Ⅱ는 Fuller의 곡선에 가장 가까운 입도조성을 가지고 있으며 토양밀도가 높고 토양공극의 양이 적은 것으로 나타났다. 이러한 토양은 포화투수계수가 낮아 토양공기의 유통이 나빠져 뿌리가 뺨을 수 있는 공간이 적고 뿌리가 뺨을 때 물리적인 압박을 받기 때문에 뿌리의 생육이 나빴던 것으로 사료되어 진다.

3. 공시토양Ⅲ은 공시토양 I과 비슷한 공극량을 가지고 있었지만, 포화투수계수가 높아

토양공기의 유통이 좋고 식물의 뿌리가 뻗을 수 있는 10 $\mu$ m 이상의 공극의 크기가 많아서 뿌리가 뻗을 때 물리적인 압박을 적게 받아 뿌리의 생육이 좋았던 것으로 사료되어 진다.

4. 공시토양Ⅲ은 미립자의 함유량이 적어 토양이 연약해질 우려가 적고, 잘 다져지지 않으므로 답압의 피해가 우려되는 식재지의 기반 조성재료로도 적합한 성질을 가지고 있는 것으로 나타났다.

### 참고문헌

- David A Rowell(1994), SOIL SCIENCE: Methods and Applications, Longman Scientific & Technical.
- Scheffer. et al., 佐佐木清一 外 1人 譯(1979), 土壤學.
- 건설부(1980), 土砂道の維持와 管理(技術指導書7).
- 건설부(1980), 廉價鋪裝의 設計와 施工(技術指導書29).
- 龜山 章 外 3人(1992), 朴容珍·李基諠 譯, 최신환경녹화, 강원대학교출판부.
- 宮崎 木神(1935), 森林樹木の根に關する研究(第1報), 『日林誌』, 13(2):71-76.
- Daniel, H. 著, 金才正 譯(1989), 土壤物理學, 대한교과서 주식회사.
- 渡邊 淳 外 1人(1993), 都市公園の植栽地における落葉落枝の除去および踏壓が表層土に與える影響について, 『造園雜誌』, 56(5):145-150.
- 山内 章 外 6人(1996), 『植物根系の理想型』, 博友社 :150-172.
- 小橋澄治 外 2人(1992), 『環境綠化工學』, 朝倉書店 :9-19.
- 柴田信男(1935), 杉の根系に就て, 『日林誌』, 17(8) :591-619.
- R. S. Rusell 著, 田中典幸 譯(1981), 『作物の根系と土壤』, 農山漁村文化協會.
- 宋住昇(1978), 『樹木根系圖說』, 誠文堂新光社 :151-516.
- 이경준(1993), 『수목생리학』, 서울대학교출판부.
- 이상덕(1996), 『토질시험-원리와방법』, 도서출판새론.
- 이종구(1993), 『실험 및 조사자료분석을 위한 SAS의 이해와 활용』, 星苑社.
- 李天龍(1993), 『山林環境土壤學』, 普成文化社.
- 李鉉根(1983), 『흙의 物理的 性質이 다짐에 미치는 影響에 관한 實驗的 研究』, 동국대학교 대학원 석사학위논문.
- 増田拓朗 外(1984), ジャノヒゲの生育に及ぼす踏壓の影響, 『造園雜誌』, 47(5):117-122.
- 山林廳 林業研究院(1993), 『韓國樹木圖鑑』.
- P. J. Kramer 著, 石原 邦 外 3人 譯(1986), 『水環境と植物』, 養賢堂:57-120.
- 최신바이오테크놀로지-全書編輯委員會(1989), 『木本植物의 増殖と育種』.
- 火田野健一 外 5人(1991), 『樹木の生長と環境』, :297-330.