

## 교목류 뿌리의 비탈면 안정효과 분석<sup>1a</sup>

- 뿌리의 인장강도를 중심으로 -

오재현<sup>2</sup> · 황진성<sup>3</sup> · 차두송<sup>4\*</sup>

## Analysis of Slope Stability Effect of Arbors' Roots<sup>1</sup>

- On Tensile Strength of the Roots -

Jae-Heun Oh<sup>2</sup>, Jin-Sung Hwang<sup>3</sup>, Du-Song Cha<sup>4\*</sup>

### 요 약

본 연구는 사면안정해석에 필요한 기초자료를 제공하고자 잣나무, 낙엽송, 소나무, 신갈나무, 오리나무를 대상으로 교목류 뿌리의 인장력 및 인장강도를 측정·분석하였다. 그 결과 인장력은 대부분 뿌리 직경의 거듭제곱의 형태로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 뿌리의 평균 인장강도는 잣나무 165.38kgf/cm<sup>2</sup>, 낙엽송 172.78kgf/cm<sup>2</sup>, 소나무 176.25kgf/cm<sup>2</sup>, 오리나무 214.29kgf/cm<sup>2</sup>, 신갈나무 224.19kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났으며, 뿌리의 직경이 커질수록 인장강도가 감소하는 경향을 나타냈다. 측정·분석된 인장강도를 기초자료로 토양의 전단강도 증가값을 산출한 결과 잣나무 0.099kgf/cm<sup>2</sup>, 낙엽송 0.104kgf/cm<sup>2</sup>, 소나무 0.106kgf/cm<sup>2</sup>, 오리나무 0.129kgf/cm<sup>2</sup>, 신갈나무 0.135kgf/cm<sup>2</sup>인 것으로 나타났다.

주요어: 사면안정해석, 인장력, 전단강도

### ABSTRACT

To provide the basic information about slope stability analysis, tensile force and strength of tree roots like *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, *Pinus densiflora*, *Quercus mongolica*, and *Alnus japonica* were measured and analyzed. As a result, tensile force increases in forms of involution of root diameter. The mean tensile strength of roots like *P. koraiensis*, *L. leptolepis*, *P. densiflora*, *A. japonica* and *Q. mongolica* were calculated as 165.38kgf/cm<sup>2</sup>, 172.78kgf/cm<sup>2</sup>, 176.25kgf/cm<sup>2</sup>, 214.29kgf/cm<sup>2</sup> and 224.19kgf/cm<sup>2</sup> respectively. It was shown that tensile strength decreasing tendency as root diameter increases. Also, recalculated soil shear strength by tensile strength of the roots like *P. koraiensis*, *L. leptolepis*, *P. densiflora*, *A. japonica* and *Q. mongolica* were 0.099kgf/cm<sup>2</sup>, 0.104kgf/cm<sup>2</sup>, 0.106kgf/cm<sup>2</sup>, 0.129kgf/cm<sup>2</sup> and 0.135kgf/cm<sup>2</sup> respectively.

1 접수 2010년 10월 29일, 수정(1차: 2010년 12월 22일, 2차: 2010년 12월 31일), 게재확정 2010년 12월 31일  
Received 29 October 2010; Revised(1st: 22 December 2010, 2nd: 31 December 2010); Accepted 31 December 2010

2 산림생산기술연구소 Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon(487-821),  
Korea(jhoh@forest.go.kr)

3 강원대학교 대학원 산림경영학과 Dept. of Forest Management, Graduate School, Kangwon University, Chuncheon(200-090),  
Korea(jinny3879@kangwon.ac.kr)

4 강원대학교 산림경영학과 Dept. of Forest Management, Kangwon University, Chuncheon(200-090),  
Korea(dscha@kangwon.ac.kr)

a 이 논문은 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호: S210810L010110)'의 지원에 의해 수행된 결과의 일부임.

\* 교신저자 Corresponding author(dscha@kangwon.ac.kr)

**KEY WORDS: SLOPE STABILITY ANALYSIS, TENSILE FORCE, SHEAR STRENGTH**

## 서론

인구의 증가, 경제와 산업의 발달로 인한 토지의 요구도가 높아짐에 따라, 국토의 약 64%가 산림으로 이루어져 있는 우리나라에서는 대형개발사업 및 토목공사에 의한 산지 개발이 지속적으로 증가하고 있다. 또한 산림의 공익적, 경제적 가치 실현을 위한 산림경영상의 다양한 시업 편의를 위해 임도를 건설하는 과정에서 비탈면이 발생하고 있으며, 연간 강우량의 50~60%가 여름에 집중되는 현상으로 인해 매년 산악지역의 급경사지에서 많은 산사태가 발생하여 막대한 피해를 야기하고 있다.

이와 같은 산사태를 예방하기 위해서는 산사태의 메카니즘과 산지사면의 안정성에 대한 이해가 우선적으로 선행되어야 할 것이며, 그 중 최근에 많은 관심과 중요성이 인식되고 있는 분야가 수목뿌리에 의한 사면의 안정화이다. 토양의 전단강도를 뿌리가 증가시킬 수 있다는 것은 많은 연구에 의해서 밝혀졌었다(O'Loughlin, 1974; Waldron, 1977; Waldron and Dakessian, 1981; Waldron et al., 1983). 국내에서도 식생에 의한 사면안정(Lee et al., 1991), 목본 식물에 의한 사면안정 및 뿌리의 인장강도(Cho and Lee, 2000; Cha et al., 2002; Ji et al., 2004)에 관한 연구도 진행되어 있으나, 국내 자생 및 식재된 다양한 수종에 대한 선행연구가 많이 이루어지지 않은 실정이다. 또한 대부분의 뿌리 인장강도 실험은 실제 뿌리를 사용하는 것이 아니라 시험편 중앙부의 직경을 가공·축소하여 인장하는 수정시험편 방법으로 강도를 구하였으며, 이는 실제 뿌리 재료 특성에 관한 변화를 예측하는데 다소 부족할 것으로 사료된다.

일반적으로 산지사면의 토양-뿌리의 분석모델들은 예상되는 토양전단 영역을 유연한 뿌리가 통과하고 있다고 가정하고 있으며(Waldron 1977; Wu et al., 1979), 전단영역에 대한 전단변위와 뿌리-토양간의 전단응력의 발생이 뿌리의 인장을 초래하게 된다. 산지사면 토양전단영역내의 뿌리에 작용하는 인장력은 전단면에 평행한 성분과 전단면에 수직인 성분, 두 가지로 분해할 수 있다. 이러한 저항력들은 토양 강도를 증가시키는 역할을 하며 특히, 인장강도에 의해서 많은 영향을 받는다.

따라서 본 연구에서는 수목에 의한 사면안정 효과를 고려할 때 가장 중요한 요소인 수목 뿌리의 인장력 및 인장강도를 수종별, 뿌리직경별로 측정·분석, 토양 전단강도 증가 값을 산출하여 향후 뿌리가 내재된 자연사면의 안정해석 및 안정성 평가에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시재료

본 연구에 이용된 교목류 뿌리는 국내 주요 조림수종인 소나무, 잣나무, 낙엽송과 대표 사방수종인 오리나무, 천연림 대표수종인 신갈나무 II~III영급을 대상으로 하였다. 강원도 춘천시 동산면 봉명리에 위치한 강원대학교 학술림 내에서 체인톱을 이용하여 선정목의 벌도를 실시한 후, 굴삭기로 뿌리에 손상이 가지 않도록 근분을 형성하여 굴취하였다. 일반적으로 근계를 포함한 토피는 뿌리의 신장한계

Table 1. Root numbers need tensile test by root diameter class

Diameter class (mm)	<i>Larix leptolepis</i>		<i>Pinus densiflora</i>		<i>Pinus koraiensis</i>		<i>Alnus japonica</i>		<i>Quercus mongolica</i>	
	Number of roots	Percent (%)	Number of roots	Percent (%)	Number of roots	Percent (%)	Number of roots	Percent (%)	Number of roots	Percent (%)
0 ~ 2	3	5.6	3	4.6	3	6.1	4	6.6	6	10.5
2 ~ 4	14	25.9	12	18.5	7	14.3	22	36.1	14	24.6
4 ~ 6	18	33.3	15	23.1	14	28.6	14	23.0	12	21.1
6 ~ 8	13	24.1	21	32.3	15	30.6	11	18.0	15	26.3
8 ~ 10	6	11.1	14	21.5	10	20.4	10	16.4	10	17.5
Total	54	100	65	100	49	100	61	100	57	100

부근에서 전단파괴면이 생기고(Abe, 1991), 그 면에 존재하는 뿌리는 잣나무의 뿌리공간분포에 관한 기존의 연구에서 하층에 존재하는 대부분의 뿌리가 10mm이하로 수직으로 존재한다는 것(Cha and Ji, 2003)을 고려하여 인장시험에 사용된 공시뿌리의 직경은 0~10mm의 뿌리를 채취하였으며, Table 1과 같이 0~10mm사이로 총 286개 뿌리에 대하여 실험을 실시하였다.

실험의 정확성을 기하기 위하여 시험대상 뿌리는 주변의 흙과 함께 콜드 챔버에 영상 5℃에서 보관하여 최대한 자연 상태가 유지되도록 하였으며, 채취 후 24시간 이내에 실험을 실시함으로써 함수율에 대한 강도변화는 고려하지 않았다.

## 2. 인장력의 측정과 인장강도 산출

토양의 전단강도 증가값 추정을 위한 인장강도 값의 산출을 위해 뿌리의 인장력과 파괴단면적을 측정하였다. 뿌리의 인장력을 측정하기 위한 장치는 만능재료시험기(STM20, United Co.)를 변형률 제어방식으로 뿌리자체에 인장력을 가하여 인장파괴까지의 힘과 변형율을 측정하였다.

인장 시험을 실시하기 위해서 Figure 1과 같이 뿌리의 양단을 고정하거나 뿌리전체를 고정할 수 있는 특별한 지그(zig)와 그립(grip)을 제작·사용하였으며, 시험전 뿌리의 직경을 측정한 후 인장시험을 실시하였다. 이때의 시험편의 길이는 150mm, 뿌리의 표점거리는 50mm로 일정하게 하였으며, 인장속도는 양단부 파괴를 최소한으로 줄일 수 있도록 10mm/min으로 실시하였다.

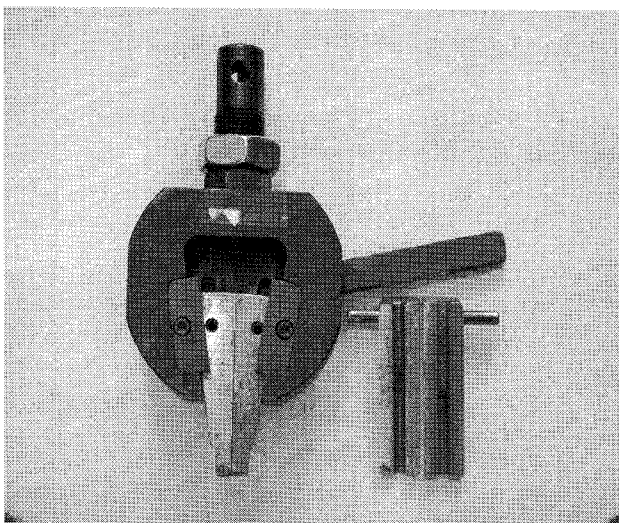


Figure 1. Zig and grip of UTM for tensile test of tree roots

## 3. 토양 전단강도 증가값 추정이론

본 연구에서 적용한 토양 전단강도 증가값 추정모델은 Wu(1979)가 개발한 전단면에 수직인 뿌리 보강모델을 적용하였다. 이 모델은 뿌리가 평행한 전단영역을 연직하게 관통하고 있다고 가정하고 있으며, 토괴가 전단될 때의 수평, 수직인 두 힘에 의해 전단응력이 증가한다고 하였다. 이 모델의 성립을 위해서는 뿌리는 전단영역 주변에 마찰이나 점착에 의해 빠져나오지 않도록 충분한 길이를 가지고 고정되어 있고, 표면침식을 고려한 뿌리의 초기 방향은 수직인 것으로 가정되어야 한다. 또한 뿌리는 인장력에 의해 서만 파괴되며, 흙의 내부 마찰각에는 영향을 주지 않는다는 조건을 가진다. 따라서 모델에 의해 예측되는 뿌리에 의한 전단강도의 증가값( $\Delta Cr$ )은 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$\Delta Cr = Tr*(Ar/A)*(sin\theta + cos\theta \tan\phi) \dots\dots\dots(1)$$

- 단, Tr : 임의의 전단면에 존재하는 뿌리만의 평균 인장강도
- Ar : 임의의 전단면에 포함되어 있는 뿌리의 전체 면적
- A : 임의의 전단면의 면적
- $\theta$  : 전단 비틀림각
- $\phi$  : 흙의 내부마찰각

식 (1)에 의하면 뿌리에 의한 전단강도의 증가값( $\Delta Cr$ )은 뿌리의 인장강도와 면적비율, 또한 토괴전단면 이동에 따라 휘어지는 뿌리의 각도와 흙의 내부 마찰각 값에 따라 변화한다고 볼 수 있다.

## 결과 및 고찰

### 1. 수종별 뿌리의 인장력 특성

수목에 의한 사면붕괴의 저항력은 거시적 구조의 파괴가 영향을 미치지 때문에 교목류 뿌리가 완전히 인장되는데 필요한 힘을 인장력으로 정의하고 분석하였다.

실험결과 수종별 뿌리의 인장력은 잣나무의 경우 뿌리직경이 1.43mm에서 9.78mm 범위 내에서 4.57~111.26kgf, 낙엽송의 경우 직경 1.25mm에서 9.14mm 범위 내에서 2.70~120.64kgf, 소나무의 경우 직경 1.22mm에서 9.33mm 범위 내에서 2.91~140.92kgf, 오리나무의 경우 직경 1.40mm에서 9.91mm 범위 내에서 5.22~154.16kgf, 신갈나무의 경우 직경 1.71mm에서 9.66mm 범위 내에서 5.40~145.21kgf사이에 분포하는 것으로 나타났다.

뿌리의 직경변화에 따른 인장력의 변화 경향을 알아보기 위해 회귀분석을 실시하여 회귀식을 산출한 결과는 Table 2와 같으며, 선형적으로 증가한 오리나무를 제외한 4가지

Table 2. Regression analysis of the root diameter and tensile resistance

Species	Types of regression equation		
	linear	involution	exponential
<i>Pinus koraiensis</i>	$y = 11.301x - 20.265$ $R^2 = 0.8339$	$y = 2.1951x^{1.6551}$ $R^2 = 0.8716$	$y = 5.0926e^{0.3276x}$ $R^2 = 0.8119$
<i>Larix leptolepis</i>	$y = 13.54x - 29.746$ $R^2 = 0.8165$	$y = 1.5867x^{1.86}$ $R^2 = 0.8815$	$y = 3.2656e^{0.4165x}$ $R^2 = 0.8495$
<i>Pinus densiflora</i>	$y = 14.686x - 33.259$ $R^2 = 0.888$	$y = 1.5411x^{1.918}$ $R^2 = 0.947$	$y = 3.678e^{0.3989x}$ $R^2 = 0.9095$
<i>Alnus japonica</i>	$y = 15.311x - 30.984$ $R^2 = 0.9232$	$y = 2.4058x^{1.7194}$ $R^2 = 0.8938$	$y = 5.3277e^{0.3531x}$ $R^2 = 0.8733$
<i>Quercus mongolica</i>	$y = 16.411x - 32.125$ $R^2 = 0.8744$	$y = 2.2716x^{1.8109}$ $R^2 = 0.933$	$y = 4.9991e^{0.3805x}$ $R^2 = 0.8909$

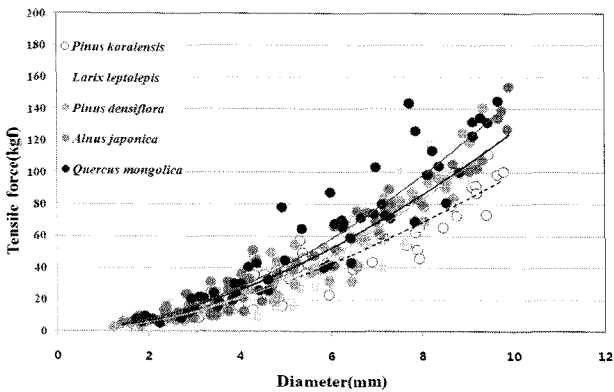


Figure 2. Tensile force distributions of root by diameter and species

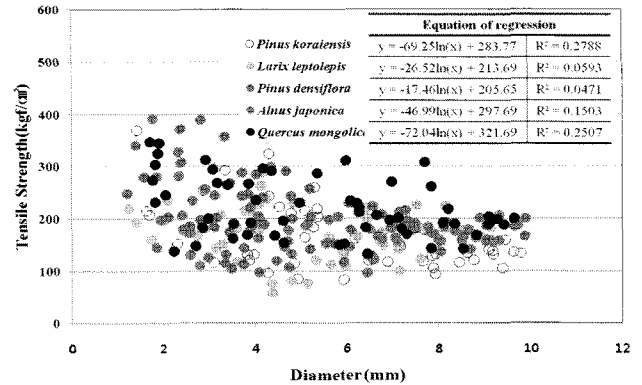


Figure 3. Tensile strength of root by diameter and species

수종 모두 뿌리 직경의 거듭제곱의 형태로 인장력이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 뿌리직경이 증가함에 따라 뿌리 단면적이 거듭제곱으로 증가하는 것과 비례하여 인장력이 증가하는 것으로 사료된다.

## 2. 수종별 뿌리직경과 인장강도의 관계

### 1) 수종별 뿌리직경에 따른 인장강도 특성

측정된 인장력을 뿌리의 과피단면적으로 나눈 값을 인장강도로 정의하여 분석한 결과는 Figure 3과 같으며, 수종별 뿌리의 인장강도는 잣나무 83.70~368.94kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에서 평균 165.38kgf/cm<sup>2</sup>, 낙엽송 58.26~296.50kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에서 평균 172.78kgf/cm<sup>2</sup>, 소나무 96.84~291.33kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에서 평균 176.25kgf/cm<sup>2</sup>, 오리나무 98.02~391.43kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에서 평균 214.29kgf/cm<sup>2</sup>, 신갈나무 132.87~

411.96kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에서 평균 224.19kgf/cm<sup>2</sup>인 것으로 나타났다.

일반적으로 균질의 단단한 재료는 인장강도에 있어서 일정한 값을 유지하나, 연성재료인 수목뿌리의 경우 나이테, 수피 및 수지 등이 혼합되어 있어 강도에 대한 변이가 상당히 큰 것으로 보여진다. 또한 기존 Cha *et al.*(2002), Ji *et al.*(2004)의 소나무와 잣나무 뿌리에 대한 인장실험 결과와 유사하게, 뿌리직경이 작을수록 인장강도는 다소 증가하는 것으로 나타났다(Figure 4).

### 2) 수종별, 뿌리직경에 따른 인장강도의 분산분석

수종, 뿌리직경간 인장력에 대한 교호작용의 효과를 분석하기 위해 수종, 뿌리직경에 대한 분산분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 3과 같이 수종과 뿌리직경간의 교호작용이 없는 것으로 나타났다.

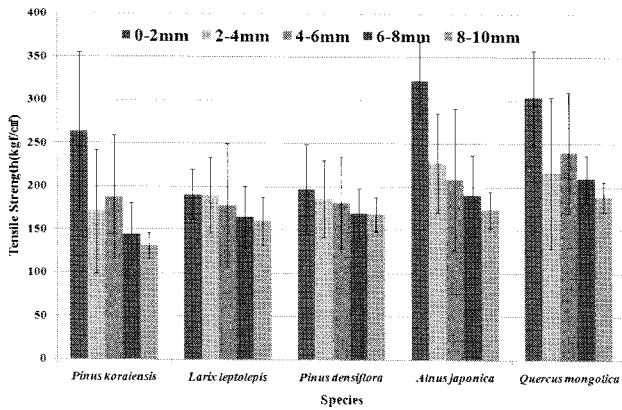


Figure 4. Mean tensile strength by diameter class

하지만 수종간, 또는 뿌리직경간의 유의성(유의수준 5%) 이 인정되어 수종별 뿌리직경간, 뿌리직경별 수종간에 대한

강도변화를 Duncan의 다중검정을 통해 분석하였다.

직경별 수종간의 검정결과를 Table 4에서 보면 뿌리직경 0~2mm의 경우 오리나무가 322.99kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 크게 나타났지만 신갈나무와 유의적 차이를 보이지 않았으며, 낙엽송의 인장강도가 190.66kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 낮게 나타났다. 뿌리 직경 2~4mm의 경우 오리나무가 228.27kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 큰 인장강도를 나타냈지만 검정결과 다른 수종들과 유의적 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 뿌리직경 4~6mm인 경우 신갈나무가 240.30kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 높은 것으로 나타났으며, 오리나무, 잣나무와는 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다. 뿌리직경 6~8mm인 경우도 신갈나무와 오리나무순으로 인장강도가 높게 나타났으며 뿌리직경 8~10mm인 경우도 신갈나무가 189.02kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났다. 각 직경급별 수종간의 인장강도 분석결과 직경급별로 활엽수인 신갈나무와 오리나무가 높은 인장강도를 나타냈다.

Table 3. Analysis of variance for tensile strength

Source	DF	R <sup>2</sup>	SS	Mean Square	F value	Pr > F
Species	4		160040.99	40010.25	13.78	<.0001
Diameter	4	0.321714	170005.74	42501.44	14.64	<.0001
Species*Diameter	16		29387.17	1836.70	0.63	0.8563

Table 4. Differences of the tensile strength by species in same diameter class

Diameter(mm)	Mean tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )									
	0~2		2~4		4~6		6~8		8~10	
<i>Pinus koraiensis</i>	263.59	AB	171.10	A	187.41	AB	144.91	C	131.79	B
<i>Larix leptolepis</i>	190.66	B	189.74	A	160.49	B	164.75	BC	178.53	A
<i>Pinus densiflora</i>	197.05	B	185.95	A	181.73	B	168.52	BC	169.22	A
<i>Alnus japonica</i>	322.99	A	228.27	A	208.80	AB	190.49	AB	173.90	A
<i>Quercus mongolica</i>	304.18	A	216.55	A	240.30	A	209.89	A	189.02	A

\* Same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test (P=0.05)

Table 5. Differences of the tensile strength by diameter class in same species

Species	Mean tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )									
	<i>Pinus koraiensis</i>		<i>Larix leptolepis</i>		<i>Pinus densiflora</i>		<i>Alnus japonica</i>		<i>Quercus mongolica</i>	
0-2mm	263.59	A	190.66	A	197.05	A	322.99	A	304.18	A
2-4mm	171.10	B	189.74	A	185.95	A	228.27	B	216.55	B
4-6mm	187.41	B	178.53	A	181.73	A	208.80	B	240.30	B
6-8mm	144.91	B	164.75	A	169.22	A	190.49	B	209.89	B
8-10mm	131.79	B	160.49	A	168.52	A	173.90	B	189.02	B

\* Same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test (P=0.05)

Table 6. Reinforcement value of soil shear strength by species

Species	Mean tensile strength of the roots Tr(kgf/cm <sup>2</sup> )	Area ratio (Ar/A)	Reinforcement value of soil shear strength ΔCr(kgf/cm <sup>2</sup> )
<i>Larix leptolepis</i>	172.78	10-3	0.104
<i>Pinus densiflora</i>	176.25	10-3	0.106
<i>Pinus koraiensis</i>	165.38	10-3	0.099
<i>Alnus japonica</i>	214.29	10-3	0.129
<i>Quercus mongolica</i>	224.19	10-3	0.135

수종별 직경급간의 검정결과를 Table 5에서 보면 잣나무와 신갈, 오리나무의 뿌리직경 0~2mm를 제외하곤 각 수종별 뿌리직경급간의 유의적 차이는 없는 것으로 분석되었으며, 위의 인장강도 특성 분석에서의 결과와 같이 뿌리의 직경이 작을수록 인장강도 증가하는 것으로 나타났다.

### 3. 수종별 토양전단강도 증가 값 추정

일반적으로 뿌리가 토양의 전단강도를 증가시킨다는 가정 하에, Wu(1976)가 개발한 전단강도 도출식을 통해 토양의 전단강도 증가 값을 구하였다. 식(1)에서와 같이,  $(\sin\theta + \cos\theta \tan\phi)$  값은 Lee *et al.*(1991)에 의해 실험결과 실제 자연사면에서 흙의 전단 파괴시 뿌리의 인장응력은 뿌리가 가진 전체 인장강도의 40~50% 정도가 동원된다는 결과를 토대로 Wu(1976)가 제시한 1.15의 50%를 고려한 0.6을 적용하여 전단강도 증가 값을 추정하였다. 그 결과 Table 6과 같이 신갈나무가 0.135kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났고, 잣나무가 0.099kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 낮게 나타났다.

본 연구에서는 사면붕괴시 전단면이 형성되는 교목류 주근의 신장한계 부근에 존재하는 직경 0~10mm뿌리에 의한 토양의 전단강도 증가값을 구한 것으로, 수목의 뿌리가 주로 존재하는 0~20cm층에서의 표층붕괴에 대한 뿌리의 보강효과 연구가 함께 이루어져야 보다 다양한 교목류 뿌리의 토양에 대한 안정효과 분석이 가능할 것으로 판단된다.

## 인용문헌

- Abe, K. and Ziemer, R.R.(1991) Effect of tree roots on a shear zone: modeling reinforced shear stress. *Can. J. For. Res.* 21: 1012-1019.
- Cha, D.S. and B.Y. Ji(2003) A Study on Slope Stability Effects by the Tree Root Systems (3) - Spatial Distribution of Korean White Pine Tree Roots -. *J. Korea. For. SOC.* 92(1): 33-41. (in Korean with English abstract)
- Cha, D.S., J.H. Oh, B.Y. Ji and G.W. Jeon(2002) A study on Slope Stability Effects by the Tree Root Systems ( 1 ) - Spatial Distribution and Physical Properties of Red Pine Tree Roots -. *J. Korea. For. SOC.* 91(1): 71-78. (in Korean with English abstract)
- Cho, J.H. and J.S. Lee(2000) A Study on the Slope Stability Analysis by Shearing Reinforcement of Vegetation Roots - Focused on the *Pinus koraiensis* Roots-. *J. Korean Institute of Landscape Architecture* 27(5): 81-93. (in Korean with English abstract)
- Ji, B.Y., J.H. Oh, B.G. Choe, G.W. Jeon and D.S. Cha(2004) A Study on Slope Stability Effects by the Tree Roots System(4) - Tensile Properties of Korean Pine Roots -. *J. Korea. For. SOC.* 93(1): 103-107. (in Korean with English abstract)
- Lee, I.M., S.G. Sung and C.M. Lim(1991) An Experimental Study on the Effect of Vegetation Roots on Slope Stability of Hillside Slopes. *J. Korea. Geo. SOC.* 7(2): 51-66. (in Korean with English abstract)
- O'Loughlin, C. L.(1974) A study of root strength deterioration following clear-felling. *Canadian Journal of Forestry Research* 4: 107-113.
- Waldron, L. J.(1977) The shear resistance of root permeated homogeneous and stratified soil. *Soil Science Society of American Journal* 41(5): 843-849.
- Waldron, L. J. and Dakessian, S.(1981) Soil reinforcement by roots : calculation of increased soil shear resistance from root properties. *Soil Science* 132(6): 427-435.
- Waldron, L.J., Dakessian, S. and Nemson, J.A.(1983) Shear resistance enhancement of 1.22-meter diameter soil cross sections by pine and alfalfa roots. *Soil Science Society of American Journal* 47: 9-14.
- Wu, T.H.(1976) Investigation of Landslides on Prince of Wales Island. *Geotechnical Engineering Report* 5. Civil Engineering Department. Ohio.
- Wu, T.H., McKinnell, W.P. and Swanston, D.N.(1979) Strength of tree roots and landslides on prince of Wales Island, Alaska. *Can. Geotech. J.* 16(1): 19-33.