

산림훼손지복원을 위한 Soil Bioengineering 기술개발(V)^{*}

- 관목류의 뿌리인발저항 특성 -

차두송^{1*} · 오재현² · 지병윤² · 조구현² · 이해주³

¹강원대학교 산림환경과학대학, ²국립산림과학원 산림생산기술연구소, ³국립수목원

Development of the Soil Bioengineering Techniques for Restoring of Degraded Forest Area (V)

- Pull-out Resistance Characteristics of Shrubs' roots -

Du Song Cha^{1*}, Jae Heun Oh², Byoung Yun Ji², Koo Hyun Cho², and Hae Joo Lee³

¹College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

³Division of Specimen and Genetic Resources, Korea National Arboretum, Pochongun 487-821, Korea

ABSTRACT : Pull-out resistance tests of root were carried out for 7 shrub species which are mainly used greening of deteriorated forest slope. Mean pull-out resistance forces of *Aralia elata*, *Salix koreensis* and *Stephanandra incisa* were 37.26 kgf, 34.56 kgf and 26.00 kgf, respectively. The pull-out resistances were high as collar diameter and volume of the root increased. Correlations between root collar diameter and root volume were high in *Rubus crataegifolius*, but on the other hand, the correlation was lowest in *Zanthoxylum schinifolium*. There were significant differences in pull-out resistance by root collar diameters, and the difference of pull-out resistance by species showed only below 20 ml root volume.

Keywords : Soil bioengineering, Pull-out resistance, Degraded forest area, Root collar diameters, Root volume

서 론

산림훼손지를 복원하기 위한 방법으로는 사면의 안정을 확보할 수 있는 물리적 안정구조물과 생물학적 녹화공법이 있다. 이 중에서 생물학적 녹화공법은 사면의 토양침식을 예방하여 사면의 안정성을 도모할 뿐만 아니라, 경관조성 및 주변 식생과의 건전한 생태계를 유지시키며, 또한 야생동물의 서식처 및 먹이를 제공하는 등 환경보전적인 개념도 포함되어 있다. 녹화공법은 주로 식생의 뿌리에 의한 넷(net)효과와 말뚝(pile) 효과로 사면의 안정을 유지하고 있으며, 이것은 토양내부의 버팀벽 역할로 토양을 고정하여 사면의 붕괴를 방지하고, 토양의 공극상태를 양호하게 하여

수자원 함양을 증대시킨다.

이와 같은 식생뿌리에 의한 토양의 보강효과는 직접적으로 토양내의 뿌리량과 관련이 깊으며(遠藤과 鶴田, 1968), 표층붕괴를 방지하는데 무식생과 비교할 때 30%정도의 효과가 있다고 보고되어 있다(阿部, 1977). 이에 대한 연구로는 최근까지 식물의 뿌리보강효과의 메카니즘을 정량적으로 파악하기 위한 연구가 주로 수행되고 있으며(遠藤과 鶴田, 1968; Waldron and Dakessian, 1981; 이인모 등, 1991), 국내에서는 주로 목본식물에 의한 사면안정 및 뿌리 공간분포 특성 등이 진행되고 있다(조주형과 이종성, 2000; 지병윤 등, 2004; 차두송 등, 2001, 2002, 2006; 차두송과 지병윤, 2003). 그러나 산림훼손지 복원 대상 수종인 관목류에

* Corresponding author: (E-mail) dscha@kangwon.ac.kr

※ 본 논문은 건설교통부 「낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술개발」 과제에 의한 연구결과의 일부임.

대한 연구는 뿌리의 인장강도 및 전단강도의 연구가 진행되고 있을 뿐(김동엽 등, 2007; 김진아 등, 2007), 뿌리의 인발특성에 관한 연구는 미흡한 상태이다(지병윤 등, 2006).

따라서 본 연구는 산림훼손지 비탈면 녹화에 주로 사용되는 관목류에 대한 인발강도특성을 정량적으로 구명하여 환경친화적인 산림훼손지 복원을 위한 녹화식물 선정의 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

재료 및 방법

관목류의 뿌리 특성에 대한 시험을 위하여 산림훼손지에서 자연적으로 침입하는 산딸기, 싸리나무, 국수나무, 병꽃나무, 버드나무, 산초나무, 두릅나무 등 목본류의 7종을 선정하여 뿌리의 근원경, 체적 및 인발력을 측정하였다.

체적은 인발시험이 끝난 후 개체를 매스실린더 내의 물에 침수시켜 침수전과 침수후의 물의 증가분을 측정하여 체적을 산출하였다. 인발저항력은 그림 1과 같이 제작한 뿌리 인발장치는 인발부에 로드셀을 장착하여 출력되는 전압신호를 컴퓨터를 이용하여 자동계측이 가능하도록 제작하였고, 측정시의 인발속도는 20 mm/min로 하였다(그림 2).



그림 1. 인발실험장치.



그림 2. 인발실험의 데이터 수집 시스템.

결과 및 고찰

관목류 뿌리의 인발력을 측정하기 위하여 표 1과 같이 산림훼손지 사면에 침입한 관목류 7개 수종을 대상으로 종별 12분 ~ 30분을 조사하였으며, 주변의 식생과 가급적 떨어져 생육하고 있는 수종을 대상으로 실험을 실시하였다.

1. 수종별 뿌리 근원경과 인발저항력과의 관계

수종별 뿌리의 근원경은 두릅나무가 평균 12.51 mm (6.5~18.91 mm)로서 가장 컷으며 인발저항력도 평균 37.26 kgf(13.45~80.74 kgf)로 가장 큰 값을 나타내고 있다. 이어서 버드나무 근원경이 평균 8.56 mm(3.16~16.16 mm), 인발저항력이 평균 34.56 kgf(5.91~90.04 kgf)으로 측정되었으며, 산초나무 근원경은 평균 7.97 mm(3.72~13.6 mm), 인발저항력은 평균 22.35 kgf(6.16~36.76 kgf)로 나타났다. 산딸기는 근원경이 가장 낮은 수치인 평균 4.97 mm(2.2~13.8 mm)로서 인발저항력 역시 평균 8.37 kgf(1.39~41.13 kgf)로 가장 낮게 측정되었다. 인발강도를 살펴보면, 국수나무가 5.21 kgf/mm로 가장 높았으며, 버드나무가 4.04

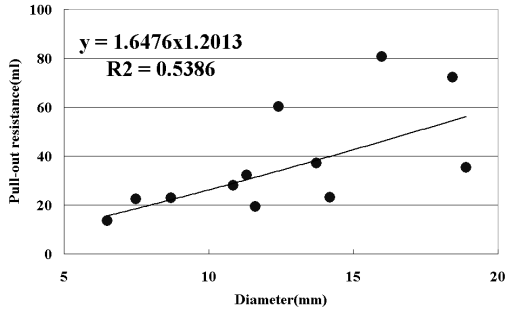
표 1. 조사된 수종별 인자

수 종	본 수	평균 근원경(mm)	평균 체적(ml)
두릅나무(<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem)	12	12.51	107.42
싸리나무(<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.)	15	6.30	29.38
버드나무(<i>Salix koreensis</i> Andersson)	16	8.56	19.88
산초나무(<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc.)	16	7.97	13.78
국수나무(<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel var.)	20	4.99	16.23
병꽃나무(<i>Weigela subsessilis</i> L.H.Bailey.)	20	5.71	21.25
산딸기(<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge.)	30	4.97	7.96

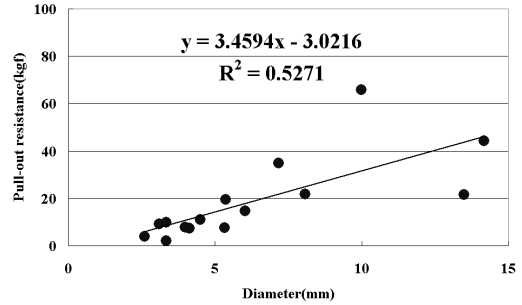
kgf/mm, 병꽃나무 3.63 kgf/mm의 순으로 나타났으며, 산
딸기나무가 1.68 kgf/mm로 가장 낮게 나타났다.

수종별 관목류의 근원경과 인발저항력과의 관계를 회귀

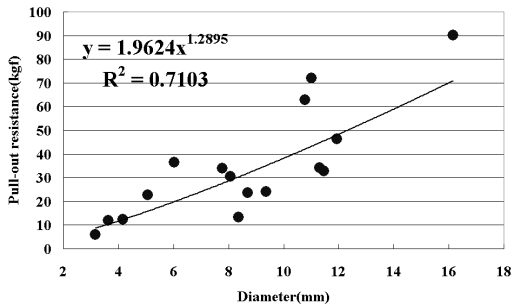
분석한 결과는 그림 3과 같다. 회귀식은 산딸기, 버드나무
의 결정계수가 0.7이상으로, 국수나무와 병꽃나무가 0.6이
상으로 상관관계가 높게 나타났으나, 산초나무의 경우에는



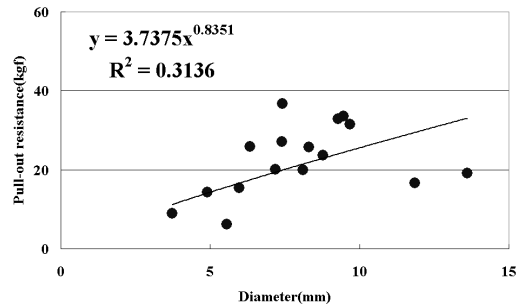
<두릅나무>



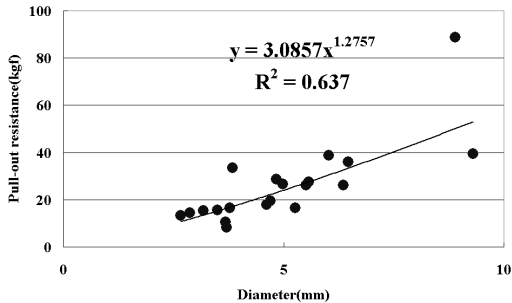
<싸리나무>



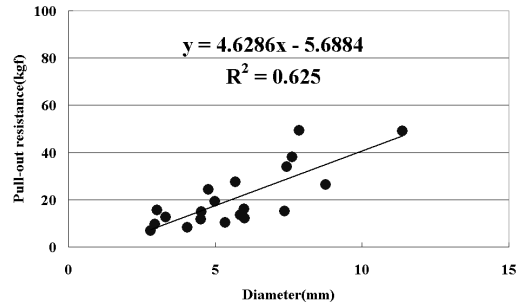
<버드나무>



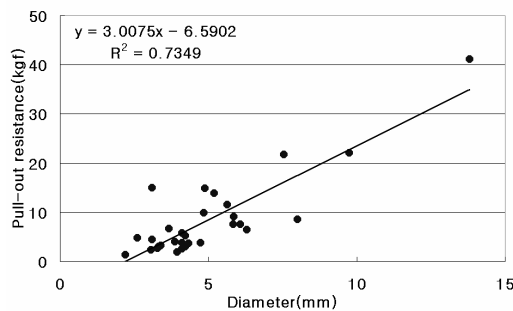
<산초나무>



<국수나무>



<병꽃나무>



<산딸기나무>

그림 3. 뿌리의 근원경과 인발저항력과의 관계.

결정계수가 0.31로 매우 낮게 산출되어 설명역이 떨어지는 것으로 나타났다.

2. 뿌리체적과 인발저항력의 관계

수종별 뿌리의 체적은 두릅나무가 평균 107.42 ml(11.0~382.0 ml)로서 가장 컸으며 인발저항력도 평균 37.26 kgf(13.45~80.74 kgf)로 가장 큰 값을 나타내고 있다. 이어서 싸리나무는 뿌리체적이 평균 29.38 ml(3.0~110.0 ml)이나, 인발저항력이 평균 18.78 kgf(2.07~65.90 kgf)으로 낮게 측정되었으며, 버드나무의 뿌리 체적은 평균 19.88 ml(3.0~50.0 ml)로서 측정되었으나, 인발저항력은 평균 34.56 kgf(5.91~90.04 kgf)으로 높게 측정되었다. 산딸기는 뿌리 근원경과 같이 가장 낮은 수치인 평균 7.96 ml(0.2~85.8 ml)로서 인발저항력도 평균 8.37 kgf(1.39~41.13 kgf)로 가장 낮게 측정되었다. 인발강도는 버드나무가 1.74 kgf/ml로 가장 높았으며, 산초나무가 1.62 kgf/ml, 국수나무가 1.60 kgf/ml의 순으로 비슷한 경향을 보여주고 있으며, 산딸기나무와 병꽃나무가 약 1.0 kgf/ml, 싸리나무가 0.64 kgf/ml, 두릅나무가 0.35 kgf/ml의 순으로 나타났다.

수종별 관목류의 뿌리체적과 인발저항력과의 관계를 회

귀분석한 결과는 그림 4와 같다. 회귀식을 살펴보면, 싸리나무의 결정계수가 0.8이상, 산딸기나무의 결정계수가 0.7 이상으로 상관관계수가 높게 나타났으나, 두릅나무, 산초나무 및 병꽃나무는 결정계수가 0.4이하로서 뿌리체적과 인발저항력과의 관계는 낮은 것으로 나타났다.

3. 뿌리의 근원경에 따른 수종별 인발저항력 특성

1) 근원경 2 mm 이하일 때의 뿌리의 인발저항력

뿌리 직경이 2 mm 이하일 때의 수종별 인발저항력을 측정하여 SAS GRM 프로시저를 이용하여 수종별 인발저항력을 분석, Duncan의 다중비교를 한 결과, 그림 5와 같이 뿌리 인발저항력은 두릅나무가 37.26 kgf, 버드나무 34.56 kgf, 국수나무 26.0 kgf, 산초나무 22.12 kgf, 병꽃나무 20.73 kgf의 순으로 산출되었으며, 두 개의 그룹인 두릅나무·버드나무와 국수나무·산초나무·병꽃나무로 분리되어 유의성이 있는 것으로 나타났다.

2) 근원경 2-4 mm일 때의 뿌리의 인발저항력

뿌리의 직경이 2-4 mm일 때의 인발력을 측정하여 분석한 결과는 그림 6과 같다. 국수나무가 15.98 kgf로 가장 높

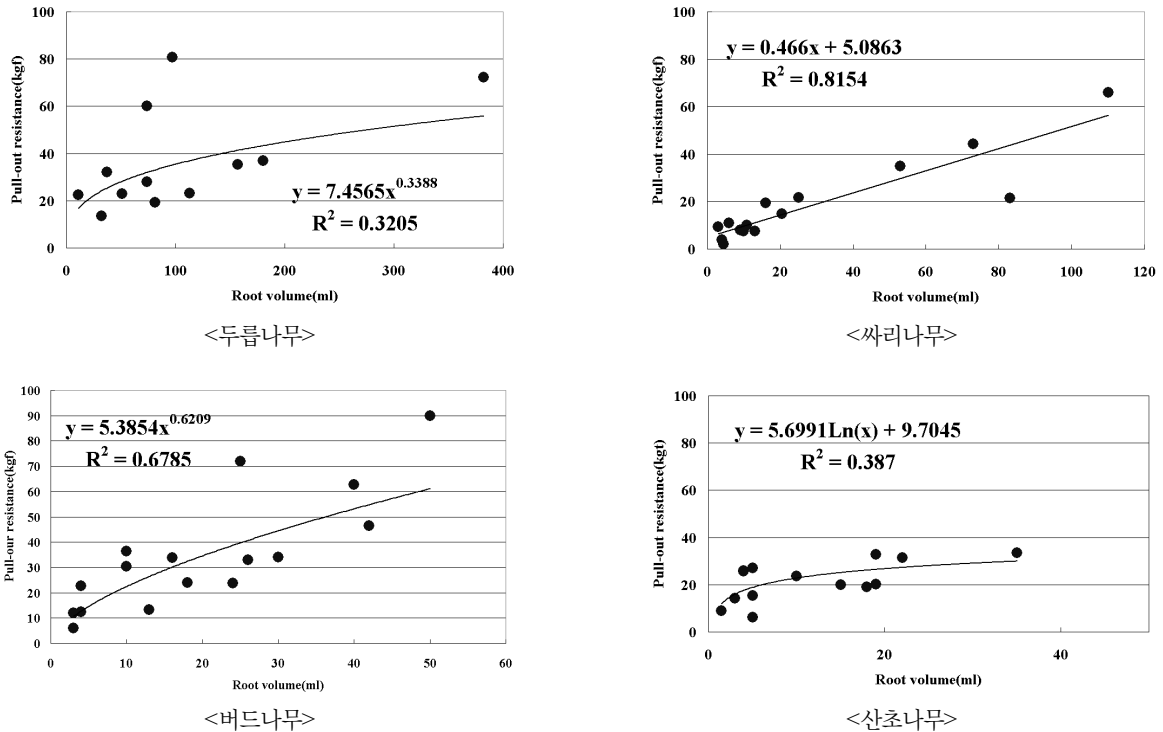


그림 4. 뿌리체적과 인발저항력과의 관계(계속).

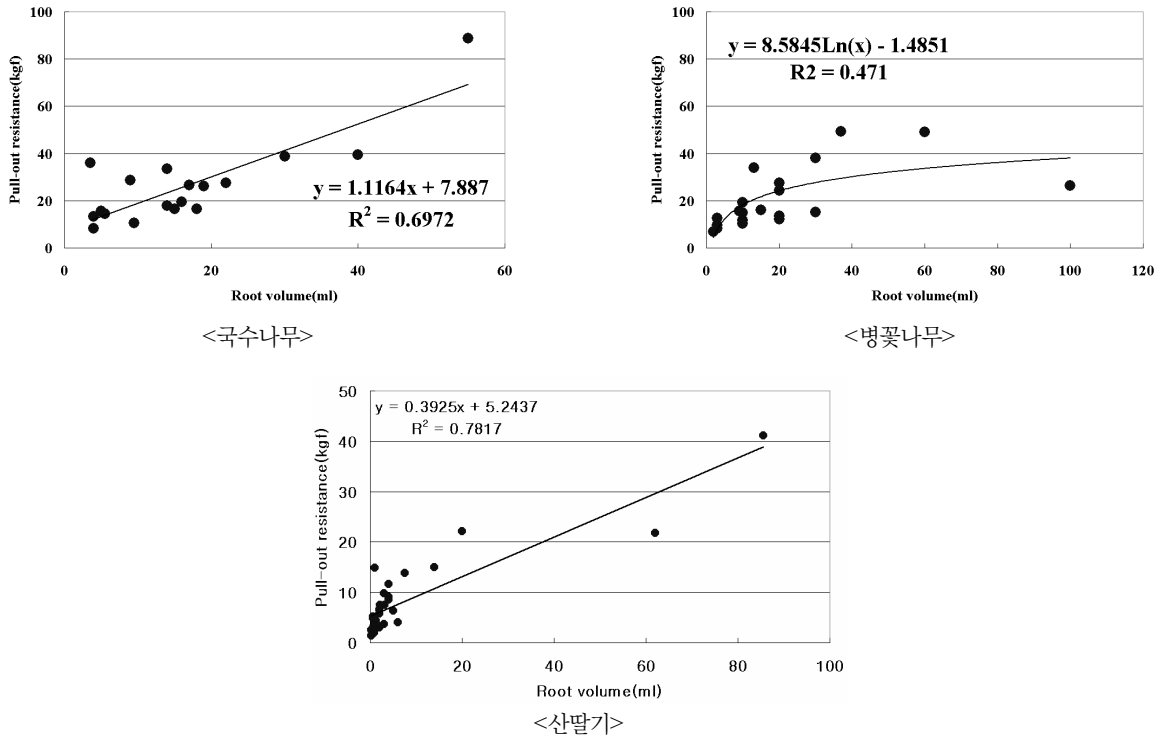


그림 4. 뿌리체적과 인발저항력과의 관계.

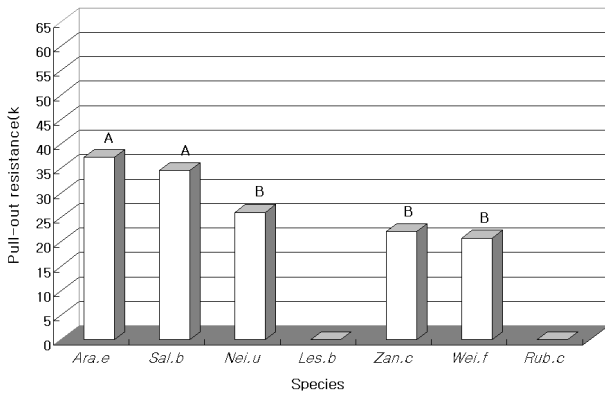


그림 5. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무).

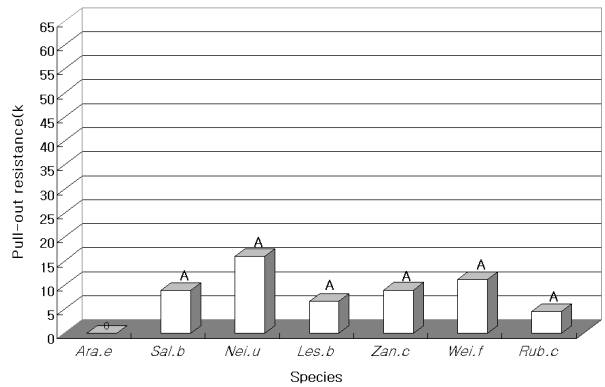


그림 6. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무).

게 나타났고, 병꽃나무 11.18 kgf, 산초나무 8.98 kgf, 버드나무 8.93 kgf, 싸리나무, 6.61 kgf, 산딸기 4.48 kgf의 순이었으며, 수종간의 유의성의 차이는 없는 것으로 나타났다.

3) 근원경 4-6 mm일 때의 뿌리의 인발저항력

뿌리의 직경이 4-6 mm일 때의 인발저항력을 측정하여 분석한 결과는 그림 7과 같다. 국수나무 23.3 kgf, 버드나무

17.53 kgf, 병꽃나무 15.81 kgf, 산초나무 11.93 kgf, 싸리나무 11.37 kgf, 산딸기 7.26 kgf의 순으로 나타났다. 그리고 싸리나무, 산초나무 및 산딸기는 수종간의 인발력의 차이는 없는 것으로 나타났다.

4) 근원경 6-8 mm일 때의 뿌리의 인발저항력

뿌리의 직경이 6-8 mm일 때 6종의 뿌리 인발저항력을

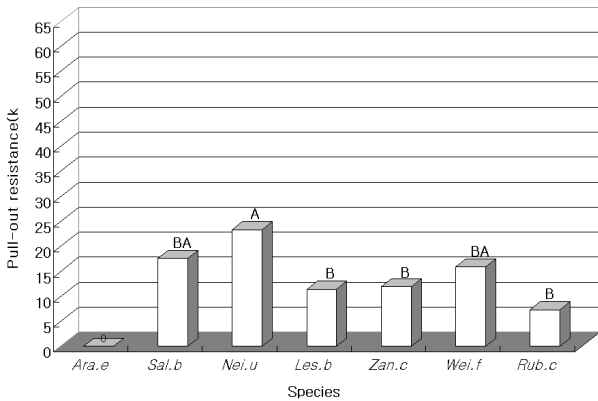


그림 7. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무).

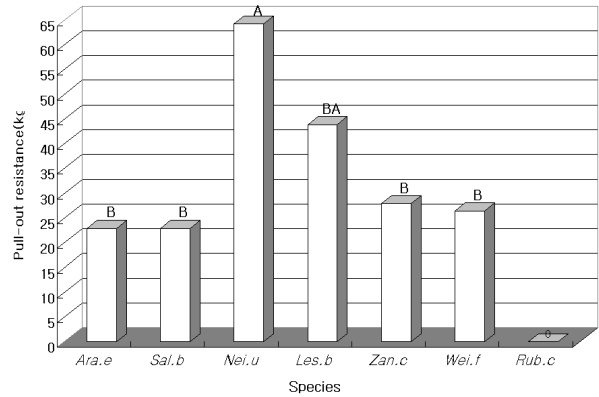


그림 9. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무).

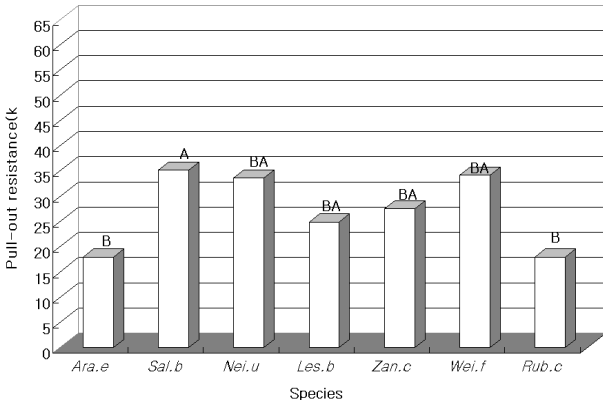


그림 8. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무)

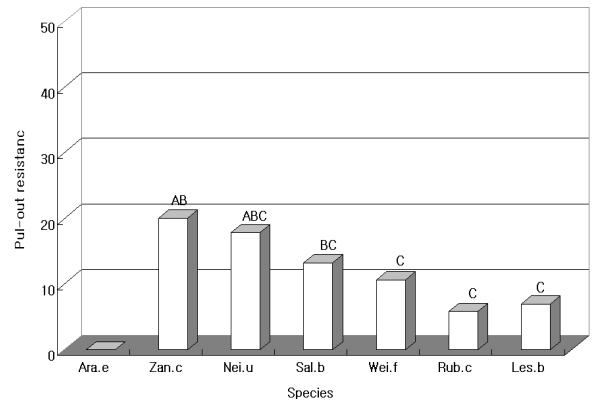


그림 10. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무)

분석한 결과는 그림 8과 같다. 버드나무 35.14 kgf, 병꽃나무 34.12 kgf, 국수나무 33.6 kgf, 산초나무 27.46 kgf, 싸리나무 24.84 kgf, 두릅나무 17.93 kgf, 산딸기 17.89 kgf의 순으로 나타났으며, 버드나무의 인발저항력이 높은 것으로 분석되었다. 또한 다중검정의 결과는 산초나무, 싸리나무 및 병꽃나무 그리고 두릅나무와 산딸기 등이 수종간의 유의성이 없는 것으로 나타났다.

5) 근원경 8-10 mm일 때의 뿌리의 인발저항력

뿌리의 직경 8-10 mm일 때 6종의 뿌리 인발저항력을 측정하여 분석한 결과는 그림 9와 같다. 국수나무 64.17 kgf, 싸리나무 43.85 kgf, 산초나무 27.87 kgf, 병꽃나무 26.43 kgf, 버드나무 22.88 kgf, 두릅나무 22.87 kgf의 순으로 나

타나, 국수나무의 뿌리 인발저항력이 월등히 높은 것으로 분석되었다. 그리고 두릅나무, 버드나무, 산초나무와 병꽃나무는 수종간의 유의성이 없는 것으로 나타났다.

4. 뿌리의 체적에 따른 수종별 인발저항력 특성

1) 뿌리체적 10 ml이하일 때 인발저항력

뿌리의 체적을 기준으로 수종별 인발저항력을 조사한 결과는 그림 10과 같이 산초나무가 20.02 kgf로 가장 높게 측정되었으며, 국수나무 17.8 kgf, 버드나무 13.23 kgf, 병꽃나무 10.62 kgf, 싸리나무 6.93 kgf, 산딸기 5.81 kgf의 순으로 나타났으나, 수종간에는 인발저항력의 차이가 있는 것으로 나타났다.

2) 뿌리체적 10-20 ml일 때 인발력

뿌리의 체적을 기준으로 수종별 인발력과의 관계를 분석한 결과는 그림 11과 같다. 버드나무가 33.41 kgf로 가장 높게 나타났고, 산딸기 18.5 kgf, 병꽃나무 14.03 kgf의 순으로 나타났다. 병꽃나무, 산딸기 및 싸리나무의 인발력은 수종간에는 유의성이 없는 것으로 나타났다.

3) 뿌리체적 20-30 ml일 때 인발력

뿌리의 체적을 기준으로 수종별 인발력과의 관계를 조사한 결과는 그림 12와 같다. 인발력은 병꽃나무 25.07 kgf, 버드나무 23.76 kgf, 국수나무 23.05 kgf, 산초나무 22.88 kgf, 싸리나무 18.3 kgf의 순으로 나타났으나, 수종간의 유의성은 없는 것으로 분석되었다.

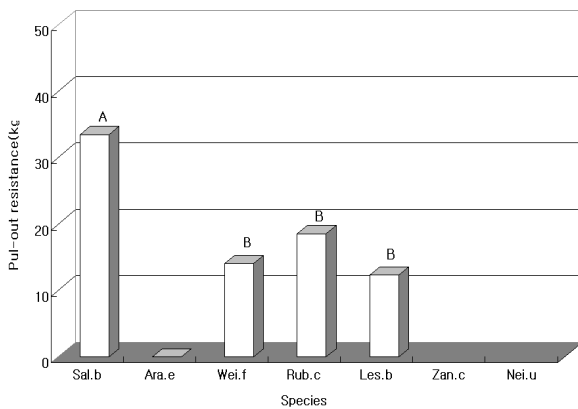


그림 11. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무).

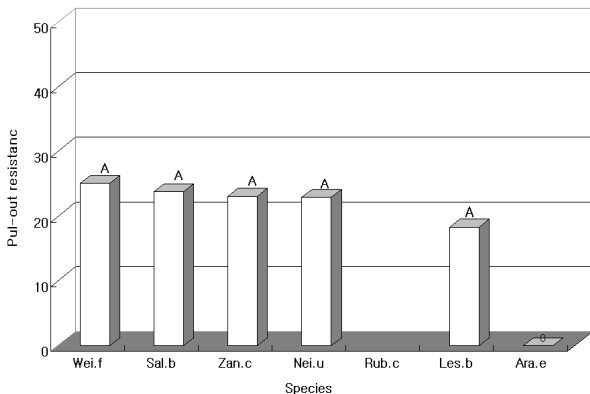


그림 12. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무).

4) 뿌리체적 30-40 ml일 때 인발력

뿌리의 체적을 기준으로 한 수종별 인발력과의 관계는 그림 13과 같다. 버드나무가 42.85 kgf, 병꽃나무 19.37 kgf로 분석되었으며, 다중검정에 의한 결과는 두 수종간의 유의성은 없는 것으로 나타났다.

5) 뿌리체적 40 ml 이상일 때 인발력

뿌리의 체적을 기준으로 수종별 인발력과의 관계를 조사한 결과는 그림 14와 같다. 싸리나무 41.65 kgf, 병꽃나무 34.14 kgf, 산딸기 31.46 kgf, 드릅나무 22.8 kgf로 싸리나무의 뿌리인발저항력이 다소 높은 것으로 분석 되었으나 종간의 유의성 차이는 없는 것으로 나타났다.

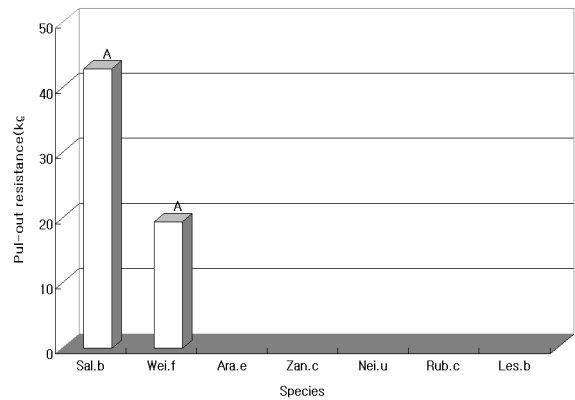


그림 13. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무)

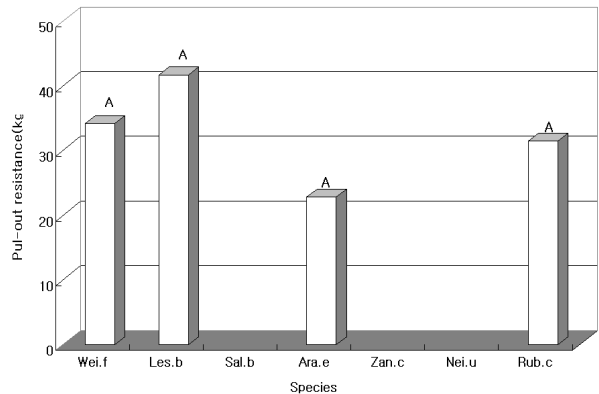


그림 14. 수종별 인발저항력(Zan.c: 산초나무, Nei.u: 국수나무, Sal.b: 버드나무, Wei.f: 병꽃나무, Ara.e: 두릅나무, Rub.c: 산딸기, Les.b: 싸리나무)

결 론

산림훼손지 비탈면 녹화에 주로 사용되는 관목류에 대한 인발강도특성을 정량적으로 구명한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다. 관목류 뿌리의 인발력은 근원경 및 뿌리체적이 클수록 높게 산출되었으며, 평균인발력은 두릅나무 37.26 kgf, 버드나무 34.56 kgf, 국수나무 26.00 kgf의 순으로 측정되었다. 뿌리의 근원경과 인발력과의 관계는 버드나무와 산딸기나무가 가장 상관관계가 높았으며, 산초나무가 가장 낮았다. 또한 뿌리체적과 인발력과의 관계는 싸리나무, 산딸나무가 상관관계가 높은 경향을 보이고 있으며, 산초나무가 뿌리 근원경과 동일하게 상관관계가 가장 낮게 산출되었다. 그리고 뿌리의 근원경에 따른 인발력은 근원경 2-4 mm에서만 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났으며, 뿌리체적에 따른 인발력과는 뿌리체적이 20 ml미만에서는 수종간의 인발력의 차이가 있으나, 20 ml이상인 경우에는 수종간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

금후에는 조사지역에 대한 토질특성, 주변식생과의 뿌리 치합상태, 대상목의 충분한 자료를 취득하여 관목류의 사면 안정효과에 대하여 검토할 예정이다.

요 약

산림 훼손지 비탈면 녹화에 주로 사용되는 관목류 7종에 대한 인발저항실험을 실시하였다. 조사수종의 평균인발력은 두릅나무 37.26 kgf, 버드나무 34.56 kgf, 국수나무 26.00 kgf의 순으로 측정되었으며, 뿌리의 근원경 및 뿌리체적이 크면 클수록 인발력은 높게 산출되었다. 뿌리 근원경과 뿌리 체적에 대한 인발력은 산딸기나무가 가장 상관관계가 높았으며, 산초나무가 가장 낮았다. 그리고 뿌리의 근원경에

따른 인발력은 대부분 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났으며, 뿌리체적에 따른 인발력은 뿌리체적이 20 ml미만에서 수종간의 인발력 차이가 있는 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

- 김동엽, 임상준, 이상호. 2007. 쑥부쟁이와 감국에 대한 뿌리 인발 강도 조사. 산림공학기술 5(1): 1-9.
- 김진아, 임상준, 이상호, 김동엽. 2007. 개나무 뿌리의 비탈면 안정 효과. 산림공학기술 5(2): 105-116.
- 이인모, 정상규, 임충모. 1991. 뿌리의 강도가 자연사면 안정에 미치는 영향에 관한 실험 연구. 대한토목공학회지 7(2): 51-66.
- 지병윤, 오재현, 최병구, 전근우, 차두송. 2004. 수목의 근계구성에 따른 사면의 붕괴방지효과에 관한 연구(IV)-갯나무 뿌리의 인장 특성-. 한국임학회지 93(1): 103-107.
- 지병윤, 정도현, 권권석, 김종윤. 2006. 임도사면 녹화식물뿌리의 인발강도특성에 관한 연구. 한국임학회지 95(1): 45-49.
- 조주형, 이종성. 2000. 식생뿌리의 전단강도 보강에 의한 사면안전을 해석 -갯나무 뿌리를 중심으로-. 한국조경학회지 27(5): 81-93.
- 차두송, 전근우, 지병윤. 2001. 수목뿌리의 인장강도특성에 관한 연구. 2001년도 한국임학회학술연구발표회. 94-95.
- 차두송, 오재현, 지병윤, 전근우. 2002. 수목의 근계구성에 따른 사면의 붕괴방지효과에 관한 연구(I)-소나무 뿌리의 공간분포의 물리적 특성-. 한국임학회지 91(1): 71-78.
- 차두송, 지병윤. 2003. 수목의 근계구성에 따른 사면의 붕괴방지효과에 관한 연구(III)-갯나무 뿌리의 공간분포-. 한국임학회지 92(1): 33-41.
- 차두송, 오재현, 권태호. 2006. 산불피해지의 수목뿌리 부후가 산지사면붕괴에 미치는 영향(IV)-산불피해목 뿌리의 강도저하 모델링-. 한국임학회 학술발표논문집. 71-72.
- 遠藤泰造, 鶴田武雄. 1968. 土の抗張力にあたる根の補強作用について. 林業試験場北海道支場年報: 183-189.
- 阿部和時. 1997. 樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究. 森林総合研究所研究報告 373: 105-181.
- 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.