

식물의 공학적 특성을 고려한 토사사면 보호공에서의 식생선정기법 연구

A Study about the Engineering Properties of Vegetation, One of All Factors to Select Vegetation Species for Soil Slope Protection

유전용¹⁾, Jeon-Yong Yoo, 김현태²⁾, Hyun-Tae Kim, 강병윤³⁾, Byung-Yoon Kang, 반창현⁴⁾ Chang-Hyun Ban, 양영철⁵⁾ Young-Chul Yang

¹⁾ 농업기반공사 농어촌연구원 책임연구원, Chief Researcher, Rural Research Institute, KARICO

²⁾ 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원, Research Fellow, Rural Research Institute, KARICO

³⁾ 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원, Senior Researcher, Rural Research Institute, KARICO

⁴⁾ 농업기반공사 농어촌연구원 연구원, Researcher, Rural Research Institute, KARICO

⁵⁾ (주)자연과환경연구소 주임연구원, Senior Researcher, Nature & Environment Co. Research Institute

SYNOPSIS : This study reviews the engineering properties of vegetation as one of all factors to select vegetation species for slope protection. The vegetation species mainly applied in domestic soil slope protection were inspected, and the root properties such as root pattern, root length, root weight, were analyzed. And then direct shear tests on undisturbed fine sand including roots were performed to review the effect of root reinforcement. From these analyses, it was concluded that the engineering properties of vegetation should be considered to select vegetation species for slope protection.

Key words : root pattern, root length, root weight, root reinforcement

1. 서론

도로, 공업단지, 택지조성 등의 건설과정에서 사면의 형성은 필연적이며, 이러한 사면을 보호하기 위하여 식생공법이 많이 활용되어 왔다. 특히 최근에는 친환경적인 개발요구가 증대됨에 따라 그 이용은 더욱 증가추세에 있다. 사면의 보호공법에 적용하는 식물종의 선정을 위하여 고려해야 할 요소로는 녹화목적, 입지조건, 기상조건 등 많은 요소들이 있으며(한국도로공사, 1995), 생태적 측면에서는 주변 식물상과의 조화를 중요한 요소로 고려하여 선정하여야 한다. 한편 식물의 공학적 특성에 대한 많은 연구 결과를 보면 식물은 사면의 안정에 긍정적인 영향을 미치기도 하고, 부정적인 영향을 미치기도 한다(T.H. Wu, 1995). 따라서 지반공학적 측면에서는 사면의 보호에 이용되는 식물의 공학적 특성을 정확하게 이해하고, 이를 고려한 식생 종류의 선정이 필요하다.

본 연구에서는 국내의 토사 사면보호공에 주로 적용하는 식물상의 종류를 분석하였으며, 이러한 식물상을 중심으로 식물의 공학적 특성 중 보강효과의 주 요인으로 작용하는 뿌리의 pattern과 증량특성을 조사분석 하였다. 또한 Fine sand에서 식물의 뿌리가 포함된 불교란 시료를 채취하여 직접전단시험을 통해서 뿌리밀도가 흙의 강도에 미치는 효과를 규명하였다.

2. 식물의 공학적 특성 고찰

수문학적인 측면에서 식물은 흙 속의 수분함량에 대한 영향을 통해서 간접적으로 사면의 안정에 영향을 미친다. 식물은 잎이나 줄기 등의 구성요소를 통해서 강우를 차단함으로써 부분적으로 침식에너지를 흡수하고, 또 증산을 통해서 흙 속에서 수분을 제거하여 간극수압을 감소시키고, 모관압(Soil suction)을 증가시킨다(Gray, 1979; Gray and Brenner, 1970; Williams and Pidgeon, 1983; Greenway, 1987). 식물뿌리는 흙의 투수계수를 증가시키고, 침투와 수분함량을 증가시키는 반면 식물피복과 접해있는 유기물 층은 침투를 지연시키는 경향이 있다.

수리학적인 측면에서 식물은 침식을 일으키는 지표면 유출량을 제한하고, 흐름 속도를 저하시킨다. 또한 공기흐름에 항력으로 바람의 전단속도를 감소시키며, 이는 공기로부터 운동량을 식물로 전달하는 것을 의미한다.

역학적인 측면에서 식물은 사면의 안정에 기여를 하기도 하고, 반대로 불안정의 원인을 제공하기도 한다. 사면의 안정은 중력이 원인이 되어 활동을 일으키려는 활동력과 흙-뿌리조직의 강도에 의한 저항력에 의해 지배된다. 사면에서 자라는 나무의 무게와 바람에 대한 저항력은 활동을 일으키려는 하중으로 더해지지만, 식물의 뿌리는 흙을 보강시키고 저항력을 증가시키는 작용을 한다. 뿌리는 암반의 절리면을 파고들어 풍화작용을 가속화시킴으로써 사면의 불안정을 가져오기도 한다. 식물은 사람이나 가축, 주행장비 등으로부터 충격을 흡수하여 토양을 보호한다(M.E. Styczen and R.P.C. Morgan, 1995). 사면의 안정성에 대한 식물의 공학적 특성이 미치는 영향을 T.H. Wu(1995)는 표1과 같이 요약하였으며, Coppin and Richards(1990)는 그림1과 같이 식물의 공학적 특성을 개념적으로 잘 표현하고 있다.

표 1. 사면의 안정성에 대한 식물의 영향(T.H. Wu, 1995)

과 정	형 태	안정에 미치는 영향
1. 뿌리는 투수계수, 침투, 간극수압 증가시킴	수문학적	불안정
2. 식물은 차단, 증발산, 간극수압을 감소시킴	수문학적	안정
3. 식물은 자중으로 인하여 사면에 하중으로 작용함	역학적	불안정
4. 식물은 바람에 대한 저항력으로 인하여 사면에 하중으로 작용함	역학적	불안정
5. 뿌리는 흙을 보강함으로써 강도를 증가시킴	역학적	안정

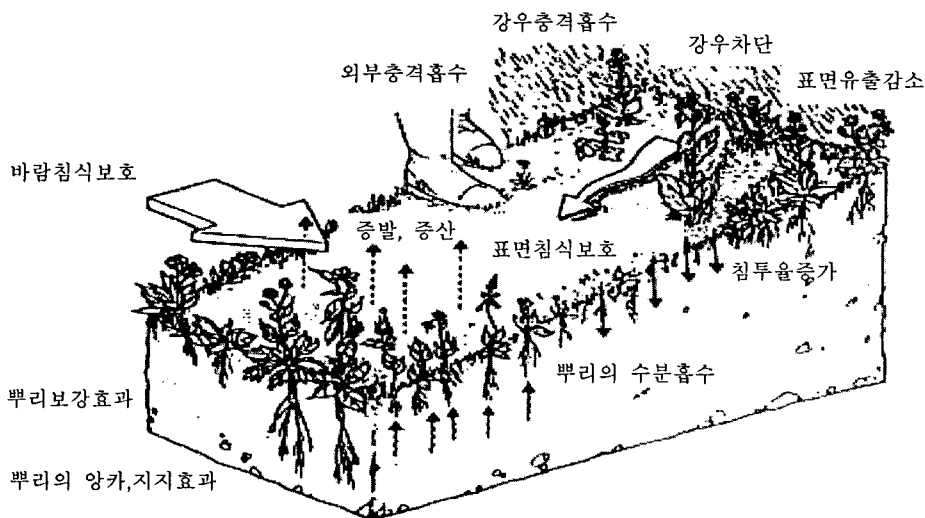


그림 1. 식물의 공학적 역할 개념도(Coppin and Richards, 1990)

3. 국내 사면보호용 식물종의 분석

국내의 사면보호에 주로 사용되는 식물종류를 조사분석 하였다. 초기 피복효과가 우수한 도입초종과 초기 조성속도는 다소 느리나 주변 생태계와 쉽게 친이 될 수 있는 재래식물로 구분하여 정리하였다. 도입초종으로는 Creeping red fescue, Perennial rye grass, Tall fescue 등이, 재래식물로는 쑥, 새, 비수

리, 억새, 잔디, 참싸리 등이 많이 활용되고 있는 것으로 분석되었다(표 2 참조). 조사된 식물을 과별로 분류하면 벼과 식물이 20종(41.7%)으로 가장 많았고, 콩과 식물이 7종(14.6%), 국화과 식물이 5종(10.4%)순으로 나타났다. 이는 벼과, 콩과 및 국화과 식물이 전반적으로 초기생육이 우수하고 환경에 대한 적응성이 강하며 근계의 발달이 좋아 토양 보전효과가 높은 특성을 가지고 있기 때문이라고 판단된다.

표 2. 도입식물 및 재래식물의 발아율 및 평균입수

분류	종	발아율(%)	립수(립수/g)	비 고 ^{*)}	
도입식물	초본	Bermuda grass (우산잔디)	85	3,530	A
		Chewing fescue (나도김의털)	80	1,130	A
		Creeping red fescue	80~96	722~1,130	A,B
		Italian rye grass	90	490	A
		Kenturky-31 fescue	85	440	A
		Kenturky blue grass (왕포아풀)	80	3,850	A
		Oenothera odorata (달맞이)	34	2,900	C
		Orchard grass (오리새)	80	1,800	A
		Perennial rye grass (호밀풀)	86~98	456~500	A,B,E
		Red top	80	11,000	A
		Reed canary grass (갈풀)	60	1,200	A
		Sand love grass	65	3,500	A
		Tall fescue	87~98	430~500	B,E
		Timothy (큰조아재비)	85	2,710	A
		Weeping love grass	79~85	3,300	A
	목본	Alnus firma (사방오리나무)	30~60	750~800	A
		Amorpha fruticosa (죽계비싸리)	50~90	30~40	A,C
		Pinus rigida (리기다소나무)	60	85	D
		Robinia pseudo-acasia (아까시나무)	60~70	47	A
	재래식물	초본	Artemisia japonica (제비쑥)	40~70	1,400~1,800
Artemisia montana (산쑥)			50~80	1,500~2,000	A
Artemisia princeps var.orientalis (쑥)			10~80	3,050~12,500	A,B,C
Arundinella hirta (새)			17~61	636~2,470	A,B,C,D,E
Aster yomena (쑥부쟁이)			85	6,000	E
Cymbopogon tortilis var. goeringii (개솔새)			20~60	515~1,600	A,C
Calamagrostis langsdorffii (산새풀)			40~80	3,500	A
Chrysanthemum zawadskii (구절초)			60	2,000	E
Dianthus chinensis (패랭이)			90	2,000	E
Lespedeza cuneata (비수리)			23~80	483~750	A,B,C,D,E
Lotus corniculatus var. japonicus (벌노랑이)			65	812	E
Lysimachia barystachys (큰까치수영)			10~30	6,000~6,500	A
Miscnathus sinensis var. purpurascens (억새)			20~78	740~2,300	A,C,E
Themrda triandra var. japonica (솔새)			13~95	85~600	A,C
Zoysia japonica (잔디)			30~85	1,500~18,500	A,B,D
목본		Ailanthus altissima (가죽나무)	20	200	E
		Albizia julibrissin (자귀나무)	40~60	25	D,E
		Alnus hirsuta (물오리나무)	31~60	1050~1300	A,C
		Indigofera pseudo-tinctoria (남아초)	50~70	180	D,E
		Lespedeza bicolor (싸리)	32~40	74~135	B,C
	Lespedeza cryptobotrya (참싸리)	20~60	150~1300	A,D,E	
	Pinus densiflora (소나무)	30~60	100~120	A	
	Pinus thunbergii (곰솔)	20~50	80~100	A,E	
	Reynoutria elliptica (호장근)	20~60	500~600	A	
Rhus chinensis (붉나무)	20~40	65~69	D,E		
Sorbaria sorbifolia var. stellipila (개취멍)	80	5,900	E		
Spireae prunifolia var. simpliciflora (조팝나무)	81	11,650	C		
Spireae salicifolia (꼬리조팝나무)	10~20	8000~8500	A		
Weigela subsessilis (벚꽃나무)	40~70	4000~4500	A		

^{*)} A : 한국도로공사(1995), B : 이재필 외 2(1995), C : 전기성 외 1(1996), D : 남상준 외 1(1998), E : 김남춘 외 4(2001)

4. 사면보호용 주요 초종의 뿌리특성 분석

4.1 뿌리 pattern 분석

뿌리의 종류와 pattern이 보강효과를 크게 좌우하는 것으로 알려져 있다(Yen, 1972). 국내의 사면보호에 사용되는 주요 식물종을 중심으로 식물의 근계(그림 2)에 대한 뿌리의 pattern을 분석하였다. 도입식물은 호밀풀, Weeping love grass를 재래식물로는 쭉, 비수리, 억새를 선정하였으며, 특별한 뿌리형태를 갖는 것으로 판단되는 민들레, 벌개미취 및 환경에 대한 적응성이 뛰어난 질경이, 층꽃, 수크령 등을 포함한 식물을 대상으로 조사 분석하였다.

선정된 초종을 중심으로 뿌리의 pattern을 분석한 결과 세근(細根)이 발달하는 타입과 주근(主根)이 발달하는 type으로 구분하였으며, 표3과 같이 세부적으로 6가지 type으로 구분하였다(뿌리형태 명칭은 본 연구에서 임의로 명명하였음).

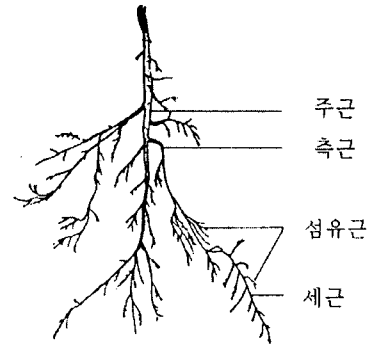


그림 2. 식물의 근계(표현구 외, 1999)

표 3. 대표적 초종의 뿌리 Pattern 구분

뿌리형태	뿌리사진	특 성	식 물 종
A-type		주근과 측근의 구별이 없고 다수의 세근이 속생하여 수염상이 된 뿌리	호밀풀, Weeping love grass, 수크령
B-type		주근과 측근의 구별이 없고 다수의 세근이 비대근으로 발생	질경이, 억새
C-type		주근과 측근의 구별이 없고 다수의 세근이 발생되면서 옆으로 가는 줄기 발생	벌개미취
D-type		주근이 하나 있으며 세근이 수평방향으로 무성하게 발달	쭉
E-type		주근과 측근이 발생하며 뿌리의 수평 및 측면 발달 범위가 넓다	비수리, 층꽃
F-type		주근이 하나 발생하며 측근 및 세근은 약하고 폭이 좁게 발생	민들레

4.2 식물별 지하부의 성장량 분석

뿌리의 pattern과 함께 뿌리의 중량도 보강효과에 한 요소로 작용하고 있는 것이 연구를 통해서 알려져 있다. Tengbeh(1989)는 Loretta grass(Lolium perenne)는 뿌리밀도(RD, root density; Mg/m³)의 함수로서 흙의 점착력(c;kPa)이 증가한다는 것을 밝혀냈다. 따라서 본 연구에서는 보강효과에 한 요소로

작용하는 뿌리의 증량에 대한 특성을 분석하였다.

멸균된 토양을 삼복상자(52cm×36cm×8.5cm)에 5cm 깊이로 복토한 다음 실험대상 식물을 20립씩 파종하여 3반복으로 실시하였다. 발아가 될 때까지 수분을 충분히 공급하고 생육이 우수한 것으로 5주 씩만을 남기고 나머지는 제거하였다. 조사는 근장 및 지하부의 건물중을 측정하였으며, 건물중은 채취된 시료를 기입된 종이봉지에 담아 Dry oven에서 105℃로 24시간 동안 건조시킨 다음 측정하였다. 초종별 성장량을 분석하기 위하여 뿌리에 묻은 흙을 깨끗이 제거하고 근장을 5개체의 식물을 각각 측정하고 평균을 구한 후에 근중을 측정하였다. 지하부의 건물중은 한주당의 무게로 환산하여 사용하였다.

분석결과 이들 초종의 근장 및 근중은 표4와 같으며, 근장에서는 Weeping love grass, 쑥, 비수리, 억새, 층꽃 등의 초종 들이 길게 나타났고, 근중에서는 Weeping love grass, 쑥이 매우 높은 것으로 나타났다. 특히 비수리와 층꽃은 직근성으로 뿌리가 땅속 깊이 발달하지만 근장에 비해 근중의 값이 상대적으로 낮게 나타나는 경향을 보였다.

표 4. 식물별 지하부 성장량 (파종일 : 2002년 4월 25일, 조사일 : 2002년 9월 26일)

식물종	근장(cm)	근중(g)	뿌리타입
Perennial rye grass (호밀풀)	17.80b ^{*)}	0.74bc	A-type
Weeping love grass	31.60a	2.78a	A-type
Artemisia princeps var.orientalis (쑥)	29.80a	3.39a	D-type
Lespedeza cuneata (비수리)	36.20a	0.81bc	E-type
Miscnathus sinensis var. purpurascens (억새)	31.60a	2.0ab	B-type
Caryopteris incana (층꽃)	37.40a	0.69bc	E-type
Pennisetumalopecuroides (수크령)	26.60ab	0.58c	A-type
Taraxacum mongolicum (민들레)	20.60b	0.54c	F-type
plantago asiatica (질경이)	13.60b	0.66bc	B-type
Miyamayomena koraiensis (별개미취)	22.20b	1.23b	C-type

*) Duncan's 다중검정 5% 수준

5. 뿌리보강효과 실험

5.1 뿌리보강효과의 Mechanism

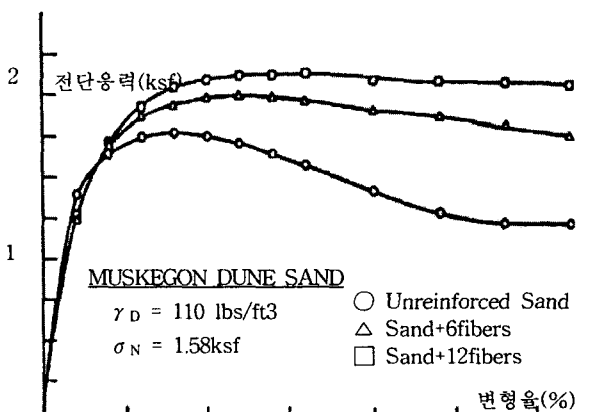


그림 3. 직접전단시험에 의한 응력-변형율 관계 (Gray and Leiser, 1982)

식물 뿌리에 의한 흙의 보강효과와 관련된 연구는 Vidal(1969), Schlosser and Long(1974)의 보강토에 대한 이론정립과 Waldron(1977), Wu(1976), Gray and Leiser의 섬유-흙보강에 대한 이론모델 개발, 뿌리보강된 흙의 현장 및 실내전단시험을 통한 실험적 고찰 (Endo and Tsuruta, 1969; Waldron, 1977; Kassif and Kopelovitz, 1968)등의 방법으로 발전해 왔다.

식물뿌리가 내재된 지반은 상대적으로 높은 인장강도를 가진 탄성체로서의 뿌리가 상대적으로 소성체인 흙 사이로 뻗어나가면서 견고한 결합력을 갖는 복합체로서 거동한다. 흙에서 전단응력이 발휘되면, 뿌리에서 인장력을 일으키고, 이것이 복합체의 강도를 더욱 증가시킨다. 그림 3과 같이 흙-뿌리복합체에 대하여 직접 전단시험에 의한 응력-변형율 관계에서 보듯이 복합체에서의 효과는 전단강도의 증가와 함께 높은 변형율에

서도 잔류강도의 손실이 크지 않다는 점에 있다.

뿌리보강 지반의 전단강도 증가에 대한 견해는 2가지가 있다. 첫째는 그림 4와 같이 뿌리가 내재된 지반은 비등방의 변형특성을 갖고 있으며, 이것은 구속조건 즉, 뿌리에 의해 억제된 변형 방향에서 구속응력의 증가를 의미한다. 이와 같은 구속응력의 증가분이 전단저항력의 증가를 가져오며 이를 “등가구속응력”이라 한다. 등가구속응력의 증가는 외적으로 작용되는 구속응력에 비례하며, 증가 한계치를 한계구속응력(Critical confining stress)이라 한다(Yang and Singh, 1974). 흙-뿌리 복합체에서 한

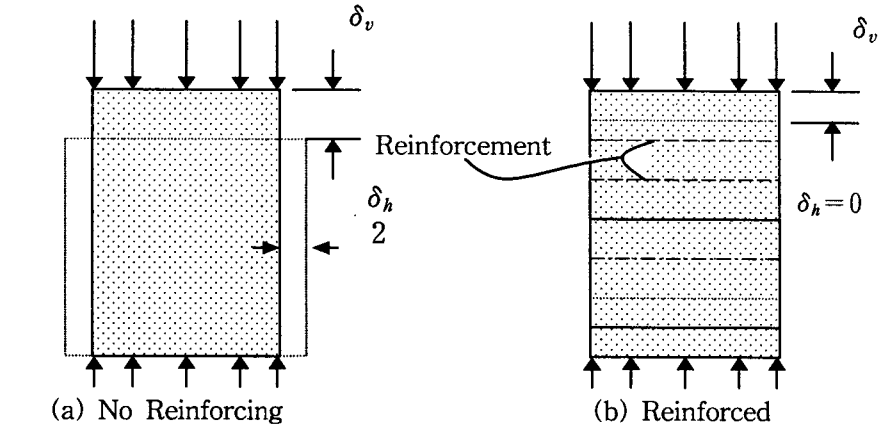


그림 4. 뿌리보강으로 인한 변형억제 효과(Gray and Leiser, 1982)

계구속응력은 뿌리의 인장강도와 신장율, 길이/직경비, 그리고 뿌리와 흙 사이의 마찰특성에 좌우된다. 둘째는 지반에서 뿌리의 보강효과가 가상점착력(pseudo-cohesion) 또는 겉보기점착력(apparent-cohesion)으로 나타난다는 견해이다. 직접전단시험에 의해 측정된 보강효과는 내부마찰각의 증가에는 거의 영향이 없는 것으로 나타나기 때문에 제시된 견해로 보인다(Gray and Leiser, 1982).

5.2 뿌리의 밀도와 흙의 강도

식물뿌리가 내재된 흙이 가지는 전단특성을 규명하고 뿌리에 의한 보강효과의 정도를 알아보기 위하여 직접전단시험을 실시하였다. '98년에 조성된 ○○지구의 준설성토 체체로서 실트분이 약간 섞인 균등 입도의 Fine-Sand로 구성된 사면의 침식방지를 위하여 2001년 9월 양잔디 위주로 파종된 지점을 실험 대상지역으로 선정하였다. 실험 대상식물은 양잔디의 일종인 호밀풀(Perennial rye grass)을 사용하였고, 이 식물의 뿌리는 현장에서 1.0~1.5m까지 토양특성영향에 의하여 비교적 깊게 분포되어 있는 것으로 조사되었다. 뿌리밀도(Root Density, RD)가 차이를 보이는 3지점을 선정하여 식물뿌리와 흙과의 교란을 방지하기 위해 깊이 1.0m까지 스티로폼 박스를 사용하여 Block sampling을 실시하였다. 현장에서 채취한 시료는 직경 6.0cm, 높이 2.0cm로 trimming하여 실내에서 직접전단시험을 실시하였다. 구속압은 식생이 조성된 사면깊이가 1.0~1.5m인 것을 감안하여 0.05kg/cm², 0.1kg/cm², 0.2kg/cm²의 저 구속압을 적용하였다.

실험결과 식물뿌리가 내재된 지반의 습윤밀도는 대략 1.38~1.46g/cm³(평균 1.42g/cm³)로 나타났고, 뿌리밀도 $(RD(\%)) = \frac{\text{뿌리중량}}{\text{흙중량} + \text{뿌리중량}} \times 100$ 는 1.5%이하인 것으로 나타났다.

그림 5는 뿌리밀도(RD(%)) 변화에 따른 전단시 응력-변형을 관계를 구속압 0.1kg/cm²에 대하여 비교한 것이다. 뿌리가 내재되지 않은 원지반에서의 응력-변형을 곡선은 비교적 작은 변형율에서 최대 전단응력이 나타난 후 변형율의 증대에 따른 응력의 감소가 명백하게 나타나는 반면, 뿌리밀도가 증가됨에 따라 비교적 큰 변형율까지 최대전단응력이 나타나지 않으며 변형율 증가에 따라 계속해서 응력이 감소되지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 변형율이 증가하는 과정에서 뿌리의 인장파괴가 발생되지 않았거나 뿌리밀도가 증가함에 따라 일부는 인장파괴에 도달하더라도 파괴에 도달하지 않은 나머지가 계속해서 전단파괴에 저항력으로 작용하기 때문이다.

그림 6은 뿌리밀도에 따른 대표적인 전단시험결과를 보인 것으로 점착력은 대략 0.05~0.15t/m²으로 나타났고, 뿌리밀도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 반면 내부마찰각은 대략 35~40°로 나타

났지만 뿌리밀도에 따라 일정한 변화를 보이지는 않았으며, 습윤밀도가 같은 조건에서는 대체적으로 유사한 값으로 나타났다. 이는 뿌리보강효과는 점착력에 큰 영향을 미치지만 내부마찰각에는 영향이 없다는 기존연구와도 같은 결과이다.

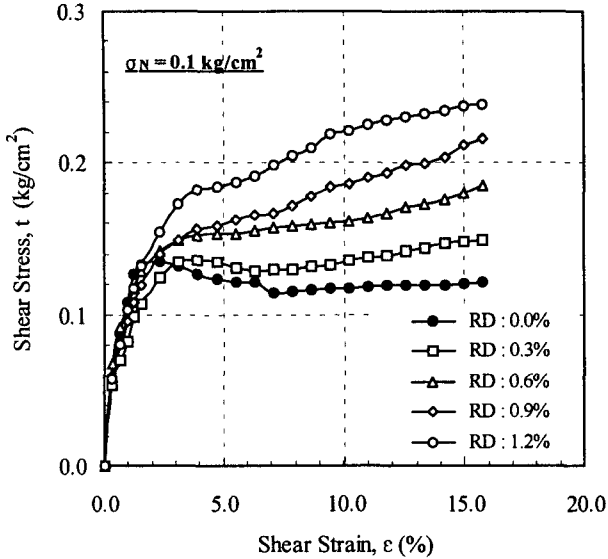


그림 5. 뿌리밀도에 따른 전단응력-변형을 관계

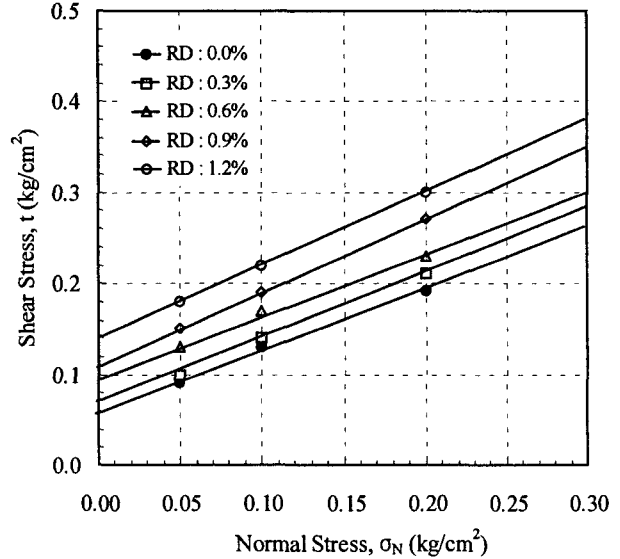


그림 6. 뿌리밀도에 따른 전단상수 변화 관계

그림 7은 뿌리밀도와 점착력간의 상관성을 분석한 것이다. 뿌리밀도와 점착력간의 상관성 분석에 앞서 습윤밀도의 변화에 따른 오차를 줄이기 위해 습윤밀도의 평균값 1.42g/cm³에 해당되는 뿌리가 내재되지 않은 시료의 점착력을 기준으로 각각의 밀도에서 얻어진 점착력을 수정하였다. 이상의 수정을 통해 뿌리밀도와 점착력(c:t/m²)간의 상관성을 분석해 보면

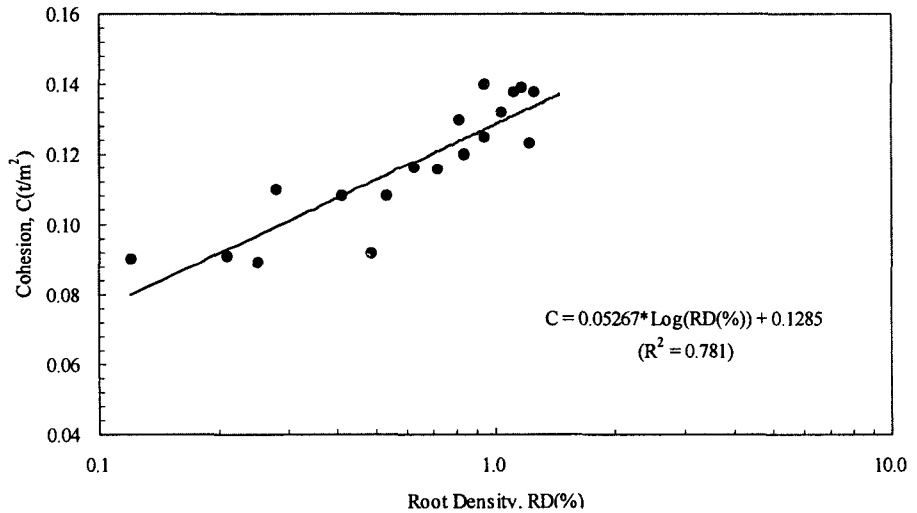


그림 7. 뿌리밀도와 점착력의 상관관계

$$C = 0.05267 \times \text{Log}(RD(\%)) + 0.1285 \quad (R^2 = 0.781) \quad (1)$$

의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 뿌리밀도에 따른 점착력과의 관계에 대하여는 Tengbeh(1989)가 Loretta grass(Lolium perenne)의 뿌리밀도(RD;Mg/m²)의 함수로서 흙의 점착력(c;kPa)이 모래질점토로 움에서는 $c = 10.54 + 8.63 \log RD$ ($r = 0.99, n = 16$), 점성토에서는 $c = 11.14 + 9.8 \log RD$ ($r = 0.99, n = 11$)의 경향으로 증가한다고 발표한 바 있다(참고문헌 11 참조). 본 연구와 Tengbeh의 결과가 다른 것은 식생지반, 식물종, 뿌리형태, 실험조건(구속압 등), 기타의 요인에 기인한 것으로 판단된다. 비록 증가되는 경향은 일정치 않지만 뿌리밀도의 함수로서 점착력이 증가한다는 결과는 일치하는 것을 알 수 있다. 이를 통해 식물뿌리가 내재된 얇은사면의 흙에서 전단저항력은 점착력의 증가로 나타난다는 결론을 얻었다.

6. 결론

본 연구는 사면의 보호공법에 적용하는 식물종의 선정을 위하여 고려해야할 요소로 식물의 공학적인 특성을 제시하고자 수행하였다. 국내의 사면보호에 많이 활용하고 있는 식물종을 분석하였으며, 분석된 식물종의 대표종을 선정하여 뿌리pattern, 길이, 무게 등의 뿌리특성을 분석하였다. 현장에서 뿌리가 포함된 시료를 채취하여 실내에서 직접전단시험을 실시하여 뿌리보강효과를 분석하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 문헌자료를 토대로 국내사면 보호용 식물종 분석결과, 도입초종으로는 Creeping red fescue, Perennial rye grass, Tall fescue등이, 재래식물로는 쭉, 새, 비수리, 억새, 잔디, 참싸리 등이 많이 활용되고 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 주요 초종의 뿌리특성분석 결과, 6가지 Type으로 뿌리 Pattern을 분류할 수 있었으며, 뿌리길이, 중량 분석결과, 길이에서는 Weeping love grass, 쭉, 비수리, 억새, 층꽃 등의 초종들이 길게 나타났고, 중량에서는 Weeping love grass, 쭉이 매우 높은 것으로 나타났다.
- 3) Fine sand 사면에서 양잔디 일종인 호밀풀의 뿌리가 포함된 식생지반의 보강효과 정도를 알아보기 위한 직접전단시험결과, 뿌리밀도에 따라 점착력이 식(1)과 같은 경향으로 증가하는 것으로 나타났다. 이를 통해 식물뿌리가 내재된 얇은사면의 흙에서 전단저항력은 점착력의 증가로 나타난다는 것을 알 수 있었다.
- 4) 이상의 결과를 종합해 볼 때, 사면보호를 위한 식물종의 선정시 식물의 공학적 요소를 고려할 필요가 있다는 결론을 얻었다.

7. 향후 연구방향

식생뿌리의 pattern, 길이, 무게 등 뿌리의 특성을 반영한 종자배합을 통하여 보호공으로서의 효율성을 극대화 할 수 있는 방안에 대한 연구와, 다양한 토질별, 뿌리의 종류별, Pattern별 보강효과 정도를 분석할 수 있는 이론 및 모델개발, 적절한 현장 및 실내시험을 통한 효과 확인에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김남춘, 강진형, 이준우, 남상준, 이원한(2001), "마사토 비탈면의 생태복원 녹화기술 개발 연구", 한국환경복원녹화기술학회지, 제 4권, 제 3호, pp.84-95.
2. 남상준, 김남춘(1998), "자연표토 복원공법에 의한 암비탈면의 한국잔디와 목본류 종자과중에 의한 녹화", 한국환경복원녹화기술학회지, 제 1권, 제 1호, pp.141-150.
3. 이인모, 정상규, 임충모(1991), "뿌리의 강도가 자연사면 안정에 미치는 영향에 관한 실험연구", 대한토질공학회지, 제 7권, 제 2호, pp.51-66.
4. 이재필, 김남춘, 홍성권(1995), "도로사면녹화를 위한 식생배합에 관한 연구", 한국조경학회지, 제 23권, 제 2호, pp.113-123.
5. 전기성, 우보명(1996), "녹화용 자생 목본식물과 초본식물종자의 혼파처리에 관한 연구", 한국임학회지, 제 85권, 제 2호, pp.271-279.
6. 조주형, 안봉원(1998), "식생뿌리에 의한 비탈면 안정과 보강에 관한 실험적 연구", 한국환경복원녹화기술학회지, 제 1권, 제 1호, pp.59-62.
7. 표현구, 광병화, 김정호(1999), "원예사전", 농경과 원예, p.64.
8. 한국도로공사(1995), "고속도로 절토비탈면 녹화공법 연구", 한국도로공사, pp.133-136.
9. D.H. Bache and I.A. MacAskill(1984), "Vegetation in Civil And Landscape Engineering", Granada Publishing Ltd, pp.1-22.
10. D.H. Gray and A.T. Leiser(1982), "Biotechnical Slope Protection And Erosion Control", Krieger Publishing Co. Malabar, Florida, pp.37-65.
11. R.P.C. Morgan and R.J. Rickson(1995), "Slope Stabilization and Erosion Control A Bioengineering Approach", Silsoe College, Cranfield University, UK, pp.5-58, pp.221-264.