토양경도에 따른 비탈면 식생 특성에 관한 연구*

길승호¹⁾ · 이동근²⁾ · 안동만²⁾ · 구미현¹⁾ · 김태연³⁾

¹⁾ 서울대학교 대학원 · ²⁾ 서울대학교 조경 · 지역시스템공학부 · ³⁾ (주) 대우건설

A Study on the Vegetation Properties of Slope Areas according to the Soil Hardness*

Kil, Sung-Ho¹⁾ · Lee, Dong-Kun²⁾ · Ahn, Tong Mahn²⁾ · Koo, Meehyun¹⁾ and Kim, Te Yon³⁾

¹⁾ Graduate School, Seoul National University,

²⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,

³⁾ Daewoo E&C.

ABSTRACT

This study was conducted on the measurement of soil hardness through a hardness testing machine in slopes of natural environments and artificial environments which is generally known as slope revegetation. The soil hardness as one of physicochemical soil properties is significantly associated with plant growth. Although another studies related to the slope revegetation was focused on herbaceous plants, studies related to soil properties for arbor appearance is lack. It was focused on the correlation analysis between the soil hardness and the plant appearance. the results were as follows :

The higher the soil hardness is, the less the appearance of plants is as a result of survey. Species appearing in the high levels of the soil hardness represented mugwort and grass. The levels of the soil hardness in the slope of natural environments was good environmental conditions with various plants in the range of 6 to 12mm. The levels of the soil hardness in the slope revegetation was in the 6.88-30mm range. The soil hardness below 21mm showed a variety of plants with arbors and herbaceous plants, whereas it above 21mm represented a monotonous style of plant structure including

* 이 논문은 2012년도 환경부 차세대 에코이노베이션 기술 개발사업의 지원으로 수행되었음(과제번호 : 416-111-014).

First author : Kil, Sung-Ho, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4885, E-mail : todd219@snu.ac.kr

Corresponding author : Lee, Dong-Kun, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4875, E-mail : dkleee7@snu.ac.kr

Received : 25 July, 2012. **Revised** : 23 August, 2012. **Accepted** : 13 September, 2012.

Artemisia princeps, *Lolium perenne*, *Poa pratensis* L and *Setaria viridis*. The result of the correlation analysis between the soil hardness and the plant appearance was negatively correlated with justifiable significance levels. The result of a logistic regression analysis for tree appearance was statistically proved when the numerical value of the soil hardness is lower.

Key Words : *Ecological Restoration, Soil Properties, Revegetation Plants, Construction Works.*

I. 서 론

각종 개발로 인한 고속국도 및 주택단지 건설 등 대규모 건설공사로 인하여 인위적인 비탈면이 형성되고 있으며, 이와 병행하여 훼손지의 복구를 위한 다양한 비탈면 녹화 공법들이 시행되고 있다. 하지만, 훼손지의 빠른 복구를 위해 외래초본종을 도입한 공법의 적용은 주변 식생과 조화롭지 못한 경관 조성 및 녹화공사 후 수년 내에 외래 초본류가 쇠퇴하면서 비탈면이 다시 황폐화되고 침식 등의 피해를 유발하였다. 또한 녹화 초기에 조성한 녹화 식물 계열 중 일부는 지나치게 밀생함으로써 주변 식생의 2차 침입을 방해하는 등 자연 친화적인 복원에 역행하는 결과들을 가져왔다(김남춘 등, 2005).

이러한 가운데, 환경친화적이고 생태적인 비탈면 녹화를 위해서는 녹화식물의 생육특성 등에 대한 조사와 더불어 식생 정착의 기반이 되는 질토비탈면의 토양 특성에 대한 조사 및 연구가 필요하다는 목소리가 높아지고 있다(박관수 등, 2006). 비탈면의 토양 조건은 식물 생육에 가장 중요한 영향을 미치는 환경 인자로서 식물의 정착 및 지속적인 유지를 위한 녹화 복원의 성공여부에 결정적인 영향을 미치기 때문에 그에 대한 조사 및 연구는 꼭 필요하다(박관수 등, 2006).

이와 같은 토양 특성 중 하나인 토양경도는 토양의 뿌리신장이 용이한지, 식물 발아 생육에 지장이 없는지의 여부를 판단하는 중요한 요소로 Hand-push형, 관입식 경도계 등의 다양한 방식으로 측정되고 있다. 우리나라의 경우 Hand-push형의 산중식(山中式) 경도계가 많이 사용되고 있다.

국토해양부(2009)의 비탈면 녹화 공법 평가 기준에 따르면 토양경도 측정 시 산중식 경도계를 이용하여 원추후지길이 mm를 활용하여 평가하고 있다.

토양경도와 식생 생육간의 관계에 대한 선행 연구를 보면 다음과 같다. 김기곤(2004)은 20mm 이상인 경우 토양개량이 필요하며, 30mm 이상인 경우에는 식물 생육이 곤란하다고 하였다. 류순호(2002)는 25mm 이상일 경우 투수불량, 뿌리신장 저해, 10mm 이하이면 연약한 토양으로 분류하였다. 오구균 · 김도균(2007)은 23mm 이하일 때, 식물 발아생육이 양호하게 나타난다고 하였다. 長谷川秀三(2006)은 27mm 이상일 경우 다양한 뿌리 침투가 어렵고, 24~27mm일 경우 뿌리 발달이 저해되며, 20~24mm일 경우, 뿌리 발달 저해 수준이 있을 수 있다고 하였고, 11~20mm일 경우 뿌리 발달 저해가 없으며, 11mm 이하일 경우, 토양지지력이 저하되거나 건조할 수 있으나 뿌리 발달에는 문제가 없는 것으로 판정하고 있다. 국토해양부(2009)는 비탈면 녹화 기반재 평가에서 11~23mm는 양호, 11mm 미만 및 27mm 초과는 불량, 23~27mm는 보통으로 분류하고 있다.

이를 종합적으로 검토해 보면, 다음의 표 1과 같이 해석될 수 있다.

이와 같이 토양경도는 토양의 물리화학적 특성을 중 나타내는 도구로서 식물의 생육에 밀접한 관련이 있다. 토양경도를 포함한 비탈면 토양 관련 연구를 살펴보면, 전권석 · 마호섭(2004)은 경과년수, 표고, 방위, 비탈면위치, 비탈면형, 비탈면경사, 비탈면길이, 토양경도, 토성, 유효토심

표 1. 토양경도와 식생기반 특성과의 관계.

	식생기반 특성	판정
11이하	식물 생육에는 문제가 없으나 지지력 및 건조의 위험성 존재	△
11~20	식물 생육 원활	○
20~23	다양한 식물 생육은 어려움 (특정 식물은 생육 불가능)	△
23~27	뿌리 발달에 다소 어려움	×
27이상	식물 생육 곤란	××

범례) ○ : 양호, △ : 보통, × : 불량, ×× : 매우불량.

및 석력함량에 대해 분석하였으며, 전기성(2007)은 토양특성에 대한 분석으로 토양경도, 토양산도, 토양습도를 조사 및 분석하였다. 하지만, 각 연구들은 초화류에 초점을 두고 있으며, 목본 출현에 대한 토양 특성에 따른 연구는 부족한 실정이다. 특히, 현장에서 뿌리신장 및 발아 생육에 중요한 역할을 하고 있는 토양경도에 따른 생육 특성에 대한 연구는 미비한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 비탈면 녹화에서 나타난 토양경도와 자연비탈면에서 나타난 토양경도를 상호비교해보고, 이를 통해 비탈면 녹화이후 토양경도에 따른 식생 특성을 고찰해보고자 하였다. 특히, 토양경도와 출현종수에 대한 상관성을 분석하기 위하여 조사한 자료를 통해 출현종수와 토양경도와 상관분석을 실시하였으며, 이 둘 사이의 관계를 확인하기 위한 회귀모형을 추정하였다. 또한, 출현종수 중 초본(草本)과 목본(木本)¹⁾으로 나누어 목본이 출현한 곳을 1로 지정하고, 초본이 나온 곳을 0으로 지정하여 이항 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 이는 목본의 출현여부와 토양경도와의 특성을 비교하는데 목적을 두고 있다.

그림 1. 연구흐름도.

II. 연구의 방법 및 연구내용

1. 연구 방법

비탈면 녹화에 쓰이는 녹화자재의 토양경도 특성을 알아보기 전에 자연환경에서의 토양경도를 확인하였다. 이는 현재 자연환경의 토양경도 및 식생특성을 파악하여 비탈면 녹화기반재의 특성과 비교를 위한 참고자료로 확인하기 위함이다.

자연환경의 산림 가장자리에 해당하는 지역²⁾ 3곳과 핵심지역으로써 산림 내부지역 3곳을 선정하여 10m×10m에서 나타난 출현종수, 토양경도, 토양습도(%), 토양산도(pH), 경사도, 방위를 파악하였다.

다음으로 개발이후 비탈면 안정성을 확보하기 위하여 녹화공법을 적용한 곳(45곳)을 대상으로 식생현황, 토양경도, 토양습도(%), 토양산도(pH), 경사도, 방위를 파악하였다. 이 중 12곳은 양잔디 또는 초화류 위주 공법을 선정하였으며, 33곳은 목본 및 초본 생육이 가능한 식생기반재뽕어붙이 공법을 선정하였다. 녹화공법이 적용된 장소는 다음의 표 2와 같다.

1) 목본(木本)은 큰키나무(교목) 및 작은키나무(관목)을 포함한 것으로 하였다.

2) 가장자리는 도로 및 개발지와 인접한 곳에서 40m 내외로 김은영(2010) 논문을 근거로 대상지 선정.

표 2. 조사대상지의 방위 및 위치.

구분	번호	위치	조사일자
자연환경	1	경기도 시흥시 연성동, 장곡동, 월곶동 자연림(가장자리)	2011. 10. 15
	2	경기도 시흥시 연성동, 장곡동, 월곶동 자연림(산림 내부지역(핵심지역))	2011. 10. 15
	3	경기도 시흥시 연성동, 장곡동, 월곶동 자연림(가장자리)	2011. 10. 15
	4	경기도 시흥시 연성동, 장곡동, 월곶동 자연림(산림 내부지역(핵심지역))	2011. 10. 15
	5	경기도 시흥시 연성동, 장곡동, 월곶동 자연림(가장자리)	2011. 10. 15
	6	경기도 시흥시 연성동, 장곡동, 월곶동 자연림(산림 내부지역(핵심지역))	2011. 10. 15
인공환경	7	서울-춘천 고속국도 (1)	2011. 10. 16
	8	서울-춘천 고속국도 (2)	2011. 10. 16
	9	서울-춘천 고속국도 (3)	2011. 10. 16
	10	강원도 춘천시 온의시외버스터미널 부근 2차조사	2011. 10. 16
	11	용인-서울 고속국도 (1)	2011. 12. 6
	12	용인-서울 고속국도 (2)	2011. 12. 6
	13	용인-서울 고속국도 (3)	2011. 12. 6
	14	충남 옥천 37번 국도 확장공사 비탈면 녹화 시험시공 (1)	2009. 9. 16
	15	충남 옥천 37번 국도 확장공사 비탈면 녹화 시험시공 (2)	2009. 9. 16
	16	충남 옥천 37번 국도 확장공사 비탈면 녹화 시험시공 (3)	2009. 9. 16
	17	충남 옥천 37번 국도 확장공사 비탈면 녹화 시험시공 (4)	2009. 9. 16
	18	충남 옥천 37번 국도 확장공사 비탈면 녹화 시험시공 (5)	2009. 9. 16
	19	경상남도 김해시 상동면 국도 비탈면 녹화 시험시공 (1)	2010. 12. 7
	20	경상남도 김해시 상동면 국도 비탈면 녹화 시험시공 (2)	2010. 12. 7
	21	경상남도 거제도 14번 국도 비탈면 녹화 시험시공 (1)	2010. 5. 11
	22	경상남도 거제도 14번 국도 비탈면 녹화 시험시공 (2)	2010. 5. 11
	23	경상남도 거제도 14번 국도 비탈면 녹화 시험시공 (3)	2010. 5. 11
	24	경상남도 거제도 14번 국도 (1)	2010. 8. 12
	25	경상남도 거제도 14번 국도 (2)	2010. 8. 13
	26	경상남도 거제도 14번 국도 (3)	2010. 8. 12
	27	경상남도 거제도 14번 국도 (4)	2010. 8. 12
	28	경상남도 거제도 하수종말처리장 부근	2010. 8. 12
	29	경기도 광주시 도척면 곤지암 리조트 부근	2010. 8. 9
	30	경상북도 구미시 도량동 부근	2010. 7. 31
	31	경기도 남양주시 영화종합촬영소 부근	2010. 8. 19
	32	경기도 남양주시 화도하수처리장 부근	2010. 8. 19
	33	경상북도 문경시 동로면 별재 부근	2010. 7. 24
	34	부산시 기장군 장안면 산업단지 부근	2010. 8. 13
	35	서울시 성북구 성북동 삼청각 부근	2010. 8. 9
	36	경상북도 영주시 풍기읍 수철리 부근	2010. 7. 24
	37	경상북도 영주시 문정동 부근	2010. 7. 25
	38	경상북도 영주시 장수면 반구리 부근	2010. 7. 25
	39	경상북도 영주시 가흥동 하천변	2010. 7. 25
	40	울산시 울주군 서생면 서생리 간절곶스포츠파크	2010. 8. 1
	41	강원도 원주시 행구동 KT 리더쉽 아카데미 부근	2010. 7. 31
	42	강원도 원주시 지정면 간현리 간현유원지 하천변	2010. 7. 31
	43	강원도 춘천시 온의시외버스터미널 부근 1차조사	2010. 7. 27
	44	경기도 파주시 문산읍 당동리 문산고등학교 부근	2010. 8. 5
	45	경기도 성남시 분당구 백현동 한국토지주택공사 판교사업본부 부근	2010. 8. 9
	46	경기도 성남시 분당구 백현동 낙생대 공원 부근	2010. 8. 9
	47	강원도 양양군 서면 오색리 한계령 휴게소 부근	2010. 7. 26
	48	강원도 삼척시 근덕면 상맹방리 한재소공원 부근	2010. 7. 26
	49	강원도 정선군 고한읍 고한리 함백산 부근	2010. 7. 25
	50	경기도 평택시 군부대 (1)	2010. 9. 7
	51	경기도 평택시 군부대 (2)	2010. 9. 7

표 3. 조사대상지 일반 조사 현황.

구분	번호	총 출현 종수	토양경도 (mm)	토양습도 (%)	토양산도 (pH)	경사도	방위
자연 환경	1	13	12	0.5	7	14.5	북사면
	2	7	6	0.5	6.95	20	북사면
	3	17	7	35	6.9	16	남사면
	4	11	11	8	6.9	23	동사면
	5	6	7	40	7	19	남사면
	6	16	7	40	7	19	남사면
인공 환경	7	2	21.4	10	6.7	67	북사면
	8	4	6.9	38	6.9	48	북사면
	9	3	10.12	0.2	6.85	45	북사면
	10	11	6.8	0.17	6.8	55	동사면
	11	2	24	0.5	6.9	62	동사면
	12	1	23	0.5	7	64	동사면
	13	2	24	0.5	6.95	58	동사면
	14	7	21	0.5	6.9	55	남사면
	15	2	30	0.2	6.9	55	남사면
	16	9	22	0.6	6.9	55	남사면
	17	2	30	0.2	6.9	55	남사면
	18	2	25	0.1	7	55	남사면
	19	12	13.9	22.6	6.94	43	남사면
	20	4	18.6	21	6.9	43	남사면
	21	7	13	3	6.9	42	동사면
	22	2	16.5	4	6.9	42	동사면
	23	3	13	4	7	42	동사면
	24	17	8	59	6.88	45	동사면
	25	11	16	70	6.4	45	남사면
	26	12	12	72	6	63	북사면
	27	11	18	68	6.2	45	북사면
	28	20	6	40	6.8	45	북사면
	29	11	4	80	6.92	45	북사면
	30	22	8.5	65	6.88	45	서사면
	31	25	4	62	6.4	55	동사면
	32	19	4	59	6.9	43	북사면
	33	20	4	62	6.85	45	북사면
	34	26	14	68	6	50	북사면
	35	24	6	50	7	39	남사면
	36	16	6.3	68	6.75	45	남사면
	37	17	3.5	50	7	55	북사면
	38	26	3	28	6.88	63	동사면
	39	11	8	0	6.98	50	동사면
	40	15	8.5	5	7	49	북사면
	41	42	3	38	6.93	49	서사면
	42	19	12.5	58	6.88	54	서사면
	43	25	9	30	6.89	50	남사면
	44	18	12	10	6.9	48	남사면
	45	21	4	60	6.8	53	북사면
	46	24	6	48	6.9	50	동사면
	47	22	8	69	6.9	55	동사면
	48	29	3.5	3	6.9	55	동사면
	49	16	3	58	6.9	45	동사면
	50	13	9.5	62	6.2	45	북사면
	51	11	8	80	6	63	동사면

각 대상지에서는 1m×1m로 방형구를 통해 조사하였으며, 출현종수, 토양경도, 토양습도(%), 토양산도(pH), 경사도 등을 파악하였다. 토양경도는 토양경도계(SHM-1)을 활용하였고, 방형구별 자연산림 지역에서는 랜덤하게 10회 측정하여 평균을 내었으며, 인공적으로 비탈면 녹화공이 시공된 곳은 방형구별 5회 측정을 실시하여 평균을 내었다. 토양산도와 토양습도는 토양 산습도 측정기(DM-5)를 활용하여 분석하였다. 출현종수는 원색 대한식물도감(이창복, 2006), 야생화 쉽게 찾기(송기엽, 2003) 등의 식물도감을 활용하여 동정하였다.

그 다음 출현종수와 토양경도, 목본출현유무와 토양경도와의 관계는 통계프로그램을 이용하여 분석하였다. 조사 자료에 대한 검증, 출현종수와 토양경도와의 상관성 분석, 추정 회귀분석, 이항로지스틱 회귀분석 등의 통계분석 프로그램은 SPSS 12.0을 활용하였다.

2. 조사대상지 환경

조사대상지에서 자연환경 대상지는 경기도 시흥시 연성동, 장곡동, 월곶동의 자연림으로써 면

그림 2. 자연환경 비탈면 조사대상지.

적은 438,720,76㎡이며 임상도에 나타난 영급은 II이다. 조사는 2011년도 10월 15일에 실시하였다. 조사지의 현황은 다음의 그림 2와 같다.

인공적으로 조성한 비탈면 녹화 대상지는 2009년 9월 16일부터 2011년 12월 6일까지 조사한 총 45곳을 대상으로 하였다. 조사대상 시점은 일부 대상지(용인-서울 고속국도 및 김해 상동면 국도 시험시공)를 제외한 대부분 7월부터 10월에 조사를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 분석결과

1) 출현종수

출현종수는 각 조사지마다 많은 차이를 보였다. 우선 자연환경 지역의 비탈면 현황을 보면, 가장자리가 내부지역보다 출현종수가 더 많을 것으로 예상되었지만, 5번과 6번은 이와 다르게 가장자리 지역보다 오히려 내부지역의 출현종수가 더 많이 나타났다. 이는 조사 당시 개발지와 인접한 지역과 불과 40m를 바로 벗어난 곳에서 조사하여 나타난 결과로 추측된다.

인공환경 비탈면 조사지역에서는 토양경도 21mm이하인 곳에서 자귀나무, 아까시나무, 붉나무, 버드나무, 벽오동나무, 일본잎갈나무, 참싸리, 낭아초 등이 목본이 출현하였다. 토양경도가 21mm이상인 곳에서는 환삼덩굴, 양잔디³⁾, 강아지풀이 출현하였으며, 일부 지역(8번과 20번)에서는 토양경도가 낮았지만, 목본이 출현하지 않았다.

2) 토양산도

토양산도는 대부분 6.0~7.0으로 나타났으며,

3) 양잔디는 일반적으로 서양잔디로 tall fescue, perennial ryegrass 등 포아풀 형태로 나타나지만, 열매 및 화서의 형태에 따라 달라지므로 현장조사 여건상 식물동정시 구분하지 않고 하나로 통칭하여 조사하였다.

표 4. 조사대상지 식생현황.

구 분	번호	출현 종수	교목	관목	초화류
자연 환경	1	13	졸참나무, 리기나 소나무, 아까시나무, 밤나무, 붉나무, 누리장나무, 신갈나무, 옻나무, 상수리나무	산철쭉, 난티잎개암 나무, 누리장나무	주름조개풀
	2	7	신갈나무, 밤나무, 소나무, 상수리나무, 옻나무, 생강나무	진달래	
	3	17	밤나무, 아까시나무	조팝나무, 개나리	별꽃, 닭의장풀, 줄깨잎나물, 머느리배꼽, 칩, 쫄레, 미 국자리공, 환삼덩굴, 금불초, 쥐방울덩굴, 꼭두서니, 청 가시, 여뀌
	4	11	상수리나무, 신갈나무, 생강나무, 옻나무	화살나무, 개암나무, 난티잎개암 나무, 진달래	둥글레, 포아풀, 진득찰
	5	6	상수리나무, 아까시 나무, 벚나무	쫄레, 참싸리	칩
	6	16	떡갈나무, 밤나무, 보리수나무, 상수리 나무, 신갈나무, 때죽 나무, 아까시나무	미국자리공, 화살나무, 싸리나무, 조팝나무	칩, 쫄레, 주름조개풀, 줄사철, 억새
인공 환경	7	2			환삼덩굴, 양잔디
	8	4			자귀풀, 갯능쟁이, 양잔디, 비수리
	9	3	일본잎갈나무		금계국, 명아주
	10	11	자귀나무, 아까시나무, 붉나무, 버드나무, 벽오동나무	참싸리, 낭아초	강아지풀, 금계국, 비수리, 큰달맞이
	11	2			강아지풀, 양잔디
	12	1			양잔디
	13	2			쭉, 양잔디
	14	7	-	참싸리	수레국화, 벌노랑이, 쭉부쟁이, 쭉, 춘자국, 양잔디
	15	2	-	-	쭉, 양잔디
	16	9	자귀나무	참싸리, 낭아초	금계국, 루드베키아, 벌노랑이, 쭉부쟁이, 과꽃, 양잔디
	17	2	-	-	쭉, 양잔디
	18	2			쭉, 양잔디
	19	12	해송, 자귀나무	참싸리, 낭아초	춘자국, 금계국, 루드베키아, 벌노랑이, 과꽃, 패랭이, 양잔디, 산국
	20	4			양잔디, 벌노랑이, 토끼풀, 패랭이
	21	7	자귀나무	참싸리	금계국, 벌노랑이, 샤프스타테이지, 춘자국, 양잔디
	22	2	-	-	쭉, 양잔디

표 4. 계속

구 분	번호	출현 종수	교목	관목	초화류
인 공 환 경	23	3	자귀나무	낭아초, 참싸리	싸스타데이지, 춘자국, 쑥부쟁이, 쑥, 금계국, 수레국화, 과꽃, 돌콩, 양잔디, 새, 달맞이꽃, 미국가막싸리, 강아지풀, 산딸기
	24	17	-	-	양잔디, 금계국, 쑥
	25	11	자귀나무, 소나무	싸리, 낭아초	끈끈이대나물, 춘자국, 루드베키아, 벌노랑이, 패랭이, 강아지풀, 수레국화
	26	12	자귀나무, 붉나무	낭아초, 참싸리	수레국화, 춘자국, 벌노랑이, 금계국, 과꽃, 쑥, 끈끈이대나물, 쑥부쟁이
	27	11	자귀나무, 붉나무	참싸리, 낭아초	수레국화, 춘자국, 끈끈이대나물, 패랭이, 벌노랑이, 꽃양귀비, 루드베키아
	28	20	붉나무, 자귀나무	낭아초, 참싸리	미국자리곰, 벌노랑이, 춘자국, 돌콩, 여뀌, 환삼덩굴, 사위질빵, 샤스타데이지, 강아지풀, 거북꼬리, 배초향, 돼지풀, 까마중, 흰명아주, 가는잎깨잎나무, 미나리
	29	11	자귀나무, 가죽나무, 벽오동, 버드나무	-	방울토마토, 봉선화, 환삼덩굴, 흰명아주, 양잔디, 강아지풀, 새
	30	22	붉나무(우점), 가중나무, 아까시나무	참싸리, 낭아초	강아지풀, 금계국, 닭의장풀, 도라지, 돌나물, 루드베키아, 머느리밀싹개, 명아주, 미국가막싸리, 미나리, 박주가리, 배초향, 벌노랑이, 서양톱풀, 쑥, 왕고들배기, 환삼덩굴
	31	25	자귀나무, 붉나무, 감나무, 아까시나무, 벽오동나무	참싸리, 낭아초, 조록싸리	개망초, 루드베키아, 질경이, 거북꼬리, 강아지풀, 긴잎췌기풀, 금계국, 큰엉경귀, 왕고들배기, 새, 쑥, 돌콩, 달맞이꽃, 닭의장풀, 칩, 환삼덩굴, 깨
	32	19	벽오동, 가중나무, 국수나무, 자귀나무, 산뽕나무, 밤나무, 수양버들	참싸리, 낭아초	좀깨잎나무, 쑥부쟁이, 환삼덩굴, 큰엉경귀, 닭의장풀, 사위질빵, 미나리, 쑥, 머느리배꼽, 양잔디
	33	20	자귀나무, 붉나무, 신갈나무, 물오리나무, 개쉬땅나무	참싸리, 낭아초, 분버들	루드베키아, 금계국, 양잔디, 샤스타데이지, 새, 달맞이꽃, 왕고들배기, 붉은토끼풀, 개망초, 쑥, 환삼덩굴, 미국미역취
	34	26	자귀나무	비수리, 참싸리, 낭아초	과꽃, 패랭이, 수레국화, 춘자국, 벌노랑이, 큰엉경귀, 마타리, 붉은토끼풀, 여뀌, 버섯, 쑥부쟁이, 강아지풀, 안고초, 양잔디, 깨, 돌콩, 새, 황화코스모스, 미국가막싸리, 꽃양귀비, 달맞이꽃, 기름
	35	24	아까시나무, 자귀나무, 산초나무, 가중나무, 굴참나무, 회화나무, 붉나무, 졸참나무	낭아초, 싸리나무	금계국, 벌노랑이, 개망초, 달맞이꽃, 쑥부쟁이, 산딸기, 닭의장풀, 춘자국, 환삼덩굴, 술패랭이, 까마중, 강아지풀, 질경이, 박주가리, 큰엉경귀, 좀깨잎나무
	36	16	자귀나무, 붉나무, 참개암나무, 물오리나무, 아까시나무	참싸리, 낭아초, 개키버들	좀깨잎나무, 별꽃, 바랭이, 자주달개비, 매꽃, 질경이, 쑥, 강아지풀
	37	17	붉나무, 자귀나무, 버드나무, 산뽕나무, 아까시나무	참싸리, 낭아초	루드베키아, 금계국, 쑥, 산쑥, 흰명아주, 왕고들배기, 달맞이꽃, 춘자국, 박주가리, 양잔디

표 4. 계속

구 분	번호	출현 종수	교목	관목	초화류
인 공 환 경	38	26	자작나무, 소나무, 붉나무, 벽오동나무, 은사시나무, 노간주 나무, 자귀나무	참싸리, 낭아초, 산딸기나무	두메부추, 금계국, 벌노랑이, 톱풀, 질경이, 바랭이, 박 주가리, 개망초, 쑥, 단풍잎돼지풀, 칩, 비수리, 왕고들 빼기, 고들빼기, 환삼덩굴, 달맞이꽃
	39	11	아까시나무, 자귀나무	낭아초, 참싸리, 개나리	박주가리, 쑥, 흰명아주, 금계국, 벌노랑이, 개망초
	40	15	붉나무, 자귀나무, 아까시나무	미국자리공, 참싸리, 낭아초	금계국, 루드베키아, 개망초, 끈끈이대나물, 벌노랑이, 흰명아주, 춘자국, 황화코스모스, 양잔디
	41	42	가중나무, 벽오동나무, 붉나무, 자귀나무, 버드나무	참싸리, 낭아초, 풀명자, 산딸기나무	루드베키아, 질경이, 바랭이, 서양톱풀, 여뀌, 흰명아주, 좀명아주, 고마리, 박주가리, 별꽃, 칩, 큰달맞이꽃, 강 아지풀, 환삼덩굴, 눈피불주머니, 닭의장풀, 박하, 쥐방 울덩굴, 쥐손이풀, 소리쟁이, 애기똥풀, 거북꼬리, 돌콩, 노루오줌, 쫄레, 골풀, 모시물통이, 왕고들빼기, 선버들, 머느리배꼽, 주름조개풀, 꼭두서니, 쥐참외
	42	19	자귀나무, 붉나무	참싸리, 낭아초	수레국화, 금계국, 춘자국, 미국가막사리, 꽃양귀비, 벌 노랑이, 달맞이꽃, 돌콩, 자귀풀, 황화코스모스, 끈끈이 대나물, 붉은토끼풀, 부처꽃, 명아주, 새팔
	43	25	벽오동나무, 아까시 나무, 붉나무, 자귀나무, 버드나무	참싸리, 낭아초	금계국, 범부채, 고들빼기, 왕고들빼기, 쑥, 쑥부쟁이, 비수리, 술괘랭이, 미나리, 벌노랑이, 흰명아주, 머느리 밀싹개, 꼭두서니, 쥐손이풀, 금불초, 강아지풀, 애기똥 풀, 개망초
	44	18	자귀나무, 아까시나무	참싸리, 낭아초	춘자국, 금계국, 벌노랑이, 비수리, 머느리밀싹개, 붉은 토끼풀, 터리풀, 쑥, 나문재, 좀명아주, 흰명아주, 환삼 덩굴, 칩, 쑥부쟁이
	45	21	자귀나무, 아까시나무, 붉나무, 가중나무	참싸리, 낭아초	싸스타데이지, 루드베키아, 개망초, 환삼덩굴, 큰엉 경귀, 양잔디, 돌콩, 쑥, 닭의장풀, 박주가리, 별꽃, 비수리, 금계국, 쑥부쟁이, 소리쟁이
	46	24	자귀나무, 아까시나무, 붉나무, 수양버들, 벽오동나무	참싸리, 낭아초	쑥부쟁이, 루드베키아, 강아지풀, 달맞이꽃, 머느리배 꼽, 개여뀌, 미국가막사리, 환삼덩굴, 닭의장풀, 매꽃, 개낭초, 좀명아주, 까마중, 호장근, 애기똥풀, 쑥, 금계국
	47	22	참개암나무	-	질경이, 바랭이, 달맞이꽃, 방울토마토, 기름나물, 샤스 타데이지, 춘자국, 금계국, 끈끈이대나물, 쑥, 좀명아주, 개구릿대, 새, 왕고들빼기, 고들빼기, 벌노랑이, 루드베 키아, 소리쟁이, 물봉선, 노루오줌, 분버들
	48	29	가중나무, 물오리나무, 자귀나무, 산뽕나무, 붉나무	참싸리, 낭아초, 산딸기	쑥, 개망초, 왕고들빼기, 고들빼기, 꼭두서니, 새, 흰명 아주, 별꽃, 금계국, 춘자국, 애기똥풀, 서양톱풀, 닭의 장풀, 양잔디, 환삼덩굴, 물봉선, 사위질빵, 팽이밥, 쥐 방울덩굴, 미나리, 박주가리
	49	16	거제수나무, 자작나무	참싸리, 쉬땅나무	루드베키아, 패랭이, 꽃양귀비, 금계국, 질경이, 끈끈이 대나물, 고사리, 단풍잎돼지풀, 거북꼬리, 샤스타데이 지, 방가지똥, 물봉선
	50	13	자귀나무, 붉나무	낭아초, 참싸리	과꽃, 춘자국, 비수리, 새콩(노란색), 강아지풀, 환삼 덩굴, 금계국, 벌노랑이, 양잔디
	51	11	자귀나무	참싸리, 낭아초	과꽃, 비수리, 방동사니, 금계국, 닭의장풀, 쑥, 강아지 풀, 춘자국

표 5. 출현종수 및 토양경도의 추정 관계식.

모형	R Square	F	Sig.	추정 회귀식
선형	0.463	42.230	0.000	$Y=22.907-0.826*X$
대수모형	0.495	47.983	0.000	$Y=34.849-9.581*\ln(X)$
역 모형	0.455	40.966	0.000	$Y=4.187+70.406/X$
2차모형	0.482	22.288	0.000	$Y=26.371-1.489X+0.022X^2$
3차모형	0.486	14.807	0.000	$Y=29.140-2.321X+0.086X^2-0.001*X^3$
복합모형	0.595	71.956	0.000	$Y=29.549*(0.908^X)$
파워모형	0.530	55.177	0.000	$Y=96.125*(X^{-1.024})$
S-곡선	0.394	31.908	0.000	$Y=e^{1.390+(6.766/X)}$
성장모형	0.595	71.956	0.000	$Y=e^{3.386+(-0.097*X)}$
로지스틱 모형	0.595	71.956	0.000	$Y=1/(0.034*(1.101^X))$
지수모형	0.595	71.956	0.000	$Y=29.549*e^{-0.097*X}$

종속변수(Y)는 출현종수, 독립변수(X)는 토양경도.

식물 생육에는 무리가 없는 것으로 파악되었다.

3) 토양습도

토양습도는 조사당시 비가 온 후 또는 비가 오기 전에 조사한 부분이 있어 다소 편차가 있었다. 0.7~80%로 토양습도가 다양하게 나왔는데, 80%에 가까운 토양습도가 조사된 지역은 비가 온 뒤 3일 이전에 조사한 지역으로 토양 내 습기를 저장하고 있어 나타난 결과로 볼 수 있다.

4) 토양경도

자연환경의 토양경도는 대체로 12mm 이하였으며 다양한 식생이 정착하고 있었다.

인공환경에서는 토양경도가 6.88mm부터 30mm까지 다양하게 나타났는데, 토양경도에 따른 식생 구조도 다르게 나타났다. 국토해양부(2009)의 지침에서 보듯이 토양경도가 18~23mm의 경우 식물 근계생장에 적당하다고 되어 있어 이 범주에 속하면 식물 생육에 큰 문제는 없었다. 단지, 토양경도가 21mm이하인 곳에서는 목본이 출현하였고, 21mm이상인 곳에서는 양잔디, 환삼덩굴과 같이 척박한 지역에서도 잘 사는 식물들이 우점하고 있었다.

5) 방위

방위는 비탈면이 형성된 주요 중심선에서 45°로 나누어 4개의 경사방향으로 구분되었다. 즉, 북쪽을 0°, 남쪽을 180°로 할 때, 315°~0° 및 0°~45°는 북사면, 45°~135°는 동사면, 135°~225°는 남사면, 225°~315°는 서사면으로 구분되었다. 총 조사된 곳을 구분하여 보면, 남사면 15곳, 동사면 17곳, 북사면 16곳, 서사면 3곳으로 조사되었다. 출현종수와 방위, 토양경도와 방위 등의 교차분석을 실시하였으나, 특이점은 발견할 수 없었다.

6) 경사도

경사도는 14.5°부터 67°까지 다양하였으며, 자연환경 비탈면 조사지의 경사도는 14.5°~23°로 완만한 경사를 이루고 있었다. 반면, 인공적으로 녹화한 지역의 경사도는 43°~67°로 나타나 급한 경사를 이루고 있었다.

2. 자료 검정

토양습도, 토양산도는 조사 시 비가 온 후 측정한 곳과 그렇지 않은 곳도 있어 이번 분석에서는 제외하였다. 본 연구에서는 출현종수와 토양

경도의 상관성을 분석하는 것이 주목적이므로 출현종수와 토양경도와의 상관분석을 실시하였으며, 곡선 추정(Curve Estimation)⁴⁾을 이용하여 두 변수간의 추정 곡선식을 산출하였다. 출현종수 중 목본 출현여부에 따른 토양경도와의 영향을 검토하기 위하여 이항 로지스틱 회귀분석을 실시하였다.

1) 출현종수와 토양경도의 관계

출현종수와 토양경도의 통계적인 상관분석 결과 Pearson 상관계수가 -0.680(유의확률<0.001)로써 음의 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 출현종수가 증가할수록 토양경도는 낮아진다는 결과를 의미한다. 이는 자연환경 조사 지역을 제외하고 45개의 인공환경 비탈면 지역만 분석을 하였을 경우에도 Pearson 상관계수가 -0.718(유의확률<0.001)으로써 출현종수와 토양경도와의 음의 상관성이 있음을 알 수 있었다.

그 다음 출현종수와 토양경도와의 추정 관계식을 도출하기 위해 SPSS 모듈에 있는 곡선 추정(Curve Estimation)을 이용하였다. 추정 결과, 지수모형, 성장모형, 복합모형이 결정계수(R^2)가 0.595로 가장 적합한 결과로 도출되었으며, 이중 출현종수와 토양경도가 음(-)으로 나타낼 수 없기 때문에 본 연구에서는 지수함수를 통한 추정 회귀식이 적합하다고 판단된다. 이에 대한 회귀곡선은 다음의 그림 3과 같다.

2) 목본 출현여부에 따른 로지스틱 회귀분석

교목 및 관목을 포함한 목본 출현 여부와 토양경도와의 이항 로지스틱 회귀분석 결과 Hosmer와 Lemeshow 검정에서 유의확률 0.542로 0.05보

그림 3. 출현종수와 토양경도와의 지수함수 곡선.

표 6. 분류표.

관측		예측값		
		목본출현유무		분류정확 %
		0	1	
목본출현유무	0	7	4	63.6
	1	2	38	95.0
전체 %		-	-	88.2

a. 절단값은 .500입니다.

다 크므로 모형이 적합⁵⁾하며, 전체적인 분류정확도는 88.2%로 나타났다.

토양경도에 관계된 회귀계수는 -0.299이며, 이 회귀계수의 통계적 유의성 검정값인 Wald 통계량이 12.728(유의확률<0.001)으로써 유의미한 결과를 얻었다.

또한, $\text{Exp}(-0.299)=0.742$ 로써 토양경도가 낮아질수록 목본 출현할 확률이 0.742배의 확률로 늘어남을 알 수 있다. 이에 대한 회귀식은 $Y(\text{목본출현유무})=5.588-0.299X(\text{토양경도})$ 이다.

이식에 따라 해석해 보면, 토양경도가 약 17mm 이상이 될 경우, 목본 출현이 없을 수 있다는 것을 의미한다. 이는 앞선 선행연구 고찰에서 11~20mm 식생 생육이 원활한 것과 다소 차이를 보인다. 하지만, 조사지 22번과 같이 토양경도는 16.5mm로 낮았지만, 목본 출현이 없는 것

4) SPSS 12.0에 있는 곡선 추정(Curve Estimation)을 하는 방법에는 11가지가 있는데, 선형모형, 대수모형, 역 모형, 2차모형, 3차모형, 파워모형, 복합모형, S-곡선, 로지스틱 모형, 성장모형, 지수모형이 있지만, 출현종수 및 토양경도가 음(-)으로 나타낼 수 없기 때문에 본 연구에서는 지수함수를 이용하였다.

5) Hosmer와 Lemeshow 검정에서 유의확률 값이 0.05보다 커야 모형이 적합하다고 하는 귀무가설을 채택한다(노형진, 2006, p.370).

표 7. 방정식에 포함된 변수.

구 분	B	S.E.	Wald	자유도	유의확률	Exp(B)	EXP(B)에 대한 95.0% 신뢰구간	
							하한	상한
토양경도	-0.299	0.084	12.728	1	0.000	0.742	0.629	0.874
상수	5.588	1.427	15.323	1	0.000	267.151	-	-

a. 변수가 1 : 단계에 진입했습니다 토양경도.

으로 볼 때, 또 다른 환경요인에 의한 목본 출현에 대한 설명이 필요함을 의미한다.

IV. 결 론

본 연구는 현재 많이 사용되고 있는 산중식 경도계를 통해 자연환경 및 인공환경 비탈면에 대한 토양경도를 실시하였다. 그 결과, 토양경도가 높은 값을 보일수록 출현하는 종은 낮게 나타났으며, 토양경도가 높은 곳의 출현종은 대표적으로 쭉과 양잔디로 나타났다.

자연환경에서 나타난 비탈면 토양경도는 6~12mm로 양호한 상태를 보였으며, 다양한 식물군락을 형성하고 있었다. 인공환경에서 나타난 비탈면 토양경도는 6.88~30mm까지 다양하게 나타났다는데, 토양경도가 낮은 곳에서는 자귀나무, 아까시나무, 붉나무, 참싸리, 남아초 등 다양한 식물이 자라난 반면 21mm이상인 곳에서는 쭉, 환삼덩굴, 양잔디, 강아지풀만 자라 식생이 매우 단조로운 형태를 지니고 있었다.

토양경도와 출현종수의 상관분석 결과, 음의 상관성(-0.680)을 가지고 있음을 알 수 있었으며, 곡선 추정을 통해 출현종수와 토양경도와의 추정 회귀식을 도출하였다. 다시 말해, 완곡한 곡선을 그리며 토양경도가 낮을수록 출현종수가 많아짐을 볼 수 있었다.

또한, 목본 출현 유무에 대한 이항 로지스틱 회귀분석을 실시해 본 결과, 유의미한 결과로 토양경도가 낮을수록 목본 출현이 나타남을 통계적으로 검증하였다.

본 연구에서는 토양의 물리적 특성 중 하나인 토양경도만을 가지고 여러 지역을 조사 분석하였다. 하지만, 많은 제어변수를 통해 동일한 조건으로 조사를 실시하여야 하나 현장여건 상 이루어지지 못하였다. 더 많은 환경요인에 대한 장기간의 연구가 필요하다고 생각된다.

하지만, 이러한 결과를 통해 비탈면 녹화에서 고려해야 될 사항으로 식생기반재의 토양 특성 중 하나인 토양경도를 낮출 수 있는 방안이 필요하다고 판단된다. 왜냐하면, 양잔디만 자라게 되는 식생기반재에서는 다양한 식생천이를 저해시키며, 경관적 이질감을 일으키는 동시에 하자발생 우려가 있기 때문이다. 건전한 비탈면 녹화를 위해서는 다양한 연구가 추가적으로 더 필요하겠지만, 본 연구에서만 볼 때 토양경도를 낮추기 위한 학계 및 산업계가 노력해야 한다고 생각된다.

인 용 문 헌

- 국토해양부. 2009. 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침.
- 김귀곤. 2004. 자연환경 · 생태복원학 원론. 아카데미.
- 김남춘 · 허영진 · 김정훈. 2005. 환경친화적인 도로비탈면 훼손지 복원을 위한 적정 식물배합에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 8(4) : 81-90.
- 김남춘 · 송호경 · 박관수 · 전기성 · 이상화 · 이병준. 2007. 고속도로 절 · 성토 비탈면 녹화공법의 적용 실태 연구. 한국환경복원녹화

- 기술학회지 10(2) : 1-15.
- 김은영. 2010. 개발사업에 따른 산림생태계 영향 평가모형 개발 및 적용. 서울대학교 박사학위 논문.
- 노형진. 2006. SPSS에 의한 조사방법 및 통계분석. 형설출판사.
- 류순호. 2002. 토양사전. 서울대학교 출판부.
- 박관수 · 전기성 · 송호경 · 김남춘 · 최재용. 2006. 고속도로 절토 비탈면과 인접 자연식생지의 토양 환경 비교 분석. 한국환경복원녹화기술학회지 9(2) : 16-22.
- 송기엽. 2003. 야생화 쉽게 찾기. 진선출판사.
- 오구균 · 김도균. 2007. 생태녹화공학. 광일문화사.
- 이창복. 2006. 원색 대한식물도감. 향문사.
- 일본토양협회. 1986. 농업환경생산정보시스템 농작물 생육환경 총지표 제1집. 토양환경.
- 전권석 · 마호섭. 2004. 시간경과에 따른 임도 절토비탈면의 식생피복 변화. 한국환경복원녹화기술학회지 7(3) : 14-25.
- 전기성. 2007. 비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정 지침 적용사례. 한농환경복원녹화기술학회지 10(4) : 95-108.
- 조인상 · 조영길 · 임정남. 1976. 토양경도에 관한 연구. 농시연보. 87-123.
- 한경화 · 조희래 · 전상호 · 장용선. 2011. 토양 경도 측정방법간 비교연구. 한국토양비료학회지 44(3) : 344-346.
- 長谷川秀三. 2006. 根系深さの推定手法. 日録工誌 31(3) : 346-351.