

비탈면 녹화이후 식생피복에 영향을 미치는 요인에 관한 연구
- 자연생태복원 공법을 중심으로 -

길승호¹⁾·이동근²⁾·조민환³⁾·양병이⁴⁾

¹⁾ 서울대학교 대학원, ²⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부

³⁾ (주)토림산업, ⁴⁾ 서울대학교 환경대학원

A Study on the Factors Affecting Vegetation
Cover After Slope Revegetation
- Focused on a JSB Method of Construction -

Kil Sung-Ho¹⁾·Lee, Dong-Kun²⁾·Cho Min-Whan³⁾ and Yang Byung-E⁴⁾

¹⁾ Graduate School, Seoul National University,

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

³⁾ TOLIM CO. Ltd.,

⁴⁾ Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University.

ABSTRACT

This study was conducted on the field application for a method which is currently used. Although the method was performed with experimental knowledge, this study attempted to approach scientific ways through thirty sets of test-bed and three times monitoring limited by control variations for three months. The factors on previous studies are slope location, slope degree, type (roadfill vs. roadcut), aspect, vegetation cover, species, thickness, vertical length, horizontal length, soil type, elevation, erosion, soil-moisture, soil-hardness, pH, and so on. However, the factors of a suitable and significant level are slope degree, type, aspect, thickness, soil-moisture, vertical length and horizontal length in slope revegetation. the results were as follows :

First author : Kil Sung-Ho, 200-9211, Silim-Dong, Gwanak-gu, Seoul 151-742, South Korea,
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : todd219@snu.ac.kr

Corresponding author : Kil Sung-Ho, Silim-Dong, Gwanak-gu, Seoul 151-742, South Korea,
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : todd219@snu.ac.kr

Received : 8 August, 2011. **Revised** : 8 September, 2011. **Accepted** : 14 October, 2011.

As a result of survey on soil types based on the status before construction, the rate of vegetation cover with non-mesh construction in soil areas was better than the rate of vegetation cover with fiber meshes and wire meshes. The rate of vegetation cover with fiber meshes in weathered rocks was better than using wire meshes. The rate of vegetation cover with the wire meshes in blasted rocks was better than using fiber meshes. Also, the factors affecting the rate of vegetation cover presented the number of appearance species, soil-moisture, thickness. this result presented the more appearance species as a positive role, and the lower soil-moisture and the thicker soil as a negative role.

Key Words : *Ecological Restoration, Hydro Seeding Measures, Revegetation Plants, Construction Works.*

I. 서 론

비탈면 녹화는 과거 주로 사방구조물을 설치하거나 비탈의 안전성 유지에 큰 비중을 두었다. 하지만 최근에는 안정성뿐만 아니라 경관조성 및 생태복구에 비중을 두고 있다.

특히, 명확한 복구 목표를 세워 비탈면에 인공적으로 식물이 생육할 수 있는 식생기반을 조성하고 녹화기술 공법이 점차적으로 개발하는 등 개발 이전의 자연 생태계로 복원시키기 위해 많은 노력이 필요하다.

이러한 가운데, 비탈면 녹화 이후 식생 피복에 영향을 미치는 요인으로서, 전기성(2004)은 환경인자조사, 식생현황조사, 녹화공법 조사 등을 통해 방위와 식생피복도, 길이(높이)와 식생피복도, 경사도와 식생피복도, 식생구조분석 등을 실시하였고, 전권석과 마호섭(2004)은 경과년수, 표고, 방위, 비탈면위치, 비탈면형, 비탈면경사, 비탈면 길이, 토양경도, 토성, 유효토심 및 석력함량에 대해 분석하였으며, Esther Bochet and Patricio Garcia-Fayos(2004)는 토양특성, 식생피복, 종풍부도, 식생현황, 침식, 경사도, 유형(성토, 절토), 방향(북향, 서향)의 인자로 분석하였으며, Espigares et al(2011)은 토양 침식에 영향을 미치는 인자에 대하여 경사, 토양 특성, 출현종, 식생 생존률, 식생피복, 세류 밀도 및 침식률, 비탈면의 넓이, 생체량을 분석하였다.

이에 대한 내용을 종합하여 통계적으로 유의미한 결과 값만을 도출하면 다음의 표 1과 같다. 경사도가 높을수록 피복도는 떨어졌으며, 비탈면 너비가 넓을수록, 비탈면 길이가 길수록 피복도는 낮다. 또한, 남향 비탈의 식생이 태양별에 의해 건조되어 습도가 북향비탈보다 낮게 나타나 초종의 생육이 불량하다고 보고되고 있다(전기성, 2004). 방위의 표시를 등간격으로 표시하지 않은 이유는 북, 동향은 상대적으로 양호한 편이며, 그 다음으로는 서향으로 좋은 결과를 보였으나, 남향은 다른 방향에 비해 상대적으로 낮은 피복을 보이고 있기 때문에 아래의 표 1과 같이 표시하였다. 우보명 등(1993)의 임도 비탈면의 길이가 7m 이하에서 식생피복도가 높게 나타났고, 전기성(2004)에서는 20m 이상에서 상대적으로 불량한 식생피복을 보이고 있었다.

비탈면 녹화 시 한지형 외래도입초종을 도입한 공법들도 많이 있지만, 현재는 재래목본류를 활용한 공법 및 연구들이 많이 있다. 이러한 결과를 바탕으로 자연생태복원 공법을 가지고, 비탈면 녹화이후 녹화 안정성 및 현장적용성 검증 실시하였다. 자연생태복원 공법에 대한 기존 연구(남언정 등, 2007)는 2005년부터 2007년까지 5곳을 대상으로 진행한 모니터링을 통해 비탈면의 토질, 사용 종자, 토양경도, 토양산도, 토양습도 등을 분석하여 출현종, 우점도에 대한 분석을 실시하였다. 또한, 김남춘과 김도희(2010)는 품

표 1. 식생 피복에 영향을 미치는 요인.

| 변수 | 식생 피복도 | | |
|--------|--------------------------|----|------------------------|
| | 피복 정도 | | |
| | 불량 | | 양호 |
| 경사도 | 1 : 0.7 이하 (약 60° 이상) | | 1 : 1 이상 (약 45° 이하) |
| 넓이(수직) | 넓음 | | 좁음 |
| 높이(수평) | 20m 이상 | | 7m 이하 |
| 습도 | 낮음 | | 높음 |
| 방위 | 남향 | 서향 | 북향 동향 |

질과 경제성을 고려하여 최적의 공법을 선정하는 VE/LCC 기법을 녹화공사의 시험시공지에 적용한 연구를 통해 자연생태복원 공법에 대한 경제적인 효과 분석을 실시하였다. 그러나 기초적인 실험에 대한 자료는 부족하며, 식생피복에 관한 연구는 진행되어 있지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 절·성토 비탈면 녹화 이후 녹화 안정성 및 현장 적용성 검증을 위해 실험을 실시하였으며, 경험상 채득된 지식을 바탕으로 이루어진 공법적용에서 벗어나 과학적인 접근을 시도하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 방법

녹화의 안정성을 확보하기 위해서는 빠른 생육을 통한 식생피복과 더불어 다양한 식생구조를 형성시켜, 다층구조 및 식생천이를 통한 비탈면의 안정화가 필요하다. 또한 시공 후 강우시 흘러내림 현상이나 탈락 등이 일어나지 않아야 한다. 이를 확인하기 위하여 충청북도 괴산군 청안면 소재에 위치한 토사, 발파암, 풍화암이 나타난 장소에 각각 10개씩 실험구를 조성하여 3회에 걸친 현장 모니터링을 실시하였다. 이는 지금까지 특허로 지정된 자연생태복원공법이 많은 현장에서 적용되어 수정 보완을 거쳐 완성되었지만, 과학적이고 정량적인 분석자료가 초창기에 부족하여 해당 실험구를 아래와 같이 '08. 5. 29 실험구를

다시 설정하여 3개월간 모니터링을 실시하였다. 조사방법은 '08. 5. 29 시공이후 3번의 모니터링 ('08. 6. 10, '08. 7. 1, '08. 8. 6)을 실시하여 각 실험구별 출현종수, 피복률, 토양경도(mm), 토양산도(pH), 토양습도(%)를 측정하였다. 출현종수는 원색 대한식물도감(이창복, 2006), 야생화 쉽게 찾기(송기엽, 2003) 등의 식물도감을 활용하여 동정하였다. 피복률은 육안판정하였다. 토양경도는 토양경도계(SHM-1)을 활용하였으며, 토양산도와 습도는 토양 산습도 측정기(DM-5)를 활용하여 분석하였다.

그 다음 시험을 통한 자료에 대하여 토질별로 각 변수들의 분산의 동질성 검정 및 식생피복률에 영향을 미치는 요인들에 대하여 선형회귀분석을 실시하였다.

선행연구에서 나타난 여러 가지 변수 중 방향, 비탈면 넓이, 비탈면 길이, 고도는 제어변수로 두고, 나머지 출현종수, 토양경도, 토양산도, 토양습도, 경사도, 시공두께를 독립변수로 두어 토질별로 각 변수들이 동일 모집단으로 추출되었는지를 비모수적 통계 검정방법인 크루스칼 윌리스(Kruskal-Wallis 방법)을 이용하여 확인하고, 피복률(종속변수)에 영향을 미치는 요인에 대해 선

1) 크루스칼 윌리스(Kruskal-Wallis) 분석은 독립된 표본이 서로 다른 모집단에서 나왔는가를 추정하는데 사용하는 분석방법(채서일, 2005)이며, 환경데이터를 이용함에 있어 표본 분포가 유사하고 대칭적인 구조일 때, 서열변수가 모든 그룹에 대해 유사한 경우 이용(Ruxton and Beauchamp, 2008).

표 2. 실험구 현황.

| | | | | | | | | | | |
|-------|----|---|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|
| 토사부 | | 평균경사도 40°(1 : 1.1 ~ 1 : 1.2), 비탈면방위 : 서향, 비탈면고도 : 229.2m | | | | | | | | |
| 실험구 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 적용공정 | - | Seed | 무1 | 무2 | 무3 | 무5 | 섬2 | 섬3 | 섬5 | 섬7 |
| 리펑암부 | | 평균경사도 49°(1 : 0.9 : ~ 1 : 1.), 비탈면방위 : 서향, 비탈면고도 : 228.5m | | | | | | | | |
| 실험구 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 적용 공정 | 섬2 | 섬3 | 섬5 | 섬7 | - | 철15 | 철12 | 철10 | 철7 | 철5 |
| 발과암부 | | 평균경사도 55°(1 : 0.7), 비탈면방위 : 서향, 비탈면고도 : 230.1m | | | | | | | | |
| 실험구 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 적용 공정 | 섬2 | 섬3 | 섬5 | 섬7 | - | 철15 | 철12 | 철10 | 철7 | 철5 |

시험일자 : 2008년 5월 29일, 날씨 : 맑음

※ 범례(적용공정)

- ◆ Seed(무망 0.5T), 무1(무망 1T), 무2(무망 2T), 무3(무망 3T), 무5(무망 5T), - (비교실험구), 섬2(섬유망 2T), 섬3(섬유망 3T), 섬5(섬유망 5T), 섬7(섬유망 7T), 철5(철망 5T), 철7(철망 7T), 철10(철망 10T), 철12(철망 12T), 철15(철망 15T).

회귀분석(Linear Regression)을 실시하였으며, 변수 선택 방법은 단계별 선택(Stepwise) 방법을 통해 분석하였다. 통계분석 프로그램은 SPSS 12.0을 활용하였다.

펑암부, 발과암부로 크게 3구역으로 나누어 실시하였으며 1개 구역에 10개의 실험구를 만들고 9개의 적용공정과 1개의 비교군을 두어 시험을 실시하였다. 대상지는 약 230m의 고도에 위치하고 있으며, 방향은 모두 서향이다.

2. 시험대상지 환경

시험지는 우리나라 중부 내륙에 위치한 충청북도 괴산군 청안면 소재에 있으며, 토목공사가 완료된 장소로서, 발과암, 풍화암, 토사가 모두 나타난 곳이다. 현재 많이 이루어지고 있는 현장 시공특성을 고려하여 다음 표 2와 같은 환경조건에서 시험을 실시하였다. 시험시공은 토사부, 리

3. 시험식물 선정

실험 식물로 선정된 식물들은 국내 비탈면 녹화용으로 널리 사용되고 있는 재래 목초본류 종자로 많이 이용되고 시중에서 비교적 쉽게 구할 수 있는 종자를 선정하였다. 특히, 질소 고정을 통하여 척박한 토양을 개선해주는 콩과식물

표 3. 실험 식물.

| | |
|-----------|--|
| 구 분 | 종 류 |
| 재래 목본류 7종 | 붉나무, 당조팝나무, 단풍나무, 해송, 자귀나무, 참싸리, 낭아초 |
| 재래 초본류 4종 | 비수리, 억새, 쭉부쟁이, 안고초 |
| 외래 초본류 2종 | 켄터키 블루그라스, 툴웹스큐 |
| 초화류 13종 | 끈끈이대나물, 패랭이, 벌노랑이, 수레국화, 금계국, 금불초, 범부채, 꽃양귀비, 춘자국, 루드베기아, 샤스타데이지, 산국, 과꽃 |

(자귀나무, 참싸리, 비수리 등) 및 다양한 식물들을 사용하였다. 실험에 사용된 식물은 아래의 표 2와 같이 총 26종의 교목, 관목, 초화류로 하였다.

식물과종량은 국토해양부 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침(2009)’에 의한 복원목표에 부합하는 식물종의 선정과 종자배합조건표를 기준으로 m^2 당 사용량을 30g으로 하였다.

방형구는 판재를 이용 150cm*60cm*30cm의 모양으로 구성하여 각 실험구마다 적용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 분석결과

1) 출현종수

출현종수는 각 대상지부(토사부, 풍화암부, 발파암부)에 따라, 적용공정에 따라 많은 차이를 보였다. 우선 토사부에서는 6~14종 등 다양한 식물들이 출현하였으며, 전 구간에서 붉나무, 자귀나무 등의 교목이 출현하였고, 민들레, 고들빼기 등 천이 또는 자체 토양 내에 있던 씨앗이 발아된 곳(실험구 2, 실험구 3)도 있었다. 풍화암부에서는 7~13종이 나타났는데, 전 구간에서 붉나무, 자귀나무, 소나무 등 교목이 출현하였고, 흰명아주, 쯤명아주, 돌콩 등 천이 또는 토양 내에 있던 씨앗이 발아된 곳(실험구 1, 실험구 2, 실험구 9)도 있었다. 발파암부에서는 4~13종이 나타났는데, 전 구간에서 자귀나무, 붉나무 등 교목이 출현하였고, 미국실새삼 등 천이 또는 토양 내에 있던 씨앗이 발아된 곳(실험구 6)도 있었다.

또한, 녹화종자 중 당조팝나무, 단풍나무, 낭아초, 범부채, 과꽃은 출현하지 않았는데 이것은 조사기간이 시공 후 3개월 이내로 짧아 아직 이들이 기반세속에 잠재적으로 존재하고 있는 것으로 예상된다.

2) 피복률

3개월 밖에 지나지 않은 피복률을 논하기에는 어려운 부분이 사실이지만, 발아 속도와 연관된

부분에서 보면 다음의 내용과 같다. 그것은 토사는 완경사(1:1.1~1:1.2)에서 망 없이 시공한 곳이 높은 피복을 보였고, 풍화암부에서는 완경사(1:0.9~1:1)에서 섬유망을 씌운 곳이 철망을 씌운 곳보다 높은 피복을 보였으며, 발파암부에서는 급경사(1:0.7)에서는 섬유망을 씌운 곳보다 철망을 씌운 곳이 약간 더 높은 피복률을 보였다. 특히, 급경사(1:0.7)로 이루어진 발파암 지역에 섬유망 시공은 녹화율이 떨어질 것으로 예상하여 시험적으로 시공하여 보았으나, 역시 빠른 피복을 하기에는 어려움이 있는 것으로 보였다.

3) 토양산도

토양산도는 기간 및 각 실험구에 관계없이 5.7~7.0으로 나타났으며, 식물 생육에는 무리가 없는 것으로 파악되었다.

4) 토양습도

토양습도는 비온 뒤 얼마지 않아 조사한 부분도 있었고, 실험구마다 국부적으로 내린 부분도 있어 많은 차이를 보였지만, 비온 뒤 맑은 날이 4일 지난 후('08. 8. 6)에 조사하였을 때에도 최소 10% 이상 포함하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국토해양부(2009)에서 제시하고 있는 분류에 대하여 강우 전후에 따른 비교가 쉽지 않음을 알 수 있다. 따라서, 이에 대한 분류시 강우 전후 평가에 어떻게 적용해야 할지에 대한 연구가 필요하다.

5) 토양경도

토양경도는 대조구(실험구(-)로 표시)된 곳을 제외한 실험구에서는 1mm~18mm까지 분석되었으며, 국토해양부(2009)에 나타난 11mm-23mm에 10mm 이하는 불량하다고 볼 수 있으나, 3개월 동안 지속적으로 관찰한 결과 흘러내리거나 탈락되는 등의 현상은 발생하지는 않았다.

표 4. 토질별 각 변수간의 차이 검정.

| 구 분 | 적용공정 | 시공두께 | 경사도 | 출현종수 | 피복률 | 토양경도 | 토양산도 | 토양습도 |
|---------|--------|--------|--------|------|------|------|-------|------|
| 카이제곱 | 33.038 | 15.737 | 89.000 | .448 | .460 | .761 | 2.569 | .555 |
| 자유도 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 근사 유의확률 | .000 | .000 | .000 | .799 | .794 | .683 | .277 | .758 |

표 5. 토질별 각 변수간의 차이 검정(적용공정 중 섬유망만 도출).

| | 시공두께 | 출현종수 | 경사도 | 피복률 | 토양경도 | 토양산도 | 토양습도 |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 카이제곱 | .000 | 8.731 | 11.000 | 9.881 | 1.059 | .000 | 7.435 |
| 자유도 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 근사 유의확률 | 1.000 | .013 | .004 | .007 | .589 | 1.000 | .024 |

2. 자료 검정

1) 토질별 변수 검증

토질별(토사, 풍화암, 발파암)로 적용공정, 출현종수, 피복률, 토양경도, 토양산도, 토양습도, 경사도에 대한 비모수적 통계검정방법인 Kruskal-Wallis 방법을 이용하여 등분산이 가정되지 않은 독립변수들을 통해 토질별 차이가 있었는지의 여부를 확인하였다. 이에 대한 결과는 다음 표 4와 같다. 토질별로 적용공정, 시공두께, 경사도가 유의확률 < 0.05 이므로, 차이가 있음을 확인했으며, 이는 실제 실험장소가 차이가 있었기 때문으로 당연한 결과로 볼 수 있다.

또한, 토질별로 섬유망은 전부 실험되어 있는데, 이에 대한 각 변수들의 차이를 표 5와 같이 분석하였다. 분석 결과, 출현종수, 피복률, 토양습도, 경사도에서 토질별로 유의미한 차이가 있음을 알 수 있었다. 이는 토질별(토사, 풍화암, 발파암)로 섬유망이 시공되어 있는 곳에 출현종수, 피복률, 토양습도, 경사도가 다르다는 것을 나타낸다.

2) 식생피복률에 영향을 미치는 요인

분석결과, 회귀모델에 대한 적합성 검증에서 F 값이 33.068로서 유의수준 0.05 보다 작은 값이

표 6. 회귀계수.

| 구 분 | 표준화 계수 | | t | 유의확률 |
|------|--------|-------|--------|-------|
| | 베타 | 표준오차 | | |
| 상수 | 24.560 | 9.292 | 2.643 | 0.010 |
| 출현종수 | 3.240 | 0.539 | 6.007 | 0.000 |
| 토양습도 | -0.280 | 0.103 | -2.706 | 0.008 |
| 시공두께 | -1.017 | 0.457 | -2.226 | 0.029 |

로 회귀선의 모델에 적합하다는 것을 알 수 있으며, Durbin-Watson의 값²⁾이 2.047로 다중공선성³⁾이 존재할 가능성이 적다. 또한, 결정계수는 0.551이고, 수정된 결정계수는 0.534로 나타났는데, 이에 대한 유의수준은 유의확률 0.029로서 결정계수에 있어 적합함을 알 수 있었으며, 회귀모형이 어느 정도 적합하다는 것을 알 수 있었다.

2) Durbin-Watson 통계량은 각 관찰치의 잔차(error term)이 독립적이라는 가정에서 변수와 관측수를 이용하여 임계치를 확인한 후 독립성 검정에 대한 해석을 실시함(채서일, 2005). 일반적으로 2에 근접할수록 잔차가 독립적으로 해석됨.

3) 다중공선성(multicollinearity)이란 고전적 회귀모델의 기본가정 중 독립변수들간에는 상관관계가 없다는 가정이 깨어진 경우로서, 독립변수들간에 완전히 또는 상당히 강한 상관관계가 있을 경우 발생(채서일, 2005).

위의 표 6과 같이 피복률에 영향을 미치는 요인으로서 출현종수, 토양습도, 시공두께로 나타났는데, 출현종수는 강한 양의 영향을 주고 있으며, 시공두께와 토양습도는 음의 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 이는 출현종수가 높을수록, 시공두께가 얇을수록, 토양습도가 낮을수록 피복에 영향을 미치고 있음을 의미한다.

IV. 결 론

본 연구는 자연생태복원공법을 통하여 경험적 지식을 통해 얻은 시공방법을 과학적인 방법으로 접근하여 선행연구 고찰 및 자연생태복원공법의 3개월간의 모니터링을 통한 현장적용성을 확인하였다.

본 실험에서 식생피복률에 영향을 미치는 요인에 대하여 출현종수는 양의 영향으로 토양습도, 시공두께는 음의 영향을 미치고 있었는데, 이는 3개월간의 짧은 기간 동안 이루어진 결과이긴 하지만, 출현종수의 증가 및 낮은 토양습도는 피복률에 긍정적인 역할로 볼 수 있으며, 시공두께가 두꺼울수록 씨앗발아가 늦게 나타났다. 이는 국토해양부(2009)에서 제시하고 있는 평가기준에서 짧은 기간에 평가해야 함을 고려할 때, 이 회귀모형을 참조할 수 있다고 판단된다. 하지만, 이 회귀모형을 일반화하기에는 더 많은 지속적인 조사와 모니터링이 뒷받침되어야 하나, 현장여건상 연구를 계속하지 못한 점은 아쉽다.

본 연구에서 짧은 기간 동안, 더 많은 제어변수를 통해 동일한 조건으로 실험을 실시하려고 하였으나, 현장여건 상 이루어지지 못하였으며, 더 많은 환경요인에 대하여 장기간의 연구가 더 필요하다고 생각된다. 또한, 자연생태복원 공법에 국한된 것이 아니라, 동일한 조건에서 똑같은 제어변수와 독립변수들을 적용하여 검증할 필요성이 있으며, 외래초본류 위주의 공법이 아닌 재래초본류의 공법별 비교도 중요할 것으로 보인다.

인 용 문 헌

- 국토해양부. 2009. 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침.
- 김남춘·김도희. 2010. 가치공학분석을 통한 비탈면녹화공법 비교에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 13(1) : 93-102.
- 남언정·김남춘·조민환·길인·이석해·이정학. 2007. 재래 초·목본 식물 위주의 비탈면 녹화 시공지에 대한 식생 변화에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 10(4) : 70-82.
- 송기엽. 2003. 야생화 쉽게 찾기. 진선출판사.
- 우보명·권태호·김남춘. 1993. 임도비탈면의 자생식생침입과 효과적인 비탈면 녹화공법 개발에 관한 연구. 한국임학회지 82(4) : 381-395.
- 이창복. 2006. 원색 대한식물도감. 향문사.
- 전권석·마호섭. 2004. 시간경과에 따른 임도 절토비탈면의 식생피복도 변화. 한국환경복원녹화기술학회지 7(3) : 14-25.
- 전기성. 2004. 도로비탈면의 환경인자를 고려한 식생구조분석에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 7(2) : 12-20.
- 채서일. 2005. 사회과학조사방법론. 비앤엠·북스.
- Espigares, T., Moreno-De Las Heras, M., and Nicolau, J.M. 2011. Performance of Vegetation in Reclaimed Slopes Affected by Soil Erosion. Restoration Ecology, 19(1) : 35-44.
- Esther Bochet and Patricio Garcia-Fayos. 2004. Factors Controlling Vegetation Establishment and Water Erosion on Motorway Slopes in Valencia, Spain. Restoration Ecology, 12(2) : 166-174.
- Ruxton, G. D., and G. Beauchamp. 2008. Some suggestions about appropriate use of the Kruskal-Wallis test. Animal Behaviour 76 : 1083-1087.

◇ 토사부

표 7. 기반재 상태 및 식생 모니터링 결과(토사부).

| 구분 (적용공정) | 날짜 | 출현 종수 (종) | 피복률 (녹화율) (%) | 토양 경도 (mm) | 토양 산도 (pH) | 토양 습도 (%) | 출현종 (’08.08.06) |
|-----------------|-----------|-----------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------|---|
| 실험구1 (-) | ’08.06.10 | - | - | 6 | 6.8 | 68 | 참싸리 금계국, 루드베키아, 쭉 |
| | ’08.07.01 | - | - | 8 | 7 | 62 | |
| | ’08.08.06 | 4 | 1 | 8 | 7 | 20 | |
| 실험구2 (Seed) | ’08.06.10 | - | - | 14 | 6.5 | 80 | 꽃양귀비, 고들빼기, 금계국, 춘차국, 자귀나무, 민들레, 루드베키아, 쭉, 별노랑이, 끈끈이대나물, 수레국화, 패랭이 |
| | ’08.07.01 | 6 | 10 | 13 | 7 | 85 | |
| | ’08.08.06 | 12 | 95 | 7 | 7 | 50 | |
| 실험구3 (무망1) | ’08.06.10 | - | - | 13 | 6.4 | 70 | 붉나무 억새, 꽃양귀비, 고들빼기, 금계국, 춘차국, 자귀나무, 민들레, 루드베키아, 쭉, 별노랑이, 끈끈이대나물, 수레국화, 패랭이 |
| | ’08.07.01 | 5 | 9 | 10 | 7 | 98 | |
| | ’08.08.06 | 14 | 82 | 9 | 7 | 55 | |
| 실험구4 (무망2) | ’08.06.10 | - | - | 10 | 6.4 | 80 | 참싸리, 붉나무 별노랑이, 금계국, 수레국화, 꽃양귀비, 산국, 비수리, 안고초, 루드베키아 |
| | ’08.07.01 | 6 | 5 | 7 | 7 | 78 | |
| | ’08.08.06 | 10 | 85 | 6 | 7 | 57 | |
| 실험구5 (무망3) | ’08.06.10 | - | - | 9 | 5.7 | 98 | 별노랑이, 금계국, 수레국화, 꽃양귀비, 쭉, 비수리, 안고초, 루드베키아, 춘차국, 패랭이 |
| | ’08.07.01 | 6 | 8 | 9 | 7 | 88 | |
| | ’08.08.06 | 3 | 90 | 13 | 7 | 57 | |
| 실험구6 (무망5) | ’08.06.10 | - | - | 12 | 6.6 | 90 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 루드베키아, 끈끈이대나물, 쭉, 별노랑이, 양잔디, 수레국화 |
| | ’08.07.01 | 5 | 2 | 12 | 7 | 100 | |
| | ’08.08.06 | 10 | 15 | 14 | 7 | 76 | |
| 실험구7 (섬유망2) | ’08.06.10 | - | - | 12 | 6.6 | 85 | 자귀나무, 참싸리 별노랑이, 금계국, 억새, 샤스타테이지, 쭉 |
| | ’08.07.01 | 4 | 1 | 10 | 7 | 90 | |
| | ’08.08.06 | 7 | 17 | 11 | 7 | 70 | |
| 실험구8 (섬유망3) | ’08.06.10 | - | - | 3 | 6.4 | 95 | 자귀나무, 참싸리 루드베키아, 억새, 패랭이, 금계국, 쭉, 꽃양귀비, 별노랑이, 앵초 |
| | ’08.07.01 | 3 | 1 | 4 | 7 | 80 | |
| | ’08.08.06 | 10 | 25 | 12 | 7 | 20 | |
| 실험구9 (섬유망5) | ’08.06.10 | - | - | 4 | 6.4 | 90 | 붉나무, 자귀나무 금계국, 꽃양귀비, 별노랑이, 루드베키아, 억새, 샤스타테이지, 앵초 |
| | ’08.07.01 | 3 | 1 | 11 | 7 | 90 | |
| | ’08.08.06 | 9 | 20 | 14 | 7 | 50 | |
| 실험구10 (섬유망7) | ’08.06.10 | - | - | 3 | 6.4 | 90 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 샤스타테이지, 별노랑이, 루드베키아 |
| | ’08.07.01 | 3 | 1 | 10 | 7 | 95 | |
| | ’08.08.06 | 6 | 15 | 12 | 7 | 55 | |

평균경사도 40°(1 : 1.1 ~ 1 : 1.2), 방위 : 서향, 고도 : 229.2m

◇ 풍화암부

표 8. 기반재 상태 및 식생 모니터링 결과(풍화암부).

| 구분 | 날짜 | 출현 종수 (종) | 피복률 (녹화율) | 토양 경도 (mm) | 토양 산도 (pH) | 토양 습도 (%) | 출현종 |
|----------------|----------|-----------------|--------------|------------------|------------------|-----------------|--|
| 실험구1 (섬유망2) | 08.06.10 | - | - | 2 | 7 | 90 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 금계국, 금불초, 루드베키아, 벌노랑이, 샤스타테이지, 수레국화, 쑥, 안고초, 양잔디, 흰명아주 |
| | 08.07.01 | 6 | 14 | 5 | 7 | 90 | |
| | 08.08.06 | 13 | 85 | 7 | 7 | 30 | |
| 실험구2 (섬유망3) | 08.06.10 | - | - | 6 | 6.6 | 100 | 자귀나무, 참싸리 억새, 금계국, 꽃양귀비, 끈끈이대나물, 루드베키아, 벌노랑이, 샤스타테이지, 수레국화, 쑥, 좀명아주 |
| | 08.07.01 | 6 | 10 | 10 | 7 | 90 | |
| | 08.08.06 | 12 | 83 | 13 | 7 | 10 | |
| 실험구3 (섬유망5) | 08.06.10 | - | - | 5 | 6.7 | 80 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 금계국, 끈끈이대나물, 루드베키아, 벌노랑이, 샤스타테이지, 수레국화, 산국, 양잔디, 춘차국 |
| | 08.07.01 | 6 | 9 | 14 | 7 | 80 | |
| | 08.08.06 | 12 | 83 | 15 | 7 | 30 | |
| 실험구4 (섬유망7) | 08.06.10 | - | - | 10 | 6.2 | 100 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 금계국, 루드베키아, 벌노랑이, 샤스타테이지, 수레국화, 쑥, 양잔디, 춘차국 |
| | 08.07.01 | 6 | 7 | 10 | 6.8 | 65 | |
| | 08.08.06 | 11 | 75 | 10 | 7 | 20 | |
| 실험구5 (-) | 08.06.10 | - | - | 30 | - | - | 금계국, 수레국화 |
| | 08.07.01 | - | - | 30 | - | - | |
| | 08.08.06 | 2 | 1 | 25 | - | - | |
| 실험구6 (철망15) | 08.06.10 | - | - | 6 | 6.4 | 100 | 자귀나무, 참싸리 억새, 금계국, 루드베키아, 벌노랑이, 쑥, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 5 | 1 | 10 | 7 | 80 | |
| | 08.08.06 | 8 | 12 | 16 | 7 | 70 | |
| 실험구7 (철망12) | 08.06.10 | - | - | 6 | 6.6 | 100 | 붉나무, 소나무, 자귀나무, 참싸리 금계국, 끈끈이대나물, 루드베키아, 벌노랑이, 비름, 샤스타테이지, 수레국화, 쑥, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 6 | 2 | 11 | 7 | 90 | |
| | 08.08.06 | 13 | 12 | 14 | 7 | 60 | |
| 실험구8 (철망10) | 08.06.10 | - | - | 4 | 6.7 | 95 | 붉나무, 소나무, 자귀나무, 참싸리 루드베키아, 벌노랑이, 샤스타테이지, 쑥, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 5 | 3 | 11 | 7 | 80 | |
| | 08.08.06 | 9 | 24 | 10 | 7 | 50 | |
| 실험구9 (철망7) | 08.06.10 | - | - | 7 | 6.7 | 75 | 붉나무, 소나무, 자귀나무, 참싸리 금계국, 끈끈이대나물, 돌콩, 루드베키아, 벌노랑이, 샤스타테이지, 쑥, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 5 | 1 | 12 | 7 | 70 | |
| | 08.08.06 | 12 | 14 | 6 | 7 | 10 | |
| 실험구10 (철망5) | 08.06.10 | - | - | 7 | 6.6 | 80 | 자귀나무, 참싸리 끈끈이대나물, 벌노랑이, 샤스타테이지, 쑥, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 4 | 1 | 14 | 7 | 40 | |
| | 08.08.06 | 7 | 14 | 10 | 7 | 30 | |

평균경사도 49°(1 : 0.9 ~ 1 : 1), 방위 : 서향, 고도 : 228.5m

◇ 발파암부

표 9. 기반재 상태 및 식생 모니터링 결과(발파암부).

| 구분 | 날짜 | 출현 종수 (종) | 피복률 (녹화율) | 토양 경도 (mm) | 토양 산도 (pH) | 토양 습도 (%) | 출현종 |
|----------------|----------|-----------------|--------------|------------------|------------------|-----------------|--|
| 실험구1 (섬유망2) | 08.06.10 | - | - | 15 | 6.6 | 90 | 자귀나무, 참싸리 쭉, 금계국 |
| | 08.07.01 | 4 | 1 | 9 | 7.0 | 97 | |
| | 08.08.06 | 4 | 7 | 15 | 7.0 | 70 | |
| 실험구2 (섬유망3) | 08.06.10 | - | - | 10 | 6.7 | 89 | 자귀나무, 참싸리 패랭이, 루드베키아, 금계국, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 5 | 1 | 10 | 7.0 | 70 | |
| | 08.08.06 | 6 | 2 | 18 | 7.0 | 70 | |
| 실험구3 (섬유망5) | 08.06.10 | - | - | 11 | 6.5 | 79 | 자귀나무, 참싸리 금계국, 루드베키아, 샬스타테이지, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 5 | 1 | 8 | 7.0 | 80 | |
| | 08.08.06 | 6 | 5 | 14 | 7.0 | 65 | |
| 실험구4 (섬유망7) | 08.06.10 | - | - | 10 | 6.8 | 80 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 금계국, 벌노랑이, 쭉, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 4 | 1 | 8 | 7.0 | 80 | |
| | 08.08.06 | 7 | 12 | 3 | 7.0 | 80 | |
| 실험구5 (-) | 08.06.10 | - | - | 32 | - | - | 금계국, 샬스타테이지, 양잔디 |
| | 08.07.01 | - | - | 30 | - | - | |
| | 08.08.06 | 3 | 1 | 30 | 7.0 | 80 | |
| 실험구6 (철망15) | 08.06.10 | - | - | 1 | 6.6 | 70 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 루드베키아, 벌노랑이, 쭉, 안고초, 양잔디, 미국실새삼 |
| | 08.07.01 | 5 | 1 | 4 | 6.9 | 90 | |
| | 08.08.06 | 9 | 10 | 16 | 7.0 | 75 | |
| 실험구7 (철망12) | 08.06.10 | - | - | 1 | 6.0 | 80 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 억새, 금계국, 금불초, 루드베키아, 벌노랑이, 쭉 |
| | 08.07.01 | 6 | 3 | 8 | 6.6 | 92 | |
| | 08.08.06 | 9 | 30 | 13 | 7.0 | 75 | |
| 실험구8 (철망10) | 08.06.10 | - | - | 1 | 6.0 | 60 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리, 해송 금계국, 루드베키아, 벌노랑이, 샬스타테이지, 양잔디 |
| | 08.07.01 | 6 | 6 | 4 | 6.0 | 100 | |
| | 08.08.06 | 9 | 25 | 7 | 7.0 | 60 | |
| 실험구9 (철망7) | 08.06.10 | 0 | - | 1 | 6.0 | 70 | 붉나무, 자귀나무, 참싸리 금계국, 금불초, 꽃양귀비, 끈끈이대나물, 루드베키아, 벌노랑이, 수레국화, 쭉, 양잔디, 춘차국 |
| | 08.07.01 | 7 | 10 | 2 | 6.0 | 100 | |
| | 08.08.06 | 13 | 45 | 10 | 7.0 | 60 | |
| 실험구10 (철망5) | 08.06.10 | 0 | - | 1 | 6.2 | 70 | 자귀나무, 참싸리 금계국, 금불초, 꽃양귀비, 끈끈이대나물, 루드베키아, 벌노랑이, 수레국화, 쭉, 양잔디, 춘차국 |
| | 08.07.01 | 6 | 13 | 6 | 6.8 | 100 | |
| | 08.08.06 | 12 | 38 | 10 | 7.0 | 60 | |

평균경사도 55°(1 : 0.7), 방위 : 서향, 고도 : 230.1m