

발간등록번호
11-1541000-001388-01

최종
연구보고서

기후변화 대비 이산화탄소 저감형 생태옹벽 기술 개발

Development of Green Retaining Wall Covered with
Vegetation for CO₂ Mitigation against Climate Change

경 상 대 학 교

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “기후변화 대비 이산화탄소 저감형 생태옹벽 기술 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012 년 4 월 일

주관연구기관명 : 경 상 대 학 교

주관연구책임자 : 마 호 섭

연 구 원 : 강 원 석

연 구 원 : 강 은 민

연 구 원 : 민 형 식

연 구 원 : 박 승 환

연 구 원 : 강 윤 수

연 구 원 : 조 광 수

연 구 원 : 박 선 옥

연 구 원 : 이 유 나

위탁연구기관명 : 진주시 산림조합

협동연구책임자 : 김 용 철

연 구 원 : 김 남 부

연 구 원 : 정 덕 교

요 약 문

I. 제 목

“ 기후변화 대비 이산화탄소 저감형 생태옹벽 기술 개발 ”

II. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 절개지의 항구적 대책공법으로 절취에 의하여 절개지를 안정화할 경우, 절개면이 노출되어 있어 시간의 흐름과 함께 절개면의 침식작용과 더불어 붕괴를 유발하는 경우가 전국 곳곳에서 발생하고 있다. 대부분 국내 절개지는 암반으로 구성되어 있어 초기에는 낙석으로 시작하는 대규모 붕괴로 이어지는 경우를 종종 발견할 수 있다. 국내의 붕괴사태를 살펴볼 때 초기의 낙석을 방지할 수 있는 방안을 마련한다면 낙석으로 발생하는 물적, 경제적 피해를 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

○ 산지가 70% 이상인 국내 실정에 적합한 공법, 친환경적인 요소를 가미한 공법, 국토 효율성을 극대화 할 수 있는 공법이 요구되는 현실이며, 낙석 및 산사태로 인하여 발생하는 피해를 최소화하기 위하여 절개지 및 산사태 발생지역의 사면에 적용할 수 있는 친환경 생태옹벽 공법의 개발이 시급히 필요하다.

○ 고속도로나 국도, 단지, 하천 등에 삭막하게 설치되어 높이에 제한을 받거나 구조적 안전성이 상대적으로 떨어지면서도 비용이나 공사 기간 모두 부담스러웠던 기존의 콘크리트 옹벽 및 보강토 옹벽을 대체하고, 또한 식물이 잘 자라날 수 있도록 양분을 공급하는 공간이 부족하고, 구조적 불안정성을 해소하기 위해 보강재를 이용하는 블록형 및 판넬식 식생옹벽의 단점을 보완한 기술이 생태옹벽이다. 특히, 생태옹벽은 주변 경관과 잘 어울리는 자연친화적 옹벽으로 자리 잡으며 생태계 복원에도 기여할 수 있다.

○ 생태옹벽은 도시 공간의 생태적 문제 해결을 위해 ‘자연의 순환기능’의 유지와 개선을 유도하는 구조물로 2008년 1월부터 환경부에서 전면 시행 중에 있는 신도시 조성 등 대규모 택지개발이나 공동주택사업을 추진할 때 도시경관을 고려, 자연 순환기능을 나타내는 생태면적율을 일정비율 이상 확보하도록 하는 취지에 적합한 구조물이며, 자연지반 또는 자연지반과 연속성을 가지는 절·성토지반에 인공적으로 ‘자연지반녹지’ 조성에 적합한 구조물이다.

○ 특히, 콘크리트 옹벽에서 발산되는 복사열을 감소시켜 ‘도시열섬’완화에 효과가 있고, 도시 공간 내 이산화탄소의 축적으로 지구온난화 방지에 기여하는 효과가 있다.

○ 생태옹벽은 비가 오거나 물이 식생필터에 흘러들면 녹화가 자연스럽게 진행되며, 또한 사면의 안정 및 경관증진을 함께 도모할 수 있는 자연친화적인 맞춤형 토목공사용 옹벽 녹화 공법을 제공할 수 있으며, 또한 초본 및 목본의 식물들이 발아 및 조기 활착에 효과적이고, 생육에 따라 뿌리가 잘 내려 옹벽면의 녹화를 장기적으로 보장할 수 있다. 특히, 시공 및 관리가 용이하여 경제적이며, 각종 콘크리트 옹벽공사 후 경관 및 미관을 증진할 수 있는 효과가 있다.

○ 따라서 본 연구는 기후변화 대비 이산화탄소 저감형 생태옹벽의 기술 개발을 통하여 사면의 안정과 경관을 증진할 수 있는 학술적·산업적 자료를 제공하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

식생필터를 이용한 옹벽녹화 방법은 옹벽 시공시 옹벽 본체의 외부와 내부를 관통하여 경사 방향으로 식생홀을 형성하고, 상기 식생홀 내에는 녹화공간을 확보하도록 저부에서부터 순차적으로 흡수층, 토양층 및 식생필터 수납층을 형성하고, 상기 식생필터 수납층 내부에는 식생필터를 수납시켜 옹벽을 녹화한다.

1. 생태옹벽 기술개발

가. 옹벽의 종류별 특성 및 안정성 평가

- ◆ 옹벽의 종류별 특성분석
- ◆ 옹벽의 안정성 평가

나. 옹벽의 녹화기술 개발

- ◆ 녹화용 증진제 개발
- ◆ 녹화용 식물 선발 및 식재

다. 생태옹벽의 식물생육 모니터링

- ◆ 식물생육 특성 분석
- ◆ 녹화 피복도 분석

2. 생태옹벽의 설계 및 시공기술 개발

가. 생태옹벽의 표준설계도제작

- ◆ 현장지반조사
- ◆ 옹벽의 설계

나. 생태옹벽의 시험시공

- ◆ 생태옹벽의 시공
- ◆ 현장토의 평가

다. 생태옹벽의 기능평가 및 안전 점검

- ◆ 생태옹벽의 기능평가
- ◆ 옹벽의 안전 점검

IV. 연구개발결과

1. 맞춤형 생태옹벽의 개발

식생홀은 옹벽배면에서부터 흡수층, 토양층 및 식생필터 수납층으로 구성되면서 녹화공간이 확보된다. 식생홀은 옹벽의 두께 및 높이에 따라 다양하다. 녹화공간인 식생홀에 식생필터를 삽입되면 식생필터내의 종자와 묘목은 빗물에 의하여 발아되면 옹벽이 자연스럽게 녹화될 수 있도록 맞춤형 옹벽의 녹화공법을 개발하였다.

기후변화 대비 이산화탄소 저감형 생태옹벽 기술 개발을 연구한 결과들을 요약하면 다음과 같다.

1) 생태옹벽의 안정성해석은 옹벽자동설계프로그램인 RAD Pro. 프로그램으로 분석하였다. 콘크리트 생태옹벽의 안정성 검토 결과 옹벽의 높이 2.5m일 경우, 전도에 대한 작용편심은 상시 0.145, 지진시 0.428이므로 지방서에서 제시한 허용편심 0.375과 0.750를 만족하였고, 활동에 대한 안전율은 상시 2.771, 지진시 1.822로서 지방서에 제시한 허용치 1.500, 1.200을 만족하여 안정하였다. 또한 지지력에 대한 최대반력은 상시 7.628과 지진시 11.420으로서 허용지지력 26.479와 34.420을 모두 만족시켜 안정한 것으로 나타났다.

2) 생태옹벽의 예비시공은 기후인자에 의한 식물생장에 대한 실험의 오차를 줄이기 위하여 같은 사면 및 방위에 배치하였다. 직경 100mm 규격의 PVC관을 통하여 경사각 8°, 깊이 20cm의 식생홀을 조성하였다. 식재기반인 식생홀은 수직방향으로 50cm, 수평방향으로 110cm 간격으로 상, 중, 하의 36개소(3반복 × 3처리 × 4토양처리 = 36) 지점에

지그재그 형태로 배치하였다. 또한, 본 시공도 예비시공과 동일하게 식생활 36개소(3반복 × 3토양처리 × 묘목(4가지) = 36)를 설치하여 식생필터를 삽입하였다.

3) 식생필터의 외부는 배양토 및 종자의 유실을 막고 식생의 정착을 위해 황마로서 멀칭처리 하였다. 식생필터용 내부에 들어가는 배양토는 산림 부식토, 일반상토, 혼합토 및 산림 표층토로 만들어 조성하였다. 배양토는 미생물처리를 하였고, 배양토에 종자를 파종하거나 묘목을 식재하며, 식생필터의 크기는 10 - 30cm 정도로 구성된다.

4) 맞춤형 생태옹벽공법의 예비시공에 사용한 파종식물은 재래초본류 3종(패랭이, 구절초, 별개미취), 재래목본류(참싸리), 외래초본(한·난지형식물)류 3종(Tall fescue, Perennial ryegrass, weeping lovegrass), 귀화식물 2종(샤스타데이지, 기생초), 덩굴성 식물 1종(담쟁이)으로 총 10종을 선정하여 파종 하였다. 맞춤형 생태옹벽공법의 본 실험에 사용되어진 식물은 재래초본류 3종(패랭이, 구절초, 쑥부쟁이), 귀화식물(샤스타데이지) 총 4종을 선정하였다. 본 시공지역에서의 실험은 초본성 어린 실생묘를 심어 성장량을 비교·분석하였다.

5) 파종한 후 4주간에 걸쳐 초기 발아량을 조사한 결과 배양토별 발아량은 일반상토 > 산림부식토 > 혼합토 > 산림표층토 순으로 높게 나타났다. 일반상토, 산림부식토, 혼합토의 경우 4회의 조사에서 발아상태가 좋아지는 경향을 보였으나 산림표층토의 경우 초기부터 발아 상태가 좋지 않았으며 시간이 지날수록 다른 배양토에 비해 발아량이 저조하게 나타났다.

6) 초기 발아에 있어서 배양토는 일반상토 및 산림부식토가 식생필터에 적합하였으며, 콘크리트 생태옹벽의 종자 파종을 통한 조기 녹화를 위해서는 외래초종의 경우 페레니얼라이그래스 및 톨웨스큐, 재래초종은 패랭이와 구절초가 양호한 것으로 보인다.

7) 배양토별 평균 발아율은 일반상토(33%) > 산림부식토(19%) > 혼합토(17%) > 산림표층토(10%)의 순으로 나타났으며, 토양 미생물처리별 평균 발아율은 미생물50%(30%) > 미생물100%(25%) > 무처리(23%)의 순으로 나타났다.

8) 배양토별 생존개체수 조사결과 5월의 생존개체수는 일반상토 213개체, 산림표층토 110개체, 혼합토 100개체, 산림부식토 59개체 순으로 발아하였으며, 생존율도 일반상토, 산림표층토, 혼합토, 산림부식토 순으로 생존개체수와 같은 경향을 보였다. 5월 이후로 생존개체수의 생존율은 모든 배양토에서 감소하였다. 그 중 산림표층토의 경우 5월에서 6월 생존율이 급격히 감소하였는데 산림표층토의 경우 pH가 3.93으로서 산성화 경향이 강하

게 분석 되었고, 유기물 함량이 2.87%로 일반상토 61.80%에 비해 가장 낮았으며 식물생육초기에 필요한 유효인산의 경우 산림부식토(2.15mg/kg), 산림표층토(2.53mg/kg), 일반상토(338.50mg/kg), 혼합토(125.04mg/kg)로 나타나 식생이 자라는데 적합하지 못하다고 판단된다.

9) 배양토 및 처리별 생존개체수 변화에서 무처리에서는 일반상토, 혼합토, 산림부식토, 산림표층토 순으로 높게 나타났고, 미생물처리별 생존개체수 변화에서 50% 미생물처리구는 일반상토, 산림부식토, 혼합토, 산림표층토 순으로 높게 나타났다. 그리고 100% 미생물처리구는 무처리구와 같이 일반상토, 혼합토, 산림부식토, 산림표층토 순으로 높게 나타났다.

10) 배양토별 전체 고사개체수를 보면 산림부식토 66개체, 산림표층토 110개체, 일반상토 211개체, 혼합토 112개체로 일반상토에서 가장 많이 고사한 것으로 나타났다.

11) 배양토별 파종한 종자의 성장량은 혼합토 > 일반상토 > 산림표층토 > 산림부식토 순으로 나타났으며 토양처리에 따른 성장량은 미생물처리 100% > 미생물처리 50% > 무처리 순으로 나타났다.

12) 배양토별 식재묘목의 성장량은 산림토 > 혼합토 > 일반상토 순으로 나타나 예비시공과는 다른 결과가 나타났다.

13) 식재묘목의 성장량을 조사·분석한 결과 구절초 > 쑥부쟁이 > 샬스타데이지 > 패랭이 순으로 나타났다. 혼합토에서는 패랭이, 쑥부쟁이가 좋은 성장을 보였고, 산림토에서는 구절초와 샬스타데이지가 좋은 성장을 보였다.

14) 성장량을 조사·분석한 결과 외래초종인 페네리얼라이그래스와 툴웬스큐의 경우 모든 배양토에서 좋은 생육상태를 보여 옹벽의 조기 녹화에 사용가능하다고 판단되었다. 그러나 외래초종의 경우 다른 식물과 같이 심었을 때 우점하는 경향을 보여 다른 식물의 성장에 방해가 되므로 혼식에 있어서 주의해야 할 것으로 보인다. 또한, 재래초종의 경우 패랭이가 가장 좋은 성장을 보였으며 귀화식물은 샬스타데이지가 양호한 성장을 보였다.

2. 생태옹벽의 설계 및 시공기술 개발

1) 콘크리트 생태옹벽의 시공을 위해 시공지역의 기상현황 및 재해발생현황과 지형, 지질 및 토양조사 등 지반조사를 실시하였다.

2) 옹벽의 안전성을 기초로 콘크리트 생태옹벽의 표준도를 작성하기 위하여 설계조건을 결정하고 설계기법을 제시하였다.

3) 콘크리트 생태옹벽은 1단으로 구성하고 높이 2.5m, 면적 30㎡의 콘크리트 생태옹벽을 예비시공을 하였고, 본 시공에서 콘크리트의 생태옹벽은 1단으로 높이 1.0m, 면적 40㎡의 생태 옹벽을 설치하였다.

4) 생태옹벽의 시공 후 붕괴원인이 될 수 있는 기초지반의 지지력 부족, 배수공 부족 및 막힘, 뒷채움 재료의 불량 및 성토다짐 불량, 시공불량에 따른 강도부족 등에 대하여 검토하였다.

5) 생태옹벽은 환경적 및 공익적 관점에서 토사붕괴방지, 대기오염 및 탄소저감, 경관보전 및 소음차단 기능으로 구분하여 제시하였다.

6) 생태옹벽은 옹벽의 세굴, 침하상태, 경사/전도 상태, 활동, 배수관의 상태, 파손, 균열 및 마모/침식에 대한 상대평가를 통하여 평가를 하며, 생태옹벽에 대한 안정성 평가기준은 점수에 따라 아주양호, 양호, 보통, 불량 및 아주불량의 5등급으로 구분하여 제시하였다.

V. 연구성과 활용계획

생태옹벽은 비가 오거나 물이 식생필터에 흘러들면 녹화가 자연스럽게 진행되며, 또한 사면의 안정 및 경관증진을 함께 도모할 수 있는 자연친화적인 맞춤형 토목공사용 옹벽 녹화 공법을 제공할 수 있으며, 또한 초본 및 목본의 식물들이 발아 및 조기 활착에 효과적이고, 생육에 따라 뿌리가 잘 내려 옹벽면의 녹화를 장기적으로 보장할 수 있다. 특히, 시공 및 관리가 용이하여 경제적이며, 각종 콘크리트 옹벽공사 후 경관 및 미관을 증진할 수 있는 효과가 있다.

1. 활용계획

- 국도 및 임도 절토면의 구조적 안정과 사면안정 확보.
- 맞춤형 생태옹벽 개발로 공기의 획기적 단축 및 경제성 향상.
- 세굴 등으로 인한 피해 방지를 위한 항구적이고 안정적인 기술보급.
- 구조적으로 안정한 기술개발로 인한 급경사지에서의 시공성 향상 및 안정성 증대.
- 식생을 도입하여 미관과 경관을 증진시키는 친환경적 옹벽 개발.
- 기초지반에 대한 요구도가 낮아 연약지반에서도 시공이 간편.
- 배수시설을 적용하여 배수 불량에 따른 사면붕괴를 저감시켜 인명 및 재산 보호.
- 중장비의 반입이 어려운 현장에 적용 가능.
- 사면형태나 지반조건에 구애받지 않고 적용 가능.
- 현장특성과 사면규모에 따라 적합하게 시공.
- 표면형상이 불량한 사면, 기복이 심한 사면을 복원.
- 수분공급 및 저장기능이 우수하여 안정적이 녹화상태를 유지.
- 사면안정 및 보호, 녹화 등 복합적인 기능으로 영구적 사면 안정성을 확보
- 생태옹벽 개발로 인한 인명, 재산피해 및 사면붕괴 예방으로 공익증대에 기여.
- 기존 공법보다 보강간격을 넓힐 수 있어 시공수량을 줄임으로써 공사비 절감효과가 기대 됨.
- 옹벽 내부에서 옹벽을 녹화하므로 향후 유지관리 측면에서도 매우 유리한 공법 임.
- 본 공법은 국내 특허등록을 출원 중에 있어 절개지 사면에 보급될 경우 국가경제에 기여하게 됨.
- 향후 외국에 기술수출로 인한 건설업 경쟁력 확보에도 크게 기여할 것으로 기대.
- 산업재산권 확보를 통한 기술료 수입 기대.
- 생태옹벽기술은 국내복원산업체에 이전하여 복원 산업을 활성화 시킬수 있음.
- 콘크리트 옹벽에서 발산되는 복사열을 감소시켜 ‘도시열섬’의 완화 효과가 있음.
- 생태옹벽의 시공으로 도시 공간 내 이산화탄소의 축적으로 지구온난화 방지에 기여.

SUMMARY

1. The development of customized eco-retaining wall

The vegetation holes from the back of eco-retaining wall consists of the absorber layer of water, soil layer and holder layer of vegetation filter. The vegetation holes which the space for revegetation inserted to the vegetation filter. In particular, the vegetation hole will vary to thickness and height of the retaining wall. When is rain, the seeds or seedlings planted in the vegetation filter is germinate or growth. The techniques of customized eco-retaining wall for carbon dioxide reduction type against climate change has been developed.

The obtained results from this study can be summarized as follows;

1) The eco-retaining wall will support and maintain the slope stability to prevent the collapse of the slope, resistance to earth pressure in cutting slope and banking slope. The stability analysis of eco-retaining wall was used the RAD Pro. Manual with dedicated program for the design of the retaining wall.

In the stability analysis of the eco-retaining wall with concrete of 2.5m height, the stability of fall was stabled as $0.145 < 0.375$ in ordinary, $0.428 < 0.750$ in earthquake. The stability of sliding was stabled as $2.771 > 1.500$ in ordinary, $1.822 > 1.200$ in earthquake. In addition, the maximum reaction force at all times supportive and earthquake was stabled as $7.628 < 26.479$ and $11.420 < 34.420$ respectively.

2) Preliminary construction of the eco-retaining wall were allotted in the same area to reduce the experimental error on plant growth by the climate factors. The vegetation holes was composited to 8° in degree and 20 cm in depth using PVC pipe with 100mm diameter. Vegetation holes for planting were placed at the 36 points (3 replications \times 3 soil treatment \times 4 culture soils = 36) in the form of a zigzag with 50cm in the vertical direction based, 110cm spaced horizontally low. In addition, The main construction in second placed at the 36 points (3 replications \times 3 soil treatment \times 4 seedlings = 36), vegetation holes were inserted into the vegetation filters.

3) The outside of vegetation filter to prevent the loss of the soil medium and seed for the establishment of vegetation was mulched as jute. The culture soils entering in inside of vegetation filter was created the forest humus soil, merchantable

soil, the surface soils of forest and soil mixed with 3 sorts. Culture soil was treated as microorganisms and culture soils with sown seeds or planted seedlings were inserted in the 10 - 30cm deep of vegetation hole on retaining wall.

4) The plants used in the preliminary construction were selected a total of 10 species with native herbaceous of three kinds (*Dianthus chinensis*, *Chrysanthemum zawadskii* var. *latilobum*, *Aster koraiensis*), traditional woody plant (*Lespedeza cyrtobotrya*), outpatient herbaceous (warm and cool season grass) of three kinds (Tall fescue, Perennial ryegrass, weeping lovegrass), two kinds of naturalized plants (*Chrysanthemum burbankii*, *Coreopsis tinctoria*) and one kind of climbing plant (ivy). The plants used in the main construction were selected a total of 4 species with native herbaceous of three kinds (*Dianthus chinensis*, *Chrysanthemum zawadskii* var. *latilobum*, *Aster yomera*) and one kinds of naturalized plants (*Chrysanthemum burbankii*).

5) The amount of germination by soil medium after seed highly showed in order of merchantable soil > forest humus soil > mixed soil > surface soil of forest. The germination amount of merchantable soil, forest humus soil and mixed soils in the survey of four times tended to good growth from the beginning of germination, but that of surface soil of forest was lower than other culture soil over time.

6) The merchantable soil and forest humus soil for initial germination were suitable as soil medium. Foreign species (Perennial ryegrass, Tall fescue) and native species (*Dianthus chinensis*, *Chrysanthemum zawadskii* var. *latilobum*) have a good for the effects of early revegetation by seed.

7) The rate of average germination by soil medium was showed in order of merchantable soil(33%) > forest humus soil(19%) > mixed soil(17%) > surface soil of forest (10%), The rate of average germination by microorganisms treatment was observed in order of 50% microorganisms plot(30%) > 50% microorganisms plot(25%) > 0% microorganisms plot (23%).

8) The number of survival populations by soil medium in May were germinated in order of 213 in merchantable soil, 110 in surface soil of forest, in mixed soil, soils, 59 in forest humus soil. The survival rate shows the same trend as that of survival

populations. Since May the survival rate of survival populations was reduced in all the culture soil. In addition, the survival rate of surface soil of forest from May to June was abruptly decreased by strongly acidic pH of 3.93. And contents of organic matter analyzed was the lowest in compared to merchantable soil of 61.80% as 2.87%. The available phosphorus needed in the early plant growth was the lowest in compared to that of other cultured soils(merchantable soil: 338.50 mg/kg, mixed soil: 125.04 mg/kg) as 2.53 mg/kg.

9) The changes of population survival by soil medium was higher in order of merchantable soil, mixed soil, forest humus soil and surface soil of forest. The 50% plot in changes of survival populations by microorganisms treatment was higher in order of merchantable soil, forest humus soil, mixed soil and surface soil of forest. The 100% plot in changes of survival populations by microorganisms treatment was higher in order of merchantable soil, mixed soil, forest humus soil and surface soil of forest.

10) The number of withered populations by soil medium was showed in order of 211 in merchantable soil, 110 in surface soil of forest, 112 in mixed soil, soils, 66 in forest humus soil.

11) The growth of germinated plant by soil medium was showed in order of mixed soil, merchantable soil, forest humus soil, surface soil of forest. The growth of germinated plant by microorganisms treatment was showed in order of 100% plot, 50% plot and untreated plot.

12) The growth of seedlings plant by soil medium was showed in order of forest soil, mixed soil, merchantable soil. The result showed other this the preliminary execution.

13) The growth of seedlings plant *Chrysanthemum zawadskii* > *Aster yomera* > *Chrysanthemum burbankii* > *Dianthus chinensis*. The mixed soil like as *Dianthus chinensis* and *Aster yomera* showed the best growth, The forest soil like as *Chrysanthemum burbankii* and *Chrysanthemum burbankii* have a best growth.

14) The foreign species like as Tall fescue and Perennial ryegrass was deemed available for the early recovery of concrete wall showing the status of a good growth in all soil medium. However, if the foreign species planted with other plants, it show a tendency to dominance interferes with the growth of other plants. The native species like as *Dianthus chinensis* showed the best growth, naturalized plant like as *Chrysanthemum burbankii* have a good growth.

2. Development of design and construction techniques of eco-retaining walls

1) For the construction of concrete eco-retaining wall, the disaster status and status of weather was conducted in construction area, and surveyed terrain, geological and geotechnical investigation, including soil.

2) The techniques of standards design of concrete eco-retaining wall presented on the design requirements and the basis of safety.

3) The concrete eco-retaining wall constructed the height 2.5m, an area of 30m² with one-column configuration in first year. The concrete eco-retaining wall was installed the height 1.0m, an area of 40m² with one-column configuration in second year.

4) The causes collapse of the eco-retaining wall like as bearing capacity of foundation soil, drainage hole, compaction of backfill material and concrete strength were investigated in construction area.

5) The functions of eco-retaining wall were presented separately a collapses, air pollution, carbon sequestration, landscape conservation and noise isolation in environmental and public interest.

6) The evaluation of eco-retaining wall relatively conducted for a scouring, settlement status, tilt/turnover states, sliding, and drain state, damage, cracks and wear/erosion. The assessment criteria for stability for eco-retaining wall presented to 5 levels as very good, good, fair, poor and very poor by score.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of Research	17
Para. 1. Necessity and Object of research	17
Para. 2. Range of the research	19
Chapter 2. Technological Innovation Present Condition of Korea and Foreign Nation	21
Chapter 3. Scope and Result of the Study and Development	22
Para. 1. Development of customized eco-retaining wall	22
1. Characteristics of each type of retaining wall	22
2. Calculation of earth pressure	40
3. Stability of Retaining Walls	45
4. Review on drainage of the retaining wall	49
5. Stability Analysis of concrete eco-retaining wall	53
6. Development of revegetation techniques on customized eco-retaining wall	69
7. Monitoring of plant growth on the eco-retaining wall	95
Para. 2. Development of design and construction techniques on eco-retaining wall	133
1. Production of standard design on the eco-retaining wall	133
2. Design of eco-retaining wall	137
3. Construction of the eco-retaining wall	143
4. Field evaluation and discussion	156
5. Functional assessment of the eco-retaining wall	160
6. Safety inspection of the eco-retaining wall	162
7. Design and construction manual of eco-retaining wall	168

Chapter 4. Attainment rate of goal and contributions in related field	178
Para. 1. Development of customized eco-retaining wall	178
Para. 2. Development of design and construction techniques on eco-retaining walls	179
Chapter 5. Utilization scheme of research development outcome	180
Chapter 6. Foreign science technology information collected from the research development process	181
Chapter 7. References	182

목 차

제 1장 연구개발과제의 개요	17
제 1절 연구개발의 필요성 및 목적	17
제 2절 연구개발의 범위	19
제 2장 국내외 기술개발 현황	21
제 3장 연구개발 수행 내용 및 결과	22
1. 맞춤형 생태옹벽의 개발	22
가. 옹벽의 종류별 특성	22
나. 토압의 계산	40
다. 옹벽의 안정성 평가	45
라. 옹벽의 배수시설 검토	49
마. 콘크리트생태옹벽의 안정성 해석	53
바. 맞춤형 생태옹벽의 녹화기술 개발	69
사. 생태옹벽의 식물 생육 모니터링	95
2. 생태옹벽의 설계 및 시공기술 개발	135
가. 생태옹벽의 표준설계도 제작	135
나. 콘크리트생태옹벽의 설계	139
다. 생태옹벽의 시공	145
라. 현장토의 평가	158
마. 생태옹벽의 기능평가	162
바. 생태옹벽의 안전점검	164
사. 콘크리트생태옹벽 설계 및 시공 매뉴얼	170
제 4장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	180
제 1절 맞춤형 생태옹벽의 기술개발	180

제 2절 생태옹벽의 설계 및 시공기술 개발	181
제 5장 연구개발결과의 활용계획	182
제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	183
제 7장 참고문헌	184

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발의 필요성 및 목적

○ 최근 기상이변과 호우성 강우로 인하여 낙석 및 산사태 재해가 자주 발생하고 있는 실정이다. 도시화와 개발로 인해 발생하는 인명피해는 1999년 25.8%, 2000년에는 36.7%로 증가추세에 있으며 낙석 및 산사태로 인한 인명피해는 연간 70여명에 달하고 있다. 도로 절개지의 관리운영 자료를 참고하면 연간 차량피해 및 인명피해가 끊임없이 발생하고 있으며 국도 두절에 의한 간접적 경제적 손실까지 감안하면 기하급수적으로 피해규모는 증가할 것으로 추정된다.

○ 이러한 사면 붕괴를 막기 위해 토압에 저항하여 이를 지지하고 안정을 유지하며 또한 자연사면을 안정하게 유지할 수 없는 경우나 지표면이 급경사 또는 수직으로 큰 단차를 이루는 경우에 안정성을 확보하기 위해 구조물의 시공이 필요하다.

○ 건설교통부 도로관련 기본정비계획에 의하면 2020년까지 전국 도로망 체계완비를 목표로 추진중에 있는데, 이와 같은 대규모 도로망 확충사업으로 사면형태는 다양하고 대형화되고 있으므로 대절토사면에 부합하는 새로운 대책공법 마련이 시급한 실정이다. 국내의 경우, 절개지 안정화 대책의 대부분은 경사 완화 및 낙석방지울타리, 낙석 방지망 등의 공법을 주로 채택하여 운용하고 있다.

○ 절개지의 항구적 대책공법으로 절취에 의하여 절개지를 안정화할 경우, 절개면이 노출되어 있어 시간의 흐름과 함께 절개면의 침식작용과 더불어 붕괴를 유발하는 경우가 전국 곳곳에서 발생하고 있다. 대부분 국내 절개지는 암반으로 구성되어 있어 초기에는 낙석으로 시작하는 대규모 붕괴로 이어지는 경우를 종종 발견할 수 있다. 국내의 붕괴사례를 살펴볼 때 초기의 낙석을 방지할 수 있는 방안을 마련한다면 낙석으로 발생하는 물적, 경제적 피해를 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

○ 토지를 효율적으로 이용함으로써 보다 많은 택지를 조성할 수 있는 장점이 있어 도로, 철도, 교량의 교대, 안벽 등에 널리 이용되고 있는 여러 형태의 옹벽들이 시공되고 있다. 옹벽은 다양한 재료들에 의해 만들어지며 그 중 콘크리트를 이용한 옹벽이 많이 시공되고 있다.

○ 산지가 70% 이상인 국내 실정에 적합한 공법, 친환경적인 요소를 가미한 공법, 국토

효율성을 극대화 할 수 있는 공법이 요구되는 현실이며, 낙석 및 산사태로 인하여 발생하는 피해를 최소화하기 위하여 절개지 및 산사태 발생지역의 사면에 적용할 수 있는 친환경 생태옹벽 공법의 개발이 시급히 필요하다.

○ 고속도로나 국도, 단지, 하천 등에 삭막하게 설치되어 높이에 제한을 받거나 구조적 안전성이 상대적으로 떨어지면서도 비용이나 공사 기간 모두 부담스러웠던 기존의 콘크리트 옹벽 및 보강토 옹벽을 대체하고, 또한 식물이 잘 자라날 수 있도록 양분을 공급하는 공간이 부족하고, 구조적 불안정성을 해소하기 위해 보강재를 이용하는 블록형 및 판넬식 식생옹벽의 단점을 보완한 기술이 생태옹벽이다. 특히, 생태옹벽은 주변 경관과 잘 어울리는 자연친화적 옹벽으로 자리 잡으며 생태계 복원에도 기여할 수 있다.

○ 생태옹벽은 현장에서 발생한 토석을 그대로 이용하므로 환경부하가 없으며, 내부에 채우는 토석은 현장에서 굴취, 절취되는 재료를 이용하고 있어서 잔토의 발생량도 줄일 수 있으므로 환경파괴가 거의 발생하지 않는다. 또한 식생도입이 용이하며, 시공 후 1개월이면 시공한 옹벽의 내부에 식생이 피복됨으로 녹화계획이나 비오톱(biotope) 조성에 기여할 수 있는 친환경적 공법이다.

○ 생태옹벽은 도시 공간의 생태적 문제 해결을 위해 '자연의 순환기능'의 유지와 개선을 유도하는 구조물로 2008년 1월부터 환경부에서 전면 시행 중에 있는 신도시 조성 등 대규모 택지개발이나 공동주택사업을 추진할 때 도시경관을 고려, 자연 순환기능을 나타내는 생태면적율을 일정비율 이상 확보하도록 하는 취지에 적합한 구조물이며, 자연지반 또는 자연지반과 연속성을 가지는 절·성토지반에 인공적으로 '자연지반녹지' 조성에 적합한 구조물이다. 특히, 콘크리트 옹벽에서 발산되는 복사열을 감소시켜 '도시열섬'완화에 효과가 있고, 도시 공간 내 이산화탄소의 축적으로 지구온난화 방지에 기여하는 효과가 있다.

○ 생태옹벽은 비가 오거나 물이 식생필터에 흘러들면 녹화가 자연스럽게 진행되며, 또한 사면의 안정 및 경관증진을 함께 도모할 수 있는 자연친화적인 맞춤형 토목공사용 옹벽 녹화 공법을 제공할 수 있으며, 또한 초본 및 목본의 식물들이 발아 및 조기 활착에 효과적이고, 생육에 따라 뿌리가 잘 내려 옹벽면의 녹화를 장기적으로 보장할 수 있다. 특히, 시공 및 관리가 용이하여 경제적이며, 각종 콘크리트 옹벽공사 후 경관 및 미관을 증진할 수 있는 효과가 있다.

○ 따라서 본 연구는 기후변화 대비 이산화탄소 저감형 생태옹벽의 기술 개발을 통하여 사면의 안정과 경관을 증진할 수 있는 학술적·산업적 자료를 제공하고자 한다.

제 2절 연구개발의 범위

1. 생태옹벽 기술개발

가. 옹벽의 종류별 특성 및 안정성 평가

◆ 옹벽의 종류별 특성분석

- 중력식 반중력식 옹벽
- 버팀벽식, 부축식 옹벽
- 특수옹벽(보강토, 계비온, 크립옹벽 등)

◆ 옹벽의 안정성 평가

- 전도 및 활동
- 배수검토

나. 옹벽의 녹화기술 개발

◆ 녹화용 충전제 개발

- 식생필터 제작
- 녹화배양토 조제

◆ 녹화용 식물 선발 및 식재

- 녹화용 식물 선발
- 녹화용 식물 식재

다. 생태옹벽의 식물생육 모니터링

◆ 식물생육 특성 분석

- 발아율 조사
- 생존개체수 분석

◆ 녹화 피복도 분석

- 성장량 조사
- 피복율 조사

2. 생태옹벽의 설계 및 시공기술 개발

가. 생태옹벽의 표준설계도제작

◆ 현장지반조사

- 토양조사
- 지질조사

◆ 옹벽의 설계

- 표준설계도 제작
- 재료별 수량 산출 및 예비시공

나. 생태옹벽의 시험시공

◆ 생태옹벽의 시공

- 현장시험 시공

◆ 현장토의 평가

- 시험시공 후 문제점 검토

다. 생태옹벽의 기능평가 및 안전 점검

◆ 생태옹벽의 기능평가

◆ 옹벽의 안전 점검

◆ 생태옹벽 메뉴얼작성

제 2 장 국내외 기술개발 현황

본 연구 과제를 수행하기 위한 국내의 기술력과 현장시공능력은 아직 국내외적으로 연구와 기술 축적이 정립되지 않아 다소 미진한 부분이 없지 않으며, 기술정보면에 있어서도 충분하지 않다.

기존의 특허는 옹벽의 녹화를 위하여 블록의 이용 또는 목재를 이용하거나 판넬을 붙여 시공하여 많은 경비와 시간이 소요되지만 현재 옹벽자체에서 식재공간을 만들어 식생이 성장할 수 있도록 하는 기술개발들이 시도되고 있다.

국내 옹벽개발은 사면안정이 시공되는 모든 영역에 걸쳐 있어 그 시장은 엄청나게 크며 따라서 모든 회사에서 새로운 제품의 개발을 위하여 많은 시간과 노력을 통하여 연구개발을 진행 중에 있다.

고속도로나 국도, 단지, 하천 등에 삭막하게 설치되어 높이에 제한을 받거나 구조적 안전성이 상대적으로 떨어지면서도 비용이나 공사 기간 모두 부담스러웠던 기존의 콘크리트 옹벽 및 보강토 옹벽을 대체하고, 또한 식물이 잘 자라날 수 있도록 양분을 공급하는 공간이 부족하고, 구조적 불안정성을 해소하기 위해 보강재를 이용하는 블록형, 매트 및 판넬식 식생옹벽의 단점을 보완한 기술이 여러 형태의 생태옹벽이다. 특히, 생태옹벽은 주변 경관과 잘 어울리는 자연친화적 옹벽으로 자리 잡으며 생태계 복원에도 기여할 수 있다.

국내에서는 옹벽 녹화용 국산 초류 및 외래 초류의 발아 특성의 규명에 관한 연구는 미진한 실정이지만 여러형태의 녹화옹벽에 덩굴식물류나 화단식 관목, 내건성(耐乾性)과 내한성(耐寒性)이 강한 지피식물로 세덤류, 바위솔, 기린초, 지면패랭이, 잔디와 이끼류 등을 식재하여 사용하고 있다.

산업화가 진행됨에 따라 우리나라는 매년 개발이 많아질 것이므로 이로 인한 훼손사면 지역의 녹화 즉 생태옹벽에 대한 기술개발 및 경비를 절약할 수 있는 새로운 공법의 개발이 필요하다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 맞춤형 생태옹벽의 개발

1. 옹벽의 종류별 특성

옹벽(Retaining wall)은 흙막기 또는 흙쌓기에 있어서 흙의 붕괴를 막고, 토압에 저항하여 이를 지지하고 안정을 유지하며 또한 자연사면을 안정하게 유지할 수 없는 경우나 지표면이 급경사 또는 수직으로 큰 단차를 이루는 경우에 흙, 또는 기타 재료의 안정성을 확보하기 위해 이용되는 토목 구조물이다. 일반적으로 옹벽은 공사의 안정성, 경제성, 시공성, 용지의 절약 등에서 안정 경사도보다 급한 경사도로 절토 및 성토할 필요가 있는 경우에 만들어지며, 도심지에 성토에 의한 도로공사의 경우 옹벽을 만들어 도로의 점유폭이 적어지고, 용지 및 가옥 보상비가 대폭으로 절약된다. 또한 성토에 의한 택지 조성의 예로써 옹벽 시공에 의하여 토지를 효율적으로 이용함으로써 보다 많은 택지를 조성할 수 있는 장점이 있다. 일반적으로, 옹벽은 도로, 철도, 교량의 교대, 안벽 등에 널리 이용되고 있으며, 그 재료와 형상에 따라 그림 1-1 및 1-2와 같이 분류되며, 구조형식별 특징과 적용높이는 표 1-1 및 1-2와 같다.

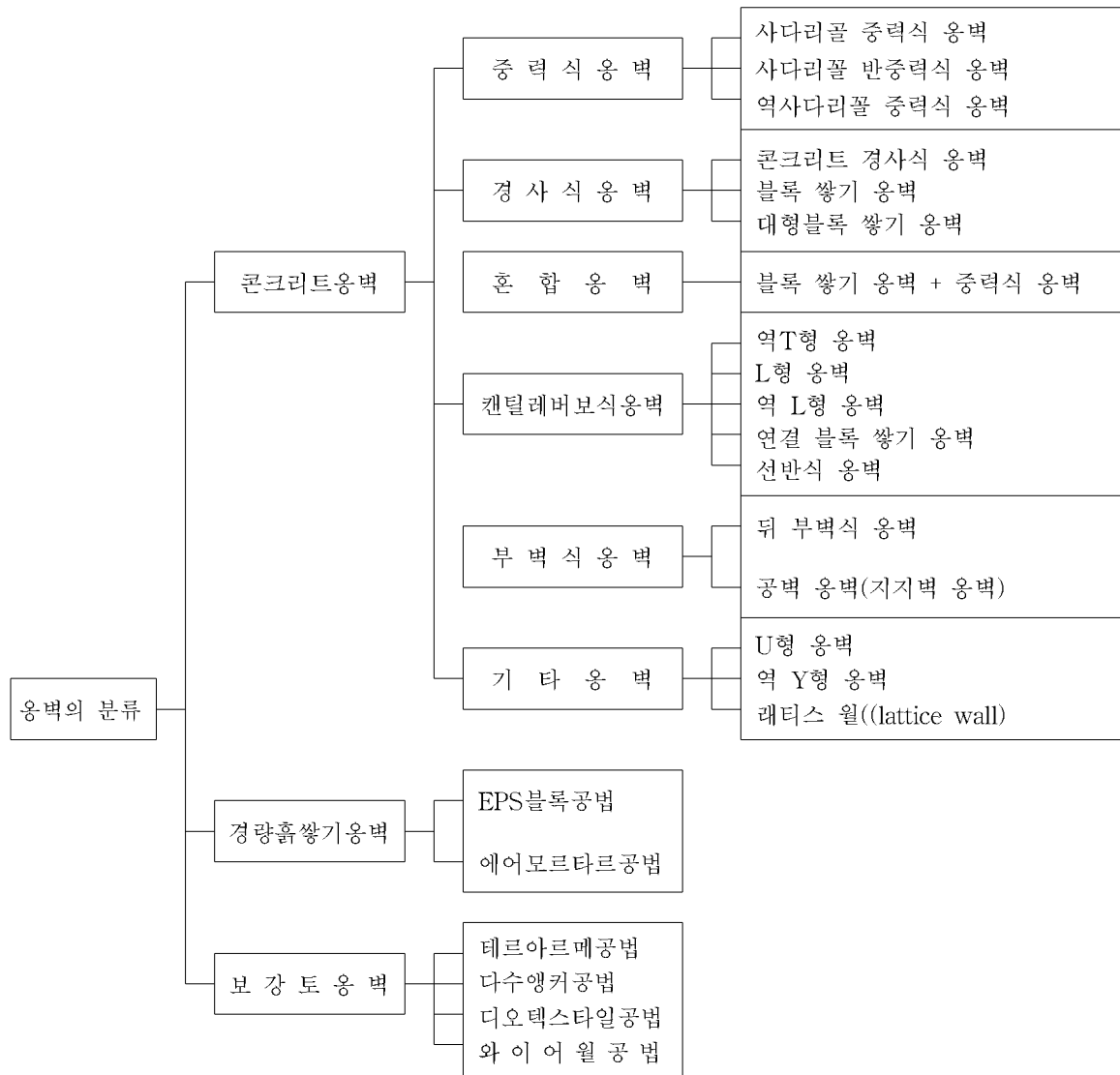
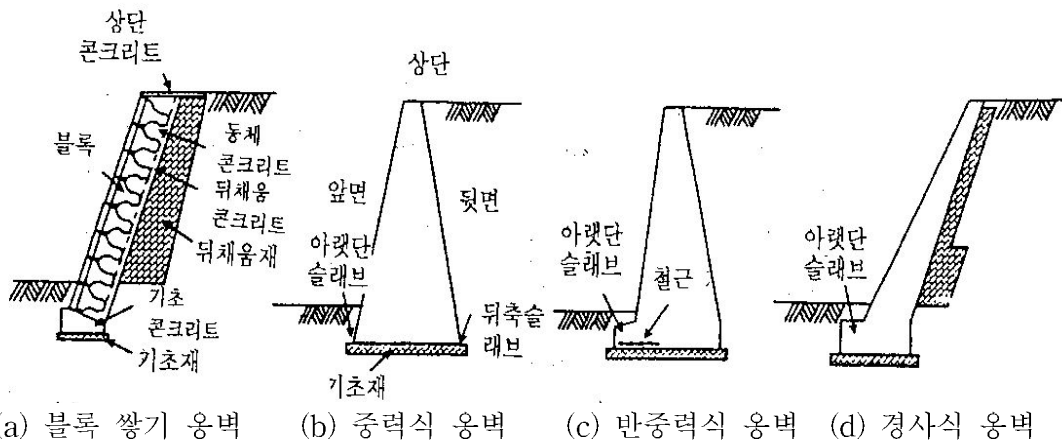
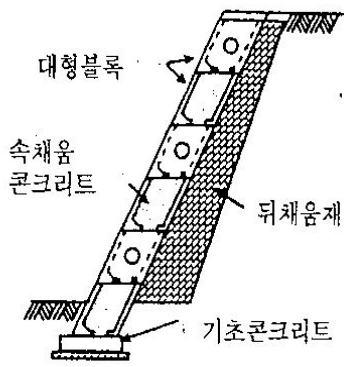
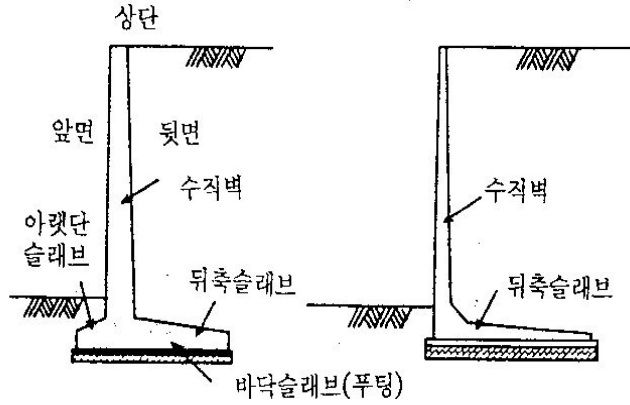


그림 1-1. 옹벽의 분류



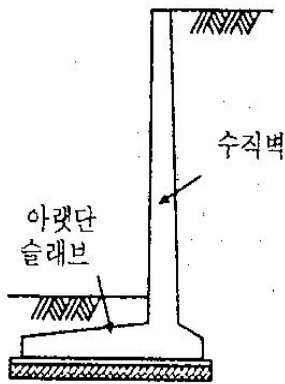


(e) 대형 블록 쌓기 옹벽

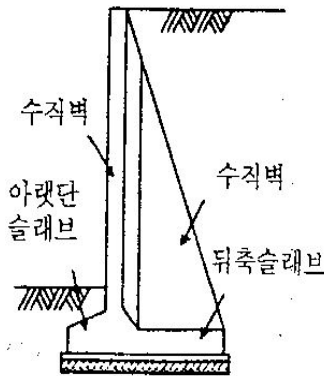


(f) 역 T형 옹벽

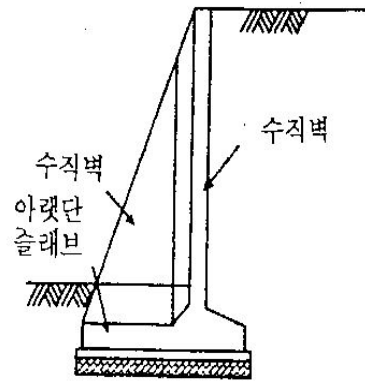
(g) L형 옹벽



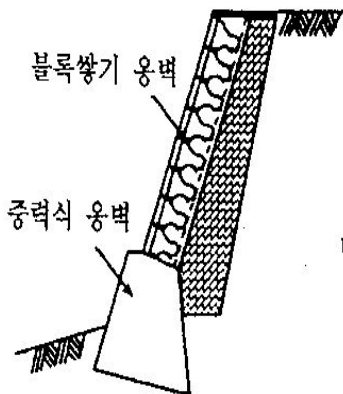
(h) 역 L형 옹벽



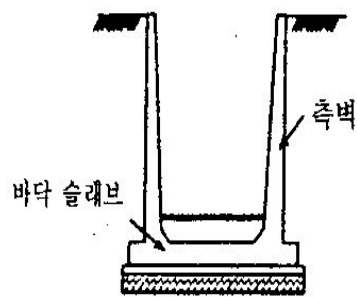
(i) 뒤 부벽식 옹벽



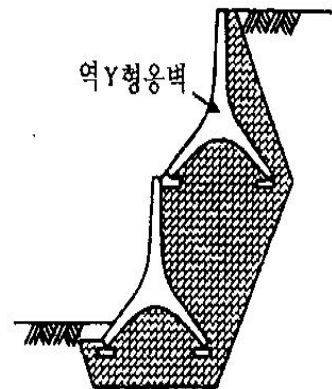
(j) 공벽식 옹벽



(k) 혼합 옹벽



(l) U형 옹벽



(m) 역 Y형 옹벽

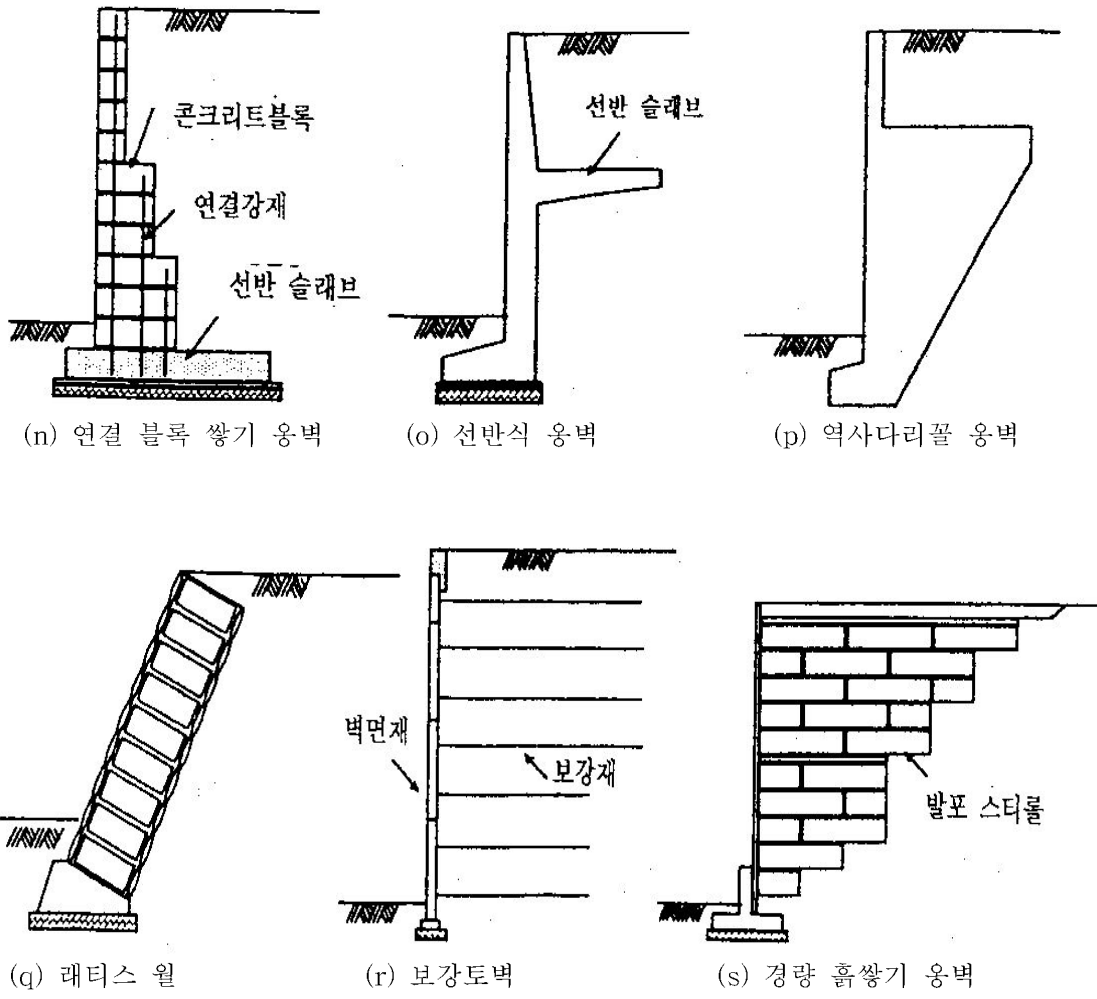


그림 1-2. 옹벽의 종류

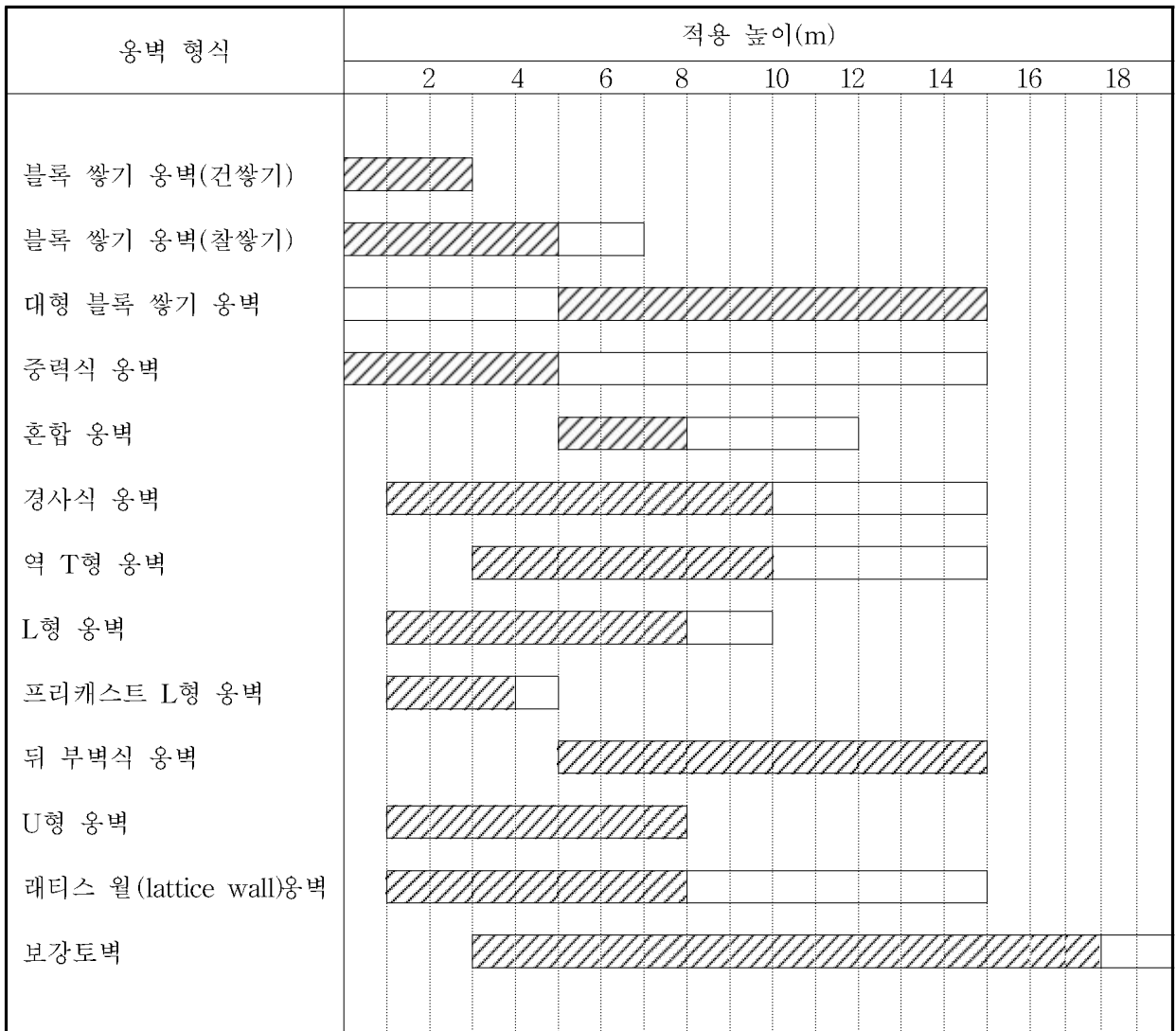
표 1-1. 각종 옹벽의 특징

옹벽형식	구조적 특징
중력식 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 자중으로 토압에 저항하는 구조. · 횡인장응력에 저항할 수 없으므로 큰 단면이 필요. · 무근 콘크리트 구조이므로 시공하기가 쉽고, 또 현장에서 형상 변경하기가 쉬우므로 옹벽 높이가 변하는 개소에 적합. · 옹벽 높이가 3m 정도 이상이 되면 역T형 옹벽에 비해 비경제적임. · 말뚝 기초가 되는 경우에는 부적합. · 적용 높이는 일반적으로 5m 정도 이하, 기초가 암반일 경우는 10m~15m 정도의 규모에도 적용할 수 있다.
경사식 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 자연지반 도는 뒤채움 흙에 의지하고 있어 안정한 구조. · 벽이 배후로 경사져 있어 토압을 경감할 수 있으므로 벽 두께를 얇게 할 수 있다. · 굴착량이 적으므로 현도로 폭 확장을 위한 노측(road side)옹벽으로서는 유리함. · 적용 높이는 일반적으로 10m 정도 이하.
역 T형 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 자중과 뒤축 슬래브 토사의 중량으로 토압에 저항하는 구조. · 수직벽은 흙막이, 아랫단 슬래브는 전도 방지, 뒤축슬래브는 전도방지와 미끄럼방지의 기능을 가진 역학적으로 합리적인 형식. · RC구조이므로 현장에서 형상, 옹벽 높이의 변경이 곤란. · 기초 암반이 경사져 있는 경우는 치환(바꿈)콘크리트 기초를 사용할 수 있다. · 적용 높이는 일반적으로 3m~12m이다.
L형 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 자중과 뒤축 슬래브 위 토사의 중량으로 토압에 저항하는 구조. · 아랫단 슬래브가 없으므로 전도에 대해 불리하지만 용지를 효과적으로 활용할 수 있다. · 적용 높이는 일반적으로 1m~8m이다.
역 L형 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 뒤축 슬래브가 없으므로 미끄럼에 대해서 불리하고, 앞면에 수동토압을 기대할 수 있는 경우에 한하여 적용할 수 있다. · 후방의 터파기에 제약이 있는 경우에 적용된다. · 적용 높이는 일반적으로 5m 정도 이하이다.
뒤 부벽식 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 자중과 뒤축 슬래브 위 토사의 중량으로 토압에 저항하는 구조. · 부벽(buttress)을 3~4m 간격에 설치하고 수직벽 및 뒤축 슬래브의 강성을 높게 한 것. · 역 T형 옹벽에 비하여 부재 단면을 얇게 할 수 있다. · 구조가 복잡하며 거푸집·철근조립, 뒤채움 흙 다짐 등 작업성이 나쁘므로 최근에는 채용하는 경우가 적다. · 적용 높이는 5m~15m 정도.

표 1-1. 각종 옹벽의 특징(계속)

옹벽형식	구조적 특징
U형 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 측벽과 바닥 슬래브를 일체화하여 U형 단면으로 한 것. · 일반적으로 편토압을 받지 않으므로 미끄럼, 전도할 염려가 없다. · 지하 수위가 높으면 부력으로 부상할 우려가 있다. · 수도 도로나 입체 교차의 진입도로 등에 적용된다. · 적용 높이는 일반적으로 1~8m.
블록쌓기 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 프리캐스트 콘크리트 블록을 1:0.3~1:1.0의 기울기로 겹쌓기하여 옹벽으로 한 것. · 경사식 옹벽의 일종이며 자연지반 또는 뒤채움 흙에 의지하고 있어 안정한 구조. · 옹벽의 강성이 작으므로 암밀침하가 있는 지반에는 부적. · 시공 속도가 빠르고 경제성이 우수하다. · 적용 높이는 건성쌓기 3m 이하, 찰쌓기 5m 이하, 대형 블록 쌓기는 15m 까지 가능한 것도 있다.
연결 블록쌓기 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 트윈(twin) T형 또는 L형, 박스형 등의 프리캐스트 콘크리트 블록을 겹쳐 쌓아 철근이나 PC강봉으로 연결하고, 현장치기 콘크리트 바닥 슬래브와 일체화시켜 역T형 옹벽 또는 L형 옹벽으로 하는 것. · 프리캐스트 제품을 사용하므로 시공 속도가 빠르고 작업성, 경제성이 뛰어나다. · 블록을 달아 올리므로 크레인차의 진입이 필요하다. · 적용 높이는 3~12m.
혼합 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 블록 쌓기 옹벽과 중력식 옹벽을 상하로 짜맞춘 것. · 벽면에 꺾여지므로 그 영향을 고려한 해석이 필요하다. · 경제성과 시공성이 뛰어나다. · 연약 지반에는 부적합하다. · 내진성이 떨어지므로 중요한 개소에는 부적합하다. · 적용 높이는 5~8m.
보강토벽	<ul style="list-style-type: none"> · 흙쌓기내에 띠강, 철근, 디오텍스타일 등의 보강재를 배치하여 흙쌓기의 안정성을 높인 것. · 벽에 거의 토압이 작용하지 않으므로 벽 두께를 얇게 할 수 있다. · 현장에서 거푸집 조립이나 콘크리트 치기가 필요 없으므로 대폭적인 공기 단축을 도모할 수 있다. · 수직벽의 구축이 가능하므로 용지에 제약이 있는 곳에서도 시공할 수 있다. · 비교적 연약한 지반에서나 직접 기초에 대응할 수 있다. · 적용 높이는 3~20m, 철도에서는 10m 이하로 제안하고 있다.
경량 흙쌓기 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> · 흙쌓기 대신에 경량재인 발포 스티롤(0.2kN/m³), 에어 모르타르(6kN/m³)를 사용하여 토압의 경감을 도모하는 공법. · 연약지반에 건조할 경우와 기설 옹벽을 보강하는 경우에 적합하다. · 발포 스티롤은 초경량이므로 시공성이 뛰어나다.

표 1-2. 높이에 따른 옹벽의 형식



 일반적인 적용 범위
  비교적 시공 실적이 있는 범위

가. 콘크리트옹벽의 종류와 특성

옹벽은 지형 및 지반의 상태, 성토높이, 용지 및 시공조건 그리고 구조물의 중요도 등에 따라 분류되고 있지만 일반적으로 사용빈도가 높은 것은 중력식 옹벽, 반중력식 옹벽, 캔틸레버식 옹벽, 부벽식 옹벽 등이 있다.

1) 중력식 옹벽

중력식 옹벽은 옹벽 자체의 무게에 의해 토압에 저항하는 것으로 돌쌓기 또는 무근 콘크리트 구조물로서 시공성이 우수하나, 옹벽 자중에 의하여 토압을 지지하는 옹벽의 형식 이므로 자중이 크기 때문에 기초지반이 좋은 경우에는 경제적이나, 벽 높이가 높을수록 부재단면이 커지므로 지반 지지력 면에서 문제가 제기된다. 따라서 벽 높이가 3m 정도 이하의 경우에 이용되고 있다.

2) 반중력식 옹벽

반중력식 옹벽은 6m 높이에 사용하며, 중력식과 철근콘크리트 옹벽의 중간적 구조다. 자중을 어느 정도 가볍게 하기 위해 중간에 철근으로 보강하고 뒷면과 밑면에 철근을 넣어서 옹벽의 단면을 작게 하고 자중을 가볍게 한 옹벽이다.

3) 캔틸레버식 옹벽

캔틸레버식 옹벽은 전면 벽과 저판이 서로 결합되는 부분에서 고정단으로 되는 캔틸레버로 작용하여 토압이나 지반 반력에 저항하는 형식이다. 그림 1-2와 같이 역 T형 옹벽과 L형 옹벽, 역 L형 옹벽으로 나눌 수 있는데, 역 T형 옹벽은 높이 5~7m에서 가장 많이 쓰이며, 저면폭은 옹벽 높이의 0.4~0.6배 정도, 또 앞굽판(toeslab)은 저면폭의 0.25~0.5배 정도이다. L형 옹벽은 지형이나 용지 등의 관계로 앞굽판을 설치할 수 없는 경우에 사용되며, 옹벽의 전단에서 생기는 지반 반력이 커지는 것이 결점이다. 역 L형 옹벽은 L형 옹벽과는 반대로 뒷굽판을 설치할 수 없는 경우에 사용되는데, 흙의 무게를 충분히 이용할 수 없기 때문에 옹벽의 높이가 높아지면 활동에 대하여 안정을 유지하기가 힘들다.

4) 부벽식 옹벽

캔틸레버식 옹벽은 높이가 높아지면 고정단에서 큰 휨 모멘트가 발생하므로, 단면 치수가 커지고 철근이 많이 들어 비경제적인 구조물이 된다. 따라서 이때에는 그림 1-2 (부벽식)와 같이 중간 부분에 적당한 간격(보통 옹벽 높이의 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$)으로 부벽을 설치해서 보강한다. 부벽식 옹벽은 전면 벽과 뒷굽판 사이에 인장재로 작용하는 뒷부벽을 설치한 것으로, 토압에 의한 휨 모멘트에 대하여 전면 벽과 부벽이 T형 단면(이 때, 전면 벽은 슬래브 역할을, 뒷부벽은 복부 역할을 한다.)을 이루므로 T형보로 설계하고, 전면 벽이나 저판은 뒷부벽을 지점으로 하는 연속 슬래브로 설계한다. 앞부벽식 옹벽에서 앞부벽은 압축재로서 작용하며, 앞부벽을 직사각형보로 보고 전면벽을 연속 슬래브로 보고 설계한다.

나. 특수한 형태의 옹벽 종류별 특성

1) 돌쌓기 옹벽

돌쌓기 옹벽은 그림 1-3과 같이 석축이라고 하며 배후의 원지반이 단단한 경우나 배후의 성토재가 양호한 경우에 사용되며, 토압이 작을 것으로 예상되는 경우에 한하여 높이 5m 정도까지 적용되는 간이 옹벽이다. 석축에 사용되는 석재는 철근이나 시멘트와 같은 옹벽재료에 비해 값이 싸고 쉽게 생산될 뿐 아니라, 시공비가 저렴한 장점이 있으나 이것은 토질역학에 기초하여 설계된 것이 아니고 경험에 의해 표준도를 작성하여 석축시공의 기준으로 제시하고 있으므로 구조물인 경우에는 사용되지 않는다.

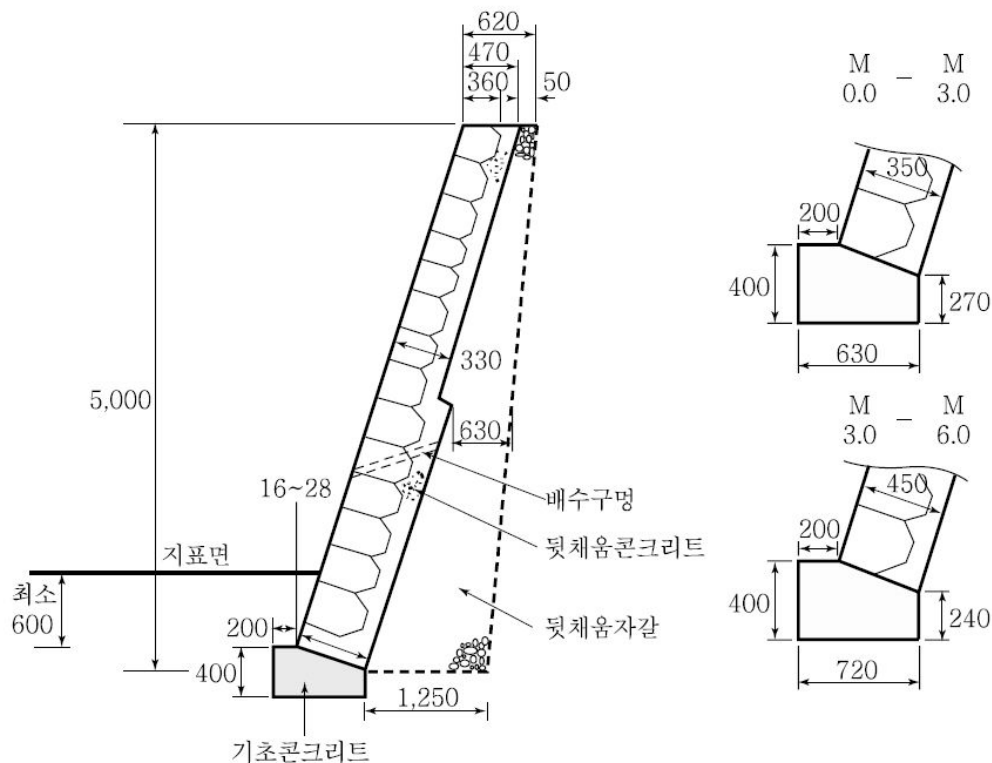


그림 1-3. 돌(블록)쌓기 옹벽공의 단면 및 기초 예(단위:mm)

2) 보강토 옹벽

보강토 공법은 그림 1-4와 같이 보강띠를 설치하고 뒷채움 지반을 다져서 일정한 높이로 성토하며 그 위에 다시 보강띠를 설치하는 작업을 반복 수행하여 일정한 규모의 지지구조물 즉, 보강토 옹벽을 축조하는 공법을 말한다. 이것은 콘크리트를 철근으로 보강하는 것과 같은 개념이며 지반이 지지하지 못하는 인장력을 보강띠가 부담하게 하는 것이다.

보강토 옹벽은 전면판과 보강재의 순차적 조립에 의해 건설되기 때문에 옹벽 구조물의 높이가 높고 공사물량이 클수록 공기의 단축과 공사비의 절감효과가 상승한다. 보강띠는 대체로 54 μ m 두께로 가열해서 아연도금한 판형 또는 굴곡형의 강철띠이며 대개 폭 40~120mm, 두께 3~5mm의 치수를 갖는다. 보강토 옹벽의 시공단계별 내용을 보면 그림 1-5와 같다.

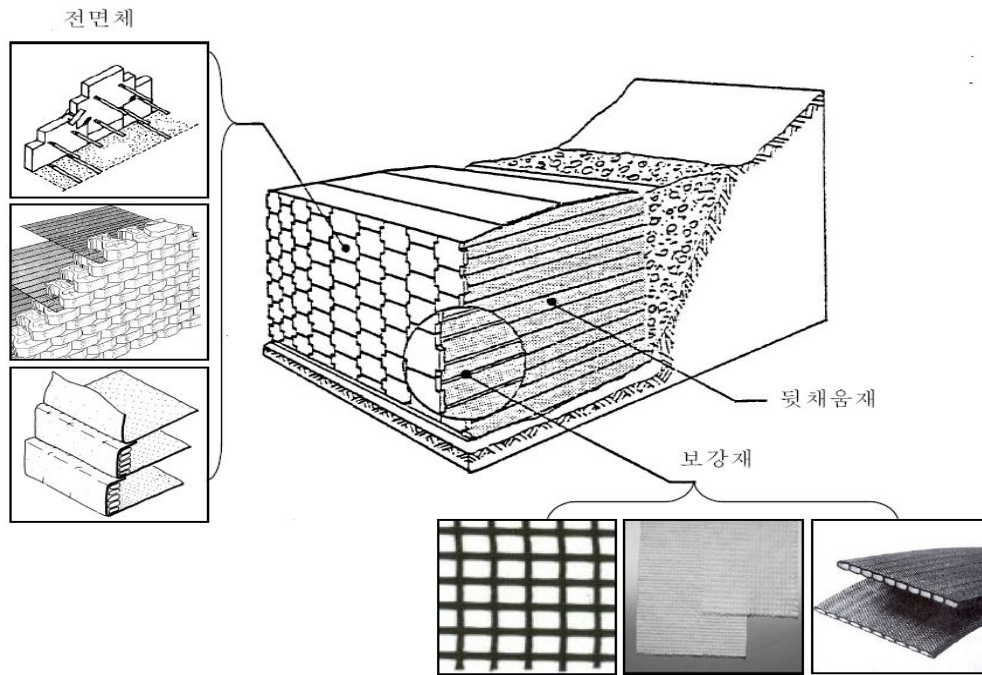
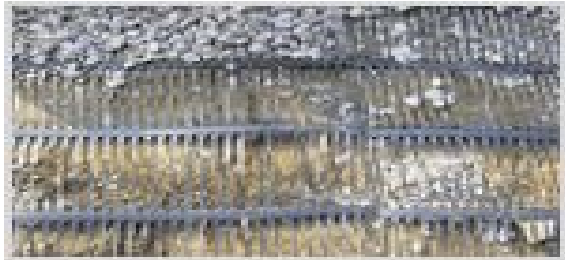



그림 1-4. 보강토 옹벽의 구성

① 기초지면 고르기	② 블록 기저부 첫단 설치
	
<p>○ 옹벽설치지점에 기초터파기를하고 블록후면 뒷채움에 필요한 공간을 확보한다. 기초 저면에 약 15cm이상 두께의 배수성이 좋은 40mm 혼합석, 무근콘크리트로 Leveling Pad를 설치한 후 블록을 설치한다.</p>	<p>○ 블록을 서로 맞닿게 연결하여 기초와 완전히 밀착하여 쌓는다. 그리고 첫단의 선형과 높이가 설치도면과 일치하는지 점검하고 수평여부를 확인한 후 블록이 수평을 유지하도록 시공한다.</p>

③ 연결핀 설치	④ 블록 속채움과 뒷채움
	
<p>○ 블록 한 개당 두개의 연결핀을 구멍에 삽입하여 블록들 상호간에 고정될 수 있게 설치하고, 핀이 일단 제 위치에 들어가면 핀들은 자동적으로 다음 층의 연결을 가능케 하며, 설계에 따라 2종류의 핀조합으로 수직형 및 경사형 옹벽을 편리하게 축조할 수 있다.</p>	<p>○ 블록 주위나 내부 공간과 블록 후반부 20cm까지는 25mm이하의 쇄석을 사용해야 하며 보강토 다짐구간은 규정된 다짐효과를 얻을 수 있도록 입도분포가 좋고 배수성이 양호한 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 또한 현장 여건에 따라 125mm이하의 화강풍화토를 사용할 수 있고 구조 계산시 적합한 시공상 손상계수를 적용하여 시공하며, 소형 또는 중장비를 사용하여 도로 다짐기준(노체)으로 다진다.</p>
⑤ 보강재 설치 및 블록 설치	⑥ CAP형 블록설치
	
<p>○ 보강재 소요 길이에 맞춰 절단한 후 연결핀에 걸고 후미로 평평하게 잡아당겨서 설치한 후 상단에 뒤채움 재를 부설하고 다진다. 다짐 시 블록 후면으로부터 1m내에서는 중장비 사용을 피하고 소형 장비로 다진다. 보강재는 주동토입용이므로 횡방향 겹이음을 하지않고 곡선부에서만 후반부 중첩시공을 한다.</p>	<p>○ 캡형블록 설치의 옹벽설치 마무리 과정으로 공공장소와 같이 사람의 통행이 빈번한 곳은 시멘트 모르타르나 콘크리트 접착제를 사용하여 하단블록에 완전히 고정시킨다.</p>

그림 1-5. 보강토 옹벽공법 시공사진

3) 게비온 옹벽

철근망으로 된 상자를 잡석이나 자갈로 채워서 설치하면 중력식 옹벽과 같은 기능을 할 뿐만 아니라 굴착단면의 미화 효과가 있다. 게비온 옹벽(gabion wall structure)은 투수성이 좋아 배수기능이 양호하고, 시공이 신속하며, 식물성장에 좋은 여건이므로 즉시 녹화될 수 있는 장점이 있다. 하지만 하천주위에서는 사용에 주의하여야 한다.

게비온 옹벽은 철망의 용접방식에 따라서 마카페리(maccaferri)시스템과 루와(ruwa)시스템이 자주 적용된다. 마케페리 시스템은 철사를 육각형으로 엮어서 만들며, 반면에 루

와 시스템에서는 직경 3mm의 철사를 75mm × 75mm의 크기로 엮어서 만든다. 그리고 채움돌은 풍화가 잘 안되는 직경 80~200mm의 자연석을 사용한다. 케비온 옹벽의 시공 과정은 그림 1-6과 같으며 종류별 특성은 표 1-3과 같다.



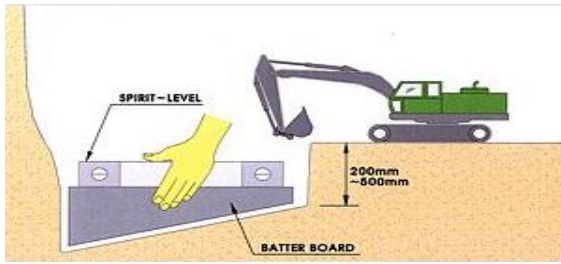
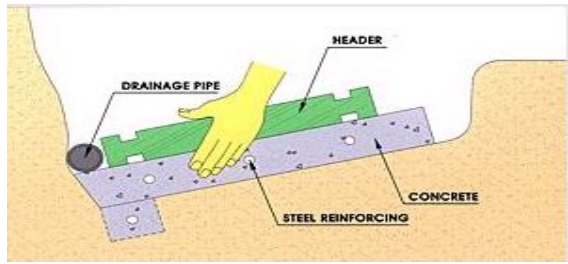
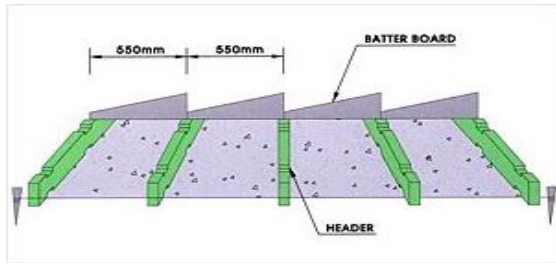
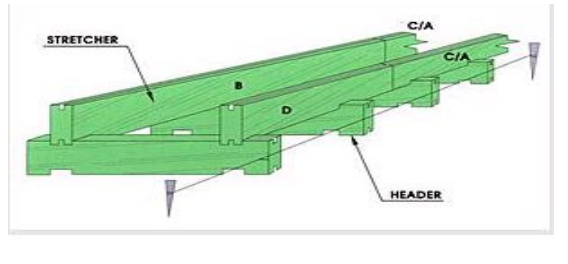
그림 1-6. 케비온 옹벽 시공과정

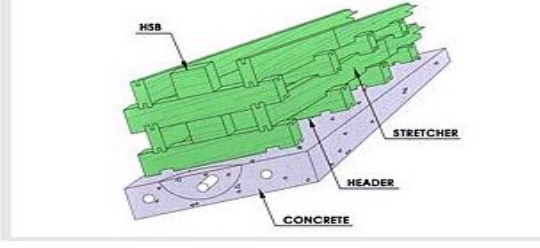
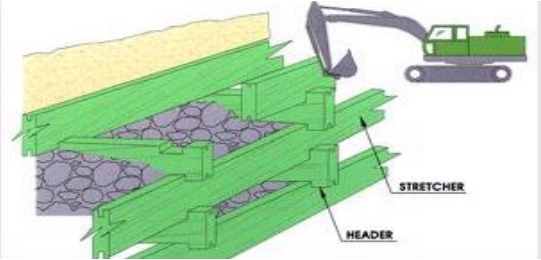
표 1-3. 케비온 옹벽의 사양

구 분	육각 꼬임GABION	사각 용접 GABION
형 태	- 특수아연도금 철선으로 중복되게 꼬아서 육각형으로 만든 Mesh의 구조를 육면체 형태를 만들어 연결	- 철선을 이용하여 교차되는 모든 점을 Muliti spat wekling line 설비로 전기저항 용접된 격자 모양으로 만든 사각 망목 형태
종 류	- 꼬아 만든 육각망에 아연 도금 - 꼬아 만든 육각망에 아연도금 PVC코팅	- 저항용접 철망에 아연도금 스테인레스 제품
조립형태	- 상자의 각변을 아연도금 철선으로 결속	- 상자의 각변을 아연도금된 나선형의Spral 로 결속
물 성	- 불안정한 지반이나 지내력이 약한 지반에 잘 견딜 수 있도록 유연성을 갖추고 있음	- 망목의 모든 교차점이 강하게 저항 용접 되어 있어 어떤 방향에서 힘이 작용해도 늘어남이 없음
규 격	0.5×1.0×2.0M 1.0×1.0×1.0M 1.5×1.0×1.5M 1.0×1.0×2.0M (각 사이즈별 주문제작 가능)	0.5×1.0×2.0M 1.0×1.0×1.0M 1.5×1.0×1.5M 1.0×1.0×2.0M (각 사이즈별 주문제작 가능)
철 선	- 특수 아연 도금 철선	- 고장력 아연 도금 철선
특기사항	- 한국의 GABION 역사가 20여년 가까이 되었음. - 현재 구미 선진국에서는 100여 년 전부터 사용하고 있음. - 환경 친화론이 대두되면서 아주 폭넓게 사용되고 있음.	

4) 크립(crip) 옹벽

크립 옹벽은 속이 빈 목재나 보강 콘크리트, 강체로 된 빔으로 만들어진 크립을 일정간격으로 배열하여 시공한다. 각각의 크립들은 볼트로 연결되며 내부는 흙이나 자갈로 채워져 옹벽의 형태를 띠게 된다. 크립 옹벽은 침하에 대하여 충분한 연성이 있으며 다른 옹벽에 비하여 상대적으로 경제적이다. 구조적으로는 중력식 옹벽의 설계와 같으며 크립 자체에 대한 내적인 안정성은 크립 제작 시 확인이 가능한 장점이 있다.

<p>① 기초터파기</p>  <p>○ 지반에 최소 200mm깊이의 기초터파기를 시행 후 배터와 수준기를 이용하여 1:4배로 면 정리한다.</p>	<p>② 기초콘크리트 타설</p>  <p>○ 기초 콘크리트는 Header보다 100mm 이상 여유폭을 두고 매면에서 $\phi 100\text{mm} \sim \phi 150\text{mm}$ 배수관을 부직포와 함께 설치한다.</p>
<p>③ Header 설치</p>  <p>○ 기초 콘크리트 타설후 첫 번째 Header를 550mm 간격으로 일정하게 설치한다.</p>	<p>④ Stretcher 설치</p>  <p>○ 첫 번째 stretcher B와 D를 설치한 후 연속하여 C와 A를 설치하고 이음부가 앞 뒤 또는 다음 층에서 같은 위치에 서로 엇갈리게 설치한다.</p>

<p>⑤ 반복시공</p>	<p>⑥ 골재채움</p>
	
<p>○ 첫 번째 stretcher B와 D를 설치한 후 연속하여 C와 A를 설치하고 이음부가 앞 뒤 또는 다음 층에서 같은 위치에 서로 엇갈리게 설치한다.</p>	<p>○ Header를 4~6단 설치 후 속채움 골재로 되메우기를 하며 골재 입자는 $\phi 75\text{mm}$ 정도의 파쇄석 또는 깬자갈 등을 사용한다.</p>

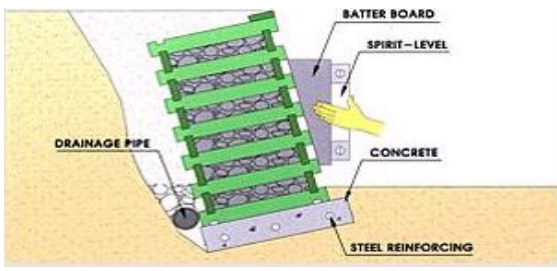
<p>⑦ 마무리 및 완성</p>

<p>○ 소정의 높이까지 완료되면 맨상단의 Header 전면에 최종 stretcher 깔고 고정시켜 마무리한다.</p>

그림 1-7. 크립옹벽 시공과정

다. 생태옹벽의 특성

생태옹벽은 비가 오거나 물이 식생필터에 흘러들면 녹화가 자연스럽게 진행되며, 또한 사면의 안정 및 경관증진을 함께 도모할 수 있는 자연친화적인 맞춤형 토목공사용 옹벽 녹화 공법을 제공할 수 있으며, 또한 초본 및 목본의 식물들이 발아 및 조기 활착에 효과적이고, 생육에 따라 뿌리가 잘 내려 옹벽면의 녹화를 장기적으로 보장할 수 있다. 특히, 시공 및 관리가 용이하여 경제적이며, 각종 콘크리트 옹벽공사 후 경관 및 미관을 증진할 수 있는 효과가 있다. 특히 본 연구에서 개발한 생태옹벽과 일반적으로 많이 시공되고 있는 콘크리트옹벽, 계비옹벽 및 식생블록옹벽과의 개념도, 공법개요, 장·단점 및 환경성을 표 1-4와 같이 비교분석 하였다. 현행 콘크리트 구조물(버트리스 옹벽, 의지식 옹벽 등)은 안정성 측면에서 우수하나 주변경관과 조화를 이루지 못하고 있다. 또한 기존에는 보강공법과 보호공법(녹화)을 별도로 시공하여 경제성 및 시공성 측면에서 비효율적이었으나 친환경 생태옹벽공법은 사면보호와 옹벽녹화 기능을 동시에 갖는다는 점에서 획기적이라 할 수 있으며, 기술력 및 경제산업적 측면에서 파급효과도 크다고 할 수 있다.

1) 기술적 측면

- 가) 사면형태나 지반조건에 구애받지 않고 적용 가능.
- 나) 현장특성과 사면규모에 따라 적합하게 시공할 수 있음.
- 다) 표면형상이 불량한 사면, 기복이 심한 사면을 복원할 수 있음.
- 라) 수분공급 및 저장기능이 우수하여 안정적이 녹화상태를 유지할 수 있음.
- 마) 사면안정 및 보호, 녹화 등 복합적인 기능으로 영구적 사면 안정성을 확보할 수 있음.

2) 경제·산업적 측면

- 가) 생태옹벽 개발로 인한 인명, 재산피해 및 사면붕괴 예방으로 공익증대에 기여.
- 나) 기존 공법보다 보강간격을 넓힐 수 있어 시공수량을 줄임으로써 공사비 절감 효과가 기대 됨.
- 다) 옹벽 내부에서 옹벽을 녹화하므로 향후 유지관리 측면에서도 매우 유리한 공법임.
- 라) 본 공법은 국내 특허등록을 출원 중에 있어 절개지 사면에 보급될 경우 국가 경제에 기여하게 됨 .
- 마) 향후 외국에 기술수출로 인한 건설업 경쟁력 확보에도 크게 기여할 것으로 기대 됨.
- 바) 산업재산권 확보를 통한 기술료 수입 기대.

표 1-4. 주요 옹벽공법별 장·단점 비교

구분	콘크리트 생태옹벽	콘크리트 옹벽
개념도		
사진		
구성	철근+콘크리트+식생	철근+콘크리트
공법개요	<p>기존 콘크리트옹벽에 식생을 이용한 자연형공법으로서 녹화 및 생태복원형 친자연형 공법이다.</p>	<p>기초터파기 후 철근을 조립하고 거푸집을 설치하여 굳지 않은 콘크리트를 현장에서 타설하는 기존 재래식 옹벽</p>
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> - 다공성의 콘크리트 구조물로서 식생을 생육활착이 가능하며 뿌리가 원지반에 정착함 - 경관 및 생태복원가능 - 자생식물 적용 환경복원 - 녹화가 가능하여 자연친화적인 구조물을 형성 - 일반 콘크리트 옹벽 비해 강도가 다소 불리함 	<ul style="list-style-type: none"> - 구조적으로 안정 - 사면세굴이 없어 치수성이 좋음 - 콘크리트로 구성된 강성의 구조체 형성 - 별도의 타성장비 필요 - 연약지반이나 부등침하에 상대적으로 불리 - 타설 및 양생작업으로 공사기간이 긴 편임 - 식생도입이 불가하여 생태계파괴 - 경관이 강직하여 접근성이 떨어짐
친환경	<p>전면의 녹화가 가능하며, 단기간 내에 친환경적으로 경관 및 미관을 증진시킬 수 있다.</p>	<p>전면이 콘크리트 벽체로 노출되어 친환경적이지 않다.</p>
경제성	10만원/m ²	12만원/m ² (PILE시공 31만원/m ²)

표 1-4. 주요 옹벽공법별 장·단점 비교(계속)

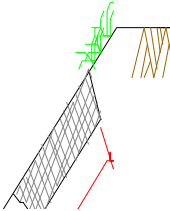
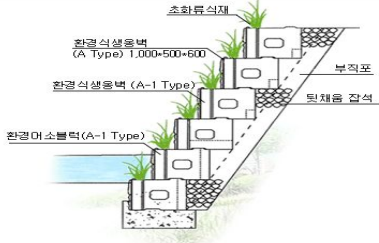




구분	게비온 옹벽	식생옹벽블럭
개념도		
사진		
구성	철망 + 석재	콘크리트 + 재생골재
공법개요	사각형 철망틀 안에 사석 또는 자연석을 채우고 철망 뚜껑을 덮은 후 철선으로 체결함.	외부에서 제작한 식생호안블럭을 현장에서 조립식으로 연결함.
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> - 공법이 단순하여 시공성이 좋음 - 중력식 설계로 토압에 효과적이고 구조성이 뛰어나 - 단기적으로 식생이 이루어지지 않으나 장기적으로는 식생 활착이 양호 - 배수기능이 양호 - 굴요성이 풍부하며 지반침하를 흡수하는 유연성이 있음 - 산악지역 대절토부 전체의 안정공법으로는 부적합 - 유지관리가 어렵다. - 석재는 우수하나 철선 부식이 쉬움 - 식생이 도입 불가 - 생태를 차단하는 비친환경적 공법 	<ul style="list-style-type: none"> - 시공이 용이하고, 인터로킹 연결방식으로 블록간 간결성 및 밀착성이 좋음 - 유공을 통한 부분적 녹화가 가능함 - 공법이 단순하여 호안 설계에 범용이 용이하나, 산악지역 대절토부 안정공법으로는 부적합 - 기존 시공제품으로 구조적 안정성 검증 확보 - 시공후 초화류 식재로 친환경적인 제품으로 검증 - 기존옹벽의 제반 결점을 해결하고 시공성이 뛰어난 조립식 환경생태옹벽으로 시공비 절감 - 단기적으로 식생이 활착되지 않음. - 곡선부 시공시 불안전 결속
친환경성	식생 활착은 단기적인 면보다 장기적으로 이루어짐	시공성이 매우 뛰어나며, 조립식 블록으로서 환경생태옹벽으로 이루어짐
경제성	7만원/m ²	13만원/m ²

표 1-4. 주요 옹벽공법별 장·단점 비교(계속)

구분	목재 옹벽	블럭식 보강토 옹벽
사진		
구성	목재+잡석	콘크리트
공법개요	<p>원목을 방부 처리하여 취약한 내구성을 인위적으로 향상시키고 내부에 잡석을 채워 중량을 만들어 중력식 이론을 구조화 시킴</p>	<p>블록과 그리드 뒷채움을 그리드와 같이 다져 성토함으로써 그리드의 마찰력과 그리드의 장력을 이용해서 하나의 보강 구조체를 이루는 공법</p>
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> - 공중이 간편하고 제작된 제품에 의해 시공이 이루어져 타환경적 영향을 적게 받고 부분적 보수가 용이하며 가장 공기가 짧게 소요 - 추후 철거시 비용이 적고 유지보수비용이 적음 - 터파기 구매로 직접 설치가 가능하여 절토부에서는 토공사비의 절감과 자연훼손을 최소화 할 수 있어 가장 친환경적 - 보강토 옹벽과 철근콘크리트옹벽에 비해 수직벽 설치에 따른 애로사항이 있음 - 재료가 연성으로 인해 외부충격에는 약함 	<ul style="list-style-type: none"> - 시공이 간편하고 공사제한이 적어 시공성은 매우 양호하나 부분적 보수가 어렵고 다짐토사의 함수비에 따라 시공에 영향을 받음 - 시공의 높이 제한이 적고 수직벽 설치로 토지이용성이 매우 양호 - R.C보다 시공성이 좋고 미관성도 좋음 - 부분적 보수가 어려움 - 콘크리트 재료로 인해 비환경성
친환경성	<p>자연목재 사용과 전면부 식생이 가능하여 주변환경과의 조화가 아주 뛰어남</p>	<p>전면블럭의 조형 및 색상 선택에 따라 주변환경과 조화를 이루는 시공이 가능</p>
경제성	9만원/m ²	18만원/m ² (판넬식 20만원/m ²)

2. 토압의 계산

토압에는 정지 토압, 주동 토압, 수동 토압의 세 종류가 있다. 정지 토압은 구조물에 접하고 있는 흙이 정지하고 있을 때에 구조물에 작용하는 토압이고, 주동 토압은 구조물에 접하고 있는 흙으로부터 구조물이 벗어나려는 방향으로 이동하려고 할 때에 구조물에 작용하는 토압을 말하며, 역으로 구조물이 흙의 방향을 향하여 이동하려고 할 때 작용하는 토압을 수동 토압이라 한다. 옹벽에 작용하는 토압에 대해서는 이론적으로 명백한 계산 방법이 확립되어 있지 않으나, 뒷채움흙이 옹벽을 향하여 수평 이동을 일으키고 있으므로 옹벽이 뒷채움흙을 지탱한다고 생각해도 좋다. 따라서, 용역 설계에서는 수동 토압은 그다지 고려되지 않고 주로 옹벽 뒷면에 작용하는 주동 토압만을 생각한다. 주동 토압의 이론은 1773년에 프랑스의 과학자 쿨롱(Coulomb, C.A), 19세기 중엽에 스코틀랜드의 물리학자 랭킨(Rankine, W.J.M. 1820~1873)에 의하여 토압 이론으로 발표된 후, 테르자기(Rerzaghi, K.)를 비롯하여 많은 사람에 의하여 확장되고 개량되면서 실험 및 실측이 행하여져 왔다.

옹벽에 작용하는 정지, 주동, 수압토압은 벽체의 변위와 관계된다. 변위가 없는 벽체에 작용하는 토압은 정지토압, 벽체가 뒤채움으로부터 멀어지는 방향으로 변위가 발생하면 주동토압, 벽체가 뒤 뒤채움으로부터 가까워지는 방향으로 변위가 발생하면 수동 토압이 발생한다. 흙의 종류에 따라 벽체가 한계상태에 도달하기 위한 벽체의 회전변위를 다음 표 1-5에 나타내었다.

표 1-5. 흙의 종류에 따른 주동 및 수동상태의 벽체회전변위

흙의 종류	벽체의 회전변위(δ/H)	
	주동	수동
조밀한 사질토	0.001	0.02
느슨한 사질토	0.004	0.06
건고한 점성토	0.010	0.02
연약한 점성토	0.020	0.04

(Canadian Geotechnical Society, 1985)

정지토압은 건물의 지하벽체와 또는 통로 박스구조물과 같이 벽체의 변위가 물리적으로 허용되지 않거나 임의로 벽체변위를 허용하지 않도록 한 경우에 적용한다. 흙의 조건에 따라서 표 1-6에 나타낸 공식을 적용한다.

표 1-6. 정지토압계수

적용공식	조건
$K_0 = 1 - \sin\phi$	정규압밀점토, 모래질 흙
$K_0 = (1 - \sin\phi')\sqrt{OCR}$	과압밀비가 큰 흙
$K_{0\beta} = K_0(1 - \sin\beta) = (1 - \sin\phi)(1 + \sin\beta)$	배면토가 경사진 지반(Danish Code)

Coulomb 토압과 Rankine 토압의 차이는 옹벽벽체와 흙사이의 상대변위에 의한 마찰력의 고려여부에 있다. Coulomb 토압이론에서는 벽면마찰력을 고려하지만, Rankine 토압은 마찰력을 고려하지 않는다.

중력식 옹벽과 같이 벽체배면에 토압을 작용시키는 경우, 토압작용면에서 벽체와 뒤채움간의 상대적인 변위가 발생하므로 Coulomb의 토압이론을 이용하여 토압을 계산하는 것이 바람직하지만, 역T형 옹벽과 같이 뒤채움내부의 가상배면에 토압을 작용시키는 경우는 가상배면에서 상대적인 변위가 발생하지 않으므로 마찰력을 고려할 필요가 없으며 Rankine의 토압이론을 이용할 수 있다. 표 1-7에는 다양한 재료사이의 마찰각을 나타내었다.

표 1-7. 콘크리트의 면상태 및 흙의 종류에 따른 벽면마찰각

구분	지반의 종류	마찰각(δ)
거친 콘크리트와 지반 사이	상태가 양호하며 깨끗한 암석	35
	깨끗한 자갈, 자갈~모래 혼합, 굵은 모래	29~31
	깨끗한 가는~중간 모래, 실트질	
	중간~굵은 모래, 실트질 또는 점토질 자갈	24~29
	깨끗한 가는 모래, 실트질 또는 점토질의 가는 모래~중간모래	19~24
	가는 모래질 실트, 비소성의 실트	17~19
	매우 단단하고 강한 과압밀 점토	22~26
거푸집을 댄 콘크리트와 지반사이	중간 정도 단단한 점토와 실트질 점토	17~19
	깨끗한 자갈, 자갈~모래 혼합토, 석분을 포함한 입도가 좋은 암버력	22~26
	깨끗한 모래, 실트질 모래~자갈 혼합토, 입도분포가 나쁜 암 버력	17~22
	실트질 모래, 실트 또는 점토가 섞인 자갈 또는 모래	17
	가는 모래질 실트, 비소성의 실트	14

(US Department of Navy, 1982)

지진시의 토압산출을 위하여 Mononobe-Okabe의 의사-정적 해석방법을 사용한다.

가. 토압 계산

상시와 같이 벽체뒤의 흙덩이, 즉 흙썰기를 자유물체(강체)로 간주하되 흙썰기의 자중에 수평 및 수직지진계수를 곱한 지진력을 포함하여 힘의 평형에 대하여 계산한다.

나. 토압 작용각

토압의 작용각은 정적분력은 상시의 토압의 작용각과 동일하고, 동적분력은 수평으로 작용하는 것으로 본다.

다. 토압 작용 위치

토압의 작용점은 정적분력은 토압작용면 높이의 1/3 위치에, 동적분력은 토압 작용면 높이의 0.6배 위치에 작용하는 것으로 본다.

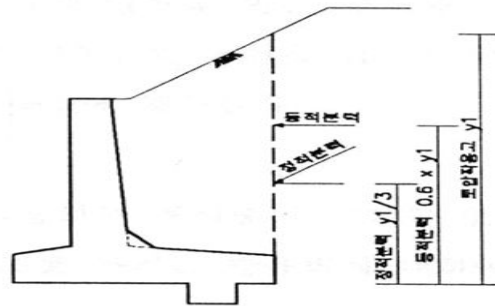


그림 1-8. 지진시 토압작용 위치

라. 지진가속도계수

지진시의 옹벽은 경제적인 구조물이 되도록 변위를 허용하여 설계한다.

1) 옹벽의 변위식

$$d = 0.087 \frac{V^2}{A_g} \left[\frac{N}{A} \right]^{-4}$$

d : 변위량 A : 가속도 계수 g : 중력 가속도
 V : 최대속도 N : 최대저항계수 = K_h

2) 가속도계수 결정 방법

최대 허용변위량 d를 결정하고 변위식을 이용하여 지진가속도계수를 결정

$$K_h = A_a \cdot \left(\frac{5.15 A v^2}{A a \cdot d} \right)^{1/4} \quad (\text{Richards와 Elms})$$

3) 적용 지진가속도계수

직접기초로 설계된 옹벽에 대하여는 Elms와 Martin의 연구성과를 준용한다.

$$K_h = \frac{A}{2}, \text{ 여기서 } d=254\text{Amm 일 때}$$

$$K_h = \frac{0.11}{2} = 0.055,$$

여기서 $d=254 \times 0.11=27.94\text{mm}$ 일 때

4) 안정검토시에는 구조물 및 뒷굽상면토사의 관성력을 고려하고 벽체단면 설계시에는 벽체자중의 관성력을 무시한다.

가) 뒤채움흙에 의한 토압

지표면상에 과재 하중(surcharge)이 없을 때 의 상태에서 뒤채움흙에 의한 쿨롱의 토압은 다음식에 의하여 계산한다.

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos^2\theta \cdot \cos(\theta + \delta) \cdot 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\theta - \alpha) \cdot \cos(\theta - \delta)^2}}$$

다만, $\phi - \alpha < 0$ 의 경우에는 $\sin(\varphi - \alpha) = 0$

여기서, P_A : 옹벽의 수평 방향 단위 길이당 전 토압력(t/m^3)

K_A : 주동 토압 계수

r : 뒤채움흙의 단위 무게(t/m^3)

H : 옹벽의 연직 높이(m)

φ : 뒤채움흙의 전단 저항각

δ : 벽 뒤면과 뒤채움흙과의 사이의 벽면 마찰각으로 벽 뒷면의 기울기와 토압의 작용 방향이 이루어지는 각도로 한다.

θ : 벽 뒷면과 연직면이 이루는 각

α : 지표면과 수평면이 이루는 각

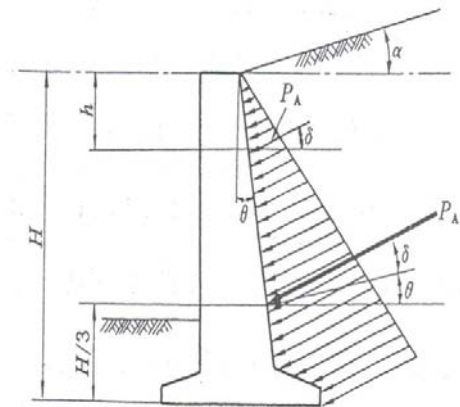


그림 1-9. 쿨롱의 토압 분포

이 경우에 δ, θ, α 는 그림 1-9에 표시되어 있는 방향으로 기울어져 있는 대를 정으로 한다. 또, 토압 합력의 작용점은 옹벽 저면으로부터 연직 상방 $\frac{H}{3}$ 점이다.

벽 뒷면이 연직이며 거치른 데가 없는 경우에는 $\theta = 0^\circ$, $\delta = 0^\circ$ 로부터

$$K_A = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

가 된다. 또, 옹벽 수평 방향 단위 길이에 작용하는 깊이 h 점의 전 토압력 P_A (t/m^2)는

$$P_A = r \cdot h \cdot K_A$$

나) 지표면상의 과재 하중에 의한 토압

뒤채움흙 위에 재하되어 있는 등분포 하중 $q(t/m^2)$ 에 의한 토압은 뒤채움흙이 같은 모양으로 실려 있는 것으로 생각하고, 다음 식에 의하여 계산한다.

$$P_A = q \cdot K \cdot K_A$$

$$P_A = q \cdot K_A$$

이에 의한 토압 분포는 직사각형 분포가 되기 때문에, 토압의 작용점은 밑면으로부터 상방 $\frac{H}{2}$ 의 점이다. 이상의 토압 계산에 사용하는 흙의 단위 무게 r , 점착력 c , 전단 저항각 ϕ 는 토질 시험을 정확히 하여 결정해야 된다. 그러나, 옹벽의 높이가 낮은 것은 여러 종류의 설계 기준서의 값을 사용해도 지장이 없다. 한 예로서, 테르자기·팩(Terzaghi-Peck)의 저서의 수치에 약간의 수정을 가한 값은 표 1-8과 같다.

표 1-8. 뒤채움흙의 종류에 따른 토압계산

뒤 채 움 흙 의 종 류	전 단 저 항 각 $\varphi(^{\circ})$	점 착 력 $c(t/m^2)$	단 위 무 게 (t/m^2)
깨끗한 모래 또는 자갈	35	-	1.70
실트또는 점토를 포함한 투수성이 얇은 사질토	30	-	1.80
점토를 다량으로 포함한 사질토	24	-	1.75
연질인 유기질 실트 또는 실트질 점토	0	-	1.60
경질 점토	0	1.20	1.70

3. 옹벽의 안정성 평가

옹벽의 안정 계산은 일반적으로 전도(overturning)에 대한 안정 및 활동(sliding)에 대한 안정 및 기초 지반의 지지(bearing)에 대한 안정의 세 가지 경우를 조사한다.

표 1-9. 옹벽의 설계안전율

검토항목	평상시	지진시
활동(sliding)	1.5	1.1
전도(overturning)	2.0	1.5
지지력(bearing capacity)	3.0	2.0
전체안정성(overall stability)	1.2~1.5	1.1

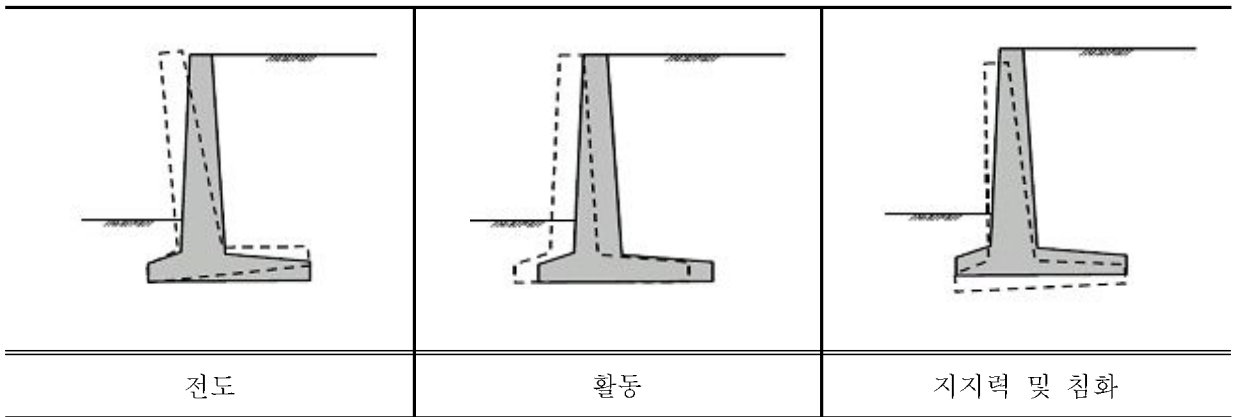


그림 1-10. 옹벽의 안정성 검토

가. 전도에 대한 안정

옹벽은 토압 및 지지력에 따라 저면의 전면 단부 A를 중심으로 하여 회전을 일으키려고 한다. 이 회전에 대한 안정성을 검토하는 것이 전도에 대한 안정 계산이다. 이 회전에 대한 저항은 옹벽의 자중 및 옹벽 저면상의 흙의 무게이기도 한다.

전도에 대한 안전율 F_s 는 그림 1-11을 참조하여 구한다.

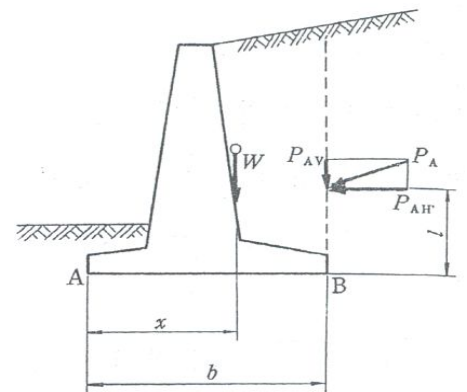


그림 1-11. 옹벽전도에 대한 안정

$$F_s = \frac{W \cdot x + P_{AV} \cdot b}{P_{AH} \cdot l}$$

여기서, W : 옹벽의 자중 및 옹벽 저면상의 흙의 무게의 합(t/m)

x : 그 중심 위치와 옹벽 전면 A점과의 거리(m)

P_{AH} : 토압 P_A 의 수평 방향 분력(t/m)

P_{AV} : 토압 P_A 의 연직 방향 분력(t/m)

b : 옹벽의 저면 길이(m)

l : 옹벽 저면으로부터 토압의 작용점까지의 거리(m)

나. 활동에 대한 안정

옹벽은 작용하는 토압의 수평 분력에 의하여 활동하려고 한다. 이 활동에 저항하는 힘은 옹벽 저면에서의 마찰력과 점착력이다. 그림 1-12을 참조하여 활동에 대한 안전을 F_s 를 구할 수 있다.

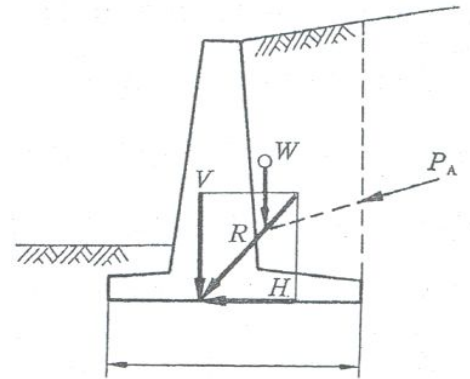


그림 1-12. 옹벽활동에 대한 안정

$$F_s = \frac{V \cdot \mu + C_B \cdot b}{H}$$

여기서, R : 옹벽의 자중 및 옹벽 저면상의 흙의 중량합 W 와 토압 P_A 와의 합력이고, 저면에 있어서 연직 분력, 수평 분력을 각기 V, H 로 한다(t/m).

C_B : 저면과 흙 사이의 점착력(t/m²)

μ : 저면과 흙과의 마찰 계수(사질토에서는 $\tan\phi$)

ϕ : 사질토의 전단 저항각(도)

1) 활동방지벽

옹벽의 높이가 높아지면 토압이 커지고, 따라서 이에 대한 수평력이 커지므로, 저면의 활동 저항만으로 활동에 대한 안정을 기대하기 어려울 때가 있다. 이 경우에는 옹벽 저면의 적당한 곳에, 저면폭의 0.1~0.15배 높이의 활동 방지벽(shearkey)을 설치하여 활동 저항력을 증대시킨다.

2) 활동방지벽 설치위치의 결정

활동방지벽에 의한 마찰저항력 측면에서는 옹벽의 배면에 설치할수록 유리하나, 옹벽 뒷굽판 끝단에 설치할 경우 활동방지벽 깊이에 따른 토압의 증가가 예상 되므로 토압이 증가하지 않는 범위 내에서 배면측에 근접되게 설치하여야 한다.

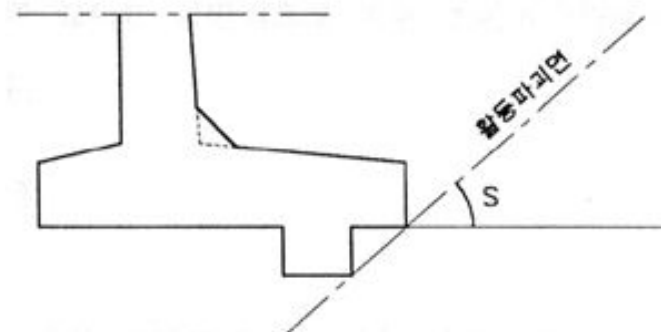


그림 1-13. 활동방지벽 설치 위치

3) 활동방지벽이 있을 때의 마찰저항력

가) 합력의 작용점이 저판의 중심으로부터 저면 폭의 1/6 이내에 있는 경우

$$H_u = \mu_1 \cdot V_1 + \mu_2 \cdot V_2$$

V_1 : 활동방지벽 전면 지반반력하중

V_2 : 활동방지벽 후면 지반반력하중

μ_1 : 흙과 흙의 마찰계수

μ_2 : 콘크리트와 흙의 마찰계수

H_u : 마찰저항력

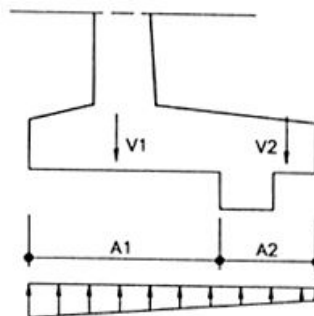


그림 1-14. 활동방지벽이 있을 때의 마찰저항력

나) 합력의 작용점이 저판의 중심으로부터 저면 폭의 1/6 이내 에 있지 않는 경우

$$H_u = \mu_1 \cdot V_1 + \mu_2 \cdot V_2$$

V_1 : 활동방지벽 전면 지반반력하중

V_2 : 활동방지벽 후면 지반반력하중

μ_1 : 흙과 흙의 마찰계수

μ_2 : 콘크리트와 흙의 마찰계수

H_u : 마찰저항력

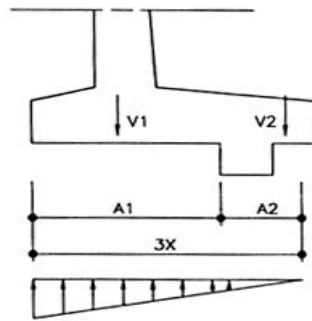


그림 1-15. 활동방지벽이 있을 때의 마찰저항력

다) 활동방지벽의 높이

활동방지벽의 높이 : 저판 높이의 2/3배이상, 저판 폭 B의 10~15% 이내로 한다

다. 지지력에 대한 안정

옹벽은 기초 지반의 지지에 대하여 충분히 안전하지 아니하면 옹벽 자체가 의미를 잃게 되므로, 옹벽 저면에 생기는 지반 반력도가 허용 지지력이하가 되어야 한다. 일반적으로, 옹벽 저면에 생기는 지반 반력도는 다음에 의하여 산출하는데, 옹벽 저면의 일부에 인장 응력이 생기는 경우는 그 부분을 무시하고 계산한다. 단위 길이의 옹벽의 저면은 일반적으로 직사각형이므로, 그림 1-16에서 (a), (b)의 경우에 대해서는 합력 R의 작용선이 저면 A,B와 서로 교차하는 점을 D, 도심 축을 C로 하면 $CD=e$ 가 되며, 옹벽 수평 방향의 단위폭당에 대하여

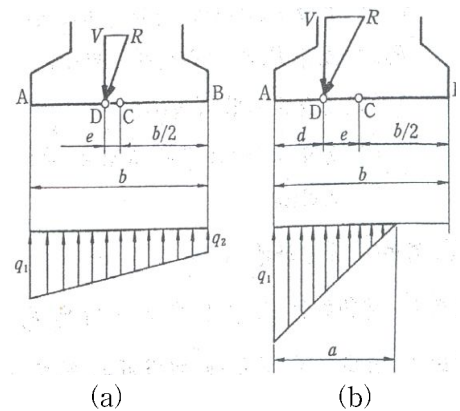


그림 1-16. 옹벽 저면의 지반 반력 분포

a. 저면에 인장 응력도가 생기지 않는 경우, 즉 $\frac{6e}{b} \leq 1$ 인 경우

$$q_{\frac{1}{2}} = \frac{V}{b} \left(1 \pm \frac{6e}{b}\right)$$

b. 저면에 인장 응력도가 생기는 경우, 즉 $\frac{6e}{b} > 1$

$$q_1 = \frac{2V}{3d} = \frac{4V}{3(b-2e)}$$

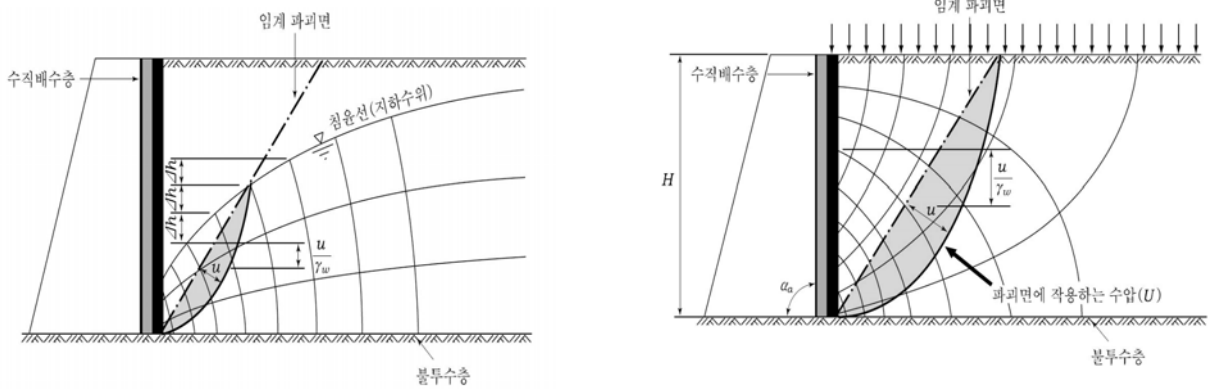
$$a = 3\left(\frac{b}{2} - e\right) = 3d$$

표 1-10. 기초 지반의 허용 지지력

기초 지반의 종류	허용 지지력(t/m ²)
경암반	400~500
중간 암반	100~200
암반상의 경반(hard pan)	100
치밀한 자갈, 전석	100
연암, 풍화암	80
다져지지 않은 자갈, 풍화토(마사), 잘 다져진 굵은 모래	30~50
매우 굳고 수분이 없는 점토	50
잘 다져진 점토 섞인 모래	30
비교적 굳은 점토	15
다져지지 않은 흙	기초로 불가

4. 옹벽의 배수시설 검토

일반적으로 옹벽배면은 뒤채움재료의 종류, 옹벽뒤채움의 표면피복상태, 옹벽뒤채움내의 배수구조에 따라 수압의 작용여부가 달라진다. 뒤채움 표면이 대기에 그대로 노출된 상태에서는 강우에 의한 침투가 발생하면 일시적으로 뒤채움내의 수위가 상당히 높아질 수 있으며 뒤채움의 투수계수 및 배수시설의 유무에 따라 장시간 뒤채움 내부에 정수압 상태로 존재할 가능성이 있으므로 배수시설 고려하여 설계가 필요하다. 옹벽배면에 여러 형태의 배수층을 둘 수 있는데, 가장 일반적인 형태는 벽체배면에 수직배수층을 두는 것이다. 이러한 옹벽 뒤채움 내부의 배수시스템에서 뒤채움내부에 지하수위가 형성되거나 또는 침투에 의해 수압이 발생하는 경우에 안정계산은 그림 1-17과 같이 침투해석을 수행하여 가상파괴면에 작용하는 수압을 구하고 이를 옹벽의 안정계산에 고려하여야 한다.



(a) 뒤채움 내부에 지하수가 있는 경우 파괴면에 작용하는 수압
 (b) 표면에서의 침투로 인하여 파괴면에 작용하는 수압

그림 1-17. 침투해석을 통한 파괴면에 작용하는 수압의 고려방법

옹벽배면으로의 침투를 방지하기 위해서는 뒤채움 표면에 불투수층을 두거나 콘크리트 피복을 하는 경우가 많다. 뒤채움 내부의 효과적인 배수시스템은 경사진 배수층을 두는 것인데, 임계파괴면의 경사와 비슷하거나 완만하게 배수층을 뒤채움내부에 설치하면 그림 1-18에서와 같이 임계파괴면에 수압이 작용하지 않게 된다.

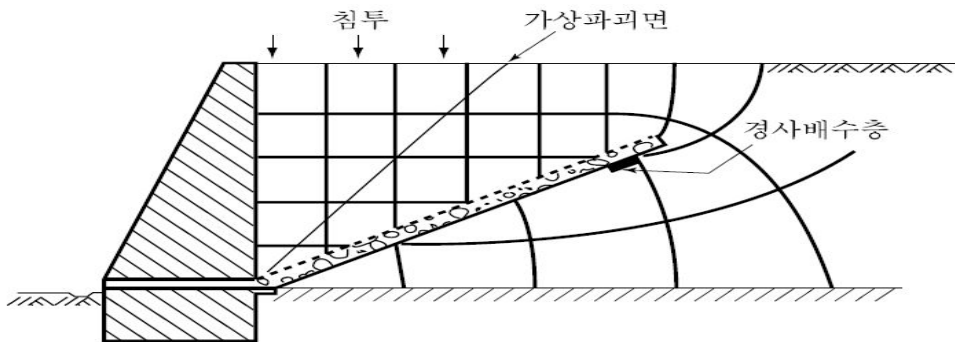


그림 1-18. 경사배수층을 둔 경우 임계파괴면에서 작용하는 수압

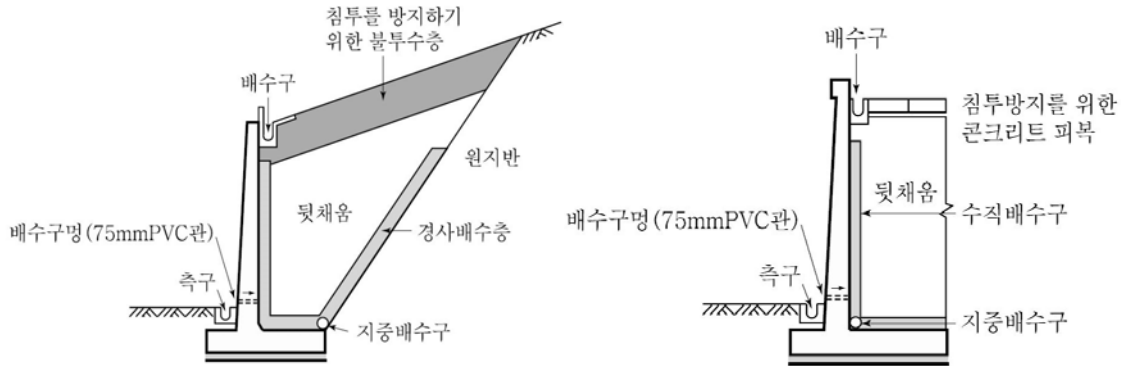


그림 1-19. 콘크리트 옹벽의 배수시스템

가. 배수공 설계 예

옹벽구조물의 안전여부는 배면에 작용하는 수압의 유무에 따라 지대한 영향을 받게되므로 옹벽설계시 배수공 설계를 합리적으로 수행하여 수압이 작용치 않도록 하여야하고 배수공의 형식은 지형, 지질조건 및 지하수의 상태 등에 따라 다르게 선택하여야 한다. 이와 같은 배수공의 전형적인 형식의 특징 및 시공방법을 요약하면 다음과 같다.

1) 수평 배수공

배수공 설치장소에 수평으로 잡석층을 두어 배면 침투수가 이 층을 통하여 배수구멍으로 집수되도록 유도하는 방법. 이와 같은 방법은 침하발생시 배수구멍이 막힐 우려가 있으므로 충분한 다짐이 필요하다. 또한 상하 배수층 간격을 최대 1.50m로 하여 침투수를 배수층을 통하여 배수구멍으로 배수시키며 배수구멍 수평간격은 4.5m 이하로 배수층에 설치하고 그리고 배수관은 경사각 10°로 설치하고 잡석층은 부직포로 피복한다.

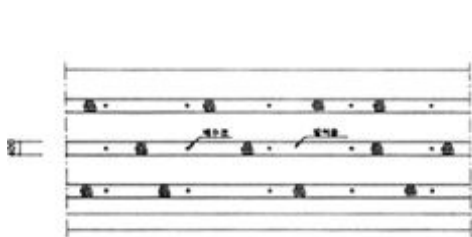


그림 1-20. 수평 배수공 전개도

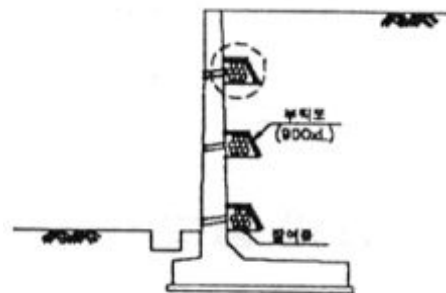


그림 1-21. 수평 배수공 단면도

2) 연직 및 수평 배수공

지하수위가 비교적 높은 경우 배수 구멍 설치장소에 연직 및 수평으로 잡석층을 두어 배수구멍으로 유도배수하는 방법으로 배수효과는 양호하나 시공성이 다소 불량하다.

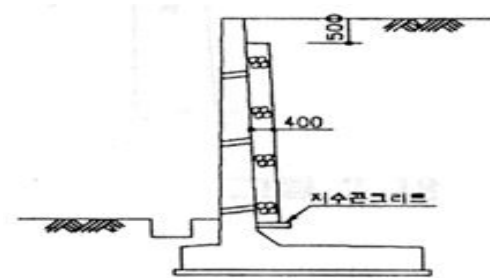


그림 1-22. 연직 및 수평 배수공 단면도

3) 유공관 설치 배수공

지하수 및 유출수가 많은 구간에 사용하는 배수공으로 옹벽배면에 배수촉진제를 설치하고 잡석층을 전 구간에 설치하여 침투수 및 지하수를 유공관으로 유도하여 배수하는 방법이다.

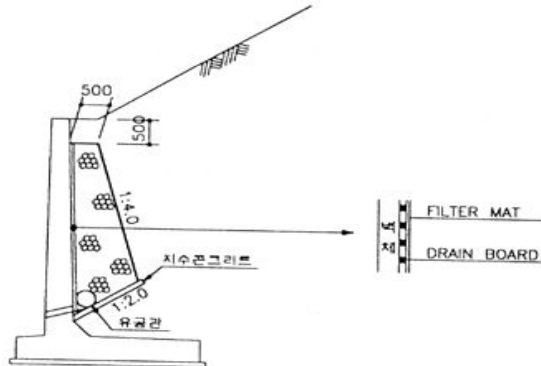


그림 1-23. 유공관 설치 배수공 단면도

4) Drain Board 설치 배수공

옹벽 배면에 Drain Board(폴리스틸렌 일면 배수재)를 부착시키고 부직포로 Drain Board를 덮은후 양질의 토사로 뒷채움하는 방법으로 배면 토압의 증가를 억제하고 뒷채움부 토사의 동상과 동결에 따른 수축 팽창을 방지할 수 있다.

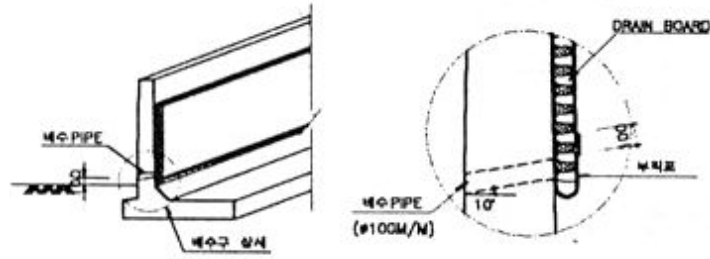


그림 1-24. Drain Board 설치 배수공 상세도

5) 옹벽상단부 배수공

배수용 반월관을 설치하여 비탈면의 표면수나 용수가 옹벽 전면으로 흐르는 것을 방지 하고 따라서 옹벽 전면에 도로가 설치되어 있는 경우에는 미관 및 교통에 미치는 영향을 고려하여 이러한 배수공을 두는 것이 좋다.

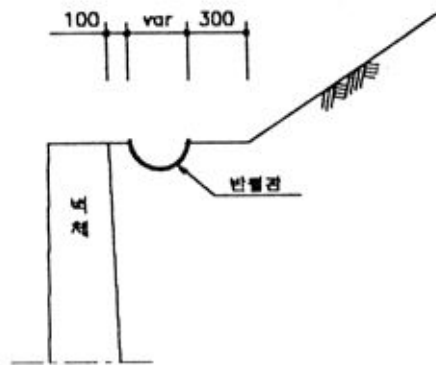


그림 1-25. 옹벽상단부 배수공 단면도

5. 콘크리트 생태옹벽의 안정성 해석

본 연구에서 생태옹벽의 설계에 이용한 안정성해석을 옹벽자동설계프로그램인 RAD Pro. Manual (Version 5.0.2) 를 이용하였다. RAD는 Retaining wall Automatic Design Program의 약자로 옹벽 자동설계 프로그램이다. 본 프로그램은 옹벽 설계를 위한 전용 프로그램으로 설계 및 지반조건, 토압, 과재하중 등 사용자의 선택에 따라 상시 및 지진 시에 대한 설계가 모두 가능하다. 또한 상시설계는 현행 설계기준에 준하여 설계를 하며, 지진 시 설계는 Mononobe-Okabe의 의사정적토압계수를 적용하여 설계한다.

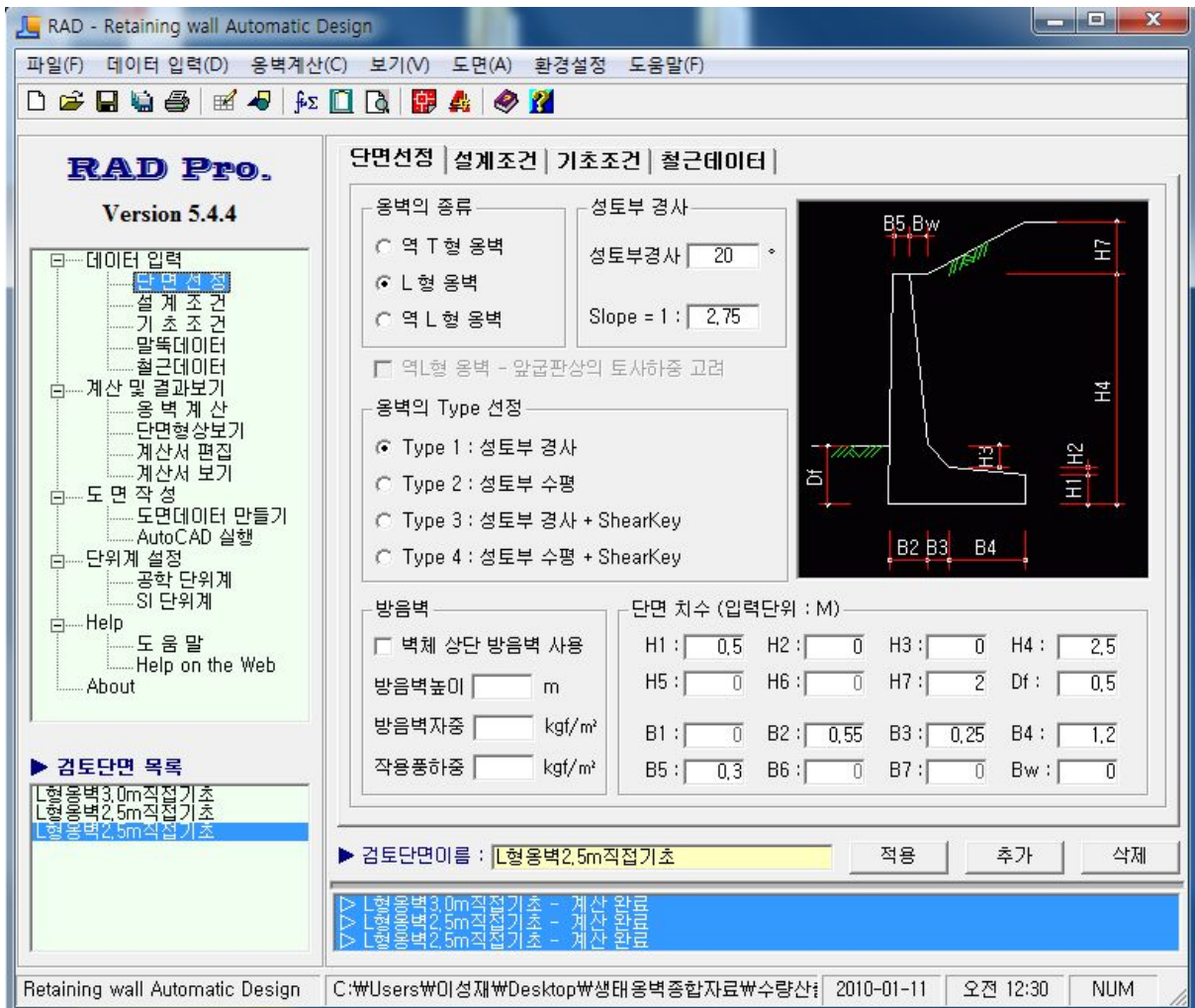


그림 1-26. RAD 옹벽자동설계 프로그램 RAD Pro. Manual (Version 5.0.2)

가. RAD 옹벽자동설계 프로그램 기능

1) 안정검토 : 각 입력창을 통하여 입력받은 데이터를 이용하여 상시 및 지지신의 옹벽의 전도, 활동, 지지력 안정검토를 실시한다. 본 프로그램에서 기초는 직접기초 및 말뚝 기초의 적용이 모두 가능하며, 안정계산시 하중 결과를 정리하여 기초의 조건에 따라 안정검토를 실시한다.

2) 단면검토 : 계수하중 작용시의 각 단면력을 정리하여 각 부재의 최대 단면력을 산출하고 단면설계(철근량 계산)를 실시한다. 철근량 계산시에는 자동옵션을 선택하여 철근량을 자동으로 산출할 수 있다.

3) 구조계산서 작성 : 안정검토와 단면설계과정을 통하여 계산된 결과들을 정리하여 결과파일을 서식이 있는 텍스트 파일인 rtf 파일로 생성시킴으로써 프로그램내에서 확인하여 편집 및 출력이 가능하며 또한 rtf파일은 일반적인 워드 프로세서 프로그램과 호환이 뛰어나므로 MS 워드, 아래한글, 워디안 등에서도 편집하실 수 있다.

나. 프로그램에 의한 생태옹벽 안정해석

RAD 옹벽자동설계 프로그램 RAD Pro. Manual을 이용하여 옹벽높이 2.500m, 옹벽 저판 2.500m인 L형 옹벽을 대상으로 지진구역계수 0.110, 위험도계수 1.000, 가속도 계수 0.110, 수평지진계수 0.055로 설정하여 콘크리트 생태옹벽의 안정성 검토 결과 전도에 대한 작용편심은 상시 0.145, 지진시 0.428이므로 시방서에서 제시한 허용편심 0.375과 0.750를 만족하였고, 활동에 대한 안전율은 상시 2.771, 지진시 1.822로서 시방서에 제시한 허용치 1.500, 1.200을 만족하여 안정하였다. 또한 지지력에 대한 최대반력은 상시 7.628과 지진시 11.420으로서 허용지지력 26.479와 34.420을 모두 만족시켜 안정한 것으로 나타났다.

※ RAD 옹벽자동설계프로그램을 통한 안정해석 출력결과는 부록형식으로 정리하였으며 다음과 같다.

▶ L형옹벽2.5m직접기초

1. 일 반 단 면

1.1 옹벽의 제원

옹 벽 형 식 : L 형 옹 벽
기 초 형 식 : 직 접 기 초
옹 벽 높 이 : H = 2.500 M
옹 벽 저 판 : B = 2.250 M

1.2 내진설계

지진 구역 계수 : 0.110
위 험 도 계 수 : 1.000
가속도 계수 A : 0.110
수평지진계수 Kh : 0.055

2. 설 계 조 건

2.1 사용재료

콘크리트 : fck = 210.0 kgf/cm²
철 근 : fy = 3,000.0 kgf/cm²

2.2 지반조건

콘크리트의 단위 중량(γ_c) : 2.500 tf/m³
뒷채움흙의 단위 중량(γ_t) : 1.900 tf/m³
뒷채움흙의 내부마찰각(Φ_1) : 30.000°
지지지반의 내부마찰각(Φ_2) : 30.000°
지지지반의 점 착 력(C) : 0.000 tf/m²

뒷채움흙의 경사 각(α) : 10.000 °
 뒷채움의 성토높이 : 반무한 사면
 옹벽전면의 토 피 고(Df) : 1.000 m

2.3 사용토압

상 시 : 안정 검토시 - Rankine 토압
 단면 검토시 - Coulomb 토압

지진시 : 안정 검토시 - Mononobe-Okabe 토압
 단면 검토시 - Mononobe-Okabe 토압

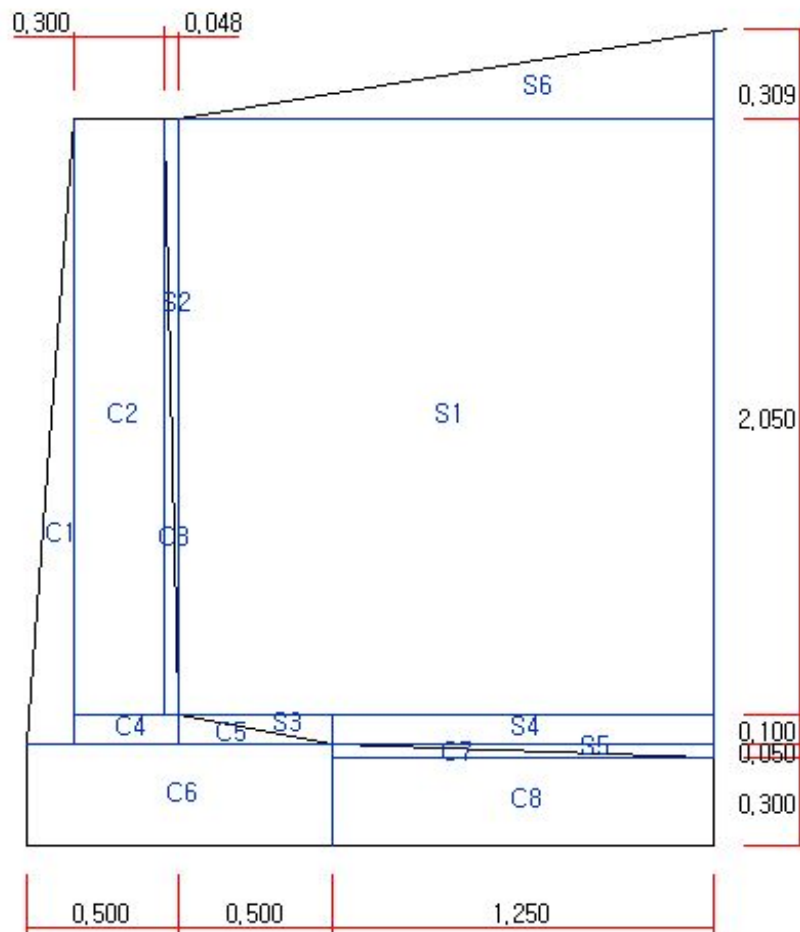
2.4 과재하중

과재하중 : $q = 1.00 \text{ tf/m}^2$

2.5 벽체상단 추가 작용하중

연직력 : $V_d = 0.050 \text{ tonf}$, $V_l = 0.000 \text{ tonf}$
 수평력 : $H_d = 0.000 \text{ tonf}$, $H_l = 0.000 \text{ tonf}$
 모멘트 : $M_d = 0.000 \text{ tf.m}$, $M_l = 0.000 \text{ tf.m}$

2.6 검토단면



$H = 2.500 \text{ M}$ $B = 2.250 \text{ M}$ $\alpha = 10.000 \text{ }^\circ$

3. 안정 계산

3.1 안정검토용 하중계산

1) 자중 및 채토하중 계산

구분	A	γ	W	Kh	H	x	y	Mr	Mo
C1	0.163	2.5	0.409	0.055	0.022	0.101	1.067	0.041	0.024
C2	0.615	2.5	1.538	0.055	0.085	0.302	1.475	0.464	0.125
C3	0.049	2.5	0.123	0.055	0.007	0.468	1.133	0.058	0.008
C4	0.035	2.5	0.087	0.055	0.005	0.326	0.400	0.028	0.002
C5	0.025	2.5	0.063	0.055	0.003	0.667	0.383	0.042	0.001
C6	0.350	2.5	0.875	0.055	0.048	0.500	0.175	0.438	0.008
C7	0.031	2.5	0.078	0.055	0.004	1.417	0.317	0.111	0.001
C8	0.375	2.5	0.938	0.055	0.052	1.625	0.150	1.523	0.008
소계	1.644		4.109		0.226			2.705	0.177
S1	3.588	1.9	6.816	0.055	0.375	1.375	1.475	9.372	0.553
S2	0.049	1.9	0.093	0.055	0.005	0.484	1.817	0.045	0.009
S3	0.025	1.9	0.048	0.055	0.003	0.833	0.417	0.040	0.001
S4	0.125	1.9	0.238	0.055	0.013	1.625	0.400	0.386	0.005
S5	0.031	1.9	0.059	0.055	0.003	1.833	0.333	0.109	0.001
S6	0.270	1.9	0.513	0.055	0.028	1.667	2.603	0.855	0.073
소계	4.088		7.767		0.427			10.807	0.643
총계			11.876		0.653			13.512	0.820

2) 토압계산

① 상시 주동토압계산 (Rankine)

뒷채움흙의 내부마찰각(Φ) : 30.000 °

뒷채움흙의 경사각(α) : 10.000 °

$$K_a = \cos \alpha \times \frac{\cos \alpha - \sqrt{(\cos^2 \alpha - \cos^2 \Phi)}}{\cos \alpha + \sqrt{(\cos^2 \alpha - \cos^2 \Phi)}}$$

$$= 0.350$$

$$P_a = 1/2 \times K_a \times \gamma t \times H^2 \times \cos \alpha$$

$$= 1/2 \times 0.350 \times 1.9 \times 2.809^2 \times \cos(10.000^\circ)$$

$$= 2.579 \text{ tf/m}$$

$$y = H / 3 = 2.809 / 3$$

$$= 0.936 \text{ m}$$

$$M_o = P_a \times y = 2.579 \times 0.936$$

$$= 2.415 \text{ tf.m}$$

② 지진시 주동토압계산 (Mononobe-Okabe)

옹벽배면의 수직에 대한 각 β: = 0.000 °

흙과 옹벽사이의 마찰각 δ: = 0.000 °(안정계산시)

Θ = tan⁻¹(Kh/(1-kv)) 여기서 Kh는 수평지진계수

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\Phi - \Theta - \beta)}{\cos \Theta \times \cos^2 \beta \times \cos(\delta + \beta + \Theta) \times \left[1 + \frac{\sqrt{(\sin(\Phi + \delta) \times \sin(\Phi - \Theta - \alpha))}}{\sqrt{(\cos(\delta + \beta + \Theta) \times \cos(\alpha - \beta))}} \right]^2}$$

$$= 0.417$$

$$P_{ae} = 1/2 \times K_{ae} \times \gamma t \times H^2$$

$$= 1/2 \times 0.417 \times 1.9 \times 2.809^2$$

$$= 3.124 \text{ tf/m}$$

$$y = H / 2 = 2.500 / 2 = 1.404 \text{ m}$$

$$M_o = P_{ae} \times y = 3.124 \times 1.404$$

$$= 4.387 \text{ tf.m}$$

3) 과재하중

$$q = 1.00 \text{ tf/m}^2$$

과재하중이 주동토압영역 밖에 재하되므로 고려하지 않는다.

4) 옹벽상단의 추가하중에 의한 하중계산

① 상시 하중계산

$$P_v = 0.050 + 0.000 = 0.050 \text{ tonf}$$

$$P_h = 0.000 + 0.000 = 0.000 \text{ tonf}$$

$$M_o = 0.000 + 0.000 + (0.000 + 0.000) \times 2.500 = 0.000 \text{ tf.m}$$

$$M_r = (0.050 + 0.000) \times 0.302 = 0.015 \text{ tf.m}$$

② 지진시 하중계산

$$P_{ve} = 0.050 \text{ tonf}$$

$$P_{he} = 0.000 + 0.050 \times 0.06 = 0.003 \text{ tonf}$$

$$M_{oe} = 0.000 + (0.000 + 0.050 \times 0.06) \times 2.500 = 0.007 \text{ tf.m}$$

$$M_{re} = 0.050 \times 0.302 = 0.015 \text{ tf.m}$$

3.2 안정검토용 하중집계

1) 상시 하중집계

구분	V(tonf)	H(tonf)	Mr(tf.m)	Mo(tf.m)
콘크리트 자중	4.109	0.000	2.705	0.000
재하토사 자중	7.767	0.000	10.807	0.000
토압	0.455	2.579	1.023	2.415
과재하중	0.000	0.000	0.000	0.000
추가하중	0.050	0.000	0.015	0.000
Σ	12.381	2.579	14.550	2.415

2) 지진시 하중집계

구분	V(tonf)	H(tonf)	Mr(tf.m)	Mo(tf.m)
콘크리트 자중	4.109	0.226	2.705	0.177
재하토사 자중	7.767	0.427	10.807	0.643
토압	0.000	3.124	0.000	4.387
추가하중	0.050	0.003	0.015	0.007
Σ	11.926	3.780	13.527	5.214

3.3 전도에 대한 안정검토

1) 상시 안정검토

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 12.381 \text{ tonf} \\ \Sigma Mr &= 14.550 \text{ tf}\cdot\text{m} \\ \Sigma Mo &= 2.415 \text{ tf}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e &= B/2 - (\Sigma Mr - \Sigma Mo) / \Sigma V \\ &= 2.250 / 2 - (14.550 - 2.415) / 12.381 \\ &= 0.145 \text{ m} \leq B/6 = 0.375 \text{ m} \quad \therefore \text{사다리꼴 반력분포}\end{aligned}$$

▷ 편심 검토

$$e = 0.145 \text{ m} \leq B/6 = 0.375 \text{ m} \quad \therefore \text{O.K}$$

▷ 안전율 검토

$$\begin{aligned}\text{S.F} &= \Sigma Mr / \Sigma Mo = 14.550 / 2.415 \\ &= 6.025 \geq 2.0 \quad \therefore \text{O.K}\end{aligned}$$

2) 지진시 안정검토

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 11.926 \text{ tonf} \\ \Sigma Mr &= 13.527 \text{ tf}\cdot\text{m} \\ \Sigma Mo &= 5.214 \text{ tf}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e &= B/2 - (\Sigma Mr - \Sigma Mo) / \Sigma V \\ &= 2.250 / 2 - (13.527 - 5.214) / 11.926 \\ &= 0.428 \text{ m} > B/6 = 0.375 \text{ m} \quad \therefore \text{삼각형 반력분포}\end{aligned}$$

▷ 편심 검토

$$e = 0.428 \text{ m} \leq B/3 = 0.750 \text{ m} \quad \therefore \text{O.K}$$

3.4 지지력에 대한 안정검토

1) 지지지반의 조건

지지지반의 내부마찰각 : 30.000°
 지지지반의 단위 중량 : 1.9 tf/m³
 지지지반의 점착력 : 0.0 tf/m²
 성토지반의 단위 중량 : 1.9 tf/m³
 기초의 유효 근입깊이 : 1.000 m

2) 상시 안정검토

① 지지지반의 허용지지력

지지력산정은 Terzaghi式을 이용한다.

$$qu = \alpha \cdot C \cdot Nc + \gamma_2 \cdot Df \cdot Nq + \beta \cdot \gamma_1 \cdot Be \cdot Nr$$

$$\text{여기서 } \alpha = 1.000 \quad \beta = 0.500$$

$$Be = B - 2e = 2.250 - 2 \times 0.145 = 1.960 \text{ m}$$

$$Nc = 37.200 \quad Nq = 22.500 \quad Nr = 19.700$$

$$\therefore qu = 79.438 \text{ tf/m}^2$$

$$\therefore qa = 26.479 \text{ tf/m}^2$$

② 지반반력 검토

지반반력이 사다리꼴 분포이므로

$$Q1 = \Sigma V / (B \cdot L) \times (1 + 6e / B) = 7.628 \text{ tf/m}^2$$

$$Q2 = \Sigma V / (B \cdot L) \times (1 - 6e / B) = 3.377 \text{ tf/m}^2$$

$$q_{\text{max}} = 7.628 \leq q_a \quad \therefore \text{O.K}$$

3) 지진시 안정검토

① 지지지반의 허용지지력

지지력산정은 Terzaghi式을 이용한다.

$$q_u = \alpha \cdot C \cdot N_c + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B_e \cdot N_r$$

여기서 $\alpha = 1.000$ $\beta = 0.500$

$$B_e = B - 2e = 2.250 - 2 \times 0.428 = 1.394\text{m}$$

$$N_c = 37.200 \quad N_q = 22.500 \quad N_r = 19.700$$

$$\therefore q_{ue} = 68.841 \text{ tf/m}^2$$

$$\therefore q_{ae} = 34.420 \text{ tf/m}^2$$

② 지반반력 검토

지반반력이 삼각형 분포이므로

$$q_{\text{max}} = (2 \cdot \Sigma V) / (L \cdot x) = 11.406 \text{ tf/m}^2$$

여기서 $x = 3 (B/2 - e) = 2.091 \text{ m}$

$$q_{\text{max}} = 11.406 \leq q_{ae} \quad \therefore \text{O.K}$$

3.5 활동에 대한 안정검토

1) 검토조건

울석을 부설하였을 경우 0.6과 $\tan(\Phi)$ 중 작은값이므로

$$\text{마찰계수 } \mu = \tan(\Phi B) = \text{Min}(0.6, \tan(\Phi)) = 0.577$$

$$\text{점착력 } C = 0.0 \text{ tf/m}^2$$

2) 상시 안정검토

$$\Sigma V = 12.381 \text{ tonf}$$

$$\Sigma H = 2.579 \text{ tonf}$$

$$H_r = C \times A_e + \Sigma V \times \mu = 0.000 + 7.148 = 7.148 \text{ tonf}$$

▷ 안전율 검토

$$S.F = \Sigma H_r / \Sigma H = 7.148 / 2.579$$

$$= 2.771 \geq 1.5$$

∴ O.K

3) 지진시 안정검토

$$\Sigma V = 11.926 \text{ tonf}$$

$$\Sigma H = 3.780 \text{ tonf}$$

$$H_r = C \times A_e + \Sigma V \times \mu = 0.000 + 6.886 = 6.886 \text{ tonf}$$

▷ 안전율 검토

$$S.F = \Sigma H_r / \Sigma H = 6.886 / 3.780$$

$$= 1.822 \geq 1.2$$

∴ O.K

4. 단면 검토

4.1 하중 조합

- LCB 1 : 상 시 계수하중 (1.54D+1.7L+1.8H+0.0W)
- LCB 2 : 지진시 계수하중 (1.16D+1.35H+1.35E)
- LCB 3 : 상 시 사용하중 (1.0D+1.0L+1.0H+1.0W)

4.2 기초단면검토용 지반의 반력계산

(1) LCB 1 : 상시 계수하중 (1.54D+1.7L+1.8H+0.0W)

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 19.185 \text{ tonf} \\ \Sigma Mr &= 22.674 \text{ tf}\cdot\text{m} \\ \Sigma Mo &= 4.347 \text{ tf}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= B/2 - (\Sigma Mr - \Sigma Mo) / \Sigma V \\ &= 2.250 / 2 - (22.674 - 4.347) / 19.185 \\ &= 0.170 \text{ m} \leq B/6 \quad \therefore \text{사다리꼴 반력분포} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= \Sigma V / (B \cdot L) \times (1 + 6e / B) = 12.386 \text{ tf/m}^2 \\ Q_2 &= \Sigma V / (B \cdot L) \times (1 - 6e / B) = 4.667 \text{ tf/m}^2 \end{aligned}$$

(2) LCB 2 : 지진시 계수하중 (1.16D+1.35H+1.35E)

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 13.834 \text{ tonf} \\ \Sigma Mr &= 15.691 \text{ tf}\cdot\text{m} \\ \Sigma Mo &= 7.039 \text{ tf}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= B/2 - (\Sigma Mr - \Sigma Mo) / \Sigma V \\ &= 2.250 / 2 - (15.691 - 7.039) / 13.834 \\ &= 0.500 \text{ m} > B/6 \quad \therefore \text{삼각형 반력분포} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{max}} &= (2 \cdot \Sigma V) / (L \cdot x) = 14.746 \text{ tf/m}^2 \\ \text{여기서 } x &= 3 (B/2 - e) = 1.876 \text{ m} \quad (\text{지반반력 작용폭}) \end{aligned}$$

※ 반력이 삼각형분포일경우 부반력은 무시한다.

(3) LCB 3 : 상 시 사용하중 (1.0D+1.0L+1.0H+1.0W)

사용하중 반력은 안정검토시 반력 참조

4.3 단면검토용 하중계산

1) 뒷굽판 단면력

(단위 : tonf, m)

구분		뒷굽자중	채토자중	과재하중	지반반력	연직토압	총계
LCB1	전단력	2.334	11.817	0.000	-13.421	0.819	1.549
	모멘트	1.919	10.664	0.000	-10.211	1.433	3.805
LCB2	전단력	1.758	8.901	0.000	-7.444	0.000	3.216
	모멘트	1.445	8.033	0.000	-3.415	0.000	6.063
LCB3	전단력	1.516	7.674	0.000	-8.803	0.455	0.841
	모멘트	1.246	6.925	0.000	-6.859	0.796	2.108

2) 벽체 단면력

(1) 토압계수 계산

㉑ 상시 주동토압계산 (Coulomb)

뒷채움흙의 내부마찰각(Φ) : 30.000°
 뒷채움흙의 경사각(α) : 10.000°
 흙과 콘크리트의 마찰각(δ): 10.000°
 옹벽배면의 연직경사각(Θ) : 1.341°

$$K_a = \frac{\cos^2(\Phi - \Theta)}{\cos^2\Theta \cdot \cos(\Theta + \delta) \times \left[1 + \frac{\sqrt{(\sin(\Phi + \delta) \cdot \sin(\Phi - \alpha))}}{\sqrt{(\cos(\Theta + \delta) \cdot \cos(\Theta - \alpha))}} \right]^2}$$

$$= 0.361$$

$$K_{ah} = 0.361 \times \cos(10.000^\circ + 1.341^\circ) = 0.354$$

㉒ 지진시 주동토압계산 (Mononobe-Okabe)

옹벽배면의 수직에 대한 각 β : $= 1.341^\circ$
 흙과 옹벽사이의 마찰각 δ : $= 0.000^\circ$ (단면검토시)
 $\Theta = \tan^{-1}(K_h / (1 - k_v))$ 여기서 K_h 는 수평지진계수

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\Phi - \Theta - \beta)}{\cos\Theta \times \cos^2\beta \times \cos(\delta + \beta + \Theta) \times \left[1 + \frac{\sqrt{(\sin(\Phi + \delta) \times \sin(\Phi - \Theta - \alpha))}}{\sqrt{(\cos(\delta + \beta + \Theta) \times \cos(\alpha - \beta))}} \right]^2}$$

$$= 0.428$$

$$K_{aeh} = 0.428 \times \cos(1.341^\circ) = 0.428$$

(2) 토압에 의한 벽체 단면력계산

㉑ 상시 벽체 단면력

i) 벽체 하부 (C-C)

$$P_{ah} = 1/2 \times K_{ah} \times \gamma t \times H^2$$

$$= 1/2 \times 0.354 \times 1.9 \times 2.150^2 = 1.552 \text{ tf/m}$$

$$y = H / 3 = 2.150 / 3 = 0.717 \text{ m}$$

$$M_o = P_{ah} \times y = 1.552 \times 0.717 = 1.113 \text{ tf.m}$$

ii) 벽체 중앙부 (D-D)

$$P_{ah} = 1/2 \times K_{ah} \times \gamma t \times H^2$$

$$= 1/2 \times 0.354 \times 1.9 \times 1.075^2 = 0.388 \text{ tf/m}$$

$$y = H / 3 = 1.075 / 3 = 0.358 \text{ m}$$

$$M_o = P_{ah} \times y = 0.388 \times 0.358 = 0.139 \text{ tf.m}$$

㉞ 지진시 벽체 단면력

i) 벽체 하부 (C-C)

$$\begin{aligned} P_{ah} &= 1/2 \times K_{aeh} \times \gamma t \times H^2 \\ &= 1/2 \times 0.428 \times 1.9 \times 2.150^2 = 1.878 \text{ tf/m} \end{aligned}$$

$$y = H / 2 = 2.150 / 2 = 1.075 \text{ m}$$

$$M_o = P_{ah} \times y = 1.878 \times 1.075 = 2.019 \text{ tf.m}$$

ii) 벽체 중앙부 (D-D)

$$\begin{aligned} P_{ah} &= 1/2 \times K_{aeh} \times \gamma t \times H^2 \\ &= 1/2 \times 0.428 \times 1.9 \times 1.075^2 = 0.469 \text{ tf/m} \end{aligned}$$

$$y = H / 2 = 1.075 / 2 = 0.538 \text{ m}$$

$$M_o = P_{ah} \times y = 0.469 \times 0.538 = 0.252 \text{ tf.m}$$

(3) 과재하중에 의한 벽체단면력 계산

㉞ 상시 벽체 단면력

$$q = 1.00 \text{ tf/m}^2$$

i) 벽체 하부 (C-C)

과재하중이 주동토압영역밖에 재하되므로 고려하지 않는다.

ii) 벽체 중앙부 (D-D)

과재하중이 주동토압영역밖에 재하되므로 고려하지 않는다.

㉞ 지진시 벽체 단면력

과재고정하중이 없으므로 단면력을 고려하지 않는다.

(4) 추가하중에 의한 벽체 단면력 계산

㉞ 상시 하중계산

i) 벽체 하부 (C-C)

$$\begin{aligned} P_h &= V_d + V_l = 0.000 + 0.000 = 0.000 \text{ tf/m} \\ M_o &= (0.000 + 0.000) \times 2.150 + 0.000 + 0.000 = 0.000 \text{ tf.m} \end{aligned}$$

ii) 벽체 중앙부 (D-D)

$$\begin{aligned} P_h &= V_d + V_l = 0.000 + 0.000 = 0.000 \text{ tf/m} \\ M_o &= (0.000 + 0.000) \times 1.075 + 0.000 + 0.000 = 0.000 \text{ tf.m} \end{aligned}$$

⑥ 지진시 하중계산

i) 벽체 하부 (C-C)

$$\begin{aligned} Ph &= Hd = 0.000 \text{ tf/m} \\ Ph' &= Vd \times Kh = 0.050 \times 0.055 = 0.003 \text{ tf/m} \\ Mo &= 0.000 \times 2.150 + 0.000 = 0.000 \text{ tf.m} \\ Mo' &= 0.003 \times 2.150 = 0.006 \text{ tf.m} \end{aligned}$$

ii) 벽체 중앙부 (D-D)

$$\begin{aligned} Ph &= Hd = 0.000 \text{ tf/m} \\ Ph' &= Vd \times Kh = 0.050 \times 0.055 = 0.003 \text{ tf/m} \\ Mo &= 0.000 \times 1.075 + 0.000 = 0.000 \text{ tf.m} \\ Mo' &= 0.003 \times 1.075 = 0.003 \text{ tf.m} \end{aligned}$$

(5) 지진시 벽체의 관성력에 의한 단면력 계산

(단위 : tonf, m)

구분	A	y	W	Kh	H	y	M
C1	0.163	2.5	0.409	0.055	0.022	0.717	0.016
C2	0.645	2.5	1.613	0.055	0.089	1.075	0.095
C3	0.052	2.5	0.129	0.055	0.007	0.717	0.005
합계 (벽체 하부)			2.150		0.118		0.117
C1	0.041	2.5	0.102	0.055	0.006	0.358	0.002
C2	0.328	2.5	0.806	0.055	0.044	0.538	0.024
C3	0.013	2.5	0.032	0.055	0.002	0.358	0.001
합계 (벽체 중앙부)			0.941		0.052		0.026

▷ 벽체 하단 단면력 계산

(단위 : tonf, m)

구분		횡토압	과재하중	추가하중	관성력	총계
LCB1	전단력	2.794	0.000	0.000	0.000	2.794
	모멘트	2.003	0.000	0.000	0.000	2.003
LCB2	전단력	2.535	0.000	0.004	0.160	2.698
	모멘트	2.725	0.000	0.008	0.157	2.890
LCB3	전단력	1.552	0.000	0.000	0.000	1.552
	모멘트	1.113	0.000	0.000	0.000	1.113

▷ 벽체 중간부 단면력 계산

(단위 : tonf, m)

구분		횡토압	과재하중	추가하중	관성력	총계
LCB1	전단력	0.699	0.000	0.000	0.000	0.699
	모멘트	0.250	0.000	0.000	0.000	0.250
LCB2	전단력	0.634	0.000	0.004	0.070	0.707
	모멘트	0.341	0.000	0.004	0.036	0.380
LCB3	전단력	0.388	0.000	0.000	0.000	0.388
	모멘트	0.139	0.000	0.000	0.000	0.139

4.4 단면검토용 하중집계

상시와 지진시 단면력중 최대값으로 단면력을 정리하면 다음과 같다.
 균열검토는 상시의 사용하중으로 검토한다.

(단위 : tonf, m)

구분	Mu	Mcr	Vu
뒷굽판 (B-B)	2.890	1.113	3.216
벽체 하부 (C-C)	2.890	1.113	2.794
벽체 중앙부 (D-D)	0.380	0.139	0.707

(단, 저판에 작용하는 휨모멘트의 크기는 전면벽과 뒷굽판과의
 접촉점의 모멘트평형조건에 의하여 전면벽에 작용하는 휨모멘트를
 초과하지 않는다. - 용벽표준도작성연구용역 종합보고서, 1998. 건교부)

계수 모멘트 Mu = 2.890 tf.m 계수 전단력 Vu = 3.216 tonf
 단면의 두께 H = 35.000 cm 단 위 폭 B = 100.000 cm
 유효 깊이 D = 25.000 cm 피 복 두께 Dc = 10.000 cm

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토 -

사용철근량 = D16 @ 125 mm (Dc = 100 mm)
 = 15.888 cm² ∴ P = As/(B·D) = 0.00636
 공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 2.670 cm
 설계강도 ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 958768.300 kgf.cm
 = 9.588 tf.m ≥ Mu = 2.890 tf.m ∴ O.K

- 필요철근량 및 철근비 검토 -

소요등가응력깊이 : a = 0.774 cm로 가정
 필요 철 근 량 : As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 4.605 cm²
 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 0.774 cm ∴ 가정과 비슷함 O.K
 Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00184 ⇒ 4/3 Preq = 0.00246
 철근비검토 : Pmin ≤ P ≤ Pmax ∴ O.K

▷ 전단력 검토

Φv·Vc = Φv·0.53·√fck·B·d / 1000 = 15.361 tonf
 Φv·Vc = 15.361 tonf > Vu ∴ 전단철근 필요없음.

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mcr = 1.113 tf.m (사용하중 모멘트)
 n = Es/Ec = 2000000 / (15000 √(fck)) = 9
 p = As/(B·D) = 0.00636
 k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.286 j = 0.905
 x = k·d = 7.146 cm
 fc = 2·Mcr / (B·x·(D - x/3)) = 13.768 kgf/cm²
 fs = Mcr / (As ·(D - x/3)) = 309.599 kgf/cm²
 fs = 309.599 kgf/cm² ≤ 0.6 fy = 1800.00 kgf/cm² ∴ O.K
 dy = 10.000 cm dc_min = 10.000 cm
 A = (2·dy·B) / 철근개수 = 250.000 cm²

균열폭 검토(콘크리트 구조설계기준)

Wa = 0.005 ×tc = 0.460 mm (습윤환경 기준)
 여기서.. tc = dc_min - 주철근 직경/2 = 92.00 mm

$$W = 1.08 \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{(d_{c_min} \times A) / 100000} = 0.07 \text{ mm}$$

여기서.. $\beta = (H - k \cdot D) / (D - k \cdot D) = 1.560$

$$\therefore W_a = 0.460 \text{ mm} \geq W = 0.071 \text{ mm} \dots \text{ O.K}$$

벽체하부

$$f_{ck} = 210.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad f_y = 3000.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.850 \quad \phi_f = 0.85 \quad \phi_v = 0.80$$

$$P_b = (0.85 \times \beta_1 \times f_{ck} / f_y) \times [6000 / (6000 + f_y)] = 0.03372$$

$$p_{max} = 0.75 \times p_b = 0.02529$$

$$p_{min} = \max(0.80 \sqrt{(f_{ck}) / f_y}, 14 / f_y) = 0.00467$$

계수 모멘트 $M_u =$	2.890 tf.m	계수 전단력 $V_u =$	2.794 tonf
단면의 두께 $H =$	50.000 cm	단 위 폭 $B =$	100.000 cm
유효 깊이 $D =$	42.000 cm	피복 두께 $D_c =$	8.000 cm

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토 -

$$\text{사용철근량} = D16 @ 125 \text{ mm} \quad (D_c = 80 \text{ mm})$$

$$= 15.888 \text{ cm}^2 \quad \therefore P = A_s / (B \cdot D) = 0.00378$$

$$\text{공칭강도시 등가응력깊이 } a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 2.670 \text{ cm}$$

$$\text{설계강도 } \phi M_n = \phi_f \cdot f_y \cdot A_s \cdot (D - a/2) = 1647513.000 \text{ kgf.cm}$$

$$= 16.475 \text{ tf.m} \geq M_u = 2.890 \text{ tf.m} \dots \therefore \text{O.K}$$

- 필요철근량 및 철근비 검토 -

$$\text{소요등가응력깊이 : } a = 0.456 \text{ cm로 가정}$$

$$\text{필요 철근량 : } A_s = M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\} = 2.714 \text{ cm}^2$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 0.456 \text{ cm} \quad \therefore \text{가정과 비슷함 O.K}$$

$$P_{req} = [M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\}] / (B \cdot D) = 0.00065 \Rightarrow 4/3 P_{req} = 0.00086$$

$$\text{철근비검토 : } 4/3 P_{req} \leq P \leq P_{min} \dots \therefore \text{O.K}$$

▷ 전단력 검토

$$\phi_v \cdot V_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot B \cdot d / 1000 = 25.806 \text{ tonf}$$

$$\phi_v \cdot V_c = 25.806 \text{ tonf} > V_u \quad \therefore \text{전단철근 필요없음.}$$

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

$$M_{cr} = 1.113 \text{ tf.m} \quad (\text{사용하중 모멘트})$$

$$n = E_s / E_c = 2000000 / (15000 \sqrt{(f_{ck})}) = 9$$

$$p = A_s / (B \cdot D) = 0.00378$$

$$k = -np + \sqrt{((np)^2 + 2np)} = 0.229 \quad j = 0.924$$

$$x = k \cdot d = 9.623 \text{ cm}$$

$$f_c = 2 \cdot M_{cr} / (B \cdot x \cdot (D - x/3)) = 5.961 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_s = M_{cr} / (A_s \cdot (D - x/3)) = 180.513 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_s = 180.513 \text{ kgf/cm}^2 \leq 0.6 f_y = 1800.00 \text{ kgf/cm}^2 \quad \therefore \text{O.K}$$

$$d_y = 8.000 \text{ cm} \quad d_{c_min} = 8.000 \text{ cm}$$

$$A = (2 \cdot d_y \cdot B) / \text{철근개수} = 200.000 \text{ cm}^2$$

균열폭 검토(콘크리트 구조설계기준)

$$W_a = 0.005 \times t_c = 0.360 \text{ mm} \quad (\text{습윤환경 기준})$$

여기서.. $t_c = d_{c_min} - \text{주철근 직경}/2 = 72.00 \text{ mm}$

$$W = 1.08 \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{(d_{c_min} \times A) / 100000} = 0.03 \text{ mm}$$

여기서.. $\beta = (H - k \cdot D) / (D - k \cdot D) = 1.247$

$$\therefore W_a = 0.360 \text{ mm} \geq W = 0.028 \text{ mm} \dots \text{ O.K}$$

벽 체 중 양 부

$$f_{ck} = 210.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad f_y = 3000.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.850 \quad \phi_f = 0.85 \quad \phi_v = 0.80$$

$$P_b = (0.85 \times \beta_1 \times f_{ck} / f_y) \times [6000 / (6000 + f_y)] = 0.03372$$

$$p_{max} = 0.75 \times p_b = 0.02529$$

$$p_{min} = \max(0.80 \sqrt{f_{ck}} / f_y, 14 / f_y) = 0.00467$$

$$\text{계수 모멘트 } M_u = 0.380 \text{ tf.m} \quad \text{계수 전단력 } V_u = 0.707 \text{ tonf}$$

$$\text{단면의 두께 } H = 40.000 \text{ cm} \quad \text{단 위 폭 } B = 100.000 \text{ cm}$$

$$\text{유효 깊이 } D = 32.000 \text{ cm} \quad \text{피복 두께 } D_c = 8.000 \text{ cm}$$

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토 -

$$\text{사용철근량} = D16 @ 250 \text{ mm} \quad (D_c = 80 \text{ mm})$$

$$= 7.944 \text{ cm}^2 \quad \therefore P = A_s / (B \cdot D) = 0.00248$$

$$\text{공칭강도시 등가응력깊이 } a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 1.335 \text{ cm}$$

$$\text{설계강도 } \phi M_n = \phi_f \cdot f_y \cdot A_s \cdot (D - a/2) = 634707.400 \text{ kgf.cm}$$

$$= 6.347 \text{ tf.m} \geq M_u = 0.380 \text{ tf.m} \dots \therefore \text{O.K}$$

- 필요철근량 및 철근비 검토 -

$$\text{소요등가응력깊이 : } a = 0.078 \text{ cm로 가정}$$

$$\text{필요 철근량 : } A_s = M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\} = 0.467 \text{ cm}^2$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 0.078 \text{ cm} \quad \therefore \text{가정과 비슷함 O.K}$$

$$P_{req} = [M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\}] / (B \cdot D) = 0.00015 \Rightarrow 4/3 P_{req} = 0.00019$$

$$\text{철근비검토 : } 4/3 P_{req} \leq P \leq P_{min} \dots \therefore \text{O.K}$$

▷ 전단력 검토

$$\phi_v \cdot V_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot B \cdot d / 1000 = 19.662 \text{ tonf}$$

$$\phi_v \cdot V_c = 19.662 \text{ tonf} > V_u \quad \therefore \text{전단철근 필요없음.}$$

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

$$M_{cr} = 0.139 \text{ tf.m} \quad (\text{사용하중 모멘트})$$

$$n = E_s / E_c = 2000000 / (15000 \sqrt{f_{ck}}) = 9$$

$$p = A_s / (B \cdot D) = 0.00248$$

$$k = -np + \sqrt{((np)^2 + 2np)} = 0.190 \quad j = 0.937$$

$$x = k \cdot d = 6.087 \text{ cm}$$

$$f_c = 2 \cdot M_{cr} / (B \cdot x \cdot (D - x/3)) = 1.525 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_s = M_{cr} / (A_s \cdot (D - x/3)) = 58.411 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_s = 58.411 \text{ kgf/cm}^2 \leq 0.6 f_y = 1800.00 \text{ kgf/cm}^2 \quad \therefore \text{O.K}$$

$$d_y = 8.000 \text{ cm} \quad d_{c_min} = 8.000 \text{ cm}$$

$$A = (2 \cdot d_y \cdot B) / \text{철근개수} = 400.000 \text{ cm}^2$$

균열폭 검토(콘크리트 구조설계기준)

$$W_a = 0.005 \times t_c = 0.360 \text{ mm} \quad (\text{습윤환경 기준})$$

$$\text{여기서.. } t_c = d_{c_min} - \text{주철근 직경}/2 = 72.00 \text{ mm}$$

$$W = 1.08 \times \beta \times f_s \times \sqrt{d_{c_min} \times A} / 100000 = 0.01 \text{ mm}$$

$$\text{여기서.. } \beta = (H - k \cdot D) / (D - k \cdot D) = 1.309$$

$$\therefore W_a = 0.360 \text{ mm} \geq W = 0.012 \text{ mm} \dots \text{O.K}$$

▷ 벽체 수평(온도)철근 검토

$$\text{수평철근 직경 : } D13$$

$$\text{수평철근 간격 : } 150 \text{ mm}$$

$$\text{사용 수평철근량 : } 8.447 \text{ cm}^2$$

$$\text{최소 수평철근비} = 0.25 \%$$

콘크리트의 수화열, 온도변화, 건조수축 등을 고려하여 부재의 한면에

대하여 D13@150mm 를 각각 배근하면
 $\text{사용수평철근비} = 2 \times A_s / (B \cdot H) = 0.338 \% \geq 0.25 \% \therefore \text{O.K}$

▷ 저판 수평(온도)철근 검토

수평철근 직경 : D13

수평철근 간격 : 200 mm

사용 수평철근량 : 6.335 cm²

최소 수평철근비 = 0.25 %

콘크리트의 수화열, 온도변화, 건조수축 등을 고려하여 부재의 한면에
 대하여 D13@200mm 를 각각 배근하면

$\text{사용수평철근비} = 2 \times A_s / (B \cdot H) = 0.362 \% \geq 0.25 \% \therefore \text{O.K}$

5. 결 과 요약

5.1 직접기초

안정검토 결과

(단위 : tonf,m)

구분	전도			활동			지지력		
	작용편심	허용편심	비고	안전율	허용치	비고	최대반력	허용지지력	비고
상시	0.145	0.375	O.K	2.771	1.500	O.K	7.628	26.479	O.K
지진시	0.428	0.750	O.K	1.822	1.200	O.K	11.420	34.420	O.K

5.2 단면검토 결과

1) 부재력 검토 요약

(단위 : tonf,m)

구분	휨 모멘트			전 단 력			균 열 폭(mm)		
	Mu	Ø Mn	비고	Vu	ØVn	비고	W	Wa	비고
뒷 굽 판	2.890	9.588	O.K	3.216	15.361	O.K	0.071	0.460	O.K
벽체 하부	2.890	16.475	O.K	2.794	25.806	O.K	0.023	0.360	O.K
벽체 중앙	0.380	6.347	O.K	0.707	19.662	O.K	0.012	0.360	O.K

2) 사용 철근량 요약

구분	휨 철근량			전 단 철근량		
	철근배근	피복(mm)	철근량(cm ²)	철근배근	간격(mm)	철근량(cm ²)
뒷 굽 판	D16 @ 125mm	100.0	15.888	D13 x 4.000Leg	400.0	5.068
벽체 하부	D16 @ 125mm	80.0	15.888	D13 x 4.000Leg	450.0	5.068
벽체 중앙	D16 @ 250mm	80.0	7.944	D13 x 4.000Leg	450.0	5.068

6. 맞춤형 생태옹벽의 녹화기술 개발

가. 생태옹벽의 구성 및 녹화작업

1) 생태옹벽의 구성

본 실험지역은 진주시 정촌면 관봉리에 위치하고 있는 옹벽 설치지역을 선정하고 옹벽 설치시에 직경 100mm 규격의 식생필터를 이용할 수 있는 녹화기반을 조성하였다. 본 지역은 실험지의 관리 및 조사에 유리하므로 선정하였으며 실험대상지의 위치는 그림 1-27과 같다.



그림 1-27. 조사대상지

일반적인 사면구조물의 식물생육 상태는 채광이나 수분, 토양 등이 부족한 상태이며 성공적인 녹화를 위해서는 녹화의 목적과 형태, 식재 환경의 개선, 환경특성에 적합한 식물을 선정하는 것이 중요하다.

본 실험지는 일조량 등과 같은 기후인자에 의한 식물생장에 대한 실험의 오차를 줄이기 위하여 같은 사면 및 방위에 배치하였으며, 직경 100mm 규격의 PVC관을 통하여 녹화공간이 설치되어 있고, 경사각 30°, 깊이 20cm의 식생홀이 조성되었다. 실험지 녹화기반의 간격은 수직방향으로 50cm, 수평방향으로 110cm 간격으로 식생생장을 고려하여 상, 중, 하의 지그재그 형태로 배치된 식생홀 36개소(3반복 × 3처리 × 4토양처리 = 36)에 2010년 4월과 5월 사이에 식생필터를 삽입하였다. 전체 생태옹벽의 길이는 1 반복당 4.7m이며 3 반복이므로(4.7 × 3) 14.1m이며, 높이는 2.3m이다. 실험구의 배치구조와 간격은

그림 1-28과 같다.

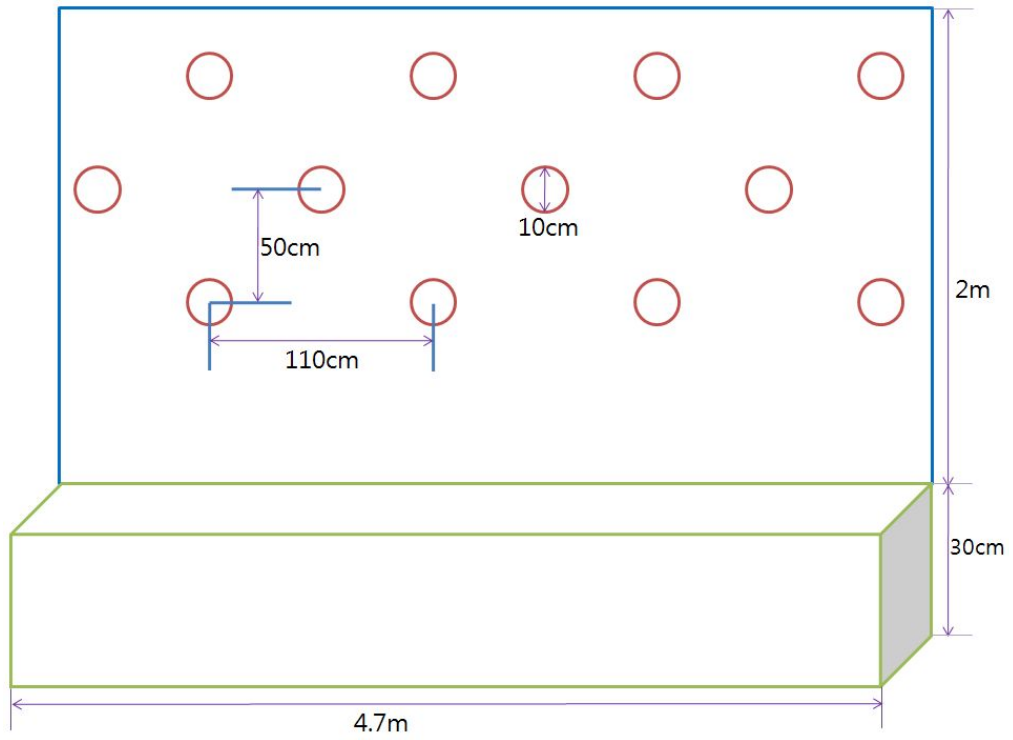


그림 1-28. 생태옹벽 식생홀의 배치구조와 간격



사진 1-1. 시공된 생태옹벽 식생홀 전경

지금까지의 옹벽 등 녹화시공 방법은 시공면에 일정 간격으로 화분형 식생대를 부착하거나 별도의 부조 고정 앵글을 걸착 시공하여 초목본이나 화초를 식재하는 방식으로 되어 있어 사후관리에 어려움이 많고, 녹화용 식물들이 스스로 자생할 수 있는 토양 성분이 결여되어 있어 장기적으로 식물이 생육하거나 녹화가 되면서 정착하기 어려운 문제점이 있었다.

본 연구에서 개발한 생태옹벽은 옹벽 시공시 옹벽 본체의 외부와 내부를 관통하여 경사 방향으로 식생홀을 형성하고, 상기 식생홀 내에는 녹화공간을 확보하도록 저부에서부터 순차적으로 흡수층, 토양층 및 식생필터 수납층을 형성하고, 상기 식생필터 수납층 내부에는 식생필터를 수납시켜 옹벽을 녹화하는 것을 특징으로 한다.

그림 1-29는 콘크리트 옹벽에 식물(150)이 자라는 생태옹벽(100)을 도시하였다.

*도면의 주요 부위에 대한 간단한 설명 :

100 : 옹벽, 110 : 식생홀, 120 : 흡수층, 130 : 토양층, 140 : 식생필터수납층

140' : 식생필터, 150 : 녹화식물, 160 : 옹벽(100) 배면의 물빼기 구멍

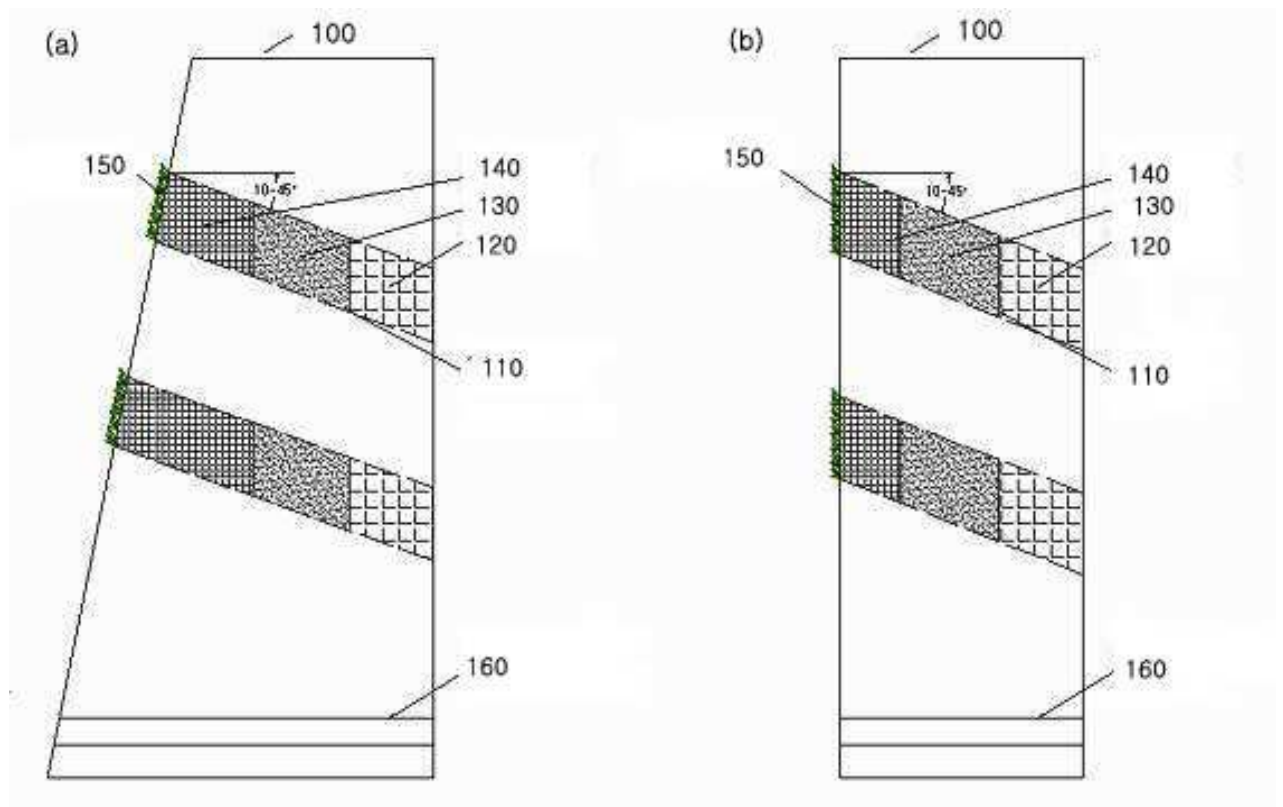


그림 1-29. 콘크리트 생태옹벽의 모식도

생태옹벽의 식생활은 옹벽 시공시 옹벽 본체(100)의 외부와 내부를 관통하여 경사 방향으로 형성하게 된다. 구체적으로는 옹벽 시공 시 거푸집을 치고, 거푸집 내부에 식물로 옹벽면의 녹화를 원활하게 수행할 목적으로 5 - 45°정도의 일정한 경사를 주어 PVC 관이나 속이 빈 파이프 및 철재 등을 넣어 녹화공간을 만들게 된다. 이때 문양 거푸집을 이용하면 옹벽 앞면에 문양을 넣어 미관을 증진시킬 수 있고, 또한 문양을 따라 물의 흐름 통로를 자연적으로 확보할 수 있다.

녹화 공간을 확보하기 위해 사용하는 PVC 관이나 속이 빈 파이프 및 철재는 사면안정을 위한 사면특성이나 옹벽의 높이 및 길이에 따라, 혹은 현장 여건에 따라 조절이 가능한 것이다. 따라서 모양 및 구멍의 크기를 필요에 따라 다양하게 형성할 수 있으며, 형상은 사용하는 PVC관이나 사용되는 재료 및 종류에 따라 다를 수 있으나 미관을 고려하여 원형, 사각형 및 마름모형 등 다양하게 형성할 수 있다. 예를 들어 PVC관을 이용하여 식재구멍을 만들 경우에는 원형으로 형성하는 것이 작업에 편의를 제공할 수 있다. 식생활(110)내의 구멍의 크기는 옹벽의 크기 및 두께에 따라 다양하게 할 수 있으나 5 - 20cm 정도로 하여 녹화공간을 만들면 될 것이다.

2) 생태옹벽의 녹화작업

생태옹벽의 녹화작업 과정은 식생활(110)내 저부로부터 순차적으로 흡수층(120), 토양층(130) 및 식생필터 수납층(140)을 형성하고, 식생필터 수납층(140)에는 식생필터(140')를 삽입한다. 이때 흡수포(120)으로는 함수율과 보수율이 높은 흡착포를 사용하고, 옹벽의 두께에 따라 식생활(110) 저부에 10-30cm 깊이로 충전하는 것이 바람직한데, 이는 상기 범위내에서 식생활(110)내부에 물을 충분히 흡수하는 작용을 수행할 수 있기 때문이다. 또한, 상기 토양층(130)은 공사현장에서 채취한 토양 또는 필요에 따라 특수하게 조제된 토양을 상기 흡수층(120) 상부에 충전하는 것으로, 이때 충전량은 식생필터(140')를 충전할 수 있도록 식생필터 수납층(140)을 형성할 공간을 남길 정도이면 충분하다.

특히, 식생활(110)은 옹벽의 두께 및 높이에 따라 다양하므로 적절한 단면 규격을 갖는 식생필터 수납층(140)을 구비하여 현장에서 시공된 식생활(110)에 식생필터(140')를 통하여 간단하게 녹화작업을 종료할 수는 특징을 갖는다.

이뿐 아니라, 상기 식생필터 수납층(140)내 식생필터(140')는 식생활(110)의 직경은 5 - 20cm, 길이는 10 - 20cm 정도의 크기로 제작하여 수납하고, 토양층(130)과의 사이에 틈이 발생할 경우 벌어진 틈새만큼 토양을 이용하여 틈을 메워 주는 것이 수분공급과 뿌리 발육을 감안해볼 때 보다 바람직하다.

생태옹벽은 녹화 공간을 형성한 다음 상기 녹화 공간 내부에 식생필터 수납층(140)내 식생필터(140')와 토양층(130)내 토양, 및 흡수층(120)내 흡수포가 서로 일체적으로 연결된 상태를 유지하면 초본 및 목본의 식물들이 발아 및 조기 활착에 효과적이고, 생육에

따라 뿌리가 잘 내려 옹벽면의 녹화를 장기적으로 보장할 수 있다. 특히, 식생필터(140') 내 종자는 옹벽의 앞면이나 배면에서 수분이 공급되면 뿌리의 착근이 용이하게 되어 발아가 쉽게 되면서 녹화가 진행된다.

또한, 일단 녹화되면, 식물이 무성히 자라날수록 자체에 지속적인 수분 저장기능이 증가되어 인위적으로 물을 공급하지 않더라도 옹벽의 전면이나 배면에서 흘러 들어오는 주기적인 자연 강우만으로도 충분히 자생할 수 있는 장점을 갖는다.

생태옹벽은 시공단계, 식재단계 및 식생필터 수납단계를 거쳐 만들어 진다. 단계별 내용은 다음과 같다.

시공단계 :

먼저 옹벽 시공시 거푸집을 치고, 거푸집 내부에 5 - 45° 정도의 일정한 경사를 주어 PVC로된 원형 관 또는 속이 빈 사각모양의 관이나 파이프를 넣어 녹화공간으로서 식생홀(110)을 다수 개 만든다.

식재단계 :

시공단계에서 옹벽의 시공이 끝난 다음, PVC관 내부의 식생홀(110)내 저부에 흡수층(120)으로서 물을 흡수할 수 있는 흡착포를 옹벽의 두께에 따라 10cm, 20cm 혹은 30cm 정도로 충전한다.

그런 다음 상기 토양층(130) 상에 양질의 토사 또는 조제된 특수 토양을 넣어주면서 녹화기반을 형성하고, 식생필터(140')를 수납할 식생필터 수납층(140) 형성공간만큼만 남겨 둔다.

식생필터 수납 :

식재단계에서 식생홀(110)중 남은 공간은 식생필터수납층(140)으로, 상기 식생필터수납층(140)내에서 수납할 식생필터(140')로서 길이 10cm, 15cm, 20cm, 25cm 혹은 30cm 정도의 황마마대나 코코아네트 재료를 이용하고 내부에 종자, 흙, 비료 등을 함께 넣어 제조한 식생필터(140')를 삽입하므로써 맞춤형 녹화작업을 마무리 할 수 있다.

본 실시 예에 따른 옹벽(100) 측면에는 옹벽(100)의 높이에 따라 적어도 1개 또는 그 이상의 식생홀(110)이 존재하며, 상기 식생홀(110)의 내부에는 식생필터(14') 들어있는 초본 및 목본의 종자와 내부에 남아있는 공간은 토양으로 충전된 충전층과 충전된 토양이 유실되지 않도록 유도하면서 옹벽배면의 수분을 흡착하여 보습기능을 할 수 있는 보습재를 충전시켜 식생필터 내에 들어 있는 종자의 발아가 잘 성장할 수 있도록 하였다.

이 때, 충전 토양은 공사현장에서 채취한 부드러운 토양으로 충전하였으며, 보습재료는 흡착포 소재를 사용하였다.

나. 녹화용 증진제 개발

1) 식생필터 및 배양토의 제조

옹벽에 식생을 이용하여 생태옹벽을 만들기 위해서 녹화기반대 들어 갈 식생필터의 개발이 필요하다. 무엇보다 식물이 생육하기 위해서는 흙을 담을 수 있는 용기가 필요하므로 녹화기반의 크기에 맞추어 식생필터를 조제하고, 본 실험에 이용하였다. 식생필터의 재질은 정하지 못하였으나 경제적이고 식물의 생육에 지장이 없는 용기이면 무난할 것으로 생각되며, 본 연구에서는 PT병을 이용하여 실험을 하였다.

식생필터 수납층(140)에 증진할 식생필터(140')는 황마 마대나 코코아네트 소재의 필터 형태 내부에 4가지 배양토를 만들어 무게비로 혼합하여 약간의 물과 함께 성형하여 일정한 압출기에서 압출시켜 만들었다.

각 배양토의 식생생육기반재료의 사용가능성 및 식생생육효과를 알아보기 위해 조성한 배양토의 종류와 중량은 표 1-11과 같다.

표 1-11. 토양종류 및 중량

토양 종류	토양 중량(g)
산림부식토(A)	880g
산림표층토(B)	650g
일반상토(C)	290g
혼합토(D)	665g

식생필터는 직경 10cm, 길이가 9.5cm 로 설계되었으며 무게는 약 10g이다. 황마의 무게는 약 30g이며, 종자를 붙인 종이의 무게는 약 3g이다. 각 배양토의 무게는 산림부식토는 880g, 산림표층토는 650g, 일반상토는 290g이며, 혼합토는 665g이다. 산림부식토가 가장 무거웠으며, 일반상토가 가벼운 것으로 나타나 향후 바람이나 여러 요인들의 영향이 많을 것으로 생각된다. 특히, 산림부식토(A)와 일반상토(B)는 토양침식안정제의 처리를 다소 많이 하여서 토양유실을 방지할 필요성이 있는 것으로 나타났다.

식생필터(140')내에 들어가는 배양토는 산림부식토(A), 산림표층토(B), 일반상토(C) 및 혼합토(D)로 처리하였다. 실험에 사용된 혼합토는 산림부식토, 산림표층토, 일반상토를 1:1:1의 일정한 부피비율로 섞어 조제하였으며 일반상토는 시중에서 판매하고 있는 원예용 상토를 사용하였다. 산림부식토는 조사지역 주변 산림내에서 부식이 있는 곳에서(0~5cm) 채취하였고 산림표층토는 조사지 주변 산림내에서 산림부식토를 제거 후(5~10cm) 채취하였다. 채취한 토양은 운반하여 채취기를 이용하여 돌부스러기 및 그 외 이물질을

제거하였다. 그리고 토양내 들어 있는 잠재종자의 발아로 각 실험에 영향을 미칠 수 있으므로 잡초 등의 종자를 제거하고 살균하기 위하여 약 150℃에서 4시간동안 훈증처리를 하였다.

이와 같이 형성된 식생필터 수납층(140)에 삽입되는 식생필터(140')는 내부에 야생초화류 등 녹화식생 식물(150)의 종자를 미리 넣고, 필요에 따라 담쟁이덩굴 등 덩굴성 식물들은 현장에서 직접 심어 조기 녹화를 유도하였다.

상기 황마 마대나 코코아네트 소재는 완전히 분해가 일어나기 전이라도 식물의 성장에 따라 내압이 작용하면 쉽게 파괴될 수 있어 식물의 성장에 지장을 주지 않는 장점이 있다.

각 실험구는 여러 가지의 훼손의 염려가 있어 주기적인 관찰을 하고 있으며, 2010년 7월 중 기온이 높은 시기에 고온으로 인한 발아식물의 유지관리를 위하여 3회의 관수작업을 실시하였다.

식생홀의 크기, 깊이, 배수를 고려한 식생필터의 설계 및 제조는 그림 1-30과 같다.

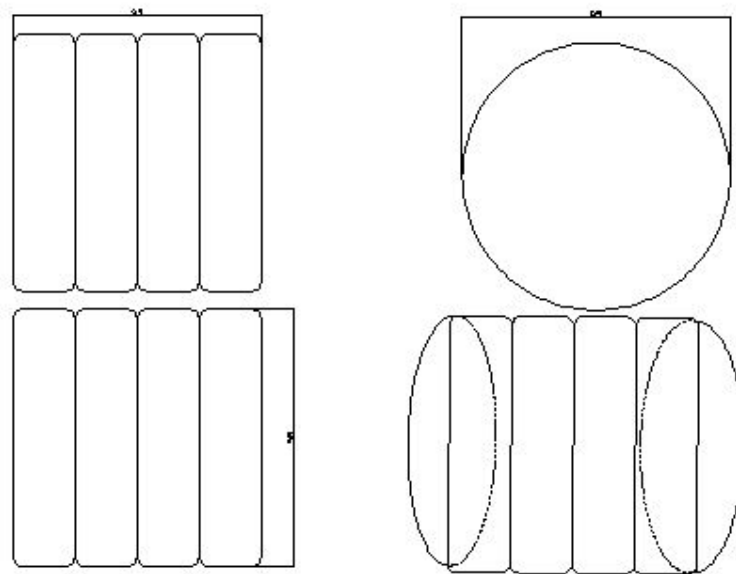


그림 1-30. 식생필터의 설계 및 제조

식생필터의 규격을 나타내고 있으며, 생태옹벽의 길이와 크기를 고려하여 총길이 95 mm, 지름 100 mm로 식생필터는 생태옹벽녹화에 적용 시 식생활 속으로 삽입한다.

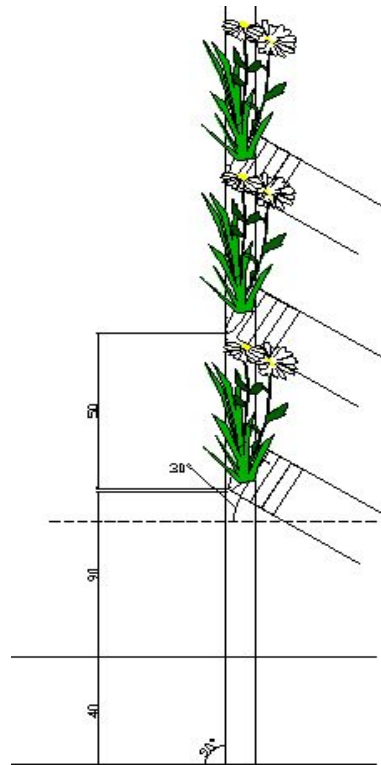


그림 1-31. 생태옹벽 모식도

그림 1-31과 같이 생태옹벽의 모식도를 보면 경사각은 90°이며 녹화기반은 지상에서 130cm 떨어진 부분에 식생필터를 사용하여 녹화가 이루어진다. 식생필터가 삽입될 녹화기반은 상향 30°를 이루고 있으며 과중식물의 생장에 방해가 없도록 녹화기반의 상하 간격을 50cm로 하였다.

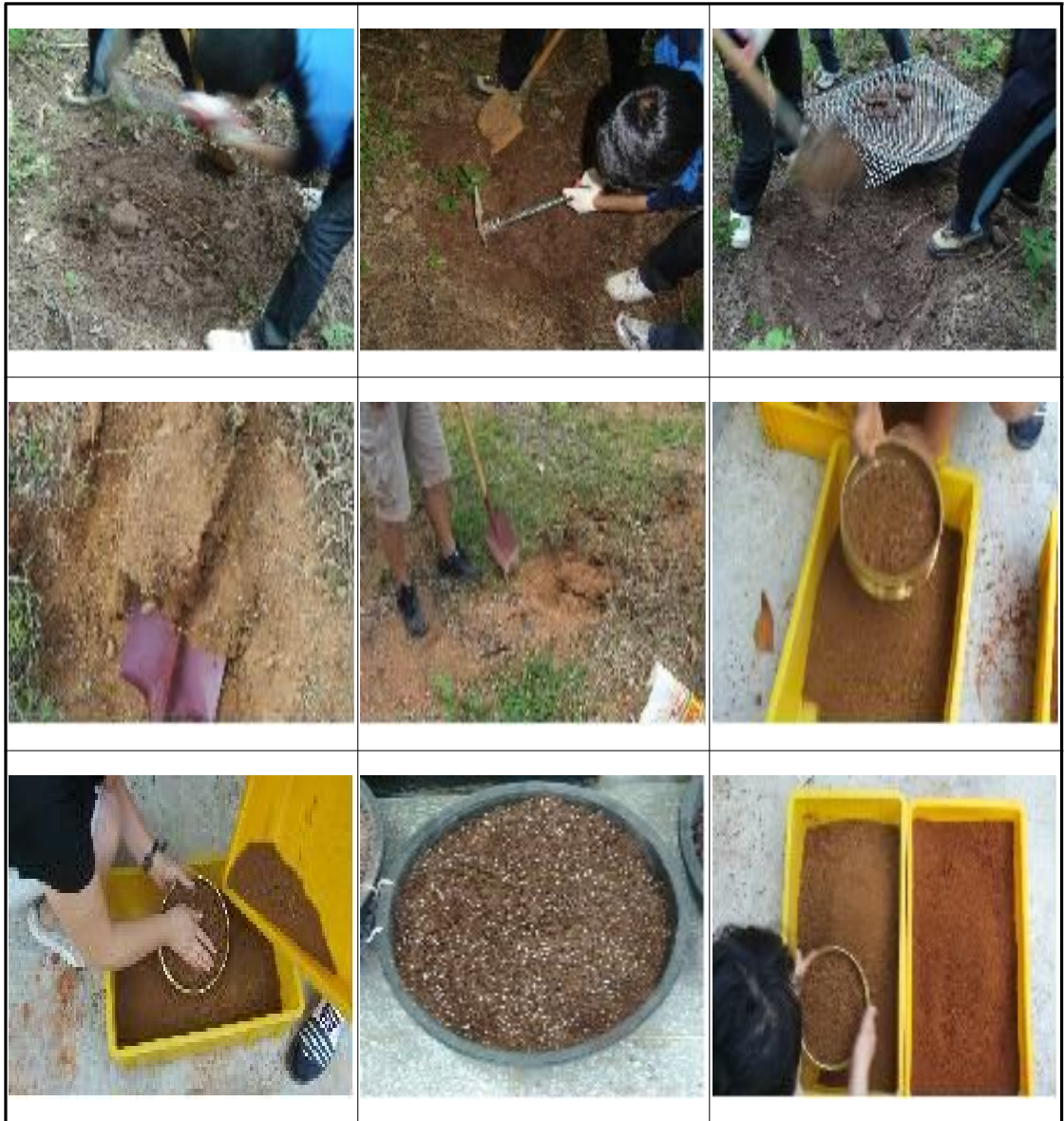


사진 1-2. 배양토용 토양의 채취 및 조성작업



사진 1-3. 식생필터의 제작

2) 처리토양의 이화학적 성질

각 배양토의 화학적·물리적 특성을 분석하였다. 분석방법은 유기물은 Tyurin법, 총 질소는 Kjeldahl법으로 농촌진흥청의 토양분석법에 준하여 분석하였고 pH와 EC도 마찬가지로 농촌진흥청의 토양분석법에 의거 토양과 증류수를 1 : 5(w/v)로 혼합하여 EC meter(TOA CM-11P)와 pH meter로 측정하였다. 양이온치환능력(CEC)은 1N-NH₄OAc법, 유효인산은 Bary NO1.법에 의거하여 분석을 실시하였다. Extractable-cations는 토양과 1N-NH₄OAc용액을 1 : 5(w/v)로 혼합하여 추출한 용액을 Inductively Coupled Plasma(ICP)/AES로 분석하였다. 토성은 비중계법을 이용하여 분석하였다.

표 1-12. 녹화배양토의 이화학적 성질

	pH	EC (dS/m)	유기물 함량 (%)	T-N	CEC (cmol/kg)	Av-P ₂ O ₅ (mg/kg)	치환성(mg/kg)			
							Ca	Mg	K	Na
A	5.18	6.89	7.89	0.2597	31.01	2.15	6.15	4.13	0.28	0.18
B	4.12	0.78	2.87	0.0978	16.50	2.53	0.84	0.48	0.16	0.02
C	5.02	10.45	61.80	1.1393	81.93	338.50	17.48	15.97	6.54	6.25
D	4.41	3.20	3.96	0.1299	28.30	125.04	4.01	3.24	0.59	0.41

A: 산림부식토, B: 산림표층토, C: 일반상토, D: 혼합토

표 1-13. 녹화배양토의 구성

	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Soil Texture
A	41.04	35.64	23.32	Loam
B	53.88	32.48	13.64	Sandy loam
C	39.72	44.88	15.40	Loam
D	41.84	31.84	26.32	Loam

A: 산림부식토, B: 산림표층토, C: 일반상토, D: 혼합토

녹화용 식물종자의 발아상태를 측정하기 위하여 조제하여 사용한 각 토양의 이화학적 성질은 표 1-12와 같다. 토양 pH가 가장 높은 토양은 산림부식토 5.18, 가장 낮은 토양은 산림표층토로서 3.93 이었다. 우리나라 산림토양의 평균 pH는 4.5~5.5(이천용, 1998)으로 산림표층토가 산성화 경향이 강하게 분석되었다.

토양 유기물 함량은 토양내 양이온치환용량(CEC), 보수력, 토양구조 등 토양의 이화학적 성질에 영향을 미치는데 상토에서 61.80g/kg로 가장 높았고, 토양유기물과 밀접한 연관이 있다고 나타난 전질소의 경우 상토 1.1393g/kg, 산림표층토 0.0978g/kg 으로 나타났다. 산림표층토에서 2.87g/kg으로 가장 낮았다. 일반상토(C)가 유기물함량이 제일 높고, 산림표층토(B)가 가장 적으며, 양이온 치환용량에서 일반상토(B)가 다른 처리토양보다 높은 것이 특징이다. 이는 산림표층토(B) 및 혼합토(D)에 비하여 유기물 함량과 보수성이 뛰어난 산림부식토(A)와 일반상토(C)는 흙의 성질이 비교적 부드러워 식생필터 위에 옹벽에서 흘러내리는 유수의 영향으로 토양이 유실되고, 옹벽 상부로부터 조그마한 돌 부스러기도 유출되어 식생필터내에 침입되므로서 종자발아에 장애요인으로 작용을 할 것으로 보인다.

유효인산은 식물생육초기에 필요하며 부족하면 옆쪽이 좁아지고 뿌리·줄기·가지수가

감소하고 개화·결실이 늦어져 품질과 수량이 감소한다. 인산은 토양 pH와 밀접해서 토양이 산성이면 토양 속에 인산이 고정되어 작물에 흡수되지 않는다. 유효인산 함유량은 산림부식토(2.53mg/kg), 산림표층토(2.53mg/kg), 일반상토(338.50mg/kg), 혼합토(125.04mg/kg)로 일반상토와 혼합토의 경우 유효인산의 평균 100mg/kg을 상회하였으나, 산림부식토와 산림표층토는 적정기준치에 크게 미치지 못하므로 결핍상태로 사료된다.

산림토양의 양이온치환용량(CEC)은 토양내 유기물이나 점토함량과 밀접한 관계를 가지고 있으며(조성진 등, 2001) 정확하게 토양조건을 나타낸다.

양이온 중에서 Ca, Mg, K, Na 등 일반적으로 염기라 부르는 금속이온의 양은 토양의 성질 및 비옥도와 밀접한 관계가 있다. 이들은 치환성 염기라고 부르지만 그 함유율은 토양마다 다르다. 특히 pH와 밀접한 관계가 있어서 토양의 pH가 높고 비옥하면 염기가 많으며, pH가 낮고 척박하면 염기가 적다.

칼륨(K)은 칼륨은 생리적 기능의 촉매역할을 하며 내병성을 높인다. 산림토양에는 비교적 많은데 특히 장석과 운모에 많이 들어 있고 무기화합물의 형태로 있다. 농작물에 이용되기에는 너무 풍화가 느려서 부족현상이 나타나기도 하지만 산림토양에서는 임내순환도 빠르고 효율적이므로 크게 부족하지 않다. 일반상토(6.54)가 함유량이 가장 많았고, 산림표층토(0.16)에서 가장 작게 나타났다.

칼슘(Ca)은 식물에서 칼슘의 생리적 작용은 잘 알려져 있지 않지만, 분열조직 발달과 뿌리 및 신초생장에 관련하며 단백질형성에도 관여하는 것으로 추정된다. 상토(17.48)가 함유량이 가장 많았고, 산림표층토(0.84)에서 가장 작게 나타났다.

마그네슘(Mg)은 엽록소를 만드는 유일한 무기원소이며 광합성 작용에도 필수요소이다. 부족할 때는 구조직에서 신조직으로 이동할 수 있는 원소이므로 칼륨과 같이 마그네슘부족현상이 구엽에서 가끔 나타난다. 대부분 산림토양에는 임목생장에 필요한 양의 마그네슘이 있으며 부족하면 공업용 황산마그네슘 등이 비교적 싸므로 쉽게 교정할 수 있다. 상토(15.97)가 함유량이 가장 많았고, 산림표층토(0.48)에서 가장 작게 나타났다.

비옥토에서는 $Ca > Mg > K, Na$ 의 순서로 염기의 양이 감소하므로 치환성 Ca의 양이 토양비옥도의 지표가 된다. 최근에는 Ca와 Mg로 결정하기도 한다. 따라서 상토가 가장 비옥한 것을 알 수 있다,

각 배양토의 물질적 특성은 표 1-13과 같다. 토성은 토양입자의 크기에 따라 자갈, 모래, 미사, 점토로 구분한다. 미농무성법의 기준에 따르면 입경 2mm이하의 광물질에 대하여 직경 2mm~0.05mm까지를 모래(Sand), 0.05mm~0.002mm 까지를 미사(Silt), 0.002mm 이하를 점토(Clay)로 분류한다. 토성은 식물생산성에 직접적으로 영향을 미치지 못한다는 간접적으로 영향을 미친다. 모래가 많은 토양은 생산성이 낮은 반면 점토나 미사가 많은 토양은 수분이나 양분이 많이 포함되어 있어 생산성이 높다. 산림표층토의 경우 모래의 비율이 53.88(%)로 식물의 생산성이 다른 토양보다 낮다고 보여진다.

녹화하는데 있어서 토양은 근본적으로 매우 중요한 요소로써 녹화대상지의 특성에 맞

는 올바른 토양을 선택하여 식물이 양호하게 생육할 수 있는 조건을 조성해주어야 한다.

3) 배양토의 미생물 처리와 멀칭처리

생태옹벽 녹화공법의 실험에 사용된 배양토는 4종류이며, 산림부식토, 산림표층토, 일반상토 및 혼합토이다. 그리고 배양토에는 3가지 처리, 즉 미생물 100%, 미생물 50%, 무처리구를 각각 처리하였다. 토양 미생물제제는 락토히록스를 사용하였으며 첨가 중량은 각 배양토 중량의 1%를 첨가하였다.

김동엽과 나용규(2002)는 인공토양으로 시공한 인공지반 녹화지역에서 주변 환경 및 토양특성이 토양미생물의 활동과 어떤 관계가 있는지를 파악하는 연구를 통해 토양 미생물이 일반적으로 자연토양에 비해 생육조건이 좋지 못한 인공토양에서 식물의 생육에 도움을 준다고 하였다.

안태석 등(2004)은 사면 녹화용 블록인 에코스톤의 현장 시공에서 토양의 종류를 쉽게 구입할 수 있는 일반토, 부식토, 일반상토와 혼합토로 구분하여 배양토의 식재식물의 생장을 파악하였으며, 일반적인 비탈면의 경우 인위적인 관수 없이 멀칭한 경우 자연적인 강우만으로도 식재식물의 생육에 필요한 토양수분을 유지할 수 있다고 하였다.

또한, 옹벽벽면의 물이 많이 흘러내리는 지점에서는 식생필터 내의 배양토가 유실되거나 돌부스러기가 들어오는 등 발아 및 식물생장에 방해요소가 많아, 이를 개선하고자 가로 35~40cm, 세로 55~60cm의 황마를 멀칭제로 사용하여 직사일광, 바람 등에 의한 토양내의 수분증발, 건조의 방지와 우적침식에 의한 토양유출을 억제하여 생육환경을 개선하고자 하였다.



사진 1-4. 미생물 조제 및 멸칭제 작업

표 1-14. 배양토별 미생물 처리

	1 반복	2 반복	3 반복
1(무처리)	1-1 산림표층토, 무처리	2-1 산림표층토, 무처리	3-1 산림표층토, 무처리
2(미생물 50%)	1-2 산림표층토, 미생물 50%	2-2 산림표층토 미생물 50%	3-2 산림표층토 미생물 50%
3(미생물 100%)	1-3 산림표층토, 미생물 100%	2-3 산림표층토, 미생물 100%	3-3 산림표층토, 미생물 100%
4(무처리)	1-4 산림부식토, 무처리	2-4 산림부식토, 무처리	3-4 산림부식토, 무처리
5(미생물 50%)	1-5 산림부식토, 미생물 50%	2-5 산림부식토, 미생물 50%	3-5 산림부식토, 미생물 50%
6(미생물 100%)	1-6 산림부식토, 미생물 100%	2-6 산림부식토, 미생물 100%	3-6 산림부식토, 미생물 100%
7(무처리)	1-7 일반상토, 무처리	2-7 일반상토, 무처리	3-7 일반상토, 무처리
8(미생물 50%)	1-8 일반상토, 미생물 50%	2-8 일반상토, 미생물 50%	3-8 일반상토, 미생물 50%
9(미생물 100%)	1-9 일반상토, 미생물 100%	2-9 일반상토, 미생물 100%	3-9 일반상토, 미생물 100%
10(무처리)	1-10 혼합토, 무처리	2-10 혼합토, 무처리	3-10 혼합토, 무처리
11(미생물 50%)	1-11 혼합토, 미생물 50%	2-11 혼합토, 미생물 50%	3-11 혼합토, 미생물 50%
12(미생물 100%)	1-12 혼합토, 미생물 100%	2-12 혼합토, 미생물 100%	3-12 혼합토, 미생물 100%



사진 1-5. 식생필터 삽입 작업모습

다. 녹화용 식물의 선발 및 식재

1) 선발된 녹화용 식물의 특성 및 식재

맞춤형 생태옹벽공법의 실험에 사용되어진 파종식물은 표 1-15와 같이 재래초분류 3종(패랭이, 구절초, 별개미취), 재래목분류(참싸리), 외래초본(한·난지형식물)류 3종(Tall fescue, Perennial ryiguass, weeping lovegrass), 귀화식물 2종(샤스타데이지, 기생초), 덩굴성 식물 1종(담쟁이)으로 총 10종을 선정하였다. 특히, 자생목분류인 참싸리를 사용함으로써 질소를 고정하여 토양의 개선효과를 기대하였다.

표 1-15. 파종한 초종의 품종과 특성

Flora	Scientific name	Korean name
한지형식물 (cool-season grass)	<i>Lolium perenne L.</i>	페레니얼라이그래스
	<i>Festuca arundinacea schreber</i>	톨웨스큐
난지형식물 (warm-season gress)	<i>Eragrostis curvula</i>	위핑러브그라이스
귀화식물	<i>Chrysanthemum burbankii</i>	샤스타데이지
	<i>Coreopsis tinctoria</i>	기생초
재래초본	<i>Dianthus chinensis L.</i>	패랭이
	<i>Chrysanthemum zawadskii var. latilobum</i>	구절초
	<i>Aster koraiensis</i>	별개미취
재래목본	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	참싸리
덩굴식물	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	담쟁이

맞춤형 생태옹벽에 사용된 식물은 크게 자생목본, 자생초본, 외래초본(한·난지형식물), 귀화식물, 덩굴식물로 나누었다.

외래초종은 우리나라에서 비탈면 녹화공사에 지금까지 많이 이용해오던 식물들로 생육적온이 15~24°C인 한지형초종(cool-season grass)과 생육적온이 25~35°C인 난지형초종(warm-season gress)으로 구분된다. 한지형초종은 지상부의 생육적온이 서늘한 환경인, 15~24°C의 온도조건에서 잘 자라는 초종으로 온대북부지역, 아한대 및 한대기후대 지역에서 잘 자라며, 우리나라에서는 봄과 가을이 생육적기이다. 대표적인 수종으로는 톨웨스

큐(tall fescue), 페레니얼라이그라스(perennial ryegrass)등이 있다. 난지형초종은 여름철이 생육적온기인 초종을 말하며, 대표적인 수종으로 한국잔디, 버뮤다그래스, 위핑러브그라스(weeping livegrass)등이 있다.

귀화식물이라하면 본래 생육하지 않은 지역에서 자연적, 인위적인 원인에 의해 2차적으로 도래 침입하여 야생화되고 기존식물과 어느 정도 안정된 상태를 이루는 식물의 총칭을 말한다. 재래초본은 어느 지방에서 오랜 세월에 걸쳐 다른 품종과 교배되지 않고 자생하거나 길러 오던 초종(풀)을 말하며, 재래목본도 어느 지방에서 오랜 세월에 걸쳐 다른 품종과 교배되지 않고 자생하거나 길러 오던 우리나라 고유의 목본을 말한다. 마지막으로 덩굴식물인란 줄기가 하늘을 향해 곧게 서있지 않고, 지면을 기어가거나 다른 물체에 붙어서 자라는 덩굴성 식물이다.

식생필터에 식재된 종자들의 생육특성을 살펴보면 한지형 식물의 페레니얼(Perennial ryegrass)은 중간다년생으로 친근성 섬유근을 가지고 있고 잎등은 치밀하고 농녹색이고 광택이 나며 어릴때는 잎이 접혀 있다. 강수량은 750~1,250mm 정도면 되고 가물지 않아야 하며, 고온지대는 피하고 너무 춥지 않아야 한다. 토양은 비옥하고 적응도는 넓어서 중점토와 배수불량한 곳에서도 잘 자란다. 초장은 40~60cm 정도로 짧은 편이다

톨웨스큐는(Tall fescue) 거친 잎과 주형의 생장 특성을 가진 잔디로써 비교적 척박한 환경에서 견디는 능력이 높다. 뿌리가 깊게 분포하여 내건성과 내서성이 다른 한지형 잔디에 비해 높은 편이다. 비교적 낮은 관리의 조건에서 재배가 가능한 초종이며 국내의 환경 하에서도 고온기를 제외하고는 비교적 양호한 상태를 유지할 수 있다. 그러나 주형 생장의 특성으로 주기적 보파가 필요한 경우가 많다. 형태 및 특성을 보면 잎혀는 얇은 막 구조로 둥근 형이며 길이는 0.5~2mm 정도이며 잎귀는 짧고 뾰족하며 잎깃은 나뉘어져 있다. 새로 나오는 잎은 뒷면의 왁스층이 두꺼워 빛을 반사하며 엽맥도 두드러지게 나타난다. 용도는 경사면녹화용으로 이용(내건성, 내서성이 높음)되고 있으며, 골프장 러프지역에 사용된다.

위핑러브그라스(weeping lovegrass)는 남아프리카 원산이며 목초로 재배한다. 높이가 약 1m이다. 줄기는 뻣뻣이 나고 잎은 가늘고 길게 자라는데, 길이 약 50cm, 나비 약 2mm로서 한여름이면 높이가 자라서 휘어 늘어진다. 이삭은 길이 20~30cm이며 작은 종자가 많이 달려서, 자연적으로 번식한다. 보통 봄에 종자를 뿌리는데, 생장이 빠르고 강한 뿌리를 넓게 번으므로 건조에 강하고 메마른 토양에도 잘 자란다. 이른 봄부터 자라기 시작한다. 잎은 가축의 사료로 쓴다. 급한 경사지에도 뿌리를 잘 번어서 흩이 무너지는 것을 막아주므로 토양침식 방지, 계단식 경사면 보호, 수로변 보호, 산지의 사방공사용으로 많이 쓴다.

표 1-16. 외래초본의 종자특성

구분	초종	종자특성						생육특성		
		순도	발아률 (%)	입수 (1g당)	표준 발아 온도	성장 최적 온도	발아일 수	초장	발아 정착 속도	성장속 성
한지형	페레니얼 라이그라스	98	95	600	20~30	15~25	5~7	20~25	매우 빠름	다발형
	톨웨스큐	95	85	550	15~13	15~25	5~10	20~30	빠르다	다발형
난지형	위핑러브 그라스	98	90	3000	20~35	15~35	7~12	80~100	빠르다	다발형

구분	초종	환경적응성								토양적응성	
		내한 성	내서 성	내음 성	내담 압성	내예 취성	내습 성	내건 성	내염 성	비료 요구 도	적응 PH
한지형	페레니얼 라이그라스	○	●	○	●	○	○	●	○	中	5.5~8.1
	톨웨스큐	○	○	○	○	○	○	●	○	中	5.3~7.5
난지형	위핑러브 그라스	△	●	○	△	△	△	●	○	低	4.1~7.5

표 1-17. 파종한 외래 및 재래초종의 특성과 환경적응성

	내건성	음.양	내한성	내서성
페레니얼라이그래스 (perennial ryegrass)	●	음지	●	●
톨훼스큐 (tall fescue)	●	음지	●	●
위핑러브그라이스 (weeping lovegrass)	●	음지	△	●
샤스타테이지	●	양지	●	●
기생초	●	반음지	●	●
패랭이	●	양지	●	●
구질초	●	양지	●	●
벌개미취	●	양지	●	●
참싸리	●	양지	●	●
담쟁이	●	양지	●	△

● : 강함 ○ : 보통 △ : 약함

표 1-18. 파종한 종자의 최종발아율과 순량률

종자명	최종발아율(%)	순량률(%)	최적파종시기
샤스타테이지	88.1	99	3~5월
패랭이	92.6	97.1	3~4월
구질초	50.0	50.0	3~7월
벌개미취	70.2	97.5	3~4월
참싸리	74.4	95.6	3~6월

샤스타테이지의 경우 샤스타국화라고도 한다. 미국의 육종학자 루터 버뱅크가 프랑스의 들국화와 동양의 섬국화를 교배하여 만든 개량종이며, 화단용과 꽃꽂이용으로 가꾼다. 줄기는 밑에서 갈라져서 곧게 자라고 높이가 60~90cm이며 털이 없다. 잎은 어긋나고 넓은 바소꼴이며 가장자리에 둔한 톱니가 있다. 꽃은 5~7월에 피고 두상화(頭狀花: 꽃대 끝에 꽃자루가 없는 작은 꽃이 많이 모여 피어 머리 모양을 이룬 꽃)가 가지 끝과 줄기에 1개씩 달린다. 두상화는 지름이 8cm이고 가장자리에 흰색의 설상화가 있으며 가운데에 노란

색의 관상화가 있다. 설상화는 보통 한 줄로 달리지만 여러 줄로 달리는 것도 있다. 추위에 강하고, 별이 잘 들고 배수가 잘 되는 곳이면 토양을 가리지 않고 잘 자란다. 번식은 종자를 심거나 포기나누기로 한다. 종자를 9월에 심어 모종을 가꾸고 10월에 옮겨 심으면 다음해에 꽃이 피고 포기를 나눌 수 있다. 겨울에 꽃이 피는 종류는 봄에 포기를 나누고, 여름에 꽃이 피는 종류는 가을에 포기를 나눈다.

기생초는 북아메리카 원산이며 관상용으로 심는다. 높이는 30~100cm이고 전체에 털이 없으며 가지를 친다. 잎은 마주나고 밑부분의 것은 잎자루가 있으며 2회 깃꼴로 갈라지고 갈라진 조각은 줄 모양 또는 바소꼴이다. 윗부분의 잎은 잎자루가 없고 갈라지지 않는다. 꽃은 7~10월에 피고 총포(總苞)조각은 1~2줄로 배열되며 줄 모양의 긴 타원형 또는 삼각형이고 가장자리가 막질(膜質)이다. 내포(內苞)조각은 난형이고 길이 5~6mm이다. 설상화(舌狀花)는 끝이 얇게 3갈래로 갈라지고 황색이며 밑쪽은 짙은 적색이다. 관상화(管狀花)는 자갈색 또는 흑갈색이다. 열매는 수과(瘦果)로 줄 모양의 긴 타원형이며 안으로 굽는다. 많은 원예 품종이 있으며 생명력이 강하기 때문에 밖으로 퍼져 나온 것도 많다.

우리나라 자생초종인 패랭이는 석죽화(石竹花)· 대란(大蘭)· 산구맥(山瞿麥)이라고도 한다. 낮은 지대의 건조한 곳이나 냇가 모래땅에서 자란다. 줄기는 뻣뻣이 모여나며 높이 30cm 내외로서 위에서 가지가 갈라진다. 잎은 마주나고 밑부분에서 합쳐져서 원줄기를 둘러싸며 줄 모양으로 가장자리가 밋밋하다. 꽃은 양성화로 6~8월에 피고 가지 끝에 1개씩 달리며 붉은색이다. 꽃받침은 5개로 갈라지고 밑은 원통형이다. 꽃잎은 5개이며 밑부분이 가늘어지고 현부는 옆으로 퍼지며 끝이 얇게 갈라지고 짙은 무늬가 있다. 수술은 10개, 암술대는 2개이다. 열매는 삭과로서 꽃받침으로 싸여 있고 끝에서 4개로 갈라지며 9~10월에 익는다. 밑에 4~6개의 포가 있다. 꽃과 열매가 달린 전체를 그늘에 말려 약재로 쓰며, 이뇨·통경·소염 등에 사용한다. 한국·중국에 분포한다.

구절초는 우리나라 재로초본으로서 자생지역은 한국, 일본, 만주, 중국, 시베리아이며 생육특성을 살펴보면 산악지대에서는 높은 능선에서 균락을 형성하여 자라지만 들에서도 햇빛이 잘 드는 곳에서도 흔히 볼 수 있고 노지에서 월동하며 생육적온은 16~30℃이다. 배수가 잘 되는 토양이 좋으며 재배 시 토양은 유기물원으로 부엽이 들어간 상토에서 현저한 생육증가를 보인다. 양지성식물이고 내건성이 다소 있으나 수분 요구도는 중간 정도 된다. 식물형태 및 특성을 살펴보면 숙근성 다년초로 크기는 50cm내외이다. 녹색의 잎은 난형 또는 넓은 난형으로서 질저 또는 심장저에 가까우며 윗부분의 것은 예저로도 되고 가장자리가 1회 우상으로 갈라진다. 측열편은 흔히 4개로서 장타원형이며 둔두이고 가장자리가 다소 갈라지거나 톱니가 있다. 꽃은 9~11월에 개화하고 줄기 끝에 지름이 4~6cm의 연한 홍색 또는 흰색 두상화가 한 송이씩 핀다. 총포조각은 긴 타원형으로 갈색이다. 꽃의 색은 백색이나 붉은빛이 도는 것도 있다. 열매는 수과로 종자는 10월에 익고 땅속줄기가 옆으로 뻗으며 번식한다. 번식방법은 종자번식 영양번식이 가능하며 종자번식할 경우 채종 즉시 파종하는 것이 효과적이다. 구절초는 10월부터 12월초에 걸쳐 채종하

여 직파하거나 노지의 경우 습윤저장을 통하여 이른 봄에 파종하는 것이 바람직하다. 그러나 파종시기가 늦을수록 발아율은 현격히 떨어진다. 영양 번식할 경우 삼수 채취 후 30분까지 자연보관 후 발근촉진제를 처리하여 삼목하는 것이 발근율이 양호하다. 대량생산을 위하여 종묘의 대량 생산체제 확립이 필요하며 그 방법의 하나로 삼목 번식을 이용할 수 있다. 구절초는 지하경의 발달이 왕성하여 이웃하여 식재된 식물과 경합에 약하다. 따라서 통풍이 잘되게 적절한 식재간격을 유지하는 것이 중요하며, 장마기 또는 집중 호우시에 잎이 녹는 경우가 많아 포기가 무성해졌을 경우에는 적절한 포기 솥음 또는 적심을 해주고, 환경사지에 식재하거나 식재 후 멀칭 하는 것이 바람직하다. 참싸리는 화단이나 조경용으로 식재시 반그늘도 가능하지만 양지에 심는 것이 식물체의 생육에 좋으며, 하늘나리와 땅나리 등의 구근식물과 혼식하면 식물체에도 좋고 보기에도 좋다. 전초 말린 것을 생약제로 이용하며, 여린 잎과 꽃은 말려서 차로 이용하며 향과 맛이 좋다. 꽃은 말려서 배갯속으로 이용하기도 하고 줄기와 더불어 음건한 후 약용으로 쓰인다. 구절초의 지상부는 생리불순, 생리통, 불임증에 효과적으로 이용되고 있다.

별개미취는 우리나라 재래초본으로서 자생지역 및 생태환경은 지리산을 비롯한 중남부 지방의 산지에 자생하며 내한성이 강하고 노지에서 월동이 가능하다. 노지의 화단에서 잘 자라며 토질은 가리지 않는 편이나 습지에서 잘 자란다. 식물형태 및 특성은 50~60cm 정도의 다년초이며, 잎의 너비는 1.5~3cm, 길이 12~19cm 정도로 호생하고 피침 형이며 끝이 뾰족하고 밑 부분이 점차 좁아져서 잎자루처럼 된다. 잎의 가장자리에 잔톱니가 있고 위로 올라갈수록 점차 작아져서 선형으로 된다. 잎은 광택 있는 녹색이다. 6~10월에 연한 자주색의 꽃이 피고 지름 4~5cm로서 가지 끝과 원줄기 끝에 달리고 총포는 반구형으로서 길이 13mm, 지름 8mm이다. 포편은 4줄로 배열되고 외편은 길이 4~5mm, 너비 1.5mm로서 장타원형이며 둔두이고 가장자리에 털이 있으며 설상화의 꽃부리는 길이 26mm, 너비 3.5~4mm 정도 된다. 수과는 길이 4mm, 지름 1.3mm로서 도피침상 장타원형이고 털이 없으며 관모도 없다. 번식방법은 종자번식 영양번식 가능하며 종자번식의 경우 종자는 10월중에 채종하여 직파하거나 음건하여 저장하고 파종은 이듬해 3~4월에 하며, 발아 시 보수성이 있는 토양에 파종하는 것이 좋으며, 이식을 감안한다면 육묘용 트레이와 같은 것을 이용하는 것도 바람직하다. 종자의 발아는 명조건에서 평균 발아일수는 11일 정도이고, 57% 정도의 발아율을 보인다. 영양번식의 경우 아삽으로 번식 가능하고 포기나누기를 할 목적으로 관리할 때는 꽃대가 올라오면 15cm정도에서 잘라주면 신초의 생성이 보다 많아진다. 삼목번식으로는 근삽으로 번식가능하며 배수가 용이한 곳에서는 특별히 용토를 가리지 않아 일반 용토로 삼목이 가능하다. 분주로도 번식이 용이하다. 재배 및 관리 방법은 양지나 반음지의 습윤한 토양에 식재하고, 습윤한 토양을 계속 유지해 주어야 개화 상태가 좋다. 고산성 식물이므로 저지대에서 재배 시 화색이 얼어진다. 과도한 시비를 하면 도장하여 관상가치가 떨어지게 되므로 유의한다. 건조에 강한 습성을 가지고 있으나 엽소와 같은 현상이 자주 나타나므로 잦은 관수가 요구되며 또한 시비를 하

여 생육조건이 향상이 필요하다. 양지성이며 차광정도가 증가할수록 도장하고 꽃 색이 나 빠진다. 엽면적비는 차광의 정도가 커질수록 증가하고 엽면적은 차광하지 않은 상태에서 시비하는 경우에 가장 높게 나타나며, 건조에 강하지만 습기가 많은 곳의 물가에서도 생장이 잘된다. 토양 고정능력이 뛰어나 절개지에 식재가능하며 도로주변의 화단식재용, 지 피식물로도 적당하고, 절토면과 성토면의 범면에 사방용으로 식재해도 좋으며 넓은 면적에 군식으로 가꾸어도 보기가 좋다. 어린 싹은 식용가능하다. 별개미취의 뿌리는 진해· 거담작용, 폐렴, 급만성 호흡기 감염증에 효과적이며 항균작용이 있어서 대장균, 이질균, 콜레라균 등에 일정한 억제작용을 한다.

참싸리는 싸리류 중에서 건조에 가장 강하고 줄기가 굵게 자라므로 참싸리라고 한다. 우리나라의 재래목본으로 산이나 들의 양지에서 자라며, 한국·일본·중국에 분포한다. 높 이 2m 내외이고 가지가 많이 갈라져서 둥글게 된다. 늙은 나무의 가지는 밑으로 처지고 작은가지에 능선과 털이 있다. 잎은 어긋나고 3장의 작은잎으로 된 겹잎이다. 작은잎은 원형·타원형 또는 달걀을 거꾸로 세운 모양이고 끝은 파지거나 둥글다. 또한 표면에는 털이 없어지고 뒷면에 누운털이 있으며 가장자리가 밋밋하다. 꽃은 7~8월에 피고 총상꽃차례에 달리며 홍자색이다. 꽃대에 털이 밀생하고 짧은 꽃대에 꽃이 다닥다닥 달리기 때문에 두상화같이 보인다. 꽃받침은 중간까지 갈라지고 털이 있으며, 갈래조각 끝은 바늘 같이 뾰족하다. 열매는 협과로 달걀 모양이며 10월에 익으며 털이 있고 밑에 꽃받침이 남아 있으며 1개의 종자가 들어 있다. 참싸리의 재배 및 관리 방법은 식재장소는 양지로서 배수가 잘 이루어지는 토양이 좋으나, 적당한 습기를 가진 토양이 좋다. 봄 가뭄 시 충분한 관수를 하지 않으면 수세가 약해질 염려가 있다. 시비할 때 주의사항은 거름이 많으면 당년에는 생육이 좋으나 다음해에는 월동이 안 되어 뿌리가 썩는 경우가 있으므로 너무 과하지 않게 시비량을 적절히 조절하여야 한다. 성질이 강건하여 병충해에 특별한 관리를 요하지 않는다. 재배적 특성은 늦게 이식하거나 여름 이후에 적심을 하면 꽃을 볼 수가 없고 과도하게 비료를 많이 주어도 개화가 잘 되지 않으므로 질소비료를 늦게까지 주지 않도록 주의해야한다. 최상의 생육상태를 유지하기 위하여 2년에 한 번 복토를 해주면 좋다. 그리고 헐벗은 곳의 지피물로서 흔히 심으며 산간 지방에서는 고급연료로 취급되고, 삼태기 등 바구니를 만드는 재료이며, 잎은 사료로 이용한다.

담쟁이덩굴은 포도과의 식물로서 한국, 일본, 타이완, 중국에서 자라고 돌담이나 바위 또는 나무줄기에 붙어서 자란다. 줄기는 길이 10m 이상 뻗는다. 덩굴손은 잎과 마주나고 갈라지며 끝에 둥근 흡착근(吸着根)이 있어 담 벽이나 암벽에 붙으면 잘 떨어지지 않는다. 잎은 어긋나고 폭 10~20cm의 넓은 달걀 모양이다. 잎 끝은 뾰족하고 3개로 갈라지며, 밑은 심장 밑 모양이고, 앞면에는 털이 없으며 뒷면 잎맥 위에 잔털이 있고, 가장자리에 불규칙한 톱니가 있다. 잎자루는 잎보다 길다. 꽃은 양성화이고 6~7월에 황록색으로 피며, 가지 끝 또는 잎겨드랑이에서 나온 꽃대에 취산꽃차례를 이루며 많은 수가 달린다. 꽃받침은 뭉뚝하고 갈라지지 않으며, 꽃잎은 길이 2.5mm의 좁은 타원 모양이다. 꽃잎과

수술은 각각 5개이고, 암술은 1개이다. 열매는 흰 가루로 덮여 있으며 지름이 6~8mm이고 8~10월에 검게 익는다. 종자는 1~3개이다. 잎은 가을에 붉게 단풍이 든다. 한방에서 뿌리와 줄기를 지금(地錦)이라는 약재로 쓰는데, 어혈을 풀어주고 관절과 근육의 통증을 가라앉힌다.



사진 1-6. 각 배양토별 식생필터를 삽입한 모습

옹벽 녹화방법은 토질조건과 환경조건에 부합되는 공종과 공법이 채택되고 비탈면의 토양 및 암질에 따라 적합한 식물을 선정하여 녹화하게 된다. 또한, 비탈면의 안정, 조기 녹화, 경관성 제고, 시공의 경제성 등 시공 목적의 우선순위에 따라 비탈의 토질 인자, 입지 인자 및 주변의 지역적인 특성을 고려하여 결정하여야 한다. 이러한 녹화공법에는 주로 외래 초종인 Perennial ryegrass(*Lolium perenne*), Tall fescue(*Festuca arundinacea*), weeping lovegrass(*Eragrosis curvula*), 등의 외래종이 녹화용으로 사용되고 있으며, 재래 종자는 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya*), 낭아초(*Indigofera pseudo-tinctoria*), 새(*Arundinella hirta*) 등이 제한적으로 이용되고 있는 실정이다. 외래초종은 일반적으로 한지형과 난지형으로 구분하며, 한지형에는 Orchardgrass, Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass 등이 속하고, 난지형에는 Weeping lovegrass, Bermuda grass 등이 속한다.

堀江(1962, 1974)은 싸리, 족제비싸리, 아까시나무, 물오리나무, 사방오리, 사스레피나무, 노간주나무, 보리수나무 등의 목본류와 도입초본종 Orchard grass, Weeping lovegrass 등의 혼과실험에 대한 연구를 통하여 혼과의 단점을 보완하기 위해서는 목·초본의 생리·

생태적인 성질을 검토하여 초기생육에 커다란 우열이 생기지 않도록 배합해야 한다고 한 바 있다.

2) 녹화종자의 파종량 산정 및 식재

맞춤형 생태옹벽공법의 실험에 사용된 종자의 파종은 물에 젖으면 쉽게 분해되는 신문 종이를 활용하였으며, 식생필터의 크기인 직경 100mm 정도를 원형으로 자르고 일정한 방향별로 종자를 배치하여 붙여 고정한 후 제조된 배양토와 함께 식생필터 내에 들어가도록 하는 방법을 이용하였다. 식생지 한 장당 9수종을 7개씩 붙여 63립($9 \times 7 = 63$)을 파종하였으며 식생필터별 3장씩 넣어 총 189립($63 \times 3 = 189$)을 파종하였다. 토양처리별 종자파종수는 567립($189 \times 3 = 567$)이며 배양토별 종자파종수는 2,268립($567 \times 4 = 2,268$)이고 총 파종량은 6,804립($2,268 \times 3 = 6,804$)이다. 그리고 덩굴성 식물인 담쟁이는 식생필터별 1주를 식재하였다.

사진 1-7은 식생지에 종자를 파종하는 모습이다.



사진 1-7. 식생지에 종자 파종하는 모습

	
< 페넬리얼라이그래스 >	< 톨웬스큐 >
	
< 위핑러브그라이스 >	< 샨스타데이지 >
	
< 기생초 >	< 패랭이 >
	
< 구절초 >	< 벌개미취 >
	
< 참싸리 >	< 담쟁이 >

사진 1-8. 실험에 이용한 수종의 종자 및 담쟁이덩굴

7. 생태옹벽의 식물 생육 모니터링

가. 종자파종을 통한 생태옹벽 식물 생육 특성

1) 식생생육 조사 및 분석

콘크리트 생태옹벽에서 식물 9종의 종자와 담쟁이의 생육특성을 알아보기 위해 2010년 4월 28일에 종자파종을 한 식생필터를 실험지가 조성된 콘크리트 생태옹벽에 29일에 삽입하였다.

식생필터에 사용된 4가지 배양토 및 3가지 토양처리를 실시하여 식생의 발아에 미치는 영향을 분석하기 위해 초기발아를 살펴보았다. 초기발아는 식생필터를 삽입 후 일주일이 지난 후 약 1달 동안 총 4회에 걸쳐 발아되는 개체를 조사하였다. 식생의 생육특성은 2010년 6월부터 2012년 2월까지 약 2년 동안 월별 조사하였으며, 결과를 통해 배양토, 토양처리, 파종식물에 따른 생존개체수 변화와 고사개체수 변화, 성장량 변화를 분석하였다.

2) 생태옹벽의 종자발아 특성 및 성장량 모니터링

가) 초기 종자 발아 특성 분석

(1) 배양토 및 토양처리에 따른 식생의 초기발아 상태 분석

생태옹벽 식생필터에 사용된 배양토와 토양처리가 식생의 초기발아에 미치는 영향을 분석하기 위한 초기발아 실험 결과는 표 1-19와 같다.

표 1-19. 배양토 및 토양처리에 따른 식생의 초기 발아시험 결과

배양토	토양처리	조사기간	1	2	3	4	5	6	7	8	9
산림 부식토	무처리	5.06	8	8	0	1	0	1	1	0	0
		5.13	9	6	0	1	0	1	3	0	0
		5.20	7	9	0	1	1	2	1	0	0
		5.27	9	10	3	2	1	2	4	0	2
	미생물 50%	5.06	6	6	0	0	0	1	2	0	2
		5.13	8	4	0	1	1	2	2	0	2
		5.20	9	7	0	1	0	2	2	0	3
		5.27	12	9	3	1	1	2	2	0	4
	미생물 100%	5.06	13	13	0	1	1	1	2	0	4
		5.13	16	4	0	2	2	1	5	1	5
		5.20	11	6	1	0	2	1	2	2	8
		5.27	13	11	1	0	2	2	2	1	10
산림 표층토	무처리	5.06	5	3	0	0	0	0	0	0	3
		5.13	5	5	0	0	0	0	0	0	4
		5.20	5	4	0	0	0	1	1	0	4
		5.27	5	3	1	0	0	2	1	0	7
	미생물 50%	5.06	3	3	1	2	0	2	2	0	2
		5.13	5	6	2	3	1	4	2	0	3
		5.20	4	4	1	2	1	4	1	0	4
		5.27	8	8	1	3	1	3	1	0	4
	미생물 100%	5.06	4	2	0	0	0	0	1	0	0
		5.13	6	4	0	0	1	1	1	0	3
		5.20	2	2	0	0	0	0	0	0	3
		5.27	2	3	0	1	0	1	0	0	4
일반 상토	무처리	5.06	3	3	0	1	0	1	2	0	1
		5.13	6	3	0	2	1	1	3	0	2
		5.20	10	6	0	2	0	1	4	0	2
		5.27	16	14	0	2	1	1	4	0	5
	미생물 50%	5.06	6	6	2	3	3	4	4	0	2
		5.13	6	8	2	6	2	4	5	1	4
		5.20	16	13	3	6	3	5	5	1	4
		5.27	19	18	6	9	4	6	4	2	11
	미생물 100%	5.06	5	5	1	1	1	2	0	0	5
		5.13	11	3	2	1	1	2	1	0	3
		5.20	13	11	2	3	2	3	1	0	7
		5.27	16	17	2	6	3	6	4	0	9
혼합토	무처리	5.06	7	6	0	0	0	1	0	0	8
		5.13	8	3	1	1	1	1	0	0	8
		5.20	10	7	1	1	0	2	0	0	10
		5.27	11	8	1	0	0	1	1	0	14
	미생물 50%	5.06	4	3	3	3	2	3	1	0	4
		5.13	9	3	2	2	2	3	1	0	5
		5.20	6	7	1	3	2	3	1	0	6
		5.27	6	5	1	5	2	4	2	0	8
	미생물 100%	5.06	8	3	0	0	1	1	1	0	0
		5.13	11	5	1	0	0	2	2	0	2
		5.20	4	4	1	0	0	1	2	0	2
		5.27	9	8	2	2	0	2	3	0	2

생태용벽의 종자 발아특성 및 생장량 모니터링을 위한 예비시공에서 파종한 식물은 자생초분류 3종(패랭이, 구절초, 벌개미취), 자생목분류 1종(참싸리), 귀화식물 2종(샤스타데이지, 기생초), 외래초종 3종(페레니얼라이그래스, 톨웨스큐, 위핑러브그라이스)으로 총 9종을 파종하였다.

표 1-19를 보면 파종한 후 4주간에 걸쳐 배양토별 초기 발아량을 조사한 결과 일반상토 > 산림부식토 > 혼합토 > 산림표층토 순으로 높게 나타났다. 일반상토, 산림부식토,

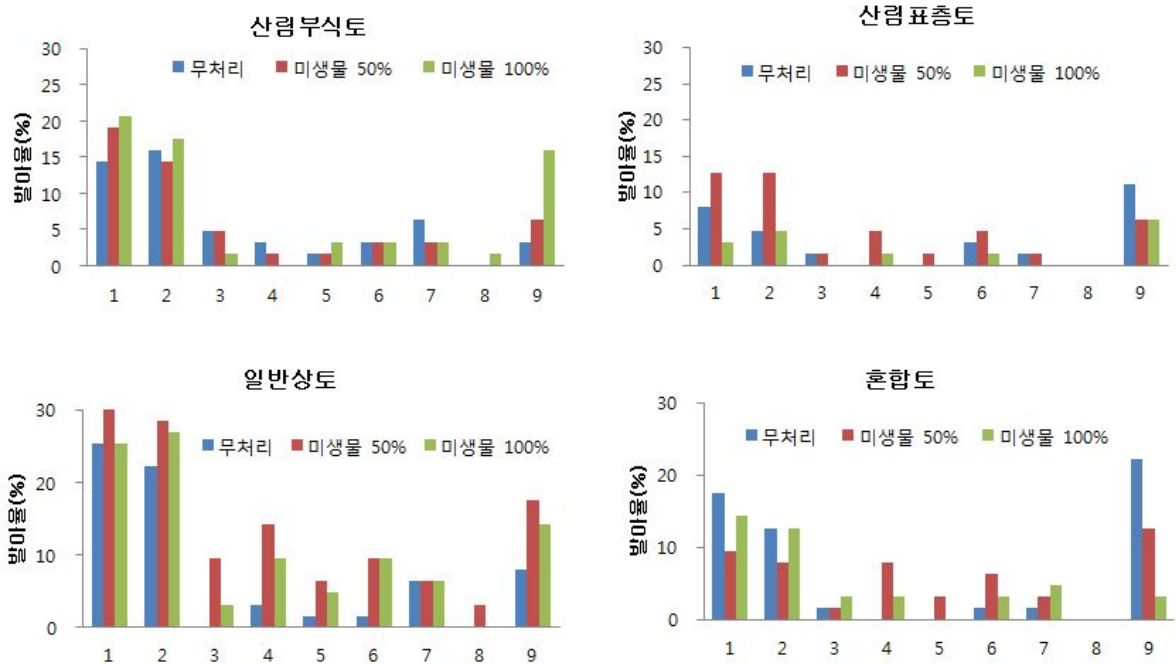
혼합토의 경우 조사가 진행될수록 발아량이 점점 증가하였으나 산림표층토의 경우 조사 초기부터 발아량이 좋지 않았으며 조사가 진행될수록 다른 배양토에 비해 발아량이 낮게 나타났다.

토양처리별 발아량은 배양토 및 과종종자에 따라 각각 다르게 나타났다. 외래초종인 페레니얼라이그래스 및 톨웨스큐는 일반상토에서 가장 많이 발아하였으며 산림부식토, 혼합토, 산림표층토의 순으로 발아를 하였다. 한편 같은 외래초종인 위핑러브그라스도 일반상토, 산림부식토, 혼합토의 순으로 발아하였지만 한지형식물인 페레니얼라이그래스 및 톨웨스큐 비해 낮은 발아량을 보였다. 재래초종인 패랭이, 구절초와 재래목본인 참싸리는 모든 배양토 및 토양처리에서 비교적 고르게 발아 하였으나 벌개미취는 산림부식토와 일반상토에서만 발아하였다. 귀화식물인 샤프타데이지와 기생초의 경우 초기 발아상태가 좋지 않았다.

초기 발아에 있어서 일반상토 및 산림부식토의 경우 식생필터에 적합하였으며, 콘크리트 생태옹벽의 종자 과종을 통한 조기 녹화를 위해서는 외래초종의 경우 페레니얼라이그래스 및 톨웨스큐가 재래초종은 패랭이와 구절초가 적합한 것으로 보인다.

(2) 배양토 및 토양처리별 발아율

배양토 및 토양처리별 초기발아율 변화는 그림 1-32와 같다.



1: 페레니얼라이그래스 2: 톨웨스큐 3: 위핑러브그라이스 4: 샤프스타데이지
5: 기생초 6: 패랭이 7: 구질초 8: 벌개미취 9: 참싸리

그림 1-32. 배양토 및 토양처리별 발아율

그림 1-32에서 보면 배양토별 평균 발아율은 일반상토(33%) > 산림부식토(19%) > 혼합토(17%) > 산림표층토(10%)의 순으로 나타났으며 일반상토와 산림표층토의 발아율은 약 3배 차이가 났다. 이는 박진원(2006)의 연구결과 일반상토의 경우 멀칭처리를 하지 않으면 토양의 유실로 인해 발아량이 낮아졌다는 연구 결과를 바탕으로 일반상토를 멀칭처리 함으로써 일반상토의 유실이 적어 일반상토에서 발아율이 높게 나타난 것으로 보여진다.

토양 미생물처리별 평균 발아율은 미생물50% > 미생물100% > 무처리의 순으로 나타났다.

식생필터의 초기 평균 발아율은 배양토에 따라 많은 차이를 보였으며 토양 미생물처리 는 조금의 차이가 나타났지만 발아율에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

나) 종자 발아 후 생존 개체수 변화

(1) 배양토 및 토양처리별 월별 생존 개체수의 변화

종자 발아 후 배양토에 따른 월별 생존 개체수의 변화는 표 1-20, 그림 1-33과 같다.

표 1-20. 배양토에 따른 월별 생존개체수 및 생존율

		산림부식토	산림표층토	일반상토	혼합토
5월	생존량	59	110	213	100
	고사량	-	-	-	-
	생존율(%)	-	-	-	-
6월	생존량	44	24	140	60
	고사량	15	86	73	40
	생존율(%)	74.6	21.8	65.7	60.0
7월	생존량	48	23	140	60
	고사량	11	87	73	40
	생존율(%)	81.4	20.9	65.7	60.0
8월	생존량	36	22	119	41
	고사량	23	88	94	59
	생존율(%)	61.0	20.0	55.9	41.0
9월	생존량	36	20	116	40
	고사량	23	90	97	60
	생존율(%)	61.0	18.2	54.5	40.0
10월	생존량	32	19	108	49
	고사량	27	91	105	51
	생존율(%)	54.2	17.3	50.7	49.0
11월	생존량	28	13	90	32
	고사량	31	97	123	68
	생존율(%)	47.5	11.8	42.3	32.0
12월	생존량	13	6	27	10
	고사량	46	104	186	90
	생존율(%)	22.0	5.5	12.7	10.0
1월	생존량	1	0	0	0
	고사량	58	110	213	100
	생존율(%)	1.7	0.0	0.0	0.0
2월	생존량	1	0	0	0
	고사량	58	110	213	100
	생존율(%)	1.7	0.0	0.0	0.0

배양토별 생존개체수 조사결과 5월의 생존개체수는 일반상토 213개체, 산림표층토 110개체, 혼합토 100개체, 산림부식토 59개체 순으로 발아하였으며, 5월 이후로 생존개체수의 생존율은 모든 배양토에서 감소하였다. 그 중 산림표층토의 경우 5월에서 6월 생존율이 21.8% 급격히 감소하였는데 이는 6월 생존량이 가장 높은 일반상토 생존율 65.7%와 약 3배 차이가 났다.

이는 표 1-12에 언급한 바와 같이 산림표층토의 경우 pH가 3.93으로서 산성화 경향이 강하게 분석 되었고, 유기물 함량이 2.87%로 일반상토 61.80%에 비해 가장 낮았으며 식물생육초기에 필요한 유효인산이 2.53mg/kg로 나타나 전반적으로 식생이 자라는데 적합하지 못하다고 판단된다.

배양토 및 토양처리에 따른 2010년 월별 생존개체수의 변화는 그림 1-33과 같다.

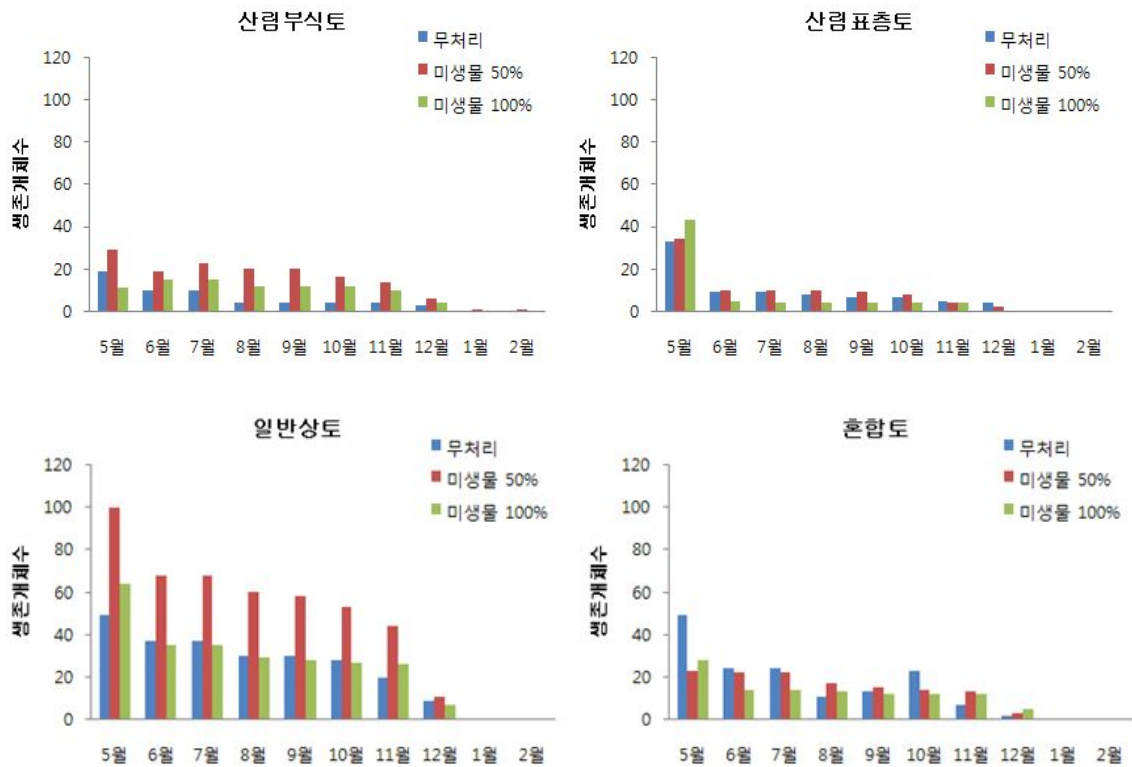


그림 1-33. 배양토 및 토양처리별 월별 생존개체수 변화

그림 1-33을 보면 처리구중 산림부식토는 미생물 50%처리에서 가장 높은 생존개체수를 나타내었으며 산림표층토의 경우 5월 미생물 100%처리에서 가장 높은 생존개체수를 보였으나 6월 이후 급격히 감소하였다. 일반상토의 경우 미생물 50%처리에서 가장 높은 생존개체수를 보였고, 무처리와 미생물 100%처리는 비슷한 생존개체수를 보였다. 혼합토의 경우 5월에서 7월까지 무처리에서 가장 높은 생존개체수를 보였다가 8월에 생존개체수가 줄어들었다가 9월~10월에 생존개체수가 늘어났다.

각 배양토 및 처리별 생존개체수 변화에서 무처리에서는 일반상토, 혼합토, 산림부식토, 산림표층토 순으로 높게 나타났고 미생물 50%처리에서는 일반상토, 산림부식토, 혼합토, 산림표층토 순으로 높게 나타났다. 그리고 미생물처리 100%에서는 무처리구와 같이 일반상토, 혼합토, 산림부식토, 산림표층토 순으로 높게 나타났다. 이는 미생물 처리가 생존에 있어서 많은 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

(2) 배양토 및 토양처리별 월별 고사 개체수의 변화

배양토 및 토양처리에 따른 월별 고사개체수의 변화는 그림 1-34와 같다.

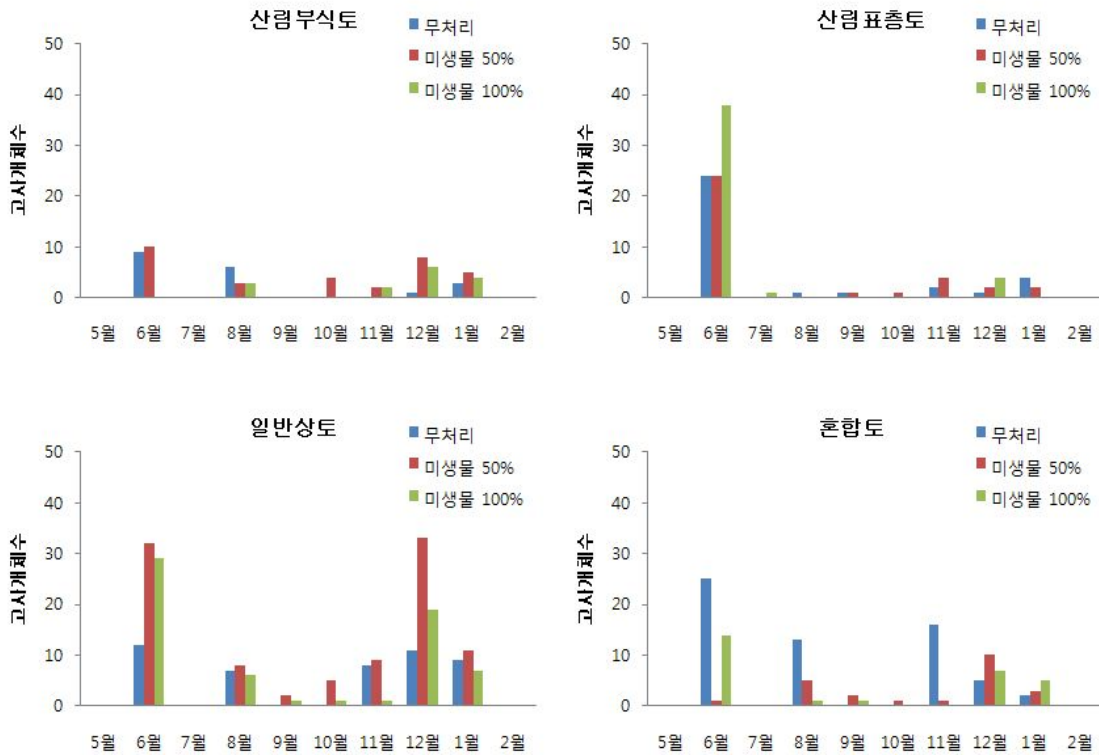


그림 1-34. 배양토 및 토양처리별 월별 고사개체수 변화

그림 1-34를 보면 배양토에 따라 전체 고사개체수를 보면 산림부식토 66개체, 산림표층토 110개체, 일반상토 211개체, 혼합토 112개체로 일반상토에서 가장 많이 고사한 것으로 나타났다. 산림부식토의 경우 미생물 50%처리에서 가장 높은 고사개체수를 보였고 무처리와 미생물 100%처리는 비슷한 고사개체수를 보였으며 산림표층토의 경우 미생물처리 100%에서 가장 많이 고사하였고 무처리와 토양미생물처리 50%에서는 비슷한 고사개체수를 보였다. 일반상토에서 고사한 개체수는 미생물처리 50%, 미생물처리 100%, 무처리 순으로 나타났다. 혼합토의 경우 무처리, 미생물처리 100%, 미생물처리 50% 순으로 고사개체수가 높게 나타났다.

각 배양토 및 처리별 고사개체수 변화에서 무처리에서는 혼합토, 일반상토, 산림표층토, 산림부식토 순으로 높게 나타났으며, 미생물 50%처리에서는 일반상토, 산림표층토, 산림부식토, 혼합토 순으로 높게 나타났고 미생물 100%에서는 일반상토, 산림표층토, 혼합토, 산림부식토 순으로 높게 나타났다.

다) 종자 발아 후 성장량 변화

(1) 배양토별 성장량 변화

종자 발아 후 배양토별 월별 성장량 변화는 표 1-21, 그림 1-35와 같다.

표 1-21. 배양토별 성장량 변화

(cm)

	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	11	14	22	25	30	30	25	10	10
산림표층토	6	8	26	31	35	35	25	0	0
일반상토	27	27	34	41	45	45	30	0	0
혼합토	23	37	49	54	60	60	24	0	0

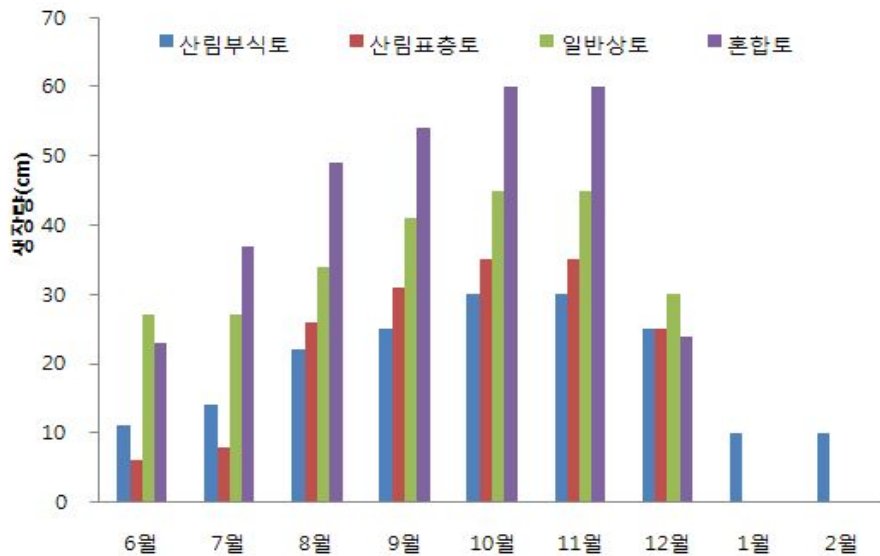


그림 1-35. 배양토별 성장량 변화

표 1-21, 그림 1-35를 보면 파종한 종자의 성장량은 혼합토 > 일반상토 > 산림표층토 > 산림부식토 순으로 나타나 배양토가 성장에 많은 영향을 미친 것으로 보여진다.

배양토별 성장량 변화는 산림부식토의 성장량 변화는 7월과 8월에 가장 많은 성장을 보였으며 10월까지 꾸준히 자다가 10월 이후 생장이 멈추었다. 산림표층토는 7월과 8월에 많이 성장하였고 10월까지 성장하였다가 11월 이후에 생장이 멈추었다, 일반상토의 경우 6월과 7월에 거의 성장하지 않다가 8~9월에 성장하여 10월까지 성장하였다. 혼합토의 경우 전체 성장량이 배양토중 가장 높았으며 6월부터 10월까지 꾸준한 성장을 보였다.

(2) 토양처리별 성장량 변화

종자 파종 후 토양처리별 성장량의 변화는 표 1-22, 그림 1-36과 같다.

표 1-22. 토양처리별 성장량 변화

(cm)

토양처리	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
무처리	27	27	29	35	35	35	30	0	0
미생물 50%	12	19	34	41	45	45	25	10	10
미생물 100%	23	37	49	54	60	60	25	0	0

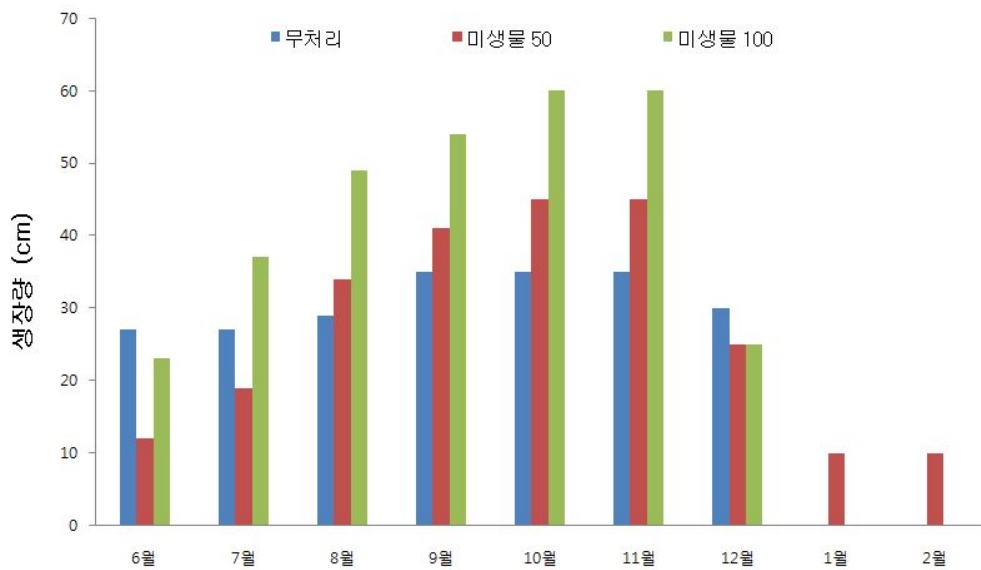


그림 1-36. 토양처리별 성장량 변화

표 1-22 및 그림 1-36에서 보면 미생물처리 100% > 미생물처리 50% > 무처리 순으로 나타나 미생물 처리가 성장에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

무처리에서의 성장량 변화를 살펴보면 6~7월에 성장하지 않았고 8~9월까지 성장한 후 생장이 멈추었으며 미생물처리 50%에서는 6월부터 10월까지 꾸준히 성장하는 경향을 보였으며 그 중 7월과 8월 사이에 많은 성장을 하였다. 미생물처리 100%에서는 총 성장 60cm로 가장 많은 성장량을 보였고 6월에서 11월까지 꾸준히 성장하였으며 6월과 7월 사이에 가장 많이 성장하였다.

(3) 과종종자별 성장량 변화

과중한 종자별 배양토 및 토양처리별 월별 성장량 변화를 살펴보면 다음 표 1-26~36과 그림 1-45~58과 같다. 과중한 9종의 종자 중 기생초, 구절초, 별개미취는 초기발아는 하였지만 이후 고사하여 더 이상 확인할 수 없었다. 기생초의 경우 생명력이 강한 대표적 귀화식물이며, 구절초 별개미취의 경우 우리나라 재래초종으로 우리나라 전역에서 잘 자라는 식물로 향후 연구에는 종자과중에 있어서 다른 종자와 혼파하지 않고 단독으로 과중하여 성장변화를 확인 할 필요성이 있다고 판단된다.

(가) 페레니얼라이그래스

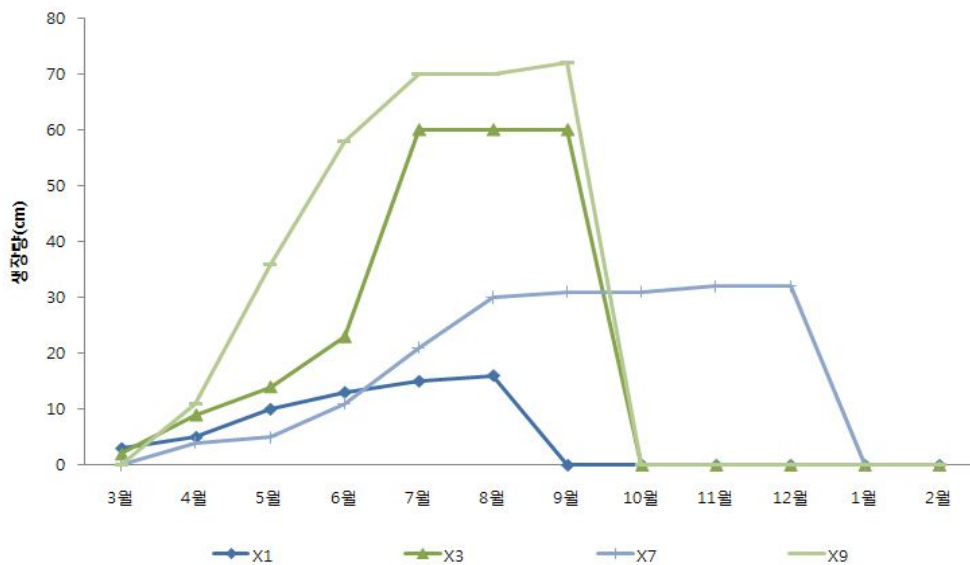
페레니얼라이그래스의 배양토 및 토양처리별 월별 성장량 변화는 표 1-23, 24와 그림 1-37, 38과 같다.

표 1-23. 페레니얼라이그래스 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	8	8	9	9	10	0	0	0	0
	미생물 100%	8	8	9	15	15	0	0	0	0
	미생물 50%	0	7	16	23	30	30	0	0	0
산림표층토	무처리	1	5	26	31	35	35	0	0	0
	미생물 100%	1	1	4	6	7	7	0	0	0
	미생물 50%	6	6	13	25	25	25	25	0	0
일반상토	무처리	23	23	24	25	26	30	0	0	0
	미생물 100%	8	10	22	35	40	40	0	0	0
	미생물 50%	10	15	30	36	40	40	0	0	0
혼합토	무처리	12	12	13	15	15	15	15	0	0
	미생물 100%	17	17	18	19	19	20	0	0	0
	미생물 50%	7	18	22	28	30	32	0	0	0

표 1-24. 페레니얼라이그래스 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	10	21	34	90	90	90	90	15	16	0	0	0
산림표층토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
혼합토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	2	7	11	15	45	60	60	60	0	0	0	0



note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-38. 페레니얼라이그래스 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

표 1-24과 그림 1-38을 보면 2011년 페레니얼라이그래스의 성장을 살펴보면 산림부식토 및 일반상토에서만 자랐으며 일반상토에 미생물 50%로 처리한 식생필터에서 72cm로 가장 많이 성장하였으며 일반상토의 무처리에서 32cm로 성장한 반면 미생물 처리 100%에서는 성장 하지 않았다. 산림부식토의 경우 일반상토와 마찬가지로 미생물 50%처리한 필터에서 60cm로 가장 많이 성장하였고 무처리에서 16cm, 미생물 100%로 처리에서는 성장하지 않았다.

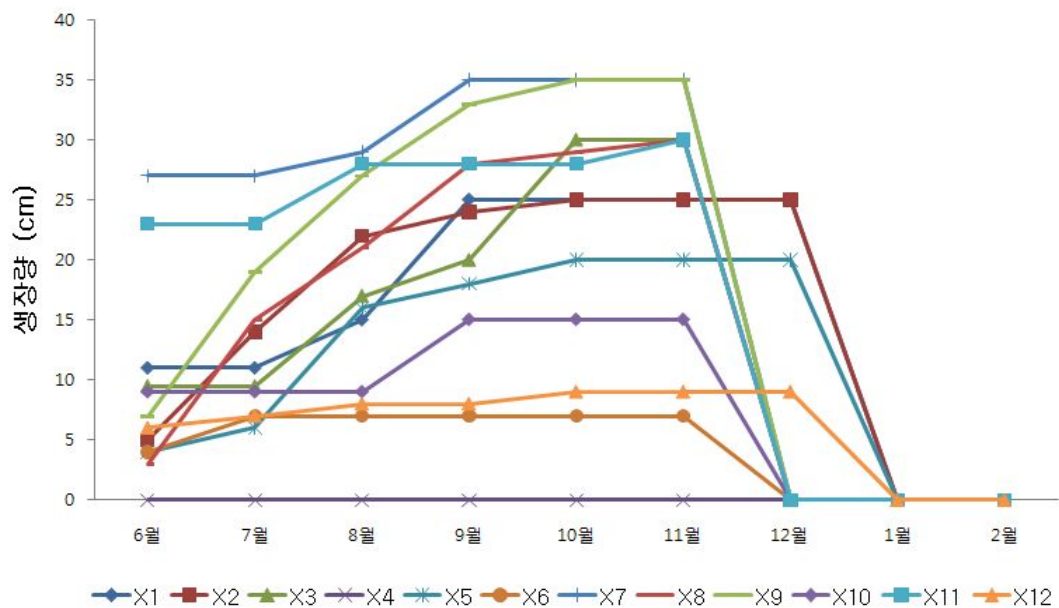
페레니얼라이그래스의 경우 2010년 모든 배양토에서 잘 자랐지만 2011년의 경우 일반상토, 산림부식토에서만 성장하였다. 이는 일반상토와 산림부식토의 경우 유기물 함량이 다른 배양토 보다 높았고 모래의 비중이 작았기 때문에 식물이 성장할 수 있었다고 판단된다. 한편 페레니얼라이그래스는 배양토 및 토양처리에 있어서 전반적으로 좋은 생육을 보여 척박한 지역에서도 잘 자랄 것으로 보여진다.

(나) 톨웨스큐

톨웨스큐의 배양토 및 토양처리별 월별 성장량 변화는 표 1-25, 26과 그림 1-39, 40과 같다.

표 1-25. 톨웨스큐 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	11	11	15	25	25	25	25	0	0
	미생물 100%	5	14	22	24	25	25	25	0	0
	미생물 50%	9.5	9.5	17	20	30	30	0	0	0
산림표층토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	4	6	16	18	20	20	20	0	0
	미생물 50%	4	7	7	7	7	7	0	0	0
일반상토	무처리	27	27	29	35	35	35	0	0	0
	미생물 100%	3	15	21	28	29	30	0	0	0
	미생물 50%	7	19	27	33	35	35	0	0	0
혼합토	무처리	9	9	9	15	15	15	0	0	0
	미생물 100%	23	23	28	28	28	30	0	0	0
	미생물 50%	6	7	8	8	9	9	9	0	0



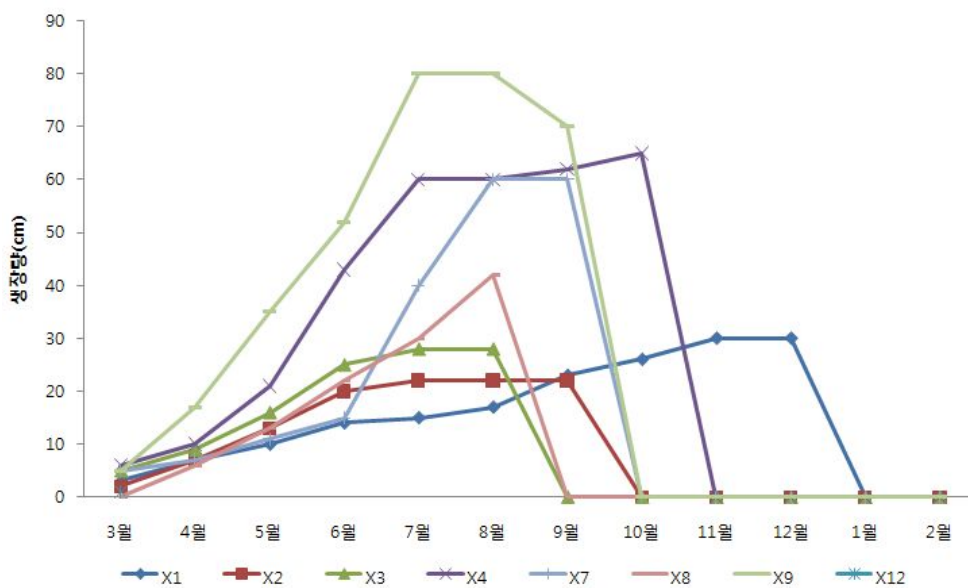
note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-39. 톨웨스큐 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

표 1-25와 그림 1-39를 보면 톨웨스큐의 2010년 배양토별 성장량은 일반상토 > 산림부식토 > 혼합토 > 산림표층토 순으로 나타났으며 토양처리별로는 산림표층토 무처리에 서만 성장하지 않았고 일반상토 무처리와 미생물처리 50%에서 가장 높은 성장량이 나타났다. 톨웨스큐의 경우 모든 배양토에서 좋은 성장을 보였으며 일반상토에서 가장 좋은 성장을 보였다.

표 1-26. 톨웨스큐 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	3	7	10	14	15	17	23	26	30	30	0	0
	미생물 100%	2	7	13	20	22	22	22	0	0	0	0	0
	미생물 50%	5	9	16	25	28	28	0	0	0	0	0	0
산림표층토	무처리	6	10	21	43	60	60	62	65	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	5	7	11	15	40	60	60	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	6	13	22	30	42	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	5	17	35	52	80	80	70	0	0	0	0	0
혼합토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-40. 톨웨스큐 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

표 1-26과 그림 1-40을 보면 톨웨스큐의 2011년 생장은 4가지 배양토 산림부식토, 산림표층토, 일반상토, 혼합토에서 모두 성장하였다. 각 배양토의 성장량은 일반상토(80cm) > 산림표층토(65cm) > 혼합토(6cm) > 산림부식토(30cm) 순으로 나타났다. 토양 미생물 처리에 있어서는 일반상토 미생물 50%처리에서 가장 많이 성장하였으며 산림표층토는 미생물처리 100%, 50%에서는 성장하지 않았고 혼합토에서도 무처리 및 미생물 100%에서 성장하지 않았다.

톨웨스큐도 페레니얼라이그래스와 같이 척박한 토양에서 잘 자라는 것으로 나타나 척박한 지역이나 훼손지 녹화에 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

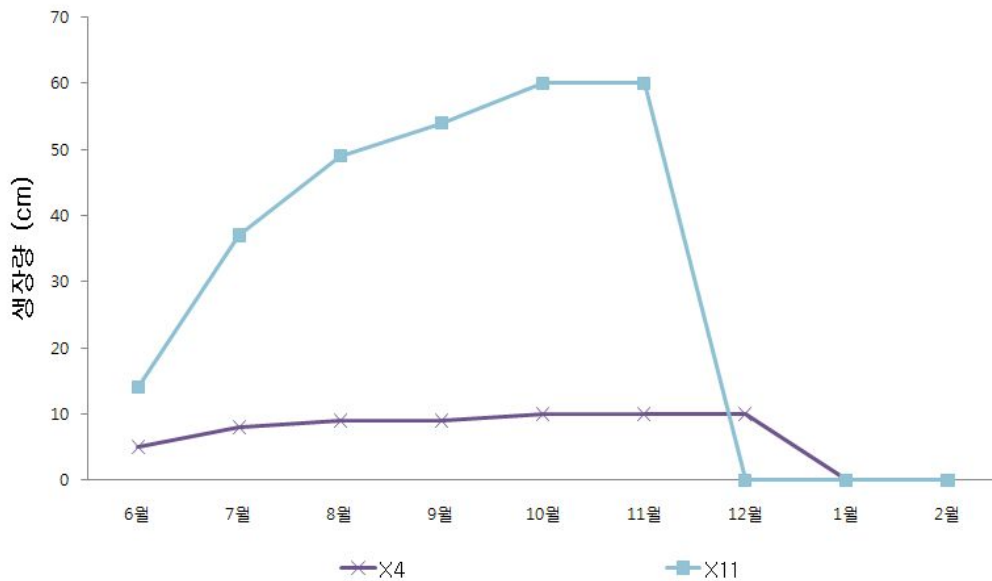
하지만 톨웨스큐도 페레니얼라이그래스와 마찬가지로 재래초종과 같이 파종 시 우점하는 경향이 나타나 다른 초종의 생육을 방해하여 생장에 나쁜 영향을 미치므로 식생 선정 시 주의해야 할 것으로 판단된다.

(다) 위핑러브그라이스

위핑러브그라이스의 배양토 및 토양처리별 월별 성장량 변화는 표 1-27, 28과 그림 1-41, 42와 같다.

표 1-27. 위핑러브그라이스 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
산림표층토	무처리	5	8	9	9	10	10	10	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
혼합토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	14	37	49	54	60	60	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0



note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

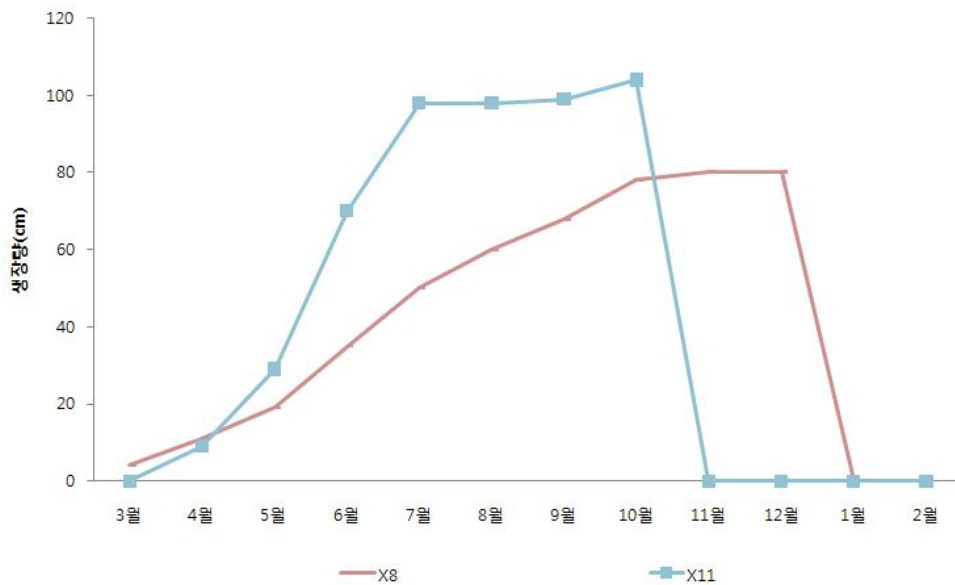
그림 1-41. 위핑러브그라이스 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

표 1-27과 그림 1-41을 보면 위핑러브그라이스 배양토별 성장량은 산림표층토와 혼합토에서만 성장하였고 산림부식토 및 일반상토에서는 성장하지 못하였다. 토양처리별 성장량은 산림표층토에서는 토양무처리에서 성장량을 보였고, 혼합토에서는 토양미생물처리

100%에서 많은 성장량을 보였다. 특히 6월 이후에 급격한 성장이 나타났다.

표 1-28. 위핑러브그라이스 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
산림표층토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	4	11	19	35	50	60	68	78	80	80	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
혼합토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	9	29	70	98	98	99	104	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-42. 위핑러브그라이스 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

표 1-28과 그림 1-42를 보면 2011년 위핑러브그라이스의 월별 성장량은 일반상토 및 혼합토에서만 성장하였다. 이는 2010년 산림표층토와 혼합토에서만 성장한 결과와 다르게 나타났다.

배양토별 성장량을 살펴보면 혼합토에서 104cm로 가장 많이 성장하였고 일반상토에서 80cm로 성장하였다. 토양처리별 성장량을 살펴보면 혼합토와 일반상토 미생물 100%로

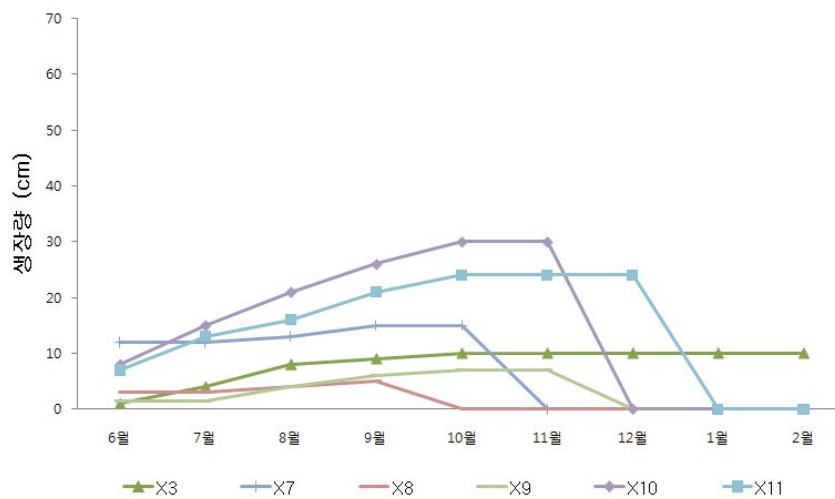
처리한 필터에서만 성장한 것으로 나타났다.

(라) 샤스타데이지

샤스타데이지의 배양토 및 토양처리별 월별 성장량 변화는 표 1-29, 30과 그림 1-43, 44와 같다.

표 1-29. 샤스타데이지 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	1	4	8	9	10	10	10	10	10
산림표층토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	12	12	13	15	15	0	0	0	0
	미생물 100%	3	3	4	5	0	0	0	0	0
	미생물 50%	1.5	1.5	4	6	7	7	0	0	0
혼합토	무처리	8	15	21	26	30	30	0	0	0
	미생물 100%	7	13	16	21	24	24	24	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0



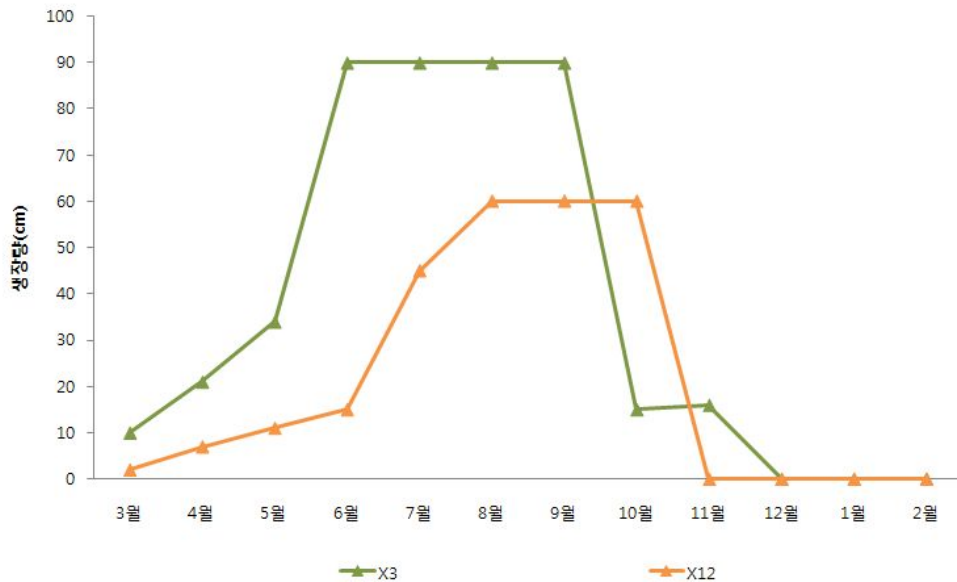
note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-43. 샤스타데이지 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

표 1-29와 그림 1-43을 보면 샤스타데이지 배양토별 성장량은 혼합토 > 일반상토 > 산림부식토 순으로 나타났으며 산림표층토에서는 성장하지 않았다. 토양처리별 성장량을 살펴보면 혼합토와 일반상토를 제외한 배양토에 무처리를 했을 때 성장하지 않았다.

표 1-30. 샤스타데이지 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	10	21	34	90	90	90	90	15	16	0	0	0
산림표층토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
혼합토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	2	7	11	15	45	60	60	60	0	0	0	0



note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-44. 샤스타데이지 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

표 1-30과 그림 1-44를 보면 샤스타데이지의 2011년 배양토 및 토양처리별 월별 성장량 변화는 산림부식토 및 혼합토에서만 성장하였고 산림표층토 및 일반상토에서는 성장하지 않았다. 혼합토의 경우 60cm로 가장 많이 자랐고 산림부식토의 경우 90cm로 가장 많이 성장하였다. 토양처리의 경우 미생물 50%에서만 성장한 것으로 나타났다.

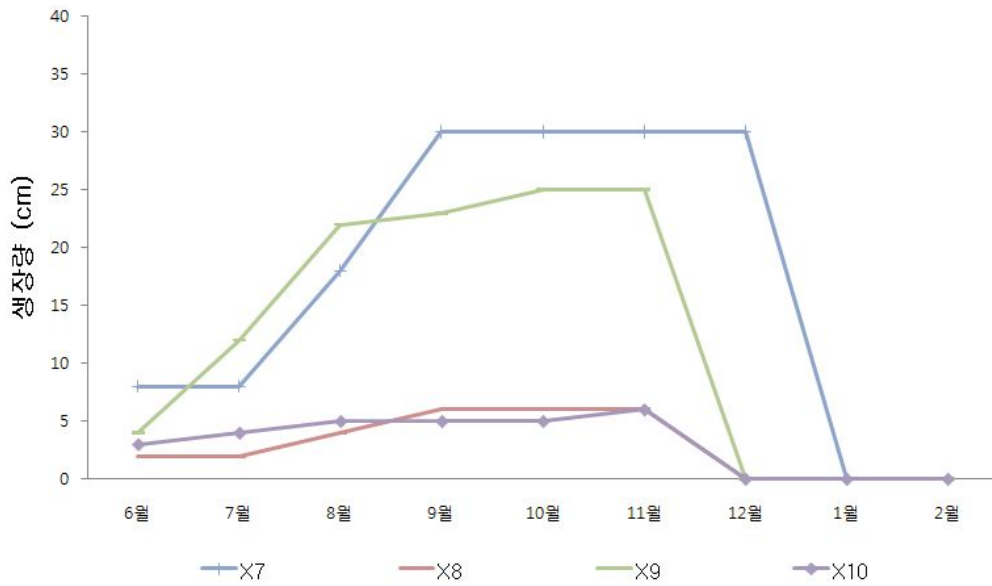
샤스타데이지의 경우 추위에 강하여 11월까지도 잎이 지지 않았으며, 6~10월 꽃이 피어 시각적으로 우수하고, 성장하는 형태가 콘크리트옹벽과 잘 어우러져 경관상으로도 좋은 영향을 주므로 콘크리트 생태옹벽에 적합하다고 판단된다.

(마) 패랭이

패랭이의 배양토 및 토양처리별 월별 성장량 변화는 표 1-31, 32와 그림 1-45~1-46와 같다.

표 1-31. 배양토 및 토양처리별 패랭이의 2010년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
산림표층토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	8	8	18	30	30	30	30	0	0
	미생물 100%	2	2	4	6	6	6	0	0	0
	미생물 50%	4	12	22	23	25	25	0	0	0
혼합토	무처리	3	4	5	5	5	6	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0



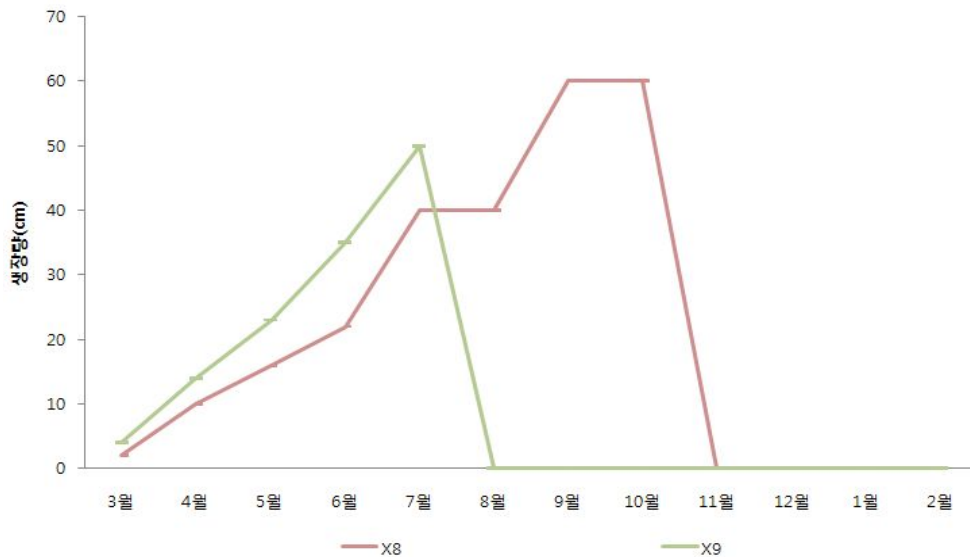
note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-45. 패랭이 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

표 1-31과 그림 1-45를 보면 배양토별 패랭이의 성장량은 일반상토 > 혼합토 순으로 나타났고 산림부식토와 산림표층토에서는 성장을 하지 않았다. 토양처리별 성장량은 일반상토 무처리에서 30cm로 가장 많은 성장량을 보였다.

표 1-32. 배양토 및 토양처리별 패랭이의 2011년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
산림표층토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	2	10	16	22	40	40	60	60	0	0	0	0
	미생물 50%	4	14	23	35	50	0	0	0	0	0	0	0
혼합토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-46. 패랭이 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

표 1-32와 그림 1-46을 보면 2011년 배양토 및 토양처리별 패랭이의 월별 성장량은 일반상토에서만 성장하였다. 토양처리에서는 미생물 100%가 60cm로 가장 많이 자랐으며 미생물 50%처리에서는 47cm로 가장 많이 자랐다.

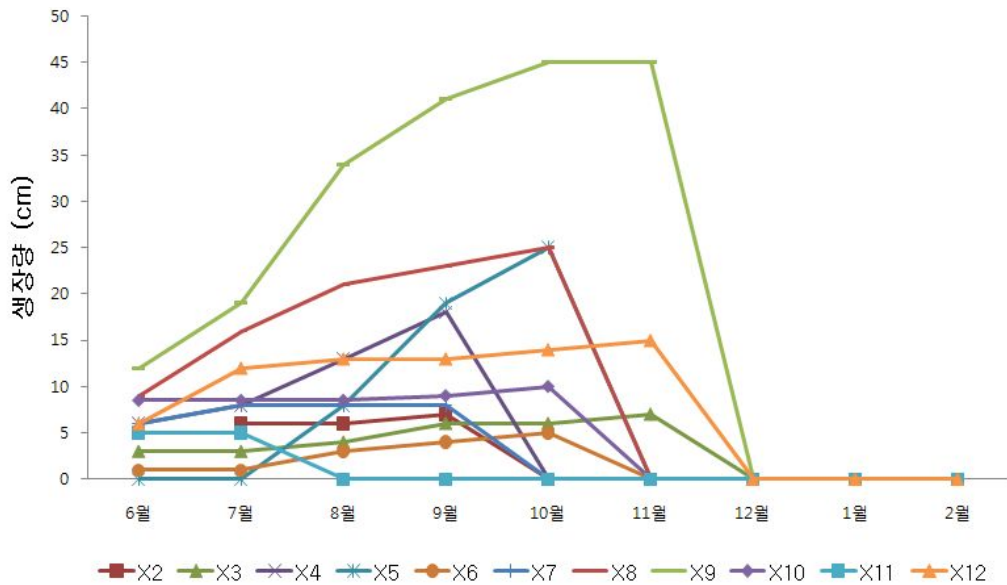
패랭이의 경우 일반상토와 혼합토에서만 자라 패랭이를 식재할 때 배양토 선정에 주의해야 할 것으로 판단된다. 한편 패랭이는 6월~8월 꽃이 피어 미관상으로는 좋다고 판단된다.

(바) 참싸리

배양토 및 토양처리가 참싸리의 성장량에 미치는 영향을 알아보기 위한 참싸리의 월별 성장량 변화는 표 1-33, 34와 그림 1-47, 48과 같다.

표 1-33. 배양토 및 토양처리별 참싸리의 2010년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	6	6	7	0	0	0	0	0
	미생물 50%	3	3	4	6	6	7	0	0	0
산림표층토	무처리	6	8	13	18	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	8	19	25	0	0	0	0
	미생물 50%	1	1	3	4	5	0	0	0	0
일반상토	무처리	6	8	8	8	0	0	0	0	0
	미생물 100%	9	16	21	23	25	0	0	0	0
	미생물 50%	12	19	34	41	45	45	0	0	0
혼합토	무처리	8.5	8.5	8.5	9	10	0	0	0	0
	미생물 100%	5	5	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	6	12	13	13	14	15	0	0	0



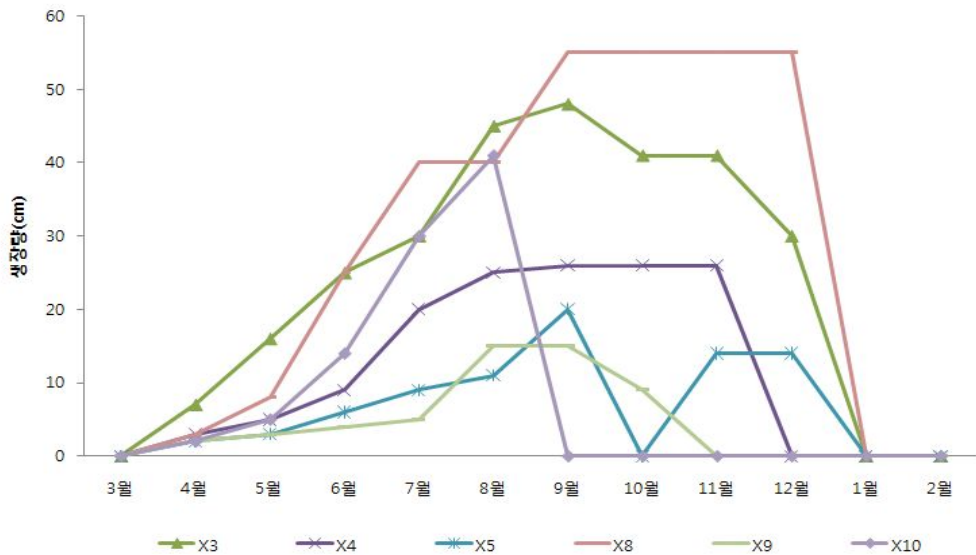
note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-47. 참싸리 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

표 1-33과 그림 1-47을 보면 배양토별 참싸리의 성장량은 일반상토 > 산림표층토 > 혼합토 > 산림부식토 순으로 나타났다. 토양처리별 생장은 일반상토의 미생물 50%처리에 서 45cm로 성장량이 가장 많았다. 한편 산림부식토의 무처리에서는 성장을 하지 않았다.

표 1-34. 배양토 및 토양처리별 참싸리의 2011년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림부식토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
산림표층토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	2	10	16	22	40	40	60	60	0	0	0	0
	미생물 50%	4	14	23	35	50	0	0	0	0	0	0	0
혼합토	무처리	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	미생물 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



note) X1 : 산림부식토 + 무처리, X2 : 산림부식토 + 미생물 100%, X3 : 산림부식토 + 미생물 50%
 X4 : 산림표층토 + 무처리, X5 : 산림표층토 + 미생물 100%, X6 : 산림표층토 + 미생물 50%
 X7 : 일반상토 + 무처리, X8 : 일반상토 + 미생물 100%, X9 : 일반상토 + 미생물 50%
 X10 : 혼합토 + 무처리, X11 : 혼합토 + 미생물 100%, X12 : 혼합토 + 미생물 50%

그림 1-48. 참싸리 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

표 1-34와 그림 1-48를 보면 2011년 배양토 및 토양처리별 참싸리의 성장량 변화는 다음과 같다. 배양토별 성장량 변화는 일반상토(50cm) > 산림부식토(48cm) > 혼합토(41cm) > 산림표층토(26cm) 순으로 나타났다. 토양 미생물 처리에서는 미생물 100%처리 > 무처리 > 미생물 50% 순으로 나타났다.

참싸리의 경우 2010년과 2011년 모든 배양토에서 좋은 성장을 보여 척박한 토양이나 훼손지에 녹화용으로 사용 가능하다고 판단된다.

(사) 담쟁이

배양토 및 토양처리가 담쟁이의 성장량에 미치는 영향을 알아보기 위한 담쟁이의 월별 성장량 변화는 표 1-35, 36과 그림 1-49, 50과 같다.

표 1-35. 배양토 및 토양처리별 담쟁이의 2010년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림표층토	무처리	13	38	81	120	0	0	0	0	0
	미생물 100%	15	25	69	92	100	100	0	0	0
	미생물 50%	24	56	81	127	24	0	0	0	0
산림부식토	무처리	28	84	147	210	30	0	0	0	0
	미생물 100%	15	29	45	56	60	60	0	0	0
	미생물 50%	3	3	15	35	40	40	0	0	0
일반상토	무처리	10	10	10	10	10	10	0	0	0
	미생물 100%	11	36	58	63	70	70	0	0	0
	미생물 50%	17	33	58	75	100	100	0	0	0
혼합토	무처리	16	41	76	108	120	120	0	0	0
	미생물 100%	5	23	56	62	75	80	0	0	0
	미생물 50%	18	46	61	89	104	110	0	0	0

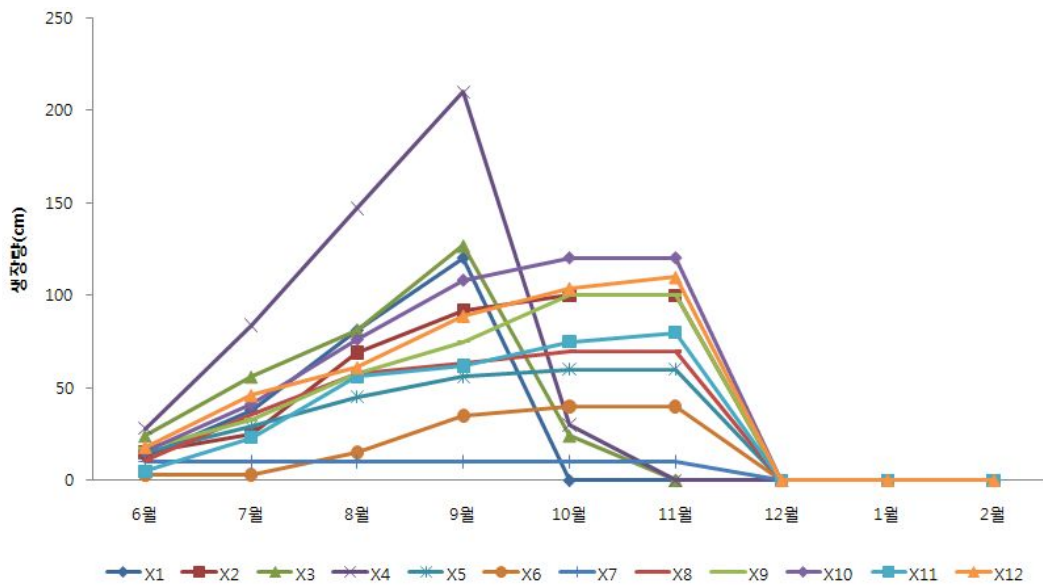


그림 1-49. 담쟁이의 배양토 및 토양처리별 2010년 월별 성장량 변화

표 1-35와 그림 1-49를 보면 배양토별 담쟁이의 성장량은 산림부식토(210cm) > 산림 표층토(127cm) > 혼합토 (120cm) > 일반상토(100cm) 순으로 나타나 모든 배양토에서 고르게 잘 자라는 것으로 나타났다. 토양처리별 생장은 산림부식토의 무처리에서 210cm로 성장량이 가장 많이 성장한 반면 일반상토의 무처리에서는 10cm로 적은 성장량을 보였다.

표 1-36. 배양토 및 토양처리별 담쟁이의 2011년 월별 성장량 변화

배양토	토양처리	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
산림표층토	무처리	0	0	0	0	39	87	138	0	0	0	0	0
	미생물 100	0	7	28	46	75	107	86	0	0	0	0	0
	미생물 50	0	0	15	32	57	75	0	0	0	0	0	0
산림부식토	무처리	0	15	53	78	97	113	110	10	0	0	0	0
	미생물 100	0	5	11	23	94	150	38	31	0	0	0	0
	미생물 50	0	9	21	48	67	86	0	0	0	0	0	0
일반상토	무처리	0	0	7	9	38	54	37	0	0	0	0	0
	미생물 100	0	11	23	58	62	67	0	0	0	0	0	0
	미생물 50	0	7	35	79	135	109	78	0	0	0	0	0
혼합토	무처리	0	13	21	39	71	98	69	0	0	0	0	0
	미생물 100	0	8	27	63	97	138	120	0	0	0	0	0
	미생물 50	0	18	27	44	78	105	67	0	0	0	0	0

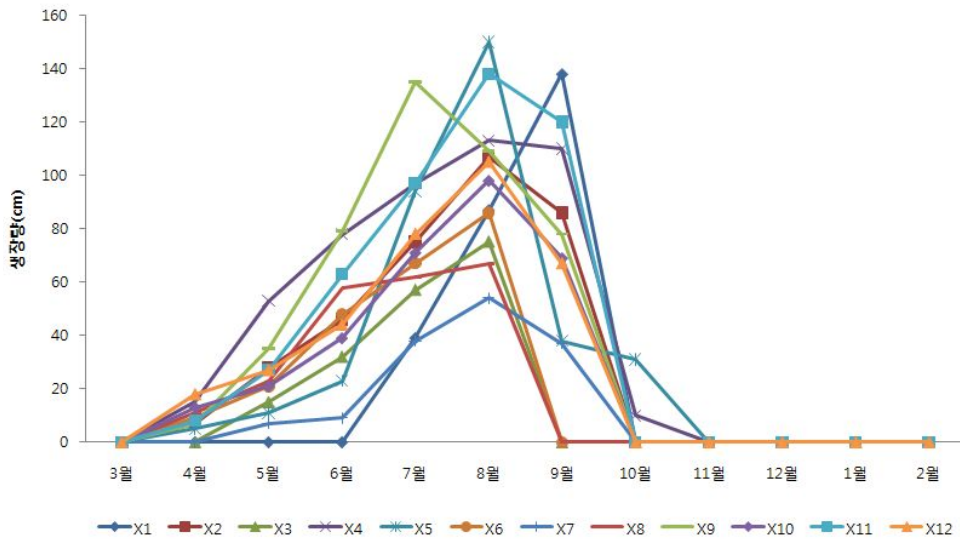


그림 1-50. 담쟁이의 배양토 및 토양처리별 2011년 월별 성장량 변화

표 1-36과 그림 1-50을 보면 2011년 배양토 및 토양처리별 담쟁이의 성장량 변화는 다음과 같다. 배양토별 성장량 변화는 산림부식토(150cm) > 혼합토(138cm) > 산림표층토(138cm) > 일반상토(135cm) 순으로 나타났다. 토양 미생물 처리에서는 산림부식토 미생물 100%처리 150cm로 가장 많은 성장을 하였고 일반상토 무처리에서 54cm로 가장 적은 성장을 보였다.

담쟁이의 경우 모든 배양토에서 잘 자랐으며 담쟁이가 우점할 시 다른 식생이 담쟁이 영향을 받아 성장하지 못하는 성향이 나타났다. 따라서 담쟁이의 경우 담쟁이 하나만으로 녹화할 경우 빠른 녹화가 기대되나 다른 식생과 함께 식재할 경우 주의해야 할 것으로 판단된다. 파종한 종자의 생존 및 성장량을 조사·분석한 결과 외래초종 페네리얼라이그래스, 톨웨스큐, 위핑러브그라이스 중 페네리얼라이그래스와 톨웨스큐의 경우 모든 배양토

에서 좋은 생육상태를 보여 조기 녹화 및 황폐지 복구에 사용가능하다고 판단되었다. 그러나 외래초종의 경우 다른 식물과 같이 심었을 때 우점하는 경향을 보여 다른 식물이 잘 생육하지 못하였다. 재래초종의 경우 패랭이가 가장 좋은 생장을 보였으며 귀화식물인 샬스타데이지의 경우도 좋은 생장을 보였다.

한편 종자별 특성에 따라 생장에 영향을 주는 배양토가 달라 종자 선택시 배양토 선정에 신중해야 할 것 같다고 판단된다.



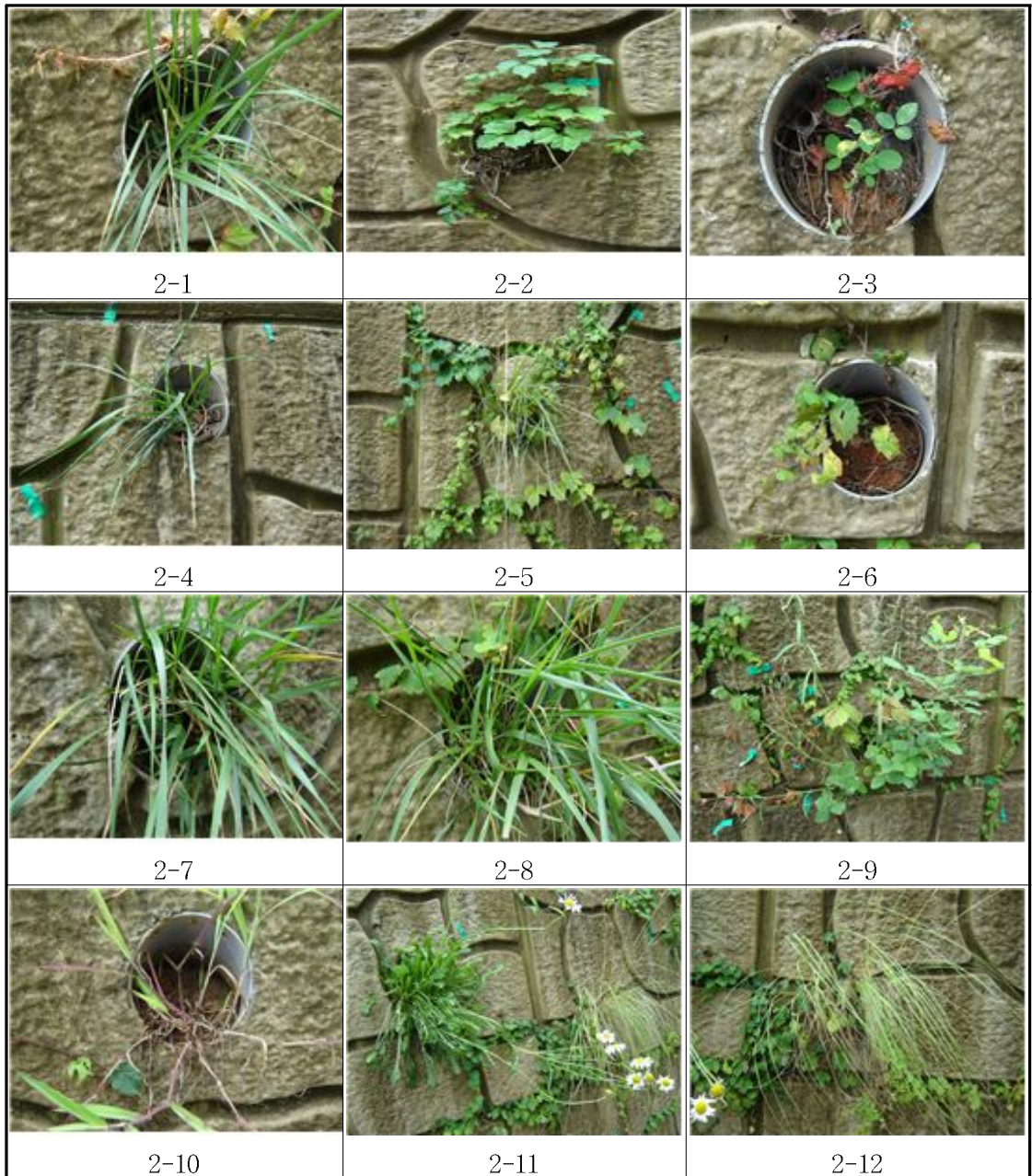
1-1 : 산림표층토+무처리, 1-2 : 산림표층토+미생물 50%, 1-3 : 산림표층토+미생물 100%

1-4 : 산림부식토+무처리, 1-5 : 산림부식토+미생물 50%, 1-6 : 산림부식토+미생물 100%

1-7 : 일반상토+무처리, 1-8 : 일반상토+미생물 50%, 1-9 : 일반상토+미생물 100%

1-10 : 혼합토+무처리, 1-11 : 혼합토+미생물 50%, 1-12 : 혼합토+미생물 100%

사진 1-9. 배양토별 및 처리별 맞춤형 생태옹벽의 식물생장 모습



2-1 : 산림표층토+무처리, 2-2 : 산림표층토+미생물 50%, 2-3 : 산림표층토+미생물 100%
 2-4 : 산림부식토+무처리, 2-5 : 산림부식토+미생물 50%, 2-6 : 산림부식토+미생물 100%
 2-7 : 일반상토+무처리, 2-8 : 일반상토+미생물 50%, 2-9 : 일반상토+미생물 100%
 2-10 : 혼합토+무처리, 2-11 : 혼합토+미생물 50%, 2-12 : 혼합토+미생물 100%

사진 1-10. 배양토별 및 처리별 맞춤형 생태옹벽의 식물성장 모습



3-1 : 산림표층토+무처리, 3-2 : 산림표층토+미생물 50%, 3-3 : 산림표층토+미생물 100%
 3-4 : 산림부식토+무처리, 3-5 : 산림부식토+미생물 50%, 3-6 : 산림부식토+미생물 100%
 3-7 : 일반상토+무처리, 3-8 : 일반상토+미생물 50%, 3-9 : 일반상토+미생물 100%
 3-10 : 혼합토+무처리, 3-11 : 혼합토+미생물 50%, 3-12 : 혼합토+미생물 100%

사진 1-11. 배양토별 및 처리별 맞춤형 생태옹벽의 식물성장 모습



사진 1-12. 맞춤형 생태옹벽 전체 모습

나. 묘목을 통한 생태옹벽 식물 생육 특성

1) 실험구의 조성

가) 실험구의 설치

본 실험지역은 진주시 내동면 삼계리에 옹벽을 설치한 지역이다. 옹벽 설치시에 직경 100mm 규격의 식생필터를 이용할 수 있는 녹화기반을 조성하였다.

본 실험지는 생태옹벽은 예비시공과 동일하게 시공하였으며 식생생장을 고려하여 상, 중, 하의 지그재그 형태로 배치된 식생활 36개소(3반복 x 3배양토 x 묘목(4수종) = 36)에 2011년 4월에 식생필터를 삽입하였다. 실험대상지의 위치는 그림 1-51과 같다.



그림 1-51. 조사대상지



사진 1-13. 시공된 생태옹벽 식생활 전경

나) 공시 식물의 선정

맞춤형 생태옹벽공법의 본 시공에 사용되어진 식물은 재래초본류 3종(괘랭이, 구절초, 쑥부쟁이), 귀화식물(샤스타데이지) 총 4종을 선정하였다. 본 시공지역의 실험은 예비시공 지역에서 실험한 종자를 파종하여 생장량을 분석하지 않고 옹벽의 미관증진을 위하여 꽃이 많이 피는 어린 실생묘를 식재하여 생장량을 비교·분석하였다. 한편 본 시공에서는 예비시공에 사용하지 않은 쑥부쟁이를 사용하였는데 쑥부쟁이는 국화과에 속하는 다년생 초본식물로써 산과 들에 잘 자라고 꽃이 피면 경관적으로 우수하다고 판단되어 선정하였다.

다) 배양토의 조성

생태옹벽 녹화공법의 본 실험에 사용된 배양토는 3종류이며, 산림토, 일반상토 및 혼합토이다. 산림토의 경우 조사지역 주변 소나무림 조림지 내에서 낙엽층을 제거한 후 5cm ~20cm 사이에서 채취하였으며 혼합토의 경우 산림토와 일반상토를 1:1의 일정한 부피비율로 섞어 조제하였다.

라) 식생필터의 제조

옹벽에 식생을 이용하여 생태옹벽을 만들기 위해서 녹화기반 내 들어 갈 식생필터의 개발이 필요하다. 무엇보다 식물이 생육하기 위해서는 흙을 담을 수 있는 용기가 필요하므로 녹화기반의 크기에 맞추어 식생필터를 제조하여 본 실험에 이용하였다. 식생필터의 재질은 정하지 못하였으나 경제적이고 식물의 생육에 지장이 없는 용기이면 무난할 것으로 생각되며, 본 연구에서는 PT병을 이용하여 실험을 하였다.

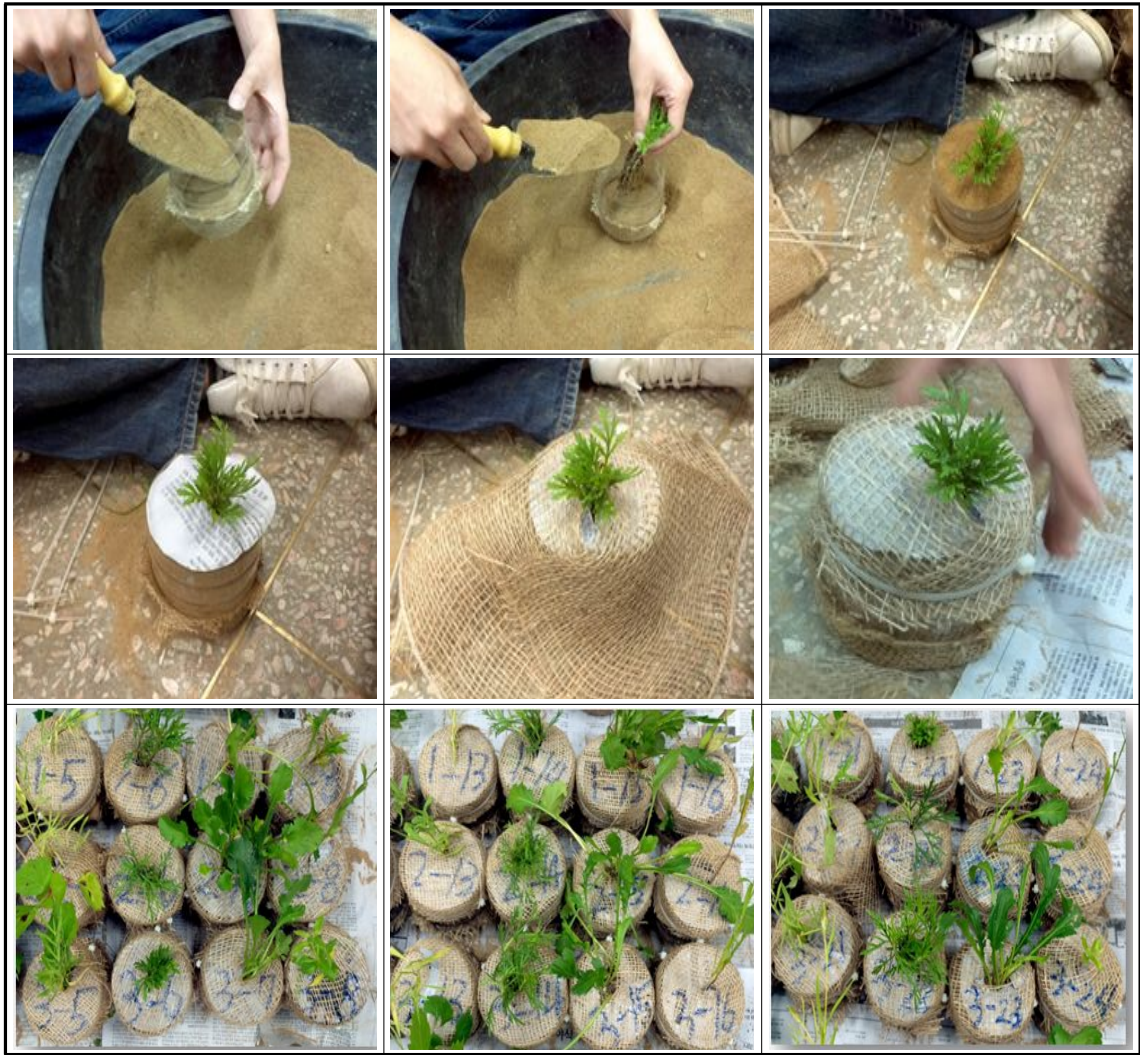


사진 1-14. 식생필터의 제작

마) 조사 및 분석

표 1-37과 같이 배양토와 묘목을 식재한 식생필터를 제조하여 삽입하였고 식재한 식물의 조사는 2011년 5월부터 2012년 2월까지 한 달 간격으로 생장량을 조사하였다.

표 1-37. 식생필터 제조

	1 반복	2 반복	3 반복
1	1-1 산림토 패랭이	1-1 산림토 패랭이	1-1 산림토 패랭이
2	1-2 산림토 구절초	1-2 산림토 구절초	1-2 산림토 구절초
3	1-3 산림토 샤스타데이지	1-3 산림토 샤스타데이지	1-3 산림토 샤스타데이지
4	1-4 산림토 쑥부쟁이	1-4 산림토 쑥부쟁이	1-4 산림토 쑥부쟁이
5	2-1 일반상토 패랭이	2-1 일반상토 패랭이	2-1 일반상토 패랭이
6	2-2 일반상토 구절초	2-2 일반상토 구절초	2-2 일반상토 구절초
7	2-3 일반상토 샤스타데이지	2-3 일반상토 샤스타데이지	2-3 일반상토 샤스타데이지
8	2-4 일반상토 쑥부쟁이	2-4 일반상토 쑥부쟁이	2-4 일반상토 쑥부쟁이
9	3-1 혼합토 패랭이	3-1 혼합토 패랭이	3-1 혼합토 패랭이
10	3-2 혼합토 구절초	3-2 혼합토 구절초	3-2 혼합토 구절초
11	3-3 혼합토 샤스타데이지	3-3 혼합토 샤스타데이지	3-3 혼합토 샤스타데이지
12	3-4 혼합토 쑥부쟁이	3-4 혼합토 쑥부쟁이	3-4 혼합토 쑥부쟁이

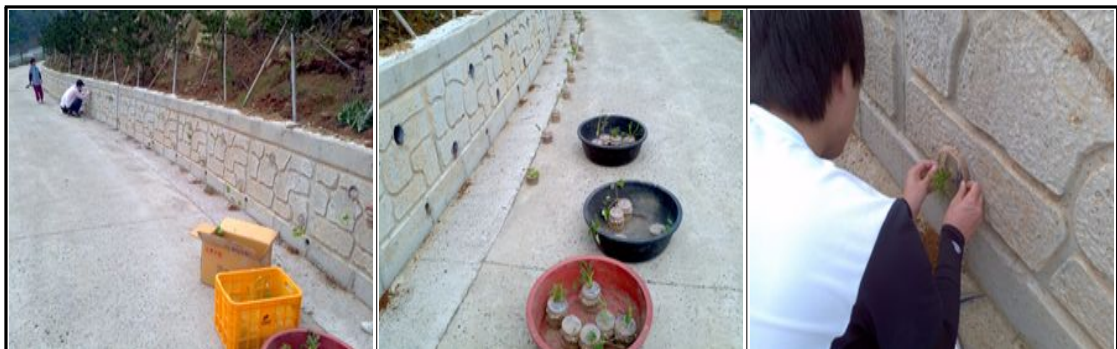


사진 1-15. 식생필터 삽입 작업모습

2) 생태옹벽의 묘목 특성 및 성장량 모니터링

가) 묘목 식재 후 성장량 변화

(1) 배양토별 성장량 변화

생태옹벽에 사용된 배양토가 식생의 성장에 미치는 영향을 분석하기 위해 성장량 변화를 조사한 결과는 다음 그림 1-52와 같다.

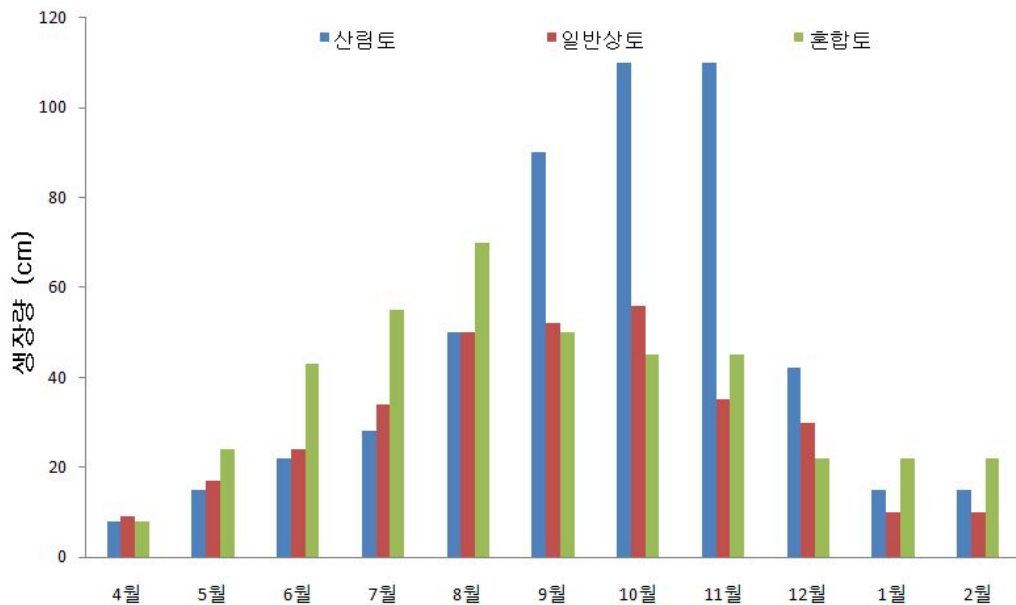


그림 1-52. 배양토별 성장량 변화

배양토별 월별 성장량 변화는 그림 1-52와 같다. 식재한 묘목의 성장은 산림토 > 혼합토 > 일반상토 순으로 나타나 예비시공에서와 다른 결과를 나타내었다. 산림토의 경우 4월에서 7월 사이에 꾸준히 성장하였다가 7월~10월까지 많은 성장을 보였으며 특히 8월에서 9월 사이에 40cm로 가장 많은 성장을 보였다. 혼합토의 경우 4월~8월까지 성장하였다가 8월 이후부터는 성장이 멈추었으며 5월에서 6월 사이에 19cm로 가장 많이 성장하였다. 일반상토의 경우 7월과 8월 사이에 16cm로 가장 많은 성장을 보였다.

(2) 묘목별 성장량 변화

(가) 패랭이

배양토가 식재한 식물의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 패랭이의 월별 성장량을 비교한 결과는 그림 1-53과 같다.

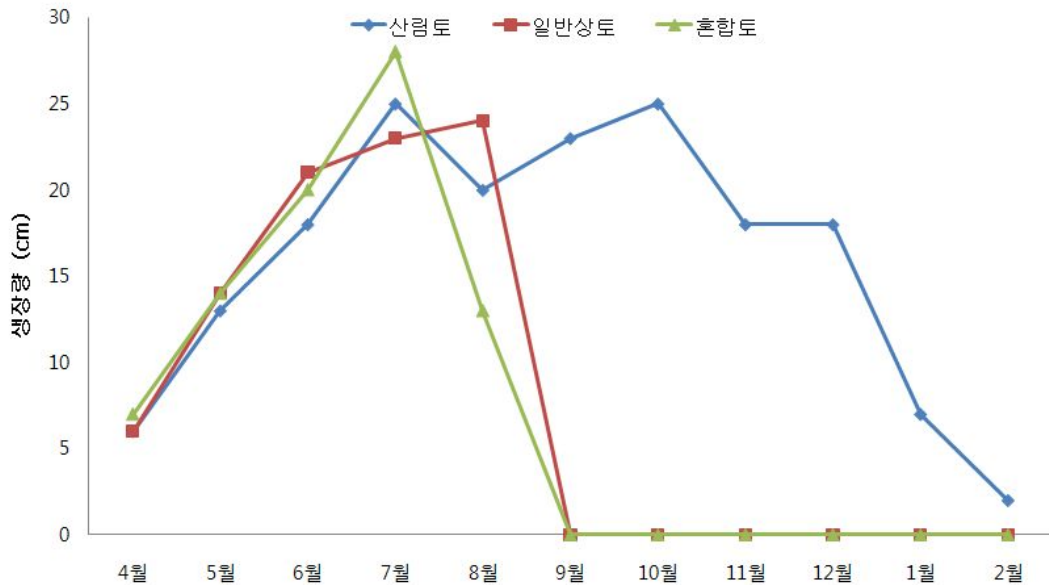


그림 1-53. 배양토에 따른 패랭이의 월별 성장량 변화

그림 1-53을 보면 패랭이의 성장량은 혼합토 > 산림토 > 일반상토 순으로 나타났다. 패랭이의 경우 산림토에서 7월까지 성장을 하다가 8월에 잠시 줄었다가 12월까지 성장한 것으로 나타났다. 일반상토의 경우 4월부터 8월까지 성장하였다가 9월 이후에 성장이 멈추었으며 혼합토의 경우 7월까지 성장하였다가 7월 이후에 성장이 멈추는 것으로 조사되었다.

패랭이의 경우 혼합토에서 가장 많은 성장을 보였지만 산림토에서 가장 오랫동안 생존하는 것으로 나타났다.

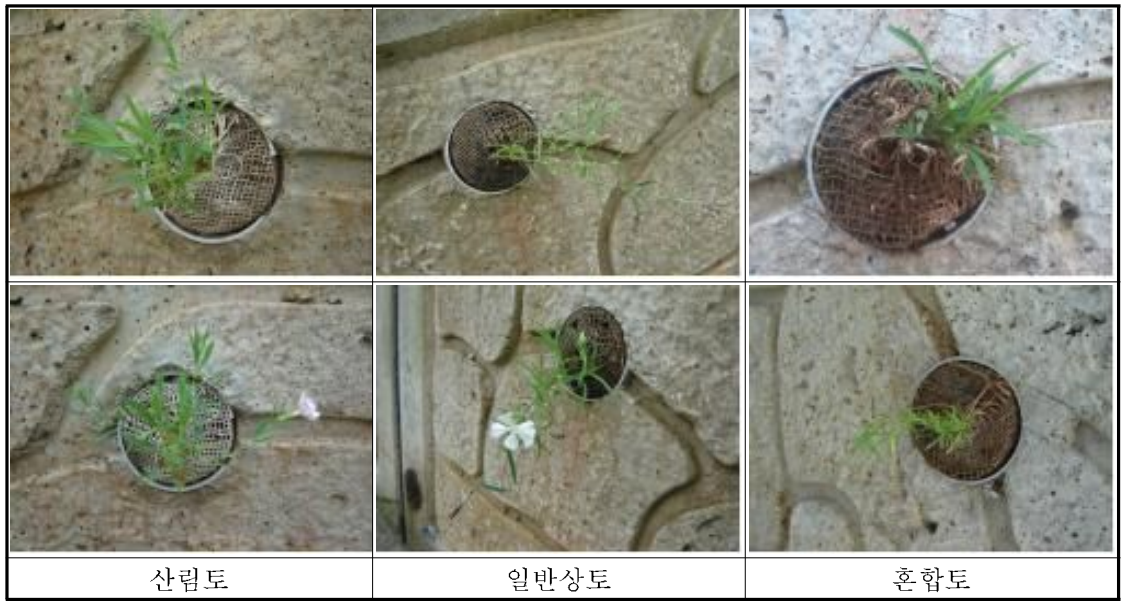


사진 1-16. 패랭이 성장 모습

(나) 구절초

배양토가 식재한 식물의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 구절초의 월별 성장량을 비교한 결과는 그림 1-54와 같다.

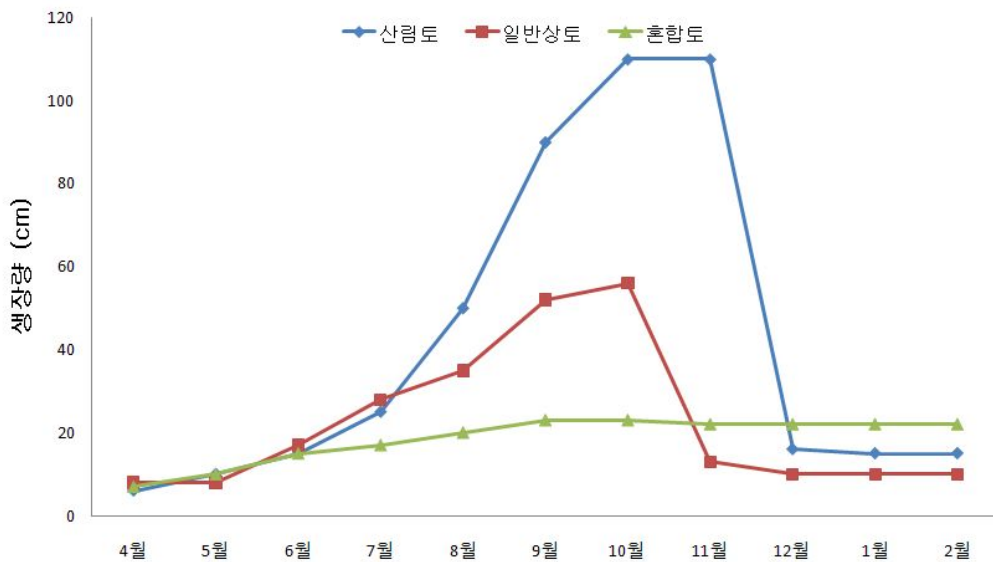


그림 1-54. 배양토에 따른 구절초의 월별 성장량 변화

그림 1-54를 보면 구절초의 경우 성장량은 산림토 > 일반상토 > 혼합토 순으로 나타났다. 특히 산림토에서 4월에서 7월까지 조금씩 성장하다가 7월부터 10월까지 많은 성장을 보였다. 반면 혼합토에서는 상대적으로 적은 성장이 나타났다.

구절초의 경우 산림토에서 가장 많이 성장하면서 가장 오래 동안 생존하였다. 따라서

구절초의 산림토가 배양토로 적합하다고 판단된다.



사진 1-17. 구절초 성장 모습

(다) 샤프스타데이지

배양토가 식재한 식물의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 샤프스타데이지의 월별 성장량을 비교한 결과는 그림 1-55와 같다.

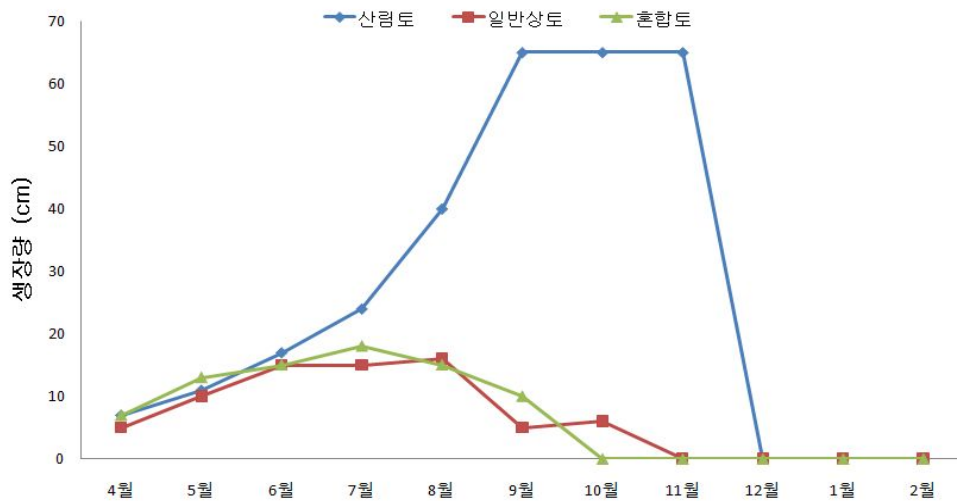


그림 1-55. 배양토에 따른 샤프스타데이지의 월별 성장량 변화

그림 1-55를 보면 배양토별 샤프스타데이지의 성장량은 산림토 > 혼합토 > 일반상토 순으로 나타났다. 산림토의 경우 4월에서 꾸준히 성장하여 7월과 8월 사이에 많은 성장량을 보였고 9월에 65cm로 성장하였다가 9월 이후 생장이 멈추었다. 혼합토의 경우 4월에서 7

월까지 성장 하였으나 7월 이후 생장이 멈추었으며 혼합토의 경우 4월에서 8월까지 성장 하였다 9월에 생장이 멈추었다가 10월에 다시 성장하였다.

샤스타데이지의 경우도 구절초의 경우와 마찬가지로 산림토에서 가장 많이 성장하였고 가장 오래 생존하였다. 따라서 산림토는 샤스타데이지의 식생필터 배양토로 적합하다고 사료된다.



사진 1-18. 샤스타데이지 성장모습

(라) 쑥부쟁이

배양토가 식재한 식물의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 쑥부쟁이의 월별 성장량을 비교한 결과는 그림 1-56과 같다.

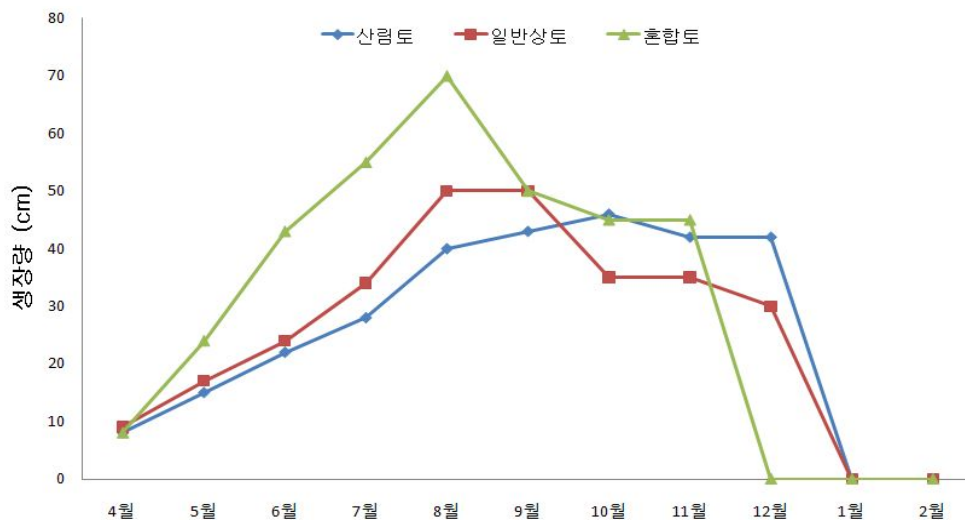


그림 1-56. 배양토에 따른 쑥부쟁이의 월별 성장량 변화

그림 1-56을 보면 배양토별 쪽부쟁이의 성장량은 혼합토 > 일반상토 > 산림토 순으로 나타났으며, 혼합토와 일반상토의 경우 4월부터 꾸준히 성장하다가 8월 이후부터 생장이 멈추는 것으로 조사된 반면 산림토의 경우 10월까지 꾸준히 성장하는 것으로 나타났다.

쪽부쟁이의 경우 전반적으로 모든 배양토에서 꾸준히 성장하는 것으로 나타나 식생 필터의 녹화식물로서 적합하다고 판단된다.



사진 1-19. 쪽부쟁이 성장모습

1997년 기후변화협약 제 3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서에 의하면 지구 온난화 현상의 책임에 있는 선진국들은 제 1차 공약기간이 2008년부터 2012년까지의 기간 동안 의정서에 규정된 6가지 온실가스의 연간배출량 1990년의 배출량 수준에 대비하여 평균 5.2% 줄이기로 되어있다. 우리나라는 기후변화협약에서 개도국의 지위를 인정받아 아직 온실가스 배출량 저감의무는 지고 있지 않지만, 2011년 온실가스 배출량이 세계 10위라는 점을 감안 할 때 앞으로 추가 감축 대상국 선정 협상이 본격화 되는 상황에서 추가 포함은 거의 확실시 되고 있는 상황이다.

지구온난화에 따른 환경변화로 인해 식물의 생육 및 분포에 변화를 가져온다. 특히 식물들은 빛의 강도, 온도, 수분조건에 따라 각기 다른 반응을 나타내기 때문에 기후변화에 따른 식물별 생육변화가 중요하다. 최근 기후변화는 과거의 자연적인 변화에 비해 100배 빠르게 진행되어 식생대가 교란되고 이로 인해 생태적 부작용이 나타나고 있다.

식물은 광합성을 통해 이산화탄소를 탄소로 전환하여 토양이나 바이오메스에 저장하는 능력이 우수하기 때문에 식생식재를 통하여 온실가스 저감대책으로 활용할 수 있을 것이다.

현대 문명에서 콘크리트를 빼고는 이야기 할 수 없을 정도로 콘크리트가 우리의 생활

에 중요한 비중을 차지하고 있다. 하지만 콘크리트 옹벽의 경우 친환경적이거나 미관에 좋지 않은 영향을 주고 있다. 그로인해 콘크리트 옹벽의 녹화에 관심이 커지고 있으며 그런 콘크리트 옹벽의 단점을 보완하기 위한 보강토 옹벽 등 새로운 옹벽이 개발되고 있다.

따라서 본 연구의 기존의 콘크리트 옹벽을 변형한 생태옹벽을 설치함으로써 기존 콘크리트 옹벽의 열섬현상을 막아주는 한편 식물의 생육기반환경을 만들어 주어 생태옹벽이 주는 탄소저감 효과 및 생물들의 서식처를 제공하고자 하였다.

본 실험결과 콘크리트생태옹벽의 경우 식생필터에서 대부분의 식물이 잘 자라는 것을 볼 수 있었으며 자생목본인 참싸리의 경우 질소를 고정하여 토양개선효과를 기대하는 한편 샬스테이지와 구절초의 경우 12월까지도 잎이 지지 않고 광합성 작용이 가능하므로 탄소저감 식물로 활용가능 하다고 보여진다.

한편 생태옹벽에 식생도입시 여러 탄소저감 식물을 고려해 볼 필요가 있다. 탄소저감을 많이 하기 위해서는 광합성량이 중요하며 광합성 유형에 따라 C_3 식물과 C_4 식물로 구별되어 지고 있는데 C_4 식물의 광합성 경로는 C_3 식물에 비하여 광호흡에 의한 장애가 적기 때문에 이산화탄소의 고정효율이 좋으며 기공저항을 크게 하여 증산에 의한 수분손실을 낮춘상태에서도 높은 광합성속도를 유지할 수 있다. 이러한 특성에 의해 C_4 식물은 토양수분의 이용효율이 높고 강한 빛과 건조 조건에서도 잘 생육하므로 기후변화에 대비하여 강한 경쟁력을 갖춘 식물이라고 판단되어지며 향후 생태옹벽에 활용가능성이 많다고 사료된다.

제 2절 생태옹벽의 설계 및 시공기술 개발

1. 생태옹벽의 표준설계도 제작

가. 현장지반조사

1) 시공지역의 현황

생태옹벽을 예비시공한 지역은 경상남도 진주시 정촌면 관봉리 지역이며 호우에 의해 사면이 붕괴되어 물질적 피해가 발생한 지역이다. 지역의 위치는 그림 2-1과 같다.



그림 2-1. 예비시공지역

가) 지형

진주시 정촌면의 동쪽은 문산읍·금곡면(金谷面), 북쪽은 가호동(加虎洞), 남쪽은 사천시 사천읍·축동면(楸洞面)에 접하며, 서쪽은 실봉산(185m)이 내동면(奈洞面)과 경계를 이룬다. 평균 해발고도 100m 이하의 구릉지를 이루며 두량저수지가 사천읍과 경계를 이룬다. 남해고속도로와 경전선 철도가 통과하며, 사봉~함안간 지방도가 정촌면의 중앙을 지나 교통은 편리하다.

나) 지질 및 토양조사

예비시공 지역의 광역지질은 중생대 백악기 경상누층군의 퇴적암층인 하양층군에 속하는 함안층이 넓게 분포하며, 제 4기의 충적층이 제 암석을 부정합으로 피복하여 저지에 넓게 분포한다. 조사지역은 함안층(자색세일, 회색세일, 녹회색사암 및 사질 세일, 자색사질세일)의 분포지 내에 위치하며, 시공지역 내의 기반암은 자색 및 녹회색, 회록색, 회색을 띠는 세일로 확인되었다. 시공지역은 표토층 - 풍화토 - 풍화암 - 기반암이 분포하고, 표토층은 자색으로서 미사질 양토로 이루어져 있다.

옹벽을 설계하는데 있어서 가장 중요한 점은 토압으로서 작용하는 배면 흙의 성상과 옹벽의 기초를 지지하는 지반의 성상을 파악하는 것이다. 흙의 단위 체적 중량은 불교란 시료를 채취하여 일정 체적의 흙의 중량을 측정하는 것으로 구할 수 있지만, 옹벽의 설계로는 조금 크게 가정해야 안전측으로 설계할 수 있기 때문에 배면토의 토질에서 그 값을 가정하는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서 옹벽의 설계를 위하여 적용한 지반의 정수값은 표 2-1과 같다.

표 2-1. 조사지역의 지반정수

지지지반의 단위 중량 (tf/m ³)	지지지반의 점 착 력 (tf/m ²)	성토지반의 단위 중량 (tf/m ³)	기초의 유효 근입깊이 (m)	지지지반의 내부마찰각 (°)
1.9	0.0	21.3	0.500	30

다) 기상현황

(1) 기상관측소

본 강우분석에 필요한 우량관측소는 위치 및 표고, 관측년수 및 자료년수 등을 종합적으로 고려하여 본 예비시공지역 인근에 위치하고 비교적 장기간 관측자료를 보유하고 있는 진주기상관측소를 선정하였다.

표 2-2. 관측소 현황

구 분	관측소명	위 치			표고 (EL. m)	관 측 개시일	관 할 관서명
		진주	동경	북위			
기상	진주	초전동 426	127° 07'	35° 12'	21.3	1969. 03	기상청

(2) 기상현황

본 예비시공지역과 인접하여 있는 진주시의 기상개황을 살펴보면 봄철에는 만주지방에서 동측으로 이동해 오는 온대성 저기압이 발달하여 강한 바람이 불고 화북지방에서 날

아오는 황사현상이 나타나며, 여름철에는 북태평양고기압 세력과 오오츠크 해안에 중심을 둔 해양성 한대 고기압 세력으로 인해 장마전선이 형성되어 7~8월에 집중호우를 동반한 태풍이 잦다. 겨울철에는 한랭건조한 북서풍이, 여름철에는 고온다습한 남서풍이 탁월하며, 평균 풍속은 1.8m/sec으로 나타났으며, 2008년 월별 기상분석결과는 표 2-3과 같다. 연평균기온은 14.0℃이며, 평균최저기온은 2월에 -5.8℃로 가장 낮고, 평균최고 기온은 7월이 31.1℃로 가장 높은 것으로 나타났다. 증발량은 조사한 결과는 소형증발접시에 의한 연평균증발량은 93.4mm이며, 12월이 49.8mm로 가장 낮고, 5월이 136.6mm로 가장 높은 것으로 나타났다. 연평균 상대습도는 68.1%이며, 2월이 49.4%로 가장 낮고, 7월이 76.8%로 가장 높은 것으로 나타났다. 연평균 평균풍속은 1.2m/sec이며, 10월이 0.9m/sec으로 가장 낮고, 4월이 1.5m/sec으로 가장 높은 것으로 나타났다. 연평균강설일수는 7.9일이며 결빙일수는 108.3일로서 10월부터 결빙이 시작되어 다음해 4월까지 계속되는 것으로 나타났다.

표 2-3. 진주시 월별 기상 분석

구 분	기온(℃)			증발량 (mm)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/sec)	강수량 (mm)	천기일수		
	평 균	최 고	최 저					강 설 일 수	결 빙 일 수	안 개 일 수
1월	1.8	7.6	-3.2	51.3	61.1	1.1	46.1	2.9	28.4	1.9
2월	1.1	8.3	-5.8	59.0	49.4	1.5	9.0	0.3	236.0	1.6
3월	8.1	15.7	0.9	87.0	63.3	1.3	36.3	0.7	14.6	4.6
4월	13.8	20.5	7.1	113.8	74.9	1.5	68.5	-	2.3	6.1
5월	18.2	24.9	11.6	136.6	76.8	1.4	108.5	-	-	7.6
6월	20.9	25.7	16.8	120.2	74.9	1.3	337.6	-	-	8.3
7월	27.3	31.7	24.0	122.0	76.8	1.4	93.6	-	-	6.2
8월	25.9	31.1	21.6	127.3	72.1	1.4	100.4	-	-	7.2
9월	22.9	28.8	18.0	101.9	71.9	1.0	36.2	-	-	9.4
10월	16.8	24.5	10.3	91.4	66.2	0.9	35.2	-	0.7	12.5
11월	8.6	15.6	2.5	61.3	68.0	1.1	11.3	0.5	11.8	9.6
12월	2.5	10.5	-4.2	49.8	61.7	1.0	2.9	1.5	27.5	3.8

주) 자료: 「기상청(2008)」

본 예비시공지역의 강수현황을 파악하기 위해 기상분석에서와 같이 기상청 관할 진주 기상대의 1999~2008년(10년)의 월강수량 자료를 조사하였으며, 그 결과는 표 2-4와 같다. 최근 10년간 강수량을 살펴보면 본 사업지구의 연평균강수량은 1,572.6mm로서 우리나라 연평균 강수량 1,274.0mm의 약 123%정도로 나타나고 있으며, 홍수기인 6~9월에 연강수량의 약 67%가 집중되고 있는 것으로 나타났다.

표 2-4. 진주시 최근 10년간 강수량

연 도	월 강 수 량												연 강수량
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
1999	32	31	156.4	95.6	174.2	197	466.9	438.5	345.2	92.8	15.4	0	2045
2000	24.2	0.2	23	50	68.7	123.6	379.7	484.7	316.1	26.1	50.1	0.5	1546.9
2001	58.9	80	15.5	48.5	41.8	323.5	266.6	137.1	107.3	82.6	11	43.5	1216.3
2002	55.1	8.6	100.7	152.1	150.6	81.7	300	760.1	116.5	52.1	7	32.6	1817.1
2003	30.4	57.5	58	235.5	293	259.6	481	343	321.1	10	53.6	8.5	2151.2
2004	0.1	78	42.6	129.8	161.5	243	229.5	348.5	213.6	12.2	85.1	31.1	1575
2005	11.7	43.6	85	102.2	90.9	113.5	273.6	297.3	54.8	9	31.5	0.6	1113.7
2006	28	30.8	14	140	284.5	268.6	630.9	106.6	99.5	39.5	20.1	11.5	1674
2007	2.8	60.7	96.7	35.8	97.9	54.5	245.7	506.5	471.4	96.5	0	32.5	1701
2008	46.1	9	36.3	68.5	108.5	337.6	93.6	100.4	36.2	35.2	11.3	2.9	885.6
10년 평균	28.9	39.9	62.8	105.8	147.2	200.3	336.8	352.3	208.2	45.6	28.5	16.4	1572.6

주) 자료: 「기상연보」 1999~2008

(3) 재해발생 현황

우리나라는 몬순기후에 속하는 대륙성기후권에 들어 있는 이유로 특히 하절인 6~9월 사이에 다량의 집중강우로 인하여 빈번한 수해가 발생하고 있다. 구체적인 원인으로는 중국 대륙 및 동지나해에서 발생하는 저기압의 하절기인 극전선(장마전선) 및 남양군도 부근에서 발생되어 이동해 오는 태풍 및 엘니뇨현상 등에 기인한다. 특히 풍수해를 가중시키는 원인으로 연간 강수량의 2/3가 농작물의 개화, 결실기인 하절기에 집중적으로 내려 큰 풍수해의 원인이 되고 있다. 재해연보(행정자치부)에 의하면 진주시의 최근 10년간 재해 발생현황을 살펴보면 총 197,811,678원의 피해를 입었으며, 2003년에 약 134,313,011원으로 가장 큰 피해액을 보여주고 있다. 공공시설(도로 및 하천)의 피해가 가장 큰 것으로 나타나고 있으며, 상대적으로 건물, 선박 및 농경지 피해는 적은 것으로 나타났다. 인명피해 15명, 이재민 583명이 발생하였으며 침수면적 4,531.06ha로 집계되었다.

2. 콘크리트 생태옹벽의 설계

가. 콘크리트 생태옹벽 표준설계도 제작

1) 개요

이 장에서는 「제1절 옹벽안전성 평가」에 기술된 옹벽안전성 기준을 기초로 콘크리트 생태옹벽표준도를 작성하기 위한 설계조건을 결정하고, 표준도 생태옹벽의 설계방법을 기술한다.

2) 단면 가정

설계일반에서 기술한 단면가정에 대한 일반사항으로부터 표준도 작성을 위해 옹벽구조 형식별로 단면치수를 가정한 방법을 기술하면 다음과 같다.

나. 설계조건

1) 뒷채움 흙의 성질 및 형상

뒷채움 흙은 원활한 배수가 이루어질 수 있도록 사질토 또는 선택층을 사용하고 사면의 안정을 위하여 뒷채움 흙의 내부마찰각을 사면경사각 이상으로 하였으며 점착력은 무시한다. 사면의 높이는 지진 고려시에는 옹벽높이의 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1.0, 2.0배로 적용하고, 지진을 고려하지 않을 경우에는 무한사면의 경우를 추가로 적용. 지진시에 높은 사면의 단면을 고려하지 않는 이유는 현행 성토사면경사와 성토재료의 관계에서 수치해석상 사면의 안정이 확보되지 않기 때문. 현장사무실에서는 실제 뒷채움흙의 내부마찰각과 점착력을 고려하여 적정단면을 설계하여야 한다. 중력식 및 반중력식 옹벽의 경우 적용 옹벽높이가 높지 않으므로 옹벽높이의 $\frac{1}{4}$ 의 경우는 제외 된다.

표 2-5. 설계조건에 따른 뒷채움 흙의 성질 및 형상

사면 경사	뒷채움 흙	내부마찰각	단위중량	비 고
수 평	사질토	30°	1.9 t/m ³	활동방지벽 없음
1 : 1.8	사질토	30°	1.9 t/m ³	활동방지벽 설치
1 : 1.5	선택층	35°	2.0 t/m ³	활동방지벽 설치

2) 기초지반의 조건 옹벽기초의 지지층

옹벽기초의 지지층은 하부압밀층이 없고 기초폭의 2.0배 이내에 약층이 존재하지 않는 사질토층으로써 지지층의 내부마찰각 ψ 는 35°이상, 지반극한지지력 q_u 는 90 t/m²이상이 되어야 한다. 지지층의 내부마찰각 ψ 를 35°이상으로 제한한 것은 옹벽의 저항력을 확보하

여 활동에 대한 안정을 기하기 위한 것이다.

3) 하중 조건

가) 사하중 및 흠뻘기 자중

사하중 및 흠뻘기의 자중은 단위중량을 기준으로 산출하여 흠뻘기의 자중에 대하여 상기 단위중량을 고려할 경우 포장층의 단위중량을 별도로 고려하지 않는다.

나) 상재 하중

생태옹벽표준도의 배면 수평구간에 재하하는 상재하중은 도로에 설치된 옹벽에 작용하는 하중($q = 1.00 \text{ t/m}^2$)을 적용. 지진시의 안정계산 및 단면검토시에는 안전율 및 실제토압과의 이를 고려하여 상재하중을 재하하지 않는다.

다) 풍하중 및 수압

생태옹벽 표준도는 방음벽이 설치된 옹벽이나 수압이 작용하는 옹벽에 대해서는 설계되지 않았다. 옹벽표준도를 적용하기 위하여는 옹벽배면에 수압이 작용하지 않도록 충분한 배수시설이 확보되어야 하고 방음벽이 설치된 경우에는 별도로 검토한다.

라) 지진하중

지진시의 토압산출을 위하여 Mononobe-Okabe의 의사-정적 해석방법을 사용. 토압계산은 상시와 같이 흠뻘기의 자중에 수평 및 수직 지진계수를 곱한 지진력을 포함하여 힘의 평형에 대하여 계산. 그리고 지진가속도 계수는 경제적인 구조물이 되도록 최대 허용 변위량 d 를 결정하고 변위식을 이용하여 지진가속도 계수를 결정한다.

4) 사용 재료

옹벽 구조물은 외력에 의한 안정과 부재단면의 안전에 지배되는 구조물로서 콘크리트 및 철근의 설계기준 강도 증가에 따른 단면두께, 철근량 등의 변화에 의한 경제적인 효과는 미소하나 구조물의 내구성 및 품질의 향상에 미치는 효과는 지대하다.

생태옹벽 철근콘크리트 구조물의 설계강도는 표 2-6과 같이 조합으로 철근 $\sigma_y=3000 \text{ kg/cm}^2$ 일 때 콘크리트 $\sigma_c=240 \text{ kg/cm}^2$ 이상을 적용하는 것으로 하였다.

표 2-6. 생태옹벽 재료의 강도 및 탄성계수

구 분	재 료	최소강도(kg/cm ²)	탄성계수(kg/cm ²)	비 고
생태옹벽형	콘 크 리 트	240	$E_c = 2.32 \times 10^5$	
	철 근	3000	$E_s = 2.04 \times 10^6$	SD30

5) 생태옹벽 설계도 및 수량계산서

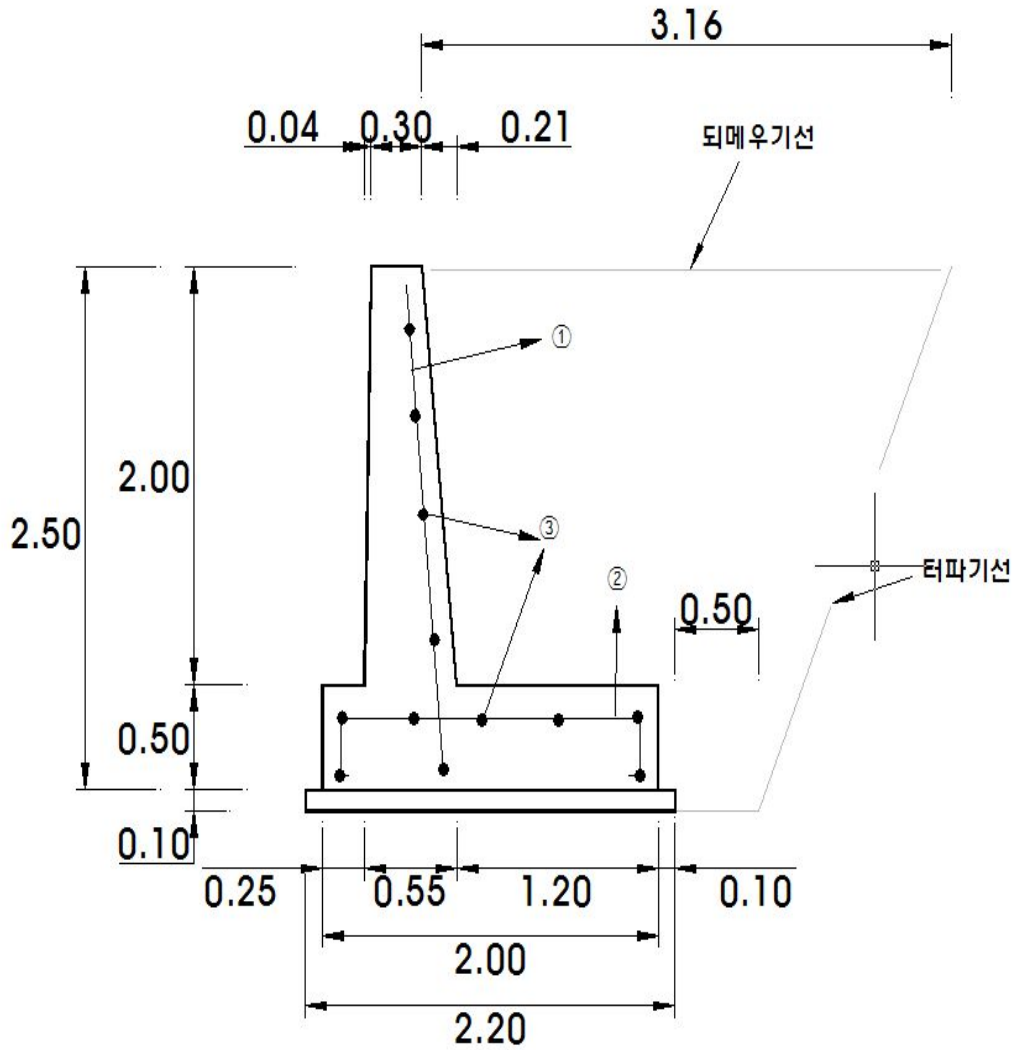


그림 2-2. 콘크리트생태옹벽 단면도

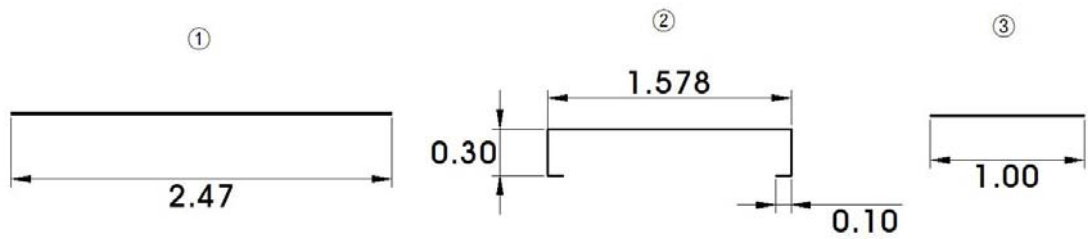


그림 2-3. 콘크리트생태옹벽 철근배식도

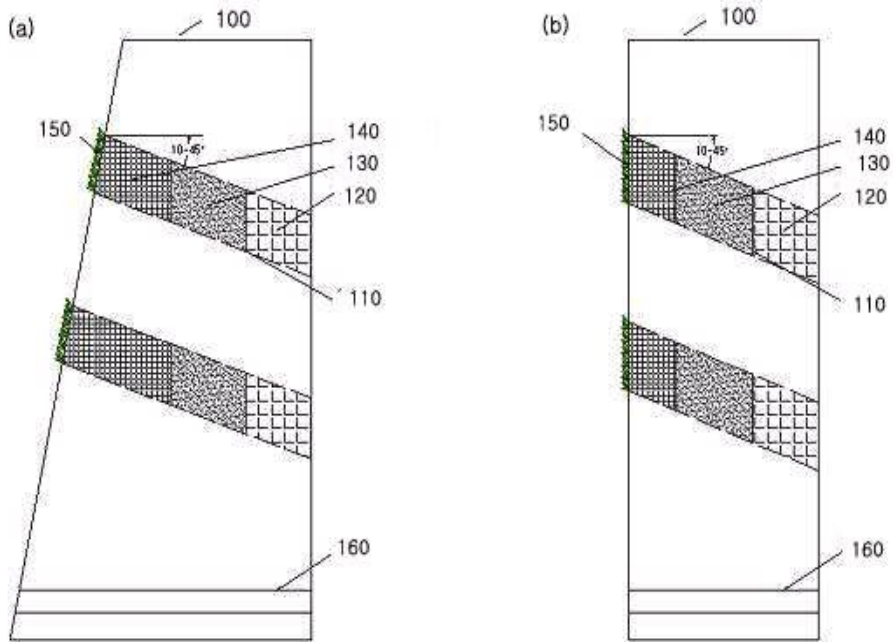


그림 2-4. 콘크리트생태옹벽 상세도

표 2-7. 콘크리트 생태옹벽 (H : 2.50) 수량계산서

(m)당

수 량 계 산 (m 당)				
공 종	치 수	수량	단위	산출근거
터파기	0.7m ³ 굴삭기	5.36	m ³	$(2.00 + 3.16) / 2 \times 2.60 \times 1.00 \times 80\%$
	인 력	1.34	m ³	$(2.00 + 3.16) / 2 \times 2.60 \times 1.00 \times 20\%$
비 계	강 관	2.00	m ²	$1.00 \times 2 \times 100$
거푸집	6 회	1.00	m ²	$0.50 \times 2 \times 1.00$
	유로폼	4.01	m ²	본 제 $(2.00 + 2.01) \times 1.00$
		1.85	m ²	마 감 $(0.30 + 0.55) / 2 \times 2.00 + 0.50 \times 2.00$
레미콘	25-16-08	0.22	m ³	버 립 $2.20 \times 0.10 \times 1.00$
	25-21-12	1.85	m ³	기 초 $0.5 \times 2.00 \times 1.00$
				본 제 $(0.30 + 0.55) / 2 \times 2.00 \times 1.00$
문양스치로폴		1.60	m ²	1.60×1.00
신축이음		0.09	m ²	$\{(0.30 + 0.55) / 2 \times 2.00 + 0.50 \times 2.00\} / 20$
PVC파이프	φ100mm	0.55	m	$0.55 / 1.00$

표 2-8. 콘크리트 생태옹벽 (H : 2.50) 철근집계표

(m)당

수 량 계 산 (m 당)							
부호	직 경	길 이	수 량	총길이	단위중량	총중량	비 고
1	16mm	2.47	5	12.35	1.560	19.26	
2	16mm	2.38	5	11.89	1.560	18.54	
3	13mm	1.00	15	15.00	0.995	14.92	
계						52.75	

다. 예비시공

1) 공종의 개요

가) 공사명 : 콘크리트 생태옹벽 예비시공

나) 위 치 : 진주시 정촌면 관봉리 일대

다) 공사규모

콘크리트 생태옹벽은 1단(H_{Max}=2.5m)으로 구성되며 수량은 다음과 같다.

- 옹벽높이 : 2.5m, 1단, 1구간
- 옹벽면적 : A= 30m²

① 범면 굴착	② 기초지반 설치
	
<p>○ 계획된 콘크리트생태옹벽 Line에 배면작업공간을 감안하여 일반적으로 30cm 굴착을 한다.</p>	<p>○ 범면 굴착 후 기초지반 거푸집 및 철근을 설계도를 참고하여 설치를 한다.</p>

③ 기초지반 바닥타설



○ 기초지반 타설을 실시한다.

④ 옹벽 설치



○ 기초지반 거푸집 제거후 다시 본 지반 거푸집 및 철근을 설계도를 참고하여 설치한다.

⑤ 옹벽 파이프설치



○ 거푸집과 철근을 배치한 후 녹화기반용 지름 10cm 파이프 설치한다.

⑥ 거푸집 제거



○ 거푸집을 제거 한다.

⑦ 뒤채움



○ 뒤채움은 현장내 유용토를 사용하고 돌덩어리나 순점토는 사용하지 않는다.

⑧ 식생 설치



○ 식생필터를 조재하여 옹벽에 수납한다.

사진 2-1. 콘크리트생태옹벽 예비시공사진

3. 생태옹벽의 시공

가. 현장시공

1) 공종의 개요

- 가) 공사명 : 콘크리트생태옹벽 설치 공사
- 나) 위 치 : 진주시 내동면 삼계리
- 다) 공사규모

본 단지의 콘크리트생태옹벽은 1단($H_{Max}=1.0m$)으로 구성되며 수량은 다음과 같다.

- 옹벽높이 : 1.0m, 1단, 1구간
- 옹벽면적 : $A=40m^2$

2) 시공절차

가) 옹벽 구조물은 설계조건이 만족되어야 그 기능을 발휘할 수 있으며, 특히 흙과 콘크리트 시공이 양부(良否)가 구조물의 안전성을 좌우하므로 설계조건을 지켜 시공하는 것이 중요하다. 옹벽 시공시 주요 확인사항은 다음과 같다.

(1) 기초공

지반이 느슨하게 되지 않도록 과대한 굴착을 피해야 하며, 지반면에서 배수에 주의하고 지하수나 용출수가 없도록 해야 한다. 기초지반이 암반인 경우는 흙과 모래를 적당히 배합하고, 콘크리트 타설 전에 뜯돌을 제거한다. 암반의 표면을 깨끗이 닦아 낸 후 그 위에 밑판을 직접 시공하든가, 표면의 끝손질 상태에 따라 콘크리트나 모르타르를 바른 후 밑판을 시공한다. 암반이 없는 경우에는 굴착면위에 깬돌이나 쇄석 등을 부설하여 충분히 다진 후 콘크리트를 치고 그 위에 밑판을 시공하는 것이 좋다. 밑판위에 활동방지벽을 설치할 경우에는 깬돌이나 쇄석 등으로 처리된층 속을 관통하여 충분히 지지기반으로 관입되도록 해야한다.

표 2-9. 생태옹벽 기초공 체크 항목

검사항목	검사결과		조치사항
	YES	NO	
주위환경과 비교하여 설치위치가 적정한가?			
옹벽의 규격 및 폭, 연장은 정확한지 측량검측결과를 확인하였는가?			
터파기의 폭 및 깊이는 적정하며 잡석은 잘다져져 있는지 확인하였는가?			
콘크리트의 재료상태 및 배합은 설계와 일치하는가?			
철근의 오물 및 녹등은 제거되었는가?			
철근의 치수, 간격 및 상하부 철근의 유효고는 설계서대로 설치되었는가?			
거푸집 설치상태는 양호한가?			
콘크리트 타설 및 다짐작업시 거푸집이 밀리거나 벌어지지 않도록 견고히 설치 되었는가?			
활동방지벽(Shear Key)을 설치할 경우 활동방지벽과 저판을 일체로 시공하는가?			

(2) 구체

반중력식 옹벽이나 역T형 옹벽은 밑판과 벽체부 등이 일체가 되도록 콘크리트를 타설하는 것이 바람직하다. 중력식이나 반중력식 옹벽은 수평시공이음을 할 때 장부(凹凸)나 흠을 만드는 경우에 따라서 철근 등을 박아 콘크리트층 사이를 밀착시킬 필요가 있다.

표 2-10. 생태옹벽 구체 체크 항목

검사항목	검사결과		조치사항
	YES	NO	
옹벽은 전도, 활동, 지지력에 안전하게 설계되었는지 사전 검토하였는가?			
콘크리트 타설순서 및 타설계획을 수립하였는가?			
콘크리트 재료상태 및 배합은 적절한가?			
철근의 오물 및 녹은 제거되었는가?			
철근의 치수, 간격 및 배력철근 수량은 설계도대로 설치되었는가?			
거푸집은 구조물 규격과 일치하도록 설치되었으며 청결상태 및 박리제 도포상태는 양호한가?			
거푸집 설치시 콘크리트면 미관저해 요인은 없는가?			
철근덮개는 바르게 시공되었는가? (노출면 3cm이상, 흠에 접하는 면 5cm이상)			
콘크리트 타설시 진동기 수와 인원은 적절하며 적정간격으로 바르게 진동을 주고 있는가?			
벽의 노출면은 1:0.02의 경사를 가지도록 시공하는가?			
배수공의 설치위치와 수량은 적절하며 배수공 주위재료는 배수효과가 큰 재료를 사용하는가?			
초기양생 방법과 충격방지는 적절한가?			
거푸집 및 동바리 해체시기는 적절한가?			
선형이 맞게 시공되었는가?			

(3) 콘크리트 이음

표 2-11. 생태옹벽 이음 체크 항목

검사항목	검사결과		조치사항
	YES	NO	
시공이음은 될 수 있는대로 전단력이 적은 위치에두고, 부재의 압축력을 받는 방향과 직각되게 하고 있는가?			
굳은 콘크리트에 새 콘크리트를 쳐서 이어나갈 경우 굳은 콘크리트 표면의 레이턴스, 품질이 나쁜 콘크리트, 팍 붙지 않은 골재알 등을 충분히 제거하고 있는가?			
수평 시공이음이 거푸집에 접하는 선은 될 수 있는 대로 수평한 직선이 되도록 주의하고 있는가?			
역방향치기 콘크리트의 시공시에는 콘크리트의 침하를 고려하여 시공이음이 일체가 되도록 콘크리트의 재료, 배합 및 시공방법을 선정하였는가?			
수축이음은 철근을 절단하지 않으며 설치깊이 및 설치간격은 시방기준에 적절한가?			
신축이음에서는 구조물이 서로 접하는 양부를 절연시켜 시공하며 설치두께, 재료 및 설치간격은 적절한가?			

나) 콘크리트 생태옹벽 세부시공 절차

(1) 토공 및 대지경계선의 측량확인

법면 절취 작업이 이루어지는 시작선과 대지경계선에 대해 현장에서 광파기를 이용한 측량을 선행하여야 할 것이다. 이를 통해 주변인접대지의 침범 없이 작업장 내에서 토공작업이 수행된다.

(2) 콘크리트 생태옹벽 선형 확인 및 측량

설계 도서를 참고로 하여, 현장에서 콘크리트생태옹벽 선형에 대한 확인 측량을 수행하여야 한다. 선형에 대한 확인 측량을 통해 설계 시 반영되지 않았을 수 있는 현장 상황을 반영하여 시공이 용이하도록 하여야 할 것이다.

(3) 철근야적장 및 작업공간확보

콘크리트생태옹벽 시공에 사용되는 자재Earthbolt 및 기초 Micropile용 D32 철근 등의 야적장을 확보하여야 한다. 야적장은 장비의 진출입, 자재의 적하

가 가능하도록 최소 20m X 10m의 공간을 확보하여야 한다.

(4) 장비의 확보 및 대기

콘크리트생태옹벽 시공에 사용되는 장비 Backhoe, Crawler Drill, Grouting Equipment 등을 확보하고 대기하여야 한다.

(5) 용수 및 전기

콘크리트생태옹벽에 필요한 용수는 현장 내에서 제공되어야 하며, Grouting시에 요구되는 용수의 양은 공당 약 50kg이다. 전기는 자체 발전기를 이용하므로 필요하지 않다.

(6) 콘크리트 생태옹벽 배면 및 기초 터파기

콘크리트생태옹벽 배면 터파기는 토공회사와 협의하며 이루어져야 한다. 토사 또는 리핑암의 경우 H=2.0m씩 단계별 굴착을 하여야 하며, 발파암의 경우 NPS발파 등을 이용하여 지반 내 진동의 영향을 최소화 하여야 한다.

(7) 자재반입

모든 자재 반입은 사전승인 받은 자재만 사용함을 원칙으로 하고 작업 1~2주전에 현장에 반입하여 검수를 받도록 요청한다. 또한, 지급자재는 수량 및 기간 등을 기록한 자재요청서를 작성하여 사전에 승인 받도록 한다.

(8) 안전교육실시

콘크리트생태옹벽 시공시 발생될 수 있는 위험 요소와 그 대처방안 등에 대해 충분한 현장 교육이 수행되어야 한다. 또한, 건설현장에서 발생될 수 있는 여러 제반 위험요소와 대처방안 및 안전우선주의에 대한 정신교육을 수행하도록 한다.

다) 콘크리트 생태옹벽 시공

콘크리트생태옹벽의 일반적인 공정은 다음과 같다. 본 공정은 옹벽 한단의 높이가 1.0m인 대표 단면에 대한 공정이다. 옹벽의 높이, 소단폭등에 따라 일부공정의 침삭이 있을 수 있다.

① 범면 굴착



○ 계획된 콘크리트생태옹벽 Line에 배면작업공간을 감안하여 일반적으로 30cm 굴착을 한다.

② 기초지반 설치



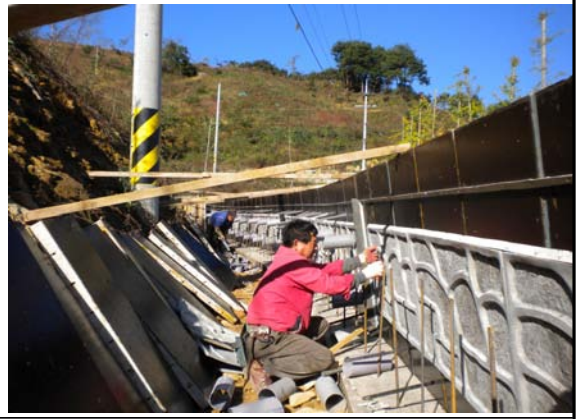
○ 범면 굴착 후 기초지반 거푸집 및 철근을 설계도를 참고하여 설치를 한다.

③ 기초지반 바닥타설



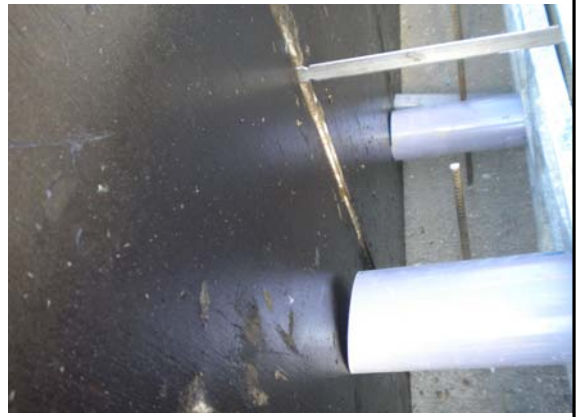
○ 기초지반 타설을 실시한다.

④ 옹벽 설치



○ 기초지반 거푸집 제거후 다시 본 지반 거푸집 및 철근을 설계도를 참고하여 설치한다.

⑤ 옹벽 파이프설치



○ 거푸집과 철근을 배치한 후 녹화기반용 지름 10cm 파이프 설치한다.

⑥ 거푸집 제거



○ 거푸집을 제거한다.

⑦ 뒤채움



○ 뒤채움은 현장내 유용토를 사용하고 돌덩어리나 순점토는 사용하지 않는다.

사진 2-2. 콘크리트생태옹벽 시공모습

라) 시공시 주의사항

- (1) 굴착시 소음 완화 및 분진 발생을 최소화할 수 있는 재료(부직포, 두꺼운 천 등)로 감싸는 등의 처리를 해야 할 것이다.
- (2) 시공 중 발생 가능한 부분 슬라이딩에 대비 판넬을 가거치 하여 시공 중 안전관리에 만전을 기해야 한다.

표 2-12. 각 공종별 인력투입 계획

명칭 및 공종	업무내용	인원수	비고
작업반장	책임업무의 지시 수행	1	
굴삭기 기사	굴삭기 운전	1	
철근공	콘크리트 생태옹벽 설치	4	
콘크리트생태옹벽 설치공	콘크리트 생태옹벽 타설 및 지반공사	4	
특별인부 및 보통인부		필요시	
공사담당직원	현장관리 및 업무 협조	2	

3) 콘크리트 생태옹벽 관리 계획

가) 기초 작업

- (1) 기초 굴착시 다량의 지하수 분포 및 유입 가능성이 확인되는 경우나, 설계 입력자료(토질정수)와 비교하여 허용지지력을 갖고 있지 않은 연약 지반이 분포하는 경우는, 배수 처리방안 및 기초 지반 보강 방안을 강구하여, 기초지반의 조건을 충족시킨 후, 기초를 설치해야 한다.
- (2) 기초를 과도하게 굴착하였을 경우, 설계도면에 명시된 위치와 높이까지 유해물이 없는 양질의 사질토를 30cm이하의 두께로 부설한 후, 다짐 장비를 이용하여 95%이상의 다짐이 되도록 균등하게 다져야 한다.

나) 절토

- (1) 생태옹벽을 구성하기 위한 기초 바닥까지, 토사의 안식각에 따라 경사면이 형성되도록 절토를 한다.
- (2) 원 지반을 최대한 보호하여야 하므로 과절토가 되지 않도록 유의한다.
- (3) 절토작업 중 점착력이 없는 모래 또는 실트지반이 나타나거나, 지반의 인장균열로 인하여 절토면 방향으로 지반의 변형이 발생되어 붕괴의 위험이 예상되면, 즉시 절토작업을 중단하고, 그 부분에 둔턱을 만들어 보강한 후, 상황을 해결하기 위한 대책을 강구해야한다.
- (4) 절토면 상부 후면을 수시로 관찰하여, 인장균열의 발생 여부 및 진행 여부를 파악해야 하고, 어떠한 경우라도 인장균열내로 물이 스며들지 않도록 해야 하며, 표면배수는 사면에 영향이 없도록 유도시켜야 한다.
- (5) 절토시 많은 양의 지하수가 유출되어 사면이 불안정 할 것 같으면, 유도로 설치 및 지하수위를 낮추는 방법들을 강구하여야 한다.

다) 기초 작업

- (1) 기초 굴착시 다량의 지하수 분포 및 유입 가능성이 확인되는 경우나, 설계 입력자료(토질정수)와 비교하여 허용지지력을 갖고 있지 않은 연약 지반이 분포하는 경우는, 배수 처리방안 및 기초 지반 보강 방안을 강구하여, 기초지반의 조건을 충족시킨 후, 기초를 설치해야 한다.
- (2) 기초를 과도하게 굴착하였을 경우, 설계도면에 명시된 위치와 높이까지 유해물이 없는 양질의 사질토를 30cm이하의 두께로 부설한 후, 다짐 장비를 이용하여 95%이상의 다짐이 되도록 균등하게 다져야 한다.

라) 뒤채움 및 다짐

- (1) 뒤채움 시 토사의 하중에 의해 긴장재가 휘어지지 않도록, 특히 주의해야 한다.
- (2) 과도한 다짐은 불필요한 수평력이 발생되므로 주의하여 다질 수 있도록 한다.
- (3) 적절한 함수비가 되도록 하며, 다량의 강우나 강설로 인하여 함수비가 과다할 것으로 예상된다면, 적절한 조치를 취한 후 다짐을 해야 한다.

표 2-13. 뒤채움 다짐방법

구 분	재 료	다 짐 장 비	다 짐 두 께	다 짐 도	비 고
뒤채움 토사	현장 유용토 (300mm이하 양질토)	굴삭기	75cm이하	85%이상	

3) 안전관리계획

가) 안전관리 지침

- (1) 공사 중 안전을 최우선으로 한다.
- (2) 노후한 장비는 투입을 금지한다.
- (3) 자재 운반 시 신호수를 항시 배치한다.
- (4) 현장 근로자에 대한 안전교육을 수시로 실시한다.
- (5) 현장에서는 항상 안전보호 장구를 착용토록 한다.
- (6) 현장관리자는 작업 중 사면붕괴 조짐 및 기타 위험 상황이 예견될 경우, 호루라기로 신호를 하여 작업인부가 신속히 대피할 수 있도록 한다.

나). 안전점검

- (1) 현장 내 유해 위험요소의 발견/시정을 위해 상시 안전점검을 실시한다.
- (2) 공정별 위험요소 파악으로 도출된 위험요소를 안전점검표에 반영하여 공정상 잠재된 위험요소를 효과적으로 발견/시정할 수 있도록 작성/활용하며, 안전관리자(안전담당자)에게 점검 및 점검표 작성의 기회를 부여, 현장 내 위험요소에 대해 인지하게 하고 효과적으로 위험요소를 제거한다.
- (3) 안전점검 중 미비사항에 대해 시정 조치토록 한다.
- (4) 산업재해 및 긴급상태 발생의 급박한 위험이 있는 경우에는 즉시 작업을 중단시키고, 작업자를 안전한 장소로 대피시키며, 필요한 조치를 취하도록 한다.

표 2-14. 현장 안전관리자의 역할

구 분	안전관리 책임자	안 전 관 리 자
역 할	<ul style="list-style-type: none"> - 현장안전관리 계획의 수립/시행 - 작업자 안전교육 실시 - 작업환경 점검 및 개선 - 안전장구 구입시 적격품 여부 확인 - 재해 원인 조사 및 보고 - 기타 유해/위험 예방 조치에 관한 사항 - 안전관계자의 지도, 조언에 대한 협조 	<ul style="list-style-type: none"> - 재해 원인 조사 및 재발 방지를 한 기술적 조언 - 안전에 관한 사항을 위반한 작업자 에 대한 조치 건의 - 작업복, 보호장구의 점검과 착용, 사용에 대한 교육지도 - 작업 개시전 위험요소 제거 및 위험 예지 훈련 실시 - 불안정한 작업방법 및 행동의 지도, 개선 - 기계, 기구 또는 설비의 안전 점검 및 이상 유무 확인 - 안전관리비 사용 내역서의 작성 유지

다) 해빙기, 우기, 월동기, 하절기, 연휴기간 등 안전관리 대책

당해 공사가 해빙기, 우기, 월동기의 기간 중에 있는 경우 각 경우에 대하여 안전 관리 대책을 수립한다.

(1) 월동기, 해빙기

- (가) 현장 내 미끄럼 장소/시설물에 대한 대책
- (나) 지반 침하로 인한 공사 자재 및 장비 관리 철저

(2) 우기, 하절기

- (가) 강우로 인한 절취사면 붕괴에 대한 대책
- (나) 강우시 공사 자재 및 장비 관리 철저
- (다) 작업자의 일사병에 대한 대책

(3) 연휴기간

- (가) 공기구, 자재 등을 적절한 위치에 보관하고 도난방지 철저
- (나) 비상연락망 정비 및 연휴기간 중 근무조 확인
- (다) 연휴 전, 후 안전 시설물 재점검 및 안전의식 재정립

4) 환경관리계획

가) 폐기물처리

(1) 시멘트 밀크(그라우트체)

(가) 폐 시멘트 밀크 집하장을 설치한다(뚝말 설치).

(나) 폐 시멘트 밀크 발생시 집하장으로 집하한다.

(다) 일정량이 되면 원도급자에게 보고 후, 재활용이 가능 시는 재활용하고, 폐기 처리 하여야 할 시에는 원주 공장으로 이송하여 일괄 처리한다.

(2) 폐유 및 폐유통(장비 운영시)

(가) 폐유 처리장을 설치하되, 누유 되지 않도록 한다(뚝말설치).

(나) 폐유 및 폐유통 발생시, 폐유처리장으로 수거후 보관한다.

(다) 일정량이 되면 원도급자에게 보고 후, 재활용이 가능 시는 재활용하고, 폐기 처리 하여야 할 시에는 원주 공장으로 이송하여 일괄 처리한다.

(라) 장비원 및 작업조 교육실시 및 감독을 철저히 하여, 현장 내에서 폐유가 무단 방출되지 않도록 한다.

(3) 일반 쓰레기

(가) 쓰레기 집하장을 설치한다(뚝말설치).

(나) 현장 전 구간에서 발생한 쓰레기를 집하장으로 집하한다(일정기간 쓰레기 정리 실시).

(다) 현장 내에서 쓰레기를 소각하지 않도록, 교육과 관리를 철저히 한다.

(4) 폐자재 처리

(가) 현장 내에서 발생한 폐자재는 자재 야적장에 야적 후 처리한다.

(나) 야적 량이 많을 시에는 원도급자에게 보고 후, 재활용이 가능 시는 재활용하고, 폐기 처리 하여야 할 시에는 진주시청과 협의하여 일괄 처리한다.

나) 현장환경관리

(1) 현장 자재 관리

현장 자재는 자재 품목별로 적재를 원칙으로 관리하고 사용 후 잔여 자재를 반드시 정리 정돈 한다. 그리고 미관상의 불편함을 일으키지 않도록 작업조 관리를 철저히 한다.

(2) 장비 관리

장비 OIL교환 후 발생하는 OIL 및 폐OIL통은 작업 구역별로 일정 지역에 잠시 수집 후, 현장화물 차량을 이용해 폐유 저장소로 운반해 일정량이 되면 지정업체에 위탁 처리토록 하고, 장비원들의 현장내 비산먼지 저감 및 폐유 무단 방출을 막도록, 적극적인 교육 및 단속을 강화한다.

(3) 현장 미관 관리

외부인이 보기에 미관상의 문제가 있는 작업 구역은 정리정돈을 원칙으로 하되, 작업 여건상 여의치 않을 때에는 방진망 등을 설치하여 2차적인 대책을 세우며, 현장 전 구간에 걸쳐 정기적으로 쓰레기 수거를 실시하여, 깨끗한 현장 만들기에 최선을 다한다.

(4) 현장 근로자 관리

현장 근로자들에게 환경관리의 중요성을 인식시킬 수 있도록 지속적으로 교육과 현장관리를 병행한다. 환경관리는 특정 직원 1~2명이 하는 것이 아니라, 근로자 전체가 일심동체가 되어 현장의 문제점을 찾아내고, 시정하고, 개선하여, 향후 작업시, 작업방법 개선 및 현장 장비와 인원 관리에 대해 적극적으로 대처하여, 현장 근로자 모두가 환경 관리자라는 의식을 가질 수 있도록 교육을 한다.

4. 현장토의 평가

가. 시험시공 후 문제점 검토

1) 생태옹벽의 붕괴원인

가) 기초지반 지지력 부족

팽창성 지반이나 붕괴성 지반에 구조물을 축조한 경우 기초지반이 연약하여 석축이나 옹벽자체가 침하기 생기는 경우가 있는데 충분한 사전조사와 기초지반 보강을 실시하여 해결할 수 있다.

나) 배수공의 부족 및 막힘

옹벽에 설치된 배수공이 부족하거나 막혀 공극수압으로 벽체에 작용하게 되어 과도한 토압이 발생하여 붕괴되므로 옹벽 시공시 규정된 배수공을 설치하고 배수공 위치에 필터를 설치하여 배수공이 막히는 것을 방지한다.

다) 뒷채움 부분에서의 상·하수도관의 파열로 인한 누수

상·하수도관의 파열로 인한 누수시 공극수압의 증가로 옹벽이 붕괴되므로 뒷채움 지표에 침투수가 작용하지 않게 하거나 옹벽 배면에 필터를 설치하여 배수공에 연결시켜 공극수압 증가를 막는다.

라) 뒷채움 재료의 불량 및 성토다짐 불량

뒷채움 흙은 배수가 잘되어야 하고 횡방향 토압이 적게 작용하는 사질토가 좋고 적절한 다짐을 실시하여 변형을 적게한다.

마) 시공불량에 따른 강도부족

콘크리트의 강도가 적은 것을 사용했을 때도 붕괴가 된다. 옹벽은 설계대로 시공이 안되어 단면이 적어졌거나, 철근 배근과 전단키의 시공불량으로 전도 및 활동파괴가 발생한다.

바) 콘크리트의 노후에 따른 강도부족

오래된 콘크리트는 결빙과 해빙이 반복됨으로서 콘크리트가 부식되어 강도가 부족함은 물론 견치돌이 빠지게 되어 부분파손이 확대되어 붕괴된다.

2) 생태옹벽의 안정성

일반적으로 옹벽은 수평으로 밀리거나 침하, 기울어짐에 따라 불안전의 요인들이 가속화되고 이에 따른 균열과 변형(배부름)현상의 발생으로 인해 붕괴를 야기할 수 있다. 이러한 불안전상태의 징후는 배면토(상부지반)의 침하 및 배수, 배수구멍의 막힘 등에서 나타나는 것이 일반적이다. 이러한 옹벽 구조물의 안전성을 평가, 분석함에 있어서 콘크리트 강도, 철근량, 철근간격, 피복두께, 단면치수 등의 파악은 중요한 요소이다. 콘크리트와 철근이 하나의복합체로서 구조물의 부재로 기능을 발휘하기 위해서는 다음과 같은 사항들이 요구된다.

가) 콘크리트 강도

콘크리트는 옹벽 구조물의 주된 재료로서 경제성, 안전성 및 내구성 등의 여러 가지 장점 때문에 그 사용이 날로 증가하고 있다. 그러나 콘크리트는 시멘트와 잔골재 및 굵은 골재로 만들어진 복합재료이기 때문에 골재의 관리상태, 배합 조건, 타설 및 양생 조건 등 여러 가지 요인에 따라 강도에 영향을 받는다. 따라서 콘크리트 구조물이 소요의 강도, 내구성, 수밀성 및 균일한 품질이 확보되었는지를 파악하는 것은 매우 중요하며, 일반적으로 콘크리트 구조물의 안전성 평가에 필수적인 요인으로 작용한다.

콘크리트 강도조사의 방법 중 반발경도시험은 콘크리트의 표면 경도를 측정하여, 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 판정하는 검사방법이다. 반발 경도법은 타격법 중 하나의 방법이며, 콘크리트의 표면을 해머로 타격하여 표면의 손상 정도나 반발 정도를 측정한다. 특히 반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 햄머(SchmidtHammer)법이 가장 널리 사용된다. 또한 초음파 속도법은 음향적 방법인 공진법과 음속법 중 음속법의 하나로서, 초음파속도 측정기를 이용하여 콘크리트를 투과하는 초음파 전파속도로부터 콘크리트의 강도 등을 간접적으로 파악할 수 있는 시험법이다.

2) 철근과 콘크리트 사이의 부착력

철근과 콘크리트는 상호 부착력에 의해서 외력에 저항하는 복합 구조물이다. 철근과 콘크리트 경계면의 부착력을 향상시키는 주요인자는 다음과 같다.

가) 철근의 표면상태

철근과 콘크리트의 부착은 마찰작용의 영향이 비교적 크다. 따라서 철근의 표면상태의 영향을 크게 받는다. 이형철근의 부착강도는 원형철근보다 훨씬 크다. 같은 이형철근이라도 직각마디의 이형철근이 경사마디의 이형철근보다 부착강도가 크다. 철근표면의 적당한 녹은 부착에 유리하다.

나) 콘크리트의 강도

부착강도는 다른 조건이 일정한 경우에는 콘크리트의 압축강도나 인장강도가 클수록 커진다. 그러나 부착강도가 압축강도에 비례해서 커지는 것은 아니다. 이형철근을 사용한 경우에는 철근둘레의 콘크리트에 철근에 평행한 종방향 균열이 발생하며, 이것이 부착파괴를 유발하는 경우가 많다. 이러한 경우에는 콘크리트의 인장강도가 부착을 좌우한다. 또 이형철근의 마디 근처의 콘크리트에는 내부균열이 발생한다. 그러므로 부착은 콘크리트의 인장강도와 밀접한 관계가 있다.

다) 철근의 묻힌 위치 및 방향

수평철근의 하면에는 콘크리트의 블리딩(bleeding)으로 인해서 수막이나 공극이 생기기 쉬우므로, 그 부착강도는 연직철근보다 작은 것이 보통이다. 같은 수평철근이라도 상부 철근의 부착강도는 하부 철근보다 작다.

라) 덮개

콘크리트 표면에서 철근 표면까지의 최소두께를 철근의 덮개라고 한다. 철근의 덮개가 부착강도에 크게 영향을 미친다. 부착강도를 제대로 발휘시키기 위해서는 충분한 두께의 콘크리트 덮개가 필요하다. 이형철근을 사용한 경우, 덮개 콘크리트의 할렬로 인해 부착 파괴를 유발하는 경우가 있다.

마) 다지기

콘크리트의 다지기가 불충분해도 부착강도가 저하한다.

바) 부착파괴형태(피복두께 부족시)

피복두께가 부족할 경우 철근길이 방향을 따라 부착응력 부족에 의한 할렬 균열이 발생할 수 있다.

3) 생태옹벽의 하자발생유형

가) 균열

콘크리트에 발생하는 균열이 구조물의 기능, 내구성 및 미관 등 사용 목적에 손상을 주는가에 대해 적절한 방법으로 검토하여야 한다.

(1) 벽체 수평균열

벽체에 발생하는 수평균열은 구조적인 균열로서, 벽체의 설계단면력이 부족하거나, 벽체 타설 후 콘크리트가 완전히 양생되기 전에 배면에 하중이 재하될 때 발생하기 쉽다.

(2) 벽체 수직균열

옹벽에 발생하는 가장 일반적인 균열로서, 대부분이 비구조적 균열이며 주로 콘크리트의 양생 과정에서 발생한다.

(가) 건조수축

(나) 수화열

(다) 시멘트 이상응결

나) 활동

옹벽의 기초판 아래면을 따라 활동을 일으키는 힘은 수평토압이고, 이에 저항하는 힘은 옹벽 기초판 밑면과 지지 지반사이에 생기는 전단 저항력과 옹벽 앞면에 작용하는 수동토압도 저항력으로 생각할 수 있다. 그러나 옹벽 앞면의 토사 두께가 얇을 때는 장기간에 걸쳐 수동토압에 의한 저항력에 확실성을 기대할 수 없으므로 이를 무시하는 경우가 대부분이다. 활동은 기초판의 폭이 벽체의 높이에 비해 짧은 경우 및 기초지반이 경사질 때 발생하기 쉬우며, 특히 역L형 옹벽의 경우 활동에 대한 저항력이 작으므로 유의해야 한다. 활동에 대한 안전율을 증가시키기 위하여 다음과 같은 방법들이 사용된다.

(1) 기초판의 길이를 증가시킨다.

(2) 기초에 말뚝을 박는다.

(3) 기초에 활동방지벽을 설치한다.

(4) 횡방향으로 앵커 설치를 검토한다.

(5) 기초판을 경사지게 한다.

(6) 기초의 근입깊이를 깊게 하여 옹벽 전면의 수동토압을 기대한다.

다) 전도

옹벽은 수평 토압등에 의한 회전모멘트와 벽체의 자중이나 연직토압 등에 의한 저항모멘트가 작용한다. 그러므로 옹벽의 전도는 기초판의 폭이 벽체의 높이에 비해 짧은 경우에 발생하기 쉽다. 특히, 우기시에는 함수비의 증가로 흙의 전단강도가 감소되고, 옹벽 배면의 토압이 증가하므로 배수공 관리를 철저히 해야 한다.

5. 생태옹벽의 기능평가

가. 생태옹벽의 기능 평가

옹벽(Retaining wall)은 흙막기 또는 흙쌓기에 있어서 흙의 붕괴를 막고, 토압에 저항하여 이를 지지하고 안정을 유지한다. 또한 자연사면을 안정하게 유지할 수 없는 경우나 지표면이 급경사 또는 수직으로 큰 단차를 이루는 경우에 흙, 또는 기타 재료의 안정성을 확보하기 위해 이용되는 토목 구조물이다. 일반적으로 옹벽은 공사의 안정성, 경제성, 시공성, 용지의 절약 등에서 안정 경사도보다 급한 경사도로 절토 및 성토할 필요가 있는 경우에 만들어지고 있다.

특히, 도심지에 성토에 의한 도로공사의 경우 옹벽을 만들어 도로의 점유폭이 적어지고, 용지 및 가옥의 보상비가 대폭으로 절약된다. 성토에 의한 택지 조성의 경우는 옹벽 시공에 의하여 토지를 효율적으로 이용하여 보다 많은 택지를 조성할 수 있는 장점이 있다.

생태옹벽의 기능은 구조적 안정성, 시공성, 경제성, 장애의 유지관리성, 주변환경에 대한 적합성 및 경관성 측면에서 세부적인 기능들을 종합적으로 검토하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 연구목적상 모든 세부기능을 평가하는 대신 생태옹벽이라는 특수한 명칭에 근거하여 실무적 차원에서 환경적 및 공익적 관점에서 토사붕괴방지, 대기오염 및 탄소저감, 경관보전 및 소음차단 기능으로 구분하여 표 2-15와 같이 제시하였다.

표 2-15. 생태옹벽의 기능분류

기능	내용
토사붕괴방지	유수의 침식에 대한 저항력을 크게 하여 표토의 유출 방지와 지반의 안정성을 높혀 주고, 낙석 및 산사태 방지
대기오염 및 탄소저감	식물들에 의하여 분진, 분무, 가스, 방사선에 의하여 초래되는 유해 대기오염 완화 및 이산화탄소 저감을 유도
경관보전	옹벽녹화에 의한 도시미관 및 풍치증진을 통하여 경관보전 기능을 높이고, 교통로의 보전과 교통의 안전에 기여
소음차단	생태옹벽에서 자라는 초본 및 목본성 식물은 소음진압능력이 높으므로 교통시설 및 공장에 의한 소음을 절반 이하로 축소

1) 토사붕괴 방지 기능

토사붕괴 방지 기능은 옹벽이 설치된 지점의 입지와 보전 영역내의 토양의 침식에 의한 토사유출을 방지하고, 낙석 및 산사태로 부터 보호한다. 흙막기 또는 흙쌓기에 있어서 흙의 붕괴를 막고, 토압에 저항하여 이를 지지하고 안정을 유지한다. 또한 유수의 침식에 대한 저항력을 크게 하여 자연사면을 안정하게 유지할 수 있도록 하여 지반의 안정성을 높혀 주게 된다.

2) 대기오염 및 탄소저감 기능

대기오염 방지기능은 생태옹벽에서 개발된 식생녹화 방법에 의하여 자라고 있는 식물들에 의하여 분진, 분무, 가스, 방사선에 의하여 초래되는 유해 공기오염을 유해 미립자의 침강, 여과 흡수에 의해 완화시켜 공기의 질을 개선하게 된다. 또한, 옹벽내 자라는 식물로 토양내 이산화탄소를 저감시켜 대기중의 오존층의 파괴를 방지할 수 있다. 특히, 도시 주변에 가스형태의 공기오염인 경우에는 공기층의 급속한 혼합을 통하여 대기오염 정화 및 옹벽의 식생을 통하여 이산화탄소 저감효과를 높이는 것도 중요하다.

3) 경관보전 기능

현행 콘크리트 옹벽은 안정성 측면에서 우수하나 주변경관과 조화를 이루지 못하고 있다. 친환경 생태옹벽은 사면보호와 옹벽녹화의 기능을 동시에 가지고 있으므로 도시의 미관증진과 경관 기능을 향상시킬 수 있다. 이러한 경관보전 기능은 콘크리트 구조물의 노출로 풍치를 해치는 대상물에 대하여 시계로 부터 차폐시키는 것을 목적으로 하고 있다. 또한, 풍치배양의 개선에 의해서 경관보전 기능을 높이고, 시각적으로는 운전감각을 개선시켜 교통로의 보전과 교통의 안전에 기여하게 된다.

4) 소음차단 기능

소음보전 기능은 교통시설 및 공장에 의한 소음을 생태옹벽의 설치로 완화 시킬 수 있다. 콘크리트 구조물로 노출되어 있는 것 보다 식물로 덮혀 있는 생태옹벽은 소음을 차단할 수 있다. 수직으로 울폐한 상록침엽수림은 연중 소음차단 효과를 발휘한다. 생태옹벽에서 자라는 초본 및 목본성 식물은 소음원으로서의 음향반사 기능이 있으므로 소음진압능력이 높으므로 교통시설 및 공장에 의한 소음을 절반 이하로 축소시킬 수 있도록 초본 및 목본식물을 혼식하여 하층목이 밀생할 수 있도록 유지관리 하는 것이 필요하다.

6. 생태옹벽의 안전점검

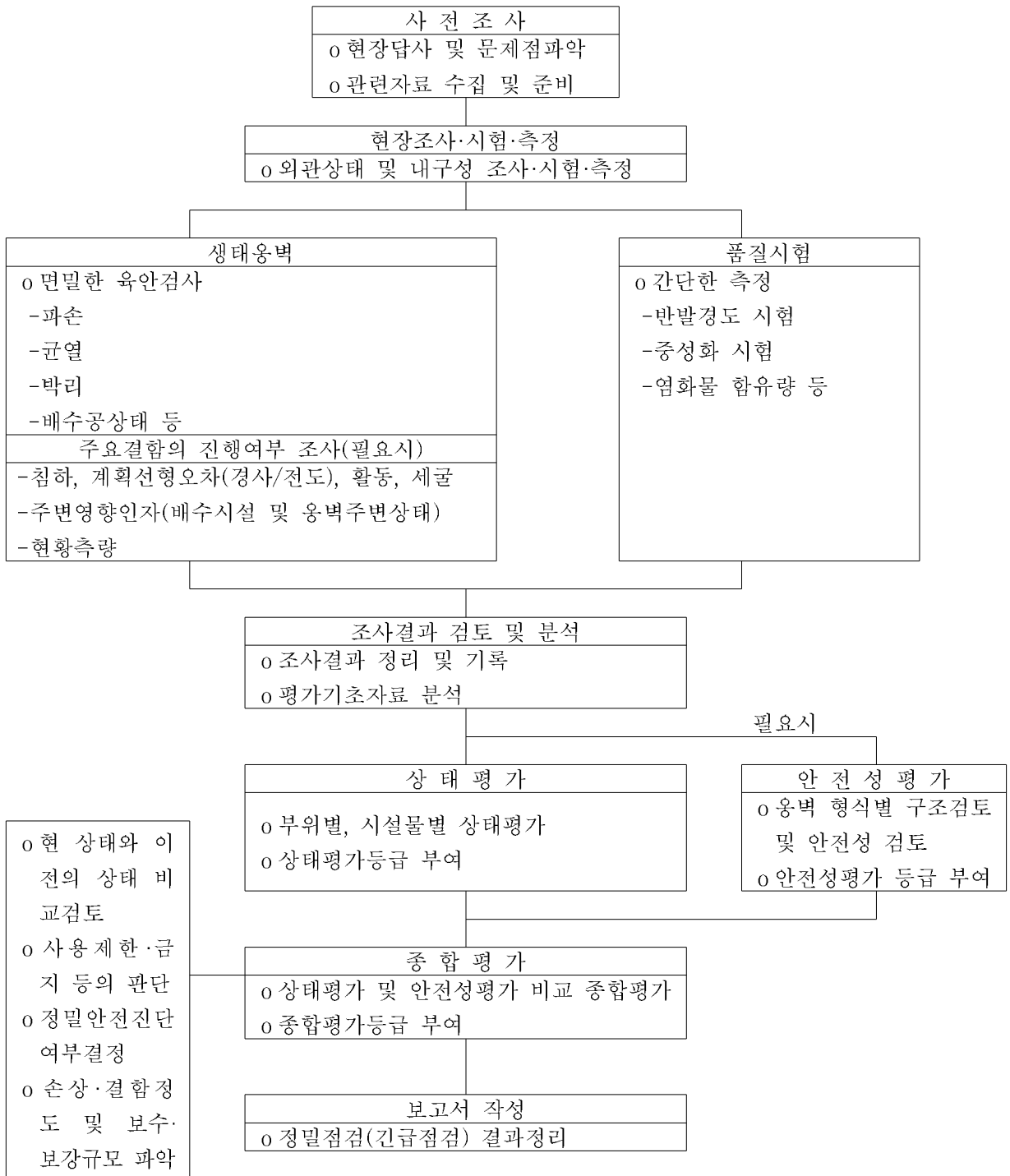


그림 2-5. 생태옹벽의 점검개념도

생태옹벽의 점검 개념은 그림 2-5에서 보는 바와 같이 조사 계획부터 구조물 상태등급에 따른 조치까지의 흐름을 보여주며 있다. 특히 정성적인 관찰에 기초하여 정량적인 평가방법을 제안하며, 이 평가표를 중심으로 옹벽관리자들이 손쉽게 평가할 수 있기를 기대

한다.

안전점검은 일반적으로 사전조사, 현장 준비, 그리고 안전 점검의 순으로 시행하게 된다. 사전조사에서는 공사 시공도나 설계도 등을 획득하고 현장 준비를 통해 실제 안전점검을 하게 된다. 또한 대상 시설물의 손상 및 노후상태를 점검하는 단계이며 조사는 준비한 스케치 도면에 전체가 포함되도록 외관상태를 기록한다. 변형이나 균열, 열화 등 손상 부위에 대한 시험과 측정은 필요에 따라 상응하는 장비와 기구를 사용한다. 육안 조사 및 정밀외관조사(측정기계를 통한 조사)는 표 2-16과 같이 조사한다.

표 2-16. 콘크리트 생태옹벽의 안전점검 방법 및 내용

옹벽형식	점검방법	점검사항	점검장비
콘크리트 생태옹벽	면밀한 육안검사	<ul style="list-style-type: none"> - 전면부의 주요결함 · 파손 및 손상, 균열 · 누수, 층분리 및 박락, 백태 · 철근노출 · 배수공상태 - 주변영향인자(배수시설 및 옹벽주변상태) - 기초부의 세굴 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 망원경 - 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 손전등 - 슈미트헤머 - 균열경 및 균열측정기 - 측량기 또는 진행성결함 항목 측정에 필요한 장비
	간단한 측정	<ul style="list-style-type: none"> · 현황측량 · 반발경도법에 의한 강도조사 · 중성화 시험 · 염화물 시험 · 침하, 활동, 계획선형오차(전도/경사) 등 	

콘크리트 생태옹벽의 안전점검 방법 및 내용중 침하, 활동과 전도에 대한 사항은 기준점을 정하여 장기간의 측정을 필요로 하지만 현실적으로 과도한 침하, 활동 또는 전도가 발생하였을 경우 곧바로 보수·보강을 하여야 한다.

가. 생태옹벽의 안정성 평가

옹벽의 안전성 평가에는 시공직후의 본래 상태를 알 수가 없기 때문에 옹벽의 변형에 대한 절대적인 값을 제시하는 데에는 문제가 있으므로 시공이음(construction joint)을 경계로 하여 전체 옹벽을 다수의 개별 옹벽으로 분리하여 이웃하는 옹벽간 이격상태, 즉, 상대침하, 상대 경사/전도, 상대 활동량을 측정하여 옹벽의 침하상태, 경사/전도 상태, 활동 상태에 대한 상대평가를 하는 것이 필요하다.

따라서 상태평가의 기준은 외적인 안정성과 내적인 안정성을 구분하고, 외적인 안정성 평가는 침하의 상대평가, 기초부 세굴의 상태평가, 경사 및 전도의 상태평가, 활동의 상태평가, 배수관의 상태평가를 기준으로 하였다. 내적인 안정성 평가는 파손의 상태평가, 균열의 상태평가, 마모 및 침식의 상태평가를 중심으로 제안하였다.

특히, 각 항목별 상태평가의 기준 및 항목별 점수는 표 2-17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24에 따라 구하고, 또한 표 2-25의 각 항목에 대한 영향계수를 곱하여 종합 평가점수를 구한다. 평가된 종합 점수가 클수록 옹벽의 상태가 양호한 상태로 판정되며, 종합점수에 근거한 옹벽의 상태 및 보수·보강 필요성 유무는 표 2-26과 같다.

표 2-17. 침하의 상태 평가

상태 등급	평가 점수	최대 상대침하량	상태
아주양호	5	1cm 미만	침하가 발생되지 않은 상태
양호	4	1cm 이상 ~ 2cm 미만	부분적으로 경미한 침하가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
보통	3	2cm 이상 ~ 5cm 미만	침하의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
불량	2	5cm 이상 ~ 10cm 미만	침하의 정도가 심각하여 옹벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
아주불량	1	10cm 이상	침하의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실한 위험한 상태

표 2-18. 기초부 세굴 상태 평가

상태 등급	평가 점수	세굴의 최대 깊이	상태
아주양호	5	10cm 미만	세굴이 없는 상태
양호	4	10cm 이상 ~ 30cm 미만	세굴이 경미하게 발생된 상태
보통	3	30cm 이상 ~ 50cm 미만	세굴이 다소 심하게 발생된 상태
불량	2	50cm 이상 ~ 70cm 미만	세굴이 심하여 옹벽 하단부가 크게 들어나고 기초 사석이 교란되어 구조적인 안정에 영향을 미칠 수 있는 상태
아주불량	1	70cm 이상	세굴이 아주 심하여 옹벽의 안정이 심각하게 위험하다고 있는 상태

표 2-19. 경사/전도의 상태 평가

상태 등급	평가 점수	최대 상대기울기(%)	상태
아주양호	5	1% 미만	경사/전도가 발생되지 않은 상태
양호	4	1% 이상 ~ 2% 미만	부분적으로 경미한 경사 천도가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
보통	3	2% 이상 ~ 3% 미만	경사/전도의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
불량	2	3% 이상 ~ 4% 미만	경사/전도의 정도가 심각하여 옹벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
아주불량	1	4% 이상	경사/전도의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실한 위험한 상태

표 2-20. 활동의 상태 평가

상태 등급	평가 점수	최대 상대활동	상태
아주양호	5	1cm 미만	활동이 발생되지 않은 상태
양호	4	1cm 이상 ~ 2cm 미만	부분적으로 경미한 활동이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
보통	3	2cm 이상 ~ 5cm 미만	활동의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
불량	2	5cm 이상 ~ 10cm 미만	활동의 정도가 심각하여 옹벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
아주불량	1	10cm 이상	활동의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실한 위험한 상태

표 2-21. 파손의 상태 평가

상태 등급	평가 점수	상태
아주양호	5	건전한 상태
양호	4	양호한 상태
보통	3	국부적인 파손
불량	2	구조물의 사용성에 영향을 미치는 심각한 정도의 파손
아주불량	1	구조물의 기능성과 사용성에 위험을 초래하여 긴급한 보수가 요구될 정도의 대규모 파손

표 2-22. 균열의 상태평가

상태 등급	평가 점수	상태
아주양호	5	건전한 상태
양호	4	경미한 상태의 과응력 균열, 부식 균열 및 일반 균열
보통	3	과응력 균열, 부식 균열 및 일반 균열이 다소 심한 상태
불량	2	전반적으로 균열이 심하게 발생하여 보수가 요구되는 상태
아주불량	1	대규모 관통 균열의 발생으로 구조물의 기능성에 영향을 초래하여 우선적인 보수가 요구되는 상태

표 2-23. 마모 및 침식의 상태평가

상태 등급	평가 점수	상태
아주양호	5	마모/침식된 부위가 없음(건전한 상태)
양호	4	마모/침식이 경미한 상태
보통	3	마모/침식이 다소 심한 상태
불량	2	마모/침식이 심한 상태
아주불량	1	마모/침식이 매우 심각한 상태

표 2-24. 배수관의 상태평가

상태 등급	평가 점수	상태
아주양호	5	배수관 내부가 우천시마다 맑은 물이 흘러서 깨끗한 상태
양호	4	배수관 내부가 우천시마다 세립토가 섞여서 배수된 흔적이 있는 상태
보통	3	배수관 내부가 우천시마다 조립토가 섞여서 배수된 흔적이 있는 상태
불량	2	배수관 내부에 전혀 배수된 흔적이 없고 거미줄이나 기타 이물질(담배 꽂초 등)이 있는 상태
아주불량	1	배수관을 전혀 설치하지 않은 경우

표 2-25. 각 항목별 영향계수와 평가점수

조사항목		등급별 최고점수	영향계수	평가점수
외적 안정성	세굴	5	3	15
	침하	5	3	15
	경사/전도	5	3	15
	활동	5	3	15
	배수관의 상태	5	2	10
내적 안정성	파손	5	2	10
	균열	5	2	10
	마모/침식	5	2	10

표 2-26에서 보면 각 항목별 평가에서 얻어진 점수에 영향계수를 곱하여 생태옹벽에 대한 안정성을 평가하게 된다. 생태옹벽에 대한 안정성 평가기준은 점수에 따라 아주양호, 양호, 보통, 불량 및 아주불량의 5등급으로 구분하고 보수 및 보강할 수 있도록 제시하였다.

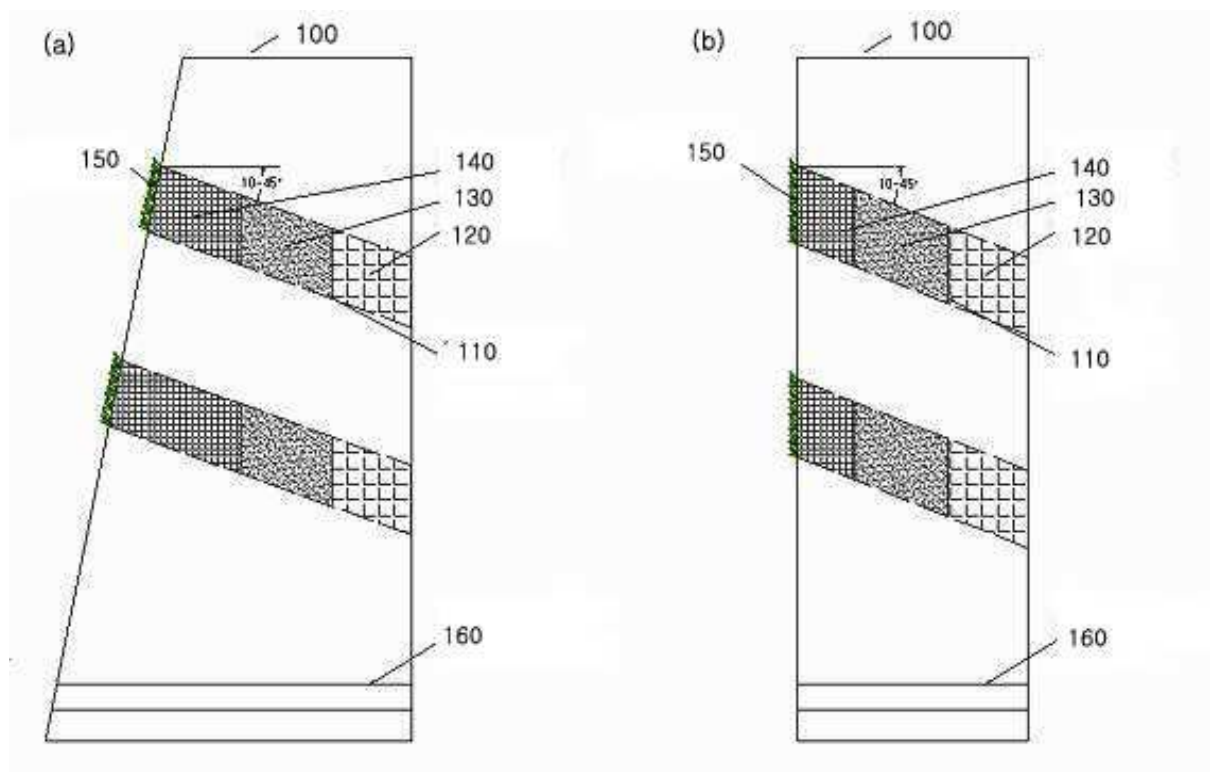
표 2-26. 전체적인 옹벽의 안정성 검토평가 점수

평가점수	상태	보수·보강
>90	아주양호	정밀안전진단, 보수·보강 불필요
70~90 미만	양호	보수·보강 불필요
50~70 미만	보통	주요 옹벽시 정밀안전진단 필요
30~50 미만	불량	정밀안전진단 후 보수·보강 결정
0~30 미만	아주불량	즉시 보수·보강 필요

7. 콘크리트 생태옹벽 설계 및 시공 매뉴얼

가. 생태옹벽의 구조 및 녹화작업

본 연구에서 개발한 생태옹벽은 옹벽 시공시 옹벽 본체의 외부와 내부를 관통하여 경사 방향으로 식생홀을 형성하고, 상기 식생홀 내에는 녹화공간을 확보하도록 저부에서부터 순차적으로 흡수층, 토양층 및 식생필터 수납층을 형성하고, 상기 식생필터 수납층 내부에는 식생필터를 수납시켜 옹벽을 녹화하는 것을 특징으로 한다.



*도면의 주요 부위에 대한 간단한 설명 :

100 : 옹벽, 110 : 식생홀, 120 : 흡수층, 130 : 토양층, 140 : 식생필터수납층

140' : 식생필터, 150 : 녹화식물, 160 : 옹벽(100) 배면의 물빼기 구멍

그림 2-6. 콘크리트 생태옹벽의 모식도

그림 2-6은 콘크리트 옹벽에 식물(150)이 자라는 생태옹벽(100)을 도시하였다.

생태옹벽의 식생홀은 옹벽 시공시 옹벽 본체(100)의 외부와 내부를 관통하여 경사 방향으로 형성하게 된다. 구체적으로는 옹벽 시공 시 거푸집을 치고, 거푸집 내부에 식물로 옹벽면의 녹화를 원활하게 수행할 목적으로 5-45°정도의 일정한 경사를 주어 PVC관이나 속이 빈 파이프 및 철재 등을 넣어 녹화공간을 만들게 된다. 이때 문양 거푸집을 이용하

면 옹벽 앞면에 문양을 넣어 미관을 증진시킬 수 있고, 또한 문양을 따라 물의 흐름 통로를 자연적으로 확보할 수 있다.

녹화 공간을 확보하기 위해 사용하는 PVC 관이나 속이 빈 파이프 및 철재는 사면안정을 위한 사면특성이나 옹벽의 높이 및 길이에 따라, 혹은 현장 여건에 따라 조절이 가능한 것이다. 따라서 모양 및 구멍의 크기를 필요에 따라 다양하게 형성할 수 있으며, 형상은 사용하는 PVC관이나 사용되는 재료 및 종류에 따라 다를 수 있으나 미관을 고려하여 원형, 사각형 및 마름모형 등 다양하게 형성할 수 있다. 예를 들어 PVC관을 이용하여 식재구멍을 만들 경우에는 원형으로 형성하는 것이 작업에 편의를 제공할 수 있다. 식생홀(110)내의 구멍의 크기는 옹벽의 크기 및 두께에 따라 다양하게 할 수 있으나 5 - 20cm 정도로 하여 녹화공간을 만들면 될 것이다.

생태옹벽의 녹화작업 과정은 식생홀(110)내 저부로부터 순차적으로 흡수층(120), 토양층(130) 및 식생필터 수납층(140)을 형성하고, 식생필터 수납층(140)에는 식생필터(140')를 삽입한다. 이때 흡수포(120)으로는 함수율과 보수율이 높은 흡착포를 사용하고, 옹벽의 두께에 따라 식생홀(110) 저부에 10-30cm 깊이로 충전하는 것이 바람직한데, 이는 상기 범위내에서 식생홀(110)내부에 물을 충분히 흡수하는 작용을 수행할 수 있기 때문이다. 또한, 상기 토양층(130)은 공사현장에서 채취한 토양 또는 필요에 따라 특수하게 조제된 토양을 상기 흡수층(120) 상부에 충전하는 것으로, 이때 충전량은 식생필터(140')를 충전할 수 있도록 식생필터 수납층(140)을 형성할 공간을 남길 정도이면 충분하다.

특히, 식생홀(110)은 옹벽의 두께 및 높이에 따라 다양하므로 적절한 단면 규격을 갖는 식생필터 수납층(140)을 구비하여 현장에서 시공된 식생홀(110)에 식생필터(140')를 통하여 간단하게 녹화작업을 종료할 수는 특징을 갖는다.

이뿐 아니라, 상기 식생필터 수납층(140)내 식생필터(140')는 식생홀(110)의 직경은 5 - 20cm, 길이는 10 - 20cm 정도의 크기로 제작하여 수납하고, 토양층(130)과의 사이에 틈이 발생할 경우 벌어진 틈새만큼 토양을 이용하여 틈을 메워 주는 것이 수분공급과 뿌리 발육을 감안해볼 때 보다 바람직하다.

생태옹벽은 녹화 공간을 형성한 다음 상기 녹화 공간 내부에 식생필터 수납층(140)내 식생필터(140')와 토양층(130)내 토양, 및 흡수층(120)내 흡수포가 서로 일체적으로 연결된 상태를 유지하면 초본 및 목본의 식물들이 발아 및 조기 활착에 효과적이고, 생육에 따라 뿌리가 잘 내려 옹벽면의 녹화를 장기적으로 보장할 수 있다. 특히, 식생필터(140')내 종자는 옹벽의 앞면이나 배면에서 수분이 공급되면 뿌리의 착근이 용이하게 되어 발아가 쉽게 되면서 녹화가 진행된다.

또한, 일단 녹화되면, 식물이 무성히 자라날수록 자체에 지속적인 수분 저장기능이 증가되어 인위적으로 물을 공급하지 않더라도 옹벽의 전면이나 배면에서 흘러 들어오는 주기적인 자연 강우만으로도 충분히 자생할 수 있는 장점을 갖는다.

생태옹벽은 시공단계, 식재단계 및 식생필터 수납단계를 거쳐 만들어 진다. 단계별 내

용은 다음과 같다.

시공단계 :

먼저 옹벽 시공시 거푸집을 치고, 거푸집 내부에 5 - 45° 정도의 일정한 경사를 주어 PVC로된 원형 관 또는 속이 빈 사각모양의 관이나 파이프를 넣어 녹화공간으로서 식생홀(110)을 다수 개 만든다.

식재단계 :

시공단계에서 옹벽의 시공이 끝난 다음, PVC관 내부의 식생홀(110)내 저부에 흡수층(120)으로서 물을 흡수할 수 있는 흡착포를 옹벽의 두께에 따라 10cm, 20cm 혹은 30cm 정도로 충전한다.

그런 다음 상기 토양층(130) 상에 양질의 토사 또는 조제된 특수 토양을 넣어주면서 녹화기반을 형성하고, 식생필터(140')를 수납할 식생필터 수납층(140) 형성공간만큼만 남겨 둔다.

식생필터 수납 :

식재단계에서 식생홀(110)중 남은 공간은 식생필터수납층(140)으로, 상기 식생필터수납층(140)내에서 수납할 식생필터(140')로서 길이 10cm, 15cm, 20cm, 25cm 혹은 30cm 정도의 황마마대나 코코야네트 재료를 이용하고 내부에 종자, 흙, 비료 등을 함께 넣어 제조한 식생필터(140')를 삽입함으로써 맞춤형 녹화작업을 마무리 할 수 있다.

가) 기초 작업

- (1) 기초 굴착시 다량의 지하수 분포 및 유입 가능성이 확인되는 경우나, 설계 입력자료(토질정수)와 비교하여 허용지지력을 갖고 있지 않은 연약 지반이 분포하는 경우는, 배수 처리방안 및 기초 지반 보강 방안을 강구하여, 기초지반의 조건을 충족시킨 후, 기초를 설치해야 한다.
- (2) 기초를 과도하게 굴착하였을 경우, 설계도면에 명시된 위치와 높이까지 유해물이 없는 양질의 사질토를 30cm이하의 두께로 부설한 후, 다짐 장비를 이용하여 95%이상의 다짐이 되도록 균등하게 다져야 한다.

나) 절토

- (1) 생태옹벽을 구성하기 위한 기초 바닥까지, 토사의 안식각에 따라 경사면이 형성되도록 절토를 한다.
- (2) 원 지반을 최대한 보호하여야 하므로 과절토가 되지 않도록 유의한다.
- (3) 절토작업 중 점착력이 없는 모래 또는 실트지반이 나타나거나, 지반의 인정

균열로 인하여 절토면 방향으로 지반의 변형이 발생되어 붕괴의 위험이 예상되면, 즉시 절토작업을 중단하고, 그 부분에 둔턱을 만들어 보강한 수, 상황을 해결하기 위한 대책을 강구해야한다.

- (4) 절토면 상부 후면을 수시로 관찰하여, 인장균열의 발생 여부 및 진행 여부를 파악해야 하고, 어떠한 경우라도 인장균열내로 물이 스며들지 않도록 해야 하며, 표면배수는 사면에 영향이 없도록 유도시켜야 한다.
- (5) 절토시 많은 양의 지하수가 유출되어 사면이 불안정 할 것 같으며, 유도로 설치 및 지하수위를 낮추는 방법들을 강구하여야 한다.

라) 뒤채움 및 다짐

- (1) 뒤채움 시 토사의 하중에 의해 긴장재가 휘어지지 않도록, 특히 주의해야 한다.
- (2) 과도한 다짐은 불필요한 수평력이 발생되므로 주의하여 다질 수 있도록 한다.
- (3) 적정한 함수비가 되도록 하며, 다량의 강우나 강설로 인하여 함수비가 과다 할 것으로 예상된다면, 적절한 조치를 취한 후 다짐을 해야 한다.

2) 생태옹벽 시공시 주요 확인사항

옹벽 구조물은 설계조건이 만족되어야 그 기능을 발휘할 수 있으며, 특히 흙과 콘크리트 시공이 양부(良否)가 구조물의 안전성을 좌우하므로 설계조건을 지켜 시공하는 것이 중요하다. 생태옹벽 시공시 주요 확인사항은 다음과 같다.

(1) 기초공

지반이 느슨하게 되지 않도록 과대한 굴착을 피해야 하며, 지반면에서 배수에 주의하고 지하수나 용출수가 없도록 해야 한다. 기초지반이 암반인 경우는 흙과 모래를 적당히 배합하고, 콘크리트 타설 전에 뜯돌을 제거한다. 암반의 표면을 깨끗이 닦아낸 후 그 위에 밀판을 직접 시공하든가, 표면의 끝손질 상태에 따라 콘크리트나 모르타르를 바른 후 밀판을 시공한다. 암반이 없는 경우에는 굴착면위에 깬돌이나 쇄석 등을 부설하여 충분히 다진 후 콘크리트를 치고 그 위에 밀판을 시공하는 것이 좋다. 밀판위에 활동방지벽을 설치할 경우에는 깬돌이나 쇄석 등으로 처리된층 속을 관통하여 충분히 지지지반으로 관입 되도록 해야한다.

표 2-27. 생태옹벽 기초공 체크 항목

검사항목	검사결과		조치사항
	YES	NO	
주위환경과 비교하여 설치위치가 적정한가?			
옹벽의 규격 및 폭, 연장은 정확한지 측량검측결과를 확인하였는가?			
터파기의 폭 및 깊이는 적정하며 잡석은 잘다져져 있는지 확인하였는가?			
콘크리트의 재료상태 및 배합은 설계와 일치하는가?			
철근의 오물 및 녹등은 제거되었는가?			
철근의 치수, 간격 및 상하부 철근의 유효고는 설계서대로 설치되었는가?			
거푸집 설치상태는 양호한가?			
콘크리트 타설 및 다짐작업시 거푸집이 밀리거나 벌어지지 않도록 견고히 설치 되었는가?			
활동방지벽(Shear Key)을 설치할 경우 활동방지벽과 저판을 일체로 시공하는가?			

(2) 구체

반중력식 옹벽이나 역T형 옹벽은 밑판과 벽체부 등이 일체가 되도록 콘크리트를 타설하는 것이 바람직하다. 중력식이나 반중력식 옹벽은 수평시공이음을 할 때 장부(凹凸)나 홈을 만드는 경우에 따라서 철근 등을 박아 콘크리트층 사이를 밀착시킬 필요가 있다.

표 2-28. 생태옹벽 구체 체크 항목

검사항목	검사결과		조치사항
	YES	NO	
옹벽은 전도, 활동, 지지력에 안전하게 설계되었는지 사전 검토하였는가?			
콘크리트 타설순서 및 타설계획을 수립하였는가?			
콘크리트 재료상태 및 배합은 적절한가?			
철근의 오물 및 녹은 제거되었는가?			
철근의 치수, 간격 및 배력철근 수량은 설계도대로 설치되었는가?			
거푸집은 구조물 규격과 일치하도록 설치되었으며 청결상태 및 박리제 도포상태는 양호한가?			
거푸집 설치시 콘크리트면 미관저해 요인은 없는가?			
철근덮개는 바르게 시공되었는가? (노출면 3cm이상, 흠에 접하는 면 5cm이상)			
콘크리트 타설시 진동기 수와 인원은 적절하며 적정간격으로 바르게 진동을 주고 있는가?			
벽의 노출면은 1:0.02의 경사를 가지도록 시공하는가?			
배수공의 설치위치와 수량은 적절하며 배수공 주위재료는 배수효과가 큰 재료를 사용하는가?			
초기양생 방법과 충격방지는 적절한가?			
거푸집 및 동바리 해체시기는 적절한가?			
선형이 맞게 시공되었는가?			

(3) 콘크리트 이음

표 2-29. 생태옹벽 이음 체크 항목

검사항목	검사결과		조치사항
	YES	NO	
시공이음은 될 수 있는대로 전단력이 적은 위치에두고, 부재의 압축력을 받는 방향과 직각되게 하고 있는가?			
굳은 콘크리트에 새 콘크리트를 쳐서 이어나갈 경우 굳은 콘크리트 표면의 레이턴스, 품질이 나쁜 콘크리트, 팍 붙지 않은 골재알 등을 충분히 제거하고 있는가?			
수평 시공이음이 거푸집에 접하는 선은 될 수 있는 대로 수평한 직선이 되도록 주의하고 있는가?			
역방향치기 콘크리트의 시공시에는 콘크리트의 침하를 고려하여 시공이음이 일체가 되도록 콘크리트의 재료, 배합 및 시공방법을 선정하였는가?			
수축이음은 철근을 절단하지 않으며 설치깊이 및 설치간격은 시방기준에 적절한가?			
신축이음에서는 구조물이 서로 접하는 양부를 절연시켜 시공하며 설치두께, 재료 및 설치간격은 적절한가?			

나) 콘크리트 생태옹벽 세부시공 절차

(1) 토공 및 대지경계선의 측량확인

법면 절취 작업이 이루어지는 시작선과 대지경계선에 대해 현장에서 광파기를 이용한 측량을 선행하여야 할 것이다. 이를 통해 주변인접대지의 침범 없이 작업장 내에서 토공 작업이 수행된다.

(2) 콘크리트 생태옹벽 선형 확인 및 측량

설계 도서를 참고로 하여, 현장에서 콘크리트생태옹벽 선형에 대한 확인측량을 수행하여야 한다. 선형에 대한 확인 측량을 통해 설계 시 반영되지 않았을 수 있는 현장 상황을 반영하여 시공이 용이하도록 하여야 할 것이다.

(3) 철근야적장 및 작업공간확보

콘크리트생태옹벽 시공에 사용되는 자재 Earthbolt 및 기초 Micropile용 D32 철근 등의 야적장을 확보하여야 한다. 야적장은 장비의 진출입, 자재의 적하가 가능하도록 최소 20 m × 10m의 공간을 확보하여야 한다.

(4) 장비의 확보 및 대기

콘크리트생태옹벽 시공에 사용되는 장비 Backhoe, Crawler Drill, Grouting Equipment 등을 확보하고 대기하여야 한다.

(5) 용수 및 전기

콘크리트생태옹벽에 필요한 용수는 현장 내에서 제공되어야 하며, Grouting시에 요구되는 용수의 양은 공당 약 50kg이다. 전기는 자체 발전기를 이용하므로 필요하지 않다.

(6) 콘크리트 생태옹벽 배면 및 기초 터파기

콘크리트생태옹벽 배면 터파기는 토공회사와 협의하며 이루어져야 한다. 토사 또는 리핑암의 경우 H=2.0m씩 단계별 굴착을 하여야 하며, 발파암의 경우 NPS발파 등을 이용하여 지반내 진동의 영향을 최소화 하여야 한다.

(7) 자재반입

모든 자재 반입은 사전승인 받은 자재만 사용함을 원칙으로 하고 작업 1~2주전에 현장에 반입하여 검수를 받도록 요청한다. 또한, 지급자재는 수량 및 기간 등을 기록한 자재요청서를 작성하여 사전에 승인 받도록 한다.

(8) 안전교육실시

콘크리트생태옹벽 시공시 발생될 수 있는 위험 요소와 그 대처방안 등에 대해 충분한 현장 교육이 수행되어야 한다. 또한, 건설현장에서 발생될 수 있는 여러 제반 위험요소와 대처방안 및 안전우선주의에 대한 정신교육을 수행하도록 한다.

3) 콘크리트 생태옹벽 시공

콘크리트생태옹벽의 일반적인 공정은 다음과 같다. 소단폭 등에 따라 일부공정의 침식이 있을 수 있다.

① 배면 굴착



○ 계획된 콘크리트생태옹벽 Line에 배면작업공간을 감안하여 일반적으로 30cm 굴착을 한다.

② 기초지반 및 바닥타설



○ 기초지반 타설을 실시한다.

③ 용벽 거푸집 설치



○ 기초지반 거푸집 제거 후 다시 본 지반 거푸집 및 철근을 설계도를 참고하여 설치한다.

④ 용벽 파이프설치



○ 거푸집과 철근을 배치한 후 녹화기반용 지름 10cm 파이프 설치한다.

⑤ 거푸집 제거



- 거푸집을 제거 한다.

⑥ 뒤채움



- 뒤채움은 현장내 유용토를 사용하고 돌덩어리나 순점토는 사용하지 않는다.

사진 2-3. 콘크리트 생태옹벽 본 시공 모습

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 세부과제 : 맞춤형 생태옹벽의 기술개발

가. 옹벽의 종류별 특성 및 안정성 평가(달성도 100%)

옹벽은 지형, 지반의 상태, 절토 및 성토의 높이, 용지 및 시공조건, 구조물의 중요도에 따라 분류되고 있지만 일반적으로 중력식 옹벽, 반중력식 옹벽, 캔틸레버식 옹벽, 부축식 옹벽 특수옹벽 등이 시공되고 있다.

1) 옹벽의 종류별 특성분석 : 각종 옹벽의 종류를 조사하고, 특성을 평가하여 본 연구과제에서 개발하려고 하는 식생옹벽과 차별성 및 중요성을 설명하였다.

2) 옹벽의 안정성 평가 : 생태옹벽의 안정성을 평가하였다.

나. 옹벽의 녹화기술 개발(달성도 100%)

1) 녹화용 충진제 개발 : 녹화용 충진제를 개발하였다.

2) 녹화용 식물 선발 및 식재 : 옹벽녹화용 식물을 선발하였으며 배양토별, 토양처리별로 식재하였다.

다. 생태옹벽의 식물생육 모니터링(달성도 100%)

1) 식물생육 특성 분석 : 식생필터 내 초본류와 목본류 종자를 여러 가지 비율로 배합하여 충진한 후 생육상황을 비교 분석을 실시하였으며, 녹화실험을 통해 발아된 종자들의 생존개체수와 생육특성을 조사하였다.

2) 녹화피복도 분석 : 발아된 식물의 월별 성장량 및 월별 피복변화상태를 조사 분석을 실시하였다.

2. 위탁과제 : 생태옹벽의 설계 및 시공기술 개발

가. 생태옹벽의 표준설계도 제작(달성도 100%)

1) 현장지반조사 : 생태옹벽의 현장시공을 위한 토양조사 및 지형, 지질을 조사한다.

2) 옹벽의 설계

- 표준설계도 제작 : 생태옹벽의 표준설계도 제작

- 재료별 수량 산출 및 예비시공 : 설계조건(옹벽의 높이, 내부마찰각, 점착력, 흙의 단위체적 중량 및 지표면의 각도), 형상, 모멘트, 활동 및 전도에 대한 검토, 접지압의 검토

나. 생태옹벽의 시험시공(달성도 100%)

녹화대상지역의 옹벽에 식물의 식재를 위한 녹화 공간을 만들기 위한 시공단계와 시공에 의해 확보된 녹화 공간중 식생필터 수납공간에 식생필터를 수납하는 단계로 이루어져 있다.

1) 생태옹벽의 시공 : 옹벽 시공시 거푸집을 치고, 거푸집 내부에 10 - 45도 정도의 일정한 경사를 주어 PVC로된 원형 관 또는 속이 빈 사각모양의 관이나 파이프를 넣어 녹화공간으로서 식생홀을 다수 만들었다.

2) 현장토의 평가 : 시험시공 후 문제점을 검토하였다.

다. 생태옹벽의 기능평가 및 안전 점검(달성도 100%)

1) 생태옹벽의 기능평가 : 생태옹벽의 시공 후 기능평가 항목 제시

2) 옹벽의 안전 점검 : 생태옹벽의 시공 후 안전성 평가 항목 제시

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

현행 콘크리트 구조물(버트리스옹벽, 의지식 옹벽 등)은 안정성 측면에서 우수하나 주변경관과 조화를 이루지 못하고 있다. 또한 기존에는 보강공법과 보호공법(녹화)을 별도로 시공하여 경제성 및 시공성 측면에서 비효율적이었으나 친환경 생태옹벽법은 사면보호와 옹벽녹화 기능을 동시에 갖는다는 점에서 획기적이라 할 수 있으며, 특히 개발된 생태옹벽 기술은 실용화, 산업화하여 농림업 발전에 기여할 수 있어 그 파급효과도 크다고 할 수 있다.

- 사면형태나 지반조건에 구애받지 않고 적용 가능하다.
- 현장특성과 사면규모에 따라 적합하게 시공할 수 있다.
- 표면형상이 불량한 사면, 기복이 심한 사면을 복원할 수 있다.
- 수분공급 및 저장기능이 우수하여 안정적인 녹화상태를 유지할 수 있다.
- 사면안정 및 보호, 녹화 등 복합적인 기능으로 영구적 사면 안정성을 확보할 수 있다.
- 생태옹벽 개발로 인한 인명, 재산피해 및 사면붕괴 예방으로 공익증대에 기여할 것이다.
- 기존 공법보다 보강간격을 넓힐 수 있어 시공수량을 줄임으로써 공사비 절감효과가 기대된다.
- 생태옹벽 시공기법을 교육 및 지도에 활용이 가능하다.
- 옹벽 내부에서 옹벽을 녹화하므로 향후 유지관리 측면에서도 매우 유리한 공법이다.
- 산업재산권 확보를 통한 기술료 수입 기대된다.
- 본 공법은 국내 특허등록을 통해 절개지 사면에 보급될 경우 국가경제에 기여하게 된다.
- 향후 외국에 기술수출로 인한 건설업 경쟁력 확보에도 크게 기여할 것으로 기대된다.
- 산업재산권 확보를 통한 기술료 수입 기대된다.
- 주택지 일반도로 등에 적용, 폭 넓게 활용 가능하다.
- 성토 및 절토사면이나 도로변의 안정성이 확보 될 것이다.
- 환경 친화적 생태옹벽 설계시공 기술력이 향상되면 해외 경쟁력이 크게 증가될 것이다.
- 산지개발에 따른 훼손지역의 복구 및 복원에 많은 이용이 증대될 것이다.
- 신공법의 개발로 많은 경비를 절약할 수 있다.
- 시공 및 관리가 용이하여 경제적이다.
- 식생의 성장으로 경관 및 미관을 증진할 수 있는 효과가 있다.
- 주변 경관과 잘 어울리는 자연친화적 옹벽으로서 생태계 복원에도 기여할 수 있다.
- 콘크리트 옹벽에서 발산되는 복사열을 감소시켜 ‘도시열섬’의 완화 효과가 있다.
- 생태옹벽의 시공으로 도시 공간 내 이산화탄소의 축적으로 지구온난화 방지에 기여할 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

현재 국내에서는 다양한 형태의 옹벽에 녹화를 하는 시공을 하고 있으나 현재 국외에서는 벽면녹화에 대한 연구 및 시공이 이루어지고 있다. 벽면녹화의 시공기술을 옹벽녹화에 접목시키면 여러형태의 경관연출방법이 우수하고 시각적, 구조적 안정성을 가진 옹벽 녹화기술이 발달할 것으로 보인다.

기존의 특허는 옹벽의 녹화를 위하여 블록의 이용 또는 목재를 이용하거나 판넬을 붙여 시공하여 많은 경비와 시간이 소요되지만 현재 옹벽자체에서 식재공간을 만들어 식생이 성장할 수 있도록 하는 기술개발들이 시도되고 있다.

국내와 유사한 기후적 사회적 여건을 가진 일본에서 옹벽 및 벽면녹화 부분에서 국내와 가장 유사하게 개발이 진행되었다. 일본은 이미 오랫동안 옹벽 및 벽면녹화 개발을 진행하여, 현재 기술 개발기에 진입하고 있다. 녹화시 대부분 매트식으로 플랜트박스 부착형이 적용되었다. 최근 새로운 공법으로서 토양층을 적재하여 적용한 전면벽면녹화방식이 도입되었다.

외국에서는 단순히 식생복원을 통한 녹화라는 개념보다는 경관적인 측면이 강조되고 있는 것으로 조사되었다. 경관적인 측면을 중시한 경관생태학이 유럽에서 시작되어 전 세계로 확산되고 있는 것으로 나타났다.

독일의 경우 시공되는 공법은 보조재를 이용하는 등반형 또는 하수형 녹화가 시공되었고 플랜트를 적용한 경우도 있다. 하지만 주로 시공되는 공법은 등반형 녹화기법이다. 시공이 원활하며 등반형 식물의 경우 증발산량 부분에 있어 미기후에 조절에 탁월한 효과를 지니고 있기 때문이다.

제 7 장 참고문헌

1. 김경훈. 1994. 임도 절토비탈면의 식생조성에 미치는 환경인자의 영향에 관한 연구. 서울대 대학원 박사학위논문. p 51.
2. 김기일, 김병일, 이영생, 이순호. 2011. 강제지주 전면관 보강토 옹벽의 안정성 평가. 대한토목학회. 31(2): 75-82.
3. 김남춘, 석원진, 남상준. 1998. 비탈면의 조기식생녹화를 위한 식물배합에 관한 연구. 한국임학회지. pp. 8~18.
4. 김동암, 김병호, 김창주 등. 1996. 초지학총론. 향문사. p. 545.
5. 김동필, 이기철. 1992. 최첨단의 녹화기술. 명보문화사. pp. 11-22.
6. 김용철. 2001. 임도비탈면의 종자뿌어붙이기공법의 시공효과에 관한 연구. 경상대학교 대학원 석사학위논문. pp. 12-16.
7. 김창주 등. 1995. 초지학개론. 향문사. p. 406.
8. 류택규, 이천용. 1982. 암반노출지의 녹화방법에 관한 연구. 한국조경학회지. 9(2):13-18.
9. 마호섭, 강원석, 박진원. 2010. 식생플랜트를 이용한 암반비탈면의 조기녹화 효과분석. 한국환경복원기술학회. pp. 81-89.
10. 박문수. 1996. 임도구조 및 산림환경인자가 임도 비탈면의 식생침입과 토양침식에 미치는 영향. 경상대학교 대학원 박사학위논문. pp. 26-30.
11. 박진원, 강원석, 마호섭. 2008. 암반비탈면에 있어서 녹화용 식물의 생육특성에 관한 연구. 경상대 연습립 연보. 18:17-31.
12. 서병수, 김세천, 이창현. 박종민, 이규완. 1990. 지리산 국립공원 도로 비탈면에 대한 조사. 한국조경학회지. 18(3):39-56.
13. 우보명, 1983. 도로비탈면의 경관안정을 위한 기본모델 선정에 관한 연구. 한국임학회지. 61:69-79.
14. 이건호. 2006. 적용가능한 친환경 건물외피 기술. 대한건축학회. 50(3): 45-52.
15. 이광우, 유승경. 2010. 전면 식생형 보강토옹벽 축조 기술 동향. 한국토목섬유학회. 9(1): 24-27.
16. 이재필. 1995. 도로사면녹화를 위한 식생배합에 관한 연구. 건국대학교 대학원 석사학위논문. p. 57.
17. 이천용. 1998. 산림환경토양학. 진성문화사. pp. 64-72.
18. 전기성. 1999. 사면 녹화용 외래초종과 재래목·초본식물의 적정 파종량 및 혼파비에 관한 연구. 서울대 대학원 박사학위논문. pp. 46-50.
19. 정원옥, 구소영, 마호섭, 2000. 산림환경인자가 임도비탈면의 식생침입에 미치는 영향. 경상대 연습립 연보 10:9-20.

20. 정원옥, 구소영, 강진택, 마호섭. 2000. 산림환경인자가 임도 비탈면의 토양침식과 사면 안정에 미치는 영향. 경상대 연습림연보. 10:47-56.
21. 조백현. 1995. 토양학. 향문사. pp. 167-169.
22. 한국도로공사. 1995. 고속도로 절토 비탈면 녹화공법 연구. pp. 91-146.
23. 阿部 和時. 1984. 樹木根系の分布特性と斜面保護・安定効果. 緑化工技術. 10(1):1-9.
24. 江崎 次夫, 伏見知道. 1976. 日本産雜草類ののり面保護工に對する利用方法に關する研究(II). -林道切取りのり面での檢討-. 愛媛大學農學部 演習林研究報告. 13:161-174.
25. 江崎 次夫, 藤久 正文, 山本 正男, 河野 修一. 1986. 林道ののり面の植生遷移に關する研究. 愛媛大學農學部 演習林研究報告. 24:111-128.
26. 本間 晋. 1989. 林道法面小綠化の實態. 林道研究發表論文集 林道研究會. 24:23-30.
27. 堀江 保夫. 1962. 混播した治山用樹種の種間相互作用. 林業技術. 243:14-17.
28. 小林 洋司, 山口裕子. 1988. 林道路線が景觀に興える影響. 日林誌. 70(8):35 1-361.
29. 小牧 利明. 1987. 마사土法面綠化における植生の推移と今後の對策. 林道研究發表論文集林道研究會. 22:135-138.
30. 坂川 清. 1987. 法面保護工の一祭. 林道研究發表論文集 林道研究會. 22:145 -150.
31. 佐藤 重和. 1987. 頁岩地帯にあける切取法面綠化工法. 治山林道研究發表論文集. 22:139-143.
32. 山田 守 等. 1995. 播種條件の違いが木本植物の發芽/初期生育に及ぼす影響について(D). 緑化工技術(日本綠化工研究會). 21(1):34-40.
33. Bradshaw, A.D, D.A.Goode and E. Thorp. 1986. Ecology and design in landscape. 24th symposium of The British Ecological society. Blackwell scientific publication. pp. 463.
34. Crow, T. R. and E. E. Gustafson. 1997. Concepts and methods of ecosystem management. Lessons from landscape ecology. In Boyce. M. S. and A. Haney ed. Ecosystem management. p. 53-76.
35. Crutzen, P.J., and J.G. Goldammer. 1992. Fire in the environment : the ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. John Wiley & Sons. pp. 400.
36. Harty, F. M. 1986. Exotics and their ecological ramifications. Natural Areas Journal 6(4):20-26.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.